

**Conseil économique et social**

Distr. générale
4 octobre 2013
Français
Original: anglais

Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

**Forum mondial de l'harmonisation
des Règlements concernant les véhicules**

Groupe de travail de la sécurité passive

Cinquante-quatrième session

Genève, 17-20 décembre 2013

Point 20 de l'ordre du jour provisoire

**Proposition de nouveau Règlement sur les véhicules
à hydrogène et à pile à combustible****Projet de Règlement sur les véhicules à hydrogène
et à pile à combustible****Communication des experts de la Commission européenne
et de l'Organisation internationale des constructeurs d'automobiles***

Le texte reproduit ci-après, établi conjointement par les experts de la Commission européenne et de l'Organisation internationale des constructeurs d'automobiles (OICA), propose d'élaborer un nouveau Règlement annexé à l'Accord de 1958 qui s'inspire du Règlement technique mondial (RTM) sur les véhicules à hydrogène et à pile à combustible (ECE/TRANS/180/Add.13), adopté à la trente-huitième session du Comité exécutif de l'Accord de 1998 (WP.29/AC.3) (ECE/TRANS/WP.29/1104, par. 113). La numérotation des points des parties 1 et 2 de l'annexe 1 est alignée sur celle des annexes correspondantes du futur Règlement n° 0 sur l'homologation de type internationale du véhicule complet (IWVTA).

* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour la période 2010-2014 (ECE/TRANS/208, par. 106, et ECE/TRANS/2010/8, activité 02.4), le Forum mondial a pour mission d'élaborer, d'harmoniser et de mettre à jour les Règlements en vue d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis dans le cadre de ce mandat.



Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des véhicules automobiles et de leurs composants en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène

Table des matières

		<i>Page</i>
1.	Objet.....	4
2.	Définitions	4
3.	Demande d'homologation.....	7
4.	Homologation	7
5.	Partie I – Spécifications du système de stockage d'hydrogène comprimé.....	8
6.	Partie II – Spécifications des composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène comprimé	15
7.	Partie III – Spécifications d'un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé.....	16
8.	Partie IV – Spécifications du système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS)	20
9.	Partie V – Spécifications des composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS)	23
10.	Partie VI – Spécifications d'un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un LHSS.....	24
11.	Modification du type et extension de l'homologation.....	25
12.	Conformité de la production	26
13.	Sanctions pour non-conformité de la production	26
14.	Arrêt définitif de la production	26
15.	Noms et adresses des services techniques chargés des essais d'homologation et des autorités d'homologation de type.....	26
16.	Dispositions transitoires.....	27
 Annexes		
1.	Partie 1	
	Modèle I – Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un système de stockage d'hydrogène en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène.....	28
	Modèle II – Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un composant spécifique d'un système de stockage d'hydrogène en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène.....	30
	Modèle III – Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un véhicule en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène.....	32
	Partie 2	
	Communication	34

2.	Exemple de marque d'homologation	35
3.	Procédures d'essai pour le système de stockage d'hydrogène comprimé	36
4.	Procédures d'essai pour les composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène comprimé	46
	Appendice 1 – Vue d'ensemble des essais applicables aux TPRD.....	56
	Appendice 2 – Vue d'ensemble des essais applicables aux soupapes antiretour et des vannes d'arrêt automatiques	57
5.	Procédures d'essai pour un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé.....	58
6.	Procédures d'essai pour la qualification de la conception du système de stockage d'hydrogène liquéfié	64
7.	Procédures d'essai pour les composants spécifiques du LHSS.....	69
8.	Procédure d'essai pour un système d'alimentation du véhicule comportant un LHSS	72

1. Objet

Le présent Règlement est fondé sur le Règlement technique mondial n° 13. Il ne comporte toutefois aucune prescription relative à la sécurité électrique, dont il est déjà question dans les Règlements n^{os} 12, 94, 95 et 100.

Le présent Règlement s'applique aux:

- 1.1 Partie I – Systèmes de stockage d'hydrogène comprimé pour véhicules fonctionnant à l'hydrogène en ce qui concerne leurs prescriptions de sécurité.
- 1.2 Partie II – Composants spécifiques des systèmes de stockage d'hydrogène comprimé pour les véhicules fonctionnant à l'hydrogène en ce qui concerne leurs prescriptions de sécurité.
- 1.3 Partie III – Véhicules fonctionnant à l'hydrogène [catégorie M et N¹] comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé en ce qui concerne ses prescriptions de sécurité.
- 1.4 Partie IV – Systèmes de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS) pour véhicules fonctionnant à l'hydrogène en ce qui concerne leurs prescriptions de sécurité.
- 1.5 Partie V – Composants spécifiques des systèmes de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS) pour les véhicules fonctionnant à l'hydrogène en ce qui concerne leurs prescriptions de sécurité.
- 1.6 Partie VI – Véhicules fonctionnant à l'hydrogène [catégorie M et N¹] comportant un système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS) en ce qui concerne ses prescriptions de sécurité.

2. Définitions

Aux fins du présent Règlement, on entend par:

- 2.1 «*Disque de rupture*», la partie fonctionnelle d'un dispositif de décompression, non refermable qui, lorsqu'elle est montée dans le dispositif, est conçue pour éclater à une valeur de pression prédéterminée pour évacuer l'hydrogène comprimé.
- 2.2 «*Soupape antiretour*», une soupape qui empêche l'écoulement de l'hydrogène vers l'amont dans la tuyauterie d'alimentation en carburant du véhicule.
- 2.3 «*Système de stockage d'hydrogène comprimé (CHSS)*», un système conçu pour stocker du carburant hydrogène pour un véhicule fonctionnant à l'hydrogène et constitué d'un réservoir pressurisé, de dispositifs de décompression et d'un ou plusieurs dispositif(s) d'arrêt qui isolent l'hydrogène stocké du reste du système d'alimentation en carburant et de son environnement.

¹ Telles qu'elles sont définies dans la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3) document TRANS/WP.29/78/Rev.2, par. 2 – www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html.

- 2.4 «*Réservoir*» (de stockage d'hydrogène), le composant du système de stockage d'hydrogène contenant le volume primaire d'hydrogène carburant.
- 2.5 «*Date de retrait du service*» la date (mois et année) spécifiée pour le retrait du service.
- 2.6 «*Date de fabrication*» (d'un réservoir à hydrogène comprimé), la date (mois et année) de l'essai de pression d'épreuve exécuté lors de la fabrication.
- 2.7 «*Espaces fermés ou semi-fermés*», les volumes individuels à l'intérieur du véhicule (ou du contour du véhicule traversant des ouvertures) qui sont extérieurs au système hydrogène (système de stockage, système de pile à combustible et système de gestion du débit) et de ses enveloppes (si elles existent) où l'hydrogène peut s'accumuler (avec le danger qui en résulte), comme cela peut se produire dans l'habitacle, le compartiment à bagages et l'espace situé sous le capot.
- 2.8 «*Point d'évacuation des gaz*», le centre géométrique de la zone où le gaz de purge de la pile à combustible est évacué du véhicule.
- 2.9 «*Système de pile à combustible*», un système comprenant les empilages d'éléments de la pile, le système de traitement de l'air, le système de commande du débit de carburant, le système d'évacuation des gaz, le système de gestion thermique et le système de gestion de l'eau.
- 2.10 «*Embout de remplissage*», l'accessoire par lequel la buse de ravitaillement de la station est raccordée au véhicule et par lequel le carburant est transféré dans le véhicule. L'embout de remplissage est utilisé comme alternative à un raccord de remplissage.
- 2.11 «*Concentration d'hydrogène*», le pourcentage de moles (ou de molécules) d'hydrogène dans le mélange d'hydrogène et d'air (équivalent au volume partiel d'hydrogène gazeux).
- 2.12 «*Véhicule fonctionnant à l'hydrogène*», tout véhicule automobile qui utilise comme moyen de propulsion de l'hydrogène gazeux comprimé ou de l'hydrogène liquéfié, y compris les véhicules à pile à combustible et à moteur à combustion interne. L'hydrogène servant de carburant à des véhicules de transport de personnes est défini dans les normes ISO 14687-2 et SAE J2719.
- 2.13 «*Compartiment à bagages*», l'espace réservé aux bagages et/ou aux marchandises dans le véhicule, délimité par le toit, le capot, le plancher, les parois latérales et séparé de l'habitacle par la cloison avant ou la cloison arrière.
- 2.14 «*Système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS)*», le ou les réservoir(s) de stockage d'hydrogène liquéfié, les dispositifs de décompression (PRD), la vanne d'arrêt, le système de gestion de l'évaporation et les tuyauteries de raccordement (le cas échéant) ainsi que les raccords entre les composants précités.
- 2.15 «*Constructeur*», la personne ou l'organe responsable devant l'autorité d'homologation de tous les aspects de l'homologation de type et du respect de la conformité de la production. Cette personne ou cet organe ne doit pas nécessairement participer directement à toutes les étapes de la construction du véhicule, du système, de l'élément ou de l'unité technique soumis à l'homologation.

- 2.16 «*Pression de service maximale admissible (PSMA)*», la plus haute pression manométrique à laquelle un réservoir sous pression ou un système de stockage est autorisé à fonctionner en conditions d'utilisation normales.
- 2.17 «*Pression maximale de remplissage (PMR)*», la pression maximale appliquée à un système comprimé au cours du remplissage. La pression maximale de remplissage est de 125 % de la pression de service nominale.
- 2.18 «*Pression de service nominale (PSN)*», la pression manométrique qui caractérise les conditions d'utilisation typiques d'un système. Pour les réservoirs à hydrogène gazeux comprimé, la PSN est la pression stabilisée du gaz comprimé dans le réservoir ou système de stockage complètement rempli à une température uniforme de 15 °C.
- 2.19 «*Dispositif de décompression (PRD)*», un dispositif qui, lorsqu'il est actionné dans des conditions de fonctionnement spécifiées, laisse s'échapper l'hydrogène d'un système sous pression et évite ainsi une défaillance du système.
- 2.20 «*Rupture*» ou «*éclatement*», les deux termes qui s'appliquent lorsqu'une enveloppe se dissocie, s'ouvre ou se rompt en pièces soudainement et violemment sous la force de la pression interne.
- 2.21 «*Soupape de surpression*», un dispositif de décompression qui s'ouvre à une pression prédéterminée et qui peut se refermer.
- 2.22 «*Durée de vie en service*» (d'un réservoir d'hydrogène comprimé) indique la période de temps pendant laquelle le service (l'utilisation) est autorisé(e).
- 2.23 «*Vanne d'arrêt*», une vanne située entre le réservoir de stockage et le système d'alimentation en carburant du véhicule, qui peut être actionnée automatiquement; cette vanne doit par défaut revenir en position «fermée» lorsqu'elle n'est pas alimentée par une source électrique.
- 2.24 «*Défaillance simple*», une défaillance causée par un seul événement, y compris toute défaillance ultérieure résultant de cette défaillance.
- 2.25 «*Dispositif de décompression actionné par la chaleur (TPRD)*», un dispositif de décompression non refermable, actionné par la température, qui s'ouvre pour évacuer l'hydrogène gazeux.
- 2.26 «*Type de système de stockage d'hydrogène*», un assemblage de composants qui ne présentent pas entre eux de différences essentielles quant aux points suivants:
- a) La marque de fabrique ou de commerce du constructeur;
 - b) L'état du carburant hydrogène stocké: gaz comprimé ou liquéfié;
 - c) La pression de service nominale (PSN);
 - d) La structure, le matériau, la contenance et les dimensions du réservoir; et
 - e) La structure, le matériau et les caractéristiques essentielles des TPRD, des soupapes antiretour et des vannes d'arrêt, le cas échéant.
- 2.27 «*Type de composant spécifique du système de stockage d'hydrogène*», un composant ou un assemblage de composants qui ne présentent pas entre eux de différences essentielles quant aux points suivants:
- a) La marque de fabrique ou de commerce du constructeur;

- b) L'état du carburant hydrogène stocké: gaz comprimé ou liquéfié;
 - c) La nature du composant: (T)PRD, soupape antiretour ou vannes d'arrêt; et
 - d) La structure, le matériau et les caractéristiques essentielles.
- 2.28 «*Type de véhicule*», en ce qui concerne la sécurité liée à la mise en œuvre de l'hydrogène, des véhicules qui ne présentent pas entre eux de différences essentielles quant aux points suivants:
- a) La marque de fabrique ou de commerce du constructeur; et
 - b) La configuration de base et les principales caractéristiques du système d'alimentation en carburant du véhicule.
- 2.29 «*Système d'alimentation en carburant*», un ensemble de composants utilisés pour stocker et fournir le carburant hydrogène à une pile à combustible ou à un moteur à combustion interne.

3. Demande d'homologation

- 3.1 La demande d'homologation d'un type de véhicule ou de composant en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène doit être présentée par le constructeur du véhicule ou son représentant dûment accrédité.
- 3.2 Elle est doit être accompagnée des documents ci-après et inclure notamment:
- 3.2.1 Une description du type du véhicule ou du composant en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène;
- 3.3 La soumission au service technique chargé des essais d'homologation d'un nombre suffisant de véhicules et/ou de composants représentatifs du type à homologuer.

4. Homologation

- 4.1 Si le type de véhicule ou de composant présenté à l'homologation conformément au présent Règlement satisfait aux dispositions de la partie pertinente de ce Règlement, l'homologation doit être accordée à ce type de véhicule, de système ou de composant.
- 4.2 Chaque type homologué doit recevoir un numéro d'homologation, dont les deux premiers chiffres (dans le cas présent 00 pour le Règlement sous sa forme initiale) doivent indiquer la série d'amendements correspondant aux modifications techniques essentielles les plus récentes apportées au Règlement à la date de délivrance de l'homologation. Une même Partie contractante ne peut pas attribuer le même numéro à un autre type de véhicule ou de composant.
- 4.3 L'homologation, l'extension, le refus ou le retrait d'une homologation doit être notifié aux Parties contractantes à l'Accord de 1958 qui appliquent le présent Règlement au moyen d'une fiche conforme au modèle visé à la deuxième partie de l'annexe 1. Les photographies et/ou les plans soumis par le demandeur de l'homologation ne doivent pas dépasser le format A4 (210 x 297 mm), à moins d'être plié à ce format, et à une échelle appropriée.

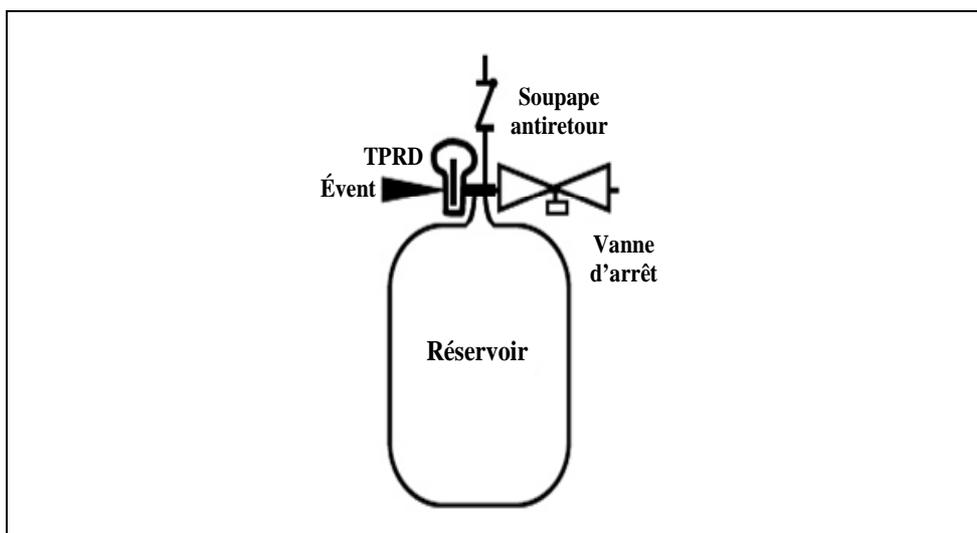
- 4.4 Sur tout véhicule ou composant conforme à un type homologué en application du présent Règlement, il faut apposer de manière visible, en un endroit facilement accessible et indiqué sur la fiche d'homologation, une marque d'homologation internationale en conformité avec l'annexe 2 et composée:
- 4.4.1 D'un cercle à l'intérieur duquel est placée la lettre «E», suivie du numéro distinctif du pays qui a délivré l'homologation;
- 4.4.2 Du numéro du présent Règlement, suivi de la lettre «R», d'un tiret et du numéro d'homologation, placé à droite du cercle prévu au paragraphe 4.4.1.
- 4.5 Si le véhicule est conforme à un type de véhicule homologué en application d'un ou de plusieurs autres Règlements joints en annexe à l'Accord, dans le pays qui a accordé l'homologation en application du présent Règlement, il n'est pas nécessaire de répéter le symbole prescrit au paragraphe 4.4.1; en pareil cas, les numéros de Règlement et d'homologation et les symboles additionnels doivent être placés l'un au-dessous de l'autre à droite du symbole prescrit au paragraphe 4.4.1 ci-dessus.
- 4.6 La marque d'homologation doit être nettement lisible et indélébile:
- 4.6.1 Dans le cas d'un véhicule, la marque d'homologation doit être placée sur la plaque signalétique du véhicule ou juste à côté d'elle.
- 4.6.2 Dans le cas d'un système de stockage d'hydrogène, la marque d'homologation doit être placée sur le réservoir ou juste à côté de lui.

5. Partie I – Spécifications du système de stockage d'hydrogène comprimé

La présente partie contient les prescriptions applicables au système de stockage de l'hydrogène comprimé. Ce système se compose d'un réservoir haute pression dont les orifices sont obturés par des dispositifs de fermeture primaires. La figure 1 représente un système de stockage de l'hydrogène comprimé d'un modèle courant, qui se compose d'un réservoir sous pression, de trois dispositifs de fermeture et de leurs raccords. Les dispositifs de fermeture doivent comporter les éléments suivants, qui peuvent être combinés:

- a) Un TPRD;
- b) Une soupape antiretour qui empêche l'hydrogène de remonter dans la conduite de remplissage; et
- c) Une vanne d'arrêt qui se ferme automatiquement pour empêcher tout écoulement du réservoir vers la pile à combustible ou le moteur à combustion interne. La vanne d'arrêt ainsi que le dispositif de décompression qui constitue le dispositif de fermeture primaire du réservoir doivent être montés directement sur ou à l'intérieur de ce réservoir. En outre, au moins une soupape antiretour doit être montée directement sur ou à l'intérieur de chaque réservoir.

Figure 1
Système de stockage de l'hydrogène comprimé d'un modèle courant



Tous les nouveaux systèmes de stockage de l'hydrogène comprimé fabriqués pour des véhicules d'usage routier doivent avoir une PSN inférieure ou égale à 70 MPa et une durée de vie en service maximale de 15 ans et être capables de satisfaire aux prescriptions du paragraphe 5.

Les systèmes de stockage de l'hydrogène doivent satisfaire aux prescriptions fonctionnelles énoncées dans le présent paragraphe. Pour être qualifiés pour une utilisation routière normale, ils doivent être soumis aux essais suivants:

- 5.1 Essai de vérification des caractéristiques mesurées de référence
- 5.2 Essai de vérification de la durabilité des caractéristiques (essais hydrauliques en séquence)
- 5.3 Essai de vérification des caractéristiques attendues des systèmes en utilisation sur route (essais pneumatiques en séquence)
- 5.4 Essai de vérification de la résistance au feu (conditions de retrait du service)
- 5.5 Essai de vérification de la durabilité des caractéristiques des dispositifs de fermeture primaires.

Les essais particuliers correspondant à ces prescriptions fonctionnelles sont résumés dans le tableau 1. Les procédures d'essai correspondantes sont définies à l'annexe 3.

