

# Un carburant à base d'huile d'algue

Dans le contexte des changements climatiques et de la flambée des prix du baril de pétrole, les biocarburants sont aujourd'hui présentés comme une alternative énergétique durable. Des recherches ont actuellement lieu sur des algues microscopiques particulièrement riches en huiles et dont le rendement à l'hectare est bien meilleur que celui du tournesol ou du Colza. L'utilisation à l'échelle industrielle de bioréacteurs à microalgues, qui piègent le CO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub>, est en pleine phase de développement aux Etats Unis.

Par Olivier Daniélo

Les mayas et les aztèques de l'actuel Mexique utilisaient des algues microscopiques, les spirulines (*Spirulina maxima*), comme complément alimentaire. Elles portent le nom de *tecuitlatl* en langue nahuatl et sont naturellement très riche en protéines. Il se pourrait bien que des microalgues cette fois riches en lipides deviennent en partie une alternative au pétrole. Le Laboratoire National des Energies Renouvelables (NREL) du Département à l'Energie du Gouvernement américain (DOE) cherche à produire à l'échelle industrielle du carburant à base d'huile produite par ces algues naturellement riches en triglycérides. Le NREL, qui est basé à Golden - Colorado, est un ensemble de laboratoires du bureau du développement des carburants (*US Department of Energy's Office of Fuels Development*).

## Intérêt des algues microscopiques

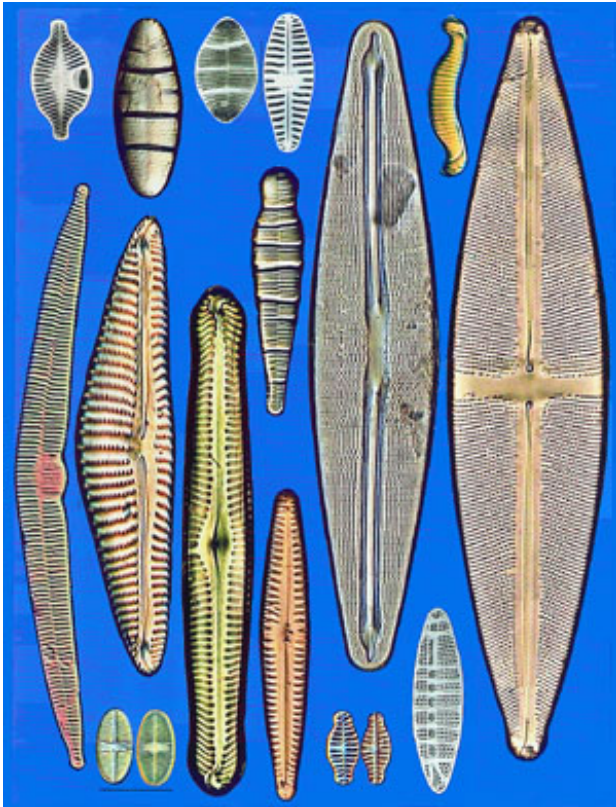
Certaines espèces ont une richesse en huile pouvant atteindre jusqu'à 50% de leur masse. Les 300 espèces sélectionnées par le NREL, et qui sont à la disposition des chercheurs du monde entier au *Marine Bioproducts Engineering Center (MarBEC)*, Université d'Hawaï - Manoa, appartiennent à des groupes aussi variés que les diatomées (genres *Amphora*, *Cymbella*, *Nitzschia* etc...) ou que les algues vertes (chlorophycées du genre *Chlorella* en particulier). Des espèces et des souches capables de vivre dans l'eau salée ou en eau douce et particulièrement riches en huiles ont été sélectionnées. Les techniques de la biologie moléculaire permettent d'optimiser la production de lipides algaux ainsi que le rendement photosynthétique des algues. D'autres espèces capables de synthétiser de l'hydrogène font également l'objet de recherches.



