



# VOITURE À HYDROGÈNE



## C'est quoi ?

Une voiture à hydrogène est une voiture électrique qui puise son énergie d'une pile à combustible alimentée avec ce gaz. Au lieu de recharger une batterie avec une prise et donc de l'électricité, on la remplit avec un liquide. C'est pour cela qu'on appelle le système pile à combustible [c'est une pile qui fonctionne avec du combustible qui se consomme et disparaît du réservoir]. En fait, la seule différence avec un moteur électrique se situe au niveau du stockage de l'énergie, ici sous forme liquide et non pas chimique. Il faut donc noter que la pile se vide de sa substance contrairement à une batterie Lithium ou même à plomb.



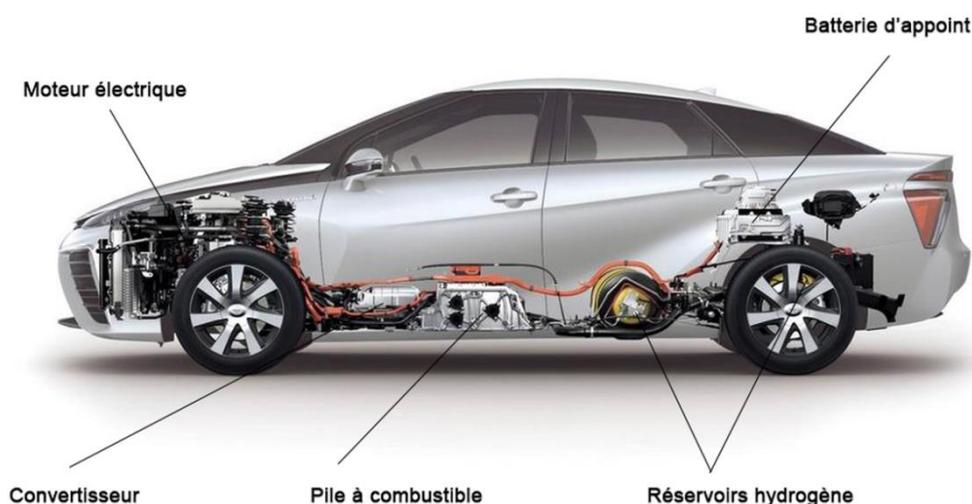
© Toyota Mirai Concept berline hydrogène

## Comment ça fonctionne ?

C'est en 1766 que le chimiste et physicien britannique Henry Cavendish découvre et isole l'hydrogène. Deux décennies plus tard, il démontre qu'il se forme de l'eau en le brûlant. Encore vingt ans, et l'inventeur suisse Isaac de Rivaz emploie ce gaz comme carburant pour le premier moteur à combustion interne mis au point en 1806. Première véritable application de l'hydrogène pour la mobilité : l'aviation.

Du fait de ses propriétés qui le rendent difficile à stocker et à transporter, l'hydrogène a été boudé des constructeurs en automobiles pendant presque 2 siècles. En 2005, Mercedes ajoute à son catalogue la Classe B F-Cell, première voiture à hydrogène de série. Les années 2010 ont ouvert un champ d'application très large à l'hydrogène pour la mobilité terrestre : bus, scooters, vélos à assistance électrique, engins de chantiers et de manutention comptent des modèles fonctionnant à l'hydrogène. Sur l'eau aussi, ce gaz commence à être exploité comme carburant.

Une voiture à pile hydrogène (**FCEV = Fuel Cell Electric Vehicles**) est d'abord une voiture électrique, mais qui reçoit principalement son énergie d'une pile à combustible. Une batterie est cependant bien présente sur la chaîne de traction, mais de moindre importance. L'hydrogène des réservoirs est utilisé pour faire avancer le véhicule, via la pile à combustible et ses dispositifs associés.



Si la batterie n'est pas à sa pleine capacité, et que l'utilisation de l'engin le permet, la pile à combustible va permettre de la recharger en même temps. Lors d'un fort appel de puissance, à l'accélération, la pile à combustible et la batterie vont alimenter de concert la motorisation électrique. Enfin, comme dans la très grande majorité des véhicules électriques, l'énergie cinétique des phases de décélération et de freinage va être transformée en électricité pour régénérer le pack lithium.

## L'hydrogène (H<sub>2</sub>)

L'hydrogène est l'élément le plus commun dans l'univers. Cependant, il n'existe pas à l'état pur et pour être utilisé comme carburant il doit être extrait. Son extraction se fait à partir d'hydrocarbures fossiles, principalement du méthane, du charbon ou des coupes pétrolières. Génératrices de CO<sub>2</sub>, ces méthodes d'extraction sont à terme condamnées.

Heureusement, il existe d'autres méthodes de production émergentes bien plus écologiques comme la production à partir du méthane ou la très prometteuse extraction par électrolyse de l'eau. A noter que l'hydrogène extrait a pour nom scientifique le **dihydrogène** mais le terme usuel employé reste l'hydrogène.



