



## Système pile à hydrogène

KABOUCHE Nourdine

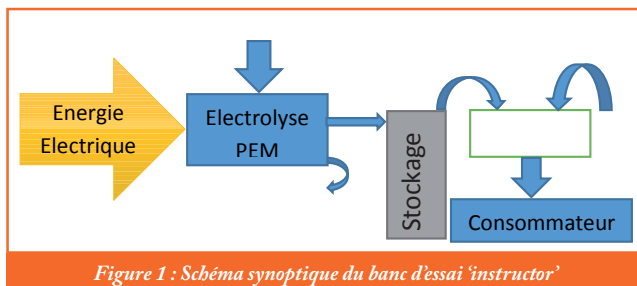
Attaché de Recherche

Division Hydrogène - Energie Renouvelable - CDER

E-mail : n.kabouche@cderr.dz

L'hydrogène est un vecteur énergétique intéressant, il peut être utilisé dans les moteurs à combustion interne, dans les véhicules électriques ou comme un moyen de stockage. L'objectif de la division Hydrogène-Energies renouvelables du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) est la maîtrise des technologies de l'hydrogène et leur transfert vers le secteur socioéconomique. La dissémination et la formation sont aussi parmi nos objectifs.

Dans ce contexte, le système Instructor avec le générateur d'hydrogène obtenu dans le cadre d'un PNR, est adapté à la formation sur l'utilisation des systèmes à hydrogène. Il est modulaire ce qui rend possible de mener plusieurs manipulations. C'est aussi un système complet car il permet la production d'hydrogène, son stockage et sa conversion. Le système est simple et possède un haut niveau de sécurité. Le banc est représenté schématiquement en Figure 1, les différents composants sont décrits ci-dessous.



### Objectifs

Les expériences dans ce système enseignent les principes de base des piles à combustibles PAC, y compris :

- la manipulation des systèmes à hydrogènes en toute sécurité ;
- l'évaluation des courbes caractéristiques d'une PAC (courant-tension et courant-puissance) ;
- l'analyse et la conception des composants d'un tel système ;
- l'efficacité d'un système à pile à combustible ;
- la mise en place d'un bloc d'alimentation à PAC autonome ;

### Composition du système

Le système comprend un générateur d'hydrogène à membrane échangeuse de protons (PEM) pour la production d'hydrogène, un réservoir à hydrure métallique pour son stockage, une pile à combustible (PEM) de 50 W pour la conversion, deux charges pour la consommation et des accessoires.

• Module de pile à combustible (PAC) : Le module est composé de dix cellules de PAC mises en série. La PAC convertit l'énergie chimique d'un combustible ( $H_2$ ) et d'un oxydant ( $O_2$ ) à un courant électrique continu, selon les équations suivantes :



• Le générateur d'hydrogène : Il produit de l'hydrogène et de l'oxygène (l'oxygène en tant que sous-produit) par électrolyse de l'eau. La pompe interne force l'eau à s'écouler du réservoir à la cellule d'électrolyse. L'hydrogène humide produit est tout d'abord séché ensuite purifié pour atteindre finalement une pureté de 5.0 (soit 99.999%).

• Le module de stockage : Il existe différentes techniques de stockage de l'hydrogène, on peut citer le stockage atomique (H) sur des hydrures métalliques et le stockage moléculaire ( $H_2$ ) sous forme liquide ou sous pression. Chacune de ces techniques a ses caractéristiques, comme il est résumé dans le tableau 1.

Tableau 1. Densités volumiques et massique de chaque type de stockage (1)

Type de Stockage	Pression et température	Volumique ( $g_{H_2}/l$ ) Densité	Massique ( $g_{H_2}/Kg$ ) Densité
Comprimé	350 atm & 25°C	22.3	40
Liquide	1 atm & -253°C	45	112
Hydrures métalliques	1 atm & 25°C	63	14

D'après le tableau, on remarque que le stockage d'hydrogène sous forme liquide est le plus favorable. Cependant, cette technique est très complexe et consomme de l'énergie en raison des températures extrêmement basses, encourageant un coût d'acquisition et d'exploitation élevé. Le stockage à base d'hydrures présente deux avantages principaux : une densité volumique élevée et la sûreté puisque en cas de fuite ou d'endommagement, vu la nature des hydrures métalliques, seulement une petite portion d'hydrogène sera libérée spontanément (2, 3).

