

# Le magazine de la chronique scientifique

## La pile à combustible

### Le saviez-vous ?

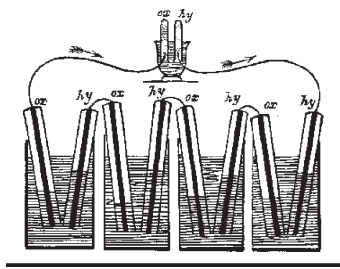
**1838** : Le Suisse Friedrich Schoenbein met au point le principe de l'électrolyse qui consiste à injecter un courant électrique dans de l'eau, afin de séparer ses deux composants : l'hydrogène et l'oxygène.

Une fois le courant coupé, il constate que l'hydrogène et l'oxygène produisent un courant électrique de sens inverse au premier. C'est donc par hasard qu'il a découvert l'**électrolyse inverse**.

**1839** : Convaincu que cette découverte peut servir à produire de l'énergie, Sir William Grove **utilise le principe de l'électrolyse inverse pour développer la pile à combustible**, dont il revendique la découverte en 1845.

Cependant, son coût élevé a valu à cette dernière d'être mise de côté pendant plus d'un siècle.

C'est seulement en **1960** qu'elle est utilisée par la NASA à bord des capsules spatiales Gemini et Apollo pour son important rendement énergétique et son faible volume.



La pile à combustible de W. Grove

### Les objectifs de la Recherche

Leader européen des services associés à l'énergie, **Veolia Environnement** développe de nouvelles compétences destinées à optimiser la chaîne énergétique de ses clients.

Les recherches sur les piles à combustible portent sur :

- **L'évaluation**, en situation réelle d'exploitation, des performances économiques, technologiques et environnementales de cette technologie.
- **La maîtrise** de son exploitation.
- **L'intégration** par **Dalkia** de cette technologie dans ses métiers.

#### Michel Dutang

Directeur de la Recherche, du Développement et de la Technologie de **Veolia Environnement**.  
« La pile à combustible est une technique de production d'énergie alternative propre et économique. La Recherche et Développement de **Veolia Environnement** mobilise ses efforts pour maîtriser cette technologie d'avenir. »

### Infos clés

Les **chocs pétroliers** des années soixante-dix annonçaient les problématiques énergétiques liées à l'épuisement des ressources auquel le monde allait devoir faire face.

**1992** : la pile à combustible (dite « PaCo ») a été reconnue par le protocole de **Kyoto** comme étant une **solution d'avenir** car ses ressources de base sont inépuisables. De plus, elle permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

**2001** : l'Agence Internationale de l'Énergie prévoyait une **augmentation de la demande mondiale d'énergie de 57% pour les vingt prochaines années**.

**2002** : près de 90% de l'énergie consommée dans le monde provient de gisements de combustibles fossiles : pétrole (35%), gaz (21%), charbon (24%) et uranium (7%).

### Edito

« Dalkia, prestataire de services énergétiques, doit répondre aux exigences de préservation des ressources en énergie.

La pile à combustible peut être envisagée comme une réponse adaptée. C'est pourquoi nous nous sommes engagés dans une démarche pragmatique d'évaluation *in-situ* de ce nouveau moyen de production d'énergie. »

**Olivier Barbaroux**,  
Président de **DALKIA**

### Sommaire

Page 1

- Edito de Olivier Barbaroux
- Le saviez-vous ?
- Infos clés
- Les objectifs de la Recherche

Page 2

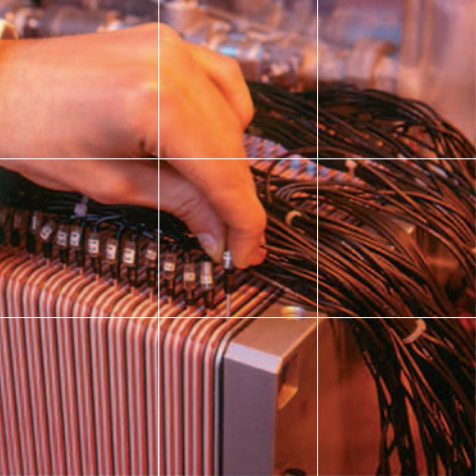
- Ce qu'il faut savoir sur...

Page 3

- Zoom sur les programmes de Recherche et de Développement

Page 4

- Pour en savoir plus...
- Fiche technique vidéo
- Contact



EURELIOS, photographie press agency  
Science, Medicine, Environment.

