

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Conservatoire national des arts
Titre	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Collection	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Adresse	Paris : Hermann & Cie, 1930-1943
Collation	27 vol.
Nombre de volumes	27
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8CY54_8B83
LISTE DES VOLUMES	
	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles. Année 1929
	Température des flammes : Rayonnement des gaz incandescents et des flammes [28 et 29 avril 1930]
	Anisotropie des molécules : effet Raman [2 et 3 mai 1930]
	Les ondes électriques de très courtes longueurs et leurs applications [6 mai 1930]
	Couleurs (étude physique) et colorimétrie [7 mai 1930]
	L'électro-acoustique : rapports de l'acoustique moderne et de l'électricité [9 mai 1930]
	Les statistiques quantiques et leur application aux électrons libres dans les métaux [12 et 13 mai 1930]
	La constitution des comètes [14 mai 1930]
	La structure et les mouvements de l'univers stellaire [16 mai 1930]
	La haute précision des mesures de longueur au laboratoire et dans l'industrie [22 avril 1931]
	L'effet photo-électrique des rayons X dans les gaz [23 avril 1931]
	Fluorescence : durée élémentaire d'émission lumineuse [28 avril 1931]
	Les récents progrès de la désintégration artificielle des éléments par bombardement de rayons alpha [29 avril 1931]
	Les applications des rayons X à l'étude des composés organiques [4 mai 1931]
	L'état liquide et les états mésomorphes [5 mai 1931]
	Les systèmes autoentretenus et les oscillations de relaxation [6 et 7 mai 1931]
	Le quartz piézo-électrique : ses applications à la T.S.F. [8 mai 1931]
	L'hydrogène est un mélange : ortho et parahydrogène [12 mai 1931]
	Les piles sensibles à l'action de la lumière : leur mécanisme et leurs applications [28 mai 1931]
	Application des théories modernes à l'étude de la structure des molécules : les théories quantiques [14 mars 1935]
	Polarisation diélectrique [1935]
	Applications à la chimie des théories modernes sur la structure des molécules : les données spectrales [18 mars 1935]
	La chimie colloïdale et ses applications : les constituants colloïdaux des terres arables : le complexe argilo-humique et les phénomènes d'échanges d'ions [1er et 2 octobre 1941]

	Physique colloïdale et biologie [3 octobre 1941]
	Chimie colloïdale et biologie [7 octobre 1941]
	La chimie colloïdale et ses applications. Les processus colloïdaux de la défense de l'organisme contre les maladies infectieuses : Les virus et les plus simples des édifices colloïdaux bâtis par la vie [8 et 9 octobre 1941]
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Combustibles et lubrifiants de remplacement [28 octobre 1941]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Conservatoire national des arts
Titre	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Volume	Combustibles et lubrifiants de remplacement
Adresse	Paris : Hermann & Cie, éditeurs, 1943
Collection	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles, 936
Collation	1 vol. (78-[1] p.) : tabl., diagr. ; 25 cm
Nombre de vues	84
Cote	CNAM-BIB 8 Cy 54 (936)
Sujet(s)	Carburants Cellulose Cétones Lubrifiants
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/019704089
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8CY54.936

8° Cy 54 (936)



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

936



CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

XXXIV

COMBUSTIBLES ET LUBRIFIANTS DE REMPLACEMENT

LES CÉTONES

CARBURANT A GRAND POUVOIR INDÉTONANT

PAR J. LEFRANC

Chef de Travaux au C. N. A. M.



L'HYDROLYSE DES MATIÈRES CELLULOSIQUES

PAR Ch. BERTHELOT

Ingénieur-Conseil

Vice-Président de la Section des Carburants et Lubrifiants
de la Société des Ingénieurs de l'Automobil

LES PRODUITS D'APPORT EN LUBRIFICATION

PAR G. JUIN

Ingénieur-Conseil

Ingénieur de l'École Supérieure des Pétroles



PARIS

HERMANN & C^o, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1943





ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- ANTHONY (R.), Paris. — Anatomie comparée.
- AUDUBERT (René), Paris. — Electrochimie théorique.
- BALACHOWSKY (Alfred), Grignon. — Entomologie appliquée.
- BECQUEREL (J.-P.), Paris. — Optique et magnétisme aux très basses températures.
- BERNSTEIN (S.), U. R. S. S. — Le Calcul des probabilités et l'approximation des fonctions.
- BERTRAND (G.), Paris. — Chimie biologique.
- BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
- BOUTRY (G.-A.), Paris. — Mesures.
- BLARINGHEM (L.), Paris. — Biologie végétale.
- BLASCHKE (W.), Hambourg. — Géométrie.
- BLOCH (Eugène), Paris. — Physique atomique et spectroscopie.
- BOHN (Georges), Paris. — Zoologie expérimentale.
- BORDET (J.), Bruxelles. — Microbiologie.
- BOSLER (J.), Marseille. — Astrophysique.
- BRILLOUIN (Léon), Paris. — Théorie des quanta.
- Acoustique théorique et Pratique.
- BRILLOUIN (J.), Paris. — Acoustique du Bâtiment.
- BROGLIE (Louis de), Paris. — I. Physique théorique ; II. Philosophie des Sciences.
- BROGLIE (Maurice de), Paris. — I. Physique atomique expérimentale ; II. Applications des Rayons X.
- BRUNSCHWIG (Léon), Paris. — Le Progrès de l'esprit.
- CABRERA (D.), Madrid. — Exposés sur la théorie de la matière.
- CAMICHEL (Ch.), Toulouse. — Hydraulique (générale et appliquée).
- CARNAP (Rudolph), Chicago.
- CARTAN (E.), Paris. — Géométrie.
- CAULLERY (M.), Paris. — Biologie générale.
- CAYEUX (L.), Paris. — Géologie.
- CHEVALIER (Jacques), Grenoble. — La Morale.
- COLLÈGE DE FRANCE. — Conférences publiées sous les auspices et aux frais de la Fondation Singer Polignac.
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (Paris, 1935).
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE organisé par l'Union Internationale de Physique et la Physical Society of London (1934).
- CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS. — Conférences d'Actualités scientifiques et industrielles.
- COTTON (A.), Paris. — Magnéto-optique.
- CURIE (M^{me} Pierre), Paris. — Radioactivité et physique nucléaire.
- DAMIANOVICH (M. Horacio), Argentine. — La Chimie de l'Hélium et des éléments analogues.
- DANTCHAKOFF (Véra), Lithuanie. — La cellule germinale dans l'ontogenèse et l'évolution.
- DARMOIS (E.), Paris. — Chimie-physique.
- DARMOIS (Georges), Paris. — Statistique mathématique.
- DARROW (K. K.), New York. — L'Effet thermionique et la Photoélectricité.
- DEBYE (P.), Berlin. — Structure de la Matière.
- DENJOY (Arnaud), Paris. — Ensembles et Fonctions.
- DONNAN (F. G.), F. R. S., Londres. — The Colloidal state (L'Etat colloïdal).
- DUCLAUX (J.), Paris. — Leçons de Chimie Physique appliquée à la Biologie.
- DUESBERG (J.), Liège. — Biologie générale en rapport avec la cytologie.
- ENRIQUES (F.), Rome. — Philosophie et histoire de la pensée scientifique.
- ENRIQUES (F.) et SANTILLANA (G. de), Rome. — Histoire de la Pensée Scientifique.
- EPHRUSSI (Boris), Paris. — Génétique.
- FABRE (R.), Paris. — I. Toxicologie et Hygiène Industrielle ; II. Leçons de Toxicologie.
- FABRY (Ch.), Paris. — Optique et Radiations.
- FAURÉ-FREMIET (E.), Paris. — Biologie (Embryologie et Histogenèse).
- FESSENKOFF (B.), U. R. S. S. — Astrophysique (Photométrie).
- FLEURY (P.), Paris. — Leçons de Métrologie (générale et appliquée).
- FOUCHÉ (P.), Paris. — Phonétique générale et expérimentale.
- FOURNEAU (E.), Paris. — Chimie thérapeutique.
- FRAIPONT (Ch.), Liège. — Paléontologie et les grands problèmes de la biologie générale.
- FRECHET (Maurice), Paris. — Analyse générale.
- FROUMKINE (Alexandre), U. R. S. S. — Phénomènes superficiels.
- GAY (M. L.), Montpellier. — Thermodynamique et chimie.

7^e C/5H (936)

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

936

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

XXXIV

COMBUSTIBLES ET LUBRIFIANTS DE REMPLACEMENT

LES CÉTONES

CARBURANT A GRAND POUVOIR INDÉTONANT

PAR J. LEFRANC

Chef de Travaux au C. N. A. M.

L'HYDROLYSE DES MATIÈRES CELLULOSIQUES

PAR Ch. BERTHELOT

Ingénieur-Conseil
Vice-Président de la Section des Carburants et Lubrifiants
de la Société des Ingénieurs de l'Automobil

LES PRODUITS D'APPORT EN LUBRIFICATION

PAR G. JUIN

Ingénieur-Conseil
Ingénieur de l'Ecole Supérieure des Pétroles



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1943

Printed in France.

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

COPYRIGHT 1943 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}
PARIS.



LES CÉTONES, CARBURANT A GRAND POUVOIR INDÉTONANT

LEUR FABRICATION DANS LE CADRE DES MATIÈRES PREMIÈRES NATIONALES ET " IMPÉRIALES "

Conférence faite le Mardi 28 Octobre 1941
au Conservatoire National des Arts et Métiers

PAR

M. Jacques LEFRANC
Chef de Travaux au Conservatoire National des Arts et Métiers



E tiens beaucoup à remercier Monsieur RAGEY, notre éminent et actif Directeur, de m'avoir donné, au cours de ces conférences d'actualité consacrées à l'étude des solutions nouvelles en matière de carburants de remplacement, l'occasion de parler de travaux faits au Conservatoire, où, à partir de 1921, ces procédés ont été créés et étudiés par Louis LEFRANC, mon père et moi-même, et ensuite par moi seul depuis 1926, après la disparition prématurée de mon père, qui fut mon maître.

* * *

Ces travaux, qui ont abouti à la fabrication industrielle des cétones, avaient pour objet, à l'époque, le remplacement de l'alcool, déjà proposé comme carburant de remplacement.

Aujourd'hui, en meilleure connaissance des qualités du produit obtenu, il ne s'agit plus tellement de solution de remplacement. Il s'agit surtout de ressources nouvelles que les cétones mettent à la disposition des ingénieurs, à la recherche de moyens nouveaux

pour augmenter la puissance massique des moteurs, améliorer les carburants actuels ou en créer de nouveaux.

Dans une conférence très documentée, devant la Société des Ingénieurs de l'Automobile, le Professeur SERRUYS posait, en février dernier, avec une très objective précision, l'aspect de toute solution nouvelle en matière de carburants, subordonnés :

- 1° à la quantité disponible de matières premières et à leur valeur ;
- 2° aux possibilités de transformations industrielles ;
- 3° aux rendements de la transformation énergétique.

Pas de meilleur plan à suivre. Toutefois, pour fixer l'intérêt de la question traitée, je parlerai d'abord des résultats auxquels a conduit l'application des cétones en carburation, pour décrire ensuite leur fabrication et enfin exposer les ressources en matières premières à disposition.

* * *

Les cétones forment une famille très vaste et très importante qui s'étend de la série aliphatique à la série aromatique.

De toute cette vaste famille douée de propriétés fort intéressantes, seuls les premiers éléments de la série aliphatique, obtenables en quantités, comme dérivés d'un processus de fermentation, ont à retenir notre attention.

Par l'ensemble de leurs propriétés chimiques et physiques, les cétones sont, en effet, très analogues aux hydrocarbures couramment employés en carburation.

Chimiquement, les cétones satisfont les exigences les plus sévères d'une application de cet ordre. Ce sont, en effet, des corps neutres doués d'une très grande stabilité chimique, qu'il est possible de produire dans un état de pureté très poussée.

En matière d'oxydation vive, les cétones, substances éminemment combustibles par constitution, forment avec l'air des mélanges explosifs, caractérisés par une combustion complète avec leur volume théorique de comburant.

Le tableau que vous avez sous les yeux ressemble les caractéristiques les plus essentielles des mélanges explosifs théoriques avec l'air, en comparaison avec d'autres combustibles ou constituants de combustibles liquides utilisés.

TABLEAU N° 1
Combustion théorique des Cétones et autres carburants.

	Densités	Volume d'air par gramme	Volume du mélange par gramme	Poids par litre de mélange	Pouvoirs calorifiques				Pouvoir calorifique par litre de cylindrée	
					en poids Kgs		en volume Lit.		Super.	Infér.
					Super.	Infér.	Super.	Infér.		
<i>A. Hydrocarbures acycliques.</i>										
$C^6H^{14} + 9,5(O^{24}Az^2)$	0,663	12,325	12,58	0,0803	11.525	10640	7.640	7.055	925,4	854,4
$C^7H^{16} + 11$	0,712	12,276	12,50	0,0800	11.520	10660	8.200	7.590	921,8	852,8
$C^8H^{18} + 12,5$	0,708	12,236	12,43	0,0804	11.520	10670	8.155	7.455	926,2	857,8
<i>B. Carburés benzéniques.</i>										
$C^6H^6 + 7,5(O^{24}Az^2)$	0,899	10,730	11,01	0,090	9.960	9540	8.955	8.575	896,4	858,6
$C^7H^{18} + 9(O^{24}Az^2)$	0,882	10,913	11,15	0,088	10.150	9680	8.950	8.540	893,2	851,8
<i>C. Alcools aliphatiques.</i>										
$C^3H^5OH + 3(O^{24}Az^2)$	0,794	7,278	7,76	0,128	7.080	6375	5.620	5.060	906,2	816,1
$CH^3OH + 1,5(O^{24}Az^2)$	0,810	5,231	5,92	0,168	5.330	4655	4.320	3.770	895,6	782,2
<i>D. Cétones aliphatiques.</i>										
$CH^3CO CH^3 + 4(O^{24}Az^2)$	0,7985	7,696	8,081	0,123	7.360	6.800	5.800	5.430	905,3	836,5
$CH^3CO C^2H^5 + 5,5(O^{24}Az^2)$...	0,812	8,525	8,834	0,113	8.158	7.550	6.625	6.130	921,8	854,0
$C^2H^5CO C^2H^5 + 7(O^{24}Az^2)$...	0,820	9,083	9,343	0,107	8.603	7.975	7.055	6.540	920,5	853,3
$C^2H^5CO C^3H^7 + 8,5$	0,83	9,486	9,709	0,103	9.236	8.588	7.665	7.130	923,6	858,8
$C^3H^7CO C^3H^7 + 10$	0,819	1116,0	9,985	0,100	9.268	8.600	7.590	7.045	926,8	860,5
$C^3H^7CO C^4H^9 + 11,5$		1283,4	10,200	0,098	9.480	8.800			908,8	844,0
$C^4H^9CO C^4H^9 + 13,0$		1283,4	10,200	0,098	9.480	8.800				
$CH^3CO C^4H^9 + 8,5$	0,853	1450,8	10,373	0,096						

La température d'auto-inflammation de ces mélanges située entre 650 à 700° explique la résistance des cétones au pré-allumage par point chaud.

Au point de vue physique, les cétones se présentent sous forme d'un liquide mobile, incolore, tirant sur le jaune vers les termes les plus lourds. Leur odeur assez spéciale rappelle les dérivés amyliques.

Leur densité (aviation 0,705/710 — tourisme 0,730 — iso-octane 0,695), du même ordre que celle de l'essence, croît avec le poids moléculaire à partir de 0,749 pour la diméthylcétone, premier terme de la série, soit en moyenne 0,81.

Leurs températures d'ébullition croissent également régulièrement avec les poids moléculaires pour passer de 56°3 pour la diméthylcétone au delà de 200° pour les cétones en C⁹, à la limite d'utilisation en carburation.

Les points de congélation diminuent à partir de — 95° pour la diméthylcétone. Pour le mélange, passant entre 56° et 180°, ce point est inférieur à — 60°.

Entre 0,522 et 0,585, les *chaleurs spécifiques* varient peu.

Quant aux *tensions de vapeur* du mélange qui nous intéresse, elles sont de l'ordre et inférieures à 300 gr. à 38° (REID).

Les chaleurs de vaporisation, nettement supérieures à celles des hydrocarbures, sont comprises entre 110 et 130 calories. Cette caractéristique présente une grande importance en matière de remplissage de la cylindrée dans le cycle à 4 temps.

Les pouvoirs calorifiques augmentent avec les poids moléculaires pour passer de 7.360 calories kgr. pour l'acétone, au delà de 10.000 pour les cétones lourdes.

Enfin, constatation très importante, les cétones ne sont pas *hygroscopiques*, à l'exception toutefois des termes les plus légers, passant à la distillation en-dessous de 85°, susceptibles d'absorber 1 à 2 % d'eau.

Leur élimination s'imposerait donc dans le cas d'un carburant d'altitude, stable à — 60°, à moins d'avoir recours à un moyen de stabilisation. Ce moyen est connu.

En matière de carburant, la caractéristique essentielle et remarquable des cétones est surtout leur *pouvoir indétonant*, permettant des combustions parfaites sous des compressions les plus élevées. Cette propriété, qui présente une importance considérable, est

évidemment la conséquence de leur stabilité chimique. Les cétones sont, en effet, nettement beaucoup plus indétonnantes que l'iso-octane, adopté comme base d'appréciation pour les essences.

Leur nombre d'octane, d'ailleurs, n'a pu être apprécié que par la méthode des mélanges, pour être situé entre 115 et 125, avec un maximum pour les cétones en C^6/C^7 .

C'est pourquoi, au cours de nombreux essais qui ont été faits, c'était toujours la résistance mécanique du moteur et non la tenue du carburant qui fixait la limite des compressions possibles.

Cette propriété d'indétonance est d'autant plus caractéristique que les additions organo-métalliques, le $PbEt^4$ par exemple, ont un effet pratiquement nul sinon négatif sur les cétones. Par contre, l'addition des cétones aux essences améliore leur susceptibilité au Pb , constatation qui permet pratiquement de réaliser, par addition convenable de cétones, des carburants pouvant atteindre 100 N. O., à partir de n'importe quelle essence additionnée de $PbEt^4$.

TABLEAU N° 2

Influence des cétones sur le N. O.

% de cétones	N. O.
0.....	60
10.....	66
20.....	73
30.....	78
40.....	85

RÉACTION AU $PbEt^4$.

d'un mélange	{ Cétones 20 %
	{ Essence..... 80 %
% $PbEt^4$	N. O.
0.....	73
0,2.....	80
0,4.....	83
0,6.....	87
0,8.....	91

Autre constatation expérimentale faite, l'addition de cétones à l'essence améliore la combustion. L'oxyde de carbone, dont la teneur dans les gaz d'échappement peut atteindre 10 %, suivant l'état et le régime du moteur, disparaît complètement pour des teneurs en cétones de l'ordre de 15 à 20 %. La présence de cétones

améliore, par conséquent, le coefficient d'utilisation de l'essence.

Dans le cas de l'alcool éthylique, l'addition de cétones est évidemment sans influence sur le N. O. — Mais, fait très intéressant, la présence de cétones améliore les départs à froid, si difficiles avec l'alcool pur. Le mélange :

Cétones	40
Alcool	60

permet des départs corrects.

Enfin, les cétones peuvent encore, en raison de leurs propriétés solvantes, entrer dans la composition des mélanges les plus variés. Elles permettent, par exemple, *de stabiliser* les mélanges essence/alcool hydraté, pour des additions peu importantes dans la zone de température de nos climats.

Après cet exposé très rapide des caractéristiques essentielles des cétones, en matière de carburation, j'en arrive maintenant aux résultats pratiques obtenus au banc d'essais dans les différents cas examinés.

Et d'abord à partir des cétones pures. Ce carburant présente les caractéristiques suivantes :

TABLEAU N° 3

Caractéristiques des cétones carburant.

Couleur	$\geq + 20$ Saybolt
Densité à 15°	0,810 à 0,830
Congélation (cristaux)	$\leq - 60^\circ$
Gommes actuelles (verre)	≤ 10 mgr.
Gommes potentielles	≤ 10 mgr.
Acidité en mgr. KOH	$\leq 0,030$
Corrosion cuivre	bonne
Soufre total	$\leq 0,1\%$
Distillation <i>Afnor</i> :	
Point initial	60° à 80°
à 100°	30 à 60 %
à 130°	50 à 90 %
50 % passent à	100-130°
95	130-180°
Point final	150 à 220°
Pouvoir calorifique supérieur	8.800 à 8.900 col.
Tension de vapeur à 38°8 (Reid)	≤ 30 pièzes
Nombre d'octane	> 100
Valeur indétonante en N. O.	110 à 125 N. O.
Chaleur latente de vaporisation	130 cal. environ

Les essais pratiques, auxquels a été soumis ce carburant cétonique, tant à la Société des Moteurs Hispano-Suiza qu'à la Société des Moteurs Gnome et surtout à la Société des Constructions mécaniques du Béarn, ont été des plus sévères.

Ces essais ont porté sur plusieurs types de moteurs : Mono et polycylindriques à refroidissement à air ou à eau, à culasses de formes différentes, à carburation aspirée ou sous pression.

En 1939, une première série d'essais très importants a été faite à la Société des Constructions mécanique du Béarn sur différents types de moteurs. Ces essais avaient pour objet de comparer les cétones avec d'autres carburants d'aviation, et notamment avec l'Intava à 100 N. O. de la Standard.

Les résultats obtenus sur monocylindre à refroidissement à air sont rassemblés dans ce tableau :

TABLEAU N° 4

Essais sur monocylindre : type 12 A — C. M. B.

Refroidissement air. Double allumage.

	Cétones carburant	Intava 100 N. O.
Volume de la cylindrée	525	525
Nombre de tours/minute	4.100	4.100
Compression volumétrique	6,75	6,75
Pression absolue dans les tubulures en m/m de Hg	1.760	1.450
Surcompression en m/m de Hg	1.010	700
Puissance effective brute	52 C. V.	40 C. V.
Température des culasses	250°	250°
Température d'échappement	700°	680°
Consommation spécifique	320 gr.	300 gr.

Ces résultats montrent la possibilité d'augmenter la compression et démontrent les avantages des cétones qui permettent le fonctionnement normal du moteur à un régime particulièrement très poussé, avec une pression en fin de compression de l'ordre de 22 kgr. nettement supérieure au carburant à 100 N. O.

L'augmentation de puissance enregistrée est due à la fois à la compression et à la puissance de la cylindrée.

En effet, pour une surcompression de 700 mm. — extrême limite tolérée par le carburant à 100 N. O., une différence de 3 à 4 CV au litre de cylindrée a été constatée en faveur des cétones.

Ces premiers résultats donnent à conclure qu'il est désormais

possible d'obtenir avec les cétones une puissance spécifique d'au moins 100 CV au litre de cylindrée, contre 75 CV dans le cas du carburant à 100 N. O. A noter, à ce propos, que par rapport au carburant à 100 N. O., dans la zone de compression qu'il tolère, la consommation de cétones n'a pas été supérieure à 15 %.

A la suite de ces premiers essais, le carburant cétonique a été mis en compétition avec une série de carburants spéciaux. Il s'agissait pour la Société des Constructions mécaniques du Béarn, de déterminer le meilleur carburant pour l'alimentation des moteurs type 12 A. dus à l'Ingénieur CHAUMONT, destinés à équiper les avions français engagés dans la coupe Deutsch.

Des essais comparatifs faits sur ces moteurs 12 cylindres 6 litres de cylindrée, 4.200 tours, devant développer 350 CV au sol, le carburant cétonique sortit vainqueur par une cinquantaine de CV.

Homologué par le Ministère de l'Air en juillet 1939, le carburant cétonique devait obligatoirement alimenter les moteurs de la S. C. M. B. engagés dans la Coupe. Deutsch.

L'épreuve n'a pu avoir lieu.

