DAILY SCIENCE
DÉCOUVREZ LA SCIENCE, LA RECHERCHE ET L'INNOVATION "MADE IN BELGIUM"

CRÉER UNE FEUILLE ARTIFICIELLE POUR PRODUIRE DES CARBURANTS SOLAIRES

Publié le 28 janvier 2019

par Laetitia Theunis

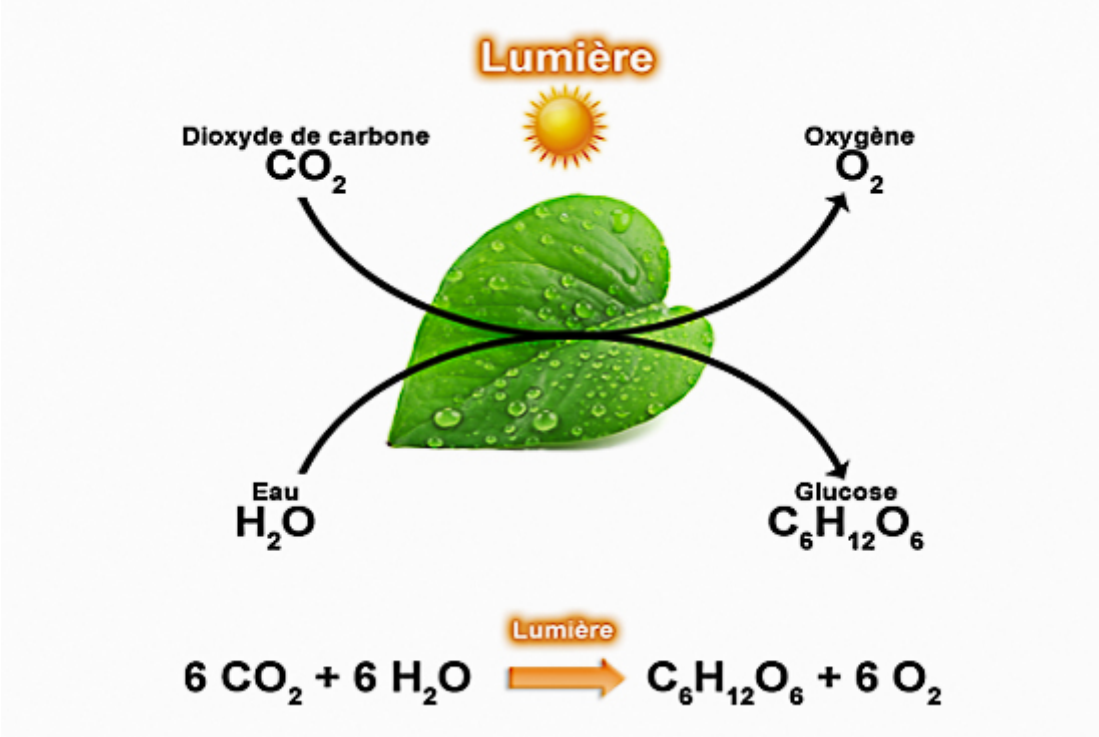
Série (3/6) « Inspiré par la nature »

Estampillés « êtres inférieurs » pendant des siècles, les végétaux se profilent désormais comme un concentré de technologies à comprendre au plus vite. L'étude de leurs feuilles, en particulier, cristallise l'espoir d'accoucher d'une société énergétiquement verte. Le projet européen eSCALED se lance un défi fou : imiter la photosynthèse.

Pour y parvenir et se donner la chance d'une potentielle commercialisation sans tarder, son consortium regroupe des industriels, 14 doctorants et 27 chercheurs de 8 pays : France, Espagne, Suède, Italie Suisse, Allemagne, Pays-Bas et Belgique, avec le Pr Bao-Lian Su. Il dirige le laboratoire de chimie des matériaux inorganiques à l'Université de Namur. Cette équipe de choc va tenter de

répliquer les grandes étapes de ce processus très complexe et encore méconnu dans ses détails profonds qu'est la photosynthèse. Plus spécifiquement, elle va développer un dispositif de feuille artificielle capable de capter l'énergie du soleil pour la stocker sous forme de dihydrogène (H2), selon une dynamique de réaction particulière. De quoi représenter une très sérieuse alternative bio-inspirée aux énergies fossiles.

