

Etude de la transformation par voie directe des résidus organiques en pétrole par fermentation de bactéries anaérobies



Sommaire

Introduction	4
I Contexte	5
1) Historique	5
a) Le pétrole au XIXe siècle.....	5
b) Le pétrole au XXe siècle.....	5
c) Le XXIe siècle	6
2) Usages actuels du pétrole	6
a) Le secteur des transports	7
b) La production d'énergie	8
c) La filière synthétique	8
3) Prise de conscience actuelle	8
a) Epuisement des ressources.....	8
b) Pollution et réchauffement global	9
c) Contexte politico-économique actuel	9
II Formation du pétrole par voie naturelle	10
1) Sédimentation	10
a) Matières organiques	10
b) Matières minérales	10
c) Conditions de sédimentation.....	10
2) Transformation et maturation	10
a) Conditions de température et de pression	10
b) Rôle des bactéries anaérobies	10
c) Produits de la transformation	11
3) Migration des produits.....	11
III Les processus de transformation de matière organique en pétrole.....	13
1) Historique des recherches.....	13
a) Les travaux du docteur Laigret	13
b) La bactérie Perfringens	13
c) Premiers processus.....	14
2) Processus étudiés	16
3) Nouvelles voies d'exploitations industrielles	16
a) Thermal Conversion Process	16
b) Procédé Hydro-Thermal Upgrading	20
c) SlurryCarb d'EnerTech	24

IV Perspectives du pétrole artificiel	27
1) Inconvénients	27
2) Avantages	27
Conclusion.....	29
Mots clés	30
Sources	31
Planning Prévisionnel.....	33

Introduction

Depuis les années 1920, en prévision d'un épuisement de pétrole, de nombreux scientifiques ont cherché à le synthétiser à partir de matières organiques. Aujourd'hui, il existe deux voies de synthèse : la voie directe et la voie indirecte. Dans ce dossier nous ne présenterons que la première solution.

Dans un premier temps, nous poserons le contexte d'étude en nous intéressant à l'évolution du pétrole dans la vie courante, puis nous décrirons comment se forme le pétrole naturellement, enfin nous exposerons les différentes études menées sur le sujet en présentant trois procédés, avant de conclure.

I Contexte

1) Historique

Nous allons rappeler dans cette partie les grandes dates du pétrole, depuis sa découverte jusqu'à aujourd'hui.

a) Le pétrole au XIXe siècle

- 1859 : Premières découvertes de pétrole en Pennsylvanie (États-Unis) par Edwin Drake et George Bissell
- 1870 : John D. Rockefeller fonde la Standard Oil (Cleveland, Ohio), société de raffinage de pétrole, dont l'activité principale est la production du kérosène comme source d'éclairage. Elle détient rapidement 80 % du raffinage et 90 % du transport pétrolier américain.
- 1885 : Les Rothschild développent la production de pétrole en Russie. La compagnie néerlandaise Royal Dutch développe la production de pétrole à Sumatra (Indonésie)
- 1892 : Marcus Samuel crée la compagnie Shell dont le but est le transport du pétrole par le canal de Suez.
- 1896 : L'invention de l'automobile (Daimler et Benz) fait renaître le marché du pétrole

b) Le pétrole au XXe siècle

- 1901 : Première concession anglaise au Moyen-Orient ; extraction pétrolière sur le territoire perse (Iran).
- 1901-1905 : Du pétrole est découvert et exploité dans différents États américains (Texas, Californie, Oklahoma).
- 1910 : Boom de la production pétrolière au Mexique.
- 1922 : Boom de la production pétrolière au Venezuela.
- 1927 : Boom de la production pétrolière en Irak.
- 1928 : Accord dit « de la ligne rouge ». (1^{er} accord international entre les compagnies pétrolières
Chaque compagnie se voit attribuer des quotas de production sur tous les marchés, basés sur les pourcentages de 1928. Une compagnie peut voir sa production croître, mais pas son pourcentage.
- 1938 : Boom de la production pétrolière au Koweït et en Arabie saoudite.
- 1956 : Découverte du pétrole au Sahara et au Gabon. Boom de la production pétrolière en Algérie et au Nigeria.
- 1960 : Création de l'Organisation des pays producteurs de pétrole (OPEP) par l'Arabie saoudite, l'Irak, l'Iran, le Koweït et le Venezuela.
- 1969 : Début de la production de pétrole en Chine.
- 1973 : Guerre du Kippour. Les États arabes décident une série de hausses des prix du baril en représailles au soutien américain à Israël. Premier choc pétrolier.

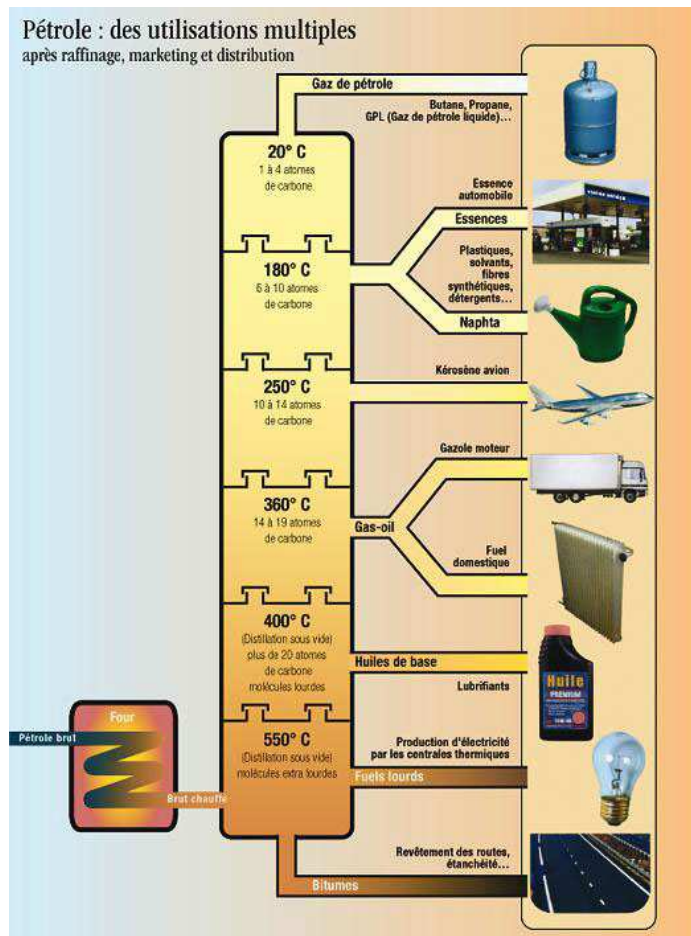
- 1974 : L'OPEP lève l'embargo pétrolier contre les États-Unis, le Danemark et les Pays-Bas. Création de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).
- 1979 : La révolution iranienne provoque une vaste perturbation des approvisionnements occidentaux de pétrole en provenance du golfe Arabo-Persique. Deuxième choc pétrolier.
- 1985 : La hausse du dollar équivaut à un troisième choc pétrolier.
- 1986 : Contre-choc pétrolier : effondrement des prix du pétrole (le baril chute à 7 dollars).
- 1991 : Libération du Koweït par une coalition internationale menée par les États-Unis. Dissolution de l'Union soviétique, l'un des trois plus grands producteurs mondiaux de pétrole.
- 1998 : La région de Bakou (et la mer Caspienne en général) devient le nouveau centre d'intérêt des compagnies pétrolières mondiales.

c) Le XXI^e siècle

- 2001 : Les attentats terroristes aux États-Unis causent une forte récession économique génératrice d'une contraction de la demande mondiale et de la baisse des prix du pétrole.
- 2003-2006 : Les troupes américano-britanniques renversent le régime de Saddam Hussein et occupent l'Irak. Ces tensions au Moyen-Orient entraînent une perturbation des marchés pétroliers.
- 2007 : Conséquence des niveaux de stocks de brut et d'essence relativement bas aux États-Unis ainsi que des difficultés d'approvisionnement au Nigeria et en Irak, les cours du pétrole atteignent des records à 80 dollars (12 septembre) puis 90 dollars (19 octobre) le baril.
- 2008 : Le 2 janvier, le baril atteint 100 dollars pour la première fois de son histoire à la bourse de New York, ce qui correspond à son plus haut niveau en dollars constants depuis avril 1980. Le baril franchit les 130 dollars en mai et les 140 dollars en juin.

2) Usages actuels du pétrole

Aujourd'hui, le pétrole est une des matières premières le plus utilisée au monde, la production mondiale de pétrole est d'environ 80 millions de baril par jour (un baril représente 159 litres de pétrole). Les États Unis consomment le quart de cette production (environ 20 mb./j). Bien entendu, le pétrole est utilisé dans de nombreuses industries, en tant qu'énergie la plupart du temps, mais il peut également être utilisé en tant que matière transformable pour la synthèse d'autres produits. Nous allons décrire ces différentes filières dans les parties suivantes.



Source : Questions internationales, n° 2, « Le pétrole : ordre ou désordre mondial », La Documentation française

a) Le secteur des transports

Ce secteur est un important consommateur de pétrole, en effet, la plupart des véhicules utilisent le pétrole comme énergie, que ce soit l'automobile, l'aéronautique ou les transports maritimes, ceux-ci utilisent le pétrole. Seuls les transports ferroviaires utilisent d'autres sources d'énergies (charbon, électricité), mais une partie de cette énergie est encore produite par des centrales thermiques qui utilisent le pétrole. En 2002, 48 % des produits pétroliers sont employés dans le secteur des transports, et cette part continue à augmenter (*source FMI*).

