

Hydrogène liquide

L'hydrogène est incolore à l'état liquide. Ses vapeurs sont incolores, inodores, insipides et hautement inflammables. L'hydrogène liquide n'est pas corrosif. Il ne nécessite pas l'utilisation de matériaux de construction particuliers. Toutefois, en raison de sa température extrêmement froide, l'équipement doit être conçu et fabriqué dans un matériau adapté à un fonctionnement à très basse température. Les réservoirs et la tuyauterie doivent être sélectionnés et conçus pour résister à la pression et aux températures associées et être conformes aux codes et à la réglementation en vigueur.

Inflammabilité

Un traitement particulier s'impose, du fait de la plage d'inflammabilité étendue de l'hydrogène – de 4 % à 74 % dans l'air – et de la faible quantité d'énergie nécessaire à son inflammation, pour en éviter le mélange accidentel avec l'air. Il faut veiller à éliminer les sources d'ignition, telles que les étincelles provenant d'équipements électriques, les étincelles d'électricité statique, les flammes nues ou tout objet extrêmement chaud. Les mélanges d'hydrogène et d'air qui s'inscrivent dans la plage d'inflammabilité peuvent exploser et brûler avec une flamme bleu pâle, presque invisible.

Fabrication

L'hydrogène est produit par le reformage à la vapeur du gaz naturel, l'électrolyse de l'eau et la dissociation de l'ammoniac. C'est également un sous produit de la distillation du pétrole et de la fabrication du chlore. La principale méthode de production d'hydrogène est le reformage à la vapeur du gaz naturel. L'éthane, le propane, le butane et le naphta léger et lourd figurent aussi parmi les matières premières utilisées, moins couramment toutefois. Le processus de reformage à la vapeur produit du gaz de synthèse (un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone). Quelle que soit la méthode de production, le flux de produits est séparé en ses composants. L'hydrogène est séché et purifié. Cet hydrogène gazeux est ensuite comprimé et refroidi à des températures cryogéniques suffisamment basses à l'aide d'échangeurs de chaleur, ainsi que de détendeurs alternatifs et à tubes, pour former de l'hydrogène liquide.

Utilisations

Des volumes importants d'hydrogène liquide sont utilisés dans le cadre du programme spatial, comme combustible primaire pour les fusées, pour la combustion avec de l'oxygène ou du fluor, et comme agent propulseur pour les fusées et les véhicules spatiaux à propulsion nucléaire. Bien que plus couramment utilisé à l'état gazeux, l'hydrogène est stocké et transporté sous forme liquide. L'hydrogène intervient dans d'innombrables processus chimiques, allant de la fabrication de polypropylène et de polyéthylène haute densité à l'hydrogénation des huiles alimentaires. Dans l'industrie métallurgique, il est utilisé pour réduire les oxydes métalliques et prévenir l'oxydation lors du traitement thermique de certains métaux et alliages. L'hydrogène est également utilisé par les fabricants de semi-conducteurs.

Effets sur la santé

L'hydrogène gazeux est inodore et non toxique, mais il peut entraîner la suffocation en réduisant, par dilution, la concentration d'oxygène dans l'air en dessous des niveaux nécessaires à la vie.

Attention : La quantité d'hydrogène gazeux nécessaire à l'obtention d'atmosphères pauvres en oxygène dépasse largement le seuil d'inflammabilité, faisant des incendies et explosions les principaux dangers associés aux atmosphères d'hydrogène et d'air.

Tableau 1 : Propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène liquide

Formule chimique	H ₂
Poids moléculaire	2,016
Point d'ébullition à 1 atm	-252,9°C (-423,2°F)
Point de congélation à 1 atm	-259,3°C (-434,8°F)
Température critique	-240,2 °C (-400,4°F)
Pression critique	186 psia (12,7 atm)
Densité, liquide au B.P., 1 atm	70,8 kg/m ³ (4,42 lb/pi ³)
Densité, gaz à 20 °C (68°F), 1 atm	0,0838 kg/m ³ (0,005229 lb/pi ³)
Densité, liquide au B.P. [eau=1 à 20 °C (68 °F)]	0,0710
Volume spécifique à 20 °C (68°F), 1 atm	191 pi ³ /lb
Chaleur latente de vaporisation	389 Btu/lb-mole
Limites d'inflammabilité à 1 atm dans l'air	4,00 % à 74,2 % (par volume)
Limites d'inflammabilité à 1 atm dans l'oxygène	3,90 % à 95,8 % (par volume)
Limites de détonabilité à 1 atm dans l'air	18,2 % à 58,9 % (par volume)
Limites de détonabilité à 1 atm dans l'oxygène	15 % à 90 % (par volume)
Température d'auto-inflammation à 1 atm	571°C (1 060°F)
Rapport de dilatation, liquide/gaz, B.P. à 68 °F (20 °C)	1 à 845

Figure 1 : Camion-citerne type pour le transport d'hydrogène liquide



Conteneurs

L'hydrogène liquide est normalement stocké dans des systèmes de stockage sur place, qui comprennent généralement un réservoir, un évaporateur et des dispositifs de commande. Les systèmes sont choisis en fonction du taux d'utilisation, de la pression et de la réglementation.

