



Alain GENET (N68)
Directeur Département
Matériel Roulant Bus
RATP

Alain CURTIL
RATP

Pile à Combustible et Autobus

L'autobus peut être rangé dans la famille "automobile" puisqu'il doit avoir la double caractéristique d'autonomie et de mobilité. Une troisième caractéristique lui est demandée: être environnementalement correct, tant en matière de pollution de l'air que de bruit.

Pour répondre à ces trois exigences, la première solution qui vient à l'esprit et qui est souvent exprimée par les citadins, est le bus électrique. Mais celui-ci présente deux points faibles majeurs, son prix et sa faible autonomie due à une capacité énergétique insuffisante des batteries qui impose des modes d'exploitation complexes et contraignants (voir encadré). La solution trolley-bus s'affranchit du problème de stockage de l'énergie mais se heurte en contrepartie à un coût élevé des installations et du véhicule, l'impact esthétique des lignes aériennes et une zone d'évolution relativement limitée.

La pile à combustible (PAC) peut être une réponse aux difficultés de stockage de l'énergie électrique par batteries d'accumulateurs à bord du véhicule en servant de vecteur entre une production d'énergie renouvelable à plus ou moins long terme et l'énergie mécanique nécessaire à la mobilité de l'autobus.

La recherche avance

Alimentée de manière continue par un combustible riche en hydrogène et l'oxygène de l'air, la PAC produit directement de l'électricité par réaction inverse de l'électrolyse de l'eau avec des rendements énergétiques élevés. Utilisée depuis de nombreuses années dans l'industrie aérospatiale pour l'alimentation en électricité de satellites, les PAC émergent maintenant sur le marché automobile. Une première vague de réalisations a eu lieu au début des années 90 avec des piles d'encombrement et de poids excluant toute possibilité d'ex-

ploitation. Dix ans plus tard, les progrès réalisés font de la PAC une alternative prometteuse au problème de stockage de l'énergie électrique à bord des véhicules.

Les PAC ont été développées notamment par Xcellsis (groupement réunissant DaimlerChrysler AG, Ballard Power Systems et Ford) au Canada, IFC (International Fuel Cells) aux Etats-Unis et Siemens en



L'Oréos 55 électrique du Montmartrobus (7.7 m, 55 places)

Autonomie:

- Sans charge rapide :*
- parcours rectiligne et plat => 60 km
 - parcours sinueux et pentu => 45 km
- Avec charge rapide :*
- parcours rectiligne et plat => 110 km
 - parcours sinueux et pentu => 90 km

Sur le Montmartrobus (Ligne reliant la mairie du 18^e arrondissement de PARIS au quartier de Pigalle en passant par la butte Montmartre), une charge rapide de cinq minutes est effectuée au terminus après chaque boucle (soit 6km, dénivelé 90 m).

L'exploitation d'un tel véhicule est limitée par les caractéristiques thermiques des batteries qui ont un comportement exothermique à la décharge et dont la température de fonctionnement ne doit pas dépasser 55°C ce qui limite leur utilisation quotidienne à 1.8 fois leur capacité nominale.

Prix d'un véhicule: 2 MF -Equivalent Diesel: 0.9 MF- hors installations spécifiques.

Allemagne. Depuis, d'autres industriels ont travaillé également à la mise au point de cette nouvelle technologie : Toyota avec General Motors, De Nora, Air Liquide...

Outre Atlantique, des expérimentations d'autobus fonctionnant avec PAC, menées de 1998 à 2000 à Chicago et Vancouver (3 bus à PAC Ballard dans chaque ville,) ont montré

que l'exploitation de tels véhicules était possible (118000 km parcourus, 205000 voyageurs transportés) mais les problèmes de fiabilité (55% de disponibilité), de coûts (10 MF/véhicule) et d'infrastructures (fabrication, stockage, distribution d'hydrogène) sont encore loin d'être résolus.

En Europe, la plupart des constructeurs ont également développé leurs prototypes: Evobus en 1997 et son "Nébus", Volvo, MAN, SCANIA...

