



Utilisation de l'hydrogène dans l'industrie et la technique du bâtiment



Éditeur:

ImmoClimat Suisse ICS
Association suisse pour les techniques de chauffage, d'aération et de climatisation
Rötzmattweg 51
4600 Olten
Suisse

Les entreprises et associations professionnelles suivantes ont participé à la rédaction de ce guide H₂:

Bosch Thermotechnik AG (Buderus Heiztechnik AG)

CTC AG

Elcotherm AG

Envention GmbH

Hoval AG

Meier Tobler AG

MHG Heiztechnik (Schweiz) GmbH

Association Suisse de Normalisation (SNV)

Vaillant GmbH Schweiz

Association Suisse de l'Industrie Gazière (ASIG)

Viessmann (Suisse) AG

Weishaupt AG

Ygnis AG

Remarque:

Le contenu de ce guide a été rédigé sur la base des connaissances actuelles et avec tout le soin requis. Néanmoins, l'éditeur et les auteurs ne peuvent être tenus responsables d'éventuelles erreurs.

La reproduction du contenu est autorisée à condition de mentionner la source.

Langues:

français et allemand

Version:

3 août 2023 / 1^{re} édition

Table des matières

1. Module d'introduction	4
2. L'hydrogène en tant que source d'énergie	5
3. Utilisation de l'hydrogène dans des systèmes stationnaires	8
4. Appareils à gaz pour l'hydrogène	12
5. Stockage de l'hydrogène	15
6. Conditions-cadres réglementaires en Europe et en Suisse	17
7. Liste de contrôle	19

1. Module d'introduction

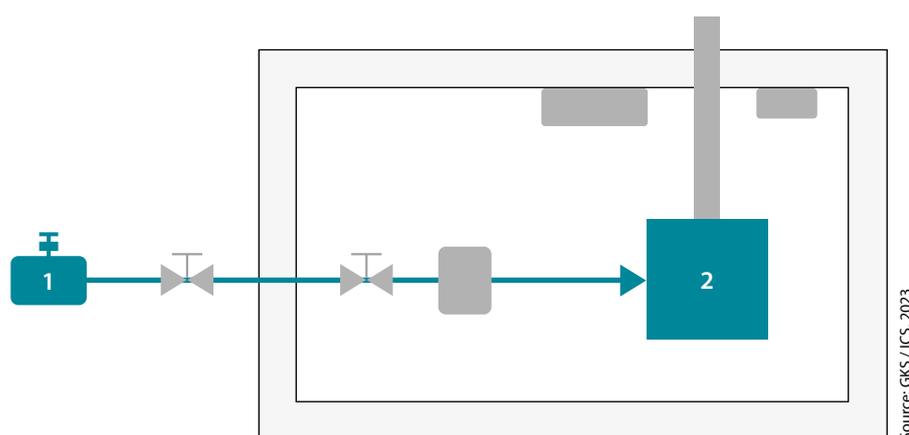
Dans l'économie et surtout dans l'industrie, l'hydrogène est considéré comme un source d'énergie important pour atteindre les objectifs climatiques. Au niveau international, le monde politique et les scientifiques évaluent parfois l'utilisation de l'hydrogène de manière très différente. Cela se reflète dans les différentes stratégies nationales en matière d'énergie et d'hydrogène. Alors que les stratégies européennes en matière d'hydrogène prévoient une utilisation générale de l'hydrogène sur le marché de la chaleur, la Stratégie Chaleur de la Suisse limite l'utilisation de l'hydrogène aux domaines d'application suivants: production de chaleur industrielle à haute température, couverture des pics dans les réseaux de chaleur ainsi que dans les installations de couplage chaleur-force (CCF) à chaleur.

Les domaines d'application dans lesquels l'hydrogène finira par s'imposer comme source d'énergie dépendent fortement de la disponibilité et de l'origine de l'hydrogène, des besoins, des objectifs de l'économie et des fournisseurs d'énergie ainsi que des conditions-cadres nationales et locales.

Le guide H₂ d'ICS dresse un état des lieux de l'utilisation stationnaire de l'hydrogène dans les bâtiments. Les domaines thématiques de l'hydrogène en tant que source d'énergie, l'utilisation stationnaire de l'hydrogène dans les bâtiments, les systèmes de chauffage compatibles avec l'hydrogène, le stockage de l'hydrogène ainsi que les conditions-cadres réglementaires en Europe et en Suisse y sont examinés. Le guide H₂ se concentre sur la planification, l'installation et l'exploitation de systèmes d'hydrogène stationnaires.

Le guide H₂ d'ICS s'adresse en premier lieu aux planificateurs et installateurs en technique du bâtiment qui projettent et réalisent des installations énergétiques stationnaires à l'hydrogène pour des logements individuels, des grands sites et des quartiers ainsi que pour l'industrie. Le guide sert également d'orientation initiale et d'aide à l'utilisation stationnaire de l'hydrogène.

Figure 1:
Schéma de principe d'un
système d'hydrogène station-
naire



- 1 Approvisionnement en hydrogène (via le réseau gazier, par remorque ou production propre)
- 2 Appareil à hydrogène (chauffage, eau chaude, production d'électricité, chaleur industrielle)

2. L'hydrogène en tant que source d'énergie

Introduction

L'hydrogène est présent dans tous les organismes vivants, il est pratiquement illimité, mais n'est pas librement disponible. Pour utiliser l'hydrogène comme source d'énergie, il faut d'abord le produire avec un peu d'énergie. L'énergie liée chimiquement dans l'hydrogène (33 kWh/kg) peut être utilisée de multiples façons. L'hydrogène peut être utilisé comme carburant pour la mobilité ou comme combustible pour la production d'énergie. Lors de la combustion, l'hydrogène n'émet pas de CO₂ car il ne contient pas de carbone.

Propriétés de l'hydrogène

exempt de carbone (de CO ₂)	volatil, plus léger que l'air
non toxique et non caustique, ni irritant	fragilise certains matériaux
neutre pour l'environnement, sans danger pour l'eau	non corrosif
inodore, goût neutre	non radioactif
invisible, brûle avec une flamme invisible	non cancérigène

Hydrogène vs gaz naturel

Le gaz naturel est une source d'énergie primaire qui est livrée directement au consommateur depuis le point d'extraction ou un terminal GNL du réseau gazier européen. L'hydrogène, en revanche, est distribué via des canalisations ou par remorque (route, rail) et peut également être produit localement, directement sur place.

Il convient de noter la différence de limite d'inflammabilité dans l'air entre ces deux sources d'énergie. La plage d'inflammabilité de l'hydrogène est beaucoup plus grande que celle du méthane. Le gaz naturel brûle avec une flamme bleue visible. L'hydrogène brûle avec une flamme à peine visible. Les appareils à gaz H₂ diffèrent légèrement des appareils à gaz utilisant le méthane en raison des conditions différentes pour une combustion contrôlée.

Le gaz naturel est distribué à basse pression (mbar) dans le bâtiment. Les conduites d'hydrogène ont un diamètre nettement plus petit lorsque la production est locale, mais la pression à laquelle elles sont soumises est beaucoup plus élevée (bar). Comme la puissance calorifique par m³ de gaz est plus faible pour l'hydrogène que pour le gaz naturel, une plus grande quantité d'hydrogène doit être mise à disposition.

