

SPF EMPLOI, TRAVAIL ET CONCERTATION SOCIALE
DIRECTION GENERALE CONTROLE DU BIEN-ETRE AU TRAVAIL
DIRECTION DES RISQUES CHIMIQUES

CHECKLIST



HYDROGENE

Introduction

Cette check-list est un outil d'inspection de la Direction des risques chimiques permettant de vérifier d'une façon systématique dans quelle mesure les installations manipulant de l'hydrogène sont en conformité avec les normes actuelles et les codes de bonne pratique.

Dans le cadre de la politique de transparence du service, cette check-list est mise gratuitement à la disposition des entreprises, afin de leur permettre d'effectuer elles-mêmes leur propre enquête et d'en tirer les conclusions adéquates en vue d'une amélioration de la prévention des accidents majeurs.

La check-list énumère un certain nombre de risques spécifiques aux installations concernées et donne un aperçu des mesures qui peuvent être prises pour les contrer. Ces risques et mesures sont essentiellement repris des normes et des codes de bonne pratique se rapportant à ces installations. Cette check-list n'a pas la prétention d'être exhaustive et ne remplace donc pas ces normes et codes. L'application de cette check-list ne peut en aucun cas être une alternative à une analyse de risques approfondie par l'exploitant.

Table des matières

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | PROPRIÉTÉS DE L'HYDROGÈNE | 4 |
| 1.1 | IDENTIFICATION | 4 |
| 1.2 | PROPRIÉTÉS PHYSIQUES | 4 |
| 1.3 | PROPRIÉTÉS CHIMIQUES | 4 |
| 1.4 | DANGERS LIÉS À L'HYDROGÈNE | 5 |
| 1.4.1 | <i>Inflammabilité</i> | 5 |
| 1.4.2 | <i>Risques pour la santé</i> | 6 |
| 1.4.3 | <i>Dangers vis à vis des matériaux de construction</i> | 6 |
| 1.4.4 | <i>Dangers spécifiques liés à l'utilisation de températures extrêmement basse dans le cas de l'hydrogène liquide</i> | 7 |
| 1.5 | CLASSIFICATION | 7 |
| 2 | APPLICATION DE LA CHECK-LIST | 8 |
| | RÉFÉRENCES..... | 9 |

ANNEXE 1: Analyse PLANOP des installations

ANNEXE 2: Distances de sécurité

ANNEXE 3: Listes de vérification

1 Propriétés de l'hydrogène

1.1 Identification

L'hydrogène est un gaz incolore, inodore et sans saveur. C'est le plus léger des gaz.

Formule chimique: H₂
Numéro CAS: 1333-74-0
Numéro UN: 1049
Numéro CEE: 001-001-00-9

1.2 Propriétés physiques

| | |
|---|---------------|
| Poids moléculaire: | 2,02 g |
| Point d'ébullition: | -252,9 °C |
| Point triple: | -259,2 °C |
| Température critique: | -239,9 °C |
| Pression critique: | 12,8 atm |
| Densité du gaz à 0°C et 1 atm (air = 1): | 0,089 g/l |
| Densité du gaz à 25°C et 1 atm (air = 1): | 0,069 g/l |
| Densité du liquide saturé à 23 K: | 67,723 kg/l |
| Coefficient d'expansion, liquide -> gaz (point d'ébullition -> 20°C): | 1 à 848 |
| Chaleur latente de vaporisation: | 446 kJ/kg |
| Limites d'inflammabilité dans l'air à 1 atm: | 4 – 74,5 % |
| Limites d'inflammabilité dans l'oxygène à 1 atm: | 4,65 – 93,9 % |
| Température d'auto-inflammation dans l'air à 1 atm: | 570 °C |
| Chaleur de combustion: | 120.000 kJ/kg |

1.3 Propriétés chimiques

L'hydrogène, bien que relativement inactif à température ambiante, réagit avec la plupart des autres éléments à température élevée. Ainsi, l'hydrogène réduira notamment les oxydes métalliques à température élevée. C'est cette réactivité à température élevée qui est mise à profit dans la plupart des utilisations industrielles de l'hydrogène en dehors du secteur énergétique.

L'hydrogène peut donc être considéré comme incompatible avec les oxydants, y compris l'air, l'oxygène et les halogènes. Le fluor et l'hydrogène réagissent à 250°C en présence d'impuretés. Les mélanges chlore et hydrogène explosent s'ils sont exposés à la lumière. Le lithium brûle dans une atmosphère d'hydrogène.

1.4 Dangers liés à l'hydrogène

1.4.1 Inflammabilité

L'hydrogène est un gaz extrêmement inflammable. Il brûle dans l'air avec une flamme bleue pâle, pratiquement invisible, et à des concentrations allant de 4 à 75 % par volume aux conditions standards (par comparaison, les limites d'inflammabilité du méthane et du propane sont respectivement de 5,3 – 15 % et 2,1 - 9,5 %). Ces limites d'inflammabilité dépendent de la pression, de la température et également du taux d'humidité. La température de flamme la plus élevée de l'hydrogène de 2.318 °C est atteinte pour une concentration de 29 %, mais dans une atmosphère d'oxygène, cette température peut atteindre 3.000 °C.

L'énergie minimale d'ignition requise pour un mélange stœchiométrique combustible/oxygène est de 0,02 mJ pour l'hydrogène, ce qui est très faible (pour le méthane, elle est de 0,26 mJ). Donc, il suffit d'un dixième de l'énergie d'une décharge d'électricité statique d'un arc ou d'une étincelle pour allumer l'hydrogène. De plus, lorsque l'hydrogène est manipulé à pression élevée et qu'une fuite a lieu, l'hydrogène présente un effet Joule-Thompson inverse, de sorte que le gaz qui s'échappe peut s'échauffer suffisamment pour être enflammé directement. Cette faible valeur de l'énergie minimale d'ignition pour le mélange inflammable hydrogène-air augmente donc considérablement le potentiel d'ignition d'un mélange inflammable contenant de l'hydrogène par rapport aux autres gaz inflammables.

Ce potentiel est également augmenté par rapport aux autres gaz inflammables à cause de la petite taille de la molécule d'hydrogène qui lui permet de migrer rapidement à travers de petites ouvertures. C'est en raison de cette dernière caractéristique qu'il est parfois préférable de tester l'étanchéité d'un équipement appelé à contenir de l'hydrogène à l'aide d'hélium, gaz inerte dont la taille de la molécule est similaire à celle de l'hydrogène.

Le domaine d'explosion de l'hydrogène se situe dans l'intervalle 13 à 59 % (cfr [15]). Le coefficient de diffusion de l'hydrogène dans l'air est de 0,61 cm³/s, ce qui est 4 fois plus grand que le méthane. C'est pourquoi l'hydrogène se mélange beaucoup plus rapidement dans l'air que le méthane ou les vapeurs de pétrole, ce qui est avantageux à l'air libre. Par contre, il s'agit d'un désavantage potentiel dans les espaces intérieurs mal ventilés. Etant plus léger que l'air, le gaz monte rapidement dans l'atmosphère, à l'inverse du propane qui lui restera au sol, engendrant alors une plus grande probabilité d'explosion, vu le degré plus élevé de confinement au sol. De nombreuses expériences ont montré que l'hydrogène ne détonait pas en milieu libre.

Le plus grand danger lié à l'utilisation de l'hydrogène est donc la formation de mélanges inflammables avec l'air qui, exposés à une source d'ignition, peuvent donner lieu à des incendies ou éventuellement à des déflagrations.

Le trou à travers lequel une flamme d'hydrogène peut voyager est beaucoup plus étroit que la plupart des autres gaz. Par conséquent, il est beaucoup plus difficile de fabriquer des moteurs électriques suffisamment Exproof pour des opérations dans des atmosphères pouvant contenir un mélange inflammable hydrogène-air.

Dans le cas d'utilisation de l'hydrogène sous forme liquide, il faut distinguer deux cas différents: en cas de "petites fuites" d'hydrogène liquide, leur évaporation est pratiquement instantanée et le flux gazeux émis est rapidement réchauffé, ce qui rend ce scénario similaire à celui d'une petite fuite d'hydrogène gazeux et celui-ci va donc rapidement se diluer dans l'air.

Par contre, si l'hydrogène se répand en quantités plus importantes, une partie de l'hydrogène liquide va se vaporiser immédiatement, mais l'autre peut former une nappe d'hydrogène liquide sur le sol si ce dernier se refroidit suffisamment. L'évaporation est alors plus lente et l'hydrogène gazeux possède à très basse température une densité voisine de l'air. Cette évaporation conduit donc à un mélange air/hydrogène qui se disperse et se dilue progressivement dans l'atmosphère. Si le mélange n'est pas enflammé près de sa source, il peut créer un danger d'incendie à des endroits relativement éloignés. L'extension maximale du nuage est de l'ordre de quelques dizaines de mètres.

Un danger supplémentaire est induit par l'utilisation de températures extrêmement basses. L'air qui entoure les installations où l'on manipule de l'hydrogène liquide, va se condenser à la température où se trouve l'hydrogène liquide et peut devenir un air enrichi en oxygène à cause de la vaporisation de l'azote. Cet air enrichi en oxygène augmente la vitesse de combustion des matériaux combustibles et inflammables environnants.

1.4.2 Risques pour la santé

L'hydrogène en lui-même n'est pas toxique, mais est considéré comme asphyxiant simple car il peut réduire la concentration normale de 21 % de l'oxygène dans l'air dans un espace confiné, sans ventilation adéquate lorsqu'il est libéré. Vu qu'il est incolore, inodore et sans saveur, sa présence ne peut pas être détectée par l'homme. L'asphyxie peut avoir lieu si la concentration en oxygène est réduite à 18 % par déplacement. Les effets de manque d'oxygène par asphyxiants simples peuvent être entre autres: respiration rapide, promptitude mentale affaiblie, coordination musculaire affaiblie, discernement imprécis, atténuation de toutes les sensations, instabilité émotionnelle et fatigue. Au fur et à mesure que l'asphyxie se poursuit, il peut s'ensuivre des nausées, des vomissements, une prostration et une perte de connaissance entraînant à la longue des convulsions, le coma et la mort.

Mais il faut noter que les concentrations en hydrogène à partir desquelles des mélanges inflammables ou explosifs sont formés sont beaucoup plus faibles que celles à partir desquels le risque d'asphyxie est significatif.

Des brûlures peuvent avoir lieu à cause du fait que l'on ignore que l'on marche dans un feu d'hydrogène, vu que la flamme est pratiquement invisible.

Dans le cas d'utilisation de l'hydrogène sous forme liquide, l'exposition à de l'hydrogène liquide, donc extrêmement froid et à des vapeurs très froides d'hydrogène peut provoquer des brûlures par le froid. De même indirectement, via des gouttes d'air liquide ruisselant à partir de tuyauteries froides.

1.4.3 Dangers vis à vis des matériaux de construction

L'hydrogène n'est pas corrosif. Toutefois, l'hydrogène peut réagir avec certains métaux (aciers trempés) et provoque alors la fragilisation. A températures et pressions partielles élevées d'hydrogène, les aciers peuvent subir une fragilisation et des dégâts dus à l'hydrogène. En fait, l'acier souffre d'une décarburation par l'hydrogène, qui cause une perte de ductilité et le développement de microfissures aux joints de grains, entraînant une diminution de la résistance. La décarburation est réversible, mais pas la formation de fissures. Ces deux effets sont plus souvent désignés par l'attaque d'hydrogène. Les défaillances ont lieu à des températures allant de 300 à 500°C. La résistance de l'acier à l'attaque d'hydrogène peut

fortement être augmentée par l'addition d'alliages adéquats. Ainsi les aciers CrMo sont souvent utilisés lorsque l'on met l'hydrogène en œuvre.

1.4.4 Dangers spécifiques liés à l'utilisation de températures extrêmement basse dans le cas de l'hydrogène liquide

Plusieurs matériaux usuels, comme l'acier au carbone, les plastiques et le caoutchouc, deviennent cassants et peuvent se fissurer aux températures extrêmement faibles des liquides cryogéniques. De même, plusieurs matériaux rétrécissent aux températures cryogéniques, ce qui peut causer des fuites dans les raccords.

Peu importe les matériaux utilisés, il faut éviter toute contamination de l'équipement par de l'eau, car la dilatation de la glace peut causer des fissures dans l'équipement.

De plus lors d'incendies, les liquides cryogéniques comme l'hydrogène congèlent rapidement l'eau. Ainsi, utilisée négligemment, l'eau peut, en gelant, bloquer les soupapes de sûreté; de plus étant relativement chaude, elle peut accélérer la vaporisation de l'hydrogène liquide, qui viendrait alors alimenter l'incendie.

Lorsqu'un équipement doit être purgé avant d'introduire de l'hydrogène liquide (pour éliminer la possibilité de créer une atmosphère inflammable ou un mélange explosif d'air et d'hydrogène liquides), certains gaz inertes tels que l'azote, peuvent se solidifier et provoquer des bouchons, voire des ruptures de ligne de transfert ou de réservoir de stockage.

1.5 Classification

Selon l'Arrêté Royal du 11 janvier 1993 réglementant la classification, l'emballage et l'étiquetage des préparations dangereuses en vue de leur mise sur le marché ou de leur emploi (M.B. 17-5-1993), la classification de l'hydrogène est la suivante:

F+, R12 : extrêmement inflammable.

S9 : "conserver le récipient dans un endroit bien ventilé"

S16 : "Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles — Ne pas fumer"

S33 : "Eviter l'accumulation de charges électrostatiques"

Les codes NFPA pour l'hydrogène gazeux sont 0-4-0; pour l'hydrogène liquide 3-4-0.

En ce qui concerne le zonage, l'hydrogène est un gaz du groupe IIC, classe de température T1 (selon la norme EN 50.014 / NBN C23-001: Matériel électrique pour les atmosphères présentant des dangers d'explosion – règles générales).

En ce qui concerne le transport, l'hydrogène gazeux est désigné comme Hydrogène comprimé. Il appartient à la classe/division 2.1, N° rubrique ADR/RID 2, 1°F, n° de danger ADR/RID 23 et l'étiquetage ADR est l'étiquette 3 : gaz inflammable. L'hydrogène liquide quant à lui est désigné comme Hydrogène liquide réfrigéré. Il appartient à la classe/division 2.1, N° rubrique ADR/RID 2, 3°F, n° de danger ADR/RID 223 et l'étiquetage ADR est identique.

2 Application de la check-list

Cette check-list est en fait une analyse PLANOP de quelques installations typiques pour la manipulation de l'hydrogène. PLANOP est une technique d'analyse de risques développée au sein de la Direction des risques chimiques et décrite dans la note d'information CRC/IN/012-F "PLANOP".

Pour chaque sous-système pertinent, les différentes sources de causes et étapes de libération reprises à l'annexe 2 doivent être traitées.

Pour chacune de ces sources de causes et étapes de libération, sont données des mesures typiques pour limiter le risque à un niveau acceptable.

La règle générale prévoit que les mesures qui ne sont pas présentes ou les critères auxquels il n'est pas satisfait, sont considérés comme des manquements. Il est dérogé à cette règle si la présence d'une mesure est compensée par une ou plusieurs mesures alternatives (bien que non reprises dans la check-list) garantissant un niveau similaire de réduction du risque.

Une série d'aspects généraux liés à la sécurité sont traités au niveau de l'installation dans son ensemble via les points d'attention des installations.

Après l'application de la check-list, un rapport avec les manquements constatés est rédigé par le(s) inspecteur(s). Il est convenu d'un délai endéans lequel l'entreprise établira un plan d'actions pour remédier aux manquements constatés. L'exécution de ce plan d'action sera bien entendu également suivie par les inspecteurs.

Si le nombre et la nature des remarques permettent déjà de fixer les mesures correctives immédiatement après l'application de la check-list, aucun rapport avec des manquements ne sera transmis mais directement une confirmation des actions convenues.

Références

Cette check-list a été rédigée sur base des recommandations publiées qui suivent.

- [1] **API RP 941 Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants**, january 1997 (5th Edition), American Petroleum Institute (API).
- [2] **API Std 620 Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks**, february 1996 (9th Edition), American Petroleum Institute (API).
- [3] **Appareils à pression fixes dans lesquels est emmagasiné de l'hydrogène gazeux**, Prescriptions de sécurité types, ITM-CL 155.1, Ed. 13 août 1999, Gouvernement Luxembourgeois.
- [4] **AR du 13 juin 1999 portant exécution de la directive du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne du 29 mai 1997 relative au rapprochement des législations des Etats membres concernant les équipements sous pression**
- [5] **art. 52 RGPT** (Règlement Général pour la Protection du Travail)
- [6] **art. 359 RGPT**
- [7] **art. 363bis RGPT**
- [8] **BCGA CP 8 The safe storage of gaseous hydrogen in seamless cylinders and similar containers**, 1986, *British Compressed Gases Association (BCGA)*
- [9] **Braker, William end Allen L. Mossman, Matheson Gas Data Book (Sixth Edition)**. Lyndhurst, NJ: Matheson, 1980.
- [10] **CGA G-5 Hydrogen**, 1991, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [11] **CGA G-5.4, Standard for Hydrogen Piping at Consumer Locations**, 1992, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [12] **CGA G-5.5 Hydrogen Vent Systems**, 1996, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [13] **Comment travailler en toute sécurité avec les liquides cryogéniques?**, 27 novembre 1997, Centre Canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST)
- [14] **Données sur la sécurité de matière chimique: Hydrogène**, Matheson Gas Products, révision du 7/11/1997, les services de la santé au travail, Inc.
- [15] **Dr. Werner Zittel, Reinhold Wurster, Hydrogen in the Energy Sector**, 1996, HyWeb Knowledge, <http://www.hydrogen.org/knowledge/W-i-energie-eng.html>
- [16] **F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control**, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, 1996.

