

Une centrale électrique dans votre sous-sol

ALAN LLOYD

Des piles à combustible équipent aujourd'hui des maisons, qui n'ont plus besoin d'être reliées au réseau électrique.

Produite dans des centrales de plusieurs centaines de mégawatts de puissance, l'électricité parcourt souvent des dizaines, voire des centaines de kilomètres avant d'arriver chez les consommateurs. Dans 10 ou 20 ans, certains d'entre nous produiront leur propre électricité à l'aide d'un petit groupe électrogène, silencieux et efficace, de la taille d'un réfrigérateur, installé dans leur sous-sol ou dans leur cour : des maisons individuelles, des commerces, de petites entreprises, des hôtels, des immeubles d'habitation et même des usines seront ainsi alimentés par des piles à combustible d'une puissance de 5 à 500 kilowatts.

Dans tous les pays industrialisés, des entreprises et des laboratoires perfectionnent de tels systèmes. Quelques sociétés en vendent déjà. Ainsi, depuis presque dix ans, une filiale de la Société *United Technologies* a vendu quelque 170 piles à combustible d'une puissance maximale de 200 kilowatts ; la plupart produisent de la chaleur et de l'électricité dans des installations industrielles, ou servent de générateur de secours. On utilise aussi des piles à combustible dans les stations d'épuration des eaux et dans des usines qui affichent leur respect de l'environnement.

Aujourd'hui, ces piles à combustible coûtent cher : leur utilisation est encore restreinte, et leur achat est toujours largement subventionné par les organismes publics. L'investissement, pour une pile à combustible, est de 20 000 à 25 000 francs par kilowatt, contre 5 000 à 10 000 francs par kilowatt pour une centrale thermique classique ou nucléaire. En outre, on ne

connaît pas encore la durée de vie d'une pile à combustible : aucune installation commerciale n'a fonctionné plus de dix ans (une centrale électrique thermique produit de l'électricité pendant 20 ans au moins, et la Société *Électricité de France* annonce une durée de vie de 40 ans pour ses centrales nucléaires).

Toutefois, les piles à combustible deviendraient compétitives si elles

coûtaient seulement 10 000 francs par kilowatt. Elles ont en effet plusieurs avantages : elles sont propres et silencieuses, elles consomment des combustibles variés et elles sont en général insensibles aux perturbations atmosphériques qui endommagent les réseaux électriques. Elles ont aussi de hauts rendements et permettent la cogénération d'électricité et de chaleur. Contrairement aux centrales thermiques classiques, qui émettent des gaz à effet de serre, et aux centrales nucléaires, qui produisent des déchets radioactifs, les piles à combustible ne rejettent que de l'eau (et éventuellement du dioxyde de carbone). En outre, l'hydrogène, aujourd'hui produit à partir d'hydrocarbures fossiles, pourrait être obtenu par électrolyse de l'eau avec des sources d'énergie renouvelables, telles des éoliennes ou des cellules photovoltaïques. L'épuisement des réserves de pétrole, au cours du siècle prochain, favorisera le passage à une production d'énergie fondée sur les énergies renouvelables.

Propres, rentables et versatiles

La pile à combustible a été inventée il y a plus d'un siècle. Comme les accumulateurs électriques, elle produit du courant électrique en canalisant les électrons qui sont échangés entre des réactifs, au cours d'une réaction électrochimique : au lieu de se combiner violemment, l'hydrogène et l'oxygène réagissent séparément, sur deux électrodes (voir la figure de la page 36). Pour produire une quantité utile de courant électrique, plusieurs cellules sont empilées.



