

Hydrogène : ses conditions d'utilisations

Colloque H2 ATEE 07/12/2020

Benno WEINBERGER
Référent Hydrogène
Direction des Risques Accidentels (DRA)
Tel. : 03.44.55.66.41
Mail: benno.weinberger@ineris.fr

Rappel : contexte de l'hydrogène vecteur d'énergie

Dans un objectif de transition énergétique pour la croissance verte :

- ⇒ L'hydrogène **vecteur d'énergie** permet mieux valoriser les **énergies intermittentes**
- ⇒ L'hydrogène est un carburant alternatif pour la **mobilité** & des **applications stationnaires**
- ⇒ L'hydrogène offre une **solution de stockage mobile d'énergie** pour de nombreuses applications

Le bénéfice environnemental de l'hydrogène est dépendant du mode de production:

- ⇒ **L'électrolyse** à partir d'électricité d'origine renouvelable est une solution appelée à se développer.
- ⇒ **Des bénéfices et enjeux environnementaux sont** à prendre en compte (risques sanitaires, terres rares,...)

Enjeux de sécurité

- Compétitivité avec les vecteurs d'énergie concurrents
- Développement des infrastructures (station service...)
- Appropriation par les publics
 - Nécessite un cadre réglementaire et normatif adapté aux nouveaux dispositifs et aux nouveaux usages

Hydrogène industriel	Nouvelles applications
Acteurs à forte culture de sécurité	Culture de sécurité des utilisateurs plus faible
Production et stockage d'hydrogène = installations classées	Cadre ICPE lourd pour les nouveaux usages de petite taille

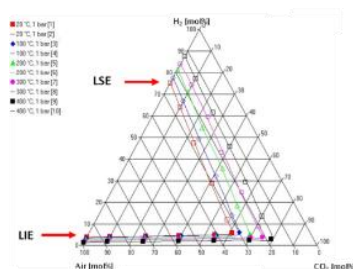


Contexte réglementaire - motivation politique

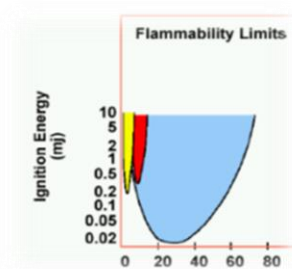
- 2015 : Loi de transition énergétique pour la croissance verte
 - ✓ Art.121 : prévoyant un « Plan de développement du stockage des énergies renouvelables par hydrogène décarboné »
- 2017 : Décret relatif aux obligations d'achat ou d'utilisation de véhicules à faibles émissions ...
- 2018 : Plan « Hulot » de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique organisé autour de 3 grands axes:
 - ✓ Créer une filière industrielle française décarbonée
 - ✓ Développer des capacités de stockage des énergies renouvelables
 - ✓ Développer des solutions zéro émission pour les transports routiers, ferrés, fluviaux, etc.
- 2020 : Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France:
 1. installer suffisamment d'électrolyseurs pour apporter une contribution significative à la décarbonation de l'économie
 2. développer les mobilités propres en particulier pour les véhicules lourds
 3. construire en France une filière industrielle créatrice d'emplois et garante de notre maîtrise technologique.

Contexte - Spécificités de l'hydrogène

	Plage d'explosivité	Energie minimale d'inflammation	Vitesse de combustion	Caractéristiques de la flamme	Fragilisation
Hydrogène	4 à 75 %	17 μ J	3,3 m/s	Flamme peu visible	Fissuration ou cloquage avec aciers non compatibles
Hydrocarbures	1 à 15 %	200 μ J	0,5 m/s	Flamme visible	-