Sur moteur Hispano-Suiza, 12 cylindres, type Y. C. R., de 800 CV, à compression volumétrique 7, le carburant cétonique a permis au moteur de développer 1.480 CV, avec une consommation de 320 gr., alors que le carburant Intava à 100 N. O. ne donnait que 1.280 CV, avec une consommation de 300 gr.

D'autre part, des essais officiels en vol ont été faits au cours de l'été 1939. Leurs résultats ont été déclarés satisfaisants.

Les cétones carburant répondent ainsi aux exigences des ingénieurs, à la recherche de l'augmentation de la puissance massique des moteurs, par alimentation par voie de surcompression.

Par l'ensemble de ses qualités, le carburant cétones apparaît plus particulièrement indiqué :

- 1° comme carburant de décollage ;
- 2° comme carburant d'accélération.

Si l'application des cétones à l'alimentation des moteurs présente un avantage certain et réel, leur utilisation comme produit d'addition à l'essence leur ouvre des perspectives d'un intérêt primordial, qui intéressent à la fois l'aviation et l'automobile. Les cétones permettent, en effet, de transformer les essences courantes les plus diverses en carburant de classe, par amélioration de leur indice d'octane.

TABLEAU N° 5

Mélanges : Essences/Cétones/PbEt⁴

Variations du nombre d'octane.

N. O. CFRMM	Essence 60 NO	Essence 65 NO	Essence 70 NO	Cétones	PbEt ⁴
78	70	—	—	30	—
85	—	—	70	30	—
88	65	—	—	45	—
95	—	—	65	45	—
89	70	—	—	30	0,4
93	—	—	70	30	0,4
96	70	—	—	30	0,8
100	—	70	—	30	0,8
100	65	—	—	45	0,6
100	—	—	65	45	0,6
98	—	80	—	20	0,8
95	—	70	—	30	0,8
100	—	50	—	50	0,8

Ce tableau résume les résultats constatés relatifs à l'influence des cétones sur le N. O. dans le cas d'essences de qualités diverses, éthylées ou non.

A la S. C. M. B., sur moteur monocylindrique à régime très poussé, on a constaté et enregistré les résultats comparatifs suivants, sur une essence à 77 N. O., éthylée à 0,8 % *PbEt^e*, additionnée d'une part de 30 % de cétones et d'autre part de 30 % d'iso-octane :

TABLEAU N° 6

Essence : 77 N. O., éthylée à 0,8 Pb.

Effet d'une addition de 30 %.

	d'Iso-Octane	de Cétones
Cylindrée	540	540
Nombre de tours.....	4.100	4.100
Puissance effective en CV.....	37	43
Compression volumétrique.....	6,75	6,75
Surcompression en m/m <i>Hg</i>	600	800
Température des Culasses.....	230°	230°
Consommation CV/H	320 gr.	320 gr.

L'ensemble de ces résultats expérimentaux très sévères montre objectivement et clairement les ressources que présentent les cétones en carburation.

Certes, on savait déjà que certaines cétones possédaient d'intéressantes propriétés d'indétonances. Mais ce n'est que tout récem-

ment que les propriétés, les caractéristiques, les perspectives d'application d'un mélange de cétones constituant un carburant complet ont été mises en lumière par la sanction d'un banc d'essais, par mon excellent ami et collègue M. Michel ERMAKOFF, à qui revient, entre autres résultats, le mérite de la mise au point du carburant cétonique homologué en 1939 pour la Coupe Deutsch.

Comme il est ici, je suis heureux de pouvoir le féliciter très cordialement pour tout ce travail d'une importance décisive, exécuté, conduit et dirigé avec une maîtrise qui sanctionne la compétence.

Après avoir exposé, trop rapidement sans doute dans le cadre de cette conférence, l'intérêt que présente l'application des cétones en carburation et les perspectives qu'elles réservent :

- soit comme carburant homogène ;
- soit comme carburant d'addition ;
- soit comme constituant de mélanges ;

j'en arrive maintenant à la production technique des cétones.

* * *

Trois moyens principaux, sont, entre autres, à la disposition du chimiste pour produire des cétones, en conditions possibles :

1^o soit par synthèse à partir des alcools secondaires.

Tel est le cas, en industrie, de la technique d'utilisation des gaz de raffinerie de pétrole, riches en carbures éthyléniques : propylène, butylène et amylène, carbure qui suivant la technique instaurée — technique rationnelle d'ailleurs — conduisent par sulfonation, saponification, oxydation et éventuellement condensation, à l'obtention de différentes cétones : de la diméthylcétone, de l'isobutylcétone et de deux octanones. Dans ce cas, les transformations chimiques disposent d'une matière bon marché.

Aux Etats-Unis, pays privilégié sur ce point, cette technique est exploitée. En France, les gaz de raffinerie sont généralement brûlés.

2^o soit à partir des acides aliphatiques ou de certains de leurs sels.

C'est là la seule ressource dont nous disposons en France, puisque manquant de pétrole nous ne disposons pas d'une source de carbures éthyléniques.

En France, nous pouvons produire par voie de fermentation les acides aliphatiques dont dérive toute la gamme de cétones dont le mélange constitue un carburant complet.

La fermentation qui, somme toute, met en œuvre l'activité dirigée des catalyseurs biochimiques, est un mode de transformation en lui-même économique.

Tous les hydrates de carbone solubles, les sucres les plus divers, l'amidon, assurent au procédé un approvisionnement substantiel à trouver dans l'exploitation de nos richesses nationales et impériales.

Suivant son processus, la technique de la fermentation aliphatique évolue comme suit : en 4 phases distinctes :

1^o Phase de préparation et de présentation à la fermentation de la matière première.

(Ce traitement préalable sera examiné par la suite à propos des matières premières).

2^o Phase biochimique.

3^o Phase d'extraction des sels de fermentation.

4^o Phase de transformation chimique des sels de fermentation.

La phase biochimique est à la base du procédé.

La fermentation aliphatique constitue une fermentation très particulière. Elle met en effet en œuvre non un ferment uni que mais une formule bactérienne hétérogène et complexe dont la souche trouvée dans la terre rassemble des éléments bactériens susceptibles d'activités diverses, suivant les conditions de milieu.

Parmi ces éléments, les uns aérobies, les autres anaérobies, certains sont actifs comme les bacilles butyriques du genre : *Vibrio* Butyrique de Pasteur, *Clostridium Pastorianum* et le *B Amylobacter* ; d'autres sont utiles par l'effet de stimulation qu'ils exercent ; d'autres enfin sont nuisibles. Ensemble, ils constituent une Symbiose naturelle.

Le concept du mécanisme de l'utilisation d'un milieu aussi hétérogène est dû à Louis LEFRANC qui, pour satisfaire les exigences d'anaérobiose indispensables à l'évolution de la fermentation butyrique — fermentation anaérobie stricte — et les réaliser, pensa à utiliser l'activité préalable des éléments aérobies, pour désaérer le milieu et ensuite à exploiter par acclimatation à la température les

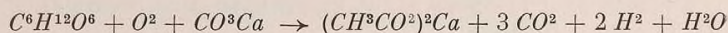
propriétés thermophiles des éléments utiles de la symbiose pour les sélectionner et les adapter à la fonction aliphatique.

La fermentation aliphatique évolue en effet en deux phases bien distinctes :

La première évolue en aérobiose. Elle désaère le milieu par consommation de l'oxygène, toujours présent dans l'eau, et prépare les conditions de l'anaérobiose, indispensablement nécessaire à l'évolution de la fermentation butyrique qui, en définitive, est la fermentation principale.

Cette phase n'est productive que d'acide acétique, dont la formation correspond, en quelque sorte, à une oxydation ménagée de la matière fermentescible.

Schématiquement, elle évolue suivant l'équation :



(le CO^3Ca intervient ici pour la raison qui sera indiquée).

Si on tient compte de ce fait que l'eau utilisée est toujours plus ou moins aérée et que sa désaération absolue nécessaire à l'évolution correcte d'une fermentation anaérobie est de nature à poser à l'industrie un problème redoutable en raison des volumes mis en jeu, la sagacité du concept, sanctionné par la pratique, se trouve mise en lumière.

La deuxième phase, phase principale de la fermentation évoluant en anaérobiose, est productrice surtout d'acides butyriques et d'autres homologues supérieurs. Elle succède à la première phase dès que les conditions de l'anaérobiose se trouvent réalisées dans le milieu. Elle débute et évolue sous la protection de l'acide carbonique dégagé, qui forme une couche dense à la surface du moût en travail et la protège contre le retour en arrière de l'air atmosphérique,

L'équation de PASTEUR représentative du phénomène est la suivante :



Suivant son mécanisme, la fermentation doit évoluer en cuve fermée, équipée pour évacuer ou capter les gaz de fermentation, soit par tonne de matière fermentescible :

Hydrogène	200 à 300 m ³
Acide carbonique	300 à 350 m ³

L'hydrogène constitue un sous-produit important, dont l'utilisation intéresse les procédés d'hydrogénation en raison de son état de pureté.

La durée de la fermentation est d'environ 6 jours.

Sa température d'évolution, nettement supérieure à toutes autres fermentations appliquées en industrie, est comprise entre 42 et 45°.

Spécifiquement, cette fermentation évolue en milieu neutre, ou de toute préférence alcalin. *PH* 7,0 à 7,5. Toute trace d'acidité, par condition de milieu est inhibitrice de toute activité. Pour maintenir la neutralité du milieu, il est donc nécessaire de neutraliser les acides au fur et à mesure de leur formation. A cet effet, on emploie avantageusement le carbonate de chaux, maintenu par agitation modérée en suspension dans le milieu.

Comme carbonate de chaux, il convient d'utiliser les écumes de sucrerie, résidu d'épuration des jus de diffusion, constituées par un carbonate de chaux précipité impur, riche en éléments nutritifs, soit environ :

Azote organique	1 à 1,5 %
Acide phosphorique	3 à 5 %
Potasse	0,5 à 1 %

Après fermentation, la solution de sels aliphatiques formée est impure. Souillée par les déchets et débris de la fermentation, elle réclame une épuration. A cet effet, on utilise comme en sucrerie, les propriétés défécantes de la chaux. Un bouillissage organisé après chaulage convenable, suivi d'une filtration donne les jus clairs envoyés à l'évaporation et enfin à la concentration pour obtention des sels.

Cette phase de fabrication qui, suivant son processus inspiré de la sucrerie, met en œuvre le matériel de celle-ci, classe le procédé dans la catégorie des industries d'évaporation, donc de consommation de vapeur.

En définitive, la fermentation aliphatique conduit à l'obtention d'un mélange de sels de chaux :

acétate et butyrates,
propionate et valérates,

ces deux derniers occasionnellement obtenus suivant la matière travaillée.

A partir de ces sels, on peut à volonté préparer :

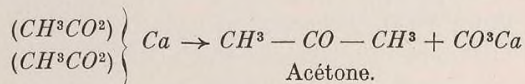
soit les acides,
soit les acétones,
soit les anhydrides.

La technique d'extraction des acides est simple. Elle consiste essentiellement à déplacer les acides organiques de leurs combinaisons calciques par un acide fixe, à les distiller et rectifier, le cas échéant.

La production des cétones, qui nous intéresse tout particulièrement aujourd'hui, présente la ressource technique d'être réalisable de deux façons différentes. L'une et l'autre ont leur intérêt ; soit :

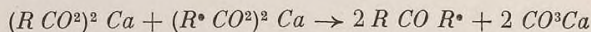
- 1° directement à partir de sels de fermentation ;
- 2° indirectement à partir des acides de fermentation.

Soumis à l'action de la chaleur, les sels aliphatiques alcalino-terreux ou terreux se décomposent suivant la réaction bien connue, dont la décomposition de l'acétate de chaux est le prototype :



Dans le cas de l'acétate de chaux la réaction est simple, en ce sens que l'acétate de chaux se décompose sans fondre.

Dans le cas qui nous intéresse, on a affaire à un mélange de sels. De ce fait, la réaction se complique et donne naissance à des cétones mixtes. Par exemple :



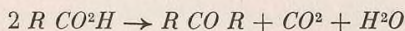
C'est pourquoi, entre autres conséquences des hasards des arrangements moléculaires que provoque la température, on obtient par pyrogénéation du mélange de sels, un mélange de cétones présentant, par suite d'une succession de phénomènes d'entraînement azéotropiques entre termes adjacents, une courbe de distillation pratiquement continue et régulière. Cette constatation est intéressante en matière de carburants.

La pyrogénéation des sels de fermentation a ses exigences. Alors que l'acétate de chaux se décompose sans fondre, ses homologues supérieurs, entre autres et notamment les butyrates, ont la propriété

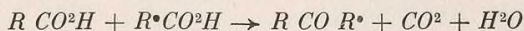
d'être fusibles en dessous de leur température de décomposition, dont l'optimum est à situer vers 420°. De ce fait, pour assurer la transmission de la chaleur dans une masse pâteuse, mauvaise conductrice et faciliter le dégagement des cétones formées, il est nécessaire de malaxer et pétrir mécaniquement la masse des sels fondus pendant leur décomposition.

La technique de préparation indirecte des cétones, ou par catalyse des acides, repose sur la réaction classique de SABATIER et SENDÉRENS, suivant laquelle les vapeurs d'un acide aliphatique se transforment en cétone correspondante au contact d'un catalyseur.

Les réactions :



dans le cas d'un acide seul et :



dans le cas d'une phase vapeur constituée par deux acides différents sont représentatives de la transformation chimique.

Deux modes de transformation sont à disposition :

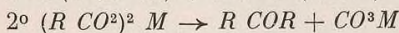
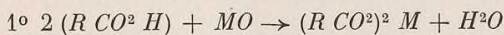
1° Par catalyse proprement dite.

Le catalyseur n'ayant ici qu'une action de contact, son efficacité dépend des conditions de frottement de la vapeur.

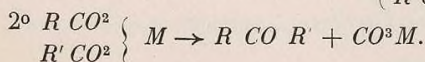
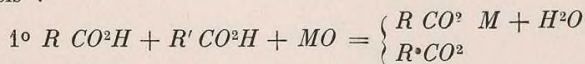
2° Par cétonisation chimique.

Suivant le mécanisme proposé, la vapeur d'acide au contact d'un oxyde convenablement choisi, forme d'abord un sel qui, à la température de régime, se décompose aussitôt en cétones en régénérant, suivant la température, l'oxyde ou son carbonate, cycle continu dont l'évolution se trouve améliorée par un facteur d'affinité chimique.

Schématiquement les réactions successives sont les suivantes :



dans le cas d'un sel unique, et dans celui d'un mélange de deux sels :



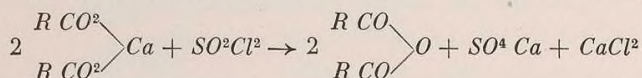
Cette technique de transformation des acides permet la production de cétones définies et présente d'autre part certains avantages, d'abord la suppression des pertes, les vapeurs d'acides non transformés étant récupérables et d'autres part les cétones obtenues provenant d'un acide distillé sont relativement très pures.

Les cétones brutes, surtout les cétones de pyrogénéation doivent faire l'objet d'une suite de traitements : raffinage chimique par lavages acides et alcalins, déshydratation et rectification pour les classer dans les limites de distillation correspondant à leur destination.

Quant aux cétones de catalyse, elles sont relativement pures. Le traitement qu'elles ont à subir se limite généralement à une neutralisation suivie d'une déshydratation par exemple à la faveur d'azéotropes passant à la distillation vers 80°.

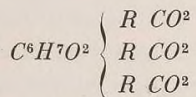
Un mot des *anhydrides*, matière première de fabrication d'esters cellulosiques fort intéressants.

Suivant le procédé proposé, les anhydrides s'obtiennent en traitant les sels de chaux de fermentation par le chlorure de sulfuryle :



Suivant cette réaction, à partir d'un mélange de sels on obtient un mélange d'anhydrides : anhydrides normaux et anhydrides mixtes.

Quant aux esters cellulosiques obtenus, ils présentent l'intéressante propriété d'être solubles, par exemple dans les cétones, à l'état de triesters.



c'est-à-dire sans rétrogradation, contrairement à ce qui se passe dans le cas de l'acétate de cellulose. En conséquence immédiate de cette intéressante propriété, ces esters, parmi lesquels les esters mixtes, les acéto butyrates sont les plus intéressants, possèdent à l'état humide sensiblement la même résistance qu'à l'état sec.

Ces esters sont susceptibles de trouver leurs applications dans la fabrication de rayonne, films et vernis.

* * *

J'en arrive maintenant à l'important problème des matières premières.

Les matières premières, toutes d'origine agricole, susceptibles d'exploitation en fermentation aliphatique sont nombreuses, variées et abondantes. A ce titre, leur mise en œuvre intéresse directement la valorisation des ressources et richesses agricoles de l'empire.

Chimiquement, toutes ces matières premières, naturelles, dérivées ou fabriquées, appartiennent aux grandes familles des sucres de natures diverses et des hydrates de carbone : l'amidon, par exemple. Enfin, certains déchets ou résidus d'usine ont leur intérêt.

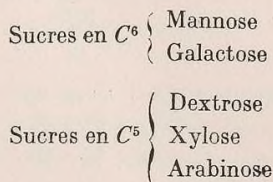
De toutes ces matières premières, sources d'hydrates de carbone, la plus intéressante, la plus abondante aussi, est certainement le bois. C'est d'ailleurs le bois, par la mise en œuvre de ses produits dérivés, que nous envisagions utiliser à l'origine de ce travail, qui s'est intéressé par la suite à toutes autres matières.

Le bois est en effet abondant et indéfiniment renouvelable dans la nature par le jeu combiné de la lumière solaire et de la fonction chlorophyllienne. M. ROSZACK, alors professeur à l'Ecole Centrale, a démontré en 1922, dans une conférence devant la Société industrielle de l'Est, qu'un hectare de forêt produisait moyennement 3.500 kgr. de bois par an. Base d'estimation qui nous permet d'apprécier la production des 10 millions d'hectares de forêts de notre territoire, pour nous en tenir à ce seul aspect de nos ressources.

Mais le bois n'est pas directement fermentescible. Un traitement préalable est indispensable et nécessaire pour en extraire les matières fermentescibles : les sucres.

Hier, dans sa conférence, M. BERTHELOT a traité l'hydrolyse du bois sous ses différents aspects et décrit les modalités des techniques proposées suivant les trois principaux procédés dont nous disposons : BERGIUS, SCHOLLER et MEUNIER. Je n'ai pas à revenir sur ce point.

Ce qu'il nous importe de savoir, c'est que le bois, dont la constitution est somme toute complexe, donne par hydrolyse un mélange de sucres parmi lesquels, pour ne citer que les principaux :



et d'autre part, en proportions plus ou moins importantes, des celluloses très dégradées, solubles, désignées sous le terme vague de dextrines de bois.

La première application dans le temps qu'aient reçu les jus d'hydrolyse du bois a été la fermentation alcoolique.

Mais en fermentation alcoolique, seuls les sucres en C^6 sont fermentescibles. Avec les sucres en C^5 (pentoses) une proportion variable mais importante des sucres échappe à la transformation.

En fermentation aliphatique, fermentation bactérienne, tous les sucres, quelle que soit leur teneur en carbone, toutes les matières hydrocarbonées solubles, sont fermentescibles. Constatation qui situe l'intérêt pratique tout particulier en matière de rendements, que présente l'application des produits d'hydrolyse du bois à la fermentation aliphatique.

Par sa souplesse et ses facilités d'adaptation, la fermentation aliphatique permet de travailler les jus d'hydrolyse en mixte, c'est-à-dire successivement en fermentation alcoolique et par la suite en fermentation aliphatique, ressource qui conduit à la valorisation des pentoses, perdus en fermentation alcoolique.

TABLEAU N° 7

Hydrolyse du bois.

Rendements du Procédé MEUNIER.

	Bois durs Dégradation :		Bois tendres Dégradation :	
	simple	multiple	simple	multiple
Extrait organique soluble				
total	25 %	55 %	30 %	60 %
dont : Sucres en C^6	13	30	18	33
Autres fermentescibles	12	25	12	27
Furfurol	2	2	1	1
Acides formique et acétique	6,5	3,5	4	2
Alcool méthylique et acé-				
tone	1,5	1,0	1	0,75
Lignine	50	35/40	50	33/35
<i>Rendements :</i>	lit.	lit.	lit.	lit.
En alcool éthylique : 400° ..	8 à 9	18	10	25
En cétones	7 à 8	16 à 18	9 à 10	22 à 23
En mixte {	Alcool	12 à 13	25 à 26	12 à 14
	Cétones	12 à 13	25 à 26	12 à 14

Parmi les produits d'exploitation agricole, les matières amylacées constituent au même titre que les sucres naturels ou industriels une matière première abondante, en temps normal du moins. Parmi celles-ci, citons :

- les céréales et leurs sous-produits et déchets,
- les légumineuses,
- les tubercules.

Quelques chiffres pour fixer les idées. Pour 1935, les statistiques de production indiquent :

— pommes de terre	15.000.000 de tonnes	
— topinambours	2.500.000	—
— maïs	600.000	—

production susceptible d'augmentation.

Tous les produits de cette classe, impropres à la consommation parce qu'avariés, trouvent leur débouché dans leur application à la fermentation aliphatique.

Les sucres, les amidons, les dextrines, et différentes matières azotées constituent les fermentescibles.

L'activité du milieu bactérien mis en œuvre permet, en raison de son pouvoir amylolytique de fermenter directement les amidons à l'état solide, c'est-à-dire sans solubilisation ou hydrolyse préalable, comme dans le cas de l'alcool.

Cette ressource présente en industrie une simplification de travail, en même temps qu'une économie appréciable.

A vrai dire, cette catégorie de matières premières ne présente en France qu'un caractère accessoire comme appoint. Dans nos colonies tropicales, Maroc, Afrique occidentale et Afrique équatoriale, elle présente avec le riz, le maïs, le sorgho, la patate, le manioc, etc... et toutes les plantes et les fruits sucrés, la banane par exemple, un intérêt de tout premier plan pour la mise en valeur de ces vastes territoires. C'est là un aspect du problème sur lequel j'aurai à revenir.

Enfin, une dernière source de matières premières des plus intéressantes pour sa qualité et son abondance est à trouver dans la betterave et surtout dans ses sous-produits : mélasses et vinasses de distillerie.

La mélasse de betterave est une matière première de tout premier ordre, composée de sucres : saccharose, glucose aussi, de matières organiques diverses en majeure partie de matières azotées :

les amino-acides de la plante, et d'un salin minéral. Elle est éminemment fermentescible. A ce titre, elle forme un milieu parfait pour la préparation des levains.

TABLEAU N° 8
Analyse de mélasses de betteraves.

Echantillons	I	II
Densité en Baumé	38°	39°
Sucre	47,5	45,6
Réducteurs : Glucose	0,95	0,8
Cendres	9,28	10,48
Matières organiques	22,27	23,67
Eau	26	19,45

Mais la mélasse a trouvé dans la fabrication de l'alcool et dans la préparation de fourrages mélasses une destination sanctionnée par une longue pratique. De ce fait, la fermentation aliphatique ne peut compter qu'occasionnellement sur cette matière première, d'ailleurs chère.

Par contre, dans les colonies, aux Antilles, les vesous et les mélasses de cannes, disponibles en quantités en raison des contingents des rhums, représentent une réserve de matière très importante à travailler de toute évidence sur place.

TABLEAU N° 8 b
Fermentation de la Mélasse de Betteraves
à différentes concentrations.

Concentration en Fermentescibles, exprimée en Glucose, par litre. Acidité, exprimée en Acide butyrique, par litre.

Durée de Fermentation en heures	Acidité en Butyrique pour les Concentrations grammes/litre exprimées en Glucose			
	75	100	125	150
	gr.	gr.	gr.	gr.
24 heures	9,86	6,79	6,79	7,31
48 —	37,52	13,46	11,34	7,20
72 —	46,85	42,08	39,43	16,85
95 —	48,23	57,24	69,00	45,58
144 —	48,54	56,07	71,12	85,22
168 —	53,84	65,40	77,80	92,51
192 —	52,02	64,05	76,50	106,08
Rendement % de la théorie..	141,8	131,0	125,2	144,6

Mais la betterave met à notre disposition une autre source fort intéressante de matière première, trouvée dans le résidu même de la fermentation alcoolique des jus sucrés et des mélasses ; résidu d'usine bien encombrant et sans grande valeur, connu sous le nom de vinasses. Les distilleries de betteraves s'en débarrassent généralement par épandage, irrigations ou puits perdus.

