

**MÉTHODE DE FABRICATION DES HYDROCARBURES  
DU DOCTEUR JEAN LAGRET  
diffusé sur [www.econologie.com](http://www.econologie.com)**

I Petit historique :

II Entretien et culture de la souche de bacille Clostridium perfringens et préparation de la solution la contenant :

III Conditions générales de la production d'hydrocarbures :

IV Production du seul méthane :

V Production simultanée de méthane et de pétrole :

VI Rendements en hydrocarbures :

VII Matières organiques utilisables :

## I PETIT HISTORIQUE :

Les premières hypothèses admettaient une origine minérale du pétrole. Berthelot ( 1886) puis Sabatier (prix Nobel de chimie 1912) et Senderens ont produit des hydrocarbures analogues au pétrole.

Mais le pétrole naturel semblait être d'origine organique, car il renferme de l'azote sous forme de combinaisons complexes (quinoléine). Comme un grand nombre de substances élaborées par les cellules vivantes, il est optiquement actif, c'est à dire dévie le plan de polarisation de la lumière. Enfin l'analyse spectrale révèle des produits dérivés de la chlorophylle. Les hydrocarbures d'origine minérale ne présentent aucune de ces caractéristiques.

(« Science et Vie » de juillet 1949)

C.Engler, professeur à l'École polytechnique de Karlsruhe ... est arrivé à obtenir de véritables hydrocarbures gazeux et liquides en opérant sous pression la distillation des matières grasses qui, d'après lui, devaient être contenue en grandes quantités dans les organismes des mers paléozoïques. Cette distillation fournit 60 % de véritables hydrocarbures artificiels. M Engler se croit donc autorisé à considérer comme admissible l'hypothèse de l'origine animale de ces carbures d'hydrogène.

(« Dictionnaire de chimie pure et appliquée : ... 2<sup>ème</sup> suppl, partie 4, F-G : Hachette (Paris) 1869-1908)

L'école française de paléobotanique a été à l'origine de la découverte de la formation bactérienne des pétroles en montrant, en 1892, la formation par étape des Bogheads.

(« Le Rôle des Anaérobies dans la Nature » - II<sup>ème</sup> congrès international des microbiologistes de langue française – Bruxelles, 23-27 mai 1949 – exposé d'A.R. Prévot : Anaérobies réducteurs des sulfates et formation des pétroles – page 416)

De tous les chercheurs s'étant intéressés à la fermentation méthanique, c'est Söhngen qui avait serré le problème de plus près : Söhngen avait vu l'importance des formiates alcalins – Malheureusement il travaillait avec des cultures impures.

(« Titres et Travaux Scientifiques » de Jean Laigret de 1947 – Bibliothèque et archives de l'Institut Pasteur)

la première observation reliant la réduction des sulfates à la formation des pétroles est de 1928 : Gahl et Anderson reconnaissent la pullulation de ces germes dans les puits de pétrole de Californie, mais n'y voient qu'une coïncidence et non une relation de cause à effet. L'année suivante, Standnikow fait agir des anaérobies lipolytiques sur des algues et autres micro – organismes riches en graisses et constate la formation de composés insaponifiables et, parmi eux, des hydrocarbures de type pétrole.

(« Le Rôle des Anaérobies dans la Nature » - II<sup>ème</sup> congrès international des microbiologistes de langue française – Bruxelles, 23-27 mai 1949 – exposé d'A.R. Prévot : Anaérobies réducteurs des sulfates et formation des pétroles – page 401)

En 1944, Jankowski et Zobell ont montré que certaines espèces du genre *Sporovibrio*, cultivées à 26 ° en anaérobiose sur eau de mer additionnée d'acides gras, peuvent produire, en trois semaines, une quantité appréciable d'huile de pétrole, éthéro-soluble, insaponifiable; l'acide n-caprique en particulier a donné naissance à des hydrocarbures de la série des pétroles de C<sub>10</sub> à C<sub>25</sub>. L'expérience a pu être étendue aux acides acétique, propionique, butyrique, caproïque, stéarique et lactique neutralisés par la soude à pH 7. La présence d'une couche de sable stérile au fond de la fiole d'expérience accélère la formation des hydrocarbures.

(Congrès de Bruxelles, mai 1949 – page 402)

Rosenfeld a montré récemment (1945-1946) 1° que les anaérobies lipolytiques cultivées sur algues provoquaient une augmentation marquée de la teneur en substance soluble dans l'éther et insaponifiable, semblable aux pétroles bruts. Cette augmentation très lente (cent trois jours) est de 0,9 à 0,13 p 100. Elle est due à la réduction des lipides des algues en hydrocarbures ; 2° que les réducteurs de sulfates sont des lipolytiques puissants, ce qui a amené à penser que loin d'être les simples témoins de la formation des pétroles, ils ont pu en être les agents actifs.

