

*Une thèse de chimie de l'Université de Poitiers contribue au développement de la performance des piles à combustible pour alimenter les véhicules électriques*



# Les voitures qui changent l'alcool en eau

**L**e développement de batteries et de moteurs hybrides (batterie et essence) pour la mise au point d'un véhicule électrique comporte encore aujourd'hui des problèmes de rendement, d'autonomie et de coûts.

Les piles à combustible permettent de forts rendements énergétiques tout en évitant les émissions polluantes des moteurs thermiques. Elles ont été utilisées pour produire l'électricité à bord des premières missions spatiales comme Gemini et Appolo 8. Le principe de la pile à combustible a été découvert dès 1839 par Sir William Grove. Francis Bacon, à Cambridge, en 1950, en fit un prototype industriel de plusieurs kw de puissance. Pour qu'elles fonctionnent, les piles à combustible nécessitent des molécules à oxydation rapide qui dégagent une quantité importante d'énergie.

Jusqu'à maintenant, la pile à hydrogène est celle qui a fait l'objet du plus grand nombre de recherches. L'hydrogène s'est avéré le combustible le plus performant en vue de son application pour la voiture électrique. La société canadienne Ballard, fabricant de piles à combustible, devrait mettre en circulation un prototype d'autobus, avec 560 km d'autonomie, au cours de l'année 1998. Mais le problème majeur de cette pile est la difficulté de stockage de l'hydrogène. Sous forme liquide, il se conserve à -252° C, et sous forme comprimée, le réservoir est très lourd puisqu'il nécessite

une pression de 700 bars pour assurer une autonomie convenable.

L'autre inconvénient de l'hydrogène est qu'il faut le produire. L'hydrogène sous forme liquide ne se trouve pas dans la nature, mais il est présent dans de nombreux composés organiques. Pour l'extraire, on utilise l'électrolyse de l'eau, effectuée dans des centrales thermiques, au gaz naturel ou au charbon, ou encore par des voies moins polluantes comme les centrales nucléaires ou hydroélectriques. Il faut donc penser au bilan énergétique que comporte l'économie de rouler en voiture à hydrogène quand la production du combustible est déjà énergivore.

C'est pour ces raisons que des composés organiques, notamment les alcools, ont été expérimentés pour de nouveaux types de piles à combustible. À l'Université de Poitiers, dans le laboratoire de chimie de Claude Lamy, Fabien Delime, thésard, a étudié la faisabilité d'une pile à combustible à l'éthanol pour la voiture électrique. Le projet fait partie du programme Védélec (cf *L'Actualité* n° 37) et est financé par le Conseil régional du Poitou-Charentes. Le principe de la pile est simple. L'éthanol se décompose au contact d'une électrode de platine et les produits de la réaction se recombinaient avec l'oxygène de l'air pour rejeter de l'eau et du CO<sub>2</sub>. L'énergie chimique produite par la réaction est transformée en énergie électrique. Une pile à alcool comporte des

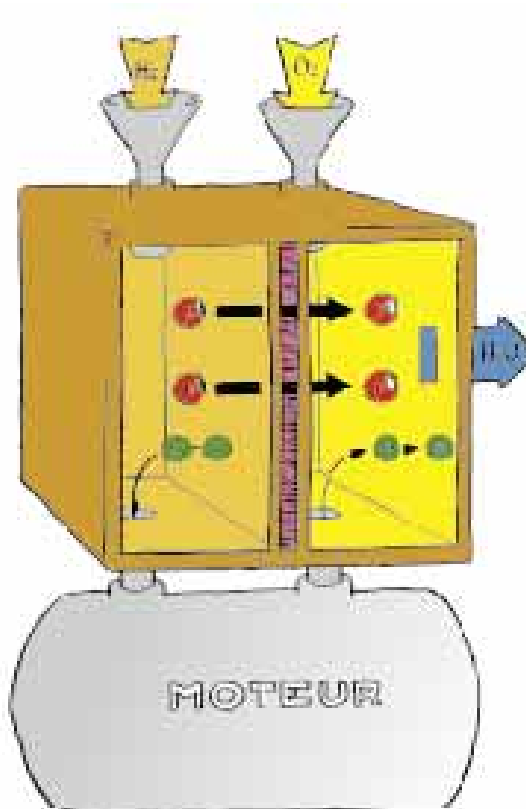
● Emmanuelle Bergeron  
Photo Bruno Veyssset  
Dessin Philippe Rondeau

atouts de taille : elle est moins polluante, puisqu'elle ne rejette que de la vapeur d'eau et du CO<sub>2</sub>, silencieuse et pratiquement sans maintenance. Contrairement aux piles jetables, qui comportent une quantité limitée de réactifs, ces piles peuvent être alimentées en permanence grâce à un réservoir.

