

## **La Communauté Urbaine de Dunkerque accueille le premier prototype de piles à combustible de troisième génération fonctionnant au gaz naturel**

***Vendredi 29 novembre 2002 à 11 heures, Monsieur Michel DELEBARRE, Ancien Ministre d'Etat,  
Député-Maire de Dunkerque, Président de la Communauté Urbaine et  
Monsieur Jean-Pierre PIOLLAT, Directeur de la Direction Commerciale de Gaz de France  
inaugureront l'implantation in situ du premier prototype de piles à combustible  
de troisième génération fonctionnant au gaz naturel en France.  
Cette technologie émergente de production locale d'électricité présente  
de nombreux atouts notamment en matière environnementale.***

### ***Alimentation en électricité et en chauffage***

Installée dans la Mairie Annexe de Petite-Synthe (Dunkerque), la pile à combustible permettra l'alimentation en électricité et en chauffage de l'ensemble des bureaux.

Une deuxième pile sera installée à Dunkerque en janvier prochain. Celle-ci sera installée au sein du Poste Central de Trafic qui gère l'ensemble des feux tricolores de l'agglomération dunkerquoise.

Cinq piles de ce type sont actuellement en cours d'implantation sur le territoire national.

### ***Un nouveau système de cogénération***

La pile se présente sous la forme d'un module d'1,60 mètre de long sur 1,14 mètre de large et 1,42 mètre de hauteur soit l'équivalent d'un gros congélateur domestique.

Cette technologie émergente de production locale d'électricité peut être considérée comme un nouveau système de cogénération. Elle permet de produire localement de l'électricité et de la chaleur avec un rendement élevé. Les piles à combustibles contribuent ainsi aux économies d'énergie. Par ailleurs, propres et silencieuses, elles sont particulièrement bien adaptées au contexte urbain où les contraintes environnementales sont les plus fortes.

**Cette opération expérimentale permettra à Gaz de France** de recueillir un ensemble de données sur le fonctionnement en situation réelle de ces prototypes. Cette étape est essentielle pour pouvoir équiper ensuite les maisons individuelles d'ici 2004 à 2006 avec des piles de puissance inférieure.

**Le territoire de la Communauté urbaine de Dunkerque s'affiche comme une terre d'accueil d'innovations technologiques** : première centrale éolienne française (1997), constitution de bus fonctionnant au Gaz Naturel et aujourd'hui, cette expérimentation avec Gaz de France, d'une technologie très prometteuse d'avenir : la pile à combustible.

### **Contacts Presse**

#### **Gaz de France**

Gérald COUGNACQ

Tél : 03.20 48 45 83

Fax : 03.20.48.45.89

Mail : [gerald.cougnacq@gazdefrance.com](mailto:gerald.cougnacq@gazdefrance.com)

#### **Communauté urbaine de Dunkerque**

Valérie DESPREZ

Tél : 03 28 62 71 36

Fax : 03 28 62 70 41

Mail : [valerie.desprez@dgl.cc](mailto:valerie.desprez@dgl.cc)



# SOMMAIRE

	<i>Page</i>
<i>Fiche 1 : une technologie de production d'électricité et de chaleur sans combustion</i>	3
<i>Fiche 2 : Les atouts des piles à combustible</i>	5
<i>Fiche 3 : Les différents types de piles à combustible</i>	7
<i>Fiche 4 : L'installation en France de 5 piles à combustible</i>	9
<i>Fiche 5 : L'implication du groupe Gaz de France</i>	12
<i>Fiche 6 : Nord-Pas de Calais : Gaz de France, un acteur innovant en matière de développement durable</i>	14
<i>Gaz de France dans le dunkerquois</i>	
<i>Fiche 7 : Dunkerque, l'énergie au pluriel</i>	15
<i>Dunkerque, pôle énergétique</i>	
<i>Annexes</i>	18

## Une 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 technologie de production locale d'électricité peut être considérée comme un nouveau système de cogénération<sup>1</sup>.

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 ?

On recense deux grands domaines d'application pour les piles à combustible :

⇒ **Les applications stationnaires** : ces systèmes de production d'énergie peuvent être installés au plus près des utilisateurs. Les piles à combustible 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.

⇒ **Les applications embarquées** : la propulsion de véhicules, l'alimentation d'appareils portables (dont notamment l'électronique nomade)...

