

Aéronefs et avions

L'aérostation concerne le vol des engins plus légers que l'air alors que l'aviation utilise des appareils plus lourds que celui-ci. L'aérostation débute avec des ballons gonflés à l'air puis à l'hydrogène. Son époque de gloire est celle des dirigeables qui concurrencent un temps les avions jusqu'à l'accident du *Hindenburg* en 1937. La première compagnie au monde, la DELAG (Deutsche Luftschiffahrt AG), créée en 1909 par le comte Zeppelin, transporte 40 000 passagers en 1 600 vols sans accident. En 1929, le dirigeable *Graf Zeppelin* fait le tour du monde. Il parcourt au cours de sa carrière 1,7 millions de kilomètres en 590 voyages, offrant aux passagers un luxe exceptionnel.

» Mobilité et énergie

Les transports terrestres dépendent à 98% du pétrole qui, lors de sa combustion, génère des polluants. La quantité d'énergie consommée dans les transports augmente plus vite que la consommation totale d'énergie, ce qui montre leur importance dans le monde moderne. Les transports routiers dominent largement le secteur face aux autres types de transport (fluvial, aérien, ferroviaire). En France, le contenu énergétique des carburants dédié aux transports routiers est de l'ordre de 500 TWh/an (calculé en supposant qu'un litre de carburant représente environ 10 kWh), alors que le transport aérien représente environ 60 TWh/an et le transport maritime 30 TWh/an. L'énergie nécessaire pour faire rouler les véhicules routiers français est donc du même ordre de grandeur que l'énergie électrique consommée chaque année à l'échelon national (environ 450 TWh/an). Bien sûr, pour produire cette électricité, il a fallu environ trois fois plus d'énergie primaire à cause du rendement des centrales électriques.

Les polluants tels que les oxydes d'azote, les hydrocarbures imbrûlés, l'oxyde de carbone (CO) et les émissions de particules ont fortement diminué ces dernières années, mais le renouvellement du parc automobile est lent (l'âge moyen des voi-

Du pétrole et des marées noires

Une autre manière de se représenter l'énorme quantité de pétrole nécessaire aux transports français est d'évaluer les moyens qu'il faudrait pour acheminer ces 50 millions de tonnes consommées chaque année par la seule voie maritime. Il faudrait, pour transporter ce pétrole, 1 700 navires du type de l'*Erika* (30 000 tonnes) et 217 du type de l'*Amoco Cadiz* (230 000 tonnes).

En l'occurrence, ces deux navires sont de sinistre mémoire, puisqu'ils ont coulé et entraîné des marées noires sur les côtes de Bretagne. L'*Amoco Cadiz*, pétrolier libérien, s'est éventré le 16 mars 1978 sur les rochers situés au large de Portsall (Finistère), libérant 230 000 tonnes de fioul. L'*Erika*, pétrolier maltais, s'est brisé en deux le 12 décembre 1999 au sud-ouest de Penmarc'h (Finistère), laissant s'échapper plus de 10 000 tonnes de fioul lourd.

tures est d'environ 7 à 8 ans), et le nombre de véhicules augmente d'année en année. Au global, même si le bilan est positif, les efforts qui ont été faits ne sont pas toujours appréciés à leur juste valeur, car la population est de plus en plus sensible à tout ce qui touche aux phénomènes de pollution. Or, la diminution de la pollution est bien réelle. En effet, une voiture fabriquée aujourd'hui émet en moyenne quatre fois moins de polluants qu'une voiture mise en service il y a dix ans, et elle est vingt fois moins polluante qu'une voiture des années 1980. Au niveau européen, les émissions de polluants ont été réduites en trente ans d'un niveau allant de 10 à 100 selon la nature du polluant.

En matière d'émission de CO_2 , les progrès ne sont pas aussi spectaculaires puisque ces émissions sont directement reliées à la consommation du véhicule. L'Europe vise en moyenne 140 g de CO_2 /km pour les véhicules neufs à l'horizon 2008 — en 2006, la moyenne était de 160 g de CO_2 /km —, ce qui est encore beaucoup pour lutter efficacement contre l'accroissement de l'effet de serre. Dans ce contexte, l'utilisation de l'hydrogène, associée à une pile à combustible, serait intéressante pour autant que ce carburant soit produit sans émission de CO_2 dans l'atmosphère.

► Hydrogène et piles à combustible

La machine à vapeur avait un rendement inférieur à 5%, le moteur à combustion interne de l'ordre de 20%, et la pile à combustible atteint environ 50%. On peut donc logiquement penser qu'il est plus intéressant de « brûler » de l'hydrogène. Il faut toutefois ajouter à cela le rendement pour produire le carburant — rendement très bon pour le pétrole, mais hélas mauvais pour l'hydrogène.

» Automobiles et pile à combustible : déjà une longue histoire

Tout d'abord utilisée dans les véhicules spatiaux dans les années 1960, la pile à combustible a été une technologie qui très vite a semblé intéressante pour l'automobile. Deux tentatives ont lieu vers la fin des années 1960 et le début des années 1970. La première par General Motors, qui utilise une pile à combustible alcaline de 5 kW. La seconde par Karl Kordesh, qui équipe une Austin A-40 d'une pile alcaline de 6 kW; l'hydrogène est stocké dans des bouteilles sous pression placées sur le toit. Ce second prototype a fonctionné durant trois ans et parcouru 16 000 km.

