



Au service de la
médecine.

OM

P H A R M A

OM PHARMA • Rue du Bois-du-Lan 22 • Case postale 84 • 1217 Meyrin 2/Genève
Tél. 022 783 11 11 • Fax 022 783 11 22 • mailbox@ompharma.com

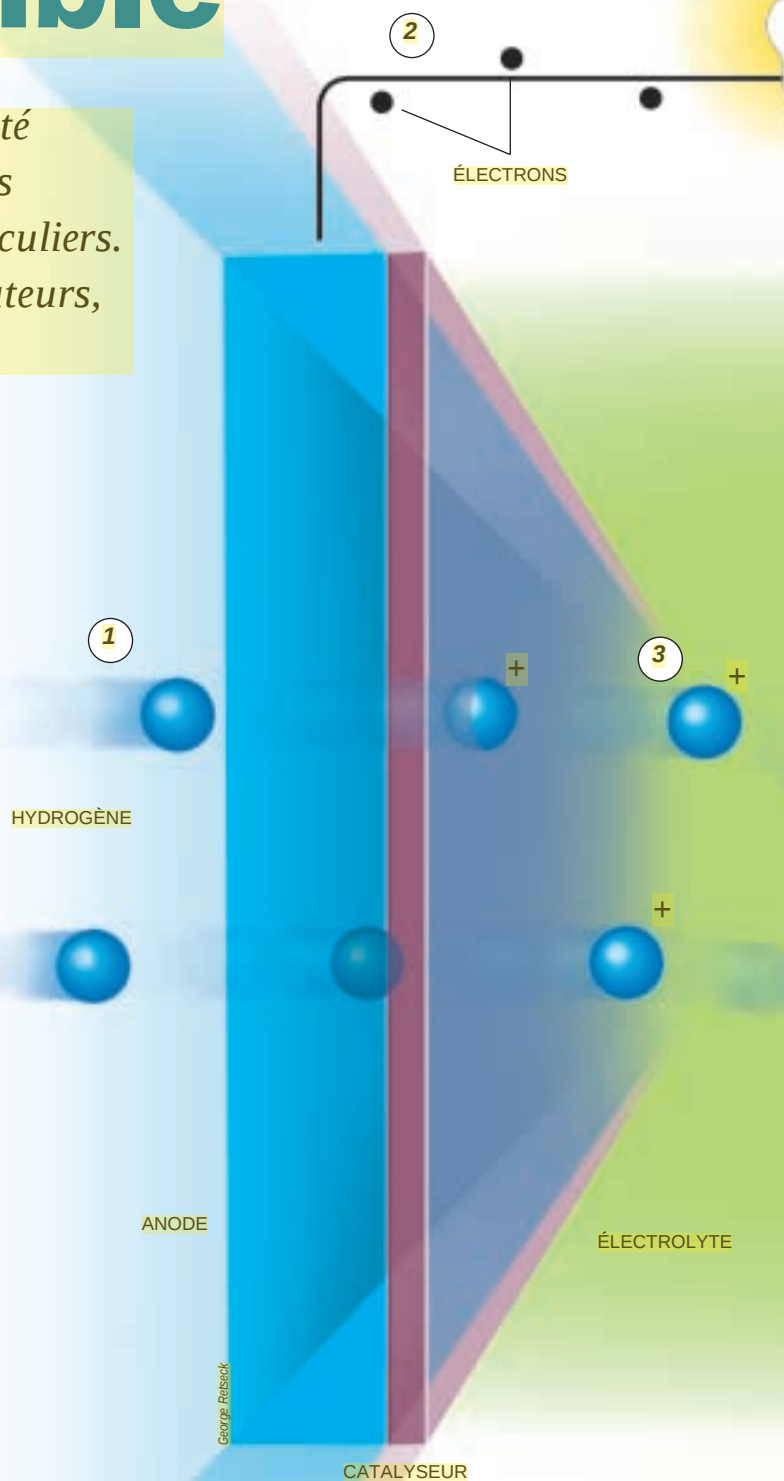
Les piles à combustible