Les distilleries de mélasses, adjacentes dans la plupart des cas à la sucrerie productrice de mélasses et disposant d'un matériel adapté, ont été amenées à tirer un certain parti de leurs vinasses soit par récupération du salin potassique par destruction de la matière organique, soit en les utilisant à la préparation d'engrais azoto-potassiques, à base d'une matière absorbante comme la tourbe.

Constituées par tous les non-sucre de la betterave : non-sucre minéraux (le salin) et non-sucre organiques (hydrates de carbone divers) résidus de sucres et surtout le complexe d'organates azotés de la plante parmi lesquels les amino-acides et la bétaine ou triméthylglycocolle figurent en quantités prédominantes, les vinasses, milieu essentiellement hétérogène, constituent pour la fermentation aliphatique une excellente matière dont l'exploitation valorise la matière organique perdue dans la technique de récupération du salin, mal utilisée comme engrais.

Ajoutons qu'au cours de son processus, la fermentation aliphatique permet des récupérations importantes ; l'azote sous la forme ammoniacale et le salin potassique. Deux éléments à la base d'une préparation rationnelle d'engrais composés.

TABLEAU N° 9

Vinasses

Densité à 38°8 B ^é	1,367
Matières sèches totales.....	75,20 %
Cendres.....	25,84
Matières organiques	99,36
Azote total	3,36

*Rendements en fermentation aliphatique.*Par tonne à 38°8 B^é de matières organiques

	200 à 250 kgr.	400 à 500 kgr.
Acides totaux.....		
Cétones	150 à 175 lit.	300 à 350 lit.

Récupérations.

Potasse en K^2O	100 à 120 kgr.	200 à 250 kgr.
Potasse en SO^4K^2	185 à 225 kgr.	370 à 450 kgr.
Azote ammoniacal.....	15 à 20 kgr.	30 à 40 kgr.
Azote organique.....	20 à 25 kgr.	40 à 50 kgr.
Glycérine	12 à 20 kgr.	25 à 40 kgr.

Cette analyse est représentative, à la concentration près, de la composition pratique des vinasses.

Pour montrer l'appoint important méritant d'être pris en sérieuse et objective considération que la fermentation aliphatique est susceptible de trouver dans l'exploitation des vinasses, il n'est besoin que de consulter les statistiques officielles.

En 1937-1938, années d'activité très moyenne, on a produit à partir de la betterave : 2.686.409 hectolitres d'alcool dont :

2.160.017 Hl. à partir de la betterave
et 526.392 Hl. à partir des mélasses.

L'exploitation en aliphatique des vinasses de mélasses, plus intéressantes à travailler que les vinasses de betteraves, comme plus riches et aussi plus faciles à collecter, aurait pu donner :

120.000 Hl. de cétones, et conduire à la récupération de :

Sulfate de potasse	15.000 tonnes environ		
Azote ammoniacale	1.300	—	—
Azote organique	1.600	—	—
Glycérine !.....	1.000	—	—

Les vinasses de betteraves et de mélasses sont par conséquent pour leur propre compte susceptibles de mettre à notre disposition des matières qui nous font lourdement défaut, dans les circonstances actuelles : un carburant de grande classe en même temps que des engrais.

Ceci dit, et en tenant compte de ce fait qu'à la phase d'extraction des sels de fermentation, le Procédé Lefranc utilise tout le gros matériel de sucrerie de la carbonatation à la cuite — industrie dont, d'ailleurs, il s'est largement inspiré — et enfin de cet autre fait que la sucrerie, industrie vraiment privilégiée, garde son matériel inutilisé pendant les $\frac{3}{4}$ de l'année, on conviendra avec moi que dans le cadre de l'utilisation d'une sucrerie ou de sucreries pendant l'inter-campagne de sucre, on a entre les mains, maintenant que les céto-

nes ont fait leurs preuves, une ressource immédiate à disposition, qu'il conviendrait dans un intérêt qui est le nôtre, de mettre à contribution.

Dans les circonstances actuelles, en matière de production de cétones, il n'est pas de solution plus facile, plus rapide et plus certaine que l'exploitation de sous-produits de la betterave : mélasses et vinasses plus particulièrement, suivant les moyens préconisés.

Je termine cet exposé, forcément très condensé et très rapide, en montrant sous nos yeux un tableau de rendements dans le cas de différentes matières premières types.

TABLEAU N° 10

Rendements moyens de diverses matières d'origine ou dérivés agricoles en carburants par voie de fermentation unique ou successive. — (Alcool/Cétones).

	Rendements de matière (%) Fermentation unique		Rendements % de matière Fermentation successive			Rendements en calories % de matière en milliers de calories		
	Alcool	Cé- tones	Alcool 100	Cé- tones	Mixte total	Alcool	Cé- tones	Mixte total
Mélasses de sucre- rie.....	270	180	270	60	330	1400	1305	1835
Vinasses à 12° Bé.		50		50			362	
Betteraves à sucre.	105	80	105	10	115	545	580	610
Blé.....	355	240	355	25	380	1840	1740	2020
	400	270	400	30	430	2080	1960	2360
Maïs	400	270	400	30	430	2080	1960	2360
Sucre de Bois. Meu- nier.....	250	350	250	225	475	1800	2540	2940
Sucre de Bois- Scholler	370	350	370	155	525	1920	2540	3040
Riz	430	300	430	15	445	2240	2175	2350

* * *

Avant de conclure un point très important en lui-même me reste à préciser.

La fermentation aliphatique Lefranc, dont je vous ai précisé le concept initial, met en œuvre suivant le mécanisme décrit, un complexe bactérien capable d'activités diverses et après et par adaptation au milieu et aux conditions d'évolution, de transformer les hydrates de carbone les plus divers, en acides aliphatiques, parmi lesquels, en proportions toujours prédominantes, les deux acides butyriques (*—n* et *iso*).

Complexité du milieu bactérien et hétérogénéité des fermentescibles intervenant de toute évidence dans la répartition chimique du mélange d'acides obtenus, circonstance favorable à la production d'une variété de cétones.

Du fait de son adaptation à la fonction par acclimatation à la température d'évolution imposée, la fermentation évolue directement en aliphatique sans passer par la phase lactique intermédiaire, suivant une technique classique bien connue, qui juxtapose dans le temps les deux fermentations successivement.

Deux faits d'ordre pratique sont à cet égard, parfaitement clairs et démonstratifs.

Les écumes de sucrerie, employés si avantageusement comme agent de saturation, sont particulièrement infectées par le *B Lactis Aërogènes*. Elles contaminent de ce fait très facilement les moutts de mélasse, milieu particulièrement accessible à la fermentation lactique, en deçà d'une certaine température d'évolution, au delà de laquelle l'activité aliphatique a toujours l'ascendance.

L'infection lactique est d'ailleurs pratiquement la seule contamination que soient susceptibles de connaître certains milieux en fermentation aliphatique, lorsque les conditions de température sélectives de la fonction aliphatique ne sont pas observées.

Autre fait, plus caractéristique sans doute encore, les vinasses, qui ne contiennent pratiquement pas de sucres, fermentent directement en aliphatique, sans passer par une phase lactique intermédiaire, puisque les sucres nécessaires sont absents.

J'ajouterai enfin qu'aucune fermentation de bacilles purs sélectionnés n'est expérimentalement parvenue à donner des résultats techniques. Et ceci vient encore à l'appui du concept du mécanisme biologique de la symbiose mise en œuvre.

* * *

Conclusion.

Ces procédés ont leur histoire. Chaque chose a son histoire. Nous aussi nous avons notre histoire. Les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets.

Sans doute ont-ils eu le tort de venir trop tôt dans un monde trop jeune et surtout à une époque trop facile... En ce temps-là, d'ailleurs, il n'était pas question d'indice d'octane et le travail qui, à

tout prendre, n'est en définitive qu'un moyen, n'a eu à vrai dire d'autre valeur que d'être pris pour prétexte.

Quoi qu'il en soit, au cours de leur histoire, pour avoir fait preuve de robustesse et... de bonne volonté, ils ont su conserver toute leur vitalité, parce qu'ils sont sains et solides.

Les circonstances que nous traversons leur ont rendu un intérêt nouveau.

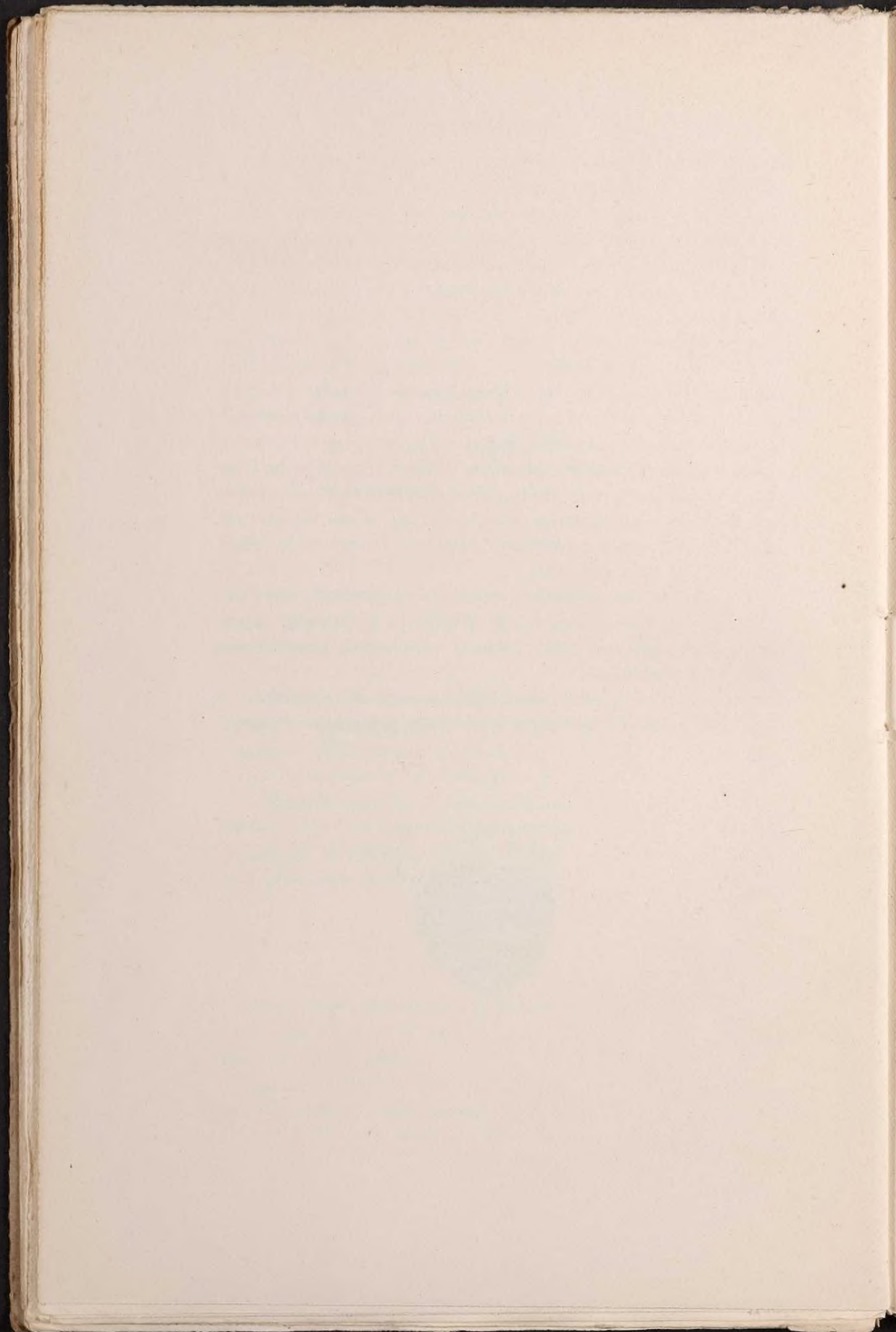
Aujourd'hui, une Société fondée par M. Ph. NALDI, aux qualités d'animateur de qui je dois rendre hommage : la Société *Synthèse et Fermentation* sur l'activité réalisatrice de laquelle je compte beaucoup, a repris en mains la destinée de tout ce travail accumulé.

Mais créer une production de cet ordre, une usine destinée à traiter le bois est décidée ; une autre, destinée à travailler les sous-produits de la betterave dans le cadre de l'utilisation d'une sucrerie, est en projet — contruire et organiser l'usine, la mettre en route, stabiliser son régime, constituent à n'en pas douter un réel effort, plus rude encore aujourd'hui.

Aujourd'hui, des moyens sanctionnés par la pratique sont à disposition pour faire quelque chose d'utilité et de nécessité démontrées ; il ne s'agit que de le vouloir et de le vouloir objectivement dans le plan technique.

Pour ma part, parce qu'aujourd'hui il s'agit de travailler et de produire, à l'effort d'intérêt national à faire je réponds : Présent.





L'HYDROLYSE DES MATIÈRES CELLULOSIQUES

par Ch. BERTHELOT

Ingénieur-Conseil

Vice-président de la section des Carburants et Lubrifiants
de la Société des Ingénieurs de l'Automobile.

I. — Objet de l'hydrolyse de la cellulose.

L'hydrolyse, ou saccharification du bois, ou plus généralement des matières cellulosiques, étudiée, dès 1819, par le chimiste français Braconnot, a pour objet de convertir les hydrates de carbone complexes du bois en hydrates de carbone plus simples, pour la plupart, des sucres, qui sont solubles dans l'eau et qui, par fermentation, donneront comme produit principal l'alcool éthylique. Chimiquement, cela revient à soumettre à une « hydratation » les hydrates de carbone à haut poids moléculaire de manière à les dissocier en corps à faible poids moléculaire. Le glucose paraît être le terme final de cette transformation.

Nous verrons que les opérations de fermentation qui succèdent à l'hydrolyse peuvent être conduites de manière à obtenir soit de l'alcool éthylique, soit des acides gras (type acide butyrique) qu'on transformera en cétones lesquels constituent des carburants de choix à cause de leur pouvoir indétonant élevé, soit couramment plus de 100. La technique et les caractéristiques correspondantes seront étudiées par M. LEFRANC.

Pratiquement, parce que le bois, comme la plupart des produits naturels, ne constitue pas une substance chimique dé finie, mais un complexe dont la composition et la structure varient considérablement avec l'essence forestière (arbre feuillu ou conifères), avec le sol où l'arbre a poussé et aussi avec le climat, la saccharification engendre des mélanges de sucres de caractères chimiques très différents, ce qui rend très difficile l'identification des divers corps qui se sont formés.

Au point de vue économique, cette saccharification permet une

meilleure utilisation du bois parce qu'elle en transforme les déchets en produits de valeur. Cette opération présente un très grand intérêt pour les grands pays forestiers. Ils y trouveront une source, considérable et d'aménagement rapide, aussi bien d'alcool carburant que d'autres produits essentiels qui leur manquent. Citons, entre autres, les fourrages artificiels, dénommés « provendes », et des sucres pour l'alimentation du bétail.

Les diverses essences forestières se prêtent, à des degrés divers, à la saccharification mais, en général, on préfère les bois résineux ou tendres, à cause de leur abondance, de leur faible prix d'achat et de leur rendement plus élevé en sucres.

En sus de la préparation de carburants : alcool et cétones, par hydrolyse directe des matières cellulosiques, il existe une autre méthode moins connue bien que d'un intérêt certain. Elle consiste à extraire l'alcool des sous-produits de la cellulose, c'est-à-dire des liqueurs noires de papeteries qui, à côté de la lignine dissoute, contiennent les sucres et les osanes, solubles ou solubilisées dans les lessives servant au traitement du bois. Cet alcool, en raison de son origine, est dit alcool au sulfite. Nous indiquerons les perfectionnements apportés à sa préparation.

II. — Intérêt de l'hydrolyse des matières cellulosiques.

L'hydrolyse des matières cellulosiques dont nous allons indiquer le principe et étudier les réactions constitue une méthode d'application relativement rapide, particulièrement adaptée aux ressources et besoins actuels de l'Europe continentale, notamment de la France, de l'Allemagne, de l'Italie et de l'Espagne, en vue de la préparation, en quantités massives, de l'alcool éthylique et de cétones. Cette industrie peut également mettre à notre disposition des aliments sucrés pour l'alimentation du bétail et qu'on dénomme « provende », des sous-produits que nous importons des Etats-Unis, jusqu'ici, furfural et acétate de cellulose et une matière : la lignine qui présente une gamme étendue d'utilisations : support d'engrais chimiques, agglomérés pour gazogènes, etc...

En admettant, par exemple, que l'on soumette à l'hydrolyse un million de tonnes de bois ce qui correspond à 6,25 % environ et seulement de nos disponibilités en bois, estimés à 16 millions de tonnes et en se basant sur un rendement de 200 l. d'alcool par tonne

de bois, ce qui est à la portée de la plupart des procédés connus, on obtiendrait 2 millions d'hectolitres d'alcool en sus des quantités fournies par le traitement de la betterave (1). On doublerait ainsi la production nationale d'alcool, prévue égale à 2 millions d'hectolitres pour la campagne 1941-1942 et probablement aussi pour chacune des deux ou trois campagnes, consécutives à l'année au cours de laquelle les hostilités prendront fin (2) (3).

En outre, l'alcool représentant la matière première indispensable à de nombreuses fabrications ou préparations dans les industries chimiques et pharmaceutiques, on conçoit l'importance du développement rapide de l'industrie de la saccharification des matières cellulosiques. C'est ainsi que, pour la campagne 1937-1938 qui a donné 3 millions d'hl., il n'y en a eu que 1,36 million, soit 44 % de l'ensemble qui ont été utilisés comme carburant.

III. — Technique de la saccharification des matières cellulosiques.

Comme le montre le schéma de la *figure 1*, cette technique comporte quatre stades essentiels :

(1) Toutes ces estimations se rapportent à une année et à du bois considéré comme entièrement sec.

(2) Actuellement, on envisage la création de distilleries produisant chacune 40.000 hl. d'alcool au cours d'une campagne betteravière de 80 jours de durée. Ceci correspond au traitement de 500 t. de betteraves par jour, en se basant sur un rendement d'un hectolitre d'alcool par tonne de betteraves à 18 % de sucre comme c'est le cas courant, aujourd'hui. La récolte de betteraves atteignant, en moyenne, 25 t. par hectare et par an, il convient de disposer d'une superficie de 1.600 ha., emblavée en betteraves, pour alimenter cette usine au cours d'une campagne. De nos jours, cela correspond à un effort très difficile à réaliser puisqu'on manque de main-d'œuvre, de carburants, d'engrais et de moyens de transport.

D'autre part, la création d'une distillerie de betteraves nécessite des capitaux élevés. Aujourd'hui, on les évalue à fr. : 400 par hectolitre d'alcool obtenu au cours d'une campagne, ce qui correspond à 16 millions de francs pour l'exemple que nous venons de considérer.

Les distilleries de sorgho constitueraient un appoint précieux mais leur ravitaillement représente également une œuvre de longue haleine. En effet, pour approvisionner en sorgho une distillerie donnant également 40.000 hl. d'alcool par an, il faudrait emblaver 2.000 ha en sorgho.

Pour ces diverses raisons, l'hydrolyse des matières cellulosiques que nous définirons, représente le moyen le plus rapide pour mettre à notre disposition des quantités massives d'alcool, surtout si cette hydrolyse porte sur des déchets de matières cellulosiques (déchets de scierie, tiges de maïs ou de topinambour, marcs de pomme ou de raisin, etc.).

(3) L'alcool carburant. Commentaire des conférences sur l'alcool présentées à la Société des Ingénieurs de l'Automobile. Génie civil, 1^{er} et 15 mai, 1^{er} juin 1943.

1° La saccharification ou hydrolyse proprement dite, qui fournit des sucres ou autres corps fermentescibles, des produits de la destruction de ces sucres et un résidu ligneux.

2° La fermentation des sucres ainsi obtenus, qui peut-être : une fermentation éthylique, produisant l'alcool ; une fermentation cétobutylique, donnant un mélange d'acétone et d'alcool butylique (procédé Weizmann) ; une fermentation aliphatique (LEFRANC)

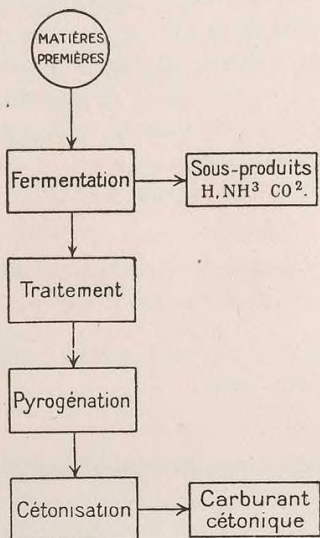


FIG. 1. — Schéma de la fermentation aliphatique.

conduisant à des acides aliphatiques pouvant être convertis en cétones.

3° La récupération, la séparation et la rectification des produits volatils provenant des réactions parasites de la destruction des sucres. Ces produits sont utilisés comme carburants liquides (alcools et cétones), comme solvants (cétones ou éthers), comme produits chimiques (acides organiques) ou comme carburant solide (lignine).

4° Le traitement des produits et sous-produits de la saccharification en vue de leurs diverses utilisations.

Cet ensemble de fabrications est représenté par le schéma de la figure 2. Celle-ci fait ressortir que, par fermentation, les sucres et

L'amidon peuvent aussi concourir — ce qui est classique — à la préparation de l'alcool éthylique et des carburants cétoniques. Evidemment, ils n'engendrent pas de lignine comme les matières cellulosiques.

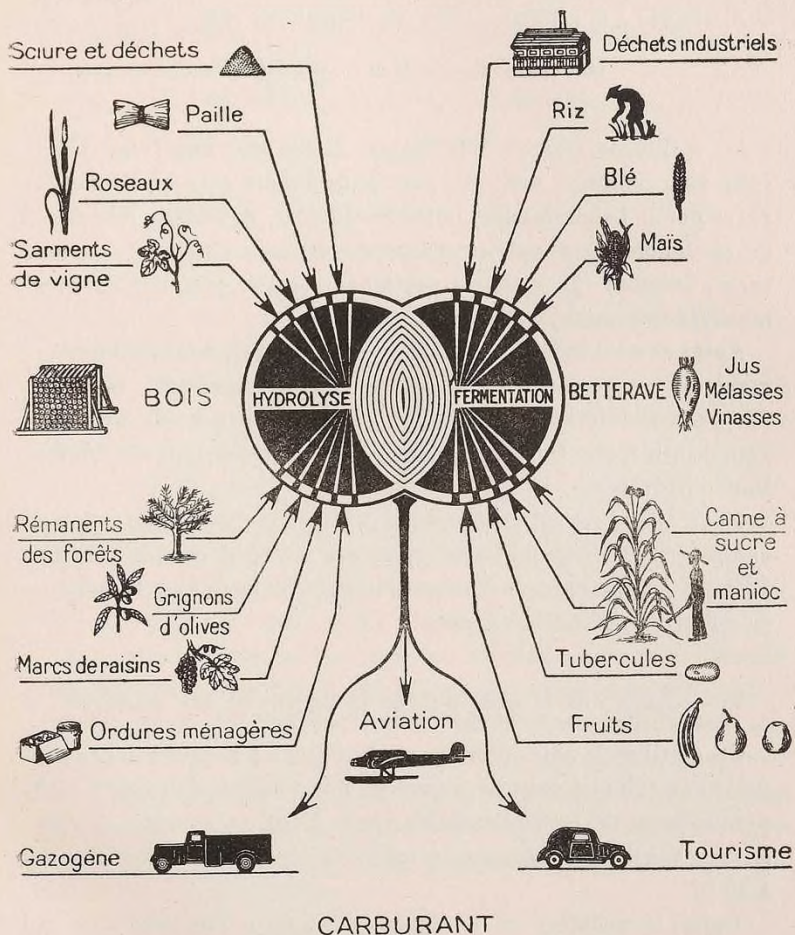


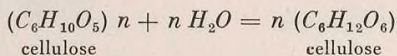
FIG. 2. — Schéma d'utilisation des matières agricoles pour la production de carburants éthyliques et cétoniques.

