

D 4.4

Lignes directrices et bonnes pratiques pour les premiers intervenants



The project is supported by the Clean Hydrogen Partnership and its members.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Clean Hydrogen Partnership. Neither the European Union nor the Clean Hydrogen Partnership can be held responsible for them.

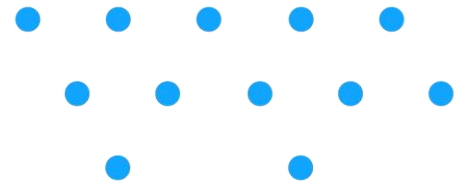


 www.hypop-project.eu

 info@hypop-project.eu

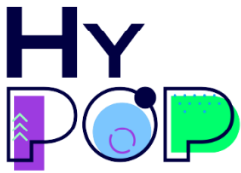
#HYPOPPROJECT





D 4.4	Lignes directrices et bonnes pratiques pour les premiers intervenants
TYPE DE LIVRABLE	Rapport
MOIS ET DATE DU LIVRABLE	Mois 28, 30/09/2025
LOT DE TRAVAIL	WP 4
RESPONSABLE	ENVI
NIVEAU DE DIFFUSION	Public
AUTEURS	Mattia Miglietta
PROGRAMME	HORIZON EUROPE
ACCORD DE SUBVENTION	101111933
DÉBUT	Juin 2023
DURÉE	28 mois





Contributeurs

NOM	ORGANISATION
Mattia Miglietta	ENVI
NOM DEUX ICI	ORGANISATION 2
NOM TROIS ICI	ORGANISATION 3

Évaluations par les pairs

NOM	ORGANISATION
Ilaria Schiavi	ENVI
María Panadero	CNH2

Historique des révisions

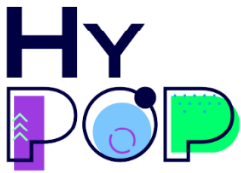
VERSION	ORGANISATION	RÉVISEUR	MODIFICATIONS
1	ENVI	Ilaria Schiavi	Première version pour examen par le consortium
2	ENVI	Mattia Miglietta	Deuxième version après commentaires du CNH2

Les informations et opinions exprimées dans le présent rapport sont celles de l'auteur (ou des auteurs) et ne reflètent pas nécessairement l'opinion officielle de l'Union européenne, ni celle des institutions et organes de l'Union européenne, ni celle des personnes agissant en leur nom.



Table des matières

1	À propos du projet HYPOP	9
2	Documents relatifs aux lignes directrices HYPOP	9
3	Comment utiliser les lignes directrices HYPOP en matière de sécurité	10
4	Principes fondamentaux de la sécurité de l'hydrogène et des technologies de l'hydrogène 12	
4.1	Sécurité de l'hydrogène : propriétés et comparaisons avec les carburants conventionnels	14
4.1.1	Avantages en matière de sécurité.....	17
4.1.2	Inconvénients en matière de sécurité.....	18
4.2	Sécurité de l'installation : principes de base de l'analyse des risques et atmosphères potentiellement explosives – ATEX	22
4.3	Interaction avec la planification : sélection et caractérisation du site	25
4.4	Approches de sécurité pour les projets liés à l'hydrogène : mesures de prévention et d'atténuation.....	25
4.4.1	Production d'hydrogène renouvelable par électrolyse pour des applications industrielles 25	
4.4.2	Stockage d'hydrogène comprimé pour les secteurs de l'industrie et de la mobilité.....	32
4.4.3	Stations de ravitaillement en hydrogène.....	33
4.4.4	Piles à combustible pour les secteurs de l'énergie et du résidentiel.....	36
5	Méthodologies d'évaluation des risques.....	41
6	Recommandations et actions HYPOP pour accélérer les procédures d'acceptation et de sécurité.....	43
7	Méthodologie.....	51
8	Conclusions.....	58
9	Annexe A.....	60
i.	Lignes directrices de l'UE.....	60
ii.	Preuves de l'existence de réglementations relatives à la sécurité des projets H2 dans l'UE 63	
iii.	Références de base pour les réglementations, codes et normes (RCS)	71
iv.	Ateliers techniques HYPOP	73
	Atelier technique : Espagne	73
	Atelier technique : Italie	74
	Atelier technique : Belgique	75
	Atelier technique : Bulgarie	75
	Atelier technique : Pologne	76



v. Analyse technique des exigences et des obstacles en matière de sécurité : complément de HYPOP D2.1.....	77
CROATIE	77
CHYPRE.....	79
RÉPUBLIQUE TCHÈQUE	80
LITUANIE	85
MALTE.....	87
SLOVAQUIE.....	87

Index des tableaux

Tableau 1 Guide du contenu des directives de sécurité HYPOP.....	10
Tableau 2 Principales propriétés de l'hydrogène (quelques informations supplémentaires à titre pédagogique)	14
Tableau 3 Formes typiques de l'hydrogène, conditions de fonctionnement et applications	15
Tableau 4 Paramètres utiles pour le développement et la gestion de projets en toute sécurité (matériel pédagogique supplémentaire)	15
Tableau 5 Plages d'inflammabilité des combustibles par rapport à H ₂	19
Tableau 6 Défaillances, risques et mesures de prévention/atténuation pour les piles à électrolyse	27
Tableau 7 Risques associés aux composants BoP de la production d'hydrogène qui affectent la sécurité et mesures de prévention et d'atténuation applicables	29
Tableau 8 Risques et mesures de prévention/atténuation pour le stockage d'hydrogène comprimé pour l'industrie et la mobilité.....	32
Tableau 9 Défaillances potentielles, détection et mesures de sécurité pour les composants HRS	34
Tableau 10 Types et applications des piles à combustible (matériel pédagogique supplémentaire).....	37
Tableau 11 Risques et mesures de prévention/atténuation pour les systèmes de piles à combustible utilisés dans les applications énergétiques et résidentielles	37
Tableau 12 POURQUOI, QUAND et QUEL est l'importance de l'analyse des risques pour les projets 2	41
Tableau 13 Analyses qualitatives et quantitatives des risques identifiées à partir des meilleures pratiques HYPOP	41
Tableau 14 Mesures pratiques/recommandations HYPOP et avantages attendus	43
Tableau 15 Forces et limites des approches prescriptives et basées sur les performances.....	46
Tableau 16 Avantages d'une présentation précoce du projet aux autorités publiques	47
Tableau 17 Activités menées dans le cadre des lots de travail 2 et 4 afin d'obtenir des informations sur les approches en matière de sécurité pour les projets 2	51
Tableau 18 Contributeurs à HYPOP : projets de l'UE, autorités publiques et entités privées ..	52
Tableau 19 Paramètres de sécurité et d'autorisation utilisés pour effectuer une analyse des forces et des faiblesses.....	56
Tableau 20 Directives de sécurité de l'UE identifiées dans HYPOP	60



Tableau 21 Réglementations de sécurité existantes de l'UE pour les projets 2	63
Tableau 22 Références de base pour les réglementations, codes et normes	71
Tableau 23 Quantités limites de substances dangereuses issues du règlement sur la prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses	77
Tableau 24 Distances de sécurité selon la norme NFPA-2/2020 (Croatie).....	78
Tableau 25 Distances de sécurité requises en République tchèque	83

Index des figures

Figure 1 Directives de sécurité HYPOP	45
Figure 2 Couverture géographique de la recherche sur les thèmes de la sécurité, des autorisations et de la certification	56
Figure 3 Carte des forces et faiblesses selon les paramètres de sécurité (à gauche) et les paramètres d'autorisation (à droite) du WP2	57

Abréviations des partenaires

ENVI	Parco Scientifico Tecnologico Per L'ambiente Environment Park Torino Spa
IMI	Institut pour l'innovation méthodologique
IME	Fondation IMDEA Energia
APRE	Agence pour la promotion de la recherche européenne
CNH2	Centre national de l'hydrogène
RIGP	Chambre régionale de commerce de Poméranie
CLUSTER TWEED	Cluster Tweed
BH2C	Cluster balkanique de l'hydrogène

Abréviations

ATEX	<i>Atmosphères Explosibles</i> – Directives européennes relatives aux équipements et lieux de travail dans des atmosphères potentiellement explosives
BoP	Équilibre de l'usine
EES	Systèmes d'arrêt d'urgence
HAZID	Identification des dangers
HAZOP	Étude des risques et de l'exploitabilité
IEC	Commission électrotechnique internationale
ISO	Organisation internationale de normalisation
LEL	Limite inférieure d'explosivité
LOI	Indice limite d'oxygène
GPL	Gaz de pétrole liquéfié



EPI
PSV
WFMPPT

Équipement de protection individuelle
Soupape de sécurité
Contrôle par particules magnétiques fluorescentes humides



Résumé

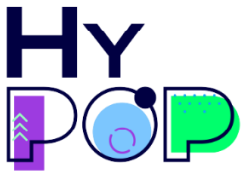
HYPOP a été créé avec un objectif simple mais ambitieux : aider les citoyens, les autorités publiques, les fabricants et les premiers utilisateurs à faire confiance aux technologies de l'hydrogène, en particulier dans les secteurs émergents tels que la mobilité et le résidentiel, où la transition est plus complexe. Plus précisément, l'accent est mis sur la sécurité, l'autorisation et la certification des technologies de l'hydrogène, dans le but de déterminer s'il est possible d'adopter une approche commune à l'échelle européenne. Cependant, l'écoute des parties prenantes et l'analyse de cas dans différents pays révèlent une situation inégale en matière d'autorisations de sécurité : les règles sont interprétées différemment selon les régions ; le niveau de connaissance technique des propriétés de l'H₂ varie, et il semble y avoir des fluctuations entre les réglementations prescriptives et les approches « performantes » basées sur les risques. Cela se traduit par des processus d'autorisation longs et imprévisibles, des marges de sécurité incohérentes (parfois excessives, parfois peut-être insuffisantes), des coûts indirects plus élevés et, assez souvent, une méfiance du public.

Les lignes directrices de sécurité HYPOP soutiennent une approche commune et reposent sur deux piliers : **les actions techniques et le transfert de connaissances pour sensibiliser le public.**

Sur le plan technique, le document fournit une terminologie et des concepts de base pour aborder la sécurité de l'hydrogène et ses technologies habilitantes, en partant des principes généraux (propriétés fondamentales du gaz, évaluation des risques, sélection des sites) jusqu'aux points spécifiques à prendre en compte pour les différentes technologies liées à l'hydrogène. Étant donné que **l'inflammabilité et l'explosivité** de l'hydrogène constituent un danger majeur, nous faisons explicitement référence au **cadre ATEX** (équipements/opérations dans des atmosphères potentiellement explosives) et résumons les **méthodes d'analyse des risques les plus courantes** identifiées lors de la consultation des parties prenantes dans le cadre du projet HYPOP (des outils qualitatifs HazID/HAZOP aux outils quantitatifs). Sur la base de ces éléments fondamentaux, nous décrivons les **principaux risques, les mesures préventives et d'atténuation** et, le cas échéant, **les avantages pratiques** qui en découlent pour les parties prenantes.

Le deuxième pilier aborde la **dimension sociale et l'acceptation**, en proposant des recommandations et des mesures pratiques pour remédier : (i) aux lacunes réglementaires ou aux interprétations divergentes (y compris entre les régions/bureaux locaux) ; (ii) l'expérience pratique limitée des autorités en matière de normes techniques, de méthodes d'évaluation des risques et de spécificités de l'hydrogène ; (iii) le recours défensif à des règles rédigées pour d'autres combustibles (gaz naturel/GPL) et l'application partielle d'autres règles qui ne sont pas adaptées aux projets liés à l'hydrogène ; (iv) les procédures itératives et lentes dues à des demandes de données ad hoc ; et (vi) la méfiance du public.

Ces recommandations sont regroupées dans une proposition de **norme, une feuille de route étape par étape en matière de sécurité** – depuis l'engagement précoce des autorités jusqu'à l'évaluation proportionnée des risques, le zonage ATEX, la sélection des barrières et la planification d'urgence – conçue pour **accélérer l'approbation** tout en garantissant **un dossier de sécurité documenté et solide** pour les projets liés à l'hydrogène.



1 À propos du projet HYPOP

HYPOP – Hydrogen Public Opinion and Acceptance (Opinion publique et acceptation de l'hydrogène) est un projet financé par le Clean Hydrogen Partnership dans le cadre du programme européen Horizon Europe (GA n° 101111933). Son objectif général est de sensibiliser le public et de renforcer sa confiance envers les technologies de l'hydrogène et leurs avantages systémiques, en mettant l'accent sur la mobilité et les applications résidentielles.

Les résultats présentés dans ce document font référence à l'un des principaux résultats attendus du projet HYPOP : l'élaboration de lignes directrices et de bonnes pratiques qui aideront à définir plus efficacement comment les citoyens, les consommateurs/utilisateurs finaux et les parties prenantes peuvent être impliqués dans la mise en œuvre des technologies de l'hydrogène.

Ce document a été élaboré à partir de l'analyse des pratiques actuelles et de l'interaction avec de nombreuses parties prenantes. Les groupes cibles des activités d'engagement étaient les fabricants de technologies, les premiers utilisateurs de ces technologies et les autorités publiques (par exemple, les premiers intervenants, les municipalités, etc.) impliquées dans les procédures de sécurité, d'autorisation et de certification dans les différents pays de l'UE.

2 Documents d'orientation HYPOP

Ce document fait partie d'un ensemble de lignes directrices axées chacune sur l'un des thèmes suivants :

- Sécurité (le présent document),
- Autorisation (livrable D4.3) et
- Certification (livrable D4.5).

La sécurité est l'un des piliers du cadre d'autorisation, abordé dans le document D4.3, mais elle nécessite une attention particulière car elle englobe à la fois des questions sociales et techniques. Les procédures de sécurité font souvent référence à des aspects et/ou des normes de certification, qui sont couverts dans le document D4.5. En raison de ces liens existants, dans la mesure du possible, des renvois entre les trois lignes directrices ont été intégrés afin d'aider les utilisateurs.



3 Comment utiliser les lignes directrices HYPOP en matière de sécurité

Les utilisateurs de ces lignes directrices doivent se reporter au tableau ci-dessous pour une description du contenu de ce document. Bien qu'il soit recommandé de lire au moins une fois dans leur intégralité les sections 4 et 5, il est possible de se référer uniquement aux applications spécifiques qui vous intéressent, décrites dans la section 4.3. La section 6 présente une approche globale qui pourrait favoriser l'interaction entre les différentes parties prenantes.

Tableau 1 Guide du contenu des directives de sécurité HYPOP

Section	Contenu
4 -Principes de base de la sécurité de l'hydrogène et des technologies de l'hydrogène	Il décrit les caractéristiques de l'hydrogène en tant que substance, en soulignant leur impact sur la sécurité . La connaissance de ces propriétés est essentielle pour comprendre les mesures de prévention et d'atténuation de base. Il décrit ce qu'un acteur doit prendre en considération lorsqu'il évalue un projet impliquant des technologies individuelles de l'hydrogène (la combinaison de plusieurs technologies de l'hydrogène relève généralement des applications industrielles, de la mobilité, etc., décrites dans la sous-section 4.3). En outre, il est fait mention de l'évaluation des risques et une attention particulière est accordée à la directive ATEX , qui doit être prise en compte par toutes les technologies utilisées dans des environnements où l'hydrogène est utilisé, car elle concerne l'inflammabilité et donc les phénomènes explosifs qui pourraient impliquer des personnes présentes dans une installation industrielle de production et/ou de stockage d'hydrogène, dans une station de ravitaillement, fixe ou mobile, et dans des applications résidentielles.
4.4 -Interaction avec la planification : sélection et caractérisation du site Le choix d'un site pour une installation à hydrogène devient un facteur supplémentaire d'importance significative, parallèlement aux considérations de sécurité pour les technologies individuelles . Par conséquent, le choix du site doit être basé sur une	Cette sous-section rassemble toutes les informations relatives à la sécurité, à commencer par les propriétés fondamentales de l'hydrogène, le fonctionnement et la sécurité des différentes technologies, les analyses ATEX et les méthodes d'analyse des risques. Ces connaissances convergent lorsque plusieurs technologies liées à l'hydrogène doivent être canalisées vers un contexte d'application spécifique. Les chapitres de cette sous-section fournissent donc une approche générale de la sécurité pour différents contextes, tels que la production d'hydrogène par électrolyse pour des applications industrielles et autres, pour les stations de ravitaillement fixes et mobiles, et pour les systèmes de piles à combustible installés dans des contextes résidentiels.

Section	Contenu
<p>analyse multicritère qui tient compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les affectations des sols et la compatibilité avec l'urbanisme, y compris les contraintes liées aux espèces protégées ou autres limites environnementales. • Les distances par rapport aux zones densément peuplées et aux bâtiments publics. Il vaut mieux éviter les zones encombrées. • La disponibilité de l'électricité et de l'eau. (La disponibilité de l'eau est un facteur de risque si le site se trouve dans une zone où l'eau est rare). • L'absence d'obstacles susceptibles de favoriser la stagnation des gaz. • La vérification de l'accès des pompiers/véhicules d'urgence et de l'emplacement des bouches d'incendie (en lien avec les 	

Section	Contenu
<p>distances de sécurité).</p> <ul style="list-style-type: none"> Évaluation des interférences : lignes électriques aériennes, voies ferrées, flux de circulation intense, zones ATEX existantes, autres réservoirs de carburant. <p>De plus amples détails sur certains de ces aspects sont fournis dans le livrable D4.3.</p> <p>Approches de sécurité pour les projets liés à l'hydrogène : mesures de prévention et d'atténuation</p>	
<p>5 - Méthodologies d'évaluation des risques de Méthodologies d'évaluation des risques</p>	<p>Ce chapitre décrit ce que sont les analyses de risques, pourquoi elles sont utilisées et quand. Il fournit ensuite des informations générales sur les approches méthodologiques qui doivent toujours accompagner un projet hydrogène, quelle que soit son application.</p>
<p>6 -Recommandations et actions HYPOP pour accélérer les procédures d'acceptation et de sécurité</p>	<p>Il classe les principaux points critiques, les actions pratiques et les recommandations, ainsi que les avantages à les traiter. HYPOP propose une procédure standard (« HYPOP Safety Guidelines ») conçue pour faciliter l'interaction entre les autorités publiques et les concepteurs. Ces derniers pourront ainsi soumettre des projets liés à l'hydrogène en suivant une philosophie de sécurité partagée, compréhensible et acceptée par les autorités publiques (par exemple, les premiers intervenants, etc.) et les citoyens dans les plus brefs délais.</p>
<p>7 - Méthodologie de Méthodologie</p>	<p>Elle décrit l'approche méthodologique suivie pour collecter les données nécessaires à l'élaboration des lignes directrices. Elle donne ensuite un aperçu des parties prenantes qui ont contribué, du type d'activités de recherche menées et un résumé graphique des résultats obtenus à partir de la recherche</p>



Section	Contenu
	technique sur les exigences de sécurité et les obstacles identifiés dans le livrable 2.1.
8 - <i>Conclusions de Conclusions</i>	Elle fournit un récapitulatif des recherches menées par HYPOP pour élaborer les lignes directrices en matière de sécurité.



