



Programme européen de formation des formateurs pour les intervenants

## Cours 6

# Critères de dommage pour les personnes et les biens

## NIVEAU I

### Pompier

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

Ce sujet est également disponible aux niveaux II, III et IV

Ce cours fait partie d'un ensemble de documents de formation comprenant des supports de niveaux I à IV :

Pompier, commandant d'équipe, commandant d'incident et officier spécialisé.

Veillez consulter l'introduction du cours concernant les compétences et les attentes en matière d'apprentissage.

Remarque : Ces supports 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

Ce cours fournit aux intervenants des informations précieuses sur l'impact des fuites d'hydrogène, des incendies et des explosions sur la santé et l'environnement des humains. Il examine également les dommages causés aux structures et aux équipements par les incendies d'hydrogène et les événements de surpression.

## Mots clés

Accident d'hydrogène, rayonnement thermique, surpression, critère de dommage, équipement de protection personnel.

## Table des matières

Résumé.....	3
Mots clés .....	3
1. Public visé.....	5
2.1 Description du rôle : Pompier .....	5
2.2 Niveau de compétence : Pompier.....	5
2.3 Prérequis : Pompier .....	5
2. Introduction et objectifs.....	5
3. Définitions principales.....	7
4. Dangers des rejets d'hydrogène pour la santé.....	8
4.1 L'hydrogène gazeux.....	8
4.2 L'hydrogène liquide .....	9
5. Effets nocifs de la combustion de l'hydrogène sur l'homme .....	9
5.1 L'effet de la température de l'air.....	10
5.2 Effet du contact direct avec les flammes d'hydrogène .....	10
5.3 Effet du flux de chaleur rayonnant des feux d'hydrogène.....	10
5.4 Effet de la surpression sur les personnes.....	10
6. Étiquetage des systèmes hydrogène .....	11
7. Équipement de protection individuelle.....	14
8. Impact sur l'environnement.....	16
Reconnaissance .....	16
Références.....	16

## 1. Public visé

Les informations contenues dans ce cours sont destinées au NIVEAU I : Pompier. Ces cours sont également disponibles pour les niveaux II, III et IV : commandant d'équipe, commandant d'incident et officier spécialisé.

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.

### 2.1 Description du rôle : Pompier

Un pompier est responsable et doit être capable d'effectuer des opérations en toute sécurité avec des équipements de protection individuel, y compris un appareil respiratoire, en utilisant l'équipement fourni, comme des véhicules, des échelles, des lances à incendie, 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.

### 2.2 Niveau de compétence : Pompier

Formés à l'utilisation sûre et correcte des EPI, des ARI 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 de leurs collègues doivent être décrits dans des procédures opérationnelles normalisées (PON). La capacité pratique d'évaluer et d'adapter rapidement son comportement face aux risques pour sa propre sécurité et celle des autres est requise.

### 2.3 Prérequis : 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

La préoccupation première de la sécurité de l'hydrogène est la protection de la vie et des biens. Il est donc important d'établir les critères pour les opérateurs, les utilisateurs, les membres du public, ainsi que pour les intervenants, qui peuvent être affectés par les conséquences d'un incident ou d'un accident sur un système ou une infrastructure PCH (de Pile à Combustible et de l'Hydrogène). Les critères d'acceptation pour les clients et le personnel impliqué dans l'exploitation, l'inspection et la maintenance des installations et infrastructures PCH seront similaires, tandis que pour le grand public, qui se trouve à proximité d'un incident/accident, l'approche doit être plus conservatrice. Selon la norme britannique BS 7974 (2004), les

---

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

pompiers sont considérés comme une catégorie distincte de personnes affectées. Ils ne sont pas présents dans l'installation PCH au moment de l'incident/accident et arrivent souvent sur les lieux lorsque les conditions sont les plus dangereuses et qu'ils doivent accomplir leurs tâches professionnelles. Ils sont vulnérables à l'effondrement éventuel des bâtiments/structures et aux conséquences de l'onde de choc. De plus, étant donné qu'ils sont équipés d'un équipement de protection individuelle (EPI) spécial, ils peuvent supporter des niveaux plus élevés de rayonnement thermique et de température ainsi que des atmosphères asphyxiantes et toxiques. En outre, l'emplacement d'une personne dans l'infrastructure PCH au moment d'un incident/accident est très important. En effet, les effets d'un incident/accident lié à l'hydrogène peuvent être immédiats et auront un impact différent sur les personnes, en fonction de leur proximité avec la source du dommage. Les personnes situées à l'intérieur sont plus susceptibles d'être affectées par l'onde de choc que celles situées à l'extérieur.

