

# L'hydrogène s'affirme enfin comme la clef de voute de la transition énergétique mondiale

Par *mogirard*

Créé le 23/04/2021 - 01:00

## Edito : L'hydrogène s'affirme enfin comme la clef de voute de la transition énergétique mondiale

Vendredi, 23/04/2021 - 00:00 [1 commentaire](#)

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

•

- [Tweeter](#)

•

•

6 avis :



[zoom](#)

Depuis maintenant plus de 10 ans, l'hydrogène fait un peu figure d'Arlésienne, en matière de transition énergétique vers un monde sans émissions de CO<sub>2</sub>. On parle en effet beaucoup de ce gaz qui possède un remarquable pouvoir énergétique, trois fois supérieur à celui de l'essence à quantité comparable, et qui, en outre n'émet que de l'eau lorsqu'il est utilisé comme carburant. Mais l'utilisation massive de ce gaz (qui est l'élément le plus répandu dans l'Univers), ne va pas sans poser de nombreux problèmes.

Bien qu'il existe à l'état naturel sans doute en plus grande quantité qu'on ne l'avait imaginé jusqu'à présent (mais ces sources naturelles d'hydrogène restent à identifier, à quantifier et à exploiter), il doit, pour l'instant, être produit de manière industrielle, par des procédés chimiques très gourmands en énergie et très polluants, un comble pour ce gaz qui est censé faciliter la transition énergétique mondiale vers une réduction drastique des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> qui, rappelons-le, doivent absolument être divisées par deux au niveau mondial d'ici 30 ans, si nous voulons avoir une chance, non pas de stopper le changement climatique en cours, mais plus modestement de le contenir dans des limites - 2 degrés - considérées comme supportables pour notre espèce.. Heureusement, depuis quelques mois, on assiste à

une incontestable accélération à la fois technique, industrielle et politique, qui marque un véritable basculement vers une intégration de l'hydrogène, comme vecteur majeur de la révolution énergétique en cours.

Le monde consomme actuellement environ 75 millions de tonnes d'hydrogène par an, mais cet hydrogène est presque entièrement produit par vaporeformage, une technique peu onéreuse mais très gourmande en énergie et très émettrice de CO<sub>2</sub> (elle utilise à plus de 90 % des énergies fossiles), puisqu'on estime que cette production d'hydrogène émet environ 830 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, soit plus de 2 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> en 2019, un niveau comparable à celui des émissions totales de l'aviation, estimées à 900 millions de tonnes par an.

Le cabinet de conseil McKinsey estime que la consommation d'hydrogène pourrait représenter jusqu'à 18 % de la demande en énergie finale dans le monde d'ici l'horizon 2050, contre 2 % aujourd'hui. Bank of America a estimé pour sa part, fin 2020, que l'hydrogène pourrait représenter le quart de la consommation mondiale d'énergie au milieu de ce siècle (Voir [Mc Kinsey](#)). Mc Kinsey souligne que l'hydrogène est appelé à devenir incontournable dans quatre domaines : l'intégration à grande échelle des énergies renouvelables, les transports propres, l'industrie décarbonée et enfin l'autonomie énergétique (chaleur et électricité) des bâtiments et logements.

Dans son rapport 2020, l'ADEME est en phase avec ces prévisions et estime que la production mondiale d'hydrogène pourrait être multipliée par huit et atteindre jusqu'à 578 millions de tonnes par an, en 2050 (Voir [Ademe](#)).