4 Principes de base de la sécurité de l'hydrogène et des technologies de l'hydrogène

La sécurité est une notion intangible, sujette à interprétation, ce qui limite à la fois sa compréhension scientifique et sa mise en œuvre pratique. En ingénierie de la sécurité, diverses définitions de la sécurité sont proposées. Voici quelques définitions couramment citées :

- « Absence de risque inacceptable pour l'extérieur provenant des unités fonctionnelles et physiques considérées » – tiré du vocabulaire électrotechnique en ligne¹ ;
- « Absence de risque intolérable » – tiré du guide ISO/IEC 51:2014², où le risque est défini comme « la combinaison de la probabilité de survenue d'un dommage et de la gravité de ce dommage » ;
- « Absence de risque inacceptable » – tiré de la norme ISO 11014:2009³.

La sécurité de toute installation est étroitement liée au concept de risque qui, tel que défini ci-dessus, résulte de la combinaison :

- **La probabilité** qu'un événement dangereux se produise (survenue accidentelle) et
- **La gravité** de ses conséquences (l'ampleur potentielle des dommages).

Cette probabilité n'est pas seulement une probabilité théorique, elle tient également compte :

- La fréquence à laquelle on est exposé à la situation dangereuse,
- La survenue effective de l'événement préjudiciable, et
- La possibilité d'éviter ou de limiter les dommages (par exemple, grâce à des systèmes d'alarme, des distances de sécurité ou la formation du personnel).

L'utilisation de l'hydrogène comporte certains risques liés aux caractéristiques de la substance elle-même, comme détaillé ci-dessous. Cependant, avec des protocoles de sécurité et des mesures d'atténuation des risques appropriés, **l'hydrogène et les technologies basées sur l'hydrogène ne sont pas intrinsèquement plus dangereux que les combustibles conventionnels ou d'autres solutions durables alternatives aux combustibles fossiles**. De plus, ces risques ne dépendent pas du pays. En d'autres termes, **la sécurité de l'hydrogène peut et doit être assurée de la même manière dans tous les pays de l'UE**. Cela offre la possibilité d'adopter **des solutions reproductibles** au-delà des frontières, ce qui permet de rationaliser les procédures administratives et de réduire les coûts des projets.

Les sous-sections suivantes visent à fournir les bases nécessaires pour comprendre comment traiter de manière générale l'hydrogène et les technologies spécifiques liées à l'hydrogène.

¹ <https://www.electropedia.org/>

² <https://www.iso.org/standard/53940.html>

³ <https://www.iso.org/standard/44690.html>





4.1 Sécurité de l'hydrogène : propriétés et comparaisons avec les combustibles conventionnels

L'hydrogène est l'élément le plus léger et le plus petit qui soit. Il se présente sous forme gazeuse dans **les conditions atmosphériques normales (température et pression standard, 25 °C et 1 atm)**. L'hydrogène est une substance incolore, inodore, insipide, non toxique et non nocive. Il est également non corrosif, mais peut fragiliser certains métaux. Les propriétés physico-chimiques typiques de l'hydrogène sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau2 Principales propriétés de l'hydrogène (quelques ressources pédagogiques supplémentaires⁴)

Propriété	Valeur	Unité (SI)
Température d'auto-inflammation	500	°C
Point d'ébullition (1 atm)	-252,9	°C
Densité (NTP)	0,08375	kg m ⁻³
Coefficient de diffusion dans l'air (NTP)	0,610	cm ² s ⁻¹
Enthalpie (NTP)	3858,1	kJ kg ⁻¹
Entropie (NTP)	53,14	J g ⁻¹ K ⁻¹
Température de la flamme dans l'air	2045	°C
Plage d'inflammabilité dans l'air	4,0 - 75,0	vol
Énergie d'inflammation dans l'air	2×10^{-5}	J
Énergie interne (NTP)	2648,3	kJ kg ⁻¹
Poids moléculaire	2,02	g mol ⁻¹
Densité relative (air = 1) (NTP)	0,0696	—
Volume spécifique (NTP)	11,94	m ³ kg ⁻¹
Chaleur spécifique, C_p (NTP)	14,29	J g ⁻¹ K ⁻¹
Chaleur spécifique, C_v (NTP)	10,16	J g ⁻¹ K ⁻¹
Conductivité thermique (NTP)	0,1825	W m ⁻¹ K ⁻¹
Viscosité (NTP)	$8,813 \times 10^{-5}$	g cm ⁻¹ s ⁻¹

*NTP = 1 atm, 20 °C (conditions normales de température et de pression).

L'hydrogène peut également exister sous forme liquide lorsque certaines conditions de température et de pression sont réunies (son point d'ébullition est de -253 °C à 1 atm). Le terme « *hydrogène cryogénique* » est souvent utilisé de manière plus générale pour désigner l'hydrogène à des températures extrêmement basses (l'hydrogène liquide est donc une forme cryogénique).

⁴ <https://www.h2euro.org/hyfacts/2014/06/26/training-material/>



Selon l'application spécifique, l'hydrogène est produit et utilisé dans différentes conditions et sous différentes formes physiques.

Tableau3 Formes typiques de l'hydrogène, conditions de fonctionnement et applications

État	Plage de température	Plage de pression	Applications typiques
Gazeux (comprimé)	Ambiant (20-25 °C)	Jusqu'à 700 bars	Piles à combustible pour véhicules ; utilisations industrielles
Liquide (cryogénique)	En dessous de - 252,87 °C	1 atm	Propulsion spatiale ; stockage haute densité
Cryo-comprimé	240 - 253 °C	200 à 350 bars	Transport et distribution

Le tableau ci-dessous répertorie d'autres propriétés utiles pour le développement et la gestion sécurisés de projets, notamment le zonage ATEX des sites d'installation, les distances de sécurité, les détecteurs de gaz et de fuites, ainsi que les systèmes de protection.

Tableau4 Paramètres utiles pour le développement et la gestion sécurisés de projets (matériel pédagogique supplémentaire⁵)

Paramètre	Déflagration	Détonation	Unité
Limite inférieure d'inflammabilité	4,1	18,3	% vol
	3,6	16,1	g m ⁻³ d'air
Limite supérieure d'inflammabilité	74,0	59,0	vol %
	67	51,8	g m ⁻³ d'air
Valeur stœchiométrique de détonation dans l'air	—	29,53	vol %
Température d'auto-inflammation	574	574	°C
Énergie minimale d'inflammation	0,02	≥ 10 ⁷	mJ
Température maximale de la flamme	2318	2318	K
Énergie d'explosion	—	2,02	kg TNT m ⁻³ (gaz à NTP)

⁵ <https://hyresponder.eu/e-platform/training-materials/educational-training/lecture-2-properties-of-hydrogen-relevant-to-safety/>



Paramètre	Déflagration	Détonation	Unité
Vitesse de combustion dans l'air (dépendante de la concentration)	102 - 325	—	cm s ⁻¹
Vitesse de détonation dans l'air	—	1,48 - 2,15	km s ⁻¹



Les principales propriétés de l'hydrogène qui ont une incidence sur la sécurité sont les suivantes :

- Densité relative de vapeur
- Émissivité et température de flamme
- Intervalle d'inflammabilité
- Diffusivité
- Point d'ébullition

Les propriétés de l' H₂ seront classées ci-dessous en fonction de leur impact sur la sécurité :

- Si une propriété intrinsèque de l'hydrogène garantit une plus grande sécurité pour l'environnement et les personnes, nous la qualifions **d'avantage en matière de sécurité**.
- Si une propriété intrinsèque de l'hydrogène nécessite **des mesures d'atténuation** pour atteindre le même niveau de sécurité que les carburants traditionnels, nous parlons alors **d'inconvénient ou de désavantage en matière de sécurité**.

4.1.1 Avantages en matière de sécurité

Densité relative de vapeur

Elle fait référence au poids d'un gaz ou d'une vapeur par rapport à l'air.

- Si la valeur est **supérieure à 1**, le gaz est **plus lourd que l'air** → il a tendance à s'accumuler dans les zones basses (telles que les sous-sols ou les tranchées).
- Si la valeur est **inférieure à 1**, le gaz est **plus léger que l'air** → il a tendance à s'élever et à se disperser vers le haut.
- Si la valeur est **égale à 1**, il se comporte comme l'air et a tendance à se diffuser sans direction préférentielle.

IMPACT SUR LA SÉCURITÉ :

Dans le contexte de la sécurité des carburants, il est essentiel de comprendre la densité relative des vapeurs pour :

- Concevoir des systèmes de ventilation appropriés ;
- Évaluer le risque d'accumulation dans les espaces confinés ;
- Déterminer l'emplacement des détecteurs de fuites de gaz (par exemple, en hauteur

L'hydrogène est une molécule beaucoup plus légère que l'air et les autres combustibles conventionnels. En effet, l'hydrogène est :

- **14 fois plus léger que l'air,**
- **6 fois plus léger que le gaz naturel et**



- **57 fois plus léger que la vapeur d'essence⁶.**

Dans les applications extérieures (telles que les véhicules à hydrogène et les stations de ravitaillement), l'hydrogène a tendance à se disperser très rapidement vers le haut, ce qui réduit le risque de contact ou d'interaction avec une étincelle. Dans les espaces clos, l'hydrogène a tendance à s'accumuler immédiatement près du plafond. En comparaison, en cas de fuite, les combustibles fossiles, généralement plus lourds, ont tendance à s'accumuler et à former de larges nuages combustibles, augmentant ainsi le risque d'incendie ou d'explosion.

Émissivité et température de la flamme

La chaleur rayonnante émise par les flammes d'hydrogène est faible par rapport à celle des autres combustibles fossiles conventionnels. **Une charge thermique plus faible réduit le risque d'incendies en chaîne ou de dommages structurels à d'autres composants pouvant être présents sur le site.**

Cependant, la faible émissivité rend les flammes presque invisibles à l'œil nu, ce qui, ajouté au fait que la température de la flamme peut atteindre 2 400 °C, représente un risque. Malgré cela, dans les installations actuelles de production, de stockage et d'utilisation d'hydrogène, il est peu probable qu'une exposition se produise sans que les dispositifs d'urgence ne soient activés. Les mesures d'atténuation normales comprennent l'application de distances de sécurité minimales.

4.1.2 Inconvénients en matière de sécurité

Plage d'inflammabilité et énergie minimale d'inflammation

L'hydrogène présente une particularité qui mérite l'attention des autorités publiques chargées d'assurer la sécurité et la santé des citoyens, ainsi que des promoteurs de projets chargés d'assurer le fonctionnement des activités économiques voisines ou directement liées : son inflammabilité.

Il est également important de tenir compte de l'indice limite d'oxygène (LOI), qui correspond à la concentration minimale d'oxygène nécessaire pour entretenir la propagation d'une flamme dans un mélange de combustible, d'air et d'azote. Aucun mélange d'hydrogène, d'air et d'azote dans les conditions NTP ne propagera la flamme si le mélange contient moins de 5 % d'oxygène en volume : $LOI_{H_2} = 5$

La plage d'inflammabilité désigne l'intervalle de concentrations de gaz compris entre la **limite inférieure d'inflammabilité (LFI)** et la **limite supérieure d'inflammabilité (LSI)**.

- La **LFL** est la **concentration minimale** d'une substance combustible dans un oxydant gazeux (généralement l'air) qui peut favoriser la propagation de la flamme.
- La **LEC** est la **concentration maximale** à laquelle la combustion peut encore se produire.

L'hydrogène (et tout autre gaz) peut s'enflammer lorsque sa concentration dans l'air se situe **entre la LFL et l'UFL, à condition qu'une source d'inflammation soit présente.**

⁶ <https://h2tools.org/bestpractices/gaseous-gh2-and-liquid-h2-fueling-stations/hydrogen-compared-to-other-fuels>



IMPORTANTANCE POUR LA SÉCURITÉ :

Dans le contexte de la sécurité des carburants, il est important de surveiller les différentes sources d'inflammation susceptibles de provoquer des flammes d'hydrogène :

- Sources électriques : moteurs, interrupteurs, relais ou téléphones portables
- Électricité statique
- Charge électrique provenant du fonctionnement des équipements : provenant de tuyauteries mal mises à la terre ou non conductrices
- Sources mécaniques et impacts : étincelles provenant d'impacts
- Phénomènes de friction (surfaces frottantes)
- Sources thermiques : surfaces chaudes, etc.
- Autres sources de flammes nues : flammes nues et étincelles provenant du soudage, de la combustion ou du meulage
- Surfaces chaudes (par exemple, un collecteur d'échappement)
- Échappement des véhicules
- Sources chimiques

Compte tenu de ces sources d'inflammation, une propriété de l'hydrogène associée à l'inflammabilité est l'énergie minimale d'inflammation (MIE). Elle est définie comme l'énergie électrique minimale nécessaire pour enflammer un mélange de substances inflammables et peut varier en fonction de la température et de la pression : MIE = 0,017 mJ. Ce chiffre est inférieur à un dixième de celui d'autres combustibles courants tels que le méthane, le GPL ou l'essence.

Lorsque la concentration d'hydrogène dans l'air atteint 4 % à 75 % (les limites d'explosivité), il peut s'enflammer sous l'effet d'une flamme nue, de l'électricité statique ou d'une température élevée (≥ 500 °C). Cette plage d'inflammabilité est beaucoup plus large que celle des autres combustibles conventionnels (par exemple, l'essence a une plage d'inflammabilité de 1 à 7,6 %, celle du propane est de 2,2 à 9,6 % et celle du méthane est de 5,3 à 15 %).

Tableau5 Plages d'inflammabilité des combustibles par rapport à H₂⁷

Combustible	Point d'éclair (°C)	Plage d'inflammabilité dans l'air (vol %)
Hydrogène	-231	4 - 75
Méthane	-188	5,3 - 15
Propane	-104	2,2 - 9,6
Essence	-45	1 - 7,6
Méthanol	11	6 - 36,5
Éthanol (70 %)	17	3,3 - 19
Kérosène	36	0,7 - 5
Carburant pour avions	60	0,7 - 5

⁷ <https://hyresponder.eu/e-platform/training-materials/educational-training/lecture-2-properties-of-hydrogen-relevant-to-safety/>



Combustible	Point d'éclair (°C)	Plage d'inflammabilité dans l'air (vol %)
Diesel	62	0,6 – 5,5
Biodiesel	130	0,6 – 6

Température d'éclair : température minimale à laquelle un combustible produit suffisamment de vapeurs à sa surface pour former un mélange inflammable avec l'air (dans ce cas, une source d'inflammation est toujours nécessaire).

Diffusivité

Elle quantifie la vitesse à laquelle les molécules de gaz se déplacent d'une région à forte concentration vers une région à faible concentration, en suivant un gradient de concentration. Bien que cette propriété soit liée à la faible densité relative de vapeur de l'hydrogène, qui réduit la durée pendant laquelle une atmosphère explosive peut persister, elle ne peut être considérée comme un avantage global en matière de sécurité.

IMPACT SUR LA SÉCURITÉ :

Dans le contexte de la sécurité des carburants, l'hydrogène peut imprégner de nombreux matériaux, ce qui rend la formation de mélanges explosifs plus probable, même dans des espaces très confinés. De même, une fois qu'un tel mélange s'enflamme, le front de flamme se propage beaucoup plus rapidement précisément en raison de la diffusivité élevée de l'hydrogène.

Point d'ébullition

Le point d'ébullition est une propriété fondamentale qui influe directement sur la sécurité et les risques potentiels pour la santé en cas de contact direct avec de l'hydrogène liquide ou des vapeurs d'hydrogène. Le **point d'ébullition normal (NBP)** de l'hydrogène est d'environ **20,3 K (-252,9 °C)**.

IMPACT SUR LA SÉCURITÉ :

Les effets négatifs, résultant des changements rapides de l'état liquide à d'autres formes d'hydrogène telles que le gaz, peuvent être les suivants :

- **Le contact direct de la peau** avec l'hydrogène liquide peut provoquer **des brûlures cryogéniques**. De même, **l'inhalation de vapeurs d'hydrogène** peut entraîner **des problèmes respiratoires tels que l'asphyxie**, en raison du déplacement de l'oxygène dans des environnements confinés ou mal ventilés.
- Des expansions importantes de l'hydrogène, entraînant une forte augmentation de la pression et la **propagation horizontale** possible de l'hydrogène libéré.

Mesures d'atténuation : Une ventilation adéquate, des systèmes de surveillance de l'oxygène et une isolation thermique sont des mesures d'atténuation essentielles pour garantir une manipulation sûre de l'hydrogène liquide/cryogénique. De plus, utilisez des conteneurs cryogéniques spéciaux, tels que des récipients à double paroi et isolés sous vide, et sélectionnez des matériaux capables de résister à des contraintes thermiques extrêmes sans devenir cassants.





4.2 Sécurité des installations : principes de base de l'analyse des risques et des atmosphères potentiellement explosives – ATEX

Pour toute installation, l'évaluation de la sécurité du projet doit inclure des informations sur les analyses de risques effectuées pour :

- le bon fonctionnement des technologies (hydrogène) elles-mêmes ;
- les défaillances potentielles et les effets en cascade sur d'autres équipements ;
- les équipements situés dans la zone d'installation ;
- les phénomènes de vieillissement susceptibles de compromettre le bon fonctionnement des équipements ;
- les erreurs humaines dues à une utilisation et à une maintenance incorrecte des différents systèmes.

Il est important de réaliser des évaluations qualitatives des risques (EQR) pour les cas relevant des réglementations nationales/locales applicables, ainsi que des EQR ciblées pour les situations plus complexes en termes de technologie utilisée, de caractéristiques du site ou d'aspects non couverts par les règles de sécurité existantes (le cas échéant). Pour plus d'informations sur les méthodologies courantes d'évaluation des risques identifiées dans le projet HYPOP, consultez la section 5.

L'analyse des risques doit être intégrée à la classification des zones ATEX, qui implique :

- la cartographie des zones 1/2 autour des points de rejet probables/occasionnels ;
- définir le volume effectif en fonction des paramètres de ventilation ;
- la séparation des équipements non Ex ;
- l'optimisation de l'agencement afin de minimiser le chevauchement entre les zones dangereuses et les voies d'évacuation.

La directive 2014/34/UE (ATEX) est la réglementation la plus couramment appliquée pour prévenir et protéger un site contre les explosions accidentelles⁸. Elle est particulièrement pertinente pour toutes les installations utilisant du gaz, y compris les technologies à hydrogène. Associée aux analyses de risques décrites dans la section 5, la documentation ATEX se concentre sur la classification des zones à risque d'explosion. Elle constitue une condition préalable à la conception et à l'installation de systèmes électriques et, plus largement, est essentielle à toute évaluation globale de la sécurité. Pour cette raison, et compte tenu des caractéristiques décrites ci-dessus, la classification ATEX figure dans les différents rapports de sécurité que les ingénieurs en protection incendie soumettent aux autorités compétentes.

⁸ https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/mechanical-engineering/equipment-potentially-explosive-atmospheres-atex_en

Quel est l'objectif de la classification des zones dangereuses ?

- Soutenir l'évaluation des risques liés aux « atmosphères explosives ».
- Définir les exigences essentielles en matière de sécurité contre les explosions pour les produits électriques et non électriques et pour leur installation dans une zone dangereuse, en veillant à ce qu'ils ne puissent pas enflammer les atmosphères

Qui a besoin de la classification des zones dangereuses ?

Selon la structure administrative nationale ou locale, cette classification est utile pour de nombreuses parties prenantes, mais elle est généralement requise par :

- Ceux qui effectuent l'évaluation des risques liés aux atmosphères explosives.
- Le service de santé, de sécurité et de prévention.
- Toute personne achetant des équipements (appareils, machines, etc.) pour ces zones.
- Tout le personnel qui travaille ou pénètre dans ces zones.
- Les travailleurs qui y utilisent des outils ou des équipements (par exemple, les équipes de maintenance).