Le projet HyResponder n'a pas vocation à fournir des critères ou des valeurs seuils harmonisés pour caractériser l'impact potentiel des phénomènes dangereux. Toutes les parties prenantes intéressées doivent utiliser les normes applicables dans leur propre pays.

A la fin de cette conférence, les intervenants seront en mesure de :

- Décrire les principaux dangers pour la santé, associés aux rejets non allumés, aux explosions physiques (rupture de réservoir comprimé), aux incendies, aux déflagrations et aux détonations d'hydrogène gazeux et liquéfié,
- Définir les effets nocifs liés aux dégagements d'hydrogène non allumé dans les espaces confinés :
  - Le niveau de bruit,
  - L'effet de la température de l'hydrogène,
  - L'effet de la surpression en cas de phénomène de pic de pression.
- Définir les effets nocifs de la combustion de l'hydrogène sur l'homme :
  - L'effet de la température de l'atmosphère de combustion,
  - L'exposition au flux de chaleur rayonnante,
  - L'effet de la surpression.
- Apprécier les principes et la mise en œuvre du cadre des critères de dommage pour les personnes et l'environnement, des critères de dommage pour les structures et les équipements :
  - La température de l'air,
  - La dose thermique,
  - Le flux thermique,
  - La surpression, etc.
- Préciser les niveaux de dose thermique dangereuse et de dose létale, 50% (DL50),
- Distinguer les effets nocifs directs et indirects de la surpression sur les humains,

- Relier en particulier les dommages aux structures, aux équipements et à l'environnement causés par les incendies d'hydrogène/les ondes de choc aux niveaux de flux de chaleur rayonnante et de surpression,
- Reconnaître les systèmes d'étiquetage pour le stockage de l'hydrogène gazeux et liquéfié dans les applications de l'hydrogène et des piles à combustible,
- Dresser la liste des équipements de protection individuelle qui doivent être utilisés non seulement par les premiers intervenants, mais aussi par le personnel travaillant dans une installation de piles à combustible,
- Décrire l'impact de l'hydrogène sur l'environnement.

### 3. Définitions principales

Il est important que les intervenants soient en mesure d'évaluer l'impact des incidents/accidents liés à l'hydrogène sur la sécurité des personnes et le contrôle des pertes. Plusieurs méthodes sont disponibles pour définir et évaluer les conséquences d'un incident/accident en fonction de sa gravité, de son exposition, de sa durée et de la cible considérée (c'est-à-dire le public, les occupants, les structures, les bâtiments, les équipements, etc.). Certaines définitions utiles sont utilisées dans les exposés actuels et futurs.

Les *critères d'acceptation* sont les termes de référence par rapport auxquels la conception sûre d'une installation/infrastructure PCH est évaluée [1].

L'*incapacité* est une condition dans laquelle les êtres humains ne fonctionnent pas de manière adéquate et sont incapables d'échapper à des conditions intenable [2].

Les *occupants* sont les personnes présentes dans les limites d'une installation/infrastructure PCH, y compris le personnel impliqué dans son exploitation et sa maintenance ainsi que les clients/visiteurs [1].

Le *lieu de sécurité* est un endroit prédéterminé à l'intérieur ou à l'extérieur d'une installation/infrastructure PCH, dans lequel les personnes ne sont pas en danger immédiat du fait d'un rejet d'hydrogène, d'un incendie ou d'une explosion [1].

Le *public* est constitué des personnes présentes en dehors des limites d'une installation/infrastructure PCH.