En juillet 2020, l'Union européenne a dévoilé un ambitieux plan destiné à promouvoir l'utilisation de l'hydrogène en matière énergétique (Voir [European Commission](#)). L'Europe voudrait que l'hydrogène représente au moins 14 % de son mix énergétique en 2050, ce qui suppose de faire passer sa production annuelle de 10 à 100 millions de tonnes sur notre continent. Mais surtout, l'ensemble de cet hydrogène européen devra être totalement issu des énergies propres en 2050, ce qui représente un gigantesque défi. En effet, selon un rapport de l'AIE, intitulé « Le futur de l'hydrogène », (Voir [IEA](#)), si l'on voulait produire uniquement par électrolyse les 10 millions de tonnes d'hydrogène que l'Europe consomme chaque année, il faudrait consommer 3 600 TWH par an, c'est-à-dire plus que toute la consommation électrique annuelle (3 300 TWH en 2019). Autant dire que pour parvenir à multiplier par dix la production d'hydrogène vert en Europe, l'électricité d'origine renouvelable ne suffira pas, quels que soient les efforts en la matière et il faudra également des ruptures technologiques majeures en matière de rendement des électrolyseurs, ainsi qu'un recours bien pensé au nucléaire, une source d'énergie décarbonée qui présente un grand potentiel de production d'hydrogène.

En Europe, deux grands projets d'hydrogène vert viennent de franchir des étapes importantes. Le gouvernement danois a approuvé le projet de construction de deux îles énergétiques qui produiront non seulement 4 GW d'électricité, mais aussi de l'hydrogène vert destiné aux secteurs de la navigation, de l'aviation, de l'industrie et du transport lourd. Par ailleurs, le géant allemand Thyssenkrupp a annoncé qu'il allait travailler avec la société énergétique allemande Steag sur une usine d'électrolyse de l'hydrogène de 500 MW destinée à alimenter la production d'acier.

Dans le sillage du plan européen, la France a annoncé en septembre 2020 un vaste plan de développement de l'hydrogène, qui doit mobiliser 7,2 milliards d'ici 2030 et vise à la fois de permettre à assurer une production verte et compétitive d'hydrogène, et à diversifier les usages de ce vecteur énergétique, à la fois pour accélérer la montée en puissance des énergies renouvelables et de la mobilité lourde entièrement à base d'hydrogène (trains, camions, gros navires de commerce, paquebots). Comme au niveau européen la priorité de ce plan - et son premier volet - consiste à accélérer

la décarbonation de l'hydrogène : il est prévu qu'un milliard et demi d'euros soit consacré à la fabrication d'électrolyseurs de nouvelle génération, pour une capacité de 6,5 gigawatts dans un premier temps.

Les grands industriels européens sont bien conscients du défi à relever et, forts de ces soutiens européens et nationaux, ils se sont regroupés dans le collectif Hydeal Ambition, qui s'est fixé comme objectif de produire d'ici dix ans de l'hydrogène vert au même coût que l'hydrogène gris, soit 1,5 euro le kilo, pour le rendre compétitif avec les énergies fossiles.

Au début de cette année, Siemens Gamesa a annoncé un partenariat avec Siemens Energy pour développer une nouvelle génération d'aérogénérateur géant, intégrant un électrolyseur directement dans la turbine ? à la base du mât d'une éolienne offshore ? afin de transformer l'énergie produite directement en hydrogène. Un modèle de démonstration sera dans un premier temps intégré à la nouvelle éolienne géante Siemens Gamesa, dotée d'une puissance-record de 14 mégawatts, grâce à son envergure de 222 mètres. Grâce à ce système associant un aérogénérateur et un électrolyseur, il sera possible de convertir et de stocker sur place, sous forme d'hydrogène, les surplus d'électricité, puis de retransformer cet hydrogène en énergie, pour faire face aux pics de demande ou à une chute de la production éolienne.

De son côté, le groupe français McPhy mise sur l'amélioration de l'électrolyse alcaline pour faire réduire drastiquement le coût de production de l'hydrogène vert et amener cette technologie à l'échelle industrielle. En juin 2020, McPhy a inauguré son électrolyseur de 2 mégawatts (MW) dans l'usine de production d'hydrogène zéro-carbone d'Apex Energy, à Laage, en Allemagne. Alimenté à partir d'électricité d'origine renouvelable, l'électrolyseur de 2 MW installé à Laage permettra déjà à Apex Energy de produire 300 tonnes d'hydrogène par an sans émission de CO<sub>2</sub>, qui serviront à fournir électricité et chaleur au siège social de l'entreprise et à une zone commerciale.

