

de méthanol), de deux films métalliques constituant les électrodes, du catalyseur et du réseau conducteur qui relie les piles.

Ces piles à combustible peuvent être remplies directement de méthanol dilué. Elles ne délivrent aujourd'hui qu'une faible puissance, mais elles pourraient être assemblées en série dans un faible volume pour dépasser les performances des batteries au lithium. Elles resteront toutefois insuffisantes pour les démarrages, qui nécessiteront l'assistance d'une batterie, également indispensable lors des pics de consommation.

Le Laboratoire américain de propulsion spatiale et l'Université de Californie du Sud mettent aussi au point, ensemble, une micropile dont le combustible serait le méthanol, dont l'électrolyte serait un polymère et dont l'anode serait couverte d'un catalyseur composé d'un alliage de platine et de ruthénium. Des prototypes fournissant une puissance de 10, 40, 150 watts et plus ont fonctionné pendant plus de huit jours en continu à la température de 90 °C.

Comme ces piles ne fonctionnent pas dès qu'il y a plus de deux pour cent de méthanol dans l'eau, on fait passer l'eau produite à la cathode vers une cavité voisine, l'anode, où elle dilue le méthanol pur, augmentant ainsi le rendement du système tout en minimisant sa taille. L'ensemble du système fournit aujourd'hui 30 watts par litre, et l'objectif est de tripler ce chiffre d'ici à la fin de 1999.

La plus mince

Depuis 1990, j'étudie une pile à combustible en couches minces alimentée par un mélange d'hydrogène et d'oxygène. C'est probablement la pile la plus mince et la plus légère proposée jusqu'ici. Son fonctionnement simple devrait permettre de produire un système plus compact et moins cher que les autres. L'électrolyte, perméable aux gaz, a moins de un micromètre d'épaisseur. Cette membrane est en sandwich entre deux films minces de platine, les deux électrodes, dont l'un est exposé au mélange gazeux et l'autre en est isolé par un support (voir la figure 2).

Les molécules d'hydrogène perdent des électrons sur l'électrode de platine en contact direct avec le mélange gazeux, et se décomposent

L'énergie des piles à combustible		
	ÉNERGIE ÉLECTROCHIMIQUE STOCKÉE (en wattheures)	
	En masse (par kilogramme)	En volume (par litre)
PILES À COMBUSTIBLE		
Décaline ($C_{10}H_{18}$)	2 400	2 100
Hydrogène liquide	33 000	2 500
Borohydrure de lithium ($LiBH_4$ et $4H_2O$)	2 800	2 500
Hydrure métallique solide ($LaNi_5H_6$)	370	3 300
Méthanol	6 200	4 900
Hydrogène dans des nanofibres de graphite	16 000	32 000
ACCUMULATEURS		
Plomb	30	80
Nickel-cadmium	40	130
Nickel-hydrure métallique	60	200
Ion lithium	130	300

Note : On suppose que l'oxydation de l'hydrogène et des combustibles hydrocarbonés est totale. Les valeurs sont théoriques (maximum thermodynamique), sauf pour les hydrures métalliques et pour les nanofibres de graphite. Les chiffres indiqués pour ces deux matériaux concernent l'hydrogène extractible. Pour les nanofibres de graphite, encore à l'étude, on estime la densité à deux grammes par centimètre cube. Pour les accumulateurs, les valeurs correspondent aux énergies électrochimiques réellement disponibles.

en ions hydrogène, qui diffusent très vite à travers la membrane, vers l'autre électrode. Là, ils se recombinent avec les électrons, apportés par le circuit électrique externe, et avec l'oxygène qui a aussi diffusé, produisant de l'eau. La différence de potentiel, aux bornes de la pile est égale à un volt. Elle fonctionne grâce à la proximité des deux électrodes, qui permet une diffusion rapide dans l'électrolyte.

