

Les algocarburants, de nouveaux diesels miracles ?

Depuis quelques mois, les milieux financiers américains bruissent de rumeurs invitant l'investissement sur un nouvel « or vert » : les biocarburants de 3^e génération, des huiles obtenues grâce aux microalgues. Les compagnies Sapphire Energy et Greenfuel Technologies ont ainsi attiré près d'une centaine de millions de dollars. L'espagnol BFS (Bio Fuel Systems) développe ses photoréacteurs et de grandes sociétés telles que Schell, Total et Linde s'intéressent fortement à la filière ou prennent des participations dans les sociétés de bio-ingénierie. La Navy, après un essai réussi, envisage d'utiliser des centaines de milliers de litres d'« algae fuels » et Boeing a déjà programmé des vols d'essais.

De quoi s'agit-il exactement ?

Les microalgues ont une biodiversité très large, des cyanobactéries aux algues vertes ou chlorophyllées. La biosynthèse s'effectue d'abord dans les chloroplastes ; lorsque les cellules rencontrent des conditions de culture difficiles, elles accumulent des réserves comme des lipides formées à partir de sucres grâce à la photosynthèse. Après modification, trois acides gras se combinent avec le glycérol pour former des triglycérides qui sont stockés dans le cytoplasme et le chloroplaste (figure 1). Le point important pour l'exploitation de ces huiles comme biodiesel est la longueur des chaînes carbonées et le nombre de doubles liaisons C=C ; d'où une sélection très pointue parmi les 200 000 à 1 million d'algues existant sur la planète pour trouver l'espèce qui fournit des huiles *ad hoc* sans avoir recours à une carence nutritive qui en diminue la productivité. C'est donc la recherche de souches pouvant être

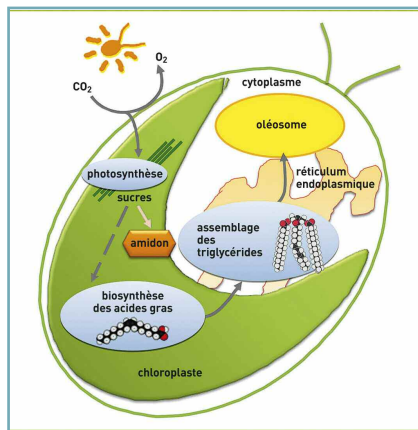


Figure 1 - Cellule de microalgue.
© Clefs CEA n° 61, printemps 2013, p. 50.
www.cea.fr/energie/les-energies-bas-carbone

cultivées industriellement, par des campagnes de prélèvements lors de missions océanographiques, puis leur sélection en laboratoire par criblage à haut débit ou séquençage et mutations génétiques pour optimiser la production lipidique et la reproduction cellulaire.

Le concept de départ est très séduisant : on sait que le phytoplancton fixe près de la moitié du CO₂ sur la planète.

Le rendement, bien que restant dépendant de la photosynthèse, est nettement supérieur à celui des plantes terrestres. De plus, certains de ces micro-organismes se multiplient par mitose toutes les 24 heures et forment de la biomasse rien qu'avec de la lumière, de l'eau et du CO₂. Dans l'eau de mer, la concentration cellulaire est de 100 à 300 cellules par mL ; en milieu d'élevage, on peut atteindre quelques centaines de millions par mL, d'où un rendement espéré qui fait rêver, à défaut du cœur, tous les portefeuilles des pétroliers !

Pour passer du rêve à la réalité, il existe deux procédés principaux à l'échelle industrielle :

- La culture en bassin ouvert – « Raceway » en anglais, car les bassins ont la forme d'un champ de course en boucle, ouvert sur l'extérieur –, où les algues en culture circulent sous l'action d'une roue à aubes. Ces structures sont peu coûteuses, mais les fortes variations d'intensité lumineuse (la nuit par exemple) ont un impact négatif sur la croissance des cellules, provoquant l'autoconsommation des lipides, et le CO₂ de l'atmosphère reste à une faible concentration.

- La culture en bioréacteurs, où les algues circulent entre un réservoir et un réseau de tubes transparents (en polycarbonate) qui laissent entrer la lumière. Un flux turbulent est maintenu dans le circuit par une pompe, ce qui évite la sédimentation des algues, et on peut y injecter du CO₂ de façon contrôlée, maîtriser la température, le pH et la concentration, et dégazer l'oxygène formé.

Dans les deux procédés, il faut récupérer la biomasse, la sécher, puis en extraire les huiles. Diverses méthodes sont employées :

- la floculation, ou la flottation en bassin, ou la filtration en milieu réacteur ;
- le séchage par pression ou centrifugation, puis traitement par air sec ;
- l'extraction des huiles par sonification, pressage, ou par solvants tels que

l'hexane ou des fluides supercritiques comme le CO₂.

Suivant les espèces d'algues sélectionnées, les huiles obtenues ne sont pas utilisables telles quelles comme carburant selon les normes européennes ou américaines pour être mélangées au gasoil. Il faut donc leur faire subir des transformations chimiques bien connues : une transestérification avec le méthanol, ou une hydrogénation catalytique.

Quel avenir pour ces biocarburants de 3^e génération ?

