

# Hydrogène :

## L'arlésienne pour encore quelques décennies

Tout le monde en rêve mais il faut commencer par le produire puis l'acheminer. Et là, le moins que l'on puisse dire est que les défis sont à la hauteur des attentes.

NICOLAS CONSTANS

Aujourd'hui limitée à l'industrie, l'utilisation de l'hydrogène n'implique pas un réseau très dense d'infrastructures de stockage et de distribution. Sa conservation est technique-ment lourde: il faut le garder sous forme liquide dans des cuves à doubles parois séparées par du vide et réfrigérées à -253°C.

**C**oncernant l'hydrogène, explique Stéphane His, économiste à l'Institut français du pétrole (IFP), *mon sentiment est qu'aujourd'hui on sort de l'enthousiasme des débuts, pour une approche plus pragmatique.* » Après les véhicules prototypes, après les stations-service de démonstration, comment envisager la production et la distribution d'hydrogène à grande échelle, sans que les coûts s'envolent mais avec une baisse de la pollution significative ? Toutes les solutions ont leurs avantages et leurs inconvénients.

La production, tout d'abord. L'hydrogène en lui-même n'est pas une source d'énergie, mais une façon de la transporter

ou de la stocker. De l'énergie est donc nécessaire pour le produire. Elle est apportée soit en brûlant du gaz naturel ou des hydrocarbures, soit en électrolysant l'eau, ce qui consomme de l'électricité. La voie par le gaz naturel est celle qui demande le moins d'infrastructures de production et de distribution, car beaucoup existent déjà. En revanche, elle produit des gaz à effets de serre (GES) comme le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) – mais moitié moins, cependant, que la filière essence classique.

La voie électrolytique demande des investissements lourds. En effet, pour produire l'électricité nécessaire, il faut construire des centrales. Le choix du type d'électricité est alors primordial. Car si

on électrolyse l'eau avec l'électricité telle qu'elle est produite actuellement dans l'Union européenne, on émettrait plus de GES que par la voie du gaz naturel ! Pourquoi ? Parce que les énergies fossiles comme le charbon représentent près de la moitié de la production d'électricité en Europe, et elles rejettent beaucoup de GES. Deux modes de production n'en émettent pas : les énergies renouvelables et le nucléaire. Les premières ont une capacité limitée, et énergétiquement, il est plus efficace d'utiliser directement l'électricité produite, plutôt que de s'en servir pour l'hydrogène. Quant au nucléaire, malgré son intérêt en termes de GES, on le voit mal s'imposer comme solution unique.





L'opinion publique européenne n'est pas disposée à accepter la construction massive de centrales.

La distribution, ensuite. Là, il y a trois options. Soit on produit l'hydrogène dans de grosses usines centralisées. C'est la solution la plus efficace, du fait des économies d'échelle. De plus, elle ouvre une perspective *a priori* alléchante : le stockage du CO<sub>2</sub> sous terre. Cette technologie, encore à l'étude, devient viable pour des installations à grande échelle. L'inconvénient, c'est qu'il va falloir transporter l'hydrogène. Or dans les conditions ambiantes, l'hydrogène contient très peu d'énergie par mètre-cube. Par conséquent, à la fois pour que les voitures fonctionnant à l'hydrogène aient une autonomie suffisante, et pour qu'il soit transportable, il faut le comprimer très fortement – à 350 ou 700 bars – ou le liquéfier en le maintenant à très basse température, - 253° C.

#### UN MANQUE DE DENSITÉ

Son acheminement nécessite la construction d'un vaste réseau de pipelines – la technologie existe, Air Liquide, par exemple, en exploite 810 km entre la France et le Bénélux. L'investissement de départ sera alors colossal, explique Stéphane His : « Le réseau doit être suffisamment dense. Car il faut suffisamment de stations-service pour les gens franchissent le pas et commencent à acheter des voitures à hydrogène. » Quant au transport routier, il bute sur la faible den-

sité de l'hydrogène : un camion d'essence équivaut à... 19 camions d'hydrogène s'il est pressurisé et à 5 s'il est liquide.