En général, une explosion ne peut se produire que lorsque les trois éléments suivants coexistent au même endroit et au même moment :

1. **Un gaz inflammable ou une poussière combustible (combustible) ;**
2. **De l'air, dont l'oxygène agit comme oxydant (oxydant) ;**
3. **Une source d'inflammation**, par exemple une étincelle, un arc électrique ou une température de surface élevée (inflammation).

La sécurité anti-explosion est assurée lorsque la probabilité de coexistence du combustible, de l'oxydant et de la source d'inflammation est réduite à un niveau acceptable. Autour de chaque équipement d'une installation à hydrogène, les zones sont classées en déterminant l'étendue spatiale des zones dangereuses et le risque d'explosion correspondant. Ce risque est évalué et, si nécessaire, réduit à des limites acceptables en agissant sur les sources d'émission, sur l'environnement (ventilation, surveillance, etc.) et sur les sources d'inflammation potentielles (électriques et non électriques).

Les zones sont divisées en **zones dangereuses** et **zones non dangereuses** en fonction de l'origine du danger (par exemple, gaz, vapeurs ou brouillards inflammables ; poussières combustibles) et des caractéristiques de fonctionnement telles que les systèmes de confinement, les équipements de traitement et les procédures de maintenance.

- **Zone 0** : une atmosphère explosive est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.
- **Zone 1** : une atmosphère explosive est susceptible de se former pendant le fonctionnement normal, mais seulement de manière occasionnelle.
- **Zone 2** : une atmosphère explosive est peu susceptible de se former pendant le fonctionnement normal et, si elle se forme, elle ne persistera que pendant de courtes périodes.



Cette méthode de zonage est également essentielle pour sélectionner des technologies qui ne deviendront pas elles-mêmes des sources d'inflammation potentielles.



4.3 Interaction avec la planification : sélection et caractérisation du site

Le choix d'un site pour une installation à hydrogène devient un facteur supplémentaire d'importance significative, parallèlement aux considérations de sécurité pour les technologies individuelles.

Par conséquent, le choix du site doit être basé sur une analyse multicritère qui tient compte :

- Les affectations des sols et la compatibilité avec l'urbanisme, y compris les contraintes liées aux espèces protégées ou autres limites environnementales.
- Les distances par rapport aux zones densément peuplées et aux bâtiments publics. Il vaut mieux éviter les zones encombrées.
- La disponibilité de l'électricité et de l'eau. (La disponibilité de l'eau est un facteur de risque si le site se trouve dans une zone où l'eau est rare).
- L'absence d'obstacles susceptibles de favoriser la stagnation des gaz.
- La vérification de l'accès des pompiers/véhicules d'urgence et de l'emplacement des bouches d'incendie (en lien avec les distances de sécurité).
- Évaluation des interférences : lignes électriques aériennes, voies ferrées, flux de circulation intense, zones ATEX existantes, autres réservoirs de carburant.

De plus amples détails sur certains de ces aspects sont fournis dans le livrable D4.3.

4.4 Approches de sécurité pour les projets liés à l'hydrogène : mesures de prévention et d'atténuation

Ci-dessous, les principales sources de risques pour la sécurité associées aux technologies individuelles de production, de stockage et d'utilisation de l'hydrogène sont examinées.

Il est essentiel de comprendre les propriétés intrinsèques de l'hydrogène pour exploiter les installations en toute sécurité. L'objectif de cette section est de mettre en évidence les aspects clés de la sécurité qui doivent être pris en compte. Cette section contient une analyse des installations à hydrogène suivantes :

- Production d'hydrogène renouvelable par électrolyse pour des applications industrielles (4.4.1)
- Stockage d'hydrogène comprimé pour les secteurs de l'industrie et de la mobilité (4.4.2)
- Stations de ravitaillement en hydrogène (4.4.3)
- Piles à combustible pour les secteurs de l'énergie et du résidentiel (4.4.4)

Une installation à hydrogène peut contenir des éléments provenant des systèmes décrits dans cette section (par exemple, une station de ravitaillement en hydrogène avec production et stockage sur site, un électrolyseur avec stockage sur site, etc.), c'est pourquoi les informations de sécurité fournies dans cette directive doivent être combinées pour couvrir tous les éléments inclus.

4.4.1 Production d'hydrogène renouvelable par électrolyse pour des applications industrielles



L'hydrogène renouvelable peut être produit à partir d'électricité provenant de sources renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne et hydraulique. Ce courant alternatif est converti en courant continu afin d'alimenter l'électrolyseur avec un courant constant et unidirectionnel. L'électricité alimente également tous les composants du Balance of Plant (BoP) qui accompagnent la pile électrolytique afin de garantir un fonctionnement efficace dans les conditions de conception et la sécurité globale de l'installation.

Le Balance of Plant peut comprendre :

- 1) Des systèmes de gestion de l'eau ;
- 2) Système d'alimentation en énergie ;
- 3) Systèmes de recirculation et de purification de l'électrolyte ;
- 4) Des systèmes de purification des gaz pour les produits de l'électrolyseur ;

Le BoP comprend également les systèmes de surveillance et de contrôle qui déclenchent les fonctions de sécurité. En général, les systèmes de surveillance, de contrôle et de sécurité tels que les systèmes d'arrêt d'urgence (EES) sont des équipements automatisés qui peuvent déclencher des procédures d'arrêt. En cas de détection d'une fuite ou d'autres situations d'urgence, les systèmes automatisés peuvent déclencher l'arrêt immédiat des processus et des équipements concernés. De plus, les opérateurs peuvent déclencher manuellement les procédures d'arrêt si nécessaire, ce qui offre un niveau de contrôle supplémentaire en cas d'urgence.

Le système d'électrolyse comporte un élément central qui est une pile de **cellules électrolytiques**. À titre d'exemple, les électrolyseurs PEM fonctionnent à des pressions comprises entre 15 et 30 barg et contiennent les éléments suivants :

- 1) Membrane/diaphragme ;
- 2) Couche catalytique ;
- 3) PTL (couches de transport poreuses) ;
- 4) Collecteur de courant/champ d'écoulement (grilles) ;
- 5) Plaque bipolaire.

Aucune technologie n'est sans risque. Par conséquent, la probabilité d'un dysfonctionnement d'un composant entraînant une fuite d'hydrogène n'est pas nulle, même si elle est faible. Les fabricants et les intégrateurs de systèmes sont tenus d'effectuer leurs propres analyses et tests afin de garantir le bon fonctionnement des composants du système, ainsi que des systèmes d'alarme et de sécurité dont le rôle est de se déclencher en cas de différents types de dangers. Lors du fonctionnement normal de l'électrolyseur, plusieurs risques doivent être pris en compte, et ceux-ci peuvent provenir de multiples sources.

Vous trouverez ci-dessous, à titre d'exemple, les sources de risque possibles, leur description et les mesures de prévention et d'atténuation nécessaires à appliquer lorsque le projet examiné comprend la production d'hydrogène sur site par électrolyse pour toutes les applications, y compris industrielles, mobiles et résidentielles. L'accent est mis sur la cellule

électrolytique, mais les informations sur le BoP sont prises en compte ci-dessous comme complétant un système intégré (BoP+Stack).

Tableau 6 Défaillances, risques et mesures de prévention/atténuation pour la pile à électrolyse

Origine de la défaillance	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
<p>Variation de pression dans le système</p>	<p>Les pressions élevées résultant de défaillances peuvent provoquer des ruptures et des fuites dangereuses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer les soupapes de sécurité redondantes (PSV) dimensionnées pour les scénarios « sortie bloquée », « exposition au feu » et « dilatation thermique ». • Envisager l'utilisation de disques de rupture comme deuxième ligne de défense, ou en parallèle avec les PSV, sur les tuyauteries et les réservoirs critiques. • S'assurer que les conduites de décharge se déversent dans une cheminée d'aération verticale en hauteur, équipée d'un dévésiculeur, d'un clapet anti-retour et d'un pare-flammes à la sortie.
<p>L'hydrogène et l'oxygène entrent en contact, créant un mélange potentiellement explosif</p>	<p>Dans ce cas, le risque provient d'un dysfonctionnement du composant qui maintient les deux gaz séparés, à savoir la membrane. Des ruptures ou des croisements d'oxygène et d'hydrogène à travers la membrane peuvent se produire pendant certaines phases transitoires (par exemple, au démarrage du système). Tous les systèmes d'électrolyse ont une sélectivité membranaire spécifique, mais celle-ci n'est pas absolue. Les effets de perméation peuvent donc entraîner des combustions ou des explosions à l'intérieur de la cellule électrolytique, dans les</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Veillez à utiliser des systèmes de contrôle de sécurité équipés de vannes d'arrêt de sécurité.

Origine de la défaillance	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
	canalisations et dans les systèmes de stockage.	
Fuite d'hydrogène à l'extérieur du système	L'hydrogène qui s'échappe à l'extérieur de l'électrolyseur doit être surveillé en permanence et le risque d'explosion doit être évité en utilisant une circulation d'air forcée.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisez des capteurs d'H₂ référencés à la limite inférieure d'explosivité (≤ 25 % LIE) et des capteurs d'O₂ (≥ 23 % vol), avec des alarmes à 10 % LIE et un arrêt (arrêt forcé de l'installation) lorsque le paramètre dépasse, par exemple, > 25 % LIE. • Assurez une ventilation forcée, en précisant le nombre de renouvellements d'air requis par heure.
Fuites d'hydrogène dans les flux de déchets de l'électrolyseur et les systèmes associés (par exemple, les séchoirs...)	L'hydrogène peut également être libéré à l'extérieur du système d'électrolyse par les flux de drainage/ventilation du séchoir, de l'électrolyte et des conduites de ventilation. Lorsque la phase liquide est éliminée, l'hydrogène gazeux peut s'accumuler et atteindre les limites d'inflammabilité.	<ul style="list-style-type: none"> • Assurez-vous que la zone où les vidanges sont effectuées est bien ventilée et éloignée de toute source d'inflammation. • Dimensionnez et placez les conduites de ventilation de manière à ce que le gaz soit dispersé en toute sécurité dans l'atmosphère. • Les flux de vidange d'électrolyte doivent également être traités dans des zones ventilées ; en outre, utilisez des outils anti-étincelles et éliminez les déchets caustiques conformément à la réglementation sur les déchets dangereux.
Charges/sources électriques	Les charges électriques qui s'accumulent à la surface d'un composant de l'électrolyseur peuvent constituer une source d'inflammation.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisez des équipements adaptés aux zones ATEX (il est essentiel de vérifier que tous les systèmes portent le marquage CE).



Vous trouverez ci-dessous les différents risques associés aux causes potentielles de défaillance des composants BoP qui affectent la sécurité, ainsi que les mesures de prévention et d'atténuation applicables.

Tableau7 Risques associés aux composants BoP de la production d'hydrogène qui affectent la sécurité et mesures de prévention et d'atténuation applicables

Composant BoP	Causes potentielles de défaillance et risques associés	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
Système de gestion de l'eau	Présence de contaminants, provoquant la dégradation/la défaillance de pièces avec libération de gaz et/ou de liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Divers types de contaminants (ions, substances organiques, particules, etc.) peuvent être présents en raison d'un dysfonctionnement des systèmes de filtration, d'osmose inverse ou de déionisation. Ces contaminants provoquent principalement une dégradation des membranes. • L'usure des systèmes de gestion de la qualité de l'eau peut introduire des contaminants dans l'électrolyseur ou entraîner des fuites de gaz et/ou de liquide. • Les phénomènes de corrosion peuvent également affecter les matériaux de la pile, augmentant ainsi le risque de fuites d'hydrogène/d'oxygène et d'électrolyte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance de la qualité de l'eau (par exemple, carbone organique total (COT) pour les contaminants organiques, conductivité pour les ions dissous) ; • Confinement secondaire des réservoirs pour empêcher le rejet d'eau et d'électrolyte des cuves et des tuyauteries ; • Utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) associée à des procédures claires pour la manipulation des produits chimiques ; • Capteurs de niveau sur les réservoirs et les puisards, ainsi que des alarmes lorsque les niveaux s'écartent des limites fixées.
Système d'alimentation en énergie, redresseurs,	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbations du réseau ; • Surcharge électrique ; 	La présence des défaillances indiquées à titre d'exemple peut provoquer des chocs électriques, des	<ul style="list-style-type: none"> • Envisager des panneaux pour les zones non classées ou

Composant BoP	Causes potentielles de défaillance et risques associés	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
transformateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement incorrect ; • Surchauffe, refroidissement insuffisant ; • Vieillesse et dégradation de l'isolation ; • Connexions corrodées ; • Vibrations, chocs mécaniques <p>Tous les éléments ci-dessus peuvent générer des étincelles, des courts-circuits ou d'autres phénomènes électriques.</p>	<p>étincelles, etc. Ces phénomènes sont dangereux pour les opérateurs qui entrent en contact avec les instruments, mais surtout, ils créent des risques en cascade (provoquer un incendie ou une explosion), en particulier dans les zones ATEX.</p>	<p>avec un IP/Ex approprié ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définissez des tests d'isolation périodiques ; • Envisagez une mise à la terre et une liaison appropriée
Recirculation de l'électrolyte, le cas échéant.	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminants ; • Micro-fuites ; • Surpression ; • Mélange de gaz. <p>Tous les éléments ci-dessus peuvent entraîner des fuites de liquide/gaz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La dégradation de la membrane peut entraîner une contamination de l'électrolyte et de la cellule, ce qui peut provoquer une augmentation de la chaleur et le dégagement de gaz indésirables. • Les micro-fuites peuvent entraîner des déversements de solutions caustiques, susceptibles de causer des brûlures. • Une surpression et un mélange de gaz indésirables peuvent provoquer des 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuez une surveillance continue avec remplacement de l'électrolyte. Dans le même temps, vérifiez les calendriers de remplacement des filtres. • Identifiez la présence de conteneurs secondaires et équipez les capteurs de débit/pression d'alarmes. • Vérifiez le fonctionnement des dispositifs d'arrêt automatique en cas de fuite d'électrolyte des tuyaux en cas

Composant BoP	Causes potentielles de défaillance et risques associés	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
		explosions internes dans la cellule.	d'activation des détecteurs T/P. <ul style="list-style-type: none"> • Purge/inertage immédiat en cas de mélange et décharge contrôlée.
Systèmes de purification des gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Ruptures • Surpression • Dysfonctionnement du système de séchage 	<ul style="list-style-type: none"> • Les ruptures peuvent provoquer des microfuites au niveau des circuits de gaz (H₂ /O₂) susceptibles d'affecter la sécurité des zones ATEX. • Une surpression éventuelle peut provoquer la rupture des vannes et des brides. • Un dysfonctionnement des sècheurs/systèmes de séchage des gaz peut également entraîner la condensation de liquides contenant de l'hydrogène. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuez des inspections périodiques pour détecter toute fuite • Assurez-vous que les composants sont certifiés étanches (PED + ATEX) • Assurez-vous de la présence de soupapes de sécurité (PSV) • Utilisez des matériaux résistants à la fragilisation • Prévoyez des drains ventilés et des procédures de purge contrôlées

La sécurité doit être assurée pendant le fonctionnement afin de protéger ses composants. **Il est donc recommandé d'effectuer :**

- **Maintenance régulière :** la maintenance programmée peut être préventive et prédictive, avec un nettoyage régulier des composants des électrolyseurs et le remplacement des composants, si nécessaire. Cela permet d'éviter la contamination due à l'usure, à la corrosion ou à la défaillance des composants impliqués dans le traitement du gaz et de l'eau/électrolyte.
- **Protocoles d'essai :** des essais réguliers des gaz stockés garantissent qu'ils répondent aux spécifications de pureté requises avant d'être utilisés ou distribués.



4.4.2 Stockage d'hydrogène comprimé pour les secteurs de l'industrie et de la mobilité

Si le projet hydrogène, qu'il s'agisse d'une application industrielle ou d'une station de ravitaillement, comprend le stockage d'hydrogène, les parties prenantes doivent tenir compte des risques suivants et des mesures préventives/d'atténuation correspondantes.

Les systèmes de stockage d'hydrogène sont les composants de l'usine qui fonctionnent généralement dans les conditions les plus exigeantes en termes de pression (par exemple, des pressions pouvant atteindre 700 bars). C'est pourquoi leur construction utilise plusieurs matériaux conçus pour résister aux phénomènes de dégradation typiques qui pourraient compromettre l'intégrité des matériaux et donc la sécurité des personnes et des structures. Le stockage de l'hydrogène peut se faire sous forme gazeuse, liquide ou solide (par exemple, hydrures métalliques). Nous présentons ci-dessous les risques pour la sécurité et les mesures préventives et d'atténuation possibles pour les systèmes de stockage d'hydrogène comprimé, la technologie la plus répandue à l'heure actuelle.

Compte tenu des propriétés physico-chimiques de l'hydrogène et des conditions de fonctionnement typiques d'un système de stockage (haute pression et longue durée de vie prévue), **le tableau suivant répertorie les trois principaux risques associés à l'hydrogène comprimé, qui doivent être pris en compte si un projet hydrogène comprend un système de stockage fixe ou mobile (par exemple, des faisceaux de bouteilles d'hydrogène).**

Tableau8 Risques et mesures de prévention/atténuation pour le stockage d'hydrogène comprimé pour l'industrie et la mobilité

Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
<p>La fragilisation des métaux par l'hydrogène est causée par la perméation de l'hydrogène. À haute pression, la molécule d'hydrogène (ou l'atome après dissociation) est suffisamment petite pour se glisser dans les interstices du réseau cristallin et même remplacer des atomes au sein de la structure cristalline du métal. Ce processus affaiblit les liaisons chimiques, dégrade les propriétés mécaniques et conduit ainsi à une fragilisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez que les fiches techniques accompagnant la documentation indiquent explicitement le comportement à la fragilisation par l'hydrogène des métaux utilisés. • Si l'environnement du site d'installation nécessite des mesures de sécurité supplémentaires, envisagez de modifier la conception du composant afin d'éviter la création de nouvelles sources d'inflammation ou de défaillance. • Prévoyez des mesures de sécurité telles que des systèmes d'arrêt automatique, des systèmes de ventilation, des barrières physiques pour protéger le personnel et les équipements à proximité en cas d'inflammation.

Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
<p>Fissuration induite par l'hydrogène : les défauts ou fissures présents dans le matériau peuvent être amplifiés par l'hydrogène, en particulier lorsqu'il est contenu dans des liquides qui entrent en contact avec la surface du matériau et s'y diffusent.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ce phénomène de corrosion peut être évité grâce à des inspections et des essais réalisés à l'aide de techniques telles que (également sur site) : essais par particules magnétiques fluorescentes humides (WFMP), essais par ultrasons, etc.
<p>Attaque par l'hydrogène à haute température : lorsque la température de fonctionnement dépasse 200 °C, les matériaux ont tendance à réagir fortement avec l'hydrogène qui, à haute pression et température, pénètre dans la structure et, avec les impuretés du matériau, forme des espèces gazeuses telles que le méthane. À mesure que ces gaz se propagent, ils laissent derrière eux des pores et d'autres défauts.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Il est essentiel d'utiliser des alliages métalliques conformes à la norme API RP 941 - <i>Aciers pour service à l'hydrogène à des températures et pressions élevées</i>. • La prévention repose sur des inspections régulières de la surface et des méthodes d'essai spécifiques telles que (également sur site) : essais par ultrasons phasés (PAUT) ; diffraction par temps de vol (ToF) ; et méthode de capture matricielle complète/focalisation totale (FMC/TFM).

