

HYDROGENE VECTEUR D'ENERGIE DE DEMAIN ?

FICHE TECHNIQUE.

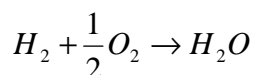
I. PRECISION SUR L'UTILISATION :

- Dans toutes les documents on sous-entend par **hydrogène**, la molécule dihydrogène H₂. On conservera le terme hydrogène dans la suite de cette fiche.
- L'hydrogène est **un vecteur d'énergie**, ce n'est pas une ressource énergétique en soit, c'est juste un moyen de transport et de stockage d'énergie.

II. INTERET :

Lors de sa combustion l'hydrogène libère de l'énergie mais pas de dioxyde de carbone. Sa combustion n'a donc aucun impact sur l'effet de serre

III. REACTION :



IV. QUANTITE D'ENERGIE PRODUITE :

Maximum possible (si l'eau produite est à l'état liquide)=**12.7kJ par Litre** (dans les conditions normales de température et de pression CNTP, P=1013hPa et T=0°C)

Soit : Une énergie de **3.52Wh par Litre** dans les CNTP.

Sachant qu'il y a 89,2 mg de d'hydrogène dans 1L dans les CNTP. L'énergie est de **39,4 kWh par kg** d'hydrogène ou **142 MJ par kg** d'hydrogène.

(source AFH2 : http://www.afh2.org/archive/fiche_2_1.pdf)

On peut comparer la quantité d'énergie produite pour une automobile (tableau n°1 du document ci-dessous) :

Coût de revient au kilomètre parcouru des filières hydrogène

	Consommation (MJ/100 km)	Coût du carburant (€/GJ)	Coût (€/100 km)
MCI + essence	224	8	1,8
MCI + gazole	184	8	1,5
MCI Hybride + gazole	141	8	1,1
PAC + H ₂ comprimé ex-gaz naturel	84	25	2,1
PAC + H ₂ comprimé ex-charbon	84	32	2,7
PAC + H ₂ comprimé ex-biomasse	84	37	3,1
PAC + H ₂ comprimé ex-électricité France	84	42	3,5

MCI : moteur à combustion.

PAC : pile à combustible.

Source : IFP d'après « Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context », EUCAR, JRC, CONCAWE, November 2003

Source : http://www.ifp.fr/IFP/fr/fichiers/cinfo/IFP-Panorama04_11-HydrogeneVF.pdf

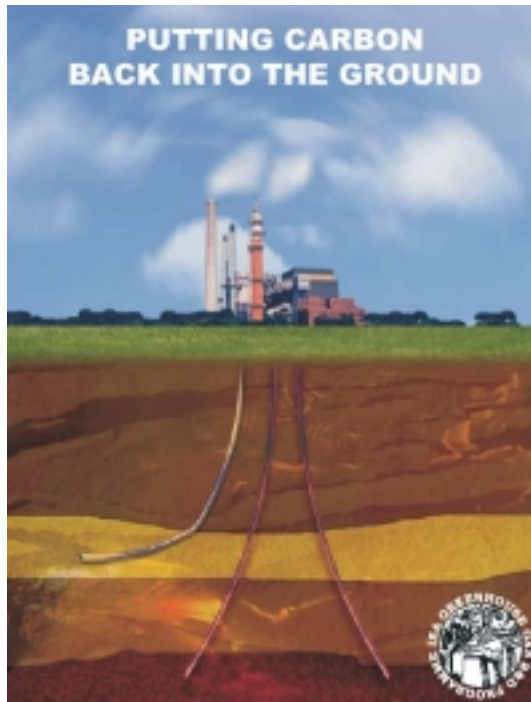
V. MOYENS DE PRODUCTION.

