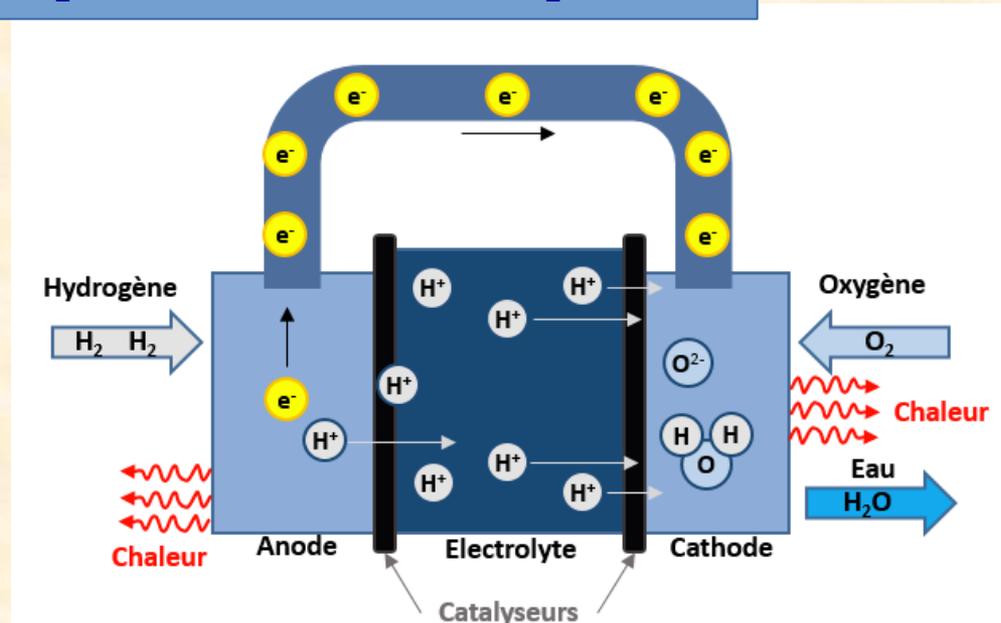
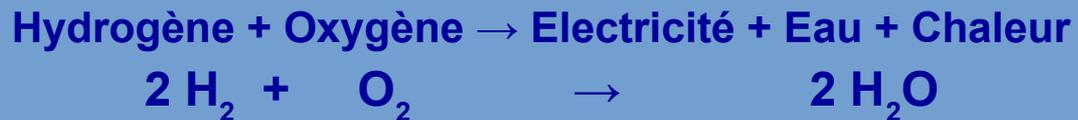


CH2-6 La pile à combustible

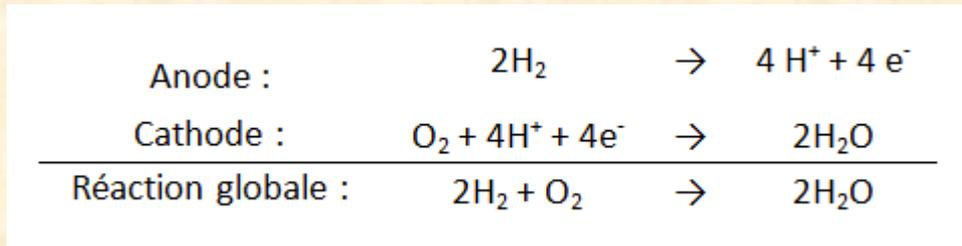
Une **pile à combustible (ou pile à hydrogène)** est un générateur électrochimique d'énergie permettant de transformer directement l'énergie chimique d'un combustible (hydrogène, hydrocarbures, alcools,...) en énergie électrique sans passer par l'énergie thermique.

Il repose sur une **réaction chimique simple** :



Le principe de la pile à combustible n'est pas nouveau, il a été mis en évidence il y a plus de 150 ans par deux chercheurs, Christian Friedrich Schönbein et Sir William Grove.