Le pétrole utilisé pour les transports se présente sous plusieurs formes :

- Les carburants : GPL, essence, gazole, carburacteur,
- Le combustible : fioul domestique, fioul lourd,
- Les lubrifiants : huiles pour moteurs, huiles pharmaceutiques, cires, ...,
- Les bitumes : Revêtement routier, étanchéité des bâtiments, isolation, ...

Les utilisateurs de ces produits sont l'industrie automobile, l'aviation, les transports maritimes, les industries, les entreprises de travaux publics et les particuliers. Dans un contexte actuel de mondialisation, la part des transports est en augmentation et devrait représenter 60% de la consommation totale de pétrole d'ici 2030, cette augmentation est

d'ailleurs très marqué dans les pays émergents (Chine et Inde) qui à l'horizon 2030 consommeront la moitié de la production mondiale de pétrole.

b) La production d'énergie

Une partie du pétrole consommé à l'heure actuelle l'est en tant que combustible pour la production d'énergie (l'électricité produite dans les centrales thermiques par exemple). Les énergies fossiles sont aujourd'hui la principale source d'énergie :

Charbon :	39% de la production d'énergie mondiale
Gaz naturels :	20%
Energie hydraulique :	16%
Energie nucléaire :	16%
Pétrole :	7%
Energies renouvelable (hors hydraulique) :	2%

La consommation de produits pétroliers (gaz naturels et pétrole) représentent plus du quart de la production énergétique mondiale. En France, cette part est plus réduite (10,7%, en grande partie produite avec du gaz naturel), mais certains pays sont très dépendants, comme l'Italie par exemple (42% à partir du pétrole, 28% à partir du gaz naturel).

Toutefois la part du pétrole dans la production d'énergie est en constante baisse depuis les années 1970 (suite au premier choc pétrolier), aujourd'hui, seul les pays producteurs voient leur part de pétrole dans la production d'énergie augmenter.

c) La filière synthétique

Enfin, le pétrole est également utilisé en tant que formidable matière première à partir de laquelle on peut synthétiser de nombreuses molécules et matières.

Le pétrole est la base de toutes les matières plastiques qui sont utilisées en grande quantité dans notre société (en 2005, la production mondiale de plastiques atteint 235 millions de tonnes, qui pourraient passer à 300 en 2010), il sert également en pharmacologie afin de synthétiser certaines molécules pour produire des médicaments, le secteur pétrochimique produit aussi des solvants, des résines, des fibres synthétiques, des détergents, des plastifiants, des élastomères, des adhésifs, du polyester, du Nylon, , des cosmétiques et des engrais, enfin, c'est également une matière première très utilisée dans les transports car le pétrole entre dans la composition du bitume.

Le pétrole est partout aujourd'hui comme carburant, énergie et matière première, la pétrochimie est devenue un des secteurs indispensable à notre vie quotidienne.

3) Prise de conscience actuelle

a) Epuisement des ressources

L'une des problématiques actuelles en matière de transport et de production d'énergie et la raréfaction des ressources en pétroles. Les réserves actuelles sont limitées et l'on sait qu'elles seront bientôt épuisées (dans 30 à 100 ans selon différentes prédictions de spécialistes). La perspective de cet épuisement pose le problème de trouver des énergies de substitution pour la production énergétique et pour le secteur des transports (les produits dérivés du pétrole sont moins touchés car aujourd'hui, on trouve d'autres matières premières pour les synthétiser). De plus, la forte augmentation de la consommation des pays émergents (Chine et Inde) provoque une forte augmentation du prix du pétrole. On est donc obligé de

chercher du pétrole dans des zones où l'industrialisation est plus contraignante (Sibérie, Los Angeles, Forage de grandes profondeurs) et auparavant non rentable. C'est pour ces raisons qu'aujourd'hui, la filière de production du pétrole par transformation anaérobie des matières organiques pourrait présenter une alternative énergétique intéressante.

b) Pollution et réchauffement global

Un des grands problèmes actuels en matière de pollution est directement imputable à l'industrie pétrolière et pétrochimique. En effet, on parle beaucoup de réchauffement global et de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, ...), qui sont en partie générés par la consommation de pétrole et de produits dérivés du pétrole. Les quantités de gaz rejetées sont considérables et cela affecte l'équilibre du bilan carbone à l'échelle de la planète.

TYPE DE GAZ	Durée de vie (an)	Concentration avant 1800 (ppb)	Concentration en 1994 (ppb)	Taux de croissance par an	Effet de serre qu'ils produisent par unité de volume
Dioxyde de carbone	5 à 100	280 000	358 000	0,40 %	0,000018
Méthane	12	700	1 720	0,60 %	0,00037
Protoxyde d'azote	120	275	312	0,25 %	0,0037
Oxyde nitreux	150	275	300	0,20 à 0,30 %	?
CFC	100	0	0,50	0,00 %	0,28
HCFC	12	0	0,10	0,50 %	0,19
HFC	8 à 260	0	?	?	0,11 à 0,35

Source : PNUE-GRID/Arendal

D'après le tableau, on constate une forte augmentation des gaz à effet de serre depuis le début de l'industrialisation, et de telles augmentations ne suivent pas un processus naturel qui est beaucoup plus lent, le déséquilibre engendré est donc une menace pour notre environnement et une adaptation sera nécessaire afin de préserver notre mode de vie, mais aussi la biodiversité en général.

c) Contexte politico-économique actuel

Aujourd'hui, le contexte politico-économique autour du pétrole est assez ambiguë, en effet, entre 2005 et Aout 2008, le prix du pétrole a connu une très forte augmentation (de 40\$ à quasiment 160\$) due aux besoins croissants de la Chine et de l'Inde. Depuis, la crise économique alliée à la baisse de la demande de la part de la Chine après les JO de Pékin ont inversé la tendance cet Automne. De plus, les pays de l'OPEP voyant les cours s'effondrer ont annoncé une baisse de la production alors même que certaines régions du monde ont fortement développé leur production depuis l'envolée des prix, c'est le cas par exemple de la ville de Los Angeles où la production est devenue rentable. Enfin, depuis cet Automne, la consommation en pétrole repart à la hausse. C'est dans ce contexte très incertain que l'on se trouve aujourd'hui avec une forte incertitude sur l'avenir. Le seul fait réel sur lequel tout le monde s'accorde, c'est que les réserves de pétrole diminuent et ne sauraient être suffisantes pour que notre économie se développe comme aujourd'hui sur le long terme.

Cavalier Grégory
Journoud Bertrand
Zozor Klara

II Formation du pétrole par voie naturelle

1) Sédimentation

a) Matières organiques

Le pétrole est formé à partir de la dégradation de divers composés organiques. Ils peuvent être des organismes marins (plancton, résidus de poissons morts), des organismes terrestres qui auraient été entraînés par les rivières, ou encore des organismes de plantes marines. Ces organismes se déposent sur le fond des milieux aquatiques.

b) Matières minérales

Aux matières organiques, précédemment citées, se mélangent des matières minérales. Ces matériaux sont des résidus d'érosions fluviales ou éoliennes. En stagnant au fond des eaux, elles forment des boues et des limons.

c) Conditions de sédimentation

L'amoncellement de sédiments provoque l'enfoncement des plus anciens dans la croûte terrestre. Ceci provoque le phénomène de subsidence, c'est-à-dire que les sédiments qui se tassent et s'enfoncent libèrent de la place pour des nouveaux sédiments.

Lors de leur entassement, et si les dépôts contiennent une fraction minimum de 1% en matière organique, les composés minéraux des dépôts anciens forment ce qu'on appelle la roche-mère.

2) Transformation et maturation

a) Conditions de température et de pression

La roche-mère est entraînée vers le centre de la Terre par les mouvements tectoniques. La température augmentant, en moyenne de 3°C, et la pression de 25 bars tous les 100m, on estime qu'à un kilomètre de profondeur, il règne une température de 50°C et une pression de 250 bars.

Durant cette descente, les bactéries anaérobies vont effectuer une dégradation biochimique des composés organiques. Les atomes d'azote et d'oxygène vont être éliminés. Cette dégradation conduit à la formation de kérogène, un composé visqueux jaunâtre.

Quand la température atteint une centaine de degrés Celsius, le kérogène commence à subir une transformation thermique : le craquage moléculaire ou pyrolyse. Il se transforme alors en gaz et en huile.

Entre 2000 et 3000m, c'est l'huile qui est majoritairement produite. Sa production atteint un pic aux environs de 2500m.

Entre 3000 et 4000m, il se forme des composés plus légers, du gaz méthane. Le craquage se termine quand la matière organique est épuisée ou quand la production de gaz a trop élevé la température.

b) Rôle des bactéries anaérobies

La revue Sciences du 16 juin 2006 a reporté les résultats d'une équipe de chimistes de l'unité « Substances naturelles/Chimie moléculaire » du CNRS et de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg I. Selon les études de cette équipe, dirigée par Pierre ALBRECHT, menée sur les récents dépôts au fond du lac de Cadagno en Suisse, les microorganismes

n'interviendraient pas dans les premières étapes de transformation de la matière organique en hydrocarbures.