(Congrès de Bruxelles, mai 1949 – page 403 et 404)

L'intérêt capital des expériences de Laigret (1945-1947) si toutefois elles sont confirmées par d'autres expérimentateurs, est d'avoir montré que des anaérobies lipolytiques autres que les sporovibrions sont également capables de produire des hydrocarbures.

(Congrès de Bruxelles, mai 1949 – page 405)

Toutes les étapes de la dégradation bactérienne des lipides et de la synthèse enzymatique des hydrocarbures sont maintenant expérimentalement démontrées et il est possible de produire au laboratoire, par culture microbienne, des substances analogues aux pétroles bruts.

(Congrès de Bruxelles, mai 1949 – page 417)

## II ENTRETIEN ET CULTURE DE LA SOUCHE DE BACILLE CLOSTRIDIUM PERFRINGENS ET PREPARATION DE LA SOLUTION LA CONTENANT

Établir un vide de 76 sur la gradation d'un manomètre dans le tube où cultiver la souche A 5029 du Clostridium perfringens selon les techniques de repiquage en gélose de Veillon et en tubes d'Yvan Hall, ou cultivée en bouillon.

(« Technique simple de culture des microbes anaérobies » par Jean Laigret et R Durand – « Archives de l'Institut Pasteur de Tunis » de 1935)

Lorsqu'on veut ensemer un milieu destiné à la fermentation on peut commencer par repiquer la souche en bouillon glucosé à 2 pour mille, mettre à l'étuve à 37 ° pendant 48 heures, contrôler la pureté de la culture, ajuster le pH à 7 et prendre 20 centimètres cubes de cette semence pour un litre du milieu qu'on désire fermenter.

On peut utiliser, comme éléments nutritifs, des substances azotées de diverses provenances : macération de viande ou de poisson, décoctions stériles de déchets animaux, de fumiers etc. Un milieu particulièrement avantageux est l'eau peptonée à 10 pour mille. Il est recommandé de ne pas dépasser la teneur en azote correspondante sous peine de voir baisser l'activité du ferment.

Les micro-organismes propres à la production d'hydrocarbures par le procédé faisant l'objet de l'invention appartiennent à la catégorie des microbes anaérobies et plus particulièrement à la classe du bacille « perfringens ». La préférence est donnée à la souche de bacille perfringens identifiée par le Professeur Weinberg et cataloguée sous le numéro 5029 dans la collection de l'Institut Pasteur de Paris.

(Brevet d'invention – Procédé de production d'hydrocarbures gazeux et liquides et produits obtenus par ce procédé. - Monsieur Jean-Ferdinand-Marie-Philippe LAIGRET résidant en Tunisie. - Demandé le 16 octobre 1947, à 16<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>, à Paris. - Délivré le 9 janvier 1952. - Publié le 17 avril 1952.)

[Remarque : Il est peut être nécessaire de stériliser les bocal de culture ou de fermentation.]

### III CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA PRODUCTION D'HYDROCARBURES

pas de consommation appréciable d'éléments nutritifs par le *Clostridium perfringens* ni dégradation des catalyseurs employés.

Pour que la fermentation s'oriente vers la production d'hydrocarbures, le demandeur a trouvé que la présence d'iode et de silice, dans le milieu où travaille le bacille, était indispensable; ...

Le milieu le plus commode et le plus favorable est un milieu aqueux dans lequel l'iode figure en très petite quantité, la teneur optimum en iode étant d'environ 0,02 à 0,01 % et la silice présente sous la forme d'un lit entièrement noyé. Pour l'obtention de fermentations rapides et actives, il y a intérêt à ce que la hauteur de ce lit représente au moins le sixième de celle du bain au-dessus du fond du récipient qui le renferme.

La silice, afin de présenter une grande action de surface, est de préférence à l'état très divisé (grains ou poudre par exemple). Toutes sortes de sables constitués essentiellement par de la silice peuvent être utilisés mais le kieselgühr est particulièrement recommandé. [ Nous avons aujourd'hui des techniques de pulvérisation des matériaux approchant de quelques microns, ce qui est beaucoup mieux qu'à l'époque du docteur Laigret.]

Quand à l'iode, il peut être par exemple introduit dans le milieu sous forme de liqueur iodo-ioduré telle que la liqueur de lugol.

Parmi les substances organiques aptes à fournir des hydrocarbures sous l'action des bacilles anaérobies, les sels solubles des acides aliphatiques, plus particulièrement les sels alcalins, y compris les sels d'ammonium, ainsi que les acides aliphatiques inférieurs eux-mêmes et les alcools aliphatiques inférieurs, se sont révélés particulièrement intéressants et d'une mise en oeuvre aisée à cause de leur solubilité dans l'eau. Les substances en question sont utilisables soit isolément, soit sous la forme de mélanges, en particulier de mélanges industriels ou de solutions industrielles. Des sels d'acides gras supérieurs peuvent notamment être utilisés sous la forme de savons, tels que les savons du commerce, préparés à partir de matières grasses végétales ou animales.