## La production des biocarburants classiques nécessite d'importantes surfaces cultivables.

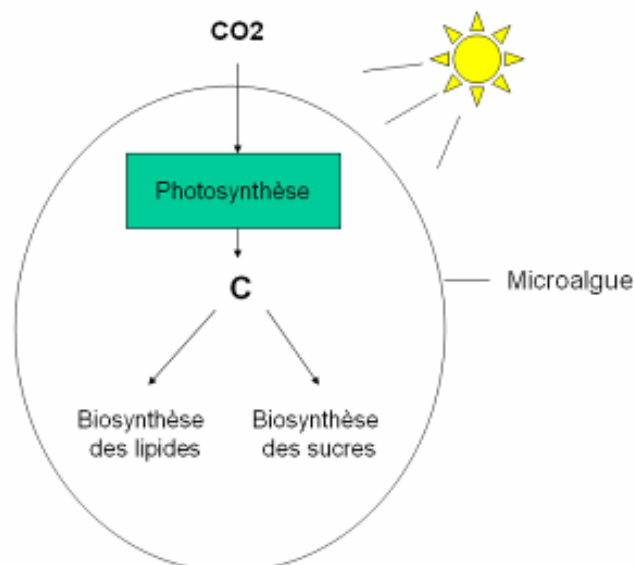
Les biocarburants obtenus à partir de plantes terrestres résultent principalement de deux filières : La filière huile, à partir de colza ou de tournesol, et la filière alcool, à partir de la fermentation de sucres de betterave, de blé ou de maïs.

L'obtention de ces biocarburants nécessite d'importantes surfaces cultivables. Selon Jean Marc JANCOVICI, Ingénieur Conseil spécialiste des émissions des gaz à effet de serre, il faudrait par exemple cultiver 118% de la surface totale de la France en tournesol pour remplacer l'intégralité des 50Mtep de pétrole consommées chaque année par les français dans les transports (104% de la surface nationale avec le Colza, 120% avec la betterave et 2700% avec le blé).



**Le monde des diatomées.** Les diatomées ou bacillariophytes sont des algues microscopiques unicellulaires. Elles sont identifiables à la forme de leur squelette siliceux. Elles peuvent apparaître sous forme de colonies ramifiées ou rameuses. Leur taille varie de 5 micromètres à 5 millimètres. Ce sont des organismes très répandus dans les eaux salées, où elles constituent la plus grande part de la biomasse du phytoplancton, mais aussi en eau douce. Il en existe environ 100 000 espèces connues dans le monde. Plus de 400 nouveaux taxons sont décrits chaque année. Certaines espèces sont particulièrement riches en huile.

Ces algues microscopiques ont un processus photosynthétique similaire à celui des plantes supérieures. Elles sont de véritables centrales biochimiques miniatures capables de fixer, comme le font les plantes terrestres, le CO<sub>2</sub> grâce à l'enzyme Rubisco (Ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase). Les produits du cycle de Calvin servent de point de départ aux biosynthèses de sucres ou de lipides. L'enzyme acétylcoenzyme A carboxylase (ACCase) joue un rôle clé, notamment chez les diatomées, dans la voie de synthèse des triglycérides ou triacylglycérols (TAGs), molécules recherchées pour l'obtention des carburants. Les chercheurs du NREL ont été les premiers à mettre en évidence chez les diatomées la présence de cette enzyme. Une carence en silice induit chez elles une synthèse accrue en lipide, ceci en lien avec l'activité du gène de l'ACCase. Ce gène a été isolé et cloné en vue de chercher à augmenter son expression et donc la production d'huile. Un stress azoté chez les algues vertes s'accompagne des mêmes effets. D'autres enzymes de la voie de biosynthèse des triglycérides font actuellement l'objet d'intenses recherches.