- [17] **Fiche de sécurité: Hydrogène réfrigéré**, Air Liquide S.A., Version 1, 11.11.00
- [18] **Fiche de sécurité: Hydrogène**, Air Liquide S.A., Version 1, 11.11.00
- [19] **Fiche signalétique Hydrogène**, BOC GAZ, révision 99-06-01
- [20] **Hydrogène propriétés**, 2001, <http://www.airliquide.com/fr/business/products/hydrogen>
- [21] **Material Safety Data Sheet for Hydrogen (H₂)**, Voltaix, Inc. MSDS Document Number – H000 (revision dated 03 sept 96)
- [22] **Matheson Guide to safe handling of compressed gases**, Third Printing, 1983 Matheson Gas Products, Inc.
- [23] **NFPA 50A: Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites**, Edition 1999
- [24] **NFPA 50B: Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites**, Edition 1999
- [25] **RGIE (Règlement Général sur les Installations Electriques)**
- [26] **Safetygram – 4 Gaseous Hydrogen**, Air Products and Chemicals, Inc., 2000
- [27] **Safetygram – 9 Liquid Hydrogen**, Air Products and Chemicals, Inc., 2000
- [28] **The Accident Database CD-ROM**, The Institution of Chemical Engineers (IChemE), 1997
- [29] **Wade A. Amos, Costs of storing and Transporting Hydrogen**, National Renewable Energy Laboratory, November 1998
- [30] **EIGA DOC 06/02/E: Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen**, European Industrial Gases Association.
- [31] **IGC DOC 15/96: Gaseous hydrogen stations**, European Industrial Gases Association
- [32] **IGC DOC/59/98/E: Prevention of excessive pressure in cryogenic tanks during filling**, European Industrial Gases Association.
- [33] **IGC DOC 63/99/E: Prevention of tow-away accidents**, European Industrial Gases Association.
- [34] **IGC Doc 24/02/E: Vacuum insulated cryogenic storage tank systems pressure protection devices**, European Industrial Gases Association.
- [35] **NSS 1740.16: National Aeronautics and Space Administration Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems: Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage and Transportation**, Office of Safety and Mission Assurance, Washington, DC 20546

*Cette check-list est un document de la
Direction des risques chimiques
Direction Générale Contrôle du Bien-Etre au travail
SPF Emploi, Travail et Concertation Sociale
crc@meta.fgov.be*

*Rédaction finale: ir. Peter Vansina
Auteurs: ir. Brigitte Gielens*

*Cette check-list est disponible via le site internet du SPF Emploi, Travail et Concertation
Sociale (www.meta.fgov.be)*

ANNEXE 1

Analyse PLANOP des installations

Table des matières

Check-list: Hydrogène



Direction des risques chimiques

| | |
|---|-----------|
| Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé | 1 |
| <i>Stockage en réservoirs stationnaires</i> | 3 |
| Réservoir de stockage sous-pression | 3 |
| <i>Tuyauteries</i> | 19 |
| Tuyauterie d'hydrogène comprimé | 19 |
| Compresseur d'hydrogène | 27 |
| <i>(Dé)chargement</i> | 32 |
| (Dé)chargement de tube-trailers ou wagons-citernes | 32 |
| Remplissage et stockage de bouteilles d'hydrogène | 44 |
| <i>Stockage de bouteilles</i> | 45 |
| Bouteille d'hydrogène (stockage) | 45 |
| <i>Station de remplissage pour bouteilles d'hydrogène</i> | 52 |
| Bouteille d'hydrogène (station de remplissage) | 52 |
| Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide | 61 |
| <i>Stockage en réservoirs cryogéniques</i> | 63 |
| Réservoir cryogénique | 63 |
| <i>Tuyauteries</i> | 82 |
| Tuyauterie d'hydrogène liquide | 82 |
| <i>(Dé)chargement</i> | 92 |
| (Dé)chargement de camions/wagons-citernes | 92 |
| <i>Vaporisation de l'hydrogène liquide</i> | 105 |
| Evaporateur | 105 |

| | |
|--|--|
| <p>Installation</p> <p>Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|--|--|

1. Description

2. Sections et sous-systèmes

Stockage en réservoirs stationnaires

Réservoir de stockage sous-pression

Tuyauteries

Tuyauterie d'hydrogène comprimé

Compresseur d'hydrogène

(Dé)chargement

(Dé)chargement de tube-trailers ou wagons-citernes

3. Points d'attention

Eclairage et éclairage de secours

- Au niveau des postes de (dé)chargement
 - Sûr du point de vue explosion ou installé en dehors de la zone d'explosion.
- Réf. [26], [31], [35].

Contrôle de l'accès

- Clôture autour de l'entreprise:
- suffisamment haute (2 m)
 - indication de l'interdiction d'accès
 - contrôle de l'accès
 - portes et portails non contrôlés fermés à clés.
- Réf. [3], [35]

Accessibilité pour l'intervention

- Accès aux réservoirs et aux stations de (dé)chargement:
- fixé en concertation avec les pompiers
 - via 2 directions différentes (afin d'assurer l'accès en cas de directions différentes du vent)
 - suffisamment large pour permettre l'accès des véhicules d'intervention (6 m pour les voies de circulation dans les 2 sens et 4 m pour un sens unique)
 - pas de cul-de-sac non signalé (si c'est inévitable, il doit être possible de faire demi-tour au bout)
 - une hauteur libre d'au moins 4,20 m (par ex. sous les piperacks)
- Réf. [23], [31]

Zonage

- L'hydrogène est un gaz du groupe IIC, classe de température T1.
Le zonage est:
- Actuel (datant d'après les dernières modifications)
 - Signé par l'Inspection Technique
 - Rapport de contrôle de l'installation électrique par un Organisme Agréé (au minimum tous les 5 ans).

Implantation

La distance par rapport aux installations suivantes doit être suffisamment grande pour éviter les effets domino:

- chaque propriété voisine
- les réservoirs de liquides ou de gaz inflammables
- les bâtiments
- les stations de (dé)chargement
- les installations manipulant des produits inflammables
- les structures fragiles et élevées.

Ces distances sont déterminées par une étude de risques ou à l'aide d'un code reconnu (voir annexe 2).

Il est interdit de placer des installations manipulant de l'hydrogène sous des lignes à haute tension.

Réf. [3], [23], [26], [31], [35]

Construction des réservoirs et des tuyauteries

La construction a eu lieu sur base d'un standard de construction.

Les réservoirs et accessoires mis en service après le 29/05/2002 doivent disposer d'un marquage CE et un certificat de conformité CE à la directive équipements sous pression.

Réf. [4], [23], [31], [35]

Signalisation des réservoirs

Indication sur chaque réservoir:

- du numéro du réservoir
- du nom du gaz stocké: Hydrogène
- des symboles de danger
- de la capacité de stockage

Signalisation des tuyauteries

Indication:

- du sens du flux
- de la présence d'hydrogène
- sous forme gazeuse ou liquide

Réf. [31], [35]

| | |
|--|--|
| <p>Sous-système</p> <p>Réservoir de stockage sous-pression</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|--|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé

Section: Stockage en réservoirs stationnaires

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Explosion interne
- Input de chaleur d'un feu externe
- Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Impact de véhicules
- Affaissement

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

- Présence d'hydrogène
- Présence externe de conditions corrosives

Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

- Feu externe

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Propagation

- Formation d'un nuage explosif

Impact

- Inflammation
- Feu
- Explosion

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Lors de la (re)mise en service du réservoir de stockage.

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M1)

ET C2 Présence d'une source d'ignition interne

C2.1 Décharge d'électricité statique (M2)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purger le réservoir au préalable-

Pour éviter la présence préalable d'oxygène et d'air avant d'introduire l'hydrogène.

Réf. [26], [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M2 Mise à la terre du réservoir de stockage-

Réf. [3], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

Inspection

repris dans un programme d'inspection

Input de chaleur d'un feu externe

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Feu à proximité du réservoir de stockage (M5)

OU C1.1 Feu au niveau de pompes ou de compresseurs

Les pompes et les compresseurs sont des points sensibles pour des fuites.

OU C1.2 Présence de matériaux combustibles

OU C1.2.1 Présence de déchets combustibles (M3)

OU C1.2.2 Présence d'herbes sèches, de broussailles (M2)

OU C2 Feu en-dessous du réservoir (M4)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Soupape de sécurité-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée

- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [3], [23], [26], [31], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Localisation de la décharge

Les lignes de décharge des soupapes de sécurité doivent déboucher à l'air libre (notamment lorsque l'équipement est situé dans un bâtiment) et dans tous les cas selon une orientation, en un lieu et à une hauteur suffisante de manière à éviter tout danger.

Réf. [3], [23], [31], [35]

Accumulation d'eau dans la ligne de décharge

Les lignes de décharge des soupapes de sécurité doivent être conçues ou localisées de sorte que l'humidité ne puisse s'accumuler et geler de manière à empêcher le fonctionnement correct des soupapes (blocage par le gel, pression hydrostatique de l'eau).

Réf. [23], [31], [35]

Source d'ignition dans la ligne de décharge

Pour éviter les risques d'ignition dus à la rouille en particulier, les alliages cuivreux ou l'acier inoxydable sont les mieux adaptés pour les lignes de décharge.

Réf. [3], [31]

Liaison avec l'espace à protéger

La liaison avec l'espace à protéger est assurée:

- ou bien absence de vanne manuelle permettant d'isoler la soupape de sécurité

- ou bien système de verouillage qui garantit la position ouverte de la vanne manuelle.

Réf. [35]

Fiabilité

Les soupapes de sécurité sont reprises dans un programme d'inspection périodique.

Influence sur une cause

M2 Absence de végétation sèche

Ne pas utiliser

Réf. [23], [26], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Présence d'herbes sèches, de broussailles

- M3 Inspections périodiques de la présence de déchets combustibles-
Réf. [23], [26]
Couche: Contrôle *Type: Inspection &entretien*
Influence sur cause: Présence de déchets combustibles
- M4 Position par rapport au niveau du sol-
- Stockage situé à un niveau supérieur que le stockage de liquides inflammables ou le stockage d'oxygène liquide (si la distance entre les 2 est < à 15 m)
- Si le stockage doit malgré tout être situé à un niveau inférieur que la stockage adjacent de liquide inflammable ou d'oxygène liquide, des mesures de protection doivent être prises pour éviter l'écoulement du liquide dangereux en-dessous du réservoir de stockage (si distance entre les 2 est < à 15 m).
Réf. [23], [26], [31], [35]
Couche: Procédé *Type: Passives*
Influence sur cause: Feu en-dessous du réservoir
- M5 Murs ou toits de protection-
Construits en matériaux incombustibles ou moyennement combustibles.
Réf. [23], [26], [31], [35]
Couche: Sécurité *Type: Passives*
Influence sur cause: Feu à proximité du réservoir de stockage

Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Toutes les tuyauteries de sortie isolées

ET C2 Compresseur alimente le réservoir

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Système de réduction de la pression, c-à-d. des détendeurs-

Dans le cas de réservoir de stockage d'hydrogène à faible pression où le remplissage s'effectue à partir d'un tube-trailer ou autre système à haute pression.

La pression fixée ne doit pas être supérieure à la pression de design du réservoir de stockage à pression faible.

Réf. [31].

Couche: Contrôle

Type: Passives

M2 Pressiostat de sécurité au niveau des détendeurs-

Action:

- fermeture des vannes d'isolement

Réf. [31].

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M3 Mesure de la pression avec alarme-

Réf. [3], [23]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M4 Soupape de sécurité-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée

- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [3], [23], [26], [31], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Points d'attention: voir source de cause Input de chaleur d'un feu externe

Impact de véhicules

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces d'impact

Causes:

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Réservoir à l'écart des voies de circulation internes et externes-

Les voies de circulation sont signalées sur le site.

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Limitations de vitesse-

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Rails de protection-

Réf. [31], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Affaissement

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Tensions complexes

Causes:

C1 Sol instable

C1.1 Remblais

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Fondation stable-

La stabilité doit être démontrée à l'aide de calculs.

Réf. [23], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M2 Programme de mesures pour suivre l'affaissement

Couche: Sécurité

Type: Inspection & entretien

Présence d'hydrogène

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

Description:

Nature de l'attaque: Fatigue due à l'hydrogène

Causes:

Étapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Matériaux de construction résistant à la corrosion

- Les aciers au carbone sont déconseillés pour des pressions supérieures à 10 bar.
- Augmentation de la résistance de l'acier à l'attaque d'hydrogène par l'addition d'éléments d'alliage adéquats (exemple: acier CrMo)
- Choix du matériel suivant le standard "API 941 Steels for hydrogen services at elevated temperature and pressure in petroleum refineries and petrochemical plants " [1]
Réf. [3], [16], [23], [31], [35]

Couche: Enveloppe

Type: Passives

Présence externe de conditions corrosives

*Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Conditions corrosives ou chimiquement agressives*

Description:

Nature de l'attaque: Corrosion

Causes:

- OU C1 Exposition aux conditions atmosphériques
- OU C2 Accumulation d'humidité au niveau des appuis (M2)
Typique pour les réservoirs horizontaux

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Inspection externe du réservoir

Reprise dans un programme d'inspection

Couche: Sécurité

Type: Inspection &entretien

Instructions

L'exécution des inspections fait l'objet d'instructions. Les appuis des réservoirs horizontaux sont également inspectés.

Influence sur une cause

M2 Appuis conçus de manière à éviter l'accumulation d'eau-

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Accumulation d'humidité au niveau des appuis

Feu externe

*Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)*

Description:

Nature de l'attaque: Fluage

Causes:

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Résistance au feu de 2 h des appuis

Solutions possibles:

- appuis en béton

- isolation résistant au feu

Réf. [3], [23], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Refroidissement à l'eau des appuis

Ce refroidissement doit être capable de procurer une résistance au feu de 2 heures.

Couche: Sécurité

Type: Systèmes d'extinction

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture du réservoir de stockage

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Détection hydrogène-

Actions:

- donne l'alarme dans un local occupé en permanence à 25 % de la LIE
- ferme les vannes d'isolement.

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Localisation des détecteurs

- tout autour du réservoir.

Fiabilité

La calibration des têtes de mesures est reprise dans un programme d'entretien.

M2 Système d'isolement du réservoir-

Activation:

- par bouton d'arrêt d'urgence au déchargement
 - par bouton d'arrêt d'urgence en salle de contrôle (ou autre local occupé en permanence)
 - par détection hydrogène.
- Réf. [3], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Résistance au feu des vannes d'isolement

- Démontrée à l'aide d'un certificat
- Les joints entre le réservoir et les vannes sont également résistants au feu ou la bride est soudée.

Localisation de la vanne d'isolement

Le plus près possible contre le réservoir ou dans le réservoir.

Fiabilité

Le système d'isolement du réservoir est repris dans un programme d'inspection.

Signalisation des vannes d'isolement

Indication de la position (ouvert/fermé)

Position fail-safe de la vanne d'isolement

- La position fail-safe est la position fermée.
- Par ex. la fonte des tuyaux d'air comprimé place ces vannes en position de sécurité.

M3 Clapet anti-retour-

Réf. [3], [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Vannes automatiques

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

M4 Limiteur de débit dans la tuyauterie de sortie-

Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Vannes automatiques

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

Localisation

Le plus près possible du réservoir

Formation d'un nuage explosif

Propagation

Description:

Détails:

D1 Ventilation insuffisante (M1;M2)

Mesures:

M1 Installation à l'air libre

Réf. [3], [23], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

M2 Ventilation

Si le réservoir est installé dans un bâtiment séparé, une ventilation doit être assurée.

Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)

Réf. [13], [17], [24], [27], [31], [35] (stockage cryogénique)

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

Localisation des entrées et sorties d'air

- Les entrées d'air doivent être situées près du sol, uniquement dans les murs extérieurs.
- Les sorties doivent être localisées au plus haut point du local dans les murs extérieurs ou dans le toit.

Surface des entrées et sorties d'air

Les entrées et les sorties doivent chacune avoir une surface totale minimale de $1 \text{ m}^2 / 305 \text{ m}^3$ de volume du local.