Nuages explosifs plus grands / HC



Inflammation plus aisée



Explosions plus violentes



Matériel spécifique d'intervention



Aciers adaptés

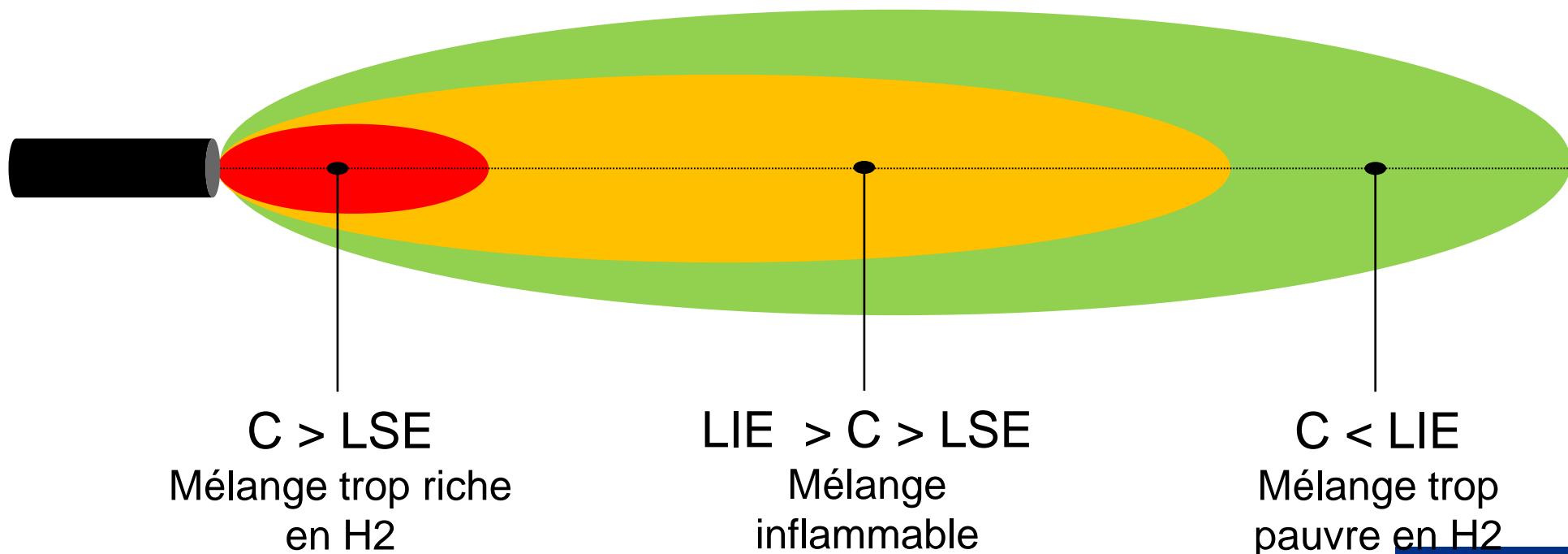
INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Plage d'inflammabilité de l'H2

Le nuage inflammable correspond à la zone du nuage à l'intérieur de laquelle la concentration du combustible est comprise entre la LIE (= Limite Inférieure d'Explosivité) et LSI (= Limite Supérieure d'Explosivité)

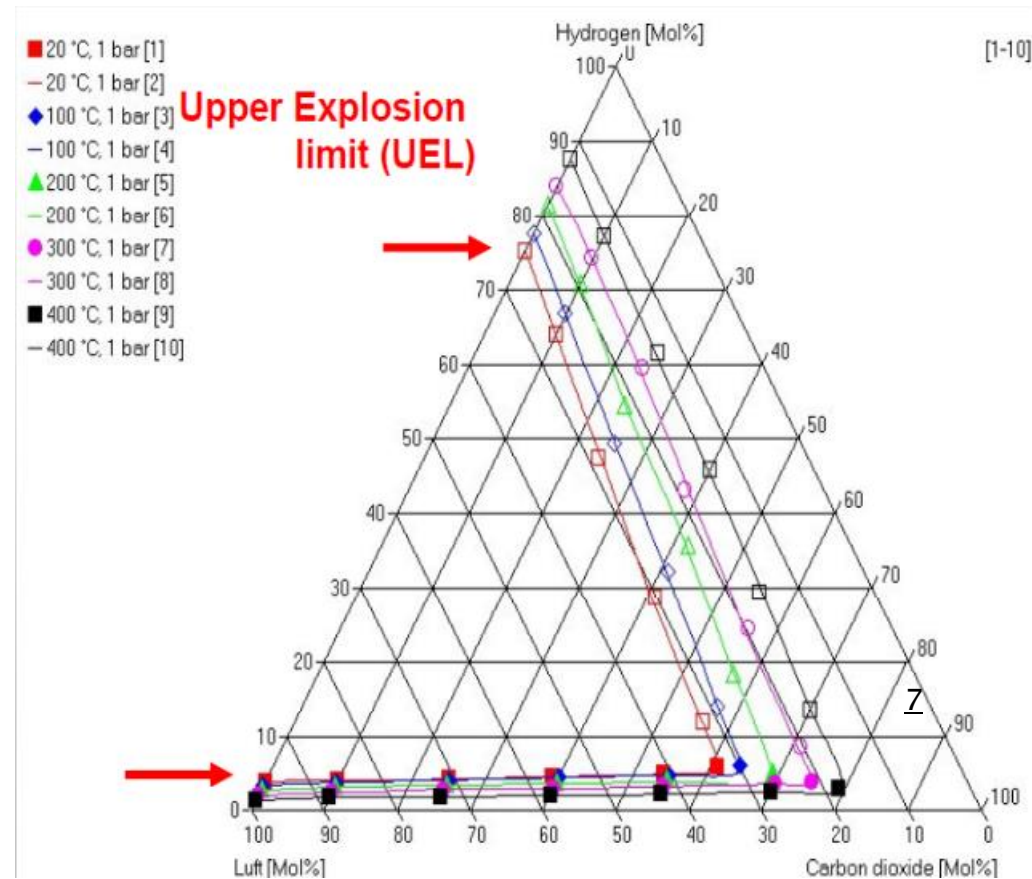
Pour de l'H2 dans l'air : **LIE = 4 % v/v** et **LSE = 75 % v/v**