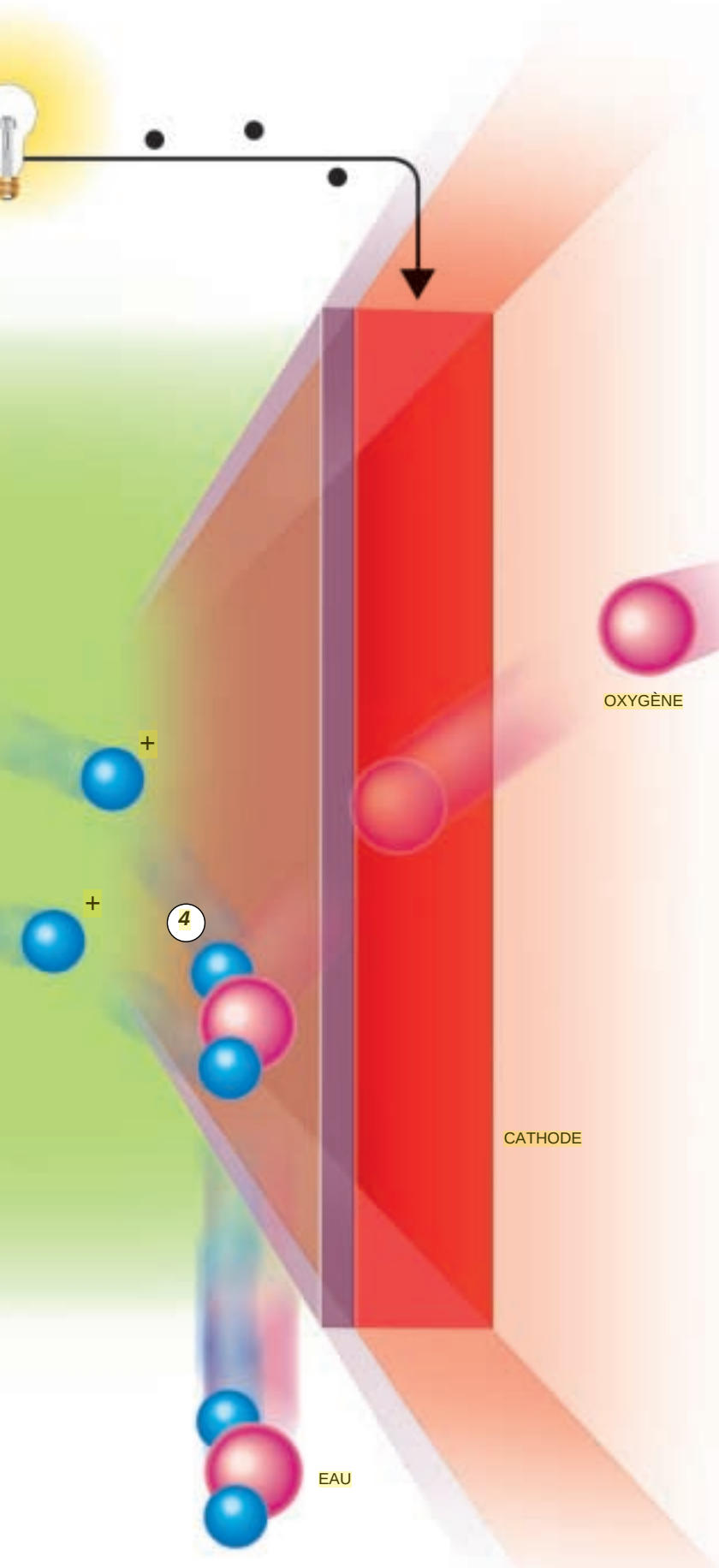
Ces générateurs chimiques d'électricité ont été longtemps réservés aux engins spatiaux ou à d'autres systèmes particuliers. Ils alimentent aujourd'hui des ordinateurs, des automobiles ou des bâtiments.

