



Programme européen de formation des formateurs pour les intervenants

## Cours 3

### Stockage de l'hydrogène

#### NIVEAU I

#### Pompier

Les informations contenues dans ce cours sont destinées au niveau **pompier** et plus.

Ce sujet est également disponible aux niveaux I-III.

Ce cours fait partie d'un ensemble de supports de formation comprenant des supports de niveaux I à IV : pompier, commandant d'équipe, commandant d'incidents et officier spécialisé. Veuillez consulter l'introduction du cours concernant les compétences et les attentes en matière d'apprentissage.

Note : ces documents sont la propriété du Consortium HyResponder et doivent être mentionnés en conséquence. Les résultats de HyResponse ont été utilisés comme base.



### Clause de non-responsabilité

Malgré le soin apporté à la préparation de ce document, la clause de non-responsabilité suivante s'applique : les informations contenues dans ce document sont fournies telles quelles et aucune garantie n'est donnée quant à leur adéquation à un usage particulier. L'utilisateur utilise ces informations à ses seuls risques et périls.

Le document ne reflète que le point de vue de ses auteurs. La FCH JU et l'Union européenne ne sont pas responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'il contient.

### Remerciements

Le projet a reçu un financement de Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) dans le cadre de la convention de subvention n° 875089. Le JU bénéficie du soutien du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne et des pays suivants : Royaume-Uni, France, Autriche, Belgique, Espagne, Allemagne, Italie, République tchèque, Suisse, Norvège.

## Résumé

Cette conférence présente les différentes options de stockage de l'hydrogène - comprimé, liquéfié et dans des matériaux solides, ainsi que les dangers et les problèmes de sécurité qui y sont associés. En particulier, la rupture catastrophique des vaisseaux est présentée ainsi que les outils en ligne qui peuvent être utilisés.

Ce cours a été développé sur la base des cours originaux issus du projet européen HyResponse (<http://www.hyresponse.eu>).

## Mots clés

Stockage de l'hydrogène, hydrogène comprimé, réservoir de stockage, hydrogène liquéfié, matériaux de stockage de l'hydrogène, prévention des éclatements, fuite sans éclatement.

## Table des matières

Résumé.....	3
Mots clés.....	3
1. Public cible.....	5
1.1 Description du rôle : Pompier .....	5
1.2 Niveau de compétence : Pompier.....	5
1.3 Apprentissage préalable : Pompier.....	5
2. Introduction et objectifs .....	5
3. Options de stockage de l'hydrogène.....	6
4. Stockage de l'hydrogène gazeux.....	9
4.1 Types de réservoirs de stockage cGH <sub>2</sub> .....	9
4.2 Stockage de l'hydrogène à bord.....	10
4.3 Dispositifs de décompression.....	11
5. Conséquences d'une défaillance catastrophique du stockage d'hydrogène à haute pression (ondes de choc, boules de feu, projectiles).....	11
5.1 Dangers potentiels et problèmes de sécurité liés au cGH <sub>2</sub> : résumé .....	11
6. Technologie de sécurité « Fuite sans éclatement ».....	12
6.1 Nouvelle tendance 2020 .....	13
7. Utilisation du e-Laboratory.....	15
Références.....	15

## 1. Public cible

Les informations contenues dans ce cours sont destinées au NIVEAU 1 : Pompier. Des cours sont également disponibles aux niveaux II, III et IV : commandant d'équipage, commandant d'intervention et officier spécialiste.

La description du rôle, le niveau de compétence et les attentes en matière d'apprentissage supposés au niveau du commandant d'équipage sont décrits ci-dessous.

### 1.1 Description du rôle : Pompier

Un pompier est responsable et doit être capable d'effectuer des opérations en toute sécurité avec un équipement de protection individuelle, y compris un appareil respiratoire, en utilisant l'équipement fourni, comme des véhicules, des échelles, des tuyaux, des extincteurs, des outils de communication et de sauvetage, dans toutes les conditions climatiques dans des zones et dans des situations d'urgence dont on peut raisonnablement prévoir qu'elles nécessitent une intervention.

### 1.2 Niveau de compétence : Pompier

Formés à l'utilisation sûre et correcte des EPI, des Appareils Respiratoires et des autres équipements qu'ils sont censés utiliser, les premiers intervenants doivent être soutenus par des connaissances et des pratiques appropriées. Les comportements qui assureront leur sécurité et celle des autres collègues doivent être décrits par des Procédures Opérationnelles Normalisées (PON). La capacité pratique d'évaluer de manière dynamique les risques pour sa propre sécurité et celle des autres est requise.