Réservoirs

Les réservoirs sont généralement de forme cylindrique et placés en position horizontale. On emploie aussi, toutefois, des réservoirs cylindriques verticaux et sphériques. Le volume standard des réservoirs varie de 1 500 à 25 000 gallons. Les réservoirs sont isolés sous vide. Ils sont protégés par des soupapes de surpression conçues conformément aux spécifications de l'ASME.

Transferts de liquide

Deux personnes doivent être présentes lors de l'utilisation ou du transfert d'hydrogène liquide ou lors du déplacement d'un conteneur.

Cette disposition ne s'applique cependant pas en présence d'employés spécialement formés du fournisseur d'hydrogène liquide, qui manipulent régulièrement de l'hydrogène liquide.

L'hydrogène est normalement vaporisé et utilisé sous forme de gaz. Le liquide est extrait d'un camion-citerne, d'un réservoir ou d'une bouteille à l'aide d'un système fermé, doté d'une soupape de sûreté adaptée et pouvant être évacué ou purgé pour éviter le risque de création d'une atmosphère inflammable ou d'un mélange explosif d'air liquide et d'hydrogène liquéfié. La purge doit être effectuée à l'hélium, car l'hydrogène liquide peut solidifier d'autres gaz, tels que l'azote, et provoquer l'obturation et la rupture éventuelle de la conduite de transfert ou de la cuve de stockage. Les conduites de transfert de liquide doivent être isolées sous vide afin de réduire dans toute la mesure du possible les pertes de produit par vaporisation ou la formation d'air liquide sur les conduites avec l'enrichissement subséquent en oxygène. Tous les équipements doivent être reliés entre eux et raccordés à une mise à la terre avant le transfert de liquide.

Expédition

L'hydrogène liquide est transporté par des semi-remorques conçus pour le transport des liquides d'une capacité de 12 000 à 17 000 gallons. Les réservoirs fixes sont remplis à partir de ces camions-citernes. Ces derniers sont fondamentalement

de la même conception que les réservoirs fixes, mais ils doivent en outre satisfaire aux exigences du ministère des Transports. La figure 1 représente un camion-citerne d'hydrogène liquide type.

Considérations relatives à la sécurité

Les dangers associés à la manipulation de l'hydrogène liquide sont l'incendie, l'explosion, l'asphyxie et l'exposition à des températures extrêmement basses. Pour de l'information de sécurité en lien avec les gaz et l'équipement que vous utiliserez, consultez la fiche technique de sécurité d'Air Products. Le risque de formation et d'inflammation de mélanges inflammables contenant de l'hydrogène pourrait être plus élevé que pour d'autres gaz inflammables, pour les raisons suivantes :

1. L'hydrogène s'infiltrerait rapidement à travers les petites ouvertures.
2. L'énergie minimale d'inflammation des mélanges inflammables contenant de l'hydrogène est extrêmement faible.

L'hydrogène brûle avec une flamme d'un bleu très pâle, parfois presque invisible; il est donc possible de se blesser en s'approchant sans le savoir d'un feu d'hydrogène. Les risques d'incendie et d'explosion peuvent être maîtrisés par des procédures de conception et d'exploitation adaptées. Il faut impérativement éviter la formation de mélanges combustibles oxydants et éliminer

ou inerte d'une quelconque autre façon les sources potentielles d'ignition (étincelles électriques, électricité statique, flammes nues, etc.) dans les zones où l'hydrogène sera utilisé. Des opérations d'évacuation et de purge prudentes permettront d'éviter la formation de mélanges inflammables ou explosifs. Une ventilation adéquate contribuera à réduire la formation éventuelle de mélanges inflammables en cas de fuite ou de déversement d'hydrogène, réduisant également le risque d'asphyxie. Il convient de porter des vêtements de protection pour éviter l'exposition aux liquides extrêmement froids et aux vapeurs d'hydrogène froides, ainsi que l'exposition potentielle en cas d'embranchement éclair.