En 1839, l'électrochimiste britannique William Grove démontre que la réaction chimique par laquelle l'hydrogène et l'oxygène se combinent et forment de l'eau peut produire de l'électricité. La pile à combustible qu'il invente alors restera toutefois une curiosité de laboratoire jusque dans les années 1960, quand la NASA utilise le phénomène pour alimenter ses véhicules spatiaux en électricité. Les piles à combustible d'alors sont légères, mais très coûteuses. Aujourd'hui, on adapte ces dispositifs propres et silencieux, et de rendement élevé, à l'alimentation électrique de téléphones cellulaires, d'ordinateurs portables, d'automobiles et de bâtiments.

Les piles à combustible s'imposent-elles? Les difficultés techniques sont nombreuses. L'alimentation en combustible nécessite souvent l'ajout de systèmes annexes complexes : l'hydrogène liquide, riche en énergie, doit être stocké à -253°C , température proche du zéro absolu (-273°C) ; le méthanol, liquide à température ambiante, contient beaucoup d'hydrogène, mais il ne le libère qu'après une réaction chimique qui consomme de l'énergie et qui produit du monoxyde et du dioxyde de carbone. De plus, la plupart des piles à combustible requièrent des catalyseurs coûteux qui contiennent du platine ou d'autres métaux précieux.

Les chercheurs et les ingénieurs tentent de remédier à ces défauts. Ils ont ainsi divisé par plus de 30 la quantité de platine nécessaire au fonctionnement de certaines piles à combustible. Les trois articles de ce dossier décrivent les piles à combustible utilisées dans trois domaines : la propulsion des véhicules, où le moteur à combustion interne reste difficile à battre ; la production domestique d'électricité, où les centrales produisant des mégawatts sont remplacées par des dispositifs individuels plus petits ; l'alimentation des appareils électroniques portables, où des piles à combustible miniatures pourraient remplacer les accumulateurs.





PAGE 38



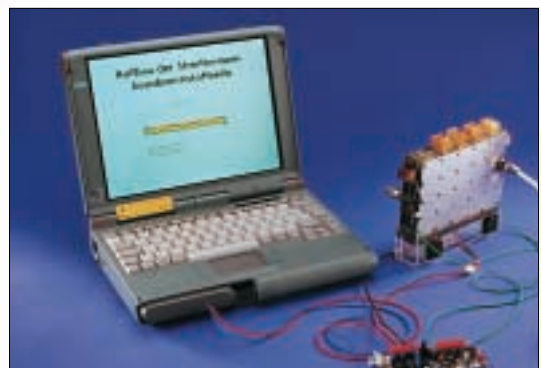
Daimler-Benz

PAGE 44



Plug Power

PAGE 48



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems

LA PILE À COMBUSTIBLE est une pile électrique continuellement approvisionnée en réactifs. Elle est constituée de deux électrodes, séparées par un électrolyte (un matériau qui bloque le passage des électrons, mais qui laisse circuler les ions). Un combustible contenant de l'hydrogène arrive sur une électrode (l'anode) (1), qui capte les électrons de l'hydrogène, laissant dans l'électrolyte des ions chargés positivement. Les électrons circulent dans un circuit externe (2), tandis que les ions diffusent dans l'électrolyte (3). Sur l'autre électrode (la cathode) (4), les électrons se combinent aux ions hydrogène et à l'oxygène de l'air, formant de l'eau. Pour déclencher la réaction, on disperse un catalyseur dans les deux électrodes poreuses, le plus souvent du platine.

Le plein d'hydrogène, s'il vous plaît!

JOHN APPLEBY

Des autobus et des voitures électriques propres sont propulsés grâce à des piles à combustible, alimentées par des carburants riches en hydrogène.