Tableau 1:
Caractéristiques de divers gaz

	Teneur en méthane	Pouvoir calorifique inférieur H _i	Pouvoir calorifique supérieur H _s	Densité à 0 °C 1 bar	Limite d'explosivité dans l'air	Indice de Wobbe
Gaz naturel	80...99 % vol	8,6...11,4 kWh/m ³	9,7...12,8 kWh/m ³	0,72...1,00 kg/m ³	4,0...17,00 % vol	48,17...53,45 MJ/m ³
Biogaz	50...75 % vol	5,0...5,8 kWh/m ³	5,6...6,7 kWh/m ³	0,92...0,98 kg/m ³	6,0...12,0 % vol	28,44 MJ/m ³
Hydrogène	–	3,0 kWh/m ³	3,6 kWh/m ³	0,09 kg/m ³	4...75 % vol	40,90...48,3 MJ/m ³
Propane	–	25,9 kWh/kg	28,1 kWh/kg	2,04 kg/m ³	2...9,5 % vol	74,74...81,81 MJ/m ³

Utilisation de l'hydrogène

L'hydrogène est un source d'énergie polyvalent qui peut être utilisé dans l'industrie pour la chaleur industrielle, dans le bâtiment pour l'approvisionnement en chaleur ou dans la mobilité comme carburant. En outre, l'hydrogène peut être transformé en électricité au moyen de turbines à gaz, de piles à combustible ou de systèmes de couplage chaleur-force (CCF). L'hydrogène se prête bien au stockage de l'électricité renouvelable et peut ainsi mieux assurer une production d'électricité de plus en plus volatile.

Production de l'hydrogène

L'hydrogène est un gaz invisible qui est désigné par une couleur différente selon qu'il est utilisé comme matière première ou comme source d'énergie. Les principales couleurs sont brièvement expliquées ci-dessous.

L'hydrogène gris est produit par reformage à la vapeur, le plus souvent à partir de gaz naturel fossile. Ce processus produit environ 10 tonnes de CO₂ par tonne d'hydrogène. Le CO₂ est rejeté dans l'atmosphère.

L'hydrogène bleu est de l'hydrogène gris, mais lors de sa formation, le CO₂ est partiellement capté et stocké dans le sol (Carbon Capture and Storage (CCS)). Un maximum de 90 % du CO₂ peut être stocké.

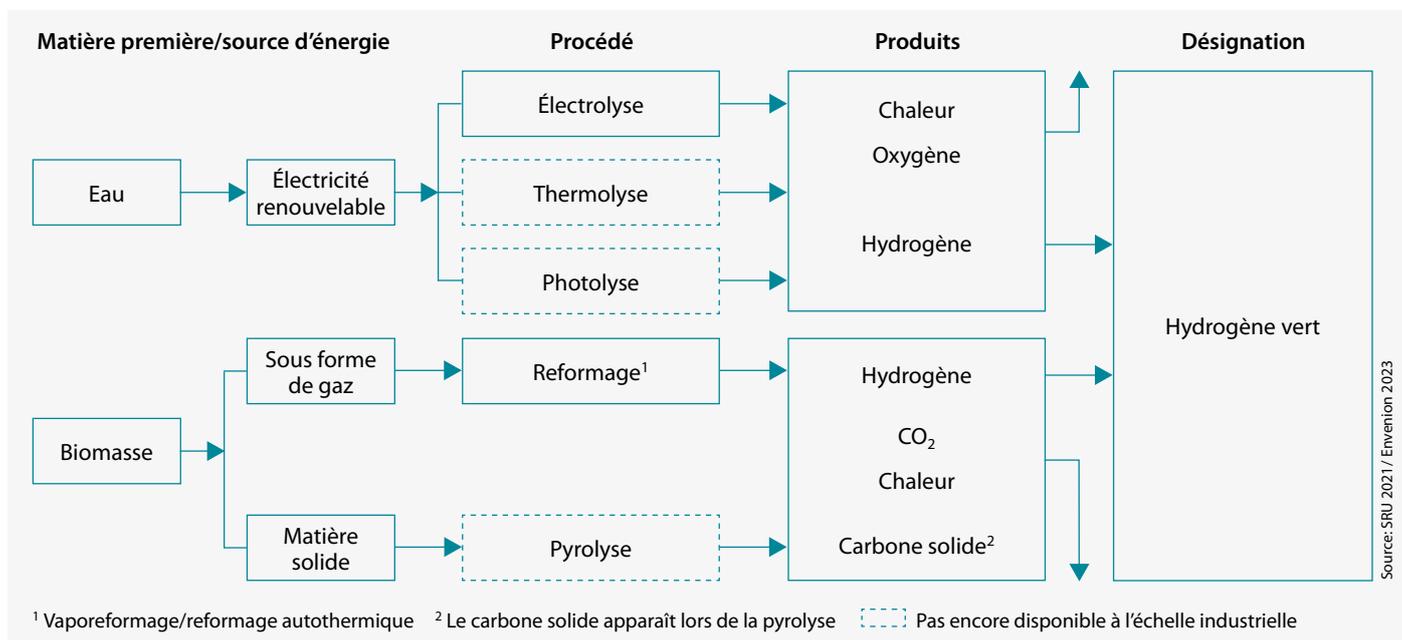
L'hydrogène turquoise est de l'hydrogène produit par la décomposition thermique du méthane (pyrolyse du méthane). Du carbone solide est produit à la place du CO₂. Le procédé de pyrolyse du méthane est encore en cours de développement.¹

Selon la matière première, **l'hydrogène vert** est produit avec de l'électricité renouvelable et différents procédés.

Hydrogène vert produit par électrolyse

Avec un électrolyseur comme pièce maîtresse d'un système Power-to-Hydrogen, l'eau est décomposée en hydrogène (H₂) et en oxygène (O₂) grâce à une réaction chimique provoquée par de l'électricité renouvelable (transformation de matière). En outre, l'hydrogène peut également être produit par pyrolyse et par gazéification à partir de biomasse (biodéchets).

Figure 2:
Chaîne de processus pour la
production de l'hydrogène vert

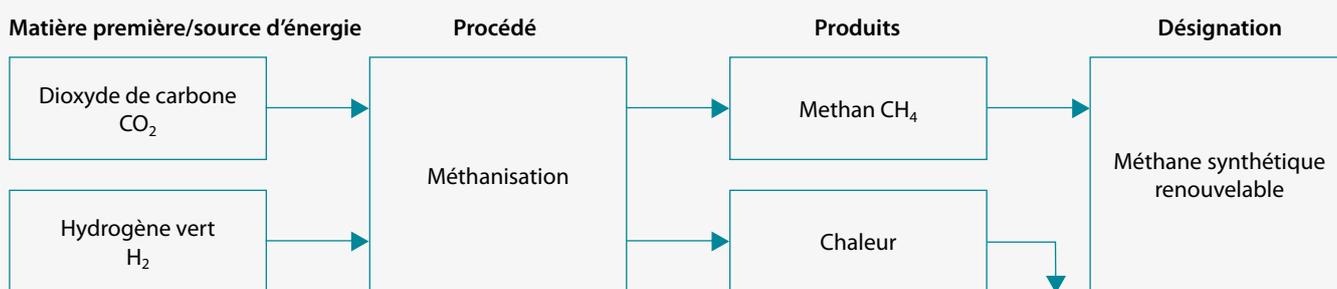


Méthanisation de l'hydrogène vert

Dans une étape supplémentaire, l'hydrogène (H_2) peut également être transformé, en combinaison avec du dioxyde de carbone (CO_2), en méthane synthétique (CH_4), qui présente des propriétés identiques à celles du gaz naturel (voir Tableau 1). La méthanisation (CH_4) de l'hydrogène présente donc le grand avantage de pouvoir continuer à utiliser aussi bien l'infrastructure gazière existante que les appareils terminaux (par ex. des chaudières à condensation au gaz) sans devoir procéder à des adaptations.