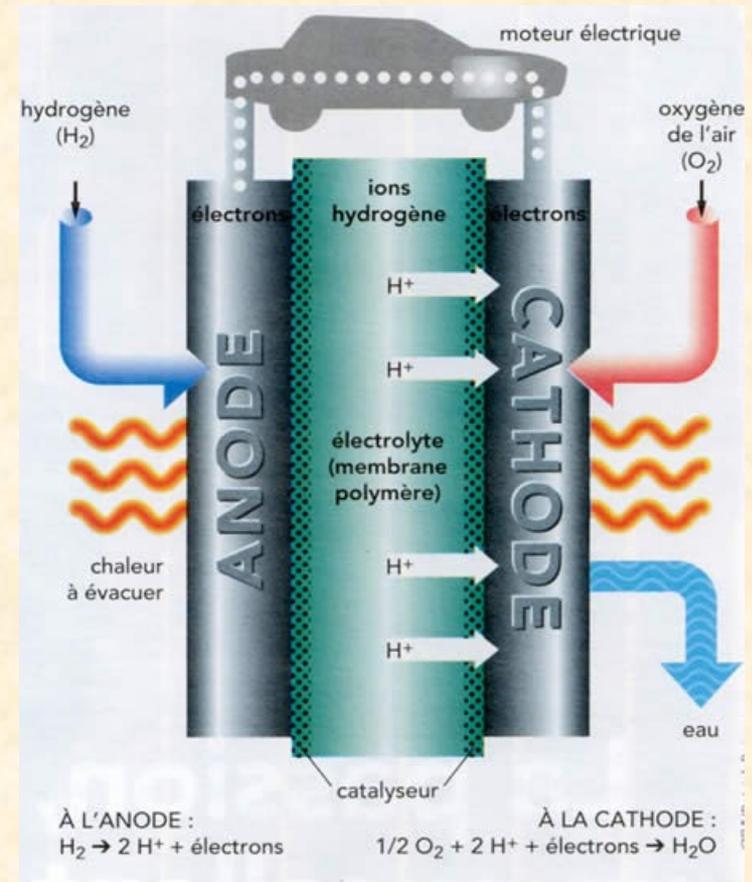
CH21-1 La pile à combustible



Pour mettre en œuvre cette réaction, on dispose de deux électrodes l'**anode** et la **cathode** séparées par un **électrolyte** (milieu bloquant le passage des électrons mais laissant circuler les ions). Cette réaction est déclenchée en utilisant un **catalyseur**, en général du platine.

A la cathode, pôle **positif** de la pile, le comburant mis en jeu est toujours le **dioxygène du couple** O_2 (g) / H_2O (l), selon la demi-équation électronique : O_2 (g) + 4 H^+ (aq) + 4 e^- = 2 H_2O (l)

A l'anode, pôle **négatif** de la pile, le combustible utilisé est le **dihydrogène H_2** du couple H^+ (aq) / H_2 (g), selon la demi-équation électronique : H_2 (g) = 2 H^+ (aq) + 2 e^-



Le dihydrogène et le dioxygène utilisés peuvent être fabriqués par électrolyse de l'eau. On peut aussi utiliser le dioxygène de l'air. Lors de l'électrolyse de l'eau les réactions qui se produisent aux électrodes sont inverses de celles de la pile.

CH21-1 La pile à combustible

Le rendement de conversion

Le rendement de conversion en énergie électrique varie selon le type de pile et est généralement supérieur à 50 %. L'énergie non convertie en énergie électrique est émise sous forme de chaleur et est évacuée sous forme d'eau chaude ou de vapeur. Mais alors que dans les grandes centrales de production d'électricité la chaleur est perdue, ici elle est valorisable.