Entre 1986 et 1996, le nombre de véhicules circulant sur l'ensemble des routes du monde a augmenté de 30 pour cent, atteignant 634 millions. Leurs moteurs, souvent à combustion interne, consomment et polluent individuellement de moins en moins, mais la pollution globale augmente en raison de l'accroissement du nombre des véhicules. Les oxydes d'azote et les autres gaz rejetés par les véhicules menacent la santé humaine, surtout dans les grandes agglomérations où la circulation est dense. L'accroissement des émissions de gaz à effet de serre, tel le dioxyde de carbone, inquiète les climatologues : tous les véhicules réunis auraient émis, en 1996, 3,7 milliards de tonnes de dioxyde de carbone. En outre, les plus grandes réserves mondiales de pétrole sont dans des pays du Moyen-Orient politiquement instables, et ces réserves ne sont pas inépuisables.

Comment réduire la consommation des véhicules, ainsi que leur pollution? La plupart des constructeurs automobiles étudient aujourd'hui des moteurs électriques qui sont alimentés par des piles à combustible. Contrairement aux accumulateurs, qui stockent une quantité limitée d'énergie et qu'il faut recharger longuement, les piles à combustible fonctionnent tant qu'on les alimente en combustible.

Une pile à combustible produit de l'électricité en orchestrant l'oxydation d'hydrogène sur une électrode, nommée l'anode, et la réduction d'oxygène de l'air en eau à l'autre électrode, la cathode (voir la figure de la page 36). Le rendement pratique d'un tel système, compris entre 45 et 60 pour cent, est inférieur au rendement théorique, mais bien supérieur au rende-

ment réel d'un moteur à combustion interne, qui n'est que de 15 pour cent en moyenne (dans des conditions de fonctionnement optimales, le rendement d'un moteur diesel atteint 40 pour cent). La supériorité de la pile à combustible provient en particulier de la différence d'allure des courbes de variation du rendement en fonction de la puissance fournie : pour un moteur thermique, le rendement est bon dans une gamme étroite de puissance, mauvais ailleurs, en particulier à bas régime ; pour la pile à combustible, le rendement est maximal à bas régime et décroît lentement quand la puissance fournie augmente. Pour un véhicule qui circule en agglomération, à faible vitesse et avec beaucoup d'arrêts, la pile à combustible est donc plus avantageuse que le moteur à combustion.

Plusieurs types de piles à combustible, distinguées par la nature de l'électrolyte qui sépare les électrodes, sont utilisables pour la propulsion de véhicules. Aucune n'a de rendement élevé sans un catalyseur, généralement à base de platine, qui accélère la réduction de l'oxygène. Or, le platine est un métal rare et cher : les constructeurs tentent d'en réduire les quantités nécessaires. L'autre grande difficulté posée par l'emploi des piles à combustible concerne l'alimentation en hydrogène. On cherche comment le stocker dans des réservoirs compacts et légers, ou comment le produire à partir d'hydrocarbures, de méthanol ou d'essence.

Le bon électrolyte

La résistance électrique de l'électrolyte et des réactions irréversibles sur les électrodes réduisent le rendement des

piles à combustible. On réduit la résistance de l'électrolyte en utilisant des électrolytes fortement acides ou basiques. Les premières piles à combustible utilisées pour la propulsion d'un véhicule (un tracteur agricole de la Société Allis-Chalmers, en 1959) étaient des piles alcalines à hydrogène et à oxygène comprimés. Toutefois, quand l'hydrogène ou l'oxygène contenaient du dioxyde de carbone, un carbonate solide, qui précipitait dans l'électrolyte, bloquait le fonctionnement de la pile. À cause de ce défaut, les constructeurs, qui envisageaient la production d'hydrogène par reformage d'hydrocarbures (ce qui produit du dioxyde de carbone) à bord des véhicules, ont peu étudié les piles alcalines, pourtant très performantes lorsque l'on dispose d'hydrogène et d'oxygène de pureté industrielle (dans les navettes spatiales, par exemple). Rentreront-elles en grâce? Elles ont des atouts : leur fabrication est peu coûteuse et elles fonctionnent avec beaucoup moins de platine que les autres piles à combustible.