Une Toyota Mirai fonctionnant à l'hydrogène, à une station de ravitaillement.

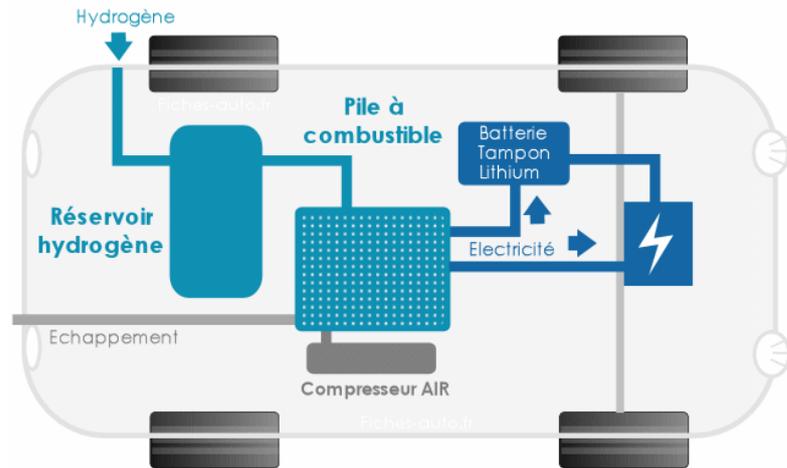
© BKF / Wikimedia, CC BY-SA

Le dihydrogène est un gaz extrêmement léger qui occupe un volume important dans des conditions de pression standard. C'est pourquoi il est stocké dans le réservoir d'un véhicule à une pression de 700 bars. À cette pression, on peut stocker 5 kg d'hydrogène dans un réservoir de 125 litres, ce qui permet à un véhicule d'avoir une autonomie comprise entre 500 et 600 kilomètres. 1 kg d'hydrogène pour 100 kilomètres, c'est actuellement la norme. Le dihydrogène étant un gaz hautement explosif et inflammable, les réservoirs de stockage sont soumis à des normes très strictes.

Le ravitaillement en hydrogène du véhicule se fait dans une station spécifique où est stocké le gaz. Un plein se fait généralement en 5 minutes dans les mêmes conditions qu'un véhicule thermique.

## Pile à combustible [PAC] catalyse

La pile à combustible, c'est le cœur du système de la voiture à hydrogène, là où est produite l'électricité. Pour générer cette électricité, la pile à combustible est alimentée en dihydrogène stocké à l'état gazeux dans le ou les réservoirs du véhicule. C'est le contact entre le dihydrogène et l'oxygène au sein de la pile à combustible qui génère l'électricité.



Pile à combustible voiture H2.

Le but est d'extraire des électrons [électricité] de l'hydrogène pour l'envoyer au moteur électrique. Le tout étant fait par une réaction électrochimique contrôlée qui permet de cloisonner les électrons d'un côté [vers le moteur] et les protons de l'autre [dans la pile à combustible]. Le tout se réunissant au final dans la cathode où la réaction se termine : le "mélange" final donne de l'eau qui est évacuée du système [échappement].

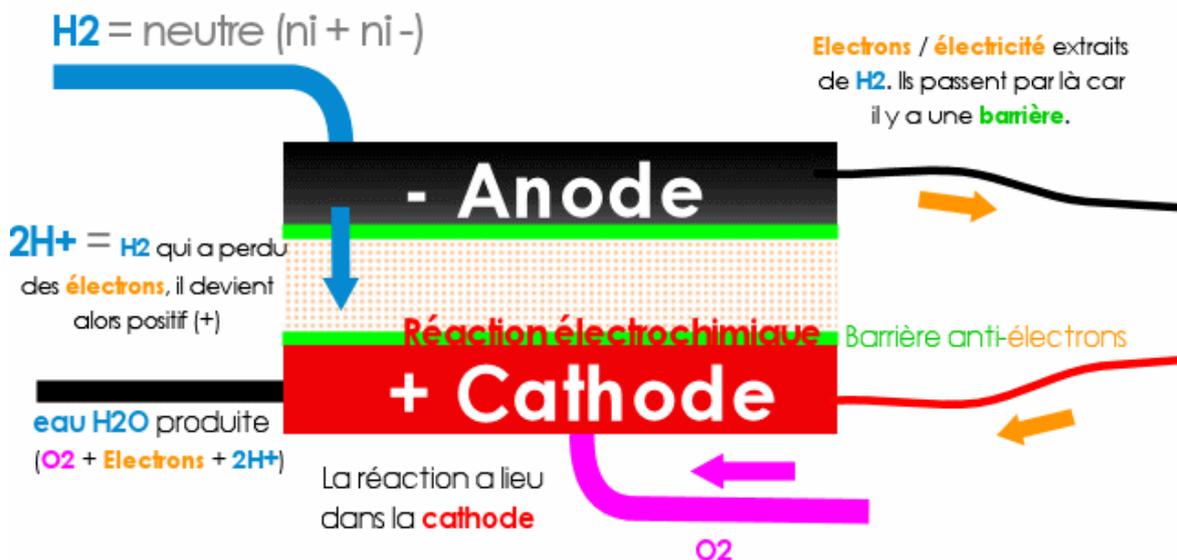


Schéma de la catalyse, qui consiste à extraire de l'électricité de l'hydrogène (l'inverse de l'électrolyse).