Machines Thermiques



0.3
à 3 Kg/Kw

Piles à Combustible



1 Kg/kw
à
3 Kg/kw

Rendement Maximum

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Rendement Maximum

$$\eta = \frac{TENSION_{travail}}{TENSION_{max}}$$

Turbine à vapeur

Source chaude: Température de travail $T_1 = 675 \text{ °K}$

Source froide: Température des gaz condensés $T_2 = 325 \text{ °K}$

$$\eta = \frac{675 - 325}{675} = 0.52 = 52\%$$

Exemple de Rendement Maximum
d'une Pile à Combustible à 80 °C

Tension de travail $V_1 = 1.18 \text{ V}$

Tension maximum $V_2 = 1.47 \text{ V}$

$$\eta = \frac{1.18}{1.47} = 0.80 = 80\%$$

CH2-6 La pile à combustible

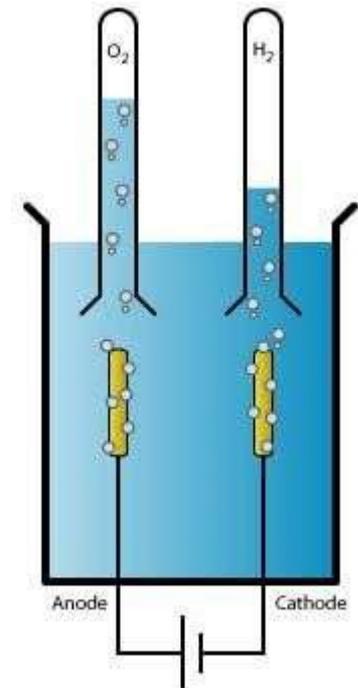
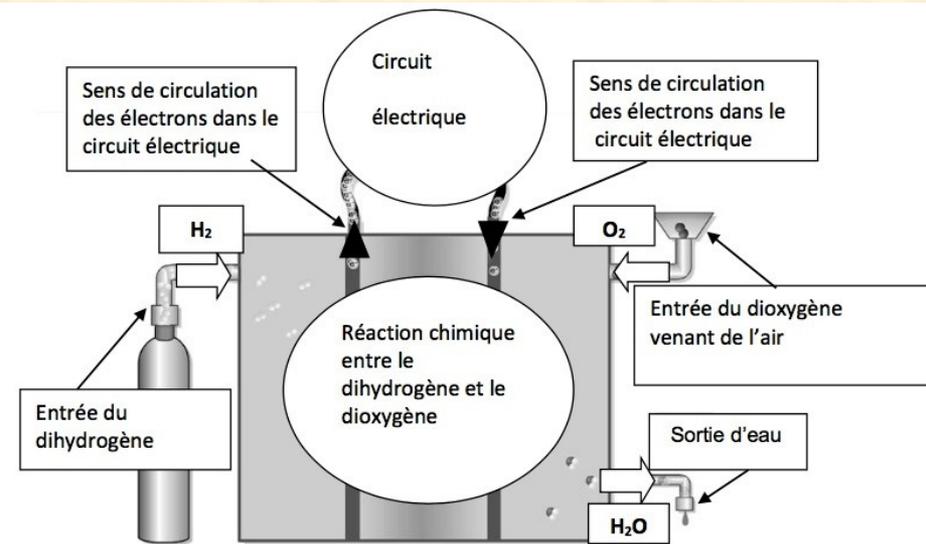
L'hydrogène :

L'élément hydrogène est extrêmement abondant sur Terre, dans l'eau des lacs, des rivières et des océans ainsi que dans les combustibles fossiles, c'est le constituant essentiel de notre Univers mais il n'existe pas à l'état libre. Le dihydrogène n'est pas considéré comme une source d'énergie mais comme un moyen de transporter l'énergie puis qu'il faudra le produire à partir d'une source primaire.

Production de l'hydrogène

L'hydrogène peut être produit de plusieurs façons : l'action de la vapeur sur du carbone à haute température, le craquage des hydrocarbures par la chaleur, le craquage de la biomasse par la chaleur, l'action de la soude ou de la potasse sur l'aluminium, l'électrolyse de l'eau. Certains micro-organismes (micro-algues, cyanobactéries et bactéries) sont également capables de produire de l'hydrogène, à partir d'énergie solaire ou de biomasse, solution économique qui de plus résoudrait le problème du traitement des déchets organiques.

L'hydrogène brut disponible dans le commerce est généralement fabriqué par décomposition du gaz naturel.



CH2-6 La pile à combustible

Le stockage de l'hydrogène.

Sous forme gazeuse l'hydrogène est stocké sous 700 bars. Mais cette compression a un coût. De plus, même comprimés à 700 bars, 4,6 litres d'hydrogène sont encore nécessaires pour produire autant d'énergie qu'avec 1 litre d'essence.

Le risque de fuite d'hydrogène doit être également pris en considération compte tenu du caractère inflammable et explosif de ce gaz dans certaines conditions. Or, en raison de la petite taille de sa molécule, l'hydrogène est capable de traverser de nombreux matériaux, y compris certains métaux.

