

**Rapport de veille technologique - Technifutur Campus Francorchamps - Projet PAE**

Date de création : 10/06/2020

Rédacteur : Marc NELIS

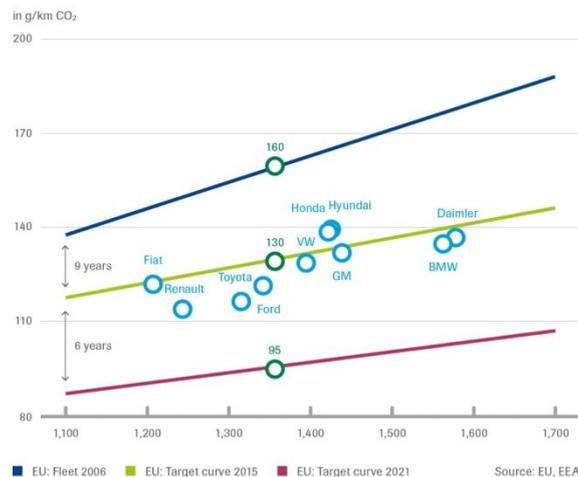
**Technologie concernée**

Domaine concerné : sécurité des véhicules utilisant une pile à hydrogène

Lien avec secteur automobile : motorisation propre, zéro émission

**Contexte**

Le marché automobile est fortement influencé par les normes environnementales qui conduisent les constructeurs à développer des solutions alternatives aux motorisations EURO 6 à l'essence et au diesel. En ce qui concerne les polluants classiques HC, CO, NOx et FP, les systèmes de post traitements sont de plus en plus coûteux. Il est d'usage de dire que l'échappement coûte le prix du moteur et le système AdBlue celui de la boîte de vitesses. Cette tendance sera encore plus marquée lors de l'introduction des futures normes EURO 7 et suivantes. En ce qui concerne le CO2, gaz à effet de serre, la situation est encore plus complexe. La diminution des émissions est forcée par une double pénalité liée à un malus pour le consommateur et à une pénalité pour le constructeur dont la marque dépasse en moyenne une valeur fixée. L'évolution de cette limite est représentée ci-dessous [1] en fonction du poids des véhicules.



Objectifs CO2 en Europe [1]

On voit donc apparaître un changement dans la gamme des constructeurs avec la modification des hauts de gamme en hybrides rechargeables et l'introduction de véhicules zéro émission. Parmi ces derniers citons les véhicules à batteries Li-ion et les véhicules à hydrogène (H2). La sécurité étant un argument souvent avancé par les détracteurs des véhicules H2, voyons ici les éléments qui permettent de limiter les risques.

**Description**

Il est admis par les gaziers [2] que pour limiter les risques il faut réunir les aspects suivants :

1. Connaissance du fluide manipulé, les particularités
2. Application des règles générales et des normes
3. Dispositifs de sécurité
4. Procédures à appliquer

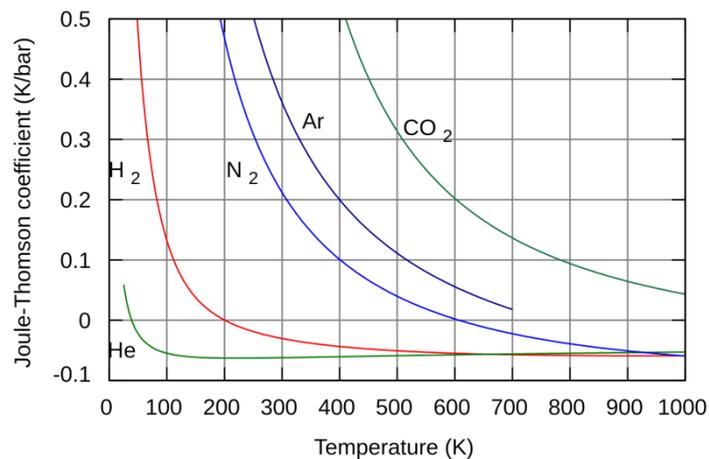
Passons-les en revue :

1. Lorsqu'on analyse les propriétés de l'hydrogène reprises dans le tableau ci-dessous [3] et comparées aux carburants classiques, on retient principalement une faible densité qui sera compensée par un stockage sous haute pression, une énergie interne importante et une faible énergie d'activation. Ce dernier point rend l'hydrogène quasiment inutilisable dans un moteur à combustion vu le risque élevé de « backfire » ou retour de flamme à l'admission.

Propriétés	Hydrogène H <sub>2</sub>	Méthane CH <sub>4</sub>	Essence
Point normal d'ébullition <sup>1</sup> PNE (°C)	-253	-162	37 – 205
État physique à 25 °C, sous 1 atm	Gazeux	Gazeux	Liquide
Pouvoir calorifique <sup>2</sup>			
PCI (kJ g <sup>-1</sup> )	120	50	44,5
PCS (kJ g <sup>-1</sup> )	142	55,5	48
Limite d'inflammabilité (%vol dans l'air)	4,0 – 75	5,3 – 15	1,0 – 7,6
Masse moléculaire (g mol <sup>-1</sup> )	2,02	16,0	~107
Température de la flamme dans l'air <sup>3</sup> (°C)	2 045	1 875	2 200
Énergie minimale d'ignition <sup>4</sup> (mJ)	0,02	0,29	0,24
Distance de coincement (mm)	0,64	2,0	2,0
Densité au PNE (g L <sup>-1</sup> )	70,8	423	~700

Principales propriétés de l'hydrogène [3]

Un autre point très important est le coefficient de Joule-Thomson négatif de l'hydrogène [4], ce qui signifie qu'au-dessus de 200K le fluide va se réchauffer lorsqu'on le détend, en faisant le plein à la station-service. Cette propriété est atypique pour les gaz, comme le montre le diagramme ci-après.