Mais à terme, McPhy vise la production compétitive à très grande échelle d'hydrogène zéro-carbone, ce qui suppose de concevoir et de construire des électrolyseurs géants fiables de 100 MW, un vrai défi technologique. Pour atteindre son objectif, McPhy compte s'appuyer sur la technologie la plus répandue dans l'industrie et qu'il utilise déjà : l'électrolyse alcaline. Cette technologie est certes moins innovante que sa concurrente, l'électrolyse à membrane échangeuse de protons (Proton Exchange Membrane, ou PEM) qui utilise un électrolyte solide. Mais, contrairement à la technologie PEM, l'électrolyse alcaline est parfaitement maîtrisée. En retravaillant sur la conception de ses électrolyseurs, et en parvenant à doubler la densité énergétique des électrodes, McPhy est à présent capable de fabriquer des électrolyseurs de grande puissance dont la compacité n'est que de 10 % supérieure à celle de leurs concurrents utilisant la technologie PEM. Mais surtout, le groupe français fait valoir que son procédé alcalin possède deux atouts décisifs : une efficacité énergétique meilleure que celle des PEM et la fiabilité dans le temps deux fois plus grande, qui autorise des durées d'exploitation de 20 ans.

Partout dans le monde, les recherches se poursuivent pour mettre au point des électrolyseurs et des procédés permettant de produire un hydrogène totalement vert à moindre coût, et fin 2019 deux percées notables ont été accomplies dans ce domaine. La première a été réalisée en Australie, par des chercheurs de l'Université de Nouvelles Galles du sud (Voir [UNSW](#)). Ces scientifiques ont montré que la capture de l'hydrogène par électrolyse, qui sépare cet élément de l'oxygène dans l'eau, peut être obtenue en utilisant comme catalyseurs des métaux à faible coût comme le fer et le nickel, qui accélèrent cette réaction chimique tout en nécessitant moins d'énergie. Ils ont réussi à recouvrir les électrodes de leur catalyseur de fer et de nickel déposés à l'échelle nanométrique. Or, à ce niveau atomique, ces métaux changent de propriétés et deviennent aussi efficaces que les catalyseurs actuels au platine, au ruthénium ou à l'iridium pour la génération d'hydrogène. Mais la différence, c'est que le prix du fer et du nickel est,

en moyenne, 2000 fois moins élevé au kg que celui de ces métaux rares extrêmement onéreux.

Toujours fin 2019, des chercheurs du **SLAC National Accelerator Laboratory** (États-Unis) ont montré qu'il était possible de remplacer ces catalyseurs très onéreux par un catalyseur bon marché, le phosphore de cobalt, à condition de le déposer sous forme de nanostructure sur les électrodes en carbone de l'électrolyseur. Ces recherches récentes ouvrent donc, elles aussi, la voie vers la production industrielle fiable et peu coûteuse d'hydrogène vert à l'horizon 2025.

Toujours au Etats-Unis, Breakthrough Energy Ventures (BEV), un des fonds d'investissement de Bill Gates, vient de réunir 18,5 millions d'euros pour financer le développement d'une nouvelle technologie de production d'hydrogène vert, le séparateur d'eau. Mise au point par la société israélienne H2Pro, elle devrait permettre de fabriquer de l'hydrogène vert à moins d'un euro par kilogramme. H2Pro affirme avoir mis au point une technologie de rupture pour séparation de l'eau. Selon cette société, son procédé aurait une efficacité de 95 % et son coût de production de l'hydrogène serait bien inférieur à celui des électrolyseurs couramment utilisés. Concrètement, l'E-TAC - Electrochemical, Thermally Activated Chemical - utilise, comme l'électrolyse, l'électricité pour séparer l'eau en hydrogène et en oxygène. Mais l'originalité de cette technique réside dans le fait que l'hydrogène et l'oxygène sont générés séparément dans des étapes différentes - une étape électrochimique (E) et une étape chimique activée thermiquement (TAC). C'est ce découplage de la séparation de l'hydrogène et de l'oxygène en deux processus distincts qui réduirait sensiblement le coût de production de l'hydrogène, car il rend inutile le recours aux membranes, indispensables au fonctionnement des électrolyseurs actuels.