Les réservoirs métalliques, utilisés actuellement, se révèlent encore coûteux et lourds au regard de la quantité de gaz qu'ils peuvent emporter. Des réservoirs non plus métalliques mais en matériaux **polymères** (de la famille des plastiques) sont en cours d'élaboration pour répondre à ces contraintes.

Propriétés chimiques	
Formule brute	H ₂ [Isomères]
Masse molaire²	2,01588 ± 0,00014 g/mol H 100 %,
Propriétés physiques	
T° fusion	-259,1 °C ³
T° ébullition	-252,76 °C ³
T° d'auto-inflammation	500 à 571 °C ¹
Point d'éclair	gaz inflammable ¹
Limites d'explosivité dans l'air	4-76 %vol ¹



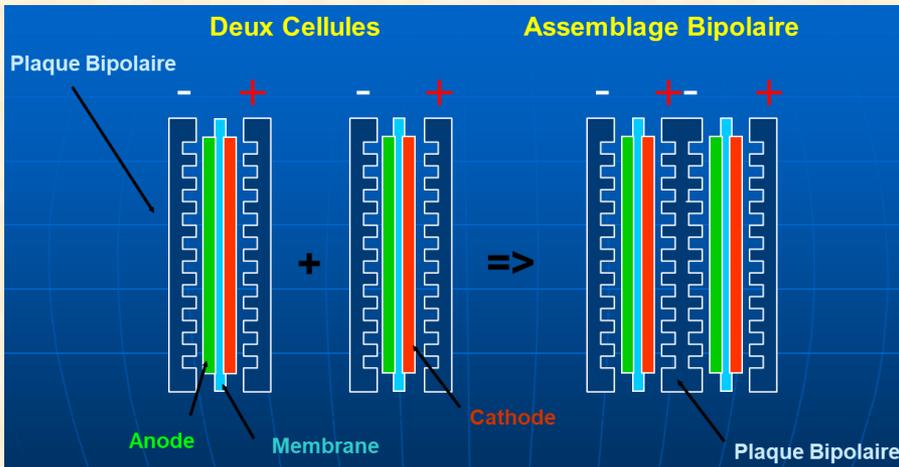
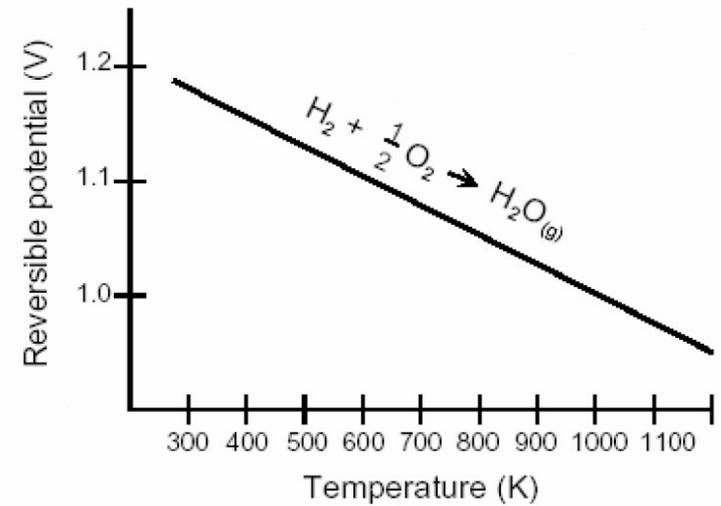
CH2-6 La pile à combustible

Un facteur limitant : La surface d'échange

La puissance d'un moteur est fonction de sa tension électrique et du courant absorbé.

La pile à combustible sera donc forcément d'un certain nombre de cellules en série pour augmenter la tension et d'une surface suffisante pour produire les charges électriques nécessaires au courant.

La surface des électrode et des membranes échangeuses de proton (H+) conditionnera la puissance du moteur. Le coût de cette membrane est à l'heure actuelle un obstacle économique au développement de cette technologie.



Structure de la Membrane Echangeuse d'Ions

1 nm

- $-SO_3^-$
- Proton
- H_2O

$$-[(CF_2-CF_2)_n-(CF_2-CF)_x]-$$

$$|$$

$$O$$

$$|$$

$$CF_2-CF-CF_3$$

$$|$$

$$O$$

$$|$$

$$CF_2-CF_2-SO_3H$$

Acide Sulfonique