



Joseph BERETTA

Responsable du domaine  
Electrochimie,  
Electromécanique,  
Electronique et systèmes  
au sein de la Direction de  
la Recherche et de  
l'Innovation Automobile /  
PSA Peugeot Citroën

## La voiture Pile à Combustible : rêve ou réalité ?

### Introduction

L'innovation et le progrès dans l'automobile dépendent d'une multitude de facteurs de nature très diverse. Cependant au moment de prendre les décisions d'introduction en série, on ne peut choisir que des concepts qui sont disponibles et validés et, en particulier dans ce que la science et la technologie ont eu la prévoyance d'amener à maturité. La pile à combustible est une de ces technologies émergentes qui pourrait si elle tient ses promesses bouleverser voire même révolutionner l'automobile de demain.

### La pile à combustible et la problématique de l'automobile du XXI<sup>e</sup> siècle

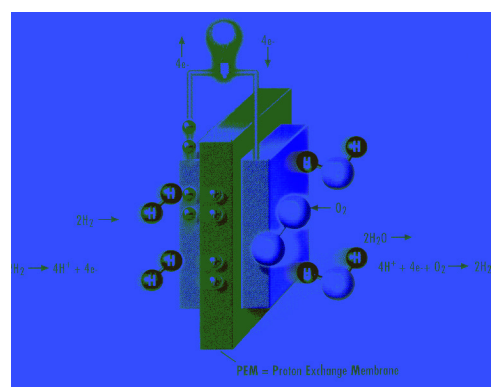
L'industrie automobile est entrée depuis dix années dans une évolution très rapide dans le sens d'une maîtrise de ses émissions pour diminuer de façon importante son impact sur l'environnement. Elle est également confrontée à sa contribution à la production de gaz carbonique et s'implique dans des programmes lourds de réduction des consommations.

La pile à combustible transformant directement l'énergie chimique en électricité apporterait la réponse technique la plus intéressante à cette problématique environnementale puisque parmi les modes de propulsion alternatifs, la pile à combustible est celui qui offre le plus fort potentiel d'évolution. Elle présente un rendement élevé et peut être alimentée avec une palette de carburants très différents.

### Les principes de base de la pile à combustible

Une pile à combustible permet d'obtenir directe-

ment un courant électrique par une réaction électrochimique faisant intervenir d'une part sur une électrode l'oxydation d'un combustible (l'hydro-



gène est le combustible idéal) et d'autre part sur l'autre électrode la réduction de l'oxygène. Une cellule élémentaire est représentée sur la figure suivante ; il suffit alors d'empiler les cellules en série pour réaliser le générateur. La tension moyenne d'une cellule est de 0,6 V, le nombre de cellules définit la tension et la surface de la cellule le courant du générateur.

Les technologies qui sont plus particulièrement adaptées à l'automobile utilisent un électrolyte solide:

- La technologie "Proton Exchange Membrane Fuel Cell : PEMFC" possède les meilleures performances en terme de puissance; sa température de fonctionnement est de 20 à 80°C. Le combustible est de l'hydrogène avec un taux de CO < 100 ppm.
- La technologie "Solid Oxid Fuel Cell : SOFC" fonctionne à une température de 800 à 1000°C qui est nécessaire pour avoir une conductivité suffisante de l'électrolyte solide (céramique mince à base d'oxyde de zirconium). Le combustible est aussi de l'hydrogène et du fait de sa température élevée de fonctionnement la pile SOFC présente une très bonne tolérance aux impuretés. Cette technologie permet d'avoir un

processeur de carburant simplifié.

- La technologie "Direct Methanol Fuel Cell : DMFC" Elle utilise comme carburant du méthanol injecté directement dans la pile permettant ainsi de supprimer l'étape processeur de carburant. Cependant un gain important en performances doit être réalisé (5 à 10 fois) pour considérer sérieusement cette technologie.

Les autres types de piles utilisent un électrolyte liquide qui nécessite des circuits de circulation complexes du fait de la nature et de la température des liquides utilisés (potasse, acide phosphorique, carbonate fondu)

### La problématique du combustible

L'utilisation de l'hydrogène et de l'oxygène pur permet d'obtenir le meilleur rendement. Comme l'hydrogène n'est pas une source d'énergie primaire, il est nécessaire d'en-

visager son mode d'élaboration, sa mise à disposition et son stockage à bord des véhicules. L'hydrogène peut être produit à partir de tous les composés contenant des atomes d'hydrogène (eau, hydrocarbure, alcool, ...). Cet hydrogène combiné peut être transformé en hydrogène moléculaire par l'intermédiaire de réactions de reformage pouvant être effectuées à l'intérieur ou à l'extérieur de la pile. Dans le cas de réaction extérieure, on utilise un reformeur ou un processeur

de carburant suivant le taux de CO que l'on désire en sortie.

