

POURQUOI LES CHIMISTES CULTIVENT-ILS DES MICROALGUES ?

Anthony Pichard, Andrée Harari, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *CO₂ et microalgues, pour une chimie renouvelable* de Claude Guadin publié dans l'ouvrage « Chimie et enjeux énergétiques » EDP Sciences, 2013, ISBN : 978-2-7598-0973-8

QUAND UN MONDE INVISIBLE SE MANIFESTE À NOUS

Les microalgues sont des organismes végétaux microscopiques présents sur Terre depuis plus de 3,5 milliards d'années. Elles sont en permanence dans notre environnement. En présence d'une forte humidité et de lumière, elles prolifèrent et deviennent visibles par leurs couleurs. On peut par exemple les observer sur les branches d'un arbre ou dans les flaques d'eau lors d'une journée ensoleillée suivant de fortes pluies d'orage.

Il existe dans la nature environ 30 000 espèces de microalgues (1). Plus de 500 espèces sont clonées et conservées dans une collection de 7 000 cultures situées dans les locaux de la société Thallia Pharmaceuticals à Tarbes. Les cultures sont conservées soigneusement dans de bonnes conditions microbiologiques afin de garder leur pureté. C'est un véritable jardin botanique puisque les algues sont des micro-végétaux. On peut aller puiser dans cet herbier microscopique pour repérer certaines molécules actives utilisables pour de nouveaux médicaments.

QUATRE MICROALGUES PRODUCTRICES DE SUBSTANCES CHIMIQUES D'INTÉRÊT PHARMACEUTIQUE

Haematococcus pluvialis

Haematococcus pluvialis est une algue qui a la texture et la couleur du sang. Le pigment appelé l'astaxanthine est responsable de cette coloration. En réalité, c'est une microalgue verte et unicellulaire dotées de filaments mobiles (flagelles) qui lui

permettent de se déplacer. Comme elle supporte mal les excès de lumière, quand l'eau s'évapore, pour protéger sa chlorophylle qui est fragile, l'algue se fabrique un filtre solaire qui est ce pigment rouge. C'est ainsi qu'elles passent du vert au rouge (Figure 1).

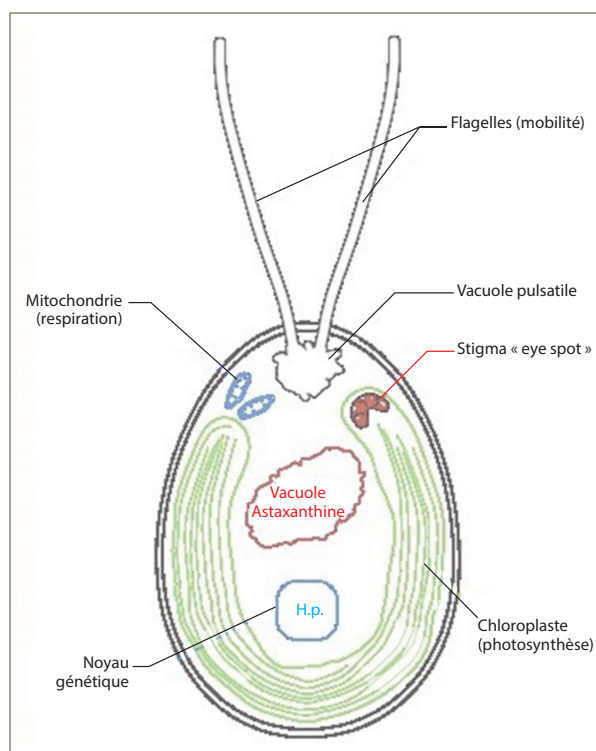


Figure 1 – Schéma d'une cellule d'*Haematococcus pluvialis*.

Chlamydomonas

À la base des flagelles des cellules ovoïdes de *Chlamydomonas* se trouve un petit œil rouge : le stigma. Il est composé d'un pigment appelé rhodopsine. C'est

le même pigment qui tapisse la rétine (2) de notre œil en formant la plaque photoréceptrice qui permet d'enregistrer les images (Figure 2).



Figure 2 – Photo de *Chlamydomonas* et de son stigma de rhodopsine.

Porphyridium cruentum

Porphyridium cruentum est une algue rouge unicellulaire de 20 micromètres de diamètre. Son nom (du latin *cruentum* = couvert de sang) lui vient de sa présence dans les plaies sanguinolentes des statues de Christ des églises bretonnes. L'algue provient de l'eau de mer que les marins apportent avec eux, puis elle prolifère lorsque, à travers les vitraux, la lumière atteint les statues.

Elle produit un autre pigment (3) de couleur orange : la zéaxanthine. Ce composé existe dans la rétine et permet la vision en couleur mais il se dégrade avec le temps. Cela entraîne une dégénérescence et une perte progressive de la vision pouvant aller jusqu'à la cécité.

La zéaxanthine est donc un composé chimique d'intérêt pharmaceutique puisqu'une alimentation enrichie en celui-ci permettrait sans doute de ralentir l'évolution de cette dégénérescence liée à l'âge (Figure 3).

