

Etude de système/Modélisation BTS 1

SOUS SYSTEME: Pile à combustible

**Durée : 4
Séquences**

**Fonctionnement et caractéristiques
d'une pile à hydrogène**



Domaine électrotechnique :

- Mise en œuvre d'une pile H₂
- Recherche documentaire sur le principe et ses applications

Domaine Physique appliquée :

- Etude du modèle du générateur.
- Modélisation de la consommation en H₂ en fonction du courant consommé.
- Etude du rendement énergétique.

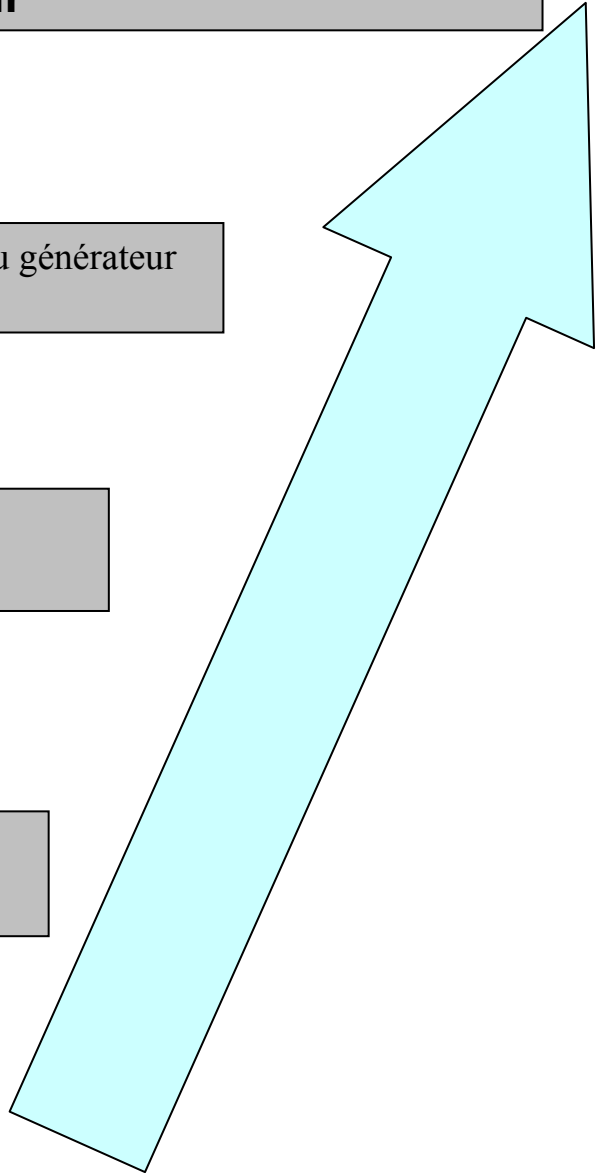
Structure du TP

Fonctionnement et caractéristiques d'un pont redresseur

Etude du rendement énergétique du générateur

Modèle du générateur

Mise en service



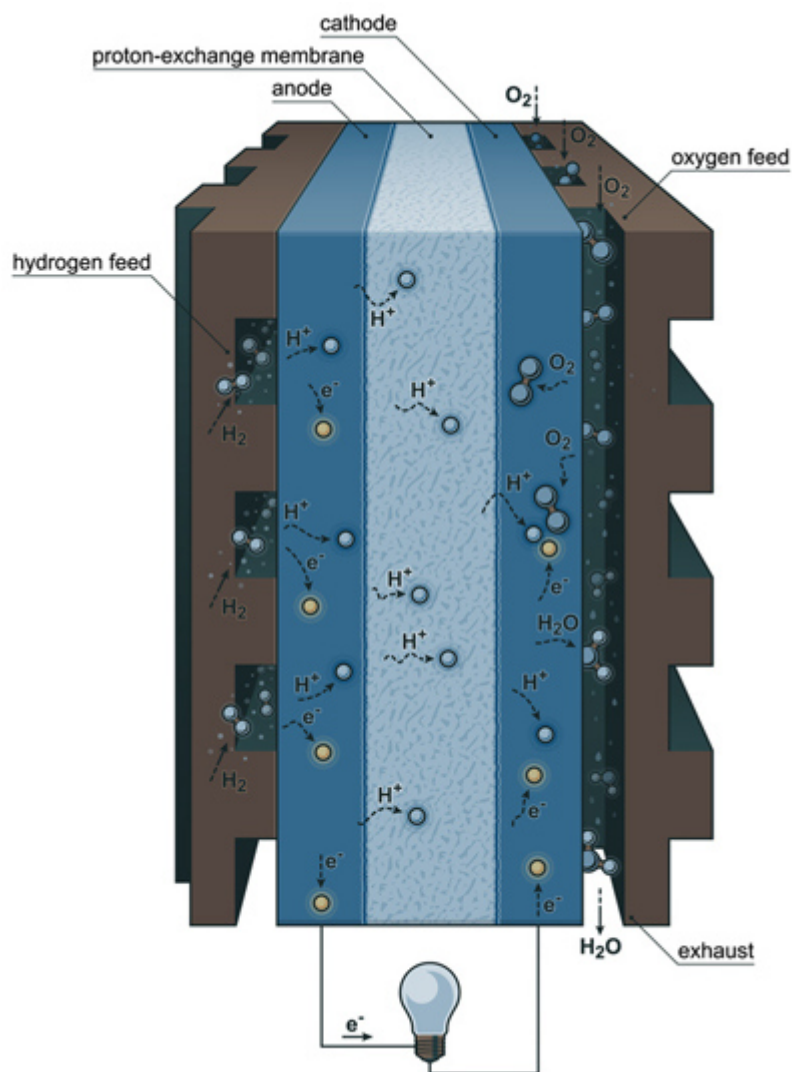
Mise en situation :

De nos jours, les solutions alternatives à l'énergie fossile sont en pleine expansion.

Il devient nécessaire de s'affranchir progressivement de l'énergie issue du pétrole.

Il y a assez longtemps (19ème siècle) que la pile à hydrogène est connue en temps que dispositif expérimental.

Aujourd'hui, dans les domaines spatiaux, du transport et bientôt pour l'utilisation domestique, ce dispositif se décline sous différentes technologies.



On se propose d'étudier une pile didactisée afin de mieux connaître son fonctionnement et ses performances énergétiques.

1. Etude du procédé.

A l'aide du site suivant, répondre aux questions suivantes.

<http://eduscol.education.fr/orbito/pedago/pileh2/pile0.htm>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/actu/d/chimie-nouveau-catalyseur-produire-hydrogene-voiture-demain-38776/>

http://www.agence-nationale-recherche.fr/anr-funded-project/?tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-11-CHEX-0004

- 1.1. De quoi est constituée une pile à combustible ?
- 1.2. Quelle équation chimique a lieu à la cathode ?
- 1.3. Quelle équation chimique a lieu à l'anode ?
- 1.4. Que rejette la pile sur la cathode ?
- 1.5. Quelles sont les domaines d'utilisation de la pile à combustible ?
- 1.6. Quelle est le frein technologique à son développement.
- 1.7. Quelles sont les dernières recherches permettant son développement ?

On dispose d'une petite pile à hydrogène réversible.