La *zone sensible* est l'établissement, l'infrastructure ou l'équipement contenant des stocks de substances dangereuses qui peuvent devenir une source de danger lorsqu'ils sont visés par un incident/accident lié à l'hydrogène [1].

La *capacité de survie* est l'exposition maximale que l'on peut recevoir avec une probabilité statistique négligeable de décès/dommage et sans que la capacité d'un individu à s'échapper soit compromise [1].

La *tenabilité* est l'exposition maximale aux dangers d'un incident/accident lié à l'hydrogène qui peut être tolérée sans enfreindre les objectifs de sécurité [1].

Le *seuil* est l'intensité ou la dose maximale pour un danger donné qui correspond à une réponse physiologique (pour les humains) ou structurelle (pour les structures et les équipements) spécifique [1].

## 4. Dangers des rejets d'hydrogène pour la santé

Le gaz hydrogène est plus léger que l'air, c'est pourquoi il s'élève rapidement et peut se diluer rapidement dans l'air lors de rejets non désirés dans un environnement ouvert. Si un rejet accidentel se produit dans un espace confiné/à l'intérieur, il peut nuire aux humains par asphyxie. En outre, les rejets d'hydrogène dans les espaces confinés présentent des risques d'explosion. Les mélanges hydrogène-air sont inflammables en raison de leur large plage d'inflammabilité, de 4 à 75 % en volume d'hydrogène. Lorsqu'il est libéré dans l'air et en présence d'une source d'inflammation, l'hydrogène brûle, produisant de l'eau et de la chaleur. La probabilité que l'hydrogène s'enflamme à la suite de son rejet est très élevée car son énergie d'inflammation minimale est faible : même une décharge d'électricité statique est suffisante pour enflammer l'hydrogène. Pour les intervenants, il n'est pas nécessaire d'utiliser des vêtements de protection pour éviter les décharges d'électricité statique, car celles-ci sont suffisantes pour enflammer l'hydrogène dans de rares cas. En cas d'incendie, la flamme d'hydrogène est presque invisible à la lumière du jour et sa température peut atteindre 2000 °C. Bien que la flamme d'hydrogène rayonne peu par rapport à celle d'un hydrocarbure, il existe un risque pour les intervenants de marcher dans la flamme.

### 4.1 L'hydrogène gazeux

L'hydrogène est un gaz inodore, incolore et insipide, indétectable par les sens humains. L'utilisation d'odorants (par exemple, des mercaptans) dans les récipients de stockage n'est pas possible car ils peuvent empoisonner les piles à combustible. L'hydrogène ne devrait pas provoquer de mutagénicité<sup>2</sup>, de tératogénicité<sup>3</sup>, d'embryotoxicité<sup>4</sup> ou de toxicité pour la reproduction. Il n'existe aucune preuve d'effets néfastes sur la peau ou les yeux exposés à des atmosphères d'hydrogène. Cependant, les jets d'hydrogène à haute pression peuvent causer des coupures sur la peau [3]. L'hydrogène ne peut pas être ingéré. Cependant, l'hydrogène inhalé peut entraîner la formation d'un mélange inflammable dans les poumons de l'homme.

Comme pour les autres gaz, une augmentation de la concentration d'hydrogène entraîne une réduction des niveaux d'oxygène dans l'air, ce qui peut conduire à l'asphyxie. L'hydrogène est classé comme un asphyxiant simple ; il n'a pas de valeur limite d'exposition (VLE) [4]. De fortes concentrations d'hydrogène dans l'air, dans des espaces entièrement ou partiellement confinés, entraînent la formation d'atmosphères déficientes en oxygène. Les personnes exposées à de telles atmosphères ou qui les respirent peuvent présenter les symptômes suivants : maux de tête, vertiges, somnolence, perte de conscience, nausées, vomissements, dépression de tous les sens, etc. Une personne affectée peut avoir la peau bleue et, dans certaines

---

<sup>2</sup> L'induction de changements transmissibles permanents dans la quantité ou la structure du matériel génétique des cellules ou des organismes.

<sup>3</sup> Malformations congénitales dues à un effet toxique sur l'embryon ou le fœtus.