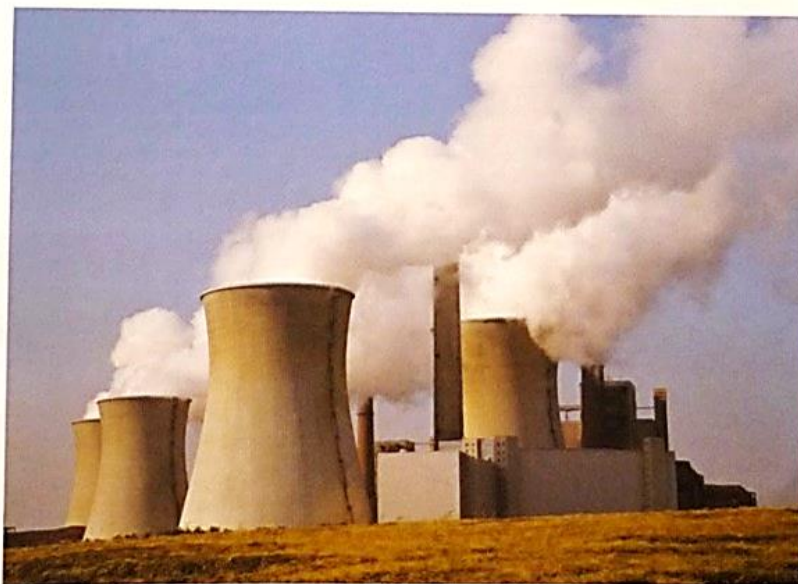
Aux extrémités de ce réseau, la mise en œuvre des pompes à hydrogène sera délicate. « Il ne faut pas perdre de vue que 700 bars ou -253° C, ce sont des technologies quasi-spatiales que l'on cherche à adapter au grand public. » Des stations-

prototype existent, mais on est loin d'avoir prouvé qu'elles remplissent toutes les exigences de sécurité, en particulier en ce qui concerne l'inflammabilité.

La troisième option consiste à produire l'hydrogène à bord de la voiture, à partir d'hydrocarbures : gaz naturel, méthanol, essence, etc. Pour l'essence ou le gaz, l'énorme avantage est que les infrastructures sont déjà là. En revanche, la réduction de GES est limitée à un niveau que l'amélioration des moteurs conventionnels pourrait permettre de toute façon d'atteindre, dès la prochaine décennie. Par ailleurs, les recherches sur ces voitures ne sont pas terminées : actuellement, elles consomment plus, sont plus lourdes, plus complexes à mettre en œuvre, et tolèrent difficilement les régimes intermittents du moteur.

Outre la production et la distribution, d'autres défis attendent l'utilisation d'hydrogène à grande échelle. Notamment diminuer le coût de la voiture à hydrogène, plus chère d'environ 60 à 120 %. Ce qui demande d'industrialiser la production de la pile à combustible – ce qui transforme l'hydrogène en électricité –, alors qu'aujourd'hui, son élément central, la membrane, est fabriqué à la main. Par ailleurs, des études sont en cours pour diminuer son contenu en platine – entre 50 et 100 g actuellement –, dont la production mondiale serait bien loin de suffire si la pile se généralisait. « Pour l'instant, conclut Stéphane His, l'hydrogène reste, sans doute pour longtemps encore, au stade de la recherche. » ♦

Distribuer de l'hydrogène en bout de réseau revient à adapter au grand public des technologies quasi-spatiales (à gauche, la première station-service au monde équipée de pompes à hydrogène à Reykjavik, capitale de l'Islande). Quant à produire l'hydrogène en grande quantité, une voie consiste à électrolyser de l'eau. Elle implique une consommation d'électricité telle que, en France, le parc de centrales nucléaires devrait être triple.





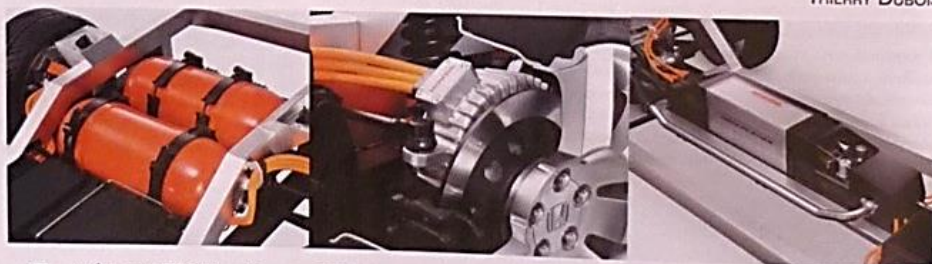


# Pile à combustible : l'approche duale de Honda

Le constructeur japonais étudie actuellement un concept original de production d'hydrogène pour alimenter deux piles à combustible : l'une pour la maison, l'autre pour la voiture.