Les fonds de ce lac représenteraient idéalement des milieux sous-marins ayant existé il y a des millions d'années. En effet, divisé en deux couches : une supérieure, oxygène (présence d'oxygène), et une inférieure, anoxique ; les bactéries réduiraient le soufre présent dans la couche du dessus en H₂S et utiliseraient ce soufre hydrogéné pour effectuer une forme particulière de photosynthèse.

Ainsi, les chercheurs ont noté que « la transformation de certains composés organiques typiques de bactéries et d'algues en composés susceptibles d'être préservés sur le long terme avait lieu dans la zone anoxique en présence d'hydrogène sulfuré, très rapidement après la mort des organismes ». Or, on a détecté ces composés, stabilisés par l'hydrogénation dans des couches de dépôts récentes. Le peu de sélectivité pour la réaction d'hydrogénation est pour eux la preuve que ce processus est chimique et non pas biologique, auquel cas, il aurait été plus sélectif.

L'équipe de chercheurs a réussi à retrouver les mêmes résultats lors d'expériences en laboratoires. Selon elle, ce processus serait donc à l'origine de la formation des plusieurs énergies fossiles et il aurait également un rôle déterminant dans le passé des fumeurs-noirs, mais les recherches sont encore en cours à ce sujet.

c) Produits de la transformation

Les proportions de gaz et d'huile dépendent des composants de la matière organique initiale. En effet, les débris d'animaux vont former les huiles alors que les résidus végétaux se transformeront en méthane.

3) Migration des produits

La pression du gaz dans la roche-mère va conduire à ce qu'on appelle la « migration primaire », c'est-à-dire la sortie des hydrocarbures de la roche-mère.

L'huile et le gaz expulsés ayant une densité inférieure à celle de l'eau présente dans les roches du sous-sol, ils vont amorcer une migration vers la surface à travers les roches souterraines. Leur vitesse de progression dépend du parcours suivi, celui-ci dépend de la perméabilité des roches qu'ils rencontrent. Si une roche est perméable, alors les hydrocarbures prennent un chemin plutôt vertical. Si la roche est imperméable, ils devront évoluer plus ou moins horizontalement, mais sans cesser leur ascension, leur progression sera donc ralentie. Le parcours suivi dépend également de la taille des molécules. En effet, plus les molécules seront petites, plus elles auront la capacité de traverser des imperméables.

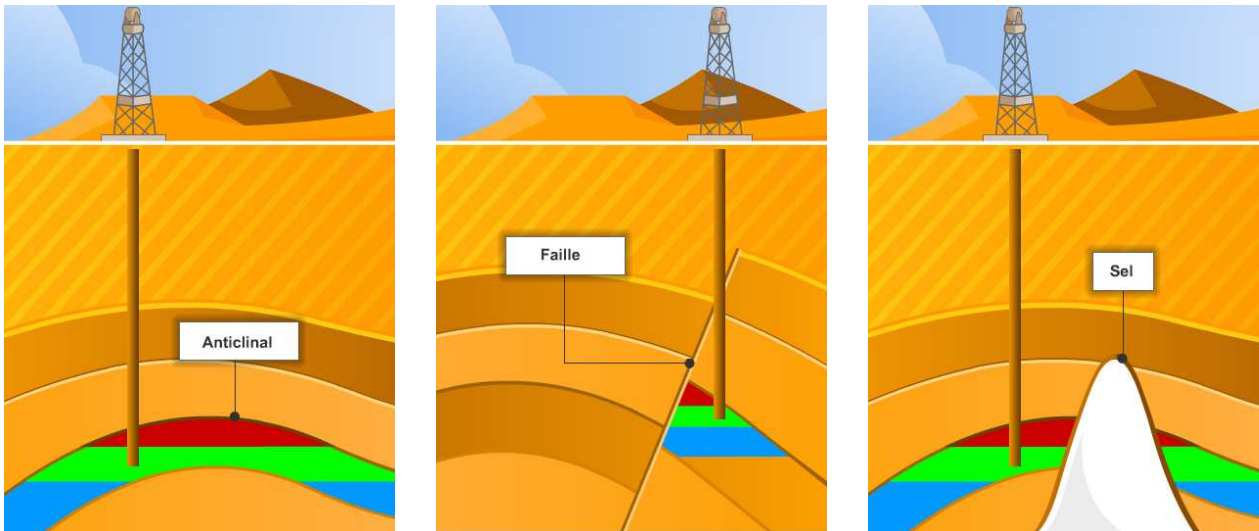
Lors de l'ascension des hydrocarbures, on observe le phénomène de pertes de migration. En effet, une partie du gaz produit se dissout dans l'eau en présence et une partie de l'huile demeure à la surface des roches qu'elle traverse.

Si les produits de la pyrolyse ne rencontrent pas de roche imperméable capable de stopper leur progression, ils sont dégradés en bitumes par les bactéries à l'approche de la surface. Les hydrocarbures les plus légers atteignent la surface et se disséminent dans l'atmosphère. Lorsque des hydrocarbures liquides, dégradés ou non, atteignent la surface, on parle de « dysmigration ».

Pour que le pétrole puisse être exploitable, il faut qu'il rencontre une « roche réservoir ». Une roche réservoir est une roche qui a une porosité importante, c'est-à-dire un fort espace libre entre les grains qui la constituent. Cette porosité est primordiale car c'est la place occupée par l'eau entre les grains de la roche qui va être investie par les hydrocarbures. En effet, ceci ayant une densité inférieure, ils vont chasser l'eau de la roche qui deviendra

alors un réservoir. C'est roche est généralement constituée de grès, de calcaires ou encore de dolomies.

Pour être efficace, la couverture de la roche réservoir doit être imperméable, on dit qu'elle forme un piège. Il existe différents types de pièges : le piège anticlinal, le piège en dôme de sel et le piège contre faille



Représentation des 3 différents type de piège rocheux pour la formation du rocheuse

<http://www.planete-energies.com>

Quand les hydrocarbures rencontrent un piège efficace, ils se séparent. Les gaz constituent la phase supérieure, le pétrole, la phase intermédiaire et l'eau la phase inférieure. Il arrive que ces pièges aient des failles, les hydrocarbures vont alors continuer leur progression. Plus la faille sera basse, plus le piège sera efficace.

Si le piège n'est pas assez profondément enfoui (moins d'un kilomètre), il peut être dégradé par des bactéries ou oxydé par l'oxygène amené par les eaux de pluies ruisselantes. Au-delà de 1000m, les bactéries ne peuvent pas survivre à la température ambiante.

Au-dessous de 1000m, il réside toujours le risque de mouvements tectonique pouvant porter atteinte à la structure du piège et y créer des failles, voire le détruire.

Les hydrocarbures qui réussissent à s'échapper des failles produisent le phénomène de dysmigration lorsqu'ils atteindront la surface.

III Les processus de transformation de matière organique en pétrole

1) Historique des recherches

a) Les travaux du docteur Laigret

Le docteur Jean Laigret (1893-1966) est un médecin et biologiste français spécialisé en microbiologie. Il est notamment le découvreur du vaccin de la fièvre jaune en 1934.

En 1943, il s'établit à Tunis car il fut révoqué par le gouvernement de Vichy. Il travaille alors sur le bacille *Perfringens* dans le but d'étudier le processus de fabrication du gaz du fumier. C'est au cours de ses travaux de recherche que le docteur Laigret parvint à recréer des hydrocarbures liquides à partir de matières organiques notamment l'huile d'olive. Cette découverte fit grand bruit dans le monde scientifique d'après guerre car la théorie du processus de formation naturel du pétrole avait été démontré: il s'agissait donc bien d'une fermentation de déchets organiques (végétaux et animaux) par une bactérie anaérobie. Cependant, il n'était pas encore question d'une fabrication industrielle de pétrole, les ressources étant encore abondante et qualifiée "d'inépuisable" à l'époque.

Si une possible exploitation industrielle restait envisageable pour l'époque, notamment pour des petits pays sans ressources pétrolières, le problème restait celui de la matière première. Le Docteur Laigret renouvela ses expériences avec différentes sortes d'huiles végétales ainsi que d'autres matières organiques tels que la viande ou des carcasses animales. Les rendements obtenus étaient plus que satisfaisant mais il était exclue d'utiliser des produits comestibles pour produire du pétrole, d'où la possibilité d'utiliser d'autres matières premières organiques difficilement valorisable comme les bouts d'égouts.



Le docteur Jean Laigret, extrait de «La République du Centre, 26 septembre 1947.

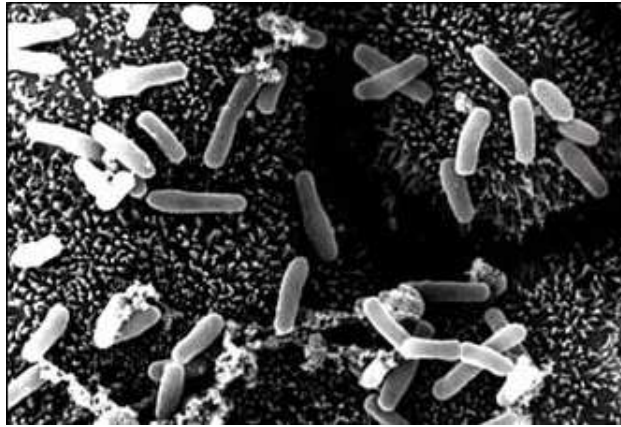
http://www.asnom.org/image/431_fievre_jaune/laigret1.jpg

b) La bactérie *Perfringens*

Clostridium Perfringens est une bactérie de type Gram + et de forme sporulée ; elle se caractérise par son immobilité et par sa taille relativement important de 5 micromètres.