Cependant, la méthanisation de l'hydrogène entraîne également une consommation d'énergie supplémentaire, qui s'accompagne d'une perte liée à la transformation. En outre, pour la méthanisation de l'hydrogène, une source de CO_2 fiable est nécessaire (par ex. installation de biogaz, usine d'incinération des ordures ménagères UIOM, cimenterie, centrale à bois, etc.)

Figure 3:
Chaîne de processus pour la
méthanisation de l'hydrogène
vert



Source: Envention 2023

Transport de l'hydrogène

Il existe deux options pour transporter de l'hydrogène du site de production jusqu'à son utilisation. L'une d'entre elles consiste à utiliser l'infrastructure gazière existante, mais celle-ci doit d'abord être adaptée au transport de l'hydrogène. Et selon la situation du réseau de distribution, il s'agit plutôt d'une option à long terme.

En revanche, le transport de l'hydrogène par remorque (route/rail) est également réalisable à court terme. Pour cette variante, il est nécessaire de stocker l'hydrogène sur place, ce qui implique des coûts d'investissement supplémentaires pour l'acheteur. Par ailleurs, la logistique (nombre de trajets de la remorque) peut également être un facteur à ne pas sous-estimer.

Du point de vue du client, le transport de l'hydrogène via l'infrastructure gazière est l'option la plus efficace et la plus pratique.

3. Utilisation de l'hydrogène dans des systèmes stationnaires

En tant que combustible, l'hydrogène a de multiples applications (production de chaleur et d'eau chaude, production d'électricité ou chaleur industrielle). Si de l'hydrogène est utilisé en complément d'autres sources d'énergie (principalement en hiver), il s'agit de systèmes bivalents. Si seul l'hydrogène est utilisé, il s'agit de systèmes monovalents.

Tableau 2:
Domaine d'utilisation de
l'hydrogène dans les systèmes
stationnaires

	Type d'appareil	Domaine d'application	Puissance thermique en kW				
			<20	50	100	200	>350
1 ^a	Appareil à hydrogène	Production de chaleur monovalente	■				
2 ^b	Appareil à hydrogène avec pompe à chaleur	Production de chaleur bivalente	■				
3 ^b	Appareil à hydrogène dans des centrales énergétiques de réseaux de chauffage		■				
4 ^c	Brûleur à hydrogène	Chaleur industrielle	■				
5 ^d	CCF/PC avec pompe à chaleur	Production de chaleur/ d'électricité bivalente	■				
6 ^e	Tubes radiants à hydrogène	Production de chaleur pour halles	■				

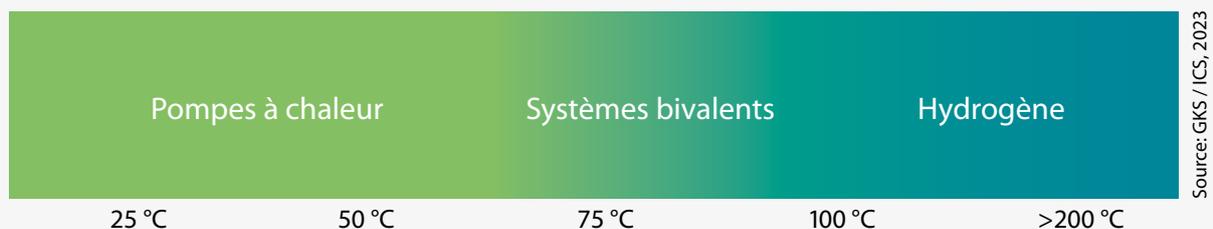
Source: Envention, 2023

CCF = Une installation de couplage chaleur-force avec moteur à gaz produit en même temps de l'électricité et de la chaleur.
PC = Des piles à combustible produisent de l'électricité et de la chaleur grâce à une réaction chimique.

■ Dans cette plage de puissance, l'utilisation de l'hydrogène peut être judicieuse en fonction de la disponibilité, du besoin en énergie et de la situation.

- ^a Production de chaleur monovalente: l'hydrogène couvre l'intégralité des besoins en chaleur intérieure et en eau chaude pendant toute l'année.
- ^b Production de chaleur bivalente: l'hydrogène n'est utilisé que durant les mois d'hiver, de novembre à février, pour couvrir les pics de chaleur intérieure et d'eau chaude. L'électricité nécessaire à la pompe à chaleur est issue du réseau public et/ou d'une installation photovoltaïque personnelle.
- ^c Chaleur industrielle: l'hydrogène est principalement utilisé pour les processus industriels à des températures élevées de >200 °C.
- ^d Production de chaleur/d'électricité bivalente: l'hydrogène n'est utilisé que durant les mois d'hiver, de novembre à février, pour couvrir les pics de chaleur intérieure et d'eau chaude. L'électricité produite par la CCF/PC est utilisée en priorité pour le fonctionnement de la pompe à chaleur.
- ^e Production de chaleur: des tubes radiants à hydrogène peuvent couvrir efficacement les besoins de chaleur des halles à partir d'une hauteur de pièce de 4 m.

Figure 4:
Domaine d'utilisation des
pompes à chaleur et de l'hydro-
gène en fonction de la tempéra-
ture du système de chauffage



Source: GKS / ICS, 2023

- Le recours aux pompes à chaleur est le plus efficace avec des températures de besoin en chaleur basses.
- Le recours à l'hydrogène peut être judicieux avec des températures de besoin en chaleur élevées.

Directives pour l'installation de systèmes d'hydrogène stationnaires

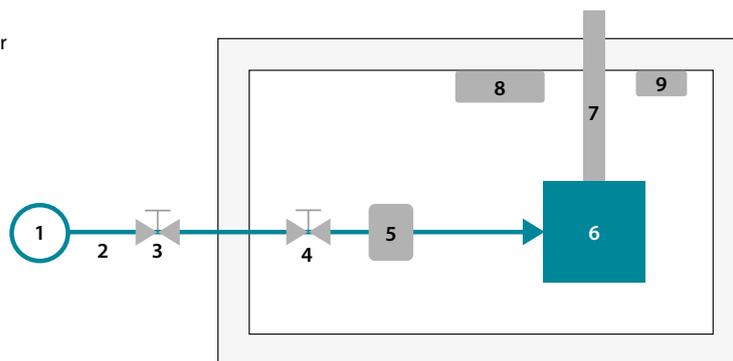
Il n'existe actuellement aucune aide à l'exécution (normes, directives) régissant les aspects liés à la sécurité lors de la planification, de l'installation, de la mise en service et de l'exploitation de systèmes produisant et/ou utilisant de l'hydrogène.