«L'objectif de mon travail, explique Fabien Delime, consistait en la recherche de catalyseurs de meilleures nature et structure possibles, permettant un bon rendement énergétique de la pile.» Pour optimiser le rendement de la pile, l'oxydation de l'alcool doit être totale, c'est-à-dire que l'alcool doit être transformé entièrement en CO<sub>2</sub>. Même avec du platine, il subsiste toujours un empoisonnement dû à la formation de dépôts carbonés (CO), qui s'adsorbent à la surface de l'électrode. Les sites catalytiques de l'électrode finissent par se bloquer et cela provoque une surtension, diminuant la performance de la pile. Au laboratoire, l'équipe de recherche a monté une pile expérimentale pour tester différentes anodes à base de platine couplés à d'autres métaux, constituant des électrodes bimétalliques ou plurimétalliques. En dispersant le platine sur l'électrode avec un autre composé chimique, on restreint la formation d'oxydes de carbone (CO). Par la même occasion, on diminue le prix de l'électrode, le platine étant un métal noble au coût relativement élevé.

### La combustion directe du méthanol est plus performante

«La pile à éthanol ne sera probablement pas le meilleur combustible du futur, à cause de contraintes économiques et des propriétés électrochimiques encore imparfaites», avoue Fabien Delime. D'autres alcools s'avèrent plus performants, et plusieurs chercheurs croient à la pile au méthanol, compte tenu de sa disponibilité, de son faible prix et de sa facilité de stockage. Elle fonctionne par combustion directe du méthanol (DMFC : direct methanol fuel cell), c'est-à-dire sans membrane échangeuse de protons. Elle est plus performante puisque le méthanol est plus réactif et dégage une plus grande quantité d'énergie. Mais Fabien Delime demeure confiant en cette nouvelle technologie : «Ce projet de recherche fait partie d'un grand ensemble qui contribue à comprendre et améliorer les performances des piles à combustible devant l'impératif de développer de nouvelles approches technologiques pour l'automobile de demain.» ■



Les piles à combustible ont connu un développement spectaculaire au début des années 1980 et ont pu être appliquées à l'alimentation de véhicules électriques, grâce au progrès des membranes échangeuses de protons ou PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), en particulier le Nafion, fabriqué par Du Pont de Nemours.

## Comment fonctionne la pile à combustible

Une pile est une sorte de boîte composée de deux électrodes séparées par une membrane de polymère. Le combustible, par exemple de l'hydrogène, est injecté dans le système de la pile par un tuyau. Au contact d'une électrode de platine, l'hydrogène se décompose en ses plus simples éléments : un électron et un proton. La membrane laisse passer uniquement les protons (on l'appelle une membrane échangeuse de protons) et retient les électrons. Une nouvelle réaction se fait, il y a recombinaison de l'oxygène de l'air, qui entre par l'autre extrémité, avec les ions hydrogène (H<sup>+</sup>) pour former de l'eau. Il se crée alors une charge électrique négative du côté de l'hydrogène (à l'anode) et une charge positive du côté de l'oxygène (à la cathode). Cette tension est utilisée pour alimenter le circuit de traction électrique du véhicule. Plusieurs piles doivent être mises en série afin de produire assez de puissance pour faire fonctionner une voiture. Il existe aussi d'autres types de piles à combustible qui utilisent des solutions comme l'acide phosphorique ou alcalines plutôt qu'une membrane de polymère.

## 350 km avec un quart de litre

Les étudiants de l'école d'ingénieurs de La Rochelle entament leur seconde saison en Shell Eco-Marathon.

L'épreuve, que les plus anciens connaissent sous le nom de «quart de litre», consiste à parcourir la plus grande distance possible avec le minimum de carburant. En pratique, la compétition se déroule sur deux épreuves, à Bruxelles et sur le circuit du Castellet, où les concurrents doivent parcourir 19,8 km à la vitesse minimum de 25 km/h, en étant libres de couper le moteur dans les portions de circuit descendantes pour accroître leur autonomie. La quantité de carburant contenue dans le réservoir, d'environ 25 cl, est mesurée au départ et à l'arrivée, puis on extrapole la distance qui aurait été parcourue avec un litre du précieux liquide. A ce jeu, le record pour les moteurs à essence tourne autour des 3 000 km au litre, alors que pour les diesel, catégorie plus récente, on n'en est qu'à 900 km. Une quarantaine d'étudiants de l'Eigs, de toutes les années, participent au projet, mené sur leur temps libre, avec le soutien matériel de l'école qui met à leur disposition matériel informatique, outillage, locaux, plus l'assistance et le conseil des enseignants. Le financement, environ 100 000 F par an, est laissé aux étudiants, qui ont démarché des sponsors comme le Département, l'Anvar, et des entreprises comme Foggini, Microprofil et Radio