En culture et dans des conditions anaérobies, on constate une fermentation des sucres importants et un dégagement de gaz de sulfure de d'hydrogène. On constate également une synthèse de plusieurs toxines dont la plus importante est une lecithinase dit de type alpha. Cette lecithinase provoque une destruction des globules rouges (hémolyse) ainsi qu'une nécrose des tissus vivants.

Cavalier Grégory
Journoud Bertrand
Zozor Klara



Photographie au microscope électronique de
Clostridium Perfringens sur une paroi intestinale
<http://microbewiki.kenyon.edu>

Cette bactérie est essentiellement connue pour son rôle de pathogène et son implication dans le développement d'un certain type de nécrose, la gangrène dite gazeuse. Elle se produit après que la bactérie est infectée une plaie ouverte et profonde contenant des tissus dévitalisés. *Perfringens* va alors synthétiser des neurotoxines qui vont accélérer le processus de dévitalisation des tissus. Une des conséquences de cette nécrose est le dégagement de gaz qui va comprimer les vaisseaux sanguins et ainsi augmenter l'anoxie des tissus.

c) Premiers processus

Les premiers travaux effectués en 1943 à Tunis se portaient sur l'étude et le perfectionnement de la fermentation végétale et sur la production de gaz. En soumettant des tissus végétaux à l'action de la bactérie anaérobie *Clostridium perfringens*, il se dégageait du méthane, gaz très inflammable et utilisé comme énergie. Mais convaincu que la théorie admise à l'époque selon la quelle ce gaz serait issu de la dégradation de la cellulose contenue dans les parois cellulaires des cellules végétales était fautive, il renouvela l'expérience avec cette fois de l'acide formique et obtint également du méthane ce qui réfutait bien la théorie admise.

C'est en conservant le même agent de fermentation et les mêmes catalyseurs, à savoir iode et silice, mais en remplaçant les substrats par des acides gras supérieurs comme l'acide oléique sous forme de savon et fabriqué à partir d'huile d'olive que le produit de ces expériences donnaient un mélange d'hydrocarbures liquides proches du pétrole qui se déposait sur la surface du milieu fermenté. Une seconde théorie s'effondra alors, celle de l'origine minérale du pétrole ; en outre la bactérie responsable de ce processus de fermentation était très bien connue.

De plus, le rendement de cette première expérience était plus que prometteur ; 75 cm³ de pétrole étaient obtenus à partir de 100 grammes de pétrole.

Comme il a été précisé auparavant, l'utilisation d'huile végétale comme matière première n'est pas très judicieuse malgré un excellent rendement. Le Docteur Laigret renouvela ses expériences avec d'autres matières premières et obtint les rendements suivants :

Matières premières	Rendement
Huile d'olive	80%
Déchets de poissons	70%
Déchets de viande	47%
Peaux d'orange	38%
Ecorces de citron	37%
Feuilles mortes	25%
Boues d'égouts	20-25%

Rendement en % du processus en fonction des matières premières

Malgré la possibilité quasiment illimitée de processus de fabrication, le Docteur Laigret en présenta 2 grands principaux au Ministère de l'Industrie et du commerce en 1947 pour déposer son Brevet d'Invention.

Processus 1

Le milieu nutritif pour les bactéries est préparé avec une teneur en iode comprise entre 0,01 et 0,02% et du formiate de sodium avec une teneur entre 0,4 et 0,8%. Ce milieu est maintenu à 37°C. Durant les trois premiers jours, la réaction va générer du dioxyde de carbone et de l'hydrogène dont la teneur peut varier de 30 à 80 %.

Durant les 8 jours qui suivent, la réaction ne dégage plus de gaz. Ce n'est que vers le 10^{ème} ou 12^{ème} jour que du méthane et du gaz carbonique sont dégagés en quantité égales ce qui indique que la fermentation est amorcée et peut être indéfiniment entretenue.

En introduisant une certaine quantité d'acide formique par jour (2 à 4 parties en volume et par 1000 parties de cuvée) la réaction se produit mais ne donnant exclusivement que du méthane et ceux avec un rendement très faible. L'utilité de ce processus est de permettre l'amorçage des processus suivants.

Processus 2

C'est en 1947 que le professeur Laigret a amorcé une fermentation méthanique avec 224 parties en poids d'acide formique et 208 parties en poids d'un savon à base d'huile d'olive et ce pendant 80 jours. Suite à cet apport, le dégagement de méthane s'arrête puis s'est au tour du dioxyde de carbone. Cette interruption de production de gaz correspond à l'apparition d'un liquide d'abord rougeâtre puis noir à la surface du milieu de culture aqueux. Afin d'identifier la constitution de ce liquide hydrophobe, on soumet les 197 parties en volume de brut à une distillation fractionnée.

Nombre de parties En % de volume	Température d'ébullition (°C)
1 (eau)	100
4	100-200
5	200-300
20	300-320
30	320-340
5	340-350
35	Brûle au de la de 350°C

Résultat de la distillation fractionnée en
pourcentage de volume

Les derniers pourcentages obtenus se présentaient sous la forme d'un liquide dense et noir qui n'était autres que des hydrocarbures liquides. On constate que même avec un procédé non maîtrisé, le rendement est exceptionnel et a permis au Dr Laigret de voir les perspectives et les nouvelles voies de recherche que ce procédé ouvrait.

Ces expériences ont permis au Dr Laigret de déposer un brevet sur ces recherches en 1947 et qui fut délivré en 1952.

2) Processus étudiés

Tombés dans l'oubli pendant des années, ce procédé semble connaît un regain d'intérêt ces dernières années à cause notamment de la crise énergétique. En effet, plusieurs entreprises principalement américaines tentent aujourd'hui de produire du pétrole brut à partir de déchets organiques à l'échelle industrielle et par voie directe, soit sans passé par une étape de biogaz. Le but étant toujours de casser les polymères organiques en des molécules unitaires simples et que celles-ci puissent se recombinaer en un constituant liquide proche du pétrole brut.

Parmi ces compagnies, on peut citer *CWT* (Changing World Companies) fondée en 1997 qui a mis au point un procédé industriel de Dépolymérisation Thermique appelé TCP pour Thermal Conversion Process ; ce procédé sera décrit dans la partie suivante.

En 2000, cette société s'associe avec *ConAgra Foods Inc.*, une des plus grosses entreprises agroalimentaire des Etats-Unis afin de créer une nouvelle filiale nommée *RES* pour Renewable Environmental Solutions basée à Carthage dans le Missouri.

En 2006, une autre société américaine *EnerTech* , met au point un procédé similaire nommé "SlurryCarb" qui cette fois à pour but de réutiliser les ordures ménagères et pas seulement les déchets agricoles ou industrielles. L'usine principale est implantée dans le sud de la Californie. En Aout 2008, une usine de démonstration est implantée au Japon dans une usine appartenant à Mitsubishi dans la ville de Kusatsu.

La société pétrochimique *Shell* développe elle aussi son propre procédé de dépolymérisation thermique Hydro Thermal Upgrading (HTU) et a implanté sa première usine test en Hollande.

3) Nouvelles voies d'exploitations industrielles

a) Thermal Conversion Process

Ce procédé est le résultat d'un travail de recherche de 15 ans entre chercheurs et ingénieurs de la société *CWT*. Le but est en réalité de réduire la dépendance énergétique des Etats-Unis qui importe 60% de leur pétrole. De plus la matière première de ces procédés étant des déchets organiques industriels ou agricoles difficilement valorisables, cela permettrait de résoudre en partie le problème des déchets et de la pollution de l'environnement.

C'est un processus de fabrication continu dans un environnement clos et contrôlé sans conditions critiques de température et de pressions. Les produits sortant de ce procédé sont du gaz (principalement du méthane), du pétrole brut ainsi que des produits solides.

Tout comme le procédé découvert par le professeur Laigret, cette technologie permet de recréer le processus de création naturelle du pétrole en passant d'une échelle de temps de quelques millions d'années à quelques heures.