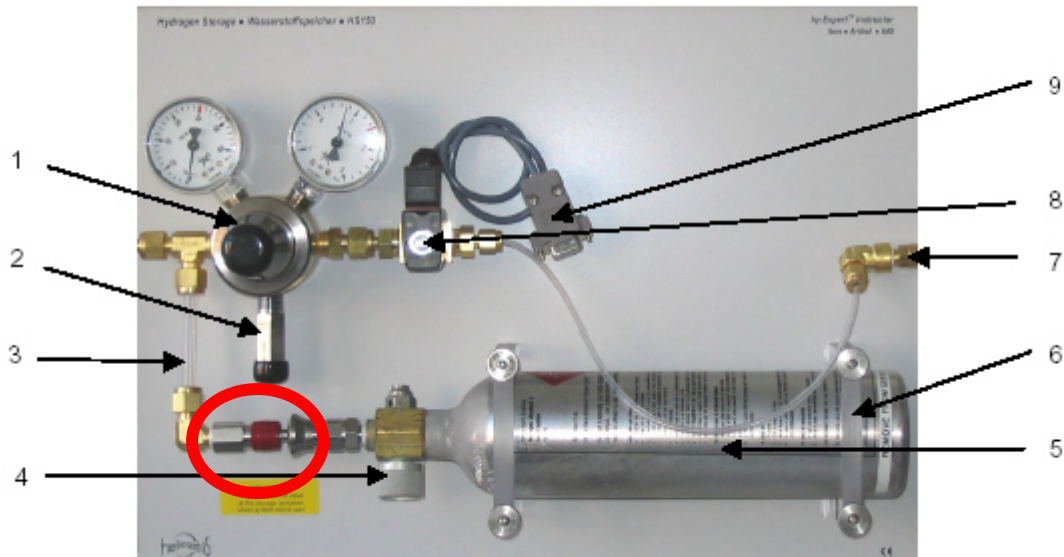


- 1.8. Expérimenter la petite pile fournie avec le petit véhicule pour tester le fonctionnement.

2. Mise en service.

On dispose d'une pile de puissance plus importante (50W avec 10A)

Partie alimentation en hydrogène :



1 Régulateur et indicateur de pression.

2 Soupape.

3 Tube de connexion. 1/4 pouce.

4 Vanne de fermeture la bouteille de stockage en hydrogène métal hybride.

5 Bouteille de stockage de l'hydrogène métal hybride.

6 Collier de fixation.

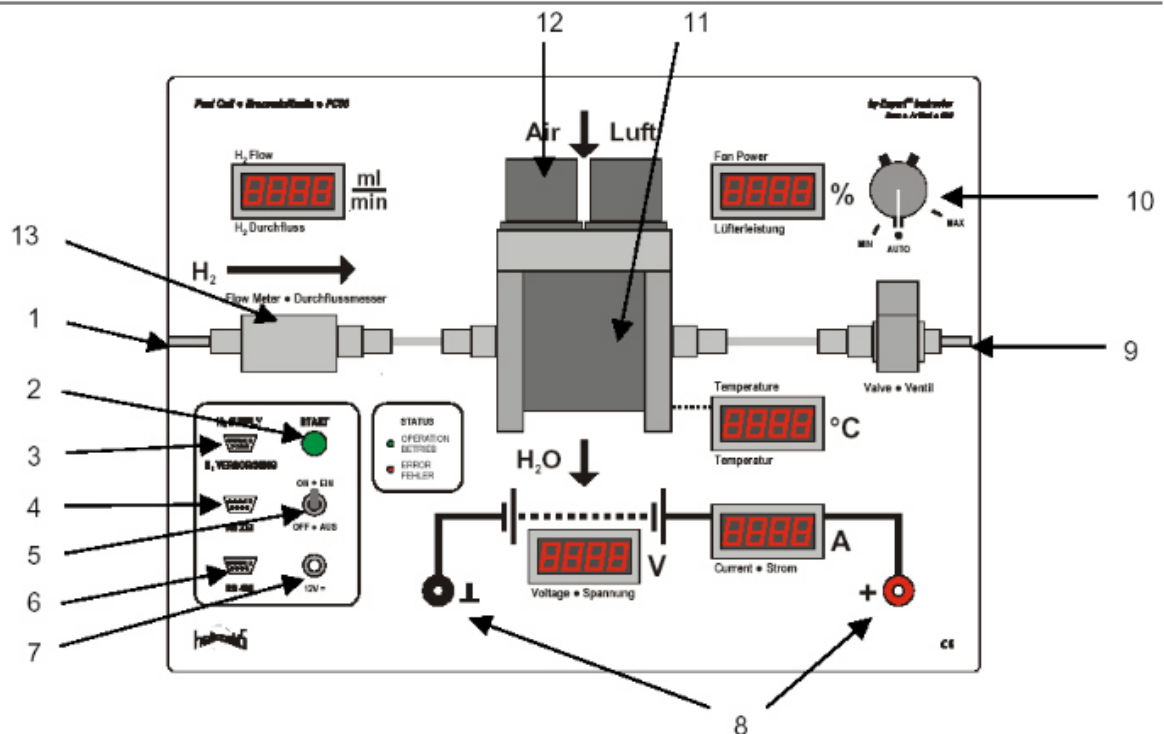
7 Connexion en hydrogène vers le banc didactique.