IV. — Principes des procédés de saccharification.

De nombreux moyens conviennent à la saccharification des matières cellulosiques, d'où plusieurs centaines de procédés proposés ou essayés. Ces procédés se différencient tout d'abord par la

concentration de l'acide employé ; ce facteur exerce une influence beaucoup plus marquée sur le rendement en sucres que la nature chimique des acides : sulfurique, sulfureux, chlorhydrique, fluorhydrique, employés seuls ou en mélange.

Appliquée à la cellulose, cette réaction s'écrit comme suit :



En réalité, la réaction d'hydrolyse a lieu sous une forme beaucoup plus complexe que celle dont nous venons d'écrire l'équation parce que le bois renferme, outre la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine, sans oublier d'autres composés : tannins, résines, sucres (osanes) (1), matières pectiques, résines, gommés, essences, matières colorantes, etc...

Après avoir étudié la technique de l'hydrolyse, nous indiquerons comment on peut utiliser la lignine laquelle représente en poids, 33 % environ du bois anhydre mis en œuvre. Son mode de valorisation influe, par conséquent, sur le bilan économique de l'opération d'hydrolyse.

Nous allons rappeler la forme sous laquelle la cellulose se rencontre dans le bois dont elle représente le constituant le plus important. Auparavant, montrons comment la lignine et la cellulose se différencient l'une de l'autre :

V. — Rappel de la définition de la lignine et des celluloses.

On attribue le nom, d'une part, de *lignine* à l'ensemble des produits non solubles dans l'eau pure qu'une solution de soude à 10 % peut extraire du bois à l'autoclave puis, d'autre part, celui de *cellulose* au constituant résistant à ladite action d'une lessive alcaline à 10 %.

Entre la cellulose et la lignine s'intercale l'*hémicellulose* qui représente les portions de bois les plus difficilement solubles dans l'eau ou dans les alcalis faibles. Parmi ces hémicelluloses, figure l'amidon qui existe souvent dans le bois.

(1) On désigne sous le nom d'*osanes* des polymères des oses ou glucoses, ils sont non hydrolysables et se subdivisent en *aldoses*, sucres à fonction aldéhydrique et en *cétones* à fonction cétonique de poids moléculaire élevé ; *hexosanes* $(C_6H_{10}O_5)_n$; *méthylpentosanes* $(CH_3 - C_5H_8O_4)_n$ et *pentosanes* $(C_5H_8O_4)_n$.

VI. — Différenciation des celluloses.

Il n'existe pas une cellulose mais des celluloses. Toutes sont des glucosanes ($C_6H_{10}O_5$) n plus ou moins fortement condensées, les différentes valeurs possibles de « n » permettent l'existence d'un certain nombre de familles de celluloses.

Dans la pratique, on distingue trois sortes de cellulose du bois :

1° *La cellulose* α , cellulose normale, résistant aux alcalis et aux oxydants.

2° *La cellulose* β , assez facilement hydrolysable et solubilisée par les oxydants énergiques (cette catégorie comprend les oxycelluloses).

3° *La cellulose* γ qui englobe les hémicelluloses, en général non fibreuses aisément hydrolysable (hexosanes et pentosanes).

Cette complexité de la composition du bois laquelle varie considérablement, d'une essence à une autre et avec les régions dont elles proviennent, permet déjà d'entrevoir les difficultés pratiques que l'on rencontre pour hydrolyser la cellulose. Le savant allemand BERGIUS, inventeur d'une méthode d'hydrolyse sur laquelle nous reviendrons plus loin, a indiqué que la technique correspondante lui a causé plus de souci que celle de l'hydrogénation de la houille qu'il a créée et qui a justement illustré son nom.

En outre, les bois contiennent des *oxycelluloses* lesquels dérivent des celluloses par oxydation et qui sont plus attaquables que celles-ci par les agents d'hydrolyse ou d'oxydation. Les oxycelluloses contiennent, dans leur formule, des fonctions cétoniques et souvent des groupes méthoxyles (OCH_3). Par distillation avec une solution d'acide chlorhydrique, ils donnent du furfural. Nous reviendrons sur ce composé qui représente un sous-produit de grande valeur de l'hydrolyse de la cellulose.

VII. — Celluloses des différentes essences.

Le professeur G. BERTRAND, membre de l'Institut, a montré que les résineux ou conifères (pins et sapins) renferment surtout des hexosanes (cellulose γ) et des quantités plus réduites de pentosanes. Les uns et les autres fournissent, par hydrolyse, des sucres dont les premiers : les hexoses sont fermentescibles par la levure tandis que les seconds : les pentoses ne le sont pas.

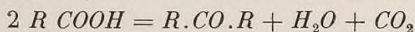
Quant aux feuillus (chêne, châtaignier, hêtre), ils contiennent une forte proportion de pentosanes de telle sorte que, par hydrolyse, ils engendrent une quantité élevée de pentoses ou autrement dit de sucres non fermentescibles par la levure.

En moyenne, les conifères fournissent 40 % de la substance sèche du bois sous forme de sucres fermentescibles et 10 % de pentoses non fermentescibles.

Quant aux feuillus, ils donnent environ 35 % de sucres fermentescibles et 20 % de sucres non fermentescibles.

Cette différence dans la nature des sucres obtenus offre une importance capitale. Elle signifie que, pour obtenir de l'alcool éthylique avec un rendement convenable, on soumettra à l'hydrolyse des résineux et non pas des feuillus. Ce choix se recommande, d'autant plus, que les résineux s'achètent généralement à un prix plus bas que les feuillus.

Une autre remarque s'impose. Elle tient au fait, comme le montre l'exemple ci-dessus, que l'hydrolyse fournit toujours des sucres pentoses non fermentescibles en alcool éthylique soit environ 20 % de l'ensemble quand on part des conifères et 36,3 % si on traite des feuillus. On risquerait donc de laisser inutilisée une importante proportion des sucres formés. Heureusement, on tourne cette difficulté, comme l'a établi M. NALDI, en soumettant tous les sucres non plus à une fermentation éthylique mais à une fermentation aliphatique, génératrice d'acides gras desquels dériveront des cétones soit par pyrolyse, à 420°, des sels de chaux correspondant qui auront été formés par ces acides gras à la suite de leur mise en contact avec de la chaux, soit par dédoublement catalytique de ces mêmes acides gras amenés à l'état de vapeurs, en présence d'un catalyseur tel que la thorine. Il se forme la réaction que voici :



Nous ne nous étendrons pas ici sur la fabrication des cétones non plus que sur les avantages, d'ailleurs précieux, de ces corps comme carburants liquides puisque ce sujet sera traité par notre collègue M. LEFRANC, grand spécialiste de la question.

Spécifions seulement que cette fermentation aliphatique dite aussi butyrique, laquelle porte sur tous les sucres, donne lieu à un rendement volumétrique en cétones carburants égal à celui qu'on obtiendrait, sous la forme d'alcool, en recourant à la fermentation

éthylque. Ce résultat nécessite une explication à cause de son aspect paradoxal puisque la quantité de sucres fermentescibles par la voie butyrique est usuellement de l'ordre de 130 % de la quantité de sucres fermentescibles par la voie alcoolique. C'est que, relativement à la matière première, la quantité de cétones produite représente environ 75 % de la quantité d'alcool engendré, en se basant sur un rendement de transformation butyrique égal à 50 % du rendement obtenu par la fermentation alcoolique (1).

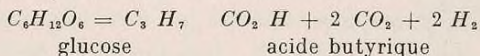
En compensation de ce rendement plus faible, la fermentation aliphatique présente deux avantages majeurs :

1° Le pouvoir calorifique supérieur au litre de cétones est de 7.250, c'est-à-dire de 30 % supérieur à celui de l'alcool : 5.200.

2° Les cétones peuvent se préparer à partir de matières inaptes à la fermentation alcoolique : vinasses de betteraves, graines avariées, etc.

Par conséquent, pour intensifier la production de carburants à partir des végétaux, il convient de centraliser les déchets de toutes sortes (roseaux, sciures, marcs, tourbe, tiges de maïs et de sorgho) afin de les transformer en cétones, en passant par l'intermédiaire de l'hydrolyse. Ce mode opératoire donnera des résultats plus efficaces et plus rapides qu'en recherchant une extension temporaire

(1) L'équation de PASTEUR permet de calculer le rendement théorique en acide butyrique de doses et de l'amidon, savoir :



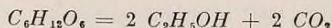
de telle sorte que :

100 de glucose	donnent	50 %	environ d'acide butyrique.
— de saccharose	—	51,5 %	—
— d'amidon	—	54 %	—

À côté de l'acide butyrique, on recueille d'autres acides gras : acétique, propionique, isobutyrique, d'un poids moléculaire généralement moins élevé.

Toujours par 100 kgr. de glucose, on recueille, en même temps, comme le montre l'équation susdite de PASTEUR : 31 m³ de CO₂ et 25 m³ environ de H₂ utilisables pour la fabrication du méthanol suivant les méthodes connues. C'est important puisqu'une usine produisant 1.000 t. de glucose par jour donnerait, en même temps, 250.000 m³ d'hydrogène.

Quant à la fermentation éthylque, elle a théoriquement lieu suivant la réaction :



laquelle donne lieu à un rendement de 50 % en alcool (Voir Zédet, *Les alcools carburants*. Conférence du 28 juin 1941 à l'Association Française des Techniciens du Pétrole).

et actuellement difficile à réaliser de la culture de plantes alcoologènes (1).

Ces considérations présentent un intérêt primordial parce qu'elles montrent l'orientation à donner à la technique de l'hydrolyse, relativement au choix de la matière première et à la nature des produits à préparer.

VIII. — Enchaînement des réactions de saccharification de la cellulose.

M. MEUNIER a montré (2) que la saccharification comporte deux réactions successives : dans la première, il y a fixation d'eau et formation de sucres solubles ; l'autre est une déshydratation qui s'exerce sur les sucres réducteurs ainsi formés. Cette seconde réaction est nuisible, car elle se traduit par la destruction des sucres formés et cela dès leur formation ; d'où la nécessité de dégradations successives et distinctes de la cellulose, respectivement suivies de l'élimination des sucres réducteurs formés. Les rendements en sucres et en acides organiques (acétique et formique), en méthylène, en acétone et en furfural dépendent donc de l'habileté plus ou moins grande avec laquelle on réalise et échelonne ces dégradations et éliminations.

M. MEUNIER a encore indiqué comment, au moyen de « graphiques d'hydrolyse », on pouvait représenter la double action et, par suite, déterminer, à partir des courbes, les vitesses respectives des deux réactions principales, vitesses qui sont fonction des trois variables indépendantes suivantes : concentration de la solution hydrolysante, température et durée d'action pour un acide hydrolyseur donné. Un premier exposé de sa méthode a été fait lors du Congrès des Combustibles liquides de 1923.

Deux formes principales d'exécution doivent être retenues :

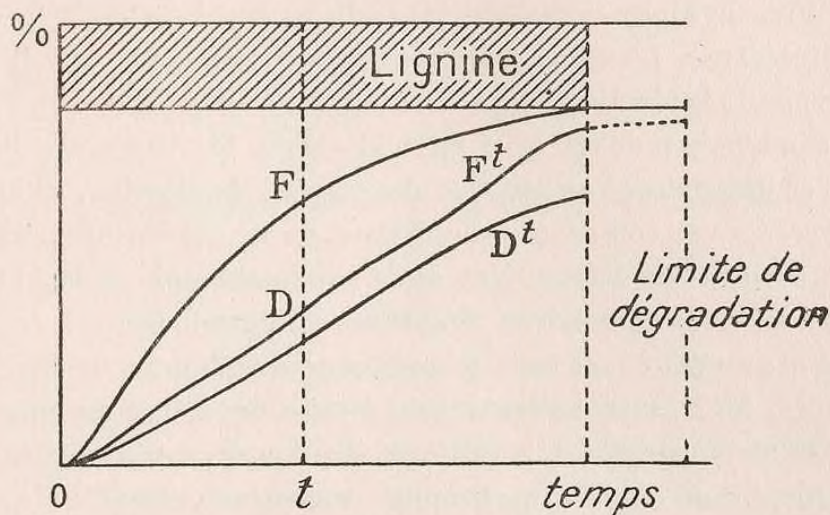
- L'hydrolyse en un temps.
- L'hydrolyse par dégradations successives.

Le graphique de la *figure 3* représente l'une et l'autre forme.

(1) Une extension de ces cultures impliquera nécessairement le recours à la motoculture lequel comporte, d'ailleurs, de grands avantages comme M. BARATTE l'a montré à la Société des Ingénieurs de l'Automobile (février 1943).

(2) Compte rendu des travaux de l'Académie des Sciences, avril 1922.

Suivant le premier mode, on obtient simultanément des sucres fermentescibles et leurs produits de destruction ou bien des produits



Graphique d'hydrolyse en un temps.

f. Courbe de solubilisation ou de dégradation.
Ft, Dt. mesurent les pourcentages respectifs de sucre formé puis détruit.
D. Courbe de destruction à l'époque *t*. Le sucre en *C₁* resté dans l'extrait est mesuré par l'intervalle compris entre les deux courbes *J* et *D*.

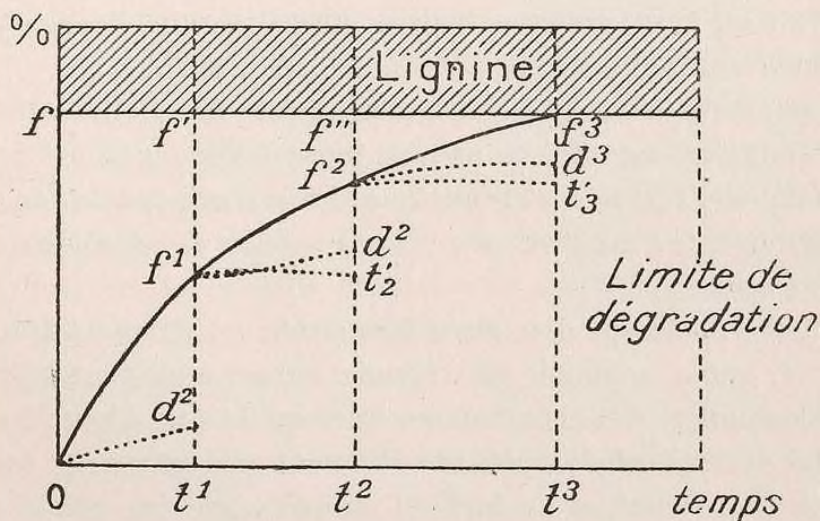


FIG. 3. — Statique des réactions d'hydrolyse (d'après MEUNIER).

Graphique d'hydrolyse par « dégradations successives ».

Sucre restant :
 $f, d, + 1/2 d_2 + f_3 d_3$
 on traite successivement
 of puis f, f' puis $f_2 f''$

Sucre détruit
 $t, d, + t_2 d_2 + t'_3 d_3$

de destruction, seuls. Ceux-ci peuvent être plus avantageux à la vente que l'alcool (1).

(1) En janvier 1943, les uns et les autres valent environ 8 fr. le litre mais ce n'est là qu'une indication générale.

La seconde forme conduit à l'obtention de sucres à haut rendement ; ce qui la caractérise, c'est qu'on prend comme matière première d'une hydrolyse suivante, le résidu *lavé* provenant de l'hydrolyse précédente. L'augmentation de rendement valide, d'ailleurs, l'existence de la réaction de destruction.

La combinaison de ces deux méthodes dont les conditions d'exécution se déterminent en fonction des vitesses de réaction, donnent aux procédés une très grande souplesse et ne les enferment pas dans le cadre rigide de l'obtention, seule, du maximum d'alcool. La seconde méthode permettrait, d'ailleurs, de l'atteindre.

Lors des études ayant trait à la réalisation technique de ces deux méthodes, M. MEUNIER s'est attaché à créer des usines qui, *avec un seul et même appareillage*, permettent d'exécuter, conjointement ou séparément, à un moment quelconque, toutes les formes d'exécution cela avec un minimum de dépense de calories, la lignine résiduaire suffisant, à elle seule, à fournir les calories et l'énergie nécessitées par les usines et il en resterait même un certain excédent d'où l'affranchissement d'un apport de combustible extérieur, ce qui représente un autre avantage majeur, à cette époque-ci principalement, où le charbon fait défaut.

Les appareils essentiels et caractéristiques du traitement sont des hydrolyseurs rotatifs, en métaux inoxydables ou en fer doublé de plomb, où *l'hydrolyse s'exécute en présence d'une quantité de solution hydrolysante n'excédant pas 1,5 fois le poids de la matière sèche mise en œuvre*.

Un juste hommage doit aussi être rendu au chimiste français Tournel, qui a accompli des travaux remarquables sur l'hydrolyse de la cellulose. Cet inventeur a montré qu'il faut toujours hydrolyser des déchets cellulosiques et qu'il vaut souvent mieux donner le pas à la préparation du furfural qui se vend cher plutôt qu'à l'alcool dont le prix de vente est souvent peu rémunérateur. Nous reviendrons plus loin sur les travaux de M. Tournel.

Il est opportun de remarquer que la technique de l'hydrolyse n'a pas eu seulement à vaincre de très grandes difficultés d'ordre chimique : complexité et irrégularités étendues de la nature de la matière première, résistance de la cellulose aux réactifs chimiques, intervention dans toute sa puissance du phénomène de réversion (1)

(1) Par exemple, quand on traite 100 kgr. de grains de maïs, on obtient de 36 à 40 litres d'alcool ou seulement 32-34 litres, soit une différence de

et d'impuretés freinant les réactions mais encore des obstacles d'ordre physique. Ils ont pour cause la faible densité du bois et son faible rendement volumétrique en alcool : 200 litres environ par tonne de bois ce qui ne correspond qu'à 6 %, voire même à 2 % seulement quand on traite des produits tels que les sciures.

IX. — Dispositions contre le phénomène de réversion.

Les travaux précités de M. MEUNIER mettent nettement en évidence la juxtaposition de deux réactions au cours de l'hydrolyse. La première, la réaction hydrolysante, fournit surtout des sucres solubles ; puis, presque aussitôt et parallèlement, mais avec une vitesse inférieure, une seconde réaction s'exerce sur les sucres qui se sont formés et qui subissent une déshydratation. Cette réaction, très complexe, engendre, d'une part, des produits volatils tels que de l'alcool méthylique, des furanes, de l'acide formique, etc... et, d'autre part, des insolubles constitués par les acides lévulique et humique qui se fixent sur le résidu.

Pour éviter ou atténuer plus ou moins cette destruction de sucres, on procède à des attaques successives de courte durée pendant lesquelles la réaction parasite ne s'exerce que très faiblement. Autrement dit, au lieu de la traiter pendant un temps ininterrompu t , on opère n traitements successifs ayant chacun une durée t/n . Il en résulte que la matière lavée, provenant d'une attaque précédente, devient la matière première de l'attaque suivante. Par lavage, on enlève les sucres formés pour atténuer leur destruction qui reste partielle.

C'est grâce à la connaissance de ces deux réactions de vitesses différentes que, au cours des deux dernières décades, on a pu mettre au point des procédés donnant 20 litres d'alcool par 100 kgr. de bois sec, alors que, précédemment, on dépassait rarement 8 litres. Le rendement théorique, en l'absence de la seconde réaction, varierait de 22 à 26 litres selon les essences (fig. 4).

Si elles étaient strictement appliquées, les dégradations successives conduiraient à une évacuation automatique et presque continue des sucres. En pratique, on n'y est pas encore parvenu.

15 à 20 % suivant qu'on travaille par les procédés microbiens ou par les acides. Ceci provient de ce que les acides transforment des sucres en une sorte de caramel, rebelle à toute fermentation.

En d'autres termes, quelque 50 minutes (1) après avoir traité la matière cellulosique par un acide, on retire celui-ci pour éviter la destruction des sucres puis on remet de l'acide que l'on enlève quelque 50 minutes plus tard. L'opération d'hydrolyse correspond ainsi à une suite de percolations (2) lesquelles ont lieu soit dans une

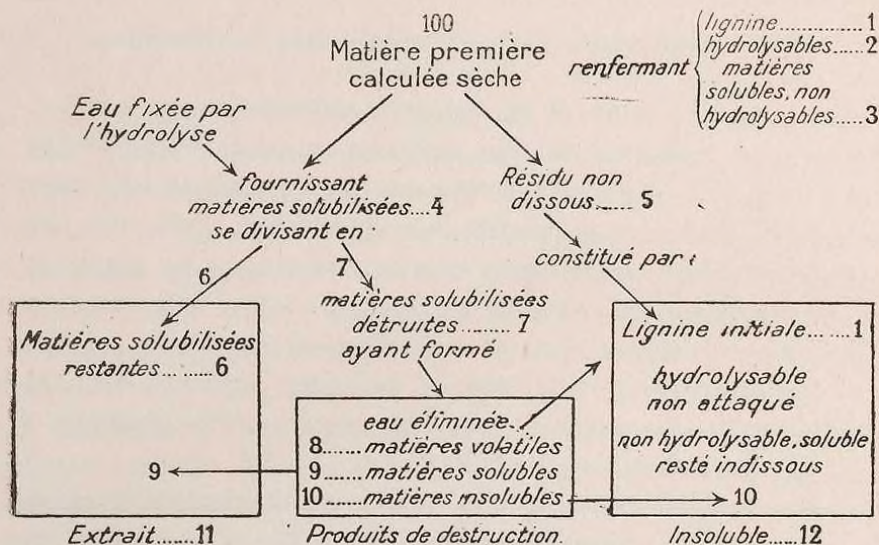


FIG. 4. — Statique des réactions d'hydrolyse (D'après MEUNIER).

1. Par dosage direct. Le produit obtenu est considéré comme inattaquable par l'acide.
2. Idem.
3. Par différence : $100 - (1 + 2)$.
4. Sucre et une partie de 3. I. Réaction d'hydrolyse.
- 5.
6. Sucres réducteurs et une portion de 3. (Sucres dosés selon Bertrand).
7. Produits de destruction fournis par déshydratation des sucres et de 3.
- II. Réaction de destruction.
8. Furfurol, acides acétique et formique, alcool méthylique et acétone (dosés directement).
9. Glucosane d'André, divers furanes, corps indéterminés.
10. Acides humiques, phéno-furanes, produits de polymérisation du furfurol, carbone.
11. S'obtient par dosage direct.
12. Idem.

rangée de vaisseaux analogues à des diffuseurs de sucrerie, soit dans le même récipient que l'on remplit et vidange alternativement. M. MEUNIER opère selon cette dernière façon, les docteurs BERGIUS et SCHOLLER suivant la première (fig. 5, 6, 7).

(1) Il ne s'agit que d'un ordre de grandeur. La valeur exacte de la durée d'attaque à suivre est donnée par les graphiques précités de M. MEUNIER.

(2) Suivant le procédé Scholler, le bois subit ainsi 19 attaques par l'acide dilué puis finalement une dernière par de l'eau à 170° pour le lavage de la lignine avant d'envoyer celle-ci vers ses appareils d'utilisation. Par l'ingéniosité de ses détails et sa sécurité de fonctionnement, le procédé Scholler est reconnu comme particulièrement remarquable.