- **Production industrielle à partir de combustibles fossiles**
C'est la méthode la plus répandue de production de H₂. c'est celle utilisée par les industriels

<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/031a033baudouin.pdf>

Attention : la production d'hydrogène à partir du combustible fossile s'accompagne de gaz à effet de serre CO₂, qu'il faut séquestrer. C'est à dire envoyer dans un réservoir naturel

<http://www.brgm.fr/domaines/séquestrCO2.htm> Biologique



Source : <http://www.co2net.com/>

- **Production embarquée à partir de combustibles fossiles** (dans une automobile par exemple):
<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/034a036junker.pdf>

- **Electrolyse.**

C'est un des moyens les plus faciles à mettre en œuvre. On réalise la réaction de décomposition de l'eau en apportant de l'énergie électrique



Electrolyseur pédagogique couplé à des cellules solaires.

Source : P.J.

Il n'y a pas de production de gaz à effet de serre. Le rendement d'un électrolyseur industriel est d'environ 60% (source CUEPE), 30% pour l'électrolyseur pédagogique. C'est à dire que seulement l'hydrogène produit correspond à 30% de l'énergie consommée.

http://www.afh2.org/archive/fiche_3_2_1.pdf

- **Cycle thermochimique :**

C'est la réalisation de réaction de décomposition de l'eau en H₂ et O₂ (elle se fait spontanément à 4500°C.). Elle peut se faire à des températures plus basses grâce à des cycles de réactions.

C'est un moyen de production prometteur, il ne s'accompagne pas de gaz à effet de serre et le coût de production est moins élevé que pour l'électrolyse.

<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/037a041grastien.pdf>

http://www.afh2.org/archive/fiche_3_2_2.pdf

Cette méthode peut être couplée à un réacteur nucléaire pour produire de l'hydrogène en grande quantité et à faible coût

- **Utilisation de la biomasse.**

Dispositif en cours d'étude par le CEA et l'IFP.

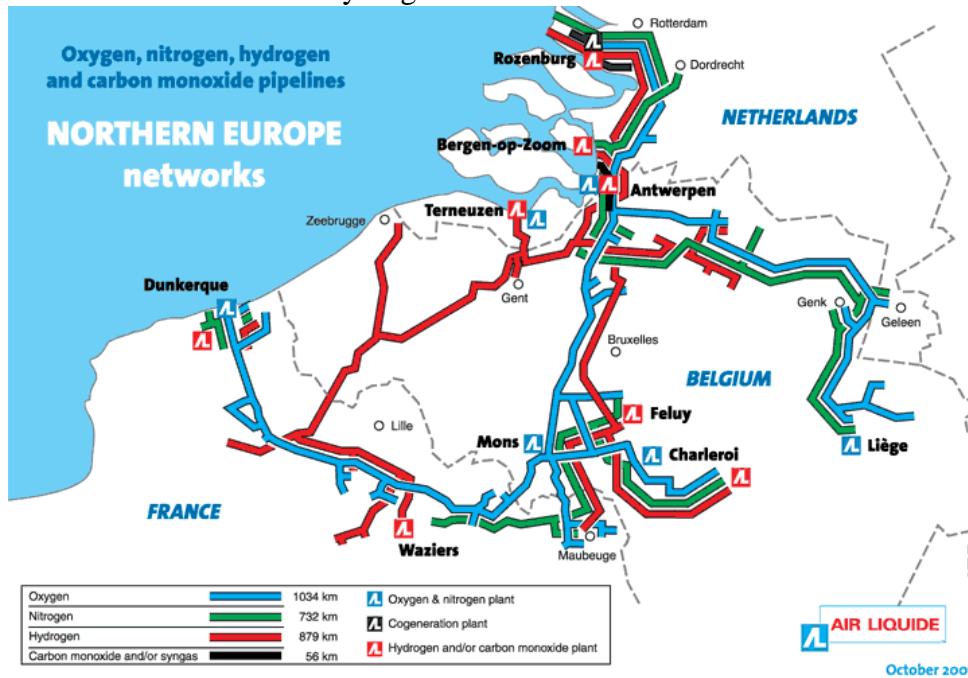
<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/042a046seiler.pdf>

- **Photolyse de l'eau.**

En cours de développement à l'aide de cellules photo électrochimiques ou à l'aide d'enzymes les hydrogénases. Voir : <http://www.ieahia.org/accomplishments.html#photoelectrolytic>

VI. MOYENS DE DISTRIBUTION.

Il existe un réseau de distribution industriel d'hydrogène



Source : air liquide.

