



---

## PRODUCTION DE BIOHYDROGENE PAR DES MICROORGANISMES PHOTOSYNTHETIQUES

### **Sommaire**

- 1 – Principe**
- 2 – Stratégie scientifique**
- 3 – Verrous scientifiques**
- 4 – Etat des recherches**
- 5 – Liens**

### **1 - Principe**

Les organismes photosynthétiques, comme certaines algues vertes unicellulaires ou cyanobactéries, possèdent l'avantage de produire de l'hydrogène à partir de l'énergie solaire en utilisant l'eau comme donneur d'électrons et de protons sans le dégagement parallèle de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>) inhérent aux autres organismes hétérotrophes. Dans ce cas, un procédé totalement propre basé sur la photosynthèse peut être envisagé, avec comme source d'énergie les deux plus importantes ressources de notre planète, l'eau et le soleil. Les procédés utilisent en général deux phases, une phase oxygénique de croissance de la biomasse et une phase anoxique de production d'hydrogène.

### **2 - Stratégie scientifique**

Afin de mener à bien le développement d'un procédé de production de biohydrogène mettant en œuvre les capacités naturelles des microorganismes photosynthétiques, la démarche scientifique doit intégrer les problématiques biologiques et procédés à chacune des étapes des recherches. C'est en effet en comprenant les phénomènes métaboliques entrant en jeu dans la production de biohydrogène et en définissant le réacteur adéquat fournissant à la culture de microalgues les conditions optimales qu'un tel procédé peut s'avérer comme potentiellement intéressant pour la production future d'énergie renouvelable de façon totalement propre.

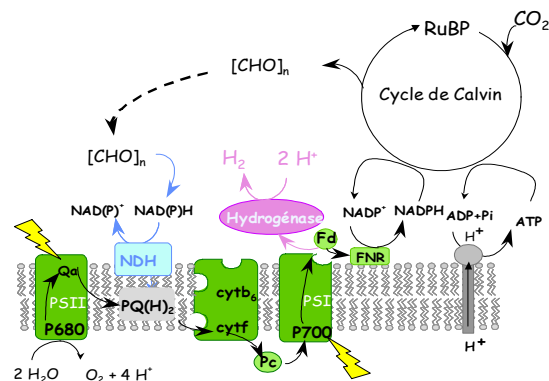
### **3 - Verrous scientifiques**

La découverte de la photoproduction d'hydrogène par les microalgues est assez ancienne (Gaffron, 1940). Le problème majeur expliquant le faible développement industriel de ce type de production vient de la nature transitoire du phénomène en conditions naturelles. L'arrêt rapide du processus de dégagement de l'hydrogène est lié au fait que l'hydrogénase, l'enzyme responsable de la production d'hydrogène, est fortement sensible à l'oxygène dégagé en parallèle par la photosynthèse lors de la biophotolyse de l'eau.

Toutefois, les avancées scientifiques récentes ont permis de mieux comprendre les mécanismes métaboliques et bioénergétiques impliqués dans la photoproduction d'hydrogène, et il apparaît ainsi intéressant de proposer des solutions techniques, basées notamment sur la flexibilité métabolique des algues, pour s'affranchir des limitations du processus.

## 4 - Etat des recherches

Les premiers travaux collaboratifs sur la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables ont été menés dans le cadre du programme ENERGIE du CNRS. Ces travaux se sont poursuivis dans le cadre du programme Bioénergie de l'ANR. L'objectif est de développer un procédé de photoproduction biologique d'hydrogène à partir de microorganismes à photosynthèse oxygénique. L'algue verte *Chlamydomonas reinhardtii* a été retenue comme espèce d'étude, celle-ci possédant une hydrogénase à fer à forte activité couplée à la chaîne photosynthétique.



Voies de bio-production d'hydrogène chez l'algue verte *Chlamydomonas reinhardtii*.

Lorsqu'elle est placée à la lumière en conditions anaérobies, cette algue produit transitoirement de l'hydrogène, en utilisant l'eau comme donneur d'électrons.

Cette réaction s'arrête rapidement du fait de la production d'oxygène parallèle par photosynthèse et de la forte sensibilité de l'hydrogénase à ce gaz.

