

© Médiathèque EDF

Pile à combustible

**Produire à la fois chaleur et électricité,
c'est possible,
avec la pile à combustible**

Document issu du dossier de presse réalisé par EDF GDF pour
l'inauguration de la pile à combustible de Chelles (Seine-et-Marne)
le 23/03/2000.



SOMMAIRE

	<i>Page</i>
<i>Fiche 1</i> : La pile à combustible : une nouvelle technologie de production d'électricité et de chaleur sans combustion	3
<i>Fiche 2</i> : Les atouts des piles à combustible	5
<i>Fiche 3</i> : Les différents types de piles à combustible	6
<i>Fiche 4</i> : Le groupe EDF prépare l'émergence des piles à combustible	8
 <i>Annexes</i>	 12

La pile à combustible : une nouvelle technologie de production d'électricité et de chaleur sans combustion

La pile à combustible permet de produire de l'électricité et de la chaleur en utilisant directement l'énergie chimique de l'hydrogène et de l'oxygène. Cette nouvelle technologie de production locale d'électricité peut être considérée comme un nouveau système de cogénération¹.

Cette conversion d'énergie chimique en énergie électrique se fait sans combustion directe, ni production intermédiaire d'énergie mécanique, à la différence des autres systèmes classiques de cogénération qui utilisent des turbines à gaz ou des moteurs.

- Quelles applications ?

Les piles à combustible sont de petits systèmes de production d'énergie qui peuvent être installés au plus près des utilisateurs. Elles sont notamment destinées à fournir de l'électricité et de la chaleur, voire du froid, aux bâtiments industriels, tertiaires (hôpitaux, centres commerciaux, hôtels...) ou résidentiels.

Le 23 mars 2000, les groupes Gaz de France et Electricité de France ont présenté la pile à combustible qu'ils viennent de mettre en service à Chelles (Seine-et-Marne). C'est la première expérimentation française, grande nature, de cette nouvelle technologie de production locale d'énergie. D'une puissance de 200 kW électriques et 220 kW thermiques, elle alimente en chaleur et électricité l'équivalent de 200 foyers. Elle fonctionne au gaz naturel et appartient à la catégorie des piles dites à « acide phosphorique ».



© Médiathèque EDF

La pile à combustible de Chelles

- **Quel principe de fonctionnement ?**

Le courant continu² de ces piles est produit suivant le même principe qu'une batterie (réactions électrochimiques) à partir de l'utilisation d'hydrogène et d'oxygène (cf annexe 1) pour être ensuite transformé en courant alternatif² dans un convertisseur électrique.

L'hydrogène peut être utilisé pur ou obtenu dans un réacteur chimique, appelé reformeur, par transformation de tout combustible possédant des atomes d'hydrogène : gaz naturel mais aussi méthanol, essence, etc. Pour cet usage, le gaz naturel possède des atouts liés à son abondance et sa propreté. L'oxygène, quant à lui, est obtenu à partir de l'air (cf annexe 2).

- **Quand ce principe a-t-il été découvert ?**

Le principe de la pile à combustible a été découvert en 1839 par William Grove, avocat britannique passionné de physique. Cette technique a été utilisée dans les années soixante par l'armée américaine pour équiper des sous-marins puis les capsules spatiales des programmes Apollo et Gemini. Jusqu'à maintenant, le coût élevé des matériaux nécessaires avait freiné les autres applications potentielles. Les progrès réalisés dans ce domaine ces dernières années permettent cependant d'envisager l'émergence d'un marché plus vaste, dans les dix ans à venir.

¹cogénération : production simultanée d'électricité et de chaleur

²courant continu : courant dont l'intensité est stable dans le temps par opposition au courant alternatif dont l'intensité varie en fonction du temps.

Les atouts des piles à combustible

Les piles à combustible permettent de produire localement de l'électricité et de la chaleur avec un rendement¹ élevé. Propres et silencieuses, elles sont particulièrement bien adaptées au contexte urbain où les contraintes environnementales sont les plus fortes.

- **La protection de l'air**

Une pile à combustible fonctionnant avec de l'hydrogène pur ou du gaz naturel, ne rejette ni oxyde de soufre (SOx) ni particule.

Lorsque l'hydrogène est obtenu à partir de la transformation du gaz naturel, une pile à combustible ne rejette que :

6 mg de CO par m³ de gaz soit 17 fois moins que ne l'exige la réglementation française²
2 mg de NOx par m³ de gaz soit 75 fois moins " " " " " " "

Quant aux émissions de gaz carbonique (CO₂), elles sont inférieures d'au moins 30% à celles d'un groupe électrogène au diesel.