Ces systèmes de production d'hydrogène s'approvisionnent en hydrogène par l'intermédiaire du réseau gazier. De tels systèmes dépendent de la capacité de livraison de H₂ de l'exploitant du réseau gazier.

Figure 5:
L'approvisionnement en hydrogène est assuré via le réseau gazier

- 1 Approvisionnement en hydrogène via le réseau gazier
- 2 Conduite de raccordement
- 3 Robinet d'arrêt
- 4 Robinet d'arrêt principal
- 5 Compteur de gaz
- 6 Appareil à hydrogène (production de chaleur/ d'électricité, chaleur industrielle)
- 7 Système d'échappement (vapeur d'eau)
- 8^d Ventilation de plafond
- 9^d Capteur d'hydrogène

^d Recommandation ou condition selon la situation



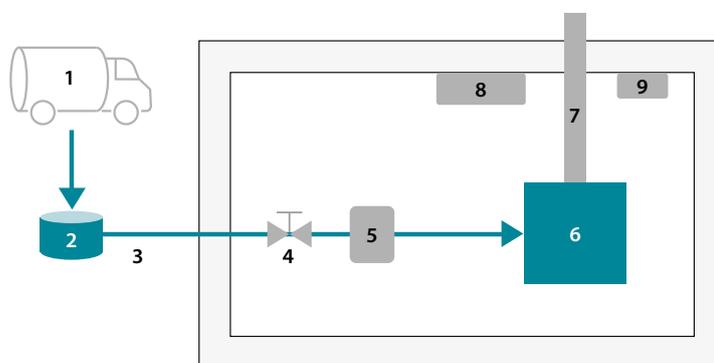
Source: Envention, 2023

Ces systèmes d'hydrogène se procurent l'hydrogène par remorque en fonction des besoins. Le raccordement à un réseau gazier n'est pas obligatoire.

Figure 6:
L'approvisionnement en hydrogène est assuré par remorque

- 1 Approvisionnement en hydrogène par remorque (route/rail)
- 2 Système de stockage d'hydrogène
- 3 Conduite de raccordement
- 4 Robinet d'arrêt principal
- 5 Compteur de gaz
- 6 Appareil à hydrogène (production de chaleur/ d'électricité, chaleur industrielle)
- 7 Système d'échappement (vapeur d'eau)
- 8^d Ventilation de plafond
- 9^d Capteur d'hydrogène

^d Recommandation ou condition selon la situation

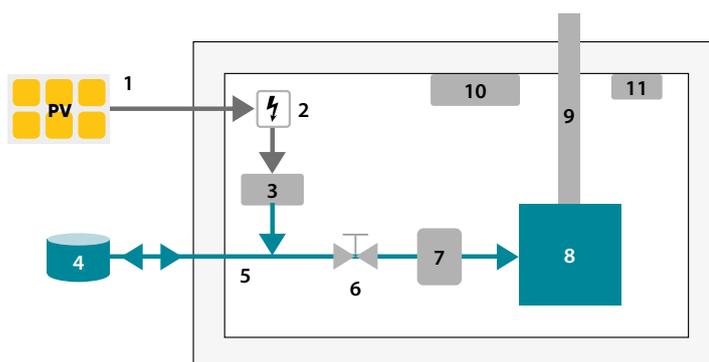


Source: Envention, 2023

Dans ces systèmes d'hydrogène, l'hydrogène est produit sur place. Les solutions isolées qui fonctionnent à des pressions > 10 bar ne nécessitent pas de raccordement au réseau gazier.

Figure 7:
Solution isolée avec production d'hydrogène sur place

- 1 Installation photovoltaïque
- 2 Accumulateur (batterie)
- 3 Électrolyseur
- 4 Système de stockage d'hydrogène
- 5 Conduite de raccordement
- 6 Robinet d'arrêt principal
- 7 Compteur de gaz
- 8 Appareil à hydrogène (production de chaleur/ d'électricité, chaleur industrielle)
- 9 Système d'échappement (vapeur d'eau)
- 10^d Ventilation de plafond
- 11^d Capteur d'hydrogène



Source: Envention, 2023

Règles de sécurité générales ²

Seuls les composants absolument nécessaires d'un système d'hydrogène doivent être placés à l'intérieur d'un local ou d'une enceinte. À l'extérieur, le risque d'accumulation d'hydrogène en concentration inflammable est moindre en raison de la meilleure ventilation.

En cas d'installation à l'intérieur d'un local, les conduites doivent être apparentes (visibles). L'installation n'est recommandée que dans des endroits bien ventilés avec plusieurs ouvertures d'aération. Toutes les conduites d'hydrogène doivent être clairement identifiées par une flèche et la mention «Hydrogène». Le diamètre du tuyau d'alimentation en hydrogène et la pression de service doivent être réduits au minimum requis pour satisfaire aux exigences techniques en matière de débit massique. Si la réduction du diamètre des tuyaux est impossible ou indésirable, il est recommandé d'utiliser des limiteurs de débit. La pression de service de l'hydrogène doit toujours être aussi basse que possible.

Les sources potentielles d'inflammation doivent être identifiées et, si possible, réduites et séparées. L'utilisation de réservoirs à haute résistance au feu est recommandée afin de garantir au moins un temps suffisant pour l'évacuation de personnes.

L'inventaire d'hydrogène doit être réduit au minimum afin d'empêcher la formation d'un mélange inflammable dans un espace fermé, même après la libération et la dispersion complètes de l'hydrogène, ou de le limiter en dessous de la quantité susceptible de causer des dommages structurels aux équipements et aux bâtiments de faible résistance en cas de déflagration.

Sécurité au cours du cycle de vie d'un système d'hydrogène

Une ventilation suffisante du local d'installation d'un système d'hydrogène fixe est essentielle. Plusieurs ouvertures de ventilation doivent être installées dans chaque local fermé. Les ouvertures de ventilation doivent être bien réparties dans tout le local afin de garantir une évacuation rapide en cas de fuite éventuelle. En outre, des ouvertures de décompression ainsi que des vannes d'arrêt automatiques sont fortement recommandées.

Toutes les procédures d'exploitation nécessaires à l'exécution des tâches de routine doivent être documentées de manière détaillée. L'exploitation de l'installation doit être préparée par du personnel qualifié, puis assurée par du personnel formé. Les procédures opérationnelles doivent être vérifiées de manière appropriée afin de garantir que les changements de processus, d'équipement et de conditions d'exploitation ont été correctement pris en compte.

Mesures de sécurité dans les espaces fermés

Outre les mesures de sécurité existantes mises en place par les fabricants d'installations, d'autres mesures de sécurité susceptibles d'apparaître en cas d'interruption de l'exploitation doivent être identifiées.