Tableau 1
Vue d'ensemble des prescriptions fonctionnelles

5.1	Essai de vérification des caractéristiques mesurées de référence
5.1.1	Pression d'éclatement initiale de référence
5.1.2	Nombre de cycles de pression initiale de référence
5.2	Essai de vérification de la durabilité des caractéristiques (essais hydrauliques en séquence)
5.2.1	Essai de pression d'épreuve
5.2.2	Essai de chute (choc)
5.2.3	Dégâts en surface
5.2.4	Essais d'exposition aux agents chimiques et aux cycles de pression à température ambiante
5.2.5	Essai de pression statique à haute température
5.2.6	Cycles de pression aux températures extrêmes
5.2.7	Essai de pression résiduelle
5.2.8	Essai de résistance résiduelle à l'éclatement
5.3	Essai de vérification des caractéristiques attendues pour une utilisation sur route (essais pneumatiques en séquence)
5.3.1	Essai de pression d'épreuve
5.3.2	Cycles de pression à température ambiante et aux températures extrêmes (essais pneumatiques)
5.3.3	Essais de fuite/perméation sous une pression statique, aux températures extrêmes (essais pneumatiques)
5.3.4	Essai de pression résiduelle
5.3.5	Essai de résistance résiduelle à l'éclatement (essai hydraulique)
5.4	Essai de vérification de la résistance au feu (conditions de retrait du service)
5.5	Essai de vérification de la durabilité des dispositifs de fermeture

5.1 Essai de vérification des caractéristiques mesurées de référence

5.1.1 Pression d'éclatement initiale de référence

Trois (3) réservoirs doivent être soumis à une pression hydraulique jusqu'à éclatement. Le constructeur doit fournir la documentation nécessaire (mesures et analyses statistiques) permettant d'établir la pression médiane d'éclatement des réservoirs neufs (BP_0).

Tous les réservoirs éprouvés doivent avoir une pression d'éclatement qui ne s'écarte pas de plus de $\pm 10\%$ de la BP_0 et qui soit supérieure ou égale à une valeur minimale BP_{min} de 225 % de la PSN.

En outre, les réservoirs dont le constituant primaire est un composite de fibre de verre doivent avoir une pression minimale d'éclatement supérieure à 350 % de la PSN.

5.1.2 Nombre de cycles de pression initiale de référence

Trois (3) réservoirs doivent être soumis à des cycles de pression hydraulique, à une température de $20 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) sans subir de rupture pendant 22 000 cycles ou jusqu'à l'apparition d'une fuite. Ils ne doivent pas présenter de fuite avant 11 000 cycles pour une durée de vie en service de 15 ans.

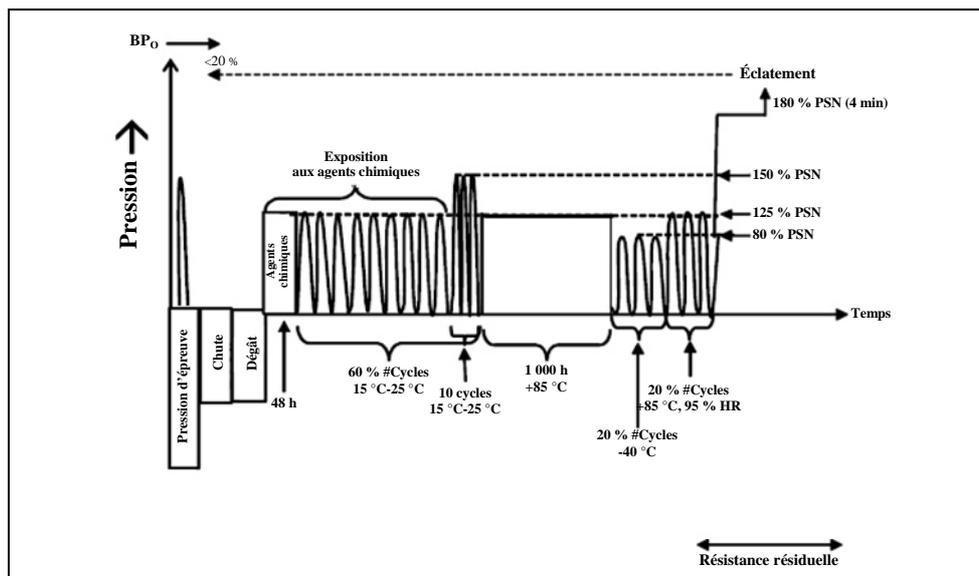
5.2 Essais de vérification de la durabilité des caractéristiques (essais hydrauliques en séquence)

Si les trois (3) réservoirs mentionnés au paragraphe 5.1.2 ont subi chacun un nombre de cycles supérieur à 11 000 ou compris dans une fourchette de 25 % les uns par rapport aux autres, un seul (1) réservoir est soumis aux essais du présent paragraphe. Dans le cas contraire, trois (3) réservoirs sont soumis aux essais du présent paragraphe.

Les réservoirs ne doivent présenter aucune fuite pendant les essais décrits ci-dessous, qui sont appliqués en séquence au même réservoir, comme le montre la figure 2. Les procédures d'essai applicables au système de stockage d'hydrogène sont définies en détail au paragraphe 3 de l'annexe 3.

Figure 2

Essai de vérification de la durabilité des caractéristiques (essais hydrauliques)



5.2.1 Essais de pression d'épreuve

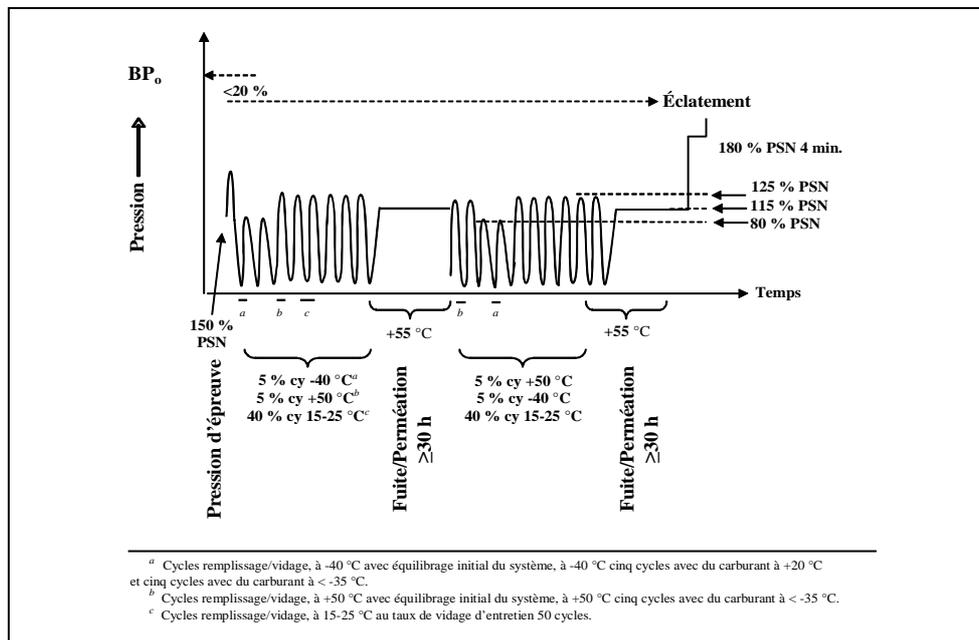
Un réservoir est soumis à une pression égale à 150 % de la PSN (+2/-0 MPa) et maintenue pendant 30 s (voir procédure d'essai au paragraphe 3.1 de l'annexe 3).

5.2.2 Essai de chute (choc)

Le réservoir est soumis à des chutes selon plusieurs angles de choc (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.2 de l'annexe 3).

- 5.2.3 Essai de dégâts en surface
Le réservoir est soumis à un essai d'endommagement de sa surface (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.3 de l'annexe 3).
- 5.2.4 Exposition aux agents chimiques et essai de cycles de pression à température ambiante
Le réservoir exposé aux agents chimiques de l'environnement routier est soumis à une pression égale à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) à une température de 20 (±5) °C pendant 60 % des cycles prévus (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.4 de l'annexe 3). L'exposition aux agents chimiques est suspendue pendant les 10 derniers cycles, pendant lesquels la pression est portée à 150 % de la PSN (+2/-0 MPa).
- 5.2.5 Essai de pression statique à haute température
Le réservoir est soumis à une pression de 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) à une température ≥ 85 °C pendant au moins 1 000 h (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.5 de l'annexe 3).
- 5.2.6 Cycles de pression aux températures extrêmes
Le réservoir est soumis à des cycles de pression, à une température ≤ -40 °C, à une pression égale à 80 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 20 % du nombre de cycles prévu, puis à une température $\geq +85$ °C et une humidité relative de 95 (±2) %, à une pression égale à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 20 % du nombre de cycles (voir la procédure d'essai au paragraphe 2.2 de l'annexe 3).
- 5.2.7 Essai de pression résiduelle hydraulique
Le réservoir est soumis à une pression égale à 180 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 4 min sans éclatement (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.1 de l'annexe 3).
- 5.2.8 Essai de résistance résiduelle à l'éclatement
Le réservoir est soumis à une pression hydraulique afin de vérifier que sa pression d'éclatement est d'au moins 80 % de la pression d'éclatement initiale de référence (BP₀) définie au paragraphe 5.1.1 (voir la procédure d'essai au paragraphe 2.1 de l'annexe 3).
- 5.3 Essai de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route (essais pneumatiques en séquence)
Le système de stockage de l'hydrogène ne doit pas présenter de fuite pendant les divers essais prescrits dans la figure 3 ci-dessous. On trouvera les détails des procédures applicables à l'annexe 3.

Figure 3
Essai de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route
(essais pneumatiques/hydrauliques)



5.3.1 Essai de pression d'épreuve

Le réservoir est pressurisé à 150 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant au moins 30 s (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.1). Un réservoir qui a déjà subi un essai de pression d'épreuve en usine peut être exempté de cet essai.

5.3.2 Essai de cycles de pression à température ambiante et aux températures extrêmes

Le système est soumis à 500 cycles de pression avec de l'hydrogène gazeux (voir la procédure d'essai au paragraphe 4.1 de l'annexe 3):

- Les cycles de pression sont divisés en deux séries: la moitié des cycles (250) sont effectués avant que le réservoir ne soit soumis à une pression statique (par. 5.3.3), et l'autre moitié après que le réservoir ait été soumis pour la première fois à la pression statique (par. 5.3.3), comme le montre la figure 3;
- Dans la première série de cycles, les 25 premiers cycles sont effectués à une pression égale à 80 % de la PSN (+2/-0 MPa) et à une température ≤ -40 °C, les 25 cycles suivants à une pression égale à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) et à une température $\geq +50$ °C avec une humidité relative de 95 %, et les 200 cycles restants à une pression de 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) et à une température de 20 (± 5) °C;

Dans la seconde série de cycles, les 25 premiers cycles sont effectués à une pression égale à 125 % de la PSN et à une température $\geq +50$ °C avec une humidité relative de 95 (± 2) %, les 25 cycles suivants à une pression égale à 80 % de la PSN et à une température ≤ -40 °C, et les 200 cycles restants à une pression égale à 125 % de la PSN et à une température de 20 (± 5) °C;

- c) La température de l'hydrogène gazeux est ≤ -40 °C;
 - d) Sur les 250 cycles de la première série, cinq cycles sont effectués alors que le carburant est à une température de $+20 (\pm 5)$ °C après que le système ait trouvé sa température d'équilibre à ≤ -40 °C, cinq cycles alors que le carburant est à une température ≤ -40 °C, et cinq cycles alors que le carburant est à une température ≤ -40 °C après que le système ait trouvé sa température d'équilibre à $\geq +50$ °C, avec 95 % d'humidité relative;
 - e) Cinquante cycles sont effectués à une vitesse de vidage égale ou supérieure à la vitesse de vidage lors de l'entretien.
- 5.3.3 Essai de fuite/perméation sous pression statique aux températures extrêmes
- a) Cet essai est effectué après chacune des deux séries de 250 cycles décrites au paragraphe 5.3.2;
 - b) La quantité maximale admissible d'hydrogène s'échappant du système de stockage de l'hydrogène comprimé est de 46 ml/hr/l de contenance en eau du système (voir la procédure d'essai au paragraphe 4.2 de l'annexe 3);
 - c) Si le taux de perméation mesuré est supérieur à 0,005 mg/s (3,6 Nml/min), un essai de fuite localisé est effectué afin de s'assurer qu'en aucun point la fuite ne dépasse 0,005 mg/sec (3,6 Nml/min) (voir la procédure d'essai au paragraphe 4.3 de l'annexe 3).
- 5.3.4 Pression d'épreuve résiduelle (essai hydraulique)
- Le réservoir est soumis à une pression de 180 % de la PSN ($+2/-0$ MPa) pendant 4 min sans éclatement (voir la procédure d'essai au paragraphe 3.1 de l'annexe 3).
- 5.3.5 Essai (hydraulique) de résistance résiduelle à l'éclatement
- On soumet le réservoir à une pression hydraulique pour s'assurer que sa pression d'éclatement ne diffère pas de plus de 20 % de la pression d'éclatement de référence définie au paragraphe 5.1.1 (voir la procédure d'essai au paragraphe 2.1 de l'annexe 3).
- 5.4 Essai de vérification de la résistance au feu (conditions de retrait du service)
- La présente section décrit l'essai de résistance au feu effectué avec de l'hydrogène comprimé, mais il est également possible d'utiliser de l'air comprimé à la place de l'hydrogène comprimé.
- Pour l'essai, un réservoir à hydrogène est soumis à une pression égale à la PSN et exposé au feu (voir la procédure d'essai au paragraphe 5.1 de l'annexe 3). Un dispositif de décompression actionné par la chaleur doit évacuer les gaz contenus dans le réservoir de manière contrôlée sans rupture.

5.5 Prescriptions applicables aux dispositifs de fermeture primaires

Les dispositifs de fermeture des réservoirs d'hydrogène à haute pression (les dispositifs de décompression actionnés par la chaleur, les soupapes antiretour et les vannes d'arrêt tels qu'ils sont représentés à la figure 1) doivent être conformes à l'une des prescriptions suivantes:

- a) Les dispositifs de fermeture doivent être éprouvés et homologués conformément à la deuxième partie du présent Règlement et produits de manière à être conformes au type homologué, [ou
- b) Le constructeur du système de stockage d'hydrogène comprimé doit démontrer que les dispositifs de fermeture primaires sont conformes aux prescriptions de la deuxième partie du présent Règlement.]

Il n'est pas nécessaire de soumettre le système de stockage à un nouvel essai s'il comporte d'autres dispositifs de fermeture dont les fonctions, les raccords, le matériau, la résistance et les dimensions sont comparables et qui remplissent la [une des] condition[s] ci-dessus. Cependant, toute modification physique d'un dispositif de décompression actionné par la chaleur, de son emplacement ou de ses conduits d'évacuation nécessite une requalification conformément au paragraphe 5.4.

5.6 Étiquetage

Une étiquette doit être fixée de façon permanente sur chaque réservoir et contenir au moins les renseignements suivants: nom du constructeur, numéro de série, date de la fabrication, PSN, type de carburant («CHG» pour l'hydrogène gazeux ou «LH2» pour l'hydrogène liquide) et date de retrait du service. Le nombre de cycles effectués lors de l'essai défini au paragraphe 5.1.2 doit aussi figurer sur chaque réservoir. Les étiquettes apposées sur le réservoir conformément au présent paragraphe doivent rester en place et être lisibles pendant la durée de service recommandée par le constructeur.

La date de retrait du service ne doit pas être fixée au-delà de 15 ans après la date de fabrication.

6. **Partie II – Spécifications des composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène comprimé**

6.1 Prescriptions applicables aux dispositifs de décompression actionnés par la chaleur (TPRD)

Les TPRD doivent satisfaire aux prescriptions fonctionnelles suivantes:

- a) Cycles de pression (par. 1.1 de l'annexe 4);
- c) Essai accéléré de durée de vie (par. 1.2 de l'annexe 4);
- d) Essai de cycles de température (par. 1.3 de l'annexe 4);
- e) Essai de résistance à la corrosion par le sel (par. 1.4 de l'annexe 4);
- f) Essai d'exposition aux agents chimiques de l'environnement automobile (par. 1.5 de l'annexe 4);
- g) Essai de fissuration par corrosion sous tension (par. 1.6 de l'annexe 4);
- h) Essai de chute et de vibration (par. 1.7 de l'annexe 4);

- i) Essai d'étanchéité (par. 1.8 de l'annexe 4);
 - j) Essai d'actionnement au banc (par. 1.9 de l'annexe 4);
 - k) Essai de débit (par. 1.10 de l'annexe 4).
- 6.2 Prescriptions applicables aux soupapes antiretour et aux vannes d'arrêt automatiques
- Les soupapes antiretour et les vannes d'arrêt doivent satisfaire aux prescriptions suivantes:
- a) Essai de résistance hydrostatique (par. 2.1 de l'annexe 4);
 - b) Essai d'étanchéité (par. 2.2 de l'annexe 4);
 - c) Cycles de pression aux températures extrêmes (par. 2.3 de l'annexe 4);
 - d) Essai de résistance à la corrosion par le sel (par. 2.4 de l'annexe 4);
 - e) Essai d'exposition aux agents chimiques de l'environnement automobile (par. 2.5 de l'annexe 4);
 - f) Essai d'exposition aux agents atmosphériques (par. 2.6 de l'annexe 4);
 - g) Essais électriques (par. 2.7 de l'annexe 4);
 - h) Essai de vibrations (par. 2.8 de l'annexe 4);
 - i) Essai de fissuration par corrosion sous tension (par. 2.9 de l'annexe 4);
 - j) Essai d'exposition à l'hydrogène prérefroidi (par. 2.10 de l'annexe 4).

7. **Partie III – Spécifications d'un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé**

Cette partie définit les prescriptions applicables au système d'alimentation en carburant du véhicule, qui inclut le système de stockage d'hydrogène comprimé, les canalisations, les joints et tous les autres composants en contact avec l'hydrogène.

- 7.1 Prescriptions applicables au système d'alimentation en carburant en utilisation normale
 - 7.1.1 Embout de remplissage
 - 7.1.1.1 Un embout de remplissage de l'hydrogène comprimé empêche qu'il ne s'échappe dans l'atmosphère. Sa vérification se fait de façon visuelle.
 - 7.1.1.2 Étiquette de l'embout de remplissage: une étiquette doit être apposée à proximité de l'embout de remplissage, par exemple au revers d'une trappe, et donner les renseignements suivants: nature du carburant («CHG» pour l'hydrogène gazeux ou «LH2» pour l'hydrogène liquide), PSN et date de retrait du service des réservoirs.
 - 7.1.1.3 L'embout de remplissage doit être monté sur le véhicule de façon à assurer un verrouillage par enclenchement de la buse de ravitaillement. L'embout doit être protégé contre toute manipulation non autorisée et toute entrée de poussières ou d'eau (il doit par exemple être placé dans un compartiment qui peut être verrouillé). La vérification se fait par contrôle visuel.

- 7.1.1.4 L'embout de remplissage ne doit pas être monté sur des éléments destinés à absorber l'énergie extérieure d'un choc (par exemple les pare-chocs), ni dans l'habitacle ou le coffre à bagages ou tout autre endroit où la ventilation est insuffisante et où l'hydrogène gazeux pourrait s'accumuler. La vérification se fait par contrôle visuel.
- 7.1.2 Protection contre la surpression du système basse pression (voir la procédure d'essai au paragraphe 6 de l'annexe 5)
- La partie basse pression du système en aval d'un détendeur doit être protégée contre toute surpression due à une défaillance éventuelle de ce détendeur. La pression à laquelle le dispositif de protection contre la surpression s'actionne doit être inférieure ou égale à la pression de travail maximale admissible de la partie concernée du système.
- 7.1.3 Systèmes d'évacuation de l'hydrogène
- 7.1.3.1 Dispositifs de décompression (voir la procédure d'essai au paragraphe 6 de l'annexe 5):
- a) Dispositifs de décompression actionnés par la chaleur montés sur le système de stockage. S'il existe un évent pour l'évacuation de l'hydrogène libéré par ces dispositifs, son orifice de sortie doit être protégé par un couvercle;
 - b) Dispositifs de décompression actionnés par la chaleur montés sur le système de stockage. Si de l'hydrogène gazeux s'échappe d'un ou de plusieurs de ces dispositifs, le flux ne doit pas être envoyé:
 - i) Dans des espaces fermés ou semi-fermés;
 - ii) Dans ou en direction d'un passage de roue;
 - iii) Vers des réservoirs d'hydrogène gazeux;
 - iv) En avant du véhicule, ou à l'horizontale (parallèlement au sol) depuis l'arrière ou les côtés du véhicule;
 - c) D'autres dispositifs de décompression (par exemple un disque de rupture) peuvent être montés en dehors du système de stockage d'hydrogène. L'hydrogène gazeux libéré par ces autres dispositifs ne doit pas être envoyé:
 - i) Vers des bornes électriques de raccordement exposées ou des interrupteurs électriques exposés ou encore toute autre source d'inflammation;
 - ii) Dans ou en direction de l'habitacle du véhicule ou du compartiment de chargement;
 - iii) Dans ou en direction d'un passage de roue;
 - iv) Vers des réservoirs d'hydrogène gazeux.

