

V. Artero, N. Guillet, D. Fruchart et M. Fontecave

L'HYDROGÈNE

Une énergie propre pour demain ?

A l'heure où la plupart des constructeurs automobiles annoncent la mise sur le marché de véhicules électriques pour 2011, faut-il encore croire que l'hydrogène sera le carburant du XXI^e siècle, comme cela a été annoncé il y a quelques années ? On sait depuis longtemps récupérer de l'énergie à partir de ce gaz : le principe d'une pile à combustible, qui produit de l'électricité et de la chaleur en recombinant de l'hydrogène gazeux et de l'oxygène de l'air avec pour seul « rejet » de l'eau, a été décrit dès 1806 par le chimiste britannique Humphry Davy, et le premier prototype remonte à 1839. Depuis, la NASA a montré le potentiel de tels dispositifs lors des missions *Gemini* et *Apollo*. Pourtant, l'horizon d'une mise sur le marché d'une telle technologie ne cesse d'être repoussé... Et pour cause : d'une part, si les piles à combustible sont toujours plus performantes aujourd'hui, c'est au détriment de leur coût. D'autre part, l'hydrogène n'existe pas à l'état naturel sur Terre. Utiliser ce gaz comme carburant implique donc aussi de le produire, de le stocker et de le distribuer à

grande échelle, en toute sécurité et à bas prix. Pour chacune de ces étapes de la filière hydrogène, diverses solutions se dessinent. C'est notamment le cas pour l'un des éléments les plus coûteux de la filière – le catalyseur qui augmente la puissance et le rendement de la pile à combustible. Actuellement à base de métaux nobles tel le platine, il pourrait être remplacé d'ici quelques années par un catalyseur bon marché inspiré... de micro-organismes. Parallèlement, un stockage de l'hydrogène sous forme solide, beaucoup moins dangereux que les bonbonnes de gaz et plus compact, est aussi en cours de commercialisation. Nous examinerons ici l'intérêt potentiel de la filière hydrogène, comment produire ce gaz, comment le stocker et de quelle façon on pourrait réduire les coûts de mise en œuvre, qui restent l'un des principaux freins à son développement.

Mais d'abord, pourquoi l'hydrogène ? Pour plusieurs raisons. Ce gaz a un très fort potentiel énergétique : la molécule d'hydrogène gazeux, nommée dihydrogène, est constituée de deux atomes d'hydrogène

liés entre eux. C'est là que réside le secret : rompre cette liaison, par exemple par réaction avec l'oxygène de l'air (O_2), conduit à une importante libération d'énergie qui peut être convertie en électricité avec une pile à combustible. De plus, cette réaction ne rejette que de l'eau. L'hydrogène (par commodité, on utilisera ce terme à la place du dihydrogène) peut donc être envisagé comme une alternative non polluante aux énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon...).

Stocker les énergies renouvelables

Ensuite, il existe une matière première abondante à partir de laquelle on peut produire l'hydrogène : l'eau. Ainsi, la filière hydrogène pourrait reposer uniquement sur deux réactions chimiques qui ne rejettent pas de gaz à effet de serre. L'hydrogène peut en effet être produit par électrolyse de l'eau *via* une réaction où de l'énergie électrique assure la transformation de l'eau en hydrogène et oxy-



Produire de l'hydrogène, le stocker et le convertir en électricité à la demande est désormais possible. Pour que la filière hydrogène devienne compétitive, il reste à en réduire les coûts. Les chimistes s'inspirent de bactéries pour perfectionner les catalyseurs utilisés.

gène gazeux. Et à l'inverse, de l'hydrogène et de l'oxygène gazeux peuvent être recombinaison pour produire de l'eau en libérant chaleur et électricité. Le bilan de matière de ces deux réactions est donc nul. L'hydrogène a seulement été utilisé de manière temporaire pour stocker de l'énergie, et l'eau utilisée pour le produire a été régénérée au cours du processus.

L'hydrogène peut ainsi être envisagé comme un moyen durable de stocker l'énergie électrique, offrant la possibilité de la restituer à la demande avec un assez bon rendement global. Ce principe apparaît particulièrement adapté pour le stockage des énergies renouvelables. Les sources d'énergie éolienne et solaire, par exemple, sont réparties de façon inégale et présentent un caractère intermittent peu prévisible, lié à leur dépendance aux conditions météorologiques. Le stockage des surplus d'énergie sous forme d'hydrogène permettrait un lissage de l'approvisionnement et une distribution régulière de l'énergie. Ainsi, sur l'île d'Utsira, à 18 kilomètres des côtes de la Norvège, on ali-

mente les habitations avec de l'électricité produite à partir d'éoliennes. Mais l'excédent d'électricité est utilisé pour électrolyser de l'eau et produire de l'hydrogène, lequel est stocké sur place. Ce gaz est ensuite combiné à de l'oxygène de l'air dans une pile à combustible lorsque le vent faiblit, et est ainsi reconverti en énergie électrique. Une dizaine d'habitations sont ainsi alimentées uniquement par de l'énergie renouvelable ! Des projets similaires sont mis en place en Corse et sur l'île de La Réunion pour évaluer l'intérêt d'alimenter en électricité des sites isolés au moyen d'énergie solaire photovoltaïque.

Il s'agit donc de construire en grande quantité et à un coût raisonnable des dispositifs fiables de production et d'utilisation de l'hydrogène. C'est encore loin d'être le cas : si plusieurs technologies performantes existent, aucune ne concilie à la fois faible coût, compacité et durabilité. C'est tout l'enjeu des recherches sur l'hydrogène aujourd'hui.

La première étape de la filière hydrogène est sa production. Celle-ci, nous

L'ESSENTIEL

- ✓ À la différence du pétrole, l'hydrogène n'est pas disponible à l'état libre : il faut le produire à partir d'une autre ressource énergétique, si possible renouvelable.
- ✓ Plusieurs dispositifs existent, tant pour sa production que pour son stockage, mais aucun ne concilie faible coût, compacité et durabilité.
- ✓ Pour les améliorer, on s'inspire de certaines bactéries, qui produisent de l'hydrogène à l'aide d'enzymes, et l'on envisage un stockage de l'hydrogène sous forme solide.

© Shutterstock/Anna Ormelchenko

Dans les habitations de demain, des panneaux photovoltaïques transformeront la lumière solaire en électricité qui sera directement utilisée pour alimenter les appareils électroménagers et les véhicules électriques. Le surplus d'énergie sera acheminé vers un électrolyseur, où il assurera la transformation d'eau en dihydrogène H_2 et dioxygène O_2 : cette réaction convertit l'énergie électrique en énergie de liaison des atomes d'hydrogène dans les molécules H_2 .

Les deux gaz seront acheminés dans deux réservoirs différents. L'hydrogène pourra être stocké sous forme solide, associé à un métal – un conditionnement qui offre une meilleure compacité qu'un conteneur d'hydrogène gazeux. En l'absence de soleil, l'hydrogène et l'oxygène seront déstockés et acheminés vers une pile à combustible, qui les transformera en eau, libérant, sous forme d'électricité, l'énergie préalablement stockée sous forme d'hydrogène.

Un catalyseur (abondant et bon marché) déposé sur les électrodes facilitera la réaction, augmentant son rendement. Fondée sur la conversion, le stockage et la distribution d'énergies renouvelables, cette filière énergétique n'émet pas de dioxyde de carbone. Les chimistes travaillent à la rendre propre sur toute sa chaîne de production, des panneaux photovoltaïques au catalyseur, tout en améliorant son coût et son rendement.

