

Microalgues : ? les carburants du futur

Philip Pienkos, Lieve Laurens et Andy Aden

Les algues microscopiques pourraient fournir presque autant de biocarburants que les plantes terrestres. Il reste à les rendre compétitives avec les carburants fossiles.

Le développement d'alternatives aux combustibles fossiles est en plein essor. Dans le futur, les véhicules ne fonctionneront plus uniquement à l'essence ou au diesel usuels, mais aussi aux biocarburants liquides, à l'électricité et peut-être à l'hydrogène. Presque toute l'essence distribuée aux États-Unis contient déjà dix pour cent d'éthanol, essentiellement fabriqué à partir de maïs. En France, selon l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), les biocarburants ont fourni 5,71 pour cent (en valeur énergétique) de la consommation totale de carburants en 2008. À l'échelle mondiale, 75 millions de tonnes de biocarburants ont été produits en 2010, à comparer aux 1 700 millions de tonnes de carburants pétroliers consommés annuellement.

Selon les chercheurs, de multiples types de biomasse seront nécessaires pour assurer un approvisionnement suffisant. Un rapport américain actualisé en 2011 indique qu'on pourrait extraire aux États-Unis jusqu'à 1,6 milliard de tonnes de biomasse terrestre par an, tout en respectant l'environnement, à partir de diverses sources : les déchets

de l'agriculture et de la sylviculture, les ordures ménagères, ainsi que des plantes spécifiques, telles les graminées *Miscanthus* et *Panicum virgatum* (en anglais *switchgrass*, le terme français panic raide étant peu utilisé). La biomasse servirait au chauffage et à la fabrication de biocarburants et de divers autres produits. Le rapport établit aussi la production maximale théorique de substituts à l'essence fondés sur cette biomasse : près de 363 milliards de litres. Les États-Unis consommant environ 756 milliards de litres par an de carburants liquides dérivés du pétrole brut, la biomasse terrestre ne suffira pas. Il faut donc prospecter ailleurs.

Les algues présentent de nombreux avantages. Certaines espèces ont une teneur élevée en lipides, exploitables pour un type de biocarburant nommé biodiesel. La quantité d'algues cultivable par hectare est importante. La production de biocarburant entre moins en compétition avec les usages alimentaires que ne le font des cultures telles que le maïs. Les algues poussent dans des environnements divers et sont cultivables sur des surfaces impropres à l'agriculture.

© Soeren Stachewitz/Corbis

Différents types d'eau sont utilisables : douce, saumâtre, salée et même des eaux usées. On pense que les carburants extraits d'algues dégageraient bien moins de gaz à effet de serre que les combustibles fossiles – cela reste toutefois à confirmer. Enfin, outre les biocarburants, d'autres produits commercialement intéressants pourraient être développés à partir des algues.

Dans une étude publiée en 2011, Mark Wigmosta, du Département de l'énergie américain, et ses collègues ont évalué la quantité de terres et de ressources (en eau, en dioxyde de carbone et en nutriments minéraux) disponibles pour la culture des algues. Ils en ont déduit la quantité potentielle de biocarburants susceptibles d'être produits aux États-Unis par cette filière : 216 milliards de litres par an, soit le même ordre de grandeur que l'ensemble des carburants tirés de la biomasse terrestre (363 milliards de litres). C'est d'autant plus intéressant que ce chiffre peut augmenter, car il se fonde sur les techniques actuelles, que l'on cherche à améliorer.

Des macroalgues trop chères

En effet, la filière des algues est confrontée à de multiples défis. Nous devons encore identifier les souches d'algues à forte productivité, mettre au point des méthodes fiables et peu exigeantes en eau pour les cultiver, et inventer des systèmes efficaces d'extraction des lipides et des autres produits d'intérêt commercial. Le coût de ces techniques ne devra pas être trop élevé, pour que le carburant extrait des algues soit compétitif avec ceux dérivés du pétrole.

Précisons que les algues qui nous intéressent pour les biocarburants sont les microalgues, des micro-organismes photosynthétiques unicellulaires. Le potentiel des macroalgues a aussi été étudié, mais l'idée de les utiliser a été abandonnée en raison de coûts prohibitifs liés à leur récolte

1. LES PHOTOBIOREACTEURS sont des récipients fermés dans lesquels on cultive des microalgues. Comme les autres systèmes de culture à l'étude, ils sont encore trop coûteux pour alimenter une filière de biocarburants rentable.

L'ESSENTIEL

■ Les microalgues

abondent dans les eaux douces et salées. Certaines espèces sont riches en lipides, exploitables pour les biocarburants.

■ Toutefois, les carburants qu'elles fournissent sont trop chers par rapport à ceux dérivés du pétrole.

■ On tente de rendre

la filière des microalgues compétitive grâce à plusieurs types d'actions : recherche de souches algales plus intéressantes, améliorations techniques à toutes les étapes (culture des algues, extraction des huiles...) et développement de coproduits commerciaux avec la biomasse résiduelle.

et à leur conversion en carburant. Ces plantes macroscopiques devraient donc rester cantonnées à leurs usages classiques, tels que les produits agroalimentaires : par exemple, on enveloppe les makis dans une algue nommée nori et on exploite les agars (des polysaccharides extraits des algues rouges) pour leurs propriétés gélifiantes.