- 7.1.3.2 Système d'échappement du véhicule (voir la procédure d'essai au paragraphe 4 de l'annexe 5)
- À la sortie du système d'échappement du véhicule, la teneur en hydrogène des gaz d'échappement:
- a) Ne doit pas dépasser 4 % (en volume) en moyenne mobile sur une fenêtre de 3 s en fonctionnement normal, y compris les phases de démarrage et d'arrêt du moteur;
 - b) Ne doit dépasser 8 % à aucun moment (voir la procédure d'essai au paragraphe 4 de l'annexe 5).
- 7.1.4 Protection contre le risque d'incendie: cas d'une défaillance simple
- 7.1.4.1 En cas de fuite/perméation dans le système de stockage, l'hydrogène ne doit s'échapper directement ni dans l'habitacle, ni dans le compartiment à bagages, ni dans le compartiment de chargement, ni dans aucun espace fermé ou semi-fermé à l'intérieur du véhicule contenant une source d'inflammation non protégée.
- 7.1.4.2 Une défaillance simple survenant en aval de la vanne d'arrêt principale ne doit pas entraîner une accumulation d'hydrogène dans l'habitacle à des concentrations correspondant à la procédure d'essai du paragraphe 3.2 de l'annexe 5.
- 7.1.4.3 Si, pendant le fonctionnement, une défaillance simple se traduit par une concentration d'hydrogène dans l'air dépassant 3,0 % en volume dans les espaces fermés ou semi-fermés du véhicule, un signal d'alarme doit s'actionner (voir par. 7.1.6). Si la concentration dépasse 4,0 %, la vanne d'arrêt principale doit se fermer pour isoler le réservoir (voir la procédure d'essai au paragraphe 3 de l'annexe 5).
- 7.1.5 Fuite du système d'alimentation en carburant
- Les tuyauteries d'alimentation en hydrogène et les autres parties du circuit situées en aval de la ou des vanne(s) d'arrêt principale(s) vers le système de pile à combustible ou le moteur ne doivent pas présenter de fuite. Les essais de vérification doivent être effectués à la pression de service nominale (voir la procédure d'essai au paragraphe 5 de l'annexe 5).
- 7.1.6 Signal d'alarme adressé au conducteur au moyen d'un voyant
- Le conducteur doit être prévenu au moyen d'un signal visuel ou par l'affichage d'un texte remplissant les conditions suivantes:
- a) Il doit être visible pour le conducteur assis en position de conduite et ceinture de sécurité attachée;
 - b) Il doit être de couleur jaune en cas de défaillance du système de détection (déconnexion du circuit, court-circuit, défaillance des capteurs) et de couleur rouge si les conditions énoncées au paragraphe 7.1.4.3 sont remplies;
 - c) Lorsqu'il est allumé, il doit être visible pour le conducteur de jour comme de nuit;
 - d) Il doit rester allumé lorsque la concentration d'hydrogène atteint 3,0 % ou en cas de défaillance du système de détection et si la commande de contact est en position «marche» ou si le système de propulsion est activé.

7.2 Intégrité du système d'alimentation en carburant après choc

Le système d'alimentation en carburant du véhicule doit satisfaire aux prescriptions suivantes après les essais de choc, conformément aux Règlements ci-après et en appliquant également les procédures d'essai prescrites à l'annexe 5 du présent Règlement:

- a) Essai de choc avant conformément au Règlement n° 12 ou au Règlement n° 94; et
- b) Essai de choc latéral conformément au Règlement n° 95.

Au cas où l'un ou l'autre de ces essais de choc, ou les deux, ne serait pas applicable au véhicule, il faut soumettre le système d'alimentation en carburant aux accélérations spécifiées ci-après. Le système d'alimentation en carburant du véhicule doit être monté et fixé sur la partie représentative du véhicule. La masse utilisée doit être représentative d'un réservoir complètement équipé et rempli ou d'un ensemble réservoir/accessoires.

Véhicules des catégories M₁ et N₁:

- a) 20 g dans le sens de la marche;
- b) 8 g dans la direction horizontalement perpendiculaire au sens de la marche.

Véhicules des catégories M₂ et N₂:

- a) 10 g dans le sens de la marche;
- b) 5 g dans la direction horizontalement perpendiculaire au sens de la marche.

Véhicules des catégories M₃ et N₃:

- a) 6,6 g dans le sens de la marche;
- b) 5 g dans la direction horizontalement perpendiculaire au sens de la marche.

7.2.1 Limite de la fuite de carburant

Le débit volumique d'hydrogène gazeux de la fuite ne doit pas dépasser une valeur moyenne de 118 Nl/min au cours d'un intervalle de temps Δt déterminé conformément au paragraphe 1.1 ou 1.2 de l'annexe 5.

7.2.2 Limite de concentration en espace fermé

Une fuite d'hydrogène gazeux ne doit pas causer la présence d'une concentration d'hydrogène dans l'air supérieure à 4,0 % en volume dans l'habitacle et le compartiment à bagages (voir les procédures d'essai au paragraphe 2 de l'annexe 5). On considère que cette prescription est respectée s'il est prouvé que la vanne d'arrêt du système de stockage s'est fermée au plus tard 5 s après le choc et s'il n'y a eu aucune fuite dans le système de stockage.

7.2.3 Déplacement du réservoir

Le ou les réservoirs doivent rester fixés au véhicule par un point au moins.

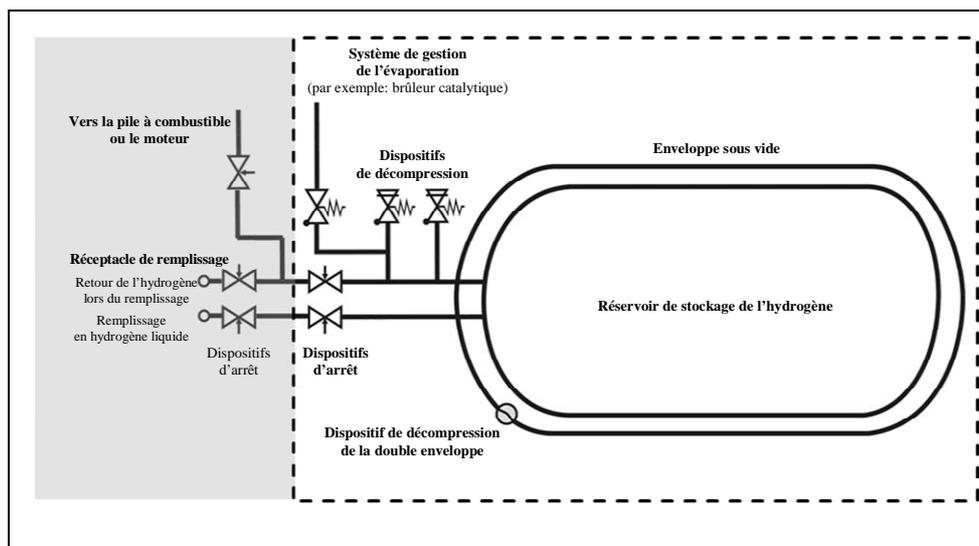
8. Partie IV – Spécifications du système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS)

Cette partie définit les prescriptions applicables au système de stockage d'hydrogène liquéfié.

Les limites du système de stockage d'hydrogène liquéfié sont définies par les interfaces qui isolent l'hydrogène stocké liquéfié (et/ou gazeux) du reste du système d'alimentation et de l'environnement. Tous les composants situés à l'intérieur de ces limites sont soumis aux prescriptions énoncées dans le présent paragraphe. La figure 4 représente un système de stockage d'hydrogène liquéfié typique. Les dispositifs de fermeture doivent avoir les fonctions suivantes, qui peuvent être combinées:

- Réservoir(s) de stockage de l'hydrogène liquéfié;
- Dispositif d'arrêt automatique;
- Système de gestion de l'évaporation;
- Dispositif de décompression (PRD).

Figure 4
Système typique de stockage de l'hydrogène liquéfié



Le constructeur doit indiquer une pression de service maximale admissible (PSMA).

Le tableau 2 récapitule les essais à exécuter.

Tableau 2
Vue d'ensemble des prescriptions fonctionnelles

Paragraphe 8.1 Vérification des caractéristiques mesurées de référence

- 8.1.1 Essai de pression d'épreuve
- 8.1.2 Essai d'éclatement initial de référence (réservoir intérieur)
- 8.1.3 Essai de référence du nombre de cycles de pression

<p>Paragraphe 8.2 Vérification des caractéristiques prévues en utilisation routière</p> <p>8.2.1 Essai de gestion de l'évaporation</p> <p>8.2.2 Essai de fuite</p> <p>8.2.3 Essai de perte de vide</p>
<p>Paragraphe 8.3 Vérification des conditions de retrait du service:</p> <p>Essai de brasier et essai au feu localisé</p>
<p>Paragraphe 8.2.4 Prescriptions pour le dispositif de décompression et le dispositif de fermeture</p>

- 8.1 Vérification des caractéristiques mesurées de référence
- 8.1.1 Essai de pression d'épreuve
- On pressurise un système à la pression $p_{\text{test}} \geq 1,3$ (PSMA $\pm 0,1$ MPa), conformément à la procédure d'essai décrite au paragraphe 1.1 de l'annexe 6. Il ne doit pas se produire de déformation visible, de perte de pression ou de fuite détectable.
- 8.1.2 Essai d'éclatement initial de référence
- L'essai se déroule conformément à la procédure décrite au paragraphe 1.2 de l'annexe 6, sur un spécimen de réservoir intérieur dépourvu de son enveloppe extérieure et non isolé.
- La pression d'éclatement doit être au moins égale à la pression d'éclatement utilisée pour les calculs mécaniques. Pour les réservoirs en acier, cette pression est:
- a) La pression de service maximale admissible (PSMA) (en MPa) plus 0,1 MPa multiplié par 3,25;
- ou
- b) La pression de service maximale admissible (PSMA) (en MPa) plus 0,1 MPa multiplié par 1,5 et par R_m/R_p , R_m étant la résistance mécanique minimale à la traction du matériau du réservoir et R_p (limite minimale d'élasticité) valant 1,0 pour les aciers austénitiques et 0,2 pour les autres aciers.
- 8.1.3 Essai de référence du nombre de cycles de pression
- Dans le cas de l'utilisation de réservoirs métalliques et/ou d'enveloppes sous vide en métal, le constructeur doit démontrer par calcul que le réservoir est conçu conformément à la réglementation régionale ou aux normes régionales en vigueur (par exemple, le document ASME Boiler and Pressure Vessel Code pour les États-Unis d'Amérique, les normes EN 1251-1 et EN 1251-2 pour l'Europe et un règlement applicable à la conception des récipients à pression métalliques pour tous les autres pays), ou concevoir et exécuter des essais appropriés (y compris l'essai décrit au paragraphe 1.3 de l'annexe 6) prouvant le même niveau de sécurité qu'une conception fondée sur une norme reconnue et démontrée par calcul.

Dans le cas de l'utilisation de réservoirs ou d'enveloppes sous vide non métalliques, outre l'essai présenté au paragraphe 1.3 de l'annexe 6, il incombe au constructeur de concevoir des essais adaptés afin de démontrer le même niveau de sécurité par rapport à un réservoir métallique.

8.2 Vérification des caractéristiques prévues en utilisation routière

8.2.1 Essai de gestion de l'évaporation

L'essai de gestion de l'évaporation est réalisé sur un système de stockage d'hydrogène liquéfié doté de tous les composants et dispositifs décrits au paragraphe 8 (fig. 4). L'essai est réalisé sur un système rempli d'hydrogène liquéfié, conformément à la procédure d'essai décrite au paragraphe 2.1 de l'annexe 6 et doit démontrer que le dispositif d'évaporation maintient la pression dans le réservoir intérieur en dessous de la pression de service maximale admissible.

8.2.2 Essai de fuite d'hydrogène

Après l'essai de gestion de l'évaporation (voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 6), il faut maintenir le système à la pression d'évaporation et mesurer le débit total de gaz s'échappant par la fuite conformément à la procédure d'essai décrite au paragraphe 2.2 de l'annexe 6. Le débit maximal admissible s'échappant du système de stockage d'hydrogène est de $R * 150 \text{ Nml/min}$

où

$R = (V_{\text{largeur}} + 1) * (V_{\text{hauteur}} + 0,5) * (V_{\text{longueur}} + 1) / 30,4$, où V_{largeur} , V_{hauteur} et V_{longueur} sont respectivement la largeur, la hauteur et la longueur (m) du véhicule.

8.2.3 Essai de perte de vide

L'essai de perte de vide est réalisé sur un système de stockage d'hydrogène liquéfié doté de tous les composants et dispositifs décrits au paragraphe 8 (fig. 4). L'essai est réalisé sur un système rempli d'hydrogène liquéfié, conformément à la procédure d'essai décrite au paragraphe 2.3 de l'annexe 6 et doit démontrer que les dispositifs de décompression primaires et les dispositifs de décompression secondaires limitent la pression aux valeurs indiquées au paragraphe 2.3 de l'annexe 6 en cas de perte de vide.

8.3 Vérification des conditions de retrait du service

Le constructeur peut choisir l'une des conditions d'essai décrites au paragraphe 8.3.1 ou 8.3.2.

8.3.1 Essai du brasier

Il faut démontrer, conformément aux procédures d'essai décrites au paragraphe 3 de l'annexe 6, le fonctionnement des dispositifs de décompression et l'absence de rupture dans les conditions suivantes de retrait du service.

Un système de stockage d'hydrogène est rempli à la moitié du niveau d'hydrogène liquéfié, puis exposé au feu conformément à la procédure d'essai décrite au paragraphe 3 de l'annexe 6. Les dispositifs de décompression doivent évacuer le gaz présent contenu de façon contrôlée et sans rupture.

En ce qui concerne les réservoirs en acier, l'essai est considéré comme réussi lorsqu'il est satisfait aux prescriptions s'appliquant aux limites de pression pour les dispositifs de décompression (voir le paragraphe 3 de l'annexe 6). Pour les réservoirs fabriqués dans d'autres matériaux, il convient de démontrer qu'un niveau de sécurité équivalent peut être atteint.

8.3.2 Essai de feu localisé

L'essai doit être effectué conformément au paragraphe 5.4.

8.4 Prescriptions applicables au dispositif de décompression et au dispositif d'arrêt

Le dispositif de décompression et le dispositif d'arrêt, tel qu'ils sont décrits à la figure 4, doivent remplir l'une des conditions suivantes:

- a) Les dispositifs doivent être homologués conformément à la cinquième partie du présent Règlement et produits de manière à être conformes au type homologué, [ou
- b) Le constructeur du système de stockage d'hydrogène liquide doit veiller à ce que les dispositifs satisfassent aux exigences de la cinquième partie du présent Règlement.]

Il n'est pas nécessaire de soumettre le système de stockage à un nouvel essai s'il comporte d'autres dispositifs de fermeture dont les fonctions, les raccords, le matériau, la résistance et les dimensions sont comparables et qui remplissent la [une des] condition[s] ci-dessus. Cependant, toute modification physique d'un dispositif de décompression actionné par la chaleur, de son emplacement ou de ses conduits d'évacuation nécessite un nouvel essai au feu conformément au paragraphe 8.3.

8.5 Étiquetage

Une étiquette doit être fixée de façon permanente sur chaque réservoir et contenir au moins les renseignements suivants: nom du constructeur, numéro de série, date de la fabrication, PSMA, type de carburant («CHG» pour l'hydrogène gazeux ou «LH2» pour l'hydrogène liquide).

9. **Partie V – Spécifications des composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène liquéfié (LHSS)**

9.1 Prescriptions de qualification des dispositifs de décompression

Ces dispositifs doivent subir avec succès les essais de qualification suivants:

- a) Essai de résistance à la pression (selon la procédure décrite au paragraphe 1 de l'annexe 7);
- b) Essai d'étanchéité vers l'extérieur (selon la procédure décrite au paragraphe 2 de l'annexe 7);
- c) Essai de fonctionnement (selon la procédure décrite au paragraphe 4 de l'annexe 7);
- d) Essai de résistance à la corrosion (selon la procédure décrite au paragraphe 5 de l'annexe 7);
- e) Essai de cycles de température (selon la procédure décrite au paragraphe 8 de l'annexe 7).

- 9.2 Prescriptions de qualification des dispositifs d'arrêt
- Ces dispositifs doivent subir avec succès les essais de qualification suivants:
- a) Essai de résistance à la pression (selon la procédure décrite au paragraphe 1 de l'annexe 7);
 - b) Essai d'étanchéité vers l'extérieur (selon la procédure décrite au paragraphe 2 de l'annexe 7);
 - c) Essai de résistance à l'usure (selon la procédure décrite au paragraphe 3 de l'annexe 7);
 - d) Essai de résistance à la corrosion (selon la procédure décrite au paragraphe 5 de l'annexe 7);
 - e) Essai de résistance à la chaleur sèche (selon la procédure décrite au paragraphe 6 de l'annexe 7);
 - f) Essai de vieillissement à l'ozone (selon la procédure décrite au paragraphe 7 de l'annexe 7);
 - g) Essai de cycles de température (selon la procédure décrite au paragraphe 8 de l'annexe 7);
 - h) Essai de cycles de pression des flexibles (selon la procédure décrite au paragraphe 9 de l'annexe 7).

10. **Partie VI – Spécifications d'un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un LHSS**

- 10.3 Intégrité du système d'alimentation en carburant
- Ce paragraphe énonce les prescriptions concernant l'intégrité du système d'alimentation en hydrogène, ce qui inclut le système de stockage de l'hydrogène liquéfié, les tuyauteries, raccords et composants dans lesquels l'hydrogène est présent. Ces prescriptions s'ajoutent aux prescriptions énoncées aux paragraphes 7.1 et 7.2, qui toutes s'appliquent aux véhicules à système de stockage de l'hydrogène liquéfié, à l'exception de celles du paragraphe 7.1.1.1. L'étiquette du réservoir de ravitaillement doit indiquer que l'hydrogène liquéfié est le type de carburant à utiliser. Les procédures d'essai sont décrites à l'annexe 8.
- 10.3.1 Les matériaux inflammables du véhicule doivent être protégés de l'air liquéfié résultant de la condensation sur des composants du système d'alimentation.
- 10.3.2 L'isolation des composants doit empêcher la liquéfaction de l'air au contact des surfaces extérieures du système, à moins qu'un dispositif de collecte et de vaporisation de l'air liquéfié ne soit utilisé. Les matériaux constitutifs des composants situés à proximité doivent être compatibles avec une atmosphère enrichie en oxygène.

11. Modification du type et extension de l'homologation

- 11.1 Toute modification apportée à un type de véhicule, de système de stockage d'hydrogène ou de composant spécifique de ce système doit être portée à la connaissance de l'autorité d'homologation de type qui a accordé l'homologation. Cette autorité doit alors:
- a) Décider, en consultation avec le constructeur, qu'il convient d'accorder une nouvelle homologation de type; ou
 - b) Appliquer la procédure prévue au paragraphe 11.1.1 (Révision) et, le cas échéant, la procédure prévue au paragraphe 11.1.2 (Extension).
- 11.1.1 Révision
- Lorsque des renseignements consignés dans le dossier d'information de l'annexe 1 ont changé et que l'autorité d'homologation de type considère que les modifications apportées ne risquent pas d'avoir de conséquences négatives notables, et qu'en tout cas le véhicule continue de satisfaire aux prescriptions, la modification est considérée comme une «révision».
- En pareil cas, l'autorité d'homologation de type doit publier, s'il y a lieu, les pages révisées du dossier d'information de l'annexe 1, en faisant clairement apparaître sur chacune des pages révisées la nature des modifications et la date de republication. Une version récapitulative et actualisée du dossier d'information de l'annexe 1, accompagnée d'une description détaillée de la modification, est réputée satisfaisante à cette exigence.
- 11.1.2 Extension
- La modification doit être considérée comme une «extension» si outre les modifications apportées aux renseignements consignés dans le dossier d'information:
- a) D'autres contrôles ou essais sont nécessaires; ou
 - b) Une quelconque information figurant dans la fiche de communication (à l'exception des pièces jointes) a été modifiée; ou
 - c) L'homologation en vertu d'une série d'amendements ultérieure est demandée après son entrée en vigueur.
- 11.2 La confirmation de l'homologation ou le refus d'homologation avec indication des modifications doit être notifié, par la procédure indiquée au paragraphe 4.3 ci-dessus, aux Parties contractantes à l'Accord appliquant le présent Règlement. En outre, la liste des pièces constituant le dossier d'homologation et des procès-verbaux d'essai, annexée à la fiche de communication de l'annexe 1, doit être modifiée en conséquence de manière que soit indiquée la date de la révision ou de l'extension la plus récente.
- 11.3 L'autorité compétente qui délivre l'extension de l'homologation doit attribuer un numéro de série à chaque fiche de communication établie pour une telle extension.