**Biosynthèse des lipides et des sucres par les microalgues**

## La production du biodiesel algal à l'échelle industrielle

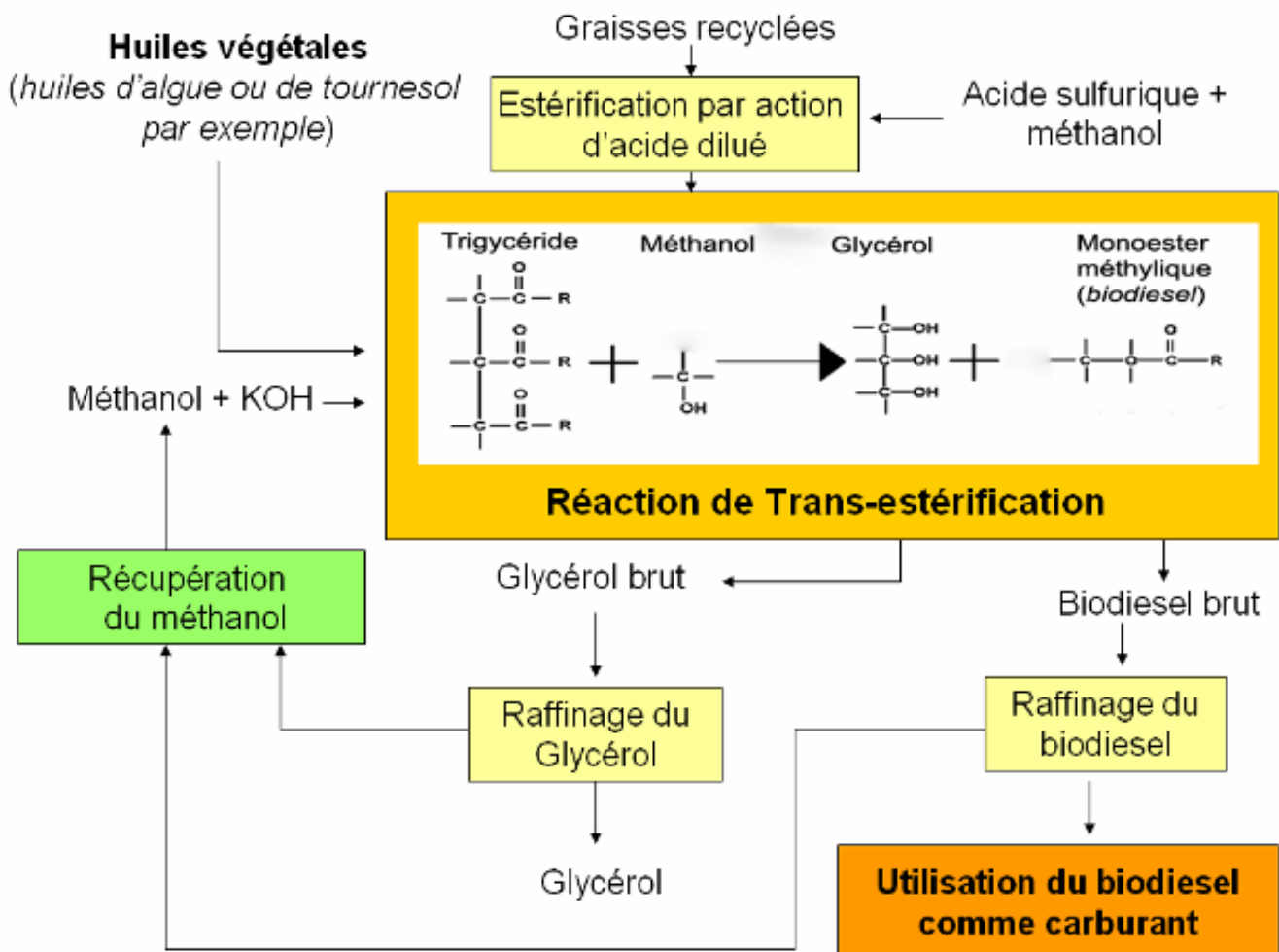
Il n'y a pas meilleurs capteurs solaires au monde que ces organismes photosynthétiques microscopiques. Leur croissance est très rapide : il est possible d'effectuer une récolte complète en quelques jours, ce qui n'est pas le cas du colza ou du blé. Leur culture automatisée dans des bassins ou des bioréacteurs est aisée. Des expériences ont été menées à Hawaï, en Californie et au Nouveau Mexique. La ferme à ciel ouvert de Roswell au Nouveau Mexique a une surface de 1000m<sup>2</sup>. L'influence du pH, de la température diurne et nocturne ainsi que d'autres paramètres physiques y ont été étudiés pour accroître la productivité des algues. Le gouvernement japonais a d'autre part lancé un programme de recherche et développement sur des réacteurs fermés à base de fibres optiques permettant de réduire la surface nécessaire pour la production et une meilleure protection contre les contaminations.