Conditions de conduite d'une fermentation anaérobie et substances nutritives pour la classe du bacille *perfringens* sont requises.

En ce qui concerne la température, le demandeur a trouvé qu'il était possible d'opérer à des températures un peu inférieures à 37° sans porter un préjudice sérieux à la production d'hydrocarbures: c'est ainsi que cette production est encore bonne à 30° mais plus lente. Afin d'exclure l'air dans la mesure du possible, il est commode d'opérer dans des cuves fermées par un couvercle muni d'un tube de dégagement de gaz avec robinet et remplir ces cuves jusqu'au couvercle.

En marche normale, la fermentation s'équilibre d'elle-même à la neutralité (pH 7) mais si, accidentellement, le milieu vient à s'acidifier, il y a lieu de rétablir la neutralité par exemple par addition de soude ou de carbonate de sodium.

Pour la mise en oeuvre du procédé il y a avantage à préparer tout d'abord

une solution aqueuse de substances nutritives, à y ajouter une culture pure de bacilles ainsi que de l'iode, à placer le tout dans le ou les récipients garnis d'un lit de silice stérile, en les remplissant complètement, puis à ajouter les substances fermentescibles que l'on renouvelle au fur et à mesure de leur consommation.

(Brevet d'invention – Procédé de production d'hydrocarbures gazeux et liquides et produits obtenus par ce procédé.- M. Jean-Ferdinand-Marie-Philippe LAIGRET résidant en Tunisie.- Demandé le 16 octobre 1947, à 16<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>, à Paris.- Délivré le 9 janvier 1952. - Publié le 17 avril 1952.)

Le *perfringens* n'était pas inconnu. Il est répandu dans le sol. Il jouait même un rôle dans les infections des plaies chez les blessés. On le trouve communément dans les matières végétales en décomposition.

(« La République du Centre » du 26 septembre 1947)

[Remarque : Le *Clostridium perfringens* est constamment présent dans nos estomacs. Il peut être l'agent d'une gastro-entérite.]

#### IV PRODUCTION DU SEUL MÉTHANE

Lorsqu'on soumet à la fermentation des acides aliphatiques inférieurs ou leurs sels alcalin, l'hydrocarbure qui commence à se former, au bout d'un certain temps, et qui, ensuite, est produit continuellement est le méthane. Pour la bonne marche de la fermentation, il y a intérêt à utiliser initialement un sel alcalin – d'acide aliphatique inférieur comme matière fermentescible, ce qui conduit à la formation, dans le milieu réactionnel, de carbonate alcalin jouant par la suite le rôle de tampon et l'on peut poursuivre l'opération avec l'acide lui-même dès que la fermentation méthanique a commencée.

Lorsqu'il s'agit de soumettre des alcools aliphatiques inférieurs ou des sels d'acides aliphatiques supérieurs (ces derniers conduisant à la production de pétroles), il y a avantage à amorcer, au préalable, une fermentation méthanique, par exemple au moyen d'un formiate alcalin, et à procéder ensuite à l'addition d'alcools ou de sels d'acides supérieurs, éventuellement avec poursuite concomitante de l'addition d'acide ou de sel d'acide aliphatique inférieur.

Exemple 1 : (du brevet)

Exemple 2 : (du brevet)

(Brevet d'invention – Procédé de production d'hydrocarbures gazeux et liquides et produits obtenus par ce procédé. - M. Jean-Ferdinand-Marie-Philippe LAIGRET résidant en Tunisie. - Demandé le 16 octobre 1947, à 16<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>, à Paris. - Délivré le 9 janvier 1952 – Publié le 17 avril 1952.)

Dans sa première expérience, Laigret a tout d'abord montré que *Welchia perfringens*, cultivé en bouillon additionné d'un formiate alcalin (sodium, calcium, baryum ou ammonium) et de 1 p 5000 d'iode sous forme de lugol, n'acidifie pas le milieu et donne une fermentation méthanique; le taux de méthane peut atteindre 80 p 100 du volume total des gaz produits.

(Le Rôle des Anaérobies dans la Nature – II<sup>ème</sup> congrès international des microbiologistes de langue française Bruxelles, 23-27 mai 1949 – Anaérobies réducteurs des sulfates et formation des pétroles par A. R. Prévot)

*Fermentation de liquides organiques sans addition d'aucune substance modificatrice :*

Dans les conditions ordinaires d'attaque de la matière organique, c'est-à-dire sans l'intervention d'aucune substance modificatrice, le Bacille *perfringens* souche A. 5029 provoque des dégagements rapides, tumultueux, où l'anhydride carbonique et l'hydrogène se mêlent en proportions variables. Les gaz sont combustibles quand leur teneur en hydrogène dépasse 30 à 35 %. Très vite se forment dans les liquides les acides butyriques, acétiques et lactiques : le pH tombe à 5 et au-dessous; le développement bactérien s'arrête. Cette fermentation, du type butyrique classique, ne conduit jamais au méthane.