Une autre avancée importante a été annoncée il y a peu par des chercheurs de l'Université de Linköping, en Suède ([Voifi.u](http://fi.u)). Ces scientifiques, dirigés par le Professeur Jianwu, ont pu concevoir un nouveau matériau, à base de carbure de silicium nanocubique, qui possède de remarquables propriétés optiques et physico-chimiques, et peut produire, avec un rendement inégalé jusqu'à présent, de l'hydrogène par photoélectrolyse. Tout le secret de cette efficacité énergétique résiderait, selon les chercheurs, dans la structure poreuse particulière de ce matériau, qui favorise la séparation des charges avec une énergie suffisamment élevée et autorise une surface active accrue qui accélère le transfert de charge et augmente la surface de réaction chimique.

Parallèlement aux avancées technologiques en matière de production d'hydrogène vert par électrolyseurs, une autre voie d'avenir réside dans l'adaptation des centrales nucléaires à la fabrication massive d'hydrogène. Outre-Atlantique, trois producteurs d'électricité et le Idaho National Laboratory se sont lancés en 2019 dans cette reconfiguration des centrales nucléaires afin de fabriquer de l'hydrogène par électrolyse, sans aucune émission de CO<sub>2</sub>. L'idée est d'utiliser la production électronucléaire excédentaire pour produire de grandes quantités d'hydrogène qui pourra ensuite être utilisé, soit comme carburant pour les transports propres, soit comme vecteur de stockage de l'électricité et d'équilibrage du réseau, pour faire face, par exemple, à un pic de demande.

En France, le CEA travaille à la conception de petits réacteurs nucléaires modulaires de 150 MW, expressément conçus pour la production d'hydrogène par électrolyse. Il a aussi développé un électrolyseur réversible à haute température : cette machine présente la particularité d'être alimentée à la fois par de la vapeur d'eau et de l'électricité. Ce système est capable de fabriquer de l'hydrogène par électrolyse, mais également de produire de l'électricité, sur le mode d'une pile à combustible à l'hydrogène. « **La réaction se produit à 700-800°C, mais une fois qu'elle est lancée, on peut l'alimenter avec de la vapeur d'eau à 150°C** », précise Hélène Burlet, directrice adjointe des programmes énergie du CEA.

Mais il ne suffit pas de savoir produire de l'hydrogène vert en grande quantité ; encore faut-il pouvoir stocker, transporter et utiliser ce gaz très volatile et hautement inflammable ? Personne n'a oublié la terrible catastrophe du Zeppelin Hindenburg en 1937 à New-York ? en toute sécurité.

Il y a quelques semaines, début février, des chercheurs de l'Institut Fraunhofer pour les technologies de fabrication et les matériaux avancés, à Dresde (Allemagne), ont développé une pâte à base stable et ininflammable d'hydrures de magnésium pour le stockage de l'hydrogène. Elle pourrait, à terme, remplacer les réservoirs et alimenter les véhicules à pile à combustible.

Le procédé mis au point par ces chercheurs simplifie de manière décisive le processus de ravitaillement : avec ce substrat, le conducteur du véhicule à pile à combustible n'a plus besoin d'aller faire le « plein », dans une station-service-hydrogène ; il réalise lui-même l'opération. Il remplit un réservoir avec une quantité précise d'eau du robinet et y ajoute la pâte énergétique (les quantités sont fonction de la puissance désirée). Le mélange produit alors de l'hydrogène gazeux, qui peut ensuite être converti en électricité pour le moteur électrique. Gros avantage, seule la moitié de l'hydrogène provient de la pâte de puissance, l'autre moitié venant de l'eau. Comme le souligne Marcus Vogt, un scientifique du Fraunhofer, **« la densité de stockage de l'énergie est donc énorme : elle est bien plus élevée que celle d'un réservoir sous pression de 700 bars. Par rapport aux batteries, elle a même une densité de stockage d'énergie dix fois supérieure »**. Autre avantage décisif : cette pâte peut être stockée et distribuée facilement et de manière sûre dans une station-service classique, sans qu'il soit besoin d'installer des infrastructures coûteuses de refroidissement.

Soulignons également que la plus grande usine mondiale de stockage de l'hydrogène vert dans un liquide organique sera construite en Allemagne, à Dormagen, d'ici 2023 c'est l'entreprise allemande Hydrogenious LOHC Technologies qui pilote ce projet basé sur une solution de stockage innovante de l'hydrogène. Cette technologie utilise un liquide huileux à base de dibenzyltoluène, qui présente l'avantage d'une grande stabilité thermique. Piégé dans ce liquide, l'hydrogène peut être transporté sans problème, comme n'importe quel carburant classique. Pour être utilisé, l'hydrogène est retransformé à l'état gazeux par une réaction catalytique endothermique de déshydrogénation. Dès sa mise en service, cette usine produira de l'hydrogène vert qui sera acheminé depuis Dormagen jusqu'à Rotterdam aux Pays-Bas, pour répondre aux besoins de mobilité lourde et d'énergie industrielle. Dans un premier temps, 1.800 tonnes d'hydrogène pourront être stockées par an dans ce mélange organique.

En France, l'industriel, Mc Phy Energy, en reprenant des travaux du CNRS (Institut Néel), a développé depuis 10 ans une remarquable solution de stockage de l'hydrogène sous forme d'hydrures métalliques, c'est-à-dire de composés chimiques d'hydrogène avec un métal. La solution mis au point par Mc Phy repose sous la forme de pastilles d'hydrure de magnésium ( $MgH_2$ ) qui peuvent contenir en masse 7 % d'hydrogène. Ce matériau fonctionne un peu à la manière d'une éponge : il peut délivrer ou absorber l'hydrogène à la demande. En fonction de la température choisie, si la pression d'équilibre est dépassée, le métal absorbe l'hydrogène ; dans le cas contraire, ce matériau va libérer de l'hydrogène emprisonné. Outre son excellent rendement énergétique ; cette technologie permet une capacité volumique de stockage 2,5 fois supérieure au stockage gazeux sous pression.

Il faut enfin évoquer les recherches de l'Institut Français du Pétrole énergies nouvelles (IFPEN) basé à Solaize dans la vallée lyonnaise de la chimie, qui travaille sur une utilisation de l'hydrogène plutôt iconoclaste. Ce centre réputé de recherche veut en effet que l'hydrogène puisse aussi être utilisé comme carburant dans des moteurs thermiques classiques. Comme le souligne Cécile Barrère-Tricca, directrice de cet établissement, « **L'hydrogène représente une alternative intéressante lorsqu'une grande autonomie et un faible temps de recharge sont nécessaires, notamment pour les poids lourds ; en outre, il apporte une solution de mobilité sans émissions de CO2 qui peut, face à l'urgence climatique, être mise en œuvre rapidement et à moindre coût** ».