# La pile à combustible

Une pile à combustible.

« Je pense qu'un jour l'Hydrogène et l'Oxygène seront les sources inépuisables, qui fourniront chaleur et lumière ».

Jules Verne *L'Île Mystérieuse* (1874)

## Ce qu'il faut savoir sur...

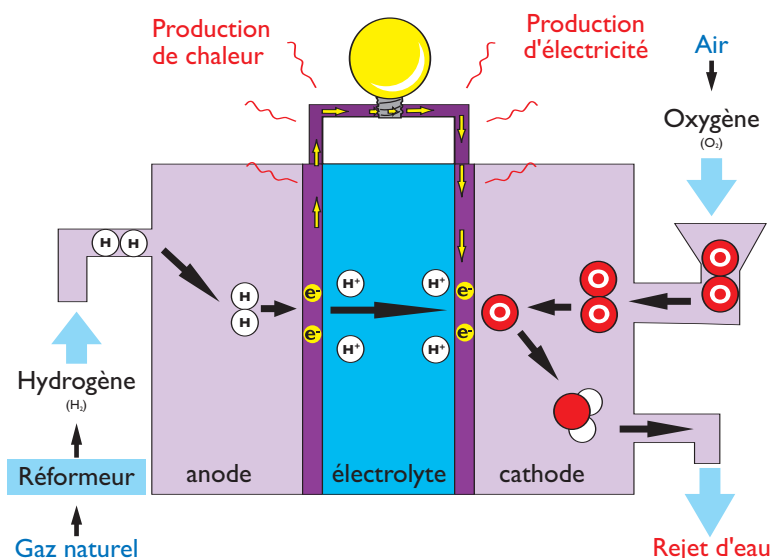
### La pile à combustible

Le principe de fonctionnement d'une pile à combustible est simple. Sa mise en œuvre, hélas, l'est beaucoup moins.

#### Comment ça marche ?

On injecte par voies séparées de l'**oxygène** (de l'air ambiant suffit) et de l'**hydrogène**, qui n'existe pas à l'état naturel sous forme directement exploitable, dans une **cellule** constituée de deux électrodes (anode et cathode) séparées par un **électrolyte**. A l'anode, l'hydrogène gazeux est oxydé tandis que l'oxygène de l'air est réduit à la cathode. Ces réactions électrochimiques, qui **dégagent**

L'hydrogène peut être obtenu à partir de multiples sources comme le gaz naturel, l'eau, la biomasse...



La pile à combustible permet la production d'électricité et de chaleur par une réaction chimique de l'hydrogène et de l'oxygène au sein d'une cellule constituée de deux électrodes (anode et cathode) séparées par un électrolyte au travers duquel s'effectue l'échange ionique.

Formule chimique (lorsque l'électrolyte est une membrane polymère)  
 $H_2 + 1/2 O_2 = H_2O + \text{électron} + \text{énergie}$ .

de la chaleur (laquelle est valorisée), conduisent à la circulation d'électrons, source d'un courant électrique continu, et mènent à la production d'eau. Un onduleur se charge ensuite de transformer le courant électrique continu ainsi produit en courant alternatif utilisable dans notre vie quotidienne.

#### Pourquoi sa mise en œuvre est-elle difficile ?

Pour être complètement fiables et sécurisés, la fabrication et le stockage de l'hydrogène demandent des investissements encore trop élevés.

#### Les applications possibles

- **Piles stationnaires** : production combinée de chauffage et d'électricité (appelée **cogénération**), pour l'habitat résidentiel et les bâtiments publics ou industriels (hôpitaux, écoles) et l'alimentation électrique secourue (en remplacement des actuels groupes électrogènes).
- **Piles embarquées** : à bord des véhicules de transport (bus, voitures, navettes spatiales, sous-marins...)
- **Piles mobiles** : téléphones, ordinateurs, matériels de secours.