8 Electrovanne, normalement fermée.

9 Câble de contrôle pour l'électrovanne.

Clipser le raccord à la bouteille d'hydrogène (entourée en rouge sur la photo).

Ouvrir la vanne de fermeture repère 4.



- 1 connexion pour l'arrivée en hydrogène.
- 2 boutons de démarrage.
- 3 connexions de contrôle pour la vanne d'alimentation en hydrogène.
- 4 connecteurs RS 232 pour l'ordinateur.
- 5 Interrupteur principal.
- 6 connecteurs pour le bus de données RS 485.
- 7 entrées 12 volts continus.
- 8 bornes de sortie de la pile à combustible.
- 9 valves de purge de la pile.
- 10 contrôles du ventilateur.
- 11 piles à combustible.
- 12 ventilateur et alimentations en air.
- 13 débitmètres pour hydrogène.

Brancher une alimentation stabilisée auxiliaire sur le dispositif de contrôle de fonctionnement de la pile. (On peut la faire fonctionner en autonomie, mais c'est pour étudier le fonctionnement à vide)

Mettre le contrôle du ventilateur sur la position AUTO.

Placer interrupteur principal sur la position ON.

Appuyer sur le bouton START.

Attendre quelques instants, le cycle d'initialisation permettra à la pile combustible de produire son énergie à partir de l'hydrogène.

3. Etude du modèle d'une pile

Acquisition des données :

Dans cette expérience, la pile devrait être une température de 40 °C.

On peut augmenter cette température en chargeant la pile pendant quelques minutes avec un courant d'environ cinq ampères.

Utilisez le potentiomètre de la charge électronique.

Régler le débit d'air à 10 %, en agissant sur le contrôle du ventilateur. (La position se situe entre les repères Arrêt et min).

Lorsque la température atteint 40°C, placer le contrôle de la ventilation sur la position Auto.

- 3.1. Charger progressivement la pile et noter dans la fiche excel mise à votre disposition les relevé U , I et Q. On imprimera juste le graphique U(I) afin d'obtenir le modèle de la pile. (mesures de 0 à 7A)

I en A	U en V	Q en L/min

Lorsque les mesures sont finies, placer l'interrupteur principal sur la position OFF et fermer la vanne en sortie de la bouteille d'hydrogène.

- 3.2. De 1 à 10A, on doit observer une partie linéaire de la caractéristique U(I), tracer la droite sur la courbe obtenue.

On pourra alors prendre le modèle R,E correspondant au modèle de Thévenin d'un générateur réel.