Coefficient de Joule-Thomson négatif pour l'hydrogène [4]

2. Les règles générales de manipulation de l'hydrogène peuvent être rappelées de façon non exhaustive ci-après [3]:

- Eviter les sources d'allumage à proximité de l'H<sub>2</sub> rejeté >15m (NFPA 55)

- Assurer une ventilation passive ou active transversale du local (NFPA 52)
- Ne pas laisser ensemble H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> (électrolyse)
- Conduites conçues en accord avec les codes (ASME B31.1 et B31.3)
- Indications sur les conduites: contenu, sens du débit, pression
- Faire attention aux soudures (ASME B16.9,11,18,22,50)
- Eviter les matériaux fragilisés par l'H<sub>2</sub>: fonte, nickel, alliages de nickel
- Préférer aciers austénitiques inoxydables, alliages d'aluminium, cuivre et alliages de cuivre
- Bouteilles stockées à l'extérieur et à distance de sécurité
- Précautions particulières pour l'hydrogène liquide (basses températures)
- Formation du personnel
- Connaissance et respect des procédures (évacuation,...)

3. Les dispositifs de sécurité sont nombreux, on les rencontre à chaque étape de l'utilisation de l'hydrogène, ils sont également intégrés sur chaque composant.

La station-service est composée d'un stockage, compresseur, réservoir tampon, échangeur et groupe froid pour terminer la ligne par un dispensaire capable de dialoguer par infrarouge avec le véhicule [5][6]. Il y a donc deux sécurités importantes dans ce cas, le refroidissement de l'hydrogène avant la détente et la mesure de la température de l'hydrogène détendu dans le réservoir du véhicule. Si nécessaire, au-delà de 85°C, le remplissage du réservoir du véhicule sera interrompu automatiquement.

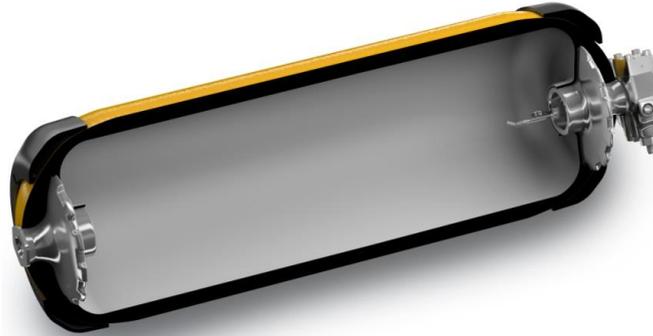


Schéma de principe d'une station hydrogène [5][6]

Le réservoir du véhicule [7][8][9][10] est le deuxième élément le plus sécurisé après la station-service, citons les dispositifs spécifiques inclus dans la multi-vanne:

- Une électrovanne contrôlée par l'unité de commande. Cette vanne est normalement fermée, elle est maintenue ouverte pour permettre le fonctionnement du véhicule et lors du remplissage du réservoir.
- Une vanne manuelle permet au travailleur d'isoler le contenu du réservoir avant une intervention sur le circuit haute pression du véhicule.
- Une vanne gicleur située à l'intérieur du réservoir permet d'obturer la sortie du réservoir en cas de conduite arrachée.
- Un fusible thermique doit fondre aux alentours de 110°C et permettre la libération du contenu du réservoir sous forme de flamme lors de l'incendie du véhicule [11].

- Une sonde de température interne permet de surveiller l'opération de remplissage.
- Une vanne de vidange est également prévue pour le cas où le véhicule serait accidenté et que tous les systèmes de contrôle sont devenus inopérants. Ce dispositif mécanique à casser permet alors de vidanger le réservoir.



Réservoir d'hydrogène de la Toyota MIRAI, vanne spéciale [12]

Comme le réservoir du véhicule est équipé d'une électrovanne, celle-ci sera pilotée par une ECU qui recevra des signaux de capteurs de fuites placés judicieusement dans le véhicule, près des réservoirs et sous le capot. De plus l'hydrogène ne peut pas atteindre l'habitacle puisque tous les composants sont à l'extérieur.

4. La procédure de maintenance d'un véhicule doit tenir compte des aspects liés à la sécurité, c'est ainsi que l'on peut résumer les conseils trouvés chez les constructeurs [13].

- Assurer une ventilation du local suffisante
- Éliminer l'électricité statique et porter des EPI
- Assurer la sécurité lors du travail sur la haute tension (HEV2)
- Assurer l'étanchéité du réservoir d'hydrogène (vanne manuelle)
- Maintenance, réparation ou travaux de carrosserie
- Vérifier les fuites après travail sur les composants hydrogène

#### Sources d'information

- [1] <https://www.eea.europa.eu/>
- [2] [https://www.youtube.com/watch?v=HzQ\\_dtWa6tQ](https://www.youtube.com/watch?v=HzQ_dtWa6tQ)
- [3] <https://knowhy.eu/>
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Joule%E2%80%93Thomson\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Joule%E2%80%93Thomson_effect)
- [5] <https://h2me.eu/about/how-an-hrs-works/>
- [6] <https://www.airliquide.com/fr/science-nouvelles-energies/energie-hydrogene>
- [7] <https://www.ullit.com/index.php/applications/hydrogene>
- [8] <https://www.mahytec.com/fr/produits/stockage-hydrogene-comprime/>
- [9] <https://www.faurecia.com/index.php/newsroom/mobilite-durable>
- [10] <https://www.plasticomnium.com/fr/innovation/clean-energy-systems-innovation.html>
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=QNqtGkVm8w8>
- [12] Toyota Mirai FCV\_Posters\_LR\_tcm-11-564265 (found by google)
- [13] Safety guidance booklet of the Mirai (source TME)