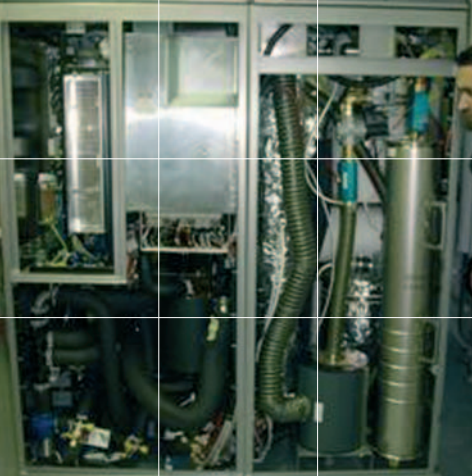
**Veolia Environnement (Dalkia) oriente ses recherches exclusivement sur les piles stationnaires.**

#### Les +

- Rendement énergétique élevé
- Moins de gaz à effet de serre rejetés dans l'atmosphère
- Pas d'usure mécanique
- Pas de nuisance sonore
- Grande autonomie
- Peu d'entretien
- Fonctionnement possible à basses températures

#### Les -

- Volume de l'installation encore relativement encombrant
- Fragilité du système (et notamment du cœur de la pile)
- Coût élevé de fabrication et d'installation (utilisation de matériaux coûteux : platine, graphite).
- Puissance limitée
- Grand public encore mal informé.



Intérieur d'une pile à combustible

# La pile à combustible

« ... Un des objectifs des économies d'énergie est l'amélioration des rendements de la combustion des énergies fossiles, ce qui permettra d'en diminuer la consommation et de réduire les gaz à effet de serre... »

Claude Mandil,

Président de l'Agence Internationale pour l'Energie

## Zoom sur les programmes de Recherche et de Développement

Leader mondial des services à l'environnement et n°1 européen des services associés à l'énergie, **Veolia Environnement** mène actuellement différents types d'études sur des programmes de mise en œuvre et d'utilisation de la pile à combustible. Ils s'organisent autour de trois axes.

### Piles en régions

Depuis juin 2004 les résidents d'un HLM de Sarreguemines (Lorraine) et de Giromagny (Franche-Comté) s'éclairent et se chauffent grâce à la pile à combustible (de type PEMFC, marque allemande Vaillant). Ces piles alimentées en gaz naturel, produisent à la fois de la chaleur et de l'électricité. C'est ce qu'on appelle un système de cogénération. Cette étude menée sur 2 ans doit servir à tester les performances électriques et thermiques du système, à éprouver la durée de vie des composants et évaluer les coûts de possession.

Les paramètres de ces deux piles, reliées en permanence à un ordinateur, sont analysés par le **CRReD**.

Ces tests permettent notamment de vérifier les informations avancées par le constructeur (rendement électrique 30% et rendement global 83%).

Un projet de plus grande ampleur baptisé « Pile à Paris » devrait aboutir à l'installation d'une pile en début d'année 2006. La pile sera alimentée en gaz naturel.



Pile à combustible à l'étude en région à Sarreguemines

### HELPS (programme européen) Hydrogen based Electrical energy system for Local Power Storage

L'objectif est de construire un dispositif de secours électrique alternatif aux installations diesel actuellement utilisées dans les hôpitaux ou autres lieux publics particulièrement sensibles aux coupures électriques. Une pile à combustible de 5kW (de type PEMFC) construite par HELION est actuellement testée ; elle est alimentée par de l'hydrogène produit sur place par électrolyse et stocké à basse pression.

Le programme sera par la suite prolongé par le projet **ASIPAC** avec une pile de 20 à 40 kW.

### Gecopac Génération d'Énergie Combinée par Pile A Combustible.

Lancé en 2004, l'objectif de ce projet est de construire et de tester le **premier prototype français** de cogénération (production de chaleur et d'électricité) à base d'une pile à combustible (de type SOFC) d'une puissance de 5kW alimentée en gaz naturel.

Fort de son savoir faire, le **CRReD** participera aux phases de conception, d'installation, d'exploitation et de démontage. Le prototype sera testé dans un lycée de Saint-Pierre-des-Corps en Indre et Loire.



Philippe Gonnard et Paul Barroyer.

# La pile à combustible

## Pour en savoir plus...

### Fiche technique vidéo

#### La chronique scientifique n°3

Découvrez en 4 minutes sur l'intranet du groupe, les recherches menées par **Veolia Environnement** sur la pile à combustible.