*Liquides fermentescibles additionnés d'un formiate alcalin :*

Si aux mêmes liquides fermentescibles on ajoute, avant l'ensemencement du microbe, un formiate, de soude, de chaux, de baryte, mieux encore d'ammoniaque, des modifications importantes surviennent. D'abord le dégagement est moins précoce : il ne débute qu'au 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> jour, au lieu des 6<sup>ème</sup>-10<sup>ème</sup> heures. Il est plus régulier et il se prolonge. C'est qu'en effet le milieu ne s'acidifie pas : les acides se trouvant saturés, au fur et à mesure de leur production, par la base du formiate. Il en résulte que la culture n'est pas entravée; la fermentation évolue tout entière à pH neutre.

Le volume des gaz est notablement augmenté. Ces gaz contiennent en général partie égale d'hydrogène et de gaz carbonique. Ils brûlent. Ils ne renferment jamais de méthane.

*Liquides additionnés d'un formiate alcalin et d'iode :*

Si, avant de mettre les liquides à fermenter, on les additionne de formiate alcalin, de préférence ammoniacal, et de traces d'iode (1 pour 5000 d'iode, sous forme de solution dans l'iodure de potassium, le pH, comme précédemment, reste neutre. Des gaz se dégagent à partir du 2<sup>e</sup>-3<sup>e</sup> jour : ils sont riches ou très riches en hydrogène.

Le premier dégagement terminé, on ne voit plus monter, pendant une période de 10 à 15 jours, que des bulles insignifiantes. Puis un deuxième dégagement se produit, il est riche ou très riche en méthane.

Nous avons obtenu ce résultat avec les substances organiques les plus diverses : peptones du commerce; peptones préparées au laboratoire par digestion chlorhydrique de viscères ( peptone Martin); macérations de viandes de boeuf, de cheval, de poissons; solutions de glucose, de sucre de canne, de miel, de manne; décoctions de graines, de feuilles, de tiges, de bulbes de différentes plantes. Pour chaque substance ou mélange de substances, il est nécessaire d'opérer un tirage qui indique les proportions convenables de formiate et d'iode qu'il faut employer. Ce tirage s'opère par dilutions, en présence d'une quantité fixe de la semence.

On arrive ainsi à des rendements considérables, 1 g de formiate produisant jusqu'à 1600 cm<sup>3</sup> de gaz, riches pour une moitié, de plus de 80 % d'hydrogène et, pour l'autre moitié, de plus de 80 % de méthane. Oxyde de carbone en moins, le mélange a la composition des meilleurs gaz de distillation de la houille.

... Dans nos expériences nous avons eu d'abondants dégagements de méthane à partir de liquides entièrement dépourvus de cellulose.

Mais ce qui domine, c'est la constatation nouvelle du rôle du Bacille perfringens. Ce microbe, sans l'aide d'aucune autre bactérie, s'est montré capable de provoquer non seulement la fermentation butyrique, ce qu'on savait déjà, mais aussi, et d'une manière très active, la fermentation méthanique...

...Il n'est pas nécessaire, comme on le fait dans la pratique empirique du gaz dit de ferme ou de fumier, de soumettre la matière organique à une putréfaction préalable.

(Séance de l'Académie des sciences du 24 septembre 1945)

...En soumettant un acide gras-en l'occurrence l'acide formique-à l'action

du « perfringens », j'obtins en effet du méthane, c'est à dire le carburant le plus simple et le plus gazeux. En d'autres termes, un gaz excellent combustible, identique au gaz d'éclairage, avec cette différence qu'il ne contient pas d'oxyde de carbone.

(« La République du Centre » du 26 septembre 1947)

## V PRODUCTION CONCOMITANTE DE METHANE ET DE PETROLE

Ayant obtenu le méthane à partir des sels alcalins de l'acide formique et des autres acides gras inférieurs, je me suis demandé si en faisant fermenter des acides de poids moléculaire plus élevé je n'obtiendrais pas des carbures supérieurs. J'y suis parvenu en introduisant dans les cultures des savons de l'acide oléique : j'ai vu monter à la surface un liquide noir combustible dont la distillation fournit des hydrocarbures analogues aux constituants des pétroles.

(« Titres et travaux scientifiques » de Jean Laigret de 1947 – Bibliothèque et Archives de l'Institut Pasteur)

Lorsqu'il s'agit de soumettre des alcools aliphatiques inférieurs ou des sels d'acides aliphatiques supérieurs (ces derniers conduisant à la production de pétroles), il y a avantage à amorcer au préalable une fermentation méthanique, par exemple au moyen d'un formiate alcalin, et à procéder ensuite à l'addition d'alcools ou de sels d'acides supérieurs, éventuellement avec poursuite concomitante de l'addition d'acide ou de sel d'acide aliphatique inférieur.