## Les éléments annexes

### Batterie tampon

Comme dans un véhicule thermique, la voiture à hydrogène est équipée d'une batterie rechargée par la pile à combustible ou par l'énergie cinétique lors des phases de freinage du véhicule. Cette batterie sert d'énergie d'appoint, par exemple en phase de démarrage comme dans un véhicule hybride et permet aussi généralement de faire fonctionner les équipements annexes de la voiture [phare, essuie-glace, etc...].

### Le moteur électrique

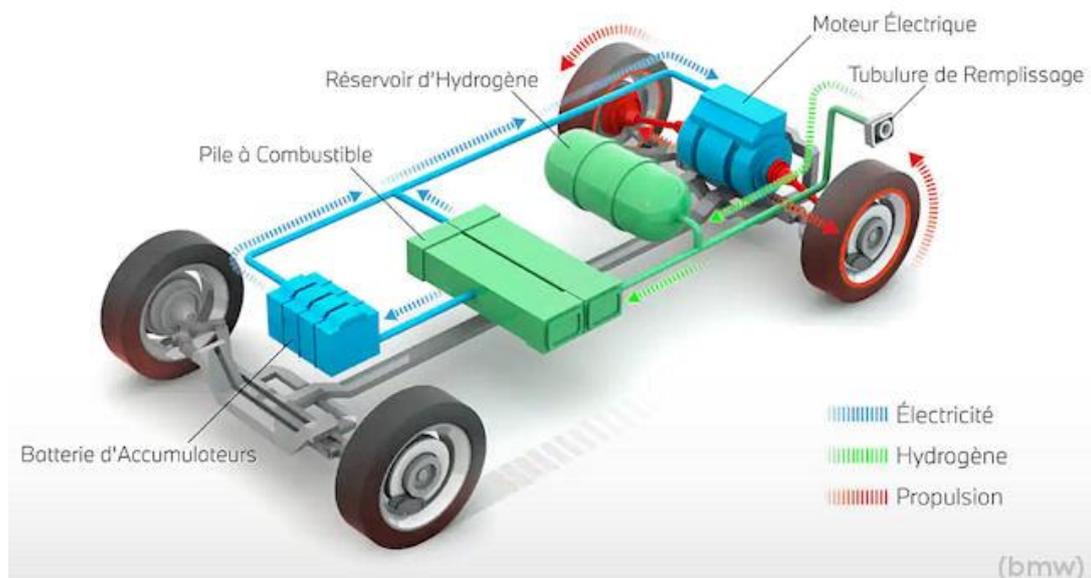
Il ne diffère pas d'un moteur électrique d'une voiture 100% batterie. La puissance moyenne actuelle d'un moteur électrique d'une voiture à hydrogène se situe aux alentours de 100 kilowatts.

### Le convertisseur

Le convertisseur contrôle la puissance à la sortie de la pile à combustible ainsi que la charge et la décharge de la batterie dans les diverses conditions de conduite. Il permet d'augmenter la tension à la sortie de la pile à combustible jusqu'à 650 volts afin de perdre le moins d'énergie possible.

### Unité de contrôle de puissance

Un système qui contrôle de manière optimale la pile à combustible dans diverses conditions d'utilisation. Il contrôle également la charge et décharge de la batterie.



## AVANTAGES

- Rejette uniquement de la vapeur d'eau, sans polluant ni gaz à effet de serre.
- À la différence des voitures électriques classiques, quelques minutes suffisent pour recharger le véhicule.
- Aucune contrainte d'usage.
- Pas de pollution sonore.

## INCONVENIENTS

- Des matériaux rares et onéreux comme le platine sont nécessaires à la fabrication de la pile à combustible.
- Coût important à la fabrication et donc à l'achat.
- Le dihydrogène est un gaz explosif et hautement inflammable.
- Il existe peu de stations hydrogène en France.
- La production d'hydrogène pose problème (notamment à partir d'énergies fossiles).
- Le transport et le stockage d'hydrogène n'est pas simple.

### Pour en savoir plus :

<https://youtu.be/UBRtY3grlM0>

[https://youtu.be/jrSz1c\\_A1No](https://youtu.be/jrSz1c_A1No)

<https://theconversation.com/comment-fonctionnent-les-voitures-a-hydrogene-145779>

