

# L'hydrogène : clef de voûte de l'avenir énergétique

Par *mogirard*

Créé le 26/02/2016 - 00:00

## Edito : L'hydrogène : clef de voûte de l'avenir énergétique

**Jeudi, 25/02/2016 - 23:00** [8 commentaires](#)

- [Diminuer la police](#)
- [Augmenter la police](#)
- [Imprimer](#)
- [Version PDF](#)

•

- [Tweeter](#)

•

•

12 avis :



[zoom](#)

Le 5 février dernier se terminait à Paris les journées Hyvolution de Paris pour promouvoir « l'énergie hydrogène ». Réunissant plus de 400 participants, cette rencontre désormais incontournable des acteurs de l'hydrogène a été l'occasion de faire le point sur les avancées dans le domaine de l'utilisation de ce gaz aux innombrables potentialités. « La combustion de l'hydrogène ne produit aucun gaz carbonique, mais de l'eau », a notamment souligné Pascal Mauberger, président de l'Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible (AFHYPAC), par ailleurs président du directoire de McPhy Energy, entreprise créée en 2008 pour développer de nouveaux modes de « stockage » de l'énergie.

Identifié dès le XVIIe siècle comme un gaz inflammable, l'hydrogène fut d'abord surnommé « air explosif ». Il fut longtemps utilisé, mélangé (notamment au méthane), comme gaz de ville et les lampadaires du XIXe siècle puis les voitures à gazomètres utilisaient déjà de l'hydrogène.

Aujourd'hui, la consommation mondiale d'hydrogène atteint 60 millions de tonnes par an (666 milliards de m<sup>3</sup>), ce qui représente environ 1,5 % de la consommation primaire mondiale d'énergie (12,3 gigateps par an). Comme l'hydrogène produit, à quantité égale, trois fois plus d'énergie que le pétrole, cette production mondiale d'hydrogène représente déjà un potentiel énergétique de l'ordre de 180 Mteps, soit 70 % de la

consommation d'énergie totale de la France. Un kilo d'hydrogène représente 39 kWh d'énergie et deux kilos d'hydrogène par jour suffiraient à satisfaire les besoins énergétiques en électricité d'une famille moyenne.

Le principe de la pile à combustible, qui permet de produire de l'électricité à partir de l'oxydation de l'hydrogène couplée à la réduction d'un oxydant, est connu depuis 1839. Mais pendant très longtemps l'usage de ces piles, complexes et très coûteuses, a été limité à la recherche et à quelques domaines précis, comme l'aérospatiale.

Mais, grâce à de récents progrès technologiques, les voitures utilisant l'hydrogène, bien qu'elles soient encore trois à quatre fois plus chères qu'un véhicule thermique de même catégorie, commencent à arriver sur le marché. Le groupe japonais Toyota a lancé, en 2014, une voiture à hydrogène (la Mirai), alimentée par des piles à combustible. Depuis, d'autres grands constructeurs ont suivi et notamment Mazda, BMW et Honda. La berline Honda Clarity à pile à combustible fera son entrée sur le marché californien d'ici la fin de 2016 en location seulement, pour un montant mensuel de l'ordre de 500 dollars. Dans un deuxième temps, cette voiture sera proposée à la vente pour un prix de 60 000 dollars. Le grand avantage de ces voitures à hydrogène est qu'elles combinent l'autonomie d'une voiture thermique (environ 500 km) et l'absence totale d'émissions de CO<sub>2</sub> de la voiture électrique. En outre, contrairement à cette dernière, le plein d'hydrogène se fait en quelques minutes, comme un plein d'essence.

Mais l'hydrogène présente un autre intérêt, il est un excellent vecteur pour le transport et le stockage de l'énergie. Aujourd'hui, les centrales électriques françaises sont en surproduction. Or, en utilisant cette électricité, il est possible de diviser les molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) par électrolyse et de stocker l'hydrogène récupéré. Cet hydrogène peut ensuite être reconverti en énergie... Ce processus, surnommé « Power-to-Gas », permet de stocker à grande échelle l'énergie excédentaire produite par les panneaux solaires ou les éoliennes. A Hambourg, en Allemagne, la plus puissante installation P2G au monde, vient d'être mise en service. Le prototype, développé dans la ville hanséatique, atteint une puissance de 1,5 MW.