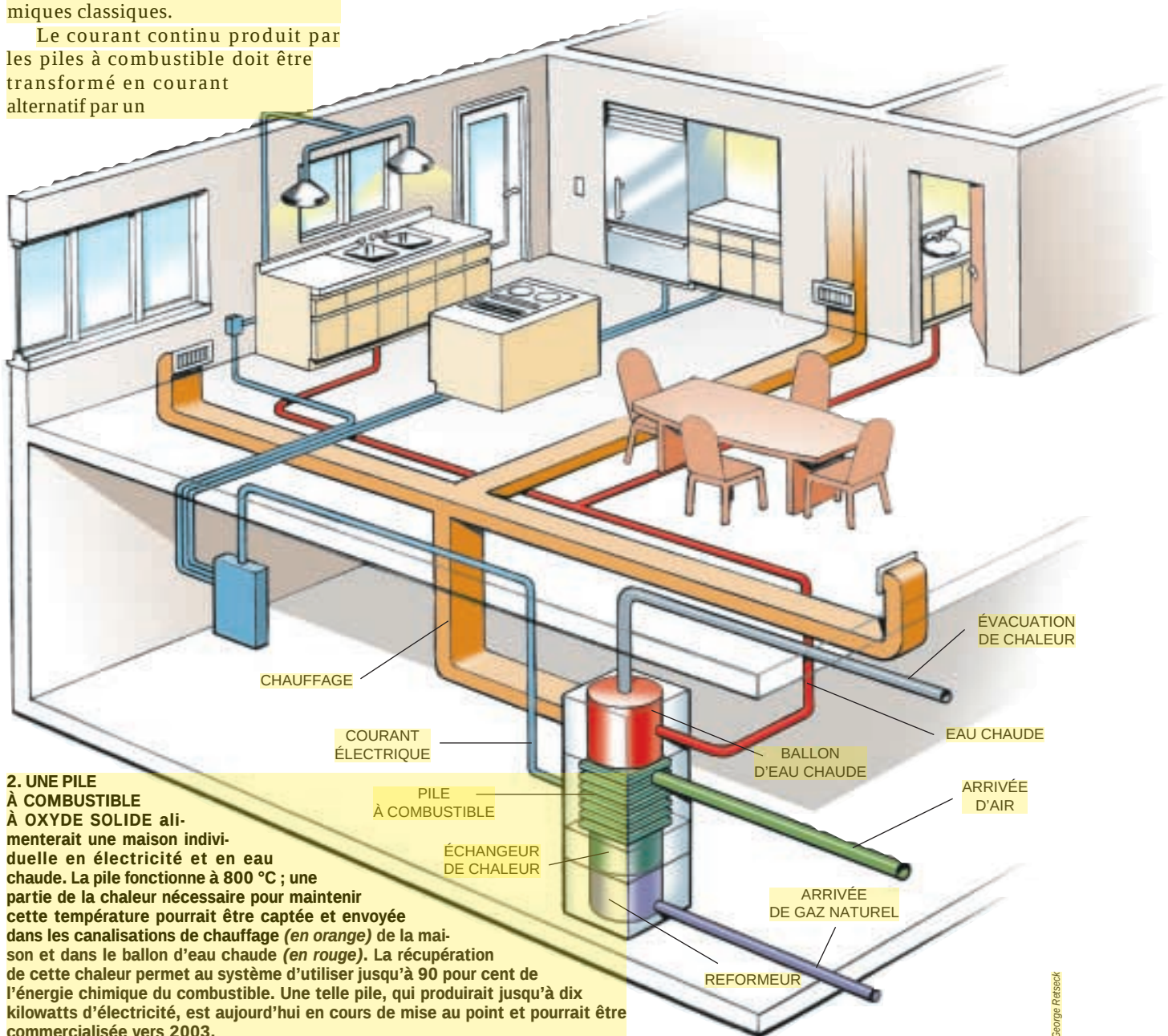
1. CET IMMEUBLE DE NEW YORK est équipé de deux piles à combustible de 200 kilowatts, installées au quatrième étage.

Un tel système fournit un courant électrique continu tant qu'il est alimenté en hydrogène et en oxygène. L'oxygène provient en général de l'air ambiant (ce dernier en contient 21 pour cent), et l'hydrogène est produit par dissociation d'autres molécules telles que l'eau, l'ammoniac, les hydrocarbures fossiles (gaz naturel et distillats de pétrole, propane liquide et charbon gazéifié) et les molécules organiques renouvelables (éthanol, méthanol, produits de décomposition de la biomasse). La transformation de ces composés en hydrogène, nommée reformage, produit aussi du dioxyde de carbone et d'autres gaz polluants, mais les pollutions sont 10 à 1 000 fois inférieures à celles des centrales thermiques classiques.

Le courant continu produit par les piles à combustible doit être transformé en courant alternatif par un

convertisseur, pour être utilisable dans des activités domestiques ou commerciales. Les rendements du reformeur et du convertisseur ne sont pas de 100 pour cent : ces systèmes dissipent de l'énergie, surtout sous forme de chaleur. Bien que le rendement électrochimique de conversion de l'hydrogène en électricité soit supérieur à 55 pour cent dans la pile elle-même, les pertes d'énergie dans le reformeur et dans le convertisseur abaissent le rendement global à environ 40 pour cent, équivalent à celui d'une turbine à gaz. On obtient des valeurs nettement supérieures en récupérant une bonne partie de la chaleur pour le chauffage d'eau ou d'air.

Quelle puissance doit avoir une pile à combustible stationnaire? Ces 20 dernières années, des entreprises de production d'électricité en ont testé de fortes puissances, sans grand succès : une pile de 4,5 mégawatts, construite à New York en 1982, n'a jamais fonctionné ; une centrale de deux mégawatts, construite en 1995 par la Société *Pacific Gas and Electric*, a fonctionné 3 000 heures sans jamais produire plus de la moitié de sa puissance nominale. Les résultats ont été plus concluants au Japon, où la Société *Tokyo Electric Power* a testé une pile de 4,5 mégawatts en 1984, et une pile de 11 mégawatts qui a fonctionné pendant 23 000 heures, entre 1991 et 1997.



George Ratsack

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