



Le plaisir
de conduire

LE PROGRAMME *BMW*¹

Sommaire

- 1- Généralités
- 2- Historique
- 3- Le prototype 745h
- 4- Le prototype 6 litres/V12
- 5- Le prototype H2R
- 6- BMW et la pile à combustible
- 7- Conclusions

1. Généralités

Contrairement à tous les autres grands constructeurs automobiles, BMW a été l'un des premiers à avoir voulu réaliser des véhicules dits « propres » en utilisant le combustible hydrogène, mais le seul à en avoir limité l'utilisation à des fonctions auxiliaires (APU²), en conservant le moteur thermique pour la propulsion. La raison majeure, maintes fois répétée, était –mis à part l'attachement des clients pour la mécanique BMW- le manque de maturité et le coût excessif de la technologie « pile à combustible », tels qu'on la percevait au siècle dernier, dans les années 70.

Par ailleurs, BMW a été, depuis l'origine, un ardent défenseur de l'utilisation d'hydrogène sous sa forme cryogénique (hydrogène liquide).

2. Historique

C'est à l'occasion des Jeux Olympiques de **1972** que BMW a présenté son premier véhicule "propre" sous forme d'une version électrique de son modèle à essence. Cette tentative fut sans lendemain.

Puis en **1979** fut présenté le premier prototype d'un véhicule à hydrogène sur la base du modèle **520**. Il était équipé d'un moteur bi-carburant de 2 litres à 4 cylindres, à allumage commandé.

En **1984**, c'est un prototype **745i Turbo** équipé d'un moteur bi-carburant essence-hydrogène de 3,5 litres à 6 cylindres qui est apparu. Ce prototype, étudié avec le « *German Aerospace Research Institute* », avait la particularité de posséder un injecteur d'eau dans la pipe d'admission pour éviter les retours de flamme.

¹ Le site internet BMW est www.bmw.com

² APU : Auxiliary Power Unit

En **1988**, BMW présente un prototype **735i**, alimenté par un réservoir d'hydrogène liquide de 45 litres en aluminium renforcé de fibre de verre. Le moteur bi-carburant de 3,5 litres comportait 6 cylindres en ligne sans toutefois le dispositif d'injection d'eau. A cette même époque, la firme développe également le premier moteur 12 cylindres alimenté en hydrogène.

Jusqu'en **1998**, plusieurs prototypes se succèdent. Les moteurs ont des cylindrées allant de 2,5 à 3,5 litres. Les réservoirs d'hydrogène, d'une contenance croissante jusqu'à 120 litres, ont une forme cylindrique, avec une super-isolation à double paroi sous vide. Ainsi les pertes sont limitées à 2% par jour. La consommation est voisine de 35 litres d'hydrogène liquide, soit 2,45 kg aux 100 km.

En **1999**, BMW fait installer la première station de remplissage d'hydrogène liquide, à l'aéroport de Munich et présente le prototype **750 hL** (voir figure 1) dont le moteur est un V-12, bi-carburant de 3,4 litres. Le réservoir d'hydrogène fait 140 litres ; il a été développé par *Linde et Messer Griesheim GmbH*. Ce réservoir est étanche mais son isolation thermique ne pouvant être parfaite, une évaporation permanente se produit et la pression interne augmente régulièrement. Ainsi, au bout d'une journée environ, la pression interne atteint 5 bars et une fuite contrôlée d'hydrogène se déclenche alors pour faire retomber la pression interne.

Dix-huit véhicules de ce type, hybrides essence - hydrogène, ont été construits : 3 ont été détruits dans des crash-tests et trois ont été équipés, en APU pour les auxiliaires, d'une pile à combustible de 5 kW, de type PEMFC,. Ces quinze véhicules ont participé à diverses manifestations dont la plus spectaculaire fut le « *BMW Clean Energy World Tour* » qui a conduit ces véhicules sur les cinq continents en 2001. La puissance du moteur en hydrogène était limitée à environ 80% de la puissance en essence pour ne pas dépasser les normes d'émission de NO_x. Le passage de l'hydrogène à l'essence se faisait automatiquement dès que le réservoir d'hydrogène était vide.



Figure 1 - Le prototype 750 hL (1999)



Figure 2 - Le réservoir d'hydrogène liquide occupait une partie du coffre

En **2001**, a été présentée, à Francfort, une MINI Cooper alimentée en hydrogène liquide (voir figure 3).



Figure 3 - Le prototype MINI Cooper (2001)

3. Le prototype 745h

Ce modèle (voir figures 4 et 5) a été présenté en 2001. Le moteur bi-carburant V8 fournissait 135 kW (180 CV) et propulsait le véhicule jusqu'à 215 km/h. Lorsque qu'il roulait à l'hydrogène, l'autonomie était de 300 km (120 litres/8 kg), à laquelle s'ajoutaient 650 km en alimentation essence.