3. Des brûlures par le froid peuvent survenir en cas de contact momentané avec des conduites givrées, avec l'air liquide qui pourrait s'écouler de conduites froides ou de la conduite d'évacuation, avec les ailettes d'évaporateur ou avec des fuites de vapeur.

À la température de l'hydrogène liquide, l'air se condensera et pourrait se transformer en un liquide enrichi en oxygène en raison de la vaporisation de l'azote. L'air enrichi en oxygène augmente la vitesse de combustion des matériaux inflammables et combustibles, y compris des vêtements.

Purge

Les systèmes d'hydrogène gazeux et liquide doivent être purgés de l'air, de l'oxygène ou d'autres oxydants avant l'admission d'hydrogène, et de l'hydrogène avant l'ouverture du système à l'atmosphère. La purge doit être effectuée pour empêcher la formation de mélanges inflammables et peut être réalisée de plusieurs manières

Les systèmes de tuyauterie et les cuves destinés à être utilisés avec de l'hydrogène gazeux doivent être inertés par des procédures de purge ou d'évacuation adéquates. Si les systèmes de tuyauterie sont étendus ou complexes, la procédure la plus fiable consiste en des purges consécutives de gaz inerte suivies d'une purge finale à l'hydrogène.

L'évacuation et la purge de l'équipement employé avec de l'hydrogène gazeux doivent être effectuées à la lumière des considérations suivantes :

1. Évacuer l'équipement et briser le vide avec un gaz inerte, tel que l'azote. Si la conception de l'équipement ne permet pas l'évacuation, il faut alors mettre le système sous pression et le purger avec un gaz inerte.

2. Répéter l'étape 1 au moins trois fois. Si l'on dispose d'équipement analytique, purger le système jusqu'à ce que la teneur en oxygène du gaz résiduel soit inférieure ou conforme au niveau d'impureté précisé pour le processus.

3. L'hydrogène peut maintenant être introduit dans l'équipement.

4. Purger le système avec de l'hydrogène jusqu'à ce que la pureté requise soit atteinte. Évacuer tout l'hydrogène résiduel par un conduit de fumée ou une tour de torche.

Toute méthode de purge doit être répétée aussi souvent que nécessaire pour éviter qu'un mélange inflammable puisse se former lors de l'introduction d'hydrogène ou d'air dans le système.

Bâtiments

L'hydrogène liquide est normalement converti en hydrogène gazeux par vaporisation et acheminé dans les bâtiments pour y être utilisé. Pour le stockage de l'hydrogène liquide dans un bâtiment, il convient de se reporter aux codes ou normes régionaux (p. ex. la norme NFPA 55 de la National Fire Protection Association (NFPA), *Storage, Use and Handling of Compressed Gases and Cryogenic Fluids*). Les éléments suivants concernent un bâtiment dans lequel de l'hydrogène gazeux est utilisé.

1. Prévoir une ventilation adéquate, en particulier dans les zones du toit où l'hydrogène pourrait s'accumuler. Une ventilation forcée peut être nécessaire dans certaines applications.
2. L'atmosphère des zones où de l'hydrogène gazeux pourrait être évacué et s'accumuler doit être testée à l'aide d'un analyseur de gaz inflammable portable ou fonctionnant en continu.
3. Prévoir des événements d'explosion ou une anti-déflagration, en veillant à diriger l'onde de pression vers des zones où elle ne risquera pas de blesser qui que ce soit ni d'endommager d'autres équipements. Il se pourrait que les événements d'explosion ne soient pas nécessaires lorsque les quantités d'hydrogène utilisées sont peu importantes.
4. Les bâtiments doivent être mis à la terre.
5. Le matériel électrique doit être conforme aux codes nationaux de l'électricité en vigueur. Le matériel électrique non conforme doit être placé en dehors de la zone électrique catégorisée comme dangereuse. Tous les équipements électriques doivent être mis à la terre.
6. Les matériaux de construction doivent être incombustibles.
7. Installer des panneaux « Interdiction de fumer » et « Interdiction d'utiliser une flamme nue ».