### 1.3 Apprentissage préalable : Pompier

CEC<sup>1</sup> de niveau 2 : Connaissance factuelle de base d'un domaine de travail ou d'étude. Compétences cognitives et pratiques de base requises pour utiliser les informations pertinentes afin d'effectuer des tâches et de résoudre des problèmes courants en utilisant des règles et des outils simples : travailler ou étudier sous supervision avec une certaine autonomie.

## 2. Introduction et objectifs

L'hydrogène est généralement stocké et transporté sous deux formes : sous forme d'hydrogène gazeux comprimé ou de liquide cryogénique. La façon la plus courante de stocker l'hydrogène est dans des cylindres/réservoirs métalliques ou composites de différentes tailles et capacités. Ils peuvent parfois être reliés en un faisceau ou rassemblés sur un panier pour le transport. En raison de la petite taille de ses molécules, l'hydrogène a tendance à fuir facilement à travers certains matériaux, à travers des fissures ou de mauvais joints des réservoirs de stockage, contrairement à d'autres gaz courants à des pressions équivalentes. Bien que l'hydrogène soit généralement non corrosif et ne réagisse pas avec les matériaux utilisés pour les réservoirs de stockage, dans certaines conditions de température et de pression, il peut se diffuser dans un réseau métallique, provoquant un phénomène connu sous le nom de «*fragilisation de*

---

<sup>1</sup> Cadre Européen des Certifications (CEC), ou European Qualifications Framework (EQF)

## Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

*l'hydrogène* ». En outre, en cas d'incendie, les matériaux composites utilisés pour les réservoirs de stockage peuvent se dégrader et une perte de confinement de l'hydrogène peut se produire. Dans le pire des cas, cela peut conduire à une rupture catastrophique d'un réservoir de stockage d'hydrogène, générant une onde de choc suivie d'une boule de feu et de projectiles/missiles volants. C'est pourquoi les équipements de stockage d'hydrogène doivent être conçus et entretenus selon des normes de sécurité élevées afin de garantir l'intégrité du réservoir.

Le présent cours donne un aperçu des options de stockage de l'hydrogène et aborde également les principaux problèmes techniques et de sécurité qui y sont associés. Il aborde également les thèmes de l'interaction de l'hydrogène avec différents types de matériaux et de la perméation de l'hydrogène, qui sont extrêmement pertinents pour les technologies de stockage de l'hydrogène. Il convient de mentionner que le sujet du stockage de l'hydrogène est vaste ; ainsi, ce cours est principalement axé sur les systèmes de stockage de l'hydrogène à haute pression, liquéfié et solide, avec une attention particulière à la technologie de stockage à haute pression, car elle est la plus courante. Les phénomènes tels que les rejets non allumés, les incendies et les explosions seront abordés dans les cours suivants.

### 3. Options de stockage de l'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène est une technologie indispensable pour toute la gamme des applications des piles à combustible et de l'hydrogène (PCH), depuis les véhicules embarqués jusqu'à la production d'énergie stationnaire et portable [1]. Il n'existe pas de solution universelle pour le stockage de l'hydrogène. Au contraire, la solution doit être soigneusement sélectionnée pour répondre aux exigences spécifiques du système. Par exemple, l'espace et le poids sont des facteurs critiques pour les véhicules de tourisme à pile à combustible, tandis que le poids peut être un attribut souhaitable pour les chariots élévateurs à pile à combustible ou les applications marines. Pour les applications spatiales, la NASA utilise l'hydrogène liquide depuis des années [2].

L'hydrogène est le gaz le plus léger avec une faible densité normale de 0,09 g/L (à 288 K et 1 bar). Comme le montre le Tableau 1, il a un contenu énergétique très élevé par masse de tout carburant (environ trois fois plus que l'essence). Cependant, en raison de sa faible densité, l'hydrogène a un contenu énergétique très faible par unité de volume (environ quatre fois moins que l'essence). Par conséquent, le stockage de l'hydrogène, en particulier dans les limites de taille et de poids d'un véhicule, représente un défi [3]. Des recherches sont en cours pour développer une technologie de stockage de l'hydrogène sûre, fiable, compacte, légère et rentable.