Il peut notamment s'agir des points suivants:

- Ventilation active du plafond
- Capteurs d'hydrogène supplémentaires dans la zone du plafond
- Exigences accrues pour les composants techniques du gaz
- Dispositifs d'arrêt supplémentaires pour interrompre l'alimentation en hydrogène

² Source: Projet FOGA 0408 Hydrogène dans le bâtiment

Planification, installation et exploitation de systèmes d'hydrogène fixes

1) Déterminer les exigences

- a) Déterminer l'espace nécessaire:
 - Les conditions dans le local d'installation permettent-elles de mettre en place le nouveau système?
 - Tous les composants de l'installation sont-ils facilement accessibles pour les travaux de maintenance (consignes du fabricant)?
- b) Clarifier la protection contre les incendies:
 - La distance par rapport aux matériaux inflammables et les exigences relatives aux locaux d'installation doivent être respectées.

2) Élaborer un concept d'installation

- a) Assurer l'arrivée et l'évacuation des fluides (eau et électricité)
- b) Assurer la communication (accès LAN ou WLAN)
- c) Planifier/préparer les connexions de gaz (réseau d'alimentation, accumulateur, conduite de raccordement)
- d) Planifier les mesures de sécurité
 - ventilation suffisante des locaux (ventilation forcée le cas échéant)
 - capteurs (détection)
- e) Clarifier les agréments et les autorisations

3) Conception générale de l'installation

- a) Dimensionnement de la puissance
- b) Dimensionnement des conduites (d'alimentation)

4) Planification détaillée de l'installation

- a) Demander des offres et discuter de la planification détaillée avec les fournisseurs
- b) Définir le calendrier de mise en œuvre

5) Installation du système

- a) Étude du projet par le fabricant du système
- b) Le fabricant procède lui-même à l'installation
- c) Homologation après consultation de la commune et du canton en tant que système individuel, par ex. par le TÜV
- d) Clarification des exigences en matière de protection contre les incendies
- e) Mise en service par le fabricant
- f) Surveillance de l'exploitation (à distance) par le fabricant

6) Réception et exploitation

- a) Réception individuelle par une organisation autorisée (par ex. SSIGE)
- b) Convenir d'un contrat de service avec le fabricant de l'appareil et procéder à une évaluation régulière de la sécurité

7) Contrôle technique de sécurité d'un système H₂

- a) Analyse des dangers
- b) Analyse des effets (AMDE)
- c) Évaluation de la compatibilité des matériaux
- d) Vérification de l'état de fonctionnement
- e) Vérification de la formation de l'opérateur
- f) Vérification des procédures d'urgence
- g) Vérification de la disponibilité des tests
- h) Contrôle de l'état de fonctionnement

4. Appareils à gaz pour l'hydrogène

Conformément aux objectifs de l'UE, le gaz naturel doit être remplacé par du biométhane et surtout par de l'hydrogène (vert). Dans les directives actuelles, un mélange avec 10 % vol maximum d'hydrogène est autorisé dans le réseau gazier. Dans des cas exceptionnels, une teneur en hydrogène allant jusqu'à 20 % vol est également possible. Dans l'optique actuelle, il n'y aura pas d'autres «étapes intermédiaires», mais un passage direct à 100 % d'hydrogène. Dans les années à venir, les fabricants d'appareils mettront ainsi sur le marché des appareils à gaz compatibles avec l'hydrogène.

Tableau 3:
Situation du marché des
appareils stationnaires à
hydrogène

	Type d'appareil	Domaine d'application	Situation du marché, état juillet 2023 ^a
1	Appareil à hydrogène	Production de chaleur	Selon le fabricant de l'appareil, l'introduction sur le marché a lieu dès 2025.
2	Brûleur à hydrogène	Chaleur industrielle	Des brûleurs à hydrogène sont disponibles sur le marché.
3	CCF/PC	Production de chaleur/ d'électricité	Les CCF et PC sont disponibles sur le marché.
4	Tubes radiants à hydrogène	Production de chaleur pour halles	Des tubes radiants à hydrogène sont disponibles sur le marché.

Source: GKS / ICS, 2023

^a Vous trouverez de plus amples informations auprès d'ImmoClimat Suisse (GKS) et des fabricants d'appareils.

CCF = installation de couplage chaleur-force PC = pile à combustible

Compatibilité des appareils à gaz installés avec l'hydrogène

En règle générale, les appareils à gaz en service sont compatibles avec une teneur en hydrogène de près de 10 % vol. La compatibilité avec l'hydrogène de chaque appareil à gaz installé doit toutefois être vérifiée individuellement par le technicien de service et/ou le fabricant de l'appareil.

Compatibilité des nouveaux appareils à gaz avec l'hydrogène

La plupart des appareils à gaz actuellement disponibles sur le marché sont généralement conçus pour une teneur en hydrogène allant jusqu'à 20 % vol. La plage de puissance de ces appareils à gaz varie de 20 kW à 350 kW selon le fabricant. Il existe déjà sur le marché des brûleurs à gaz compatibles à 100 % avec l'hydrogène, qui se situent principalement dans la plage de puissance à partir de 200 kW.

Conversion totale à l'hydrogène des appareils à gaz existants

À partir de 2025, des kits de conversion pour les appareils à gaz existants devraient être mis sur le marché, permettant de convertir à moindre coût et totalement un appareil à gaz à l'hydrogène. Les fabricants d'appareils à gaz développent actuellement de tels kits de conversion.

Ajout d'hydrogène dans le réseau suisse de distribution de gaz

Il convient de tenir compte de la réglementation de la SSIGE pour le raccordement au réseau gazier. Dans la directive G18 actuelle, la teneur maximale en hydrogène autorisée dans les «gaz riches en méthane» est de 10 % vol. Localement, une teneur en hydrogène allant jusqu'à 20 % vol est également possible en tenant compte des composants installés. L'exploitant local du réseau gazier est responsable de la qualité du gaz.

Données d'exploitation des chauffages à gaz avec mélange d'hydrogène

Le mélange de gaz naturel avec près de 20 % vol d'hydrogène n'a qu'une faible influence sur la puissance ainsi que sur la température des gaz d'échappement et de départ des générateurs de chaleur stationnaires actuels. La baisse de puissance est minime et n'est pas perçue au quotidien.