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M6)
- OU D2 Etincelles électriques
 - OU D2.1 Chargement électrostatique (M1;M2;M3)
 - OU D2.2 Equipement électrique (M4;M5)
- OU D3 Etincelles mécaniques (M7)

Mesures:

- M1 Recouvrement du sol suffisamment conducteur-
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M2 Port de chaussures à semelles antistatiques-
- Pour le personnel propre
- Pour les tiers (par ex., les chauffeurs de camion)
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M3 Mise à la terre du réservoir de stockage-
Réf. [3], [26], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
Inspection
repris dans un programme d'inspection
- M4 Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion-
Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)
Réf. [24], [27], [30], [35] (stockage cryogénique)
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Equipement électrique
Plan de zonage pour le sous-système concerné
- Approuvé par l'Inspection technique
- Actuel
Rapport de contrôle électrique du sous-système concerné
- Basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle.
- Le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction.
- M5 Interdiction d'utiliser des GSMs, des radios et autres appareils mobiles non Ex-
- Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
- Indiquée à l'entrée du terrain
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Equipement électrique
- M6 Interdiction de fumer et de produire une flamme nue-
- Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
- Indiquée à l'entrée du terrain
Réf. [3], [23], [26], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Flamme nue

M7 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles-

Réf. [9], [22], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

Influence sur détail: Etincelles mécaniques

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Détection incendie-

Surtout lorsque les installations sont conduites à distance.
Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

M2 Système fixe d'extinction-

- Moniteurs
- Hydrants
- Système d'arrosage pouvant être activé manuellement à distance de sécurité ou automatiquement par la détection incendie (min. 8,14 l/min.m² de surface exposée)

Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Réserve d'eau d'extinction

- réservoir d'eau suffisamment grand et/ou réserve naturelle (canal, fleuve, ...)
- le point d'aspiration de l'eau d'extinction est protégé contre la prise de débris
- contrôle régulier des réserves d'eau
- pompes de réserve fonctionnant également en cas de panne d'électricité (diesel)

Protection du système d'extinction

- Les moyens d'extinction sont protégés contre:
- la corrosion: protection cathodique, couche de peinture protectrice
 - le gel: enterré à une profondeur suffisante, chauffé, système sec, ...
 - les dégâts mécaniques dus au trafic routier
 - le feu/l'explosion:
 - casernes des pompiers, pompes incendie situées:
 - en dehors de toute zone dangereuse
 - à min 30 m du risque de feu le plus proche
 - dans un bâtiment résistant au feu et aux explosions
 - tuyauteries protégées contre les conséquences d'une explosion

Le réseau d'eau d'extinction est disposé en boucle(s) et est équipé de vannes de sectionnement.

Inspection des moyens de lutte contre le feu

- suivant un programme d'inspection
- les inspections sont enregistrées
- le programme d'inspection comprend entre autres:
 - les pompes incendie (fonctionnement, réserve de diesel) (hebdomadaire)
 - les installations de sprinklage (mensuel)

Signalisation

Les conduites d'eau d'extinction et les hydrants sont peints en rouge.

Dimensionnement

Equipements de lutte contre le feu déterminés en collaboration avec les pompiers (rapport).

M3 Extincteurs portables-

- Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.
- Localisés de manière stratégique.

Réf. [26] (gazeux), [27], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Formation

Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.

Inspection et entretien

- Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:
- contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état
 - contrôle annuel

M4 Stratégie d'intervention-

- Essayer d'arrêter l'alimentation de la fuite d'hydrogène, sinon risque de réignition ou d'explosion
 - Asperger de grandes quantités d'eau les équipements avoisinants (jet d'eau pulvérisée de préférence), pour les refroidir, éviter de les impliquer dans l'incendie et pour réduire le risque de réignition par contact avec des surfaces chaudes avoisinantes.
 - Si l'incendie est éteint et si l'écoulement de gaz se poursuit, augmenter la ventilation afin d'éviter la création d'une atmosphère explosive. On peut utiliser un brouillard d'eau pour créer une ventilation.
- Réf. [3], [26], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

Explosion

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Paroi faible

Dans le cas d'un réservoir situé dans un bâtiment séparé, les murs extérieurs doivent être construits en matériau léger ou en panneaux conçus pour se détacher à une pression maximale interne de 13,3 kPa/m².

Réf. [23], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

| | |
|--|--|
| <p>Sous-système</p> <p>Tuyauterie d'hydrogène comprimé</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|--|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé

Section: Tuyauteries

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Impact de véhicules
- Charge aérienne sur tuyauterie enterrée

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

- Présence d'hydrogène
- Présence externe de conditions corrosives

Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

- Feu externe

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

- Liaisons par brides

Liste des étapes de libération:

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Impact de véhicules

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces d'impact

Causes:

Etapes de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Tuyauteries à l'écart des voies de circulation internes et externes-

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Limitations de vitesse-

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Rails de protection-

Réf. [31], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Charge aérienne sur tuyauterie enterrée

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Pression externe

Causes:

OU C1 Circulation au-dessus de la tuyauterie enterrée (M2)

OU C2 Stockage au-dessus de la tuyauterie enterrée (M3)

Etapas de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Profondeur ou protection adaptée à la charge aérienne

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur une cause

M2 Pas de circulation au-dessus de tuyauteries enterrées-

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Circulation au-dessus de la tuyauterie enterrée

M3 Pas de stockage au-dessus de tuyauteries enterrées-

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Stockage au-dessus de la tuyauterie enterrée

Présence d'hydrogène

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

Description:

Nature de l'attaque: Fatigue due à l'hydrogène

Causes:

Étapes de libération:

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Matériaux de construction résistant à la corrosion

- Les aciers au carbone sont déconseillés pour des pressions supérieures à 10 bar.
 - Augmentation de la résistance de l'acier à l'attaque d'hydrogène par l'addition d'éléments d'alliage adéquats (exemple: acier CrMo)
 - Choix du matériel suivant le standard "API 941 Steels for hydrogen services at elevated temperature and pressure in petroleum refineries and petrochemical plants " [1]
- Réf. [3], [16], [23], [31], [35]

Couche: Enveloppe

Type: Passives

Présence externe de conditions corrosives

*Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Conditions corrosives ou chimiquement agressives*

Description:

Nature de l'attaque: Corrosion

Causes:

- OU C1 Exposition aux conditions atmosphériques (M3)
- OU C2 Exposition à des conditions corrosives sous-terraines

Etapas de libération:

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Inspection externe des tuyauteries-

Reprise dans un programme d'inspection

Couche: Sécurité

Type: Inspection &entretien

Instructions

L'exécution des inspections fait l'objet d'instructions. Les appuis des tuyauteries sont également inspectés.

M2 Protection cathodique-

Couche: Sécurité

Type: Passives

Influence sur une cause

M3 Couche de peinture protectrice-

Couche: Enveloppe

Type: Passives

Influence sur cause: Exposition aux conditions atmosphériques

Feu externe

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

Description:

Nature de l'attaque: diminution de la résistance à la traction

Causes:

Etapes de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Tuyauteries suffisamment éloignées des sources potentielles de feu

Aucune source potentielle de feu sous les piperacks, telle que:

- postes de déchargement
- containers de déchets combustibles (carton, emballages, etc.).

Couche: Procédé

Type: Passives

Liaisons par brides

Points faibles

Éléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

Description:

Nature du point faible: Point sensible aux fuites

Causes:

OU C1 Liaison par bride mal serrée

OU C2 Attaque ou vieillissement du joint

Étapes de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Pas de liaison souterraine par bride-

Uniquement des soudures pour les tuyauteries enterrées. En aérien, le plus possible de liaisons par soudures.

Réf. [3], [23], [31], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

| | |
|---|---|
| Sous-système Compresseur d'hydrogène |  |
| | Direction des risques chimiques |

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé

Section: Tuyauteries

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Explosion interne
- Pression due à l'alimentation

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture du compresseur

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M1;M2)

C1.1.1 Dépression et fuite avec l'atmosphère (M3)

ET C1.1.1.1 Dépression

ET C1.1.1.2 Fuite

ET C2 Présence d'une source d'ignition (M6)

OU C2.1 Point chaud (M4;M5)

OU C2.1.1 Palliers qui ont chauffé

OU C2.2 Température égale à la température d'auto-ignition

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du compresseur

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purge préalable du compresseur avant (re)démarrage du compresseur-

Pour éviter la présence préalable d'oxygène et d'air avant d'introduire l'hydrogène.

Il faut prévoir un rinçage à l'aide d'un gaz inerte, puis un flush à l'hydrogène. Pour ce faire, une vanne de mise à l'air libre doit être présente entre la vanne d'arrêt à l'entrée du compresseur et l'aspiration pour permettre la purge du sous-système.

La pression d'azote utilisée est normalement pas inférieure à la moitié de la pression de design à l'aspiration.

Le compresseur doit au moins tourner pendant 10 minutes et lorsque le contenu en oxygène du gaz flushé est inférieure à 1 % pendant un minimum de 2 minutes, le compresseur peut être arrêté. L'azote est ensuite isolé et le vanne d'arrêt à l'aspiration est ouverte. L'hydrogène comprimé est encore éventé jusqu'à ce que la concentration en gaz inerte soit réduite à un niveau acceptable.

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M2 Mesure de la concentration en oxygène dans l'hydrogène-

Surtout lorsque l'hydrogène provient d'une source à basse pression ou qu'il y a possibilité d'avoir une contamination par de l'oxygène.

Action:

- arrêt automatique du compresseur si le contenu en oxygène atteint 1 % vol.

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

Localisation

Juste avant le point d'aspiration du compresseur.

- M3 Mesure de la pression à l'aspiration avec interlock-
Action:
- arrêt du compresseur avant que la pression à l'aspiration n'atteigne la pression atmosphérique.
Réf. [31]
Couche: Sécurité *Type: Boucles de sécurité*
Influence sur cause: Dépression et fuite avec l'atmosphère
- M4 Mesure de la température de l'hydrogène au refoulement avec alarme-
Située après chaque palier (ou après l'échangeur de refroidissement entre chaque étage)
Action:
- arrêt du compresseur lorsque l'on atteint une température maximale pré-déterminée.
Réf. [31]
Couche: Sécurité *Type: Boucles de sécurité*
Influence sur cause: Point chaud
- M5 Interlock sur l'eau de refroidissement pour refroidir entre (après) les paliers-
Alarme sur la pression ou le débit d'eau dans le système d'eau de refroidissement.
Action:
- arrêt du compresseur en cas de pression/débit faible.
Réf. [31]
Couche: Sécurité *Type: Boucles de sécurité*
Influence sur cause: Point chaud
- M6 Interlock sur faible pression/débit de gaz inerte au niveau du moteur électrique
A prévoir lorsque le moteur électrique et les autres équipements auxiliaires du compresseur sont maintenus sous une pression de gaz inerte (azote par ex.)
Alarme + action:
- arrêt du moteur et des équipements auxiliaires.
Réf. [31]
Couche: Sécurité *Type: Boucles de sécurité*
Influence sur cause: Présence d'une source d'ignition

Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Vanne de sortie fermée

OU C2 Bouchons dans la tuyauterie de sortie

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du compresseur

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Interlock sur pression élevée arrête compresseur

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M2 Soupape de sécurité à chaque étage de compression

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture du compresseur

Libération

Description:

Détails:

D1 Dans une tuyauterie de sortie (M3)

D2 Dans une tuyauterie d'entrée

Mesures:

M1 Vanne d'isolement au refoulement

Pour des systèmes à haute pression (centaines de bars).

Déclanchée:

- par mesure de pression basse au refoulement du compresseur
- arrêt d'urgence en salle de contrôle (arrête également le compresseur)

Couche: Limitation des dommages

Type: Vannes automatiques

M2 Détection hydrogène au niveau du compresseur

Actions:

- donne l'alarme dans un local occupé en permanence à 25 % de la LIE.

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Localisation des détecteurs

- tout autour du compresseur

Fiabilité

La calibration des têtes de mesures est reprise dans un programme d'entretien.

M3 Clapet anti-retour au refoulement

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Vannes automatiques

Influence sur détail: Dans une tuyauterie de sortie

| | |
|---|--|
| <p>Sous-système</p> <p>(Dé)chargement de tube-trailers ou wagons-citernes</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|---|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène comprimé

Section: (Dé)chargement

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Pression due à l'alimentation
- Explosion interne
- Input de chaleur d'un feu externe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Mouvement de véhicules raccordés

Ouvertures dans l'enveloppe

Ouvertures temporaires vers l'atmosphère

- Point de raccord pour flexible ou bras de chargement

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

- Flexibles

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture de la liaison temporaire
- Fuite ou rupture de la citerne de transport

Impact

- Inflammation
- Feu

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

C1 Surremplissage

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la citerne de transport

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Procédure de chargement claire

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M2 Mesure de la pression avec alarme de pression haute

Le signal d'alarme est donné à un endroit où des opérateurs sont présents. Le seuil d'alarme est fixé de manière à disposer de suffisamment de temps pour réagir.

La réaction est décrite dans une instruction.

[31]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

OU C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M1)

ET C2 Présence d'une source d'ignition interne

OU C2.1 Décharge d'électricité statique (M2;M3)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la citerne de transport

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purge des flexibles et des raccords-

La procédure de purge doit être reprise dans la procédure de déchargement.

Il faut prévoir un rinçage à l'aide d'un gaz inerte, puis plusieurs rinçages à l'hydrogène. Pour ce faire, une vanne de mise à l'air libre doit être présente pour permettre la purge de la canalisation comprise entre le camion (wagon) et la vanne d'entrée.

Réf. [3], [26], [31], [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M2 Placement d'une liaison équipotentielle-

Le placement d'une liaison équipotentielle doit être reprise dans la procédure de déchargement.

Entre le camion ou le wagon-citerne et l'installation fixe.

Réf. [3], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

M3 Flexibles de (dé)chargement suffisamment conducteurs-

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

Input de chaleur d'un feu externe

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Feu dans une installation voisine

OU C2 Feu suite à une fuite au camion/wagon-citerne

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la citerne de transport

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Système de déluge de la station de (dé)chargement-

Peut être activé manuellement.

Réf. [35]

Couche: Sécurité

Type: Systèmes d'extinction

Mouvement de véhicules raccordés

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces de traction (et autres)

Causes:

OU C1 Départ du véhicule raccordé (M3;M4;M5;M6)

OU C2 Collision du véhicule raccordé avec un autre véhicule (M1;M2)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Pas de trafic interne près du poste de (dé)chargement-
Réf. [3]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Collision du véhicule raccordé avec un autre véhicule

M2 Aire de (dé)chargement désignée comme zone d'interdiction de stationnement)-
Réf. [3], [31]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Collision du véhicule raccordé avec un autre véhicule

M3 Blocage des roues-
Repris dans la procédure de (dé)chargement.
Réf. [23]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M4 Freins à mains pendant le déchargement-
Repris dans la procédure de (dé)chargement

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M5 Présence interdite du chauffeur dans le camion pendant le transfert-

Une alternative consiste à interdire que le tracteur soit attelé en cours de chargement et à placer une chaînette derrière la remorque.

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M6 Interlock sur l'accès à la connexion de (dé)chargement-

Relié à:

1) Soit l'activation du système de frein: ce système comprend un dispositif couplé au circuit de freins et est activé par le chauffeur/opérateur lorsqu'il accède aux connexions de (dé)chargement. Le dispositif soit:

- bloque l'ouverture des portes de la cabine des tuyauteries et/ou
- bloque l'accès aux connexions de (dé)chargement et/ou
- est activé lorsque les portes de la cabine sont ouvertes.

Le mouvement du dispositif applique les freins ou empêche les freins d'être relâchés. A la fin des opérations, le chauffeur/opérateur doit déconnecter le flexible avant que le dispositif puisse être remis à zéro. La remise à zéro du dispositif relâche les freins ou permet de relâcher les freins à partir de la cabine du conducteur.

2) Soit la fermeture d'une barrière devant le véhicule de transport: la barrière est activée par un interrupteur spécial, monté sur le support du flexible de (dé)chargement. Dès que le flexible est déplacé de son support, la barrière se ferme automatiquement.

Réf. [33]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

Point de raccord pour flexible ou bras de chargement

Ouvertures dans l'enveloppe

Ouvertures temporaires vers l'atmosphère

Description:

Fréquence d'utilisation: Lors de chaque (dé)chargement

Causes:

C1 Déconnexion alors que de l'hydrogène est toujours présent (M1)

Etapes de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purge de la liaison temporaire avant déconnexion-

Cela sous-entend la présence d'une vanne de mise à l'air libre pour permettre la purge de la liaison temporaire. Un manomètre permet de constater que la liaison n'est plus sous pression.

Pour la purge, il est interdit d'utiliser de l'air comprimé.

Cette opération est reprise dans la procédure de (dé)chargement.

Réf. [26]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Déconnexion alors que de l'hydrogène est toujours présent

Flexibles

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

Description:

Nature du point faible: Sensible à l'usure

Causes:

OU C1 Dégradation entre les utilisations (M4)

OU C2 Usage fréquent

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Test d'étanchéité avant chaque utilisation-

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

M2 Examen de l'état du flexible avant utilisation-

Cela comprend la surveillance des raccords, de la conductibilité et de l'aspect extérieur. Cet examen est repris dans la procédure de (dé)chargement.