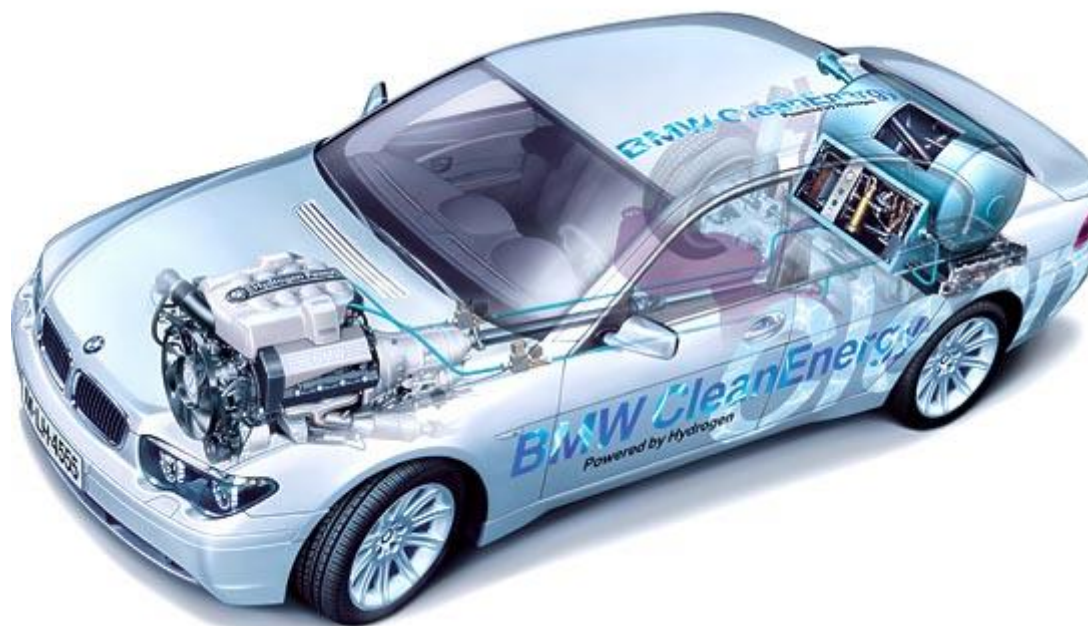


Figure 4 - Le prototype 745h (2001)

Il pouvait être équipé d'une pile SOFC de 5kW en APU. Le remplissage en hydrogène se faisait au moyen d'un embout spécial (voir figure 6) et la consommation des deux carburants était suivie au tableau de bord (voir figure 7).



Figure 5 - Le prototype 745h à Montréal (WHEC 2002)



Figure 6 - Les embouts de remplissage en hydrogène et en essence

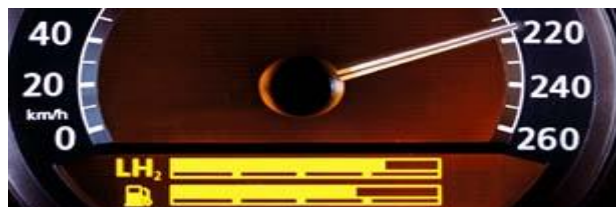


Figure 7 - Les jauges essence et hydrogène

4. Le prototype 6 litres/V12

En septembre 2003, BMW a équipé un véhicule du même type que le précédent d'un moteur 6 litres, 12 cylindres, alimenté à partir d'un réservoir d'hydrogène liquide de 140 litres ; il développait une puissance de 170 kW (230 CV).

En septembre 2006, BMW décide d'en lancer une production limitée de 100 ex. qui seront mis en test dans divers pays. Il est baptisé « **BMW Hydrogen 7** » (considéré comme 6^{ième} génération par BMW). Son moteur délivrait une puissance de 260 CV. Son autonomie totale était de 400 miles (650 km) avec un réservoir de 74 l d'essence + 8 kg d'hydrogène liquide. L'autonomie en hydrogène était de 200 km. Le réservoir d'hydrogène (en inox) pesait 129 kg. Sa technologie d'isolation thermique lui permettait d'atteindre une durée de stockage de 17 heures avant que la soupape de surpression ne s'ouvre pour une pression interne de 5,1 bars. Le temps de remplissage était de 8mn.

En septembre 2007, L'Elysée recevait la visite du Président de la Bavière qui s'est déplacé avec deux de ces voitures (cf. Fig. 8).