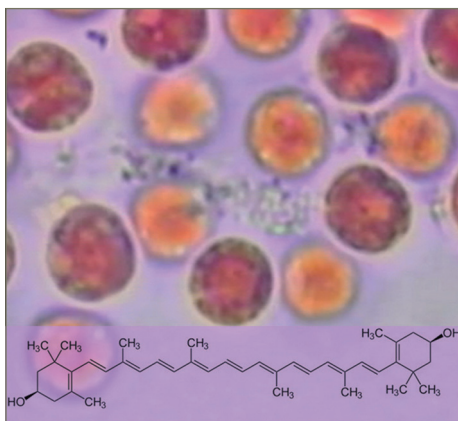


Figure 3 – Photo de *Porphyridium cruentum*.

Botryococcus braunii

Cette algue est unique car c'est la seule qui produise de vrais hydrocarbures à longues chaînes et doubles liaisons. Un hydrocarbure (4) est une molécule

composée uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ceux produit par *Botryococcus braunii* pourraient être utilisés dans la fabrication de nouveaux plastiques. Pourtant, les recherches ne privilégient actuellement pas la production de cette microalgue (Figure 4).

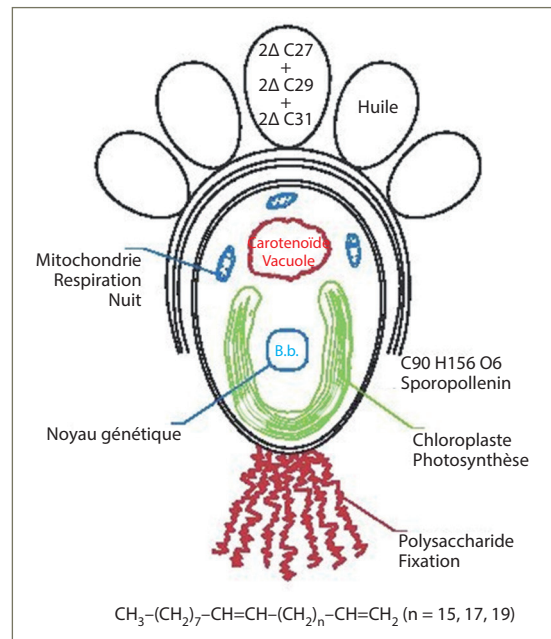


Figure 4 – Schéma de *Botryococcus braunii*.

EXPLOITATION DE LA CULTURE DES MICROALGUES : SYNTHÈSE DE LA ZÉAXANTHINE PAR PHOTOSYNTÈSE

Il est possible de produire à l'échelle industrielle un concentré de zéaxanthine. Le procédé cultive et optimise la croissance de *Porphyridium cruentum*, en reproduisant artificiellement la réaction de photosynthèse qui se produit dans la nature. Le photoréacteur, un capteur solaire en forme de tubes, capte le maximum de lumière nécessaire aux algues pour réaliser la photosynthèse, c'est-à-dire transformer le dioxyde de carbone CO₂ (5) en matière organique et libérer du dioxygène. Le mélange de la matière organique et du dioxygène produit est visible à la surface des tubes sous forme d'une mousse blanche (Figure 5).

Cette culture est réalisée en continu : on ajoute en permanence un engrais liquide dans les tubes contenant *Porphyridium cruentum*, tandis qu'on soutire en permanence la même quantité de produit formé. Pour que la microalgue se déplace tout en se développant à l'intérieur du photoréacteur, on injecte également de l'air et le dioxyde de carbone nécessaire à la photosynthèse.

En centrifugeant la culture prélevée, on obtient une boue rouge : après élimination de l'eau, il reste une poudre rouge contenant la zéaxanthine recherchée.

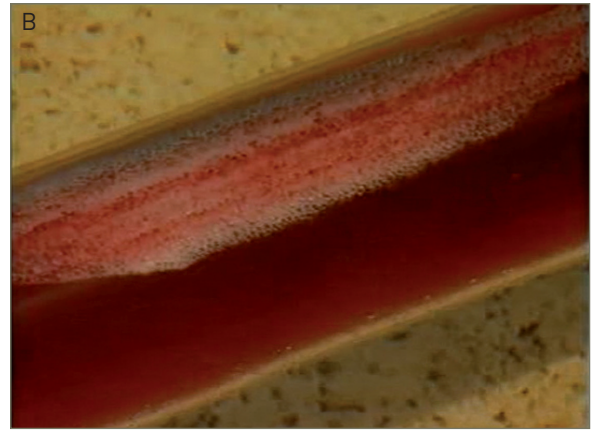
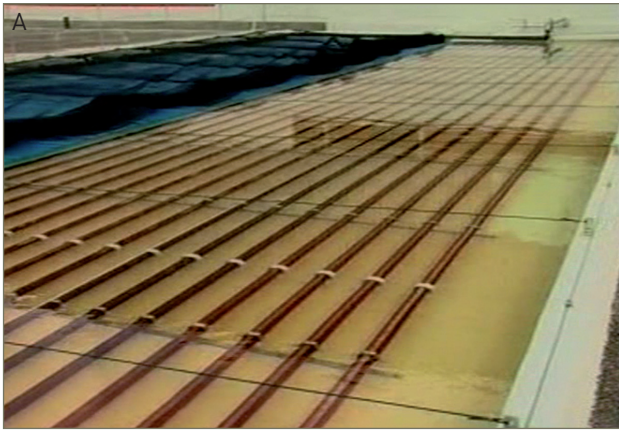


Figure 5 – A. Le photoréacteur tubulaire dans lequel circule la solution de culture de *Porphyridium cruentum*. B. Le phénomène de photosynthèse visible à la surface du tube.