Figure 8:
Série de tests avec des teneurs en hydrogène de 0 à 40 % vol

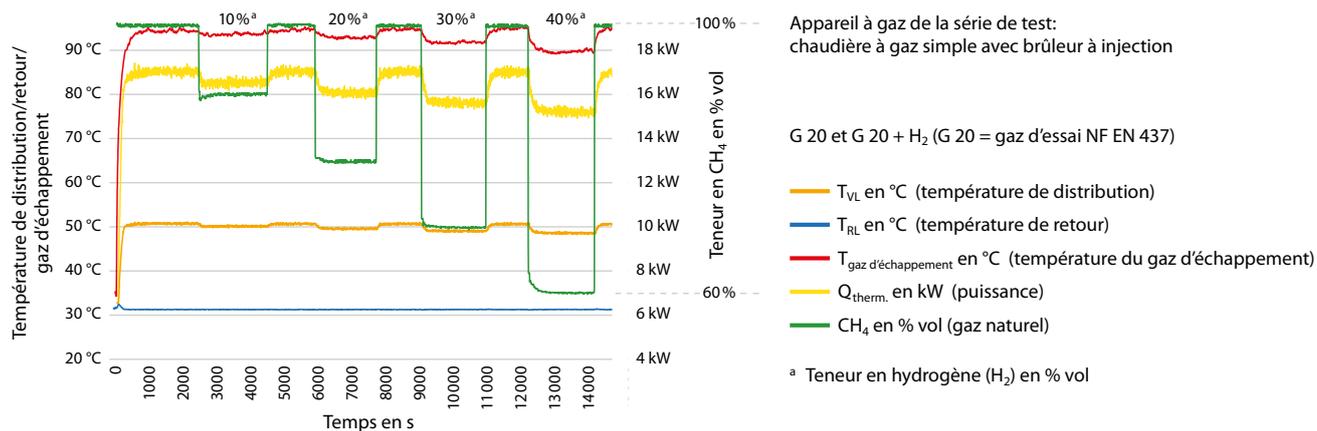


Tableau 4:
Caractéristiques du gaz naturel, des mélanges gaz naturel-hydrogène et de l'hydrogène (H₂)

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques du gaz naturel et des mélanges de gaz naturel et d'hydrogène ainsi que de l'hydrogène à 100 %.

	Gaz naturel	Gaz naturel + 10 % vol H ₂	Gaz naturel + 20 % vol H ₂	Hydrogène
Limite inférieure d'explosivité dans l'air [% vol]	4,0	4,4	4,4	4,0
Limite supérieure d'explosivité dans l'air [% vol]	17	22	27	77
Température d'inflammation dans l'air [°C]	645	629	618	530
Groupe d'explosivité	IIA	IIA	IIA	IIC
Pouvoir calorifique supérieur (25/0 °C) [kWh/m ³]	11,19	10,49	9,65	3,54
Pouvoir calorifique inférieur (25/0 °C) [kWh/m ³]	10,0	9,54	8,77	3,0
Indice de Wobbe	14,76	14,4	14,03	13,43
Température de combustion adiabatique [°C] avec air lambda 1	1940	1945	1951	2086
Couleur de la flamme	bleu	bleu	bleu	incolore
Vitesse maximale des flammes [cm/s]	43	43	44	346
Indice de méthane	90	82	73	0

Restrictions pour les appareils à gaz fonctionnant partiellement à l'hydrogène

Lorsque de l'hydrogène est présent dans des gaz riches en méthane, l'état actuel de la technique impose les restrictions suivantes pour l'exploitation des appareils à gaz:

- a) Le gaz mixte doit respecter les valeurs limites de la directive SSIGE G18 pour les gaz de la deuxième famille de «gaz riches en méthane» (gaz H) vis-à-vis de l'indice de Wobbe, de la densité relative et du pouvoir calorifique.
- b) L'hydrogène est un gaz d'appoint.
- c) En outre, les restrictions techniques de l'infrastructure gazière, des matériaux utilisés et des méthodes de mesure employées, ainsi que les exigences spécifiques concernant l'utilisation dans des générateurs de chaleur stationnaires, déterminent le niveau de mélange H₂ possible.

Conversion totale à l'hydrogène des appareils à gaz existants

Lors d'une conversion, l'appareil à gaz est modifié de manière à pouvoir fonctionner de manière sûre et fiable avec 100 % vol d'hydrogène, conformément aux indications du fabricant. La conversion à 100 % d'hydrogène implique la mise hors service, puis la remise en service de l'appareil à gaz.

Points importants lors de la conversion à 100 % d'hydrogène

- a) Avertissement clair et en temps utile des installateurs et techniciens de service
- b) Approvisionnement en matériel et mise à disposition
- c) Inventaire, adaptation et conversion des appareils à gaz
- d) Mise en œuvre et suivi permanents des travaux d'adaptation
- e) Respect des exigences de qualité
- f) Mise à disposition d'une capacité d'entretien suffisante
- g) Documentation des défauts constatés et de l'élimination des défauts
- h) Mise hors service et documentation des appareils à gaz non adaptables
- i) Contrôle final des travaux de conversion
- j) Avant de passer à l'alimentation en hydrogène, il convient de s'assurer que tous les appareils à gaz raccordés au même réseau sont compatibles à 100 % avec l'hydrogène.
- k) Mise en service du système d'hydrogène par le fabricant de l'équipement

Appareils à gaz «H₂-ready» pour 100 % d'hydrogène

«H₂-ready» désigne les produits ou technologies qui, grâce à leur équipement, sont en mesure de fonctionner de manière sûre et efficace avec de l'hydrogène comme combustible. Un appareil à gaz est considéré comme H₂-ready (compatible avec l'hydrogène) lorsque celui-ci est techniquement préparé pour être converti à 100 % d'hydrogène avec un minimum d'efforts. Les fabricants européens d'appareils à gaz prévoient de mettre sur le marché ce type d'appareils «H₂-ready» à partir de 2025.

5. Stockage de l'hydrogène

Le stockage de l'électricité renouvelable excédentaire est d'une importance capitale pour un futur approvisionnement énergétique sûr et fiable. La source d'énergie hydrogène est l'une des possibilités de stockage à long terme (saisonnier). Ce chapitre présente les principales technologies de stockage actuelles qui permettent de stocker de l'hydrogène.

Stockage de l'hydrogène sous forme gazeuse (CGH₂)³

L'hydrogène gazeux peut être stocké dans un réservoir après avoir été comprimé à haute pression. Dans les transports, par exemple, un niveau de pression de 350 bar (24 kg/m³) pour les véhicules utilitaires et de 700 bar (40 kg/m³) pour les voitures particulières s'est imposé. Le stockage à haute pression offre une solution avantageuse pour les petites quantités de stockage. Il est donc surtout utilisé dans les applications mobiles telles que les voitures de tourisme et les véhicules utilitaires.

Accumulateur de pression sous forme gazeuse⁴

Les accumulateurs de pression sont une technique éprouvée qui est répandue sur le marché! En tant que gaz, l'hydrogène est compressible. Une pression élevée permet d'augmenter la quantité d'énergie dans un volume. Plus la pression est élevée, plus la paroi du réservoir de gaz doit être solide. Plus la pression augmente, plus les bouteilles de gaz sont lourdes. Les réservoirs sous pression ont généralement la forme d'une sphère ou d'un cylindre. Les formes sphériques sont toutefois coûteuses à produire, raison pour laquelle les réservoirs cylindriques se sont imposés.