THIERRY DUBOIS

La station domestique de production d'hydrogène mise au point par Honda (en haut, à droite) fournit de l'électricité aussi bien pour le véhicule FCX (ci-dessus) que pour la maison. Elle évite l'intégration du reformeur dans l'architecture du véhicule, qui intègre déjà les réservoirs, le moteur électrique et la pile à combustible (ci-contre, de gauche à droite).



**A**vec le concept HES (Home Energy Station), Honda met au point une station domestique de production d'hydrogène, destinée à alimenter une voiture à pile à combustible. Cette station utilise le principe du reformage de gaz naturel afin d'obtenir l'indispensable gaz H<sub>2</sub>. La pile à combustible emploie alors l'hydrogène pour produire de l'électricité, qui fait tourner le moteur de la voiture. La fabrication en série du véhicule FCX est envisagée d'ici à trois ou quatre ans ; celle de la station

HES pourrait intervenir à l'horizon 2011. Pourquoi déporter le reformeur vers la maison ? Il s'agit d'émettre moins de CO<sub>2</sub>, le principal responsable de l'effet de serre et le second produit de la réaction chimique de reformage. La station HES « tourne » en permanence et stocke l'hydrogène jusqu'à 5 kg. « Avec un fonctionnement en continu, plutôt qu'à la demande dans une voiture, le reformeur a un meilleur rendement », explique Thomas Brachmann, responsable de la communication pour l'activité Recherche et

développement de Honda en Europe. Sans compter qu'un reformeur est volumineux et donc difficile à intégrer à l'architecture d'une voiture.

Mais ne serait-il pas plus efficace de brûler directement du gaz naturel dans un moteur adapté ? « Nous avons calculé que notre concept émet 20 % de moins de gaz à effet de serre [GES] qu'un moteur fonctionnant au gaz naturel, dont les rejets sont déjà assez faibles », affirme Thomas Brachmann. Soit, pour le FCX à pile à combustible, 169 g de GES par kilomètre.





La fabrication en série du véhicule FCX de Honda serait envisagée d'ici trois ou quatre ans (ci-dessous, le concept car) et celle de la station HES, à l'horizon 2011.

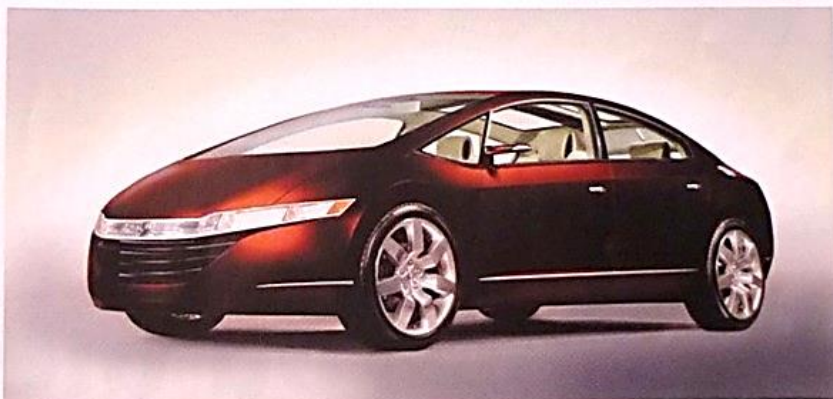
Un chiffre qui en réalité prend en compte toutes les étapes qui conduisent à la mise en mouvement de la voiture, de l'extraction du pétrole à la rotation des essieux. C'est l'approche « du puits à la roue ». Le résultat est donc difficile à comparer aux émissions de CO<sub>2</sub> que les constructeurs doivent afficher pour chacun de leurs modèles. Elles ne sont mesurées qu'au niveau du véhicule, sur un cycle de conduite.

