

Les piles à combustible et l'hydrogène

3.1 – Mise en situation

Une pile à combustible à hydrogène est un type de pile électrique qui fonctionne aussi longtemps qu'on l'alimente avec deux gaz, l'hydrogène et l'oxygène. L'oxygène est dans l'air; l'hydrogène doit être extrait des hydrocarbures (charbon, gaz naturel, pétrole) ou de l'eau, car on ne le trouve pas à l'état naturel sur la Terre.

Les développements récents des véhicules à pile à combustible (PAC) démontrent bien que la technologie peut fonctionner et ne pas polluer au lieu d'utilisation, puisque tout ce qui sort des PAC, c'est de la vapeur d'eau. En utilisant des énergies renouvelables pour produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau, on peut même faire en sorte de ne pas polluer ni émettre de gaz à effet de serre. De plus, il est possible de faire le plein d'hydrogène en 10 minutes, contrairement aux grosses batteries qui, avant 2007, prenaient des heures pour être rechargées.

À la lueur de ces faits, les voitures à PAC semblent donc, *a priori*, apporter une solution idéale au développement durable des transports routiers. Cette vision des transports du futur est à l'origine de ce qu'on a appelé l'«économie hydrogène¹», dont les promoteurs font souvent miroiter un avenir idyllique où le pétrole est remplacé par l'hydrogène. Il est bien normal que beaucoup de gens aient été séduits par ces apparences et aient investi dans ces technologies. Malheureusement, les choses ne sont pas si simples².

-
1. J. Rifkin, *L'économie hydrogène*, Éditions La Découverte, Paris, 2002. S. Boucher, *La révolution de l'hydrogène, vers une énergie propre et performante?*, Éditions du Félin, Paris, 2006.
 2. J. Romm, *The Hype about Hydrogen, Fact and Fiction in the Race to Save the Climate*, IslandPress, Washington, 2005.

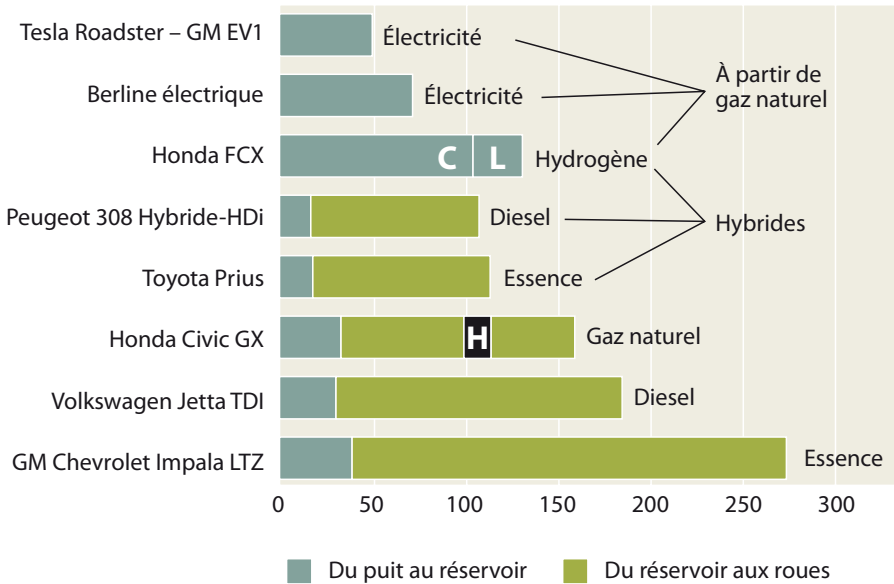


Figure 3.5 – Émissions de CO₂ du puits aux roues (g CO₂/km). L'évaluation des émissions de CO₂ du puits aux roues d'un véhicule implique de tenir compte du CO₂ émis du puits au réservoir du véhicule, pour produire les différents carburants : essence, diesel, gaz naturel, hydrogène et électricité. Pour les émissions du réservoir aux roues, nous avons considéré que les carburants fossiles étaient complètement brûlés. Les lettres C et L correspondent à l'état de l'hydrogène lorsqu'il est transporté aux stations-service (C= comprimé, L= liquéfié). La lettre H identifie la zone d'émission de CO₂ pour la Honda Civic GX si elle était hybride électrique-gaz naturel, sans être rechargeable sur le réseau, comme les autres hybrides de la figure.

libère 2,36 kg de CO₂ par litre pour l'essence, 2,64 kg de CO₂ par litre pour le carburant diesel, et 1,77 kg de CO₂ par litre équivalent essence pour le gaz naturel. (Un litre équivalent essence de gaz naturel contient la même énergie chimique qu'un litre d'essence, c'est-à-dire 32,1 MJ.)