Types de réservoirs sous pression forme gazeuse⁵

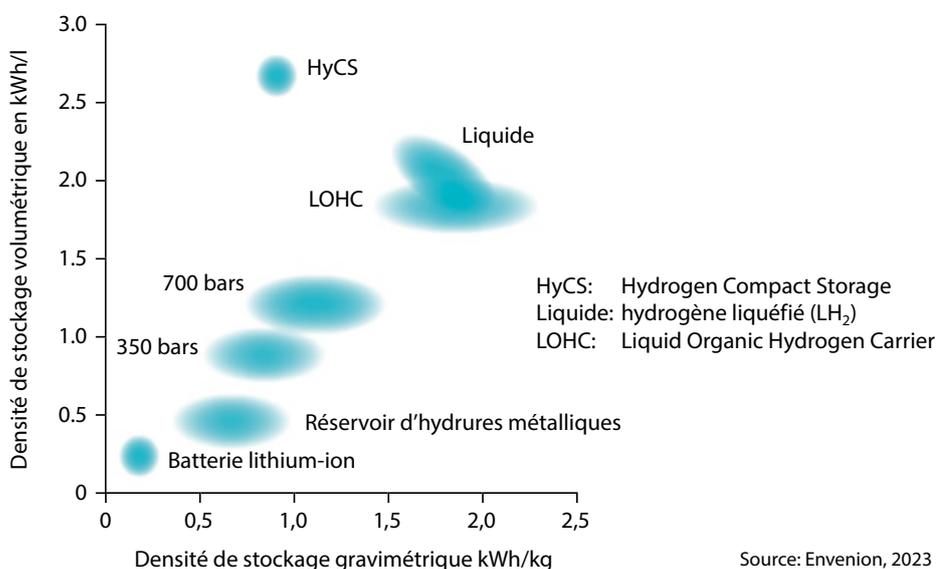
Type 1: Réservoirs en acier jusqu'à 200 bar de pression. Utilisation pour des applications stationnaires.

Type 2: Réservoirs en acier avec enveloppe supplémentaire en fibre de verre ou de carbone imprégnée de résine, jusqu'à 1000 bar de pression. Utilisé principalement pour des applications stationnaires.

Type 3: Récipients en aluminium avec une enveloppe en fibres de carbone. En cas d'utilisation pour des applications mobiles, la pression est généralement de 350 ou 700 bar.

Type 4: Récipients en plastique (polyamide ou polyéthylène) avec une enveloppe en fibres de carbone. Utilisation comme moyen de transport et dans la mobilité.

Figure 9:
 Densités de stockage de
 l'hydrogène stocké



³ Source: EMCEL, 2019

⁴ Source: EMCEL, 2019

⁵ Source: EMCEL, 2019

Stockage de l'hydrogène sous forme liquide (LH₂)⁶

La liquéfaction de l'hydrogène est une alternative. Dans cet état, le LH₂ possède certes une densité nettement plus élevée de 71 kg/m³, mais il doit être stocké à l'état liquide à -253 °C. Un stockage de ce type est plus avantageux pour de grandes quantités de stockage. Il est donc souvent utilisé pour le transport de H₂ sur de longues distances.

Stockage d'hydrogène à l'aide de granulés de fer (HyCS)⁷

Cette technologie ne permet pas de stocker directement de l'hydrogène. Lors du chargement, l'oxyde de fer de l'accumulateur est réduit en fer par l'apport d'hydrogène. Ce processus entraîne la production de vapeur d'eau (H₂O). Lors du déchargement, le fer est soumis à de la vapeur d'eau, l'oxygène réagit avec le fer pour former de l'oxyde de fer et de l'hydrogène est libéré. L'accumulateur HyCS est le plus compact de tous les accumulateurs d'énergie et affiche la densité énergétique gravimétrique la plus élevée en kWh/kg. L'introduction de cette technologie sur le marché est prévue pour l'année 2024.

Stockage de l'hydrogène au moyen d'hydrure métallique⁸

Les hydrures métalliques absorbent l'hydrogène gazeux. Lorsque de l'hydrogène gazeux entre en contact avec la surface solide des matériaux de stockage (poudre métallique), les molécules d'hydrogène se décomposent en hydrogène atomique et pénètrent dans le matériau. Le chargement et le déchargement des accumulateurs à hydrure métallique s'effectuent à un niveau de pression d'environ 30 à 60 bar. Leurs inconvénients sont le poids propre élevé en raison de la poudre métallique ainsi que les coûts élevés des matériaux.

Tableau 5:
Accumulateur à hydrure
métallique

Avantages	Inconvénients
Stockage sans risque de l'hydrogène à l'inverse des réservoirs sous pression	Des dimensions énormes sont nécessaires pour pouvoir stocker une quantité acceptable d'hydrogène.
Construction compacte	Le chargement nécessite beaucoup de temps.
Possibilité de stockage à basse pression	Coûts matériels élevés

Situation actuelle du marché

Les accumulateurs de pression sont un produit de masse qui domine actuellement le marché du stockage de l'hydrogène. Le stockage et le transport (LOHC) d'hydrogène liquide concernent uniquement les grandes quantités d'hydrogène. En revanche, les fabricants d'accumulateurs à hydrure métallique sont peu nombreux. De plus, les accumulateurs à hydrure métallique sont actuellement disponibles comme élément d'un système et non comme accumulateur individuel. D'un point de vue technique, les accumulateurs à hydrure métallique sont intéressants car la densité de stockage est élevée et la pression de service faible (< 30 bar). Ils sont donc appropriés pour une utilisation dans des espaces fermés.

⁶ Source: EMCEL, 2019

⁷ Source: Envenion, 2023

⁸ Source: TÜV SÜD, 2023

6. Conditions-cadres réglementaires en Europe et en Suisse

Pour introduire rapidement et en toute sécurité l'hydrogène comme source d'énergie sur le marché, il est impératif d'établir des lois, normes et processus qui soient faciles à appliquer. Aujourd'hui, presque toutes les réglementations applicables à l'hydrogène se basent sur des directives et des ordonnances européennes, qui avec les normes internationales (ISO) et européennes (EN) complémentaires, doivent être urgemment mises à jour et rendues «H₂-ready».

UE – Actes délégués sur l'hydrogène renouvelable

Le 13 février 2023, la Commission européenne a adopté deux actes délégués qui définissent ce qui doit être considéré comme de l'hydrogène vert dans l'UE. Ces deux actes législatifs complètent la directive existante sur les énergies renouvelables de l'UE (2018/2001) et visent à apporter une sécurité juridique et des incitations aux investisseurs et aux producteurs d'hydrogène renouvelable.

– Acte délégué 1

Le premier acte législatif définit les conditions dans lesquelles l'hydrogène et les combustibles et carburants à base d'hydrogène peuvent être considérés comme des «carburants liquides et gazeux renouvelables d'origine non biologique (RFNBO)». Cet acte précise le principe d'additionnalité pour l'hydrogène.

– Acte délégué 2

Le second acte délégué définit la méthode de calcul des économies de gaz à effet de serre réalisées grâce aux RFNBO et aux combustibles ou carburants carbonés recyclés. Le calcul des émissions et des économies qui en résultent tient compte de l'ensemble du cycle de vie des combustibles et carburants.

Les actes législatifs 1 et 2 sont en cours d'examen au Parlement européen et au Conseil.

EU – European Green Deal, Fit for 55 et REPowerEU

L'hydrogène vert est un élément important du European Green Deal, du paquet Fit for 55 et du plan REPowerEU. L'UE devrait disposer d'un cadre juridique moderne pour l'hydrogène d'ici 2027 au plus tard. Dans un premier temps, le programme «Accélérateur d'hydrogène» du plan REPowerEU prévoit la construction d'électrolyseurs d'une puissance totale de 17,5 GW d'ici 2025. Cela devrait permettre d'approvisionner l'industrie avec 10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable produit dans l'UE.