La fermentation des formiates seuls offre un intérêt réduit pour l'entretien continu de la production de méthane mais elle est utile pour amorcer celle-ci et, d'une manière générale, pour préparer le milieu aux autres types de fermentation. Par conséquent, en pratique, il est recommandé de commencer toujours par le formiate seul puis de passer soit aux additions d'alcool si l'on désire continuer de produire du gaz, soit aux additions de savons si l'on veut obtenir des carbures liquides...

Exemple 3. - Dans un milieu où la fermentation méthanique a été amorcée au préalable par du formiate, on continue d'ajouter du formiate à raison de 2 à 3 parties en poids par jour et par 1000 parties en volume de cuvée, et on ajoute en plus, chaque jour, un poids égal d'oléate de sodium ou de potassium. Pour faciliter l'addition du savon, on soutire de la cuve une certaine quantité du milieu, on y dissout le savon à chaud, on fait bouillir quelques minutes et on remet dans la cuve.

Le dégagement du méthane s'arrête; il ne se dégage plus, pendant quelques jours, que du gaz carbonique puis finalement rien. En même temps on voit se former à la surface du milieu une zone d'aspect rougeâtre, à la limite inférieure d'abord indécise; ensuite cette zone se condense pour faire une couche nettement séparée du liquide aqueux sous-jacent, elle prend une teinte acajou qui fonce de plus en plus et tend vers le noir. Cette couche est constituée de pétrole brut qu'on récolte facilement par aspiration ou simple décantation.

C'est ainsi qu'une cuve a reçu du 5 juin au 24 août 1947, soit pendant 80 jours, 224 parties en poids d'acide formique et 208 parties en poids d'un savon ordinaire du commerce préparé à l'huile d'olives et à la potasse. Il se forme 197 parties en volume de brut qu'on soumet à la distillation fractionnée. On obtient pour cent :

1 partie en volume à 100 degrés (eau); 4 parties en volume de 100 à 200

degrés; 5 parties en volume de 200 à 300 degrés; puis 20 parties en volume de fractions passant entre 300 et 320 degrés. 30 parties en volume de fractions passant entre 320 et 340 degrés, enfin 5 parties en volume de fractions entre 340 et 350 degrés. Il reste, à 350 degrés, 35 parties en volume d'un brai noir qui n'est pas distillé mais qui brûle en laissant un enduit mince de coke résiduel.

Il est commode d'opérer à la pression atmosphérique mais on ne sort pas du cadre de l'invention en travaillant à une pression différente.

(Brevet d'invention – Procédé de production d'hydrocarbures gazeux et liquides et produits obtenus par ce procédé. - M. Jean-Ferdinand-Marie-Philippe LAIGRET résidant en Tunisie. - Demandé le 16 octobre 1947, à 16<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>, à Paris.)

Dans sa seconde expérience, Laigret remplace les formiates par un savon alcalin (oléate); le milieu reste neutre, il ne se dégage plus de CH<sub>4</sub>, mais du CO<sub>2</sub> et il y a production d'un liquide noir non miscible à l'eau venant flotter à la surface. Ce liquide combustible renferme 15 p 100 d'une fraction distillant entre 163° (point initial) et 300°, 50 p 100 d'une autre passant entre 300° et 350°, et un résidu non distillable constitué par un brai noir, atteignant le taux de 35 p 100. Il a pu produire le pétrole brut « en continu », c'est-à-dire en mettant en oeuvre 4 g de savon par jour dans le flacon de fermentation et en retirant 3 cm<sup>3</sup> de pétrole brut par jour.

(Le Rôle des Anaérobies dans la Nature – II<sup>e</sup> congrès international des microbiologistes de langue française Bruxelles, 23-27 mai 1949 – Anaérobies réducteurs des sulfates et formation des pétroles, par A. R. Prévot – page 405)

L'expérience a été renouvelée dans cinq flacons différents, où la fermentation est entretenue présentement en continu : pour chaque flacon d'un litre, l'apport quotidien de 4 g de savon fournit, en moyenne, 3 cm<sup>3</sup> de pétrole brut par jour.  
(Séance de l'Académie des sciences du 25 aout 1947)

La lipolyse est l'œuvre des lipases bactériennes et surtout celles des anaérobies lipolytiques, réducteurs ou non des sulfates.  
(Bruxelles, 23-27 mai 1947 – page 415)

Il existe des anaérobies réducteurs de sulfates autres que les sporovibrions [et perfringens]. Ceux-ci sont des allométatrophes et leur sulfatase disparaît vite en culture. Une espèce nouvelle : Cl. Causeretsensis a été étudiée et décrite.