4.4.3 Stations de ravitaillement en hydrogène

Les stations de ravitaillement en hydrogène (HRS) sont des installations où plusieurs technologies de l'hydrogène fonctionnent dans des zones adjacentes. Par conséquent, **les mesures préventives et d'atténuation décrites pour les technologies de production et de stockage, liées à des scénarios de risque possibles, s'appliquent également aux HRS, car ces technologies peuvent faire partie de la station.**

HYPOP propose une approche générale en matière de sécurité qui peut être appliquée, par exemple, aux :

- HRS avec production sur site ;
- aux HRS sans production sur site ;
- les HRS standard avec stockage fixe ou mobile (par exemple, faisceaux d'hydrogène, remorques-citernes) ;
- les HRS mobiles avec stockage intégré.

Les piliers suivants décrivent les étapes générales à suivre pour garantir la sécurité d'un projet de station de ravitaillement en hydrogène. D'une manière générale, ces étapes peuvent être appliquées aux différents cas mentionnés ; le niveau d'attention dépend du nombre d'éléments dangereux présents et du contexte autour du périmètre du site. **Les conceptions de gestion de la sécurité plus complexes, telles que les HRS avec électrolyse sur site ou les**



solutions conteneurisées/mobiles, nécessitent une attention particulière et une documentation technique plus détaillée de la part des fournisseurs de technologies (par exemple, analyses des risques, protocoles de sécurité et de maintenance, etc.) afin de soutenir la phase de conception. Dans tous les cas, les critères de sécurité de base sont ceux indiqués dans Tableau 9 .

Si des électrolyseurs ou des systèmes de stockage sont présents, veuillez vous reporter aux sections 4.4.1 et 4.4.2 .

Conception technique et barrières génériques

La conception du système doit inclure une configuration ouverte et modulaire afin de garantir la sécurité.

Les informations de sécurité figurant dans le tableau suivant sont une synthèse qui tient compte des connexions fonctionnelles et physiques entre les différents composants présents dans une station de ravitaillement en hydrogène. Pour plus de détails sur les technologies individuelles, telles que les électrolyseurs et les systèmes de stockage, voir les sections 4.4.1 et 4.4.2, qui s'appliquent aux cas de HRS avec production sur site et stockage mobile/fixe.

Tableau 9 Défaillances potentielles, détection et mesures de sécurité pour les composants des stations de ravitaillement en hydrogène

Composant HRS concerné	Défaillance possible	Mesures de détection et de sécurité
Production (pour plus de détails sur l'électrolyseur, voir Tableau 6 et sur le BoP, voir Tableau 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Variation indésirable de la pression et surchauffe du module due à des charges électriques ; • Contaminants provenant de défaillances du système de gestion de l'eau ; • Fuites mineures d'H₂ ; • ; • Mélange de gaz indésirable 	<ul style="list-style-type: none"> • Capteurs de H₂, de pression et de température avec seuils de déclenchement ; arrêt automatique et isolation de l'unité ; • Systèmes de surveillance de la qualité de l'eau, confinement secondaire des réservoirs, utilisation d'EPI et capteurs de niveau sur les réservoirs • Ventilation naturelle et/ou forcée efficace ; • Inspections régulières et maintenance préventive ; • Formation des opérateurs à la reconnaissance des anomalies
Gaz à haute pression (pour plus de détails sur les défaillances liées aux matériaux des installations de stockage,	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression dans les conduites ; • Fuites au niveau des raccords/vannes ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance de la pression et de la température ; • Soupapes de décompression vers une zone sûre ;

Composant HRS concerné	Défaillance possible	Mesures de détection et de sécurité
voir Tableau 8 – également pertinent pour les compresseurs)	<ul style="list-style-type: none"> • Surchauffe du compresseur 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt automatique du compresseur ; • Détection des fuites d'H₂ ; • Ventilation et refroidissement externe potentiel ; • Maintenance préventive
Distributeur (ravitaillement des véhicules)	<ul style="list-style-type: none"> • Fuite au niveau du raccord ; • Mauvaise utilisation par l'utilisateur 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôles fonctionnels avant le ravitaillement ; • Détecteurs H₂ locaux ; • Arrêt immédiat et purge en cas de fuite ; • Instructions d'utilisation guidées ; • Accès contrôlé pour les utilisateurs autorisés
Systèmes électriques et de contrôle pour l'installation et ses composants	<ul style="list-style-type: none"> • Sources d'inflammation dans la zone classifiée ; • Défaillance du système de sécurité 	<ul style="list-style-type: none"> • Équipement certifié ATEX ; • Séparation physique des panneaux ; • Diagnostics et autotests ; • Arrêt sélectif et isolation des circuits défectueux ; • Inspections périodiques et tests fonctionnels ; • Gestion documentée des changements
Zone globale et personnes (utilisateurs, personnel)	<ul style="list-style-type: none"> • Accès non autorisé ; • Réponse tardive ; • Mauvaise coordination des urgences 	<ul style="list-style-type: none"> • Clôtures et contrôle d'accès ; • Affichage des procédures d'urgence à jour ; • Exercices réguliers avec les pompiers ; • Surveillance à distance et enregistrement des événements ; • Formation continue et qualification ; • Révision continue des enseignements tirés



Outre les choix de conception, la sécurité des HRS est assurée par plusieurs types de barrières intégrées à l'installation et positionnées à des distances de sécurité internes définies (électrolyse → compression → stockage → distributeur).

Types de barrières :

- **Passives (utilisées lorsque cela est justifié par l'analyse quantitative des risques) :** murs en béton armé, murs anti-explosion, clôtures pour empêcher l'accès au personnel non formé/non autorisé, etc.
- **Actives :** systèmes qui se déclenchent automatiquement lorsque les paramètres de contrôle sont dépassés (capteurs de température/pression/débit avec logique d'arrêt ; détection combinée de gaz + flammes dans les zones de compression et de stockage ; vannes d'arrêt rapide – ESD – et lignes de dépressurisation vers une cheminée d'évacuation surélevée pour une dispersion verticale).
- **Continu :** systèmes fonctionnant en permanence pour maintenir les conditions dans des limites sûres, par exemple, systèmes de ventilation qui empêchent la formation d'atmosphères explosives.

4.4.4 Piles à combustible pour les secteurs de l'énergie et du résidentiel

Les piles à combustible sont des dispositifs électrochimiques qui, comme les batteries, fournissent de l'énergie électrique pour toute une série d'utilisations finales, allant de la mobilité aux applications stationnaires dans les secteurs de l'énergie et du résidentiel. Les piles à combustible peuvent fonctionner tant qu'elles sont alimentées en hydrogène (ou en combustibles riches en hydrogène) et jusqu'à ce que leurs composants atteignent leur fin de vie.

Il existe plusieurs types de piles à combustible qui fonctionnent à différentes températures, utilisent différents matériaux et servent à des fins différentes. Elles se distinguent par la nature de l'électrolyte (liquide, qui peut être acide ou alcalin, ou solide) et par leur température de fonctionnement.

Comme pour les autres technologies liées à l'hydrogène, les risques chimiques doivent être pris en compte dès lors qu'un projet prévoit l'utilisation d'une pile à combustible pour fournir de l'électricité dans des environnements industriels, énergétiques ou résidentiels. Certaines piles à combustible utilisent des électrolytes contenant des agents corrosifs ou irritants. Si la pile à combustible est endommagée, ces substances peuvent présenter un danger pour la santé. Cependant, dans un système fermé fonctionnant correctement, le risque d'exposition est généralement faible.

Les principaux types de piles à combustible sont répertoriés dans le tableau suivant.

Tableau10 Types et applications des piles à combustible (matériel pédagogique supplémentaire⁹)

Pile à combustible	Type d'électrolyte	Température de fonctionnement	Applications
Membrane électrolytique polymère (PEMFC)	Polymère à base de fluorocarbone (solide)	60-90 °C	Mobile/fixe
Piles à combustible à acide phosphorique (PAFC)	Film d'acide phosphorique contenu dans une matrice fluorocarbonée (liquide)	>150 °C	Production d'électricité stationnaire, micro-cogénération résidentielle
Piles à combustible à électrolyte alcalin (AFC)	Solution aqueuse d'hydroxyde de potassium (liquide)	100 < T < 250 °C	Mobilité
Piles à combustible à oxyde solide (SOFC)	Céramique conductrice (solide)	600 < T < 1000 °C	Stationnaire – Power-to-x
MCFC : pile à combustible à carbonate fondu	Carbonates de lithium et de sodium/potassium fondus dans une matrice	600 < T < 1000 °C	Stationnaire – Industrie

Le tableau suivant répertorie les scénarios de risque et les mesures de prévention/atténuation qui doivent être pris en compte, ou spécifiquement recherchés, lors de l'examen de l'approche de sécurité proposée par un développeur de projet soumettant un projet à une autorité publique.

Tableau11 Risques et mesures de prévention/atténuation pour les systèmes de piles à combustible utilisés dans les applications énergétiques et résidentielles

Origine de la défaillance	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
Fuite d'H ₂	L'hydrogène peut s'échapper par des micro-fuites ou des défaillances des joints/conduites, s'accumuler dans des espaces clos → incendie/explosion.	S'assurer que la conception comprend : <ul style="list-style-type: none"> • Détecteurs de gaz + ventilation forcée

⁹ <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/learn-about-hydrogen/education-materials/hydrogen-basics>

Origine de la défaillance	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
		<ul style="list-style-type: none"> • Étanchéité certifiée des conduites, brides, raccords (ATEX/IECEX) <p>Les procédures de maintenance doivent inclure l'inertage et la purge avant toute intervention.</p>
Rejets d'oxydants (O₂ ou air comprimé)	<p>Comme pour les fuites générales, une augmentation locale de la concentration en O₂ peut augmenter le risque d'incendie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tuyauterie et vannes de surpression redondantes • Distances de séparation par rapport aux matériaux combustibles.
Surchauffe et surfaces chaudes	<p>Les dysfonctionnements peuvent entraîner une augmentation de la température de certaines zones/surfaces, provoquant des brûlures ou des vapeurs dangereuses (par exemple, > 120 °C pour les PEM et jusqu'à 800 °C pour les SOFC).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir une isolation thermique et un blindage • Vérifier les thermostats/fusibles et l'arrêt automatique au-dessus des températures de sécurité prédéfinies.
Surpression des piles ou des réservoirs de gaz/liquide	<p>Des vannes bloquées, la formation de glace dans les composants/conduites ou des réactions incontrôlées peuvent provoquer une surpression et une rupture mécanique.</p>	<p>La conception de l'installation doit inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des disques de rupture calibrés et des dispositifs de décompression (PRD) • Une surveillance continue de la pression et de la température avec une logique de contrôle pour détecter les tendances anormales et déclencher l'arrêt • Conduites de purge sécurisées évacuant vers l'extérieur • Pour le givrage, vérifiez que la gestion thermique/humidité est assurée.
Risques électriques (basse et haute tension)	<p>Risque d'électrocution, d'arc électrique, de courts-circuits (en particulier dans les piles à haute puissance).</p>	<p>Vérifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boîtiers IPxxB et dispositifs de déconnexion de sécurité

Origine de la défaillance	Description du risque	Mesures de prévention/atténuation
		<ul style="list-style-type: none"> • Disjoncteurs différentiels (GFCI) qui se déclenchent en cas de défaut à la terre de l'ordre du mA, afin d'éviter les chocs électriques et les incendies • Tests d'isolation périodiques sur les câbles, les enroulements et les équipements.
Compatibilité des matériaux par rapport à la perméation de H₂	Un mauvais choix d'acier peut induire une fragilisation par l'hydrogène dans les alliages à haute résistance.	<ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les alliages métalliques sont résistants (par exemple, acier inoxydable 316L – à base de Fe-Cr-Ni ; Inconel – superalliages Ni-Cr ; Hastelloy – superalliages Ni-Mo et/ou Ni-Cr-Mo).

Dans le cadre du projet HYPOP, l'engagement des parties prenantes et l'examen de multiples bonnes pratiques ont montré que **les applications résidentielles peinent encore à s'imposer en Europe. Par conséquent, les données disponibles ne sont pas encore suffisantes pour définir une approche de sécurité de base pour ces contextes (comme cela a été fait pour les HRS). Davantage de projets de démonstration et un partage plus large des informations sont nécessaires pour faire progresser l'intégration de l'hydrogène en tant que ressource d'équilibrage pour la consommation énergétique des ménages.**

Néanmoins, les discussions avec les experts du secteur et l'échange d'expériences au sein de HYPOP nous ont permis d'esquisser une approche générale en matière de sécurité, inspirée de l'une des meilleures pratiques présentées dans les livrables 2.1 et 2.2.

Compte tenu de l'installation d'un système rSOC (cellule à oxyde solide réversible) capable de fonctionner en mode SOEC pour stocker l'électricité excédentaire en produisant de l'hydrogène, et en mode SOFC pour produire de l'électricité et de la chaleur utile, la méthode suivante a été adoptée.

Approche méthodologique en matière de sécurité

La gestion des risques doit suivre une logique de type HAZOP (déviation-cause-conséquence-mesure de protection) :

1. Identification systématique des écarts de fonctionnement.
2. Analyse des causes (défaillances des instruments, actions parasites des vannes, erreur de l'opérateur).
3. Évaluation des conséquences sans tenir compte des protections existantes (surpression, libération d'H₂, incendie/explosion).



4. Liste des mesures de protection existantes (soupapes de sécurité, verrouillages, détecteurs d'hydrogène, ventilation, composants antidéflagrants).
5. Recommandations supplémentaires lorsque le risque résiduel dépasse les critères d'acceptation.

Exemples d'événements critiques à examiner pour ce type d'application :

- **E1 - Refoulement du compresseur bloqué** : risque de surpression dans la conduite et de libération d' H_2 → atténué par des PSV vers un événement de sécurité, des verrouillages de pression, une détection de gaz H_2 à 10 % LEL avec ventilation forcée + alarme, une dépressurisation automatique vers un événement de sécurité.
- **E2 - Défaillance du refroidissement** : température excessive du compresseur, endommagement de la membrane, fuite interne/externe d' H_2 → capteurs de température et de débit avec déclencheurs, composants classés EX (zone 2), détecteurs d' H_2 .
- **E3 - Entrée d'air (basse pression)** : formation de mélanges inflammables dans le stockage haute pression → déclenchement basse pression, compresseurs logés dans une enceinte REI de classe I.
- **E4 - Petites fuites (raccords)** : rejet local d' H_2 → détection de gaz + ventilation forcée + alarme, composants EX Zone 2.

Mesures transversales

Ventilation naturelle de haut niveau, détection de gaz (réglée à 10 % LEL), arrêt sélectif, ventilation forcée automatique, soupapes de décharge à commande à distance, alarmes optiques/acoustiques, équipements certifiés EX dans la zone classée 2, systèmes de dépressurisation rapide.



5 Méthodologies d'évaluation des risques

Tableau12 POURQUOI, QUAND et QUEL type d'analyse des risques est important pour les projets H₂

<p>QUOI ?</p> <p>Les analyses de risques sont des approches méthodologiques, fondées sur des connaissances techniques et des outils de modélisation/prédiction, qui permettent de prévenir et d'atténuer les défaillances susceptibles de nuire aux personnes ou aux biens.</p>
<p>POURQUOI ?</p> <p>La sécurité des composants peut être compromise par des dysfonctionnements ou des événements externes, pouvant entraîner des effets en cascade sur les activités économiques et les zones publiques à proximité. L'incertitude due au manque de connaissances et à une réglementation floue conduit souvent à penser que « plus c'est strict, plus c'est sûr », ce qui peut ralentir l'innovation et rendre les projets techniquement ou économiquement irréalisables. C'est pourquoi diverses méthodes sont utilisées pour analyser les risques liés à des événements accidentels dont la probabilité et la gravité varient. L'analyse des risques est donc un outil puissant qui peut être appliqué à plusieurs étapes d'un projet hydrogène.</p>
<p>QUAND ?</p> <p>Les principales méthodes se répartissent en deux grandes catégories : les techniques qualitatives et les techniques quantitatives.</p> <p>Les analyses qualitatives des risques sont principalement utilisées dans les premières phases du projet afin de repérer rapidement les dangers évidents lorsque les données techniques détaillées ne sont pas encore disponibles ; elles peuvent également fournir des distances de séparation préliminaires. Les techniques quantitatives ajoutent des données numériques (taux de défaillance, probabilités d'inflammation, statistiques météorologiques, données démographiques, modèles validés) afin d'affiner et de justifier la conception de la sécurité.</p>

Vous trouverez ci-dessous un résumé concis des principales analyses de risques identifiées par HYPOP à partir des meilleures pratiques présentées dans le livrable 2.1 et des entretiens menés avec diverses parties prenantes et divers projets européens liés à l'hydrogène.

Tableau13 Analyses de risques qualitatives et quantitatives identifiées à partir des meilleures pratiques HYPOP

Techniques qualitatives
<p>HAZOP (étude des risques et de l'exploitabilité) :</p> <p>Technique systématique qui examine un élément (ou nœud) à la fois et décrit les conséquences des dysfonctionnements. En identifiant les écarts et leurs causes, à l'aide de mots clés (par exemple, <i>non/pas ; plus ; moins ; ainsi que</i>) liés aux paramètres du processus (par exemple, débit, pression, température), elle propose des mesures correctives.</p>
<p>HAZID (identification des dangers) :</p> <p>Exercice mené par une équipe multidisciplinaire visant à identifier les dangers potentiels dans un large éventail de domaines : conception du projet, construction, installation, mise hors</p>



service et modifications proposées aux opérations existantes. Il s'agit souvent d'un précurseur ou d'une composante des analyses quantitatives des risques.

Analyse hypothétique :

Approche qui explore les dangers potentiels et les causes de défaillance en posant des questions hypothétiques et en évaluant les scénarios qui en résultent.

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) :

Méthode semi-quantitative qui répertorie les modes de défaillance possibles d'un processus/composant et leurs effets, généralement un par un, sans tenir compte des défaillances multiples simultanées. Chaque défaillance est classée (indice de priorité de risque) en fonction de sa gravité, de sa fréquence et de sa détectabilité, afin que les mesures puissent cibler en premier lieu les problèmes les plus critiques.

Techniques quantitatives

Évaluation quantitative des risques (QRA) :

Analyse approfondie combinant les résultats de l'arbre de défaillance avec des outils de modélisation afin de quantifier le risque global d'une installation ou d'un processus hydrogène, couvrant les fréquences de défaillance, les probabilités d'inflammation et les conséquences.

Analyse par arbre de défaillance (FTA) :

Méthode graphique qui cartographie les événements indésirables majeurs et les combinaisons d'événements fondamentaux qui y conduisent, en attribuant des probabilités afin d'estimer le risque de défaillance.

Un ensemble plus large de techniques qualitatives, semi-quantitatives et quantitatives peut être exploré dans le « Guide EHSP sur l'ingénierie de la sécurité de l'hydrogène - Document d'orientation » publié par l'entreprise commune Clean Hydrogen¹⁰.