Thermal Conversion Process

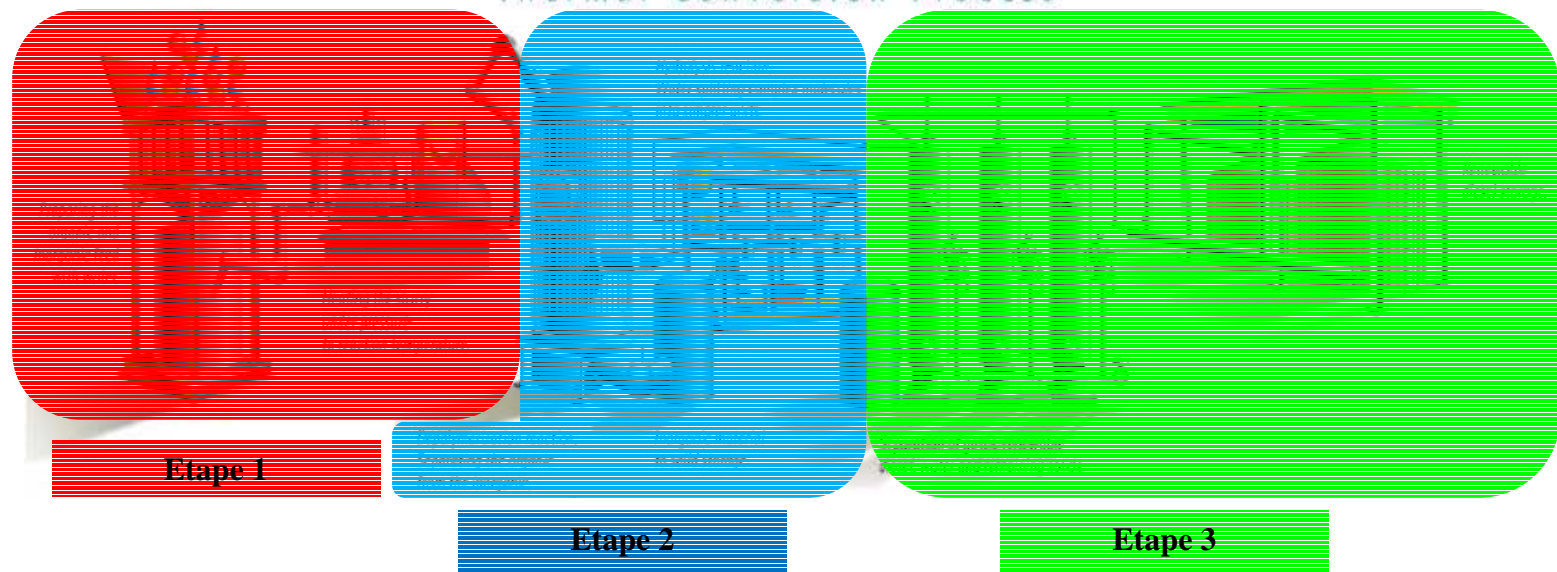


Schéma simplifiée du processus TCP (les étapes indiquées seront détaillées dans la partie suivante)

<http://www.changingworldtech.com/what/index.asp>

Etapes principales du procédé

Etape 1

Les matières premières comprenant carcasses d'animaux ou autres déchets organiques sont broyés puis mélangés avec de l'eau afin d'obtenir une boue homogène. Cette boue passe ensuite dans un échangeur de chaleur afin de les porter à une certaine température ce qui facilitera les réactions se déroulant dans le réacteur



Matières premières pour le processus TCP, composés essentiellement de carcasses d'animaux notamment de volailles.

www.res-energy.com/facility_images/index.a

Etape 2

Les boues chauffées vont alors rentrer dans le réacteur du procédé qui se compose de deux phases.

- **Phase 1** : Cette boue organique va subir un prétraitement hydrothermal et sera chauffée à une température comprise entre 200 et 250 °C et à une pression supérieure à 30 atmosphères. Le but est d'évacuer 30 à 40 % de l'eau sous forme de vapeurs contenu dans les boues grâce à une opération de type *flash* qui se caractérise par un échange de chaleur à contre courant.

Les conditions de température et de pression vont favoriser une première réaction d'hydrolyse qui permettra la dépolymérisation des constituants organiques.

Ces vapeurs sont alors évacuées par le haut du réacteur tandis qu'un centrifugeur situé en pied séparera les matériaux solides qui seront évacués. Les matériaux organiques quant à eux passeront dans la seconde phase du réacteur.

- **Phase 2** : C'est dans cette phase que les chaînes hydrocarbonées des matières organiques partiellement dépolymérisées vont subir un craquage thermal soit une transformation en molécules d'hydrocarbures simples. En l'absence d'informations sans doute pour cause de confidentialité industrielle, on peut supposer que c'est dans cette partie du réacteur que se trouvent les bactéries responsables de la fermentation anaérobie qui sont probablement du type *Perfringens*.

Dans le réacteur on se trouve dans des conditions de haute température (~500°C) et de basse pression, et la réaction principale est la décarboxylation.

Cette étape est parfois assimilée à une étape de cokage c'est-à-dire de production de coke. En effet, parmi les produits sortants de cette réaction, on trouve une grosse quantité de carbone minérale et les conditions d'obtention sont semblables : réactions à haute température et basse pression dans un milieu anaérobie.

Le produit sortant est un mélange d'hydrocarbure simple, de pétrole brut et de gaz, majoritairement du méthane.

Etape 3

Cette dernière étape vise à séparer les produits obtenus à la sortie du réacteur. Pour cela, les produits repassent dans un échangeur thermique puis dans un condensateur où une partie du gaz sera liquéfiée et sera envoyée dans des turbines ou des chaudières et sera utilisée comme source d'énergie pour le processus. Enfin, le pétrole brut et le mélange d'hydrocarbures seront distillés et séparés puis stockés dans des réservoirs.

Quantités

Le diagramme suivant présente les quantités moyennes en tonne par jour (Tons Per Day) introduites et produites par le procédé.

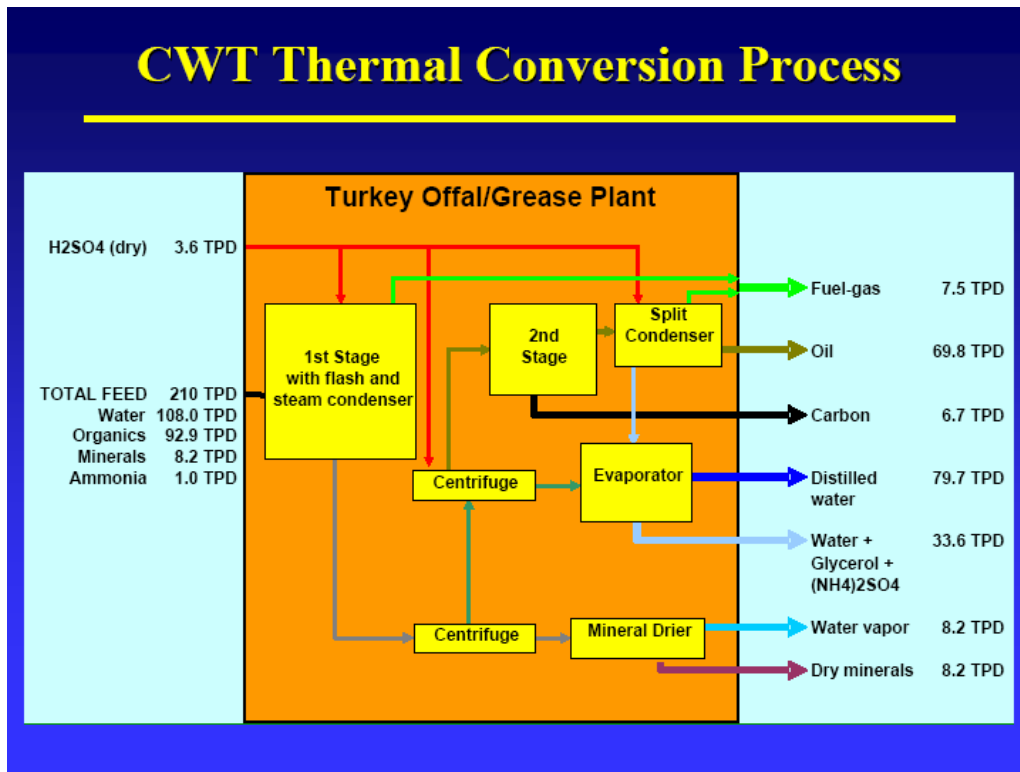


Schéma global du Thermal Conversion Process avec indication des quantités entrantes et sortantes

<http://robertrapier.wordpress.com/category/thermal-depolymerization>

Selon CWT, le rendement de ce processus avoisinerait les 85% et produirait l'équivalent de 500 barils de pétrole par jour, soit environ 80 000 litres, à partir d'une quantité de 200 à 250 tonnes de matières premières comprenant 44% de carcasses, 51% d'eau et le reste constitué de minéraux et d'ammoniac. Le problème de cette technologie réside encore dans son coût de production ; en effet, un baril de ce pétrole vaudrait 80 \$ soit le double du prix actuel du baril courant. Ce pendant, l'extension de cette technologie pourrait faire baisser le prix de ce pétrole relativement facile à produire.

