

Small is beautiful

Le succès mitigé de ces expériences a conduit les ingénieurs à fabriquer des piles à combustible moins puissantes. Une pile d'une cinquantaine de kilowatts couvre facilement les besoins en électricité d'une maison de cinq ou six pièces, ou d'un commerce tel qu'une blanchisserie. Cette puissance est proche de celle dont a besoin une voiture pour accélérer (voir *Le plein d'hydrogène, s'il vous plaît*, page 38) : des habitations isolées pourraient être alimentées en électricité par la même pile à combustible qui servirait à propulser l'automobile.

Les plus optimistes évaluent à 300 milliards de francs le marché annuel des piles stationnaires de 5 à 100 kilowatts aux États-Unis d'ici 2030. Ont-ils raison ? Aujourd'hui, aux États-Unis, trois sociétés seulement ont installé des piles qui fournissent de l'électricité à des maisons témoins, et la première pile à combustible installée de façon permanente dans un foyer n'a été mise en service qu'en juin 1998 (voir la figure 3).

Des piles plus puissantes, pour des usages industriels ou commerciaux, sont aussi à l'étude. Une société espère bientôt commercialiser une pile à combustible stationnaire de 500 kilowatts, et plusieurs autres préparent ou ven-

dent déjà des piles de 200 à 300 kilowatts. Ces dernières pourraient, par exemple, alimenter plusieurs magasins d'un centre commercial, un petit centre médical ou un centre d'affaires. Une pile de 300 kilowatts est ainsi en cours d'installation par les Sociétés *Alstom* et *Ballard*, à Berlin.

Pour satisfaire des besoins plus importants, on pourrait associer plusieurs piles. Ainsi, les constructeurs d'un nouvel immeuble new-yorkais (voir la figure 1), qui sert de vitrine pour les techniques «propres», ont installé deux piles à combustible de 200 kilowatts pour l'alimentation en eau chaude, l'éclairage de la façade et l'alimentation électrique de secours.

Des piles à combustible ont aussi été choisies lorsque leurs caractéristiques compensaient leur coût élevé. Ainsi, l'installation d'une pile de 200 kilowatts, dans le commissariat de police de Central Park, à New York, a évité le creusement de tranchées dans le parc. Au Nebraska, le centre de traitement des transactions par cartes de crédit de la Société *First National Bank* sera également équipé de quatre piles à combustible de 200 kilowatts : doublée par des générateurs auxiliaires de secours et par le réseau électrique local, cette alimentation sera très fiable.

L'acide phosphorique en tête

Comme la taille et le poids des piles à combustible ont peu d'importance dans les applications au bâtiment, de nombreux types de piles sont utilisables. Il en existe cinq principaux, que l'on distingue par leur électrolyte : piles à acide phosphorique, à carbonate fondu, à oxyde solide, à membrane échangeuse de protons et piles alcalines.

La pile à acide phosphorique est celle qui fonctionne le mieux aujourd'hui. Toutes les piles de plus de 100 kilowatts vendues sont à acide phosphorique. Dans l'ensemble du monde, douze sociétés commercialisent ou mettent au point ces piles. La Société *ONSI* en a vendu environ 170, alimentées presque toutes au gaz naturel ; certaines ont fonctionné des dizaines de milliers d'heures. Aux États-Unis, l'achat de beaucoup de ces piles a été subventionné par les ministères de la Défense et de l'Énergie. Les acquéreurs ont reçu 6 500 francs par kilowatt, plafonné à un tiers du coût total du projet. Plus de 120 millions de francs ont été ainsi distribués aux acheteurs et aux installateurs de plus de 90 piles à combustible. Quelques sociétés japonaises ont aussi vendu environ 120 piles à acide phosphorique de 50 à 500 kilowatts, dont plusieurs ont fonctionné plus de 40 000 heures.

Aux États-Unis, comme au Japon, la plupart des piles à acide phosphorique installées fournissent à la fois de la chaleur et de l'électricité. Cinq autres types d'installations s'équipent depuis peu : les décharges, les stations d'épuration des eaux usées, les usines agroalimentaires, les centrales électriques qui ne peuvent tolérer aucune interruption et les installations qui respectent l'environnement. Les trois premiers types utilisent ainsi le méthane, qui autrement serait un déchet indésirable : la gratuité de ce combustible facilite l'amortissement des installations.

Malgré ces succès, le coût des piles à acide phosphorique se stabilise depuis plusieurs années à environ 25 000 francs par kilowatt, soit le triple du prix qui les rendrait compétitives. Certains industriels en ont déduit que la technique est dans l'impasse, et la plupart des nouveaux fabricants de piles à combustible se concentrent sur