¹⁰ <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2023-05/EHSP%20Guidance%20on%20Hydrogen%20Safety%20Engineering%20-%20v1-Final.pdf>



6 Recommandations et actions HYPOP pour accélérer les procédures d'acceptation et de sécurité

Dans le cadre du projet HYPOP, il a été observé que **chaque projet lié à l'hydrogène doit être évalué en tenant compte de multiples facteurs : le site d'installation, l'environnement autour du périmètre de l'usine et le cadre réglementaire national et local**. La mise en place d'une ligne directrice en matière de sécurité qui offre une approche claire tout en restant adaptable aux exigences et aux obstacles spécifiques des différents pays et applications de l'UE contribuera à accélérer l'acceptation et le développement des projets liés à l'hydrogène. Ces lignes directrices constituent également une incitation pour les parties prenantes des pays moins avancés dans le développement pratique et réglementaire du secteur de l'hydrogène et de ses applications industrielles, mobiles et résidentielles. Les meilleures pratiques, ainsi que les exigences et les obstacles tirés des différents cadres réglementaires des pays européens qui ont inspiré l'élaboration de ces lignes directrices, peuvent être consultés en détail à la fois dans l'annexe du présent document et dans le livrable 2.1.

Nous résumons ci-dessous les principaux points critiques, les mesures pratiques et les recommandations, ainsi que les avantages à les prendre en compte. Parallèlement, HYPOP propose une procédure standard (« HYPOP Safety Guidelines ») destinée à faciliter l'interaction entre les autorités publiques et les concepteurs. Ces derniers pourront ainsi soumettre des projets liés à l'hydrogène en suivant une philosophie de sécurité partagée, compréhensible et acceptée par les autorités publiques et les citoyens dans les plus brefs délais.

Tableau14 Actions pratiques/recommandations HYPOP et avantages escomptés

Problématique	Actions pratiques/recommandations	Avantage attendu
Lacunes réglementaires ou interprétations divergentes (même entre les régions ou les administrations locales)	Recueil commun des « pratiques équivalentes » (élaboré conjointement avec les autorités et les opérateurs)	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformité de base ; • Moins de pouvoir discrétionnaire
Faible expérience pratique des autorités en matière de normes techniques, de méthodes d'analyse et de spécificités de l'hydrogène.	Formation modulaire (juridique / technique / sociale) pour les fonctionnaires et les pompiers	<ul style="list-style-type: none"> • Décisions plus rapides et mieux justifiées
Utilisation abusive et recours défensif à des réglementations applicables à d'autres combustibles (gaz naturel, GPL) qui ne correspondent	Fiches comparatives des propriétés + conseils d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter les surdimensionnements injustifiés

Problématique	Actions pratiques/recommandations	Avantage attendu
pas toujours aux caractéristiques de l'hydrogène.		
Application partielle et incohérente des éléments Seveso aux petites installations situées sous le seuil, ce qui crée une confusion.	Respecter les principes généraux de sécurité (pour les cas sous le seuil SEVESO) + liste de contrôle basée sur les risques	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement cohérent des petites installations
Processus itératif et lent entraînant des délais prolongés en raison de demandes de données ad hoc et de cycles de clarification non structurés.	Consultation préalable formelle (« réunion de cadrage ») avant le dépôt	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de demandes d'intégration ultérieures
Méfiance du public	Engagement précoce (séances de questions-réponses) avec une cartographie des risques simplifiée	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure acceptation sociale, moins d'objections

Les lignes directrices HYPOP en matière de sécurité sont donc le fruit d'une consultation des parties prenantes et se présentent sous la forme d'une série d'étapes à suivre, accompagnées d'indications sur les erreurs et les risques, de recommandations et de mesures pratiques. Toutes les informations techniques sur la sécurité de l'hydrogène, les technologies de l'hydrogène et les mesures de prévention/atténuation connexes décrites dans le présent rapport sont pertinentes pour gérer correctement les six étapes suivantes (en particulier les étapes 2, 3 et 4).

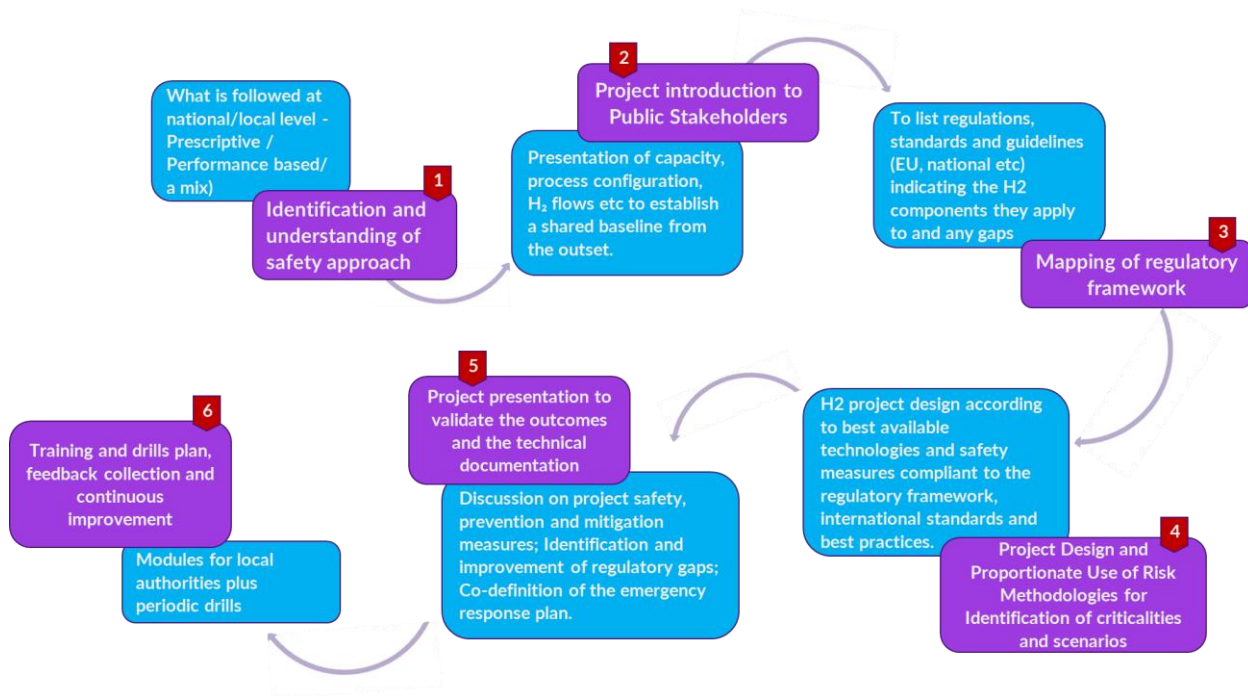


Figure1 Lignes directrices de sécurité HYPOP

1) La première étape consiste à identifier et à comprendre l'approche générale en matière de sécurité suivie au niveau national ou local (normative / basée sur les performances).

Dans certains contextes de mobilité et d'habitat, les projets liés à l'hydrogène sont traités par la réglementation ou les autorités compétentes comme des projets industriels, et les exigences et approches correspondantes sont appliquées. En l'absence d'expérience pratique ou de références réglementaires spécifiques, il est conseillé de se tourner vers d'autres pays ou vers des réglementations établies pour des combustibles plus familiers et d'adapter ces exigences. Sur la base de ces informations, l'approche appropriée en matière de sécurité peut être déterminée.

Dans le cadre du projet HYPOP, des études de cas ont été identifiées qui adoptent deux types d'approches en matière de sécurité, parfois comme alternatives, parfois de manière complémentaire :

- **Approche prescriptive :** établit des règles fixes (quelques exemples sont présentés ci-dessous). Elle est typique des réglementations matures ou des règles initialement rédigées pour d'autres combustibles (gaz naturel, GPL) puis « adaptées » à l'hydrogène. Les normes techniques internationales font effectivement partie de l'ensemble prescriptif une fois qu'elles sont transposées dans des lois ou des décrets.

Exemples d'exigences prescriptives types

- Distances minimales entre les technologies H₂ (principalement la production d'hydrogène et le stockage à haute pression) et les limites du site.



- Limites de pression ou de capacité pour déclencher les niveaux de protection passive.
- Spécification des équipements certifiés dans les zones classées dangereuses (ATEX).
- **Approche basée sur les performances** : définit l'objectif de sécurité (niveau de risque acceptable) et laisse une liberté quant à la manière de l'atteindre. C'est là que les analyses de risques entrent en jeu : elles identifient les scénarios critiques et soutiennent les choix ciblés en matière d'aménagement, de barrières et de procédures.

Exemples d'exigences typiques basées sur les performances

- Distances de sécurité résultant d'outils de modélisation et de simulation.
- Utilisation de normes internationales pour les équipements, les opérations et la maintenance.
- Utilisation de mesures et de matériaux de prévention/atténuation si cela est justifié par les caractéristiques spécifiques du site d'installation ou à la suite d'évaluations des risques.
- Optimisation de la configuration via la simulation CFD afin de réduire les zones d'accumulation/de stagnation.

Dans la pratique, les deux approches **coexistent** : HYPOP a identifié que lorsque les règles sont claires, vous appliquez les exigences tabulées ; lorsqu'il existe des lacunes ou des cas innovants, vous utilisez une approche basée sur la performance pour démontrer un niveau de sécurité équivalent.

Tableau15 Points forts et limites des approches prescriptives et basées sur les performances

Aspect	Prescriptive	Basée sur la performance
Rapidité de décision	Rapide si le cas est « standard », analyse limitée à certaines technologies H ₂	Plus lente (analyse toujours nécessaire pour l'ensemble de l'usine)
Flexibilité en matière d'innovation	Faible (contraintes rigides)	Élevée (adaptable aux nouvelles technologies)
Transparence pour les autorités locales	Élevée (règles simples)	Dépend de la qualité du rapport sur les risques et nécessite des connaissances techniques
Risque de suringénierie	Moyen/élevé	Contrôlable (barrières adaptées au risque réel)

Il est essentiel de comprendre cette approche pour comprendre quelle pourrait être l'approche privilégiée par les autorités nationales/locales à l'égard d'un projet hydrogène.



2) Présentation du projet aux parties prenantes publiques

La deuxième étape consiste en une présentation concise (objectif, capacité, configuration du processus, flux d'H₂, profil des utilisateurs) afin d'établir dès le départ une base commune.

Il est recommandé de collaborer avec les autorités publiques dès les premières phases de conception, lorsque le type d'usine, les technologies et le site d'installation sont encore en cours de définition. Les éventuels problèmes techniques critiques (par exemple, la disponibilité de l'eau, la présence d'autres installations traitant des substances dangereuses, la proximité de zones urbaines imposant des contraintes de construction ou nécessitant des mesures préventives/d'atténuation supplémentaires, etc.) et les questions d'acceptation, en particulier parmi le public et les autorités locales (par exemple, la sécurité incendie, la protection de l'environnement, etc.), doivent être abordés dès le début.

Tableau16 Avantages d'une présentation précoce du projet aux autorités publiques

Risques/problèmes à traiter	Avantages liés à la prise de mesures
Faible sensibilisation et connaissances techniques limitées des autorités locales et des citoyens en matière d'hydrogène ;	Les citoyens sont informés et conscients des opportunités locales et de l'importance des activités locales pour la durabilité.
Opposition à un projet soumis tardivement. Le fait de ne pas soumettre une présentation initiale avant de déposer la demande auprès des autorités compétentes peut présenter un risque.	Les premiers retours des autorités locales, même dans le cas de projets conformes à la législation en vigueur, peuvent accélérer l'ensemble de la procédure, évitant ainsi les retards ou les problèmes critiques au cours de la procédure ultérieure.
Difficulté à interpréter la réglementation ou manque de connaissance du cadre réglementaire existant	Les autorités prennent des mesures préventives en recueillant des informations et en suggérant des réglementations à prendre en considération, ce qui est essentiel en cas de lacunes réglementaires.

La présentation du projet n'est que la première étape de l'implication des autorités, qui doit être suivie d'autres réunions avec des informations plus détaillées sur la philosophie de sécurité qui sera proposée.

3) Cartographie du cadre réglementaire (probablement en parallèle avec l'étape 2)

Tableau répertoriant les réglementations, normes et lignes directrices (européennes, nationales, locales, internationales volontaires) indiquant les composants auxquels elles s'appliquent et les éventuelles lacunes.

Il est fortement recommandé d'examiner le paysage réglementaire existant. Dans la plupart des pays européens, il existe des lacunes notables et des incertitudes d'interprétation ; dans le pire des cas, l'hydrogène n'est même pas mentionné dans les réglementations qui mettent en œuvre les documents stratégiques nationaux et locaux. Il existe toutefois parfois des documents



complémentaires, parfois considérés par les autorités publiques comme des réglementations quasi officielles, qui compilent le cadre pertinent et énumèrent les documents requis pour les applications de l'hydrogène dans les secteurs de l'industrie, de la mobilité et du résidentiel. En l'absence de telles ressources, il est conseillé aux parties prenantes de contacter les autorités publiques et de créer des groupes de travail capables de rédiger un document équivalent. HYPOP a identifié que :

- **Les lignes directrices apportent de la clarté** en identifiant les goulets d'étranglement, en définissant le rôle des autorités et en comblant les lacunes réglementaires.
- **Les lignes directrices constituent des outils accessibles** permettant d'atteindre et d'impliquer un plus large éventail de parties prenantes.
- **Les lignes directrices présentent les meilleures pratiques** dans toute l'UE, ce qui favorise la confiance et sensibilise les autorités locales.
- **Les lignes directrices renforcent la coopération** entre les parties prenantes et les autorités, car leur élaboration nécessite un consensus et une collaboration.

Avantage clé : l'élaboration de lignes directrices renforce les relations avec les autorités publiques, instaure la confiance et met en lumière les lacunes réglementaires, les exigences contraignantes et les défis d'interprétation. Pour des exemples et plus de détails sur plusieurs des lignes directrices examinées dans HYPOP, les lecteurs sont invités à consulter l'annexe du présent document et le livrable HYPOP 2.1.

4) **Conception technico-économique du projet et utilisation proportionnée des méthodologies de gestion des risques pour l'identification des points critiques et des scénarios :**

Conception de projets hydrogène selon les meilleures technologies disponibles et mesures de sécurité conformes au cadre réglementaire, aux normes internationales et aux meilleures pratiques.

Tous les projets ne nécessitent pas une évaluation quantitative complète des risques (niveau de complexité le plus élevé identifié dans HYPOP). Il est recommandé d'opter pour une échelle proportionnée afin d'éviter le gaspillage et de conserver la crédibilité :

- **Une sélection qualitative structurée** (HazID + matrice des risques) comme base minimale par défaut.
- **Analyse semi-quantitative** (par exemple, entre les approches qualitative et quantitative, voir section 5) si l'incertitude décisionnelle persiste ou si des scénarios modérés apparaissent.
- **Évaluation quantitative complète des risques** uniquement si :
 - disposition dense / espace limité ;
 - équipement à haute pression ;
 - demande de dérogation aux distances de sécurité fixes prévues par la réglementation ;
 - proximité de bâtiments publics et de zones très fréquentées ;



- risques cumulés / potentiel domino.

5) Présentation du projet afin de valider les résultats issus des commentaires de la première réunion et la documentation technique produite.

Discussion sur la sécurité du projet, les mesures de prévention et d'atténuation ; identification et amélioration des lacunes réglementaires ; co-définition du plan d'intervention d'urgence.

La discussion entre les autorités et les concepteurs doit s'appuyer **au minimum** sur **l'ensemble de documents** suivants : schéma de procédé (PFD)/schéma de tuyauterie et d'instrumentation, plan d'implantation, classification ATEX, matrice de scénarios, rapport sur les risques, logique de contrôle de la sécurité derrière le système d'arrêt d'urgence (ESD) et philosophie de détection, distances de sécurité justifiées, etc.

La validation de l'approche de sécurité et du projet peut impliquer la **définition conjointe de mesures préventives et de barrières**, si nécessaire. En particulier, des informations plus détaillées peuvent être demandées sur la surveillance, la détection des paramètres de sécurité et les instruments connexes, ainsi que sur l'étendue de la ventilation. Des **barrières supplémentaires**, telles que des murs de confinement, peuvent également être nécessaires à proximité des zones sensibles et des bâtiments publics très fréquentés.

Cette étape est le moment où les autorités publiques peuvent poser des questions, discuter et recueillir les lacunes et les observations des concepteurs, afin d'améliorer leur compréhension et d'élaborer des réglementations futures plus efficaces.

Il est recommandé aux autorités de **valider ou de définir conjointement un plan d'intervention d'urgence**.

6) Plan de formation et d'exercices, collecte de commentaires et amélioration continue

Modules destinés aux autorités locales (propriétés physiques de l'H₂, différences par rapport au GN / GPL, sécurité des technologies H₂) et exercices périodiques (fuite, ESD, incendie environnant).

Si nécessaire, il est recommandé d'élaborer un plan de formation qui, grâce à la diffusion des connaissances, ait également un impact positif sur les procédures d'autorisation en général. La préparation opérationnelle forme les personnes, teste périodiquement les procédures et les systèmes (détection, évacuation, etc.) et crée un cycle d'amélioration continue basé sur des preuves et des retours d'expérience réels. Cette amélioration peut être mesurée à l'aide d'indicateurs tels que : le temps moyen nécessaire pour obtenir des informations supplémentaires, le temps global d'octroi des permis, le temps de réponse en cas d'urgence, l'examen annuel conjoint du fonctionnement, de la maintenance et des défaillances, etc.

Les étapes 5 et 6 sont destinées à cette phase de transition, au cours de laquelle l'hydrogène et les technologies de l'hydrogène seront utilisés dans des secteurs émergents et dans les cas où les connaissances pratiques sur les projets liés à l'hydrogène sont limitées et la sensibilisation faible. Une fois que les connaissances pratiques se seront répandues dans les différents pays de l'UE, il y aura une plus grande convergence et une approche plus harmonisée



de la sécurité des installations de production d'hydrogène. Par conséquent, ces étapes ne pourraient être maintenues que si elles sont jugées nécessaires, sinon elles pourraient entraîner des consultations itératives et des coûts de projet plus élevés.



7 Méthodologie

HYPOP repose sur l'engagement des parties prenantes. Les informations qui ont contribué à l'élaboration des lignes directrices finales en matière de sécurité pour les premiers intervenants ont été recueillies à partir des résultats des ateliers nationaux HYPOP et en appliquant la même méthodologie que celle utilisée pour recueillir des informations pour l'analyse technique des exigences et des obstacles en matière de sécurité du Work Package 2.

Les ateliers nationaux ont eu lieu en Espagne, en Italie, en Belgique, en Pologne et en Bulgarie, et leurs résultats sont présentés (voir annexe). Les données ont été recueillies principalement à l'aide d'outils en ligne (par exemple, Google Forms, Slido) et, en Italie et en Belgique, complétées par des tables rondes. L'objectif était de recueillir les expériences des parties prenantes tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène, de dresser un tableau global de ces expériences et de comparer les similitudes et les différences entre les pays participant aux ateliers et les autres pays analysés dans le cadre du projet.