Le rendement des diatomées et chlorophycées est nettement supérieur que celui des plantes terrestres telles que le colza car ce sont des organismes unicellulaires; leur croissance en suspension dans un milieu aqueux leur permet un meilleur accès aux ressources : eau, CO<sub>2</sub> ou minéraux. C'est pour ces raisons que les algues microscopiques sont capables, selon les scientifiques du NREL (John SHEEHAN et al) « *de synthétiser 30 fois plus d'huile à l'hectare que les plantes terrestres oléagineuses utilisées pour la fabrication de biocarburants* ». On parle ici de rendement à l'hectare car le facteur important est non le volume du bassin mais la surface d'exposition au soleil. La productivité est mesurée en terme de biomasse (kg d'algue ou d'huile) par jour et par unité de surface. Les comparaisons sont alors possibles avec les plantes terrestres. Michael BRIGGS, Professeur à l'Université du New Hampshire, estime que la culture de ces algues sur une surface de 38 500 km<sup>2</sup> située dans une zone bien ensoleillée telle que le désert de Sonora permettrait de remplacer la totalité du pétrole consommé par les USA. L'intérêt de cette biotechnologie est donc immense. Les zones arides peuvent être utilisées pour les cultures des algues, là où le flux solaire est important et où les activités humaines par exemple agricoles sont absentes. Elles peuvent même se nourrir de nos déchets et jouer un rôle important dans le traitement des eaux usées, ainsi que par exemple des déjections des élevages porcins ou aviaires sources de nitrates et de phosphates à l'origine de phénomènes d'eutrophisation des eaux.

**Des algues et des hommes** - C'est en fait la NASA qui en premier s'est intéressée aux microalgues dans le cadre des missions spatiales. Les travaux du NREL sur les énergies renouvelables ont commencé dans les années 1970 dans le contexte du peak oil américain, qui avait d'ailleurs été prévu dès 1956 par le géophysicien King HUBBERT. Il est alors apparu indispensable au gouvernement américain de se tourner vers des sources pétrolières étrangères ou de développer d'autres carburants. Les travaux sur les algues ont pris de l'ampleur dans les années 1980 puis se sont arrêtées 16 ans plus tard dans un contexte de rigueur budgétaire. Les travaux ont repris récemment, ceci dans le cadre de la flambée du baril de pétrole rendant au biodiesel algal la possibilité de devenir concurrentiel sur le marché. Le baril de pétrole se vendait à 13 dollars en 1998 et il atteint aujourd'hui les 50 dollars. Si la production de biodiesel algal n'a pas encore été mise en place à grande échelle, c'est tout simplement pour un problème de rentabilité et de compétitivité. Le coût de la production d'un baril de biodiesel algal a été estimé en 1982 par BENEMANN et al à 94 dollars en moyenne (hypothèse basse de 61 dollars et haute de 127 dollars en fonction du mode de production). Selon Michael BRIGGS: *"The operating costs, including power consumption, labor, chemicals, and fixed capital costs (taxes, maintenance, insurance, depreciation, and return on investment) worked out to \$12,000 per hectare. That would equate to \$46.2 billion per year for all the algae farms, to yield all the oil feedstock necessary for the entire country. Compare that to the \$100-150 billion the US spends each year just on purchasing crude oil from foreign countries, with all of that money leaving the US economy"*. Les scientifiques du NREL pensent que ces nouveaux carburants deviendront compétitifs dès 2010.