*Les capacités volumétriques et gravimétriques* (densités) sont deux termes souvent utilisés pour décrire les méthodes de stockage des gaz. Dans le cas de l'hydrogène, les activités de recherche sont orientées vers l'augmentation des deux capacités, c'est-à-dire que des capacités

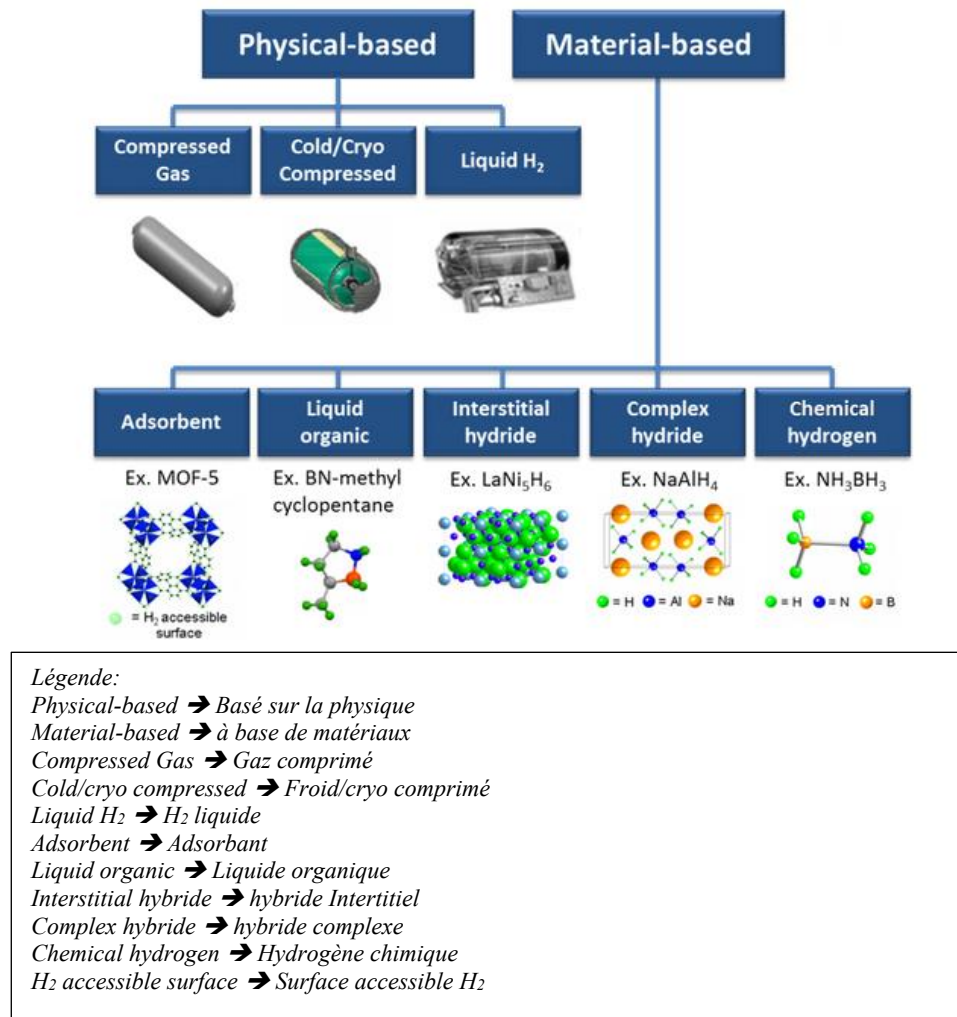
### Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

volumétriques et gravimétriques plus élevées<sup>2</sup> sont souhaitables. Comme le montre le Tableau 1, il y a plus d'énergie dans 1 kg d'hydrogène que dans 1 kg d'essence. Cependant, il est également évident que la même masse d'hydrogène occupe un plus grand volume. L'hydrogène n'est pas liquide à température ambiante et, par conséquent, pour stocker les quantités suffisantes pour une certaine autonomie sur un véhicule (plus de 500 km), il est nécessaire soit de le comprimer à des pressions très élevées (par exemple à 700 bars pour les applications automobiles), soit de le refroidir considérablement pour obtenir une forme liquide. Ces pression et température extrêmes posent des problèmes de sécurité pour les matériaux utilisés et en cas de perte de confinement.