Les limites d'explosivité

Interaction température/limites d'explosivité :

- une augmentation de la température diminue la LIE et accroît la LSE



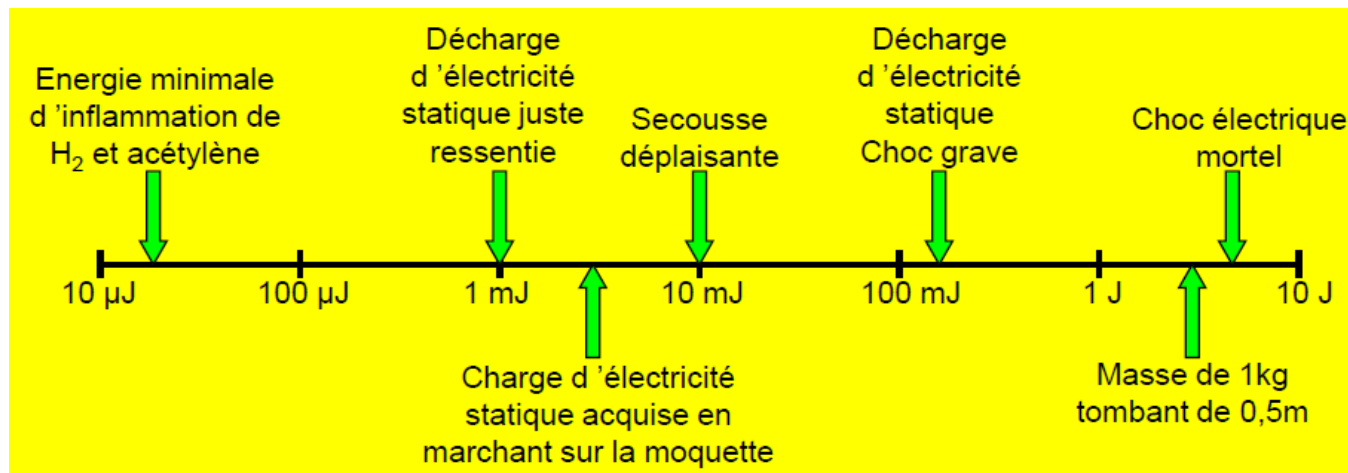
Energie Minimale d'Inflammation (EMI)