La construction d'un réseau complet d'environ 12000 stations services à hydrogène coûterait de 10 à 15 milliard d'euros. (source : Steven Ashley, Pour la science, avril 2005

<http://www.pourlascience.com/index.php?ids=IDBuTonpJmxSEIVsqEyv&Menu=Pls&Action=3&idn3=4444>

Ce qui d'après l'auteur « est dérisoire en comparaison ... de l'installation d'un réseau de câble de télévision. »

VII. STOCKAGE.

Le stockage de l'hydrogène est délicat. C'est un gaz explosif. Les moyens les plus sûrs sont les plus lourds. La façon la plus simple est de stocker l'hydrogène sous pression. Il faut alors prendre garde aux problèmes de sécurité que cela engendre.

- Hydrures métalliques

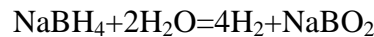
Un des moyens les plus utilisés est le stockage par hydrures métalliques. L'hydrogène est absorbé par la structure métallique. C'est un moyen sûr mais lourd.



Réservoir en hydruure métallique, capacité 30L d'hydrogène. Source : <http://www.fuelcellstore.com>

- Le borohydrure de sodium

Certains industriels utilisent le borohydrure de sodium pour stocker l'hydrogène. C'est un dérivé du Borax qui libère l'hydrogène en réagissant avec de l'eau.



http://www.afh2.org/archive/fiche_9_1.pdf

D'après les promoteurs de ce mode de stockage le borohydrure de sodium n'est ni inflammable, ni explosif, facile à transporter. Il faut cependant éviter tout contact avec l'eau.

Cette technologie est déjà utilisée par des constructeurs automobiles.



Source : <http://www.psa-peugeot-citroen.com>

- Les autres technologies

D'autres moyens prometteurs sont à l'étude : les nanotubes de carbone, l'hydrogène liquide, hydrates d'hydrogène, glace sous pression.

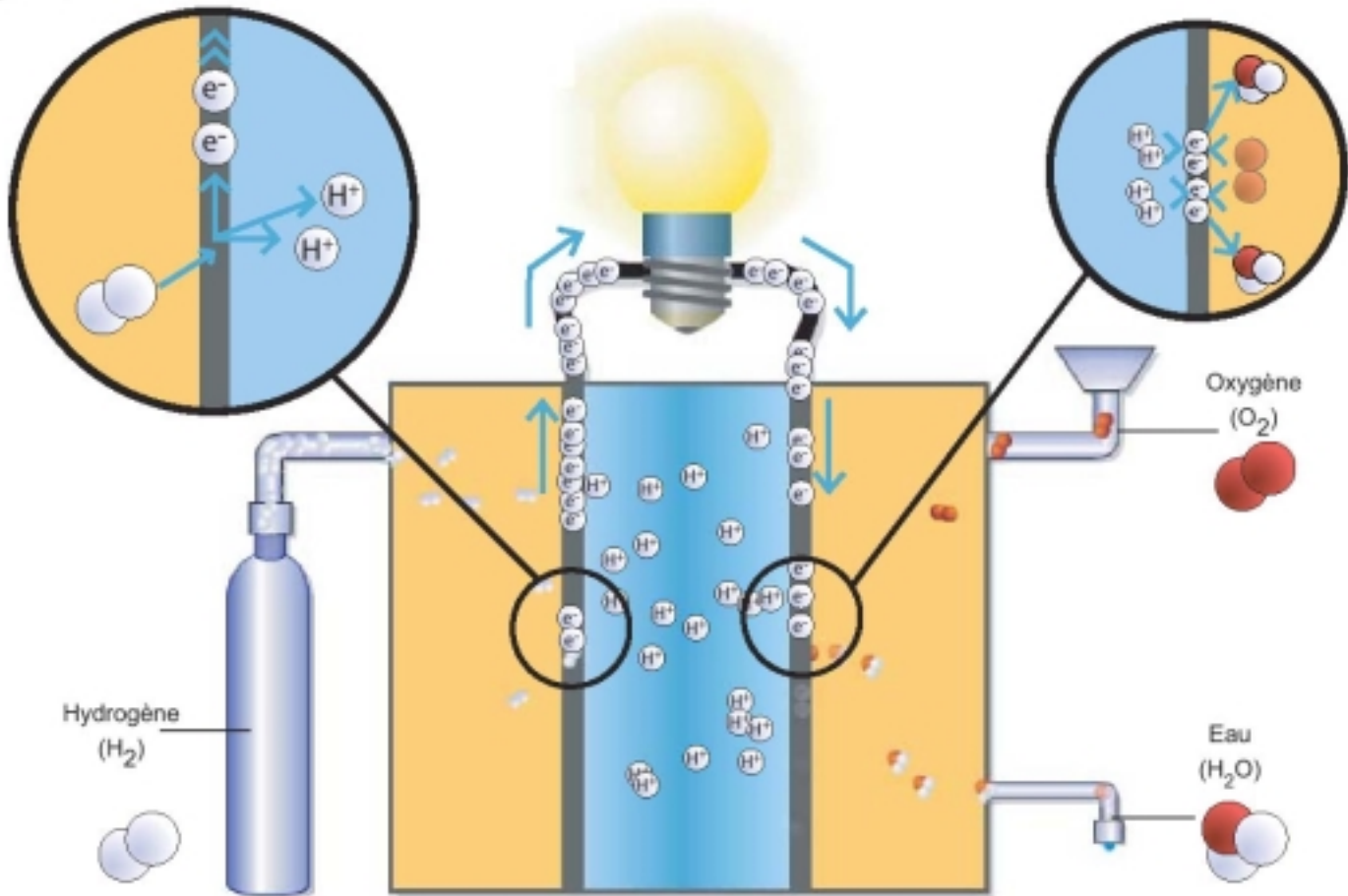
<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/056a060moysan.pdf>