Si la transformation dans la pile ne produit que de l'eau, il n'en est pas de même des étapes d'élaboration de l'hydrogène. D'un point de vue environnemental, c'est la filière complète qu'il faut considérer du puits à la roue.

Ce graphique montre clairement que suivant la filière considérée, le bilan CO<sub>2</sub> peut être très défavorable (électrolyse), que la majorité des filières se situe entre 90 et 120 g de CO<sub>2</sub> par km parcouru et seulement quelques unes marquent un pas significatif (bio éthanol, hydrogène comprimé élaboré à partir de gaz naturel).

Le deuxième problème que pose un nouveau carburant est l'infrastructure de distribution. Si l'hydrogène est considéré comme le meilleur carburant pour la pile, il bute aujourd'hui sur les difficultés de mise en place d'un réseau de distribution dans des conditions viables d'un point de vue économique et dans des conditions de sécurité adaptées. La problématique de stockage des

un peu plus complexe et présente un retard de maturité de deux à trois ans par rapport à celle du méthanol. Les premiers prototypes de véhicules équipés de reformeur essence ne devraient apparaître que vers 2003.

L'intérêt de la pile n'est pas vis-à-vis du CO<sub>2</sub>, mais plutôt vis-à-vis des autres polluants qui deviennent soit insignifiants (utilisation de reformeur) soit inexistantes (utilisation d'hydrogène). L'intérêt de la pile est également de pouvoir utiliser une palette très large de combustibles.

### Les applications de la pile à combustible dans l'automobile

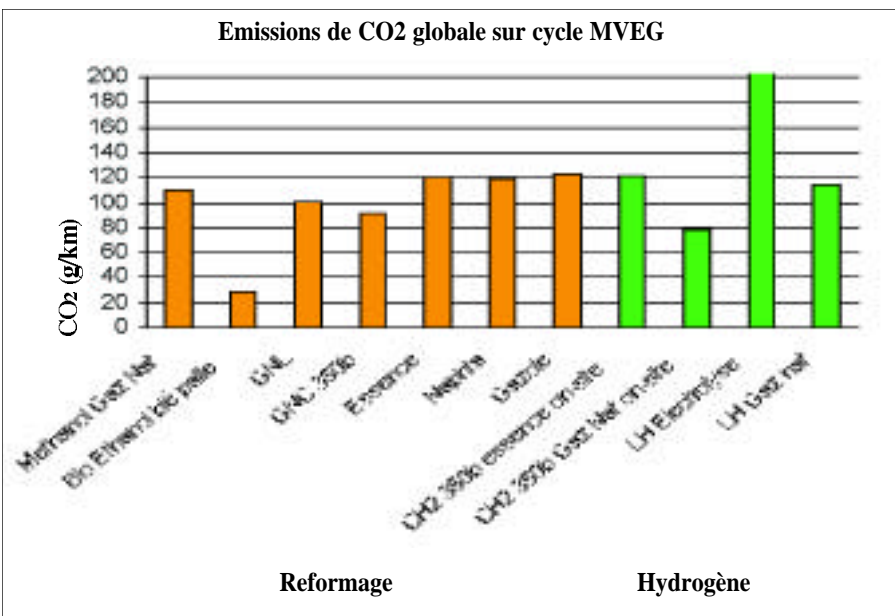
Les systèmes générateurs d'électricité mettant en œuvre des piles à combustible peuvent être utilisés de différentes manières dans l'automobile.