12. Conformité de la production

Les procédures de conformité de la production sont celles qui sont définies à l'appendice 2 de l'Accord (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2), les prescriptions étant les suivantes:

- 12.1 Tout véhicule, système ou composant homologué en application du présent Règlement doit être construit de façon à être conforme au type homologué et satisfaire aux prescriptions des paragraphes 5 à 10 ci-dessus;
- 12.2 L'autorité compétente qui a accordé l'homologation peut à tout moment vérifier que les méthodes de contrôle de la conformité sont appliquées correctement dans chaque unité de production. La fréquence normale de ces vérifications sera d'une fois tous les deux ans.

13. Sanctions pour non-conformité de la production

- 13.1 L'homologation délivrée pour un type de véhicule, de système ou de composant en application du présent Règlement peut être retirée si les prescriptions énoncées au paragraphe 12 ci-dessus ne sont pas respectées.
- 13.2 Lorsqu'une Partie contractante retire une homologation qu'elle avait accordée, elle doit en aviser immédiatement les autres Parties contractantes appliquant le présent Règlement en leur envoyant une fiche de communication conforme au modèle figurant dans la deuxième partie de l'annexe 1 du présent Règlement.

14. Arrêt définitif de la production

Si le détenteur de l'homologation cesse définitivement la fabrication d'un type de véhicule, de système ou de composant homologué en vertu du présent Règlement, il doit en informer l'autorité ayant délivré l'homologation qui, à son tour, en avise immédiatement les autres Parties contractantes à l'Accord qui appliquent le présent Règlement en leur envoyant une fiche de communication conforme au modèle figurant dans la partie 2 de l'annexe 1 du présent Règlement.

15. Noms et adresses des services techniques chargés des essais d'homologation et des autorités d'homologation de type

Les Parties contractantes à l'Accord qui appliquent le présent Règlement communiquent au Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies les noms et adresses des services techniques chargés des essais d'homologation et ceux des autorités qui délivrent l'homologation et auxquelles doivent être envoyées les fiches de communication concernant l'octroi, l'extension, le refus ou le retrait de l'homologation.

16. Dispositions transitoires

Les Parties contractantes à l'Accord qui appliquent le présent Règlement peuvent continuer à exiger la preuve (par exemple une feuille de données comportant la composition chimique) du respect de leurs dispositions nationales/régionales concernant la compatibilité des matériaux et la fragilisation par l'hydrogène déjà en vigueur sur leur territoire au moment de l'entrée en vigueur du présent Règlement, jusqu'à ce que des prescriptions techniques pertinentes soient établies dans le cadre du registre mondial relevant de l'Accord de 1998, comme dans le Règlement technique mondial n° 13.

Annexe 1 – Partie 1

Modèle – I

Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un système de stockage d'hydrogène en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène

Les renseignements ci-dessous doivent, le cas échéant, être accompagnés d'une table des matières. Les dessins doivent être fournis à l'échelle appropriée et être suffisamment détaillés, au format A4 ou sur un dépliant de ce format. Les photographies doivent, le cas échéant, être suffisamment détaillées.

Si les systèmes ou les composants ont des fonctions à commande électronique, des renseignements concernant leurs caractéristiques doivent être fournis.

- 0. Généralités
- 0.1 Marque (raison sociale du constructeur):
- 0.2 Type:
 - 0.2.1 Nom commercial (le cas échéant):
- 0.5 Nom et adresse du constructeur:
- 0.8 Nom(s) et adresse(s) du ou des ateliers de montage:
- 0.9 Nom et adresse du mandataire du constructeur (le cas échéant):
- 3. Moteur
- 3.9 Système de stockage d'hydrogène
 - 3.9.1 Système de stockage d'hydrogène conçu pour utiliser de l'hydrogène liquide/ comprimé (gazeux)¹
 - 3.9.1.1 Description et schéma du système de stockage d'hydrogène:
 - 3.9.1.2 Marque(s):
 - 3.9.1.3 Type(s):
 - 3.9.2 Réservoir(s)
 - 3.9.2.1 Marque(s):
 - 3.9.2.2 Type(s):
 - 3.9.2.3 Pression de service maximale admissible (PSMA): MPa
 - 3.9.2.4 Pression(s) de service nominale(s): MPa
 - 3.9.2.5 Nombre de cycles de remplissage:
 - 3.9.2.6 Contenance: litres (eau)

¹ Supprimer le cas échéant (plusieurs entrées sont possibles).

3.9.2.7	Matériau:	
3.9.2.8	Description et schéma:	
3.9.3	Dispositif(s) de décompression actionné(s) par la chaleur	
3.9.3.1	Marque(s):	
3.9.3.2	Type(s):	
3.9.3.3	Pression de service maximale admissible (PSMA):	MPa
3.9.3.4	Pression fixée:	
3.9.3.5	Température fixée:	
3.9.3.6	Capacité d'évacuation:	
3.9.3.7	Température maximale de fonctionnement normale:	°C
3.9.3.8	Pression(s) de service nominale(s):	MPa
3.9.3.9	Matériau:	
3.9.3.9	Description et schéma:	
3.9.3.10	Numéro d'homologation:	
3.9.4	Soupape(s) antiretour	
3.9.4.1	Marque(s):	
3.9.4.2	Type(s):	
3.9.4.3	Pression de service maximale admissible (PSMA):	MPa
3.9.4.4	Pression(s) de service nominale(s):	MPa
3.9.4.5	Matériau:	
3.9.4.6	Description et schéma:	
3.9.4.7	Numéro d'homologation:	
3.9.5	Vanne(s) d'arrêt automatique(s)	
3.9.5.1	Marque(s):	
3.9.5.2	Type(s):	
3.9.5.3	Pression de service maximale admissible (PSMA):	MPa
3.9.5.4	Pression(s) de service nominale(s) et, en aval du premier détendeur, pression(s) de service maximale(s) admissible(s):	MPa:
3.9.5.5	Matériau:	
3.9.5.6	Description et schéma:	
3.9.5.7	Numéro d'homologation:	

Modèle – II

Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un composant spécifique d'un système de stockage d'hydrogène en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène

Les renseignements ci-dessous doivent, le cas échéant, être accompagnés d'une table des matières. Les dessins doivent être fournis à l'échelle appropriée et être suffisamment détaillés, au format A4 ou sur un dépliant de ce format. Les photographies doivent, le cas échéant, être suffisamment détaillées.

Si les composants ont des fonctions à commande électronique, des renseignements concernant leurs caractéristiques doivent être fournies.

- 0. Généralités
- 0.1 Marque (raison sociale du constructeur):
- 0.2 Type:
 - 0.2.1 Nom commercial (le cas échéant):
- 0.5 Nom et adresse du constructeur:
- 0.8 Nom(s) et adresse(s) du ou des ateliers de montage:
- 0.9 Nom et adresse du mandataire du constructeur (le cas échéant):
- 3. Moteur
 - 3.9.3 Dispositif(s) de décompression actionné(s) par la chaleur
 - 3.9.3.1 Marque(s):
 - 3.9.3.2 Type(s):
 - 3.9.3.3 Pression de service maximale admissible (PSMA): MPa
 - 3.9.3.4 Pression fixée:
 - 3.9.3.5 Température fixée:
 - 3.9.3.6 Capacité d'évacuation:
 - 3.9.3.7 Température maximale de fonctionnement normale: °C
 - 3.9.3.8 Pression(s) de service nominale(s): MPa
 - 3.9.3.9 Matériau:
 - 3.9.3.10 Description et schéma:
 - 3.9.4 Soupape(s) antiretour
 - 3.9.4.1 Marque(s):
 - 3.9.4.2 Type(s):
 - 3.9.4.3 Pression de service maximale admissible (PSMA): MPa
 - 3.9.4.4 Pression(s) de service nominale(s): MPa

- 3.9.4.5 Matériau:
- 3.9.4.6 Description et schéma:
- 3.9.5 Vanne(s) d'arrêt automatique(s)
 - 3.9.5.1 Marque(s):
 - 3.9.5.2 Type(s):
 - 3.9.5.3 Pression de service maximale admissible (PSMA): MPa
 - 3.9.5.4 Pression(s) de service nominale(s) et, en aval du premier détendeur,
pression(s) de service maximale(s) admissible(s): MPa:
 - 3.9.5.5 Matériau:
 - 3.9.5.6 Description et schéma.

Modèle – III

Fiche de renseignements n° ... relative à l'homologation de type d'un véhicule en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène

Les renseignements ci-dessous doivent, le cas échéant, être accompagnés d'une table des matières. Les dessins doivent être fournis à l'échelle appropriée et être suffisamment détaillés, au format A4 ou sur un dépliant de ce format. Les photographies doivent, le cas échéant, être suffisamment détaillées.

Si les systèmes ou les composants ont des fonctions à commande électronique, des renseignements concernant leurs caractéristiques doivent être fournis.

- 0. Généralités
 - 0.1 Marque (raison sociale du constructeur):
 - 0.2 Type:
 - 0.2.1 Nom commercial (le cas échéant):
 - 0.3 Moyens d'identification du type, s'il est indiqué sur le véhicule¹:
 - 0.3.1 Emplacement de cette marque d'identification:
 - 0.4 Catégorie du véhicule²:
 - 0.5 Nom et adresse du constructeur:
 - 0.8 Nom(s) et adresse(s) du ou des atelier(s) de montage:
 - 0.9 Nom et adresse du représentant du constructeur (le cas échéant):
- 1. Caractéristiques générales de construction du véhicule
 - 1.1 Photos et/ou dessins d'un véhicule type:
 - 1.3.3 Essieux moteurs (nombre, emplacement et transmission entre essieux):
 - 1.4 Châssis (le cas échéant) (schéma d'ensemble):
- 3. Moteur
 - 3.9 Système de stockage d'hydrogène
 - 3.9.1 Système de stockage d'hydrogène conçu pour utiliser de l'hydrogène liquide/comprimé (gazeux)³
 - 3.9.1.1 Description et schéma du système de stockage d'hydrogène:
 - 3.9.1.2 Marque(s):
 - 3.9.1.3 Type(s):
 - 3.9.1.4 Numéro d'homologation:

¹ Supprimer le cas échéant (plusieurs entrées sont possibles).

² Selon les définitions contenues dans la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3) document TRANS/WP.29/78/Rev.2, par. 2 – www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html.

³ Supprimer le cas échéant (plusieurs entrées sont possibles).

- 3.9.6 Capteurs pour la détection des fuites d'hydrogène:
 - 3.9.6.1 Marque(s):
 - 3.9.6.2 Type(s):
- 3.9.7 Embouts ou raccordement pour le ravitaillement
 - 3.9.7.1 Marque(s):
 - 3.9.7.2 Type(s):
- 3.9.8 Dessins illustrant les prescriptions d'installation et de fonctionnement.

Annexe 1 – Partie 2

Communication

(format maximal: A4 (210 x 297 mm))



Émanant de:

Nom de l'administration:

.....
.....
.....

Concernant² L'octroi d'une homologation
L'extension d'une homologation
Le refus d'une homologation
Le retrait d'une homologation
L'arrêt définitif de la production

d'un type de véhicule en ce qui concerne la protection des piétons en application du Règlement n° XYZ

Homologation n°: Extension n°:

1. Marque (de fabrique ou de commerce):
2. Type et dénomination(s) commerciale(s):
3. Nom et adresse du constructeur:
4. Le cas échéant, nom et adresse du représentant du constructeur:
5. Description sommaire du véhicule/composant:
6. Date de soumission du véhicule/composant pour homologation:
7. Service technique effectuant les essais d'homologation:
8. Date du procès-verbal émis par ce service:
9. Numéro du procès-verbal émis par ce service:
10. L'homologation en ce qui concerne la protection des piétons est accordée/refusée²
11. Lieu:
12. Date:
13. Signature:
14. Fiche de renseignements annexée à la présente communication:
15. Observations:

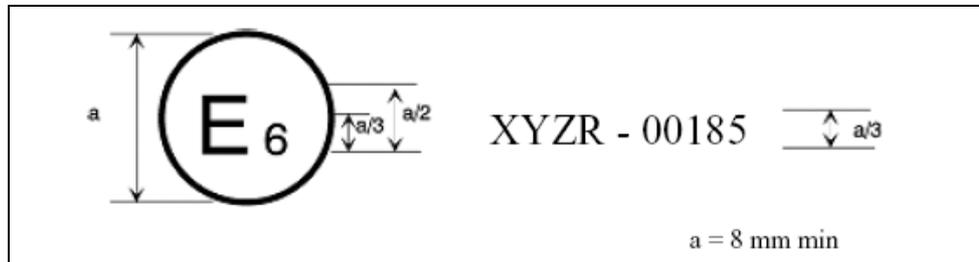
¹ Numéro distinctif du pays qui a délivré/étendu/refusé/retiré l'homologation (voir les dispositions du Règlement relatives à l'homologation).

² Biffer les mentions inutiles.

Annexe 2

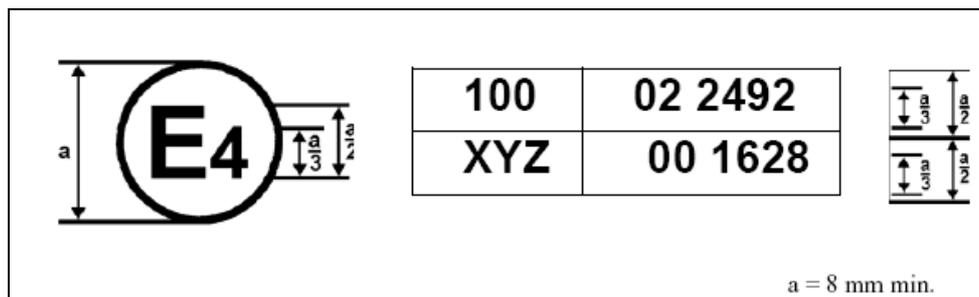
Exemple de marque d'homologation

Modèle A (voir les paragraphes 4.4 à 4.4.2 du présent Règlement)



La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule/composant, indique que le type de ce véhicule/composant a été homologué en Belgique (E6) en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène en vertu du Règlement n° XYZ. Les deux premiers chiffres du numéro d'homologation indiquent que l'homologation a été délivrée conformément aux dispositions du Règlement n° XYZ sous sa forme originale.

Modèle B (voir le paragraphe 4.5 du présent Règlement)



La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule, indique que le véhicule routier concerné a été homologué aux Pays-Bas (E4) en vertu des Règlements n°s XYZ et 100*. Le numéro d'homologation indique qu'à la date où les homologations correspondantes ont été délivrées, le Règlement n° 100 était modifié par la série 02 d'amendements et que le Règlement n° XYZ était sous sa forme originale.

* Le dernier chiffre n'est donné qu'à titre d'exemple.

Annexe 3

Procédures d'essai pour le système de stockage d'hydrogène comprimé

1. Les procédures d'essai de conformité pour les systèmes de stockage d'hydrogène comprimé sont organisées comme suit:
 - Paragraphe 2 de la présente annexe: Procédures d'essai de vérification des caractéristiques mesurées de référence (voir le paragraphe 5.1 du présent Règlement);
 - Paragraphe 3 de la présente annexe: Procédures d'essai de vérification de la durabilité des caractéristiques (voir le paragraphe 5.2 du présent Règlement);
 - Paragraphe 4 de la présente annexe: Procédures d'essai de vérification des caractéristiques prévues en utilisation routière (voir le paragraphe 5.3 du présent Règlement);
 - Paragraphe 5 de la présente annexe: Procédures d'essai de vérification de la résistance au feu dans les conditions justifiant le retrait du service (voir le paragraphe 5.4 du présent Règlement);
 - Paragraphe 6 de la présente annexe: Procédures d'essai de vérification de la durabilité des caractéristiques des dispositifs de fermeture primaires (voir le paragraphe 5.5 du présent Règlement).
2. Procédures d'essai de vérification des caractéristiques mesurées de référence (voir le paragraphe 5.1 du présent Règlement)
 - 2.1 Essai d'éclatement (hydraulique)

L'essai d'éclatement doit être effectué à la température de 20 (\pm 5) °C, à l'aide d'un liquide non corrosif. La vitesse de montée en pression doit être inférieure ou égale à 1,4 MPa/s pour les pressions supérieures à 150 % de la pression de service nominale. Si elle dépasse 0,35 MPa/s aux pressions supérieures à 150 % de la PSN, il faut soit que le réservoir soit placé en série entre la source de pression et le dispositif de mesure de la pression, soit que la durée pendant laquelle la pression est supérieure à la pression d'éclatement visée dépasse 5 s. La pression d'éclatement du réservoir doit être consignée.
 - 2.2 Essai de cycles de pression (hydraulique)

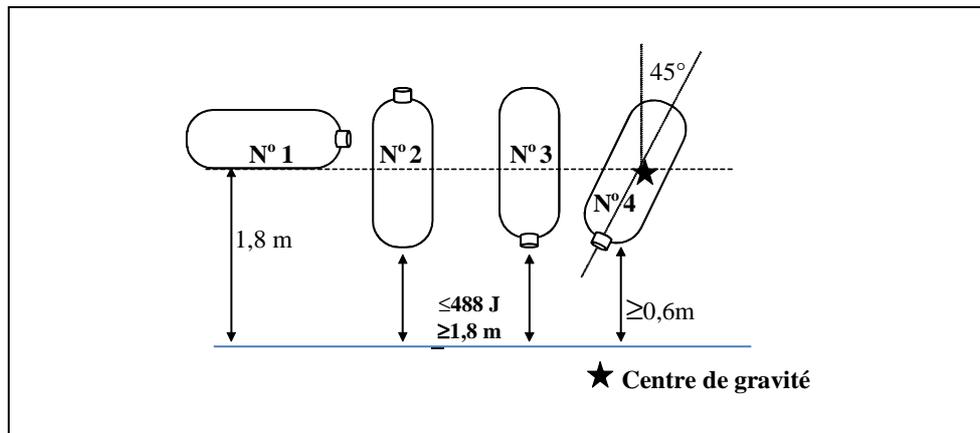
Cet essai doit être conduit conformément à la procédure ci-après:

 - a) On remplit le réservoir d'un liquide non corrosif;
 - b) Au début de l'essai, le réservoir et le liquide sont stabilisés à la température et à l'humidité relative spécifiées; le milieu ambiant, le liquide et le revêtement du réservoir doivent être maintenus à la température indiquée du début à la fin de l'essai. La température du réservoir peut toutefois s'écarter de la température ambiante durant l'essai;
 - c) On soumet le réservoir à des cycles de pression variant entre 2 (\pm 1) MPa et la pression visée, à une cadence ne dépassant pas 10 cycles par min pendant le nombre de cycles spécifié;

- d) La température du liquide hydraulique présent dans le réservoir est maintenue et contrôlée à la valeur spécifiée.
3. Procédures d'essai de vérification de la durabilité des caractéristiques (voir le paragraphe 5.2 du présent Règlement)
- 3.1 Essai de pression d'épreuve
- Le système est mis sous pression graduellement, avec un liquide hydraulique non corrosif, jusqu'à ce que la pression visée soit atteinte. Cette pression est alors maintenue pendant la durée spécifiée.
- 3.2 Essai de chute (choc) (sans pressurisation)
- Le réservoir est soumis à l'essai de chute à la température ambiante, sans mise sous pression interne ni soupapes montées. La surface sur laquelle on laisse tomber les réservoirs doit être une aire en béton horizontale et lisse ou une surface de dureté équivalente.
- L'orientation de chute du réservoir soumis à l'essai (selon les prescriptions du paragraphe 5.2.2) est déterminée comme suit. Un ou plusieurs réservoirs supplémentaires doivent tomber selon chacune des orientations prescrites ci-après. Les chutes selon les différentes orientations peuvent être exécutées sur un seul réservoir, ou on peut utiliser quatre réservoirs, chacun pour une orientation de chute:
- i) Une chute depuis la position horizontale, le fond du réservoir se trouvant à 1,8 m au-dessus du sol;
 - ii) Une chute sur l'extrémité du réservoir à partir de la position verticale, l'extrémité portant l'embase étant dirigée vers le haut, avec une énergie potentielle d'au moins 488 J, l'extrémité inférieure ne devant pas être située à plus de 1,8 m de hauteur au-dessus du sol;
 - iii) Une chute sur l'extrémité du réservoir à partir de la position verticale, l'extrémité portant l'embase étant dirigée vers le bas, avec une énergie potentielle d'au moins 488 J, l'extrémité inférieure ne devant pas être située à plus de 1,8 m de hauteur au-dessus du sol. Dans le cas d'un réservoir symétrique (c'est-à-dire avec des embases identiques aux 2 extrémités), cette orientation de chute n'est pas nécessaire;
 - iv) Une chute à 45° de la position verticale, l'extrémité portant l'embase étant dirigée vers le haut, le centre de gravité étant situé à 1,8 m au-dessus du sol. Toutefois, si le fond du réservoir est situé à moins de 0,6 m du sol, l'angle de chute doit être modifié pour respecter la hauteur minimale du fond de 0,6 m et celle du centre de gravité de 1,8 m par rapport au sol.