Exigences relatives aux réservoirs de stockage extérieurs

Emplacement – exigences générales

1. Les conteneurs de stockage doivent être placés de façon à être facilement accessibles à l'équipement d'approvisionnement mobile au niveau du sol et au personnel autorisé, et ils ne doivent pas être exposés à des lignes électriques, à des conduites de liquides ou de gaz inflammables ni à des conduites transportant des matières comburantes.
2. Il est conseillé d'installer le réservoir d'hydrogène liquéfié à un niveau plus élevé que celui où sont stockés les liquides inflammables ou l'oxygène liquide. Lorsqu'il s'avère nécessaire de l'installer à un niveau inférieur à celui de réservoirs de stockage de liquides inflammables ou d'oxygène liquide adjacents, des mesures de protection adéquates doivent être adoptées (telles que l'aménagement de talus, de murets ou de pentes).
3. Les sites de stockage doivent être clôturés et signalés afin d'éviter que des personnes non autorisées y pénètrent. Il faut également y installer des panneaux portant la mention : « Gaz inflammable d'hydrogène liquéfié – Interdiction de fumer – Interdiction d'utiliser une flamme nue ».
4. Il ne doit pas y avoir de mauvaises herbes ni autres combustibles similaires dans un rayon de 25 pi de tout équipement utilisé avec de l'hydrogène liquéfié.

Emplacement – exigences particulières

1. La distance minimale en pieds entre les systèmes d'hydrogène liquéfié d'une capacité de stockage indiquée situés à l'extérieur et toute exposition spécifiée doit être conforme à la version actuelle de la norme NFPA 55, *Compressed Gases and Cryogenic Fluid Code*.*
2. La chaussée et la surface des cours situées sous la tuyauterie d'hydrogène liquéfié, d'où de l'air liquide pourrait s'égoutter, doivent être constituées de matériaux incombustibles.
3. Si des parois de protection sont prévues, elles doivent être construites en matériaux non combustibles.
4. Le câblage et l'équipement électriques situés dans un rayon de 3 pi d'un point où des connexions sont régulièrement effectuées et déconnectées doivent être conformes aux normes nationales. Aux États-Unis, les codes applicables sont l'article 501 du *National Electrical Code* et la norme NFPA n° 70, pour les emplacements de classe 1, groupe B, division 1.
5. Le câblage et l'équipement électriques situés à plus de 3 pi, mais à moins de 25 pi d'un point où des connexions sont régulièrement effectuées et déconnectées ou à moins de 25 pi d'un réservoir de stockage d'hydrogène liquide doivent être conformes aux normes nationales. Aux États-Unis, les codes applicables sont l'article 501 du *National Electrical Code* et la norme NFPA n° 70, pour les emplacements de classe 1, groupe B, division 2. Cette exigence ne s'applique pas à l'équipement électrique installé sur les camions d'approvisionnement mobiles ou les wagons-citernes à partir desquels le conteneur de stockage est rempli.

6. Le réservoir d'hydrogène liquéfié et sa tuyauterie doivent être reliés entre eux et raccordés à une mise à la terre.
7. Un éclairage adéquat doit être prévu pour les opérations de transfert nocturnes.

Protection individuelle

1. Le personnel doit connaître parfaitement les propriétés et les précautions de sécurité avant d'être autorisé à manipuler l'hydrogène et (ou) l'équipement connexe.
2. Un écran facial complet, des lunettes de sécurité, des gants isolés ou en cuir, une chemise à manches longues et des pantalons sans rebord doivent être portés lors des travaux sur les systèmes d'hydrogène liquide. Le bas des pantalons doit être porté hors des bottes. Le port de vêtements ignifuges est fortement recommandé pour travailler sur des systèmes d'hydrogène liquide ou à proximité.
3. En situation d'urgence, il convient de revêtir une combinaison ignifuge et des gants. Le port d'un appareil de protection respiratoire autonome (APRA) est également recommandé. Rappelons toutefois que les atmosphères déficientes en oxygène se situent dans la plage d'inflammabilité et qu'il ne faut pas y pénétrer. Augmentez la ventilation des zones susceptibles de contenir une atmosphère inflammable avant d'y entrer.

* La publication est disponible auprès de la NFPA, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471.

Premiers secours

Les personnes souffrant d'un manque d'oxygène doivent être déplacées vers des zones où l'atmosphère est normale. **Un appareil de protection respiratoire autonome peut être nécessaire pour éviter l'asphyxie des secouristes.** Ces derniers ne devraient pas pénétrer dans une atmosphère inflammable. Si la victime ne respire pas, il faut amorcer la respiration artificielle et lui donner de l'oxygène. L'exposition à l'hydrogène liquide ou aux vapeurs d'hydrogène froid peut entraîner des lésions ou des brûlures étendues des tissus. Rincer les zones touchées avec de grandes quantités d'eau tiède 41 °C et 46 °C (105 °F et 115 °F) pour réduire le gel. Desserrer tout vêtement susceptible d'entraver la circulation. Ne pas appliquer de chaleur. Ne pas frotter la peau gelée, au risque d'endommager les tissus. Couvrir la région touchée avec un pansement protecteur stérile ou avec des draps propres si elle est étendue, et la protéger contre d'autres blessures. Consulter rapidement un médecin.