Réf. [3]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Remplacement périodique des flexibles-

Au plus tard 5 ans après leur année de fabrication, sauf ceux n'ayant pas encore servi.

Réf. [3], [35]

Couche: Sécurité

Type: Inspection &entretien

Influence sur une cause

M4 Système de rangement approprié du flexible-

Le rangement du flexible est bien entendu repris dans la procédure de (dé)chargement.

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Dégradation entre les utilisations

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

- M1 Présence permanente d'un opérateur de (dé)chargement-
Réf. [3], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type:* Procédurier
- M2 Système d'isolement de la liaison temporaire-
Vannes d'isolement:
- du côté du camion/wagon-citerne
- du côté du raccord à l'installation fixe.
Activation:
- par arrêt d'urgence
- par défaut de liaison équipotentielle
- par la détection hydrogène.

Réf. [30], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type:* Boucles de sécurité
Résistance au feu des vannes d'isolement
- Démontrée à l'aide d'un certificat
- Les joints sont également résistants au feu ou la bride est soudée.
Localisation de la vanne d'isolement
Le plus près possible contre le point de raccord.
Fiabilité
Le système d'isolement est repris dans un programme d'inspection.
Signalisation des vannes d'isolement
Indication de la position (ouvert/fermé)
Position fail-safe de la vanne d'isolement
- La position fail-safe est la position fermée.
Par ex. la fonte des tuyaux d'air comprimé place ces vannes en position de sécurité.
- M3 Clapet anti-retour dans la ligne de (dé)chargement-
Du côté de l'installation fixe
Réf. [3], [31]
Couche: Limitation des dommages *Type:* Vannes automatiques
Fiabilité
Repris dans un programme d'inspection
- M4 Clapet anti-retour sur le flexible-
Situé au niveau de la connexion du flexible au tube-trailer ou wagon-citerne.
Couche: Limitation des dommages *Type:* Vannes automatiques

M5 Détection de fuite de gaz au poste de (dé)chargement-

Actions:

- donne l'alarme en salle de contrôle (ou dans un local occupé en permanence) lors d'une détection de 25% de la LIE
- ferme automatiquement les vannes commandables à distance
- stoppe automatiquement les compresseurs.

Réf. [3], [35]

Couche: *Limitation des dommages*

Type: *Boucles de sécurité*

Fiabilité

Reprise dans un programme d'inspection

Localisation des points de mesure

- aux endroits stratégiques de la station de (dé)chargement
- ...

M6 Arrêt d'urgence du (dé)chargement-

Actions:

- ferme automatiquement les vannes commandables à distance
- stoppe automatiquement les compresseurs
- donne un alarme en salle de contrôle (ou dans un local occupé en permanence).

Réf. [31]

Couche: *Limitation des dommages*

Type: *Boucles de sécurité*

Localisation

Situés sur les voies d'évacuation

M7 Flexible retenu à intervalles réguliers-

Pour éviter que le flexible ne "fouette" dans tous les sens en cas de rupture.

Réf. [35], [31]

Couche: *Enveloppe*

Type: *Passives*

Fuite ou rupture de la citerne de transport

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M4)
- OU D2 Etincelles électriques (M5)
 - OU D2.1 Equipement électrique (M8)
 - OU D2.2 Chargement électrostatique (M2;M6;M7)
 - OU D2.3 Courants vagabonds (M3)

Mesures:

- M1 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles-
Réf. [9], [22], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
- M2 Mise à la terre des rails de chemin de fer-
Réf. [31]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M3 Isolation électrique des rails de chemin de fer du reste du réseau ferroviaire-
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Courants vagabonds
- M4 Interdiction de fumer et de produire une flamme nue-
- Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
- Indiquée à l'entrée du terrain
Réf. [3], [23], [26], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Flamme nue
- M5 Recouvrement du sol suffisamment conducteur-
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Etincelles électriques
- M6 Placement d'une liaison équipotentielle-
Le placement d'une liaison équipotentielle doit être reprise dans la procédure de déchargement.

Entre le camion ou le wagon-citerne et l'installation fixe.
Réf. [3], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M7 Port de chaussures à semelles antistatiques-
- Pour le personnel propre
- Pour les tiers (par ex., les chauffeurs de camion)
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique

M8 Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion-

Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)

Réf. [24], [27], [30], [35] (stockage cryogénique)

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Equipement électrique

Plan de zonage pour le sous-système concerné

- Approuvé par l'Inspection technique
- Actuel

Rapport de contrôle électrique du sous-système concerné

- Basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle.
- Le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction.

M9 Verrouillage de la liaison équipotentielle-

Un interlock qui empêche le (dé)chargement aussi longtemps que la résistance de la liaison équipotentielle est trop élevée.

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Influence sur mesure: Placement d'une liaison équipotentielle-

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

Feu

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Extincteurs portables-

- Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.
- Localisés de manière stratégique.

Réf. [26] (gazeux), [27], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Formation

Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.

Inspection et entretien

Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:

- contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état
- contrôle annuel

M2 Détection incendie-

Surtout lorsque les installations sont conduites à distance.

Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

| | |
|---|--|
| <h1>Installation</h1> <h2>Remplissage et stockage de bouteilles d'hydrogène</h2> |  Direction des risques chimiques |
|---|--|

1. Description

Les bouteilles industrielles sont disponibles en acier avec des volumes allant de 2 à 50 l (correspondant à 0,35 – 8,9 Nm³ et à des poids de 5,3 - 68 kg) sous des pressions de 200 bar.

2. Sections et sous-systèmes

Stockage de bouteilles

Bouteille d'hydrogène (stockage)

Station de remplissage pour bouteilles d'hydrogène

Bouteille d'hydrogène (station de remplissage)

3. Points d'attention

Bon état des bouteilles d'hydrogène

Il y a un contrôle systématique de l'état des bouteilles à remplir:

- pour vérifier l'absence de défauts visuels (rouille, fissures, bosses, fuites, ...)
- pour vérifier si la date de réépreuve n'est pas dépassée.

Les bouteilles en mauvais état ou avec une date de réépreuve dépassée sont écartées.

Réf. [22]

Vidange des bouteilles défectueuses (fuites)

- Déplacement de la bouteille défectueuse à l'extérieur, dans un endroit bien aéré.
- Signalisation de la présence d'une telle bouteille (rappel des interdictions)
- Placement d'un régulateur de pression (détendeur) afin de vider la bouteille à une vitesse raisonnable.

Une autre méthode consiste à brûler sous contrôle l'hydrogène dans une installation conçue à cet effet.

Réf. [22]

Signalisation de la zone de stockage

Présence d'une signalisation de la présence d'Hydrogène, reprenant aussi l'étiquetage, ainsi qu'un rappel de l'interdiction de fumer, de flamme nue et d'utilisation de GSM.

Réf. [22]

Incompatibilités

- Il est interdit de stocker des bouteilles d'hydrogène avec des bouteilles contenant de l'oxygène ou d'autres matériaux fortement oxydants ou combustibles.
- Il faut éviter tout contact direct de tels matériaux oxydants avec les bouteilles ou les vannes de ces dernières.

Réf. [9], [14], [18], [21], [22], [26]

Code couleur d'identification des bouteilles d'hydrogène

L'ogive des bouteilles d'hydrogène doit être peinte en rouge et vert.

Le nouveau code couleur pour des bouteilles de gaz conformément la norme NBN-EN-1089-3 en vigueur à partir du 1/7/2006, peut déjà être utilisé dès maintenant. Pour des bouteilles d'hydrogène l'ogive devra être peinte en rouge avec un N pour indiquer que c'est une nouvelle couleur.

Réf. [6]

| | |
|---|---|
| <p>Sous-système</p> <p>Bouteille d'hydrogène (stockage)</p> |  |
| | <p>Direction des risques chimiques</p> |

1. Description sous-système

Installation: Remplissage et stockage de bouteilles d'hydrogène

Section: Stockage de bouteilles

Les bouteilles industrielles sont disponibles en acier avec des volumes allant de 2 à 50 l (correspondant à 0,35 – 8,9 Nm³ et à des poids de 5,3 - 68 kg) sous des pressions de 200 bar.

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Input de chaleur d'un feu externe (ou autre source de chaleur)

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Impact de véhicules ou autres engins

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture de la bouteille

Propagation

- Formation d'un nuage explosif dans un bâtiment

Impact

- Inflammation
- Feu
- Explosion dans le bâtiment

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Input de chaleur d'un feu externe (ou autre source de chaleur)

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

La température externe doit être maintenue à une température inférieure à 50°C.

Causes:

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la bouteille

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Distances de sécurité par rapport aux foyers potentiels de feu extérieurs

Voir annexe 2.

Réf. [22], [31]

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Refroidissement à l'aide d'un sprinklage

Surtout si les quantités stockées en un même endroit sont importantes et si les distances par rapport aux sources de chaleur ne sont pas grandes.

Activé par:

- détection de température élevée déterminée (ou une vitesse déterminée d'augmentation de la température)

- manuellement

L'activation déclenche une alarme dans un local occupé en permanence.

Réf. [22], [31]

Couche: Sécurité

Type: Systèmes d'extinction

M3 Maintien à l'écart de radiateur ou de toute autre source de chaleur

Réf. [6], [9], [18], [19], [21], [22], [26], [31]

Couche: Procédé

Type: Passives

Impact de véhicules ou autres engins

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces d'impact

Causes:

Étapes de libération:

Fuite ou rupture de la bouteille

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Stockage à l'écart des voies de circulation internes et externes

Réf. [19], [21], [22], [31]

Couche: Procédé

Type: Passives

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture de la bouteille

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Détection d'hydrogène dans le bâtiment avec alarme

En tout cas, dans les bâtiments où une ventilation naturelle n'est pas possible: alors la détection est combinée à une ventilation forcée.

Réf. [21], [22], [31]

Une alternative consiste à mettre à disposition un détecteur portable.

Réf. [26]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Fiabilité

Le bon fonctionnement est testé périodiquement (tous les mois).

La recalibration a lieu au minimum tous les 6 mois.

Localisation des points de mesure

Les points de mesure sont placés à des endroits stratégiques (points hauts).

Formation d'un nuage explosif dans un bâtiment

Propagation

Description:

Détails:

D1 Ventilation insuffisante (M2)

Mesures:

M1 Eviter la propagation du nuage dans une zone sûre

Il faut prévoir des mesures pour éviter que l'hydrogène ne pénètre dans des endroits (cage d'escaliers, ...) en contact avec des locaux désignés comme sûrs (et donc en dehors de zones dangereuses).

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

M2 Assurer une ventilation suffisante

Réf. [18], [19], [22], [23], [26], [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

Localisation

- Les entrées d'air doivent être situées près du sol, uniquement dans les murs extérieurs;

- Les sorties doivent être localisées au plus haut point du local dans les murs extérieurs ou dans le toit.

Surface

Les entrées et les sorties doivent chacune avoir une surface totale minimale de $1 \text{ m}^2 / 305 \text{ m}^3$ de volume du local.

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M1)
- OU D2 Surfaces chaudes (M2)
- OU D3 Etincelles électriques (M7)
 - OU D3.1 Chargement électrostatique (M3;M4)
 - OU D3.2 Equipement électrique (M5;M6)

Mesures:

- M1 Interdiction de fumer et de produire des flammes nues
- indiquée à l'aide de pictogrammes
Réf. [22], [23], [26], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Flamme nue
- M2 Maintien à l'écart de radiateur ou de toute autre source de chaleur
Réf. [6], [9], [18], [19], [21], [22], [26], [31]
Couche: Procédé *Type: Passives*
Influence sur détail: Surfaces chaudes
- M3 Recouvrement du sol suffisamment conducteur
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [22], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M4 Port de chaussures à semelles antistatiques
Réf. [5], [31]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M5 Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion
Réf. [19], [22], [23], [26], [31]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Equipement électrique
Plan de zonage pour le bâtiment de stockage de bouteilles
 - approuvé par l'Inspection technique
 - actuel*Rapport de contrôle électrique*
 - basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle
 - le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction
- M6 Interdiction d'utiliser des GSMs, des radios et autres appareils mobiles non Ex
- indiquée à l'aide de pictogrammes
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Equipement électrique
- M7 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles
Réf. [9], [22]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Etincelles électriques

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Impact sur les gens (M3)
- OU D2 Impact sur le bâtiment (M2)
- OU D3 Impact sur les installations

Mesures:

M1 Extincteurs portables

- Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.
 - localisés de manière stratégique.
- Réf. [22], [26], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Formation

Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.

Inspection et entretien

- Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:
- contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état
 - contrôle annuel

M2 Résistance au feu du bâtiment

- Réf. [19], [22], [23], [26], [31].
Résistance au feu en conformité avec l'article 52 (Réf. [5]). On a un local du 1er groupe lorsque la quantité stockée est supérieure ou égale à 300 l, capacité totale en litres des bouteilles.
Cela signifie que pour un bâtiment sans étage construit après le 1/06/1972, les murs, les structures du toit doivent avoir une résistance au feu de minimum une demi-heure.

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Impact sur le bâtiment

M3 Voies d'évacuation hors du bâtiment de stockage des bouteilles

- Clairement signalées et visibles de n'importe quel coin du local de stockage.
Réf. [5], [21], [22], [31]

Couche: Présence

Type: Passives

Influence sur détail: Impact sur les gens

Explosion dans le bâtiment

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Paroi faible

Dans le cas d'un stockage de bouteilles situées dans un bâtiment séparé, les murs extérieurs doivent être construits en matériau léger ou en panneaux conçus pour se détacher à une pression maximale interne de 13,3 kPa/m².

(sauf si de faibles quantités d'hydrogène sont impliquées)

Réf. [22], [23], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Choix de la paroi faible

L'explosion doit être éventée vers un lieu où personne, ni d'autres équipements ne peuvent être touchés.

| | |
|---|---|
| <p>Sous-système</p> <p>Bouteille d'hydrogène (station de remplissage)</p> |  |
| | <p>Direction des risques chimiques</p> |

1. Description sous-système

Installation: Remplissage et stockage de bouteilles d'hydrogène

Section: Station de remplissage pour bouteilles d'hydrogène

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Explosion interne
- Pression due à l'alimentation

Points faibles

Presse-étoupes des pièces mobiles

- Robinet de fermeture sur l'encolure de la bouteille

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture de la bouteille

Propagation

- Formation d'un nuage explosif

Impact

- Inflammation
- Feu
- Explosion

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M2;M4)

C1.1.1 Dépression et fuite avec l'atmosphère (M1)

ET C1.1.1.1 Dépression

ET C1.1.1.2 Fuite

ET C2 Présence d'une source d'ignition (M3)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la bouteille

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Vérification de la pression résiduelle dans la bouteille

S'il n'y pas de pression résiduelle ou si la vanne de la bouteille était préalablement ouverte, la bouteille doit être écartée de la chaîne de remplissage.

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Dépression et fuite avec l'atmosphère

Instructions

Cette mesure est reprise dans l'instruction de remplissage des bouteilles d'hydrogène.

M2 Mesure du contenu en oxygène

L'analyse du contenu en oxygène est obligatoire une fois par jour. La concentration doit être inférieure à 2 % en volume.

Réf. [6]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M3 Mise à la terre de la bouteille-

Si la bouteille à remplir est en contact avec le sol (lui-même conducteur), il n'est pas nécessaire de raccorder la bouteille à la terre.

Réf. [22], [31]

Couche: Sécurité

Type: Passives

Influence sur cause: Présence d'une source d'ignition

M4 Purge des flexibles et des raccords du station de remplissage

Il faut prévoir un rinçage à l'aide d'un gaz inerte, puis un flush à l'hydrogène. Pour ce faire, une vanne de mise à l'air libre doit être présente pour permettre la purge de la canalisation comprise entre l'alimentation en hydrogène et le point de raccord de la bouteille. Cette procédure doit être répétée plusieurs fois si nécessaire.

Réf. [22], [26], [31], [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

Instructions

La procédure de purge doit être reprise dans la procédure de remplissage

Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

Etapes de libération:

Fuite ou rupture de la bouteille

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Mesure de la pression avec alarme de pression haute

Située sur la conduite d'alimentation principale (avant collecteur).

Le signal d'alarme est donné à un endroit où des opérateurs sont présents. Le seuil d'alarme est fixé de manière à disposer de suffisamment de temps pour réagir.

La réaction est décrite dans une instruction.

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M2 Procédure de remplissage des bouteilles d'hydrogène

Lors de la fermeture de la vanne de remplissage à la pression voulue, il faut bien tenir compte de la correction nécessaire due à la température ambiante.

Réf. [31]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Robinet de fermeture sur l'encolure de la bouteille

Points faibles

Presse-étoupes des pièces mobiles

Description:

Nature du point faible: Robinet en contact avec du gaz

Causes:

OU C1 Robinet pas suffisamment fermé

OU C2 Joint usé

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la bouteille

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Vérification de l'étanchéité après le remplissage

Repris dans la procédure de remplissage.