La station domestique de production d'hydrogène comprend aussi une pile à combustible, la même que dans le FCX. Du coup, la station HES peut fournir de l'électricité. Soit pour l'autonomie énergétique de l'habitation (jusqu'à 5 kW), soit en alimentation de secours. Cerise sur le gâteau, l'eau chaude sanitaire. L'eau utilisée pour le refroidissement du reformeur cède en effet sa chaleur, via un échangeur, à l'eau qui sera ensuite utilisée dans la salle de bains et la cuisine.

#### DES CHAÎNES AROMATIQUES

Pour résoudre le problème du démarrage par grand froid, Honda a fait appel à un nouveau type de membrane dans la pile à combustible. La membrane électrolytique est le « cœur » de la pile : c'est là que s'échangent les ions H<sup>+</sup>, dont le mouvement est à l'origine du courant électrique. Elle est habituellement faite d'un polymère à base de fluorine.

Dans la station HES et le véhicule FCX, la membrane est constituée de chaînes aromatiques, où peuvent se greffer davantage d'ions « substrats » SO<sub>3</sub>. Ce plus grand nombre de substrats signifie une meilleure conductivité. Honda affirme être ainsi parvenu à multiplier par deux la conductivité à basse température. La pile peut alors fonctionner par -20° C. Un



progrès sensible comparé aux véhicules à piles à combustible déjà commercialisés aux États-Unis et au Japon.

En revanche, les ingénieurs de la marque n'ont toujours pas réussi à remplacer le platine par un autre catalyseur. Le besoin en platine, rare et cher, est un obstacle à la production de masse de piles à combustible. Pour l'instant, les équipes Honda s'efforcent de réduire la quantité de platine utilisé, et planchent sur le recyclage du précieux métal.

La station HES est issue d'une collaboration avec l'entreprise américaine Plug Power. Cette coopération se limite pour l'instant à la phase d'expérimentation. Pour Thomas Brachmann, la commercialisation de la HES ne devrait pas intervenir avant cinq ans. Honda est dans l'expectative et attend de voir comment la production d'hydrogène se développe. Si la tendance est à de grosses unités sur un schéma très centralisé, le constructeur

de Tokyo ne poursuivra pas nécessairement dans la voie de la station domestique. « Il faudra comparer les rendements », indique Thomas Brachmann.

Pour autant, chez Honda, on jure ne pas se limiter à un effet d'annonce. Comme d'autres constructeurs, la firme japonaise va-t-elle promettre chaque année sa pile à combustible « pour dans trois ans » ? « Nous prenons le problème du CO<sub>2</sub> à bras-le-corps et nous croyons à l'avenir de la pile à combustible », réplique Thomas Brachmann. Pour les ingénieurs de Honda en effet, cette technologie peut devenir deux fois plus efficace, toujours en termes de rejets de CO<sub>2</sub>, que le moteur à combustion interne. De quoi faire face au doublement prévu du parc mondial d'automobiles à l'horizon 2030. Au passage, Honda promet que la station HES sera capable d'alimenter n'importe quel véhicule en hydrogène, pas seulement le FCX. ♦

DESIGN ET INNOVATION

» Depuis de nombreuses années, Mercedes fait rouler des prototypes à pile à combustible, chaque nouvelle génération éliminant son lot de problèmes. Les éléments techniques supplémentaires de ce concept car démontrent que les ingénieurs peuvent désormais s'occuper d'autre chose que de la propulsion.

PHILIPPE GIGOUT

# Mercedes F 600 HY Genius

## La pile à combustible proche de la série ?



38 | SAV



Élegante famille compacte, le F 600 n'a plus guère l'allure d'une voiture de série. Elle est issue d'un prototype à pile à combustible qui ne passe que quelques heures devant les caméras et les journalistes. Mais ce n'est pas tout. Le concept car est un véritable laboratoire de technologie. La propulsion est confiée à un moteur électrique alimenté par une pile à combustible et une batterie à haute tension lithium-ion. Ces deux fournisseurs d'énergie travaillent en synergie à la manière d'une propulsion hybride, un calculateur déterminant en permanence quelle est la source la mieux adaptée en fonction des conditions de conduite. Le générateur est associé au moteur électrique afin de récupérer l'énergie cinétique pendant la phase de freinage. La pile à combustible est nourrie en hydrogène par un réservoir sous une pression de 700 bars. Cette très haute pression permet d'embarquer 4 kg d'hydrogène qui produisent une autonomie d'environ 400 km.

