

- Capacités exigibles :
- Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés.
 - Exploiter les équations d'une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser un bilan de matière dans le cas d'une pile à combustible.

Les piles à combustible sont utilisées dans les engins spatiaux, la propulsion des véhicules, en remplacement des moteurs à explosion, la production d'électricité domestique ou de loisirs (camping-car), l'alimentation des appareils électroniques portables, en remplacement des accumulateurs.

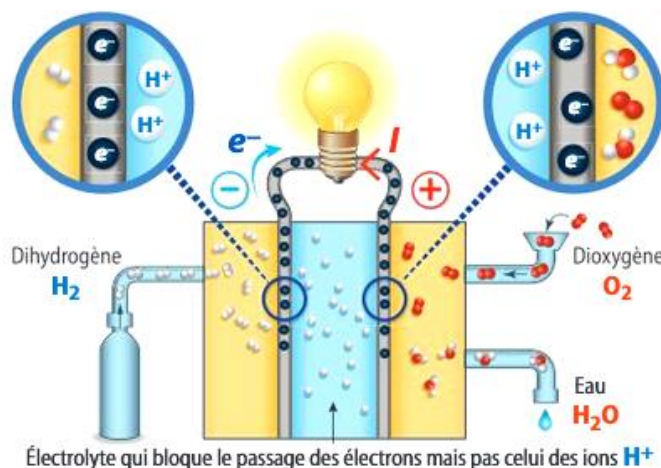
La voiture à hydrogène est une voiture électrique dont l'énergie est fournie par une pile à combustible. Cette dernière produit de l'électricité via une réaction chimique obtenue en combinant le dihydrogène stocké dans le réservoir de la voiture et le dioxygène présent dans l'air.

Certaines voitures à hydrogène possèdent deux réservoirs à haute pression (700 bars), d'une capacité totale de 122 litres de dihydrogène soit une masse de 5,0 kg. L'autonomie du véhicule est d'environ 500 km.

Quel est l'intérêt d'une pile à combustible dans le domaine des transports ? Est-il facile de stocker le dihydrogène dans le véhicule ? Est-ce dangereux ?

1 Principe de fonctionnement d'une pile à combustible

Le principe de fonctionnement de la pile à combustible a été inventé en 1839 par W. Grove. Le dispositif est continuellement alimenté en combustible, par exemple du dihydrogène dans une pile à hydrogène, et en dioxygène atmosphérique. De façon générale, le fonctionnement électrochimique d'une cellule élémentaire de pile à hydrogène peut être décrit selon le schéma ci-contre. Chaque cellule élémentaire est constituée de deux compartiments disjoints alimentés chacun en gaz réactifs dioxygène et dihydrogène. Les deux électrodes sont séparées par l'électrolyte, solution qui laisse circuler les ions. Du platine est inséré dans les deux électrodes poreuses.



Données :

Masse molaire de l'hydrogène : $M_H = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Dans les conditions usuelles de température et de pression, le volume molaire d'un gaz vaut $V_M = 24 \text{ L.mol}^{-1}$.

Les couples d'oxydoréduction mis en jeu dans la réaction sont $H^+_{(aq)}/H_{2(g)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$.

La **capacité** ou **quantité d'électricité maximale** disponible $Q_{\max}$: $Q_{\max} = I \times \Delta t$ avec Q en Coulomb (C), I en Ampère (A) et Δt en secondes (s).

Par ailleurs : $Q = n_{e^-} \times F$ avec n_{e^-} : la quantité de matière d'électrons pouvant être échangés (en mol) et $F = 96\,500 \text{ C.mol}^{-1}$.