La figure 3.5 fait ressortir de façon évidente le net avantage des voitures électriques, car la Honda FCX à PAC émet 50% plus de CO₂ qu'une berline électrique typique! Bien que ce ne soit pas idéal, il serait préférable de construire des centrales électriques au gaz naturel plutôt que des usines de reformage du gaz naturel pour produire de l'hydrogène. Par ailleurs, les voitures hybrides (non rechargeables) sont sensiblement sur le même pied que la voiture à PAC la plus évoluée. C'est également le résultat obtenu par des chercheurs du MIT travaillant au Laboratory for Energy and the Environment. Dans une étude publiée en 2003¹⁴, on peut lire :

14. M.A. Weiss *et al.*, *Comparative Assessment of Fuel Cell Cars*, rapport du Laboratory for Energy and Environment (LFEE) du MIT, février 2003. Téléchargement : site du LFEE à <http://lfee.mit.edu/metadot/index.pl>.

3.6 – Les voitures à PAC consomment trois fois plus d'électricité que les voitures électriques à batteries

La question à poser maintenant est: quel pourcentage de l'électricité utilisée pour produire l'hydrogène se rendra au moteur d'une voiture à PAC? La réponse à cette question est: environ 26%, comme nous le verrons plus loin.

Voyons d'abord ce qu'il en est pour une voiture électrique à batterie (hybride ou non). Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'en branchant une voiture électrique sur le réseau pour recharger ses batteries, environ 85 % de l'énergie électrique sortant de la prise arrive au moteur pour faire avancer le véhicule. En tenant compte des pertes d'électricité dans sa distribution à partir des centrales (environ 10 %), l'efficacité d'utilisation de l'électricité diminue à 76,5 % approximativement.

Une voiture à PAC consomme donc en gros trois fois plus d'électricité qu'une voiture électrique à batterie pour faire la même chose (figure 3.6)! Il faudrait par conséquent installer trois fois plus d'éoliennes, de panneaux solaires ou de barrages hydroélectriques pour obtenir le même résultat. De plus, l'hydrogène coûterait au moins cinq fois plus cher à produire et à distribuer que l'électricité.

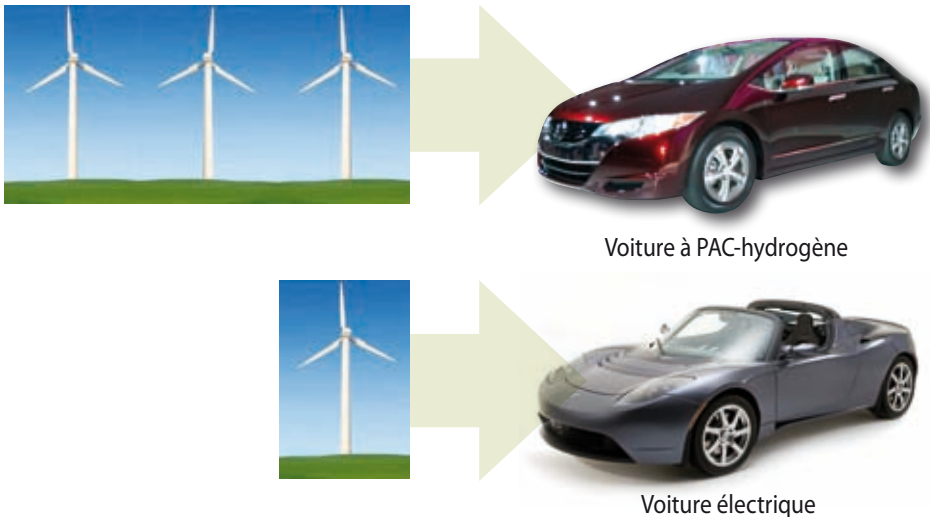


Figure 3.6 – En tenant compte de toutes les pertes pour produire l'hydrogène par électrolyse à l'aide d'énergie renouvelable, le transporter et le retransformer en électricité dans une voiture à PAC, celle-ci consomme trois fois plus d'électricité que n'en consomme une voiture électrique à batterie ou une voiture hybride branchable. La voiture électrique est une Roadster de Tesla Motors et la voiture à PAC est une Honda FCX. (Source voiture à PAC: Wikimedia Commons, <http://commons.wikimedia.org>, auteur: Bbqjunkie, novembre 2007. Source voiture électrique: <http://www.teslamotors.com/>)