Réf. [22], [31]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture de la bouteille

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Vanne automatique d'isolement

Située sur la conduite principale d'alimentation en hydrogène de la station de remplissage.

Activation:

- par arrêt d'urgence
- par détection gaz

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Caractéristique de la vanne d'isolement

- résistant au feu (firesafe)
- indication de la position (ouvert/fermé)

M2 Clapet anti-retour

Situé sur sur l'alimentation principale en hydrogène de la station de remplissage.

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Vannes automatiques

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection.

M3 Arrêt d'urgence au remplissage de bouteilles

Actions:

- ferme automatiquement les vannes automatique d'isolement
- donne un alarme en salle de contrôle (ou dans un local occupé en permanence).

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Localisation

- situés sur les voies d'évacuation

M4 Détection d'hydrogène à la station de remplissage

En tout cas, dans les bâtiments où une ventilation naturelle n'est pas possible: alors la détection est combinée à une ventilation forcée. Réf. [31]

Actions:

- ferme les vannes automatiques d'isolement de la station de remplissage
- donne une alarme en salle de contrôle (ou dans un local occupé en permanence).

Réf. [21], [22], [26], [31].

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Fiabilité

Le bon fonctionnement est testé périodiquement (tous les mois).
La recalibration a lieu au minimum tous les 6 mois.

Localisation des points de mesure

Les points de mesure sont placés à des endroits stratégiques (points hauts).

Formation d'un nuage explosif

Propagation

Description:

Détails:

D1 Ventilation insuffisante (M2)

Mesures:

M1 Eviter la propagation du nuage dans une zone sûre

Il faut prévoir des mesures pour éviter que l'hydrogène ne pénètre dans des endroits (cage d'escaliers, ...) en contact avec des locaux désignés comme sûrs (et donc en dehors de zones dangereuses).

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

M2 Assurer une ventilation suffisante

Réf. [18], [22], [23], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

Localisation

- Les entrées d'air doivent être situées près du sol, uniquement dans les murs extérieurs;
- Les sorties doivent être localisées au plus haut point du local dans les murs extérieurs ou dans le toit.

Surface

Les entrées et les sorties doivent chacune avoir une surface totale minimale de $1 \text{ m}^2 / 305 \text{ m}^3$ de volume du local.

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M1)
- OU D2 Etincelles électriques (M7)
 - OU D2.1 Chargement électrostatique (M2;M3;M4)
 - OU D2.2 équipement électrique (M5;M6)

Mesures:

- M1 Interdiction de fumer et de produire une flamme nue
- indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
Réf. [3], [22], [26], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurierel*
Influence sur détail: Flamme nue
- M2 Recouvrement du sol suffisamment conducteur
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [22], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M3 Port de chaussures à semelles antistatiques
Réf. [5], [22], [31]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurierel*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M4 Mise à la terre de la station de remplissage
Réf. [9], [22], [31]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M5 Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion
Réf. [22], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: équipement électrique
Plan de zonage pour la station de remplissage
 - approuvé par l'Inspection technique
 - actuel*Rapport de contrôle électrique pour la station de remplissage*
 - basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle
 - le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction
- M6 Interdiction d'utiliser des GSMs, des radios et autres appareils mobiles non Ex
- indiquée à l'aide de pictogrammes
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurierel*
Influence sur détail: équipement électrique
- M7 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles
Réf. [9], [22]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurierel*
Influence sur détail: Etincelles électriques

Impact

Description:

Détails:

D1 Impact sur les personnes (M3)

D2 Impact sur le bâtiment (M4)

Mesures:

M1 Eclairage de secours

Réf. [31]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

M2 Extincteurs portables

- Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.

- localisés de manière stratégique.

Réf. [22], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Formation

Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.

Inspection et entretien

Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:

- contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état

- contrôle annuel

M3 Voies d'évacuation hors du bâtiment de remplissage

Clairement signalées et visibles de n'importe quel coin du local de stockage.

Réf. [5], [22], [31]

Couche: Présence

Type: Passives

Influence sur détail: Impact sur les personnes

M4 Résistance au feu du bâtiment de remplissage

Réf. [22], [26].

Résistance au feu en conformité avec l'article 52 (Réf. [5]).

Cela signifie que pour un bâtiment sans étage construit après le 1/06/1972, les murs, les structures du toit doivent avoir une résistance au feu d'une demi-heure.

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Impact sur le bâtiment

Explosion

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Paroi faible

Dans le cas d'une station de remplissage de bouteilles située dans un bâtiment séparé, les murs extérieurs doivent être construits en matériau léger ou en panneaux conçus pour se détacher à une pression maximale interne de 13,3 kPa/m².
(sauf si de faibles quantités d'hydrogène sont impliquées)
Réf. [22], [23], [26], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Choix de la paroi faible

L'explosion doit être éventée vers un lieu où personne, ni d'autres équipements ne peuvent être touchés.

| | |
|---|--|
| <p>Installation</p> <p>Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|---|--|

1. Description

2. Sections et sous-systèmes

Stockage en réservoirs cryogéniques

Réservoir cryogénique

Tuyauteries

Tuyauterie d'hydrogène liquide

(Dé)chargement

(Dé)chargement de camions/wagons-citernes

Vaporisation de l'hydrogène liquide

Evaporateur

3. Points d'attention

Signalisation des réservoirs

Indication sur chaque réservoir:

- du numéro du réservoir
- du nom du liquide stocké: Hydrogène
- des symboles de danger
- de la capacité de stockage

Construction des réservoirs et des tuyauteries

La construction a eu lieu sur base d'un standard de construction.

Les réservoirs et accessoires mis en service après le 29/05/2002 doivent disposer d'un marquage CE et d'un certificat de conformité CE à la directive équipements sous pression.

Il existe notamment les normes harmonisées suivantes:

- EN13458: Cryogenic vessels - static vacuum insulated vessel
- EN13648: Cryogenic vessels - Safety devices for protection against excessive pressure.

Réf. [4], [24], [30], [34], [35]

Eclairage et éclairage de secours

- Au niveau des postes de (dé)chargement
- Sûr du point de vue explosion ou installé en dehors de la zone d'explosion.

Réf. [24], [27], [30], [35]

Contrôle de l'accès

Clôture autour de l'entreprise:

- suffisamment haute (2 m)
- indication de l'interdiction d'accès
- contrôle de l'accès
- portes et portails non contrôlés fermés à clés

Réf. [13], [27], [30], [35]

Accessibilité pour l'intervention

Accès aux réservoirs et aux stations de (dé)chargement:

- fixé en concertation avec les pompiers
 - via 2 directions différentes (afin d'assurer l'accès en cas de directions différentes du vent)
 - suffisamment large pour permettre l'accès des véhicules d'intervention (6 m pour les voies de circulation dans les 2 sens et 4 m pour un sens unique)
 - pas de cul-de-sac non signalé (si c'est inévitable, il doit être possible de faire demi-tour au bout)
 - une hauteur libre d'au moins 4,20 m (par ex. sous les piperacks)
- Réf. [24], [27], [30]

Signalisation des tuyauteries

Indication:

- du sens du flux
- de la présence d'hydrogène
- sous forme gazeuse ou liquide

Zonage

L'hydrogène est un gaz du groupe IIC, classe de température T1.

Le zonage est:

- Actuel (datant des dernières modifications)
- Signé par l'Inspection Technique
- Rapport de contrôle de l'installation électrique par un Organisme Agréé (au minimum tous les 5 ans)

Implantation

La distance par rapport aux installations suivantes doit être suffisamment grande pour éviter les effets domino:

- chaque propriété voisine
- les réservoirs de liquides ou de gaz inflammables
- les bâtiments
- les stations de (dé)chargement
- les installations manipulant des produits inflammables
- les structures fragiles et élevées.

Ces distances sont déterminées par une étude de risques ou à l'aide d'un code reconnu (voir annexe 2).

Il est interdit de placer des installations manipulant de l'hydrogène sous des lignes à haute tension.

Réf. [24], [27], [30], [35]

| | |
|--|--|
| <p>Sous-système</p> <p>Réservoir cryogénique</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|--|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide

Section: Stockage en réservoirs cryogéniques

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Input de chaleur via rayonnement solaire
- Input de chaleur via le flux d'alimentation
- Pression due à l'alimentation
- Perte d'isolation du réservoir cryogénique
- Input de chaleur d'un feu externe
- Explosion interne

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Impact de véhicules
- Affaissement

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

- Présence externe de conditions corrosives

Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

- Feu externe

Phénomènes engendrant des températures basses

- Refroidissement dû à une fuite de liquide cryogénique

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Propagation

- Formation d'un nuage explosif
- Propagation de liquide

Impact

- Inflammation
- Feu
- Explosion
- Intoxication ou brûlures par contact cutané avec la substance

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Input de chaleur via rayonnement solaire

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

C1 Isolation imparfaite

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Revêtement réfléchissant-

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M2 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'enveloppe interne-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée;
- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Localisation de la décharge

Les lignes de décharge des soupapes de sécurité doivent déboucher à l'air libre (notamment lorsque le sous-système est situé dans un bâtiment) et dans tous les cas selon une orientation, en un lieu et à une hauteur suffisante de manière à éviter tout danger.

Réf. [24], [30], [34], [35]

Accumulation d'eau dans la ligne de décharge

Les lignes de décharge des soupapes de sécurité doivent être conçues ou localisées de sorte que l'humidité ne puisse s'accumuler et geler de manière à empêcher le fonctionnement correct des soupapes (blocage par le gel, pression hydrostatique de l'eau).

De plus il est indiqué de placer près du réservoir au niveau de l'évent de la soupape de sécurité, un panneau interdisant d'asperger de l'eau sur ou dans l'ouverture d'évent.

Réf. [24], [30], [34], [35]

Liaison avec l'espace à protéger

La liaison avec l'espace à protéger est assurée:

- ou bien absence de vanne manuelle permettant d'isoler la soupape de sécurité
- ou bien système de verouillage qui garantit la position ouverte de la vanne manuelle.

Réf. [24], [30], [34], [35]

Fiabilité

Les soupapes de sécurité sont reprises dans un programme d'inspection périodique.

Réf. [34]

Input de chaleur via le flux d'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

C1 Déchargement d'hydrogène liquide plus chaud

ET C1.1 Déchargement du semi-remorque en cours

ET C1.2 Semi-remorque inadapté pour l'hydrogène liquide (M2)

L'isolation du semi-remorque est insuffisante

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'enveloppe interne-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée;

- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Points d'attention: voir source de cause Input de chaleur via rayonnement solaire

Influence sur une cause

M2 Déchargement uniquement de camions/wagons-citernes en ordre

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Semi-remorque inadapté pour l'hydrogène liquide

Pression due à l'alimentation

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Toutes les sorties sont fermées

ET C2 Réservoir complètement rempli

ET C3 La pompe de remplissage alimente le réservoir

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Limitation de la pression d'alimentation

La pression maximale d'alimentation utilisée pour remplir le réservoir ne doit pas dépasser la pression maximale admissible d'alimentation par pompe du réservoir. Cette dernière est normalement supérieure à la pression maximale admissible de travail du réservoir, pour permettre la perte de charge dans l'entrée pendant le remplissage.

Cette pression d'alimentation provient généralement de la pompe du camion (alimentée par une source d'énergie à bord du camion ou par une source externe d'énergie).

Réf. [32]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M2 Interlock sur pression élevée ferme l'entrée

La consigne de pression doit être la limite supérieure de pression du réservoir.

Réf. [32]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M3 Interlock sur pression élevée arrête pompe d'alimentation

La consigne de pression doit être la limite supérieure de pression du réservoir.

Réf. [32]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M4 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'enveloppe interne-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée;

- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Points d'attention: voir source de cause Input de chaleur via rayonnement solaire

Perte d'isolation du réservoir cryogénique

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

C1 Rupture par surpression dans la double enveloppe isolante (M2)

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'enveloppe interne-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée;
- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Points d'attention: voir source de cause Input de chaleur via rayonnement solaire

Influence sur une cause

M2 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'espace inter-paroi

Réf. [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Influence sur cause: Rupture par surpression dans la double enveloppe isolante

Dimensionnement

Le dispositif doit permettre de limiter la pression dans la double enveloppe à pas plus de 10 % au-dessus de la valeur la plus petite entre:

- la pression externe de calcul de l'enveloppe interne
- la pression de calcul de l'enveloppe externe.

Input de chaleur d'un feu externe

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Feu à proximité du réservoir de stockage (M4)

OU C1.1 Feu au niveau de pompes ou de compresseurs

Les pompes et les compresseurs sont des points sensibles.

OU C1.2 Présence de matériaux combustibles

OU C1.2.1 Présence de déchets combustibles (M2)

OU C1.2.2 Présence d'herbes sèches, de broussailles (M5)

OU C2 Feu en-dessous du réservoir de stockage (M3;M6)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Soupape de sécurité ou disque de rupture sur l'enveloppe interne-

Une soupape de sécurité peut seulement être acceptée comme mesure pour une source de cause s'il peut être démontré (à l'aide de calculs) que la décharge de pression est dimensionnée pour la source de cause concernée. Les calculs donnent:

- la capacité nécessaire pour la source de cause concernée;

- la capacité réelle de la soupape de sécurité installée.

Réf. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Points d'attention: voir source de cause Input de chaleur via rayonnement solaire

Influence sur une cause

M2 Inspections périodiques de la présence de déchets combustibles

Réf. [24], [27]

Couche: Contrôle

Type: Inspection & entretien

Influence sur cause: Présence de déchets combustibles

M3 Sol en pente à partir du réservoir

La pente doit permettre un drainage normal de l'eau.

Réf. [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Feu en-dessous du réservoir de stockage

M4 Murs ou toits de protection

Construits en matériaux incombustibles ou moyennement combustibles.

Réf. [24], [27], [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Feu à proximité du réservoir de stockage

M5 Absence de végétation sèche

Ne pas utiliser

Réf. [23], [26], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Présence d'herbes sèches, de broussailles

M6 Position par rapport au niveau du sol-

- Stockage situé à un niveau supérieur que le stockage de liquides inflammables ou le stockage d'oxygène liquide (si la distance entre les 2 est $<$ à 15 m)
- Si le stockage doit malgré tout être situé à un niveau inférieur que la stockage adjacent de liquide inflammable ou d'oxygène liquide, des mesures de protection doivent être prises pour éviter l'écoulement du liquide dangereux en-dessous du réservoir de stockage (si distance entre les 2 est $<$ à 15 m).

Réf. [23], [26], [31], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Feu en-dessous du réservoir de stockage

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M1;M2)

ET C2 Présence d'une source d'ignition

C2.1 Décharge d'électricité statique (M4)

OU C2.1.1 Splash de liquide (M3)

OU C2.1.2 Chargement statique lors de vitesses élevées de liquide

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purger le réservoir au préalable

Pour éviter la présence préalable d'oxygène et d'air avant d'introduire l'hydrogène.

L'azote est déconseillé car aux températures utilisées, il se solidifie. On peut utiliser de l'hélium à la place.

Si l'azote est quand même utilisé, introduire de l'hydrogène gazeux avant l'hydrogène liquide pour chasser l'azote.

Réf. [27], [30], [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M2 Mise sous pression du liquide

Réf. [35]

Couche: Contrôle

Type: Boucle de contrôle

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

M3 Alimentation via tube plongeur ou connexion par le bas

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Splash de liquide

M4 Mise à la terre du réservoir

Réf. [27], [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

Impact de véhicules

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces d'impact

Causes:

Etapes de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Réservoir à l'écart des voies de circulation internes et externes

Les voies de circulation sont signalées sur le site.

Réf. [24]

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Limitations de vitesse

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Rails de protection

Réf. [24], [30]

Couche: Procédé

Type: Passives

Affaissement

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Tensions complexes

Causes:

C1 Sol instable

C1.1 Remblais

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Programme de mesures pour suivre l'affaissement

Couche: Sécurité

Type: Inspection &entretien

M2 Fondation stable

La stabilité doit être démontrée à l'aide de calculs.

Réf. [24], [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Présence externe de conditions corrosives

*Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Conditions corrosives ou chimiquement agressives*

Description:

Nature de l'attaque: Corrosion

Causes:

OU C1 Exposition aux conditions atmosphériques (M2)

OU C2 Présence de conditions corrosives sous l'isolation (M1)

OU C3 Accumulation d'humidité au niveau des appuis (M3)

Typique pour les réservoirs horizontaux.

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Isolation ne permettant pas la pénétration d'eau et d'humidité

Réf. [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Présence de conditions corrosives sous l'isolation

M2 Inspection générale externe

Repris dans un programme d'inspection

Réf. [30]

Couche: Sécurité

Type: Inspection & entretien

Influence sur cause: Exposition aux conditions atmosphériques

M3 Appuis conçus de manière à éviter l'accumulation d'eau

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Accumulation d'humidité au niveau des appuis

Feu externe

*Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)*

Description:

Nature de l'attaque: Fluage

Dans le cas des réservoirs horizontaux.