Tableau 1 Contenu énergétique en poids et en volume de l'hydrogène et d'autres combustibles courants [4]

	Hydrogène	Gaz naturel	Essence
<b>Contenu énergétique</b> par unité de masse	<b>2,8 fois</b> plus que de l'essence	<b>~1,2 fois</b> plus que de l'essence	<b>43 MJ/kg</b>
<b>Contenu énergétique</b> par unité de volume	<b>4 fois</b> moins que l'essence	<b>1,5 fois</b> moins que l'essence	<b>120 MJ/Gallon</b>

<sup>2</sup> La capacité gravimétrique détermine le poids d'un réservoir de stockage nécessaire pour stocker une quantité donnée de H<sub>2</sub>



Source: US Department of Energy (DoE): <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Figure 1 Aperçu des technologies de stockage de l'hydrogène

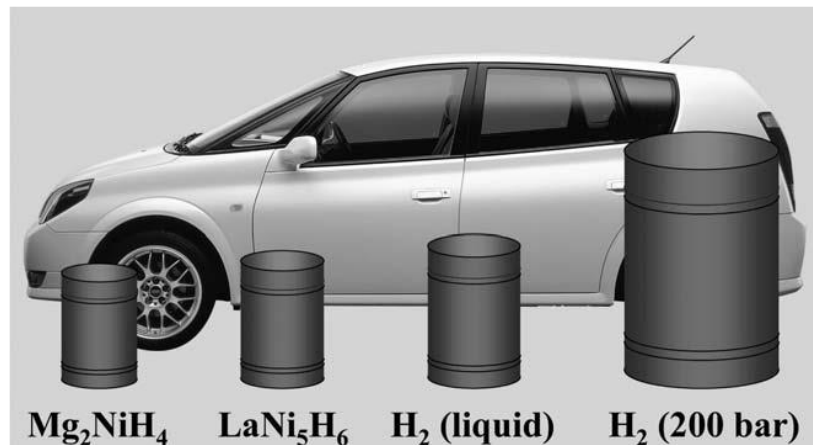
L'hydrogène peut être stocké *physiquement* sous forme de gaz comprimé (cGH<sub>2</sub>) ou de liquide cryogénique (LH<sub>2</sub>). Les systèmes de stockage de l'hydrogène gazeux nécessitent généralement des récipients de gaz comprimé, c'est-à-dire des réservoirs (pouvant supporter une pression allant jusqu'à 700 bars). Le stockage de l'hydrogène sous forme liquide nécessite des températures extrêmement basses car son point d'ébullition à 1 atm de pression est de - 253 °C. Le stockage LH<sub>2</sub> est couramment utilisé pour le stockage et le transport de l'hydrogène en vrac (veuillez-vous reporter au cours "Introduction aux applications PCH et à la sécurité de l'hydrogène"). L'hydrogène peut également être stocké dans des *matériaux* : à la surface des solides (par adsorption) ou à l'intérieur des solides (par absorption) [1]. La Figure 1 donne un aperçu des possibilités de stockage de l'hydrogène.

La Figure 2 des références [5][6] illustre les densités volumétriques atteintes ou attendues pour les différentes options de stockage dans les applications embarquées des véhicules. Le DOE américain a fixé des objectifs dans son programme de recherche [7] pour chacun des



## Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

paramètres, de sorte que la recherche peut être interrompue s'il apparaît que l'un des objectifs ne peut être atteint.



Source: Risø Energy Report 3, 2004.

Figure 2 Le volume occupé par 4 kg d'hydrogène stocké de différentes manières, par rapport à la taille d'une voiture.