Nostalgie. Lors de leur première course à Bruxelles, les Rochelais ont enregistré un résultat encourageant : 30<sup>e</sup> sur 70 participants, et 5<sup>e</sup> sur 8 diesel avec 350 km parcourus, un résultat d'autant plus satisfaisant que le moteur qu'ils utilisent, un 200 cm<sup>3</sup> Yanmar, est strictement conforme à la série. Le travail de cette année va donc les amener à améliorer leur prototype, en travaillant sur le moteur et sur l'allègement de la structure notamment : «Le châssis, qui est aujourd'hui en tubes de section carrée, va évoluer vers une coque autoporteuse en matériau composite de type nid d'abeille, ce qui devrait nous permettre de passer d'un poids de 80 kg à 60 kg, dit Grégory Charrier, élève de 4<sup>e</sup> année et chef du projet. L'objectif, cette année, est d'arriver à 500 km.» L'an prochain, les étudiants rochelais vont lancer un modèle entièrement nouveau, pour s'attaquer à la catégorie reine : les moteurs à essence. «C'est très complémentaire à la formation de l'école, dit Grégory Charrier, ce projet nous permet de rencontrer des industriels pour les renseignements et l'aide technique, d'apprendre la communication, la gestion d'un budget. Et on touche à tous les domaines, mécanique, électronique, informatique embarquée, aérodynamisme. Pour des ingénieurs généralistes en formation, c'est idéal.» J R



## La grande pompe de l'Ouest

Le carburant à La Pallice, c'est avant tout pour le visiteur la masse de réservoirs qui parsèment la zone portuaire. Pour les lève-tôt, c'est, au petit matin, la noria des citernes qui font la queue devant les entrepôts. Et puis, tout au bout du môle d'escale, entre île de Ré et continent, c'est un appontement souvent illuminé le soir, relié à la terre ferme par deux kilomètres de pipe-line, qui est capable d'accueillir, côté Ré, des tankers de 120 000 t, et côté continent, des navires plus modestes de 45 000 t. Le pétrole à La Pallice, c'est une bonne partie de l'énergie du Poitou-Charentes : chaque année, l'équivalent de la consommation régionale de carburants y est débarqué.

Les produits pétroliers importés proviennent des raffineries des estuaires de la Loire et de la Gironde, mais aussi de Dunkerque, du Havre, de Russie, des Etats-Unis, de Grande-Bretagne ou de Lettonie. «Les navires sont affrétés par des traders, comme Cargill, dont le siège mondial pour les opérations pétrolières est à Genève, et qui contrôle la moitié du trafic rochelais», note Yves Bouvard, directeur du port de commerce. En 1997, 162 pétroliers ont déchargé à La Pallice, ce qui représente 20% des navires fréquentant le port, avec parfois des tonnages records, comme le *Konpolis*, qui a débarqué en une fois 73 666 t de gazole. Ces pétroliers connaissent souvent leur destination au dernier moment, alors qu'ils sont en mer, en fonction des instructions des traders genevois et des besoins des stockeurs de carburant sur place.

Ils sont cinq : un indépendant, la société Picoty (La Souterraine, dans la Creuse) qui dispose de 220 000 m<sup>3</sup> de réservoirs, la Société des Dépôts de La Pallice (160 000 m<sup>3</sup>), détenue à 34% par Elf, Total (60 000 m<sup>3</sup>) et les Raffineries du Midi (60 000 m<sup>3</sup>) contrôlées à 80% par Esso.

Un stockage «dormant» du service des essences des armées, situé dans la zone portuaire, a



une capacité de 35 000 m<sup>3</sup>. Au total, les capacités de stockage s'élèvent à 525 000 m<sup>3</sup> de carburants, soit à peu près autant de tonnes.

La situation géographique de La Rochelle explique son intérêt pour les distributeurs qui, au départ du port, ravitaillent les stations-service et les grandes surfaces. Un pipe-line part de l'estuaire de la Loire pour rejoindre la région parisienne, un autre emprunte l'axe Paris-Lyon-Marseille. Tout le grand quart sud-ouest de la France est approvisionné par la route, au départ de Nantes, de La Pallice ou de Bordeaux. La zone d'influence rochelaise est très étendue, et va jusqu'aux limites de la région parisienne. Par ordre décroissant, 40% des camions au départ de La Rochelle empruntent la direction Deux-Sèvres - Vienne - Indre - Indre-et-Loire, 30% se dirigent sur l'axe Charente - Creuse - Limousin, 15% vers le sud de la Charente-Maritime, la Dordogne et la Corrèze, et 13% vers la Vendée et le Maine-et-Loire. En moyenne, 350 citernes sont chargées chaque jour à La Pallice, ce qui, compte tenu du fait que bon nombre de camions font plusieurs rotations dans la journée, représente environ 200 emplois de chauffeur. Sur le site portuaire lui-même, entre les services de manutention, la sécurité et le personnel des dépôts, l'activité pétrolière représente aujourd'hui 84 emplois, pour un volume d'affaires annuel qui approche les 2 milliards de francs. La Pallice n'a encore jamais enregistré de sinistre, mais toutes les précautions sont prises. En matière de lutte contre la pollution, les services