Pour éviter ce problème, il est possible de tirer parti de la flexibilité métabolique de l'algue en alternant des phases aérobies de constitution de biomasse et des phases anaérobies de production d'hydrogène.

Deux voies métaboliques de production d'hydrogène ont été identifiées,

- la première est totalement dépendante de l'activité photosynthétique
- et la seconde correspond au catabolisme des réserves d'amidon.

L'un des objectifs est l'optimisation de la constitution de réserves carbonées durant la phase de photosynthèse aérobie. Si l'amidon est essentiel pour la composante de la production d'hydrogène indépendante du photosystème II (PSII), il ne joue aucun rôle dans le processus de production d'hydrogène dépendant du PSII, ce dernier processus étant largement majoritaire lors du protocole de carence en soufre, qui est le protocole de référence, utilisé par toutes les équipes mondiales travaillant sur la production biologique d'hydrogène à partir de microorganismes photosynthétiques.

Une voie d'amélioration de la production d'hydrogène par des microorganismes photosynthétiques consiste à travailler sur le mécanisme des enzymes hydrogénases. Découvertes assez récemment, les hydrogénases d'algues (à centre [Fe-Fe]) sont, à ce jour, les moins étudiées. Le détail du mécanisme réactionnel qui aboutit à la réduction catalytique de deux protons par deux électrons de bas potentiel redox est donc mal connu, l'étude étant rendue difficile par la sensibilité importante à l'oxygène des hydrogénases à centre [Fe-Fe]. Diminuer cette sensibilité, voire rendre insensible l'enzyme hydrogénase à l'oxygène, constitue de façon évidente un axe majeur de recherche, la sensibilité à l'oxygène étant un verrou majeur de la production.

Des recherches sont actuellement en cours explorant la possibilité de modifier le canal hydrophobe conduisant l'H<sub>2</sub> au site actif de l'enzyme, l'objectif étant d'empêcher la diffusion de l'oxygène vers le site actif sans pour autant bloquer le passage de l'hydrogène.

Un photobioréacteur d'étude (voir photo : *Photobioréacteur d'étude pour la bioproduction d'hydrogène*) a spécialement été conçu pour permettre un suivi des conditions de culture et de la réponse associée de la culture.

Les travaux ont porté sur la compréhension du métabolisme de croissance (que ce soit en autotrophie ou en en photohétérotrophie) et sur la phase de production d'H<sub>2</sub> proprement dite. Ceci a permis de mettre en évidence le rôle majeur, dans le protocole de référence, de l'acétate jusqu'alors relativement sous-estimé, mais également un second paramètre ignoré, à savoir la fraction éclairée dans le réacteur sur le comportement général obtenu (obtention de l'anoxie en particulier).

La modélisation de la relation entre les paramètres opératoires et le comportement de la culture a permis de proposer un nouveau protocole de production d'H<sub>2</sub> totalement autotrophe, sans carence. Ce protocole relativement simple et ouvrant de nouvelles perspectives, notamment pour une application future à grande échelle (la culture en photohétérotrophie ayant le double inconvénient de rendre le milieu très sensible à la contamination bactérienne, et de mener à une production nette de carbone par dégradation de l'acétate), est basé sur un contrôle dynamique de la fraction éclairée au sein du photobioréacteur.



*Photobioréacteur d'étude pour la bioproduction d'hydrogène*

## **5 - Liens**

Laboratoire Genie des Procédés Environnement et Agroalimentaire GEPEA :  
<http://www.gepea.fr/projets-de-recherche-laboratoire-recherches-gepea.html>

Laboratoire de bioénergie et biotechnologie des bactéries et microalgues (LB3M) :  
<http://www-dsv.cea.fr/dsv/instituts/institut-de-biologie-environnementale-et-biotechnologie-ibeb/services-ibeb/service-de-biologie-vegetale-et-de-microbiologie-environnementales-umr-7265-cnrs-cea-aix-marseille-universite-sbvme/laboratoire-de-bioenergetique-et-biotechnologie-des-bacteries-et-microalgues-lb3m>

Agence Nationale pour la Recherche (ANR) :  
<http://www.agence-nationale-recherche.fr/>