- **Les économies d'énergie**

Les piles à combustible permettent de générer du courant électrique de façon continue. Leurs rendements sont élevés :

→ le rendement électrique dépasse actuellement les 40% et peut atteindre 70% pour les piles à oxyde solide couplées à une turbine à gaz à l'aval (cf tableau de la fiche 6 : les différents types de piles) ;

→ le rendement total (électrique + thermique) est de l'ordre de 80%.

Les piles à combustible contribuent ainsi aux économies d'énergie.

- **La limitation des nuisances sonores**

Le processus électrochimique des piles ne génère pas de bruit. Seuls les systèmes auxiliaires (ventilation et pompes de circulation) engendrent un faible bruit, bien inférieur à celui des autres générateurs d'énergie électrique. Pour une pile à combustible comme celle de Chelles, le niveau sonore à 10 mètres est comparable à celui d'une installation de ventilation classique (au plus 62 décibels acoustiques). A Chelles, il n'y a, pour les habitants, aucune nuisance sonore liée à la pile qui est installée à l'intérieur d'un bâtiment.

¹ Rendement : rapport entre la quantité d'énergie produite à la sortie d'un système et la quantité d'énergie fournie à l'entrée

² Norme sur les petites installations de combustion (arrêté ministériel du 25/7/97)

Les différents types de piles à combustible

On distingue 4 grands types de piles en fonction de l'électrolyte¹ utilisé :

- **les piles à combustible de type PAFC (pile à acide phosphorique)**, technologie basse température (200°C) : environ 200 unités sont actuellement installées dans le monde (dont 20 en Europe).
C'est une pile de ce type qu'EDF et Gaz de France ont mis en service à Chelles début 2000 à titre expérimental.
- **les piles à combustible de type PEMFC (pile à membranes échangeuses de protons)**, technologie basse température (80 à 120°C) : elles nécessitent encore à ce jour des mises au point techniques.
Du fait des progrès techniques et de la baisse des coûts attendue, les premières unités industrielles pourraient être mises en service vers 2005.
- **les piles à combustible de type SOFC (pile à oxydes solides)**, technologie haute température (1000°C) dont le rendement électrique est particulièrement élevé.
Du fait des progrès techniques et de la baisse des coûts attendue, les premières unités industrielles pourraient être mises en service entre 2005 et 2010.
- **les piles à combustible de type MCFC (piles à carbonates fondus)**, technologie haute température (650°C) : des difficultés de développement retardent leur émergence.

Chacun de ces types de pile correspond à des applications et des conditions d'utilisation distinctes présentées dans le tableau de la page suivante.

¹ électrolyte : liquide ou solide conduisant les ions qui produisent le courant

Les quatre types de pile

Type de pile	A acide phosphorique (PAFC)	A membranes échangeuses de protons (PEMFC)	A oxydes solides (SOFC)	A carbonates fondus (MCFC)
Combustibles	hydrogène, gaz naturel, méthanol, biogaz,			
Applications	cogénération, transport collectif (bus)	cogénération résidentielle ou tertiaire, automobile, téléphones et ordinateurs portables sous-marin, spatial	cogénération, production d'électricité décentralisée	
Stade de développement	Fabrication en petites séries: 200 unités de 200 kWe en fonctionnement dans le monde	développement : unités de 50 à 250 kWe	recherche et développement : unités de quelques kWe à 1 MWe	recherche : 1 unité de 2 MWe plusieurs de 100 à 250 kWe
Puissance	→ 200 kWe pour la cogénération, → environ 100 kWe pour le transport	→ piles miniatures de quelques Watts pour téléphones, caméscopes, panneaux de signalisation..., → moins de 10 kWe pour le résidentiel, 250 kWe pour la cogénération.	10 kWe ou 300 kWe à quelques MWe selon technologies	250 kWe à quelques MWe
Température de fonctionnement	200 °C	80 à 120 °C	800 à 1000 °C	650 °C
Rendement électrique	40 %	35 à 40 %	45 à 50 % 70 % si couplage avec des turbines	45 à 50 %
Constructeurs	Onsi (USA), Fuji Electric (Japon)	Ballard (Canada), Alstom, Siemens, ...	Siemens/Westinghouse (All./EU), Rolls-Royce (GB), Sulzer (Suisse)	HC-power (USA), Ansaldo (Italie), MTU (Allemagne)

Le groupe EDF prépare l'émergence des piles à combustible

Les piles à combustible offrent des perspectives attractives d'efficacité énergétique et environnementale. Pour en faire bénéficier ses clients, EDF se prépare dès aujourd'hui à l'émergence d'un marché des piles à combustible d'ici 5 à 10 ans.