## La trans-estérification permet l'obtention du biodiesel à partir de l'huile d'algue.

On extrait 70% de l'huile des algues en les pressant. L'utilisation d'un solvant organique permet d'atteindre un niveau d'extraction de 99% mais à un coût plus élevé. « Toute extraction d'huile peut être effectuée par simple pressage à froid – écrasement, ou par voie chimique, ou une combinaison des deux méthodes » indique M. BRIGGS. L'huile végétale brute (HVB) peut être utilisée directement dans les moteurs diesels adaptés étant donnée sa viscosité relativement élevée. Les triglycérides qui constituent les huiles végétales peuvent également être transformés en monoesters méthyliques (Esters Méthyliques d'huile végétale - EMHV) et en glycérol par une réaction de trans-estérification avec des molécules de méthanol (on obtient des esters éthyliques avec l'éthanol). Les molécules plus petites du biodiesel ainsi obtenues peuvent alors être utilisées comme carburant dans les moteurs à allumage par compression. Ce biodiesel ne contient pas de soufre, n'est pas toxique et est hautement biodégradable.

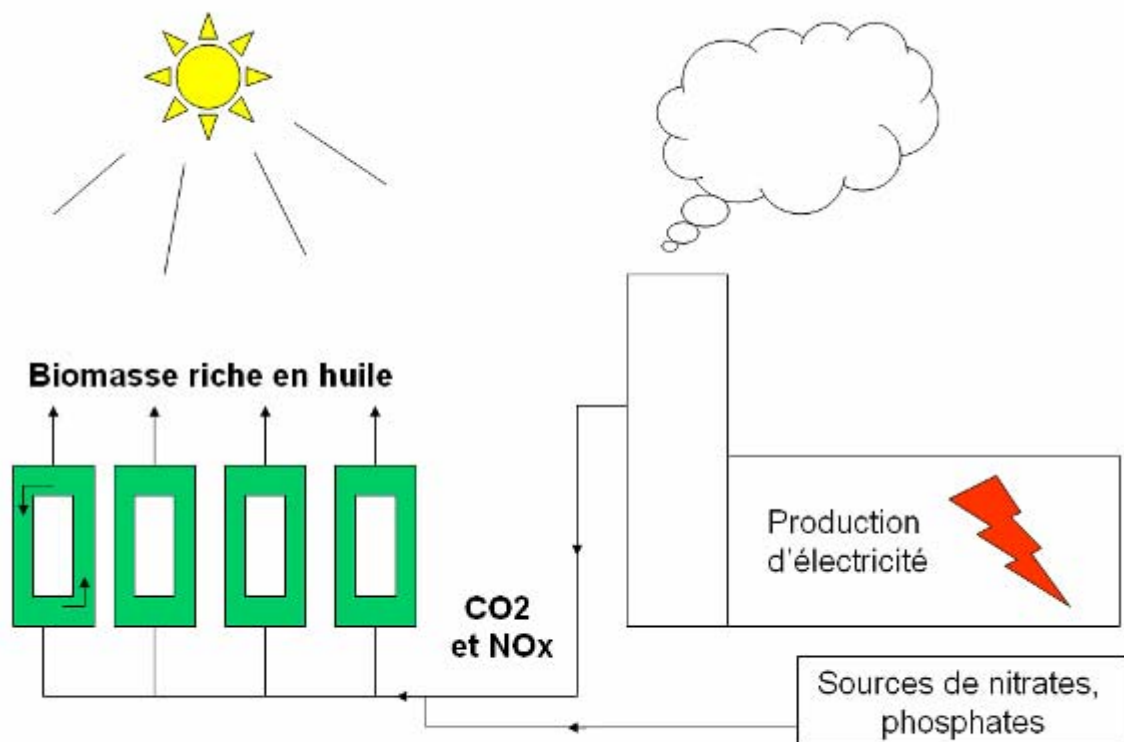


## Techniques d'obtention du biodiesel

## La solution à tous nos problèmes ?

Pour atteindre un rendement optimal les algues ont besoin de CO<sub>2</sub> en grande quantité dans les bassins ou les bioréacteurs. Ces derniers doivent donc être couplés à des centrales thermiques classiques productrices d'électricité (centrales au charbon par exemple) et qui rejettent du CO<sub>2</sub> avec une teneur moyenne de 13%. Le CO<sub>2</sub> est mis à barboter dans les bassins et est assimilé par les algues. Il s'agit donc d'une technologie permettant à la fois de recycler le CO<sub>2</sub> et de traiter les eaux usées. C'est en ce sens qu'elles constituent une avancée dans le domaine environnemental, même si le CO<sub>2</sub> produit par les centrales sera malgré tout libéré dans l'atmosphère lors de la combustion du biodiesel dans les bus ou les voitures.

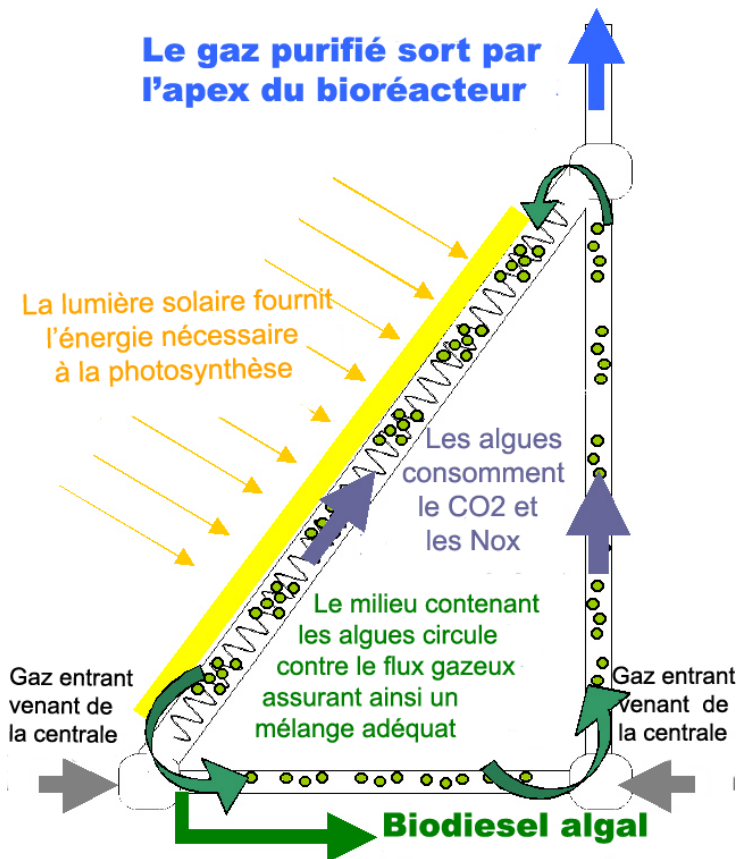
Les diatomées, qui il y a des millions d'années ont permis avec d'autres organismes marins la formation des hydrocarbures consommés aujourd'hui, vont sans doute nous servir une deuxième fois.