De plus, les mesures de prévention et d'atténuation recueillies à partir des meilleures pratiques et des approches générales en matière de sécurité ont permis d'améliorer les recommandations finales et les mesures pratiques des lignes directrices HYPOP décrites à la section 6. Cela a été possible grâce à la mise en œuvre constante des recherches entamées dans le cadre du Work Package 2 sur les « Exigences et obstacles en matière de sécurité » (des données complémentaires au WP2 sont fournies en annexe). La même méthodologie a donc été appliquée pour ce document. Elle repose principalement sur la recherche documentaire de réglementations et de lignes directrices nationales/locales spécifiques, sur les synergies avec d'autres projets travaillant sur des thèmes réglementaires (par exemple, le projet HYLAW, GA n° 737977, etc.) et sur l'expérience des parties prenantes engagées par les partenaires HYPOP. Le tableau suivant résume les principales activités qui caractérisent la méthodologie mentionnée, où la sécurité et la certification des technologies de l'hydrogène sont généralement liées, et met en évidence les parties prenantes qui peuvent bénéficier de chaque activité et thème.

Tableau 17 Activités menées dans le cadre des lots de travail 2 et 4 afin d'obtenir des informations sur les approches en matière de sécurité pour les projets H₂

Type d'activité	Parties prenantes	Sujet de référence
Analyse des cadres réglementaires dans les pays cibles de l'UE pour la mise en œuvre de projets liés à l'hydrogène (utile pour les recommandations techniques et les actions pratiques)	Fabricants, premiers utilisateurs, développeurs de projets, autorités publiques	Sécurité
Revue de la littérature et des normes relatives aux technologies de l'hydrogène	Fabricants	Sécurité et certification
Entretiens avec les parties prenantes afin d'obtenir des informations sur les approches nationales/locales en matière de sécurité, sur	Fabricants, premiers utilisateurs,	Sécurité et certification

Type d'activité	Parties prenantes	Sujet de référence
leurs expériences personnelles (par exemple, projets pilotes et projets réels), leurs opinions et leurs perceptions	développeurs de projets, autorités publiques	
Analyse d'un nombre limité de projets clés/meilleures pratiques (décrits dans le livrable 2.1)	Fabricants, premiers utilisateurs, développeurs de projets, autorités publiques	Sécurité et certification
Organisation d'ateliers nationaux et d'un atelier international (activité reliant les WP2 et WP4)	Fabricants, premiers utilisateurs, développeurs de projets, autorités publiques	Sécurité et autorisations

L'analyse a été réalisée dans les pays suivants de l'UE et le tableau ci-dessous présente les types d'acteurs et les expériences qui ont contribué à l'élaboration des lignes directrices HYPOP.

Tableau18 Contributeurs à HYPOP : projets de l'UE, autorités publiques et entités privées

Pays	Type de parties prenantes	Références et expériences
<i>Pays HYPOP</i>		
Belgique	Pôle hydrogène ; entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • Waterstofnet - sécurité, autorisation et certification ; • Aéroport de Bruxelles - coordinateur du projet STARGATE ; • Technifutur - impliqué dans plusieurs projets H₂ (Green SKHy, KnowWHY, HySCHOOL, etc.) ; • VITO - étude BAT sur les stations de ravitaillement en H₂ ; • Sertius, organisme de délivrance des permis en Belgique ; • RESA, gestionnaire du réseau de distribution de gaz et d'électricité ; • Université de Bruxelles (ULB) ; • Groupe Colruyt, Administration de la Région wallonne (département des autorisations et de l'environnement)

Pays	Type de parties prenantes	Références et expériences
Italie	Autorité publique ; Entreprise privée ; Université	<ul style="list-style-type: none"> • Port de Trieste - sécurité et autorisations, projet RENEWPORT ; • RINA Consulting - experts en sécurité et certification ; • Tecnodelta - partenaire du projet HYCARE - certification ; • ATENA Scarl - certification - partenaire du projet H2ports ; • Uniparthenope - certification - partenaire du projet FuelSOME ; • Société A2A - sécurité et autorisations - projet Valcamonica hydrogen ; • Tenova - sécurité et autorisations - projet GrInHy 2.0 ; • Fondazione Bruno Kessler - sécurité, autorisations et certification - coordinateur du projet SWITCH ; • UNI - Ente Italiano Normazione - certification - partenaire du projet e-SHyIPS ; • SAGAT - sécurité, autorisation et certification - partenaire du projet TULIPS
Espagne	Entreprise privée, association d'entreprises	<ul style="list-style-type: none"> • Redexis (projets OCEANH2, GREEN HYSLAND) ; • Tecnalia (projet ARENHA) • TECNIBERIA • Clúster Andaluz del Hidrógeno ; • Plateforme technologique espagnole de l'hydrogène
<i>Pays de l'UE-13</i>		
Bulgarie (pays HYPOP)	Association pour l'hydrogène	<ul style="list-style-type: none"> • Pôle hydrogène des Balkans – sécurité et autorisations
Pologne (pays HYPOP)	Entreprise privée ;	<ul style="list-style-type: none"> • TUV SUD Pologne – experts en sécurité et certification ;
Croatie	Centre de recherche ; autorité publique	<ul style="list-style-type: none"> • Institut de l'énergie Hrvoje Pozar - autorisations environnementales - projets Interreg ; • Ministère de l'Économie - sécurité ; • Institut pour l'énergie et la protection de l'environnement (EKONERG) - autorisations ;

Pays	Type de parties prenantes	Références et expériences
		<ul style="list-style-type: none"> • Green Sustainable Solutions - autorisations.
Chypre	Entreprise privée ; Entité publique	<ul style="list-style-type: none"> • Future Fuels Ltd - coordinateur du projet GreenH2CY - sécurité et autorisations ; • Autorité de régulation de l'énergie de Chypre - sécurité et autorisations ; • Trinomics
République tchèque	Entreprise privée ; pôle hydrogène ; agences régionales de l'énergie ; agence régionale	<ul style="list-style-type: none"> • ORLEN Unipetrol - expert en matière de sécurité et d'autorisation ; • Plateforme nationale tchèque pour les technologies de l'hydrogène - expert en matière de sécurité et d'octroi de permis ; • Centre énergétique de la région d'Ústí ; • Agence énergétique de la région de Zlín (EAZK) ; • Conseil économique et social de la région d'Ústí ; • Société DEVINN - sécurité, autorisations et certification - intégrateurs de systèmes ;
Estonie	Centre de recherche	<ul style="list-style-type: none"> • Institut de métrologie Metrosert - coordination de la vallée de l'hydrogène
Hongrie	Entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • PBN Advanced Management - partenaire du projet SMART-HY-AWARE - sécurité et autorisations ;
Lettonie	Aucune information	Aucune information
Lituanie	Centre de recherche ; Autorité publique	<ul style="list-style-type: none"> • Institut lituanien des énergies renouvelables ; Autorité portuaire de Klaipeda – sécurité et autorisations ; • Représentant du ministère des Transports – informations sur le cadre réglementaire ; • Conseil de la recherche de Lituanie
Malte	Agence nationale	<ul style="list-style-type: none"> • Conseil maltais pour la science et la technologie
Roumanie	Association pour les compétences en matière d'hydrogène	<ul style="list-style-type: none"> • ONG durable - Autorisation
Slovaquie	Centre de recherche ; autorité publique	<ul style="list-style-type: none"> • Institut pour le développement des services publics - partenaire du projet H2CE ;

Pays	Type de parties prenantes	Références et expériences
		<ul style="list-style-type: none"> • Autorité régionale de Kosice - coordinatrice du projet EASTGATEH2 - partage d'informations sur la sécurité et les autorisations ;
Slovénie	Centre de recherche ; Entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • Kemijski inštitut - projet Interreg H2GreenFuture ; • Holding Slovenske elektrarne d.o.o. - coordinateur de NAHV, North Adriatic Hydrogen valley - sécurité, autorisations et certification ;
<i>Pays pionniers</i>		
France	Autorité publique ; Association nationale ; Entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • Région Centre Val de Loire - acceptation publique ; • France Energies Marines - axée sur la sécurité, les autorisations et l'acceptation publique pour le secteur maritime ; • ENGIE - experts en sécurité et certification - recherche prénormative dans le cadre du projet Thyga ; • France Hydrogène
Allemagne	Entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • Aéroport de Hambourg - coordinateur du projet HyAirport - sécurité et autorisations ; • Experts en sécurité et certification - informations partagées lors des petits-déjeuners Hytruck ; • NOW GmbH
Pays-Bas	Autorité publique ; Entreprise privée	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen hub Noord Holland - coordinateur de Hydrogen Hub Noord-Holland valley - sécurité, autorisations et certification ; • New Energy Coalition - projet LIHYP - sécurité et autorisations ; • Nedstack fuell cell technology BV - sécurité et certification - partenaire du projet GRASSHOPPER ; • KIWA - certification ; NL Hydrogen
Suisse	Association nationale ;	<ul style="list-style-type: none"> • H2Mobiliteit - autorisations.



Figure2 Couverture géographique de la recherche sur les thèmes de la sécurité, des autorisations et de la certification

Les paramètres suivants ont été utilisés pour réaliser une analyse des forces et des faiblesses permettant de dresser un tableau complet de l'état actuel du cadre réglementaire de l'UE. Les principaux résultats du WP2 sont présentés dans le tableau. Des informations complémentaires sont disponibles dans les livrables HYPOP 2.1 « Exigences et obstacles en matière de sécurité » et 2.2 « Exigences et obstacles en matière d'autorisation ».

Tableau19 Paramètres de sécurité et d'autorisation utilisés pour réaliser une analyse des forces et des faiblesses

Paramètres de sécurité	Paramètres d'autorisation
Existence de lignes directrices pour l'évaluation de la sécurité	Preuve de l'existence d'un cadre réglementaire pour l'octroi des autorisations
Preuve de la mise en œuvre/adoption de méthodologies d'évaluation des risques	Existence de procédures spécifiques à l'hydrogène
Preuve de l'existence de réglementations, codes et normes guidant l'approche en matière de sécurité de l'hydrogène	Preuve de l'existence de lignes directrices en matière d'autorisation (pour les technologies H2)
Application/adoption/preuve d'une approche fondée sur les performances et des exigences qui en découlent	Preuve de la coopération avec les autorités publiques et de leur attitude globalement positive à l'égard de l'hydrogène
Application/adoption/preuve d'une approche prescriptive et des exigences qui en découlent.	

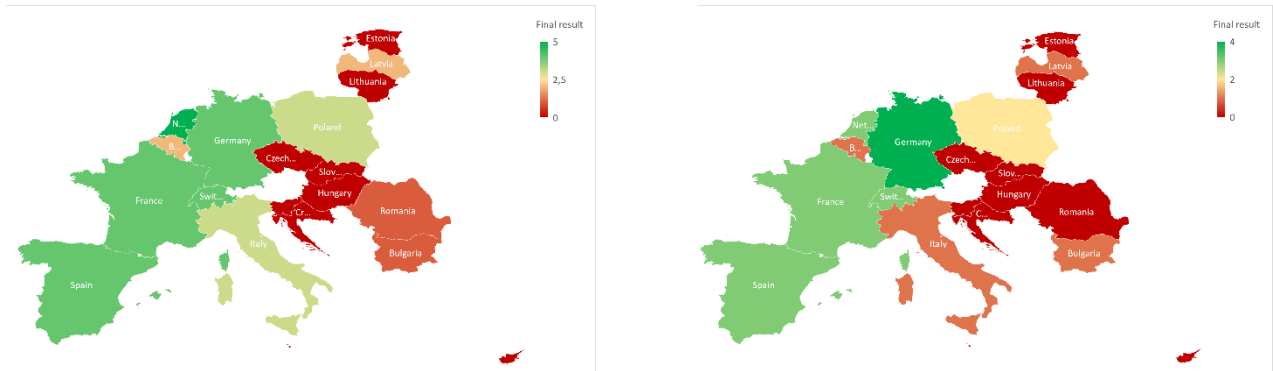


Figure3 Carte des forces et des faiblesses selon les paramètres de sécurité (à gauche) et les paramètres d'autorisation (à droite) du WP2



8 Conclusions

Les technologies de l'hydrogène sont de plus en plus reconnues comme un pilier de la décarbonisation de l'industrie, de la mobilité et des usages résidentiels en Europe, en complément de l'électrification et de l'efficacité énergétique. Les données recueillies par HYPOP (analyses des meilleures pratiques, ateliers avec les parties prenantes, études de cas sur les autorisations) montrent toutefois un paysage fragmenté en matière de sécurité : interprétations divergentes, connaissance inégale des propriétés distinctives de l'hydrogène et oscillation entre des approches normatives et des approches basées sur les performances.

La perception et les connaissances des parties prenantes impliquées dans les procédures de sécurité et d'octroi de permis sont considérées comme des moteurs de la mise en œuvre des projets liés à l'hydrogène. L'utilisation de l'hydrogène est perçue par beaucoup comme une nouveauté, mais les technologies de l'hydrogène sont utilisées en toute sécurité dans plusieurs applications industrielles depuis le siècle dernier. De nouvelles applications et des technologies émergentes liées à l'hydrogène sont en cours de développement pour la mobilité et les applications résidentielles. Dans ces cas, les approches de sécurité qui sous-tendent le cadre réglementaire doivent suivre le rythme défini par la recherche et l'innovation, ce qui n'est pas une tâche facile. En effet, les approches communes en matière de sécurité associées aux technologies de l'hydrogène et à l'hydrogène lui-même en tant que combustible ne sont pas encore pleinement développées. Cette incertitude se reflète tant au niveau national qu'au niveau local dans l'UE, où les exigences de sécurité peuvent entraîner des obstacles qui freinent les investissements privés et compliquent le travail des parties prenantes impliquées dans les procédures d'octroi et d'obtention de permis (par exemple, les autorités publiques et les entreprises).

Problème actuel : La phase actuelle est marquée par une expérience pratique limitée de l'hydrogène : de nombreuses autorités locales (en premier lieu les commandements des pompiers et les services techniques chargés des questions environnementales, de l'urbanisme et de la prévention des accidents) ne sont pas soutenues par un cadre réglementaire et ont donc du mal à interpréter les réglementations existantes (souvent conçues pour d'autres combustibles) dans leur évaluation des solutions innovantes.

Objectif : réduire l'incertitude et les délais d'octroi des permis et accroître les connaissances et la perception, tout en garantissant des niveaux de sécurité équivalents et documentés, grâce à une voie d'interaction structurée et reproductible entre le promoteur du projet / concepteur HSE et les autorités publiques.

Le paysage fragmenté de la sécurité génère :

- Des délais d'autorisation plus longs et moins prévisibles.
- Des exigences de sécurité inégales et diversifiées dans l'UE (sur- ou sous-ingénierie).
- Une augmentation des « coûts indirects » de développement (cycles de révision itératifs, consultations répétées).
- Un affaiblissement de la confiance du public lorsque la transparence est faible.



Les recommandations incluses dans **les lignes directrices HYPOP peuvent être résumées en deux piliers opérationnels qui peuvent favoriser la mise en œuvre quotidienne et la reproductibilité :**

- **Actions techniques :** de la cartographie des lacunes réglementaires à l'adaptation ciblée et au transfert des meilleures pratiques issues des approches de l'UE ; des différentes exigences techniques (par exemple, certification et conformité ATEX, ingénierie d'aménagement et conteneurisation, détection précoce et ventilation adaptative, etc.) à la normalisation progressive des méthodologies de risque et à une approche commune en matière de sécurité.
- **Transfert de connaissances et sensibilisation :** un processus d'amélioration continue basé sur une formation modulaire pour les autorités et les opérateurs ; la création d'un écosystème participatif large et normalisé qui renforce l'interaction entre les parties prenantes afin de favoriser l'acceptation et de lutter contre la désinformation ; l'organisation d'ateliers entre experts techniques et autorités publiques afin d'échanger des points de vue et d'harmoniser les perspectives en matière de sécurité ; et la co-création de protocoles d'urgence avec les pompiers.

La mise en œuvre de ce modèle accélérera le déploiement en toute sécurité, réduira la charge administrative et renforcera la confiance du public, initiant ainsi un cercle vertueux entre innovation et gouvernance des risques.



9 Annexe A

i. Lignes directrices de l'UE

Le tableau suivant présente certaines lignes directrices en matière de sécurité identifiées lors du projet HYPOP qui peuvent être prises en considération pour explorer différentes approches et commencer à élaborer vos propres lignes directrices en fonction de votre approche de la sécurité et en apportant des modifications ou des adaptations à partir d'autres bonnes pratiques.

Tableau20 Lignes directrices de l'UE en matière de sécurité identifiées dans le cadre du projet HYPOP

Pays	Impact	Thèmes	Secteurs	Entités	Points à retenir
Suisse ¹¹	National	Sécurité/Autorisations	Production d'hydrogène H2	Association des producteurs de H2, entreprises, autorité nationale	Le cadre d'autorisation repose sur des interactions simplifiées entre les autorités publiques, où l'échange d'informations pour différents types d'autorisations est dirigé par une autorité principale. Deux permis principaux sont nécessaires : le permis de construire et le permis électrique. Le permis de construire comprend des autorisations environnementales telles que l'évaluation de l'impact sur l'environnement si :

¹¹

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11554&ved=2ahUKewiEu47S3N-OAxU8cvEDHQm-Hv4QFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw2qMyiJ0ZB6GKrH3iWeuf5f>



Pays	Impact	Thèmes	Secteurs	Entités	Points à retenir
					<ul style="list-style-type: none"> • Le stockage de gaz dépasse 50 000 m³ ou, dans le cas du stockage de liquides, s'il dépasse 5 000 m³ ; • La superficie opérationnelle de l'usine dépasse 5 000 m² ou si la synthèse de produits chimiques dépasse 1 000 tonnes par an. <p>Aspects liés à la sécurité :</p> <ul style="list-style-type: none"> • normes harmonisées au niveau intercantonal en matière de prévention des incendies ; • référence juridique pour les atmosphères potentiellement explosives, VUV (équivalent à ATEX 1999/92/CE)
Pays-Bas ¹²	National	Sécurité	Mobilité (stations de ravitaillement en hydrogène, HRS)	H ₂ experts engagés par les autorités	Les directives relatives à la sécurité des HRS (évaluées par les municipalités ou les provinces) font office de réglementation. Les distances de sécurité internes (jusqu'à 8,5 mètres) sont calculées à l'aide d'une méthodologie quantitative basée sur l'évaluation des risques, d'un logiciel (SAFETI-NL NL v6.5.4) et des définitions et concepts de sécurité de l'Association européenne des gaz industriels (EIGA) IGC Doc 75/07/E « Détermination des distances de sécurité ». La réglementation (ou les directives) recommande également d'envisager des mesures d'atténuation telles que des pare-feu pour réduire l'escalade, ou la

¹²

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://content.publicatiereeksgevaarlijkesstoffen.nl/documents/PGS35/PGS%252035%2520voor%2520website%2520ondertekend.pdf&ved=2ahUKewiuzPrr3N-OAxW4Q_EDHcHUMjYQFnoECBcQAQ&usg=AOvVaw05GoR5M1E9FmV_6igboHzr



Pays	Impact	Thèmes	Secteurs	Entités	Points à retenir
					modification de la conception des équipements et/ou des conditions d'exploitation afin de réduire la gravité et/ou la probabilité d' er l'incident si les distances de sécurité qui en résultent sont trop importantes pour la conception du HRS.
Espagne ¹³	National	Sécurité	H ₂ Production Mobilité Résidentiel	Association d'entreprises	<p>Les lignes directrices soulignent l'approche espagnole de la sécurité basée sur la performance en décrivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les méthodologies d'analyse des risques les plus pertinentes, leur fonction et leurs objectifs, ainsi que leur stade d'application dans le projet ; • l'identification des lacunes réglementaires potentielles au niveau national, les recommandations d'experts et la présentation des réglementations, codes et normes (RCS) internationaux en matière de sécurité des installations hydrogènes. <p>Les éléments clés influençant la sécurité des installations hydrogènes sont indiqués (également pour la production d'H₂sur site) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la définition de zones d'exclusion où l'accès est limité ; • les distances de sécurité et les mesures d'atténuation en cas de scénarios d'explosion ;

¹³ <https://bequinator.org/general/guia-de-seguridad-del-hidrogeno-de-bequinator/>



Pays	Impact	Thèmes	Secteurs	Entités	Points à retenir
					<ul style="list-style-type: none"> • fuite de H2 dans l'air nécessitant des systèmes de ventilation appropriés pour toutes les zones ATEX ; • systèmes de détection de gaz et d'incendie.

ii. Preuves de l'existence de réglementations relatives à la sécurité des projets H2 dans l'UE

Vous trouverez ci-dessous certaines réglementations de sécurité identifiées dans le cadre du projet HYPOP, classées selon le type d'approche en matière de sécurité et répertoriant les principales exigences de sécurité. Pour plus d'informations, veuillez vous reporter au livrable 2.1 du projet HYPOP.