Note au médecin

Les tissus gelés doivent être traités rapidement par immersion dans un bain d'eau à une température comprise entre 41 °C et 46 °C (105 °F et 115 °F). Éviter l'utilisation de chaleur sèche.

Les tissus gelés sont indolores et cireux, de couleur jaune pâle. Ils deviennent douloureux et œdémateux en dégelant, et la couleur pâle vire au rose ou au rouge lorsque la circulation sanguine est rétablie. De puissants analgésiques sont souvent indiqués. Les tissus qui ont gelé présentent des lésions cellulaires graves et étendues et sont très sensibles aux infections et aux traumatismes supplémentaires. Le réchauffement rapide des tissus sur le terrain n'est donc pas recommandé si des délais sont à prévoir pour le transport vers un centre médical.

Si la température corporelle est abaissée, le patient doit être réchauffé progressivement. La correction de l'hypothermie pourrait entraîner un choc, et une grave hypothermie pourrait s'accompagner d'une dysrythmie cardiaque.

Lutte contre l'incendie

L'hydrogène s'enflamme facilement sous l'effet de la chaleur, de flammes nues, d'étincelles électriques et de l'électricité statique. Il brûle en produisant une flamme bleu pâle, presque invisible. La plupart des incendies causés par l'hydrogène se présentent sous la forme d'une longue flamme semblable à une torche ou un jet et prennent naissance au point de décharge de l'hydrogène. Si l'on soupçonne une fuite dans une partie quelconque d'un système, une flamme d'hydrogène peut être détectée en s'approchant prudemment avec un balai tendu, qu'on déplacera de haut en bas.

Le moyen le plus efficace de lutter contre un incendie d'hydrogène consiste à couper le flux de gaz. S'il faut éteindre la flamme pour atteindre l'endroit d'où le flux d'hydrogène peut être coupé, il est recommandé d'utiliser un extincteur à poudre sèche. Si toutefois l'incendie est éteint sans que le flux d'hydrogène ait été interrompu, un mélange explosif peut se former, créant un danger plus grave que le feu lui-même en cas de rallumage à partir des surfaces chaudes ou d'autres sources.

La pratique habituelle en matière de lutte contre l'incendie consiste à empêcher le feu de se propager et à le laisser brûler jusqu'à ce que l'hydrogène soit consumé. Des extincteurs à poudre sèche doivent être disponibles dans la zone. Une couverture anti-feu doit également être facilement accessible. Un approvisionnement en eau adéquat est à prévoir, permettant de garder l'équipement environnant au frais en cas d'incendie d'hydrogène. Le service d'incendie local doit être informé de la nature des produits manipulés et des meilleures méthodes connues pour lutter contre les incendies d'hydrogène.

Les incendies de pipelines dont la fermeture est possible et dont les flammes se présentent comme celles d'une torche ou comme un jet peuvent être maîtrisés efficacement de la manière suivante :

1. Réduire lentement le débit d'hydrogène alimentant le feu. Ne pas arrêter complètement le flux.
2. Lorsque le jet est suffisamment petit pour que l'on puisse s'en approcher, éteindre la flamme à l'aide d'un extincteur au dioxyde de carbone ou à poudre sèche.
3. Fermer complètement l'approvisionnement en hydrogène.
4. Bien ventiler la zone.

Système d'intervention d'urgence

Tél. : 800-523-9374 (États-Unis continentaux et Puerto Rico),

Tél. : +1-610-481-7711 (ailleurs)

Pour les numéros de téléphone des services d'urgence régionaux, veuillez-vous reporter à la fiche technique de sécurité locale 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 afin d'obtenir une assistance concernant les produits d'Air Products and Chemicals, Inc..

Centre d'information technique

Tél. : 800-752-1597 (É.-U.)

Tél. : +1-610-481-8565 (autres emplacements)

du lundi au vendredi, de 8:00 à 17:00 HNE,

F 610-481-8690

gastech@airproducts.co

Pour plus de renseignements, communiquez avec nous à l'adresse suivante :

Siège social

Air Products and Chemicals, Inc.

1940 Air Products Blvd.

Allentown, PA 18106-5500

T: 1 800 654-4567

info@airproducts.com

Canada

Air Products Canada Ltd.

2233 Argentia Road, Suite 203

Mississauga (Ontario) L5N 2X7

T: 1 800 654-4567/1 905 816-6670

info@airproducts.com

airproducts.ca



tell me more*
airproducts.ca

*Dites-m'en plus