Causes:

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Résistance au feu de 2 h des appuis

Solutions possibles:

- appuis en béton
- isolation résistant au feu

Réf. [24], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Refroidissement dû à une fuite de liquide cryogénique

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Phénomènes engendrant des températures basses

Description:

Nature de l'attaque: Fatigue

Causes:

C1 Fuite au réservoir ou à un accessoire

Etapas de libération:

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Appuis construits en matériau résistant aux températures cryogéniques

Dans le cas de réservoirs horizontaux.

Réf. [30]

Couche: Enveloppe

Type: Passives

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture du réservoir cryogénique

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Vannes d'isolement sur les tuyauteries de liquides

Le plus près possible du réservoir.

Pour des réservoirs de capacité supérieure à 7.570 l, cette vanne doit être commandable à distance et absence de toute bride entre cette vanne de sectionnement et la connexion de la tuyauterie au réservoir.

Réf. [24], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Résistance au feu des vannes d'isolement

- Démontrée à l'aide d'un certificat

- Les joints entre le réservoir et les vannes sont également résistants au feu ou la bride est soudée.

Localisation de la vanne d'isolement

Le plus près possible contre le réservoir ou dans le réservoir.

Fiabilité

Le système d'isolement du réservoir est repris dans un programme d'inspection.

Signalisation des vannes d'isolement

Indication de la position (ouvert/fermé)

Position fail-safe de la vanne d'isolement

- La position fail-safe est la position fermée.

Par ex. la fonte des tuyaux d'air comprimé place ces vannes en position de sécurité.

Formation d'un nuage explosif

Propagation

Description:

Détails:

D1 Ventilation insuffisante (M1;M2)

Mesures:

M1 Installation à l'air libre

Réf. [24], [27], [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

M2 Ventilation

Si le réservoir est installé dans un bâtiment séparé, une ventilation doit être assurée.

Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)

Réf. [13], [17], [24], [27], [31], [35] (stockage cryogénique)

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Influence sur détail: Ventilation insuffisante

Localisation des entrées et sorties d'air

- Les entrées d'air doivent être situées près du sol, uniquement dans les murs extérieurs.

- Les sorties doivent être localisées au plus haut point du local dans les murs extérieurs ou dans le toit.

Surface des entrées et sorties d'air

Les entrées et les sorties doivent chacune avoir une surface totale minimale de 1 m² /305 m³ de volume du local.

Propagation de liquide

Propagation

Description:

Détails:

D1 Sur le sol (M1)

D2 Via les égouts (M2)

Mesures:

M1 Sol en pente à partir du réservoir

La pente doit permettre un drainage normal de l'eau.

Réf. [30], [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur détail: Sur le sol

M2 Coupe-gaz dans les égouts

Les égouts sont équipés d'un système qui empêche la propagation des gaz inflammables (ex. chambres de compensation).

Réf. [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur détail: Via les égouts

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M1)
- OU D2 Surfaces chaudes
- OU D3 Etincelles électriques (M5;M6)
 - D3.1 Chargement électrostatique (M2;M3;M4)
 - D3.2 Equipement électrique (M7)

Mesures:

- M1 Interdiction de fumer et de produire une flamme nue
Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
Réf. [24], [27], [31], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Flamme nue
- M2 Recouvrement du sol suffisamment conducteur
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M3 Port de chaussures à semelles antistatiques
- Pour le personnel propre
- Pour les tiers (par ex., les chauffeurs de camion)
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M4 Mise à la terre du réservoir de stockage
Réf. [24], [27], [30], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
Inspection
Cette inspection est reprise dans un programme d'inspection
- M5 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles
Réf. [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Etincelles électriques
- M6 Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion-
Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)
Réf. [24], [27], [30], [35] (stockage cryogénique)
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Etincelles électriques
Plan de zonage pour le sous-système concerné
- Approuvé par l'Inspection technique
- Actuel
Rapport de contrôle électrique du sous-système concerné
- Basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle.
- Le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction.

M7 Interdiction d'utiliser des GSMs, des radios et autres appareils mobiles non Ex-

- Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
- Indiquée à l'entrée du terrain

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

Influence sur détail: Equipement électrique

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Stratégie d'intervention

- essayer d'arrêter l'alimentation de la fuite d'hydrogène, sinon risque de réignition ou d'explosion;
 - asperger de grandes quantités d'eau les équipements avoisinants (jet d'eau pulvérisée de préférence), pour les refroidir, éviter de les impliquer dans l'incendie et pour réduire le risque de réignition par contact avec des surfaces chaudes avoisinantes.
 - si l'incendie est éteint et si l'écoulement de gaz se poursuit, augmenter la ventilation afin d'éviter la création d'une atmosphère explosive. On peut utiliser un brouillard d'eau pour créer une ventilation.
- Réf. [27], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

M2 Détection incendie-

- Surtout lorsque les installations sont conduites à distance.
Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

M3 Système fixe d'extinction-

- Moniteurs
 - Hydrants
 - Système d'arrosage pouvant être activé manuellement à distance de sécurité ou automatiquement par la détection incendie (min. 8,14 l/min.m² de surface exposée)
- Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Réserve d'eau d'extinction

- réservoir d'eau suffisamment grand et/ou réserve naturelle (canal, fleuve, ...)
- le point d'aspiration de l'eau d'extinction est protégé contre la prise de débris
- contrôle régulier des réserves d'eau
- pompes de réserve fonctionnant également en cas de panne d'électricité (diesel)

Protection du système d'extinction

- Les moyens d'extinction sont protégés contre:
- la corrosion: protection cathodique, couche de peinture protectrice
 - le gel: enterré à une profondeur suffisante, chauffé, système sec, ...
 - les dégâts mécaniques dus au trafic routier
 - le feu/l'explosion:
 - casernes des pompiers, pompes incendie situées:
 - en dehors de toute zone dangereuse
 - à min 30 m du risque de feu le plus proche
 - dans un bâtiment résistant au feu et aux explosions
 - tuyauteries protégées contre les conséquences d'une explosion

Le réseau d'eau d'extinction est disposé en boucle(s) et est équipé de vannes de sectionnement.

Inspection des moyens de lutte contre le feu

- suivant un programme d'inspection
- les inspections sont enregistrées
- le programme d'inspection comprend entre autres:
 - les pompes incendie (fonctionnement, réserve de diesel) (hebdomadaire)
 - les installations de sprinklage (mensuel)

Signalisation

Les conduites d'eau d'extinction et les hydrants sont peints en rouge.

Dimensionnement

Equipements de lutte contre le feu déterminés en collaboration avec les pompiers (rapport).

M4 Extincteurs portables-

- Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.
 - Localisés de manière stratégique.
- Réf. [26] (gazeux), [27], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Systèmes d'extinction

Formation

Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.

Inspection et entretien

Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:
- contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état
- contrôle annuel

Explosion

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Paroi faible

Dans le cas d'un réservoir situé dans un bâtiment séparé, les murs extérieurs doivent être construits en matériau léger ou en panneaux conçus pour se détacher à une pression maximale interne de 13,3 kPa/m².

Réf. [24], [27], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Passives

Choix de la paroi faible

L'explosion doit être évitée vers un lieu où personne, ni d'autres équipements ne peuvent être touchés.

Intoxication ou brûlures par contact cutané avec la substance

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Présence à proximité de rince-yeux et de douches de secours

Réf. [13], [17]

Couche: Premiers secours

Type: Systèmes d'extinction

| | |
|---|--|
| <p>Sous-système</p> <p>Tuyauterie d'hydrogène liquide</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|---|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide

Section: Tuyauteries

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Dilatation thermique du liquide emprisonné
- Coup de bélier

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Impact de véhicules
- Charge aérienne sur tuyauterie enterrée

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

- Présence externe de conditions corrosives

Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

- Feu externe

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

- Brides

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture aux brides

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Dilatation thermique du liquide emprisonné

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Le liquide est emprisonné

OU C1.1 Entre 2 vannes fermées

OU C1.2 Présence de bouchons dans la tuyauterie (M3)

Des substances communes comme l'eau, l'azote peuvent se solidifier aux températures utilisées

ET C2 Réchauffement du liquide emprisonné (M7)

OU C2.1 Rayonnement solaire (M4)

OU C2.2 Incendie dû à la condensation de l'air (M5;M6)

Pour les tuyauteries non isolées et fonctionnant à la température de l'hydrogène liquide, on peut avoir une condensation de l'air environnant due aux températures de surface extrêmement froides qui provoque un enrichissement en oxygène et favorise ainsi la combustion de certains matériaux pouvant être présents.

Etapes de libération:

Fuite ou rupture aux brides

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Soupapes d'expansion thermique

Réf. [24], [34], [35]

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

M2 Tuyauterie résistant à la surpression engendrée

La surpression engendrée doit être connue.

Couche: Enveloppe

Type: Passives

Influence sur une cause

M3 Procédure de purge des tuyauteries

Pour éviter la formation de bouchons formés par solidification des fluides utilisés aux températures cryogéniques. Il faut éviter l'azote et utiliser de préférence l'hélium.

Réf. [27], [30]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence de bouchons dans la tuyauterie

M4 Couche de peinture réfléchissant le rayonnement solaire

Pas en blanc car alors on ne distingue plus la formation de glace qui est un signe de fuite d'hydrogène liquide.

Réf. [25]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Rayonnement solaire

M5 Présence de gouttières

Pour les tuyauteries non isolées
Servant à récolter et à vaporiser l'air liquide condensé.
Réf. [24], [30], [35]

Couche: Procédé *Type: Passives*

Influence sur cause: Incendie dû à la condensation de l'air

M6 Sol sous les tuyauteries en matériaux incombustibles

Pour les tuyauteries non isolées
Pas d'asphalte.
Réf. [24], [27], [30], [35]

Couche: Procédé *Type: Passives*

Influence sur cause: Incendie dû à la condensation de l'air

M7 Isolation en matériau non-combustible

L'isolation doit être conçue de manière à avoir un joint étanche à la vapeur dans la couverture externe pour éviter la condensation de l'air et en conséquence, un enrichissement en oxygène au sein de l'isolation.
Réf. [24], [35]

Couche: Sécurité *Type: Passives*

Influence sur cause: Réchauffement du liquide emprisonné

Coup de bélier

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

C1 Fermeture rapide de vannes dans les longues tuyauteries (M2)

Etapes de libération:

Fuite ou rupture aux brides

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Tuyauterie résistant à la surpression engendrée

La surpression engendrée doit être connue.

Couche: Enveloppe

Type: Passives

Influence sur une cause

M2 Vitesse de fermeture des vannes automatiques adaptée au réseau

Vitesse de fermeture de plusieurs secondes dépendant de la vitesse du liquide et de la longueur de la tuyauterie.

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Fermeture rapide de vannes dans les longues tuyauteries

Impact de véhicules

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces d'impact

Causes:

Etapes de libération:

Fuite ou rupture aux brides

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Tuyauteries à l'écart des voies de circulation internes et externes

Réf. [24]

Couche: Procédé

Type: Passives

M2 Limitations de vitesse

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Rails de protection

Réf. [24], [30]

Couche: Procédé

Type: Passives

Charge aérienne sur tuyauterie enterrée

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Pression externe

Causes:

OU C1 Circulation au-dessus de la tuyauterie enterrée (M2)

OU C2 Stockage au-dessus de la tuyauterie enterrée (M3)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture aux brides

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Profondeur ou protection adaptée à la charge aérienne

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur une cause

M2 Pas de circulation au-dessus de tuyauteries enterrées

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Circulation au-dessus de la tuyauterie enterrée

M3 Pas de stockage au-dessus de tuyauteries enterrées

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Stockage au-dessus de la tuyauterie enterrée

Présence externe de conditions corrosives

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Conditions corrosives ou chimiquement agressives

Description:

Nature de l'attaque: Corrosion

Causes:

OU C1 Exposition aux conditions atmosphériques

OU C2 Exposition aux conditions corrosives sous-terraines

OU C3 Présence de conditions corrosives sous l'isolation

Etapas de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Isolation autour des tuyauteries étanche à l'eau et à l'humidité de l'air
Réf. [24]

Couche: Sécurité

Type: Passives

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M2 Inspection externe des tuyauteries
Reprise dans un programme d'inspection (annuel).
Réf. [30]

Couche: Sécurité

Type: Inspection & entretien

Instructions

L'exécution des inspections fait l'objet d'instructions. Les appuis des tuyauteries sont également inspectés.

M3 Protection cathodique

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Feu externe

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe
Phénomènes engendrant des températures trop élevées (menace pour l'env.)

Description:

Nature de l'attaque: diminution de la résistance à la traction

Causes:

Etapes de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Tuyauteries suffisamment éloignées des sources potentielles de feu

Aucune source potentielle de feu sous les piperacks, telle que:

- postes de déchargement
- containers de déchets combustibles (carton, emballages, etc.).

Couche: Procédé

Type: Passives

Brides

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

Description:

Nature du point faible: Point sensible aux fuites

Causes:

OU C1 Liaison par bride mal serrée (M2)

C1.1 Grande différence de température
entre le milieu ambiant et le fluide transporté

OU C2 Attaque ou vieillissement du joint

Etapes de libération:

Fuite ou rupture aux brides

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Pas de liaison par bride souterraine

Uniquement des soudures pour les tuyauteries enterrées. En aérien, le plus possible de liaisons par soudures.

Réf. [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur une cause

M2 Programme de resserrement des boulons des brides

Réf. [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Liaison par bride mal serrée

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture aux brides

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

| | |
|--|--|
| <p>Sous-système</p> <p>(Dé)chargement de camions/wagons-citernes</p> |  <p>Direction des risques chimiques</p> |
|--|--|

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide

Section: (Dé)chargement

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Dilatation thermique du liquide emprisonné
- Input de chaleur d'un feu externe
- Explosion interne

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Mouvement de véhicules raccordés

Ouvertures dans l'enveloppe

Ouvertures temporaires vers l'atmosphère

- Point de raccord pour flexible ou bras de chargement

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

- Flexibles

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Propagation

- Propagation de liquide

Impact

- Inflammation
- Feu
- Intoxication ou brûlures par contact cutané avec la substance

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Dilatation thermique du liquide emprisonné

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Espace libre insuffisant pour expansion (M1;M2;M3)

ET C2 Réchauffement du liquide emprisonné

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Vérification de la capacité disponible pour le chargement

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Espace libre insuffisant pour expansion

Instruction

Repris dans la procédure de déchargement

M2 Contrôle du niveau

Arrêt automatique du chargement lorsque la quantité sélectionnée a été pompée. Cette mesure n'est pas une alternative à l'interlock sur le niveau haut du récipient de transport.

Couche: Contrôle

Type: Boucle de contrôle

Influence sur cause: Espace libre insuffisant pour expansion

M3 Interlock sur niveau haut arrête l'alimentation avant niveau critique

Fonctionne indépendamment du contrôle de niveau

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur cause: Espace libre insuffisant pour expansion

Fiabilité

Un test de la boucle complète est repris dans un programme d'inspection.

Input de chaleur d'un feu externe

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Feu dans une installation voisine

OU C2 Feu suite à une fuite au camion/wagon-citerne (M2)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Refroidissement externe via sprinklers de la station de (dé)chargement

Réf. [30]

Couche: Sécurité

Type: Systèmes d'extinction

Activation

Peut être activé manuellement

Influence sur une cause

M2 Sol sous le poste de (dé)chargement en pente

Déviations vers une zone de vaporisation suffisamment éloignée du camion/wagon-citerne afin de minimaliser les effets du rayonnement thermique.

Réf. [35]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Feu suite à une fuite au camion/wagon-citerne

Explosion interne

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

ET C1 Présence d'une atmosphère explosive

OU C1.1 Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents) (M1)

ET C2 Présence d'une source d'ignition

OU C2.1 Décharge d'électricité statique (M2;M3)

OU C2.1.1 Splash de liquide (M4)

OU C2.1.2 Chargement statique lors de vitesses élevées de liquide

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purge des flexibles et des raccords

Il faut prévoir un rinçage à l'aide d'un gaz inerte, puis un flush à l'hydrogène. Pour ce faire, une vanne de mise à l'air libre doit être présente pour permettre la purge de la canalisation comprise entre le camion (wagon) et la vanne d'entrée. Cette procédure doit être répétée plusieurs fois si nécessaire.

Réf. [27], [30], [35]

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Présence anormale d'oxygène (gaz inflammables normalement présents)

Instructions

La procédure de purge doit être reprise dans la procédure de déchargement.

M2 Placement d'une liaison équipotentielle

Entre le camion ou le wagon-citerne et l'installation fixe.