Au lieu de suivre cette méthode de percolation, la seule qui soit industrialisée jusqu'à ce jour, les usines de Melle attaquent la cellulose du bois par l'acide formique anhydre en vue de produire transi-

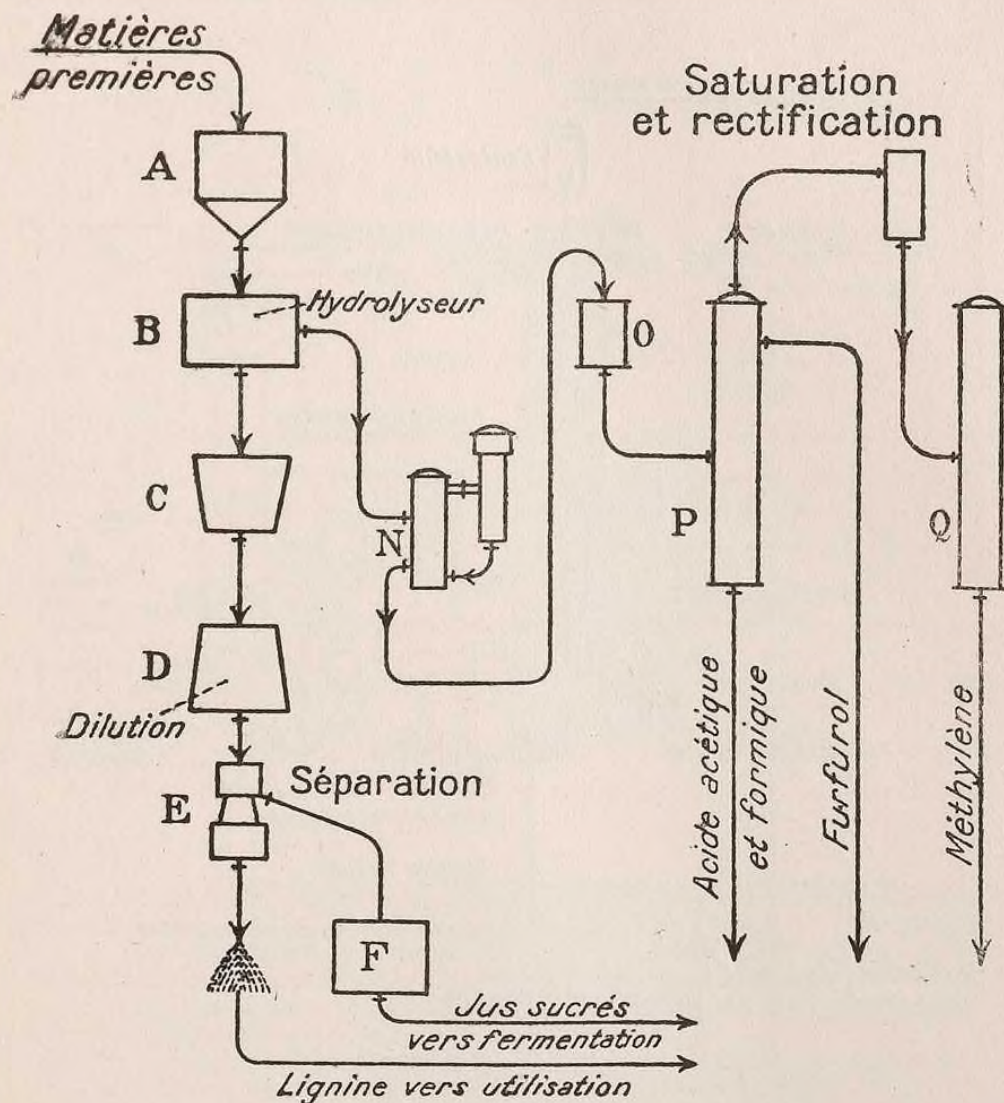


FIG. 5. — Hydrolyse des matières cellulosiques. Dégradation simple.

A. Trémie d'emménagement du bois râpé ; B. Percolateur du premier stade d'hydrolyse ; C. Cuve de recette de l'hydrolysât du premier stade et de mélange avec le moût sucré provenant du second stade d'hydrolyse ; D. Essoreuse de séparation du moût sucré acide d'avec le résidu solide du premier stade d'hydrolyse ; E. Essoreuse ; F. Cuve de neutralisation du jus sucré avant son envoi à la fermentation ; N. Appareil de neutralisation des acides formique et acétique, puis de concentration de l'acétoformiate de chaux ; — O. Condenseur de la vapeur d'eau désacidifiée ; P. et Q. Séparation et rectification du furfurol et du méthylène.

toirement des formiates de cellulose, ceux-ci sont ensuite facilement hydrolysés et transformés en sucres présentant la qualité d'être fermentescibles par la levure. Ce procédé n'a pas encore, aux dires

l'objet de nouvelles recherches en collaboration avec les firmes allemandes qui s'y intéressaient déjà à la veille de cette guerre (1).

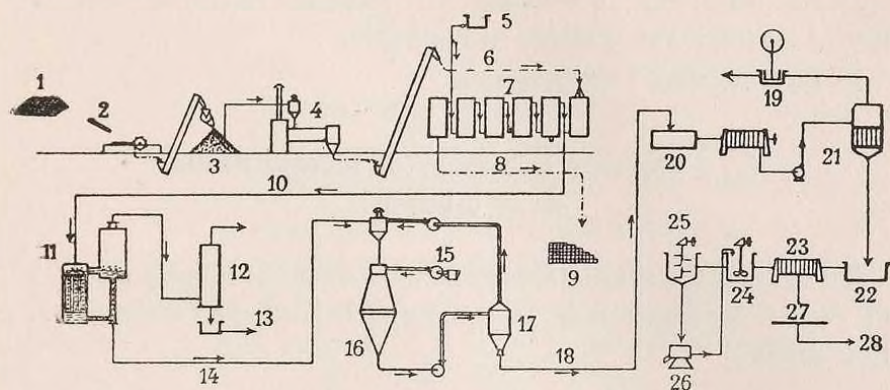


FIG. 7. — Schéma du dispositif d'hydrolyse BERGIUS.

- | | |
|--|---|
| 1. Bois à hydrolyser. | 16. Sécheur par atomisation. |
| 2. Transporteur à bois. | 17. Séparateur cyclone. |
| 3. Bois râpé. | 18. Sucre brut. |
| 4. Sécheur à bois. | 19. Pompe à huile. |
| 5. Acide chlorhydrique concentré. | 20. Inversions des sucres. |
| 6. Arrivée du bois râpé et séché. | 21. Evaporateur. |
| 7. Batterie de cuve d'hydrolyse. | 22. Première cristallisation. |
| 8. Lignine. | 23. Filtre presse. |
| 9. Briquettes de lignine. | 24. Redissolvateur. |
| 10. Solution sucrée à évaporer. | 25. Recristallisation. |
| 11. Evaporateur d'acide chlorhydrique. | 26. Essoreuse, pour la cristallisation des sucres purs. |
| 12. Condenseur. | 27. Sirop filtré ou eau mère. |
| 13. Acide chlorhydrique concentré. | 28. Vers la fermentation alcoolique. |
| 14. Sirop de sucre. | |
| 15. Chauffage d'air. | |

(1) A défaut de renseignements plus précis, nous noterons ce qui suit dans les revendications de M. TOURNEL pour l'octroi d'un brevet :

« Un traitement préliminaire du bois par une solution sulfurique faible, maintenue dans un potentiel d'hydrogène constant, solubilise les pentosanes et les hexosanes sous forme de pentoses, d'hexoses, sans toucher aux autres constituants du bois.

« On se rend compte tout de suite que le bois de bouleau, qui abandonne presque le quart de son poids sous forme de pentosanes, sera une excellente matière première pour la fabrication du furfural.

« La cellulose est, dans le bois, en partie oxydée sous forme d'oxycellulose. La partie oxydée est incapable d'être transformée en glucose sous l'action des acides hydrolysants. On conçoit donc que cette partie ne peut fournir du sucre lorsqu'on hydrolyse directement le bois.

« Par un deuxième traitement préliminaire, nous réduisons électrolytiquement l'oxycellulose — qui est un acide polygluconique — en glucose, lequel glucose s'ajoutera à celui obtenu par la transformation subséquente de la cellulose en sucre fermentescible.

« Dans la transformation finale de la cellulose en glucose, qui constitue l'opération d'hydrolyse proprement dite, la solution de glucose est obtenue à une concentration de 10 à 15 % par suite de notre innovation qui fait entrer le glucose, au fur et à mesure de sa formation, dans un complexe réversible. On évite ainsi la décomposition du glucose qui suit sa formation, fait qui oblige dans les autres procédés à n'obtenir une concentration en glucose que de 3 à 4 %.

Dans tous les cas, une opération d'hydrolyse comporte deux critères essentiels :

1^o La proportion de cellulose non attaquée demeurée dans la lignine représentant le résidu de l'opération .

2^o Le rendement total en sucres.

X. — Facteurs influençant la saccharification de la cellulose.

Ces facteurs concernent spécialement la nature et la concentration de l'acide, la température, la pression et le coefficient d'imprégnation du bois.

A. *Nature de l'acide hydrolyseur.* — Le plus souvent, on emploie de l'acide sulfurique (JUNIER, MEUNIER, SCHOLLER) ou de l'acide chlorhydrique (BERGIUS), plus rarement de l'acide sulfureux (CLASSENS) (1).

Avec l'acide sulfurique dilué, le glucose ne donnerait que très peu d'acide lévulique. Par contre, avec l'acide chlorhydrique, la dextrose fournit une proportion bien plus élevée de cet acide. Avec l'un et l'autre de ces acides, la proportion de matières humiques formées resterait la même (la concentration de l'acide étant de 7 à 8 % de SO_4H_2 ou de 8 à 10 % de HCl).

B. *Concentration de l'acide.* — Dans les procédés dits à l'acide concentré, on part, en général, d'un acide fortement concentré (BERGIUS utilise de l'acide chlorhydrique au taux minimum de 40 %) afin de faciliter l'attaque du bois. Au point de vue économique, il importe alors de récupérer l'acide mis en œuvre et de la régénérer sous une forme qui lui permette d'être facilement réintroduit dans le cycle des opérations.

Les méthodes à l'acide dilué emploient ce dernier à des concentrations comprises entre 1 et 5 % (MEUNIER, SCHOLLER, JUNIER et M^{lle} BOINOT). Cet acide est généralement perdu, sa récupération ne présentant pas d'intérêt. L'acide joue ici simplement le rôle de catalyseur par l'apport des ions à la solution hydrolysante.

(1) Le recours à l'anhydride sulfureux procurerait une lignine de meilleure qualité en ce qui concerne notamment son pouvoir autoagglomérant plus élevé.

Le mode d'action des acides dépend de leur concentration mais il reste incomplètement élucidé en raison de la complexité des phénomènes physico-chimiques qui interviennent. Parmi eux, figurent le degré de facilité avec lequel l'acide pénètre à l'intérieur du bois. Avec des acides gazeux et fortement concentrés comme les acides chlorhydrique et fluorhydrique, la pénétration des gaz s'effectue particulièrement bien en raison de la structure même du bois.

D'autre part, les promoteurs de l'emploi de l'acide sulfurique concentré et froid, portent à son actif qu'il ne peut détruire les hexoses eu égard au mode opératoire. C'est là le principe du procédé Giordani-Leone. Essentiellement, celui-ci consiste à éliminer d'abord, à l'aide d'une hydrolyse effectuée à 150° pendant 30 minutes, par l'acide dilué, les hémicelluloses, pentosane, tanin qui ne donnent pas de sucres fermentescibles éthyliquement ou qui représentent des éléments toxiques (tanin, furfurole) — même à très faible dose — de l'opération de fermentation correspondante. Ce traitement préliminaire étant effectué, on ne se trouve plus en présence que de la lignine et de la cellulose. Par chauffage, on transforme alors celle-ci en hydrocellulose sous l'action de l'acide sulfurique subsistant dans ce résidu. On saccharifie ensuite l'hydrocellulose, à froid, par de l'acide sulfurique à la concentration de 80 % (60° B), puis on termine en hydrolysant les polysaccharides en insufflant dans leur masse de la vapeur vive et en séparant par essorage, d'une part le moût à 12 % de sucres réducteurs, puis d'autre part, la lignine, le tout ayant été au préalable neutralisé par la chaux.

A l'actif de l'emploi d'acide sulfurique concentré et froid, sans pression, on inscrit la possibilité d'utiliser des appareils en fonte et la production d'un moût à 12 % environ de sucres (contre respectivement 4,5 et 8 % dans les procédés Scholler et Meunier) ce qui permet une économie appréciable sur les frais de premier établissement et d'exploitation ; pour ces derniers, sous la forme de combustibles notamment. Par contre, à leur passif, on porte la nécessité, eu égard aux quantités importantes mises en œuvre (50 % en poids par rapport au bois traité, contre 10 % au maximum dans les méthodes à l'acide dilué), de récupérer ou d'utiliser judicieusement cet acide. A cet effet, dans le procédé Giordani-Leone, on fixe cet acide sous la forme de sulfate de chaux et on l'y récupère suivant le procédé de la Metellgesellschaft de Francfort ou bien on le neutralise par l'ammoniac provenant de la fermentation du moût sucré avec des

ferments adaptés à l'atmosphère ammoniacal, selon le principe de la méthode Faucounau-Brus.

C. Température. — Ordinairement, la réaction d'hydrolyse sous l'action des acides dilués, a lieu à une température comprise entre 130 et 180°. Parfois, comme dans le procédé Meunier et dans celui de Scholler, la saccharification du bois a lieu sous une pression correspondante à la vapeur saturée à ces températures, soit de 4 à 8 kgr.

A cause de l'exothermicité de la réaction de saccharification, la température aurait tendance à s'élever dans les percolateurs en s'accompagnant de pertes de sucres, mais elle se freine automatiquement par l'importance des masses en mouvement (bois et liquide d'hydrolyse), puis par les pertes de chaleur dues au rayonnement des percolateurs.

Dans le procédé Bergius, la réaction d'hydrolyse a lieu à la température maximum de 40°.

XI. — Description du procédé Meunier. Saccharification du bois par dégradations multiples.

Ce procédé est appliqué à Sorgues (Vaucluse). La matière cellulosique, conditionnée par découpage et écorçage est traitée entre 150 et 180° à une pression de 6 à 8 kgr/cm² selon la durée de séjour dans les percolateurs (hydrolyseurs *B, F, J*) (fig. 8).

Le bois, conditionné et à l'air libre, est emmagasiné dans la trémie *A* servant au chargement périodique du percolateur *B* (fig. 8). Après remplissage de cet appareil, on y envoie, par un éjecteur à vapeur, une quantité d'acide déterminée. On injecte de la vapeur vive dans le percolateur afin d'en chauffer le contenu, de faciliter la distillation et l'entraînement, hors de l'appareil, des matières volatiles précitées.

Quand ce premier stade a pris fin, le percolateur *B* est vidé de son contenu dans la cuve *C*. On y ajoute du moût sucré acide provenant des deux autres stades de la saccharification et contenu dans la cuve *I*. Un essorage en *D* permet ensuite de séparer le contenu de la cuve *C* pour obtenir, d'une part, un moût acide renfermant environ 8 % de sucres qui, après neutralisation en *E*, est

envoyé vers les bacs de fermentation et, d'autre part, une matière composée surtout de cellulose et de lignine, qui subira une seconde hydrolyse dans le percolateur *F*. Celui-ci fournira, à son tour, un moût sucré qu'on recueille en *G*. On l'additionne du moût sucré acide provenant de la cuve *M*, qui appartient au troisième et der-

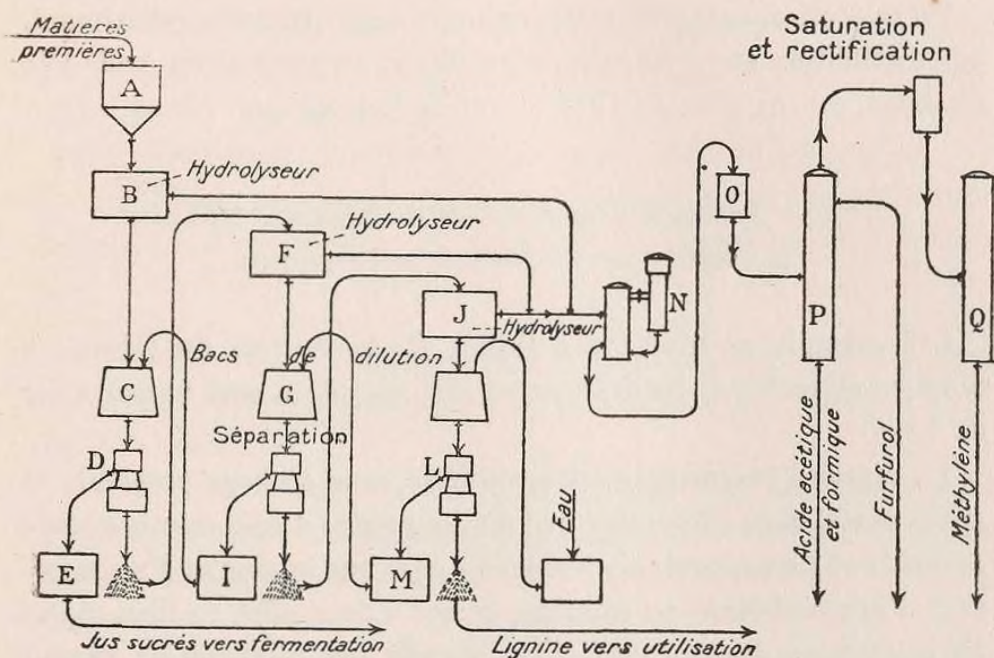


FIG. 8. — Hydrolyse des matières cellulosesques. Dégradations multiples.

A. Trémie d'emménagement du bois râpé ; B. Percolateur du premier stade d'hydrolyse ; C. Cuve de l'hydrolysate du premier stade et de mélange avec le moût sucré provenant du second stade d'hydrolyse ; D. Essoreuse de séparation du moût sucré acide d'avec le résidu solide du premier stade d'hydrolyse ; E. Cuve de neutralisation du jus sucré avant son envoi à la fermentation ; F. Percolateur du second stade d'hydrolyse ; G. Cuve de recette de l'hydrolysate du second stade et de mélange avec le moût sucré provenant du troisième stade d'hydrolyse ; H. Essoreuse de séparation du moût sucré acide d'avec le résidu solide du second stade d'hydrolyse ; I. Bac de recette du moût sucré du second stade d'hydrolyse ; J. Percolateur du troisième stade d'hydrolyse ; K. Cuve de recette de l'hydrolysate du troisième stade et de mélange avec l'acide sulfurique frais ; L. Essoreuse de séparation du moût sucré acide d'avec la lignine ; M. Cuve de recette du moût sucré acide provenant du troisième stade ; N. Appareil de neutralisation des acides formique et acétique, puis de concentration de l'acétoformiate de chaux ; O. Condenseur de la vapeur désacidifiée ; P. et Q. Séparation et rectification du furfural et du méthylène.

nier stade de l'hydrolyse, dans lequel on prend pour matière première dans le percolateur *J*, la matière cellulosique issue de la seconde opération ainsi que de l'acide sulfurique frais et dilué. Le résidu solide final provenant de tout le traitement, qui sort de l'essoreuse *L*, est de la lignine. Nous en indiquerons plus loin les propriétés et les usages.

A leur sortie des percolateurs *B*, *F* et *J*, les gaz et vapeurs bar-

botent dans un lait de carbonate de chaux qui en neutralise l'acidité. Il se forme un acéto-formiate de chaux que l'on évacue périodiquement et abandonne à la décantation. On envoie ensuite dans un concentrateur tubulaire *N*, la liqueur claire d'acétoformiate de chaux. Ce nouvel appareil est chauffé par la vapeur désacidifiée sortant du barboteur à carbonate de chaux.

En se condensant en *O*, cette vapeur donne un liquide neutre qui, par distillation et rectification, fournit, en *P* et en *Q*, en trois lots distincts, du furfural, de l'acétone et de l'alcool méthylique.

XII. — Exemple d'application du procédé Meunier à l'hydrolyse de déchets celluloseux.

Cet exemple se rapporte à l'usine de la Société du Glucol, à Sorgues (Vaucluse), laquelle ne se sert que d'un seul hydrolyseur de 12 m³.

La matière fragmentée est introduite, sans séchage préalable et après pesée, dans l'hydrolyseur ; on l'imprègne d'une solution acide de poids et de concentration calculés, cela par le moyen d'un injecteur, l'appareil étant en rotation, ce qui a pour effet de bien répartir la solution dans la masse. On chauffe par injection de vapeur jusqu'à la température calculée.

Pour travailler en un temps, on fait circuler, pendant toute la durée de l'opération, un courant de vapeur qui entraîne, hors du percolateur, les produits volatils formés, au fur et à mesure de leur production. Cette vapeur se désacidifie dans un barboteur renfermant un lait de carbonate de chaux ce qui produit finalement une solution aqueuse d'acéto-formiate de chaux. Les vapeurs désacidifiées s'échappent du barboteur ; on les condense dans la chambre de chauffe d'un évaporateur alimenté par la solution d'acétoformiate qui s'y concentre. Le produit solide et marchand est obtenu par évaporation de la solution concentrée sur la surface latérale d'un cylindre rotatif chauffé intérieurement. Les sels solides sont enlevés par un couteau fixe, en contact avec la surface en rotation.

Les vapeurs furfurolées et méthyliques condensées sont passées dans un système de colonne qui séparent les constituants.

La réaction achevée, on lave la masse méthodiquement. Deux cas se présentent :

a) *Si l'on travaille par dégradations successives*, le liquide extrait lors de la dégradation suivante, devient liquide de lavage pour la masse provenant de l'hydrolyse précédente. Le produit fourni par la dernière hydrolyse est lavé à l'eau. L'extraction méthodique se pratique dans une décanteuse horizontale semi-continue qui livre ses résidus à 65 % d'humidité moyenne.

A Sorgues, la lignine, riche en principes humiques, est revendue au prix de la matière première, cela sans séchage artificiel, à des fabricants d'engrais.

Dans la marche par dégradation successives, on peut supprimer la circulation de vapeur en cours d'hydrolyse si l'on règle cette marche pour avoir le maximum de sucres, sans produits de destruction.

b) *Dans le cas de l'hydrolyse en un seul temps*, une fois la réaction achevée, on lave méthodiquement à l'eau, au lieu de laver avec les liquides successifs.

Les jus sucrés acides sont neutralisés puis évaporés sous vide, ils constituent ainsi une mélasse pouvant être incorporée à des supports nutritifs en vue d'obtenir des aliments pour le bétail (prouvé).

Si on pratique la fermentation, l'évaporation ci-dessus est inutile ; dans le cas de fermentation butyrique, l'évaporateur servira à la concentration du butyrate.

Les études poursuivies à l'installation de Sorgues ont conduit M. MEUNIER à l'établissement d'un schéma général définitif où pour économiser les calories, la vapeur de circulation est recomprimée et rentre dans le cycle :

— où, le séchage de la lignine s'effectue dans des cylindres tournants, au moyen de vapeur surchauffée (l'eau contenue dans la lignine est ainsi vaporisée et sert au chauffage) ;

— où, l'énergie est obtenue par le moyen d'un moteur à gaz pauvre, ce gaz étant fourni par un gazogène alimenté par la lignine elle-même ;

— où, les surchauffeurs sont chauffés par combustion de la lignine pulvérulente entraînée par un courant d'air ;

— où, la saturation des acides organiques : acétique et formique ne se fait plus par barbotage, cela en vue non seulement d'éviter l'entraînement d'acide carbonique dans le cycle, mais encore pour

obtenir des sels d'une base quelconque des acides précipés, sans pour cela, polymériser ou résinifier le furfurol.

XIII. — Description du procédé de percolation Scholler.

Les celluloses sont hydrolysées par l'intermédiaire d'une solution diluée d'acide sulfurique à 0,5 % laquelle est refoulée à la température de 175-180° sous la pression de 10 atm. dans un percolateur ayant jusqu'à 50 m³ de capacité, à marche semi-continue, et dans lequel on charge le bois réduit en menus fragments. Ces percolateurs sont munis à l'intérieur d'un revêtement spécial résistant, à haute pression, à l'action corrosive de la solution acide, on évite que les sucres formés ne soient détruits par la haute température. Normalement, une charge d'environ 10 tonnes dans un percolateur de 50 m³ est traversée 20 fois en vingt-quatre heures par la solution acide. A la fin du traitement, qui dure vingt-quatre heures, la lignine résiduaire est évacuée.