L'avantage de la photosynthèse est que la matière organique ainsi produite est riche en antioxydants comme la vitamine C, la vitamine D et la vitamine E. L'inconvénient est que la concentration de matière organique est faible (3 g/L), il faut donc utiliser des quantités d'eau considérables.

AUTRES EXEMPLES D'EXPLOITATION DE MICROALGUES

L'hétérotrophie : on a découvert récemment que les microalgues étaient capables de fonctionner dans l'obscurité totale, sans CO_2 , et de produire de la matière organique à partir de carbone issu de la biosynthèse végétale. L'avantage est d'augmenter la concentration de matière organique produite, l'inconvénient est la production de dioxyde de carbone qu'il faut recycler.

La mixotrophie : elle consiste par exemple à rajouter du sucre dans un photoréacteur, ce qui permet d'augmenter la concentration matière. L'autre solution est d'ajouter de la lumière dans un réacteur obscur, ce qui permet d'augmenter les concentrations cellulaires.

Dans tous les cas, le problème majeur est la consommation d'eau.

PRODUCTION RENOUVELABLE D'ESPÈCES CHIMIQUES GRÂCE À LA PHOTOSYNTÈSE

Au cours de la photosynthèse, la microalgue produit de la matière organique. Cette dernière peut se présenter sous différentes formes.

La voie lévulinique : la voie lévulinique conduit à la production de tétra pyrroles, extrêmement utiles, particulièrement en cosmétologie. Les japonaises utilisent par exemple les tétra pyrroles bleus pour

le maquillage des paupières et les tétra pyrroles rouges pour celui des joues.

La voie mévalonique : à partir du CO_2 , la cellule est capable de produire un certain nombre de polymères (6). Ces molécules ont une structure que l'on retrouve dans le monde animal (cholestérol, hormones stéroïdiennes...). Ce processus permet également de synthétiser un polymère comportant 30 atomes de carbone dont on a retrouvé des traces dans des empreintes fossiles datant de plus d'un milliard d'années. Il serait donc envisageable d'utiliser ce polymère pour enrober de façon efficace les déchets nucléaires.

La voie des alcènes et des acides gras : ce dernier grand courant métabolique est celui qui conduit à la production de lipides insaturés comme les oméga-3 que l'on retrouve dans certaines margarines achetées dans le commerce. L'un de ces oméga-3 qui permet nos connexions neuronales est extrêmement important et peut nous être fourni par les microalgues via la chaîne alimentaire (7). Seules les microalgues le synthétisent, c'est pourquoi nos grands-mères conseillaient de boire de l'huile de foie de morue : la morue mange des microcrustacés, qui eux-mêmes avaient mangé des microalgues.

CONCLUSION : L'AVENIR DE LA CHIMIE DES MICROALGUES

Alors qu'on dénombre environ 30 000 espèces de microalgues, leur biodiversité est quasiment inconnue et, à ce jour, peu sont correctement exploitées. Seule une trentaine d'espèces faciles à cultiver sont actuellement étudiées.

Les microalgues intéressantes pour de nouveaux produits dorment encore dans la nature et sont à découvrir (8, 9, 10).

POUR EN SAVOIR PLUS

(1) Valorisation des microalgues

<http://www.mediachimie.org/node/675>

(2) Faire revoir un aveugle avec le système photosensible d'une algue : bientôt une réalité ?

<http://www.mediachimie.org/node/1712>

(3) La chimie crée sa couleur... sur la palette du peintre

<http://www.mediachimie.org/node/309>

(4) Les algocarburants, de nouveaux diesels miracles ?

<http://www.mediachimie.org/node/1169>

(5) Le dioxyde de carbone : enjeux énergétiques et industriels

<http://www.mediachimie.org/node/875>

(6) Une histoire des polymères

<http://www.mediachimie.org/node/1132>

(7) Comment l'huile d'olive améliore-t-elle la fonction de nos viscères ?

<http://www.mediachimie.org/node/1312>

(8) Zoom sur la valorisation des algues

<http://www.mediachimie.org/node/2327>

(9) Microalgues : pour quoi faire ?

<http://www.mediachimie.org/node/1331>

(10) Microalgues : l'Eldorado (animation)

<http://www.mediachimie.org/node/1352>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Andrée Harari, ingénieur ENSCP, directeur de recherches honoraire au CNRS, spécialité de recherches : science des matériaux

Anthony Pichard, professeur de physique chimie

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie