

L'eau : ressource énergétique

Pile à combustible, production de dihydrogène

I La pile à combustible

Une pile à combustible est un générateur électrochimique qui transforme directement l'énergie chimique d'un réactif (dihydrogène...) en énergie électrique.

Pétrole contre dihydrogène

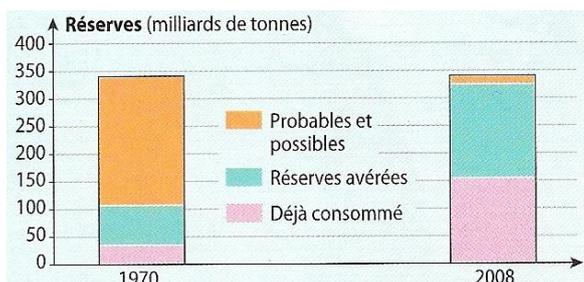
Lors de ces quarante dernières années, la répartition des réserves mondiales de pétrole entre ce qui a déjà été consommé et les réserves possibles s'est inversée (doc 1). Il reste très peu de réserves connues encore non exploitées et les industries dépendantes du pétrole, notamment les transports, doivent envisager des solutions de remplacement.

« Au Royaume Uni, les taxis vont devenir écologique dans les années à venir ! En 2008, les sociétés Intelligent Energy, spécialisée dans la technologie des piles à combustible, LTI vehicles (London Taxi International) et le bureau d'études Lotus Engineering ont noué un partenariat pour travailler ensemble sur un projet de taxis au dihydrogène (doc 2) devant être lancés en 2012 à Londres à l'occasion des Jeux Olympiques.

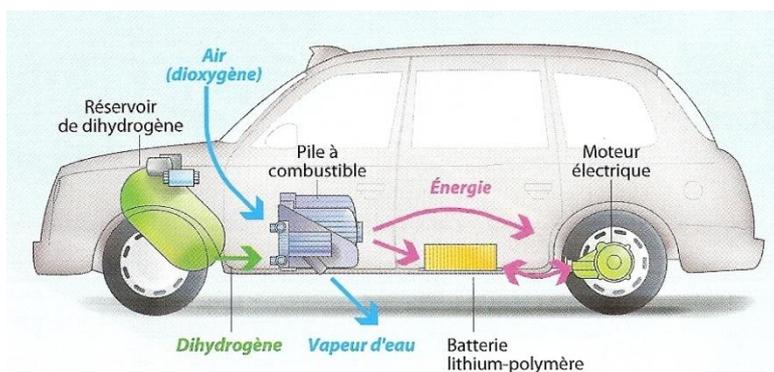
Le premier prototype de taxi au dihydrogène, baptisé Fuel Cell Black Cab, a été dévoilé en juin 2010. Ce prototype est équipé d'un moteur électrique, de batteries lithium-polymère et d'une pile à combustible à dihydrogène. Il ne rejette que de la vapeur d'eau quand il circule en zones urbaines. Son autonomie est de 400 km et sa vitesse maximale de 130 km/h.

Le prochain objectif de la ville de Londres est de proposer uniquement des taxis non polluants à l'usage d'ici 2020 dans la capitale britannique »

D'après www.caradisiac.com



document n°1



document n°2

Pourquoi l'industrie du transport doit elle trouver des modes de propulsion alternatifs au pétrole ?

Quel est le rôle de la pile à combustible dans le taxi ?

Quels sont les avantages annoncés du taxi londonien ?

Quels reproches pourrait-on lui faire ?

Principe de fonctionnement d'une pile à combustible

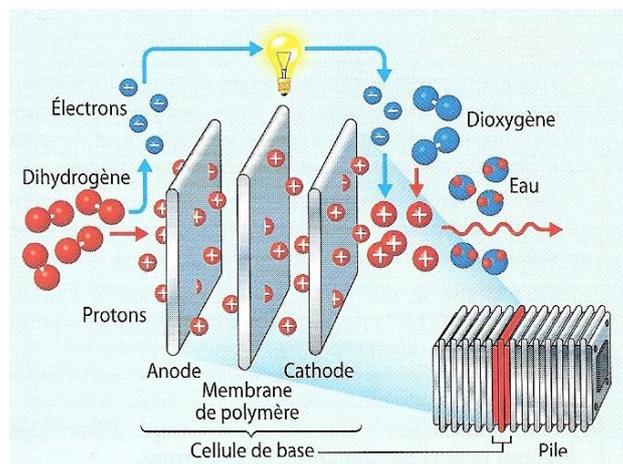
Une pile à combustible à membrane échangeuses d'ions (doc 3) est composée de deux électrodes minces et poreuses (anode et cathode) séparées par une membrane de polymère solide qui ne laisse passer que les protons. L'une des faces de chaque électrode est recouverte d'un catalyseur à base de platine. Les molécules de dihydrogène H_2 entrent dans la pile et parviennent à proximité du catalyseur, où elles se dissocient en électrons et en ions hydrogène H^+ . Les électrons suivent le circuit externe où ils alimentent un moteur (symbolisé par une ampoule sur le document), les protons traversent la membrane. Arrivés de l'autre côté, ils rencontrent des électrons et des molécules de dioxygène O_2 en présence de catalyseur ; des molécules d'eau sont synthétisées. Ce processus se produit simultanément au sein de nombreuses cellules dont la pile est composée, afin que la tension électrique recherchée soit atteinte.

D'après S. Ashley, *Voiture à hydrogène, la route sera longue*, Pour la Science, n°330, avril 2005

Ecrire la demi-équation de la réaction ayant lieu à l'anode
 Ecrire la demi-équation de la réaction ayant lieu à la cathode
 En déduire l'équation de la réaction chimique ayant lieu dans la pile à combustible

Sous quelle forme est libérée l'énergie issue de la réaction entre le dihydrogène et le dioxygène dans une pile à combustible ?

Quelle différence y a-t-il entre l'oxydation du dihydrogène dans une pile à combustible et la combustion du dihydrogène ?

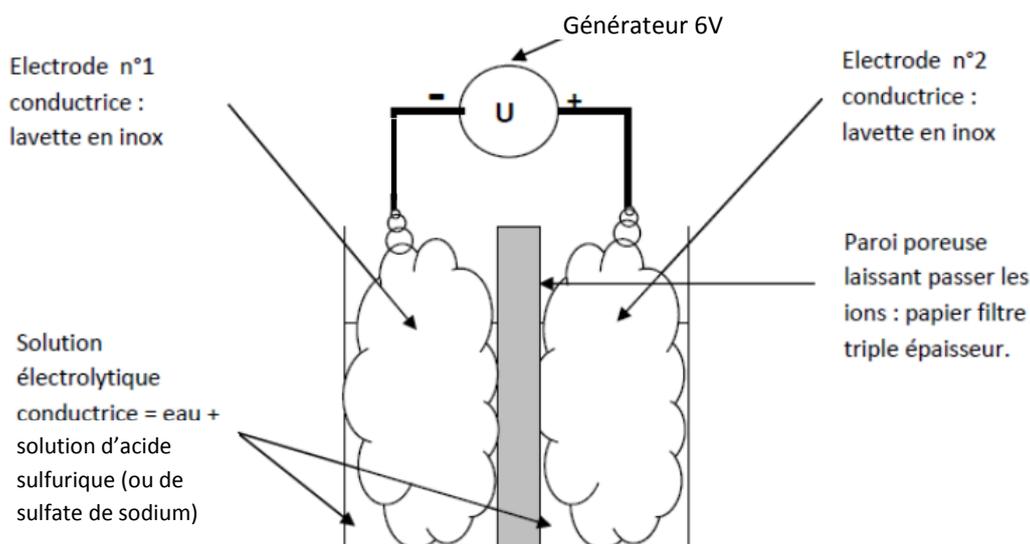


II Comment construire un modèle de pile à hydrogène au laboratoire ?

1) Production de dihydrogène.

Les piles à combustibles utilisent l'oxydation du dihydrogène H_2 . Cependant ce gaz n'existe pas à l'état natif sur Terre. Comment produire du dihydrogène au laboratoire ? Comment faire en sorte de pouvoir utiliser ce dihydrogène dans la pile ?

Dispositif :



Prévoir sur le schéma la nature des deux électrodes (anode et cathode) en justifiant et en complétant.

A partir de l'inventaire des espèces présentes dans la solution, écrire les demi-équations des réactions possibles à chaque électrode et les indiquer en-dessous. (Couples oxydant/réducteur : $O_2(g) / H_2O(l)$ $H_2O(l) / H_2(g)$)

Rajouter sur le schéma un voltmètre aux bornes de l'électrolyseur et un ampèremètre mesurant tous deux des grandeurs positives en précisant les natures et les positions de leurs bornes. Rajouter également un interrupteur.

On mesurera la tension aux bornes des deux électrodes.

- Réaliser le circuit complet. NE PAS ALLUMER TOUT DE SUITE LE GENERATEUR.
- Vérifier attentivement qu'il n'y a pas de contact direct entre les deux électrodes pour éviter un court-circuit !
- Allumer le générateur. Lire la valeur de l'intensité du courant et la noter et visualiser les électrodes.

Qu'observez-vous au niveau des électrodes après quelques secondes ?

Quel est l'intérêt d'avoir utilisé des électrodes ayant une forme aussi irrégulière ?

Déterminer le gaz formé sur l'électrode reliée à la borne - du générateur, et le gaz formé sur l'autre électrode.

Ecrire l'équation de la réaction globale associée à l'électrolyse.

Etablir le tableau d'avancement de l'électrolyse.

Exprimer la quantité d'électricité Q en fonction de la quantité de matière n_e d'électrons échangés lors de l'électrolyse.

Exprimer la quantité de matière en dihydrogène formé en fonction de la quantité de matière n_e d'électrons échangés lors de l'électrolyse. Puis calculer le volume de dihydrogène dégagé lors de l'électrolyse d'une durée de 8 min. Calculer de même le volume de dioxygène.

Données : Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (Volume molaire à 25 °C ; $V_m = 24,0 \text{ L/mol}$)

Pourquoi dit-on que la réaction ayant lieu lors d'une électrolyse est-elle « forcée » ?

2) Pile à hydrogène

- Eteindre et retirer le générateur du circuit précédent (garder le voltmètre).
- Peut-on parler de pile pour le montage réalisé ?
- Utiliser maintenant le multimètre en ampèremètre. Noter le sens du courant.

Faire un schéma complet du dispositif fonctionnant en pile. Le compléter en indiquant :

- Le sens du courant, et le sens de déplacement des électrons dans le circuit (ie dans les fils).
- En déduire les demi-équations électroniques ayant lieu sur chacune des électrodes.

Vous venez d'illustrer le principe de production d'électricité des taxis londoniens. Expliquer en quoi la pile à hydrogène ainsi formée est elle différente d'une véritable pile à combustible.

III Productions actuelles de dihydrogène

Document 1 : Utilisation du dihydrogène

« Si le dihydrogène n'est quasiment pas utilisé dans le domaine de l'énergie, il est une matière de base de l'industrie chimique et pétrochimique. Il est utilisé notamment dans la production d'ammoniac et de méthanol et pour le raffinage du pétrole ; il est également employé dans le secteur de la métallurgie, de l'électronique, de la pharmacologie ainsi que dans le traitement des produits alimentaires. Pour couvrir ces besoins, 50 millions de tonnes de dihydrogène sont déjà produits chaque année. Mais, si ces 50 millions de tonnes devaient servir à la production d'énergie, elles ne représenteraient que 1,5 % de la demande mondiale d'énergie primaire. Utiliser le dihydrogène comme vecteur énergétique suppose donc d'augmenter radicalement sa production »
D'après L'hydrogène, livret pédagogique n°12, CEA 2004.

Quelles sont les principales utilisations du dihydrogène ?

Pourquoi la production de dihydrogène doit elle être optimisée ?