Avant de plonger dans cette recherche, un petit rappel s'impose. La photosynthèse permet aux plantes, aux cyanobactéries et aux algues de convertir l'énergie solaire en énergie chimique contenue dans des molécules carbonées. Autrement dit, sous la lumière, les cellules végétales convertissent du dioxyde de carbone (CO2) et de l'eau (H20) en glucose et en dioxygène (O2). Cette photosynthèse a lieu dans un organite appelé chloroplaste. Il contient un pigment, la chlorophylle, qui donne la couleur verte aux végétaux et capte la lumière.



Photosynthèse naturelle © Franck Stevens

Précisons davantage. Dans le chloroplaste se jouent deux étapes au rôle primordial. La première, dite la réaction claire, a lieu dans le thylakoïde. Il s'agit d'un compartiment membranaire où les molécules d'eau se décomposent en O2 et en composés protonés (H+), sous les rayons du soleil. A l'inverse, la seconde étape n'est pas directement dépendante de la lumière. Elle se nomme réaction obscure. Elle se déroule dans le stroma. Le liquide présent dans le chloroplaste chargé d'un système enzymatique permet d'y convertir en produits chimiques, le CO2 et les composés protonés (H+) fournis par la réaction claire. La photosynthèse est la combinaison des étapes claire et obscure.

Un énorme défi sur le plan fondamental

Le projet eSCALED projette de créer une photosynthèse entièrement artificielle. N'utilisant nullement les systèmes naturels, son objectif est de copier les grandes étapes des réactions claires et obscures. Mais aussi de les améliorer en trouvant ou en créant des molécules optimales en vue d'accélérer les réactions. Un travail colossal attend les chercheurs.

Tout d'abord, il s'agit de découvrir des molécules de synthèse dites « antennes », capables de capter le plus large spectre de lumière possible et avec la plus grande efficacité afin d'exciter des électrons. Ensuite, il faut concevoir un complexe enzymatique décomposant les molécules d'eau en O2 et H+ de façon optimale, ainsi qu'une molécule capable de réduire le CO2 avec le plus haut rendement.

Imiter la photosynthèse naturelle à plusieurs niveaux

Une feuille, c'est poreux. Une structure ramifiée de canaux de plus en plus fins permet le transport optimal des nutriments et de l'eau afin que les cellules fonctionnent, se divisent et que la feuille grandisse. Cette porosité permet en outre une meilleure absorption de la lumière grâce à une plus grande surface d'échange et une meilleure conservation de l'énergie.

Les chercheurs d'eSCALED vont tenter de reproduire en 3 dimensions l'architecture des chloroplastes de la feuille. Leur arrangement microscopique sera imité grâce à un polymère microporeux, lui-même bio-inspiré.

« *On veut que tout soit fait comme dans une feuille. C'est pourquoi, une fois qu'une intéressante molécule capable de décomposer l'eau est identifiée, il faut la placer sur ce système solide et poreux et vérifier si elle fonctionne. Il faut répéter cette étape avec les molécules de réduction du CO2*, précise le Pr Su. *Pour finir, il faudra rassembler les 3 molécules pour chacune des étapes et vérifier si le processus de photosynthèse artificielle a bien lieu.* »

On n'en est pas encore là. Le programme a démarré en octobre 2018. Il est financé à hauteur de 3,6 millions par l'Union Européenne via le programme « Actions Marie Skłodowska-Curie » (AMSC), durant 3 ans. Est-ce assez de temps pour accoucher de la photosynthèse artificielle ?