Tableau21 Réglementations de sécurité existantes de l'UE pour les projets H₂

Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
Italie	Production d'H2	Décret du 7 juillet 2023 du ministère de l'Intérieur : « Règle technique de prévention des incendies pour l'identification des méthodologies d'analyse des risques et des mesures de sécurité incendie à adopter pour la conception, la construction et l'exploitation des installations de	<ul style="list-style-type: none"> • Distances de sécurité de 3 m à 5 m (P<10 bar) • Distances de sécurité de 15 m à 30 m (700 <P<1000 bar) 	Prescriptive



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
		production d'hydrogène par électrolyse et de leurs systèmes de stockage. » ¹⁴		
Italie	HRS	Décret du 23 octobre 2018 du ministère de l'Intérieur : « Règle technique de prévention des incendies pour la conception, la construction, l' et l'exploitation des installations de distribution d'hydrogène pour véhicules à moteur ; ¹⁵	Distances de sécurité de 12 m à 30 m	Normatif
Espagne	HRS	Décret royal 919/2006 du 28 juillet (ITC-ICG 5) ¹⁶	ISO/TS 19880-1:2020 « Hydrogène gazeux - Stations de ravitaillement - Partie 1 : Exigences générales	Performances
Espagne	Résidentiel	Décret royal 656/2017, Règlement sur le stockage des produits chimiques et ses instructions techniques complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • En fonction de la quantité stockée ; • Distances de sécurité entre les 	Prescriptif

¹⁴ <https://www.vigilfuoco.it/media/notizie/gu-decreto-7-luglio-2023-impianti-di-produzione-di-idrogeno-mediante-elettrolisi-e-relativi-sistemi>

¹⁵ <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/11/05/18A07049/SG>

¹⁶ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-15345#itcicg05>



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
		MIE APQ 0 à 10 ¹⁷ (MIE APQ-1 ; MIE APQ-5 ; MIE APQ-10.	équipements dangereux - 3 m / 6 m ou mur de séparation	
Pologne	HRS	Règlement du ministre du Climat et de l'Environnement du 21 octobre 2022 relatif aux exigences techniques détaillées applicables aux stations à hydrogène de l' (Journal officiel 2022, point 2158) ¹⁸	<ul style="list-style-type: none"> normes ISO 1988-1 et EN ISO 17127 normes ISO 19880-2 et EN ISO 17268 	Performances
Bulgarie	HRS + production d'H2 sur site	Règlement n° RD-02-20-2 du 28 septembre 2020 relatif aux « Conditions et procédures de conception, de construction, de mise en service et de contrôle des stations-service pour véhicules à hydrogène » ¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> Distances de sécurité jusqu'à 15 m. BDS ISO 16111 « Dispositifs portables de stockage de gaz. Hydrogène absorbé 	Normes prescriptives

¹⁷ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-8755>

¹⁸ <https://www.gov.pl/web/klimat/rozporzadzenie-ministra-klimatu-i-srodowiska-w-sprawie-szczegolowych-wymagan-technicznych-dla-stacji-wodoru>

¹⁹ <https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2137206003>



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
			<p>dans un hydrure métallique réversible</p> <ul style="list-style-type: none"> • BDS EN ISO 17268 « Dispositifs de raccordement pour le ravitaillement en hydrogène gazeux des véhicules routiers (ISO17268:2012) ». • BDS EN 17127 « Points de ravitaillement en hydrogène à l'extérieur pour la distribution d'hydrogène gazeux et les protocoles de remplissage inclus » ; • BDS EN 60079-10-1 « Atmosphères explosives. Partie 	



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
			10-1 : Classification des zones. Atmosphères explosives gazeuses ».	
République tchèque	HRS	Méthodologie pour la construction et l'exploitation de stations de ravitaillement en hydrogène comprimé pour les appareils mobiles ²⁰ (directive appliquée officiellement)	Distances de sécurité de 3 m à 8 m	Normatif
France	HRS	Arrêté du 22 octobre 2018 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) ²¹	Distances de sécurité de 6 m à 14 m (réduction à 10 m maximum)	Prescriptive/Performance

²⁰ <https://hzscr.gov.cz/clanek/metodika-vystavby-a-provozu-plnicich-stanic-stlaceneho-vodiku-pro-mobilni-zarizeni.aspx>

²¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037519292/>



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
France	Résidentiel	Arrêté du 12 février 1998 « prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4715). ²²	<ul style="list-style-type: none"> • Distances de sécurité intérieures 5 m • Distances de sécurité extérieures 8 m 	Prescriptif
Allemagne	HRS	<i>Guide d'autorisation pour les stations-service à hydrogène</i> ²³	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 19880-1:2020 Hydrogène gazeux – Stations-service – Partie 1 : Exigences générales • TRGS 720 : Mélanges gazeux explosifs dangereux – Informations générales 	Performances

²² <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000571176>

²³ https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/03/NOW_Genehmigungleitfaden_H2-Tankstellen.pdf&ved=2ahUKewibqrL0vt-OAxU_V6QEHabPPCEQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw1DDVCWjEDp6w9zjCd4ybOy



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
			<ul style="list-style-type: none"> • TRGS 727 : Prévention des risques d'inflammation dus aux charges électrostatiques • TRGS 745 : Conteneurs portables pour gaz comprimé – Remplissage, stockage, transport interne et vidage 	
Pays-Bas	HRS	PGS35 « Installations d'hydrogène pour l'approvisionnement en hydrogène des véhicules et des engins » ²⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Distances de sécurité de 2 m à 8,5 m • logiciel (SAFETI-NL v6.5.4), 	Performance

²⁴ <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs35/>



Pays	Application de l'hydrogène	Référence	Exigences principales	Approche en matière de sécurité
			<ul style="list-style-type: none"> • concepts de sécurité de l'Association européenne des gaz industriels (EIGA) • IGC Doc 75/07/E « Détermination des distances de sécurité » 	
Croatie	Industrie, HRS, résidentiel	Basé sur la norme NFPA-2/2020 « Code de technologie de l'hydrogène » (non réglementaire au niveau national)	<ul style="list-style-type: none"> • Distances de sécurité par rapport au stockage d'hydrogène comprimé comprises entre 1,5 m et 14 m selon l'équipement concerné. 	Performances



iii. Références de base pour les réglementations, codes et normes (RCS)

Le tableau suivant comprend certaines RCS de base qui peuvent être vérifiées. Pour plus de détails sur les normes, nous vous recommandons de consulter les livrables 2.3 et D4.5 « Certification Guidelines » (Directives de certification) de HYPOP.

22 Tableau Références de base pour les réglementations, codes et normes

Normes et réglementations utiles pour la sécurité de l'hydrogène
Protection contre les explosions : CEI/EN 60079 et ISO/CEI 80079 ;
ISO 22734 - Générateurs d'hydrogène utilisant l'électrolyse de l'eau – Applications industrielles, commerciales et résidentielles : exige des fabricants d'électrolyseurs qu'ils procèdent à une évaluation des risques. En fonction de l'emplacement final de l'équipement, les propriétaires/exploitants d'installations peuvent être amenés à effectuer leur propre évaluation supplémentaire du générateur d'hydrogène, en appliquant la classification des zones selon la norme CEI 60079-10-1 ou une norme nationale appropriée
ISO 19880 - Hydrogène gazeux – Stations de ravitaillement
Classification des zones et méthodes de protection contre l'inflammation selon les normes CEI 60079, ISO/CEI 80079 et NFPA 2
ISO/TR 15916 – Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à hydrogène
Ressources supplémentaires (avec références)



Base de données des codes et normes relatifs à l'hydrogène et aux piles à combustible : https://h2tools.org/fuel-cell-codes-and-standards?search_api_fulltext=

Guide EIGA : SYSTÈMES DE CANALISATIONS D'HYDROGÈNE

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.eiga.eu/uploads/document/DOC121.pdf&ved=2ahUKEwja-_uC4d-OAxVmVqQEHaObHnkQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw2Xm3-VobjG-Flg0-Bkki3n

Guide EIGA : LIGNES DIRECTRICES POUR LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE À PETITE ÉCHELLE

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.eiga.eu/ct_documents/doc/246-pdf/&ved=2ahUKEwja-_uC4d-OAxVmVqQEHaObHnkQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw1ue2JTdrcuiEf8Qz9O5yME

Guide NFPA : mesures de sécurité fondamentales pour la production, l'installation, le stockage, la canalisation, l'utilisation et la manipulation de l'hydrogène sous forme de gaz comprimé

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-2-standard-development/2&ved=2ahUKEwi-1L724d-OAxW4KvsDHU5HIzYQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3X4Is3hYFY0_tlrRBlw7D8



iv. Ateliers techniques HYPOP

Atelier technique : Espagne

Les deux ateliers organisés en Espagne par le Centro Nacional de Hidrogeno ont consisté en des présentations sur le projet HYPOP et des discussions avec le public, composé principalement d'entreprises. Les résultats les plus significatifs de ces ateliers ont porté sur les principaux défis/obstacles rencontrés pour démontrer la sécurité des technologies de l'hydrogène.

Les principaux défis et obstacles ont été résumés dans les catégories suivantes :

- **Connaissances** : le manque d'informations et de sensibilisation (généralement de la part des administrations), la disponibilité des infrastructures existantes et l'absence de précédents ont également été identifiés comme des problèmes.
- **Opinion publique** : crédibilité, sensibilisation sociale (lutte contre les fausses croyances, sensibilisation de la société au fait que l'hydrogène est présent depuis des décennies) et questions sociales.
- **Réglementation et certification** : absence de réglementation spécifique, absence de réglementation unique spécifique, certification, meilleures pratiques normalisées, homogénéité.
- **Prévention environnementale.**
- **Questions technico-économiques** : coûts, questions économiques, demande, utilisation de la technologie, heures de fonctionnement des machines, anticipation de la dégradation des équipements de stockage, conception des installations, stockage, distribution, rapprochement de l'H2 des populations grâce aux HRS.
- **Sécurité** : la faible sensibilisation à la sécurité et la difficulté à détecter les fuites d'hydrogène ont également été abordées. Les aspects généraux liés à ce sujet, tels que les zones explosives, la plage d'inflammabilité de l'hydrogène, les valeurs de pression dans la



production et le stockage de l'hydrogène, l'absence de données sur les accidents antérieurs (pour valider le niveau de sécurité). Développement, diffusion et application de mesures de sécurité passives et actives.

Atelier technique : Italie

L'atelier italien s'est déroulé pendant le salon Hydrogen Expo Piacenza. Il a été organisé par ENVIPARK en collaboration avec l'Association italienne pour l'hydrogène et les piles à combustible (H2IT) et a réuni des entreprises privées et des autorités publiques.

Une table ronde a été organisée pour discuter des principaux obstacles rencontrés par les acteurs du secteur de l'hydrogène en Italie. Les principales difficultés identifiées étaient le manque d'expérience et de perception des autorités publiques à l'égard de l'hydrogène et les incertitudes concernant l'interprétation et l'application des réglementations de sécurité existante au niveau national.

Au cours des discussions, les principales conclusions des intervenants et du public ont été recueillies afin d'élaborer une discussion sur l'engagement probable des autorités de sécurité. Les principales étapes ont été rapportées ici :

- **Présentation du projet (sécurité)** : présenter le projet au commandement des pompiers, afin de le rendre plus compréhensible et d'accélérer le processus d'approbation.
- **Références normatives** : examiner avec les pompiers les décrets ministériels et les réglementations qui s'appliquent à chaque section de l'installation.
- **Problèmes critiques** : analyser les points critiques potentiels du projet et identifier les mesures d'atténuation appropriées.
- **Besoins** : mettre en œuvre les réglementations de sécurité existante en introduisant des conditions spécifiques pour chaque taille de projet et chaque technologie installée.
- **Outils** : exiger une évaluation des risques et préciser la méthodologie souhaitée.
- **Approche** : raisonner en termes de probabilité des scénarios d'incident plutôt qu'en termes de gravité.



Atelier technique : Belgique

CLUSTER TWEED a organisé un atelier en ligne auquel ont participé une entreprise spécialisée dans les services environnementaux et de sécurité, une entreprise privée qui a mis en œuvre un projet d'hydrogène dans **une chaîne de magasins alimentaires**, une entreprise dédiée au réseau de distribution de gaz et d'électricité et la **Libre Université de Bruxelles**. CLUSTER TWEED a fait une présentation axée sur la situation actuelle en Belgique et dans les pays voisins. La session s'est terminée par une brève séance de questions-réponses qui a mis en évidence le fait que la question principale lorsqu'il s'agit de la sécurité des projets liés à l'hydrogène n'est pas l'aspect technique, mais plutôt l'acceptation des parties prenantes pour le rendre acceptable. En raison d'un cadre administratif peu clair en Wallonie, les autorités publiques craignent généralement cette nouvelle technologie. Comme l'administration manque d'expertise en matière d'hydrogène, elle se réfère souvent à la réglementation SEVESO, même pour les petits projets. En l'absence de critères d'acceptation spécifiques, elles suivent les critères SEVERO, qui sont très restrictifs pour les projets liés à l'hydrogène, comme les stations de ravitaillement en hydrogène. Tous les participants ont convenu que **la formation et la sensibilisation des autorités sont essentielles**, et que l'industrie peut jouer un rôle de premier plan dans ce processus.

Atelier technique : Bulgarie

L'atelier bulgare s'est tenu à l'Académie bulgare des sciences à Sofia. Certains des participants étaient des représentants des organisations suivantes : l'Agence nationale de météorologie et de supervision technique, l'Académie bulgare des sciences, diverses universités, des municipalités et les services nationaux de sécurité civile et d'incendie.

En raison des lacunes réglementaires importantes en Bulgarie, l'atelier a abordé de manière générale les principaux besoins à traiter. Le Service national de sécurité incendie et de protection civile a informé les participants de toutes les exigences légales et réglementaires et leur a présenté des exemples pratiques liés à la production, au stockage et à l'utilisation de l'hydrogène. Les participants ont ensuite exprimé leur opinion selon laquelle les autorités publiques devraient adopter une approche proactive et introduire plus rapidement des normes législatives afin de permettre aux entreprises d'adopter l'hydrogène à grande échelle. À titre d'exemple des prochaines étapes qui nous



attendent en Bulgarie, un groupe de travail d'experts va être créé spécifiquement pour les autorisations de projets liés à l'hydrogène. Les participants ont exprimé leur espoir que ce groupe donnera une impulsion positive aux projets liés à l'hydrogène et à leurs autorisations.

Atelier technique : Pologne

L'atelier avait pour objectif de présenter au public le projet HYPOP (Hydrogen Public Opinion and Acceptance) et d'engager une discussion interrégionale approfondie et constructive sur le potentiel et les défis liés à l'économie de l'hydrogène. La réunion a rassemblé des représentants de divers secteurs : industrie, administration publique et expertise environnementale. Cette présence intersectorielle a permis d'avoir une vision holistique du développement de l'économie de l'hydrogène.

Au cours de la session de discussion, les participants ont partagé leurs expériences, leurs besoins et les défis liés à la mise en œuvre du projet hydrogène. Les questions clés suivantes ont été identifiées :

- Complexité et manque de transparence des procédures administratives ; absence de normes locales uniformes
- Insuffisance des compétences administratives dans les aspects techniques et juridiques des installations hydrogène ;
- Absence d'outils de communication publique cohérents et de mécanismes d'engagement citoyen
- Potentiel inexploité de synergie avec les projets financés par l'UE
- Nécessité de lignes directrices unifiées pour la région de Poméranie.



v. **Analyse technique des exigences et des obstacles en matière de sécurité : complément tiré de HYPOP D2.1**

Les informations fournies dans cette section de l'annexe visent à compléter l'analyse technique des exigences de sécurité pour les projets liés à l'hydrogène qui figure dans le document D2.1. Ce travail a été réalisé (y compris dans le cas des autorisations) parallèlement à l'organisation d'ateliers de participation des parties prenantes. **De plus amples informations, résultats et comparaisons pour d'autres pays sont disponibles dans le document HYPOP Deliverable 2.1.**

CROATIE

La Croatie ne dispose actuellement d'aucun cadre juridique spécifique pour l'hydrogène dans les secteurs industriel, de la mobilité ou résidentiel. Les réglementations existantes relatives aux gaz inflammables, à la sécurité des constructions et à l'énergie sont appliquées, souvent en combinaison avec les directives européennes. Pour la mobilité et l'utilisation industrielle, les règles de l'UE sont respectées, tandis que dans le secteur résidentiel, l'hydrogène en est encore à la phase pilote.

Les principaux défis communs aux parties prenantes en matière d'autorisations liées à l'hydrogène sont les suivants :

- l'absence d'un cadre juridique clair et spécifique ;
- des exigences de sécurité supplémentaires ;
- les interprétations et procédures variables entre les municipalités et les comtés.

