



Bio hydrogène : efficacité de conversion et rendement énergétique



Samira Chader

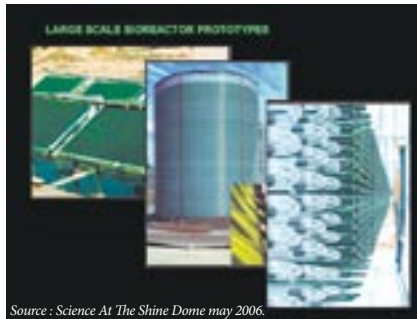
E-mail : Samira.chader@gmail.com

Division Bioéneie & Environnement

Jules Verne, l'avait prédit dans son ouvrage l'île mystérieuse (1874) où il évoquait déjà le principe de la pile à combustible : « Je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables. L'eau est le charbon de l'avenir », « Ce que j'ai écrit sera réalisé à la fin du siècle »

Cette vision de Jules Verne est fréquemment remise au goût du jour pour évoquer l'avènement de l'économie de l'hydrogène. Sa production en très grandes quantités, à des coûts compétitifs et sans émission de gaz à effet de serre exige des investissements importants, c'est un défi technologique et industriel fantastique. Pour relever ce défi, des chercheurs du monde entier travaillent sans relâche pour mettre au point des procédés de production innovateurs et durables.

Actuellement, la production d'hydrogène (environ 50 millions de tonnes par an) repose essentiellement sur le vapocraquage du gaz naturel et l'oxydation partielle des hydrocarbures donc à partir de sources fossiles



Quand à sa production par les sources renouvelables, on peut citer entre autres, la gazéification de la biomasse à condition que l'énergie de gazéification provienne de sources non polluantes.

L'innovation majeure de la production d'hydrogène par les sources renouvelables est belle et bien la production biologique, qui repose sur l'utilisation d'organismes vivants capables, grâce à leur efficacité photochimique, de convertir l'énergie solaire en bio hydrogène.

De nombreuses études ont rapporté cette faculté et comparé les facteurs déterminant l'efficacité photochimique de la production photo autotrophique de l'hydrogène qui varie selon l'intensité du spectre solaire et l'espèce utilisée (tableau 1) et varie aussi en fonction du type de photobioréacteur mis en œuvre (tableau 2).

En effet, à partir d'eau et d'énergie lumineuse, ces microorganismes photosynthétiques produisent de l'hydrogène. Les schémas ci après résument les voies métaboliques de la production du bio hydrogène :

1. Production photo autotrophique par les microalgues et les

cyanobactéries qui utilisent le CO₂ comme seule source de carbone (Schéma 1) :

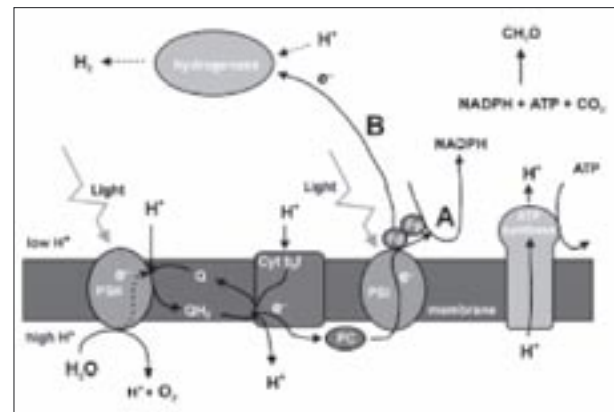


Schéma 1. Sites enzymatiques de conversion et transport des électrons pour la production du bio hydrogène (réaction catalysée par une hydrogénase) dans les organismes photo autotrophes [1].

2. Production hétéro trophique par les bactéries photosynthétiques qui utilisent obligatoirement une source organique de carbone (Schéma 2) :

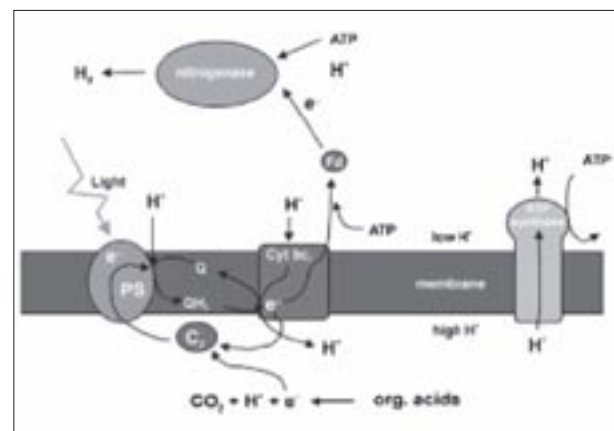


Schéma 2. Sites enzymatiques de conversion et transport des électrons pour la production du bio hydrogène (réaction catalysée par une nitrogénase) dans les organismes photo hétérotrophes [1].