(Bruxelles, 23-27 mai 1947 – page 416)

Pourquoi le docteur Laigret a-t-il préféré le savon? Parce que cette matière grasse est soluble, tandis que l'huile, non miscible à l'eau ne peut être facilement fermentée, par le microbe.

(« Alger Républicain » du 28 aout 1947, pages 1 et 4, par André Cohen-Hadria)

La fermentation du savon fournit, en 23 heures, et régulièrement, une quantité de pétrole brut correspondant au savon introduit dans la cuve.

(« France Soir » du 28 août 1947, pages 1 et 3, par André Cohen-Hadria)

«...J'ai utilisé l'acide oléique sous forme d'huile d'olive, plus exactement, sous forme de savon d'huile d'olive, tout simplement parce que l'huile d'olive, pour être fermentée, doit être dissoute dans le milieu de culture et que le moyen le plus pratique de rendre l'huile soluble, c'est de la saponifier. »

«...Mais toutes les matières grasses, quelles qu'elles soient, contiennent l'acide oléique en proportion tantôt moyenne, tantôt forte...»

« ...N'oublions pas, ce qui est extrêmement important et prometteur, que les opérations de fermentation sont très rapides et surtout qu'elles fournissent une quantité de pétrole brut égale à celle du savon d'huile d'olive utilisé. C'est du 100 %... »

(« La République du Centre » du 26 septembre 1947)

Dans son laboratoire, le savant a fait assister les journalistes à la fermentation de résidus de boucherie, dans son alambic. Le pétrole coule goutte à goutte dans une éprouvette, tandis que le gaz est recueilli dans un bocal plein d'eau. « C'est en toute certitude, une grande révolution économique et aussi militaire qui s'annonce. » nous a dit le docteur Laigret.

(« France Soir » du 2 mai 1949)

...il ne faut pas négliger la possibilité de traitement des ordures ménagères d'une ville aussi grande que celle de Tunis, traitement qui serait d'autant plus aisé que la fermentation a des effets meilleurs lorsque des produits divers sont traités ensemble.

Il est juste également d'associer à son nom celui de ceux qui, depuis des mois, l'assistent avec dévouement enthousiaste, dans une tâche écrasante : M. Sassi, chimiste, MM. Chaignet et Chedli Bougbaha, préparateurs de l'Institut Pasteur, ainsi que monsieur Jouin, du laboratoire des mines, dont l'aide a été précieuse au moment des premiers essais de production du pétrole bactérien.

(« La Dépêche Tunisienne » du samedi 30 avril 1949, page 2)

- Influence de la température :

La température extérieure joue un grand rôle, d'abord sur le délai nécessaire (une semaine en principe, mais ce temps largement excédentaire peut être ramené à trois ou quatre jours), ensuite sur les résultats. Au-dessous de 30° C, on peut avoir surtout des produits gazeux, le méthane apparaissant même à partir de 20° C. A partir de 30° C, la marche de la fermentation est satisfaisante. Elle atteint son point optimum entre 37 et 40° C, car alors s'établit entre la température intérieure du milieu et la température extérieure un équilibre qui provoque une réactivation de la fermentation telle que les résultats sont de 50 % supérieurs. Au dessus de 42° à 43° C, la fermentation s'arrête. Quand à la pression, tous les essais ont été faits pratiquement

à la pression atmosphérique. Ceci ne correspond pas aux conditions naturelles de formation des hydrocarbures, et l'on est donc amené à penser que des expériences faites à une pression supérieure donneraient de meilleurs résultats. Il entre du reste dans les intentions du D<sup>r</sup> Laigret d'effectuer des recherches, dans ce sens, quand il disposera du matériel nécessaire.

La fermentation donne, au bout d'un temps variable, des produits également variables selon la nature des matières fermentescibles, mais qui sont, d'une part, des gaz combustibles, d'autre part des hydrocarbures liquides que l'on peut récolter séparément et des produits fermentés. Ces produits sont distillés, et la distillation permet d'extraire la totalité des hydrocarbures liquides et gazeux qu'ils contiennent encore.

On notera, au sujet de tous ces déchets, que les résultats de la fermentation par le *perfringens* sont en général meilleurs lorsque des denrées fermentescibles de nature différente sont soumises simultanément à l'action du ferment pétroléique.

(« Science et Vie » de juillet 1949)

... Le docteur Laigret a travaillé jusqu'ici sur du savon soluble à base d'huile d'olive. Il est évident que cette denrée, chère et contingentée, devra être abandonnée comme champ d'expérience, d'autant plus que l'acide oléique donne trop de carbures lourds. Quel sera l'acide gras qui demain permettra la production industrielle du pétrole ? Voilà qui reste à déterminer. Il pourra être question d'huile de poisson, mais plus vraisemblablement de graisses végétales.