La solution neutralisée a une teneur assez basse en sucres réducteurs (4 %). Par conséquent, le moût à distiller renferme peu d'alcool (1).

En moyenne, on obtient 20 à 24 litres d'alcool absolu et 30 kgr. de lignine sèche par 100 kgr. de bois sec de conifère. Dans ce procédé, la récupération des sous-produits (furfurol, résines, acide acétique, etc...) est assez compliquée.

Usuellement, une installation Scholler répond à la production annuelle de 50.000 ou de 110.000 ou de 160.000 *hl* d'alcool pur par an. Elle comprend alors, pour chacun de ces cas : 6-12 ou 18 percolateurs ayant chacun 14 m. de hauteur et 2,4 m. de diamètre. Les parois sont en tôle d'acier garnie intérieurement d'un épais revêtement en plomb à la goutte et de trois épaisseurs de briques assemblées par du ciment dont la composition leur permet de résister à l'action de l'acide sulfurique. A sa base, ce revêtement comporte des briques poreuses servant à filtrer la liqueur acide et sucrée, lors de son soutirage, à la fin d'une opération de dégradation de la matière cellulosique.

Quant à l'expulsion de la lignine, elle se pratique par l'ouverture

(1) La teneur de 4 % en sucre correspond à 2,4 % d'alcool. La distillation rectification d'un tel liquide n'exige pas moins de 600 kgr. de vapeur par hectolitre d'alcool.

brusque de la soupape fermant l'autoclave à sa base et par l'action d'entraînement d'un jet d'eau à 170°.

XIV. — Description du procédé de saccharification Bergius.

Le procédé Bergius repose sur le principe que voici :

En employant de l'acide chlorhydrique à la concentration d'au moins 40 %, on met facilement la cellulose en solution à la température ordinaire, avec formation de glucose sans que ce dernier se décompose. C'est dans la solution même que s'accomplit progressivement la transformation de la cellulose en sucres.

La vitesse de réaction entre l'acide chlorhydrique et la cellulose a une valeur suffisamment grande aux températures ordinaires pour rendre cette méthode pratique.

En principe, on devrait faire intervenir une quantité d'acide égale à sept fois la quantité théorique. On obtient alors une solution qui contient moins de 10 % de sucres ce qui est relativement peu. En sus de cet inconvénient de faible concentration en sucres, il faudrait récupérer la forte quantité d'acide employée en excès. Ce serait là chose malaisée. En réalité et heureusement, cette solution acide et sucrée peut encore réagir sur une nouvelle charge de bois ce qui procure un double résultat avantageux : sa teneur en sucre s'élève jusqu'à 32 % et sa concentration en acide s'abaisse jusqu'à 8-9 %. La séparation de la solution sucrée et de l'acide chlorhydrique n'offre plus alors de difficultés. On utilise, d'ailleurs, pour cela la forte volatilité de l'acide chlorhydrique.

Au total, par une circulation méthodique des solutions formées, on pratique la saccharification totale avec moins du quart de l'acide nécessaire au traitement simple.

C'est à Mannheim-Rheinau, en 1925, que fut montée la première installation Bergius pour la saccharification du bois, mais c'est seulement depuis 1936 que cette méthode a fait l'objet de perfectionnements décisifs. Depuis lors, on a monté, en Allemagne, plusieurs installations Bergius, capables de traiter chacune par jour 100 tonnes de bois sec.

Le procédé Bergius présente des particularités importantes l'attaque de la matière cellulosique se fait à la température ordinaire, par l'acide chlorhydrique à au moins 40 % ; les percolateurs, généralement au nombre de huit ou dix, d'une capacité d'au moins 20 m³,

travaillent à la manière d'une batterie de diffuseurs; la récupération de l'acide chlorhydrique contenu dans le moût sucré et dans la lignine est très poussée : on ne doit pas en perdre plus de 10 % du poids des sucres.

Pour obtenir ce résultat, la liqueur acide et sucrée sert à une préhydrolyse à 105-110°, afin de « forer » le bois frais, selon l'expression du Dr BERGIUS et de préparer son attaque ultérieure par l'acide concentré. On évite ainsi non seulement une concentration onéreuse de la liqueur mais on peut encore obtenir la lignine pratiquement neutre qu'exigent ses applications industrielles. Quant au moût sucré, on le concentre jusqu'à 40 % sous un vide de 300 mm. de mercure environ à 40-45°. Cette opération, qui s'effectue dans un appareil en porcelaine et en acier inoxydable, fournit, séparément, un sirop de sucres puis les acides chlorhydrique et acétique.

Si on veut fabriquer du glucose, ce sirop est saturé, évaporé et raffiné comme en sucrerie. Le glucose, obtenu cristallisé aux essoreuses, est pur et très beau.

XV. — Rendement de l'hydrolyse.

Dans l'état actuel de la technique de l'hydrolyse par les trois principaux procédés connus : Meunier, Bergius et Scholler, les rendements rapportés au bois entièrement sec dépendent essentiellement du nombre de dégradations auxquelles on soumet la matière cellulosique ainsi que de sa nature. Voici, par exemple, les résultats obtenus par M. MEUNIER (fig. 9) :

La dégradation multiple offre, par conséquent, l'avantage de doubler le rendement en alcool par rapport à la dégradation simple. On doit donc y recourir malgré sa complication plus grande. Cependant, il suffit d'appliquer la dégradation simple quand la matière première ne contient qu'une faible quantité de cellulose hydrolysable : roseaux, balle de céréales, tourbe, déchets urbains, etc...

Avec le pin et le hêtre, par le procédé Bergius, on obtient par tonne de bois sec les rendements que voici :

Pin : 660 kgr. de sucres renfermant : 60 % de glucose, 23 % de mannose, 1 % de pentose, 5 % de galactoses et 11 % de xylose ; fournissent : 330 litres d'alcool, 330 kgr. de lignine, 30 kgr. de résines et 10 kgr. de cendres.

Hêtre : 720 kgr. de sucres renfermant : 67 % de glucose, 5 % de

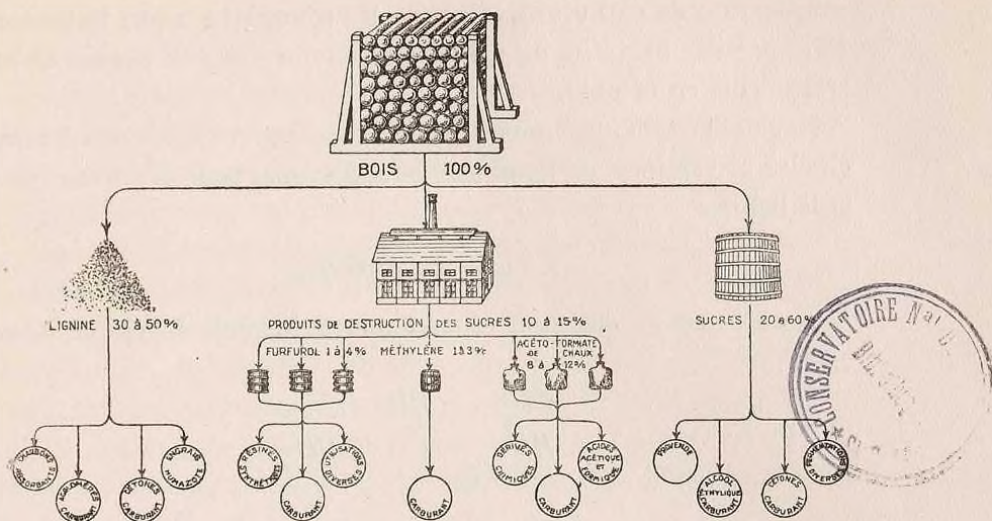


FIG. 9. — Ensemble et rendements des produits obtenus par l'hydrolyse de la cellulose.

sucres divers et 28 % de xylose; fournissent 310 litres d'alcool, 240 kgr. de lignine et 10 kgr. de cendres.

Dans les procédés Bergius et Scholler (fig. 10), les sucres fermentescibles en alcool éthylique représentent 80 à 86 % de l'ensemble des sucres formés; les sucres en C^5 , non fermentescibles en alcool éthylique, représentant le complément à 100. Pour les utiliser à la

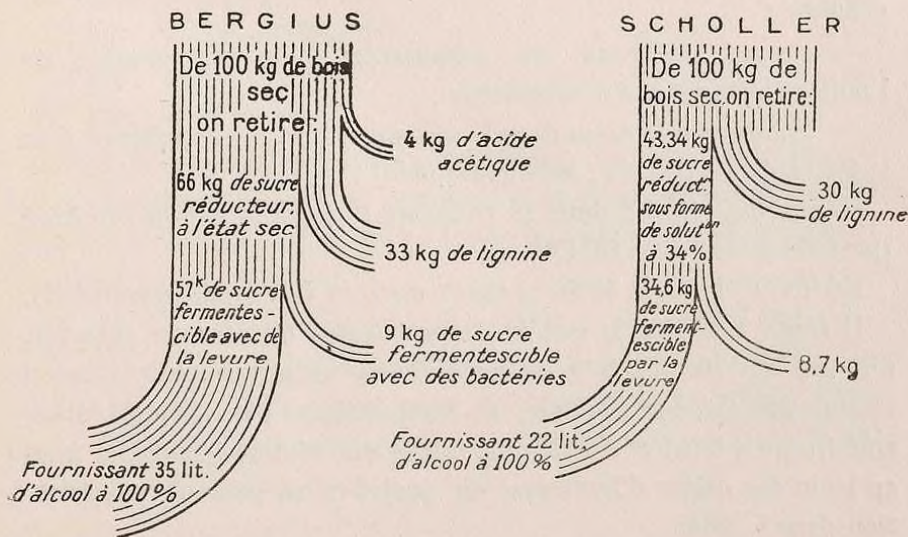


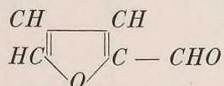
FIG. 10. — Diagramme des rendements obtenus par les procédés BERGIUS et SCHOLLER appliqués à la saccharification du bois.

préparation de carburant, on peut les soumettre à une fermentation par des bactéries de manière à obtenir des acides gras qu'on transforme en cétones.

Nous allons indiquer maintenant les caractéristiques et les principales utilisations de deux sous-produits mal connus : le furfurool et la lignine.

XVI. — Le Furfurool.

Ce corps est un aldéhyde répondant à la formule développée que voici :



constitué par un liquide huileux, d'odeur peu agréable, bouillant à 162°. Il se forme au cours de l'hydrolyse, par réversion des pentoses.

Peu connu en France, le furfurool a donné naissance, aux Etats-Unis, à une nouvelle industrie produisant des résines synthétiques du type « bakélite » et en concurrence avec ces dernières.

Le furfurool s'emploie encore comme suit :

- comme solvant de ses propres résines et d'autres résines naturelles dans la fabrication des vernis ;
- comme solvant des peintures cellulosiques et de l'acétate de cellulose ;
- comme améliorant des carburants (par augmentation de l'indice d'octane) et des lubrifiants ;
- comme accélérateur dans la vulcanisation du caoutchouc, sous la forme de ses dérivés : les furfuramides ;
- comme sélectif dans le raffinage des produits du cracking (procédé de la Texas Oil Co).

En février 1941, le furfurool valait environ 5 fr. le kilogramme (1).

Il serait souhaitable que la Direction des Carburants autorisât d'incorporer jusqu'à 5 % de furfurool au carburant auto. Celui-ci se composerait, par exemple, de 80 % d'alcool partiellement éthérifié (jusqu'à 8 %) et de 15 % de méthylène afin de faciliter la mise en train des usines d'hydrolyse en projet ou en cours de construction dans le Midi.

(1) Et 14 fr. en décembre 1942.

XVII. — La lignine.

On connaît mal ce corps, faute de pouvoir l'étudier dans son état naturel. En effet, comme nous l'avons vu, on ne peut le séparer de la cellulose qu'en le solubilisant par un alcali ou par le chlore ou par les sulfites ou encore par l'action d'oxydants qui modifient sa nature. Par une voie inverse, on peut encore séparer la lignine de la cellulose en solubilisant cette dernière au moyen d'un acide concentré, comme nous venons de le voir, en étudiant la technique de l'hydrolyse.

L'utilisation de la lignine présente une importance capitale pour la rentabilité d'une usine d'hydrolyse puisque ce corps représente, selon le nombre de dégradations auxquelles on recourt, de 25 à 50 % du poids des matières cellulosiques que l'on soumet généralement à l'hydrolyse.

En dehors de l'emploi de la lignine sur la grille de chaudières ce qui représente une forme grossière d'utilisation, eu égard à la teneur en eau (25 % environ) et à la nature pulvérulente de cette matière, on valorise la lignine par semi-carbonisation ou par fusion alcaline et pyrogénéation ; savoir :

Semi-carbonisation à 400°. — Par ce traitement, une tonne de lignine sèche donne :

- 130 kgr. de goudron contenant des crésols ;
- 288 kgr. de jus pyroligneux ;
- 9 kgr. d'alcool méthylique ;
- 2 kgr. d'acétone ;
- 500 kgr. de semi-coke.

A son tour, le semi-coke peut être valorisé en le mettant sous la forme d'agglomérés que l'on recuit, le liant étant constitué par du goudron de lignine ou par des mélasses de cellulose, obtenues dans l'installation d'hydrolyse.

B. *Fusion alcaline et pyrogénéation à 400°.* — On soumet la lignine à une fusion alcaline à 300° avec $NaOH$ ce qui donne un lignate de sodium qui est soluble. On dissout, on concentre, on ajoute de la chaux sodée et on pyrogène à 400° ce qui fournit, à partir de la lignine provenant d'une tonne de bois :

- 9 kgr. d'alcool méthylique ;
- 22,5 kgr. de cétones ;
- 7 kgr. d'huiles d'acétone.

Ces deux exemples montrent que la lignine peut être considérée comme la matière première d'importants produits chimiques dont l'économie française manque précisément.

**XVIII. — Préparation de l'alcool de sulfite.
Traitement des liqueurs résiduelles de papeteries.**

Ces liqueurs résiduelles proviennent du traitement des celluloses représentant la matière première de la fabrication de la pâte à papier. L'opération correspondante consiste essentiellement à traiter le bois par du bisulfite de calcium ou par de l'acide sulfureux. Ces réactifs ont pour rôle de solubiliser la lignine et de la séparer de la cellulose mais, en même temps, ces réactifs dissolvent tous les hydrates de carbones, pentosanes, hexosanes, gommages, mucilages, que contient le bois. Par suite, l'on obtient un hydrolysate analogue à celui que fournissent les procédés d'hydrolyse à la suite de la première opération de dégradation à laquelle ils donnent lieu.

A titre d'exemple, ces liqueurs sulfiteuses contiennent, par litre, 80 gr. de lignine ; 70 gr. de matières organiques diverses principalement des hydrates de carbone ; 31 gr. de SO_2 combiné. Par tonne de cellulose préparée, on obtient en moyenne 8 m³ de liqueur noire laquelle peut donner à son tour 480 litres de cétones.

Dès lors, on conçoit la possibilité de préparer des carburants par une fermentation appropriée de ces lessives sulfiteuses. Toutefois, cette fermentation ne peut être conduite que de façon à engendrer des acides gras puisque ces lessives contiennent principalement en dissolution des sucres en C_5 lesquels ne se prêtent pas à la fermentation éthylique.

**XIX. — Orientation possible de l'industrie de l'hydrolyse
en France.**

Le manque présent de métaux interdit la réalisation des grands projets mais ne constitue pas néanmoins un obstacle insurmontable si on sait utiliser ce qui existe (bâtiments, chaudières, matériel de distillation) — les bonnes volontés ne manquent pas pour cela — et si, comme c'est possible, on adapte la technique de l'hydrolyse aux ressources et besoins actuels.

Par exemple, on suivra la matière première, c'est-à-dire qu'on

limitera les frais de ramassage et de transport en créant des usines ayant une capacité journalière de traitement inférieure à 30 tonnes de matières sèches mais, sauf cas exceptionnels, on n'ira pas au delà de 100 tonnes.

On s'attachera aussi à la fermentation des lignates, c'est-à-dire des liqueurs résiduelles, aussi bien alcalines qu'acides, obtenues dans les fabriques de pâtes à papier. Suivant ce même esprit, on combinera, comme on a commencé à le faire dans le Midi, la préparation de la pâte à papier et celle de l'alcool par le traitement des tiges de maïs (et éventuellement celles du sorgho).

Pour débiter, ces installations ne seront pas toutes pourvues d'ateliers de fermentation butyrique lesquels nécessitent un matériel important : cuveries, fours, bâtiments. Dans ce cas, les sucres en C_5 seront détruits au cours d'une attaque prolongée ce qui aura pour effet :

- De simplifier considérablement l'opération d'hydrolyse ;
- De transformer lesdits sucres en C_5 en furfural dont le placement est avantageux.

En admettant que ce groupe d'usines traite 500 tonnes par jour de matières celluloses sèches, il donnera approximativement dans le même temps :

	Tonnes
Alcool éthylique.....	35
Cétones	10
Méthylène	10
Furfural	25 à 30
Acéto-formiate	40
Agglomérés de lignine	250

c'est-à-dire par an :

	Tonnes
Carburants	30.000
Lignine.....	75.000

Ce ne sont là que des indications premières. Néanmoins, elles mettent en relief la souplesse de la technique de l'hydrolyse et l'intérêt de son développement en France.

Conclusions générales.

La chimie de l'hydrolyse est vraiment chose bien délicate comme nous venons de le montrer par ce tour d'horizon sur la transforma-

tion de la cellulose en carburants et en produits chimiques. Elle caractérise ce « Labor improbus » grâce auquel les difficultés sont finalement vaincues. Attribuons-en le mérite à des savants français, allemands et italiens : MM. les docteurs MEUNIER, NALDI, BERGIUS, JUNIEN, SCHOLLER, GIORDANI, LEFRANC, TOURNEL qui ont été, avant tout, le plus souvent, les uns pour les autres, des collaborateurs afin d'apporter des solutions élégantes au problème capital de la transformation de déchets celluloseux en carburants. A cause d'eux, ayons foi dans un avenir meilleur.

Répétons-nous souvent ce verset du Maréchal, simple et beau, juste et probe : « Le salut de la France est entre nos mains ».

OUVRAGES DE M. CH. BERTHELOT

Carburants de synthèse et de remplacement (Dunod, éditeur).

Technique et Economie nouvelles des Carburants de synthèse (Dunod, éditeur).

Epuration, Séchage, Agglomération et Broyage du Charbon (Dunod, éditeur).

De la Carbonisation aux carburants d'aviation :

Tome I : Le pétrole et ses succédanés.

Tome II : La cokerie et l'usine à gaz modernes.

Tome III : La carbonisation, centre de production de gaz, d'énergie thermique et de produits de synthèse.
(Dunod, éditeur).

Carburants et Lubrifiants nationaux. Le moteur en face des carburants de synthèse (Dunod, éditeur).

Schistes bitumineux, Asphalte, Pétrole (Dunod, 1943).

La Tourbe : Extraction, séchage, conditionnement gazogène à tourbe (Dunod, 1943). 2^e édition (entièrement revue).

* * *

G. DUPONT : Traité de Chimie Industrielle : Gauthier-Villars, 1937.

Génie civil : L'alcool carburant, 1^{er} mai, 15 mai et 1^{er} juin 1943.

CH. BERTHELOT, *Technique de l'hydrolyse*. Centre de Perfectionnement technique. Cours-conférence du 13 janvier 1943.

— *La lignine et son auto-agglomération*. Centre de Perfectionnement technique. Cours, conférence du 11 novembre 1942.



LES PRODUITS D'APPORT EN LUBRIFICATION

par G. JUIN

Ingénieur-Conseil
Ingénieur de l'École Supérieure des Pétroles

Dans de nombreux domaines, les circonstances actuelles ont suggéré de nouvelles solutions à des problèmes qui pouvaient paraître heureusement résolus.

Ces solutions de remplacement ne sont, en général, acceptées que comme un pis aller et, considérées telles, n'ont qu'une valeur toute momentanée.

Dès l'abord, il convient de préciser que l'addition de produits divers aux huiles de graissage n'est ni un procédé nouveau, encore moins une solution de pis aller, mais plutôt une pratique souhaitable en de nombreuses applications.

Les circonstances actuelles contribuent à mettre cette pratique en valeur, soit qu'elle se traduise par une moindre consommation d'un lubrifiant devenu fort rare, soit qu'elle évite des avaries mécaniques, jugées jadis très superficiellement, considérées souvent comme faisant partie de l'ordre normal des choses, et sur lesquelles on s'arrête désormais longuement, devant la pénurie des pièces de rechange.

Les produits d'apport en lubrification, ceux dont l'efficacité est réelle, sont en vérité peu nombreux si l'on exclut les charges proprement dites, fréquentes en particulier dans les graisses consistantes.

Il s'agit donc bien moins ici d'en faire l'énumération que de donner le processus de leur action et d'en dégager un principe d'application : le but sera atteint si la raison s'accorde à accepter la nécessité d'un lubrifiant d'apport propre à seconder les effets d'une huile de graissage.

Or, en matière de lubrification, la raison n'est que fort rarement

intervenue, même dans la grosse industrie rationnellement organisée, pour décider du choix des lubrifiants.

Un souvenir encore récent fixera les idées à ce sujet.

Une série de machines destinées à la taille des pignons d'engrenages après ébauche, utilise comme outil-coupant une crémaillère, animée d'un mouvement de va-et-vient sur laquelle roule le pignon ébauché.

Cette crémaillère est constituée par la juxtaposition de couteaux dont chacun est un chef-d'œuvre de mécanique de précision, et dont le prix tient compte d'une importation inévitable.

Le constructeur américain préconise comme lubrifiant l'huile de lard, à l'exclusion de tout autre produit.

Le laboratoire de l'usine édicte aussitôt des spécifications de l'huile de lard à utiliser à savoir densité à 15° C, indice de saponification et acidité organique. Ajoutons aussitôt que l'huile de lard partage la valeur de ces spécifications avec quantité d'autres huiles animales et que le cahier des charges ainsi établi n'avait donc pas même l'excuse d'avoir tenté une discrimination.

Mais la question n'est pas là : on s'aperçut à l'usage que l'efficacité de cette huile de lard était en bien des cas discutable, soit d'entrée, soit au bout d'un temps très court.

Tout fut dit à ce sujet : on incrimina les forges de livrer des aciers irréguliers pour la fabrication des pignons, l'atelier de finissage suggéra une ébauche mal menée, les services techniques pensèrent à une pollution de l'huile par les particules d'acier, ce qui n'expliquait pas les cas fréquents où il s'agissait d'huile neuve de quelques instants ; quant aux services commerciaux, toujours méfiants, ils pensèrent avec le plus grand sérieux à remonter aux cochons d'origine !

Maintenant raisonnons :

En première approximation, l'huile de lard est une solution de tristéarine, corps saturé, solide, dans de la trioléine, corps non-saturé, liquide. Quand une telle solution vient au contact d'une surface métallique, il y a formation d'une couche lubrifiante, composée d'assises moléculaires régulièrement orientées en strates superposés et ces strates ont une résistance au cisaillement (que leur imposent les surfaces) proportionnelle à la quantité de grosses molécules, rigides, saturées, de tristéarine dans la solution.

Ceci suffit à faire saisir qu'on devra prendre comme critère le plus

important de la valeur de l'huile de lard, son pourcentage en saturés, ou inversement en non-saturés, c'est-à-dire l'indice d'iode.

On s'aperçut ainsi que de nombreux fûts avaient été traités avant livraison pour l'extraction de la stéarine brute, ce qui ne se fut jamais produit si l'on s'était un court instant demandé pourquoi on utilisait de l'huile de lard et le processus de son action.

Donc, un problème de graissage se raisonne et l'on doit comprendre que le temps est venu de remplacer des « recettes » plus ou moins surannées, par des principes à caractère nettement scientifiques.