Réf. [30]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

M3 Flexible de (dé)chargement suffisamment conducteur

Réf. [31]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Décharge d'électricité statique

M4 Alimentation via tube plongeur ou connexion par le bas

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Splash de liquide

Mouvement de véhicules raccordés

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Forces de traction (et autres)

Causes:

OU C1 Départ du véhicule raccordé (M3;M4;M5;M6)

OU C2 Collision du véhicule raccordé avec un autre véhicule (M2)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Procédure de (dé)chargement

La procédure de (dé)chargement doit comprendre la description des actions et des vérifications nécessaires pour prévenir le départ inopiné du véhicule.

Réf. [33]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Disponibilité

Une version abrégée de la procédure (sous la forme de points) est affiché au poste de (dé)chargement.

Réf. [33]

Influence sur une cause

M2 Pas de trafic interne près du poste de (dé)chargement

Pas défini comme une zone de parking non plus.

Réf. [30]

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Collision du véhicule raccordé avec un autre véhicule

M3 Blocage des roues

Repris dans la procédure de (dé)chargement

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M4 Freins à mains pendant le déchargement

Repris dans la procédure de (dé)chargement

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M5 Présence interdite du chauffeur dans le camion pendant le transfert

Réf. [30]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

M6 Interlock sur l'accès à la connexion de (dé)chargement

Relié à:

- soit l'activation du système de frein: ce système comprend un dispositif couplé au circuit de freins et est activé par le chauffeur/opérateur lorsqu'il accède aux connexions de (dé)chargement. Le dispositif soit:

- bloque l'ouverture des portes de la cabine des tuyauteries et/ou
- bloque l'accès aux connexions de (dé)chargement et/ou
- est activé lorsque les portes de la cabine sont ouvertes.

Le mouvement du dispositif applique les freins ou empêche les freins d'être relâchés. A la fin des opérations, le chauffeur/opérateur doit déconnecter le flexible avant que le dispositif puisse être remis à zéro. La remise à zéro du dispositif relâche les freins ou permet de relâcher les freins à partir de la cabine.

- soit la fermeture d'une barrière devant le véhicule de transport: la barrière est activée par un interrupteur spécial, monté sur le support du flexible de (dé)chargement. Dès que le flexible est déplacé de son support, la barrière se ferme automatiquement.

Réf. [30], [33]

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Influence sur cause: Départ du véhicule raccordé

Fiabilité

Repris dans un programme d'inspection

Point de raccord pour flexible ou bras de chargement

Ouvertures dans l'enveloppe

Ouvertures temporaires vers l'atmosphère

Description:

Fréquence d'utilisation:

Causes:

C1 Déconnexion alors que l'hydrogène est toujours présent (M1)

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur une cause

M1 Purge de la liaison temporaire avant déconnexion

Cela sous-entend la présence d'une vanne de mise à l'air libre pour permettre la purge de la liaison temporaire. Un manomètre permet de constater que la liaison n'est plus sous pression.

Pour la purge, il est interdit d'utiliser de l'air comprimé.

Cette opération est reprise dans la procédure de (dé)chargement.

Réf. [27], [30]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

Influence sur cause: Déconnexion alors que l'hydrogène est toujours présent

Flexibles

Points faibles

Eléments de l'enveloppe dans des matériaux plus faibles

Description:

Nature du point faible: Sensible à l'usure

Causes:

OU C1 Dégradation entre les utilisations (M4)

OU C2 Usage fréquent

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Test de fuite avant utilisation

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

M2 Examen de l'état du flexible avant utilisation

Cela comprend la surveillance des raccords, de la conductibilité et de l'aspect extérieur. Cet examen est repris dans la procédure de (dé)chargement.

Réf. [30]

Couche: Contrôle

Type: Procédurier

M3 Remplacement périodique des flexibles-

Au plus tard 5 ans après leur année de fabrication, sauf ceux n'ayant pas encore servi.

Réf. [3], [35]

Couche: Sécurité

Type: Inspection &entretien

Influence sur une cause

M4 Rangement approprié du flexible

Le rangement du flexible est bien entendu repris dans la procédure de (dé)chargement.

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Dégradation entre les utilisations

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture de la liaison temporaire

Libération

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Présence permanente d'un opérateur de (dé)chargement

Réf. [7], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Procédurier

M2 Détection de fuite d'hydrogène au poste de (dé)chargement

Actions:

- donne l'alarme en salle de contrôle (ou dans un local occupé en permanence) lors d'une détection de 25 % de la LIE
- ferme automatiquement les vannes d'isolement commandables à distance
- stoppe automatiquement les pompes

Réf. [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Fiabilité

Reprise dans un programme d'inspection

Localisation des points de mesure

- aux endroits stratégiques de la station de (dé)chargement

- ...

M3 Arrêt d'urgence du (dé)chargement

Actions:

- ferme automatiquement les vannes commandables à distance
- stoppe automatiquement les pompes
- donne un alarme en salle de contrôle.

Réf. [30]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Localisation

- situés sur les voies d'évacuation

M4 Système d'isolement de la liaison temporaire-

- Vannes d'isolement:
- du côté du camion/wagon-citerne
 - du côté du raccord à l'installation fixe.
- Activation:
- par arrêt d'urgence
 - par défaut de liaison équipotentielle
 - par la détection hydrogène.

Réf. [30], [31], [35]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Résistance au feu des vannes d'isolement

- Démontrée à l'aide d'un certificat
- Les joints sont également résistants au feu ou la bride est soudée.

Localisation de la vanne d'isolement

Le plus près possible contre le point de raccord.

Fiabilité

Le système d'isolement est repris dans un programme d'inspection.

Signalisation des vannes d'isolement

Indication de la position (ouvert/fermé)

Position fail-safe de la vanne d'isolement

- La position fail-safe est la position fermée.
- Par ex. la fonte des tuyaux d'air comprimé place ces vannes en position de sécurité.

Propagation de liquide

Propagation

Description:

Détails:

- D1 Sur le sol (M1)
- D2 Via les égouts (M2)

Mesures:

- M1 Sol sous le poste de (dé)chargement en pente
- Déviations vers une zone de vaporisation suffisamment éloignée du camion/wagon-citerne afin de minimiser les effets du rayonnement thermique.
- Réf. [35]
- Couche:* Procédé *Type:* Passives
- Influence sur détail: Sur le sol
- M2 Coupe-gaz dans les égouts
- Les égouts sont équipés d'un système qui empêche la propagation des gaz inflammables (ex. chambres de compensation).
- Réf. [35]
- Couche:* Procédé *Type:* Passives
- Influence sur détail: Via les égouts

Inflammation

Impact

Description:

Détails:

- OU D1 Flamme nue (M1)
- OU D2 Etincelles électriques (M6)
 - OU D2.1 Chargement électrostatique (M2;M3;M7;M9)
 - OU D2.2 Equipement électrique (M4;M5;M10)
 - OU D2.3 Courants vagabonds (M8)

Mesures:

- M1 Interdiction de fumer et de produire une flamme nue
Indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
Réf. [24], [27], [30], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Flamme nue
- M2 Recouvrement du sol suffisamment conducteur
Suffisamment conducteur: béton non traité
Pas suffisamment conducteur: asphalte, résines époxy.
Réf. [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M3 Port de chaussures à semelles antistatiques
Pour le personnel propre
Pour les tiers (par ex., les chauffeurs de camion)
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M4 Interdiction d'utiliser des GSMs, des radios et autres appareils mobiles non Ex
- indiquée sur place à l'aide de pictogrammes
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Equipement électrique
- M5 Pompe sûre du point de vue explosiom
- Egalement si le déchargement se fait à l'aide de la pompe du camion.
- Le camion-citerne ne peut pas utiliser son propre moteur pour entraîner la pompe.
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Equipement électrique
- M6 Utilisation d'outils ne provoquant pas d'étincelles
Réf. [9], [22]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
Influence sur détail: Etincelles électriques
- M7 Mise à la terre des rails de chemin de fer
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M8 Isolation électrique des rails de chemin de fer du reste du réseau ferroviaire
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
Influence sur détail: Courants vagabonds

- M9** Placement d'une liaison équipotentielle
 Entre le camion ou le wagon-citerne et l'installation fixe.
 Réf. [27], [30], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Procédurier*
 Influence sur détail: Chargement électrostatique
- M10** Installation électrique en exécution sûre du point de vue explosion-
 Réf. [3], [23], [26], [31], [35] (stockage sous pression)
 Réf. [24], [27], [30], [35] (stockage cryogénique)
Couche: Limitation des dommages *Type: Passives*
 Influence sur détail: Equipement électrique
Plan de zonage pour le sous-système concerné
 - Approuvé par l'Inspection technique
 - Actuel
Rapport de contrôle électrique du sous-système concerné
 - Basse tension: tous les 5 ans à moins qu'une fréquence différente ne soit mentionnée dans le dernier rapport de contrôle.
 - Le rapport de contrôle ne mentionne aucune infraction.
- M11** Verrouillage de la liaison équipotentielle
 Un interlock qui empêche le (dé)chargement aussi longtemps que la résistance de la liaison équipotentielle est trop élevée.
Couche: Limitation des dommages *Type: Boucles de sécurité*
 Influence sur mesure: Placement d'une liaison équipotentielle
Fiabilité
 Repris dans un programme d'inspection

Feu

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

- M1** Extincteurs portables
 - Utilisation d'extincteurs à poudre sèche ou de CO₂, d'azote et de vapeur pour éteindre les petits feux d'hydrogène.
 - Localisés de manière stratégique.
 Réf. [27], [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Systèmes d'extinction*
Formation
 Les travailleurs suivent un entraînement périodique à l'utilisation des extincteurs portables.
Inspection et entretien
 Les extincteurs portables sont repris dans un programme d'inspection et d'entretien:
 - contrôle visuel mensuel de leur présence et de leur bon état
 - contrôle annuel
- M2** Détection incendie
 Surtout lorsque les installations sont conduites à distance.
 Réf. [35]
Couche: Limitation des dommages *Type: Boucles de sécurité*

Intoxication ou brûlures par contact cutané avec la substance

Impact

Description:

Détails:

Mesures:

M1 Présence à proximité de rince-yeux et de douches de secours

Réf. [13], [17], [35]

Couche: Premiers secours

Type: Systèmes d'extinction

M2 Equipements de protection individuelle contre les dangers d'H2 liquide

Mains. Gants de protection entiers qui isolent la peau du froid ou en cuir. Les gants doivent être assez lâches pour pouvoir les enlever rapidement si l'hydrogène liquide y pénétrait.

Yeux. Lunettes de sécurité à l'épreuve des éclaboussures et visière de protection.

Vêtements. Vêtements appropriés pour éviter à la peau de geler:

- longues vestes

- pantalons sans revers, dont les jambes doivent être portées par-dessus les bottes.

Pieds. Chaussures de sécurité suffisamment hautes pour être recouvertes par un pantalon sans revers.

Réf. [13], [17], [27], [35]

Couche: Protection individuelle

Type: EPI

Mains

Gants de protection entiers qui isolent la peau du froid ou en cuir. Les gants doivent être assez lâches pour pouvoir les enlever rapidement si l'hydrogène liquide y pénétrait.

Yeux

Lunettes de sécurité à l'épreuve des éclaboussures et visière de protection

Vêtements

Vêtements appropriés pour éviter à la peau de geler:

- longues vestes

- pantalons sans revers, dont les jambes doivent être portées par-dessus les bottes.

Pieds

Chaussures de sécurité suffisamment hautes pour être recouvertes par un pantalon sans revers.

| | |
|--|---|
| <p>Sous-système</p> <p>Evaporateur</p> |  |
| | <p>Direction des risques chimiques</p> |

1. Description sous-système

Installation: Stockage et (dé)chargement d'hydrogène liquide

Section: Vaporisation de l'hydrogène liquide

Liste des sources de causes:

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

- Input de chaleur d'un échangeur de chaleur

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

- Formation excessive de glace

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Phénomènes engendrant des températures basses

- Température trop basse du flux gazeux d'hydrogène sortant

Phénomènes engendrant des charges cycliques (avec risque de fatigue)

- Cycles expansion/contraction dûs au changement de température

Liste des étapes de libération:

Libération

- Fuite ou rupture de l'évaporateur

2. Sources de causes et mesures correspondantes

Input de chaleur d'un échangeur de chaleur

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant une pression élevée

Description:

Nature des tensions: Pression élevée

Causes:

OU C1 Température maximale du fluide caloporteur (M3)

OU C2 Débit maximum du fluide caloporteur

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de l'évaporateur

Mesures:

Influence sur la caractéristique de fonctionnement

M1 Interlock sur pression ou température élevée arrête l'input de chaleur

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

M2 Soupapes de sécurité

Sur l'évaporateur et ses tuyauteries du côté hydrogène et du côté du fluide caloporteur.

Réf. [24], [30].

Couche: Sécurité

Type: Décharge de pression

Influence sur une cause

M3 Limiter la température du fluide caloporteur

La chaleur est apportée indirectement: par ex. air ambiant, tubes dans un bain de vapeur, tube dans piscine d'eau chaude.

Couche: Procédé

Type: Passives

Influence sur cause: Température maximale du fluide caloporteur

Formation excessive de glace

Phénomènes engendrant des tensions sur l'enveloppe

Phénomènes engendrant d'autres tensions qu'une pression

Description:

Nature des tensions: Tensions dues au poids de la glace

Cela s'applique aux évaporateurs à air ambiant.

Causes:

C1 Temps froid

C2 Humidité de l'air

Etapes de libération:

Fuite ou rupture de l'évaporateur

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Vérification régulière de la formation excessive de glace

Pour éliminer cette glace, on peut utiliser de l'eau chaude ou de la vapeur.

Réf. [30].

Couche: Sécurité

Type: Procédurier

Température trop basse du flux gazeux d'hydrogène sortant

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Phénomènes engendrant des températures basses

Description:

Nature de l'attaque: Fatigue

Cela peut causer des dommages dans le circuit en aval de l'évaporateur.

Causes:

C1 Perte du fluide caloporteur

Etapas de libération:

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Interlock sur basse température à la sortie

Ferme une vanne automatique d'isolement à la sortie de l'évaporateur.

Réf. [24], [30].

Couche: Sécurité

Type: Boucles de sécurité

Cycles expansion/contraction dûs au changement de température

Phénomènes menaçant les matériaux de construction de l'enveloppe

Phénomènes engendrant des charges cycliques (avec risque de fatigue)

Description:

Nature de l'attaque: Fatigue

Causes:

ET C1 Température basse de l'hydrogène liquide entrant

ET C2 Sous-système ne fonctionnant pas de manière continue

Etapas de libération:

Fuite ou rupture de l'évaporateur

Mesures:

Influence sur la source de causes

M1 Ancrage et flexibilité du sous-système

L'évaporateur doit être ancré et les tuyauteries connectées doivent être suffisamment flexibles pour compenser les effets d'expansion/contraction dûs au changement de température.

Réf. [24], [30].

Couche: Procédé

Type: Passives

3. Etapes de libération et mesures correspondantes

Fuite ou rupture de l'évaporateur

Libération

Description:

Détails:

D1 Dans la tuyauterie de sortie (M2)

Mesures:

M1 Détection hydrogène au niveau de l'évaporateur

Actions:

- donne l'alarme dans un local occupé en permanence à 25 % de la LIE
- ferme la vanne d'isolement de la sortie de l'évaporateur.

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Fiabilité

La calibration des têtes de mesures est reprise dans un programme d'entretien.