... Il nous a également montré le produit obtenu, qui est un gas-oil très pur, un pétrole dont les sous-produits de distillation donneront de bonnes huiles, pétrole se rapprochant, nous précise-t-il, beaucoup plus des pétroles américains que des pétroles russes.

(« Reportage express de « La Tunisie Agricole » - LA TUNISIE fabriquera-t-elle demain les carburants nécessaires à sa motoculture ? » - « La Tunisie Agricole » du 13 septembre 1947)

L'ensemble de ses caractéristiques a permis de le classer dans une catégorie que l'on appelle, dans l'industrie des pétroles, le gaz-oil.

(« La Dépêche de Constantine et de l'Est Algérien » du vendredi 29 août 1947)

Le professeur sort alors de sa serviette une demie-douzaine d'éprouvettes, soigneusement enveloppées, et me montre deux échantillons caractéristiques. Dans l'un des tubes, une matière brun roux, faiblement odorante, constitue une première expérience. Dans un autre, un liquide épais et verdâtre se présente avec l'aspect courant du carburant brut.

(« La République du Centre » du 26 septembre 1947)

[Remarque : Il semble que la saponification des huiles aboutisse à des molécules encore plus importantes que celles d'acide oléique elles-mêmes. Si tel est le cas, il se peut que la saponification soit une étape indispensable à la formation d'hydrocarbures supérieurs.]

## VI RENDEMENTS EN HYDROCARBURES

J'ai étudié ensuite différents déchets organiques animaux et végétaux. Des déchets de viande ont fourni 47 % de leur poids d'hydrocarbures, 11 % en carbures gazeux et 36 % en carbures. Des écorces de fruits ont fourni 37 % de leur poids de carbures, 22 % en gaz, 15 % en liquides. - Les boues des égouts 25 %, dont un tiers gazeux et le reste liquide – Les résidus oléagineux ont un rendement considérable : l'huile non comestible du faux ricin fournit 80 % de son poids de produits combustibles, 15 % en gaz et 65 % en pétrole.

(« Titres et travaux Scientifiques » de Jean Laigret de 1947 -  
Bibliothèque et Archives de l'Institut Pasteur)

Ce dernier nous a également donné quelques taux de rendement des divers produits employés pour la fermentation.

- 80 % avec les huiles végétales, dont 65 % de carbure liquide et 15 % de carbure gazeux;
- 47 % avec des déchets de boucherie dont 36 % de carbure liquide et 11 % de carbure gazeux;
- 37 % (15 % de carbure liquide et 22 % de gaz) avec des écorces d'agrumes : orange et citron;
- 29 % (9 % de carbure liquide et 20 % de carbure gazeux) avec le fumier;
- 24,8 % (13,4 % de pétrole brut et 9,4 % de gaz) avec les matières solides des égouts.

Les pétroles bruts de fermentation ont les mêmes propriétés physiques et chimiques que le pétrole naturel.

(« France Soir » – le 2 mai 1949)

Huile de pourghère (*Jatropha curcas*) : 80 % du poids de cette huile est transformable en carbures.

Des essais furent faits ensuite avec des résidus d'huile d'olive, avec ces boues noires qui se déposent dans les cuves, qu'on appelle les « Fonds de piles », et qui sont impropres à la consommation. Les rendements furent les mêmes qu'avec l'huile de bonne qualité.

...les expériences ont été faites avec les boues des égouts de Tunis. Ces boues, malgré tout ce qu'elles contiennent de sable, de graviers, d'impuretés diverses non fermentescibles, n'en ont pas moins fourni, tout venant 15 % de leur poids de pétrole brut.

(« La Dépêche Tunisienne » du 30 avril 1949)

... Il en résulte que ces boues, malgré tout ce qu'elles contiennent de sable, de gravier, d'impuretés diverses non fermentescibles, ont fourni « tout venant » 106 l de pétrole brut et 124 m<sup>3</sup> de gaz par tonne.

(« Science et Vie » de juillet 1949)

... Selon ses calculs les huiles végétales ont des rendements sensiblement égaux quelles que soient ces huiles. Elles donnent 800 litres de pétrole brut et 200 m<sup>3</sup> de gaz combustibles par tonne traitée.

Les déchets de viande de cuisine fournissent 450 litres de pétrole brut et 146 m<sup>3</sup> de gaz par tonne.

Les peaux séchées d'orange et de citron donnent 187 litres de pétrole brut et 300 m<sup>3</sup> de gaz par tonne. (Dans ce cas, le rendement en gaz combustible est égal à celui d'une houille de qualité supérieure, le pétrole étant fourni en plus.)

Les fumiers d'animaux (lapin notamment) ont fourni 112 litres de pétrole brut et 265 m<sup>3</sup> de gaz par tonne.