La pile est elle-même équipée de deux autres avancées, réalisées par le groupe DaimlerChrysler en la matière. Son fonctionnement est réglé par l'intermédiaire de plusieurs bouillottes réalisées en métal au lieu de graphite. Ceci change d'apparence l'ensemble de la machine en véhicule par un turbo compresseur électrique plus petit, plus léger et moins bruyant que le compresseur à vis utilisé

Son mode de propulsion génère une puissance de 100 kW. Le F 600 HY Genius. Ses éléments originaux incluent l'usage de l'hydrogène et sa cellule sous une pression de 700 bars. Le compresseur électrique est alimenté par une batterie à haute tension lithium-ion.

SAV | 39

Agrandissement possible







# La roue réinventée



Élément capital pour l'humanité, la roue n'avait jusqu'alors guère évolué. L'intégration de diverses fonctions en fait aujourd'hui un composant essentiel de l'automobile de demain dont elle permet de bousculer l'architecture.

PHILIPPE GEGOUT



Petit monospace à usage exclusivement urbain, le concept Ez MiEV de Mitsubishi tire le meilleur parti des moteurs électriques intégrés dans les roues. L'absence d'éléments mécaniques embarqués libère autant d'espace mis à profit pour le confort et la sécurité des occupants.



Les exigences de la clientèle et du législateur en matière de confort, d'habitabilité et de sécurité conduisent à un accroissement constant de la taille des véhicules et de leur masse. Afin de contenir les dimensions de l'automobile moyenne dans un gabarit raisonnable, ses concepteurs tentent de se débarrasser des éléments encombrants que sont moteur et transmission ou au moins de les rejeter à l'extérieur des zones habitables. Le concept car Toyota Fine-T utilise pour cela des moteurs électriques intégrés aux roues. Une technique sur laquelle travaille également Mitsubishi sous le nom de concept Miev (*Mitsubishi In-Wheel Motor Electric Vehicle*) qui l'a adapté à de nombreux concept cars. Le dernier en date, le concept Ez Miev, met à profit ce principe pour moduler l'espace intérieur.

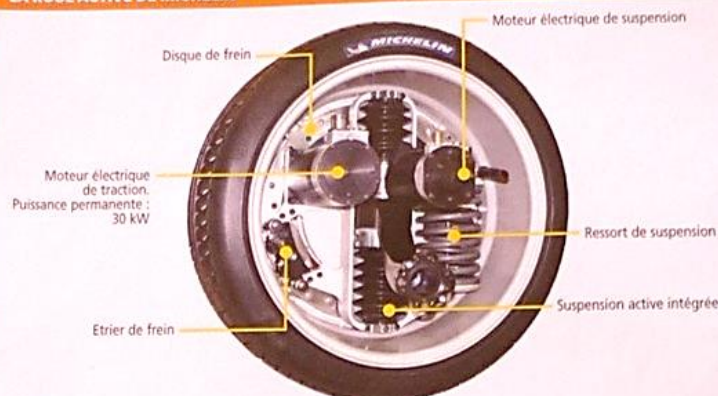
La disparition du moteur thermique et de ses accessoires, de la boîte de vitesses et des arbres de transmission permet de réaliser un vaste habitacle débarrassé de toutes protubérances gênantes alors que la longueur du Ez Miev ne dépasse pas 3,70 m. De plus, l'absence de pièces mécaniques rigides permet de définir plus facilement les zones de déformation indispensables à dissiper l'énergie en cas de choc.

#### LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Afin de mieux démontrer les possibilités d'aménagement de l'habitacle qu'autorise cette conception, Mitsubishi a retenu la traction purement électrique pour ce concept car. Les quatre moteurs de 20 kW, chacun intégré aux roues, puisent leur énergie dans une batterie lithium-ion installée sous le plancher, là encore sans interférer sur l'espace utile. D'un poids de 150 kg, elle a une capacité de 24 kWh. Si la vitesse maximale peut atteindre 150 km/h, l'autonomie de 120 km confine le Ez Miev à un usage strictement local.