<sup>4</sup> Effets toxiques sur l'embryon d'une substance qui traverse la barrière placentaire.

circonstances, la mort peut survenir. Si de l'hydrogène est inhalé et que les symptômes ci-dessus sont observés, la personne doit être déplacée à l'air frais ; de l'oxygène doit être donné si la respiration est laborieuse, ou la respiration artificielle doit être fournie si la personne ne respire pas.

## 4.2 L'hydrogène liquide

L'hydrogène liquéfié est stocké/utilisé à des températures extrêmement basses en raison de son faible point d'ébullition (-253 °C). Les risques, pour la santé, associés au rejet d'hydrogène liquéfié sont les suivants :

- Le contact avec l'hydrogène liquide ou ses éclaboussures sur la peau ou dans les yeux peut provoquer de graves brûlures par le froid, sous forme d'*engelures* ou d'*hypothermie*.
- Des *brûlures cryogéniques* peuvent également résulter du contact de parties non protégées du corps humain avec des fluides ou des surfaces froides.
- L'inhalation de vapeurs d'hydrogène froid peut provoquer une *gêne respiratoire* et peut entraîner l'*asphyxie*.
- Le contact physique direct avec le LH<sub>2</sub>, les vapeurs froides ou l'équipement froid peut provoquer des *lésions tissulaires graves*. Un contact momentané avec une petite quantité de liquide peut ne pas présenter un aussi grand danger de brûlure car un film protecteur d'hydrogène gazeux s'évaporant peut se former. Le danger de congélation survient lorsque de grandes quantités sont déversées et que l'exposition<sup>3</sup> est importante.
- Le personnel ne doit pas toucher les parties métalliques froides et doit porter des *vêtements de protection*. Ils doivent également protéger la zone affectée avec une couverture lâche.
- Des *dysfonctionnements cardiaques* sont probables lorsque la température interne du corps descend à 27 °C ou moins, et la mort peut survenir lorsque la température interne du corps descend à moins de 15 °C.
- L'*asphyxie* est également possible si de l'hydrogène liquéfié se libère et se vaporise à l'intérieur.

## 5. Effets nocifs de la combustion de l'hydrogène sur l'homme

L'inhalation de produits de combustion provenant de combustibles conventionnels est l'une des principales causes de blessure et une conséquence primaire d'un incendie. Elle est considérée comme moins grave dans le cas de l'hydrogène car le seul produit de combustion est la vapeur d'eau (non toxique, non toxique). Toutefois, les incendies secondaires peuvent produire de la fumée ou d'autres produits de combustion qui présentent un risque pour la santé.

### 5.1 L'effet de la température de l'air

Lors d'un feu d'hydrogène, l'air environnant est considérablement réchauffé, ce qui peut affecter les personnes situées à proximité. Le contact direct avec l'hydrogène en combustion ou les gaz chauds post-flamme résultant de la combustion de l'hydrogène provoquera de graves *brûlures thermiques*. Une augmentation de la température de l'air peut entraîner des difficultés à respirer ou des brûlures des voies respiratoires. Une température élevée peut également entraîner un effondrement.

### 5.2 Effet du contact direct avec les flammes d'hydrogène

L'impact des flammes d'hydrogène sur les humains est similaire à celui des flammes d'autres combustibles courants. Le contact direct avec de l'hydrogène en combustion ou des gaz chauds post-flamme résultant de la combustion de l'hydrogène provoque de graves brûlures [11].

### 5.3 Effet du flux de chaleur rayonnant des feux d'hydrogène

Une flamme d'hydrogène dégage beaucoup moins de chaleur qu'une flamme d'hydrocarbure et est pratiquement invisible en plein jour. La longueur d'onde maximale de son émission est d'environ 311 nm, ce qui est proche de la partie ultraviolette (UV) du spectre de rayonnement [11]. Cela signifie que les personnes situées à proximité d'une flamme d'hydrogène peuvent ne pas sentir sa proximité jusqu'à ce qu'elles soient en contact avec elle [11]. En l'absence d'équipement de détection approprié, la première indication d'une petite flamme sera probablement un sifflement du gaz s'échappant par un orifice et peut-être des "ondulations de chaleur" [11].