### Quel principe de fonctionnement ?

Le courant continu<sup>2</sup> 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 alternatif dans un convertisseur électrique. Les réactions électrochimiques mises en jeu produisent également de la chaleur

✓ 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 à ses qualités environnementales.

✓ L'oxygène, quant à lui, est obtenu à partir de l'air (cf. annexe 2).

<sup>1</sup> cogénération : production simultanée de chaleur et d'électricité

<sup>2</sup> courant continu : courant dont l'intensité est stable dans le temps par opposition au courant alternatif dont l'intensité varie de manière périodique en fonction du temps.

## 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 cinq à dix ans à venir.

## L'état de développement actuel ?

Depuis une quinzaine d'années et du fait de leurs performances énergétiques et environnementales, les piles à combustible connaissent un très fort développement dans toutes les gammes de puissance, de dizaines de kWe à quelques MWe.

Les performances actuelles des cœurs de pile (cf. annexe 1) sont aujourd'hui très proches de celles attendues au terme de leur développement. Cependant les aspects fiabilité, durée de vie et coût des systèmes piles à combustible (ensemble transformateur de combustible, cœur de pile, et convertisseur électrique) doivent encore être très largement améliorés.

Les offres commerciales autour des piles à combustible sont aujourd'hui peu nombreuses et concernent uniquement un marché dit « de démonstration ».

La phase d'industrialisation, avec la commercialisation de volumes importants de piles à combustible davantage standardisées, devrait démarrer en Europe vers 2010.

Néanmoins, de vrais marchés de niches apparaîtront parallèlement aux marchés de la démonstration dès 2003-2004. Le premier sera probablement celui de l'électronique nomade (téléphones et ordinateurs portables).

## Les atouts des piles à combustible

Les piles à combustible permettent de produire localement de l'électricité et de la chaleur avec un rendement<sup>3</sup> 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 oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>) ni particule.**

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

- ⇒ **4 mg de NO<sub>x</sub>** par kWh PCI<sup>4</sup> de gaz **soit 5 fois moins que les chaudières individuelles** les plus performantes.
- ⇒ **Les quantités de CO sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesure** (inférieur à 1 mg par kWh PCI de gaz). Par comparaison, une chaudière individuelle émet environ 20 mg de CO par kWh PCI de gaz.
- ⇒ **Quant aux émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), elles sont inférieures d'au moins 30% à celles d'un groupe électrogène au diesel.**

Une pile à combustible, pendant les phases de production, doit être alimentée en continu en combustible, de l'hydrogène, et en comburant, le plus souvent de l'oxygène. La transformation par reformage du gaz naturel en hydrogène au sein de la pile est une technologie disponible et maîtrisée.

### 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 pourrait atteindre 70% pour les piles à oxydes solides couplées à une turbine à gaz à l'aval (cf. les différents types de piles) ;
- ⇒ le rendement total (électrique + thermique) est actuellement de l'ordre de 80% et devrait atteindre 90%.

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

### La limitation des nuisances sonores

---

<sup>3</sup> rendement : rapport entre la quantité d'énergie produite à la sortie d'un système et la quantité d'énergie fournie à l'entrée

<sup>4</sup> le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est la quantité de chaleur obtenue par la combustion d'un mètre cube de gaz naturel.

**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 (Seine-et-Marne), installée en janvier 2000 conjointement par Gaz de France et EDF pour alimenter en énergie 200 logements, 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.

## Les différents types de piles à combustible

On distingue 5 grands types de piles en fonction de l'électrolyte<sup>5</sup> utilisé :

⇒ **la pile à combustible de type PEMFC (pile à membranes échangeuses de protons)**, technologie basse température (60 à 80°C) : elle nécessite encore à ce jour des perfectionnements techniques. Du fait des progrès techniques et de la baisse des coûts attendue, les premières unités industrielles pourraient être mises en service vers 2005. Ce sont cinq piles de ce type que Gaz de France installe *in situ* actuellement sur le territoire national.

⇒ **la pile à combustible de type AFC (pile alcaline)**, technologie basse température (60 à 110°C) : relativement facile à fabriquer mais qui manque de compacité. C'est une pile de ce type qui équipait autrefois les modules Apollo. Sensible au dioxyde de carbone contenu dans l'air, elle n'est aujourd'hui étudiée que par un petit nombre d'acteurs industriels.