Après ces deux tentatives, il a fallu attendre une vingtaine d'années pour qu'un nouveau véhicule, développé par L'American Academy of Science, soit présenté en 1991 : c'est le *LaserCell*. Il s'agit d'une base de



^ De l'hydrogène sur le toit

Dès 1970, Karl Kordesh équipe un prototype Austin A-40 d'un moteur hybride d'une autonomie de 300 km qu'il utilise pour ses propres déplacements pendant trois ans.

Ford *Fiesta* qui utilise une pile de type PEM de 14 kW. L'hydrogène est stocké dans un hydrure. En 1993, une PEM de 20 kW, alimentée par de l'hydrogène stocké à 200 bars, est utilisée dans la *Green Car* développée par la société Energy partners. Dans les deux cas, il s'agit de véhicules hybrides où une batterie au plomb, qui récupère l'énergie du freinage, permet de fournir des pics de puissance pour les reprises. Daimler Chrysler s'est ensuite investi dans le domaine tout d'abord avec la *Necar 1*. D'autres constructeurs ont suivi et plusieurs prototypes sont maintenant opérationnels.

» Hybridation ou pas ?

Dans un véhicule, la pile à combustible fait partie d'un ensemble complexe. Elle doit être couplée à de nombreux sous-systèmes assurant des fonctions complémentaires comme le compresseur et l'humidificateur d'air pour l'alimentation en oxygène, mais aussi le réservoir d'hydrogène (ou le reformeur si l'on utilise une autre source pour fabriquer de l'hydrogène) et son circulateur pour l'alimentation de la pile en hydrogène, le séparateur d'eau pour évacuer l'eau formée lors de la combustion, le gestionnaire d'énergie électrique, etc.

L'utilisation d'une pile à combustible seule ne permettrait pas de réaliser un véhicule ayant le même agrément que celui des véhicules actuels fonctionnant avec un moteur à combustion interne. Comme déjà expliqué plus haut, les reprises demandent des pics de puissance qu'il est difficile de fournir avec une pile à combustible seule. Il faut en effet amener l'air et l'hydrogène rapidement et évacuer très vite l'eau formée. La solution la plus simple est d'utiliser un dispositif hybride dans lequel les pics de puissance sont fournis par une batterie (de type NiMH

« Une pile à combustible seule ne permet pas de réaliser un véhicule ayant le même agrément que celui des véhicules actuels. »

Les batteries NiMH (nickel-métal hydrure) ont été introduites dans les années 1990 et ont une énergie volumique plus de 30% supérieure à celle des batteries Ni-Cd (nickel-cadmium); elles sont aussi moins polluantes que ces dernières.

Les batteries Li-Ion (lithium-ion) ont une grande capacité massique (environ 160 Wh/kg et 270 Wh/litre) par rapport aux autres types de batteries; elles sont de plus en plus utilisées (téléphones portables, micro-ordinateurs, etc.); elles sont néanmoins dangereuses (risques d'explosion) si elles sont mal utilisées (les batteries Li-Ion polymère le sont moins); elles s'usent que l'on s'en serve ou pas.

Les supercondensateurs sont des condensateurs de technologie particulière permettant d'obtenir des densités de puissance et d'énergie intermédiaires entre les batteries et les condensateurs classiques.

Quark de Peugeot >

Ce véhicule à deux places contient une pile à combustible qui vient compléter l'énergie électrique fournie par une batterie au nickel-métal hydrure.

ou Li-Ion) ou des supercondensateurs. On retrouve ainsi les configurations hybrides qui commencent à faire leur apparition actuellement avec des moteurs à combustion interne couplés à des batteries et un moteur électrique.



Véhicules hybrides

Il existe actuellement des véhicules hybrides associant un moteur à combustion interne à une batterie et un moteur électrique. La Prius de Toyota en est un exemple, commercialisé depuis la fin des années 1990. Le véhicule hybride est une solution qui va sans doute se développer pour les véhicules de moyenne et haut de gamme. L'avenir sera sans doute aux véhicules hybrides rechargeables, dans lesquels il sera possible de recharger à partir du réseau électrique une batterie dont l'autonomie pourrait atteindre de l'ordre de 30 à 40 km, kilométrage que beaucoup d'utilisateurs ne dépassent pas dans la journée. Cette solution serait intéressante dans les pays où l'électricité est produite majoritairement en ne dégageant pas de CO₂ (c'est le cas du nucléaire ou des énergies renouvelables). De plus, si certains petits véhicules diesel n'émettent pas plus de CO₂ que des véhicules hybrides, il faut néanmoins noter qu'ils émettent d'autres polluants en

quantité plus grande, notamment des particules fines qui peuvent avoir des incidences à long terme sur la santé. Le diesel est aussi un gros émetteur d'oxydes d'azote NO_x. En 2006, en Europe, un véhicule à essence émettait, en moyenne, 80 mg de NO_x/km et un véhicule diesel 250 mg de NO_x/km.



< La Toyota Prius

Déjà plus d'un million d'exemplaires vendus dans le monde.