#### ① Générateur d'électricité pour véhicules électriques :

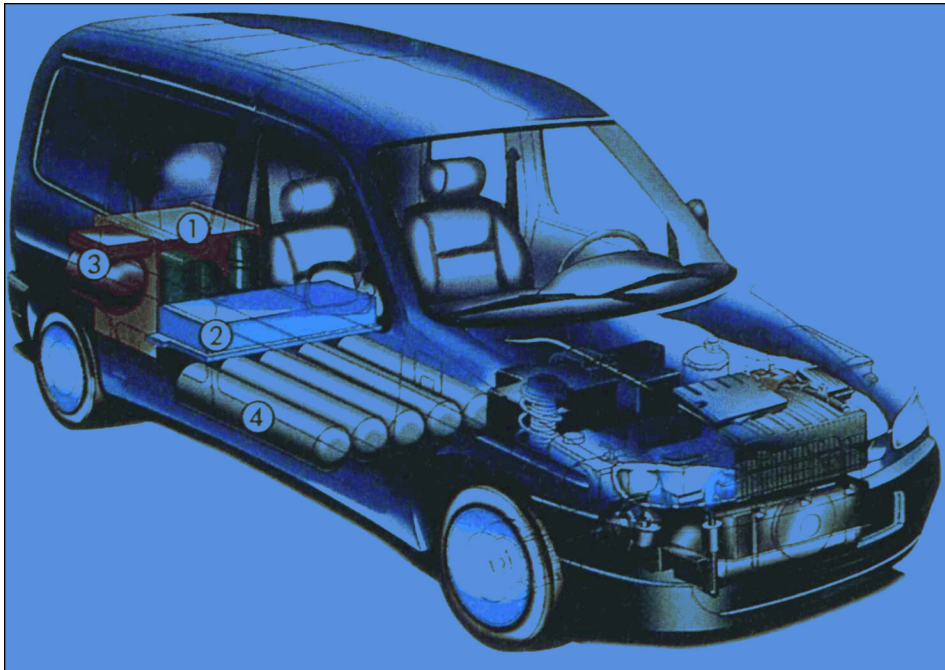
La pile est dans ce cas utilisée comme source d'énergie principale des véhicules à traction électrique, on résoud alors le problème d'autonomie et de temps de remplissage des batteries. Tous les grands constructeurs automobiles mènent des programmes de recherche dans ce domaine. De nombreux démonstrateurs roulent, les premières expérimentations de tailles significatives débutent en Californie; tout ceci démontre que cette technologie est en train de progresser à grands pas. Mais le problème du combustible reste entier ; ces véhicules utilisent soit de l'hydrogène soit un reformeur de méthanol. Page suivante, une vue du prototype du projet européen HYDRO-GEN utilisant une pile PEM alimentée en hydrogène stocké sous 350 bars sur base Partner électrique de PSA Peugeot Citroën.

#### ② Générateur d'électricité auxiliaire pour véhicules électriques et hybride thermique-électriques

De petite puissance (5 à 10 kW), ce générateur Pile à combustible apporte un complément de puissance aux batteries utilisées dans ces types de véhicules. Pour les véhicules électriques, il remplace le groupe électrogène dans les applications Range Extender et permet d'étendre l'autonomie tout en préservant l'environnement et le



gaz à bord des véhicules (volume, sécurité) doit aussi être considérée avec la plus grande attention. C'est essentiellement pour ces raisons que pour le moyen terme (avant 2010), il faut envisager l'utilisation de combustibles liquides. Le méthanol est celui dont la technologie de reformage est la plus simple, mais du fait entre autres de sa toxicité, il risque d'être délaissé au profit de l'essence pour une utilisation de masse. La technologie des reformeurs d'essence est



- ❶ système pile à combustible
- ❷ convertisseur DC/DC
- ❸ humidificateur
- ❹ réservoirs H2 sous pression

silence du véhicule électrique.

Pour les hybrides, il doit permettre de minimiser la masse de batterie embarquée. Ses avantages sont l'absence de bruit, peu de pollution, des gains en consommation et la possibilité d'utiliser en théorie n'importe quel combustible (essence / gasoil / GNV / H2/...).

### ❸ Générateur d'électricité auxiliaire pour véhicules thermiques

Ce générateur remplace l'alternateur et a la capacité de fournir de l'électricité, même lorsque le moteur thermique est à l'arrêt. Il est constitué d'un système pile à combustible utilisant le même combustible que le moteur thermique. Ainsi, dans le cas de combustible essence ou diesel, il utilise un reformeur. On peut concevoir l'utilisation directe de l'hydrogène dans le cas où le moteur thermique utiliserait cette filière énergétique. Les avantages de l'utilisation

de ces générateurs sont le très bon rendement énergétique de la génération électrique (2 à 3 fois supérieur au système moteur thermique + alternateur actuel), la production d'énergie électrique même lorsque le moteur thermique est à l'arrêt, et la capacité de puissance importante (10 kW).

Ils permettront l'introduction dans de bonnes conditions de nouvelles fonctions (pas de limitation due à la capacité de la batterie): stop & go, réchauffage du pot catalytique, climatisation à l'arrêt et pré-conditionnement du véhicule.

### Conclusion

Le rêve est en partie devenu réalité puisque quelques véhicules pile à combustible roulent aujourd'hui ; bien entendu, il faudra attendre encore une bonne dizaine d'années

avant de trouver ce type de véhicule dans les concessions automobiles à côté des véhicules thermiques.

La pile à combustible ne réalisera jamais le rêve de la voiture écologiquement parfaite, qui est, comme le mouvement perpétuel, non atteignable. Toutefois, le potentiel de progrès de cette technologie émergente justifie que nous poursuivions des efforts pour l'amener à maturité.

Sa capacité à utiliser une grande diversité de combustibles est un atout pour les années futures. Bien que le combustible idéal aussi bien d'un point de vue énergétique qu'écologique soit l'hydrogène, du fait des contraintes imposées par l'infrastructure et le stockage, une étape intermédiaire utilisant un combustible liquide est inévitable.