Veillez noter qu'une flamme d'hydrogène émet un minimum de rayonnement infrarouge et pratiquement aucun rayonnement visible.

Les personnes qui ne sont pas en contact direct avec les flammes d'hydrogène risquent d'être exposées à des flux de chaleur élevés pendant une durée suffisante pour provoquer des brûlures du premier, deuxième ou troisième degré.

### 5.4 Effet de la surpression sur les personnes

L'un des effets indirects importants de la surpression résulte des fragments volants (aussi appelés missiles ou projectiles). Le niveau de blessure dépend de la taille et du poids des fragments, de la vitesse d'impact et de l'emplacement de l'impact sur le corps humain [12]. La vitesse d'accélération du missile est le principal facteur de blessure. La probabilité d'une blessure par pénétration augmente avec l'augmentation de la vitesse, en particulier pour les missiles de petite taille tels que les fragments de verre.

## 6. Étiquetage des systèmes hydrogène

Les pictogrammes pour le transport commercial de l'hydrogène sont présentés à la Figure 1, dans laquelle "1049" désigne l'hydrogène gazeux, tandis que "1966" désigne l'hydrogène liquide [13].

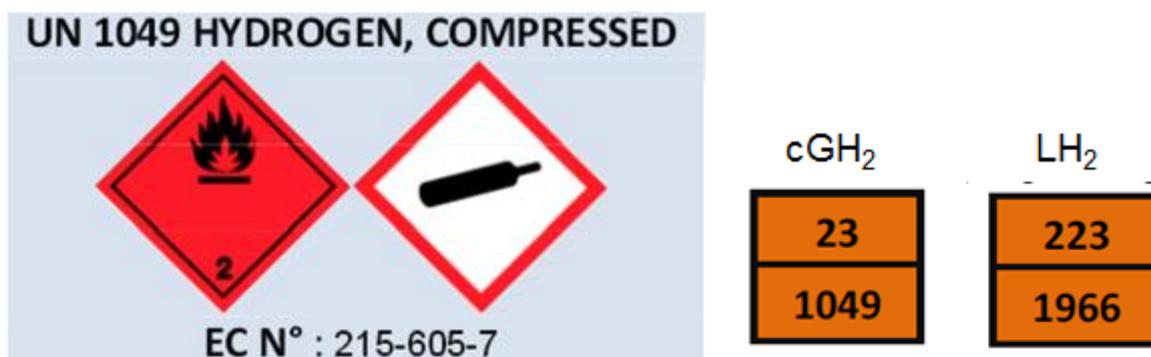


Figure 1 Exemples de pictogrammes utilisés pour le transport de l'hydrogène

Pour les véhicules à pile à combustible, le règlement européen n° 406/2010 recommande d'utiliser des losanges verts dans des cadres blancs avec les mots "H<sub>2</sub> GAS" ou "LIQUID H<sub>2</sub>" écrits en lettres blanches [14].

Les principales étapes de l'élaboration des symboles pour l'identification formelle des dangers sont présentées dans la Figure 2 et la Figure 3. Ces couleurs sont également utilisées dans les informations de sauvetage et pour colorer les composants des véhicules (fiches de sauvetage).

GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

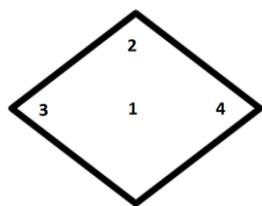
**SYMBOLS**

- 1) FIRST ENERGY SOURCE: CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE:
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:
- 4) STORED AGGREGATE STATE:



*Légende :*  
 GAZOLINE → ESSENCE  
 DIESEL → GAZOLE  
 GAS → GAZ  
 CRYOGEN LNG → GNL (gaz naturel liquéfié) CRYOGENIQUE  
 HIGH VOLTAGE → HAUTE TENSION  
 First energy source → Première source d'énergie  
 Second energy source → Deuxième source d'énergie  
 Density compared to air → Densité par rapport à l'air  
 Stored aggregate state → État des agrégats stockés  
 CNG → GNC (Gaz Naturel Comprimé)  
 LNG → GNL (Gaz Naturel Liquéfié)  
 LPG → GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié)  
 Dimethyl ether (DME) → Éther diméthylique (DME)