Figure 8 - Deux prototypes BMW à l'Elysée (2007)

En 2008, BMW présente, à la conférence annuelle de la NHA, une version « tout hydrogène ».

En mars 2009, BMW annonce que dans le cadre du projet européen **HyICE**, une collaboration avec des chercheurs des universités de Graz et de Vienne en Autriche, a abouti au développement d'un nouveau moteur à hydrogène. Il s'agissait d'un moteur diesel, à injection directe d'hydrogène à haute pression (jusqu'à 300 bars), baptisé **H2BV Plus**, dont le rendement atteignait 42%, équivalent aux meilleurs turbo diesel.

Fin 2009, BMW abandonne le développement de la série 7 tout en poursuivant des développements sur le mode « CryoCompress » de stockage de l'hydrogène : c'est-à-dire un réservoir d'hydrogène liquide à structure composite résistant à une pression de 350 bars. Cette technologie pouvait permettre d'augmenter de 15 à 25% les performances des réservoirs cryogéniques.

Cet abandon paraissait être le signe que BMW ne croyait plus vraiment dans l'avenir du moteur thermique alimenté en hydrogène, sentiment confirmé par le fait qu'à la même époque BMW a quitté le groupement d'industriels appuyant les développements du JTI européen.

5. Le prototype H2R

Ce prototype (voir figure 9) destiné à battre des records de vitesse, a été présenté en septembre 2004. Il a effectivement battu plusieurs records du monde, départ arrêté, pour ce type de véhicule, en dépassant la vitesse de 300 km/h. Son moteur de 6 litres de cylindrée, à 12 cylindres développait une puissance de 210 kW (285 CV) et était alimenté en hydrogène à partir d'un réservoir d'hydrogène liquide.

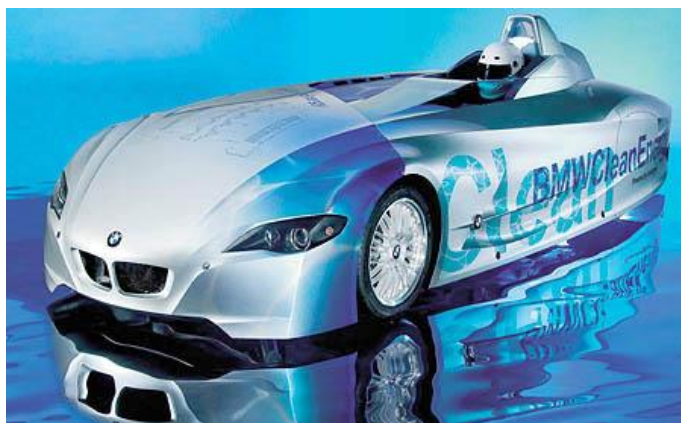


Figure 9 - Le prototype H2R (2004)

6. BMW et la pile à combustible

6.1 – L'APU à pile à combustible

L'intérêt de BMW pour la pile à combustible a débuté vers la fin des années 90. Afin de satisfaire les besoins de bord en énergie électrique sans devoir transporter des batteries d'un poids excessif, BMW avait choisi d'équiper quelques prototypes à hydrogène d'une APU à pile à combustible (APU : Auxiliary Power Unit). La puissance retenue était de 5 kW, sous 42 V.

Deux technologies ont été étudiées par BMW: la PEMFC et la SOFC (voir les fiches 5.2.2 et 5.2.6).

La première (PEMFC de *UTC Fuel Cells*) a équipé trois prototypes 750 hL. La figure 10 la montre, mise en place sur le côté arrière droit du coffre. La pile était alimentée en hydrogène prélevé dans le réservoir principal d'hydrogène liquide.

La deuxième (SOFC) a d'abord été conçue pour le prototype 745h. Elle a été développée (figure 11) en collaboration avec l'équipementier américain *Delphi* qui avait débuté ses activités sur le sujet avec le fabricant de piles *Global Thermoelectric* et les a poursuivies, depuis l'année 2000, avec le *PNNL/Battelle*. La pile était alimentée en combustible diesel et pouvait –dans une version 10 kW– être utilisée comme « Range Extender » d'un véhicule électrique à batteries. En 2005, Delphi a publié un rapport qui en détaillait les caractéristiques.

En avril 2000, le constructeur Renault a signé un MOU (*Memorandum Of Understanding*, accord préliminaire) avec *BMW* et *Delphi* pour développer en commun ce type d'APU. Ce projet a finalement été abandonné chez Renault.