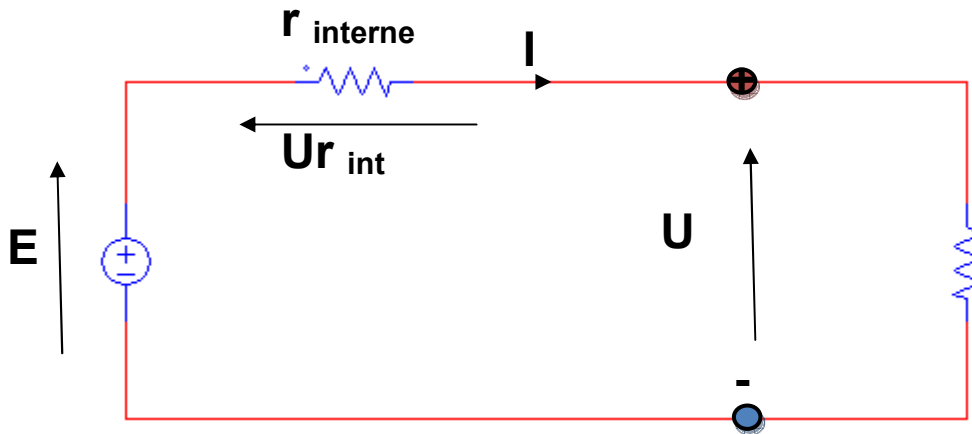


Figure 1

- 3.3. Exprimer la loi des mailles sur le schéma de la figure 1.
- 3.4. A l'aide de cette équation, que vaut U quand le courant est nul.
- 3.5. Relever la valeur de E du modèle sur la courbe $U(I)$ imprimée.
- 3.6. Montrer que l'équation des mailles donnant $U(I)$ est une droite d'équation $y = a \cdot x + b$.
- 3.7. En déduire que la résistance interne correspond à la pente de la droite.
- 3.8. Calculer sa valeur.
- 3.9. Entrer les valeurs de E et $r_{interne}$ dans les cellules réservées de la fiche Excel.

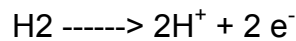
R interne		Ohms
E		Volts

- 3.10. Comparer la courbe réelle et la courbe U théo (I).

Lorsque les mesures sont finies, placer l'interrupteur principal sur la position OFF et fermer la vanne en sortie de la bouteille d'hydrogène.

4. Etude de la consommation d'hydrogène et du rendement énergétique.

On rappelle l'équation oxydation de l'hydrogène :



- 4.1. Combien obtient de moles N_{e^-} d' e^- pour une mole N_{H_2} de dihydrogène H_2 .

On sait qu'une mole de H_2 occupe un volume $V_0 = 22,4\text{L}$ dans les conditions normales de pression et de température.

- 4.2. Exprimer à l'aide de la règle de proportionnalité le volume V_{H_2} en fonction du nombre de mole N_{H_2} et du volume V_0 .

On rappelle que le débit de dihydrogène H_2 est défini par la relation :

$$q_{\text{H}_2} = \frac{V_{\text{H}_2}}{t}$$

- 4.3. Exprimer alors q_{H_2} en fonction de N_{H_2} , t et V_0 .
4.4. En tenant compte des résultats précédents, exprimer q_{H_2} en fonction de N_{e^-} , t et V_0 . (On obtiendra l'équation₍₁₎)

On rappelle que la quantité d'électricité est défini par la relation :

$$Q = I \cdot t = N_{e^-} \cdot F$$

Avec un Faraday noté $F = 96500\text{ C}$ (Coulomb)

- 4.5. Exprimer N_{e^-} en fonction de I , t et F .
4.6. Remplacer l'expression de N_{e^-} dans l'équation₍₁₎, on va obtenir alors la fonction q_{H_2} en fonction de I .
4.7. Convertir q_{H_2} exprimé en litre par seconde en q_{H_2} en mL.min.
4.8. On doit multiplier par 10, q_{H_2} car on utilise 10 cellules en série, on obtient alors $Q_{\text{théo}}$.
4.9. Ecrire l'équation obtenue dans la fiche Excel.

Qtheo

- 4.10. Comparer à la courbe pratique.

On donne la relation de la puissance disponible contenue dans la quantité d'hydrogène consommée :

$$P = \frac{E_{vol}}{60} \cdot q_{H_2} \cdot 10 = \frac{E_{vol}}{60} \cdot Q_{théo}$$

Avec :

E_{vol} : Energie volumique du dihydrogène : 10,6 J.mL⁻¹.

q_{H_2} : Débit de dihydrogène en mL.min⁻¹.

