

# L'HYDROGÈNE, UNE SOURCE D'ÉNERGIE POUR LE FUTUR

Anthony Pichard, Odile Garreau, Jean-Claude Bernier

---

D'après l'article *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique* de Pascal Mauberger publié dans « Chimie et changement climatique » EDP Sciences, 2016, ISBN : 978-2-7598-2035-1

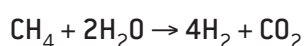
## L'HYDROGÈNE, L'ÉNERGIE DE DEMAIN ?

Le changement climatique nous confronte à deux défis majeurs : le premier est de pouvoir répondre à la hausse de la consommation énergétique mondiale en lien avec l'augmentation de la population, le deuxième est de limiter l'impact de l'activité humaine sur le climat. Il faut donc limiter les émissions de gaz à effet de serre (1) dans l'industrie, dans le transport et dans la production de l'énergie.

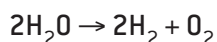
L'utilisation de l'hydrogène peut apporter des solutions. Pour simplifier, on utilise dans cet article le mot **hydrogène** pour désigner les différentes formes sous lesquelles on peut le trouver : dihydrogène, ion hydrogène... L'hydrogène est massivement produit et utilisé depuis plus d'un siècle dans l'industrie : dans la pétrochimie, la synthèse d'engrais, la métallurgie, la production du verre, l'agroalimentaire et la production des semi-conducteurs.

Cette ressource énergétique est extrêmement abondante, pratiquement illimitée sur Terre.

L'hydrogène peut être obtenu principalement par vaporéformage : on fait réagir du méthane avec de la vapeur d'eau pour obtenir du dihydrogène et du dioxyde de carbone, suivant la réaction chimique :



On peut également l'obtenir par électrolyse de la molécule d'eau (2), suivant la réaction chimique :



Ce deuxième procédé est plus intéressant pour les applications énergétiques : il ne produit pas

de dioxyde de carbone et l'eau est présente en abondance sur la Terre. La technologie de l'électrolyse est de plus parfaitement maîtrisée par les industriels. Enfin, il y a trois fois plus d'énergie dans un kilo d'hydrogène que dans un kilo de méthane ou d'essence mais 3 000 fois moins par litre d'où la nécessité de le comprimer.

## L'HYDROGÈNE, POUR RÉDUIRE LE GASPILLAGE ÉNERGÉTIQUE

### Valoriser les énergies renouvelables grâce à l'hydrogène

La production d'électricité avec les énergies renouvelables est intermittente : elle dépend de la météorologie et du régime des vents pour l'énergie éolienne, de l'ensoleillement pour le photovoltaïque. Il faut passer d'un système qui produit l'électricité à la demande, de manière centralisée, à un système dans lequel la production est diffuse sur tout le territoire et non calquée sur une consommation.

Cela entraîne des problèmes de stabilité des réseaux (3) et de stockage d'énergie car les énergies renouvelables produisent de l'électricité même quand il n'y a pas de consommateur. Cela illustre le fait que le système ne fonctionne pas précisément comme on le voudrait et qu'il peut conduire à un gaspillage sur nos réseaux énergétiques.

Pour éviter le gaspillage des surplus de production d'électricité, on peut envisager la synthèse d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Le dihydrogène ainsi obtenu peut avoir différents usages :

- ▶ être réutilisé dans l'industrie ;

- ▶ être injecté dans les réseaux de gaz de ville, le « *power to gas* », ce qui est une manière de stocker de l'énergie éolienne ou photovoltaïque sous forme gazeuse [4] ;
- ▶ alimenter des véhicules électriques.

### Stocker l'énergie sur du long terme

S'il s'agit de stocker de l'énergie électrique sur de courtes durées, les batteries sont très efficaces : elles permettent de stocker des quantités d'énergie relativement modestes pendant quelques heures [5]. Si on veut stocker sur plusieurs jours voire plusieurs semaines, les batteries atteignent leurs limites pour des problèmes d'autodécharge, de quantité, de volume et de masse utilisée. Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) sont aujourd'hui une solution [3] mais elles ne conviennent pas pour tous les besoins. L'utilisation de l'hydrogène est donc complémentaire : on pourra stocker d'importantes quantités d'énergie sous cette forme et les conserver sur une longue durée (Figure 1).