Avec une trentaine de véhicules, Evobus, propose à ce jour, le plus vaste programme d'expérimentation. Ces bus seront mis en circulation dès 2002 dans dix villes différentes : Stuttgart, Hambourg, Londres, Amsterdam, Reykjavik, Oslo, Luxembourg, Barcelone, Porto, Milan.

IRISBUS, deuxième constructeur européen, a lancé pour sa part trois programmes distincts, portant sur trois villes différentes: Paris, Turin, Madrid, et mettant chaque fois en œuvre un unique véhicule de technologie différente en termes de pile, d'architecture, de niveau d'hybridation, et de chaîne de traction. Le but de ce projet est de tester en exploitation réelle le plus grand choix de solutions possibles et de produire le maximum de données comparatives sur la filière PAC pour obtenir une large connaissance des facteurs techniques et d'exploitation.

Une PAC à Paris en 2003

A Paris, le début de l'expérimentation est prévu à partir du deuxième semestre 2003 pour une durée de deux ans. Le véhicule, un Cristalis 12 mètres, allie 3 technologies:



Véhicule CIVIS/CRISTALIS RATP Paris

- plancher bas et plat intégral
- moteurs-roues électriques et traction ALSTOM
- équipement de traction 350 volts
- pile AIR LIQUIDE/NUVERA
- autonomie: environ 250 km (24 kg d'H2 comprimé à 350 bars)
- hybridation par batteries.

- la PAC alimentée en H2 comprimé à 350 bars,
- l'hybridation par batteries pour utiliser une plus petite pile et économiser l'hydrogène,
- le moteur-roue électrique permettant le plancher bas et plat intégral.

La propulsion du futur ?

Avec des performances environnementales identiques au véhicule électrique dans le cas d'une alimentation en hydrogène pur, la PAC représente la plus grande révolution dans la technologie de la propulsion et se positionne comme un concurrent sérieux du moteur à combustion interne conventionnel. Si la PAC offre un grand intérêt énergétique pour le système de propulsion du véhicule, il convient cependant d'étudier le bilan "du puits à la roue" pour une analyse des impacts énergie-environnement, et particulièrement des émissions de gaz carbonique. Le facteur le plus sensible est la production du combustible et l'approvisionnement du véhicule.

En effet, les problématiques sont différentes si l'on utilise l'hydrogène pur ou si l'on fait appel à un autre combustible.

Plusieurs voies peuvent être explorées:

- La fabrication "centralisée" d'hydrogène dans une unité pétrochimique. Cette opération nécessite de gros apports de chaleur et émet de manière significative du gaz carbonique. Se pose ensuite le problème de la distribution et du stockage du carburant.
- La production sur site au moyen de l'électrolyse (par apport d'électricité à 85%

nucléaire et hydraulique en France) ou à partir de gaz naturel (très émetteur de gaz carbonique). Cette solution ne peut s'envisager à l'heure actuelle que pour des flottes de bus de grande capacité (à partir de 50 unités).

- Enfin, la production d'hydrogène à bord du véhicule permet de s'affranchir des infrastructures de production, distribution et stockage sur site et stockage à bord du véhicule. En contrepartie, le rendement énergétique est plus faible qu'avec l'hydrogène et le véhicule émet des produits polluants.

Dans ce contexte, l'autobus tire toutefois son avantage par rapport aux véhicules particuliers du fait que les dépôts d'autobus disposent de leurs propres installations de charge en carburant, ce qui rend plus aisée la distribution de l'hydrogène et la maîtrise des risques associés.

La diversité des solutions techniques, tant pour le carburant utilisé que pour les piles ou encore la chaîne de traction (choix entre hybridation et full power, et tensions d'alimentation), caractérise cette technologie émergente qui nécessite encore quelques années de recherches et expérimentations pour atteindre sa maturité.

Les promoteurs de cette filière annoncent généralement les premiers véhicules de série à l'horizon 2008-2010. Toutefois, les investissements conséquents nécessaires pour les expérimentations et les aspects sécuritaires liés à l'utilisation de l'hydrogène sont tels, qu'un déploiement de cette technologie dans des conditions économiques compétitives pour les autobus est peu probable avant 2015.