⇒ **la pile 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 que Gaz de France et EDF ont mise en service à Chelles pour alimenter des logements début 2000 à titre expérimental.

⇒ **la pile à combustible de type MCFC (pile à carbonates fondus)**, technologie haute température (650°C) : des difficultés de développement retardent leur émergence.

⇒ **la pile à combustible de type SOFC (pile à oxydes solides)**, technologie haute température (800 à 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.

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

---

<sup>5</sup> électrolyte : liquide ou solide conduisant les ions

Type de pile	A membranes échangeuses de protons (PEMFC)	Alcalines (AFC)	A acide phosphorique (PAFC)	A carbonates fondus (MCFC)	A oxydes solides (SOFC)
<b>Combustible</b>	hydrogène, gaz naturel, méthanol, biogaz				
<b>Applications</b>	Cogénération résidentielle ou tertiaire Automobile Téléphones et ordinateurs portables Sous-marin, spatial	Cogénération, Transport automobile	Cogénération Transport collectif (bus)	Cogénération Production d'électricité décentralisée	
<b>Stade de développement</b>	Développement : prototypes de 1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> génération en test. Travail parallèle sur les composants (diminution des coûts). Mise en place d'une filière	Développement Quelques démonstrations notamment dans les taxis londoniens	Fabrication en petites séries: 200 unités de 200kWe en fonctionnement dans le monde	Recherche : travail sur les composants fondamentaux (matériaux, méthodes de fabrication). Test de prototypes de 1 <sup>ère</sup> génération.	Recherche et développement : travail sur les composants fondamentaux (matériaux, méthodes de fabrication). Test de prototypes de 1 <sup>ère</sup> génération. Un seul constructeur fabrique en petite série.
<b>Puissance</b>	Piles miniatures de quelques Watts pour téléphones, caméscopes, panneaux de signalisation..., moins de 10 kWe pour le résidentiel, 250 kWe pour la cogénération.	10 à 50 kWe	200 kWe pour la cogénération, environ 100 kWe pour le transport	1 unité de 2 MWe plusieurs de 100 à 250kWe	1 kWe ou 300 kWe à quelques MWe selon technologies
<b>Température de fonctionnement</b>	60 à 80°C	60 à 110°C	200 °C	650 °C	800 à 1 000°C
<b>Rendement électrique</b>	35 à 40 %	40%	40 %	45 à 50 %	45 à 50 % 70 % si couplage avec des turbines
<b>Emissions (NOx à 15%O<sub>2</sub>)</b>	< 5 p p m (donnée constructeur)		0,7 ppm		0,2 ppm
<b>Constructeurs</b>	Ballard (Canada), HPower (USA), Plug Power(USA), Hélion (Fr), Sanyo (Japon)...		UTC Fuel Cells (USA), Fuji Electric (Japon)	Fuel Cell Energy (USA), Ansaldo (Italie), MTU (Allemagne)	Siemens/Westinghouse (All./EU), Rolls-Royce (GB), Sulzer (Suisse)...

## L'installation en France de 5 piles à combustible

### Le contexte de l'expérimentation

Gaz de France et l'américain HPower collaborent depuis quelques années pour la recherche et le développement de piles à combustible de type PEMFC fonctionnant au gaz naturel.

**Un prototype de première génération de pile PEMFC de 4,5 kWe a été testé** sur le centre de recherche de Gaz de France, à Saint Denis, **de janvier à juillet 2001**. Ce module avait été implanté dans un pavillon expérimental.

L'objectif de cette action était d'étudier le comportement de la pile, d'acquérir un savoir-faire et d'améliorer, conjointement avec l'industriel, le prototype utilisé.

**Un prototype de seconde génération est depuis le début 2002 en cours de test** dans ce même pavillon expérimental.

Ces expérimentations sont complétées par **l'implantation pour la première fois en France de 5 prototypes de piles à combustibles de troisième génération en milieu urbain**.

Ces piles à combustible sont destinées à alimenter en électricité et en chauffage des petits bâtiments tertiaires tels que des locaux communaux, des locaux informatiques ou des bureaux. Cette fourniture d'énergie est réalisée parallèlement aux systèmes déjà existants. Pour cette expérimentation, il n'y a donc pas une alimentation unique des bâtiments par l'intermédiaire des piles.