## 4. Stockage de l'hydrogène gazeux

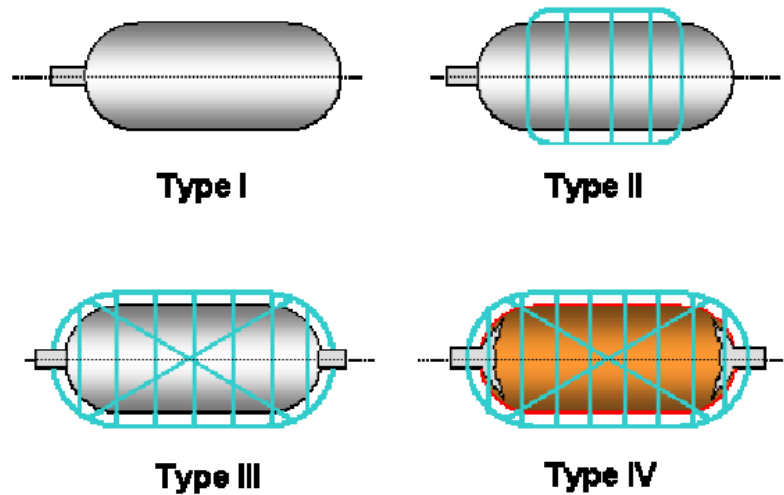
Actuellement, la façon la plus courante de stocker l'hydrogène est sous forme de gaz comprimé à différentes pressions dans des cylindres métalliques et composites. Comme il a été montré dans les cours précédents, de nombreuses applications à pile à combustible utilisent l'hydrogène à des pressions élevées.

### 4.1 Types de réservoirs de stockage $cGH_2$

En raison d'un certain nombre de propriétés uniques de l'hydrogène (voir le cours « Propriétés de l'hydrogène pertinentes pour la sécurité »), l'hydrogène doit être compatible avec les matériaux dont sont constituées les parois des réservoirs de stockage. Quatre types de réservoirs ont été développés et utilisés pour le transport et le stockage de l'hydrogène :

- Type I : fabriqué en métal conteneur métallique sans soudure
- Type II : conteneur métallique sans soudure entouré d'un composite fibre-résine.
- Type III : revêtements métalliques entièrement recouverts d'un composite fibre-résine.
- Type IV : revêtement en polymère entièrement enveloppé d'un composite de résine et de fibres.

En 2014, le premier prototype de cuve de type V a été réalisé. Il s'agit d'un réservoir entièrement composite sans liner [8]. Les représentations schématiques des types de réservoirs utilisées pour le  $cGH_2$  sont présentées dans la Figure 3.



Source: Barthelemy, 2009 [10].

Figure 3 Types de réservoirs d'hydrogène utilisés pour le stockage de l'hydrogène gazeux comprimé

Les exemples de réservoirs de stockage que l'on peut trouver dans les applications stationnaires comprennent : un faisceau ou un panier de bouteilles, des faisceaux de tubes fixes ou une remorque à tubes utilisée pour livrer l'hydrogène aux stations de ravitaillement (Figure 4).



(a)



(b)

Source: Air Liquide Image Bank

Figure 4 Exemples de réservoirs de stockage d'hydrogène courants pour les applications stationnaires : (a) un faisceau fixe de cylindres, (b) un panier de cylindres.

## 4.2 Stockage de l'hydrogène à bord

Comme indiqué précédemment, les réservoirs les plus appropriés pour le stockage de l'hydrogène à bord des véhicules sont ceux de type III et de type IV. Ces technologies sont également largement utilisées pour le stockage d'autres gaz (par exemple, le gaz naturel ou l'air), mais la principale différence réside dans la nécessité de pressions beaucoup plus élevées pour le stockage de l'hydrogène à bord : 35 à 70 MPa pour l'hydrogène contre 20 MPa pour le

## Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

gaz naturel. Les systèmes de stockage d'hydrogène installés à bord doivent remplir les fonctions suivantes :

- Recevoir de l'hydrogène lors du (re)remplissage ;
- Contenir l'hydrogène jusqu'à ce qu'il soit nécessaire ;
- Libérer de l'hydrogène au système à pile à combustible pour alimenter le véhicule.

Aujourd'hui, les véhicules légers à pile à combustible destinés au transport de passagers stockent généralement jusqu'à 6 kg d'hydrogène à bord, ce qui leur confère une autonomie de 400 à 500 km [4]. Comme les autobus au GNC, les autobus à hydrogène stockent l'hydrogène sur le toit dans plusieurs réservoirs. La pile à combustible est généralement située dans le compartiment moteur arrière du bus. Jusqu'à 50 kg d'hydrogène peuvent être stockés à bord d'un bus à pile à combustible.