Comparaison des piles à combustible

ÉLECTROLYTE	Membrane échangeuse de protons	Acide phosphorique	Carbonate fondu	Oxyde solide
TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT	80 °C	Environ 200 °C	650 °C	800-1 000 °C
PORTEUR DE CHARGE	Ion hydrogène	Ion hydrogène	Ion carbonate	Ion oxygène
REFORMAGE	Externe	Externe	Interne ou externe	Interne ou externe
MATÉRIAU DE LA PILE	À base de carbone	À base de graphite	Acier inoxydable	Céramique
CATALYSEUR	Platine	Platine	Nickel	Pérovskites (titanate de calcium)
RENDEMENT (EN POUR CENT)	40 à 50	40 à 50	Plus de 60	Plus de 60
ÉTAT DE MISE AU POINT	Prototypes jusqu'à 50 kilowatts ; piles de 250 kilowatts dans quelques années	Pile de 200 kilowatts commercialisées ; une pile de onze mégawatts a été testée	Prototype de deux mégawatts	Prototypes jusqu'à 100 kilowatts

d'autres types de piles. Les piles à combustible à carbonate fondu et à oxyde solide fonctionnent toutes les deux à plus de 650 °C : comme son nom l'indique, l'électrolyte de la pile à carbonate fondu est un sel liquide, et les piles à oxyde solide nécessitent des températures élevées pour le reformage interne et l'ionisation de l'hydrogène sans catalyseurs onéreux. En outre, l'électrolyte ne conduit qu'à partir de 800 °C. La chaleur nécessaire est produite à partir de l'énergie rejetée par la pile, sans nuire au rendement électrique. Comme pour les piles à acide phosphorique, on récupère une partie de la chaleur dissipée pour la production d'eau chaude et le chauffage des pièces d'habitation (voir la figure 2).

La centrale de deux mégawatts que nous avons déjà évoquée était constituée de piles à carbonate fondu. Des piles de moindre puissance sont actuellement en cours de mise au point. Une quarantaine d'entreprises dans le monde s'intéressent aux piles à oxyde solide.

Un sérieux outsider

Malgré leurs adaptations récentes, les piles à combustible à acide phosphorique, à carbonate fondu et à oxyde solide sont toutefois des techniques mises au point à l'époque où l'on pensait construire des centrales de forte puissance. Les piles à membrane échangeuse de protons, en revanche, sont apparues en même temps que l'idée de petites centrales de production électrique. Elles semblent prometteuses, car les coûts de production de leurs électrolytes ont fortement baissé et l'on a mis au point des catalyseurs qui résistent mieux au blocage par le monoxyde de carbone produit lors du reformage.

L'électrolyte d'une pile à membrane échangeuse de protons est une mince membrane semi-perméable, qui ne laisse passer que les ions chargés positivement, tels les ions hydrogène (ou protons), mais pas les électrons (la membrane contient des groupements chargés négativement). Il y a quelques années, des ingénieurs ont découvert que le Gore-Tex®, un matériau utilisé pour la fabrication de vêtements étanches à l'eau et au froid, peut renforcer la membrane, améliorant ainsi ses caractéristiques de fonctionnement :



3. UNE PILE À COMBUSTIBLE à membrane échangeuse de protons, de la taille d'un réfrigérateur, installée près du garage, alimente une maison en électricité. Elle fournit sept kilowatts, assez pour couvrir la plupart des besoins de la maison, sauf aux heures de pointe.

elle peut être plus mince et plus résistante mécaniquement.

Aujourd'hui, 85 sociétés dans le monde mettent au point des piles à membrane échangeuse de protons d'une puissance de quelques kilowatts à quelques centaines de kilowatts. Ainsi, la Société *Ballard Generation Systems*, en collaboration avec la Société *Alstom*, prévoit de commercialiser, à partir de 2001, une pile à membrane échangeuse de protons qui produira jusqu'à 250 kilowatts. La Société *Plug Power* fait fonctionner une pile à membrane échangeuse de protons de sept kilowatts dans une maison occupée toute la semaine par deux de ses ingénieurs. La Société *H Power Corporation* vend de petites unités de 35 à 500 watts : elle propose leur utilisation dans des systèmes de secours, de télécommunications et de transports (pour l'alimentation de panneaux mobiles de signalisation, par exemple).

Les piles à combustible alcalines sont utilisées depuis longtemps dans des environnements spéciaux, telle la navette spatiale (où les astronautes utilisent l'eau produite par la réaction). Leurs rendements sont élevés, mais d'autres problèmes les ont écartées des applications domestiques. Néanmoins, quelques sociétés essaient de produire des piles alcalines à un prix compétitif par rapport à d'autres piles à combustible, sinon à d'autres filières de production d'électricité.



Courtesy of Plug Power

À quelles conditions les piles à combustible entreraient-elles vraiment sur le marché de la production d'énergie? Des subventions gouvernementales resteront nécessaires pendant encore quelques années, et ces dispositifs resteront cantonnés à quelques niches de marché, dont le nombre et la taille augmenteront petit à petit. À plus long terme, la lutte contre le réchauffement du climat planétaire, dû notamment aux émissions de dioxyde de carbone, pourrait imposer la généralisation des piles à combustible. Nous entrerions alors dans une économie de l'hydrogène, plus propre que celle des combustibles fossiles.

Alan LLOYD dirige le Bureau de la qualité de l'air de l'État de Californie.

Karl KORDESCH et Gunter SIMADER, *Fuel Cells and Their Applications*, VCH Publishers, 1996.

R.H. WILLIAMS, *Fuel Decarbonization for Fuel Cell Applications and Sequestration of the Separated Carbon Dioxide*, Princeton University Center for Energy and Environmental Studies, janvier 1996.

E.A. PARSON et D.W. KEITH, *Fossil Fuels without Carbon Dioxide Emissions*, in *Science*, vol. 282, pp. 1053-1054, 6 novembre 1998.

Fuel Cells : A Handbook, quatrième édition, US Department of Energy, 1998.