M2 Vanne d'isolement dans la tuyauterie de sortie

Activation:

- détection hydrogène
- arrêt d'urgence

Réf. [30]

Couche: Limitation des dommages

Type: Boucles de sécurité

Influence sur détail: Dans la tuyauterie de sortie

ANNEXE 2

Distances de sécurité

Tableau 1: NFPA 50 A : Distances minimales des systèmes d'hydrogène gazeux à l'air libre par rapport à des expositions [23]

| Type d'exposition extérieure | Stockage total d'hydrogène gazeux | | |
|---|--|---|--------------------------------|
| | Moins de 99 m ³ | de 99 m ³ à 425 m ³ | Supérieur à 425 m ³ |
| 1. Bâtiment ou structure | | | |
| (a) Mur(s) adjacent(s) au système construit(s) en matériau non combustible ou à moyennement combustible | | | |
| (1) Bâtiment ou structure sprinklé ou bâtiment ou structure non sprinklé ne contenant pas de matières combustibles | 0 ² | 1,5 ² | 1,5 ² |
| (2) Bâtiment ou structure non sprinklé contenant des matières combustibles | | | |
| Mur(s) adjacent(s) avec une résistance au feu de moins de 2 heures ¹ | 0 ³ | 3,1 | 7,6 ⁴ |
| Mur(s) adjacent(s) avec une résistance au feu supérieure à 2 heures ¹ | 0 | 1,5 | 1,5 |
| (b) Mur(s) adjacent(s) au système construit(s) en matériau autre que des matériaux non combustibles ou à moyennement combustibles | 3,1 | 7,6 | 15,2 ⁴ |
| 2. Ouvertures dans les murs | | | |
| (a) Pas au-dessus de tout point du système | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| (b) Au-dessus de tout point du système | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| 3. Toutes les classes de liquides inflammables et combustibles au-dessus du sol | | | |
| (a) 0 – 3.785 l | 3,1 | 7,6 | 7,6 |
| (b) au-dessus de 3.785 l | 7,6 | 15,2 | 15,2 |
| 4. Toutes les classes de liquides inflammables et combustibles en-dessous du niveau du sol, 0 - 3.785 l ⁵ | | | |
| (a) Réservoir | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| (b) Event ou ouverture de remplissage du réservoir | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| 5. Toutes les classes de liquides inflammables et combustibles en-dessous du niveau du sol, au-dessus de 3.785 l ⁵ | | | |
| (a) Réservoir | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| (b) Event ou ouverture de remplissage du réservoir | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| 6. Stockage de gaz inflammable (autre que de l'hydrogène), aussi bien basse que haute pression | | | |
| (a) capacité de 0 – 255 m ³ | 3,1 | 7,6 | 7,6 |
| (b) capacité supérieure à 255 m ³ | 7,6 | 15,2 | 15,2 |
| 7. Stockage d'oxygène | | | |
| (a) 566 m ³ ou moins | Voir NFPA 51, <i>Standard for the Design and Installation of Oxygen-Fuel Gas Systems for Welding, Cutting and Allied Processes</i> | | |
| (b) Plus de 566 m ³ | Voir NFPA 50, <i>Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumers sites</i> | | |

¹ A l'exception des portes et des fenêtres (voir point 2.)² Les portions de mur inférieures à 3 m (mesurés horizontalement) à partir de tout point du système devraient avoir une résistance au feu d'au moins ½ h³ Les portions de mur inférieures à 3 m (mesurés horizontalement) à partir de tout point du système devraient avoir une résistance au feu d'au moins 1 h⁴ Mais pas moins de la moitié de la hauteur du mur adjacent du bâtiment ou de la structure⁵ Les distances peuvent être réduites à 4,5 m pour les liquides combustibles de Classe IIIB (Point d'éclair > 93,4°C)

| Type d'exposition extérieure | Stockage total d'hydrogène gazeux | | |
|--|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| | Moins de 99 m ³ | de 99 m ³ à 425 m ³ | Supérieur à 425 m ³ |
| 8. Solides à combustion rapide, tels que papier | 15,2 | 15,2 | 15,2 |
| 9. Solides à combustion lente, tels que charbon | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| 10. Flamme nue et soudage | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| 11. Aspiration de compresseurs d'air ou entrées des équipements de ventilation ou de conditionnement d'air | 15,2 | 15,2 | 15,2 |
| 12. Lieux publics | 7,6 | 15,2 | 15,2 |
| 13. Chemins publics et véhicules garés | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| 14. Limite de la propriété adjacente | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Les distances aux points 1, 3 à 10 et 14 ne sont pas d'application là où des structures de protection ayant une résistance au feu d'au moins 2 h sont placées entre le système et l'exposition.

Ces distances doivent également être respectées pour les connexions de (dé)chargement.

Les systèmes d'hydrogène gazeux d'une capacité inférieure à 99 m³, lorsqu'ils sont situés dans un bâtiment et exposés à d'autres occupations, doivent être localisés dans le bâtiment de la manière suivante:

- (a) dans un environnement suffisamment ventilé;
- (b) à 6 m de toutes classes de liquides inflammables et combustibles, de gaz oxydants et de matériaux facilement combustibles, tels le papier;
- (c) à 7,6 m de toutes flammes nues, d'équipements électriques ordinaires ou d'autres sources d'ignition;
- (d) à 15 m des entrées des équipements de ventilation ou de conditionnement d'air et des compresseurs d'air;
- (e) à 15 m de tout autre stockage de gaz inflammable;
- (f) protégés contre les dommages dus à la chute d'objets ou aux activités de travail dans l'environnement.

Tableau 2 : NFPA 50 B : Distances minimales des systèmes d'hydrogène liquéfié par rapport à des expositions [24]

| Type d'exposition extérieure | Stockage total d'hydrogène liquide | | |
|--|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | 150 l à 13.250 l | 13.250 l à 56.775 l | 56.775 l à 283.875 l |
| 1. Bâtiment ou structure | | | |
| (a) Mur(s) adjacent(s) au système construit(s) en matériau non combustible ou à moyennement combustible | | | |
| (1) Bâtiment ou structure sprinklé ou bâtiment ou structure non sprinklé ne contenant pas de matières combustibles | 1,5 ⁷ | 1,5 ⁷ | 1,5 ⁷ |

⁶ A l'exception des portes et des fenêtres

| Type d'exposition extérieure | Stockage total d'hydrogène liquide | | |
|---|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | 150 l à 13.250 l | 13.250 l à 56.775 l | 56.775 l à 283.875 l |
| (2) Bâtiment ou structure non sprinklé contenant des matières combustibles | | | |
| Mur(s) adjacent(s) avec une résistance au feu de moins de 3 heures ⁶ | 7,60 | 15,2 | 22,9 |
| Mur(s) adjacent(s) avec une résistance au feu supérieure à 3 heures ⁶ | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| (b) Mur(s) adjacent(s) au système construit(s) en matériaux combustibles | | | |
| (1) Bâtiment ou structure sprinklé | 15,2 | 15,2 | 15,2 |
| (2) Bâtiment ou structure non sprinklé | 15,2 | 22,9 | 30,5 |
| 2. Ouvertures dans les murs | | | |
| (a) ouvrables | 22,9 | 22,9 | 22,9 |
| (b) non ouvrables | 7,6 | 15,2 | 15,2 |
| 3. Aspiration de compresseurs d'air ou entrées des équipements de ventilation ou de conditionnement d'air | 22,9 | 22,9 | 22,9 |
| 4. Toutes les classes de liquides inflammables et combustibles (au-dessus du sol et évent ou ouvertures de remplissage si en-dessous du niveau du sol) ⁸ | 15,2 | 22,9 | 30,5 |
| 5. Entre réservoirs stationnaires d'hydrogène liquéfié | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 6. Stockage de gaz inflammable, autre que de l'hydrogène | 15,2 | 22,9 | 22,9 |
| 7. Stockage d'oxygène liquide et autres oxydants | 22,9 | 22,9 | 22,9 |
| 8. Combustibles solides | 15,2 | 22,9 | 30,5 |
| 9. Flamme nue et soudage | 15,2 | 15,2 | 15,2 |
| 10. Lieux publics | 22,9 | 22,9 | 22,9 |
| 11. Chemins publics, voies ferrées et limites de propriété | 15,2 | 22,9 | 30,5 |
| 12. Entrées des égouts souterrains | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Les distances aux points 1, 4, 6, 7, 8 et 11 peuvent être réduites de 2/3, mais ne doivent pas être inférieures à 1,5 m, pour les portions isolées du système. Pour les portions non isolées du système, les distances peuvent être réduites en utilisant des structures de protection ayant une résistance au feu de minimum de 2 h.

Ces distances doivent également être respectées pour les connexions de (dé)chargement. La distance minimale entre ces connexions et des véhicules garés devrait être de 7,6 m.

Les réservoirs portables d'hydrogène liquide d'une capacité inférieure à 189 l, lorsqu'ils sont situés à l'intérieur d'un bâtiment, mais pas dans un local spécial et exposés à d'autres occupations, doivent être localisés dans le bâtiment de la manière suivante:

- (a) à 6 m de toutes classes de liquides inflammables et combustibles et de matériaux facilement combustibles, tels le papier;
- (b) à 7,6 m de toutes flammes nues, d'équipements électriques ordinaires ou d'autres sources d'ignition;

⁷ Les portions de mur inférieures à 3 m (mesurés horizontalement) à partir de tout point du système devraient avoir une résistance au feu d'au moins ½ h

⁸ Les distances peuvent être réduites à 4,6 m pour les liquides combustibles de Classe IIIB (Point d'éclair > 93,4°C)

- (c) à 15 m des entrées des équipements de ventilation ou de conditionnement d'air et des compresseurs d'air;
- (d) à 15 m de tout autre stockage de gaz inflammable ou du stockage de gaz oxydants;
- (e) protégés contre les dommages dus à la chute d'objets ou aux activités de travail dans l'environnement.

Tableau 3: NFPA 50 A : Emplacements préférés des systèmes d'hydrogène gazeux [23]

| Nature de l'emplacement | Taille du système d'hydrogène | | |
|--|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Moins de 99 m ³ | De 99 à 425 m ³ | Plus de 425 m ³ |
| A l'air libre | I | I | I |
| Dans un bâtiment séparé | II | II | II |
| Dans un local spécial | III | III | Pas permis |
| A l'intérieur d'un bâtiment, mais pas dans un local spécial ou exposé à d'autres occupations | IV | Pas permis | Pas permis |

I = emplacement préféré

Tableau 4: NFPA 50 B : Emplacements préférés des systèmes d'hydrogène liquide [24]

| Nature de l'emplacement | Taille du système d'hydrogène | | | |
|--|-------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | 150 à 190 l | 191 à 1.135 l | 1.135 à 2.271 l | Plus de 2.271 l |
| A l'air libre | I | I | I | I |
| Dans un bâtiment séparé | II | II | II | Pas permis |
| Dans un local spécial | III | III | Pas permis | Pas permis |
| A l'intérieur d'un bâtiment, mais pas dans un local spécial ou exposé à d'autres occupations | IV | Pas permis | Pas permis | Pas permis |

I = emplacement préféré

Tableau 5 : IGC DOC 15/96 : Distances minimales de sécurité recommandées pour les systèmes d'hydrogène gazeux [31]

| Type courant d'exposition à l'air libre | Distance (m) |
|---|--------------|
| 1. Flammes nues et autres sources d'ignition (inclus électriques) | 5 |
| 2. Limites du site et lieux où du public peut se rassembler tels que parking auto, cantines, etc. | 8 |
| 3. Bâtiments ou structures en bois | 8 |
| 4. Ouvertures dans les murs de bureaux, d'ateliers | 5 |
| 5. Stockage aérien en vrac de liquides inflammables et de LPG | 8 |
| 6. Stockage souterrain en vrac en liquides inflammables et de LPG | |
| - réservoir | 3 |
| - évent ou connexions | 5 |
| 7. Stockage de bouteilles de gaz inflammables, autres que l'hydrogène | 5 |

| | | |
|-----|--|---|
| 8. | Stockage d'oxygène gazeux (bouteilles) | 5 |
| 9. | Stockage d'oxygène liquide | 8 |
| 10. | Stockage de liquides cryogéniques non inflammables, par ex. argon, azote | 5 |
| 11. | Stocks de matériaux combustibles | 8 |

Ces distances peuvent être réduites si l'on utilise des murs de protection ayant une résistance au feu suffisante.

Ces distances doivent également être respectées pour les connexions de (dé)chargement, les sorties d'évent.

Si un équipement est installé dans un bâtiment, les distances par rapport à ces types d'exposition extérieures sont mesurées à partir des ouvertures, c'est-à-dire les portes, les fenêtres, etc.

Tableau 6 : EIGA DOC 06/02/E : Distances minimales de sécurité recommandées pour le stockage d'hydrogène liquide [30]

| Item | Distance (m) |
|--|--------------|
| 1. Murs avec une résistance au feu de 90 min | 2,5 |
| 2. Bâtiments techniques et inoccupés | 10 |
| 3. Bâtiments occupés | 20 |
| 4. Aspiration de compresseur d'air, d'air conditionné | 20 |
| 5. Tout combustible liquide | 10 |
| 6. Tout combustible solide | 10 |
| 7. Autre réservoir fixe de stockage d'H ₂ liquide | 1,5 |
| 8. Autre citerne d'H ₂ liquide | 3 |
| 9. Stockage d'oxygène liquide | 6 |
| 10. Stockage de gaz inflammable | 8 |
| 11. Flamme nue, fumer, soudage | 10 |
| 12. Lieu de rassemblement public | 20 |
| 13. Etablissements publics | 60 |
| 14. Routes, voies de chemin de fer, limites de propriétés | 10 |
| 15. Ligne aérienne de haute tension | 10 |

Ces distances peuvent être réduites si des protections supplémentaires (par ex. rideaux d'eau) sont placées entre l'installation d'hydrogène liquide et l'exposition. De telles protections peuvent être utilisées pour les items n° 2, 3, 5, 6, 10 et 14.

Ces distances doivent également être respectées pour les connexions de (dé)chargement, les sorties d'évent.

ANNEXE 3

Listes de vérification

| | |
|---|--|
| ENTREE – GENERALITES | |
| Contrôle d'accès | |
| Indication de l'interdiction de fumer, de flamme nue et de GSM | |
| Hydrants facilement reconnaissables (rouge) | |
| Hydrants protégés contre les dégâts mécaniques (circulation routière) | |
| Tuyauteries clairement identifiées (couleur) | |
| Les tuyauteries aériennes sont protégées contre les impacts de la circulation | |

| | |
|---|--|
| RESERVOIRS DE STOCKAGE D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ | |
| Présence d'extincteurs | |
| Présence éventuelle d'une installation de sprinklage | |
| Indication sur chaque réservoir: <ul style="list-style-type: none"> • du numéro du réservoir • du nom du liquide stocké • des symboles de danger • de la capacité de stockage | |
| Distance suffisante entre les réservoirs et les limites du terrain | |
| Protégé contre l'impact mécanique de la circulation routière | |
| Les soupapes de sécurité ne peuvent être isolées / avec système de cadenas | |
| Les soupapes de sécurité débouchent suffisamment haut et dans une direction sûre. | |
| Placement des détecteurs de gaz | |

| | |
|---|--|
| (DE)CHARGEMENT DE CAMIONS(WAGONS)-CITERNES D'HYDROGÈNE COMPRIMÉ | |
| Présence d'extincteurs | |
| Présence d'une installation de sprinklage | |
| Surveillance continue pendant le (dé)chargement | |
| Placement de détecteurs de gaz | |
| Présence de boutons d'arrêt d'urgence | |
| Présence de cales et barrière ou interlock sur le système de freins | |
| Présence d'une liaison équipotentielle avec interlock | |
| Revêtement de sol suffisamment conducteur (pas d'asphalte, résines époxy) | |
| Tuyaux flexibles en bon état | |
| Rangement approprié des flexibles | |

| STOCKAGE ET STATION DE REMPLISSAGE DE BOUTEILLES D'HYDROGÈNE | |
|--|--|
| Présence d'extincteurs | |
| Pas de bouteilles d'oxygène (ou autres oxydants forts) stockés avec celles d'hydrogène | |
| Signalisation de la zone de stockage de bouteilles d'hydrogène | |
| Contrôle de l'étanchéité des bouteilles (robinet et encolure) | |
| Hall de remplissage et de stockage suffisamment aéré | |
| Placement de détecteurs de gaz aux points hauts | |
| Présence de boutons d'arrêt d'urgence au remplissage | |

| RESERVOIRS CRYOGÉNIQUES D'HYDROGÈNE LIQUIDE | |
|---|--|
| Présence d'extincteurs | |
| Présence éventuelle d'une installation de sprinklage | |
| Indication sur chaque réservoir: <ul style="list-style-type: none"> • du numéro du réservoir • du nom du liquide stocké • des symboles de danger • de la capacité de stockage | |
| Distance suffisante entre les réservoirs et les limites du terrain | |
| Protégé contre l'impact mécanique de la circulation routière | |
| Les soupapes de sécurité ne peuvent être isolées / avec système de cadenas | |
| Les soupapes de sécurité débouchent suffisamment haut et dans une direction sûre. | |
| Placement des détecteurs de gaz | |
| Sol suffisamment en pente de manière à ne pas avoir d'accumulation de liquide en dessous des réservoirs | |
| Les égouts dans le voisinage des réservoirs sont pourvus de chambres de compensation. | |
| Présence de soupapes d'expansion thermique sur les tuyauteries pouvant être isolées | |
| Présence de gouttières sous les tuyauteries non isolées véhiculant de l'hydrogène liquide | |
| Sol en matériau incombustible sous les tuyauteries non isolées véhiculant de l'hydrogène liquide | |
| Présence de rince-yeux et de douches de secours | |

| | |
|---|--|
| (DE)CHARGEMENT DE CAMIONS(WAGONS)-CITERNES D'HYDROGÈNE LIQUIDE | |
| Présence d'extincteurs | |
| Présence d'une installation de sprinklage | |
| Surveillance continue pendant le (dé)chargement | |
| Placement de détecteurs de gaz | |
| Présence de boutons d'arrêt d'urgence | |
| Présence de cales et barrière ou d'interlock sur le système de freins | |
| Présence d'une liaison équipotentielle avec interlock | |
| Revêtement de sol suffisamment conducteur (pas d'asphalte, résines époxy) | |
| Tuyaux flexibles en bon état | |
| Rangement approprié des flexibles | |
| Ecoulement de fuite liquide de manière à ne pas s'accumuler en dessous du camion(wagon)-citerne | |
| Présence de soupapes d'expansion thermique sur les tuyauteries pouvant être isolées | |
| Présence de rince-yeux et de douches de secours | |