b) Procédé Hydro-Thermal Upgrading

Le procédé précurseur

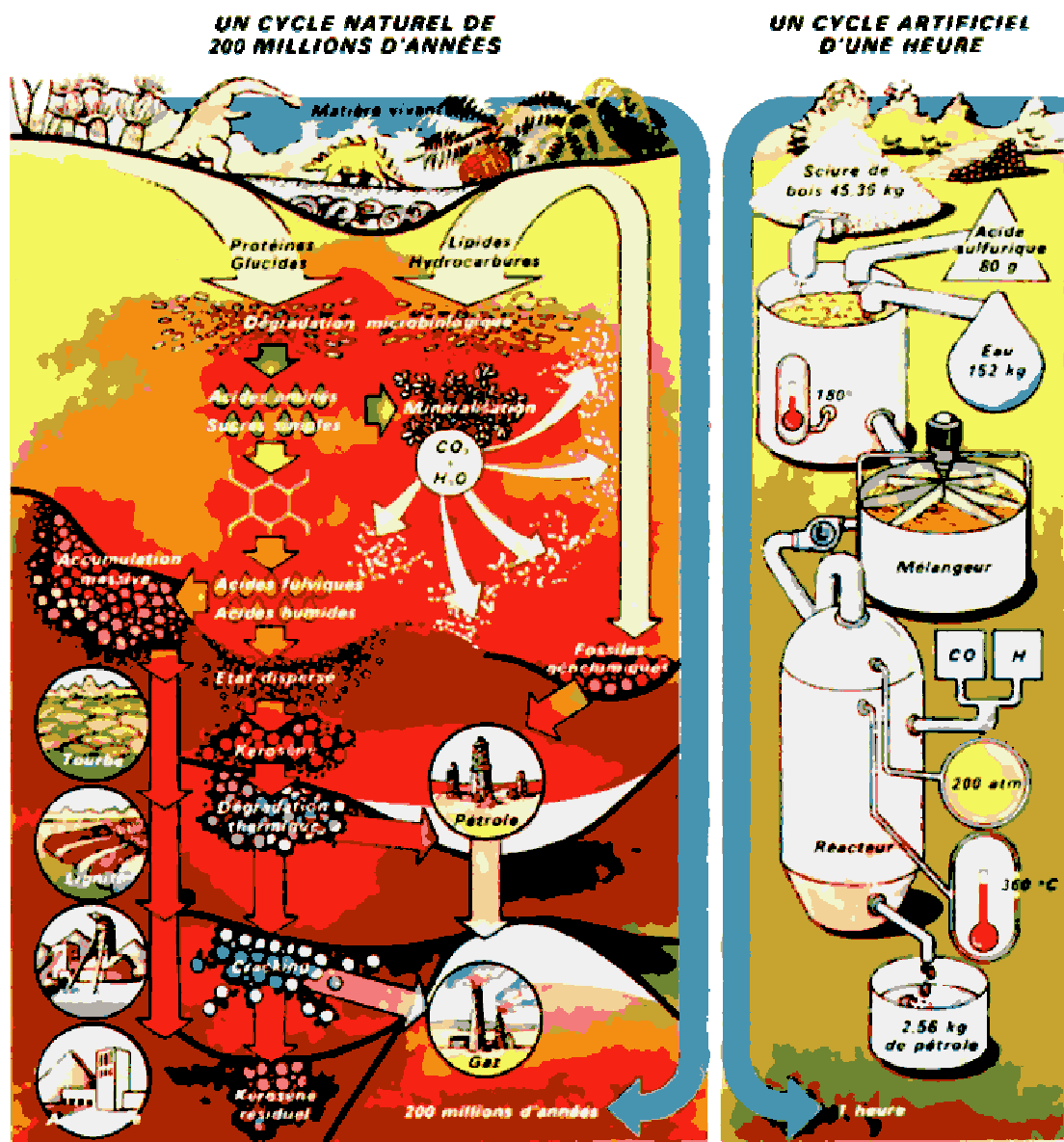
En 1920, Franz Fischer, un scientifique Allemand, avait cherché à synthétiser du pétrole à partir de sciure fine de bois. Il ne réussit jamais à monter une installation pilote car le procédé est trop coûteux. En effet, avant d'initier le procédé, il fallait faire sécher la sciure à de hautes températures avant de la pulvériser mécaniquement, à cela, il fallait ajouter le coût élevé de l'huile qu'il utilisait.

En 1972, le Bureau des Mines Américain reprit les études sur le sujet. Lui, réussit à monter une usine-pilote car une légère modification apportée au procédé abandonné lui permit d'atteindre des résultats intéressants. Cette usine-pilote fut installée à Albany.

En 1976, l'ERDA, qui avait repris le projet échoua. C'est un an plus tard, quand le Lawrence Berkeley Laboratory reprit les études que Sabri Ergun abandonna la méthode établie par le Bureau des Mines. En effet, cette dernière était également coûteuse. De plus, une fois mélangée à l'huile, la sciure de bois bouchait les pompes d'injection qui ne cessaient de tomber en panne.

Le Lawrence Berkeley Laboratory, décida de remplacer l'huile par de l'eau et de l'acide sulfurique et d'utiliser non pas de la sciure mais des copeaux de bois. Les conditions recherchées étaient un pH de 2 (obtenu grâce à l'acide sulfurique) et un pourcentage massique en eau de 75%. Le mélange était porté à 180°C pendant 45 minutes. Dans ces conditions, les copeaux se désintègrent. Les particules fines résultantes étaient ensuite amenées dans un affineur où elles se transformaient en une boue homogène qui ne colmate pas les pompes.

La boue peut alors être envoyée dans le réacteur où la pression est graduellement augmentée jusqu'à 200 atm et la température est portée à 360°C. À cette température et cette pression, la réaction ne dure qu'une dizaine de minutes.



Parallèle entre le cycle naturel et le cycle industriel de formation du pétrole
 Extrait de Science et Vie n°753, juin 1980, <http://coranix.org/106/petrole.htm>

Le Laboratory a longtemps cherché le « catalyseur idéal ». Après en avoir testé 40, la question de l'intérêt d'un tel composé s'est posée. En effet, sans catalyseur, 100g de bois donnaient 80g de liquide dont 9,2g de pétrole. L'usine d'Albany, elle permettait d'obtenir 2,56kg de pétrole à partir de 45,36 kg de bois et de 152 kg d'eau.

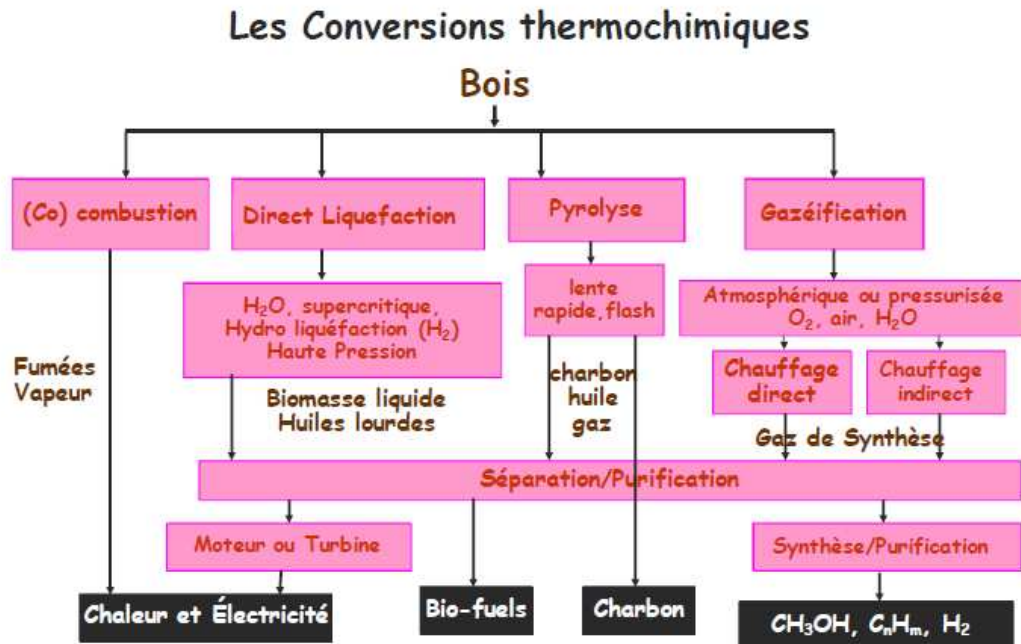
Le pétrole obtenu, ou plutôt le biocrude, était composé à 0,6% de solides, à 7,1% d'eau et à 92,3% de pétrole à proprement parler. Celui-ci contenait 81,2% de carbone, 7,9% d'hydrogène, 0,1% d'azote et 10,8% d'oxygène ; avec un pouvoir calorifique égal à 8 740 calories et une densité de 1,09.

Le bilan énergétique du procédé était très bon (60-70%) ce qui équivaut à la consommation d'un tiers de baril pour produire un baril de pétrole « de bois ». Ce pétrole était préférentiellement destiné à l'industrie pétrochimique.

Le HTU® de nos jours

Aujourd'hui, ce ne sont plus seulement des copeaux de bois qui sont utilisés dans ce procédé, mais de la biomasse en général et est appelé HTU®.

Le procédé Hydrothermal Upgrading a été développé par le centre de recherche néerlandais TNO-MEP avec le concours d'universités du pays. Dans les années 1980, le groupe Shell a repris les études afin de développer le procédé.



La gazéification thermochimique : histoire et développement de la recherche par Xavier DEGLISE

http://www.cibe.fr/fichiers_travaux/1909_1_X DEGLISE_UHPN.pdf

Ce procédé consiste en l'obtention d'un biocrude à partir de biomasse. Pour cela, de la biomasse est introduite fragmentée dans un réacteur contenant un solvant aqueux ou organique ayant un caractère donneur d'hydrogène, en présence d'un catalyseur. Le caractère donneur d'hydrogène du solvant permet d'obtenir un produit pauvre en oxygène et ayant un ratio molaire H/C semblable à celui des hydrocarbures. Dans ce type de réaction, le solvant plus souvent utilisé est l'eau. Le catalyseur permet d'accélérer la réaction mais également la qualité des produits obtenus.

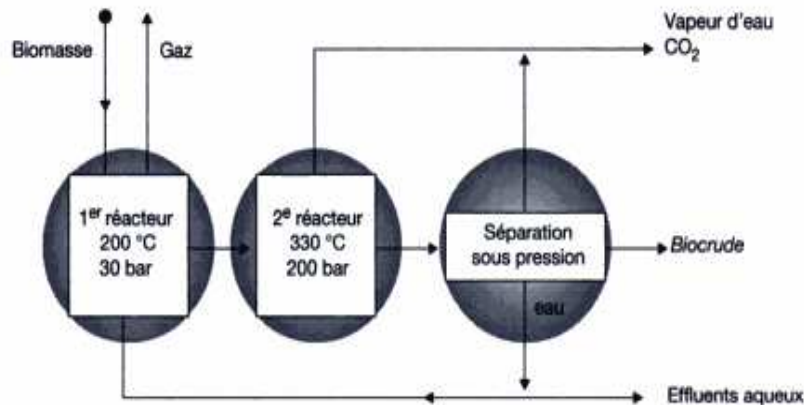


Figure 5.13
Schéma de principe du procédé HTU®.