Source: <http://energy.ec.europa.eu>, <http://eur-lex.europa.eu>

Suisse – Stratégie Chaleur 2050

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a publié début 2023 la «Stratégie Chaleur 2050», qui prévoit un approvisionnement en chaleur neutre en CO₂ d'ici 2050.

Source: <http://www.bfe.admin.ch>

Suisse – Stratégie pour l'hydrogène

La motion 20.4406 Suter «Production d'hydrogène vert. Stratégie pour la Suisse» a été adoptée en décembre 2022 par le Conseil des États et le Conseil national. Le Conseil fédéral est chargé d'élaborer une stratégie nationale pour l'hydrogène issu de procédés de production neutres en CO₂. L'accent doit être mis sur la stratégie d'importation d'hydrogène issu de procédés de production neutres en CO₂. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) élabore actuellement une stratégie suisse pour l'hydrogène en collaboration avec le secteur.

Source: <http://www.parlament.ch>

Suisse – Révision partielle de l'ordonnance sur les installations de transport par conduites (OITC)

Cette révision étend le champ d'application de l'Opair à l'hydrogène. Désormais, la construction et la surveillance des conduites d'hydrogène à partir de 5 bar relèvent exclusivement de la compétence de la Confédération. L'ordonnance révisée est en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2023.

Source: <https://www.admin.ch>

Normes – International (ISO/CEI), Europe (CEN/CENELEC), Suisse (SNV/Electrosuisse)

D'une manière générale, la normalisation suit une approche ouverte à la technologie. Cela signifie que les normes ne prescrivent ni ne privilégient aucune technologie particulière, mais se contentent de définir les exigences en matière de résultat ou de fonction. Cela laisse aux utilisateurs des normes une certaine marge de manœuvre quant à la technologie qu'ils souhaitent utiliser, tant qu'ils respectent la norme et favorise l'innovation et la concurrence tout en évitant de dépendre d'une technologie particulière.

L'hydrogène n'est pas un sujet nouveau dans la normalisation et il existe déjà un grand nombre de comités de normalisation ISO et CEN qui développent des normes sur l'hydrogène. Depuis de nombreuses années, l'hydrogène est utilisé dans l'industrie où des normes garantissent l'exploitation des installations en toute sécurité. Les premières normes pour la mobilité à l'hydrogène sont également disponibles. En Europe, les organismes européens de normalisation CEN et CENELEC travaillent en étroite collaboration avec les parties prenantes concernées du secteur économique, du monde scientifique et de la société, afin de faire progresser rapidement et de manière ciblée la normalisation dans le domaine de l'hydrogène.

En 2023, le CEN et le CENELEC attendent le mandat de normalisation «Hydrogène» de la Commission européenne. Celui-ci définit quelles normes européennes doivent être révisées ou nouvellement développées afin de rendre l'infrastructure et les applications gazières «H₂-ready». L'Association suisse de normalisation (SNV) représente la normalisation de l'ISO et du CEN en Suisse.

Tableau 6:
Comités internationaux de normalisation pertinents pour l'hydrogène

Organismes de normalisation	Comités de normalisation				
ISO & IEC	ISO/TC 197	ISO/TC 161	ISO/TC 22	IEC/TC 57	IEC/TC 9
CEN & CENELEC	CEN/TC 57	CEN/TC 109	CEN/TC 234	CLC/TC 9X	CLC/TC 31
SNV & CES	INB/NK 110	INB/NK 119	INB/NK 162	INB/NK 176	TK 105

ISO: International Organization for Standardization

IEC: International Electrotechnical Commission

CEN: Comité Européen de Normalisation

CENELEC: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

SNV: Association Suisse de Normalisation (SNV)

CES: Comité Électrotechnique Suisse

Premières normes sur l'hydrogène dans la technique du bâtiment

- Projet WD CEN/TS 15502-3-1 Gas-fired central heating boilers – Part 3-1: H₂NG and ACCF – Expansion of EN 15502-2-1:2022.
- Projet FprCEN/TR 17924 Safety and control devices for burners and appliances burning gaseous and/or liquid fuels – Guidance on hydrogen specific aspects.
- CEN/TR 17797 Gas infrastructure – Consequences of hydrogen in the gas infrastructure and identification of related standardization need in the scope of CEN/TC 234.
- Projet prEN 16325 Garanties d'origine liées à l'énergie – Garanties d'origine de l'électricité, des hydrocarbures gazeux, de l'hydrogène, du chauffage et du refroidissement.
- SN ISO 14687 Hydrogen fuel quality – Product specification.

7. Liste de contrôle

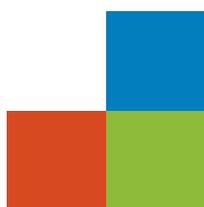
Le tableau ci-dessous énumère les points importants à prendre en compte lors de la planification d'une installation d'hydrogène stationnaire.

Thème		Réponse/Remarque
Ouvrage	Immeuble locatif	
	Terrain	
	Industrie	
	Centrale énergétique	
Site du système d'hydrogène	Bâtiment à usage personnel	
	Immeuble commercial	
	Entrepôt	
	Centrale d'énergie industrielle	
	Centrale d'énergie séparée	
Utilisation d'hydrogène	Chauffage de locaux/eau chaude	
	Production d'électricité	
	Chauffage de halles	
	Chaleur industrielle	
Approvisionnement en hydrogène	via le réseau gazier	
	par remorque (route/rail)	
	Production propre	
Stockage de l'hydrogène sur place	Oui/Non	
	< 5 tonnes d'hydrogène	
	> 5 tonnes d'hydrogène	
Système d'hydrogène	Système monovalent	
	Système bivalent	
Besoin en hydrogène	en MWh/a	
Température de demande de chaleur	en degrés Celsius	

ImmoClimat Suisse est la plus importante association suisse de fabricants et de fournisseurs dans le domaine du chauffage, de l'aération et de la climatisation, et en même temps la première association qui regroupe sous un même toit toutes les disciplines de la technique du bâtiment. Les membres sont en majorité des fournisseurs de système qui entretiennent des réseaux de vente et de service dans toute la Suisse.

Vous trouverez de plus amples informations sur l'utilisation stationnaire de l'hydrogène dans l'industrie et la technique du bâtiment sur:

<https://gebaeudeklima-schweiz.ch/de/Fachthemen/Wasserstoff>



ImmoClimat
Suisse

Impressum

Éditeur
ImmoClimat Suisse
www.gebaeudeklima-schweiz.ch/fr

Guide
pour l'utilisation de l'hydrogène
dans l'industrie et la technique
du bâtiment

Août 2023

© ImmoClimat Suisse

Association suisse de techniques de chauffage, d'aération et de climatisation

Rötzmattweg 51 | CH-4600 Olten | Téléphone +41 (0)62 205 10 66 | Fax +41 (0)62 205 10 69
E-mail: info@gebaeudeklima-schweiz.ch | Web: www.gebaeudeklima-schweiz.ch/fr