Figure 2 Couleurs et symboles suggérés par le CTIF (Comité Technique International de prévention et d'extinction de Feu) pour le développement de la signalisation normalisée



1	First energy source
2	Second energy source
3	Density compared to air
4	Stored aggregate state

*Légende :*

*First energy source → Première source d'énergie*

*Second energy source → Deuxième source d'énergie*

*Density compared to air → Densité par rapport à l'air*

*Stored aggregate state → État des agrégats stockés*

Figure 3 Une forme de diamant suggérée par le CTIF (Comité Technique International de prévention et d'extinction de Feu) pour l'identification des dangers des véhicules [15]

La Figure 4 montre la version la plus récente d'une étiquette pour véhicule à pile à combustible indiquant les deux principales sources d'énergie : l'hydrogène (au centre) et l'électricité dans le coin supérieur. Le symbole dans le coin gauche indique que la première source d'énergie (c'est-à-dire l'hydrogène) est plus légère que l'air ; le symbole dans le coin droit indique qu'il s'agit d'un gaz comprimé. La norme ISO 17840-4 fournit aux intervenants des informations précieuses sur les dangers, qui sont visibles à grande distance (voir Figure 6).

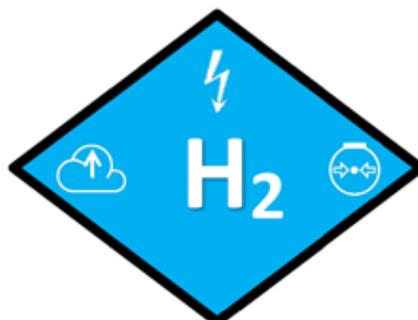
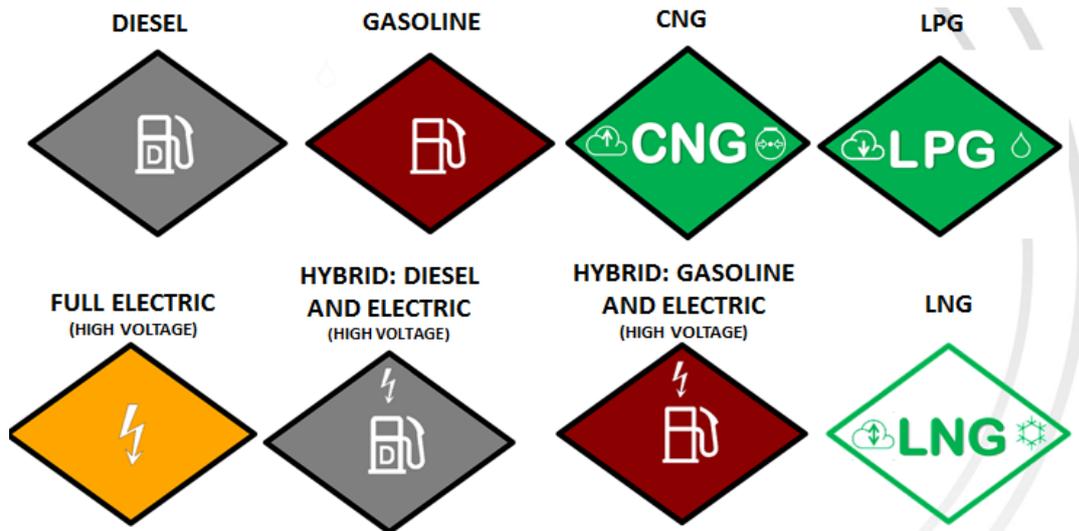


Figure 4 Symbole développé par le CTIF (Comité Technique International de prévention et d'extinction de Feu) pour un véhicule à pile à combustible alimenté par de l'hydrogène gazeux comprimé [15]

Les exemples de symboles suggérés par le CTIF pour d'autres types de véhicules, traditionnels et hybrides, sont présentés à la Figure 5.



