

L'hydrogène, vecteur énergétique de demain ?

Michel Bornuat

L'hydrogène est un vecteur énergétique, comme l'électricité et non une source d'énergie. Sa production nécessite donc des sources d'énergie mais l'hydrogène offre de plus grandes possibilités de stockage que celles, assez limitées (accumulateurs, piles, batteries) de l'électricité, hors l'eau des barrages (cf article sur l'hydroélectricité dans ce numéro).

Un vecteur énergétique doit présenter un certain nombre de qualités :

- pouvoir être produit à partir de différentes sources d'énergie ;
- être facilement converti en d'autres formes d'énergie (mécanique, électrique, chimique, thermique) ;
- être transporté, stocké et distribué facilement et en sécurité.

L'hydrogène répond à ces conditions et est, par ailleurs, l'élément le plus abondant sur Terre. Il apparaît donc comme un vecteur d'énergie idéal mais les défis technologiques et économiques à relever sont tels qu'on admet généralement que sa commercialisation à grande échelle, comme carburant automobile par exemple, n'interviendra pas avant le milieu du XXI^e siècle.

La situation actuelle

La **production mondiale** actuelle d'hydrogène est, à peu près, de 550 milliards de Nm³ (un cube d'environ 8 km de côté d'hydrogène gazeux à 0°C et à la pression atmosphérique, pesant environ 5 Mt) correspondant à 130 Mtep et à 1,5% de la production mondiale d'énergie primaire.

Cette production provient essentiellement (96%) du **réformage catalytique** (craquage) du gaz naturel (méthane et hydrocarbures légers) qui conduit à un mélange de H₂O, H₂, CO et CO₂. Mais il faut fournir de l'énergie et, dorénavant ou dans un avenir proche, séquestrer le gaz carbonique. On peut aussi fabriquer de l'hydrogène à partir du charbon et par **électrolyse de l'eau**, mais cette dernière méthode, coûteuse et énergivore, est réservée à l'hydrogène de très haute pureté.

L'**utilisation industrielle** est axée surtout sur les propriétés chimiques de l'hydrogène : usines d'ammoniac (50%) et raffineries de pétrole principalement, mais aussi pour une petite part : soudure, verrerie, semi-conducteurs, etc. La capacité énergétique de l'hydrogène n'est utilisée que dans des cas particuliers : propulsion d'engins spa-

tiaux et piles à combustible. La **pile à combustible** réalise l'inverse de l'électrolyse de l'eau, d'une manière lente (et non explosive) grâce à un catalyseur. Elle convertit directement et en continu l'énergie chimique d'un combustible – l'hydrogène en l'occurrence – en énergie électrique, chaleur et eau. C'est donc un dispositif de conversion d'énergie très propre et, de plus, à haut rendement (50%).

Le **transport** se fait sous deux formes : état gazeux sous pression (100 bars) dans des canalisations enterrées, comme le gaz naturel (réseaux de distribution France - Benelux et Allemagne d'« Air Liquide » par exemple) ; sous forme liquide aussi, par camion, mais la liquéfaction consomme 30% de l'énergie transportée.

Le **stockage** ne pose pas de problèmes très ardues : les capacités de stockage de gaz naturel peuvent être utilisées pour l'hydrogène et, sous forme liquide, les réservoirs de stockage existants n'ont que des pertes faibles ; des études en cours sont destinées à améliorer leurs performances et même à stocker de l'hydrogène sous forme solide (hydrures métalliques).

Ces trois formes de stockage (gazeux sous pression, liquide à basse température et solide) sont aussi étudiés dans le cas du stockage embarqué en vue d'utilisation dans les voitures particulières, soit pour alimenter une pile à combustible, soit directement dans un moteur à combustion interne.

Du point de vue de la **sécurité**, l'hydrogène a mauvaise réputation du fait d'accidents comme celui de « Challenger ». Il présente des dangers comme tout carburant ou combustible mais aussi des avantages : rapide dispersion dans l'air, montée rapide en altitude du fait de sa légèreté, limite d'inflammabilité proche de celle du méthane. D'ailleurs, des centaines de kilomètres de gazoducs à hydrogène fonctionnent depuis 80 ans sans problème.