### 4.3 Dispositifs de décompression

Le principal dispositif de sécurité des systèmes de stockage de l'hydrogène (tant pour les applications automobiles que stationnaires) est le *dispositif de décompression (PRD)*, dont la définition est la suivante : un PRD est un dispositif de sécurité qui protège contre une défaillance d'un réservoir de stockage en libérant une partie ou la totalité du contenu du réservoir en cas de températures élevées, de pressions élevées ou d'une combinaison des deux [9]. En cas d'incendie, le *dispositif de décompression à activation thermique (TPRD)* permet une libération contrôlée de l'hydrogène gazeux  $\text{GH}_2$  d'un réservoir de stockage à haute pression avant que ses parois ne soient affaiblies par des températures élevées, entraînant une *rupture catastrophique*. Les TPRD évacuent rapidement la totalité du contenu du conteneur. Ils ne permettent pas de se refermer ou de re-pressuriser le réservoir pour les systèmes à hydrogène.

## 5. Conséquences d'une défaillance catastrophique du stockage d'hydrogène à haute pression (ondes de choc, boules de feu, projectiles)

Que se passe-t-il si le TRPD ne se déclenche pas en cas d'incendie ? Les études menées au Southwest Research Institute, aux États-Unis [10][11], ont démontré que la rupture catastrophique du réservoir se produira.

### 5.1 Dangers potentiels et problèmes de sécurité liés au $\text{cGH}_2$ : résumé

Les dangers potentiels associés au stockage à bord de l'hydrogène gazeux comprimé sont les suivants :

- Difficulté d'identification du dégagement d'hydrogène car le gaz est inodore, incolore et insipide. Les substances odorantes ne peuvent pas être ajoutées à l'hydrogène.

### Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

- L'hydrogène peut provoquer la *fragilisation* des métaux. Cela peut entraîner une diminution de la résistance du matériau et, par conséquent, la rupture du récipient ou à une fuite d'hydrogène.
- Accumulation d'hydrogène, sur une longue période, dans des enceintes telles qu'un garage ou un atelier mécanique, des habitacles de véhicules. L'*asphyxie* peut se produire en raison du déplacement de l'air par l'hydrogène.
- Formation de mélanges inflammables hydrogène-oxygène ou hydrogène-air. L'admission d'un mélange inflammable dans le système de ventilation d'un bâtiment peut conduire à une déflagration, voire à une détonation.
- Les jets d'hydrogène à haute pression peuvent couper la peau nue [12].
- Une surpression et une impulsion peuvent entraîner : des lésions du tympan des personnes, la rupture du réservoir, des débris volants, des éclats de verre, etc.
- *Le phénomène de pic de pression* peut entraîner l'effondrement d'un garage en une seconde seulement (ce sujet sera abordé dans les cours suivants).
- L'hydrogène peut s'enflammer facilement car son Energie Minimale d'Inflammation (MIE – Minimum ignition energy) est de 0,017 mJ (ce qui est 10 fois inférieur par rapport aux autres combustibles). Une étincelle, résultante d'une décharge d'électricité statique, peut enflammer un mélange hydrogène-air.
- Lorsque l'hydrogène pur brûle, ses flammes sont invisibles à la lumière du jour.
- L'hydrogène brûle rapidement et ne produit pas de fumée.
- Un incendie externe, la chaleur ou le rayonnement thermique peuvent provoquer une rupture mécanique d'un réservoir en raison de la décomposition thermique des matériaux polymères et composites. La valeur actuelle de la résistance au feu (disponible publiquement) est de 12 minutes maximum avant que la défaillance catastrophique ne se produise.
- En cas de dysfonctionnement du TPRD, le pire scénario est possible : une rupture (c'est-à-dire une défaillance catastrophique) du réservoir de stockage d'hydrogène, produisant une boule de feu, des ondes de choc et des projectiles en feu.