P : Puissance disponible en Watt.

4.11. Entrer la relation dans la colonne approprié de la fiche Excel.

P H2 en Watt



4.12. Exprimer la puissance électrique consommée par la charge.

4.13. Entrer la relation dans la colonne approprié de la fiche Excel.

P élec en Watt



4.14. Exprimer alors le rendement énergétique global de la pile.

4.15. Entrer la relation dans la colonne approprié de la fiche Excel.

rendement



4.16. Discuter sur la courbe de rendement obtenu.

On pourra consulter les articles de presse suivant :

Article 1

Vers une production massive et économique d'hydrogène

Le recours à l'hydrogène comme vecteur énergétique propre est l'une des solutions pour répondre aux actuels défis énergétiques. Afin de produire ce carburant du futur, l'électrolyse de l'eau figure parmi les filières "écologiques" les plus prometteuses. Principal écueil : son rendement. Soucieux d'optimiser cette technique, des chercheurs de quatre laboratoires du CNRS (1), en collaboration avec les entreprises AREVA NP et SCT, sont parvenus, pour la première fois, à produire de l'hydrogène en quantité notable par une nouvelle méthode. Leur technologie innovante, protégée par un brevet aujourd'hui rendu public, pourrait dans un avenir proche être développée à grande échelle et permettre d'obtenir de l'hydrogène, à moindre coût et surtout, sans émission de gaz à effet de serre.

Plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, non polluant et non toxique, l'hydrogène pourrait progressivement suppléer les énergies fossiles et répondre à l'essentiel de nos besoins énergétiques. Problème : si l'atome d'hydrogène, lié à l'oxygène, est très abondant sous forme d'eau, les molécules d'hydrogène, elles, ne se trouvent pas à l'état pur. Le défi auquel s'attellent les chercheurs est donc de produire de l'hydrogène, sans dégagement de dioxyde de carbone. Pour cela, l'électrolyse de l'eau, c'est-à-dire sa décomposition en hydrogène (H) et oxygène (O), est l'une des solutions envisagées. Aujourd'hui maîtrisée, cette technique présente toutefois des inconvénients majeurs : son rendement ne dépasse pas 80 %, son coût de production est trop élevé et certains matériaux utilisés polluants ou même dangereux.

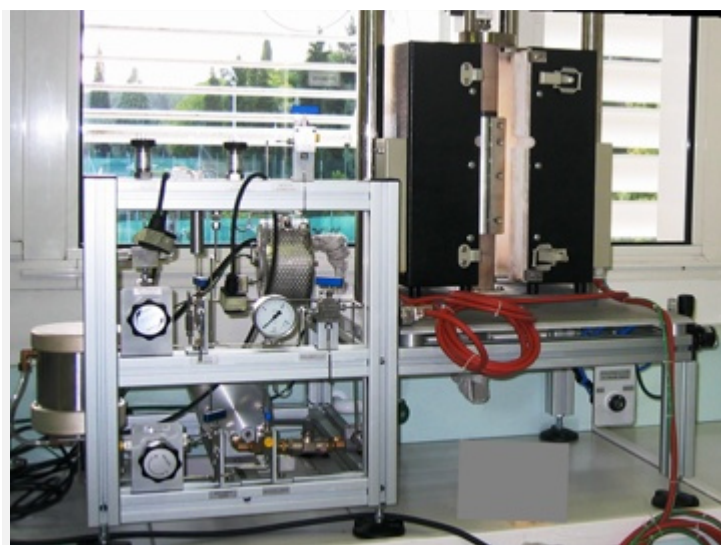
Comment pallier ces défauts ? Pour y parvenir, plusieurs spécialistes ont, depuis 2004, réuni leurs expertises dans le cadre d'un programme de recherche sur la production massive d'hydrogène propre : quatre équipes de recherche se sont ainsi associées aux entreprises AREVA NP (2), filiale du groupe AREVA, et SCT (3), l'un des leaders mondiaux dans l'association métal – céramique.