Tableau 1. Efficacité de la conversion énergétique en biohydrogène de quelques espèces de microalgues [2].

| Microalgues | Lumière absorbée ($\mu\text{W cm}^{-2}$) | H ₂ (nmol h ⁻¹) | Efficacité (%) (RPA*) |
|--|--|--|-----------------------|
| <i>Scenedesmus D₃</i> | 5.1 | 126 | 16 |
| <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | 2.2 | 44 | 13 |
| <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (UTEX 90) | 8.4 | 78 | 6 |
| <i>Chlamydomonas moewusii</i> | 9.1 | 337 | 24 |

* RPA : Radiation photosynthétique active

Tableau 2. Relation entre le type de photobioréacteur, l'efficacité photosynthétique (EP) et le taux de biomasse ($Y_{\text{dw},E}$) [3].

| Type de photobioréacteur | EP ou $Y_{\text{dw},E}$ (% ou dw mol^{-1}) | Microorganisme |
|-------------------------------|--|------------------------------------|
| Colonne à bulles | 0.84 ($Y_{\text{dw},E}$) | <i>Phaeodactylum tricornerutum</i> |
| Réacteur air –lift en colonne | 0.82 ($Y_{\text{dw},E}$) | <i>Phaeodactylum tricornerutum</i> |
| Réacteur à panneau plat | | |
| • Incliné | • 10 – 20 (EP) | <i>Spirulina platensis</i> |
| • Vertical | • 1.84 ($Y_{\text{dw},E}$) \approx 16 (EP) | |
| Réacteur tubulaire | 0.60 ($Y_{\text{dw},E}$) ; 6.5 (EP) | <i>Spirulina platensis</i> |
| • Diamètre 2.5 cm | • 0.48 -0.63 ($Y_{\text{dw},E}$) | <i>Phaeodactylum tricornerutum</i> |
| • Diamètre 5.3 cm | • 0.68 – 0.95 ($Y_{\text{dw},E}$) | <i>Phaeodactylum tricornerutum</i> |

Ces travaux ont aussi permis d'évaluer l'efficacité de la conversion photochimique du substrat utilisé en terme de quantité d'hydrogène (tableau 3). Sous les conditions d'anoxie, elle varie entre 3 et 10 % chez les microalgues et atteint 3.5 % chez les cyanobactéries

Tableau 3. Taux d'hydrogène et efficacité de la conversion du substrat chez *Rhodobacter capsulatus* cultivée dans un photobioréacteur en cuve agité de 3L [4].

| Microalgues | Taux d'hydrogène (L) | Efficacité de conversion du substrat (%) |
|------------------------------------|----------------------|--|
| <i>Rhodobacter capsulatus B10</i> | 2.16 | 44.6 |
| <i>Rhodobacter capsulatus IR1</i> | 1.83 | 40.6 |
| <i>Rhodobacter capsulatus IR3</i> | 3.93 | 84.8 |
| <i>Rhodobacter capsulatus IR4</i> | 2.36 | 52.5 |
| <i>Rhodobacter capsulatus JP91</i> | 2.53 | 56.2 |

Bien d'autres travaux rapportent l'efficacité de la voie biologique de production de l'hydrogène en terme de durabilité et de propreté, le seul frein actuellement non encore levé est la sensibilité des deux enzymes impliquées dans le processus de production (hydrogénase et nitrogénase) à l'oxygène. Là aussi des efforts considérables sont faits dans le domaine de la mise au point de nouvelles souches de microorganismes génétiquement modifiées et qui seraient résistantes à l'oxygène.

Littérature:

[1] Akkerman I. Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design. Int J of Hydrogen Energy 2002; 27 1195-1208.

[2] Greenbaum E. Energetic efficiency of hydrogen photo evolution by algal water splitting. Biophys J 1988; 365-368.

[3] Janssen M. cultivation of microalgae: effect of light/dark cycles on biomass yield. Thesis, Wageningien University, the Netherlands, 2002.

[4] Deliang He. Hydrogen photosynthesis by *Rhodobacter capsulatus* and its coupling to PEM fuel cell. J of Power Sources 2005; 141 19-23.