portuaires disposent de 600 mètres de barrages flottants et d'un stock de matériel absorbant qui peut être embarqué sur des vedettes, ainsi que des installations de pompage flottantes pour récupérer les nappes à la surface de l'eau. «*Le risque de marée noire du type de l'Amoco Cadiz est moindre ici, dans la mesure où nous ne recevons que des produits raffinés plus faciles à traiter*», dit Robert Vasti, responsable de la sécurité portuaire, *mais tout doit être envisagé, car une panne de navire peut toujours se produire.*» Et en cas de pollution, le plan Polmar entre en vigueur. En ce qui concerne la lutte contre l'incendie, la Chambre de commerce de La Rochelle vient d'engager 1,4 MF dans la rénovation des systèmes de sécurité. Tous les équipements qui accèdent à l'apportement pétrolier, véhicules, téléphones, matériels électriques, sont traités antidéflagration. Deux réseaux d'eau de mer et de mousse sont reliés à la plate-forme de service, et des pompes permettent de déverser 600 m<sup>3</sup>/h d'eau de mer sur les installations, davantage pour les refroidir en cas d'incendie que pour éteindre les flammes, l'eau de mer n'agissant pas sur les feux d'hydrocarbures. L'oléoduc peut être utilisé pour refouler de l'eau vers les dépôts de carburant, si un sinistre devait y éclater. L'ensemble des installations est constamment vérifié, un jour sur deux lorsque des navires sont à quai, et au moins une fois par semaine le reste du temps. Le tout se faisant en collaboration avec les pompiers de La Rochelle, qu'une convention spécifique lie au port. ■

**Les hydrocarbures constituent le premier trafic du port rochelais avec 2 295 000 t de produits pétroliers débarquées en 1997 (sur un trafic total de 6,51 millions de t), dont 1,8 t de gazole et de fuel domestique, soit 80% du total, et 467 350 t d'essences automobiles, ce qui place La Rochelle au sixième rang des ports français pour ce type de trafic. Les importations de carburants à La Pallice remontent à la fin du siècle dernier, et cette activité a connu deux périodes de fort développement après chacune des deux guerres mondiales.**

● Jean Roquecave  
Photos Isabelle Louvier



Isabelle Louvier

# Le TGV prend la mer à La Pallice

Le premier TGV à prendre la mer s'est embarqué le 25 mars dernier à La Pallice, salué, sur le môle d'escale, par une brochette de personnalités coréennes et françaises, au son des cornemuses et des binious du bagad de la base aéronavale de Lann Bihoué. Cette rame, composée de deux motrices fabriquées à Belfort et de dix-huit voitures assemblées à l'usine Gec Alsthom d'Aytré, est la première d'une série de quarante-six qui doivent être livrées aux chemins de fer sud-coréens (Korea High Speed Rail Authority) pour la ligne à grande vitesse Séoul-Pusan, selon les termes d'un contrat de 2,1 milliards de dollars signé en juin 1994. Douze rames seront fabriquées en France et trente-quatre à partir de la fin de l'année en Corée du Sud par le Korea TGV Consortium, qui réunit Gec Alsthom et les compagnies coréennes Hyundai, Hanjin

et Daewoo. L'embarquement à La Pallice, sur l'*Asian Chorus*, un navire spécialisé dans le transport d'automobiles, qui repartait pour la Corée après avoir livré 6 500 voitures Hyundai en Europe, est «*la solution la plus simple, selon Michel Moreau, directeur général adjoint de Gec Alsthom Transport, car ce train a été assemblé et a fait ses essais dans la région rochelaise, et même avec la meilleure volonté du monde, on n'aurait pas pu l'expédier par voie ferrée, en raison des différences d'écartement des rails sur le trajet.*» L'*Asian Chorus* débarquera le TGV à Pusan, au sud de la péninsule coréenne, après un mois de mer. Pour les Rochelais, le spectacle se renouvellera régulièrement, les départs de La Rochelle devant s'échelonner jusqu'à la fin de 1999, pour une entrée en service du TGV sud-coréen en mai 2003. J R ■

● Photo Isabelle Louvier