Au-delà des expérimentations en laboratoire, cette opération permettra de recueillir un ensemble de données sur le fonctionnement en situation réelle de ces prototypes. **Cette étape est essentielle pour pouvoir équiper ensuite les maisons individuelles d'ici 2004 à 2006 avec des piles de puissance inférieure.**

### Les lieux d'implantation

L'installation des piles à combustible sur les cinq sites s'échelonne entre novembre 2002 et le 15 février 2003.

✓ **Communauté urbaine de Dunkerque, Mairie de Petite Synthe** (Nord). La pile à combustible permettra l'alimentation en électricité et en chauffage de l'ensemble des bureaux. La mise en service sera effectuée le 29 novembre 2002.

✓ **Nancy** (Lorraine). La pile à combustible sera installée au sein de l'Institut National Polytechnique de Lorraine et fournira en énergie des laboratoires d'agronomie. La mise en service est prévue pour la seconde quinzaine de décembre 2002.

✓ **Communauté urbaine de Dunkerque** (Nord). La pile à combustible sera installée au sein du poste de commandement du trafic routier qui gère l'ensemble des feux tricolores de l'agglomération. La mise en service est prévue pour la première quinzaine de janvier 2003.

✓ **Sophia Antipolis** (Alpes-Maritimes). La pile à combustible sera installée au sein des locaux informatiques et scientifiques du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) durant la seconde quinzaine de janvier 2003.

✓ **Agglomération de Limoges, Mairie de Feytiat** (Haute-Vienne). La pile à combustible alimentera un bâtiment communal et la mise en service est prévue pour la première quinzaine de février 2003.

La durée prévue pour cette expérimentation est de deux ans.

### Description technique

Le modèle retenu pour ces implantations est une pile à combustible « à membrane échangeuse de protons » fabriquée par la société HPower et fonctionnant au gaz naturel.

La puissance des piles est modulable. La puissance thermique maximale est de 5,6 kW et la puissance électrique de 4 kWe. Une pile à combustible peut alimenter en chaleur et en électricité l'équivalent d'une très grande maison individuelle, comme par exemple aux Etats-Unis, mais elle est en France davantage dimensionnée pour des sites tertiaire de petite taille<sup>6</sup>.

La pile à combustible se présente sous la forme d'un module d'1,60 mètre de long sur 1,14 mètre de large et 1,42 mètre de hauteur soit l'équivalent d'un gros congélateur domestique.

Par rapport aux piles de première génération, la miniaturisation des composants a permis de réduire par 3, à puissance équivalente, le volume occupé par un module dans une pièce.

On distingue dans ce module trois éléments :

- ✓ l'unité de transformation du gaz naturel en hydrogène intermédiaire,
- ✓ la partie génératrice d'électricité et de chaleur, appelée « cœur de pile »
- ✓ l'onduleur assurant la transformation du courant continu en courant alternatif (cf. annexe 2)



Le budget total de l'opération est de 2,4 millions d'euros comprenant outre l'achat des cinq prototypes, les travaux d'installation sur les sites ainsi que les frais de recherche et développement.

<sup>6</sup> Représentant 3 à 4 logements individuels

## Les acteurs de l'opération

Cette opération a été labellisée par le réseau PACo. Ce réseau mis en place par le ministère de la Recherche en 1999, vise à faire émerger les projets dans le domaine des piles à combustible.

Gaz de France a souhaité associer à cette opération plusieurs partenaires. Outre les collectivités locales sur le territoire desquelles les piles à combustible sont installées et l'ADEME qui est co-financier, plusieurs acteurs scientifiques ont voulu participer à cette expérimentation unique en France.

L'Ecole des Mines de Paris, l'Ecole des Mines de Douai, le Centre Technique et Scientifique du Bâtiment (CSTB), ainsi que plusieurs laboratoires universitaires<sup>7</sup> ont engagé des programmes de recherche sur cette expérimentation.

---

<sup>7</sup> Le groupe de recherche en électrotechnique et en électronique de Nancy (GREEN), le laboratoire de sciences de génie chimique de Nancy (LSGC), le laboratoire d'énergétique et de mécanique théorique et appliquée de Nancy (LEMTA)

## L'implication du groupe Gaz de France

Gaz de France, s'implique dans le développement des piles à combustible en tant que fournisseur de gaz naturel pour la production d'électricité mais également en tant que concepteur et exploitant d'installations thermiques.