Document 2 : Productions de dihydrogène - 1

La production de dihydrogène à partir de méthane (appelée conversion du méthane) est la plus répandue auprès des industriels pour les besoins de raffinage dans l'industrie pétrolière. Au cours de ce processus, la molécule de méthane CH_4 est brisée par la chaleur et la vapeur d'eau sur un catalyseur au nickel.

La réaction est dite « endothermique », c'est-à-dire qu'elle nécessite un important apport de chaleur (840-950 °C). Le monoxyde de carbone CO issu de cette première réaction est ensuite converti en CO_2 par adjonction d'eau. Il en résulte la production de dihydrogène et de dioxyde de carbone. Une troisième étape est la purification du dihydrogène sur tamis moléculaire.

Un autre procédé est utilisé pour traiter les carburants plus lourds comme le gazole, il s'agit de l'oxydation partielle. Cette opération s'effectue à plus haute température (1200-1500 °C) et sous forte pression (20 à 90 bars). L'hydrocarbure est oxydé en présence de dioxygène.

Les deux opérations suivantes sont identiques à celles de la conversion : conversion du CO et purification. Cette réaction est, elle, exothermique (c'est-à-dire qu'elle libère de la chaleur).

L'électrolyse de l'eau est la deuxième grande famille de méthodes d'extraction du dihydrogène disponible aujourd'hui. Elle est très marginale, moins de 1 % du dihydrogène produit, et réservée à la production de dihydrogène de très grande pureté.

Pour être rentable écologiquement et économiquement, l'électricité utilisée doit être bon marché et sans émission de CO_2

extrait du Rapport n°125 de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, dec 2005.

Document 3 : Productions de dihydrogène - 2

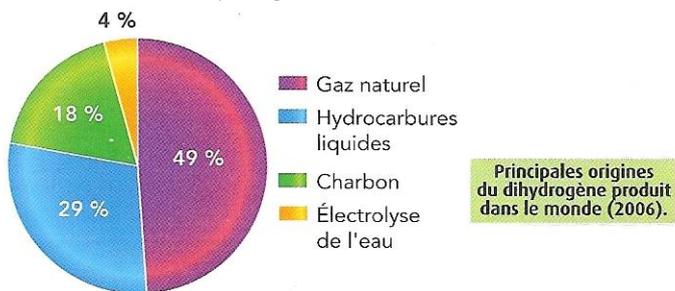
La conversion du méthane est la méthode la plus rentable mais elle rejette du dioxyde de carbone et le méthane n'est pas une ressource renouvelable.

Il est préférable d'utiliser des molécules issues de la biomasse. Cette technique est neutre en carbone puisque la quantité de dioxyde de carbone produit correspond à celle captée par les plantes grâce à la photosynthèse.

Le procédé le plus efficace est la pyrolyse (décomposition à la chaleur en l'absence de dioxygène) à haute température qui transforme la biomasse en gaz. Il libère du dihydrogène, du méthane, du dioxyde de carbone mais aussi du monoxyde de carbone. Ce dernier est toxique et doit être éliminé du mélange produit.

d'après V. Artero, L'hydrogène. Une énergie propre pour demain ?, Pour la Science, N°405, juillet 2011.

Document 4 : Le dihydrogène dans le monde.



A partir de quoi peut-on produire du dihydrogène ?

Pourquoi peut-il être intéressant de traiter les résidus lourds issus de la distillation des pétroles ?

Quels sont les avantages et les inconvénients des différents procédés produisant du dihydrogène ?

Document 5 : La plateforme Myrte

Cette plateforme située en Corse, près d'Ajaccio et inaugurée en 2012 a pour but de proposer une solution de stockage d'électricité sous forme de dihydrogène et de dioxygène produits par électrolyse de l'eau.

La production d'électricité nécessaire à l'électrolyse se fait grâce à des panneaux solaires.

Le dihydrogène et le dioxygène sont stockés à la pression de sortie de l'électrolyseur (de l'ordre de 35 bars).

L'énergie électrique sera ensuite restituée via une pile à combustible..

Quel est l'intérêt de stocker le dihydrogène sous pression ?

Quels intérêts présente la plate forme Myrte dans la production d'électricité ?