Au total, l'industrie, contrairement au grand public, a une large expérience de ce gaz et des réalisations (piles à combustibles d'Anchorage en Alaska), des projets (projet éolien – hydrogène de l'île norvégienne d'Utsira) et des programmes de démonstration (transports en commun dans divers pays européens, voitures particulières en Allemagne et au Japon en particulier) traduisent l'optimisme des concepteurs sur l'avenir de l'hydrogène énergétique.

Les défis pour l'avenir

Les optimistes concernant l'avenir de l'hydrogène comme vecteur d'énergie, mettent en avant son caractère de combustible propre, performant et universel. Les pessimistes parlent d'une production très énergivore et des coûts très élevés de la filière. Mais les acteurs réalistes savent que, pour donner sa chance à l'hydrogène énergétique, ils doivent relever de nombreux défis.

D'abord, **produire sans émettre de gaz à effet de serre**. Ce n'est pas le cas actuellement puisque la source est le gaz et il est probable que, d'une manière transitoire, l'hydrogène sera encore produit à partir d'énergies fossiles durant quelques décennies. La gazéification de la biomasse, moins « polluante », est à l'étude de même que certains procédés à plus long terme tels que la photolyse de l'eau ou l'utilisation de micro-organismes photosynthétiques.

Mais l'électrolyse haute température de l'eau paraît, malgré son caractère énergivore, être une voie d'avenir. Elle nécessite de la vapeur d'eau, de la chaleur et de l'électricité qui pourraient être fournies par certains réacteurs nucléaires du futur ; le VHTR (*Very High Temperature Reactor*) par exemple, de la filière hélium-graphite porterait le rendement des centrales de 33 à 50% et la très haute température de son circuit primaire pourrait contribuer à l'hydrolyse de l'eau.

Deuxième critère : **produire dans des conditions économiques acceptables**. L'hydrogène est 3 à 4 fois plus cher que les combustibles fossiles et, même en tenant compte de leur renchérissement probable et des coûts de séquestration du CO₂, la filière hydrogène devra notablement abaisser ses coûts de production.

Ensuite, il faut **mettre en place une infrastructure** qui coûtera cher et devra être acceptée sur le plan de la sécurité, par les décideurs et le grand public. Il convient éga-

lement de **développer la technologie des convertisseurs** et, en particulier, des piles à combustible qui semblent avoir partie liée avec l'hydrogène. De nombreux travaux de recherche, souvent conduits dans un cadre européen, concernent entre autres la cogénération (électricité et chaleur) des piles, l'application à l'automobile qui aurait l'avantage de diversifier les carburants, l'application aux télécommunications (micropile), etc.

De nombreux défis donc, qui sont l'objet d'importants efforts de recherche nationaux, européens (Europe du Nord surtout), américains, japonais et autres.

De nombreux universités, établissements, sociétés privées, etc. sont impliqués dans la promotion et la recherche sur l'hydrogène. Ces acteurs sont regroupés dans un certain nombre d'associations ou de groupements, en particulier :

- ALPHEA : pôle de compétence sur l'hydrogène à vocation européenne, créé à partir de l'Association lorraine pour la promotion de l'hydrogène et de ses applications ;
- AFH₂ : Association française de l'hydrogène dont les acteurs (institutions, entreprises, laboratoires et spécialistes) promeuvent le développement et l'utilisation de l'hydrogène et qui fait partie de l'EHA (Association européenne de l'hydrogène) ;
- CNRT Pile à combustible (Centre national de recherche technologique sur la pile à combustible (Belfort, Montbéliard, Nancy) qui, associé à l'UTBM, gère la plate-forme nationale dédiée aux essais de pile, en particulier pour les transports terrestres ;
- PACo : Réseau français de recherche et d'innovation technologique pour le développement de la pile à combustible.