### A terme, de nombreux marchés potentiels :

⇒ **les sites résidentiels et tertiaires** (hôpitaux, piscines, centres commerciaux, hôtels, habitat collectif...), pour des piles de puissances variant entre 1 kWe et 1 MWe,

⇒ **les réseaux de chaleur et les régies d'électricité**, pour des piles de puissance de l'ordre de 1 MWe.

Sur ces marchés, les qualités environnementales des piles à combustible constituent des atouts déterminants.

### Des objectifs

⇒ posséder la maîtrise complète des phases d'installation, d'exploitation et de maintenance d'un projet de pile à combustible.

Gaz de France s'attache notamment à caractériser les piles selon leurs rendements énergétiques, leurs coûts de maintenance, leurs conditions d'exploitation et la qualité de l'énergie fournie,

⇒ être acteur du développement de la technologie des piles à combustible en France et en Europe.

### Une technologie encore émergente

La technologie pile à combustible est encore **en phase de développement**. Les coûts du produit, de sa maintenance et de son exploitation sont encore trop élevés pour autoriser une large diffusion sur le marché. C'est pour cela que Gaz de France n'a pas d'offre commerciale en matière de piles à combustible.

Cependant, le groupe travaille activement pour favoriser l'émergence de ce mode de production d'énergie d'ici à 5 ans.

### L'importance de la recherche

Le centre de recherche de Gaz de France est fortement engagé sur trois des cinq filières de piles à combustibles :

⇒ dans le domaine des **piles à membrane échangeuse de protons (PEMFC)** :

Gaz de France installe pour la première fois en France 5 piles à combustible de petite puissance sur des sites opérationnels.

⇒ dans le domaine des **piles à acide phosphorique (PAFC)** :

En janvier 2000, les groupes Gaz de France et EDF ont mis en service une pile à combustible à Chelles (Seine-et-Marne). C'est la première expérimentation française, grandeur nature, de cette nouvelle technologie de production locale d'énergie.

D'une puissance de 200 kW électriques et 200 kW thermiques, elle alimente en chaleur et en électricité l'équivalent de 200 foyers. Elle fonctionne au gaz naturel. Coriance, entité de Cofathec, pôle Services de Gaz de France, est l'exploitant de cette pile.

⇒ dans le domaine des  piles à oxydes solides (SOFC),

Pour ce type de pile, la Direction de la Recherche de Gaz de France conduit des actions de recherche et développement :

✓ en amont, afin d'évaluer les possibilités de développement technique et économique de ce type de pile. Les recherches de Gaz de France portent sur :

- l'étude de nouveaux matériaux pouvant fonctionner vers 850°C et au gaz naturel; intégration du reformage interne progressif (RIP) dans une technologie type Medicoat/Sulzer en collaboration avec le CEA; participation au groupement de recherche (CNRS) sur les matériaux température intermédiaire (700°C)

- la comparaison des méthodes de production de ces piles; développement de méthodes d'élaboration moins coûteuses avec l'Ecole des Mines de Paris; l'étude comparative est menée à travers les projets du réseau PACo sur le reformage interne progressif avec le CEA et avec Rolls-Royce

- la durée de vie des cœurs de SOFC en fonction de la composition du combustible utilisé. Les équipes de Gaz de France ont mis en place, en 1996, un laboratoire ouvert aux fabricants de piles SOFC pour étudier leurs performances sur une large gamme de gaz et de mélanges combustibles (Tokyo Gas, CEA, ECN...)

✓ en aval, 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. La pile serait mise en service en 2005.

## **Nord-Pas de Calais : Gaz de France, un acteur innovant en matière d'environnement et de développement durable**

**Outre l'implantation expérimentale de deux piles à combustible à Dunkerque, Gaz de France développe différentes actions dans le domaine de l'environnement et du développement durable.**

### **Des bus qui roulent au gaz**

Gaz de France a accompagné différentes collectivités dans le domaine de l'amélioration de la qualité de l'air. Ainsi, aujourd'hui 100 bus de Lille Métropole Communauté Urbaine roulent au Gaz Naturel Véhicules (GNV). Dans la communauté Urbaine de Dunkerque ce sont 50 bus qui circulent au GNV. Et Boulogne-sur-Mer a également prévu l'acquisition de 35 véhicules utilisant cette énergie. En outre Gaz de France participe au développement de la filière dans la région et a doté d'un véhicule GNV 5 lycées professionnels automobile et formé leurs enseignants. Enfin, Gaz de France accompagne activement les actions relatives à l'amélioration de la qualité de l'air et a participé en octobre dernier au lancement de la mallette pédagogique sur la qualité de l'air distribuée à l'ensemble des collèges et lycées de la région.