De fait, le volume intérieur libéré laisse toute latitude à la créativité des designers. D'autant que toutes les commandes de conduite sont du type « by wire », ce qui

#### LA ROUE ACTIVE DE MICHELIN



permet de les disposer sans contrainte et même de les rendre escamotables. Trois configurations d'habitacle sont ainsi réalisables : le mode classique disposant de cinq confortables places assises avec une longueur pour les jambes digne des meilleures limousines ; le mode transport offrant un vaste compartiment de charge – les sièges s'escamotent dans le plancher – accessible par le hayon et par les portes latérales arrière ; enfin, un mode salon particulièrement utile sur... un salon automobile.

Dernière évolution du concept Miev, les moteurs électriques installés dans les roues sont d'une nouvelle conception avec rotor extérieur. Son grand diamètre – la jante qui l'enveloppe mesure 20 pouces de diamètre – permet d'obtenir une puissance et un couple importants. De plus, cette construction en anneau libère de l'espace au centre du moteur dans lequel peuvent être installés le frein à disque et les composants nécessaires à la direction. Ce dernier avantage permet l'installation des moteurs dans les roues avant et de réaliser des véhicules à roues arrière motrices, traction avant ou 4x4. Une configuration qui n'est pas anodine pour un constructeur comme Mitsubishi, spécialiste du tout-terrain. Ce montage permet en effet de contrôler de manière individuelle le couple de traction et de freinage transmis à chaque roue de façon à exploiter au mieux l'adhérence disponible et contrôler la stabilité.

Cette roue magique n'est pour autant pas encore parfaite. Elle doit être reliée au véhicule par l'intermédiaire de suspensions. Un sujet sur lequel ni Toyota, ni Mitsubishi ne s'étendent quand il s'agit de vanter les mérites de leurs concept cars. Quelle que soit la géométrie retenue, ces éléments réclamant de la place pour

débatte vont entamer quelque peu le gain apporté par les moteurs intégrés. Une gageure que Michelin a déjà relevée avec son concept appelé Michelin Active Wheel, au moins au stade du prototype. Ici, le moteur de traction est de forme classique, ce qui lui permet d'accueillir à son côté un second moteur électrique chargé d'assurer la suspension.

#### UNE SUSPENSION ACTIVE

Car il s'agit bien évidemment d'une suspension électrique active. Elle comprend néanmoins un ressort hélicoïdal chargé d'apporter la souplesse, mais les mouvements de la roue sont contrôlés par le moteur électrique qui tient lieu d'amortisseur, de barre antiroulis et de dispositif de contrôle d'assiette. Sans sortir du diamètre interne de la jante de 17 pouces, une valeur courante sur les voitures de série actuelles, le débattement total de la suspension est de 180 mm, soit une valeur elle aussi normale. Le freinage est assuré par un frein à disque. Avec un moteur de 30 kW en continu (60 kW en crête pendant 20 secondes), cette roue ne pèse que 30 kg. C'est à peu près le double d'une roue standard de même dimension, mais si l'on considère le nombre d'organes supprimés à bord de la voiture, le gain global est considérable. Dans une configuration classique, ce poids serait considéré comme non suspendu avec tout ce que cela suppose comme inconvénients en termes de confort et de tenue de route. Un défaut qu'il faut ici considérer comme élué par la présence d'une suspension active. Attention toutefois à l'énergie électrique consommée par ce type de suspension qui risque de grever le bilan énergétique global de la voiture ! Un obstacle facilement levé par une bonne pile à combustible. ♦

Quand Mitsubishi se contente d'intégrer un moteur électrique et un frein à disque dans la roue, Michelin y ajoute une suspension active actionnée par un moteur électrique. Le seul élément mécanique qui la reliera au véhicule sera la direction, elle aussi électrique, afin que le conducteur n'agisse plus que sur des commandes par fil. A partir de là, les concepteurs auront le champ libre pour bousculer l'architecture des véhicules.

#### LE MOTEUR INTÉGRÉ À LA ROUE