Source : Les biocarburants : état des lieux, perspectives et enjeux du développement de Daniel BALLERINI et Nathalie ALAZARD-TOUX
<http://books.google.fr>

Le mélange est chauffé à 200°C sous une pression de 30 bars dans un premier réacteur, puis à 330°C sous 200 bars dans un deuxième réacteur. Il est maintenu une forte pression à l'intérieur des réacteurs afin de conserver l'eau sous forme liquide. L'ensemble du procédé dur de 5 à 15 minutes.

Les produits de la réaction sont sous trois formes : solide, liquide et gazeuse. Les gaz sont évacués au cours des réactions. Les dernières vapeurs sont séparées des autres phases en sortie du deuxième réacteur. Dans ce séparateur, la phase aqueuse et le biocrude se distinguent et les solides, résidus de la biomasse, sont vidangés avec la phase aqueuse.

La composition des produits dépend de la constitution initiale de la biomasse et de l'efficacité du solvant. Voici les résultats obtenus pour une biomasse contenant entre 40 et 50% d'oxygène réduite à 10-15%, réagissant avec de l'eau :

Tableau 5.13 Composition des effluents issus du procédé HTU®.

Produits	% poids
<i>Biocrude</i>	
Fraction PM ^a 760	7,5
Fraction PM 500	10,0
Fraction PM 380	17,5
Fraction PM 260	12,5
Équivalent méthyl-n-propyléther	2,5
CO ₂	25
Méthanol	5
Éthanol	3,5
Eau	16,5

^a PM : Poids moléculaire.

Source : Les biocarburants : état des lieux, perspectives et enjeux du développement de Daniel BALLERINI et Nathalie ALAZARD-TOUX
<http://books.google.fr>

La phase aqueuse contient de 50 à 100% des sels de la charge en biomasse et des composés organiques (acide acétique, méthanol, acétone,...). Le pouvoir calorifique du biocrude avoisine les 30-35MJ.kg⁻¹. Celui-ci peut être utilisé comme combustible dans un

process de production d'électricité ou hydro-traité afin d'améliorer et rapprocher ses caractéristiques de celles du gazole.

Le biocrude obtenu nécessite un raffinage pour être utilisé comme carburant, cependant il est de meilleure qualité, et donc plus facile à traiter, que le bio-oil.

c) SlurryCarb d'EnerTech

Selon le *National Institute of Standards and Technology*, ce procédé est "Both a product and a service that could provide a cost effective solution to a key environmentally-related problem" (à la fois un produit et un service pouvant fournir une solution économique à un problème environnemental capital). Ce procédé permet de transformer des déchets biologiques en carburant par un procédé de transformation assez simple par voie directe et en présence de bactérie.

Ce procédé a été développé pour répondre à 3 exigences :

- Recycler l'énergie inhérente aux déchets biologiques,
- Produire une nouvelle source d'énergie renouvelable,
- Proposer une filière qui pourrait recycler jusqu'à 100% de nos déchets organiques.

Le procédé SlurryCarb fonctionne en plusieurs étapes que nous allons énoncer et qui seront détaillées par la suite :

- Les déchets organiques collectés sont dans un premier temps soumis à une température et une pression très importante.
- Ensuite, les déchets secs entrent dans un réacteur et sont soumis à l'exposition des bactéries (nous n'avons pas eu confirmation, mais nous supposons que ce sont les *Perfringens* ou des bactéries effectuant des transformations similaires).
- Les déchets sont ainsi re-carbonés et deviennent ainsi des molécules à haute énergie.
- Les biosolides obtenus sont alors passés à la centrifugeuse afin d'éliminer les dernières particules indésirables (moisissures).
- A la fin de cette chaîne, on obtient un biosolide hautement énergétique qui est nommé E-fuel par la société *EnerTech*.

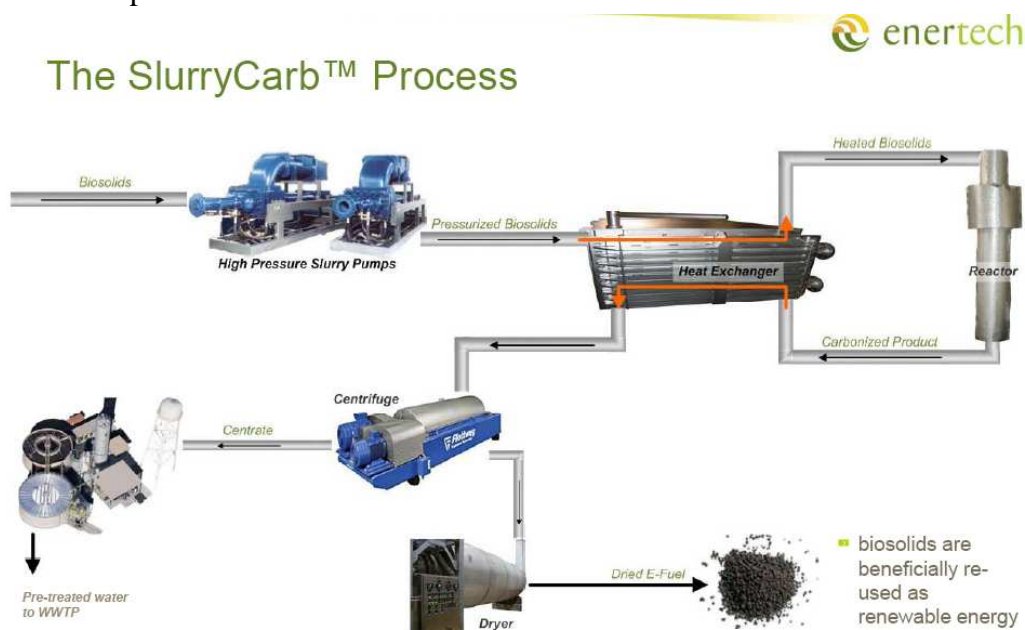


Schéma du procédé transformation SlurryCarb

www.enertech.com/technology/slurrycarb.html

D'un point de vue énergétique, ce que l'on peut dire des performances du procédé SlurryCarb sont les points suivants :

- Les déchets traités contiennent entre 15 et 30 % de résidus solide (soit une siccité comprise entre 15 et 30%),
- Le temps de réaction pour la totalité du procédé est d'environ 10 minutes,
- Par centrifugation et séchage, on obtient un produit solide à environ 50 % (50 % solide et 50 % liquide),
- Le biosolide E-fuel à une capacité énergétique de 16300 kJ/kg et peut être utilisé comme substitut au charbon,
- Ce carburant écologique se consomme de manière similaire au combustible classique (charbon),
- Le procédé de transformation produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

D'un point de vue purement technique, on peut résumer les consommations du procédé comme suivant :

En entrée si l'on introduit 100 tonnes de déchets composés à 20 tonnes de résidus solides et 80 tonnes d'eau (déchet de type boues de stations d'épuration), on perdra 2 tonnes de résidus solides dans le réacteur biologique (transformation en CO₂ à cause du métabolisme bactérien), et on aura toujours 80 tonnes d'eau. La centrifugation permettra de réduire la quantité d'eau de 80 à 18 tonnes et pour obtenir le biosolide final il faudra évaporer les 18 tonnes d'eau restante par séchage.

Au final pour 100 tonnes de déchets, on obtient 18 tonnes de biosolide hautement énergétique.

Ce procédé recourt à la chaleur et à la pression pour carboniser la matière organique (substitution d'un groupement carboxyle d'une molécule par un atome d'hydrogène), cela explique le rejet de CO₂ au niveau du réacteur. De cette décarboxylation et de la lyse associée (destruction et rupture d'une cellule), il résulte une libération de l'eau liée (eau contenue dans la cellule et indissociable de la cellule vivante) et cela permet de réduire la siccité des boues jusqu'à 50% par une simple centrifugation. Par la suite, il y aura de séchage pour obtenir le E-fuel sec. Le grand avantage de ce procédé est l'importante réduction de la consommation en énergie (utilisée pour le séchage des boues à 50% de siccité) grâce au procédé de lyse avant centrifugation.

Il faut également noter que ce procédé (optimum avec des boues à 20% de siccité) peut transformer des déchets allant jusqu'à 6% de siccité et rester énergiquement rentable.