### **Ecologie industrielle**

Outre les collectivités locales, Gaz de France accompagne également ses clients industriels et tertiaires et leur propose tout un panel de solutions environnementales : matériels à haut rendement, optimisation des installations, traitement des composés organiques volatils (COV) et des boues, recombustion (dénitrification des fumées des grandes installations). Par ailleurs, Gaz de France participe activement à la mise en oeuvre de l'écologie industrielle avec une première expérience sur le territoire dunkerquois (Ecopal). A noter que Gaz de France sera le partenaire principal des Assises Nationales du Développement Durable qui se tiendront à Lille en juin 2003 prochain.

### **Gaz de France dans le dunkerquois**

**En quelques années, Gaz de France a multiplié les implantations dans la région dunkerquoise.**

En 1998, l'arrivée du Franpipe (ex-Norfra), le gazoduc reliant la France aux champs gaziers norvégiens en Mer du Nord, a marqué le démarrage d'implantation de sites majeurs. La construction en 1998 de l'Artère des Hauts de France et du terminal gazier de Loon-Plage permettent aujourd'hui le transit de l'équivalent du tiers des approvisionnements de la France en gaz naturel. En 2001, la mise en service de la station de compression de Pitgam a permis d'accélérer ces transits, notamment vers l'Italie. La construction de DK6, une centrale à cycle combiné de 800 MW électriques vient compléter ces investissements majeurs sur le territoire dunkerquois. Objectif : recycler les gaz sidérurgiques de Sollac Atlantique sur son site de Dunkerque. D'un investissement total de 450 millions d'euros, cette centrale dont la mise en service est prévue pour février 2005, générera 3 millions d'heures de travail. Ce projet unique en France vient d'ores et déjà renforcer la position de Dunkerque, première plate-forme énergétique européenne.

Ce développement de sites industriels majeurs est complété par différents projets menés avec la collectivité en matière de développement durable : la mise en place de 50 bus au gaz naturel véhicules et l'implantation aujourd'hui de deux piles à combustible fonctionnant au gaz naturel en sont deux exemples concrets.

## Dunkerque, l'énergie au pluriel

***Par sa situation géographique et son histoire, l'agglomération dunkerquoise est devenue un nœud du réseau énergétique international. Son avenir s'inscrit dans le cadre d'une politique de développement durable conciliant l'économique, le respect de l'environnement et des hommes.***

### L'agglomération dunkerquoise, un pôle énergétique majeur

Traditionnellement premier port charbonnier français avec 5 millions de tonnes, plus récemment devenu le premier site nucléaire de production d'électricité d'Europe avec 35 millions de MWH, Dunkerque, avec sa plate-forme industrielle, est aussi un producteur important de carburants et de gaz géllifiés...

Plaque tournante du transit de gaz naturel depuis 1998 avec son terminal gazier (d'une capacité de 15 milliards m3/an), le territoire s'est tourné vers les énergies renouvelables, avec notamment, sa centrale éolienne (6 millions de kWh) et un projet expérimental privé de cinq éoliennes géantes.

Symbole de partenariat, Dunkerque sera le site d'implantation de la plus grosse unité de production d'électricité valorisant des gaz de hauts fourneaux (puissance de 800 MW).

### Terre d'innovation

Le territoire s'affiche comme une terre d'accueil d'innovations technologiques : première centrale éolienne française (1997), constitution d'une flotte de bus fonctionnant au gaz naturel et aujourd'hui une expérimentation avec Gaz de France, d'une technologie prometteuse d'avenir : la pile à combustible.

Des piles canadiennes du producteur H Power qui fourniront l'occasion de se mobiliser et de faire valoir les ressources scientifiques du territoire (recherche sur l'environnement industriel). Le projet consistera à tester deux piles à combustible (à membranes polymères, d'une puissance électrique de 3 à 4 kWh), nouveau système de cogénération qui produit de l'énergie en apport des réseaux d'électricité et des installations de production de chaleur.