Elle peut produire 290 m<sup>3</sup> de dihydrogène par heure, la quantité qui est ensuite introduite dans le réseau de gaz de la région métropolitaine. En France, le Power To Gas va être testé en grandeur nature par les acteurs gaziers français à Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône) dans les mois qui viennent. GRTgaz, le gestionnaire du réseau de transport local de gaz, va ainsi installer un « démonstrateur » sur la plateforme industrielle du port de Fos-sur-Mer. Avec un objectif : produire du méthane de synthèse, un équivalent du gaz naturel, à partir des surproductions d'électricité sur le réseau de RTE (Réseau de transport électrique). Baptisé Jupiter 1000, ce projet devrait entrer en service en 2018.

L'hydrogène pourrait également révolutionner un autre domaine en plein essor, celui de la cogénération, c'est-à-dire de la production conjointe de chaleur et d'électricité, technique appelée à un grand avenir, tant dans le secteur industriel que domestique. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si l'énergéticien Engie était bien présent au salon « Hyvolution ». Engie a en effet bien compris que l'hydrogène, associé au Gaz naturel - c'est à dire le méthane, permettait de concevoir des systèmes très efficaces de cogénération pour alimenter maisons et immeubles en chaleur et énergie.

« La micro-cogénération est une solution destinée au secteur résidentiel, déjà en déploiement au Japon, explique Stéphane Hody, ingénieur-expert à l'Engie Lab Crigen, un des 7 laboratoires d'Engie, spécialisé dans le gaz naturel. Le gaz naturel est transformé via un réformeur principalement en hydrogène et en CO<sub>2</sub>. Puis l'hydrogène est converti avec une pile à combustible en électricité, laquelle produit aussi de la chaleur lors de l'opération ». Chaleur et électricité sont « co-générées », à raison d'environ 40 % de l'énergie primaire convertie en électricité et 55 % en chaleur, toutes les deux utilisées directement sur place pour les besoins domestiques.

Grâce à ce processus de cogénération « à la source », l'énergie est ainsi utilisée de manière décentralisée et avec rendement inégalé, alors que les solutions actuelles de centrales cycle combinés gaz, les centrales électriques fonctionnant au gaz naturel, convertissent 60 % de l'énergie en électricité mais laissent 40 % de la chaleur co-générée se perdre dans la nature.

Reste que l'hydrogène, produit aujourd'hui, provient à 95 % des produits pétroliers, via la technique du vaporeformage qui consiste à casser les molécules de méthane à grand renfort d'énergie. Mais depuis trois ans, deux ruptures technologiques majeures sont en train de bouleverser les perspectives de production propre et à grande échelle d'hydrogène. La première avancée concerne la production massive d'hydrogène solaire. En 2013, des chercheurs de l'Université de technologie de Delft (Pays-Bas) et du Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) ont couplé une cellule solaire simple et une photoanode en oxyde métallique, et ont réussi à atteindre un taux de conversion de 5 % de l'énergie lumineuse en hydrogène.

Les scientifiques ont ainsi obtenu un moyen relativement simple et peu onéreux de convertir de l'énergie solaire en hydrogène grâce à un procédé de photosynthèse artificielle. Une fois l'hydrogène stocké, on peut s'en servir sous différentes formes : dans des piles à combustible ou encore sous forme de méthane, selon l'usage visé. Avec le rendement actuel de 5 % dans la conversion de la lumière solaire en hydrogène, et en prenant une performance solaire de l'ordre de 600 W/m<sup>2</sup> en Allemagne, un peu plus d'une trentaine de mètres carrés suffiraient pour dépasser la barre du kilowattheure stocké chaque heure sous forme d'hydrogène.