Une seule cellule de ce type, d'une surface de 16 centimètres carrés, fournirait jusqu'à 0,85 watt. Ainsi, une série de six cellules, d'une épaisseur totale de un centimètre seulement, fournirait jusqu'à cinq watts (trois volts avec un courant de 1,7 ampère). Des piles à combustible compactes délivreraient ainsi jusqu'à 1 000 wattheures par kilogramme d'hydrure solide et jusqu'à 1 400 wattheures par litre de méthanol, nettement plus, à masse égale, que les accumulateurs au lithium.

Ces différentes piles à combustible miniatures ne sont encore que des prototypes. La production en série les mettra-t-elle à un prix inférieur à celui des accumulateurs? Les coûts seraient réduits si l'on trouvait une source d'hydrogène plus facile à utiliser que le méthanol ou que les hydrures

métalliques. Récemment, Terry Baker et ses collègues de l'Université Northeastern ont présenté des tubes de graphite dont un seul gramme contiendrait dix litres d'hydrogène. En théorie, 0,5 litre seulement de ce matériau alimenterait un ordinateur portable de 20 watts en continu pendant plus d'un mois.

Les piles à combustible l'emporteront-elles sur les accumulateurs grâce au carbone? Ce serait un retournement de situation amusant : on a mis au point les accumulateurs au lithium qui équipent aujourd'hui les appareils électroniques portables quand on a découvert que certaines formes du carbone peuvent contenir d'importantes quantités de lithium.

Christopher DYER est ingénieur de la Société Motorola.

John O'M. BOCKRIS et Supramaniam SRINIVASAN, *Fuel Cells : Their Electrochemistry*, McGraw-Hill, 1969.

A.J. APPLEBY et F.R. FOULKES, *Fuel Cell Handbook*, Van Nostrand Reinhold, 1989.

C.K. DYER, *A Novel Thin-Film Electrochemical Device for Energy Conversion*, in *Nature*, vol. 343, pp. 547-548, 8 février 1990.

Vaccins génétiques

DAVID WEINER • RONALD KENNEDY

Les biologistes mettent au point des vaccins en assemblant des séquences génétiques. Ils espèrent ainsi lutter efficacement contre le SIDA, le paludisme et d'autres maladies qui résistent aux techniques d'immunisation actuelles.

La vaccination est un progrès indubitable de la médecine : des vaccins ont éradiqué la variole, quasiment supprimé la poliomyélite et sauvé des millions de personnes du typhus, du tétanos, de la rougeole, des hépatites A et B, et d'autres infections graves. Pourtant, de nombreuses maladies mortelles ou invalidantes, notamment le paludisme, le SIDA, l'herpès et l'hépatite C, résistent à l'immunisation, car les vaccins classiques contre ces maladies sont peu efficaces ou font courir des risques inacceptables.

Après avoir été considérés comme dangereux, les vaccins contenant du matériel génétique, tel l'ADN ou l'ARN, sont activement testés. Les premiers essais montrent que ce sont des produits prometteurs.

Les vaccins à l'œuvre

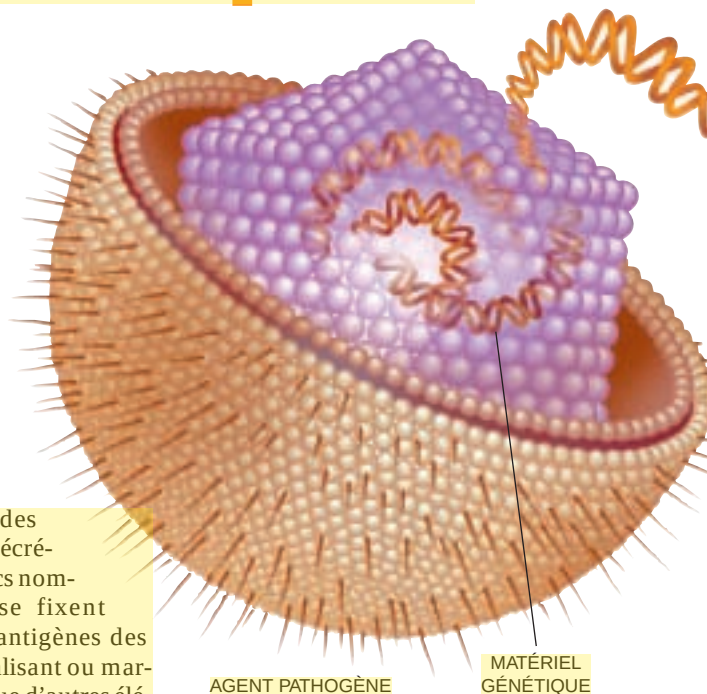
Comme les vaccins classiques, les vaccins génétiques préparent le système immunitaire à neutraliser rapidement des virus, des bactéries ou des parasites dangereux, avant qu'ils ne s'installent dans l'organisme. Les vaccins classiques dupent le système immunitaire parce qu'ils contiennent une forme tuée ou atténuée d'un agent pathogène ou un fragment de cet agent. L'organisme réagit alors comme s'il était assailli par un micro-organisme vivant et actif.