Ce n'est pas l'avis du Pr Su, à l'UNamur :

http://dailyscience.be/NEW/wp-content/uploads/2019/01/AUDIO_02-Bao-Lian-Su-photosynthese-artificielle.wav

Outre la partie relative à la décomposition de l'eau, celle concernant l'absorption de la lumière affiche aussi des progrès significatifs. Par contre, la partie réduction du CO2 est encore en phase de démarrage.

La photosynthèse naturelle, pas efficace et trop lente ?

Quand on aborde une potentielle nouvelle façon de produire un carburant, la sacro-sainte question du rendement n'est jamais loin. Nombreux pensent que celui de la photosynthèse naturelle est insuffisant pour être intéressant.

Rappelons-nous que ce sont des pigments (à savoir la chlorophylle chez les végétaux verts) logés dans les chloroplastes qui absorbent la lumière. Ils sont sélectifs et ne captent que certaines longueurs d'onde.

« *La photosynthèse n'exploitant donc pas tout le spectre lumineux fait dire à certains qu'elle n'est pas si efficace que ça vis-à-vis de l'utilisation de la lumière. Et pourtant, du point de vue des plantes, la photosynthèse est, au contraire, très efficace. En effet, pour se faire complètement, la réaction n'a besoin que de quelques pourcents de la lumière. Autrement dit, avec peu d'énergie, la photosynthèse peut déjà se réaliser* », nuance le Pr Su.

Néanmoins, bien conscients de cette faiblesse et de la lenteur de la photosynthèse naturelle, les chercheurs du projet eSCALED se sont donnés pour mission de lui apporter un coup d'accélérateur dans sa version artificielle. Pour ce faire, ils planchent à créer, pour chacune des 3 étapes clés de la photosynthèse (absorber la lumière, décomposer l'eau et réduire le CO2), des molécules avec un rendement largement supérieur.

Les cellules de Graetzel récupèrent l'électricité produite lors la photosynthèse artificielle

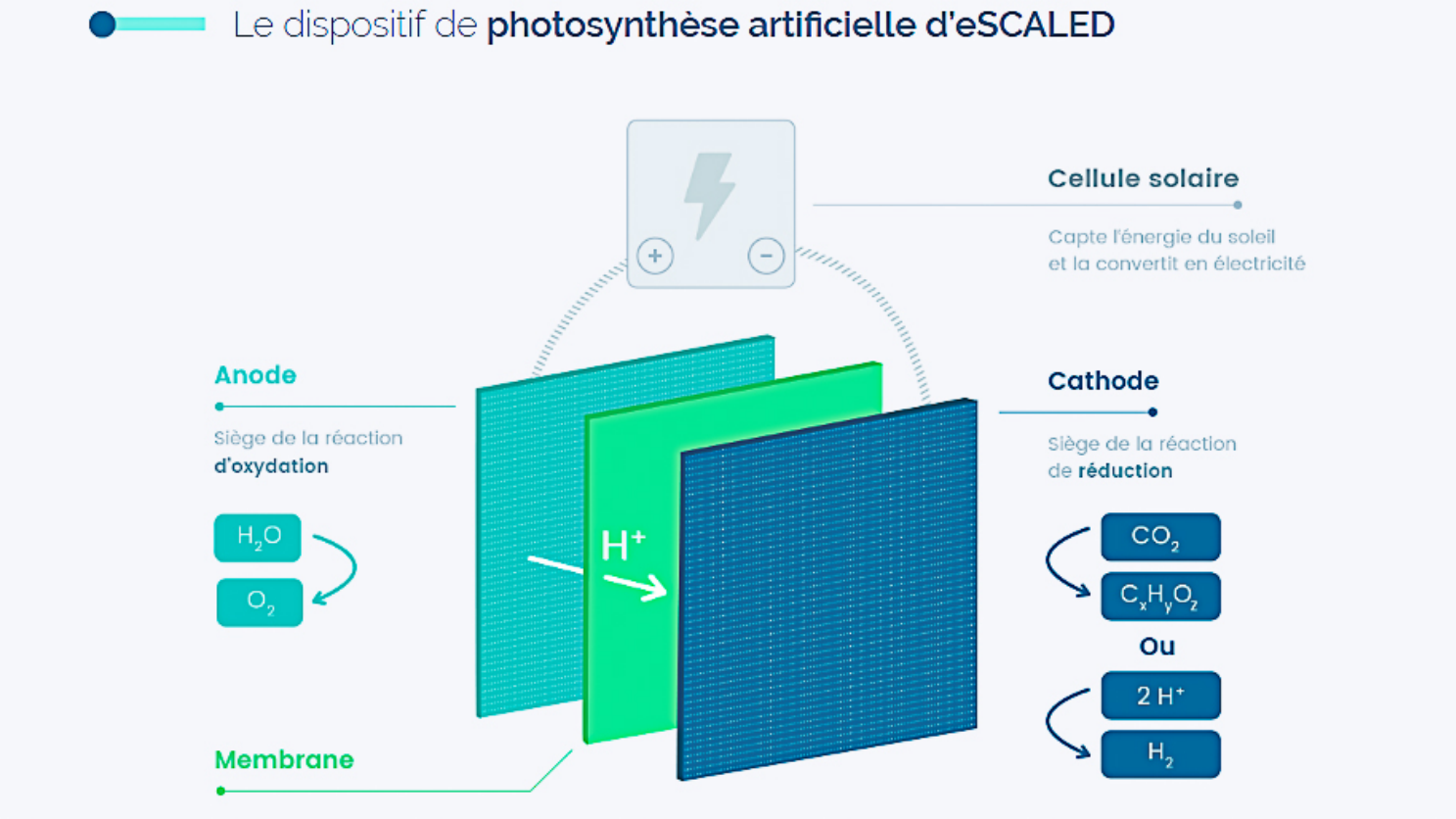
« *En termes de rendement d'électricité, la photosynthèse naturelle est d'environ 1 %. Autrement dit, au*