Les piles à électrolytes acides ne sont pas perturbées par le dioxyde de carbone, mais elles ont d'autres défauts. Ainsi, on ne peut pas accélérer les réactions (donc augmenter les rendements) par chauffage, car les acides sont généralement utilisés en solution aqueuse, ce qui impose que la température reste inférieure à 100 °C. Seul l'acide phosphorique concentré peut être porté à une température qui atteint 200 °C. De telles piles ont été installées avec succès dans des autobus urbains, mais elles doivent être préchauffées pendant plusieurs heures.

Des électrolytes solides, qui ne s'évaporent pas, ne se décomposent

pas et ne coulent pas, sont d'utilisation plus simple que les électrolytes liquides. Depuis les années 1960, les chimistes ont ainsi fabriqué et testé de nombreux électrolytes polymères. Par exemple, le Nafion®, de la Société Du Pont, contient des groupes acide sulfonique $-SO_3H$ qui assurent la circulation des ions hydrogène (ou protons) : on fabrique une pile à membrane échangeuse de protons, qui fonctionne à environ 80 °C, en séparant les électrodes par une membrane de Nafion®. L'épaisseur d'une cellule, formée de deux électrodes et d'une membrane, atteint à peine 2,5 millimètres. En pratique, on en empile plusieurs afin d'obtenir la puissance nécessaire à la propulsion d'un véhicule. La cathode d'une cellule et l'anode de la cellule adjacente sont séparées par une plaque étanche qui assure aussi leur connexion électrique en série. Chaque face de cette plaque est munie de distributeurs qui amènent l'hydrogène et l'oxygène vers

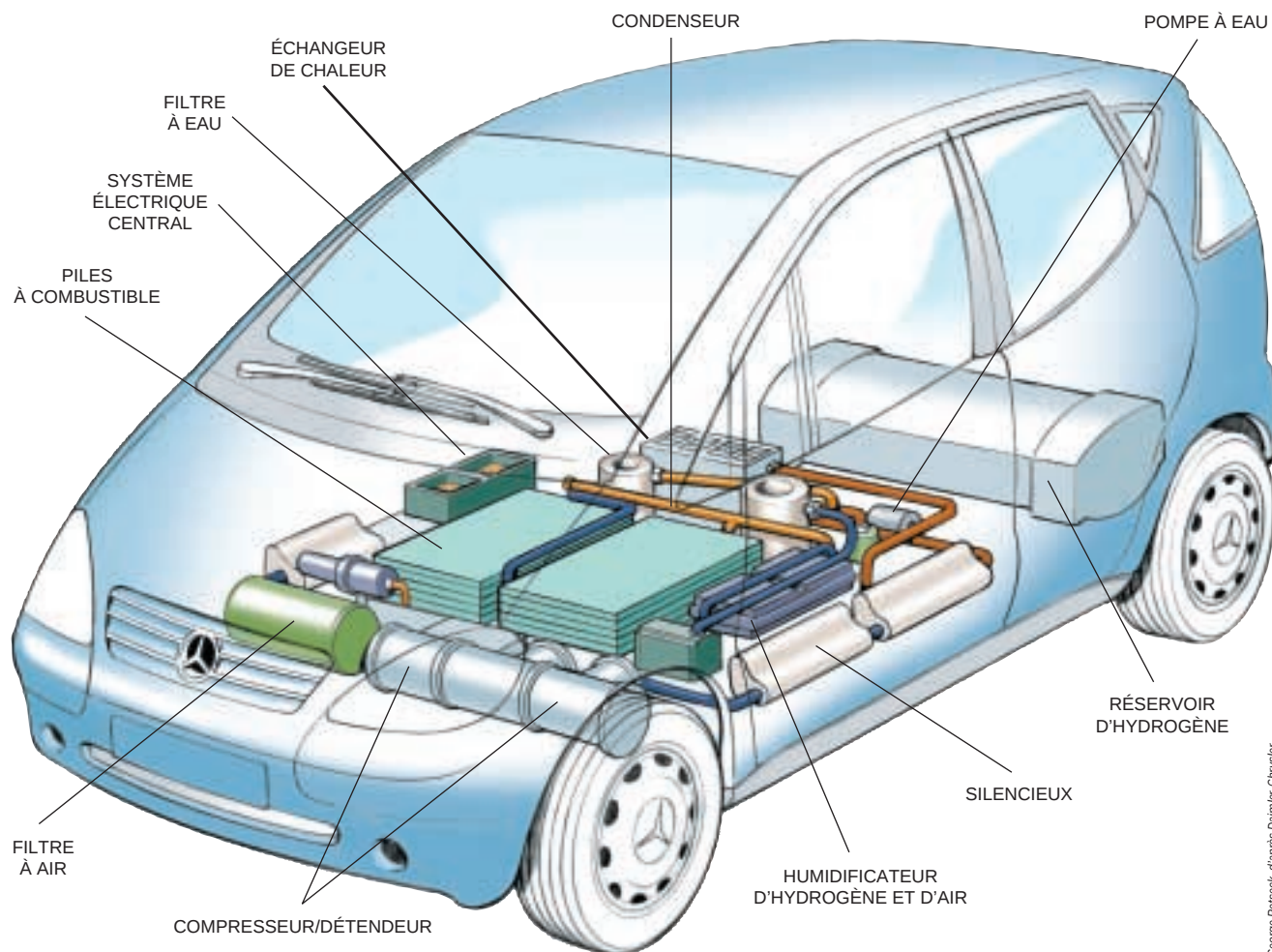
les électrodes : des canaux ou des matériaux poreux. Les plaques peuvent aussi contenir des canaux de circulation d'eau de refroidissement. Ces piles à membrane échangeuse de protons sont aujourd'hui utilisées dans tous les véhicules à piles à combustible.