Plus récemment, une équipe de recherche belge, dirigée par le professeur Johan Mertens, a remporté le Febeliec Energy Award en présentant un nouveau dispositif de photosynthèse artificielle conçu pour produire de l'hydrogène. Jusqu'à présent, on passe par des cellules photoélectrochimiques (appelées aussi cellules PEC) qui utilisent de l'eau. Cette technologie est encore trop chère pour concurrencer l'hydrogène produit sur base de sources fossiles.

L'équipe d'ingénieurs vise des dispositifs à petite échelle et faibles coûts, à partir de l'énergie solaire et de l'humidité dans l'air. Leur solution se base sur un panneau solaire poreux, qui convertit la lumière du soleil en énergie électrique. Avec des électrocatalyseurs et de l'eau, on fabrique ensuite de l'hydrogène. L'eau dont l'installation a besoin pour produire de l'hydrogène provient de l'humidité de l'air. Selon ces scientifiques, cette solution pourrait en principe être utilisée également dans le désert, car même dans ces régions très sèches, il y a environ 5 grammes d'eau dans chaque mètre cube d'air.

Bien que l'efficacité de ces panneaux solaires à hydrogène reste modeste pour l'instant, environ 10 %, contre 20 % pour un panneau solaire classique, il est tout de même possible, en une journée ensoleillée, avec un toit solaire d'environ 70 m<sup>2</sup>, de produire assez d'hydrogène pour faire rouler sur une distance de 100 kilomètres une voiture à hydrogène.

Mais une autre voie pourrait également révolutionner d'ici quelques années la production massive et propre d'hydrogène à des fins énergétiques, celle de l'exploitation des sources naturelles d'hydrogène présentes un peu partout sur Terre. Je m'étais fait l'écho dans cette lettre, en avril 2013, d'un communiqué, publié par l'IFPEN, dans lequel cet institut de recherche révélait qu'il existait des émanations naturelles continues d'H<sub>2</sub> dans différentes régions du globe et qu'il lançait un programme de recherche visant à évaluer la faisabilité d'une exploitation industrielle à grande échelle de ces sources naturelles d'hydrogène (voir [IFP Energies nouvelles](#)).

Ces chercheurs français avancent des preuves d'émissions en quantité importantes d'hydrogène naturel sur les continents de la planète. L'un des chercheurs, Alain Prinzhofer, qui a passé 20 ans à l'Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN), est persuadé que ces sources naturelles

d'hydrogène sont bien plus nombreuses qu'on ne l'imaginait et il a publié, en mai 2015, avec Eric Deville, géologue à l'IFPEN, un livre intitulé « L'hydrogène naturel, la prochaine révolution énergétique ? » qui constitue un vibrant plaidoyer en faveur de l'exploitation de cet hydrogène terrestre.

Alain Prinzhofer souligne que la présence d'émanations d'hydrogène naturel dans les océans était connue depuis 40 ans mais ces sources, situées à plus de 4 000 mètres de profondeur, sont malheureusement inexploitable à un coût raisonnable. Mais tout a changé en 2010, lorsqu'Alain Prinzhofer, à l'invitation de scientifiques russes, a pu constater l'existence d'une source terrestre d'hydrogène en Russie, d'où s'échappaient plus de 40 000 m<sup>3</sup> par jour de dihydrogène !

Alain Prinzhofer précise toutefois que ces flux d'hydrogène sont extrêmement diffus et ne sont pas récupérables, tels quels, industriellement. En revanche, ces sources terrestres d'hydrogène seraient détectables dans toutes les régions du monde. En France, elles seraient présentes en Normandie par exemple, précise Alain Prinzhofer. Reste à comprendre d'où vient cet hydrogène et comment il se forme dans les entrailles de la Terre. A ce sujet, bien que plusieurs hypothèses coexistent, l'une d'entre elles a la faveur de la majorité des scientifiques, celle selon laquelle l'eau subit une réduction chimique. Les chercheurs de l'IFPEN pensent que la genèse de l'hydrogène est liée à un agent extérieur qui réduit l'eau H<sub>2</sub>O en H<sub>2</sub>. Cet agent est probablement le fer, présent à l'état naturel dans divers minéraux sous forme de fer ferreux.