départ d'une irradiation solaire de 1000 Watt/m², 1 Watt d'électricité est produit. A titre de comparaison, les cellules mono-jonctions actuelles des panneaux photovoltaïques ont des rendements atteignant 20 à 22 %. Donc avec un ensoleillement de 1000 Watts, elles produisent de 200 à 220 Watts d'électricité », explique Michel Huart, maître de conférences à l'ULB en durabilité des sociétés énergétiques.

Pourquoi parler d'électricité ? Car si la photosynthèse convertit l'énergie solaire en énergie chimique (du glucose, de la biomasse ou du H2, fuel solaire visé par le projet eSCALED), d'autres chercheurs s'en inspirent pour récupérer l'électricité produite. C'est le cas du Pr Michael Graetzel, chimiste à l'EPFL (Suisse). Il lui a fallu 20 ans pour créer les cellules inspirées de la photosynthèse qui portent son nom et les doter d'un rendement de 15 %.

Cellules de Graetzel sur la facade du palais des congrès de l'EPFL

Elles sont composées de deux fines plaques de verre conductrices. Comme dans une pile, l'une constitue le pôle positif, l'autre le pôle négatif. Cette dernière est faite d'une mince couche d'oxyde de titane (TiO2). Ce composé ne pouvant absorber que dans l'UV, il est imprégné d'un colorant de synthèse qui absorbe quant à lui la lumière visible. L'exposition au soleil enclenche l'excitation du colorant qui libère des électrons, comme lors de la photosynthèse. Semi-conducteur, TiO2 capte et conduit ces électrons, qui passent ensuite de la plaque négative à la plaque positive, générant un courant électrique.



Photosynthèse artificielle avec production de fuel solaire.

Ces cellules photovoltaïques bio-inspirées sont d'ores et déjà commercialisées. Mais à petite échelle, en raison de leur coût et de leur rentabilité inférieure à celle des panneaux photovoltaïques au silicium. Pas moins de 355 panneaux composés de 1400 modules solaires de Graetzel couvrent ainsi 200 m^2 de la façade du palais des congrès de l'EPFL.

