

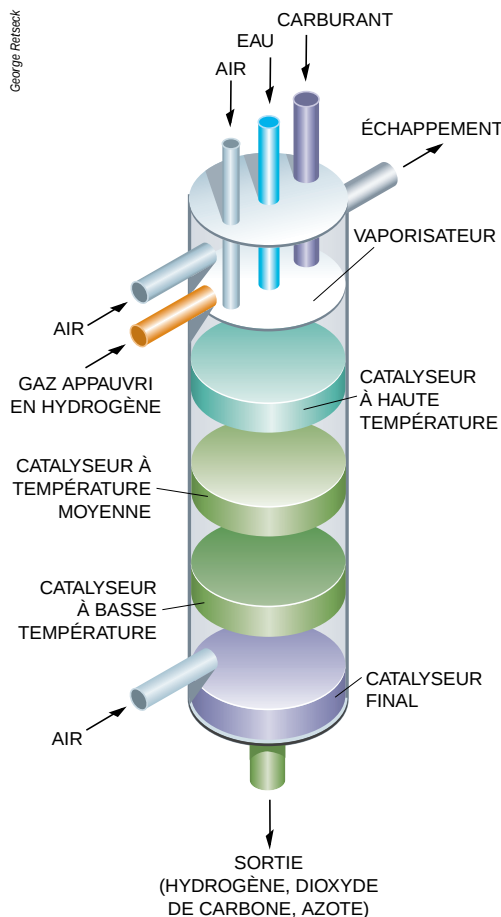
kilogrammes d'hydrogène. Comme ces matériaux sont chers et lourds, des chercheurs de l'Université Northeastern ont mis au point des nanofibres de carbone qui absorberaient de façon réversible de l'hydrogène à température ambiante. Si les études en cours confirment leurs résultats et même si ce matériau ne stocke que la moitié de la quantité d'hydrogène annoncée, les trois kilogrammes d'hydrogène tiendraient alors dans 35 litres, soit 1 000 fois moins que sous forme gazeuse.

Pour éviter de stocker l'hydrogène dans les véhicules, on pourrait le produire à bord, par reformage d'un composé hydrocarboné, tel le méthanol (on fait réagir le méthanol avec de la vapeur d'eau, à 280 °C, en présence d'un catalyseur). Comme le reformage produit un peu de dioxyde de carbone, ces systèmes ne sont pas aussi propres que les piles alimentées directement par de l'hydrogène. En outre, le transport et le stockage du méthanol nécessitent la mise au point de nouveaux réservoirs et l'organisation de sa distribution dans les stations-service.

Les piles à combustible à acide phosphorique fonctionnent particulièrement bien avec un reformeur, car leur système de chauffage produit simultanément la vapeur; leur température préviendrait aussi l'empoisonnement du catalyseur par les petites quantités de monoxyde de carbone produites lors du reformage (le monoxyde de carbone s'adsorbe sur les sites actifs du catalyseur; le chauffage entraîne sa désorption). Dans ces piles, le rendement de la transformation du méthanol en électricité atteint presque 50 pour cent. Depuis 1990, la Société *H Power* a ainsi construit plusieurs prototypes d'autobus silencieux, dont le rendement est le double de celui des autobus diesels, et qui n'émettent respectivement que 1,5 et 0,25 pour cent des quantités autorisées de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote.

Le reformage du méthanol convient moins bien aux membranes échangeuses de protons: l'empoisonnement du catalyseur n'est évité qu'au prix d'une étape supplémentaire d'oxydation catalytique, qui réduit le monoxyde de carbone à moins de dix parties par million, et d'une grande quantité de catalyseur, un alliage de

George Retzack



5. UN REFORMEUR POLYVALENT pourrait transformer l'essence ou le méthanol en un mélange gazeux riche en hydrogène pour les piles à combustible. La combustion du gaz contenant de l'hydrogène résiduel, provenant des anodes de la pile à combustible, chaufferait le carburant, l'eau et l'air, qui réagiraient au contact du catalyseur à haute température. Des catalyseurs complémentaires, actifs à des températures de plus en plus basses, réduiraient la quantité de monoxyde de carbone et augmenteraient la concentration en hydrogène dans le mélange d'échappement.

platine et de rhuthénium, sur l'anode. En outre, une partie de l'hydrogène produit doit être brûlé pour la production de vapeur dans le reformeur. La Société *Toyota* a présenté un véhicule équipé d'un tel système, dont le rendement n'était que de 37 pour cent. Un tel rendement peut être obtenu par un véhicule hybride propulsé par un moteur thermique et par un accumulateur, alors que le méthanol est aujourd'hui environ deux fois plus cher que l'essence pour un contenu énergétique équivalent (à terme, on devrait toutefois arriver au même coût). De plus, un reformeur de méthanol est volumineux et lourd.