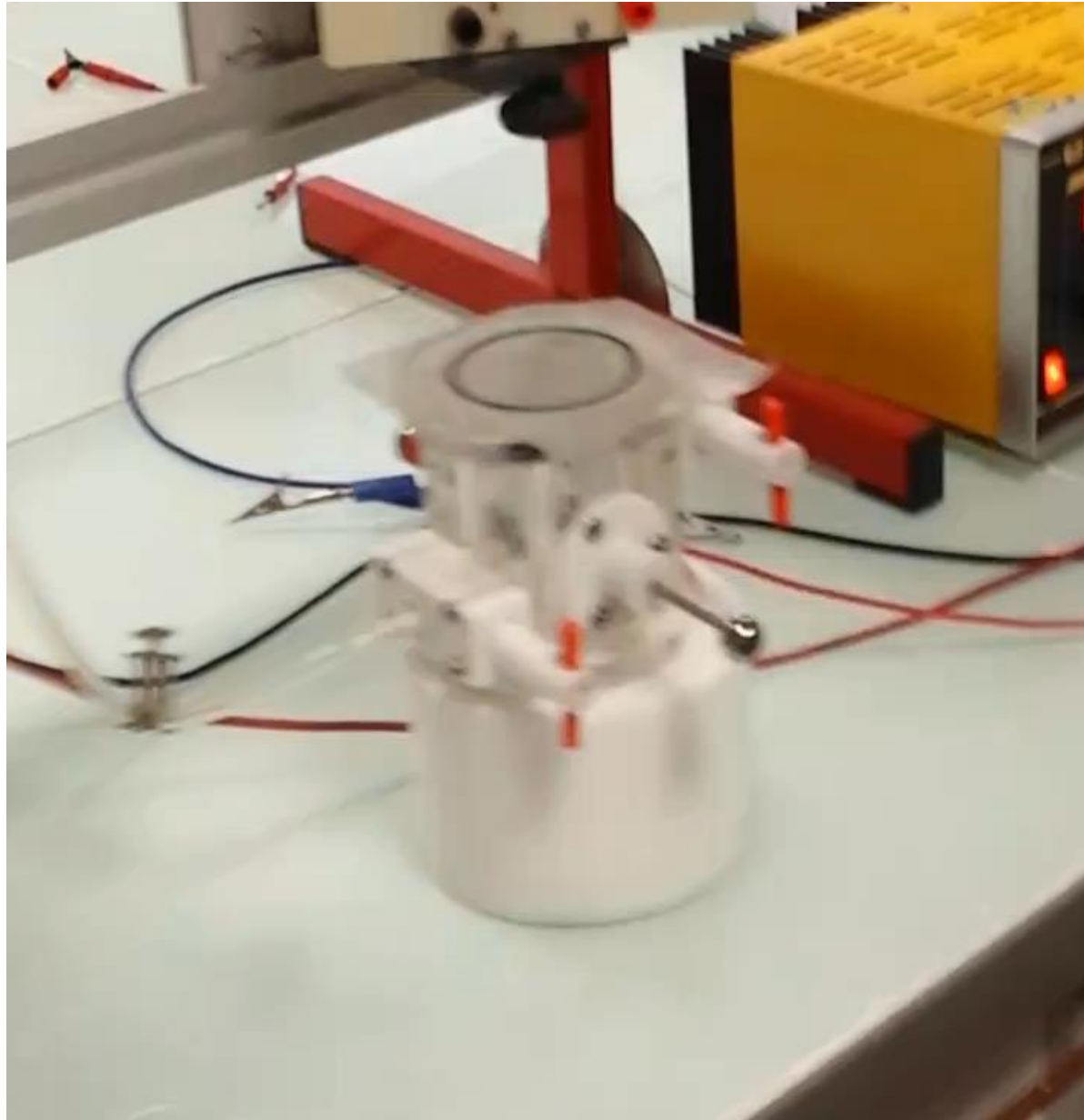
Quelques repères :

- Hydrogène : 0.017 mJ (0.0012 mJ dans l'oxygène pur)
- Méthane : 0.28 mJ
- Propane : 0.25 mJ

EMI de l'H₂ si faible qu'il est souvent difficile de déterminer la cause de l'inflammation lorsque cette dernière survient