**Couplage entre une centrale thermique classique et les bassins à microalgues** (adaptation d'après un dessin original du NREL)

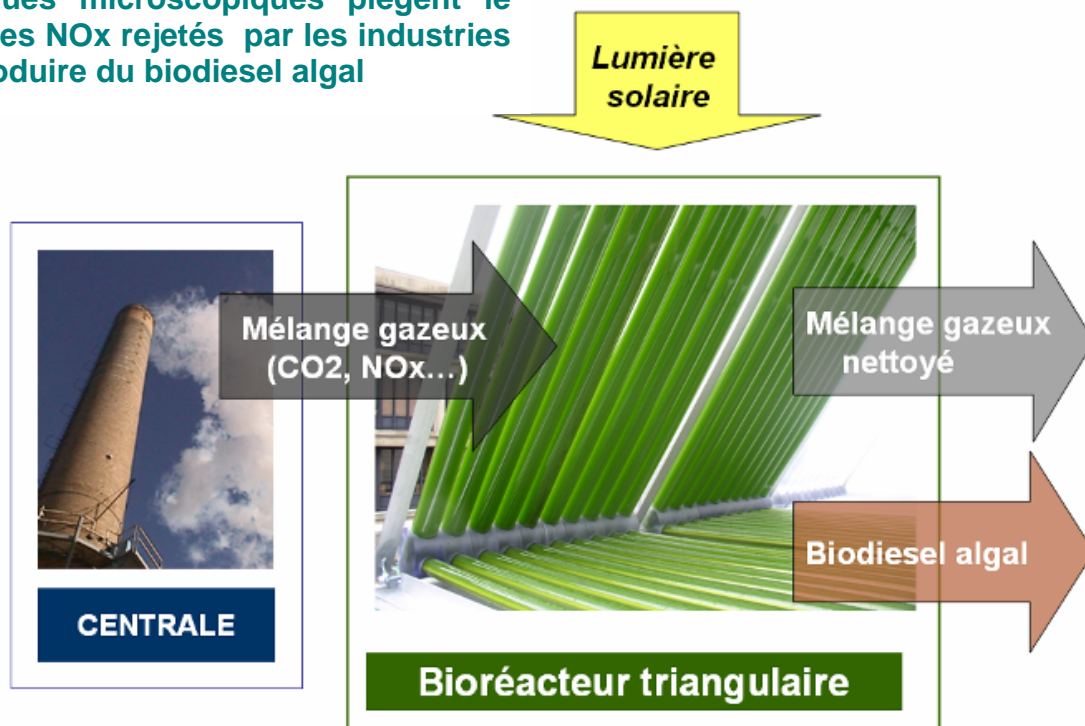
# GreenFuel Corporation : Quand l'industrie se met au vert

L'utilisation à l'échelle industrielle de bioréacteurs à microalgues est en pleine phase de développement aux Etats Unis. L'équipe du Docteur Isaac BERZIN, Directeur de la société américaine *GreenFuel Technologies Corporation*, basée à Cambridge-MA, a développé un bioréacteur permettant de réduire les émissions de NOx et de CO2 en les piégeant dans les algues. Ce système a été testé avec succès en couplant des bioréacteurs à la centrale de cogénération (Cogen) de 20MW du *Massachussets Institute of Technology (MIT)*. Cette innovation technologique est exposée au *Museum of Science* de Boston depuis juillet 2004.



Le bioréacteur de *GreenFuel Corporation* a une structure triangulaire constituée de tubes en polycarbonates de 2 à 3 mètres de long et de 10 à 20 cm de diamètre. L'hypoténuse du triangle est exposée au soleil et les deux autres cotés à l'ombre. Des mathématiciens de premier plan ont utilisé des équations mathématiques qui intègrent la vitesse du fluide dans les tubes et la quantité de lumière disponible afin de développer le système le plus performant. La température est également un facteur critique mais facilement contrôlé : dans le réacteur l'amplitude de variation thermique ne dépasse pas 10°C. Le gaz injecté provient du *Cogen* avec une teneur classique en CO2 de 13% ; Ce CO2 est assimilé par des algues qui ont été sélectionnées selon un protocole utilisé par la NASA; Il ne s'agit pas d'OGMs mais de souches qui se sont habituées aux conditions de culture. Le gaz nettoyé par le bioréacteur sort ensuite par l'apex tandis qu'une partie des algues est quotidiennement drainée et prélevée au niveau inférieur. La biomasse obtenue peut servir à produire du biodiesel, du plastique ou des molécules d'intérêt pharmaceutique. Elle peut également être réintroduite comme combustible dans une centrale thermique.

