

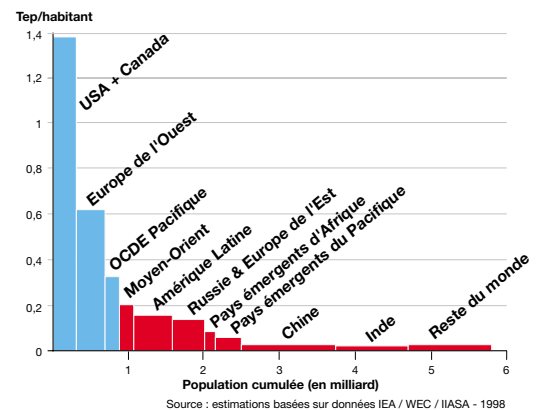
La chaîne hydrogène

Vers un système énergétique durable

Les combustibles fossiles ont fourni et fourniront encore pendant de nombreuses années une contribution essentielle au développement économique. Cependant, pour étendre l'accès à la mobilité à une plus grande partie de l'humanité, tout en minimisant les émissions, il deviendra nécessaire d'élargir et de diversifier les sources de carburants pour les transports. A long terme, le système Hydrogène – Piles à combustibles pourrait contribuer à relever ce défi.

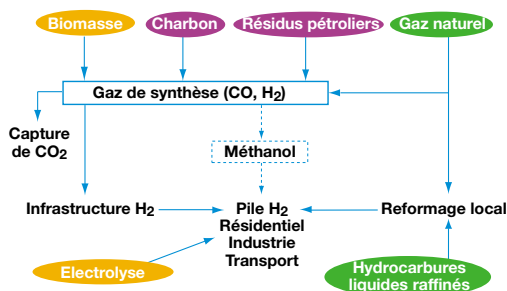


Consommation de carburant par habitant



La chaîne hydrogène

La chaîne d'approvisionnement en hydrogène



Comme l'électricité, l'hydrogène doit être fabriqué avant d'être stocké et utilisé. Aujourd'hui, la production est centralisée, avec une utilisation sur site ou un transport par pipeline ou par route. Des procédés – reformage et électrolyse – permettent d'envisager une production délocalisée pour alimenter des flottes de véhicules à hydrogène (piles à combustible ou moteur thermique).

L'intérêt du système hydrogène - pile à combustible réside dans la diversité des sources d'approvisionnement, y compris les énergies renouvelables, adaptables en fonction des contraintes environnementales et/ou géographiques. Une telle transition contribuerait à évoluer vers un système énergétique durable.

Distribution et stockage de l'hydrogène

Aujourd'hui, l'hydrogène est essentiellement utilisé comme matière première pour la chimie (synthèse de l'ammoniac) et pour l'industrie du raffinage pétrolier. Il existe quatre façons de transporter de l'hydrogène : par gazoduc, en bouteille ou en réservoir tubulaire, sous pression, ou enfin sous forme liquide (transport cryogénique).

C'est sous forme liquide que l'hydrogène présente une densité énergétique par unité de volume la plus élevée, mais la liquéfaction utilise environ 35 % de cette énergie.

Raffinerie de Leuna - Allemagne



La problématique

L'hydrogène : carburant pour les transports

La production mondiale annuelle d'hydrogène est de 500 milliards de Nm³, soit l'équivalent de 130 millions de tonnes de pétrole (Mtep). Les besoins actuels en transport terrestre sont de l'ordre de 1 500 Mtep par an.

Produire l'hydrogène à partir d'hydrocarbures coûte 250 à 400 €/tep, en fonction de la charge utilisée et de la capacité de l'unité. La capture et le stockage du CO₂ rajouterait encore 150 à 350 €/tep, soit un total de 400 à 800 €/tep pour un carburant net de gaz à effet de serre. Produire l'hydrogène par électrolyse à partir d'hydroélectricité ou d'électricité d'origine nucléaire conduirait à un coût de 600 à 1 000 €/tep. Sur le marché international, l'essence est cotée de 160 à 350 €/tep, mais peut excéder 1 000 €/tep à la pompe dans certains pays, compte-tenu des taxes appliquées au carburant.

L'industrie automobile est prête à envisager l'hydrogène comme carburant du futur. Cependant, bien que des techniques telles que le stockage sur hydrures paraissent prometteuses, il subsiste de nombreuses barrières avant une large introduction de l'hydrogène carburant. Parmi celles-ci, on peut citer l'infrastructure de distribution, le stockage embarqué et l'absence de réglementation et de normes.

