

Produire de l'hydrogène à partir de biomasse

Si l'eau est la matière première la plus abondante pour produire l'hydrogène par électrolyse, d'autres pistes à partir de matière organique abondante sont explorées. Aujourd'hui, le vaporeformage du gaz naturel – le méthane – est la méthode la plus économique pour produire de l'hydrogène : exposé à de la vapeur d'eau très chaude, le gaz libère les atomes d'hydrogène qu'il contient, sous forme de dihydrogène. Néanmoins, parce que le méthane n'est pas une ressource renouvelable et que le processus rejette du dioxyde de carbone, il est préférable d'utiliser d'autres molécules organiques, par exemple celles issues de la biomasse.

Cette solution est neutre en carbone puisque la quantité de dioxyde de carbone produit correspond à celle captée par les plantes grâce à la photosynthèse. Elle pourrait contribuer à la production renouvelable d'hydrogène en couvrant dix pour cent des besoins nationaux en énergie primaire.

Le procédé le plus efficace est la pyrolyse à haute température, qui transforme la biomasse en gaz avec des rendements de l'ordre de 40 à 50 pour cent si la température atteint 1 200 à 1 400 °C (ou 900 à 1 000 °C en présence de catalyseurs spécifiques). Il libère du dihydrogène, du méthane, du dioxyde de carbone, mais aussi du monoxyde de car-

bone (CO), toxique et inhibiteur des catalyseurs des piles à combustible à membranes échangeuses de protons – dispositifs parmi les plus prometteurs pour convertir l'énergie contenue dans l'hydrogène en électricité à usage domestique ou dans les transports. Ce gaz doit donc être éliminé du mélange produit. On peut aussi utiliser le mélange tel quel, dans des piles à combustible fonctionnant à haute température, moins sensibles aux gaz polluants, ou le transformer en carburant liquide.

Par ailleurs, des processus de digestion de la biomasse par fermentation, produisant de l'hydrogène à température ambiante, sont à l'étude. On envisage aussi d'utiliser certains

organismes photosynthétiques qui tirent une partie de leur énergie du soleil : la bactérie *Rhodobacter capsulatus*, par exemple, produit de l'hydrogène par fermentation « à la lumière » (photofermentation) de certains glucides issus de déchets de l'industrie agricole ou papetière. Il reste cependant à améliorer les rendements de décomposition de la cellulose et de la lignine en petites molécules (sucres, etc.), car ces deux polymères végétaux sont très résistants à l'hydrolyse. À terme, on rêve de domestiquer certaines algues pour leur faire produire de l'hydrogène par photosynthèse, à partir d'eau et d'énergie solaire, sans passer par la production de biomasse.

✓ SUR LE WEB

L'association française de l'hydrogène (AFH₂) : www.afh2.org

✓ BIBLIOGRAPHIE

L'hydrogène, carburant de l'après-pétrole ? [collectif], Collection « IFP Energies Nouvelles Publications », Technip, à paraître.

P. Menanteau et al., Une analyse économique de la production d'hydrogène pour des usages transport à partir d'électricité éolienne, *Revue de l'Énergie*, vol. 61, pp. 322-333, 2010.

P. Lucchese, L'hydrogène est-il incontournable ?, *Dossier Pour la Science*, n° 69, pp. 112-117, 2010.

A. Le Goff et al., From hydrogenases to noble metal-free catalytic nanomaterials for H₂ production and uptake, *Science*, vol. 326, pp. 1384-1387, 2009.

S. Ashley, Voiture à hydrogène : la route sera longue, *Pour la Science*, n° 330, pp. 46-52, 2005.

L'hydrogène, carburant de demain ?, *L'Actualité Chimique*, numéro spécial, décembre 2001.

jour, sera progressive. Mais des autoroutes de l'hydrogène se développent déjà, notamment en Californie ou en Norvège, avec des installations de production d'hydrogène de petite taille à proximité de stations-service réparties le long des voies de circulation. Ce ne sont là pour l'instant que des prototypes. Cependant, une infrastructure délocalisée de production d'hydrogène s'étend déjà, notamment dans le Nord de la France, la Belgique et les Pays-Bas, pour répondre à la demande croissante en hydrogène de l'industrie pour le raffinage des hydrocarbures ou la production d'engrais (l'hydrogène est utilisé pour la fabrication d'ammoniac, précurseur du nitrate d'ammonium).