Les 4 orientations de chute sont illustrées à la figure 1.

Figure 1
Orientations de chute



Aucune mesure ne doit être prise pour empêcher les réservoirs de rebondir lors du choc, mais on peut les empêcher de se renverser lors de l'essai de chute verticale décrit ci-dessus.

Si plusieurs réservoirs sont utilisés pour exécuter les essais selon toutes les orientations de chute, ils doivent être soumis à l'essai de cycles de pression prévu au paragraphe 2.2 de l'annexe 3 jusqu'à ce qu'une fuite se produise ou que 22 000 cycles aient été exécutés sans fuite. Aucune fuite ne doit se produire au cours des 11 000 premiers cycles.

L'orientation du réservoir qui est soumis aux essais de chute conformément au paragraphe 5.2.2 doit être déterminée comme suit:

- Si un même réservoir a été soumis aux essais selon les 4 orientations de chute, le réservoir qui est laissé tombé conformément au paragraphe 5.2.2 doit subir les essais selon les 4 orientations de chute;
- Si plusieurs réservoirs sont utilisés pour exécuter les essais selon les 4 orientations de chute, et si tous les réservoirs subissent 22 000 cycles sans fuite, l'orientation de chute du réservoir qui est laissé tombé conformément au paragraphe 5.2.2 doit être à 45° (iv) et ce réservoir doit être ensuite soumis aux autres essais prescrits au paragraphe 5.2;
- Si plusieurs réservoirs sont utilisés pour exécuter les essais selon les 4 orientations de chute, et si l'un quelconque des réservoirs ne subit pas 22 000 cycles sans fuite, le nouveau réservoir doit être soumis à l'essai de chute selon l'orientation ayant abouti au plus faible nombre de cycles avant fuite, puis aux autres essais prescrits au paragraphe 5.2.

3.3 Essai d'altération de surface (sans pressurisation)

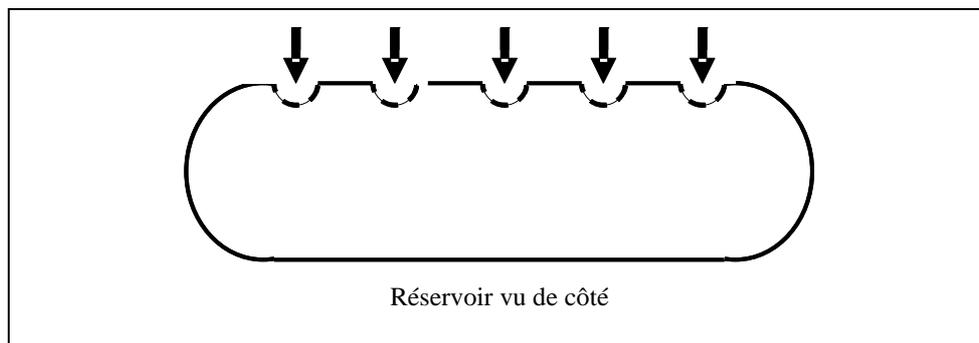
Cet essai se déroule comme suit:

- Entaillage de la surface: Deux entailles longitudinales sont pratiquées à la scie sur la paroi externe inférieure du réservoir placé à l'horizontale et non pressurisé, le long de la partie cylindrique située à proximité de l'arrondi mais pas dans cette zone. La première entaille doit avoir une profondeur de 1,25 mm et une longueur de 25 mm au moins en direction de l'extrémité du réservoir portant la soupape. La seconde doit avoir une profondeur de 0,75 mm et une longueur de 200 mm au moins en direction de l'extrémité opposée;

- b) Chocs au pendule: La partie supérieure du réservoir placé à l'horizontale doit être divisée en 5 zones distinctes (qui ne se chevauchent pas) d'un diamètre de 100 mm chacune (voir la figure 2). Après 12 h de préconditionnement à $-40 (+2/-0)$ °C dans une enceinte à atmosphère contrôlée, on percute le centre de chacune des 5 zones au moyen d'un pendule de forme pyramidale ayant des faces triangulaires équilatérales et une base carrée, le sommet et les arêtes étant arrondis selon un rayon de 3 mm. Le centre de percussion du pendule doit coïncider avec le centre de gravité de la pyramide. L'énergie du pendule à l'instant du choc sur chacune des 5 zones du réservoir doit être égale à 30 J. Lors des chocs, le réservoir doit être maintenu fermement en place et ne doit pas être sous pression.

Figure 2

Réservoir vu de côté



3.4 Essai d'exposition aux agents chimiques et essai de cycles de pression à température ambiante

Chacune des 5 zones du réservoir non pressurisé préconditionnées par le choc du pendule (par. 3.3 de l'annexe 3) est exposée à l'une des 5 solutions ci-après:

- Acide sulfurique (acide de batteries) – solution à 19 % en volume dans l'eau;
- Hydroxyde de sodium – solution à 25 % en poids dans l'eau;
- Mélange méthanol/essence (disponible dans les stations de ravitaillement) – en concentrations respectives de 5/95 %;
- Nitrate d'ammonium – solution à 28 % en poids dans l'eau (urée); et
- Liquide lave-glace – solution à 50 % en volume d'alcool méthylique et d'eau (liquide lave-glace).

Le réservoir soumis à l'essai doit être mis en place de manière à ce que les zones d'exposition au liquide d'essai soient situées au sommet. Un tampon de laine de verre d'environ 0,5 mm d'épaisseur et 100 mm de diamètre est posé sur chacune des 5 zones préconditionnées. Du liquide d'essai est versé sur la laine de verre en quantité suffisante pour que le tampon soit mouillé de manière régulière sur toute sa surface et dans toute son épaisseur pendant la durée de l'essai.

Le réservoir est maintenu dans cet état d'exposition durant 48 h, à une pression correspondant à 125 % de la PSN ($+2/-0$ MPa) (appliquée hydrauliquement) et à une température de $20 (\pm 5)$ °C, avant d'être soumis à d'autres essais.

L'essai de cycles de pression est conduit aux pressions indiquées selon le paragraphe 6.2.2.2, à une température de 20 (± 5) °C et pendant le nombre de cycles spécifié. On retire ensuite les tampons de laine de verre et on rince la surface du réservoir à l'eau avant d'exécuter les 10 derniers cycles de pression à la pression finale spécifiée.

3.5 Essai de pression statique (hydraulique)

Le réservoir est mis à la pression spécifiée dans une enceinte à température contrôlée. L'enceinte et le liquide d'essai non corrosif sont maintenus à la température spécifiée, à ± 5 °C près, pendant la durée indiquée.

4. Procédures d'essai de vérification des caractéristiques prévues en utilisation routière (voir le paragraphe 5.3 du présent Règlement)

(On trouvera ci-après les procédures s'appliquant aux essais pneumatiques; en ce qui concerne les essais hydrauliques, voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 3).

4.1 Essai de cycles de pression de gaz (pneumatique)

Au début de l'essai, on stabilise le système de stockage à la température, à l'humidité relative et au niveau de carburant spécifiés pendant 24 h au moins. La température et l'humidité relative prescrites sont maintenues dans l'environnement d'essai pendant tout le reste de l'essai (lorsque c'est prévu dans les spécifications de l'essai, la température du système est stabilisée à la température externe entre les cycles de pression). Le système de stockage est soumis à des cycles de pression comprise entre moins de 2 (+0/-1) MPa et la pression maximale indiquée (± 1 MPa). Si des fonctions de régulation du système qui sont actives lorsque le véhicule est en service permettent d'empêcher la pression de tomber en dessous d'une pression spécifiée, cette condition doit être respectée durant les cycles de pression. La vitesse de remplissage est contrôlée de façon à obtenir un taux constant d'accroissement de la pression sur 3 min, sans toutefois que le débit dépasse 60 g/s; la température de l'hydrogène introduit dans le réservoir est maintenue à la valeur indiquée. Cependant, si la température du gaz dans le réservoir dépasse 85 °C, le taux constant d'accroissement de la pression devrait être réduit. La vitesse de vidage est fixée à une valeur supérieure ou égale à la demande de carburant instantanée maximale du véhicule prévue. Les cycles de pression sont appliqués selon le nombre indiqué. Si des dispositifs ou des fonctions sont destinés à prévenir une température interne extrême, il est possible d'exécuter l'essai avec eux (ou avec des instruments ayant une fonction équivalente).

4.2 Essai de perméation du gaz (pneumatique)

Un système de stockage est rempli entièrement avec de l'hydrogène gazeux à 115 % de la PSN (+2/-0 MPa) (une pleine densité de remplissage équivalant à 100 % de la PSN à 15 °C correspond à 113 % de la PSN à 55 °C) et maintenu à ≥ 55 °C dans une enceinte hermétique jusqu'à perméation en conditions stabilisées mais au minimum pendant 30 h. On peut ainsi mesurer le taux de perte total par fuite et perméation en conditions stabilisées pour le système de stockage.

4.3 Essai de fuite localisée (pneumatique)

Pour exécuter cet essai, on peut effectuer un essai par détection de bulles. La procédure est alors la suivante:

- a) L'orifice d'évacuation de la vanne d'arrêt (et d'autres raccords internes au système) doit être recouvert d'un capot (l'essai consistant à rechercher une fuite externe).

Au choix du technicien qui exécute l'essai, le spécimen d'essai peut être immergé dans le liquide servant à détecter une fuite, ou le liquide peut être appliqué sur le spécimen placé à l'air libre. La taille des bulles produites peut être très variable selon les conditions. L'estimation de l'ampleur de la fuite s'effectue en fonction de la taille des bulles et du débit.

- b) *Remarque:* Pour un débit localisé de 0,005 mg/s (3,6 Nml/min), le taux résultant admissible de production de bulles est d'environ 2 030 bulles par min pour une taille de bulle typique de 1,5 mm de diamètre. Même avec des bulles beaucoup plus grandes, la fuite doit être aisément détectable. Pour des bulles de 6 mm de diamètre, c'est-à-dire exceptionnellement grandes, le taux admissible serait d'environ 32 bulles par min.

5. Procédures d'essai de vérification de la résistance au feu dans les conditions justifiant le retrait du service (voir le paragraphe 5.4 du présent Règlement)

5.1 Essai d'exposition au feu

L'ensemble réservoir(s)/accessoires comprend le système de stockage d'hydrogène comprimé, ainsi que d'autres éléments appropriés, notamment le système d'évacuation (le tuyau d'évacuation et son capot, par exemple) et toutes les protections placées directement sur le(s) réservoir(s) (isolants thermiques enroulés sur le réservoir et/ou couvercles ou protections sur le ou les dispositifs de décompression actionnés par la chaleur (TPRD)).

L'une ou l'autre des deux méthodes ci-après permet de déterminer la position du système par rapport à la source initiale (localisée) des flammes:

- a) Méthode 1: Qualification pour une installation générique (non spécifique) sur un véhicule

Si l'installation sur un véhicule n'est pas spécifiée (et si l'homologation de type n'est pas limitée à une installation spécifique sur un véhicule), la zone d'exposition localisée au feu est la zone du spécimen d'essai qui est la plus éloignée du ou des TPRD. Comme indiqué précédemment, le spécimen d'essai doit uniquement comprendre les éléments isolants thermiques ou autres protections fixés directement au réservoir et utilisés pour toutes les applications sur des véhicules. Le ou les systèmes d'évacuation (le tuyau d'évacuation et son couvercle, par exemple) et/ou les couvercles ou protections sur le ou les dispositifs de décompression actionnés par la chaleur (TPRD) sont inclus dans l'ensemble réservoir(s)/accessoires s'il est prévu de les utiliser pour telle ou telle application. Si un système est mis à l'épreuve sans les éléments qui lui sont associés, il doit être soumis à un nouvel essai lorsqu'une application particulière nécessite l'utilisation desdits éléments.

b) Méthode 2: Qualification pour une installation spécifique sur un véhicule

S'il est prévu une installation spécifique sur le véhicule et si l'homologation de type est limitée à cette installation, on peut introduire dans le montage d'essai d'autres éléments en plus du système de stockage de l'hydrogène. Ces éléments (tels que des écrans de protection ou couvercles, qui sont fixés de façon permanente à la structure du véhicule par soudage ou boulonnage, et non pas fixés au système de stockage) doivent être inclus dans le montage d'essai de l'installation prévue sur le véhicule pour le système de stockage. Les zones d'exposition localisée au feu retenues pour l'essai d'exposition sont celles qui correspondent aux hypothèses les plus défavorables en fonction des 4 orientations possibles du feu, à savoir un feu provenant de l'habitacle, du compartiment de chargement ou à bagages, des passages de roues ou d'une flaque d'essence au sol.

5.1.1 Dans le cas d'un feu enveloppant, le réservoir peut y être exposé sans aucune protection, comme décrit au paragraphe 5.2 de l'annexe 3.

5.1.2 Les prescriptions d'essai ci-après sont applicables aux deux méthodes ci-dessus:

a) L'ensemble réservoir(s)/accessoires est rempli d'hydrogène comprimé à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa). Il est placé à l'horizontale, à 100 mm environ au-dessus de la source des flammes;

b) Essai d'exposition au feu – feu localisé:

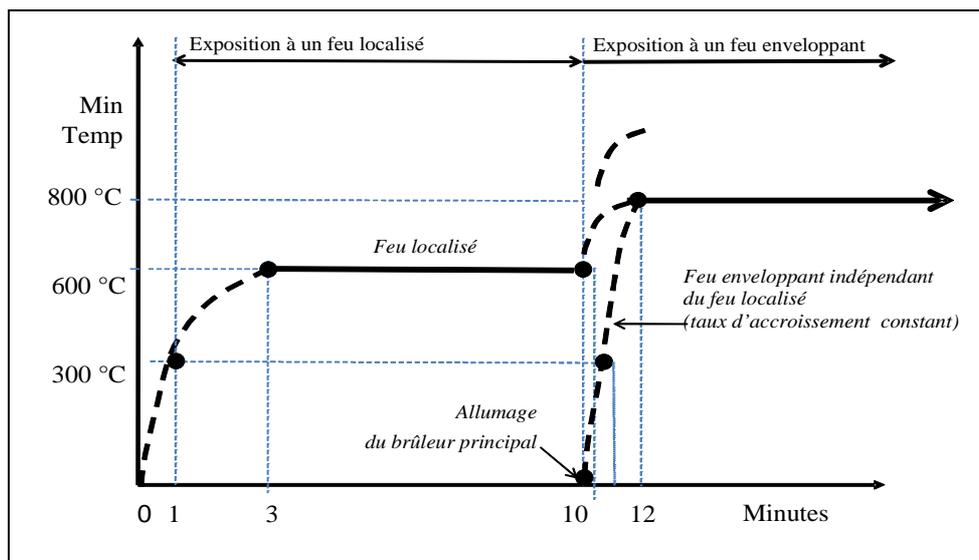
i) Sur le spécimen d'essai, la zone d'exposition localisée au feu est située le plus loin possible du ou des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur (TPRD). En cas d'application de la méthode 2, si l'on identifie des zones plus vulnérables pour une installation spécifique, la zone plus vulnérable la plus éloignée du ou des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur est placée directement au-dessus du foyer;

ii) Le foyer est constitué par un ensemble de brûleurs à gaz GPL disposés de façon à chauffer le spécimen d'essai à une température minimale uniforme. La température est mesurée à l'aide de 5 thermocouples au moins couvrant la longueur du spécimen d'essai jusqu'à 1,65 m au maximum (2 thermocouples au moins se trouvant dans la zone d'exposition localisée au feu et 3 autres au moins étant régulièrement espacés et situés à 0,5 m au plus dans la zone restante), placés à 25 mm \pm 10 mm de la surface extérieure du spécimen, sur son axe longitudinal. S'il le souhaite, le constructeur ou le laboratoire d'essais peut placer d'autres thermocouples aux points de détection du dispositif de décompression actionné par la chaleur ou en d'autres points en vue d'obtenir des informations de diagnostic;

iii) Pour assurer un chauffage uniforme, on utilise des pare-vent;

- iv) Les flammes prennent naissance dans un foyer long de 250 ± 50 mm, situé sous la zone d'exposition localisée du spécimen d'essai. Elles s'étendent sur toute la largeur du système de stockage. En cas d'application de la méthode 2, il est possible de réduire la hauteur et la largeur des flammes afin de tenir compte des caractéristiques de l'installation sur le véhicule spécifique;
- v) Comme le montre la figure 3, la température des thermocouples situés dans la zone d'exposition localisée monte continuellement jusqu'à 300°C au moins dans la minute qui suit l'allumage et jusqu'à 600°C au moins dans les 3 min suivantes, et elle se maintient à ce niveau au moins durant les 7 min suivantes. Durant cette période, la température dans la zone d'exposition localisée ne doit pas dépasser 900°C . La conformité avec les prescriptions thermiques doit être respectée à compter de 1 min après le début de la période. Elle est établie sur la base des limites minimale et maximale et d'une moyenne mobile sur 1 min pour chaque thermocouple dans la zone considérée (Note: la température en dehors de la zone de la source initiale des flammes n'est pas précisée durant les 10 premières min suivant l'allumage).

Figure 3
Graphique de température pour l'essai d'exposition au feu



c) Essai d'exposition au feu – feu enveloppant

Au cours des 2 min qui suivent, la température de toute la surface extérieure de l'échantillon doit monter à 800°C au moins et les brûleurs doivent être réglés de façon à obtenir une température uniforme sur toute la longueur (jusqu'à 1,65 m) et toute la largeur du spécimen (immersion dans les flammes). La température minimale est maintenue à 800°C , tandis que la température maximale ne doit pas dépasser 1100°C . La conformité avec les prescriptions thermiques doit être respectée à compter de 1 min après le début de la période. Elle est établie sur la base des limites minimale et maximale constantes et d'une moyenne mobile sur 1 min pour chaque thermocouple.

Le spécimen d'essai est maintenu à température (dans les conditions d'immersion dans les flammes) jusqu'à ce qu'il y ait actionnement des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur et que la pression tombe à moins de 1 MPa. L'évacuation des gaz doit être continue et le système de stockage ne doit pas éclater. Il ne doit pas se produire de dégagement de gaz supplémentaire par fuite (et non par décompression par les dispositifs) produisant une flamme de plus de 0,5 m au-delà du périmètre des flammes du foyer.