### L'énergie de la volonté

Dunkerque Grand Littoral – Communauté urbaine sensibilise les partenaires publics et privés à la nécessité de réaliser des études et des programmes d'amélioration de l'efficacité énergétique. Elle met en œuvre des actions de maîtrise de la demande d'énergie (MDE) et de la lutte contre l'effet de serre (logements collectifs et bâtiments administratifs HQE, quartier 21...).

A travers ses investissements, elle favorise la production d'énergie décentralisée (le futur Centre de Valorisation Énergétique et la Centre de Valorisation Organique) et contribue à la mise en valeur du patrimoine et au mieux-être individuel et collectif par la réalisation d'un « Plan Lumière » économe en énergie.

Enfin, la volonté d'échanger, de capitaliser les expériences au niveau européen et d'anticiper le futur, a amené la région dunkerquoise, les collectivités et les grands industriels à organiser les Assises Nationales de L'Énergie.

## Dunkerque « Pôle Energétique »

(Rappels : tep = tonne-équivalent-pétrole, 1 MWh = 1 000 kWh)

**L'agglomération dunkerquoise est une véritable "plaque-tournante" du système énergétique européen en raison de l'importance et de la multiplicité des installations de production, d'importation, de consommation et de transformation d'énergie que recèle son territoire, parmi lesquelles :**

### **Le centre nucléaire de production d'électricité d'EDF (1<sup>er</sup> européen, 3<sup>ème</sup> mondial)**

puissance installée : 6 tranches de 900 MW

production annuelle : 35 000 000 MWh ou 7 770 000 tep (soit près de 10% de la production totale du parc nucléaire français, 1 fois la consommation totale d'électricité de la région Nord-Pas-de-Calais, environ 8% de la consommation française d'électricité)

### **La centrale thermique de production d'électricité d'EDF<sup>8</sup>**

puissance installée : 250 MW

production annuelle : 1 500 000 MWh

transforme pour quelques temps encore environ 400 000 tonnes/an de rejets gazeux sidérurgiques (hauts fourneaux et four à coke) sur le million produit par l'usine Sollac (30% de la production française d'acier)

### **La centrale éolienne de production d'électricité**

puissance installée : 9 éoliennes de 300 kW, soit 2,7 MW

production annuelle : 6 000 MWh soit 1 300 tep

### **L'atterrage du gazoduc FRANPIPE (plus long gazoduc sous-marin du monde)**

15 milliards de m<sup>3</sup> par an (soit 12 900 000 tep) à l'horizon 2005 (soit l'équivalent d'un tiers des besoins français), pression : 157 bars

et dans la continuité, l'Artère des Hauts de France (gazoduc de plus grand diamètre jamais construit en France : 1,1 m), pression : 85 bars

### **Le port charbonnier (1<sup>er</sup> français, 3<sup>ème</sup> mondial)**

5 millions de tonnes par an

### **Les terminaux pétroliers**

10 millions de tonnes par an

### **Les raffineries de pétrole (parmi les plus modernes de France)**

production de carburants et combustibles, huiles, paraffines, bitumes et polymères

### **Le réseau de chauffage urbain**

alimenté en grande partie (44% de la chaleur utilisée) par la valorisation de rejets thermiques industriels fatals (aciérie Sollac Dunkerque), par des chaufferies au fioul lourd et au gaz naturel, ainsi que par deux installations de cogénération (10% de la chaleur utilisée) situées à l'hôpital et à la piscine Paul Asseman de Dunkerque

<sup>8</sup> Prévues d'être définitivement arrêtées lors de l'entrée en fonctionnement de la centrale DK6.

### ***Des industries grandes consommatrices d'énergie***

Sollac Dunkerque : 3 000 000 tep/an

Aluminium Dunkerque : 700 000 tep/an (230 000 tonnes d'aluminium sur les 430 000 tonnes produites annuellement en France)

Copenor Mardyck (pétrole) : 300 000 tep/an

Sollac Mardyck : 113 000 tep/an

L'Air Liquide : 100 000 tep/an en électricité (5 000 tonnes/jour d'oxygène, d'azote et d'argon, 2 unités de liquéfaction totalisant 500 tonnes/jour)

Ascométal (usine des Dunes) : 100 000 tep/an

Dunkerque Electrométallurgie : 48 000 tep/an

Céréol Cappelle-la-Grande (huiles) : 10 000 tep/an

### ***Des bus de transport en commun au gaz naturel***

40 bus d'ici mars 2003, une cinquantaine d'ici 2004 (soit la moitié de la flotte, mais la majorité des kilomètres parcourus).