La voiture à hydrogène : pas pour tout de suite

Concernant les transports, la route sera plus longue, mais de nombreux progrès ont été réalisés au cours des dernières années. Des piles à combustible et des réservoirs d'hydrogène, sous forme comprimée ou solide, sont aujourd'hui intégrés dans des automobiles de taille standard, alors qu'en 2002, ces deux composants occupaient le coffre et les places arrière d'un monospace. D'énormes progrès ont aussi été accomplis pour adapter ces technologies aux normes de sécurité les plus strictes.

Si les véhicules électriques dont on annonce la commercialisation immédiate stockent leur énergie au sein de batteries, l'option hydrogène et pile à combustible reste d'actualité pour optimiser l'autonomie de ces véhicules. Par exemple, le prototype 307CC FiSyPAC, développé par la Société Peugeot SA en collaboration avec le CEA, incorpore une batterie lithium-ion de 13 kilowattheures et une pile à combustible de 23 kilowatts ; il assure une autonomie de 500 kilomètres.

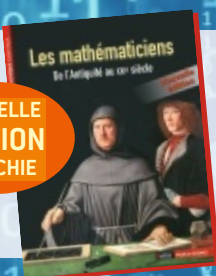
L'hydrogène est donc un vecteur énergétique prometteur. En permettant de stocker 33,3 kilowattheures d'énergie par kilogramme, il dépasse de plusieurs ordres de grandeur les matériaux des meilleures batteries au lithium. Rappelons aussi que, contrairement à aujourd'hui, le modèle énergétique à venir ne reposera pas sur une unique technologie. Dans le bouquet énergétique de l'après-pétrole, l'hydrogène sera un vecteur parmi d'autres, permettant par exemple le stockage des énergies solaire et éolienne et régulant ainsi l'approvisionnement en électricité.

Ainsi, peu à peu, l'hydrogène s'intègre dans le nouveau panorama des ressources énergétiques qui seront exploitées dans l'« ère de l'après-pétrole ». S'éclairer à l'hydrogène, rouler à l'hydrogène, ne sont sans doute plus hors de portée. On peut espérer que les progrès tant en recherche fondamentale qu'en développement en feront dès 2050 une solution énergétique incontournable. ■

La librairie **POUR LA SCIENCE**

Le savoir scientifique au fil des pages...

NOUVELLE
ÉDITION
ENRICHIE



Les mathématiciens ■ Collectif

« Nul ne peut être mathématicien s'il n'a une âme de poète », disait Sophie Kowalevskaja. D'Archimède à Jacques Hadamard, cet ouvrage dresse les portraits d'une vingtaine de mathématiciens, autant artistes que scientifiques.

280 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5109-7



À contre-idées ■ Didier Nordon

Trouver du comique dans une idée sérieuse (et inversement), du local dans une idée générale (et inversement), de l'absurde dans une idée sensée (et inversement)... Au fil de ses billets d'humeur, Didier Nordon s'ingénie à bousculer les idées reçues.

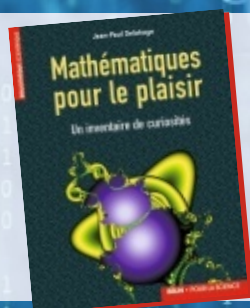
224 pages • 19 euros • ISBN 978-2-8424-5110-3



Au nom de l'infini ■ Jean-Michel Kantor, Loren Graham

Les auteurs retracent un épisode fascinant et dramatique de la création mathématique. Sur les traces de chercheurs russes et français du XX^e siècle, ils nous éclairent sur les liens étroits entre science, religion et politique.

288 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5107-3



Mathématiques pour le plaisir ■ Jean-Paul Delahaye

Les mathématiques ne se réduisent pas – heureusement – à ce qu'on nous en apprend à l'école. Partout présentes, elles sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique. Dans cet ouvrage, découvrez pourquoi les mathématiques sont faciles et comment s'y adonner est un plaisir.