Usine de production de E-fuel
www.enertech.com/technology/slurrycarb.html



Unité de production de E-fuel (unité EnerTech)
www.enertech.com/technology/slurrycarb.html

IV Perspectives du pétrole artificiel

1) Inconvénients

Ces procédés apparaissent comme miraculeux en vue de produire une énergie propre, toutefois il apparaît certains inconvénients :

- La difficulté d'implanter des usines de productions dans des zones à faible densité de population, car les quantité de déchets ne sont pas suffisante pour des productions industrielles rentables (à cause de l'investissement pour implanter les usines).
- Les transports générés en cas de regroupement des déchets pour la transformation dans les grandes unités de production, sont eux aussi générateurs de transports donc de pollution.
- Les difficultés d'implantation des usines à proximité de stations d'épurations (souvent proche de zones d'habitations) pour le procédé SlurryCarb, les autres procédés peuvent êtres implantés dans des zones industrielles proches des villes.
- Le coût d'investissement pour la construction d'usines de production est assez conséquent.
- La quantité limitée de ces carburants produite, même en cas de recyclage total des déchets organiques générés par l'activité humaine.
- Le coût de production du procédé CWT (80\$ / baril) est actuellement prohibitif, toutefois, si le prix du pétrole réaugmente au niveau du mois d'Aout 2008, ce procédé redeviendra très rentable.
- Les carburants produits par les procédés CWT et HTU sont des produits pétrolier qui continuent à produire des gaz à effet de serre, le problème du carbone atmosphérique n'est donc pas résolu, toutefois, les gains fait en matière de production de carburant et diminution des déchets organiques sont tout de même appréciable.

2) Avantages

Les avantages de ces procédés sont nombreux, comme par exemple :

- SlurryCarb est un procédé qui est peu coûteux sur le long terme et sur une grande production, de plus on peut dès aujourd'hui prédire les coûts et les besoins en déchets pour une production à grande échelle, le procédé CWT coute plus cher pour la production de pétrole (prix du baril de l'ordre de 80\$), mais il offre une alternative intéressante pour le recyclage des déchets organiques ; Enfin le procédé HTU est peu cher (l'ancien procédé donnait des barils à 29\$ environ), et dispose lui aussi de l'avantage d'avoir pour combustible de la biomasse.

- On réduira les surfaces de terres destinées à l'épandage avec un gain appréciables sur les taux d'azote et de phosphore rejetés dans le milieu naturel, de plus si l'on produit du carburant à l'aide de déchets organique de toute sorte, nous pourrions libérer des terres utilisées pour produire des biocarburant à base de colza ou de betterave et les réorienter vers la production de nourriture ou pour replanter des forêts.
- Le procédé SlurryCarb réduit les coûts de production de 65% (coût énergétique notamment) en comparaison avec des procédés de séchage classique (séchage de boues d'une siccité inférieure à 50%).
- Ces procédés peuvent facilement être mis en place dans le monde entier vu que les productions de déchets sont liées aux populations humaines, donc présentent sur l'ensemble du globe.
- Ces procédés ont déjà fait l'objet de tests grandeur nature avec la constructions d'unités de production de carburants (E-fuel pour SlurryCarb en collaboration entre EnerTech et Mitsubishi, biocrude pour le procédé HTU et du pétrole brut pour le procédé CWT).
- En combustion, une tonne de E-fuel produit 1 MWh d'énergie, le pouvoir calorifique du biocrude est de l'ordre des 30-35MJ.kg⁻¹ ; par contre le pouvoir calorifique du produit du procédé CWT est équivalent aux carburants actuels car ont produit du pétrole brut.
- En combustion, le E-fuel de SlurryCarb rejette une quantité infime de CO₂, de plus, le CO₂ produit lors de la transformation des boues en E-fuel est récupéré ; les rejets de gaz à effet de serre sont donc très réduits. Le Procédé HTU permet également la récupération des gaz (CH₄ et autres) produits lors du procédé.

Au final, ce sont tout de même des procédés innovants, assez simple à mettre en place et présentant de nombreux avantages, les combustibles produits pourraient en partie suppléer aux besoins énergétiques de l'industrie et offriraient une alternative intéressante aux problèmes des déchets (problème d'organisation de l'épandage et pollution aux nitrates et au phosphore, réutilisation des déchets organiques en général).

Conclusion

Avec le temps, le pétrole a sans cesse pris de l'importance dans notre vie quotidienne. Il rythme notre vie, notre économie. Nous n'aurions pu atteindre le niveau de développement actuel sans sa découverte et son exploitation. Cependant, l'usage intensif du pétrole a créé deux problèmes majeurs : l'épuisement de cette ressource et le rejet de CO₂ dans l'atmosphère.

La première question commence à être résolue grâce aux procédés que nous venons de vous exposer. Nonobstant, les procédés par voie indirecte, dont nous n'avons pas parlé ici, présentent certainement l'avantage d'être plus simples à mettre en œuvre, et donc d'être moins coûteux, car ils utilisent une technologie plus familière.

De plus, ces procédés permettent également de valoriser des déchets qui posent parfois problèmes (déchets d'animaux, boue d'épuration, etc.) et sont difficilement dégradables

Aujourd'hui, le second problème reste encore à résoudre, et seul le développement des énergies renouvelables comme l'éolien, le solaire ou dans un avenir proche la fusion nucléaire pourront répondre durablement à nos besoins sans impacts majeurs sur les écosystèmes.

Mots clés

Pétrole – Epuisement des ressources - Fermentation anaérobie – *Clostridium Perfringens*- Dr Jean Laigret - Déchets organiques - Biotransformation - Thermal Conversion Process – SlurryCarb- Hydrothermal Upgrading - Efuel Biosolide - EnertTech - Changing World Company.

Sources

- Brevet d'invention du Dr Laigret, N° 1.005.924, « *Procédé de production d'hydrocarbures gazeux et liquides et produits obtenus par ce procédé* » Ministère de l'Industrie et du Commerce - Service de la Propriété Industrielle.

Articles

- France Soir, numéro du 29 avril 1949
 - France Soir, numéro du 2 mai 1949
 - France Soir, numéro du 28 août 1947
 - L'ère Nouvelle, numéro 182, janvier-février 2008
 - La Dépêche Tunisienne du samedi 30 avril 1949
 - Carrefour du 3 septembre 1947
 - Alger Républicain, 28 Août 1947
- Communications de Jean Laigret à l'Académie des Sciences, le 24 septembre 1945 et le 25 août 1947

Tous ces articles sont consultables sur l'adresse suivante

<http://quanthomme.free.fr/qhsuite/LaigretJeanPetroleFermentation.htm>

Sites Internet

I Contexte

- <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/petrole/histoire-petrole.shtml>
Historique de l'utilisation du pétrole
- <http://r0.unctad.org/infocomm/francais/Petrole/marche.htm>
Etude sur l'évolution du marché du pétrole
- http://www.lemonde.fr/archives/article/2009/01/21/petrole-la-baisse-de-la-consommation-pourrait-durer_1144637_0.html
Article du journal Le Monde sur la consommation des hydrocarbures

II Formation du pétrole par voie naturelle

- http://www.notre-planete.info/actualites/actu_959_etapes_formation_petrole.php
Article concernant les étapes de formation naturelle du pétrole
- http://home.scarlet.be/at_home/petroleflash.htm
Site proposant des animations sur la formation naturelle du pétrole
- <http://www.planete-energies.com/contenu/petrole-gaz.html>
Site d'information grand public du groupe TOTAL sur les énergies

III Les processus de transformation de matière organique en pétrole

- <http://www.changingworldtech.com/>
Site officiel de l'entreprise CWT
- www.enertech.com/technology/slurrycarb.html
Site officiel du groupe EnerTech
- www.prweb.com/releases/2009/01/prweb1887844.htm
Article traitant du procédé SlurryCarb
- www.ottawa.ca/residents/waterwaste/biosolids/background_fr.pdf
Examen des technologies de gestion des biosolides pour la ville d'Ottawa
- www.centre.drire.gouv.fr/di/documents/etude%20biocarburants_adit_final.pdf
Exemple d'application pour les produits issus du procédé SlurryCarb


Planning Prévisionnel


PROJET SCIENTIFIQUE ESAIP, 3e ANNEE

Semaine	Planning prévisionnel												Avancement								
	Octobre			Novembre				Décembre					Janvier				25%	50%	75%	100%	
	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	1	2	3	4					
Tâches à accomplir																					
Lancement du projet																					
Prise de connaissance des sujets	X																				
Rédaction de la fiche de vœux	X																				
Validation des sujets		X																			
Appropriation du sujet validé		X																			
Extraction des thèmes à couvrir et définition des objectifs à réaliser			X																		
Travail de recherche																					
Réalisation de la partie gestion de projet		X	X																		
Définition des thèmes et des mots clés			X																		
Recherche documentaire sur le sujet à traiter			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X					
Analyse des informations recueillies			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X						
Rendu du travail de recherche																					
Synthèse des informations								X	X				X	X							
Discussions autour du projet réalisé									X					X							
Rédaction du rapport et création du poster								X	X				X	X	X	X					
Suivi du projet																					
Réunions d'avancement				X				X					X	X							
Compte rendu d'avancement intermédiaire									X												
Remise des rapports et du poster																X					
Cavalier Grégory	Prévisionnel							Réel			X		Vacances								

Journoud Bertrand
Zozor Klara

Projet Scientifique en Laboratoire Année 2008-2009

 Dans le contexte énergétique actuel, les estimations prévoient un épuisement des ressources en énergie fossile d'ici 50 ou 100 ans selon les différents scénarios. Cette étude a pour but de présenter les processus industriels actuels visant à produire du pétrole brut à partir de déchets organiques grâce à la fermentation bactérienne anaérobie. Les différents processus étudiés peuvent produire en quelques heures ce que la nature peut créer pendant des milliers voire des millions d'années.

 In the current energy context, the estimations foresee a depletion of resources in fossil energy before 50 or 100 years according to the various scenarios. The goal of this study is to present current industrial processes for producing some crude oil from organic waste thanks to the anaerobic bacterial fermentation. The various studied processes can produce in some hours what the nature could create during thousands or millions years.