Le générateur d'hydrogène approvisionne le module de pile à combustible à travers un réservoir de stockage en hydrures métalliques. Le réservoir est rempli de poudre d'un alliage métallique qui est capable de se lier chimiquement à l'hydro-



gène, selon la réaction réversible (exothermique à l'absorption et endothermique à la désorption) suivante :

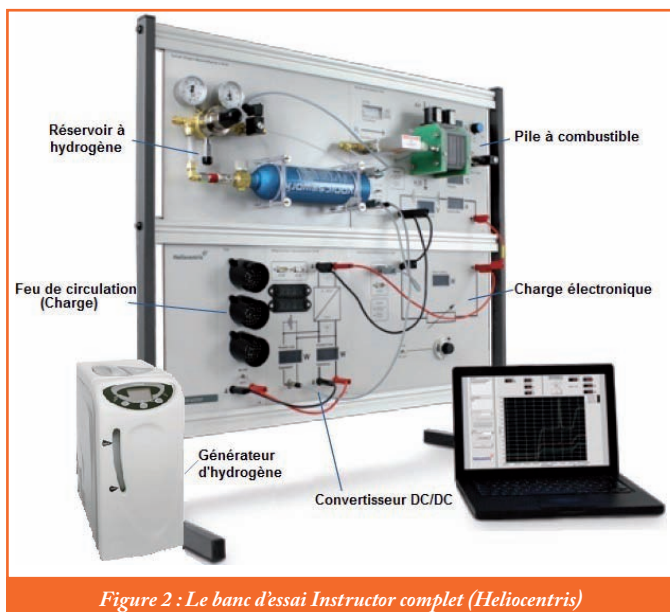


Figure 2 : Le banc d'essai Instructor complet (Heliocentris)



Dans le tableau 2, nous avons reporté les caractéristiques essentielles des modules.

Le convertisseur DC/DC : Appelé aussi transformateur (ou le transformateur élévateur de tension) fournit une alimentation régulée pour les accessoires du système et tous les appareils fonctionnant en 12 VDC, de sorte que le système de PAC peut être utilisé comme une alimentation indépendante.

- Les Charges : Le système contient deux charges. La première, le module de charge électronique, fonctionne comme une résistance à réglage électronique, elle convertit l'énergie électrique en chaleur d'une manière contrôlée, sa puissance maximale est de 200W. La seconde charge, le module de feux de circulation, est une charge 12V DC.
- Le logiciel de contrôle : Le système comprenant un microprocesseur intégré, il peut fonctionner soit manuellement par le biais des différents potentiomètres, soit par ordinateur en mode assisté via le logiciel fourni. L'interface de ce logiciel contient les boutons «Start measuring» pour démarrer la mesure, «Start logging» pour démarrer l'enregistrement de données et «Exit» pour arrêter le programme. Le logiciel affiche aussi des messages sur le fonctionnement du système et si une erreur se produit, il affiche un code d'erreur avec une brève description.
- Les accessoires : Le système est composé aussi d'un régulateur mono-étage avec manomètre, d'un débitmètre, d'un

câble de connexion RS232, d'une vanne de purge et de huit afficheurs 7 segments qui affichent les valeurs des différents paramètres et les messages d'erreur.

Tableau 2. Caractéristiques des différents modules (2)

Pile à combustible	
Puissance nominale	40W (8A, 5V)
Tension à circuit ouvert	≈ 9V
Courant maximal	10A
Pression nominale de l'hydrogène	0,6 ± 0,1 bar gauge
Générateur d'hydrogène	
Débit d'hydrogène à STP*	De 0 à 500 cm <sup>3</sup> /min
Pression	1,4 à 11 bars
Consommation électrique	300 VA
Condition d'utilisation	15 à 40°C
Réservoir de stockage	
Spécification de l'hydrogène	Pur à 5.0 ou plus
Capacité de stockage	≈ 150 l si la charge est à 10bar gauge
Décharge	≈ 8 bar gauge à 20°C (50°C max)
Charge	10bar à 20°C
Température admise	15 à 30°C

### Le fonctionnement du système

L'hydrogène stocké dans la bouteille est introduit dans la PAC par un raccord rapide tandis que les deux ventilateurs fournissent de l'air aux dix cellules à la pression atmosphérique. Dans la pile, le courant est prélevé par l'intermédiaire de collecteurs de courant au niveau des deux plaques d'extrémité. La vanne de purge s'ouvre automatiquement (à des intervalles) pour dégager les gaz inertes et la vapeur d'eau. Le microprocesseur intégré contrôle la PAC et surveille l'état du système. Il communique également avec la charge électronique, le convertisseur DC/DC et l'ordinateur.

### Références

1. Heliocentris Energie systeme GmbH, Septembre 2005 : Experiments guide and components description for the Hy-Expert TM Instructor Fuel Cell System, Berlin, 279 pages.
2. Heliocentris Energie systeme GmbH, Septembre 2005 : Operating Instructions for the Hy-Expert TM Instructor Fuel Cell System with FC50 Software, Berlin, 61 pages.
3. P. Ordu, 2013: Le stockage de l'énergie, Paris, Dunod, 179 pages.

\*STP : condition standard de température et de pression (1bar et 0°C)