208 pages • 25 euros • ISBN 978-2-8424-5104-2



La physique buissonnière ■ Jean-Michel Courty, Édouard Kierlik

Une plante plus rapide qu'une mouche, un tuyau qui parle, une cape qui rend invisible, etc. La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus. Passionnés de physique, les auteurs vous invitent à une promenade sur des chemins de traverse pour comprendre cette physique du quotidien.

160 pages • 22 euros • ISBN 978-2-8424-5105-9

Des livres à découvrir en librairie et sur www.pourlascience.fr

De l'énergie issue de feuilles artificielles

La photosynthèse utilise la lumière du Soleil et l'eau pour produire de l'énergie. Pourrait-on imiter ce procédé naturel pour obtenir de l'hydrogène ?

Antonio Regalado

L'ESSENTIEL

✓ Les plantes produisent leur propre combustible chimique – du sucre – à partir de lumière solaire, d'air et d'eau, et sans émission nocive.

✓ Des chercheurs s'en inspirent pour concevoir des feuilles artificielles qui transformeraient la lumière solaire et l'eau en combustible – l'hydrogène.

✓ La principale difficulté est le coût de telles structures. Des feuilles minces et souples fabriquées à l'aide de nanofils de silicium offriraient un compromis intéressant entre coût et rendement.

Les conférences de Nathan Lewis sur la crise énergétique sont à la fois terrifiantes et stimulantes. Pour éviter un réchauffement climatique mondial, déclare ce chimiste de l'Institut de Technologie de Californie (Caltech), il va falloir trouver un moyen de produire une puissance de plus de dix térawatts (10^{12} watts) à partir d'énergie propre, sans carbone, d'ici 2050. Ce niveau correspond à trois fois la demande énergétique moyenne des États-Unis, qui est de 3,2 térawatts. La France, quant à elle, a consommé 3 térawattheures d'énergie primaire en 2009, soit une puissance de 0,3 térawatt, dont elle a produit 20 à 25 pour cent : 88 pour cent sous forme d'énergie nucléaire, 5 pour cent sous forme d'énergie renouvelable – hydraulique, éolien et photovoltaïque –, et le reste sous forme d'énergie fossile – charbon, pétrole, gaz naturel.

Des barrages sur tous les lacs, fleuves et rivières de la planète ne fourniraient que cinq térawatts d'hydroélectricité. L'énergie nucléaire relèverait le défi, mais à condition qu'un nouveau réacteur soit construit tous les deux jours pendant les 50 prochaines années.

Pour N. Lewis, la solution est le Soleil, qui déverse sur Terre plus d'énergie en une heure que ce que l'humanité n'en consomme en une année. Plus précisément, des feuilles artificielles qui, à l'instar des

plantes vertes, capteraient les rayons du Soleil et produiraient, sur-le-champ, du combustible chimique. Nous pourrions alors brûler ce combustible, comme nous brûlons du pétrole ou du gaz naturel, pour faire rouler des automobiles, libérer de la chaleur ou produire de l'électricité, et nous stockerions ce combustible pour l'utiliser la nuit. Quels seraient les avantages de ces feuilles artificielles ? Et d'abord, en quoi consistent-elles ?

Une source d'énergie bio-inspirée ?

Dans plusieurs laboratoires, dont celui de N. Lewis, on travaille sur de telles feuilles prototypes : à peine plus grandes que des puces informatiques, ces feuilles sont conçues pour produire, à partir d'eau, de l'hydrogène (le combustible), au lieu du glucose que créent les végétaux par photosynthèse. Contrairement aux combustibles fossiles, l'hydrogène a une combustion propre puisque la réaction chimique ne libère que de l'eau, de l'oxygène et de l'énergie. D'autres chercheurs étudient des alternatives pour capter l'énergie solaire, telles que des organismes biologiques qui pourraient produire du pétrole, ou des algues optimisées pour produire des lipides – de l'huile – en grande quantité. Cette huile pourra être ensuite utilisée pour produire du diesel, comme on le fait déjà à partir de l'huile de colza. Toutes ces approches visent à transformer la lumière solaire en une énergie chimique stockable, transportable et facilement consommable – un combustible dit solaire. Cependant, pour N. Lewis, la feuille artificielle reste le projet le plus susceptible de