La nécessité d'incorporer certains produits aux huiles de graissage ne peut être saisie sans un examen attentif du processus du graissage : mieux encore, c'est l'étude du graissage qui amène à conclure logiquement à cette nécessité.

Nous allons donc suivre le plan normal de la pensée face au problème posé : les difficultés seront mises en lumière et suggérerons d'elles-mêmes les remèdes appropriés.

Ce qui nous est directement accessible, en matière de graissage, ce n'est qu'une manifestation globale, complexe ; c'est un ensemble de propriétés résultantes, dont il convient de dégager les différents facteurs initiaux.

Ces facteurs peuvent être rangés en 3 catégories :

- 1° Les facteurs propres aux lubrifiants ;
- 2° Les facteurs relatifs aux surfaces d'application ;
- 3° Ceux enfin qui, latents dans les huiles de graissage se révèlent et s'intensifient plus ou moins, selon la nature des surfaces, lors du contact lubrifiant-métal.

On va, dans chacun de ces cas, examiner l'opportunité d'un produit d'apport et en dégager les effets.

1° *Facteurs propres aux lubrifiants.* — La caractéristique dominante dans cet ordre d'idées est sans conteste la viscosité, ou plus exactement l'indice de viscosité. On sait en effet que la viscosité ou valeur (absolue ou relative d'ailleurs) du frottement interne au sein du liquide lors d'un mouvement laminaire de translation de couches liquides les unes sur les autres, varie, avec la température à laquelle ce liquide est porté : de façon plus précise, la viscosité décroît — ou son inverse, la fluidité, augmente — lorsque la température s'élève.

Ce qu'il importe de connaître, dans tous les cas d'application ou cette caractéristique viscosité est dominante, c'est le taux de variation de la viscosité en fonction de la température. Ainsi, ce taux de variation est beaucoup moins important pour les carbures paraffiniques que pour les carbures naphéniques : on traduit ce fait en disant que les carbures paraffiniques ont un indice de viscosité élevé, par rapport aux carbures naphéniques.

L'avantage d'un indice élevé tombe sous le sens. En effet, si, toutes autres conditions étant écartées, la sécurité du graissage implique, à la température de régime, une viscosité minimum donnée, cette condition ne sera satisfaite qu'en partant d'une viscosité d'autant plus faible à température ambiante que l'indice sera plus élevé, la viscosité plus soutenue.

Or, il ne faut voir dans la viscosité qu'un mal nécessaire. Dans l'impossibilité où l'on se trouve de supprimer les frottements, on adopte le frottement substitué « lubrifiant », dont la valeur est la mesure même de la viscosité, dans le cas d'un régime purement hydrodynamique. Tout excès de viscosité est un excès de frottement, donc une perte d'énergie.

Par ailleurs, la viscosité est un élément retardateur dans l'étalement de l'huile sur les surfaces, dans sa répartition rapide et régulière. Par contre, la viscosité est nécessaire : c'est elle qui en régime hydrodynamique est à l'origine de l'effet d'entraînement, d'autant plus intense que la viscosité est plus élevée. Or, c'est la force d'entraînement, qui, sous certaines conditions de profil des pièces, crée la pression interne dans la couche lubrifiante, grâce à laquelle se réalise l'effet de sustentation sous des charges diverses. En régime non-hydrodynamique enfin, la viscosité est un élément de stabilisation de la pellicule graissante soumise aux forces de pression et de cisaillement qu'elle supporte.

Si l'on s'est quelque peu attardé sur ce point, c'est parce qu'il a l'intérêt de montrer un des aspects les plus généraux des problèmes de graissage. On est constamment partagé entre deux tendances opposées.

Les produits d'apport n'ont en fait qu'une bien faible influence sur cette donnée. Ils interviennent cependant indirectement, en ce sens qu'ils constituent dans le mélange d'hydrocarbures que sont les huiles de graissage, un élément fixe, une constante, sur laquelle la température n'a aucun effet.

Si l'on ne s'y attarde pas en pratique c'est en fait que :

1° Les cas où la viscosité est la qualité dominante, exclusive, sont en pratique extrêmement rares.

2° Quand ces cas sont effectivement réalisés de façon permanente, le graissage est satisfaisant. On le dit même « parfait ».

Il est parfait en effet, vu de loin, dans des bureaux ou sur le papier. On discute complaisamment, avec maints détails, sur le cas idéal du palier, du tourillon tournant sur son coussinet. On imagine une centrale thermique, un homme, burette en main, attentif aux moindres anomalies, des machines propres comme des bijoux, des graisseurs mécaniques, et l'on rêve, je l'admets au graissage parfait, au régime hydrodynamique.

J'invite ces mêmes rêveurs à faire un tour dans un atelier de fabrication. Les paliers ne manquent pas, c'est par milliers qu'on les compte. Non seulement ils sont encrassés, non seulement ils ne sont pas étanches, mais encore ils ne tournent pas à la vitesse fixée sur le papier pour entretenir le régime hydrodynamique sous la charge qu'ils supportent. Le tour grince sous l'effort demandé : quant au graisseur, il y a longtemps que le pointeau est levé, coïncé par un artifice quelconque, et que toute l'huile s'en est allée. Le régime hydrodynamique aussi s'en est allé, ce n'est plus qu'un souvenir, bien superflu d'ailleurs. Il faut pourtant que tout cela tourne et que soit respectée la cadence. Voilà la pratique et l'on peut conclure sans hésitation que le régime hydrodynamique est un régime exceptionnel.

Ainsi donc, dans la grande majorité des cas, ce seront les facteurs propres aux surfaces métalliques et les facteurs latents qui vont se développer au contact huile-métal qui seront les plus importants.

2° *Facteurs relatifs aux surfaces.* — Tous les phénomènes dont il va être question se passant à l'échelle microscopique ou à l'échelle moléculaire, nous allons jeter rapidement quelques jalons pour situer les grandeurs qui nous intéressent dans la gamme des dimensions.

Si, pour fixer les idées, nous appelons infiniment petit du premier ordre les particules microscopiques, les molécules seront, toujours vis-à-vis de nous, des infiniments petits du second ordre. Autrement

dit, les molécules sont des infiniments petits par rapport aux particules microscopiques, au même degré où ces particules microscopiques sont des infiniment petits par rapport à nous : la particule microscopique est à peu près à mi-chemin entre notre échelle directe, humaine, et l'échelle moléculaire.

En lumière blanche, le microscope avec dispositif à immersion permet tout au plus de distinguer des particules dont le diamètre est supérieur à 250 $m\mu$. Or, voici au hasard quelques dimensions moléculaires : hydrogène 0,24 $m\mu$, huile d'olive 1,2 $m\mu$ (12 Å) et, pour les molécules anisotropes présentant une dissymétrie marquée, comme c'est le cas pour la majorité des huiles, on a des longueurs moléculaires de l'ordre de 1,3 $m\mu$ à 2,5 $m\mu$ (13 à 25 Å).

Ceci posé, les facteurs relatifs aux surfaces sont de deux natures différentes, selon que l'on envisage la question à l'échelle moléculaire ou à l'échelle microscopique.

Les surfaces interviennent d'abord par leur nature, leur structure. On sait que les métaux usuels se montrent généralement formés par un enchevêtrement de petits cristaux très irréguliers sortes de petits édifices microcristallins orientés en tous sens, tels qu'ils ont été fixés lors de la solidification. D'autre part, ces métaux usuels n'étant en général pas des corps purs, on doit en conclure qu'en surface, la discontinuité est de règle, l'irrégularité manifeste, tant du point de vue physique de la structure de la surface (orientation des plans de cristallisation, etc.) que du point de vue de la nature des constituants.

Aussi bien, en faisant même abstraction des aspérités de surface et qui sont dues à des amas localisés de matière ; en supposant la surface idéalement polie, on retrouverait encore, à l'échelle moléculaire, la structure lacunaire, granuleuse discontinue, irrégulière.

Or, si l'on a cru devoir rappeler succinctement ces faits, c'est parce que l'irrégularité moléculaire dont il vient d'être question est à l'origine, à côté d'autres facteurs, des forces tangentielles qui constituent le frottement, et que tout procédé qui tendra à atténuer cette irrégularité en conférant aux surfaces métalliques un caractère de continuité de structure, sera par là-même un pas en avant dans la lutte contre le frottement.

Et la raison nous suggère déjà, très logiquement, l'opportunité d'un produit d'apport, véritable enduit, susceptible de se substituer aux surfaces, à condition qu'il présente toutefois une continuité

de structure et d'orientation qui faisait précisément défaut au métal. Nous y reviendrons en son temps.

Les surfaces interviennent encore, à l'échelle microscopique par leur état de rugosité ou de poli. C'est d'ailleurs le seul point qui semble en général avoir retenu l'attention, bien à tort comme nous le constaterons par la suite.

Après usinage d'une pièce métallique la surface de celle-ci présente des aspérités de l'ordre de 30 à 40 μ parfois davantage.

Le polissage a pour effet de réduire ces aspérités à quelques microns, rarement au-dessous du micron. Ensuite, soit abrasion à la meule, soit à la pâte, ces opérations de finissage consistent à creuser dans le métal des sillons, approximativement parallèles entre eux. On retrouve donc, à une échelle bien plus grande, une nouvelle cause de discontinuité des surfaces que les meilleurs rodages n'arrivent pas à éliminer.

Sous ce nouvel aspect, on ne peut s'empêcher de songer à nouveau à un produit d'apport, dont le processus d'action tranche d'ailleurs nettement avec les méthodes de rodage. Puisque ces dernières, par un labourage de la surface métallique, n'atteignent en définitive qu'à remplacer les aspérités préexistantes par des sillons, certes incomparablement moins profonds, mais néanmoins réels, on se demande logiquement pourquoi l'on ne chercherait pas l'unification géométrique de la surface en comblant simplement ces sillons par un corps suffisamment dispersé et résistant.

Sans nous attarder davantage pour l'instant à ce sujet, abordons, la troisième série de facteurs, qui sont de beaucoup les plus importants et qui se révèlent lors du contact huile-métal.

On sait que l'on distingue deux régimes types de lubrification, qui correspondent à deux natures du frottement nettement distinctes :

- 1° le frottement visqueux ou régime hydrodynamique ;
- 2° le frottement onctueux.

Encore faut-il s'entendre. Cette distinction signifie que, parmi les multiples régimes de graissage qui s'établissent en pratique, et qui sont fonctions du profil des pièces, des pressions exercées, des vitesses, des températures, des jeux, des quantités de lubrifiant injecté, etc., il nous est scientifiquement possible de définir, de caractériser, donc de reproduire, d'expérimenter et d'étudier deux processus types, nettement différents l'un de l'autre.

Ce qu'il convient de souligner, c'est que dans la grande majorité des cas, nous aurons pratiquement affaire à un régime hybride, participant en proportions variables des deux régimes types fondamentaux.

Dans le frottement visqueux les parties frottantes restent constamment séparées par une couche notable de lubrifiant : plus exactement par une couche de lubrifiant telle que les surfaces métalliques n'ont plus aucune influence sur la production du frottement. Celui-ci se développe alors essentiellement au sein de la couche liquide interposée.

Nous avons déjà fait remarquer que ce cas était exceptionnel.

Par contre, la participation du régime onctueux dans tous les cas pratiques de graissage est absolument générale et met du même coup en relief l'importance des phénomènes d'onctuosité.

Or, précisément la troisième série de facteurs qu'il nous reste à examiner, sont des facteurs d'onctuosité, à savoir :

- Orientation des couches lubrifiantes au contact des surfaces ;
- Adhérence à ces surfaces (Intensité de fixation) ;
- et enfin, régularité de fixation.

On sait que les molécules d'hydrocarbure, dont le mélange constitue les huiles de graissage, sont fortement asymétriques, et que contrairement à l'ancienne image classique, l'influence de telles molécules ne s'étend pas en une zone régulière sphérique, mais se trouve en fait localisée en certains points, selon la nature des groupements fixés et leur mode de liaison.

On sait encore que des molécules, considérées comme chimiquement saturées, c'est-à-dire à l'intérieur desquelles toutes les valences sont satisfaites, ne sont cependant pas pour cela dénuées de toute énergie libre, énergétiquement neutre vis-à-vis du milieu extérieur immédiat, et qu'enfin, cette énergie libre revêt des intensités très différentes selon que la molécule présente ou non des groupes actifs, et quand il y a présence effective de ces groupes actifs, selon leur

nature, soit qu'il s'agisse d'une fonction acide $\text{—C} \begin{smallmatrix} \text{OH} \\ \text{//} \\ \text{O} \end{smallmatrix}$, soit d'une double liaison, soit d'un groupement alcoolique —OH , etc.

C'est par ces localisations d'énergie, en certains points identiques dans des molécules identiques, que l'on s'explique l'existence dans

la masse d'un liquide, d'arrangements fugaces de molécules placées régulièrement en plans parallèle et susceptibles de provoquer de véritables phénomènes de réflexions des rayons X.

Ce qui précède laisse aussitôt prévoir, qu'au contact des surfaces métalliques, ces localisations d'énergie vont provoquer des phénomènes d'adhérence, d'autant plus intenses, que l'activité des groupes intéressés sera plus grande et que l'affinité groupe actif-métal sera elle-même plus intense.

Voici donc, rapidement esquissé, un phénomène extrêmement important en matière de graissage, qui se réclame à la fois des propriétés du lubrifiant et de celles de la surface. Il est bien évident que c'est ici essentiellement la *nature* de la surface solide qui intervient.

Un exemple particulièrement net et de l'affinité et du rôle de la nature de la surface dans la valeur de cette affinité consiste à réaliser l'écoulement d'une même huile — donc toutes autres propriétés : viscosité, activité propre au liquide, etc., égales — à travers des capillaires constitués de métaux ou de matières différentes. On constate alors que le débit varie dans de larges mesures, révélant, vérifiant ainsi une intensité de fixation variable, selon la nature des parois.

Donc, tout moyen d'action visant à modifier la nature des parois a une influence directe sur l'adhérence du lubrifiant, facteur essentiel de l'onctuosité et de la sécurité du graissage dans la grande majorité des cas.

Quant aux différences d'affinités (donc *pour une surface de nature et de structure données*), selon les huiles en contact et la nature des molécules présentes, il suffit de rappeler l'application quasi générale des huiles compound, huiles à base minérale, saturées, dans lesquelles on a exalté les phénomènes d'adhérence par addition de groupements actifs, spécifiques aux huiles animales et végétales.

Il suffit d'ailleurs que cette addition se fasse par petites quantités, 1 à 3 % en général, puisqu'il s'agit de former une pellicule de base continue adhérente et stable enrobant les surfaces.

Il se produit un phénomène de sélectivité groupant les centres actifs au niveau immédiat des surfaces.

Voici, à cet égard, un exemple encore tout récent, et qui montre combien l'on est peu habitué à raisonner un problème graissage.

Une batterie de tours automatiques six broches, à grande vitesse,

carter en égouttoir d'une capacité de 400 litres d'huile, utilisait comme liquide d'arrosage une huile compoundée, jugée préférable, en raison de la nature du travail demandé. Chaque jour, pendant des mois, on perdit une bonne heure, à vidanger ce tour, chose malaisée s'il en fut, puis à en refaire le plein avec une huile fraîche. Si l'on s'abstenait d'opérer ainsi, on remarquait au cours de la journée suivante des échauffements intenses sur les faces de dégagement des outils coupant, dont la cadence d'affûtage augmentait aussitôt, provoquant des arrêts de démontage remontage et mise au point encore plus sérieux que la perte de temps que l'on avait voulu éviter.

Ajoutons, pour être complet, que l'on retirait chaque jour du carter, baignant dans l'huile, 3 à 4 m³ de longs rubans de copeaux d'acier.

En raisonnant un instant, on comprend aisément qu'aussi bien les pièces travaillées que les copeaux, emportaient, fortement adhérentes à leur surface, quel que soit le temps d'égouttage, les 8 à 10 % d'huile active qui se trouvaient préalablement dans l'huile compound.

On se borna par la suite à enrichir chaque jour l'huile du carter par une addition nouvelle d'huile active, animale, et tout rentra dans l'ordre.

Pour en revenir à notre sujet, il reste encore un mot à dire sur la régularité de fixation.

C'est ici qu'apparaît l'importance de la structure de la surface. A l'échelle moléculaire où se passent ces phénomènes, nous l'avons montrée lacunaire, granuleuse, discontinue. Il faut donc s'attendre à retrouver, dans les pellicules adhérentes, le reflet même de cette discontinuité sous-jacente, se traduisant par des zones de fixation intense, suivies de plages moins adhérentes et ceci à des degrés divers ; le tout étroitement juxtaposé à la manière d'une mosaïque extrêmement variée où chaque élément se réduisait à des micro-cristaux. Poussant plus loin l'analogie, et en admettant que l'on eût attribué à une telle mosaïque, à notre échelle humaine, un ton déterminé correspondant aux zones de fortes adhérences, il en eût résulté une tonalité correspondante, d'autant plus soutenue, que les éléments teintés eussent été plus nombreux. Ce qui est tonalité dans le cas de notre mosaïque sera régularité de fixation, résistance d'ensemble, dans le cas de la pellicule lubrifiante.

Pour délicats qu'ils soient, il faut se convaincre que c'est l'ensemble de ces facteurs d'onctuosité qui régit au premier chef toutes les manifestations du graissage dont nous n'apercevons que des effets totalisés.

On comprend mieux, par tout ce que nous avons dit jusqu'ici, qu'il eut été vain — et de peu d'intérêt d'ailleurs — de parler de l'action des produits d'apport, sans le rappel des principes fondamentaux du graissage. Cet examen, pour rapide qu'il fut, a éclairé, pour beaucoup je l'espère, la question d'un jour nouveau.

On entrevoit dès maintenant des moyens d'action logiques, en exaltant l'onctuosité d'une huile par exemple, pour améliorer notablement les conditions de graissage. Nous allons pouvoir préciser tous ces points en toute connaissance de causes et en toute objectivité.

Le plan que nous allons adopter est extrêmement simple. Il consiste à passer en revue, dans les deux régimes extrêmes de graissage, les produits susceptibles d'apporter des modifications sensibles, soit en agissant sur les huiles, soit en agissant sur les surfaces.

Régime hydrodynamique. — Actions sur le lubrifiant, ce qui signifie encore action possible sur la viscosité, puisque c'est en ce cas la seule caractéristique mise en jeu.

En vérité, aucun produit d'apport ne trouverait en ce but sa justification technique.

Toutefois, il est une fraude assez classique pour mériter qu'on la signale ici, et qui consiste à additionner de paraffine une huile minérale fluide. Cela conduit effectivement à un épaississement notable de cette huile, mais pratiquement illusoire et surtout extrêmement dangereux, car lorsque la température atteint et dépasse la température de fusion de la paraffine, on assiste à une chute brutale de la viscosité avec tous les risques que cela comporte.

Il y a doublement fraude : non seulement tromperie sur la qualité, mais encore sur la valeur marchande du produit.

Actions possibles sur les surfaces. — En régime hydrodynamique la nature et la structure des surfaces n'interviennent pas. Toutefois l'état de poli ou de rugosité intervient et voici comment.

Tout le problème consiste à créer, puis à entretenir une couche lubrifiante suffisamment épaisse pour éliminer l'intervention des aspérités des surfaces, dans la manifestation du frottement.

Toutes choses égales d'ailleurs, il faudra donc que l'épaisseur de la couche lubrifiante soit d'autant plus importante que ces aspérités seront elles-mêmes plus importantes.

Conséquemment, tout moyen d'augmenter le poli des surfaces aura pour effet l'établissement du régime hydrodynamique sous des couches de plus en plus faibles. En d'autres termes, on élargit la zone de réalisation du régime visqueux.

Prenant l'exemple classique du tourillon tournant dans son coussinet, si la vitesse diminue, à charge donnée, l'épaisseur de la couche sustentatrice, dans la zone des hautes pressions, diminue également. Le régime hydrodynamique se maintiendra sous des vitesses de rotation d'autant plus faibles que l'on pourra descendre à des couches lubrifiantes plus minces.

Un certain nombre de produits d'apport se réclament de cet effet de polissage. Argiles dites colloïdales, du type de la blentonnite, talc, carbone amorphe ou cristallisé, tous réalisent ce processus, que nous avons signalé en son temps, quand nous parlions des moyens d'obtenir des surfaces, et qui consiste à réaliser un nivellement des aspérités par remplissage des sillons que laissent encore subsister les moyens de rodage direct les plus délicats.

Les valeurs relatives de ces différents produits d'apport, au strict point de vue du polissage, seront à la mesure de leur dispersion, de leur ténuité, de leur résistance physique aux phénomènes de t^o et de pression, de leur résistance chimique aux différents fluides avec lesquels ils peuvent venir en contact (acides, vapeur, etc.).

Ce qu'il convient de préciser, c'est que ces produits d'apport ne jouent ici qu'un rôle physique — j'allais dire passif — rôle de remplissage en vue du nivellement des surfaces.

Régime onctueux. — Action sur les lubrifiants. Il ne peut s'agir que d'intensifier le phénomène d'orientation ou d'accroître l'adhérence par addition de groupes actifs.

On comprend mieux maintenant l'exemple cité au début, et faisant allusion à l'emploi de l'huile de lard. De même celui cité à propos des tours six broches à grande vitesse.

D'une façon générale, les produits d'apports virant à ce but sont soit des huiles animales ou végétales, toutes largement pourvues de groupes actifs, soit des acides gras libres. Nous en avons suffisamment expliqué les effets pour qu'il soit inutile d'y revenir.

Action sur les surfaces. — C'est dans ce domaine que les efforts ont été à la fois les plus nombreux et les plus efficaces.

Un des produits les plus employés à cet effet est incontestablement le soufre, soit qu'il ait été incorporé à l'huile sous forme de soufre libre, très divisé, soit sous une forme combinée quelconque.

En fait les huiles soufrées ou sulfurées, sont d'un usage absolument courant comme huiles d'usinages, pour l'arrosage des outils coupants.

Il ne s'agit pas, comme bien l'on pense, de créer un état poli particulièrement poussé de la face de dégagement de l'outil coupant, et il ne peut être question ici que d'un phénomène d'onctuosité.

Plus exactement, sous l'effet des températures développées, il y a incorporation du soufre, non seulement pénétration physique dans les stries du métal, mais union intime avec le métal, au niveau des surfaces, désormais recouvertes d'un sulfure métallique sur lequel vont se fixer les pellicules lubrifiantes. Or on connaît l'affinité toute particulière des sulfures pour l'huile, principe largement employé dans les procédés de « flottage » pour la sélection des minerais sulfurés.

Cette affinité va donc se manifester par une adhérence accrue en particulier du lubrifiant qui se traduira aussitôt par un meilleur fini des pièces et une moindre usure de l'outil.

Dés essais que j'ai personnellement conduits sur une centaine de tours Brown et de tours Cuttats, comportant une opération de filetage sur acier, furent à cet égard particulièrement nets. Les coupeaux des filières, de part leur disposition ne sont que difficilement atteints par l'arrosage, fut-il abondant. De là l'intérêt du maintien du lubrifiant. De fait, non seulement l'addition de soufre ou de concentrés sulfurés permit d'éliminer les arrachages de filet précédemment fréquents, mais les temps d'utilisation des filières entre affûtage furent en moyenne triplés.

D'une façon plus générale, les huiles d'arrosage des machines-outils, ont pour fonction première d'éliminer les calories au fur et à mesure de leur production. En outre, elles doivent en même temps, par leurs qualités lubrifiantes, réduire ce développement de calories au minimum.

S'il fallait s'adresser à une huile minérale pure, la première condition de refroidissement exigerait — et exige d'ailleurs — une huile fluide, capable d'un écoulement rapide d'un étalement rapide sur les surfaces et d'un renouvellement continu. Par contre, la condition

lubrification exige une tenue de l'huile, sous forme de couches de contact particulièrement adhérente. En supposant qu'elle puisse atteindre à ce minimum d'adhérence nécessaire, une huile minérale pure serait alors beaucoup trop visqueuse pour satisfaire la première condition de refroidissement.