Deux domaines d'applications potentielles sont particulièrement visés :

- Piles de puissance faible ou moyenne (inférieure à 300 kW électriques), pour des applications de cogénération dans le domaine tertiaire et résidentiel;
- Piles de forte puissance (de 500 kW électriques à quelques MW électriques), pour la production d'électricité (dont les systèmes hybrides de piles à combustible couplées à une turbine pour améliorer le rendement électrique).

EDF collabore avec les principaux organismes de recherche internationaux (Electric Power Research Institute, Etats-Unis) et des acteurs majeurs dans le domaine des piles à combustible.

EDF siège à des commissions ou institutions européennes et internationales (dont l'Agence Internationale de l'Energie) et contribue à des programmes de recherche européens sur les piles à combustible.

La Recherche et Développement d'EDF sur les piles à combustible porte sur deux axes principaux: les activités de recherche appliquée et les actions de démonstration.

- **Quelques exemples de recherche appliquée :**

® EDF participe à un projet de développement de nouvelles membranes haute température pour les piles PEMFC (piles à membrane échangeuse de protons).

La température de fonctionnement recherchée se situe à environ 150°C. Une telle température permet de mieux valoriser la chaleur et de simplifier le système de traitement du combustible. Ce projet se fait dans le cadre du réseau de recherche technologique français.

® EDF mène un projet de développement de nouveaux matériaux pour piles SOFC (piles à oxyde solide) afin d'en réduire la température de fonctionnement.

La température de fonctionnement recherchée est d'environ 750°C. Cette température, nettement en dessous de la température usuelle de fonctionnement des piles SOFC (1000°C), permet l'emploi de matériaux moins coûteux notamment pour les auxiliaires de la pile. Ce projet se fait également dans le cadre du réseau de recherche technologique français.

→ EDF teste en laboratoire les performances de membranes et cellules de piles à combustible de la technologie PEMFC ou SOFC. Ces essais se font sur l'un des centres de recherche et développement d'EDF, sur le site des Renardières, près de Fontainebleau.

- **Dès aujourd'hui des démonstrations sur site :**

→ EDF a installé et exploite, en partenariat avec Gaz de France, la première pile à combustible de moyenne puissance implantée en milieu urbain en France (Chelles, Seine-et-Marne).

Cette pile de technologie PAFC (pile à acide phosphorique) et de puissance électrique 200 kW a été mise en service durant l'hiver 2000. Les sociétés d'ingénierie Industelec Ile-de-France et Sechaud & Metz, toutes deux filiales d'EDF, ont réalisé la maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation de l'installation de la pile.

→ EDF participe à l'expérimentation d'une pile PEMFC d'une puissance de 250 kW électriques à Berlin, dans le cadre d'un projet européen piloté par la compagnie d'électricité allemande Bewag.

Cette pile sera mise en service au premier semestre 2000.

→ EDF et Gaz de France préparent actuellement un projet de démonstration d'une pile de moyenne puissance sur le district de Forbach en Lorraine.

→ EnBW (électricien allemand), associé à EDF et Gaz de France, ainsi qu'à TiWAG (électricien autrichien), a obtenu en janvier 2000 le soutien de la Commission européenne pour un important projet de démonstration d'une pile de 1 MWe couplée à des micro-turbines. Si ce projet se concrétise, la pile serait mise en service en 2003.

ANNEXES

Annexe 1 : Principe électro-chimique du fonctionnement d'une pile

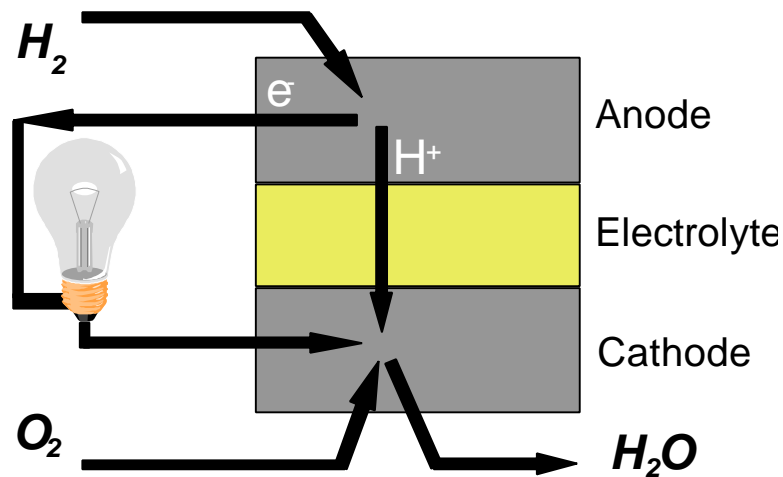
Annexe 2 : Principe du fonctionnement général d'une pile à combustible