### Le « *Power to gas* » : stocker de l'énergie grâce à l'hydrogène

La possibilité de valoriser les surplus d'énergie par les réseaux de gaz a été démontrée par l'usine de Falkenhagen en Allemagne qui utilise un procédé appelé « *Power to gas* ». Il consiste à utiliser de l'énergie électrique produite grâce aux éoliennes et à la transformer en hydrogène par électrolyse. L'hydrogène est ensuite injecté dans les réseaux de gaz naturel. Le gaz ainsi récupéré peut être à nouveau utilisé pour l'industrie, le chauffage ou

pour produire d'électricité en fonction des besoins (Figure 2) [6].

En France, les réseaux de transport de gaz disponibles ne sont pas utilisés au maximum de leur capacité. Cela est dû à une demande de gaz en diminution, notamment grâce à une meilleure efficacité énergétique du chauffage des bâtiments. En impliquant ces réseaux dans un processus comme le « *Power to gas* », on pourrait les utiliser pour stocker de l'énergie en sollicitant moins le réseau électrique de plus en plus saturé.

## SE DÉPLACER EN VÉHICULE ÉLECTRIQUE À HYDROGÈNE

### Batterie ou hydrogène ?

Pour diminuer l'émission de gaz à effet de serre des transports, on cherche à développer les véhicules électriques. Le problème à résoudre dans leur conception est la production et le stockage de l'électricité. On utilise actuellement des batteries qui fonctionnent très bien sur de petits trajets, mais présentent quelques inconvénients : une autonomie qui reste limitée (200 à 350 km) et un temps de recharge qui diminue mais reste encore long. Par exemple, un trajet Paris-Lyon avec un véhicule électrique du type Zoe nécessiterait de s'arrêter plusieurs fois pendant quelques heures afin de recharger.

En utilisant des véhicules électriques à hydrogène, le rechargement en hydrogène sous 350 bars de pression pourrait s'effectuer en quelques minutes, pour une autonomie plus grande (500 à 600 km),

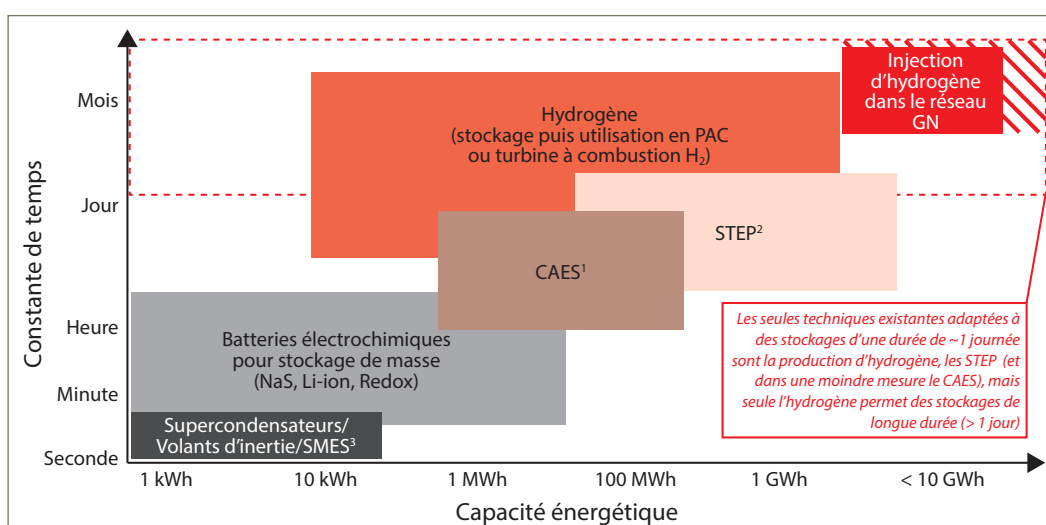


Figure 1 – Capacité énergétique et constante de temps des différentes solutions de stockage de l'électricité. Des compromis sont à faire entre quantité d'énergie stockée et durée limite de stockage des différents moyens existants. L'hydrogène est la technologie la plus adaptée pour le stockage massif de longue durée ; à la différence des STEP, il ne peut pas stocker de très grandes quantités d'énergie, mais il permet une durée de stockage beaucoup plus longue. 1 : CAES [Compressed Air Energy Storage], stockage d'énergie par air comprimé ; 2 : STEP, Station de Transfert d'Énergie par Pompage ; 3 : SME [Superconduction magnetic energy storage], stockage d'énergie par supraconducteurs.