« *Aujourd'hui, le défi de la photosynthèse artificielle, c'est de produire de l'électricité ou du dihydrogène avec un rendement et une durabilité supérieurs à ce que proposent les solutions physiques. Mais on en est loin* », déplore Michel Huart.

Produire un fuel solaire avec une empreinte écologique nulle

Après cette parenthèse sur la production d'électricité via une autre conception de la photosynthèse artificielle, revenons au projet eSCALED et aux carburants solaires. Chez les êtres vivants, végétaux et animaux, les procédés sont peu énergivores, les réactions chimiques se déroulent dans des conditions de chimie douce, à température et pression ambiantes, facilitées par la catalyse enzymatique. L'empreinte écologique des feuilles des arbres et des plantes est nulle. Quid de la photosynthèse artificielle ?

« *Certes, la synthèse en laboratoire des molécules optimales pour accélérer les 3 étapes de la photosynthèse artificielle va demander de l'énergie, de hautes températures, etc.",* explique le Pr Su. *"Néanmoins, en copiant et en accélérant le procédé de la nature, on vise à ce qu'au final, le bilan total en termes de CO2 émis et d'énergie soit neutre, voire qu'on soit gagnant.* »

Michel Huart pointe un avantage alléchant à la photosynthèse artificielle produisant du dihydrogène.« *A condition que les rendements soient intéressants, on aurait ainsi à disponibilité un produit énergétique en stock qui pourrait pallier à la variabilité de la production des panneaux voltaïques.* » Autrement dit, cela permettrait d'éviter le polluant stockage actuel d'électricité via batterie.

Maîtriser les grandes étapes du processus complexe de la photosynthèse permettrait en outre de limiter les émissions de gaz à effet de serre en diminuant la consommation des énergies fossiles. Et

même de valoriser le CO_2 accumulé dans l'atmosphère en le transformant en molécules organiques riches en énergie que sont les carburants solaires. « *La photosynthèse artificielle et ses carburants solaires sont l'un des enjeux majeurs du biomimétisme avec un vrai impact sur la société* », insiste Kalina Raskin, directrice générale du Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis (CEEBIOS). Si l'espoir est permis de l'émergence d'une énergie verte bio-inspirée, il va falloir être patient car la route risque d'être longue. Très longue.

La photosynthèse semi-artificielle produit des médicaments

Voilà des décennies que la photosynthèse intéresse les chercheurs. Ils s'en sont bio-inspirés de multiples façons. L'une d'elles est connue sous l'appellation photosynthèse semi-artificielle. Moitié naturelle, moitié synthétique donc. Il s'agit d'encapsuler des cellules végétales de micro-algues ou de cyanobactéries dans des structures rigides en forme de coquille, composées de silice de titane et de biopolymères.

Algues en culture © Laetitia Theunis

« Cette capsule permet aux cellules de réaliser la photosynthèse en continu pendant plus d'un an. La structure rigide empêche, en général, les cellules de se multiplier : elles ne consomment dès lors pas les intéressantes molécules produites par la photosynthèse et on peut les extraire immédiatement », explique le Pr Su, avant d'en relater les produits qu'on en retire:

http://dailyscience.be/NEW/wp-content/uploads/2019/01/AUDIO_01-Bao-Lian-Su-photosynthèse-artificielle.wav

Fabriquer des biofuels par ce procédé n'est pas encore rentable. Par contre, les molécules

> *anti-cancer, les antioxydants, les protéines recombinantes ont une valeur très élevée. Selon le Pr Su, qui coordonne le projet FEDER Algae Factory étudiant ces aspects de photosynthèse semi-artificielle et de production de molécules d'intérêt jusqu'en 2022, il est moins lourd et moins coûteux de les produire par photosynthèse semi-artificielle que de les extraire des feuilles.*

Cette enquête a bénéficié du soutien du Fonds pour le journalisme en Fédération Wallonie-Bruxelles