Annexe 3 : Glossaire

Annexe n°1 : Principe électro-chimique du fonctionnement d'une pile

→ L'hydrogène est envoyé dans le coeur de la pile, constitué d'un empilement de cellules élémentaires (cellules électrochimiques comportant chacune une anode¹, un électrolyte² et une cathode³) où se déroulent des réactions inverses de l'électrolyse de l'eau⁴. Lors de ces réactions, l'hydrogène et l'oxygène se combinent par réactions électrochimiques pour former de l'eau et faire circuler des électrons⁵, ce qui produit du courant continu.

→ Dans les piles dites " basse température ", l'hydrogène est oxydé à l'anode c'est à dire décomposé en protons⁶ et électrons. Les protons traversent ensuite l'électrolyte et se retrouvent à la cathode. Le déséquilibre en électrons crée un pôle positif et un pôle négatif entre lesquels circulent les électrons produisant ainsi de l'électricité. Simultanément à la cathode, les protons réagissent avec les électrons et l'oxygène et donnent de l'eau, seul sous-produit de cette réaction chimique.



Cellule élémentaire insérée dans un empilement de cellules.

Dans les piles dites " haute température ", l'oxygène est dissocié à la cathode en O^{2-} et migre à travers l'électrolyte et l'eau se forme à l'anode.

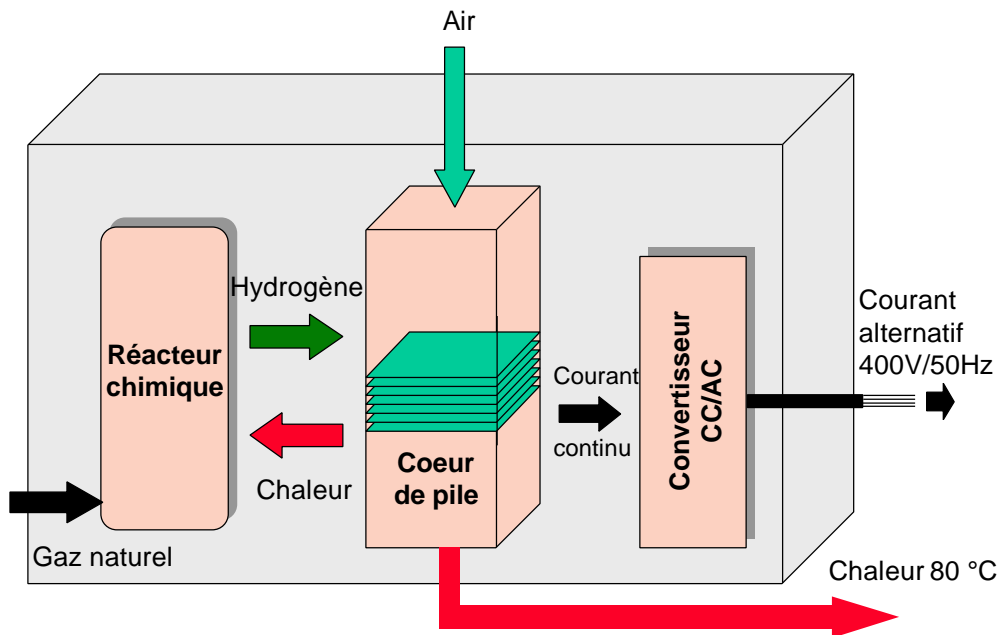
→ Pour être efficaces, ces réactions électrochimiques sont accélérées par des catalyseurs. Elles produisent aussi de la chaleur.

^{1,2,3,4,5,6} : voir glossaire en page suivante

Annexe n°2 : Principe de fonctionnement global d'une pile à combustible

→ L'hydrogène est obtenu par transformation du gaz naturel dans un réacteur chimique, appelé reformeur. L'oxygène, quant à lui, est obtenu à partir de l'air.

→ Le courant continu des piles est produit suivant le même principe qu'une batterie (réactions électrochimiques) à partir de l'utilisation d'hydrogène et d'oxygène pour être ensuite transformé en courant alternatif dans un convertisseur électrique.



Annexe n°3 : Glossaire

¹ *anode* : pôle négatif de la pile

² *électrolyte* : liquide ou solide conduisant les ions

³ *cathode* : pôle positif de la pile

⁴ *électrolyse* : décomposition par le courant électrique de l'eau en hydrogène et oxygène

⁵ *électron* : particule élémentaire chargée négativement (e^-)

⁶ *proton* : particule élémentaire chargée positivement (H^+)