## 6. Technologie de sécurité « Fuite sans éclatement »

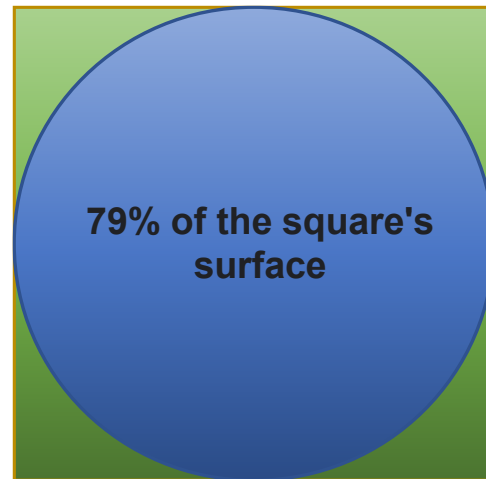
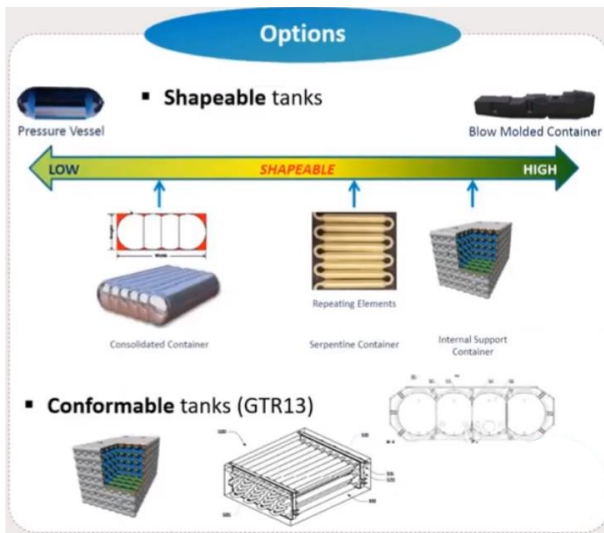
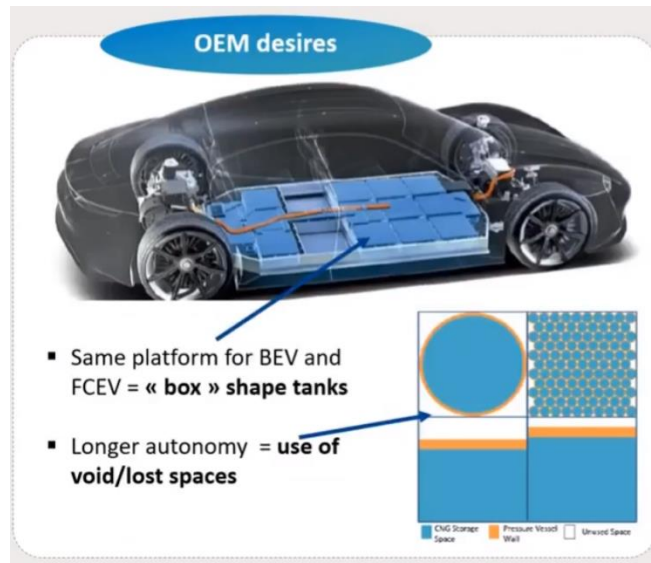
Des réservoirs en composite pour le stockage à bord d'hydrogène à haute pression ont été produits et mis en service pour des applications routières, ferroviaires, maritimes et aériennes dans de nombreux pays du monde. Le point faible des réservoirs en composite est leur réaction au feu. Par exemple, en cas d'incendie localisé, le TPRD peut ne pas se déclencher, comme l'ont montré les accidents survenus avec des véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé

### Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

aux États-Unis. En outre, le TPRD pourrait être rendu inefficace des suites d'un accident, etc. Ces défauts potentiels d'ingénierie de la sécurité de l'hydrogène peuvent s'avérer extrêmement critiques pour la protection des vies et des biens en raison des conséquences dévastatrices de la rupture d'un réservoir, c'est-à-dire l'onde de choc, la boule de feu et les projectiles.

#### 6.1 Nouvelle tendance 2020

Au cours des dix dernières années, les grands réservoirs pressurisés en matériaux composites ont constitué une solution pratique pour l'intégration du système de stockage de l'hydrogène dans l'architecture actuelle des véhicules, développée principalement pour les moteurs à combustion. Avec l'expansion rapide du véhicule électrique à batterie dans le monde entier, les constructeurs automobiles doivent partager la même architecture de véhicule et rechercher une nouvelle conception des systèmes de stockage avec des réservoirs conformables. L'intégration des deux systèmes énergétiques dans la même carrosserie permettrait de réaliser des économies d'échelle, de simplifier et de réduire les processus d'ingénierie et de fabrication et de permettre une production flexible, qui pourrait amortir les fluctuations de la demande sans compromettre les attentes des clients en matière d'espace, de performances, de sécurité ou de coût. En conséquence, la justification des nouvelles géométries souhaitées par les constructeurs automobiles se résume d'une part à pouvoir utiliser la même plateforme pour les véhicules électrique à batterie et véhicules électriques à pile à combustible (Figure 5). Cela implique des réservoirs en forme de "boîte". D'autre part, augmenter l'autonomie des véhicules en utilisant l'espace perdu.