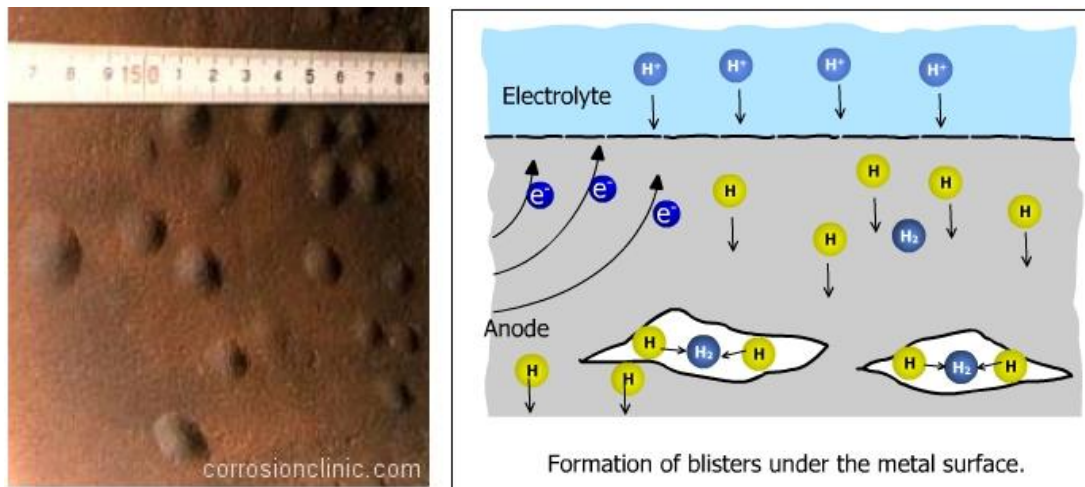
Une faible étincelle causée par la décharge d'électricité statique à partir d'un humain est susceptible d'enflammer tous ces combustibles mélangés à l'air





Fragilisation : « H2 blistering »

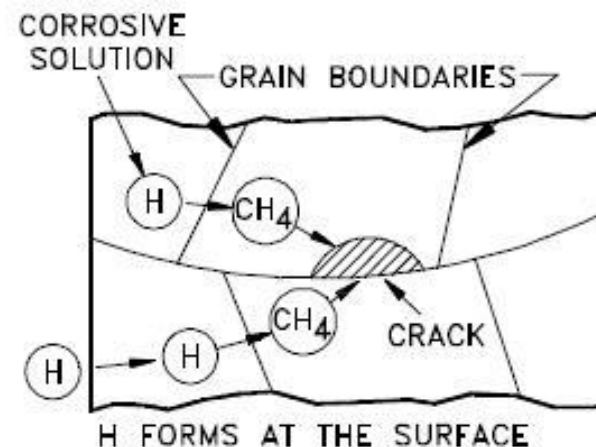
Recombinaison des atomes H dans les défauts macroscopiques ou microscopiques du métal pour former du H₂. Atteinte possible de pressions importantes conduisant à des cloques, des boursouflures



Matériaux concernés : aciers, alliages d'aluminium, alliage de titane...

Fragilisation : « H2 attack »

Par interaction avec les dislocations du réseau métallique, les atomes H entraînent une diminution importante de la capacité de déformation plastique du métal qui devient fragile



Matériaux pouvant être affectés : aciers (avec une + ou – grande sensibilité), nickel et alliages de nickel, titane et alliages de titane...

Matériaux pouvant être utilisés : laiton et alliages de cuivre, aluminium et alliages d'aluminium

Ou est la flamme d'H2 ?



Elmore et al., « Hydrogen emergency response training for first responders », International Conference on Hydrogen Safety, San Sebastian (Spain), 2009

L'explosion d'H2 sera plus ou moins sévère en fonction de plusieurs paramètres:

- Concentration en H2
- Hétérogénéité de concentration en H2
- Confinement (murs, plafond...)
- Encombrement (canalisations, équipements...)
- Turbulence de l'écoulement dans le mélange inflammable

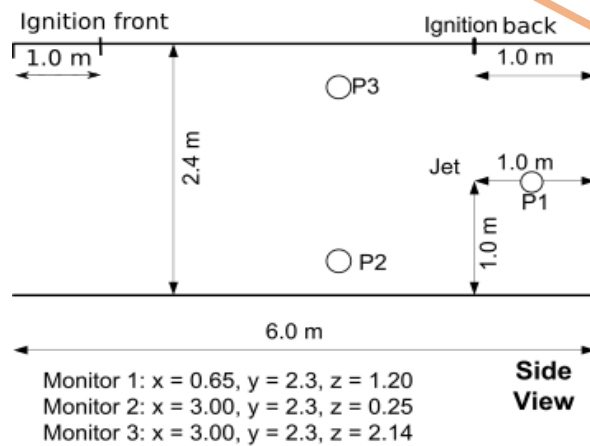
Une explosion d'H2 peut :

- Rester dans le régime de déflagration
- Transiter du régime de déflagration à celui de détonation (difficile à prévoir)
- Entrer directement dans le régime de détonation

En fonction du régime de l'explosion, les effets ne seront pas les même !