Stockage d'hydrogène comprimé



Des stations hydrogène existent aux USA (Thousand Palms, Sacramento), en République fédérale d'Allemagne (aéroport de Munich), au Japon (Osaka, Takamatsu). Une trentaine de stations hydrogène sont en place en 2003 dans le monde, dont celle de Berlin avec BVG (transports publics berlinois) et Total.

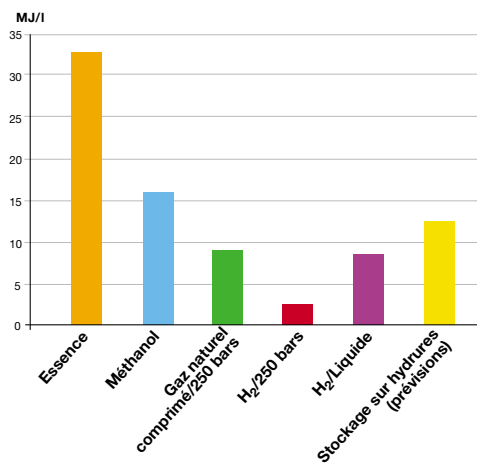
Les barrières actuelles à l'introduction de l'hydrogène sont les suivantes :

- contraintes physiques, technologiques et réglementaires liées à la production, au stockage, à la distribution et à l'utilisation de l'hydrogène en complète sécurité ;
- perception des risques associés à l'hydrogène.

A court ou moyen terme, la production et la distribution d'hydrogène seront donc réservées à des flottes captives et les options qui se dégagent pour les carburants sont :

- l'électrolyse de l'eau – unités de petite capacité sur site ;
- le reformage local d'hydrocarbures ;
- le reformage de méthanol, qui en dépit de sa toxicité présente l'avantage de pouvoir être assez facilement converti en hydrogène et de posséder une densité énergétique élevée ;
- l'essence, dont la disponibilité immédiate favorise l'introduction d'un nouveau concept de véhicule. Cependant son reformage est plus complexe que dans le cas précédent et nécessite encore des développements.

Densité énergétique du carburant par unité de volume



Station hydrogène



Les enjeux

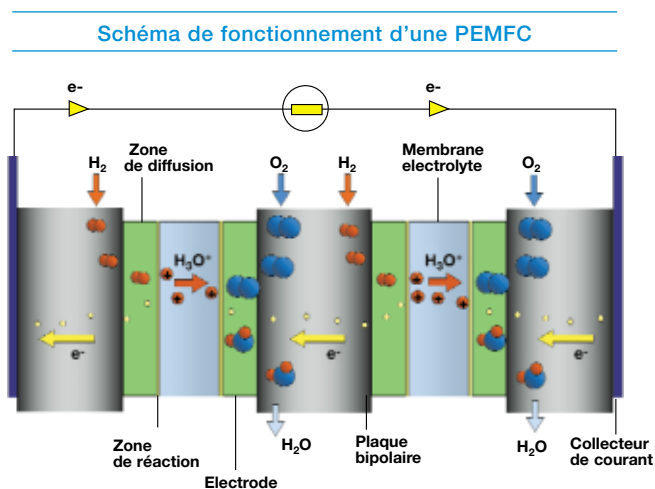
Piles à combustibles - Principe de fonctionnement

Une pile à combustible est un générateur qui convertit directement et en continu l'énergie d'un combustible en électricité par réactions électrochimiques. Le système le plus simple permet, à partir d'hydrogène et d'oxygène, de fournir de l'eau et de l'électricité.

Les piles à oxydes solides (SOFC), opérées à plus de 700 °C et les piles à membrane polymère (PEMFC), qui fonctionnent à environ 80 °C sont les principales filières en fonctionnement.

La pile à membrane PEMFC est constituée de plaques bipolaires conductrices et d'électrodes, séparées par un électrolyte qui permet le passage du proton formé par dissociation de l'hydrogène.

La pile à combustible est intégrée dans un système complexe qui assure son alimentation en hydrogène de haute pureté, en air propre sous pression, qui convertit le courant produit par la pile, l'adapte aux spécifications requises et assure également la gestion thermique et celle des variations de puissance et de charge.