L'**énergie totale** W **emmagasinée** par une pile de tension nominale U est donnée par la relation :

$$W = Q \times U \quad \text{avec } W \text{ en Joule (J), } Q \text{ en Coulomb (C) et } U \text{ en Volt (V).}$$

2 Réalisation de l'expérience

Protocole expérimental : (Respecter le code couleur : noir pour H_2 et rouge pour O_2)

- Mettre de l'eau distillée dans les cuves
- Plonger les deux cloches en évitant les bulles d'air
- Purger les tuyaux pour éliminer l'air : avec seringue, mettre de l'eau par les embouts fermés
- Connecter les tuyaux aux cloches
- Faire le 0 au niveau des deux cuves à l'aide seringue (attention au ménisque)
- Charge : brancher la pile à combustible au chargeur

ATTENTION : CHARGE MAXIMALE DE 2 MINUTES !

- Décharge : connecter directement le circuit électrique de la voiture à la pile

- 1. Noter vos observations lorsque la batterie est branchée sur la cellule. La cellule joue-t-elle le rôle de récepteur ou de générateur électrique ?
- 2. Noter vos observations lorsque la cellule est connectée à la voiture. La cellule joue-t-elle le rôle de récepteur ou de générateur électrique ?

3 Analyse détaillée de la pile à hydrogène

- 3. Préciser le type de réaction (oxydation ou réduction) ayant lieu à chaque électrode puis écrire les demi-équations électroniques associées pour chaque couple mis en jeu, **quand la pile débite (se décharge)**. En déduire le nom de chaque électrode.
- 4. En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors de la décharge de la pile.
- 5. En déduire l'intérêt écologique d'utiliser une pile à combustible.
- 6. Le « combustible » est le réactif oxydé dans la pile. Identifier cette espèce.
- 7. Indiquer pourquoi il est inutile de transporter le second réactif.
- 8. À partir des informations fournies dans le contexte, montrer que la quantité de matière de dihydrogène nécessaire pour parcourir 500 km avec ce véhicule vaut : $n(H_2) = 2,5 \times 10^3 \text{ mol}$.
- 9. En déduire la quantité de matière n_e des porteurs de charge ayant circulé dans le moteur électrique pour parcourir cette distance. Montrer alors que la capacité de la pile vaut $Q = 4,8 \times 10^8 \text{ C}$.
- 10. Sachant que la tension nominale (ou ici force électromotrice f_{em}) d'une pile à combustible est de $U = 1,23 \text{ V}$, en déduire l'énergie W disponible en MJ.
- 11. À partir de la réponse de la question 9, déduire le volume de dihydrogène nécessaire (dans les conditions usuelles de température et de pression) pour parcourir 500 km. Donner le résultat en L puis en m^3 . Un réservoir de ce type vous paraît-il réalisable ?

En s'aidant de l'annexe ci-dessous, répondre aux questions :

- 12. Expliquer pourquoi une pile à combustible est actuellement très chère.
- 13. Citer un problème auquel est confrontée la technologie des piles à hydrogène.
- 14. Proposer une solution pour améliorer ou faciliter le stockage du combustible.

Annexe :

La fabrication des piles à hydrogène est très coûteuse, notamment à cause de la quantité non négligeable de platine nécessaire et au coût des membranes échangeuses d'ions.

Une autre des difficultés majeures réside dans la synthèse et l'approvisionnement en dihydrogène. Sur Terre, l'hydrogène n'existe en grande quantité que combiné à l'oxygène (H_2O c'est-à-dire l'eau), au soufre (sulfure d'hydrogène H_2S) et au carbone (combustibles fossiles de types gaz naturel ou pétroles). La production de dihydrogène nécessite donc soit d'utiliser des combustibles fossiles, soit de disposer d'énormes quantités d'énergie à faible coût, pour l'obtenir à partir de la décomposition de l'eau, par voie thermique ou électrochimique. De plus, le dihydrogène doit être comprimé dans des bouteilles à gaz (pression en général de 350 ou 700 bars) ou liquéfié ou combiné chimiquement sous forme de méthanol ou de méthane qui seront ensuite transformés pour libérer du dihydrogène. Les rendements énergétiques cumulés des synthèses du dihydrogène, de compression ou liquéfaction, sont généralement assez faibles.