http://www.afh2.org/archive/fiche_4_4.pdf

VIII. PILE A COMBUSTIBLE

- Fonctionnement.

La réaction de synthèse de l'eau se fait sur deux électrodes. La première libère des électrons la deuxième les consomme. Le transport des électrons créé un courant à l'extérieur de la pile et fourni ainsi de l'énergie électrique.

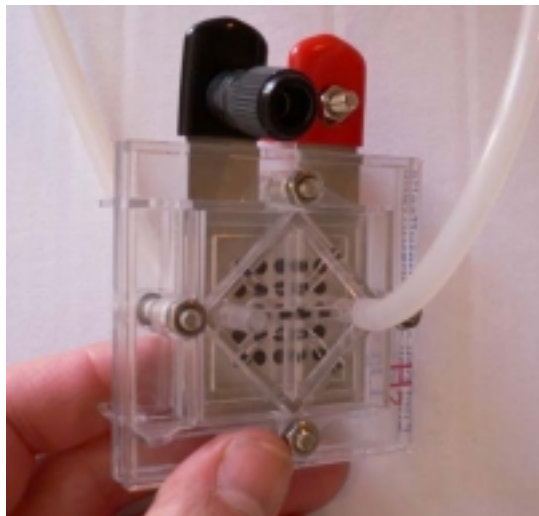


Source : http://www.cea.fr/fr/pedagogie/animations/vImprimable/pile_combustible1et2.pdf

Dans une pile a combustible, deux parties sont relativement coûteuses: les électrodes en platine et la membrane perméable échangeuse de protons.

- Les piles pédagogiques

Elles fonctionnent à température ambiante, de faible puissance (1Watt), on peut faire fonctionner un petit moteur et mesurer son rendement de l'ordre de 20%.



Vue d'une pile pédagogique. Source : P.J.



Montage pour mesurer le rendement de la pile. Source : P.J.

