

Les piles à combustibles

La pile à combustible (fuel cell en anglais, PAC en français) est un convertisseur d'énergie qui transforme directement l'hydrogène en électricité avec des rendements bien supérieurs à ceux des moteurs thermiques. Une pile est constituée de plusieurs dizaines de cellules de très faible épaisseur comportant chaque fois deux électrodes et un électrolyte liquide ou polymère. La réaction repose sur le principe inverse de celui de l'électrolyse. L'hydrogène est dissocié en proton et électron libre dont la recombinaison avec l'oxygène de l'air produit de l'eau.

Il en existe de nombreuses sortes comme le montre le tableau ci-dessous. Elles ont en commun plusieurs caractéristiques intéressantes :

- leur modularité qui permet l'intégration à des besoins très divers,
- des rendements élevés à tous les régimes de puissance et pratiquement indépendants de la taille des installations,
- un faible impact sur l'environnement local (émissions et bruit).

Caractéristiques des principales filières de piles à combustibles

Caractéristiques des principales filières de piles à combustibles

Type	SOFC	MCFC	PAFC	PEMFC	DMFC
Température °C	800-1000	650	160-210	50-100	70
Combustible possible	H2, CO	H2, CO, CH4, Méthanol	H2, CO	H2	Méthanol
Rendement électrique %	50-60	50-60	35-45	35-40	35-40
Etat de l'art	Recherche	Recherche	Marché	Développement	Recherche
Applications potentielles	Production électrique	Production électrique, bateaux	Production électrique, bateaux, trains	Production électrique, transports, spatial	Production électrique, transports

Source : Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire, la prospective technologique des filières non nucléaires. Rapport au Premier Ministre 2000.

- Les piles SOFC (solid oxid fuel cell, PAC à oxyde solide) et MCFC (molten carbonate fuel cell, PAC à carbonate fondu) qui fonctionnent à température élevée, sont bien adaptées à la cogénération électricité chaleur dans l'industrie et présentent de très bons rendements.
- Les PAFC (phosphoric acid fuel cell, PAC à acide phosphorique) sont actuellement les piles les plus répandues dans le monde. Il en existe plusieurs centaines d'installations, la plupart en cogénération électricité - chaleur dans les secteurs résidentiel tertiaire ou industrie .
- Les PEMFC (proton exchange membrane fuel cell, PAC à membrane échangeuse de proton) démarrent à température ambiante et atteignent leur maximum de rendement à 80 °C. Elles sont bien adaptées aux applications dans les transports.
- La pile DMFC (methanol direct fuel cell, PAC à méthanol) encore au stade de la recherche qui permet l'utilisation directe de méthanol, retient tout particulièrement l'intérêt pour ses applications dans les transports.

Quel carburant pour les PAC ?

Comme il n'existe pas d'hydrogène à la surface de la terre il faut, pour alimenter les piles à combustible qui fonctionnent à l'hydrogène, envisager de le fabriquer, soit à partir d'un hydrocarbure dont on sépare les molécules d'hydrogène du carbone et éventuellement de l'oxygène (le reformage), soit par électrolyse de l'eau (voir fiche n° 9 sur l'hydrogène). Dans tous les cas cette opération entraîne

des dépenses énergétiques importantes, qui viennent alourdir le bilan énergétique et environnemental global de la filière. Au contraire des filières thermiques (moteurs et centrales électriques à combustibles fossiles) qui présentent pour la plupart de bons rendements de mise à disposition des combustibles ou des carburants et de mauvais rendements de conversion en électricité, on se trouve là en effet dans la situation inverse : des rendements médiocres de mise à disposition des carburants et de bons rendements de conversion en énergie électrique par les PAC.

La généralisation de leur emploi dépendra donc en large part des solutions qui pourront être apportées au problème de la fabrication, du transport et du stockage du carburant final nécessaire, l'hydrogène, dans les différentes configurations (force motrice fixe ou mobile, cogénération).

Les installations fixes de production d'électricité

Dans ce cas, on bénéficie de plusieurs circonstances favorables : capacité fréquente de valorisation de la chaleur produite en même temps que l'électricité (chauffage des bâtiments, chaleur industrielle), possibilité d'utiliser un réseau de distribution de carburant (hydrogène ou CH_4 par exemple) qui évite le stockage local du carburant. C'est la raison pour laquelle il existe des projections ambitieuses de production d'électricité décentralisée dans des pays comme la France, à partir du réseau de gaz naturel¹, pour répondre à l'extension des besoins de production d'électricité locale, en complément de l'électricité produite de façon centralisée et déversée sur le réseau haute tension.

Parmi les solutions décentralisées de production d'électricité, en particulier en cogénération avec de la chaleur, la technologie PAC utilisant un carburant hydrogène d'origine fossile (en particulier le gaz naturel) se présente comme un candidat très sérieux du fait de ses qualités intrinsèques du point de vue de l'environnement local. Mais ce type de solution ne résout pas, même s'il les atténue, le problème des émissions de gaz à effet de serre produites au moment de la production d'hydrogène à partir d'hydrocarbures (gaz ou méthanol).

La solution hydrogène électrolytique, exempte d'émissions de gaz à effet de serre si l'électricité utilisée n'est pas d'origine fossile, se heurte quant à elle à des problèmes de coût énergétique et économique : coût de production de l'hydrogène par cette technologie et d'édification d'une infrastructure spécifique de transport, de distribution et éventuellement de stockage de ce dernier.

Les transports

Dans ce cas, il n'est généralement plus possible de valoriser la chaleur produite en même temps que l'électricité et il est indispensable de charger le carburant à bord du véhicule pour lui assurer l'autonomie désirée. Par contre, le rendement moyen du groupe motopropulseur à PAC est nettement meilleur que celui d'un moteur thermique (35 à 50% contre 20% pour l'essence et 25% pour le diesel).

L'émergence sur le marché de cette solution séduisante suppose donc (en dehors des avancées indispensables sur les questions de fabrication et de transport de l'hydrogène déjà signalés pour les applications à poste fixe) des progrès importants, à la fois au plan technique (encombrement, stockage de l'hydrogène embarqué) et au plan économique, sur les piles elles mêmes et les reformeurs. Elles se trouveront en effet en concurrence avec les motorisations hybrides thermiques qui ont d'ores et déjà des performances de consommation énergétique analogues à celles qu'on peut espérer des véhicules à PAC quand elles utilisent du méthanol comme carburant embarqué.

¹ Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire, la prospective technologique des filières non nucléaires. Rapport au Premier Ministre, 2000.