Pourquoi ne pas produire de l'hydrogène en reformant simplement l'essence que l'on trouve aujourd'hui dans les stations-service? On profiterait de l'infrastructure de distribution déjà en

place. Dans un projet des Sociétés *Shell* et *DaimlerChrysler*, les véhicules seraient équipés d'un reformeur polyvalent, qui produirait de l'hydrogène à partir de méthanol ou d'essence et qui consommerait une partie du combustible pour produire la chaleur nécessaire (voir la figure 5). Le Laboratoire américain Argonne a testé un système qui convertit en hydrogène l'essence délivrée à la pompe avec un rendement de 78 pour cent. Toutefois, si l'on compte l'énergie consommée dans la vaporisation et l'énergie perdue dans la pile à combustible, le rendement global d'un véhicule ne serait que de 33 pour cent. En outre, le démarrage du reformeur à basse température doit encore être amélioré.

L'essence actuelle contient du soufre, qui empoisonne le catalyseur. Avec des piles stationnaires à acide phosphorique, l'essence devrait être désulfurée avant d'être transformée en gaz riche en hydrogène. Cependant, cette désulfuration est quasi impossible à bord des véhicules. Une possibilité est de faire traverser à l'hydrogène une membrane de palladium, à chaud et sous pression. Les sociétés pétrolières pourraient aussi produire de l'essence sans soufre qu'utiliseraient à la fois les véhicules à piles à combustible et les moteurs à combustion interne à haut rendement.

Verrons-nous un jour des «pompes à hydrogène» dans toutes les stations-service? Nos véhicules

consommeront alors moins d'énergie et seraient plus propres. En attendant, les techniques doivent encore progresser et, surtout, le coût des piles à combustible doit baisser.

John APPLEBY est professeur d'électrochimie à l'Université A&M.

A. John APPLEBY et Frank R. FOULKES, *Fuel Cell Handbook*, Van Nostrand Reinhold, 1989.

Leo J.M.J. BLOMEN et Michael N. MUGERWA, *Fuel Cell Systems*, Plenum Press, 1993.

Karl KORDESCH et Günter SIMADER, *Fuel Cells and Their Applications*, John Wiley & Sons, 1996.

Christopher E. BORRONI-BIRD, *Fuel Cell Commercialization Issues for Light-Duty Vehicle Applications*, in *Journal of Power Sources*, vol. 61, n° 1-2, pp. 33-48, 1996.

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

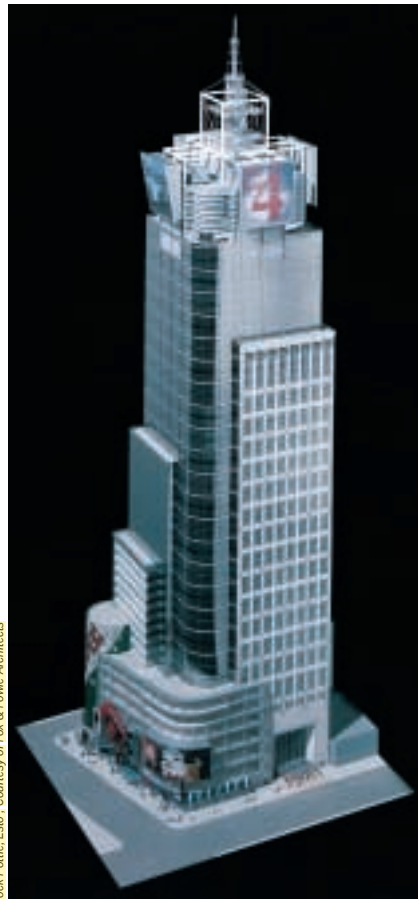
connaît pas encore la durée de vie d'une pile à combustible : aucune installation commerciale n'a fonctionné plus de dix ans (une centrale électrique thermique produit de l'électricité pendant 20 ans au moins, et la Société *Électricité de France* annonce une durée de vie de 40 ans pour ses centrales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



Jack Pottle. Esbo : Courtesy of Fox & Fowle Architects

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