Film essais d'explosion dans chambre de 40 m3

Explosion dans un container



9 mm
24 bar
0,55 kg H₂



Source: ICHS: Ole Kristian Sommersel*, Knut Vaagsaether, Dag Bjerketvedt
 Telemark University College, Porsgrunn, Norway
 *Also: Statoil ASA, Porsgrunn, Norway

Explosion dans un espace confiné

Film explosion dans un container

Réglementation: Production d'hydrogène

La production d'hydrogène est encadré par la rubrique **ICPE 3420** Fabrication de produits chimiques inorganiques :

Fabrication en quantité industrielle par transformation chimique ou biologique de produits chimiques inorganiques, tels que :

a) Gaz, tels que ... hydrogène...

Autorisation avec rayon d'affichage de 3 km

Cette rubrique est une transposition de la directive relative aux émissions industrielles. Il existe une note interprétative de la DGPR concernant la terminologie Fabrication en quantité industrielle:

Cependant, lorsque le procédé ne présente pas d'enjeu particulier, il sera possible de ne pas juger une fabrication comme étant en « quantité industrielle » quand bien même, le produit serait commercialisé. A titre d'exemple, la fabrication d'hydrogène par électrolyse de l'eau pourrait, selon, notamment le volume d'eau consommée et des enjeux de pression sur les ressources en eau du secteur concerné ou de l'efficacité énergétique du dispositif, ne pas relever de la rubrique 3420.

L'usage de l'hydrogène est encadré par la rubrique ICPE 4715 Hydrogène:

La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant :	
1. Supérieure ou égale à 100 kg mais inférieure à 1 t	Déclaration
2. Supérieure ou égale à 1 t	Autorisation avec rayon d'affichage de 2 km
Supérieure ou égale à 5 t	Seuil SEVESO bas
Supérieure ou égale à 50 t	Seuil SEVESO haut

Le régime de déclaration est encadré avec deux arrêtés:

[Arrêté du 26/11/15](#) relatif aux prescriptions générales applicables aux installations mettant en œuvre l'hydrogène gazeux dans une installation classée pour la protection de l'environnement pour alimenter des **chariots à hydrogène gazeux** lorsque la quantité d'hydrogène présente au sein de l'établissement relève du régime de la déclaration pour la rubrique n° 4715

[Arrêté du 12/02/98](#) relatif aux **prescriptions générales** applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4715

Cadre réglementaire pour une station H2

Règlement européen :



- Règlement no 2014/94/UE - Déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs



Transposition national concernant l'hydrogène :

- Décret n° 2017-1673 du 8 décembre 2017 portant diverses mesures réglementaires de transposition de la directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs
- Arrêté du 8 décembre 2017 relatif aux caractéristiques de l'hydrogène en tant que source d'énergie pour le transport

Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) :

- Rubriques 1416 (station H2) & 3420 (production d'hydrogène) & 4715 (hydrogène)





Spécifications techniques pour les points de ravitaillement en hydrogène pour véhicules à moteur:

1. Les points de ravitaillement en hydrogène en extérieur distribuant de l'hydrogène gazeux utilisé comme carburant par des véhicules à moteur sont conformes aux spécifications techniques ISO/TS 20100 sur les stations-service distribuant du carburant d'hydrogène gazeux.
2. La pureté de l'hydrogène distribué par les points de ravitaillement en hydrogène est conforme aux spécifications techniques incluses dans la norme ISO 14687-2.
3. Les points de ravitaillement en hydrogène emploient des algorithmes et équipements de remplissage conformes à la spécification ISO/TS 20100 sur les stations-service distribuant du carburant d'hydrogène gazeux.
4. Les connecteurs de véhicules à moteur pour le ravitaillement en hydrogène gazeux sont conformes à la norme ISO 17268 relative aux dispositifs de raccordement pour le ravitaillement des véhicules à moteur en hydrogène gazeux.