Indispensable platine

Les piles à membrane échangeuse de protons ont toutefois un grave inconvénient : elles ne fonctionnent qu'avec un coûteux catalyseur à base de platine. Aujourd'hui, on dépose ce métal sous la forme de particules de cinq à dix nanomètres de diamètre (les plus petites que l'on sache fabriquer) à la surface de fines particules de carbone. En 1986, les piles à combustible utilisaient 16 grammes de platine par kilowatt de puissance produite. Le coût du platine, supérieur à 1 000 francs par kilowatt, était rédhibitoire, car les automobiles ont besoin de 50 kilowatts au

maximum de leur puissance. Depuis, des chercheurs du Laboratoire de Los Alamos, de l'Université A&M et de plusieurs entreprises ont divisé par 30 cette quantité, et d'autres améliorations de la structure des électrodes et de la façon dont le platine est utilisé la diviseront peut-être encore par deux. On ne gagnera guère davantage, sauf découverte imprévue, par exemple si l'on remplaçait le platine par un autre matériau, ce qui a été tenté, sans succès jusqu'à présent.

L'utilisation du platine pose un problème d'approvisionnement : si l'on équipait chaque année deux millions de voitures, soit environ cinq pour cent de la production automobile mondiale, avec des piles à combustible de 50 kilowatts, on consommerait 50 tonnes de platine, soit un tiers de la production mondiale actuelle. On récupérera bien sûr le platine à la fin de la vie des piles à combustible, mais il est malgré tout peu probable que l'on produise



1. DES PILES À COMBUSTIBLE installées sous le plancher produisent l'électricité nécessaire à la propulsion de ce véhicule, la Necar 4 de la Société DaimlerChrysler. Un compresseur maintient les piles sous pression. L'air et l'hydrogène servant de carburant traversent

un humidificateur et un échangeur thermique avant d'arriver à la pile. Un condenseur récupère l'eau produite par la pile. L'hydrogène liquide est stocké dans un réservoir cryogénique. Un radiateur à air (qui n'est pas dessiné) évacue la chaleur excessive.

George Retsek, d'après DaimlerChrysler