Il y a d'incontestables points positifs à la production d'huiles par les microalgues :

- elle ne fait pas concurrence aux cultures vivrières comme celles de 1^{ère} génération ;
- le rendement en biomasse est 20 à 60 fois supérieur à celui de la culture des oléagineux et demande donc bien moins de surface d'emprise ;
- les installations de photobioréacteurs peuvent être implantées près de centrales à charbon ou de cimenteries pour transformer les fumées en biomasse avec un rendement honorable (1 kg biomasse/1,8 kg CO₂) ;
- on peut alimenter les bassins en eau de mer ou même en eaux usées riches en nutriments pour les algues ;
- les résidus après extraction de l'huile peuvent être valorisés pour l'alimentation du bétail ou les cosmétiques et contiennent même parfois des « oméga 3 ».

Ce tableau idyllique dressé par les start-up ou instituts en mal de financement cache cependant quelques problèmes. L'extrapolation industrielle de la culture de souches sélectionnées en laboratoire n'est pas un long fleuve tranquille. Pour la culture en bassin ouvert, seules les zones et pays disposant d'un fort ensoleillement et d'une température moyenne comprise entre 20 et 30 °C peuvent être candidats, avec cependant un bémol, celui d'une forte baisse de rendement inévitable la nuit. L'implantation dans les zones désertiques doit faire face à une forte évaporation et au manque de sources de CO₂ de proximité. L'implantation de plates-formes avec des photobioréacteurs résout partiellement ces problèmes, à condition d'avoir un éclairage additionnel la nuit et une régulation de température qui, avec la circulation du milieu

de culture par pompe accélératrice, dépendent de l'énergie. Le séchage de la biomasse, le pressage, l'extraction par solvants et la transformation par réactions chimiques nécessitent également pas mal d'énergie. Une étude de 2010 du Lawrence Berkeley National Laboratory chiffrait entre 200 et 300 \$ le baril d'huile issu de la filière des microalgues. Des évaluations plus récentes menées sur des installations à plus grandes échelles chiffrent le litre entre 2 et 3 €.

Cela n'empêche pas qu'à la suite de Sapphire qui a installé une grande ferme sur 12 ha dans le désert du Nouveau Mexique (figure 2), de nouveaux investisseurs bâtissent d'autres fermes en Australie, en Israël, en Californie et en Floride. En Espagne, BFS développe des prototypes de plates-formes de photobioréacteurs près des sources industrielles de CO₂. Et en France, que se passe-t-il ? Dès les années 1980, le CEA avait initié ces recherches et les poursuit en biologie et génie des procédés. Le programme national Shamash a regroupé de 2006 à 2009 plusieurs laboratoires du CNRS

et d'Ifremer sous l'égide de l'INRIA, avec comme partenaires PSA et EADS. Le projet Salinalgue, qui vise à utiliser les anciens marais salants près de Narbonne, regroupe un consortium, avec GDF Suez et Air Liquide notamment. De jeunes sociétés exploitent des modèles de photobioréacteurs : Fermentalg à Libourne, qui vise plutôt des molécules à haute valeur ajoutée, et Acta Alga près de Nantes qui, avec le support d'Ifremer, exploite un brevet original de photoréacteur disposant de panneaux photovoltaïques, sources d'éclairage des algues la nuit.

Il est clair qu'avant de passer de la plage à la pompe, plusieurs défis restent à surmonter : des souches de microalgues robustes, des conditions de cultures industrielles optimisées, des procédés de séparation eau/biomasse économes en énergie, la valorisation des coproduits, et enfin, comme ce sera une industrie capitaliste : la recherche de gros investisseurs !

Les experts voient déboucher des biodiesels issus de cette filière vers les années 2020-2030. Ce qui est super



Figure 2 - Ferme de culture de microalgues à Columbus, Nouveau Mexique (© Sapphire Energy).

rapide pour que les protozoaires sauvent à nouveau la planète quant on sait qu'il a fallu environ 100 millions d'années aux cyanobactéries (aidées par la précipitation des carbonates) pour passer d'une atmosphère de CO₂ à la valeur actuelle de notre bonne vieille Terre.



Jean-Claude Bernier,
le 15 mai 2013



Institut de Chimie Moléculaire de l'Université de Bourgogne - CNRS UMR 5260

UNE INGÉNIERIE MOLÉCULAIRE

Synthèse organique – Chimie organométallique – Chimie de coordination – Catalyse et chimie fine – Chimie des gaz – Matériaux hybrides – Polymères – Electrochimie

DES ENJEUX SOCIÉTAUX

■ CHIMIE POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE

Procédés catalytiques – Synthèses économiques en atomes – Décontamination de milieux pollués – Détection, purification, stockage de gaz

■ SANTÉ, IMAGERIE MÉDICALE, THÉRAPIE

Agents organométalliques anticancéreux – Capteurs biomédicaux – Marquage de vecteurs biologiques – Imagerie multimodale – Théranostiques

NOTRE PLATEFORME TECHNOLOGIQUE CERTIFIÉE

Pôle Chimie Moléculaire



Welience
Innovier, c'est notre métier
www.welience.com



Conseils - Expertises techniques - Partenariats - Sous-traitances
RMN - Masse - IR - Raman - CHN - RX - Essais catalytiques
Déterminations structurales - Analyses Physico-Chimiques

9 Avenue Alain Savary - BP 47870 - 21078 Dijon Cedex
icmub.dir@u-bourgogne.fr - www.icmub.fr

ICMUB UMR 5260