Les stations service d'hydrogène sont encadrées par la rubrique ICPE 1416:

Stations-service : installations, ouvertes ou non au public, où l'hydrogène gazeux est transféré dans les réservoirs de véhicules, la quantité journalière d'hydrogène distribuée étant supérieure ou égale à 2 kg/ jour.:

Déclaration avec
contrôle
périodique

Le régime de déclaration est encadre avec l'arrêté suivante:

Régime de la déclaration : Arrêté du 22/10/18 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 1416 (station de distribution d'hydrogène gazeux) de la nomenclature des installations classées et modifiant l'arrêté du 26 novembre 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations mettant en œuvre l'hydrogène gazeux dans une installation classée pour la protection de l'environnement pour alimenter des chariots à hydrogène gazeux lorsque la quantité d'hydrogène présente au sein de l'établissement relève du régime de la déclaration pour la rubrique n° 4715 et modifiant l'arrêté du 4 août 2014 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4802.

Champ d'application

Stations-services ouvertes ou non au public, distribution pour réservoir de véhicules > 2 kg d'H₂/jour

Objectifs : Assurer la sécurité avec un contrôle périodique par un organisme agréé

Prescriptions principales :

- Limiter les volumes explosibles :
 - Limitation des pressions à la borne de distribution (350 & 700 bar)
 - Limitation par conception des débits de fuite maximaux à 60 g/s (VL) & 120 g/s (PL)
- **Fonctionnement en milieu non confiné et non encombré** : distances d'isolement proportionnées aux débits de distribution de l'hydrogène et éventuellement réduites avec mesures de maîtrise des risques adaptées
- **Dispositifs d'urgence et systèmes de sécurité**: détecteurs d'hydrogène, de pression, moyens d'alerte et de communication, etc. à mettre en œuvre

Principales barrières de sécurité au niveau de la distribution (1)

Concernant le scénario de perte de confinement au niveau du flexible de la borne de distribution (donc à l'extérieur), les barrières de sécurité sont :

- **test d'étanchéité** avant chaque remplissage avec interruption de l'opération de remplissage en cas de détection de fuite ;
- **limitation passive du débit** dans le flexible (orifice calibré ou vanne de laminage dans un coffre plombé) de 60 g/s (VL) et 120 g/s (PL) pour maîtriser les distances d'effets en cas de rupture ;
- **système de protection** des équipements **contre les chocs** physiques (protection en cas de collision avec un véhicule) ;
- **sol dissipatif** (revêtement spécifique) pour **limiter les effets électrostatiques** (comme source d'inflammation) ;
- **remplacement périodique du flexible**, selon les préconisations du fournisseur, pour limiter la probabilité d'une défaillance mécanique ;

- **limitation de la présence d'hydrogène** aux équipements de distribution pendant les phases de remplissage pour limiter les conséquences d'une fuite ou rupture dans le temps ;
- **système anti-arrachement** permettant la mise en sécurité en cas d'arrachement du flexible (par exemple si une voiture part avec le flexible encore attaché) ;
- **bouton d'arrêt d'urgence** sur la borne, qui dépressurise l'hydrogène contenu dans le flexible de distribution en l'évacuant par un évent et met l'installation en sécurité.

Organismes de référence en lien avec l'hydrogène

- International Fire Code (IFC)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- European Industrial Gases Association (EIGA)
- Society of Automotive Engineers (SAE International)
- ISO/TC 22/SC 37 Electrically propelled vehicles
- ISO/TC 22/SC 41 Specific aspects for gaseous fuels
- ISO/TC 197 Hydrogen technologies
- ISO/TC 105 Technologies des piles à combustible
- CEN/TC 268 on Cryogenic Vessels and Hydrogen Technologies
- CEN/TC 234 Gas infrastructure
- CEN-CENELEC/TC 6 Hydrogen
- CEN - CENELEC Sector Forum Energy Management/Working Group Hydrogen
- AFNOR/E29D - Technologies de l'hydrogène

Conclusions

Les problématiques de sécurité concernant l'hydrogène énergie sont couvertes :

- Par des textes existants et applicables mais non spécifiques à ces installations (normes, directives,...)
- Par les connaissances et le savoir faire des acteurs de la filière
- Par une réglementation et normatif en cours d'élaboration



Intérêt de l'hydrogène :

- ⇒ Si l'énergie mobilisée pour produire l'hydrogène est elle-même renouvelable ou dé-carbonée.
- ⇒ Si les bénéfices environnementaux sont confirmés
- ⇒ Si un cadre favorable (marché CO₂) permet de réduire les investissements et leur durée

Incertitudes / Risques :

Compétitivité-prix future des installations

Perception, acceptation des dangers liés à l'hydrogène



maîtriser le risque
pour un développement durable