Quand le système immunitaire détecte des antigènes (des protéines ou des sucres produits uniquement par l'agent pathogène), il les attaque de deux manières : la voie humorale et la voie cellulaire. La première vise les agents

pathogènes situés hors des cellules : des anticorps sécrétés par des globules blancs nommés lymphocytes B se fixent spécifiquement sur les antigènes des agents infectieux, neutralisant ou marquant ces derniers, afin que d'autres éléments du système immunitaire les détruisent. La voie cellulaire fait intervenir des lymphocytes T cytotoxiques qui éliminent les agents pathogènes qui ont colonisé les cellules de l'organisme : les lymphocytes T cytotoxiques repèrent des fragments de protéines exposés à la surface des intrus ou des cellules de l'organisme qui ont absorbé ceux-ci. Un contact suffit pour que les cellules infectées et les agents pathogènes soient détruits. Des lymphocytes T auxiliaires activent et coordonnent l'ensemble des mécanismes humoraux et cellulaires.

Par ailleurs, l'activation du système immunitaire provoque l'apparition de cellules qui mémorisent les caractéristiques de l'agent pathogène et accélèrent la réaction de l'organisme lors d'une attaque ultérieure. Les vaccins protègent en induisant, de façon similaire, la formation des cellules à mémoire : l'organisme est immunisé.

Idéalement, un vaccin doit être efficace et sans danger. Les vaccins classiques le sont-ils ? Les agents pathogènes tués (tels le vaccin contre l'hépatite A ou les vaccins injectables contre la poliomyélite) ou les antigènes isolés à partir d'agents pathogènes (le vaccin contre l'hépatite B) n'infectent pas les cellules, de sorte qu'ils sont bloqués par des réactions humorales et n'activent pas les lymphocytes T cytotoxiques. De telles



réactions sont inefficaces contre de nombreux micro-organismes qui pénètrent dans les cellules. De surcroît, la protection par des virus morts est souvent provisoire et nécessite des rappels périodiques.

En revanche, les micro-organismes vivants atténués, généralement des virus, pénètrent dans les cellules et libèrent des antigènes qui sont ensuite exposés par les cellules infectées. Ces antigènes activent ainsi les lymphocytes T cytotoxiques et, de plus, déclenchent la libération d'anticorps. Cette double activité – humorale et cellulaire – bloque l'infection par de nombreux virus et assure une immunité forte dans les cas où une réaction humorale seule serait probablement insuffisante. De même, les vaccins vivants, tels ceux de la rougeole, des oreillons, de la rubéole, de la poliomyélite par voie orale ou de la variole confèrent souvent une immunité de longue durée.

Malgré leur supériorité, ces vaccins vivants ne sont pas la panacée : certains sont insuffisamment efficaces chez quelques individus ou, au contraire, ils provoquent parfois des troubles chez des personnes dont le système immunitaire est défaillant, telles les personnes atteintes d'un cancer et traitées par chimiothérapie, les victimes du SIDA ou