Expert : **Paul Barroyer**  
directeur des recherches énergies du Groupe **Veolia Environnement**

Témoïn : **Philippe Gonnard**  
chef de centre opérationnel (Forbach) **Veolia Eau**

Scénario : Marie-Odile Monchicourt / 3B Conseils

Durée : 4'

Tournage : 23 février 2005

Lieu : HLM Sarreguemines 57

Préparation : Fanny Demulier,  
Anne Dequeker-Cormont,  
Caroline Bellecourt, Edith Weitz  
Direction de la Communication  
de la Recherche, du Développement  
et de la Technologie **Veolia Environnement**

Réalisateurs : Steeve Sierra, Martin Geisler

Producteur délégué :  
Bruno Plasse, Dawa Productions

Conception et réalisation du magazine :  
3B Conseils

Graphisme : Bernadette Coléno/3B Conseils

Producteur : **Veolia Environnement**

Date de la mise en ligne : Juin 2005

Remerciements aux équipes de **Dalkia**, **EDF** et **HLM Sarreguemines**

### Partenariats

■ **Cogénération**  
programme «Piles en Régions » avec :  
**EDF**  
[www.edf.fr](http://www.edf.fr)  
**Vaillant**  
[www.vaillant.fr](http://www.vaillant.fr)  
**MTU CFC Solutions**  
[www.mtu-online.com](http://www.mtu-online.com)

■ **Installation de secours électrique**  
programme « HELPS » avec :  
**CReeD**  
**Technicatome**  
[www.technicatome.com](http://www.technicatome.com)  
**CEA**  
[www.cea.fr](http://www.cea.fr)  
**CRES**  
[www.cres.gr](http://www.cres.gr)

■ **Mise au point du premier système français complet prototype de cogénération, intégrant une pile à combustible SOFC**  
programme « GECOPAC » avec :  
**CReeD**  
**CEA**  
[www.cea.fr](http://www.cea.fr)  
**Snecma Moteurs**  
[www.snecma-moteurs.com](http://www.snecma-moteurs.com)  
**Région Centre**  
[www.regioncentre.fr](http://www.regioncentre.fr)  
**Ministère de l'Éducation Nationale – Académie d'Orléans-Tours**  
[www.education.gouv.fr](http://www.education.gouv.fr)

### Ressources documentaires Veolia Environnement

#### Audiovisuel

■ **Les chroniques scientifiques : La pile à combustible N°3** (voir encadré)

#### Rapports internes

■ **Alexandre LIMA**, « *État de L'art sur les piles à combustible* », **Rapport CReeD (CReeD-665), 94 pages, 2003 (mise à jour en avril 2005), français**

■ **Alexandre LIMA**, « *Installation et mise en service d'une pile à combustible en cogénération* », **rapport CReeD (CReeD-873), 2004, français**

■ **Nancy Garcia**, « *Analyse du cycle de vie du système HELPS, système d'alimentation sans interruption basé sur une pile à combustible* », **Rapport CReeD (CReeD-787), 2003, français.**

#### CEA Magazine

■ « *L'hydrogène, les nouvelles technologies de l'énergie* », **Clefs CEA n°50/51 (hiver 2004-2005), 2005. Téléchargeable sur [www.cea.fr](http://www.cea.fr)**

### Cadre réglementaire

Réglementation Chauffage  
Réglementation Sanitaire Départementale Type  
Directive européenne cogénération  
Directive européenne efficacité énergétique  
Protocole de Kyoto 1992 : limitation des émissions de gaz à effet de serre  
1975 Livre Blanc sur l'énergie  
Loi sur l'énergie

### Contact

Direction de la Recherche, du Développement  
et de la Technologie  
36, rue de Liège 75008 PARIS - France  
Tél. : +33 (0) 1 71 75 06 60  
Fax. : +33 (0) 1 71 75 10 40  
Mail : [fanny.demulier@veolia.com](mailto:fanny.demulier@veolia.com)

### Sites spécialisés

[www.areva.com/servlet/ContentServer?pagename=arevagroup\\_fr/PressRelease/PressReleaseFullTemplate&cid=1095412361939](http://www.areva.com/servlet/ContentServer?pagename=arevagroup_fr/PressRelease/PressReleaseFullTemplate&cid=1095412361939)  
<http://www.cea.fr/fr/magazine/somDossier.asp?id=3> ou  
<http://www.cea.fr/fr/pedagogie/Hydrogene/index.html> ou  
<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs2.asp?id=50>  
<http://www.gip-anr.fr/>  
<http://www.clubpac.net>  
<http://www.fuelcelltoday.com> (en anglais)