*Légende :*  
 DIESEL → GAZOLE  
 GAZOLINE → ESSENCE  
 CNG → GNC (Gaz Naturel Comprimé)  
 LNG → GNL (Gaz Naturel Liquéfié)  
 LPG → GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié)  
 Full ELECTRIC (High voltage) → 100% Electrique  
 HYBRIDE DIESEL and ELECTRIC (High Voltage) → Hybride Gazole Electrique  
 HYBRIDE GAZOLINE and ELECTRIC (High Voltage) → Hybride Essence Electrique

Figure 5 Symboles développés par le CTIF (Comité Technique International de prévention et d'extinction de Feu) pour les différents types de carburants/énergies des véhicules [15]



Figure 6 Identification des méthodes formelles utilisées aux États-Unis [13]

## 7. Équipement de protection individuelle

Deux principales normes européennes doivent être mentionnées en ce qui concerne les exigences de performance des EPI de lutte contre l'incendie. La (NF) EN 469:2006-02 [16] contient les exigences relatives aux vêtements de protection pour les pompiers, et la (NF) EN 136 : 1998 [17] - celles relatives aux appareils de protection respiratoire.

Le personnel effectuant des opérations dans une installation ou un système d'hydrogène peut réduire les conséquences possibles d'un danger en utilisant un équipement de protection approprié. Parmi les conditions pour lesquelles le personnel doit être protégé, citons l'exposition à des températures cryogéniques, à des températures de flamme, au rayonnement thermique d'une flamme d'hydrogène et à des atmosphères pauvres en oxygène d'hydrogène ou de gaz de purge inertes comme l'azote et l'hélium. La nature du travail détermine le type d'EPI à utiliser. Des lignes directrices générales pour les EPI ont été fournies dans la norme ISO 15196 [11]. Ces lignes directrices n'incluent pas les EPI à prendre en compte lors d'autres activités telles que le travail sur des circuits électriques ou l'exécution d'une opération de nettoyage ou de décontamination [11]. Les parties nécessaires ou obligatoires des EPI doivent être sélectionnées sur la base des conditions sur place.

- Des protections oculaires doivent être portées si nécessaire (par exemple, un écran facial complet doit être porté lors de la connexion et de la déconnexion des lignes ou des composants ou des lunettes de protection lors de la manipulation du LH<sub>2</sub>).
- Des gants correctement isolés doivent être portés pour manipuler tout ce qui entre en contact avec le LH<sub>2</sub> ou le GH<sub>2</sub> froid. Les gants doivent être amples, s'enlever facilement et ne pas avoir de gros poignets.
- Il faut porter des pantalons longs, de préférence sans revers, et garder les jambes à l'extérieur des bottes ou des chaussures de travail.
- Il convient de porter des chaussures à bout fermé (il ne faut pas porter de chaussures ouvertes ou poreuses).
- Il convient de porter des vêtements en coton ordinaire, en coton ignifugé ou en matériau antistatique. Évitez de porter des vêtements en nylon ou autres matières synthétiques, en soie ou en laine, car ces matériaux peuvent produire des charges d'électricité statique susceptibles d'enflammer les mélanges inflammables. Les matières synthétiques (vêtements) peuvent fondre et coller à la chair, provoquant des brûlures plus importantes. Tout vêtement vaporisé ou éclaboussé d'hydrogène doit être retiré jusqu'à ce qu'il soit complètement exempt d'hydrogène gazeux.
- Il faut éviter de porter des gants, des vêtements serrés ou des vêtements qui retiennent ou emprisonnent (poches) le liquide contre le corps.
- Il convient de porter des protections auditives si l'installation ou le système d'hydrogène fait appel à des équipements qui produisent un bruit fort.
- Il faut porter un casque ou un casque de sécurité si l'installation ou le système d'hydrogène présente un danger de chute d'objets.
- Il faut porter un équipement respiratoire autonome lorsqu'on travaille dans un espace confiné dont l'atmosphère peut être déficiente en oxygène.
- Des équipements portatifs de détection de l'hydrogène et des incendies doivent être utilisés pour signaler les fuites d'hydrogène et les incendies.
- Les pompiers doivent utiliser des caméras thermiques et des tuyaux ou des buses de contrôle non habités.
- Le personnel doit se mettre à la terre avant de toucher ou d'utiliser un outil sur un système à hydrogène si l'on soupçonne la présence d'hydrogène dans la zone