*Légende:*  
 OEM (Original Equipment Manufacturer) desires → Souhaits du fabricant d'équipement d'origine  
 Same platform for BEV (Battery electric vehicle) and FCEV (Fuel cell electric vehicle) → Même plateforme pour les véhicules électriques à batterie (BEV) et les véhicules électriques à pile à combustible (FCEV)  
 "box" shape tanks → réservoirs en forme de "boîte"  
 Longer autonomy = use of void/lost spaces → Autonomie plus longue = utilisation des espaces vides/perdus  
 Shapeable tanks → Réservoirs façonnables  
 Pressure vessel → Récipient sous pression  
 Blow molded container → Conteneur moulé par soufflage  
 Low/High → Bas/haut  
 Consolidated container → Conteneur consolidé  
 Serpentine container → Conteneur serpentin  
 Internal support container → Conteneur à support interne  
 Conformable tanks → Réservoirs conformables  
 79% of the square's surface → 79% de la surface de la place

Figure 5 Nouvelle tendance pour l'intégration et les géométries des systèmes de stockage comprimé



## 7. Utilisation du e-Laboratory

Le NET-Tools e-Laboratory pour la sécurité de l'hydrogène a été présenté dans le cours 1. Un certain nombre d'outils sont particulièrement utiles pour les applications de stockage. Ils comprennent le calcul de la dynamique d'explosion d'un réservoir de stockage, le temps de rupture du réservoir et les corrélations entre les boules de feu.

### Références

- [1] DoE. Hydrogen storage (2015). Disponible sur : <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> [consulté le 06.11.20].
- [2] NASA. Résumé : applications spatiales de l'hydrogène et des piles à combustible. Disponible sur : [http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen\\_2009.html](http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen_2009.html) [consulté le 06.11.20].
- [3] Introduction à l'hydrogène pour les responsables du code, Département américain de l'énergie, Washington DC. Disponible sur : [http://www.hydrogen.energy.gov/training/code\\_official\\_training/](http://www.hydrogen.energy.gov/training/code_official_training/) [consulté le 06.11.20].
- [4] US DoE, Département américain de l'énergie (2008). Formation à la sécurité de l'hydrogène pour les premiers intervenants. Disponible sur : <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [consulté le 06.11.20].
- [5] Risø Energy Report 3 : Hydrogen and its competitors (2004). Édité par Larsen, H, Feidenhans, R et Petersen, LS. Laboratoire national de Risø. ISBN 87-550-3349-0.
- [6] Zuettel, A (2013). L'hydrogène : production, stockage, applications et sécurité. École technique européenne H2FC sur l'hydrogène et les piles à combustible. 23-27 septembre 2013, Crète, Grèce.
- [7] Objectifs du DoE pour les systèmes de stockage d'hydrogène embarqués pour les véhicules légers (2009). Publié sur le site web du DOE/EERE. Disponible à l'adresse : [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/targets\\_onboard\\_hydro\\_storage.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/targets_onboard_hydro_storage.pdf) [consulté le 06.11.20].
- [8] Mafeld, A. (2015). CPVs : Tendances régionales sur le marché mondial. JEC Asia : Forum sur les appareils à pression en matériaux composites. Singapour, 22 octobre 2015.
- [9] Sunderland, P (2010a). Véhicules à hydrogène et réglementation de la sécurité aux États-Unis. Matériel didactique du 8e ISCARW, Belfast, Royaume-Uni, juin 2010.
- [10] Zalosh, R (2007). Ondes de souffle et boules de feu générées par la rupture d'un réservoir d'hydrogène pendant l'exposition au feu. Actes du 5e séminaire sur les risques d'incendie et d'explosion, Édimbourg, Royaume-Uni, 23-27 avril 2007, pp. 2154-2161.

### Cours 3 : Le stockage de l'hydrogène

- [11] Weyandt, N (2006). Incendie de véhicule pour induire une défaillance catastrophique d'une bouteille d'hydrogène de 5000 psig installée sur un SUV typique, Motor Vehicle Fire Research Institute. Rapport. Rapport. Décembre 2006. Disponible sur : [www.mvfri.org](http://www.mvfri.org) [consulté le 06.11.20].
- [12] Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, chapitre 19.