Les microalgues sont omniprésentes dans la nature : on les trouve dans l'eau douce, l'eau de mer, les lacs hypersalés et même dans les écosystèmes désertiques et arctiques. Deux catégories principales de microalgues existent : les eucaryotes, qui possèdent des organites (noyau cellulaire, chloroplastes, mitochondries...), et les procaryotes (les cyanobactéries ou algues bleues), des bactéries photosynthétiques de structure cellulaire plus simple. On peut utiliser sur les cyanobactéries les nombreuses techniques d'ingénierie

génétique développées pour les bactéries, de sorte qu'elles sont intéressantes pour la recherche sur les biocarburants, mais elles ne fabriquent pas naturellement les huiles incorporables dans ces derniers. En revanche, les microalgues eucaryotes en synthétisent parfois en abondance.

Parmi les microalgues eucaryotes, les algues vertes, qualifiées d'oléagineuses, sont les plus riches en huiles : celles-ci peuvent représenter jusqu'à 60 pour cent de leur masse sèche cellulaire. Les algues vertes constituent un groupe d'espèces qui prospèrent dans une grande variété d'habitats et croissent rapidement.

La composition des lipides dépend notablement des espèces et des conditions dans lesquelles poussent les algues. Les lipides les plus intéressants pour les biocarburants sont ceux dits neutres, constitués de triglycérides, aussi nommés triacylglycérols ou

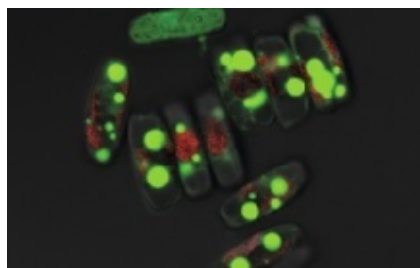
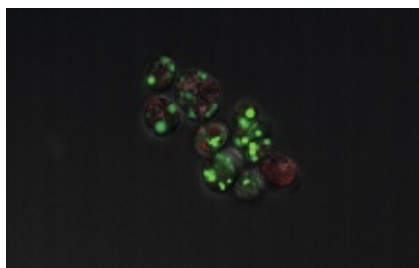
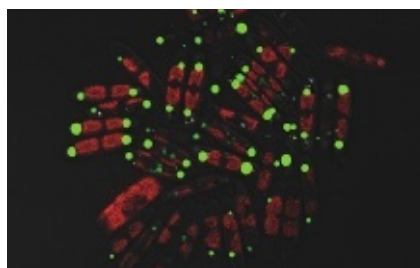
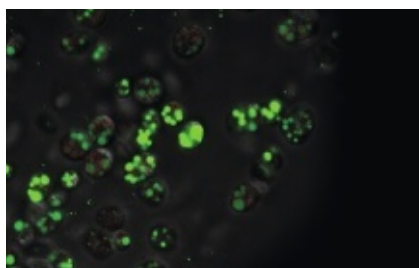
TAG : ces molécules sont formées de glycérol (une molécule dotée de trois groupes hydroxyle -OH), auquel sont associés par des liaisons dites ester trois acides gras de formule $R-COOH$, c'est-à-dire comprenant une chaîne carbonée R et un groupe acide carboxylique $COOH$ (voir la figure 4). Les acides gras, qui constituent la partie du lipide utilisée dans les biocarburants, représentent presque la totalité de la masse des triglycérides : ceux-ci sont donc convertibles quasi intégralement en carburants. D'autres types de lipides ne comprennent qu'une ou deux molécules d'acides gras et des composants (sucres, groupes phosphates...) inutilisables pour les biocarburants : la fabrication de carburant à partir de ces lipides a donc un moins bon rendement.

Les algues stressées augmentent leurs réserves

Les acides gras sont synthétisés essentiellement dans les chloroplastes. De multiples enzymes interviennent dans cette synthèse, telle l'acétyl-CoA carboxylase (ACCase), qui joue un rôle clef dans la régulation des vitesses de réaction. Dans un environnement favorable, la photosynthèse produit beaucoup de biomasse et la plupart des acides gras fabriqués sont destinés aux lipides membranaires, tels les phospholipides et les glycolipides. Seuls 30 à 50 pour cent de ces lipides peuvent être convertis en carburant.

En revanche, quand les cellules subissent un stress métabolique, tel un manque de nutriments azotés, le métabolisme de la cellule est redirigé vers la production de composés de stockage, principalement des hydrates de carbone (des glucides) et des triglycérides. On obtient donc des lipides plus intéressants pour les biocarburants, mais la croissance et la division cellulaire sont ralenties. On cherche à mieux comprendre les mécanismes en jeu dans la régulation de la fabrication des triglycérides, afin de créer des algues qui en produiraient plus sans ralentir leur croissance.

On peut extraire l'huile de diverses façons, par exemple à l'aide de solvants organiques. Elle représente une fraction d'autant plus importante de la biomasse que, chez les microalgues, toutes les cellules fabriquent de l'huile – à l'inverse des plantes terrestres (soja, colza, palmier...),



© Lee Elliott, Colorado School of Mines/Dennis Schroeder/ National Renewable Energy Laboratory

2. LA BIOPROSPECTION consiste à rechercher des algues naturelles aux caractéristiques intéressantes. Quatre espèces, prélevées dans le Sud-Ouest des États-Unis et vues au microscope, sont présentées ici. Les cellules ont été colorées avec du dipyrrométhène de bore (BODIPY), qui émet une fluorescence verte au contact de gouttelettes lipidiques. Il renseigne donc sur la teneur en lipides des cellules d'algues. La fluorescence rouge provient de la chlorophylle.