Exigences générales en matière de sécurité

Les quantités limites de substances dangereuses qui doivent être stockées sur le site de l'installation doivent être vérifiées conformément à **l'annexe IA du règlement de l' e sur la prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses (OG, 44/14, 78/15, 31/17, 45/17) :**

Tableau23 Quantités limites de substances dangereuses issues du règlement sur la prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses

Numéro d'ordre	Substance dangereuse	Quantités limites inférieures de substances dangereuses (en tonnes)
----------------	----------------------	---



		Petites quantités	Grandes quantités
Annexe IA, partie 2			
15	Hydrogène	5	50

De plus, l'hydrogène étant défini comme une substance dangereuse qui, en cas de fuite, peut créer une atmosphère explosive et provoquer des explosions, des zones dangereuses et des distances de sécurité ont été définies. La législation croate ne contenant actuellement aucune réglementation définissant les distances de sécurité entre les réservoirs d'hydrogène comprimé et les autres bâtiments et sources d'incendie, la **norme NFPA-2/2020 s'applique**, dont les valeurs sont indiquées ci-dessous :

Tableau24 Distances de sécurité selon la norme NFPA-2/2020 (Croatie)

TYPES D'OBJETS POTENTIELS À PROXIMITÉ D'UN RÉSERVOIR D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ (« REMORQUE-CUVE »)	DISTANCE MINIMALE PAR RAPPORT À UN RÉSERVOIR D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ (m)
BÂTIMENTS RÉSISTANTS AU FEU	5,8
BÂTIMENTS INFLAMMABLES OU PEU INFLAMMABLES	5,8
VÉHICULES EN STATIONNEMENT	7,3
ROUTES PUBLIQUES, VOIES FERRÉES ET AUTRES SURFACES APPARTENANT À DES TIERS	14
RÉSERVOIRS D'HYDROGÈNE LIQUIDE	1,5
LIEUX DE RÉUNION PUBLICS	14
APPELS OUVERTS	14
RÉSERVOIRS D'OXYGÈNE LIQUIDE	5,8



TYPES D'OBJETS POTENTIELS À PROXIMITÉ D'UN RÉSERVOIR D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ (« REMORQUE-CUVE »)	DISTANCE MINIMALE PAR RAPPORT À UN RÉSERVOIR D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ (m)
RÉSERVOIRS DE LIQUIDES INFLAMMABLES	5,8
RÉSERVOIRS SOUTERRAINS SOUPAPES DE RESPIRATION	5,8
LIQUIDES COMBUSTIBLES	5,8
MATÉRIAUX SOLIDES INFLAMMABLES (STOCKAGE DE CARBURANT SOLIDES)	14
ENTRÉES DE COMPRESSEURS D'AIR	14
AUTRES STRUCTURES	14

CHYPRE

L'engagement des parties prenantes a conduit à l'analyse du principal projet H₂ actif à Chypre. Le **projet GreenH2CY** est l'une des rares initiatives à Chypre qui intègre la **production, le stockage et l'utilisation d'hydrogène renouvelable spécifiquement destiné au transport routier**. Financé dans le cadre de **l'appel à projets du Fonds d'innovation 2022**, le projet vise à inclure sur le même site :

- L'installation et l'exploitation d'un **électrolyseur à membrane échangeuse de protons (PEM) de 2 mégawatts (MW)** composé de deux piles d'électrolyse de 1 MW (capacité de production de 150 tonnes/an) ;
- **Une installation de stockage d'hydrogène** composée de deux unités de stockage (2 × 500 kg) ;
- **Une station de ravitaillement en hydrogène** sur le même site.



Les parties prenantes du projet sont engagées dans le **processus d'obtention des permis depuis plus de deux ans** et sont confrontées à des défis importants en raison du **manque de connaissances des autorités** locales et nationales en **matière d'hydrogène**. En revanche, **l'opinion publique et l'engagement communautaire ont été très positifs**, le projet étant décrit comme une opportunité de décarboniser le secteur des transports.

Future Fuels Ltd, le coordinateur du projet, a apporté ces informations au projet HYPOP concernant les procédures **de sécurité et d'obtention des permis**.

Du **point de vue de la sécurité**, les **pompiers** sont l'autorité compétente pour délivrer les permis liés à la sécurité. Comme il **n'existe pas de directives techniques ou de réglementations spécifiques pour l'hydrogène**, la seule référence réglementaire connue est la **directive SEVESO**. Cependant, en raison de son **inapplicabilité aux projets pilotes à petite échelle** (en dessous du seuil de 5 tonnes) et de ses **exigences de sécurité strictes**, elle a finalement été prise en considération mais **n'a pas été appliquée**.

La procédure a plutôt consisté à analyser **les directives existantes pour les combustibles conventionnels** et à soumettre un **rapport de sécurité** aux pompiers, comprenant les résultats d'une **évaluation des risques** mettant en évidence le **risque d'explosion lié au stockage de l'hydrogène** et les **distances de sécurité requises** entre l'unité de stockage et les limites extérieures du site.

RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Les **pompiers régionaux** (au niveau du district) sont les **autorités compétentes en matière de sécurité**. Il **n'existe** actuellement **aucun groupe de travail** ou **initiative spécifique visant à recueillir les meilleures pratiques et à partager les expériences**. Dans la pratique, **chaque projet est traité comme un cas particulier**.

À l'heure actuelle, l'expérience pratique en matière de mobilité hydrogène dans le pays repose sur quatre stations de ravitaillement en hydrogène à 700 bars : une à Ostrava exploitée par VÍTKOVICE, a.s., deux (une à Prague et une à Litvinov) exploitées par ORLEN Unipetrol, et une près de Prague exploitée par ČEPRO, a.s.

Il existe en République tchèque des lignes directrices pour le développement des stations de ravitaillement en hydrogène. Elles peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://hzscr.gov.cz/clanek/metodika-vystavby-a-provozu-plnicich-stanic-stlaceneho-vodiku-pro-mobilni-zarizeni.aspx>.



Les principales caractéristiques des lignes directrices pour les stations de ravitaillement en hydrogène sont présentées ci-dessous.

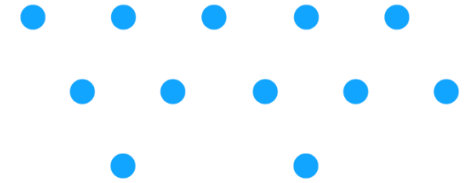
Ces lignes directrices ont été élaborées en l'absence de réglementation officielle et servent donc, en fait, de norme de facto. Elles définissent une méthodologie qui établit les conditions de base pour la construction de nouvelles stations de ravitaillement en hydrogène comprimé pour les équipements mobiles, en particulier les véhicules de transport.

Elles décrivent également une série de méthodes, utilisées individuellement ou en combinaison, pour la prévention des accidents, l'atténuation des dommages et les procédures d'intervention d'urgence en cas d'atmosphère inflammable ou explosive. Ce document a été élaboré grâce à la collaboration entre des organismes publics et privés et l'organisme de certification indépendant TÜV NORD. Il contient des dispositions relatives à la sécurité incendie et aux procédures d'autorisation.

Pour le choix du site, la conception, la construction, la mise en service, l'exploitation et la maintenance, il s'appuie sur l'expérience d'installations comparables et sur les réglementations relatives au GNC et au GPL, ainsi que sur les enseignements tirés de la conception, de la construction, de l'exploitation et de la maintenance de la première (et jusqu'à présent unique) station de ravitaillement en hydrogène comprimé à Neratovice, et sur les normes techniques internationalement reconnues adoptées par la République tchèque. Le document **ne** couvre **pas** la production d'hydrogène sur site ni l'utilisation d'hydrogène liquide. Néanmoins, la méthodologie traite de différents types de stations, publiques ou privées, à remplissage lent ou rapide.

Structure des lignes directrices

- **Définitions, terminologie et références normatives applicables**
- **Exigences techniques et administratives pour la soumission d'un projet de station de ravitaillement**
- **Recommandations sur les caractéristiques du site et la conception de la station**
- **Tests de validation du système**



Cette structure reflète une **approche normative en matière de sécurité**, donnant des indications claires au concepteur. Les principales références en matière de sécurité incendie pour la conception d'une station de ravitaillement en hydrogène sont les suivantes :

- **ČSN 73 0802** (sécurité incendie des bâtiments non industriels)
- **ČSN 73 0804** (sécurité incendie des bâtiments de production)

Référence supplémentaire clé : **ISO/TS 19880-1 – Hydrogène gazeux – Stations de ravitaillement – Partie 1 : Exigences générales.**

Exigences générales de sécurité

- **La distance minimale entre les distributeurs** doit empêcher le chevauchement des zones d'explosion dangereuses.
- **Tous les composants de la station** doivent être protégés contre les dommages mécaniques causés par la circulation des véhicules à moteur.
- **Les canalisations d'hydrogène** doivent être conformes à la norme **EN 13480-3 – Canalisations métalliques industrielles, Partie 3 : Conception et calcul.**
- **Les réservoirs de stockage sous pression** doivent être conformes à la norme **EN ISO 11114-4 – Bouteilles à gaz pour le transport de gaz, Partie 4 : Méthodes d'essai pour la sélection des aciers résistants à la fragilisation par l'hydrogène.**
- **Les distributeurs** doivent être installés à l'extérieur sous un auvent entièrement constitué de matériaux incombustibles (toiture comprise).

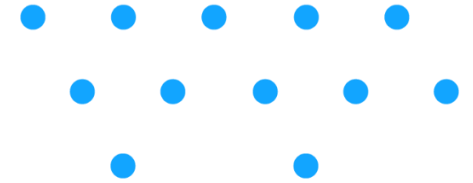


25 s sur les tables Distances de sécurité requises en République tchèque

Catégorie de distance	Distance (m)
Par rapport aux sources de chaleur et aux flammes nues	5
Zone présentant un risque d'incendie et d'explosion due à des équipements de stockage et sous pression	5
Par rapport aux voies publiques et aux parkings	8
À partir des bâtiments présentant des flammes nues, des surfaces/bâtiments combustibles et des prises d'air	8
À partir des réservoirs et entrepôts de GPL	8
Équipements GNC et GNL	8
Du compresseur	3

Documents requis pour la planification et l'obtention du permis de construire (la liste de contrôle détaillée figure dans les lignes directrices ; les principales références sont les suivantes) :

- **Loi n° 133/1985 Coll.** sur la protection contre les incendies (telle que modifiée)
- **Loi n° 505/1990 Coll.** sur la métrologie (telle que modifiée)
- **ČSN 1127-1** – Atmosphères explosives – Prévention et protection contre les explosions – Partie 1 : Concepts de base et méthodologie
- **Décret n° 499/2006 Coll.** sur la documentation relative aux bâtiments (tel que modifié)



- **Décret n° 169/2016 Coll.** relatif à la portée de la documentation pour les marchés publics de travaux et à l'inventaire des travaux de construction, des fournitures et des services, tel que modifié par **le décret n° 405/2017 Coll.**
- **ISO 26142** – Appareils de détection d'hydrogène – Applications fixes
- **IEC 61000** – Compatibilité électromagnétique (CEM)
- **ČSN 73 0810** – Sécurité incendie des bâtiments – Dispositions générales

En revanche, il n'existe aucune preuve de l'existence de lignes directrices ou de réglementations spécifiques pour les usines de production d'hydrogène, comme indiqué dans le lien suivant : <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/policies-and-standards/national-policy> Néanmoins, certains processus de production d'hydrogène sont envisagés dans le pays : Green Mine (2027, Most, région d'Ústí nad Labem), où un électrolyseur sera construit dans le cadre du projet Green Mine (production annuelle de 360 tonnes) ; un projet dans lequel l'hydrogène produit par un électrolyseur est relié à l'excédent d'énergie photovoltaïque produite. Le projet devrait démarrer en 2027 et est géré par ORLEN Unipetrol (production annuelle de 4 500 tonnes).

À l'heure actuelle, seuls quelques projets liés à l'hydrogène sont en cours en République tchèque. Certaines stations de ravitaillement en hydrogène (HRS) ont été construites et sont opérationnelles, et un projet de production d'hydrogène à partir d'électrolyseurs alimentés par un parc photovoltaïque est en cours. Cependant, ces projets ont en commun le fait d'être situés dans **des zones industrielles**, souvent sur **des terrains appartenant à des entreprises privées**, en particulier dans le **secteur chimique**. Cela influence à la fois le **type d'autorités publiques impliquées** et leur **expérience et leur perception** de ces projets, tout en mettant en évidence **un manque** général **d'expérience** dans les contextes publics ou urbains.

Le projet de production d'hydrogène actuellement en cours d'autorisation ne rencontre pas de difficultés majeures en termes de procédures de sécurité, principalement parce qu'il est situé à proximité de zones où des entreprises chimiques utilisent régulièrement d'autres gaz explosifs. Le **seul défi** rencontré par l' , était la nécessité de mettre en œuvre **des normes et des mesures de sécurité supplémentaires** pour répondre aux préoccupations soulevées par les **pompiers** en raison de la proximité du site avec **des voies ferrées**.



À l'heure actuelle, il n'existe **aucune réglementation nationale ou régionale spécifique en matière de sécurité** pour les projets liés à l'hydrogène en République tchèque, ni pour les stations de ravitaillement en hydrogène sans production sur site, ni pour les installations de production d'hydrogène. Pour les stations de ravitaillement en hydrogène existantes, **les réglementations standard applicables aux stations de ravitaillement en gaz naturel et en GPL** ont été respectées (ainsi que les lignes directrices qui servent de méthodologie). En outre, l'installation de **détecteurs de gaz, un zonage ATEX** approprié et une **analyse des risques** sont requis. Certaines **distances de sécurité prescrites** sont appliquées, mais elles peuvent être **outrépassées après discussion avec les pompiers**, à condition que **les critères de sécurité minimaux** soient toujours respectés. Cela est généralement possible grâce à la **compétence technique** et à **l'ouverture d'esprit des services d'incendie**, qui sont habitués à travailler dans des environnements industriels.

LITUANIE

L'une des principales représentantes du projet du port de Klaipėda, actuellement l'initiative la plus avancée en matière d'hydrogène en Lituanie, s'est engagée et a fait part de son opinion. Le projet prévoit la construction d'une usine de production d'hydrogène et d'une station de ravitaillement sur place, au sein du port. Équipée d'un électrolyseur de 1,25 MW, l'usine produira environ 531 kg d'hydrogène par jour et comprendra un stockage sur site de 1 500 kg. L'hydrogène sera distribué par deux unités : l'une ouverte au public et l'autre dédiée au ravitaillement des véhicules du port (navires hybrides utilisés pour la collecte et le traitement des déchets).

Cette initiative a également été l'occasion de lancer un groupe de travail chargé d'élaborer un cadre réglementaire national pour l'hydrogène en Lituanie.

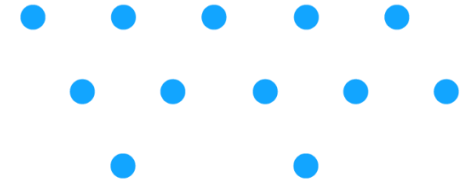
À l'heure actuelle, la Lituanie ne dispose d'aucune réglementation spécifique en matière d'hydrogène. Par conséquent, toutes les procédures d'autorisation, couvrant les aspects liés à la sécurité, à l'environnement et autres, sont élaborées au cas par cas en consultation avec les autorités compétentes. L'ensemble du processus d'autorisation a pris plus de deux ans et demi et en est maintenant à sa phase finale.

Lorsque l'autorité portuaire a lancé le processus en 2023, elle a proposé deux sites d'installation possibles. L'un d'eux a été rejeté par les pompiers car il était trop proche d'une zone utilisée pour la manutention d'engrais et donc considéré comme dangereux.

Points clés en matière de sécurité :



- Une demande officielle était nécessaire pour utiliser les normes allemandes en matière de construction d'installations sûres et de gestion de la sécurité au travail. En particulier, au début de cette année, le ministre de l'Énergie a publié un règlement autorisant l'utilisation des normes allemandes pour la conception technique des projets liés à l'hydrogène. Voici les normes applicables :
 - **Directives pour l'installation de stations de ravitaillement en hydrogène** (*en allemand : Genehmigungsleitfaden Wasserstoff-Tankstellen*) ;
 - **Exigences générales de sécurité pour les stations de ravitaillement en hydrogène** selon la norme ISO 19880-1:2020 (*en anglais : Gaseous hydrogen – Fuelling stations – Part 1: General requirements*) ;
 - **Annexe 1 de l'ordonnance allemande sur les substances dangereuses** (*en allemand : Gefahrstoffverordnung*) ;
 - **TRGS 720 : Mélanges explosifs dangereux – Informations générales** (*en allemand : Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines*) ;
 - **TRGS 727 : Prévention des risques d'inflammation dus aux charges électrostatiques** (*en allemand : Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen*) ;
 - **TRGS 745 : Conteneurs de gaz comprimé portables – Remplissage, stockage, transport interne et vidage** (*en allemand : Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren*).
- Une évaluation quantitative des risques (QRA) a été demandée ; elle a notamment abouti à l'exigence d'une distance de sécurité d'environ 5 m autour des canalisations dédiées à l'hydrogène. Les règles existantes en Lituanie ne couvrent que les pressions de 200 bars, la QRA était donc nécessaire pour les zones de service à hydrogène à plus haute pression.
- Aucune exigence spécifique n'a été formulée concernant les caissons ou les murs en béton destinés à séparer les équipements, à l'exception d'un mur anti-explosion protégeant le côté terminal.
- Des distances de sécurité supplémentaires sont en cours de discussion.
- Une étude HAZOP a été requise pour identifier tous les dangers potentiels.



- Des présentations publiques ont été organisées pour répondre aux questions de la communauté. Beaucoup provenaient de groupes environnementaux préoccupés par la consommation d'eau et le risque d'explosion. Les autorités locales ont été consultées à plusieurs reprises et des exemples de référence provenant du Royaume-Uni et du Japon ont été présentés.

MALTE

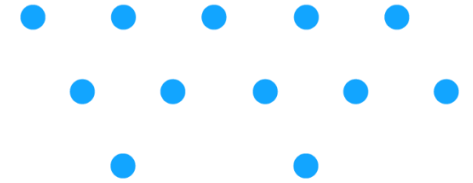
Dans le cas de Malte, aucune information n'a été trouvée concernant les procédures spécifiques relatives à l'hydrogène ni les procédures générales. Les éléments de sécurité suivants ont été trouvés :

- Loi XXVII de 2000, telle que modifiée, loi sur l'autorité chargée de la santé et de la sécurité au travail, chapitre 424 des lois de Malte ;
- S.L. 424.15 Règlement sur le lieu de travail (exigences minimales en matière de santé et de sécurité) ;
- S.L. 424.19 Règlement sur le contrôle des risques d'accidents majeurs ;
- S.L. 424.29 Règlement sur les lieux de travail (exigences minimales en matière de santé et de sécurité pour les travaux sur les chantiers de construction), abrogé par l'avis juridique 88 de 201

SLOVAQUIE

HYPOP a engagé un représentant de la région de Košice en Slovaquie. Les autorités régionales ont commencé à travailler sur l'hydrogène il y a environ cinq ans et ont contribué à l'élaboration d'une stratégie régionale en matière d'hydrogène. La partie prenante s'est jointe en tant que coordinatrice du projet **EASTGateH₂ Valley**, récemment financé, qui vise à installer **une production totale de 4 MW d'hydrogène par électrolyse** ainsi qu'une **station de ravitaillement en hydrogène (HRS)**.

Calendrier du projet

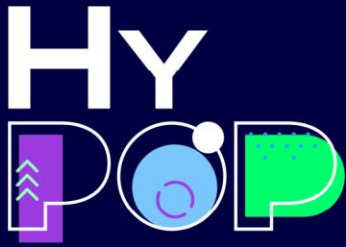


Le projet sera réalisé en deux phases principales :

1. **Phase 1** – installation du premier électrolyseur de 2 MW (le permis est en bonne voie) et premières étapes pour la station de ravitaillement en hydrogène (HRS) qui sera implantée au même endroit ;
2. **Phase 2** – installation de la deuxième unité de 2 MW.

Informations clés partagées sur les questions de sécurité :

- Il n'existe **pas** encore de **code national dédié à la sécurité de l'hydrogène**. Une approche *personnalisée, projet par projet*, est donc nécessaire.
- Les associations sectorielles et le ministère de l'Économie travaillent actuellement à l'élaboration d'une nouvelle législation.
- Pour la vallée actuelle, les exigences de sécurité sont évaluées par **l'autorité d'inspection technique** et le **conseil municipal**, avec le soutien des **pompiers**, qui aident à préparer le plan de gestion de la sécurité et l'évaluation des risques inclus dans le dossier technique.



 www.hypop-project.eu

 info@hypop-project.eu

#HYPOPPROJECT



Let's make
the hydrogen
revolution