Le fer ferreux peut réduire l'eau et permet la genèse de l'hydrogène en se transformant en fer ferrique. Or, dans le sous-sol, certains minéraux en contiennent, comme par exemple la sidérite, un carbonate présent dans la croûte continentale. Le plancher océanique contient quant à lui de l'olivine. Ce minéral, principal constituant du manteau supérieur, peut libérer du fer. C'est ce processus qui pourrait expliquer que l'on trouve aussi des sources d'hydrogène naturel au fond des océans. Des expériences réalisées en laboratoire ont par ailleurs montré que le fer ferreux au contact de l'eau produisait bien de l'hydrogène, ce qui confirme cette hypothèse quant au processus de production de cet hydrogène naturel.

La génération de cet hydrogène pourrait avoir lieu ainsi en de nombreux sites à quelques dizaines de kilomètres de profondeur. Produit ainsi en continu, cet hydrogène devient potentiellement une ressource renouvelable, un flux, un non un stockage fossile, comme le pétrole ou le méthane ! Au contraire de ces deux ressources, l'hydrogène ne peut pas rester dans le sol sur des temps géologiques aussi longs car il est trop volatil et réactif. Mais il pourrait tout de même transiter par des poches pendant quelques centaines d'années, à des profondeurs très variables.

L'exploitation du dihydrogène emprisonné dans le sous-sol peut se faire à l'aide de techniques proches de celles déjà utilisées pour l'exploitation et la production du pétrole ou du gaz. En outre, si l'hydrogène est associé à de l'eau dans un aquifère, il pourrait être possible de coupler la production d'hydrogène avec de la géothermie.

Il existe déjà une région où la production d'hydrogène naturel a commencé. Au Mali, un forage de 200 mètres de profondeur permet de produire du dihydrogène pur à 98 % depuis 2011 et 18 autres puits sont prévus d'ici 2017. L'électricité obtenue à partir de cet hydrogène est 5 fois moins chère que celle du marché malien. Au Kansas, un producteur a également réalisé un forage dans un gisement et réfléchi à son exploitation.

« Si cette présence d'hydrogène naturel en grande quantité est confirmée et si cet hydrogène peut être récupéré et exploité relativement facilement, nous tiendrions enfin la source d'énergie qui permette l'avènement de cette économie basée sur l'hydrogène préconisée par Jeremy Rifkin » souligne Alain Prinzhofer.

Evoquons enfin une troisième voie, elle aussi très prometteuse, qui pourrait permettre une production massive et propre d'hydrogène, la photosynthèse contrôlée à partir d'algues vertes. Pendant le processus de photosynthèse, l'eau est séparée, entre autres, en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) et en électrons (e<sup>-</sup>). Dans le cas des algues vertes, ces 2 éléments se réunissent pour former du dihydrogène (H<sub>2</sub>), exploitable comme source d'énergie. Ce processus est connu et étudié depuis plus de 15 ans mais plusieurs expériences récentes réalisées dans différents laboratoires en Suède, en Suisse et en France, ont montré qu'il est possible, en utilisant judicieusement certaines enzymes spécifiques appelés hydrogénases, de concevoir un système capable de produire de l'hydrogène en quantités industrielles avec des algues vertes, de l'eau et du soleil. Ces premiers bioréacteurs à hydrogène devraient voir le jour vers 2020.