- **Piles industrielles.**

Différents types de piles à haute température ou à température ambiante peuvent être utilisées. Les différentes technologies sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Type de pile ²	Electrolyte	T (°C)	Domaine d'utilisation
Alcaline (AFC)	potasse (liquide)	80	Espace, transports. Gamme : 1 - 100 kW
Acide polymère (PEMFC et DMFC)	polymère (solide)	80	Portable, transports, stationnaire Gamme : 1W - 1 MW
Acide phosphorique (PAFC)	acide phosphorique (liquide)	200	Stationnaire, transports Gamme : 200 kW - 10 MW
Carbonate fondu (MCFC)	sels fondus (liquide)	650	Stationnaire Gamme : 500 kW - 10 MW
Oxyde solide (SOFC)	céramique (solide)	700 à 1000	Stationnaire, transports Gamme : 1 kW - 10 MW

Source : http://www.afh2.org/archive/fiche_5_2_1.pdf

Actuellement il y a environ 800 véhicules dans le monde équipés d'une pile à hydrogène. L'ensemble est référencé sur le site de l'association française de l'hydrogène. http://www.afh2.org/index.php?page=memento_fiches

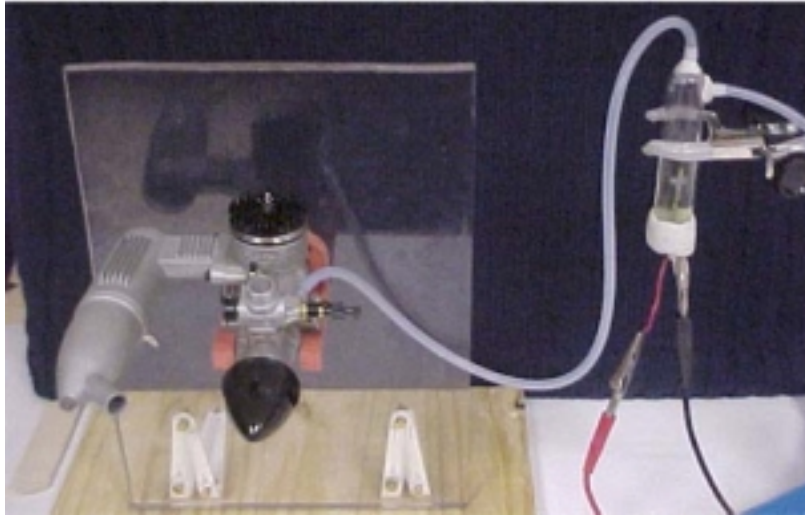
- **Moteurs thermiques à hydrogène.**

Le rendement est moins bon que pour une pile. Cependant, il est facile d'adapter un moteur thermique à la combustion de l'hydrogène.

BMW est le seul constructeur automobile à s'intéresser à cette technologie.



Source : http://www.moteurnature.com/actu/2004/bmw_h2r_hydrogene_de_record.php



L'expérience peut être également réalisée sur un moteur de modèle réduit.
Source : P.J.

IX. IMPLANTATION DE L'HYDROGENE A L'ECHELLE D'UN PAYS : L'EXEMPLE ISLANDAIS

L'Islande a lancé un vaste programme d'étude sur l'utilisation de l'hydrogène dans les transports. Le but est de ne plus dépendre des importations d'énergies fossiles L'hydrogène est produit à partir de l'énergie géothermique. Tous les moyens de transport sont à l'étude du bus à la bicyclette



Source : <http://www.newenergy.is/newenergy/en/>

X. BIBLIOGRAPHIE :

Article sur les voitures à pile à hydrogène :

Pour la science avril 2005 :

<http://www.pourlascience.com/index.php?ids=IDBuTonpJmxSEIVsqEyv&Menu=Pls&Action=3&idn3=4444>

La recherche octobre 2002

Les clefs du CEA n°50/51 : <http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs2.asp>

L'association française de l'hydrogène : <http://www.afh2.org/index.php?page=accueil>

En anglais avec des documents très détaillés : <http://www.ieahia.org/>

Il y a l'exemple d'un particulier Monsieur Friedly qui utilise l'énergie solaire pour produire du dihydrogène pour son minibus : <http://www.ieahia.org/pdfs/chapter2.pdf>