Et c'est là une image typique des dilemmes constants qui se posent en matière de graissage. Satisfaire aux conditions de refroidissement au détriment de l'action lubrifiante ? et l'on penche vers une huile la plus fluide possible. Mais aussitôt s'impose la condition lubrifiante, et l'on se déplace vers les viscosités croissantes, pour s'arrêter finalement à une solution de compromis qui ménage les deux conditions contradictoires, sans en satisfaire pleinement aucune.

Tout ceci bien entendu, dans le cas où l'on s'attache à ne faire appel qu'à une huile pure.

Et c'est là, devant ces solutions constantes de compromis, plus ou moins malheureux, de par la nature même des problèmes de graissage, que s'impose à l'esprit, en toute logique, en toute objectivité, non seulement l'utilité, mais encore la nécessité des produits d'apports.

Grâce à eux, au soufre, dans le cas particulier qui nous occupe ici le compromis boiteux auquel il se fallait résoudre en ne faisant appel qu'aux seuls propriétés de l'huile, se trouve d'un coup levé, puisqu'aussi bien l'adhérence nécessaire est obtenue par action sur les surfaces, et permet ainsi, par l'emploi d'une huile fluide, de satisfaire pleinement la condition de réfrigération.

Dans un certain nombre d'applications du même ordre, on a réalisé par l'emploi de la céruse une amélioration très sensible des conditions de graissage, et le cas est d'autant plus intéressant à signaler que le processus d'action du produit d'apport est ici sensiblement différent.

On imagine aisément, sans être un spécialiste de la question, les difficultés que l'on rencontre par exemple pour refroidir et lubrifier les arêtes coupantes d'un forêt de petit diamètre, travaillant à grande profondeur.

Si, dans les machines semi-automatiques, l'ouvrier peut, par le jeu très simple et répété d'un levier, retirer le forêt, ce qui dégage les copeaux et permet un arrosage fréquent, il est d'autres machines où le forage s'exécute de façon continue, avec une avance réglée une fois pour toutes.

L'arrosage, aussi abondant fut-il, sur la partie du forêt encore découverte, est inopérant à l'endroit même où il serait utile. Certes, lorsque la dimension de l'outil le permet, on a imaginé une amenée de lubrifiant par l'intérieur, débouchant aux endroits appropriés. Mais, outre que les dimensions ne permettent que rarement l'emploi de ce procédé, il est pratiquement rendu très fréquemment inefficace par l'occlusion des trous d'arrivée.

On s'adresse alors à la céruse, parfois au talc ou au graphite. Le processus est d'ailleurs le même.

Si le forage n'est pas trop profond, si la quantité de calories à éliminer n'est pas d'un coup trop élevé, on utilise ces produits d'apports sous forme de suspensions très divisées dans l'huile. La petite quantité d'une telle suspension qui, malgré l'obstacle des copeaux se dégageant continuellement en sens inverse, parvient en tête du forage, dépose, sur les parois métallique, après la rapide évaporation de l'huile toujours fluide, une couche plus ou moins importante du produit d'apport jouant le rôle d'un lubrifiant sec. Souvent même, afin d'obtenir une réfrigération plus poussée et un dépôt plus rapide, ou utile une suspension de ces produits d'apport dans l'eau.

Ici donc, les attributions sont encore plus nettement distinctes : l'huile — ou l'eau — n'a pour fonction que de pourvoir au refroidissement, quand à la lubrification, elle revient presque exclusivement au produit d'apport.

On peut dès maintenant, après tout ce que nous avons dit, opérer un classement des produits d'apports, selon leur mode d'intervention, selon la nature de leurs effets.

1° Ceux qui, de par leur ténuité, leur dispersion, et leurs résistances aux agents physiques et chimiques, confèrent aux surfaces un état de poli plus poussé que ne le permettrait un simple rodage, aussi soigneusement conduit qu'il fût.

En fait, ce processus par nivellement est constant, à des degrés divers, pour toutes les suspensions réalisées jusqu'à ce jour, qu'il s'agisse du talc, du mica, de la céruse, du graphite, de l'argile colloïde du camphre, voir même du soufre à l'état libre.

Nous avons parlé en son temps de l'importance du nivellement des surfaces en régime hydrodynamique : il va de soit que cette importance est encore accrue en régime hybride où onctueux, où

l'influence des surfaces est constante (répartition plus régulière des couches lubrifiantes, étalement rapide par la suppression des obstacles physiques que constituent les aspérités, etc...

2° Ceux qui, par leur nature, confèrent aux surfaces des propriétés nouvelles susceptibles d'exalter l'onctuosité, soit en se substituant totalement à ces surfaces (talc, mica, graphite), soit en les modifiant (exemple du soufre, formation de sulfures métalliques).

3° Ceux enfin, qui, en l'absence du lubrifiant huile, sont susceptibles de présenter par eux-mêmes des qualités auto-lubrifiantes certaines (céruse, talc, mica, graphite).

Nous allons conclure par l'examen du graphite, qui permettra de rassembler tous les éléments établis, en une synthèse aussi ramassée que possible.

Nous ne reviendrons pas cependant sur le polissage par nivellement, dont les effets sont évidents.

En ce qui concerne l'onctuosité, sous un aspect encore différent de celui exposé pour le soufre, le graphite a une action certaine que confirment de nombreux faits.

Les particules de graphite, véhiculées par l'huile, rendues fortement adhérentes aux surfaces métalliques sous les effets conjugués de la pression et de la température, se substituent en partie ou en totalité au métal, selon le degré de recouvrement et, aux phénomènes d'affinités huile-métal qui régissaient l'onctuosité, se substituent les phénomènes d'affinité huile-graphite.

Or, l'affinité huile-carbone est indéniable. Non seulement, à l'égal des minerais sulfurés, les minerais diamantifères sont sélectionnés par flottage sur l'huile, mais l'on se rappellera encore la supériorité de la fonte comme surface de frottement, par suite de l'adhérence des couches lubrifiantes les plus minces.

L'onctuosité est donc accrue par le jeu du facteur « affinité ». Ce n'est pas tout.

Microcristaux enchevêtrés en tous sens, figés selon les orientations les plus diverses, tels qu'ils ont été surpris par la solidification, nous avons vu que c'est là l'aspect sous lequel se présente une surface métallique à l'échelle moléculaire, c'est-à-dire en supposant l'élimination des aspérités.

La part de l'énergie de fixation attribuable aux surfaces, et qui

varie d'un constituant à l'autre, est donc éminemment variable sur de telles surfaces de texture discontinue, et cette irrégularité d'énergie de fixation du point à l'autre, entraîne évidemment une irrégularité correspondante dans les assises lubrifiantes fixées.

On sait par ailleurs la nature lamellaire du graphite naturel et la faculté de clivage qu'entraîne sa stratification. Les efforts tangeants qui, dans un mouvement de translation, ont pour effets de cliver les particules de graphite, par cette répartition même en plans parallèles déduits les uns des autres, à la manière de cartes étalées d'un jeu, ont pour résultat de conférer une orientation uniforme à la surface ainsi graphitée.

Donc, en résumé :

Non seulement l'onctuosité est accrue par un facteur d'affinité plus intense, mais encore, cette affinité sera plus régulière d'un point à l'autre, plus uniforme et l'orientation régulière, nouvellement d'onctuosité.

Tous ces phénomènes sont d'ailleurs tellement bien établis qu'on a réalisé artificiellement des surfaces solides graphitées tels que coussinets, glissières, etc. en partant d'agglomérés à base de bronze et de graphite, et cette pratique se développe de plus en plus.

Enfin, à l'extrême limite du graissage, et ce sont des cas plus fréquents en pratique qu'on ne l'imagine, l'avarie, le grippage le plus souvent, peut encore être évité, si le produit d'apport incorporé à l'huile lors du régime normal de graissage, possède, outre les avantages précités, celui d'être en lui-même auto-lubrifiant.

C'est le cas du talc et de la céruse agissant l'un et l'autre par substitution aux surfaces primitives d'une couche continue d'énergie superficielle moindre. C'est aussi le cas du graphite qui aux propriétés précédentes, ajoute celle de pouvoir se cliver, provoquant ainsi un frottement graphite sur graphite dont la valeur est particulièrement réduite.

En définitive, de quoi s'agit-il ?

- D'une part, d'assurer la permanence du graissage.
- D'autre part, de la réaliser dans des conditions optima.

Or, on avait trop tendance à admettre, en matière de graissage, que les conditions de fonctionnement étaient satisfaisantes, uniquement parce qu'elles n'étaient pas catastrophiques : le graissage satisfaisant n'était que celui qui ne provoquait pas d'avaries.

Mais cette manière, en quelque sorte négative, d'envisager le problème, coûte en réalité fort chère.

Si l'on a dit, des circonstances actuelles, qu'elles contribuaient à mettre en valeur le principe des produits d'apport en lubrification, c'est que de toute part, on s'aperçoit aujourd'hui qu'il eut été depuis longtemps possible de faire mieux et à meilleur compte.

Pour parler de façon plus précise encore, il est évident que lorsque la permanence du graissage est assurée par une forte adhérence, venant d'une affinité développée lubrifiant-surface, au lieu d'être assurée par un apport sans cesse renouvelé de lubrifiant, on a ainsi gagné, non seulement en sécurité, mais encore en lubrifiant.

Voilà en quoi les produits d'apports, auxiliaires toujours utiles, souvent nécessaires, de l'huile de graissage, constituent un très réel et profond progrès.

S'il y a parfois certaines réserves à faire sur l'opportunité de leur emploi, c'est que, là comme ailleurs, il ne suffit pas qu'un principe soit bon et scientifiquement justifié, mais il faut encore qu'il soit correctement réalisé.

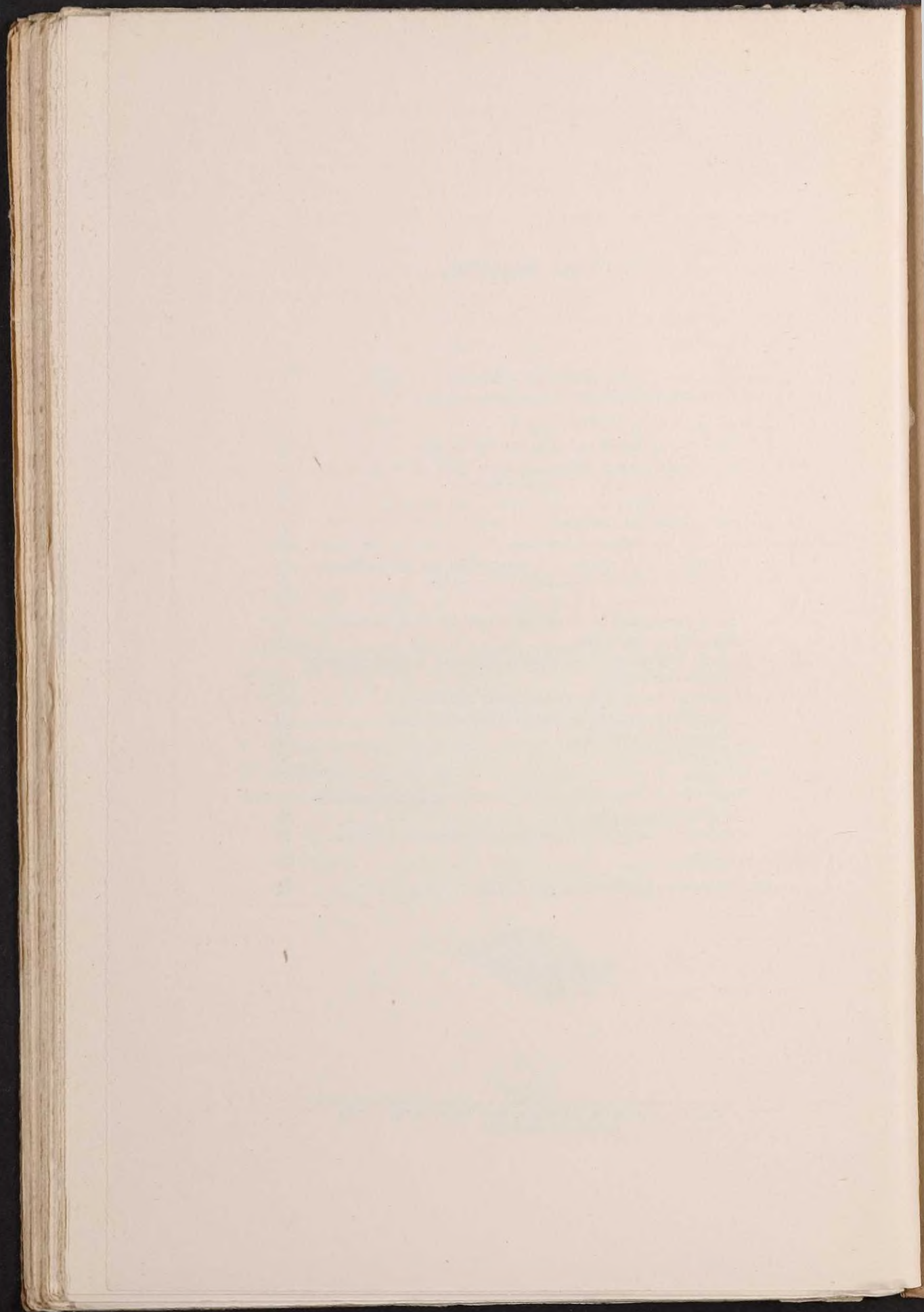
Autrement dit, si l'huile de lard est à recommander pour telle application, encore faut-il qu'elle contienne de la tristéarine. De même, si l'adjonction de produit d'apport est souhaitable, encore convient-il de s'assurer que ceux-ci répondent aux qualités qu'on en attend. Répétons enfin, pour conclure, que notre but ici, a été de mettre en relief et d'habiliter un principe éminemment profitable, dont l'application, de nos jours, est non seulement une nécessité, mais presque un devoir.



TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Les Cétones, carburant à grand pouvoir indétonant par J. Lefranc.....	3
L'hydrolyse des matières cellulosiques, par Ch. Berthelot.....	29
I. — Objet de l'hydrolyse de la cellulose.....	29
II. — Intérêt de l'hydrolyse des matières cellulosiques.....	30
III. — Technique de la saccharification des matières cellulosiques....	31
IV. — Principes des procédés de saccharification.....	33
V. — Rappel de la définition de la lignine et des celluloses.....	34
VI. — Différenciation des celluloses.....	35
VII. — Celluloses des différentes essences.....	35
VIII. — Enchaînement des réactions de saccharification de la cellulose.	38
IX. — Dispositions contre le phénomène de réversion.....	41
X. — Facteurs influençant la saccharification de la cellulose.....	46
XI. — Description du procédé Mennier. Saccharification du bois par dégradations multiples.....	48
XII. — Exemple d'application du procédé Meunier à l'hydrolyse de déchets cellulosiques.....	50
XIII. — Description du procédé de percolation Scholler.....	52
XIV. — Description du procédé de saccharification Bergius.....	53
XV. — Rendement de l'hydrolyse.....	54
XVI. — Le furfurol.....	56
XVII. — La lignine.....	57
XVIII. — Préparation de l'alcool de sulfite. Traitement des liqueurs rési- duaires de papeteries.....	58
XIX. — Orientation possible de l'industrie de l'hydrolyse en France...	59
Conclusions générales.....	60
Les produits d'apport en lubrification, par G. Juin.....	61







ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- GIBRAT (Robert), Paris. — Impasses économiques.
- GIBSON (C. S.), London.
- GOMEZ (Domingo M.), Paris. — Recherches d'Hémodynamique et Cardiologie.
- GOUSAT (E.), Paris. — Leçons sur les Hypergéométriques (et sur quelques fonctions qui s'y rattachent).
- GREENWOOD (Thomas), London. — Logique et méthodologie.
- GUICHARD (Marcel), Paris. — Philosophie et histoire des mesures.
- GUILLAUME (G. et Ed.), Paris. — Économie Rationnelle.
- HADAMARD (J.), Paris. — Analyse mathématique et ses applications.
- HENRI (Victor), Liège. — Physique moléculaire.
- HERBRAND (Jacques), Paris. — Exposés mathématiques publiés à sa mémoire.
- HUBER (M.), Paris. — Statistique et Applications.
- JARRY-GUÉROULT (Robert), Paris. — Dynamique Sociale.
- JAVILLIER (Maurice), Paris. — Chimie agricole.
- JOFFÉ (A. F.), Leningrad. — Physique des corps solides.
- JOLEAUD (L.), Paris. — Biogéographie.
- JOLIOT (F.), Paris. — Physique et chimie nucléaire.
- JOUNIAUX (A.), Lille. — Chimie analytique (Chimie physique, minérale et industrielle).
- Leçons de Chimie analytique.
- KOLTZOFF (N.-K.), Moscou. — La génétique et les problèmes de l'évolution.
- KRYLOFF (N.), U. R. S. S. — Mécanique non linéaire (Étude des oscillations non linéaires et des systèmes dynamiques y intervenant).
- LAHY (J. M.), Paris. — Psychologie appliquée.
- LANDEVIN (P.), Paris. — I. Relativité ; II. Physique générale.
- LAPIQUE (Louis), Paris. — Physiologie générale du système nerveux.
- LAUGIER (H.), Paris. — Biologie du travail et Biotypologie.
- LECOMTE DU NOUY (P.), Paris. — Biophysique moléculaire.
- LEVI (Giuseppe), Turin. — L'accroissement des organismes.
- LUTFALLA (Georges), Paris. — Économie théorique et Statistique économique.
- MAGNAN (A.), Paris. — Morphologie dynamique et mécanique du mouvement.
- MARGARIA (Rodolfo), Parme. — Physiologie du travail musculaire.
- MARIE (Ch.), Paris. — Electrochimie appliquée.
- MAURAIN (Ch.), Paris. — Physique du globe.
- MAYER (André), Paris. — Physiologie.
- MILLOT (J.), Paris. — Anthropologie physiologique et pathologique.
- MINEUR (Henri), Paris. — Astronomie stellaire.
- MISES (Richard de), Istanbul. — Théorie moderne des probabilités.
- MONTEL (P.), Paris. — Théorie des Fonctions.
- MORRIS (Charles W.), Chicago. — Philosophie scientifique.
- MUSCELEANU (Chr.), Bucarest. — Physique générale et Quantique.
- NADSON (G. A.), U. R. S. S. — Biologie (Rayonnements, Facteurs chimiques et physiques).
- NEEDHAM (J.), Cambridge. — Chemical Embryology (Embryologie chimique).
- NICLOUX (M.), Strasbourg. — Chimie analytique (Chimie organique et biologique).
- NOYES (Albert W. jr.), Providence R. I. (U. S. A.). — Photochimie.
- OCAGNE (Maurice d'), Paris. — Procédés généraux de calcul (Calcul numérique. — Calcul graphique. — Calcul nomographique. — Calcul mécanique).
- OEHMISCHEN (E.), Paris. — Mécanismes naturels et technique humaine.
- OMBREDANE (A.), Paris. — Psycho-physiologie du langage.
- ORCEL (J.), Paris. — Minéralogie.
- PASCAL (P.), Paris. — Chimie générale et minérale.
- PÉREZ (Ch.), Paris. — Biologie zoologique.
- PERRIN (J.), Paris. — Atomistique.
- PIÉRON (Henri), Paris. — Physiologie des Sensations.
- PLATRIER (Ch.), Paris. — Géométrie cinématique ; Mécanique Newtonienne (Cours de l'Ecole Polytechnique).
- POLICARD (A.), Lyon. — Histophysiologie.
- PORTEVIN (A.), Paris. — Métallurgie et Métallographie.
- PUBLICATIONS DU LABORATOIRE D'ESSAIS (Conservatoire national des Arts et Métiers. Paris).
- PRENANT (Marcel), Paris. — I. Biologie écologique ; Leçons de Zoologie ; Publications de l'Institut mathématique de l'Université de Strasbourg.
- RANDON (L.). — Équilibre d'alimentation et de nutrition.



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- REICHENBACH (Hans), Istanbul. — Logique et théorie de la Science.
- RÉUNION INTERNATIONALE DE CHIMIE PHYSIQUE 1933. — Paris.
- REY (A.), Paris. — Histoire des Sciences.
- RIBAUD (G.), Paris. — Hautes températures.
- RIVERS (Thomas M.), New-York. — Filterable Viruses.
- ROCARD (Y.), Paris. — Théories mécaniques (Hydrodynamique-acoustique).
- SAND (René), Bruxelles. — Médecine sociale et service social.
- SANNIÉ (D^r Charles), Paris. — Criminalistique. — Identification et Police scientifique.
- SANTILLANA (G. de), New-York. — L'Homme et l'outil (Man and Gadget).
- SARTIAUX (M. F.), Paris. — Histoire des Techniques.
- SERVIER (Plus), Bucarest. — Esthétique.
- SESMAT (Augustin), Paris. — Systèmes de Référence et Mouvements (Physique classique).
- Systèmes de Référence et Mouvements (Physique relativiste).
- SIMON (Franz), Oxford. — Physique des basses températures.
- SOUÈGES (R.), Paris. — Embryologie et morphologie végétales.
- SPEARMAN (G.), Londres. — Analyse factorielle en psychologie.
- TAKAGI, Tokyo. — Mathématiques générales.
- TAMIYA-(HIROSHI), Tokyo. — Biologie (Physiologie cellulaire).
- TARSKI (Alfred), Varsovie. — Métalogique et mathématique.
- TAYLOR (Hugh S.), Princeton. — Hétérogènes catalyses.
- TCHAKHOTINE (S.), Paris. — L'Organisation dans la Science.
- TCHITCHIBABINE (A.), U. R. S. S. — Chimie organique (Série hétérocyclique).
- TEISSIER (Georges), Paris. — Biométrie et statistique biologique.
- TERROINE (E.-F.), Strasbourg. — Nutrition.
- TOUSSAINT (M. A.), Paris. — Leçons d'aérodynamique appliquée.
- URBAIN (G.), Paris. — Théories chimiques.
- URBAIN (Pierre), Paris. — Géochimie.
- VALÉRY (Paul), Paris. — Conférences du Centre Universitaire Méditerranéen de Nice.
- VERLAINE (Y.), Liège. — Psychologie animale.
- VERNADSKY (W. J.), U. R. S. S. — Problèmes biogéochimiques.
- WALLON (D^r Henri), Paris. — Psycho-biologie de l'enfant.
- WAVRE (R.), Genève. — Conférences internationales des Sciences mathématiques de l'Université de Genève.
- WEISS (P.), Strasbourg. — Magnétisme.
- WURMSER (R.), Paris. — Biophysique.

Actualités Scientifiques et Industrielles

Série 1940 (Suite).

891. N. OBRCHKOFF. Quelques classes de fonctions entières limites de polynômes et de fonctions méromorphes limites de fractions rationnelles. 20 fr.
892. J. PERRIN. A la surface des choses. Physique générale VI. L'Energie. 28 fr.
893. — — — — — VII. Evolution. 25 fr.
894. P. CHOUARD, J. DUFRENOY, A. EICHORN, L. EMBERGER, R. GAUTHERET, G. MANGENOT, H. J. MARESQUELLE et H. Prat. Les idées modernes sur le mécanisme de la photosynthèse. 25 fr.
895. KNUT LUNDMARK, SERGI GAPOSCHKIN, BENGT EDLEN, C. P. GAPOSCHKIN, F. J. M. STRATTON et C. S. BEALS. Observations des Novae. 60 fr.
896. P. SWINGS, B. STROMGREN et WALTER BAADÉ. Théorie des Novae, Supernovae. 25 fr.
897. G. P. KUIPER, S. CHANDRASEKHAR et SIR ARTHUR EDDINGTON. Naines blanches. 35 fr.
898. M. FAGUET. La Photoélectricité dans l'Enregistrement des Courbes de Croissance. 40 fr.
899. F. ENRIQUES. Causalité et Déterminisme dans la Philosophie et l'Histoire des Sciences. 40 fr.
900. A. HAUTOT et J. FARINEAU. Application de la Spectrographie des Rayons X à l'étude de l'Etat métallique. I^{re} partie. Etude historique. 25 fr.