C'est dans ce contexte en pleine effervescence scientifique que l'ADEME vient de publier il y a quelques jours son dernier avis, intitulé « L'hydrogène dans la transition énergétique » (Voir [ADEME](#)). Dans ce document prospectif, l'ADEME souligne que l'utilisation de l'hydrogène comme carburant et comme vecteur énergétique présente l'avantage considérable de ne pas déstabiliser le réseau électrique et de pouvoir contribuer, au contraire, à une gestion souple et intelligente de la distribution d'énergie. L'ADEME confirme que, pour limiter les investissements élevés nécessaires au stockage stationnaire d'hydrogène, la solution, à présent très bien maîtrisée du « Power-to-Gas », est pertinente et présente des perspectives de développement considérables au niveau européen

L'ADEME souligne toutefois que, pour prendre toute sa place dans la transition énergétique mondiale, tout en contribuant activement à la lutte contre le réchauffement climatique, l'hydrogène doit être produit par électrolyse de l'eau à partir d'énergies renouvelables. « Le procédé d'électrolyse permet de produire de l'hydrogène à partir d'électricité, lorsque par exemple celle-ci est abondante et décarbonée, l'hydrogène étant ensuite stocké en station », explique l'Ademe. « L'hydrogène peut alors être introduit dans le réservoir des véhicules à la demande et permet la recharge de la batterie sans sollicitation du réseau électrique ».

Mais l'ADEME souligne également, de manière très intéressante, que « c'est à une échelle locale que l'hydrogène peut apporter de la flexibilité aux systèmes énergétiques et que les bénéfices environnementaux liés à son emploi seront les plus grands ». Cette dimension locale est fondamentale car elle peut permettre à l'hydrogène de devenir un véritable facteur de développement local et un puissant levier de gestion intelligente et durable des ressources énergétiques d'un territoire.

C'est bien sur cette production locale d'hydrogène en partant d'énergie renouvelable (soleil ou vent) en le stockant sous forme solide ou liquide, peu onéreuse et sans danger, que je travaille ardemment actuellement pour réaliser ma future maison autonome. Je suis heureux que quelques grandes écoles françaises et étrangères aient décidé de s'associer à mon expérimentation. Comme je vous l'ai promis le 2 Octobre dernier, (Voir [Edito : Construire la maison du Futur totalement autonome : tel est le projet passionnant qui m'anime](#)), je ferai le point sans quelques semaines sur cette opération qui doit se déployer sur 5 ans.

C'est finalement le rêve visionnaire décrit il y a presque un siècle et demi par Jules Verne, qui est en train de se réaliser : en combinant les potentialités nouvelles de la production propre et massive d'hydrogène à partir, de la Terre, du soleil et du vivant et en concevant l'hydrogène en synergie intelligente avec le développement des énergies renouvelables et dans le cadre d'une production diversifiée et décentralisée d'énergie, nous pouvons accéder de manière décisive à la nécessaire rupture énergétique mondiale qui doit nous amener vers une économie largement décarbonée d'ici le milieu de ce siècle.

René TRÉGOUËT

Sénateur honoraire

Fondateur du Groupe de Prospective du Sénat

**Noter cet article :**

**Recommander cet article :**

- 
- [Tweeter](#)
- 
  
- **Nombre de consultations :** 1523
- **Publié dans :** [Energie](#)
- **Partager :**
  - [Facebook](#)
  - [Viadeo](#)
  - [Twitter](#)
  - [Wikio](#)

[Energie](#) [Ademe](#) [algues](#) [batterie](#) [carbone](#) [cellules](#) [Climat](#) [CO2](#) [combustible](#) [cycles](#) [eau](#) [électricité](#) [Energie](#) [éolien](#) [flux](#) [gaz](#) [Honda](#) [hydrogene](#) [Hyvolution](#) [méthane](#) [panneaux](#) [photovoltaïque](#) [pile](#) [power](#) [Prinzhofer](#) [recharge](#) [réchauffement](#) [réseau](#) [Rifkin](#) [serre](#) [solaire](#) [soleil](#) [stockage](#) [synthèse](#) [thermique](#) [Toyota](#) [transports](#) [vent](#) [voiture](#)

---

**URL source:** <https://www.rtflash.fr/l-hydrogene-clef-voute-l-avenir-energetique/article>