Des prélèvements faits aux divers niveaux des cuves de décantation des égouts de Tunis, il résulte qu'avec une tonne de ces déchets soumis à la fermentation on obtient 185 litres de pétrole brut et 124 m<sup>3</sup> de gaz combustibles. Mais il faut remarquer en ce qui concerne le volume de gaz que la fermentation spontanée des égouts a éliminé au préalable une quantité inconnue et certainement importante de gaz méthane.

La composition moyenne des pétroles bruts obtenus par fermentation des diverses matières organiques est toujours sensiblement la même et semblable à celle des pétroles naturels. En chiffres ronds, établis d'après la moyenne des expériences, cette composition est de 40 % d'essences dites commercialement « tourisme » et « poids lourd », 45 % d'huiles lourdes constituant le « gaz oil », les « guel oils » et les graisses à moteurs, cependant que 5 % d'eaux résiduelles très fortement ammoniacales et récupérables pour la fabrication des sulfates d'ammoniaque utiles à l'agriculture.

On peut noter encore parmi les produits de fermentation du coke. ...

A signaler enfin un sous produit hors du cycle de la fermentation au cours des essais sur les feuilles mortes : une résine pouvant constituer un excellent vernis.

(« La Dépêche Tunisienne » du samedi 30 avril 1949)

La composition moyenne des pétroles bruts fournis par la fermentation est sensiblement la même pour les échantillons de pétrole obtenus à partir des différentes matières organiques fermentées. Elle est la même que celle de la plupart des pétroles naturels, c'est-à-dire, en chiffres ronds, établis d'après la moyenne des expériences : 45 % de fractions légères distillant au dessous de 280 ° (essences dites commercialement « tourisme » et « poids lourds »), 45 % d'huiles lourdes (constituant le gasoil, les fueloils et les graisses à moteurs), 5 % se résolvant en gaz de cracking et 5 % en eaux résiduelles très fortement amoniacales, qui peuvent être récupérées et transformées en sulfate d'ammonium qui constitue un excellent engrais pour l'agriculture.

Distillation du pétrole brut d'égout : (légende de photographies)

Voici les produits de distillation fractionnée du pétrole brut obtenus à partir des boues d'égout. Le flacon 1 contient les fractions légères distillant au-

dessous de 175 ° et correspondant à l'essence de tourisme (proportion 26 %); le flacon 2, les fractions distillant entre 175 ° et 280° et correspondant au kérosène, ou essence poids lourds, ou pétrole lampant (proportion : 21 %); le flacon 3, les fractions distillant entre 280 ° et 310 ° et composées d'huiles lourdes constituant le gasoil et le fueloil (proportion : 21 %); le flacon 4, les fractions les plus lourdes, constituant les huiles de graissage (proportion : 22 %). Les 10 % restant sont constitués d'une part par des eaux ammoniacales servant à la fabrication d'engrais (5 %) d'autre part par des gaz de cracking (5 %).

Les gaz de cracking sont obtenus entre 300 et 310 ° C.

Les déchets de viande de cuisine fournirent 47 % de leur poids de carbures, soit 450 l de pétrole brut et 149 m<sup>3</sup> de gaz combustibles pour une tonne.

Les déchets de poissons, sur lesquels les essais n'ont encore été que fragmentaires, donnent environ 70 % de leur poids de carbures.

Les écorces desséchées d'oranges et de citrons fournirent 37,5 % de leur poids de carbures : 187 l de pétrole et 300 m<sup>3</sup> de gaz combustible pour une tonne.

Les feuilles mortes, sur lesquelles les expériences ne sont pas achevées, donnent environ 25 % de leur poids de carbures.

(« Science et Vie » de juillet 1949)

## VII MATIÈRES ORGANIQUES UTILISABLES

### Déchets de l'industrie agroalimentaire :

- déchets d'huilerie
- déchets de laiterie
- déchets de boucherie

### Farines :

- farines animales
- farines de graminées

### Fruits :

- marrons d'Inde
- glands
- faines
- écorces d'agrumes

### Fumiers :

- lisier de porc
- fumier de lapin

### Glucides :

- sucre de canne
- miel
- manne
- glucose

### Huiles :

- huiles végétales :
  - huile d'arachide
  - huile de lin
  - huile de pourghère (Jatropha curcas)
  - huile de colza
  - soja
  - pelargonium
- huiles animales :
  - huile de foie de morue

### Tubercules :

- pommes de terre de trop petit calibre (3 tonnes par hectare)
- bulbes

### Viandes :

### Divers produits organiques :

- algues
- beurre
- boues d'égout
- boues provenant de lagunes
- cheveux
- cire d'abeille
- déchets de parcs et jardins
- déchets de scieries
- décoctions de graines, de feuilles, de tiges, de bulbes de différentes plantes
- décoctions stériles de déchets animaux
- feuilles
- macérations de viandes de boeuf, de cheval
- macérations de poissons
- ordures ménagères organiques
- peptones du commerce
- peptones préparées en laboratoire par digestion chloridrique de viscères (peptone Martin)
- savons naturels