Tableau 1
Résumé de la procédure de l'essai d'exposition au feu

	<i>Exposition à un feu localisé</i>	<i>Durée</i>	<i>Exposition à un feu enveloppant (indépendant du feu localisé)</i>
À faire	Allumer les brûleurs	0-1 minute	Sans brûleur
Température minimum	Non précisé		Non précisé
Température maximum	<900 °C		Non précisé
À faire	Augmenter la température et stabiliser le feu pour une exposition localisée	1-3 min	Sans brûleur
Température minimum	>300 °C		Non précisé
Température maximum	<900 °C		Non précisé
À faire	Poursuite de l'exposition à un feu localisé	3-10 min	Sans brûleur
Température minimum	Moyenne mobile sur 1 min >600 °C		Non précisé
Température maximum	Moyenne mobile sur 1 min <900 °C		Non précisé
À faire	Augmenter la température	10-11 min	Allumage du brûleur principal à la 10 ^e minute
Température minimum	Moyenne mobile sur 1 min >600 °C		Non précisé
Température maximum	Moyenne mobile sur 1 min <1 100 °C		<1 100 °C
À faire	Augmenter la température et stabiliser le feu pour une exposition à un feu enveloppant	11-12 min	Augmenter la température et stabiliser le feu afin d'obtenir une exposition à un feu enveloppant
Température minimum	Moyenne mobile sur 1 min >600 °C		>300 °C
Température maximum	Moyenne mobile sur 1 min <1 100 °C		<1 100 °C
À faire	Poursuite de l'exposition à un feu enveloppant	12 min – fin de l'essai	Poursuite de l'exposition à un feu enveloppant
Température minimum	Moyenne mobile sur 1 min >800°C		Moyenne mobile sur 1 min >800 °C
Température maximum	Moyenne mobile sur 1 min <1 100 °C		Moyenne mobile sur 1 min <1 100 °C

d) Consignation des résultats de l'essai d'exposition au feu

Les conditions de l'exposition au feu doivent être consignées avec suffisamment de détails pour qu'il soit possible de reproduire le taux d'apport thermique au spécimen d'essai. Les résultats enregistrés doivent inclure le temps qui s'écoule entre l'allumage du feu et l'instant d'actionnement des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur, ainsi que la pression maximale et la durée de la phase d'évacuation nécessaire pour réduire la pression à moins de 1 MPa. Au cours de l'essai, les températures des thermocouples et la pression dans le réservoir sont enregistrées toutes les 10 s au moins. Si la température minimale prescrite n'a pu être maintenue sur la base des moyennes mobiles sur 1 min, l'essai est considéré comme nul. Si la température maximale prescrite n'a pu être maintenue sur la même base, l'essai est considéré comme nul uniquement en cas de défaillance du spécimen d'essai durant l'essai.

5.2 Essai d'exposition à un feu enveloppant:

L'objet soumis à l'essai est le système de stockage d'hydrogène comprimé. Celui-ci est rempli d'hydrogène comprimé à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa). Le réservoir est placé à l'horizontale, son fond se trouvant à 100 mm environ au-dessus du foyer. Des protections en métal empêchent les flammes de toucher directement les vannes, les raccords ou les dispositifs de décompression du réservoir mais elles ne doivent pas être en contact direct avec ces éléments.

Des flammes uniformément réparties sur une longueur de 1,65 m doivent atteindre directement la surface du réservoir sur toute sa largeur. L'essai doit se poursuivre jusqu'à ce qu'il y ait évacuation complète (c'est-à-dire jusqu'à ce que la pression dans le réservoir soit tombée à moins de 0,7 MPa). Toute défaillance des brûleurs ou défaut d'uniformité du chauffage durant l'essai invalide les résultats.

La température des flammes doit être contrôlée au moyen de 3 thermocouples au moins, suspendus dans les flammes à environ 25 mm en dessous du fond du réservoir. Les thermocouples peuvent être fixés à des cubes d'acier de 25 mm de côté au maximum. La température des thermocouples et la pression du réservoir doivent être enregistrées toutes les 30 s durant l'essai.

Dans les 5 min qui suivent l'allumage du feu, une température moyenne des flammes d'au moins 590 °C (selon la moyenne de mesure obtenue avec les 2 thermocouples enregistrant les températures les plus élevées sur une période de 60 s) doit être atteinte. Cette température est ensuite maintenue durant tout l'essai.

Si le réservoir a une longueur inférieure à 1,65 m, le centre doit être placé au-dessus du centre du foyer. S'il a une longueur supérieure à 1,65 m et s'il est équipé d'un dispositif de décompression placé à l'une de ses extrémités, le feu doit être allumé à l'autre extrémité. S'il fait plus de 1,65 m de longueur et s'il est doté d'un dispositif de décompression à chaque extrémité, ou à plusieurs endroits sur sa longueur, le foyer doit être centré entre les dispositifs de décompression qui sont les plus distants horizontalement.

Les gaz du réservoir doivent être évacués par les dispositifs de décompression et le réservoir ne doit pas éclater.

Annexe 4

Procédures d'essai pour les composants spécifiques du système de stockage d'hydrogène comprimé

1. Essais de qualification des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur

Les essais doivent être réalisés avec du gaz hydrogène répondant aux normes ISO 14687-2 et SAE J2719. Ils doivent tous se dérouler à la température ambiante de 20 (±5) °C, sauf indication contraire. Les essais à exécuter en vue de la qualification des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont les suivants (voir aussi l'appendice 1):

- 1.1 Essai de cycles de pression

Cinq dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont soumis à 11 000 cycles de pression interne avec un gaz hydrogène répondant aux normes de qualité ISO 14687-2 et SAE J2719. Les 5 premiers cycles sont exécutés entre moins de 2 (±1) MPa et 150 % de la PSN (±1 MPa), et les cycles restants entre 2 (±1) MPa et 125 % de la PSN (±1 MPa). Les 1 500 premiers cycles sont exécutés à une température des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur de 85 °C ou plus et les cycles restants à la température de 55 (±5) °C. Le rythme maximal des cycles est de 10 cycles par minute. À la suite de cet essai, les dispositifs de décompression doivent satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4) et de l'essai d'actionnement en atelier (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4).

- 1.2 Essai accéléré de durée de vie

Huit dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont mis à l'essai: 3 à la température d'actionnement indiquée par le constructeur, Tact, et 5 à une température d'essai accéléré de durée de vie, Tlife = 9,1 x Tact^{0,503}. Le dispositif est placé dans un four ou dans un bain de liquide et maintenu à une température constante (±1 °C). La pression d'hydrogène à l'entrée des dispositifs doit être de 125 % de la PSN (±1 MPa). La source de pression peut se trouver à l'extérieur du four ou du bain à température contrôlée. Chaque dispositif est mis sous pression individuellement ou au moyen d'une rampe. Dans le cas de l'utilisation d'une rampe, chaque branchement doit comporter une soupape antiretour de façon à éviter une dépressurisation de l'ensemble lorsqu'un élément est défaillant. Les 3 dispositifs de décompression essayés à la température Tact doivent s'actionner dans un délai inférieur à 10 h. Les 5 dispositifs essayés à la température Tlife ne doivent pas s'actionner avant 500 h.

- 1.3 Essai de cycles de température

- a) Un dispositif de décompression non pressurisé est placé dans un bain de liquide maintenu à -40 °C au minimum durant 2 h au moins. Il est ensuite transféré dans un bain de liquide à 85 °C au minimum en moins de 5 min, puis maintenu à cette température pendant au moins 2 h. Ensuite, il est transféré dans un bain de liquide à -40 °C au minimum en moins de 5 min;

- b) L'étape a) est répétée de façon à exécuter 15 cycles thermiques;
- c) Après avoir été conditionné pendant au moins 2 h dans le bain de liquide à -40 °C au minimum, le dispositif doit être soumis à des cycles de pression interne d'hydrogène variant de moins de 2 MPa (+1/-0 MPa) à 80 % de la PSN (+2/-0 MPa) durant 100 cycles, tandis que le bain est maintenu à la température de -40 °C au minimum;
- d) À la suite des cycles de variation de température et de pression, le dispositif de décompression doit satisfaire aux prescriptions indiquées pour l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), sauf que l'essai d'étanchéité doit être exécuté à -40 °C (+5/-0 °C). Après cet essai, le dispositif doit satisfaire aux prescriptions de l'essai d'actionnement en atelier (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4) puis à celles de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4).

1.4 Essai de résistance à la corrosion par le sel

Deux dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont mis à l'essai. Les éventuels bouchons non permanents placés à la sortie des dispositifs sont enlevés. Chaque dispositif est installé dans l'appareillage d'essai conformément aux recommandations du constructeur, de sorte que ses conditions d'exposition soient comparables à celles d'une exposition réelle. Chaque dispositif est ensuite exposé pendant 500 h à un brouillard salin conformément à la norme ASTM B117 (Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus). Toutefois, pour le premier dispositif, le pH de la solution saline doit être ajusté à $4,0 \pm 0,2$ par addition d'acide sulfurique et d'acide nitrique dans la proportion de 2:1 et pour le second à $10,0 \pm 0,2$ par addition d'hydroxyde de sodium. La température dans la chambre de brumisation est maintenue à 30-35 °C.

À la suite de cet essai, chaque dispositif de décompression doit satisfaire aux prescriptions indiquées pour l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 6.1.8 de l'annexe 3), l'essai de débit (voir le paragraphe 6.1.10 de l'annexe 3) et l'essai d'actionnement en atelier (voir le paragraphe 6.1.9 de l'annexe 3).

1.5 Essai d'exposition aux agents chimiques de l'environnement automobile

On évalue la résistance à la dégradation par exposition externe aux liquides présents sur le véhicule en exécutant l'essai ci-après:

- a) Les orifices d'entrée et de sortie du dispositif de décompression actionné par la chaleur doivent être raccordés ou obturés conformément aux instructions du constructeur. La surface extérieure du dispositif de décompression doit être exposée durant 24 h à chacun des liquides ci-après, à la température de 20 (± 5) °C:
 - i) Acide sulfurique – solution à 19 % en volume dans l'eau;
 - ii) Hydroxyde de sodium – solution à 25 % en poids dans l'eau;
 - iii) Nitrate d'ammonium – solution à 28 % en poids dans l'eau;
 - iv) Liquide lave-glace (solution à 50 % en volume d'alcool méthylique et d'eau).

On complète au besoin la quantité de liquide utilisée afin que l'exposition soit intégrale pendant la durée de l'essai. Chaque liquide fait l'objet d'un essai distinct. Un même dispositif de décompression peut être exposé successivement à tous les liquides;

- b) Après avoir été exposé à chacun des liquides, le dispositif de décompression est essuyé et rincé à l'eau;
- c) Le dispositif de décompression ne doit montrer aucun signe de dégradation physique qui pourrait nuire à son fonctionnement, comme des fissures, un ramollissement ou des boursouflures; les altérations superficielles telles que les piqûres ou les taches ne sont pas prises en considération. À la suite de cet essai, le dispositif de décompression doit satisfaire aux prescriptions indiquées pour l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4) et l'essai d'actionnement en atelier (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4).

1.6 Essai de rupture par corrosion sous tension

Dans le cas des dispositifs de décompression actionnés par la chaleur contenant des organes constitués d'alliages à base de cuivre (par exemple de laiton), seul un exemplaire est soumis aux essais. Tous les éléments en alliage de cuivre qui sont en contact avec l'atmosphère doivent être dégraissés puis exposés en continu pendant 10 jours à un brouillard d'ammoniac contenu dans une chambre en verre fermée par un couvercle en verre.

De l'ammoniac d'une densité relative de 0,94 est placé au fond de la chambre en verre, sous l'échantillon, à une concentration d'au moins 20 ml par litre de volume du récipient. L'échantillon est placé à 35 (\pm 5) mm au-dessus de l'ammoniac, sur un plateau en matériau inerte. Le brouillard d'ammoniac est maintenu à la pression atmosphérique, à une température de 35 (\pm 5) °C. Les éléments en alliage de cuivre ne doivent présenter ni fissure ni décollement pendant l'essai.

1.7 Essai de chute et de vibration

- a) Six dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont lâchés d'une hauteur de 2 m, à température ambiante (20 ± 5 °C), sur un sol en béton lisse, sur lequel ils peuvent rebondir. Chaque échantillon est lâché dans 6 directions différentes (selon les 3 axes orthogonaux: vertical, latéral et longitudinal, et dans les 2 sens). Si aucun des 6 échantillons ne présente de signe extérieur visible de détérioration qui le rendrait impropre à l'usage, il faut passer à l'étape b);
- b) Les 6 échantillons soumis à l'essai de chute mentionné sous a) plus un autre échantillon n'ayant pas été soumis à l'essai de chute sont placés sur un montage d'essai conformément aux instructions d'installation du constructeur et soumis à des vibrations pendant 30 min le long de chacun des 3 axes orthogonaux: vertical, latéral et longitudinal, à la fréquence de résonance la plus forte sur chaque axe. Cette fréquence est obtenue par une accélération de 1,5 g et un balayage sur une plage de fréquences sinusoïdales comprises entre 10 et 500 Hz, pendant 10 min. La fréquence de résonance se reconnaît à une augmentation marquée de l'amplitude des vibrations. Si la fréquence de résonance n'est pas obtenue dans cette gamme, l'essai est effectué à une fréquence de 40 Hz. Après cet essai, aucun des échantillons ne doit

présenter de signe extérieur visible qui le rendrait impropre à l'usage. Les échantillons doivent ensuite satisfaire aux prescriptions de l'essai de fuite (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4) et l'essai d'actionnement au banc (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4).

1.8 Essai de fuite

Un dispositif de décompression n'ayant pas encore subi d'essai est soumis à des essais à température ambiante, à haute température et à basse température, sans être soumis à d'autres essais de qualification. L'échantillon est maintenu pendant 1 h à chacune des températures et pressions d'essai avant l'essai. Les essais se déroulent comme suit:

- a) Essai à température ambiante: conditionner l'échantillon à $20 (\pm 5) ^\circ\text{C}$, puis le soumettre à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) et 150 % de la PSN (+2/-0 MPa);
- b) Essai à haute température: conditionner l'échantillon à une température minimum de $85 ^\circ\text{C}$, puis le soumettre à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) et 150 % de la PSN (+2/-0 MPa);
- c) Essai à basse température: conditionner l'échantillon à une température minimum de $-40 ^\circ\text{C}$, puis le soumettre à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) et 100 % de la PSN (+2/-0 MPa).

D'autres échantillons sont soumis à des essais de fuite conformément aux dispositions du paragraphe 1 de l'annexe 4 et exposés sans interruption à la température fixée dans les essais en question.

À toutes les températures fixées pour les essais, l'échantillon est conditionné pendant 1 min par immersion dans un fluide dont la température est contrôlée (ou par une méthode équivalente). Si aucune bulle n'apparaît pendant le délai prévu, l'essai est considéré comme réussi. En revanche, si des bulles apparaissent, le taux de fuite est mesuré selon une méthode appropriée. La fuite totale d'hydrogène doit être inférieure à 10 Nml/hr.

1.9 Essai d'actionnement au banc

Deux autres dispositifs de décompression sont soumis à cet essai sans avoir été soumis à d'autres essais de qualification afin d'établir un délai d'actionnement de référence. D'autres échantillons préalablement éprouvés (conformément aux paragraphes 1.1, 1.3, 1.4, 1.5 ou 1.7 de l'annexe 4) sont soumis aux essais d'actionnement au banc comme indiqué dans les autres essais visés au paragraphe 1 de l'annexe 4:

- a) Le montage d'essai se compose soit d'un four soit d'une cheminée capable de réguler le flux d'air de façon à obtenir une température de $600 (\pm 10) ^\circ\text{C}$ dans l'air entourant le dispositif de décompression. L'échantillon n'est pas exposé directement à la flamme. Il est placé dans un montage d'essai conformément aux instructions de pose du constructeur et la configuration d'essai doit être indiquée;
- b) Un thermocouple est placé dans le four ou la cheminée pour surveiller la température, qui doit rester dans une fourchette acceptable pendant 2 min avant le début de l'essai;

- c) Le dispositif de décompression pressurisé est placé dans le four ou la cheminée et le temps qu'il met à s'actionner est enregistré. Avant d'être placé dans le four ou la cheminée, un nouvel échantillon (n'ayant pas subi d'essai préalable) est soumis à une pression ne dépassant pas 25 % de la PSN et un autre encore (n'ayant pas subi d'essai préalable) est soumis à une pression égale à la PSN;
- d) Les dispositifs de décompression actionnés par la chaleur précédemment soumis aux autres essais du paragraphe 1 de l'annexe 4 doivent s'actionner dans un laps de temps qui ne dépasse pas de plus de 2 min le délai d'actionnement de l'échantillon pressurisé au maximum à 25 % de la PSN;
- e) Les délais d'actionnement des 2 échantillons n'ayant pas subi l'essai précédent ne doivent pas différer de plus de 2 min.

1.10

Essai de débit

- a) Huit dispositifs de décompression actionnés par la chaleur sont soumis à des essais de débit, dont 3 nouveaux échantillons plus 5 échantillons ayant déjà été soumis respectivement aux essais des paragraphes 1.1, 1.3, 1.4, 1.5 et 1.7 de l'annexe 4;
- b) Chaque échantillon est actionné conformément aux dispositions du paragraphe 1.9 de l'annexe 4. Après avoir été actionné, chaque échantillon, sans aucun nettoyage, démontage ni reconditionnement, est soumis à l'essai de débit, à l'aide d'hydrogène, d'air ou d'un gaz inerte;
- c) L'essai de débit est effectué à une pression d'entrée de $2 (\pm 0,5)$ MPa, à température ambiante. La température et la pression d'entrée sont enregistrées;
- d) Le débit est mesuré avec une exactitude de ± 2 %. La valeur la plus basse enregistrée pour les huit dispositifs de décompression ne doit pas être inférieure à 90 % de la valeur la plus haute.

2.

Essai de qualification des soupapes antiretour et des vannes d'arrêt

Les essais doivent être effectués avec de l'hydrogène gazeux conforme aux normes ISO 14687-2 et SAE J2719, à une température ambiante de $20 (\pm 5)$ °C, sauf indication contraire. Les essais de qualification de la soupape antiretour et de la vanne d'arrêt sont définis comme indiqué ci-dessous (voir aussi l'appendice 2):

2.1

Essai de résistance hydrostatique

La sortie de la soupape est obturée et ses organes internes sont bloqués en position ouverte. Un échantillon est soumis à l'essai sans avoir été soumis à d'autres essais de qualification pour définir une pression d'éclatement de référence, alors que les autres échantillons sont soumis aux essais ultérieurs définis dans le paragraphe 2 de l'annexe 4:

- a) Une pression hydrostatique égale à 250 % de la PSN ($+2/-0$ MPa) est appliquée à l'entrée de la soupape pendant 3 min. Après quoi le composant est examiné pour s'assurer qu'aucune rupture ne s'est produite;

- b) La pression hydrostatique est ensuite accrue au rythme maximum de 1,4 MPa/s jusqu'à défaillance du composant. On enregistre la pression hydrostatique à cet instant précis. La pression de défaillance des échantillons ayant précédemment été soumis aux essais représente au moins 80 % de la pression de défaillance de référence, sauf si la pression hydrostatique mesurée est supérieure à 400 % de la PSN.

2.2 Essai de fuite

Un échantillon n'ayant pas encore subi d'essai est soumis à cet essai, à 3 régimes de température sans avoir été soumis au préalable à d'autres essais de qualification. Les 3 régimes de température sont les suivants:

- a) Température ambiante: l'échantillon est conditionné à $20 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ et il est soumis à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) puis à 150 % de la PSN (+2/-0 MPa);
- b) Haute température: l'échantillon est conditionné à $85 ^\circ\text{C}$ au minimum et il est soumis à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) puis à 150 % de la PSN (+2/-0 MPa);
- c) Basse température: l'échantillon est conditionné à $-40 ^\circ\text{C}$ au minimum et il est soumis à une pression égale à 5 % (+0/-2 MPa) puis à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa).

D'autres échantillons sont soumis à l'essai de fuite conformément aux autres essais du paragraphe 2 de l'annexe 4, tout en étant exposés en continu aux températures prévues dans les essais en question.

La sortie de la soupape est obturée au moyen d'un raccord borgne et de l'hydrogène sous pression est appliqué à l'entrée. À toutes les températures d'essai prescrites, l'échantillon est conditionné pendant 1 min par immersion dans un fluide à température contrôlée (ou selon une méthode équivalente). Si aucune bulle n'est observée pendant la période de temps prescrite, l'échantillon a subi l'essai avec succès. Si au contraire des bulles apparaissent, le taux de fuite est mesuré au moyen d'une méthode appropriée. Ce taux ne doit pas dépasser 10 Nml/hr d'hydrogène gazeux.

2.3 Essai de cyclage à des températures extrêmes

- a) Le nombre total de cycles est fixé à 11 000 pour la soupape antiretour et à 50 000 pour la vanne d'arrêt. L'échantillon est placé dans un montage d'essai conforme aux instructions d'installation du constructeur. Il est actionné de manière répétée en continu avec de l'hydrogène gazeux, à toutes les pressions prescrites.

Un cycle de fonctionnement se définit comme suit:

- i) Une soupape antiretour est placée sur un montage d'essai et une pression égale à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa) est appliquée à 6 reprises à l'orifice d'entrée, l'orifice de sortie étant obturé, après quoi on laisse la pression à l'orifice d'entrée retomber à la pression atmosphérique. La pression appliquée sur la sortie de la soupape antiretour est réduite progressivement jusqu'à moins de 60 % de la PSN avant le cycle suivant;

- ii) Une vanne d'arrêt est reliée à un montage d'essai et la pression est appliquée en continu à la fois à l'entrée et à la sortie de la vanne.