Les applications

Compte-tenu du rendement électrique attendu des piles à combustibles, de la fiabilité et de la qualité du courant obtenu, de l'absence d'émissions et du faible niveau sonore, les applications envisagées sont :

- applications dans les téléphones portables en substitution aux batteries conventionnelles ;

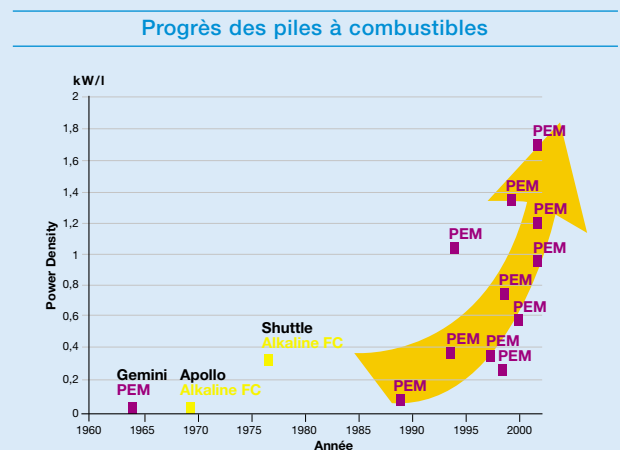
- télécommunications, centres informatiques et de traitement de données ;
- génération électrique et co-génération décentralisée pour applications résidentielle et commerciale ;
- marché automobile, incluant les auxiliaires de puissance embarqués.

La barrière principale : le coût

D'ici à 2005, des piles de type PEMFC devraient être mises sur le marché. Les premières unités de 1 kW seront vraisemblablement destinées au marché de la sécurisation électrique ou pour les applications portables. Suivront ensuite des systèmes à piles à combustibles :

- pour applications stationnaires (< 250 kW) à haute valeur ajoutée, à des coûts inférieurs à 2 000 €/kW ;
- pour applications résidentielles dans la gamme 1 à 7 kW dans les niches où le prix de l'électricité est élevé comme la Californie, le Japon et autres marchés spécifiques (sites isolés...);
- pour applications dans des bus et pour les transports publics urbains.

Un marché annuel de 100 à 300 MW semble plausible en 2005. A l'horizon 2010-2015, les applications automobiles pourraient atteindre quelques milliers de véhicules équipés de piles de 50 à 70 kW.



Depuis quarante ans, la densité de puissance des piles à combustibles a augmenté d'un facteur 10, rapprochant cette technologie d'applications commerciales.

L'implication de Total

Les acteurs

Bus à hydrogène



Au côté de sociétés, principalement nord-américaines, dédiées spécifiquement aux piles à combustibles, les acteurs traditionnels du marché de l'énergie et de la chimie se positionnent également :

- **l'industrie chimique** développe des matériaux pour les composants du cœur de la pile à combustible comme la membrane et les plaques bipolaires ;
- **les constructeurs automobiles et leurs équipementiers** tentent d'optimiser et de miniaturiser le système pile avec ses auxiliaires et d'en réduire les coûts ;
- **l'industrie pétrolière** développe et teste des filières combustibles ;
- **les électriciens, gaziers et équipementiers du chauffage** évaluent le potentiel des piles à combustibles sur le marché stationnaire et parfois des combustibles associés (hydrogène, gaz naturel).

Le positionnement de Total en 2005

- Contribuer avec les autres acteurs du secteur à l'orientation de la transition vers le système hydrogène-pile à combustible.
- Valoriser le Kynar™, un polymère fluoré d'Atofina, dans la fabrication des composants de la pile, pour un marché à haute valeur ajoutée, et au potentiel considérable.
- Connaître le potentiel des piles à combustible (PEMFC et SOFC) pour des applications stationnaires et automobiles.
- Elargir notre offre combustible pour les applications stationnaires, puis à terme pour le marché automobile et pour les flottes captives.
- Participer à la mise en place de l'infrastructure combustible nécessaire à l'alimentation des piles.

Les actions du Groupe

Total engage des actions concertées et développe une vision globale sur le système complet en considérant en particulier les aspects liés au combustible et à sa chaîne de transformation en hydrogène, aux matériaux pour la pile et son système, comme on considère aujourd'hui globalement la chaîne carburant, moteur et post-traitement. Parmi ces actions :

- Réalisation de composants, tels les membranes, avec des matériaux et des technologies originales, pour des développeurs de piles PEMFC.
- Accord de coopération avec Delphi concernant la pile à oxyde solide SOFC, et notamment la préparation d'un gaz riche en hydrogène à partir de combustibles actuels et futurs.
- Evaluation, avec Renault, de la sensibilité des piles à combustible à la pureté de l'hydrogène, de la performance, de l'endurance et de la durabilité des systèmes de reformage du carburant pour application automobile.
- Participation à la mise en place d'une infrastructure hydrogène dans les flottes de bus de Berlin (RFA) et de Thousand Palms (Californie, USA).

Centre de compétences hydrogène à Berlin