Figure 10 - La pile PEMFC utilisée en APU dans le prototype 750 (HyForum 2000)

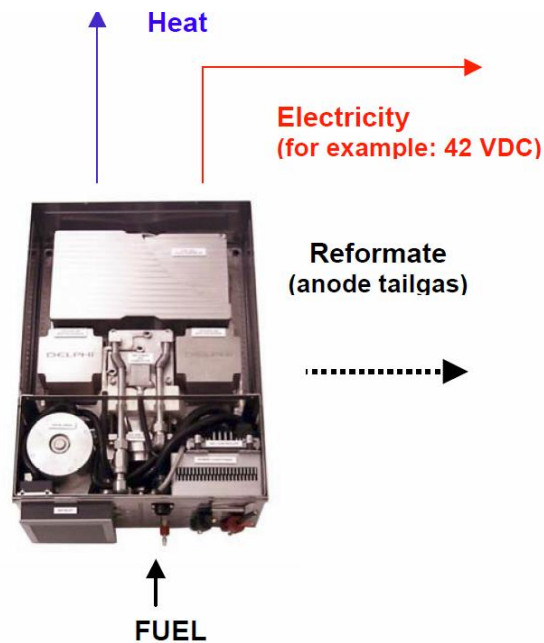


Figure 11 - L'APU Delphi en technologie SOFC (2005)

6.2 – La pile à combustible en générateur principal

Finalement conscient que le moteur thermique à hydrogène n'était pas une solution d'avenir tout en acceptant l'idée que l'hydrogène avait un avenir en tant que vecteur d'énergie, BMW a décidé, en janvier 2013, de collaborer avec **Toyota Motor Corporation** (TMC) pour développer un système complet à pile à combustible qui inclut le stockage, le moteur, la batterie d'appoint et les normes et réglementations correspondants. L'objectif affiché était de réaliser un premier prototype en 2015 et d'aboutir commercialement en 2020.

- En août 2014, le patron de BMW, Dr. Nobeit Reithofer, laisse entrevoir une intégration possible, en 2016, d'une pile à combustible dans la véhicule électrique **i3** (cf. Fig. 12) et confirme que la pile à combustible est la solution d'avenir. Cet engagement s'était manifesté dès avril 2014, quand BMW a intégré le projet européen **HyFive** (*Hydrogen For Innovative VEhicles*).



Figure 12 - Le véhicule électrique BMW i3

- En juillet 2015, BMW annonce qu'il démarre les tests d'un véhicule à pile à combustible (cf. Fig. 13) conçu sur la base d'un modèle de la série 5. Il précise que la pile est le fruit de sa collaboration avec Toyota. Il regrette dans le même temps l'insuffisance d'un réseau de distribution d'hydrogène et plaide alors, avec Toyota, Nissan et Honda, pour un investissement en Allemagne, dans ce domaine. L'autonomie de ce prototype est de 500 km. BMW annonce, via son blog, une production vraisemblable peu après 2020.



Figure 13 - Le premier prototype BMW à pile à combustible (2015)

- En juillet 2015, Le centre de recherche BMW à Miramas (France) dévoile le prototype i8 (Figure 14) équipé d'une pile Toyota.



Figure 14 - Le prototype i8 (2015)

- En juin 2018, BMW fait savoir qu'il poursuit ses travaux sur le véhicule à pile à combustible via sa collaboration avec Toyota et envisage la commercialisation d'un véhicule vers le milieu des années vingt.
- En septembre 2019, à l'occasion du Francfort Auto Show, BMW présente la **BMW X5 i Hydrogen Next** (cf. Fig. 15), dont la sortie est prévue en 2022 pour un nombre limité de clients ; une sortie généralisée est envisagée en 2025. Il est issu d'une collaboration avec Toyota pour les cellules EME.
- En avril 2020, BMW précise que le système hybride de propulsion développera une puissance de 374 ch, dont 170 ch pour la seule pile à combustible. Deux réservoirs d'hydrogène à 700 bars contiendront jusqu'à 6kg d'hydrogène.



Figure 15 - Le prototype BMW X5 i Hydrogen Next (2019)

- En mai 2021, BMW annonce la sortie et les premiers tests routiers du **concept car X5**, annoncé en 2019. Il fera ses débuts en septembre 2021 à l'occasion du Salon automobile de Munich. Les stacks seront issus de l'*AUTO-Stack Industry* qui a été créée par le *Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure*.

7. Conclusions

Après plus de trente années de développements, techniquement (mais pas économiquement) réussis sur le moteur thermique alimenté en hydrogène, BMW a finalement tourné cette page en 2013, comme l'ont fait d'autres acteurs, comme Ford et Mazda, pour aller vers la solution « pile à combustible ». Pour cela, BMW s'est associé à Toyota, l'un des trois maîtres mondiaux dans ce domaine. Il envisage une activité commerciale vers 2025.