Par cycle de fonctionnement, on entend un actionnement complet et un retour au point de départ.

- b) Les essais sont effectués sur un échantillon stabilisé aux températures ci-dessous:
 - i) Cycle à température ambiante. L'échantillon subit des cycles d'ouverture-fermeture à une pression égale à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 90 % du nombre total de cycles, la température étant stabilisée à 20 (±5) °C. Une fois les cycles de fonctionnement à température ambiante achevés, l'échantillon doit subir avec succès l'essai de fuite à température ambiante défini au paragraphe 2.2 de l'annexe 4;
 - ii) Cycle à haute température. L'échantillon est ensuite soumis à des cycles de fonctionnement à une pression égale à 125 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 5 % du nombre total de cycles à une température stabilisée de 85 °C ou plus. Une fois ces cycles achevés, l'échantillon doit subir avec succès l'essai de fuite à haute température (85 °C) défini au paragraphe 2.2 de l'annexe 4;
 - iii) Cycle à basse température. L'échantillon est ensuite soumis à des cycles de fonctionnement à une pression égale à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa) pendant 5 % du nombre total de cycles à une température stabilisée de -40 °C ou moins. Une fois ces cycles achevés, l'échantillon doit subir avec succès l'essai de fuite à basse température (-40 °C) défini au paragraphe 2.2 de l'annexe 4.
- c) Essai de battement de la soupape antiretour. Après avoir été soumise à 11 000 cycles de fonctionnement et aux essais de fuite décrits au paragraphe 2.3 b) de l'annexe 4, la soupape antiretour est soumise pendant 24 h au débit causant l'effet de battement maximum. Une fois l'essai achevé, la soupape antiretour doit subir avec succès l'essai de fuite à température ambiante (voir le paragraphe 2.2 de l'annexe 4) et l'essai de résistance hydrostatique (voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 4).

2.4 Essai de résistance à la corrosion par le sel

L'échantillon est placé dans un montage d'essai simulant sa position normale d'installation et exposé pendant 500 h à un brouillard d'eau salée, défini dans la norme ASTM B117 (Appareil à brouillard salin). La température dans la chambre de brumisation est maintenue à 30-35 °C. Cette solution est composée de 5 % de chlorure de sodium et de 95 % d'eau distillée en poids.

Immédiatement après l'essai de corrosion, l'échantillon est rincé et délicatement débarrassé de toute trace de sel, examiné pour voir s'il a subi une déformation, après quoi:

- a) Il ne doit pas présenter de signe de dégradation physique qui pourrait nuire à son fonctionnement, comme des fissures, un ramollissement ou des boursouffures; les altérations superficielles telles que les piqûres ou les taches ne sont pas prises en considération;

- b) Il doit subir avec succès l'essai de fuite à température ambiante (voir le paragraphe 2.2 de l'annexe 4);
- c) Il doit subir avec succès l'essai de résistance hydrostatique (voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 4).

2.5 Essai d'exposition aux agents chimiques de l'environnement automobile

La résistance à la dégradation due à une exposition aux liquides avec lesquels le véhicule est en contact est déterminée au moyen de l'essai ci-après:

- a) L'entrée et la sortie de la soupape sont raccordées ou obturées conformément aux instructions de montage du constructeur. Les surfaces extérieures de la soupape sont exposées pendant 24 h, à une température de 20 (\pm 5) °C, à chacun des liquides ci-dessous:
 - i) Acide sulfurique dilué à 19 % (en volume) dans de l'eau;
 - ii) Hydroxyde de sodium dilué à 25 % (en poids) dans de l'eau;
 - iii) Nitrate d'ammonium, dilué à 28 % (en poids) dans de l'eau; et
 - iv) Liquide pour lave-glace (composé pour moitié en volume d'alcool méthylique et pour moitié d'eau);

Si nécessaire, on complète le plein des liquides pour que la soupape reste immergée pendant toute la durée de l'essai. Chaque liquide est utilisé pour un essai distinct. Un échantillon peut être exposé à tous les liquides les uns après les autres;

- b) Après avoir été exposé à chacun des liquides, l'échantillon est essuyé et rincé à l'eau;
- c) Il ne doit pas présenter de signe de dégradation physique qui pourrait nuire à son fonctionnement, comme des fissures, un ramollissement ou des boursouffures; les altérations superficielles telles que les piqûres ou les taches ne sont pas prises en considération. Après tous les essais d'exposition, le ou les échantillons doivent satisfaire à l'essai de fuite à température ambiante (voir le paragraphe 2.2 de l'annexe 4) et à l'essai de résistance hydrostatique (voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 4).

2.6 Essai d'exposition aux agents atmosphériques

L'essai d'exposition aux agents atmosphériques s'applique à la qualification des soupapes antiretour et des vannes d'arrêt automatiques si l'échantillon contient des matériaux non métalliques en contact avec l'atmosphère dans des conditions normales de fonctionnement:

- a) Les matériaux non métalliques constituant les joints d'étanchéité qui sont exposés aux agents atmosphériques, pour lesquels une déclaration satisfaisante de propriétés n'a pas été déposée par le demandeur, ne doivent ni se fissurer ni présenter de signe visible de détérioration après avoir été exposés à de l'oxygène pendant 96 h, à une température de 70 °C, sous une pression de 2 MPa, conformément à la norme ASTM D572 (Détérioration du caoutchouc due à la chaleur et à l'oxygène);

- b) La résistance à l’ozone de tous les élastomères doit être prouvée au moyen de l’une des 2 méthodes ci-après ou des 2 à la fois:
 - i) Détermination de la résistance à l’ozone de chacun de leurs composés;
 - ii) Essai des composants conformément à la norme ISO 1431/1, la norme ASTM D1149 ou une méthode d’essai équivalente.

2.7 Essais électriques

Les essais électriques s’appliquent à la qualification des vannes d’arrêt automatiques mais ne s’appliquent pas à la qualification des soupapes antiretour.

- a) Essai sous tension anormale. L’électrovanne est raccordée à une source de courant continu à tension variable, selon les modalités suivantes:
 - i) L’électrovanne est maintenue à température constante pendant 1 h, à une tension égale à 1,5 fois la tension nominale;
 - ii) La tension est portée à 2 fois la tension nominale ou à 60 V, si cette dernière valeur est inférieure, et cette tension est maintenue pendant 1 min;
 - iii) Aucune défaillance ne doit causer une fuite vers l’extérieur, une ouverture non voulue de la soupape ou une situation d’insécurité comme de la fumée, des flammes ou un début de fusion;

La tension minimale d’ouverture à la PSN et à la température ambiante ne doit pas dépasser 9 V pour un système 12 V et ou 18 V pour un système 24 V;

- b) Essai de résistance à l’isolement. Un courant continu d’une tension de 1 000 V est appliqué entre la borne d’alimentation et le boîtier de la soupape pendant au moins 2 s. La résistance minimale admissible est de 240 kΩ.

2.8 Essai de vibration

La soupape est soumise à 100 % de la PSN (+2/-0 MPa) avec de l’hydrogène, obturée à ses 2 extrémités et soumise à des vibrations pendant 30 min le long de chacun des 3 axes orthogonaux (vertical, latéral et longitudinal), aux fréquences de résonance les plus fortes. La fréquence de résonance la plus forte est obtenue par une accélération de 1,5 g avec un balayage d’une plage de fréquences sinusoïdales comprises entre 10 et 40 Hz pendant 10 min. Si la fréquence de résonance n’est pas comprise dans cette gamme, l’essai est effectué à la fréquence de 40 Hz. À la suite de cet essai, aucun échantillon ne doit présenter de détérioration extérieure visible susceptible de compromettre ses caractéristiques fonctionnelles. Une fois l’essai achevé, l’échantillon doit satisfaire aux prescriptions de l’essai de fuite à température ambiante défini au paragraphe 2.2 de l’annexe 4.

2.9 Essai de fissuration par corrosion sous tension

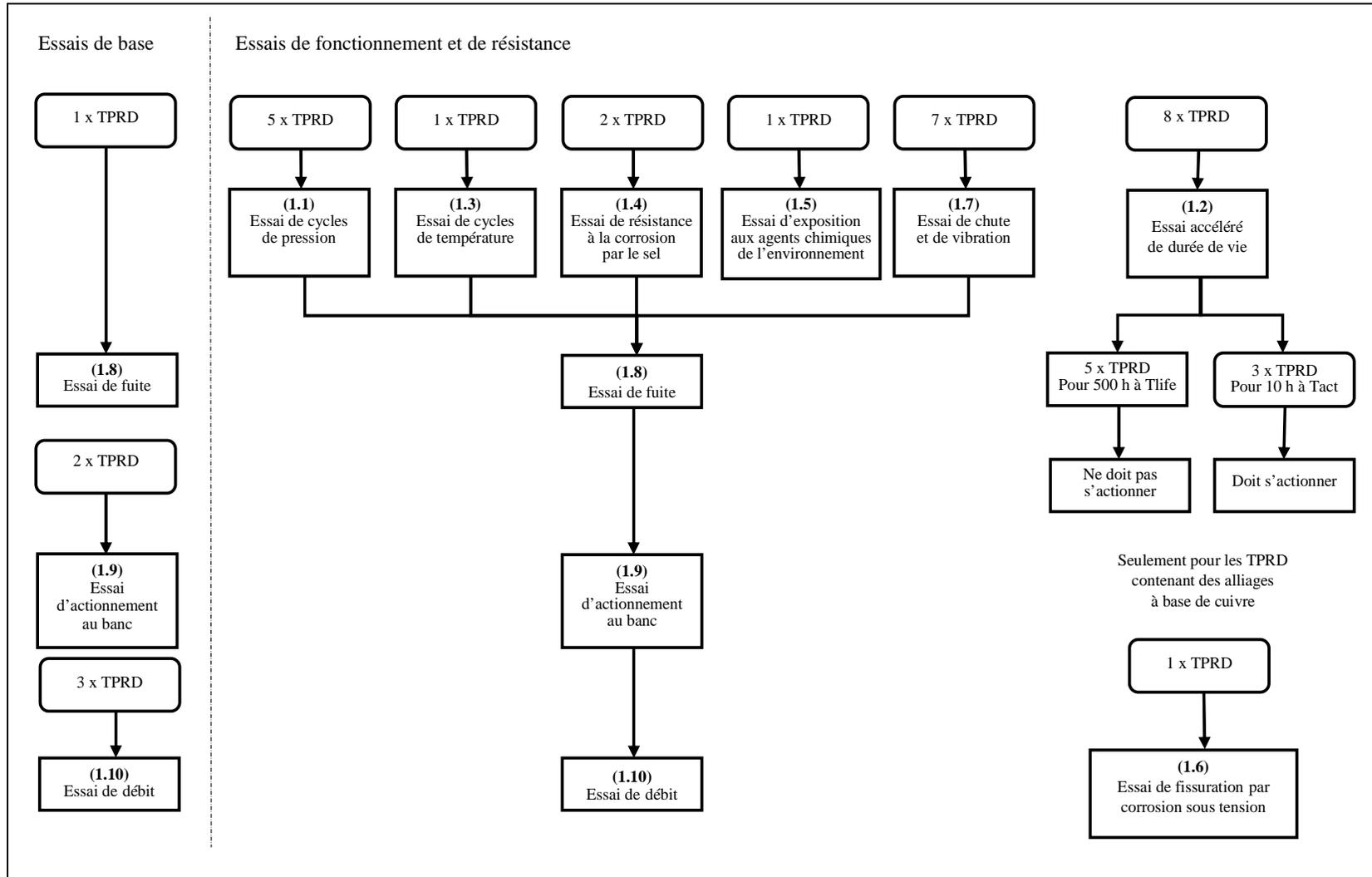
Dans le cas des soupapes contenant des éléments en alliage à base de cuivre (par exemple du laiton), un seul échantillon est soumis aux essais. La soupape est démontée, tous ses éléments en alliage de cuivre sont dégraissés puis elle est remontée avant d'être exposée en continu pendant 10 jours à un brouillard d'ammoniac contenu dans une chambre en verre fermée par un couvercle en verre.

De l'ammoniaque d'une densité relative de 0,94 est placé au fond de la chambre en verre, sous l'échantillon, à une concentration d'au moins 20 ml par litre de volume du récipient. L'échantillon est placé à 35 (± 5) mm au-dessus de la solution d'ammoniaque, sur un plateau en matériau inerte. Le brouillard d'ammoniac est maintenu à la pression atmosphérique, à une température de 35 (± 5) °C. Les éléments en alliage de cuivre ne doivent présenter ni fissure ni décollement pendant l'essai.

2.10 Essai d'exposition à l'hydrogène prérefroidi

La vanne est exposée à de l'hydrogène gazeux prérefroidi à -40 °C ou moins sous un débit de 30 g/s à une température externe de 20 (± 5) °C pendant une durée minimale de 3 min. La vanne est alternativement dépressurisée et repressurisée après une période de maintien en pression de 2 min. Ce cycle est répété 10 fois. Puis il est répété 10 fois de plus, mais avec une période de maintien en pression de 15 min. La vanne doit ensuite satisfaire aux prescriptions de l'essai de fuite à température ambiante décrit au paragraphe 2.2 de l'annexe 4.

Appendice 1 – Vue d'ensemble des essais applicables aux TPRD



Annexe 5

Procédures d'essai pour un système d'alimentation en carburant du véhicule comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé

1. Essai d'étanchéité du système de stockage d'hydrogène comprimé après choc

Les essais de choc réalisés pour mesurer les fuites d'hydrogène après un choc sont ceux qui sont décrits au paragraphe 7.2 du présent Règlement.

Avant d'effectuer un essai de choc, il convient de mettre en place dans le système de stockage d'hydrogène des instruments permettant de procéder aux mesures de pression et de température requises, si le véhicule type n'est pas déjà équipé d'instruments offrant la précision souhaitée.

On purge ensuite le système de stockage, si nécessaire, conformément aux instructions du constructeur, afin d'éliminer les impuretés se trouvant dans le réservoir avant de remplir le système avec de l'hydrogène ou de l'hélium comprimé. Sachant que la pression dans le système varie selon la température, la pression de remplissage variera en conséquence. La pression visée est déterminée comme suit:

$$P_{\text{target}} = \text{NWP} \times (273 + T_0) / 288$$

où PSN est la pression de service nominale (MPa), T_0 , la température ambiante à laquelle le système de stockage est censé se stabiliser et P_{target} , la pression de remplissage visée une fois que la température s'est stabilisée.

Le réservoir est rempli au minimum à 95 % de la pression de remplissage visée, puis laissé en l'état de façon à permettre la stabilisation avant l'exécution de l'essai de choc.

La vanne d'arrêt principale, ainsi que les autres vannes d'arrêt pour l'hydrogène, situées en aval dans le circuit d'hydrogène, sont maintenues ouvertes immédiatement avant le choc.

1.1 Essai d'étanchéité après choc – système de stockage rempli d'hydrogène comprimé

On mesure la pression de l'hydrogène, P_0 (MPa) et la température, T_0 (°C) immédiatement avant le choc, puis au terme d'un intervalle de temps déterminé, Δt (min), après le choc. L'intervalle, Δt , est d'au moins 60 min à partir du moment où le véhicule s'est immobilisé après le choc. Il faut le prolonger, si nécessaire, pour améliorer la précision de la mesure dans le cas d'un système de stockage à grand volume fonctionnant à une pression pouvant atteindre 70 MPa. Δt peut alors être calculé comme suit:

$$\Delta t = V_{\text{CHSS}} \times \text{NWP} / 1\,000 \times ((-0,027 \times \text{NWP} + 4) \times R_s - 0,21) - 1,7 \times R_s$$

où $R_s = P_s / \text{NWP}$, P_s étant la plage de pressions du capteur de pression (MPa), NWP, la pression de service nominale (MPa), V_{CHSS} , le volume du système de stockage d'hydrogène comprimé (l), et Δt , l'intervalle de temps (min). Si la valeur calculée pour Δt est inférieure à 60 min, Δt est fixé à 60 min.

La masse initiale de l'hydrogène dans le système de stockage peut être calculée comme suit:

$$P_0' = P_0 \times 288 / (273 + T_0)$$

$$\rho_0' = -0,0027 \times (P_0')^2 + 0,75 \times P_0' + 0,5789$$

$$M_0 = \rho_0' \times V_{CHSS}$$

La masse finale de l'hydrogène dans le système de stockage, M_f , à la fin de l'intervalle de temps, Δt , peut être calculée comme suit:

$$P_f' = P_f \times 288 / (273 + T_f)$$

$$\rho_f' = -0,0027 \times (P_f')^2 + 0,75 \times P_f' + 0,5789$$

$$M_f = \rho_f' \times V_{CHSS}$$

où P_f est la pression finale mesurée (MPa) à la fin de l'intervalle de temps et T_f , la température finale mesurée (°C).

Le débit moyen d'hydrogène dans l'intervalle de temps (qui doit être inférieur à ce qui est indiqué au paragraphe 7.2.1) est par conséquent calculé comme suit:

$$V_{H_2} = (M_f - M_0) / \Delta t \times 22,41 / 2,016 \times (P_{target} / P_0)$$

où V_{H_2} est le débit volumique moyen (Nl/min) dans l'intervalle de temps et l'expression (P_{target} / P_0) , le terme appliqué pour compenser les différences entre la pression initiale mesurée, P_0 , et la pression de remplissage visée, P_{target} .

1.2 Essai d'étanchéité après choc – système de stockage d'hydrogène comprimé rempli d'hélium comprimé

La pression de l'hélium, P_0 (MPa), et la température, T_0 (°C), sont mesurées immédiatement avant le choc, puis au terme d'un intervalle de temps prédéterminé après le choc. L'intervalle, Δt , est d'au moins 60 min à partir du moment où le véhicule s'est immobilisé après le choc. Il faut le prolonger, si nécessaire, pour améliorer la précision de la mesure dans le cas d'un système de stockage à grand volume fonctionnant à une pression pouvant atteindre 70 MPa. Δt peut alors être calculé comme suit:

$$\Delta t = V_{CHSS} \times NWP / 1\ 000 \times ((-0,028 \times NWP + 5,5) \times R_s - 0,3) - 2,6 \times R_s$$

où $R_s = P_s / NWP$, P_s étant la plage de pressions du capteur de pression (MPa), NWP , la pression de service nominale (MPa), V_{CHSS} , le volume du système de stockage d'hydrogène comprimé (l), et Δt , l'intervalle de temps (min). Si la valeur obtenue pour Δt est inférieure à 60 min, Δt est fixé à 60 min.

La masse initiale de l'hydrogène dans le système de stockage est calculée comme suit:

$$P_0' = P_0 \times 288 / (273 + T_0)$$

$$\rho_0' = -0,0043 \times (P_0')^2 + 1,53 \times P_0' + 1,49$$

$$M_0 = \rho_0' \times V_{CHSS}$$

La masse finale de l'hydrogène dans le système de stockage, M_f , à la fin de l'intervalle de temps, Δt , est calculée comme suit:

$$P_f' = P_f \times 288 / (273 + T_f)$$

$$\rho_f' = -0,0043 \times (P_f')^2 + 1,53 \times P_f' + 1,49$$

$$M_f = \rho_f' \times V_{CHSS}$$

où P_f est la pression finale mesurée (MPa) à la fin de l'intervalle de temps et T_f , la température finale mesurée (°C).

Le débit moyen d'hélium dans l'intervalle de temps est par conséquent calculé comme suit:

$$V_{He} = (M_f - M_0) / \Delta t \times 22,41 / 4,003 \times (P_{target} / P_0)$$

où V_{He} est le débit volumique moyen (NI/min) dans l'intervalle de temps et l'expression P_{target} / P_0 , le terme appliqué pour compenser les différences entre la pression initiale mesurée, P_0 , et la pression de remplissage visée, P_{target} .

La conversion du débit volumique moyen d'hélium en débit volumique moyen d'hydrogène s'effectue comme suit:

$$V_{H2} = V_{He} / 0,75$$

où V_{H2} est le débit volumique moyen d'hydrogène (qui doit être inférieur à ce qui est indiqué au paragraphe 7.2.1).

2. Essai de mesure des concentrations de gaz dans les espaces fermés après choc

Les données de mesure doivent être enregistrées au cours de l'essai de choc visant à mesurer les fuites éventuelles d'hydrogène (ou d'hélium) (voir la procédure d'essai au paragraphe 1 de l'annexe 5).