## **En projet**

Nouvelle installation de cogénération sur le réseau de chaleur (environ 3,5 MW<sub>e</sub> et 3,5 MW<sub>th</sub>) qui permettrait de passer la part de la cogénération dans les sources d'énergie utilisées par le réseau à 20 %.

Plusieurs centrales éoliennes – Exemple : une centrale éolienne de 12 MW (2x2 MW, 2x2,5 MW, 1x3 MW) sur le site de la Raffinerie des Flandres (TotalFinaElf).

Valorisation énergétique de l'incinération des ordures ménagères : le nouvel incinérateur produira environ 55 GWh<sub>e</sub> dont 12 GWh<sub>e</sub> seront autoconsommés sur le site de production.

Centrale de production d'électricité (DK6) sous maîtrise d'ouvrage Gaz de France et Alstom, constituée de 2 tranches identiques de 400 MW<sub>e</sub> chacune (turbines à gaz alimentée en gaz naturel, chaudière de production de vapeur alimentée en gaz sidérurgiques et/ou en gaz naturel, turbines à vapeur, chaque tranche pouvant fonctionner en mode cycle combiné ou cycle air frais) destinée à la fourniture d'électricité à Sollac Dunkerque. Investissement évalué à 400 millions d'euros, mise en service prévue fin 2005.

# ANNEXES

*Annexe 1 : Principe électrochimique du fonctionnement d'une pile*

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

## Annexe n°1 : Principe électrochimique du fonctionnement d'une pile

L'hydrogène est envoyé dans le cœur de la pile, constitué d'un empilement de cellules élémentaires (cellules électrochimiques comportant chacune une anode<sup>7</sup>, un électrolyte<sup>7</sup> et une cathode<sup>9</sup>) où se déroulent des réactions inverses de l'électrolyse de l'eau<sup>7</sup>.

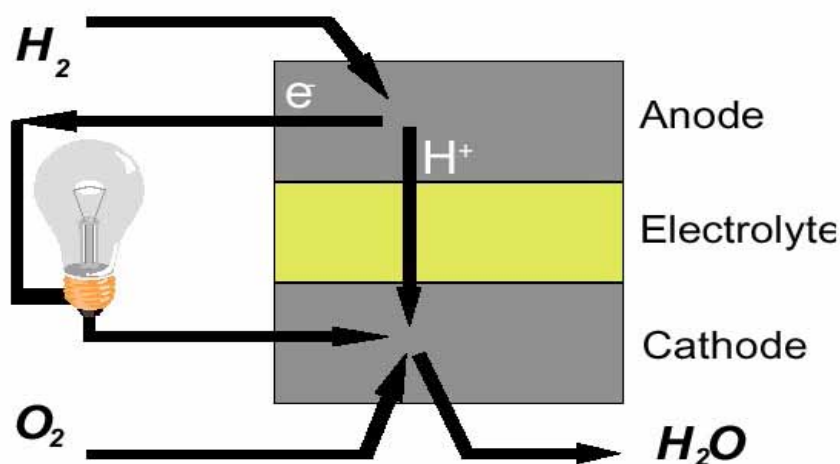
Lors de ces réactions, l'hydrogène et l'oxygène se combinent et forment de l'eau par réactions électrochimiques. Un courant continu est généré par le passage des électrons<sup>7</sup> par le circuit extérieur à la pile.

✓ Dans les piles dites « basse température », l'hydrogène est oxydé à l'anode c'est-à-dire décomposé en protons<sup>7</sup> 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 le courant continu. Simultanément à la cathode, les protons réagissent avec les électrons et l'oxygène et donnent de l'eau, seul produit de cette réaction électrochimique.

✓ Dans les piles dites « haute température », l'oxygène est dissocié à la cathode en ions  $O^{2-}$  qui migrent à travers l'électrolyte et réagissent avec les protons à l'anode pour former de l'eau.

Pour être efficaces, ces réactions électrochimiques sont accélérées par des catalyseurs. Par ailleurs, elles sont exothermiques, elles produisent donc également de la chaleur.



<sup>9</sup> **anode** : pôle négatif de la pile

**électrolyte** : liquide ou solide conduisant uniquement les ions

**cathode** : pôle positif de la pile

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

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

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

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.