Les algues microscopiques piègent le CO2 et les NOx rejetés par les industries pour produire du biodiesel algal



En octobre 2004, un rapport de l'organisme de certification *CK Environment* indique que, sur une période de sept jours de mesures, les bioréacteurs ont permis les jours ensoleillés une réduction de 85.9% ( $\pm 2.1\%$ ) des oxydes d'azote, et de 82.3% ( $\pm 12.5\%$ ) du CO<sub>2</sub>, et les jours nuageux ou pluvieux de 50.1% pour le CO<sub>2</sub> ( $\pm 6.5\%$ ). La méthode de test utilisée est conforme aux standards imposés par l'EPA (*Environmental Protection Agency*). Les systèmes précédents utilisant des algues parvenaient à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 5% et celles des NO<sub>x</sub> de 70%. Le système peut être utilisé sous des latitudes où le flux solaire est faible, mais avec une efficacité relativement moins élevée. La phase de calibration se poursuit. Il est théoriquement possible de piéger 90% du CO<sub>2</sub>, mais des contraintes financières et techniques doivent être prises en compte pour obtenir de telles performances. Ce bioréacteur constitue cependant dès à présent une avancée technologique considérable. *"GreenFuel is working to deploy small scale field trials in the US in 2005 and 2006; we aim to commence operation of our first full-scale installations in 2008"* indique Julianne ZIMMERMAN de la Direction de GreenFuel. Réduire les émissions de gaz à effet de serre est pour les industriels du monde entier à la fois un défi environnemental et économique, notamment dans le cadre de l'application des quotas d'émission imposés par le protocole de Kyoto pour les pays signataires. Peter COOPER, de la Direction du Cogen, est enthousiaste : « *Le système est plus efficace que nous l'avions espéré. Cette nouvelle technologie qui parvient à diminuer de manière significative les émissions de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> constitue une étape importante dans le domaine de la lutte contre le réchauffement climatique* ».



Vue aérienne de la centrale de cogénération (Cogen) du Massachusetts Institute of Technology (MIT) couplée aux bioréacteurs à microalgues de GreenFuel Corporation (en vert sur la photo)

## Pour en savoir plus :

➤ Panorama des recherches du NREL dans le domaine des énergies renouvelables :

<http://www.nrel.gov/documents/ftlb.html>

➤ Rapport de synthèse du NREL – *A look back at the US Department of energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from algae* - 238 pages -1998. Disponible à l'adresse :

[http://www.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biodiesel\\_from\\_algae.pdf](http://www.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biodiesel_from_algae.pdf)

➤ *Widescale Biodiesel Production from Algae* - Michael BRIGGS – Août 2004

[http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article\\_alge.html](http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article_alge.html)

➤ GreenFuel Technologies Corporation - <http://www.greenfuelonline.com>

➤ *Bioconversion of solar energy into chemicals by microalgae*, C. Gudin and C. Thépenier, *Advances in biotechnological processes*, vol. 6 (p. 73-110), Allan R. Liss. inco., 1986.

➤ Un forum sur le biodiesel (administré par Michael BRIGGS) :

[http://forums.biodieselnow.com/topic.asp?TOPIC\\_ID=3414](http://forums.biodieselnow.com/topic.asp?TOPIC_ID=3414)

Contacteur l'auteur : [OlivierDanielo@yahoo.fr](mailto:OlivierDanielo@yahoo.fr)