Figure 2 – Valoriser intelligemment les surplus d'énergie électrique par le « Power to Gas ». Cette technique consiste à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau grâce au surplus d'électricité générée par les énergies renouvelables, et de l'injecter dans le réseau de gaz naturel. Source : courtoisie AFHYPAC, Mcphy.

toujours sans émission de dioxyde de carbone. Le trajet Paris-Lyon serait donc bien plus simple.

Il y a ainsi complémentarité entre les véhicules à batterie pour les courtes distances et les véhicules à pile à hydrogène pour les trajets interurbains [7].

### Quelques véhicules utilisant l'hydrogène

À l'échelle des particuliers, les véhicules fonctionnant à l'hydrogène commencent à apparaître car

des piles à combustible performantes utilisant le dihydrogène sont développées. Les constructeurs proposent donc déjà différents modèles : Honda avec sa *Civic Clarity*, Hyundai avec son *YX35*, Toyota et sa *Mirai* (Mirai signifie « avenir » en japonais). Ils cherchent à répondre aux attentes des clients : des véhicules écologiques avec une autonomie suffisante (Figure 3).

En France, Renault produit la Kangoo ZE, à batteries avec un prolongateur d'autonomie à hydrogène. Elle fonctionne grâce à des batteries qu'il faut prendre le temps de recharger, mais le prolongateur à hydrogène lui permet de d'augmenter son autonomie (passant de 100 à 250 km) (Figure 4).



Figure 3 – Les véhicules du futur sont déjà là.



Figure 4 – Une Kangoo ZE.

Pour assurer le déploiement de véhicules à hydrogène en France et dans d'autres pays d'Europe, des infrastructures sont petit à petit mises en place comme les unités de production d'hydrogène et les stations de recharge. L'objectif à terme est de disposer d'un réseau européen avec des stations de rechargements présentes tous les 100 km environ.

À l'échelle des collectivités, on voit de plus en plus de grosses villes utiliser le transport par bus à hydrogène. Les bus ont besoin de puissances importantes et la capacité des batteries n'est pas suffisante pour assurer leur journée de travail. Avec l'hydrogène et ses réservoirs placés sur le toit du bus, on réalise un véhicule totalement non polluant et sans dégagement de dioxyde de carbone (Figure 5).



Figure 5 – Bus fonctionnant à l'hydrogène. Sources : wikipédia licence CC-BY-SA-3.0, Dynamicwork.

Dans le domaine de la manutention, l'hydrogène est de plus en plus utilisé dans des grands « centres logistiques » : des sites de milliers de mètres carrés où l'on n'arrête pas de déplacer des paquets dans le but de les livrer pour Coca-cola, Amazon, etc. Des dizaines, voire des centaines de chariots élévateurs fonctionnant initialement avec des batteries passent progressivement à l'hydrogène (Figure 6). Ce changement n'est pas forcément motivé par le développement durable, mais simplement par le fait que l'autonomie et la puissance sont meilleures, et le rechargement de ces chariots est beaucoup plus rapide. La rentabilité de ces centres logistiques est ainsi améliorée.



Figure 6 – Chariot élévateur fonctionnant à l'hydrogène. Sources : Air Liquide.

L'hydrogène représente une source d'énergie utilisable dès à présent et à développer dans un futur proche. Même si son utilisation ne permettra pas de résoudre tous les problèmes liés à la transition énergétique (8), les nombreux avantages qu'elle présente en font une ressource incontournable.

#### POUR EN SAVOIR PLUS

- (1) Énergie et effet de serre  
<http://www.mediachimie.org/node/2100>
- (2) Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau sur membrane acide  
<http://www.mediachimie.org/node/529>
- (3) La complexité du réseau et l'électricité verte  
<http://www.mediachimie.org/node/1323>
- (4) L'hydrogène vert au secours des renouvelables  
<http://www.mediachimie.org/node/1721>
- (5) Énergie en batteries. Des batteries pour la mobilité électrique  
<http://www.mediachimie.org/node/683>
- (6) Et revoilà l'hydrogène  
<http://www.mediachimie.org/node/1173>
- (7) Fonctionnement de la pile à combustible  
<http://www.mediachimie.org/node/1292>
- (8) De nouveaux véhicules automobiles pas très verts !  
<http://www.mediachimie.org/node/2315>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS  
 Odile Garreau, professeure de sciences physiques de lycée, agrégée de physique  
 Anthony Pichard, professeur de physique chimie  
 Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie