



Le 23 septembre 2011, Didier Guénin

L'hydrogène est un sujet très en vogue en cette année 2011.

Le magazine Pour la Sciences titre dans son numéro de juin « l'hydrogène, une énergie propre pour demain ? »

Le collège de France a publié en février 2011 une communication du professeur Jean-Marie Tarascon « Filière hydrogène : de la production au stockage » (auquel nous empruntons quelques schémas visuels explicatifs).

Certains voudraient voir dans l'hydrogène la panacée, d'autres se braquent à l'évocation du sujet.

Quelle place pour l'hydrogène dans l'avenir énergétique ?

Altermonde se penche sur la question.

L'hydrogène a la fâcheuse propriété d'être peu présente sur terre, du moins dans sa forme moléculaire. Cela veut dire que pour produire de l'hydrogène, il est nécessaire d'aller la chercher les deux atomes qui la composent dans l'eau (H₂O), dans le gaz naturel (CH₄) ou dans le pétrole (C_nH_{2n+2}).

Autrement dit **l'hydrogène n'est pas une énergie en soi, mais un vecteur énergétique.**

Plusieurs techniques existent, principalement **le vaporeformage énergétique : 96% de l'hydrogène produit** (680 milliards de Nm³) l'est ainsi par des sources fossiles : gaz, pétrole et charbon.

L'autre voie est **l'électrolyse de l'eau. Cette solution est de très loin la plus écologique**, pour autant que l'électricité consommée soit décarbonée.

De fait, Hydrogène et électricité sont liés réciproquement par l'électrolyse et la pile à combustion.

L'hydrogène peut ainsi participer d'un monde sans combustion dégageant du CO₂, un monde électrique avec des centrales de production décarbonée avec l'appui de l'hydrogène comme mode de stockage.

Comment produit-on de l'hydrogène ? Quelle intégration dans le mix-énergétique ?

L'hydrogène bien plus présente dans les médias que sur Terre

Rappelons tout d'abord qu'il n'existe pas de solution énergétique parfaite. L'énergie ne se crée pas spontanément, ni dans l'électricité, ni dans la molécule d'hydrogène. Cette dernière, pour abondante qu'elle soit dans le cœur du soleil dont elle constitue le combustible, a la fâcheuse propriété d'être **peu présente sur terre, du moins dans sa forme moléculaire.**

Cela veut dire que pour produire de l'hydrogène, il est nécessaire d'aller la chercher les deux atomes qui la composent dans l'eau (H₂O), dans le gaz naturel (CH₄) ou dans le pétrole (C_nH_{2n+2}).

Dans les trois cas il faut de l'énergie pour obtenir la molécule d'hydrogène. Autrement dit **l'hydrogène n'est pas une énergie en soi.**

THINK TANK



ALTERMONDE

DEPUIS 2002

www.altermonde.org

Altermonde a pour projet d'inventer un nouveau monde, équitable, solidaire ; de promouvoir, par une logique de don dans l'espace et dans le temps, une politique de répartition de la richesse, dans le respect de la justice sociale, qui pèse chaque décision à l'aune de ses implications globales, locales et durables – plutôt qu'à ses seules conséquences immédiates - ; de favoriser son émergence.

Altermonde vise un quadruple objectif : exprimer l'insatisfaction face à l'organisation actuelle du monde et poser le constat de l'impasse dans laquelle la société est engagée, énoncer les principes fondateurs d'une socialité renouvelée, être l'espace de partage de la réflexion sur ces questions essentielles dans un esprit d'écoute et d'envie de travailler ensemble, être le lieu où s'élaborent des actions et des expérimentations qui vont dans le sens d'engendrer ou de favoriser l'émergence de cet autre monde.

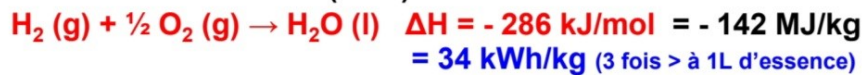
Altermonde a pour vocation d'analyser pourquoi le productivisme conduit à une aporie, d'imaginer les voies et moyens de la dépasser, de proposer et d'initier des expérimentations de nouveaux modèles, de déployer des campagnes d'information ou de mobilisation sur des thématiques en rapport avec ses ambitions.

L'hydrogène a un haut pouvoir énergétique mais une très faible densité volumique

L'hydrogène (à supposer que l'on en dispose) produit de l'énergie par combustion dans une réaction **qui ne dégage pas de CO₂**, et donc pas de gaz à effet de serre : $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ mais seulement de l'eau. Cette réaction dégage 34 kWh/kg d'énergie quand l'essence par combustion ne dégage que 10 kWh/kg et émet du CO₂ !

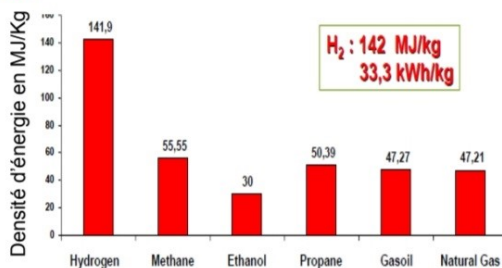


➤ Chaleur de combustion (HHV)



C'est cette belle propension à dégager de la chaleur sans contribuer au réchauffement climatique qui retient l'attention.

➤ Comparaison avec d'autres carburants



Combustible	Densité d'énergie massique (MJ/kg)	Densité d'énergie volumique (MJ/l)
Hydrogène	142	8 (à 70 MPa)
Gaz naturel	54	10 (à 20MPa)
Essence	42	28

Sauf que 350 g d'hydrogène qui produisent autant d'énergie que 1 litre d'essence occupe 2.700 litres. Ce qui pose un **évident problème de stockage**. La compression à haute pression offre une solution néanmoins insuffisante en terme

volumétrique. La liquéfaction présente un intérêt supérieur : lorsque la température diminue, les molécules se condensent. A -253°C, 1kg d'hydrogène n'occupe plus que 14 litres. Cependant ces opérations sont coûteuses et consomment respectivement 15% et 35% de l'énergie contenue dans l'hydrogène.

Produire de l'hydrogène consomme des énergies fossiles et émet du CO₂

Actuellement 96% de l'hydrogène produit (680 milliards de Nm³) l'est par des sources fossiles : gaz, pétrole et charbon ! Autrement dit il est essentiel de réserver cet hydrogène à des usages spécifiques industriels et sanitaires. Car l'utiliser comme vecteur énergétique reviendrait à émettre plus de CO₂ que si l'on utilisait directement les énergies fossiles qui ont permis de le fabriquer.

Plusieurs techniques existent, **principalement le vaporeformage qui produit à 900°C** dans un premier temps un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, à partir de méthane et d'eau. Suit une réaction du gaz à 300°C avec un rendement d'environ 70%. Enfin il faut procéder à la purification de l'hydrogène en la séparant du dioxyde de carbone produit lors de la seconde phase. Il existe également la possibilité d'un reformage par oxydation. Les deux solutions sont très émettrices de CO₂ !

Ainsi un véhicule qui roulerait à l'hydrogène fabriqué ainsi serait plus polluant en termes de CO₂ qu'un véhicule essence !

➤ Production centralisée Unité de vapo-reformage Jusqu'à 1000 kg H₂ /h



➤ Production sur site Électrolyse basse température Jusqu'à 100 Nm³/h (= 9 kg H₂)

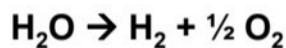


L'électrolyse de l'eau, une solution potentiellement propre

L'autre voie pour produire de l'hydrogène est l'électrolyse de l'eau. Elle consiste à faire circuler un courant entre une anode et une cathode à une température de 80°C sous une pression de 100 bars. Le procédé a un rendement d'environ 70%. Il existe également des électrolyses en milieu alcalin et des électrolyses à haute température.



➤ Première électrolyse de l'eau remonte à 1801 par Nicholson et Carlisle



$$\Delta G^0 = -RT \ln K = -nFE^0$$

$$\Delta G^0 = 237 \text{ kJ/mol}$$

$$\Rightarrow E^0 = 1.23 \text{ V at } 298 \text{ K}$$

• Différents électrolytes

- Solutions Alcalines (KOH)
- Membranes polymères échangeuses de protons (Nafion)



Dans les cellules industrielles :

Tension = 2 V (pour compenser les pertes ohmiques aux électrodes)

Température 80°C, Pression 100 bars → efficacité atteignant 70-80 %

La solution de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est de très loin la plus écologique, pour autant que l'électricité consommée soit décarbonée. Et c'est là que le bas blesse. Car aujourd'hui la production mondiale d'électricité repose sur les énergies fossiles. Ainsi développer l'hydrogène comme alternative à l'électrification ou en avance de phase est un non-sens, car la bataille pour la réduction des émissions de CO2 n'est pas à projeter dans le futur mais à inscrire dans le présent.

L'hydrogène, un complément de l'électricité décarbonée

De fait, Hydrogène et électricité sont liés réciproquement par l'électrolyse et la pile à combustion. L'hydrogène peut ainsi participer d'un monde sans combustion dégageant du CO2, un monde électrique avec des centrales de production décarbonée avec l'appui de l'hydrogène comme mode de stockage.

Car si l'hydrogène est fabriqué par électrolyse à des moments où la production d'électricité surpasse la consommation, alors on voit se dessiner une solution viable à long terme par l'émergence d'une capacité de stockage. Laquelle molécule d'hydrogène pourra lors des pointes de consommation électrique être consommée pour fabriquer à son tour la quantité d'électricité manquante. Certes ce cycle est couteux puisque cette double transformation consomme de l'énergie dans des proportions importantes (quasiment la moitié), mais il a le mérite de ne pas émettre de CO2.

La baisse des coûts de production par électrolyse de l'hydrogène dira s'il y a un avenir ou non pour ce vecteur énergétique.

Cela dépendra également de l'évolution des coûts des autres modes de stockage de l'électricité, comme les batteries notamment.

En résumé, l'hydrogène est prometteur mais n'est assurément pas la panacée universelle. Car en matière d'énergie, il n'existe pas de miracle. Raison de plus pour l'utiliser avec parcimonie.