Pour obtenir de l'hydrogène par électrolyse de l'eau avec un meilleur rendement, il faut chauffer : deux voies sont alors possibles. La première plus "traditionnelle" utilise la conduction par ions O^{2-} tandis que la seconde s'appuie sur la circulation des protons (ions H^+). Principal avantage de la voie protonique : elle requiert des températures plus faibles, de l'ordre de $600^{\circ}C$. À de telles températures, une bonne conductivité des protons peut être envisagée, tout en utilisant des matériaux peu onéreux et fiables. C'est pourquoi les scientifiques ont choisi d'explorer et d'optimiser cette voie.

Leur travail s'est déroulé en deux étapes : ils ont tout d'abord conçu un dispositif pour étudier in situ les matériaux constituant l'électrolyseur puis, ils ont mis au point deux électrolyseurs instrumentés, c'est-à-dire comportant entre autres, des capteurs de température, de pression, de mesure de l'intensité du courant produite. Les scientifiques ont ainsi pu déterminer avec précision les conditions requises pour obtenir de l'hydrogène en grande quantité et de façon fiable. L'une de leurs idées novatrices a été d'effectuer l'électrolyse sous pression (entre 50 et 100 bars). Et elle s'est révélée efficace... En effet, les principaux paramètres des électrolyseurs s'en sont trouvés améliorés : les premiers essais effectués permettent d'atteindre des quantités d'hydrogène notables, avec un niveau de courant bien supérieur à ce qui avait été fait précédemment par leurs concurrents étrangers travaillant sur la filière protonique. De plus, cette nouvelle technologie abaisse de près de $200^{\circ}C$ la température de fonctionnement par rapport à la solution par conduction par ions O^{2-} . Un dernier atout : en permettant l'usage d'alliages commerciaux, elle diminue le coût de l'hydrogène produit. Ce résultat, prometteur et capital pour l'avenir économique de la filière hydrogène, laisse espérer le développement de technologies rentables et économiques. Même si avant de produire de l'hydrogène massivement et à bas coût, des efforts sont encore nécessaires. Un travail de perfectionnement du dispositif est d'ores et déjà envisagé.

Ce travail a bénéficié du soutien d'AREVA NP et de l'ANR.

Télécharger les photos illustrant ces travaux (merci de respecter les légendes et copyrights).





Article 2 :

L'un des freins au développement des motorisations à hydrogène reste le coût de la pile à combustible, prohibitif notamment à cause du platine utilisé comme catalyseur. De nombreuses recherches ont été effectuées pour tenter de remplacer le platine ou de le mélanger avec un autre catalyseur pour diminuer sa part, par exemple au CEA ou via la société israélienne CellEra. Aujourd'hui, c'est une autre initiative du genre qui est signalée par le site Phys.org.

Menée par des chercheurs de Corée du Sud, de l'université de North Texas et de l'université Case Western Reserve, elle utilise un catalyseur sans métal, où le platine est remplacé par des nanoparticules de graphène (cristaux de graphite) et de l'iode. Le résultat est inespéré puisque la puissance du courant fourni est 33% supérieure à celle obtenue avec un catalyseur classique. Moins chère et plus efficace : cette solution serait-elle l'avenir de la pile à combustible ?

Mais gare à ne pas se réjouir trop vite, puisqu'il ne s'agit pour le moment que de recherches initiales qui ne donneront peut-être rien de concret, ou en tout cas rien de reproductible à grande échelle. Les chercheurs vont donc désormais s'employer à optimiser leur solution, dans l'espoir de réussir leur pari.

- 4.17. En conclusion, sur quels leviers faudra-t'il agir afin de permettre un développement massif de la filière hydrogène.