pouvant assurer une autonomie de 100 km en mode électrique. Faire le plein (carburant diesel et électricité) de tels autobus coûte environ 10 fois moins cher, en 2008, que pour faire le plein d'hydrogène d'un autobus à PAC, toujours en excluant les taxes spéciales sur les carburants pétroliers. **Finalement, si on compare avec un autobus uniquement électrique, faire le plein d'électricité, en 2008, le rapport est doublé: il en coûte 20 fois moins cher que de faire le plein d'hydrogène d'un autobus à PAC!**

Il n'y a aucun doute, les autobus de l'avenir NE FONCTIONNERONT PAS À L'HYDROGÈNE. Il faut que les autorités publiques s'ajustent à cette réalité dans

leur gestion des fonds publics et réorientent le financement de la recherche vers des solutions plus réalistes: les autobus électriques biberonnés ou non et les autobus hybrides-série rechargeables avec une batterie donnant une autonomie d'environ 100 km en mode électrique. Ces technologies sont déjà fonctionnelles. Tout ce qu'il faut faire, c'est investir pour les amener au niveau commercial. Et, comme nous venons de le constater, le retour sur investissement promet d'être très intéressant, assez rapidement.

3.13 – Dix ans de retard pour les véhicules à piles à combustible, un autre handicap majeur

Quand on considère l'arrivée hypothétique sur le marché de véhicules à PAC à des prix compétitifs, les experts s'entendent sur le fait que ce ne pourrait être avant 2020.

D'ici là, les véhicules électriques et les véhicules électriques hybrides rechargeables se vendront à plusieurs millions d'exemplaires par année. Leur technologie va encore être améliorée et leur prix, diminuer. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, Toyota a mis à l'essai, en 2007, une Prius avec une grosse batterie qu'on peut recharger, et qui permet de rouler 13 kilomètres en mode électrique. Le président de Toyota a d'ailleurs annoncé une Prius branchable pour 2010. De son côté, GM annonce également pour 2010 l'arrivée de la Chevy Volt,

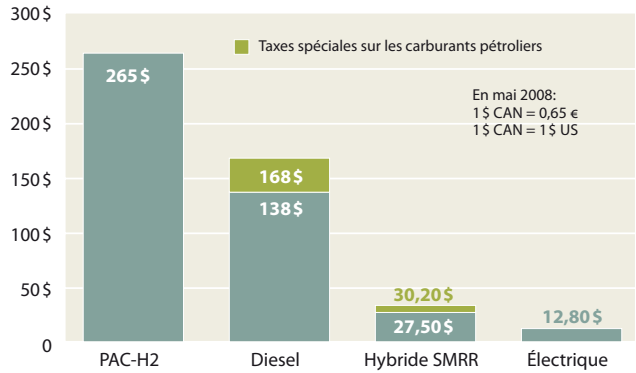


Figure 3.8 – Coût journalier du carburant pour un autobus qui parcourt 200 km/jour, au Canada, en mai 2008 (\$). Les coûts incluent 13 % de taxes de vente. Les autobus à PAC consomment 16 kg d'hydrogène (H₂) par 100 km, à 8,26 \$/kg. Ces coûts sont ceux à la pompe et comprennent les coûts pour l'infrastructure de 40 stations-service. L'autobus Diesel consomme 60 litres de carburant diesel par 100 km, à 1,40 \$/litre. L'autobus hybride-série à moteurs-roues rechargeable (SMRR), avec une autonomie électrique de 100 km, consomme 80 kWh d'électricité et 17 litres de carburant diesel pour parcourir le deuxième 100 km. L'autobus électrique à moteurs-roues consomme 80 kWh d'électricité par 100 km, à 0,08 \$ CAN/kWh.