Pour pouvoir utiliser de l'hydrogène dans des moteurs classiques, les chercheurs de l'Ifpen travaillent sur de nouvelles motorisations permettant d'obtenir à la fois un très haut rendement et de très faibles émissions d'oxydes d'azote (NOx), grâce un système de combustion en mélange pauvre combinant injection directe et suralimentation. « **Notre ambition est de se rapprocher des 50 % de rendement et de devenir un acteur de référence dans le domaine de la combustion hydrogène en nous appuyant notamment sur de nouveaux moyens d'essais** », précise Florence Duffour, chef du projet Motorisations Hydrogène au sein d'IFPEN. « **La motorisation hydrogène affiche un coût très compétitif car la technologie est mature et les investissements de production limités. Par ailleurs, elle ne nécessite pas l'utilisation d'un hydrogène de grande pureté, facilitant ainsi la distribution du carburant** », souligne pour sa part Bertrand Gattilier, responsable du programme Motorisations et Systèmes au sein de l'IFPEN. Les premiers camions prototypes intégrant un moteur à combustion hydrogène devraient voir le jour à horizon 2023 et ce mode de propulsion innovant, bien moins coûteux que les camions « tout hydrogène » utilisant une pile à combustible, pourrait contribuer à accélérer de manière notable la décarbonation des transports routiers, responsables d'au moins 20 % des émissions mondiales de CO2.

Force est de constater que, pour de multiples raisons, nous sommes malheureusement passés à côté de plusieurs révolutions technologiques majeures depuis une trentaine d'années, notamment dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et du numérique. Nous ne devons pas, cette fois, rater cette révolution de l'hydrogène qui va aller bien au-delà du champ énergétique et changer, comme le souligne avec force Jeremy Rifkin, l'architecture même de notre industrie, de notre économie et de toute notre société. Cette fois, la France semble avoir pris la mesure de ce nouveau défi et nous avons tous les atouts pour que notre pays soit à la pointe mondiale dans cette rupture de civilisation. Sachons aller de l'avant et n'ayons pas peur de balayer les conservatismes et les corporatismes qui pourraient freiner cette formidable révolution, dont notre monde a besoin pour renouer avec l'idée de progrès et de développement économique et humain s'inscrivant dans le respect de la nature et de l'environnement.

René TRÉGOUËT

Sénateur honoraire

Fondateur du Groupe de Prospective du Sénat

e-mail : [tregouet@gmail.com](mailto:tregouet@gmail.com)

**Noter cet article :**

**Recommander cet article :**

- 
- [Tweeter](#)
- 
- **Nombre de consultations** : 0
- **Publié dans** : [Chimie](#)
- **Partager** :
  - [Facebook](#)
  - [Viadeo](#)
  - [Twitter](#)
  - [Wikio](#)

[Chimie](#) [Ademe](#) [Air](#) [Alcalin](#) [atome](#) [carburant](#) [CEA](#) [Climat](#) [CO2](#) [combustible](#) [densité](#) [dibenzyltoluène](#) [distribution](#) [E-TAC](#) [eau](#) [économie](#) [effet de serre](#) [électricité](#) [électrolyse](#) [électrolyseur](#) [élément](#) [émissions](#) [Energie](#) [environnement](#) [éolien](#) [Espace](#) [Gates](#) [gaz](#) [hydrogene](#) [hydrures](#) [IFPEN](#) [industrie](#) [magnésium](#) [McFly](#) [McKinsey](#) [membranes](#) [métalliques](#) [moteur](#) [Nature](#) [nucléaire](#) [organiques](#) [oxygène](#) [PEM](#) [pile](#) [pollution](#) [pression](#) [progrès](#) [propulsion](#) [proton](#) [puissance](#) [réacteurs](#) [rendement](#) [renouvelables](#) [réseau](#) [réservoir](#) [rupture](#) [service](#) [Siemens](#) [SLAC](#) [société](#) [solaire](#) [stations](#) [stockage](#) [Terre](#) [Transition](#) [transports](#) [UNSW](#) [vaporeformage](#) [voitures](#) [volatile](#)

---

**URL source:** <https://www.rtflash.fr/l-hydrogene-s-affirme-enfin-comme-clef-voute-transition-energetique-mondiale/article>