## 8. Impact sur l'environnement

L'hydrogène ne contaminera pas les eaux souterraines (c'est un gaz dans des conditions atmosphériques normales), et un rejet d'hydrogène ne contribuera pas à la pollution atmosphérique. L'hydrogène est présent dans l'atmosphère terrestre à une concentration de 0,5 ppm (parties par million) du niveau du sol à 60 km d'altitude [1]. Les sources d'émissions d'hydrogène décrites par Schultz [18] comprennent :

- La combustion incomplète des combustibles fossiles et de la biomasse (40 %),
- L'oxydation pétrochimique atmosphérique du méthane et des hydrocarbures non méthaniques (50 %),
- Les émissions des volcans, des océans et des légumineuses fixatrices d'azote (10 %).

75 % des émissions d'hydrogène sont éliminées de l'atmosphère par dépôt sec sur les sols, tandis que les 25 % restants sont éliminés par oxydation dans l'atmosphère [18].

L'hydrogène, lorsqu'il est utilisé comme carburant, ne crée pas de "fumées". Un véhicule fonctionnant à l'hydrogène n'a aucune émission de gaz d'échappement [19].

## Reconnaissance

Le projet HyResponse est reconnu car les supports présentés ici sont étendus sur la base des cours HyResponse originaux.

## Références

- [1] Saffers, JB (2010). Principles of hydrogen safety engineering. PhD thesis. University of Ulster.
- [2] NFPA (2009). Life safety code.
- [3] 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, chapter 19.
- [4] NASA (1997). Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Guidelines for hydrogen system design, materials selection, operations, storage, and transportation. Technical report NSS 1740.16, Office of safety and mission assurance, Washington.
- [5] Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Available from: [www.bookboon.com](http://www.bookboon.com), free download e-book
- [6] Prasher, D (2000). Noise Pollution Health Effects Reduction (NOPHER): An European Commission Concerted Action Workplan. Noise Health, Issue 2, pp. 79-84. Available from: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [accessed 09.11.20].
- [7] Hydrogen Detection in Oil Refineries. A Gassonic. A General Monitors Company.
- [8] NIO Note D'Information Operationnelle (2013). 'Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques lies. In French and in English. Available from: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) Download from:

- [http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS\\_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf](http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf) [accessed 25.11.20].
- [9] Friedrich, A. et al. (2012). Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets. International Journal of Hydrogen Energy. Vol.31, pp.17589-17598.
- [10] Drysdale, D (1985). An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, p. 146
- [11] ISO/TR 15916 (2004). Basic considerations for the safety of hydrogen systems. International Organization for Standardization. ISO Technical Committee 197 Hydrogen Technologies. International Organization for Standardization, Geneva.
- [12] Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K and Hashiguchi, K (2007). Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review. Vol. 44(1), pp. 1-3.
- [13] US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Available from: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [accessed on 11.11.20].
- [14] EU No 406/2010, Commission Regulation of 26 April 2010 implementing Regulation (EC) No 79/2009 of the European Parliament and of the Council on type-approval of hydrogen-powered motor vehicles. Official Journal of the European Union. Vol. 53, 18 May 2010. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [accessed on 09.11.20].
- [15] Esbroeck, T and Vollmacher, K (2015). ISO propulsion energy identification. Commission for Extrication and New Technologies. Unpublished.
- [16] (NF) EN 469:2006-02. European Standard. Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighters.
- [17] (NF) EN 136: 1998. European Standard. Respiratory protective devices. Full face masks. Requirements, testing, marking.
- [18] Schultz, MG, Market, F, Pilegaard, K (2004). Hydrogen and environment. RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. P.58-62
- [19] CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Available from: <http://cafcp.org/> [accessed on 09.11.20].