Il convient de choisir des capteurs permettant de mesurer soit l'accumulation d'hydrogène ou d'hélium, soit la diminution de la teneur en oxygène (résultant de l'effet de déplacement causé par les fuites d'hydrogène ou d'hélium).

Les capteurs doivent être étalonnés à partir de références reconnues de façon à offrir une précision de $\pm 5\%$ pour la concentration visée de 4 % d'hydrogène ou 3 % d'hélium par volume d'air, et une plage de mesure maximale dépassant d'au moins 25 % ces valeurs. Ils doivent pouvoir répondre à 90 % à une variation de la concentration de toute l'échelle dans un délai de 10 s.

Avant de procéder à l'essai de choc, on dispose les capteurs dans l'habitacle et le compartiment à bagages du véhicule comme suit:

- a) À 250 mm au maximum du garnissage de pavillon au-dessus du siège conducteur ou près du sommet de l'habitacle en sa partie centrale;
- b) À 250 mm au maximum du plancher en avant du siège arrière (ou le plus en arrière) dans l'habitacle;
- c) À 100 mm au maximum du sommet du compartiment à bagages du véhicule qui n'est pas directement affecté par l'essai de choc à réaliser.

Les capteurs doivent être montés solidement sur la structure ou les sièges du véhicule et protégés, en vue de l'essai de choc, des fragments, des gaz émis par les coussins gonflables et des objets projetés. Les données de mesure recueillies après le choc sont enregistrées par des instruments placés dans le véhicule ou situés à distance (téléométrie).

Le véhicule peut être placé à l'extérieur, en un endroit protégé du vent et des éventuels effets du soleil, ou à l'intérieur, dans un espace suffisamment grand ou ventilé, de façon à éviter une accumulation d'hydrogène au-delà de 10 % des valeurs visées pour l'habitacle et le compartiment à bagages.

La collecte des données de mesure dans les espaces fermés à la suite du choc débute lorsque le véhicule s'est immobilisé. Les données relevées par les capteurs sont collectées toutes les 5 s au moins, durant 60 min après le choc. Un déphasage du premier ordre (constante de temps) pouvant aller jusqu'à 5 s peut être appliqué aux mesures pour effectuer un «lissage» et filtrer les effets des données aberrantes.

Les valeurs filtrées obtenues de chaque capteur doivent être inférieures aux valeurs visées, à savoir 4,0 % pour l'hydrogène et 3,0 % pour l'hélium à tout moment durant la période d'essai de 60 min après le choc.

3. Essai de conformité en cas de défaillance simple

L'une ou l'autre des procédures d'essai présentées aux paragraphes 3.1 ou 3.2 de l'annexe 5 doit être mise en œuvre:
- 3.1 Procédure d'essai pour un véhicule équipé de détecteurs de fuites d'hydrogène
 - 3.1.1 Conditions d'essai
 - 3.1.1.1 Véhicule d'essai. Le système de propulsion du véhicule d'essai est démarré, porté à sa température normale de fonctionnement et laissé en marche durant la période de l'essai. S'il ne s'agit pas d'un véhicule à pile à combustible, il convient de le porter à température et de le laisser fonctionner au ralenti. Si le véhicule d'essai est doté d'un système d'arrêt automatique du ralenti, des mesures doivent être prises pour empêcher l'arrêt du moteur.
 - 3.1.1.2 Gaz d'essai. On utilise 2 mélanges d'air et d'hydrogène: une concentration de 3,0 % (ou moins) d'hydrogène dans l'air pour contrôler la fonction d'alarme, et une concentration de 4,0 % (ou moins) pour contrôler la fonction d'arrêt du gaz. Les concentrations appropriées doivent être choisies en fonction des recommandations du constructeur (ou des caractéristiques du détecteur).
 - 3.1.2 Méthode d'essai
 - 3.1.2.1 Préparation de l'essai. L'essai doit être réalisé à l'abri du vent de l'une des manières suivantes:
 - a) Un tuyau d'admission du gaz d'essai est raccordé au détecteur de fuites d'hydrogène;
 - b) Le détecteur est recouvert d'un capot, pour retenir le gaz à proximité de ce dernier.
 - 3.1.2.2 Exécution de l'essai
 - a) Du gaz d'essai est envoyé vers le détecteur de fuites d'hydrogène;
 - b) Le fonctionnement normal du système d'alarme est confirmé par un essai réalisé avec du gaz pour contrôler la fonction d'alarme;
 - c) La fermeture de la vanne d'arrêt principale est confirmée par un essai avec du gaz visant à contrôler la fonction de fermeture. Le contrôle du courant électrique alimentant la vanne principale d'arrêt ou le bruit émis par sa fermeture permettent de confirmer que la vanne d'arrêt principale de l'alimentation en hydrogène fonctionne bien.

- 3.2 Procédure d'essai pour vérifier le respect des prescriptions en ce qui concerne les espaces fermés et les systèmes de détection
 - 3.2.1 Préparation:
 - 3.2.1.1 L'essai doit être réalisé à l'abri du vent.
 - 3.2.1.2 Une attention particulière doit être portée aux conditions ambiantes lors de l'essai, car des mélanges inflammables d'hydrogène et d'air peuvent se former durant l'essai.
 - 3.2.1.3 Avant de procéder à l'essai, on prépare le véhicule de façon à pouvoir commander à distance des évacuations d'hydrogène à partir du système de stockage d'hydrogène. Le nombre, l'emplacement et la capacité de débit des points d'évacuation en aval de la vanne d'arrêt principale sont définis par le constructeur du véhicule sur la base des scénarios de fuite les plus défavorables. Au minimum, le débit total de toutes les évacuations commandées à distance doit permettre d'actionner les fonctions automatiques d'alarme et de fermeture.
 - 3.2.1.4 Aux fins de l'essai, un détecteur de concentration d'hydrogène est installé là où l'hydrogène gazeux risque le plus de s'accumuler dans l'habitacle (par exemple à proximité de la garniture de toit) lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.2 du présent Règlement, et des détecteurs de concentration d'hydrogène doivent être installés dans les volumes fermés ou semi-fermés sur le véhicule où l'hydrogène peut s'accumuler lors des évacuations de gaz simulées lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.3 du présent Règlement (voir le paragraphe 3.2.1.3 de l'annexe 5).
 - 3.2.2 Procédure:
 - 3.2.2.1 Les portières du véhicule, les fenêtres et autres ouvertures doivent être fermées.
 - 3.2.2.2 On démarre le système de propulsion, on le porte à sa température normale de fonctionnement et on le laisse tourner au ralenti pendant la durée de l'essai.
 - 3.2.2.3 On simule une fuite au moyen de la fonction de commande à distance.
 - 3.2.2.4 On mesure la concentration d'hydrogène de façon continue jusqu'à ce qu'elle n'augmente plus pendant 3 min. Lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.3 du présent Règlement, on augmente ensuite le débit de fuite simulée jusqu'à ce que la vanne d'arrêt principale se ferme et que le signal d'alarme soit actionné. Le contrôle du courant électrique alimentant la vanne d'arrêt ou le bruit émis par sa fermeture permettent de confirmer qu'elle fonctionne bien.
 - 3.2.2.5 Lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.2, l'essai est réussi si la concentration d'hydrogène dans l'habitacle ne dépasse pas 1,0 %. Lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.3, l'essai est réussi si le signal d'alarme et la fonction de fermeture s'actionnent aux niveaux (ou en dessous des niveaux) spécifiés au paragraphe 7.1.4.3; dans le cas contraire, l'essai est un échec et le système n'est pas qualifié pour être mis en service sur le véhicule.

-
4. Essai de conformité pour le système d'échappement du véhicule
 - 4.1 On fait chauffer le moteur du véhicule d'essai (pile à combustible ou autre moteur) jusqu'à sa température normale de fonctionnement.
 - 4.2 On porte l'appareil de mesure avant utilisation à sa température normale de fonctionnement.
 - 4.3 On place la sonde de mesure de l'appareil de mesure au centre du flux de gaz d'échappement, à 100 mm au maximum de l'orifice de sortie du tuyau d'échappement.
 - 4.4 On mesure la concentration d'hydrogène dans les gaz d'échappement de façon continue au cours des étapes suivantes:
 - a) Arrêt du système moteur;
 - b) À la fin de la procédure d'arrêt, redémarrage immédiat du système moteur;
 - c) Après un délai de 1 min, nouvel arrêt du système moteur et poursuite des mesures jusqu'à la fin de la procédure d'arrêt.
 - 4.5 Le temps de réponse de l'appareil de mesure doit être inférieur à 300 ms.
 5. Essai de conformité pour la tuyauterie d'alimentation en carburant
 - 5.1 On fait chauffer le système moteur du véhicule d'essai (pile à combustible ou autre moteur) jusqu'à sa température normale de fonctionnement, la tuyauterie d'alimentation en carburant étant sous pression.
 - 5.2 On recherche les fuites d'hydrogène sur les parties accessibles de la tuyauterie d'alimentation en carburant, entre la partie haute pression et la pile à combustible (ou le moteur), à l'aide d'un détecteur de gaz ou d'un liquide de détection des fuites tel qu'une solution savonneuse.
 - 5.3 La recherche doit s'effectuer essentiellement à l'endroit des joints.
 - 5.4 Dans le cas de l'utilisation d'un détecteur de fuite de gaz, on l'actionne pendant 10 s au moins en des points situés aussi près que possible de la tuyauterie.
 - 5.5 Dans le cas de l'utilisation d'un liquide de détection, l'observation s'effectue immédiatement après l'application du liquide. En outre, des contrôles visuels doivent avoir lieu quelques minutes après l'application pour détecter d'éventuelles bulles causées par des fuites.
 6. Vérification de l'installation

Il convient de vérifier la conformité du système par inspection visuelle.

Annexe 6

Procédures d'essai pour la qualification de la conception du système de stockage d'hydrogène liquéfié

1. Essais de vérification des caractéristiques mesurées de référence

1.1 Essai de pression d'épreuve

Le réservoir intérieur et la tuyauterie située entre ce dernier et l'enveloppe extérieure doivent subir avec succès un essai de pression interne à température ambiante, conformément aux prescriptions suivantes.

La pression d'essai p_{test} est définie par le constructeur et elle doit satisfaire au critère suivant:

$$p_{\text{test}} \geq 1,3 (\text{MAWP} \pm 0,1 \text{ MPa})$$

- a) Dans le cas d'un réservoir métallique, soit p_{test} doit être égale ou supérieure à la pression maximale du réservoir intérieur en conditions dégradées (comme indiqué au paragraphe 2.3 de l'annexe 6), soit le constructeur doit démontrer par calcul qu'aucune rupture ne se produit à la pression maximale du réservoir intérieur en conditions dégradées;
- b) Dans le cas d'un réservoir non métallique, p_{test} doit être égale ou supérieure à la pression maximale du réservoir intérieur en conditions dégradées (comme indiqué au paragraphe 2.3 de l'annexe 6).

La procédure d'essai est la suivante:

- a) L'essai s'applique au réservoir intérieur et à la tuyauterie qui le relie à l'enveloppe sous vide extérieure avant le montage de cette enveloppe;
- b) L'essai est effectué soit hydrauliquement avec de l'eau ou un mélange de glycol et d'eau, soit pneumatiquement avec du gaz. Le réservoir est mis en pression à taux constant jusqu'à la pression d'essai p_{test} , puis maintenu à cette pression durant 10 min au moins;
- c) L'essai se déroule à la température ambiante. Si l'on utilise du gaz pour pressuriser le réservoir, la montée en pression est effectuée de façon à ce que la température du réservoir corresponde à la température ambiante ou en soit proche.

L'essai est réussi si, durant les 10 premières minutes qui suivent l'application de la pression d'épreuve, on ne peut déceler visuellement aucune déformation permanente, aucune perte de pression du réservoir, ni aucune fuite.

1.2 Essai d'éclatement initial de référence

La procédure d'essai est la suivante:

- a) L'essai s'applique au réservoir intérieur et se déroule à la température ambiante;
- b) L'essai est effectué hydrauliquement avec de l'eau ou un mélange de glycol et d'eau;
- c) La pression est accrue à un rythme constant, qui ne dépasse pas 0,5 MPa/min, jusqu'à ce que le réservoir éclate ou fuie;

- d) Lorsque la pression de service maximale admissible (PSMA) est atteinte, on la maintient constante pendant une période d'observation de 10 min au moins pour vérifier si le réservoir subit une déformation;
- e) La pression est enregistrée ou consignée par écrit du début à la fin de l'essai.

Dans le cas d'un réservoir intérieur en acier, l'essai est réussi si l'un au moins des 2 critères indiqués au paragraphe 8.1.2 du présent Règlement est respecté. Pour un réservoir intérieur fabriqué dans un alliage d'aluminium ou dans un autre matériau, il convient de définir un critère de résultat positif garantissant au minimum le même niveau de sécurité que pour un réservoir intérieur en acier.

1.3 Essai de référence du nombre de cycles de pression

On soumet les réservoirs et/ou les enveloppes sous vide à un nombre de cycles de pression au moins 3 fois supérieur au nombre de cycles complets possibles (de la pression de fonctionnement la plus basse à la pression de fonctionnement la plus élevée), afin de vérifier les caractéristiques prévues en utilisation routière. Le nombre de cycles de pression est déterminé par le constructeur compte tenu de la gamme des pressions de fonctionnement, de la taille du réservoir et du nombre maximal de ravitaillements ainsi que du nombre maximal de cycles de pression dans des conditions extrêmes d'utilisation et de stockage. L'essai est réalisé entre la pression atmosphérique et la PSMA, à des températures où l'azote est liquide, par exemple en remplissant le réservoir d'azote liquide jusqu'à un niveau donné, puis en le pressurant et le dépressurant successivement avec de l'azote ou de l'hélium gazeux (prérefroidi).

2. Essais de vérification des caractéristiques prévues en utilisation routière

2.1 Essai de gestion de l'évaporation

La procédure d'essai est la suivante:

- a) On effectue un préconditionnement en remplissant le réservoir d'hydrogène liquéfié jusqu'au niveau de remplissage maximal spécifié. Ensuite, on extrait de l'hydrogène jusqu'à ce que le réservoir soit seulement à moitié plein et on laisse le système refroidir complètement durant 24 h au moins et 48 h au plus;
- b) On remplit le réservoir jusqu'au niveau de remplissage maximal spécifié;
- c) On augmente la pression jusqu'à ce que la pression d'évaporation soit atteinte;
- d) L'essai est prolongé pendant au moins 48 h de plus après le début de l'évaporation et il n'y est mis fin que lorsque la pression s'est stabilisée. La pression est considérée comme stabilisée lorsque sa valeur moyenne n'augmente pas sur une période de 2 h.

La pression du réservoir intérieur doit être enregistrée ou consignée par écrit du début à la fin de l'essai. L'essai est réussi si les conditions suivantes sont remplies:

- a) La pression se stabilise et demeure inférieure à la PSMA durant tout l'essai;

- b) Les dispositifs de décompression ne peuvent s'actionner durant tout l'essai.

2.2 Essai de fuite

L'essai de fuite d'hydrogène doit être réalisé conformément à la procédure décrite au paragraphe 2 de l'annexe 7.

2.3 Essai de perte de vide

La première partie de cet essai se déroule comme suit:

- a) L'essai est effectué sur un réservoir complètement refroidi (conformément à la procédure décrite au paragraphe 2.1 de l'annexe 6);
- b) Il est rempli d'hydrogène liquéfié jusqu'au niveau de remplissage maximal spécifié;
- c) L'espace sous vide est rempli d'air à débit constant jusqu'à ce que la pression atmosphérique soit atteinte;
- d) L'essai s'arrête dès que le premier dispositif de décompression ne s'ouvre plus.

La pression du réservoir intérieur et de l'enveloppe sous vide est enregistrée ou consignée par écrit du début à la fin de l'essai. La pression d'ouverture du premier dispositif de sécurité est enregistrée ou consignée par écrit. La première partie de l'essai est réussie s'il est satisfait aux conditions suivantes:

- a) Le premier dispositif de décompression s'ouvre à une pression inférieure ou égale à la pression de service maximale admissible (PSMA) et limite la pression à 110 % au maximum de la PSMA;
- b) Le premier dispositif de décompression ne s'ouvre pas à une pression supérieure à la PSMA;
- c) Le dispositif de décompression secondaire ne s'ouvre pas durant tout l'essai.

Une fois la première partie de l'essai exécutée avec succès, on répète l'essai après avoir régénéré le vide et refroidi le réservoir comme expliqué précédemment:

- a) La régénération du vide s'effectue à la valeur indiquée par le constructeur. Le vide est maintenu durant 24 h au moins. La pompe à vide peut rester raccordée jusqu'au moment où commence la phase de perte de vide;
- b) La seconde partie de l'essai de perte de vide se déroule avec un réservoir complètement refroidi (conformément à la procédure décrite au paragraphe 2.1 de l'annexe 6);
- c) Il est rempli jusqu'au niveau de remplissage maximal spécifié;
- d) La tuyauterie en aval du premier dispositif de décompression est bloquée et l'espace sous vide est rempli d'air à débit constant jusqu'à ce que la pression atmosphérique soit atteinte;
- e) L'essai s'arrête lorsque le deuxième dispositif de décompression ne s'ouvre plus.

La pression du réservoir intérieur et de l'enveloppe sous vide est enregistrée ou consignée par écrit du début à la fin de l'essai. Dans le cas d'un réservoir en acier, la seconde partie de l'essai est réussie si le dispositif de décompression secondaire ne s'ouvre pas en dessous de 110 % de la pression de consigne pour le premier dispositif de décompression et limite la pression dans le réservoir à 136 % au maximum de la PSMA en cas d'utilisation d'une soupape de sécurité, ou à 150 % de la PSMA en cas d'utilisation d'un disque de rupture comme deuxième dispositif de décompression secondaire. Pour les réservoirs fabriqués dans d'autres matériaux, il convient de démontrer qu'un niveau de sécurité équivalent est atteint.

3. Essai d'exposition au feu (conditions de retrait du service)

Le système de stockage de l'hydrogène liquéfié soumis à l'essai doit être représentatif du type à homologuer, aussi bien en ce qui concerne sa conception que sa fabrication. Il doit s'agir d'un produit complètement fini, équipé de tous ses accessoires.

La première partie de l'essai est conduite comme suit:

- a) L'épreuve du feu externe est effectuée sur un réservoir complètement refroidi (conformément aux dispositions du paragraphe 2.1 de l'annexe 6);
- b) Le réservoir doit avoir contenu pendant les 24 h précédentes un volume d'hydrogène liquéfié au moins égal à la moitié du volume en eau du réservoir intérieur;
- c) Le réservoir est rempli d'une quantité d'hydrogène égale, en masse, à la moitié de la quantité maximale admissible pouvant être contenue dans le réservoir intérieur;
- d) Un foyer est allumé à 0,1 m au-dessous du réservoir. La longueur et la largeur du foyer doivent dépasser celles du réservoir de 0,1 m. La température du feu doit être au moins égale à 590 °C et il doit continuer à brûler pendant toute la durée de l'essai;
- e) Au début de l'essai, la pression dans le réservoir doit être comprise entre 0 MPa et 0,01 MPa, au point d'ébullition de l'hydrogène dans le réservoir intérieur;
- f) L'essai doit se poursuivre jusqu'à ce que la pression dans le réservoir retombe à la pression de départ, ou même en dessous, mais, si le premier dispositif de décompression est d'un type à refermeture, l'essai se poursuit jusqu'à ce que le dispositif en question s'ouvre une seconde fois;
- g) Les conditions d'essai et la pression maximale atteinte à l'intérieur du réservoir pendant l'essai sont consignées dans un procès-verbal signé par le constructeur et le service technique.

L'essai est considéré comme réussi si les conditions suivantes sont remplies:

- a) Le dispositif de décompression secondaire ne s'actionne pas en dessous d'une pression égale à 110 % de la pression d'actionnement fixée pour le dispositif de décompression primaire;
- b) Le réservoir n'éclate pas et la pression dans le réservoir intérieur ne sort pas de la plage de défaillance admissible.

La plage de défaillance admissible pour les réservoirs en acier est définie comme suit:

- a) Si une soupape de sécurité fait office de dispositif de décompression secondaire, la pression à l'intérieur du réservoir ne doit pas dépasser 136 % de la PSMA du réservoir intérieur;
- b) Si un disque de rupture fait office de dispositif de décompression secondaire et s'il est situé en dehors de la zone sous vide, la pression à l'intérieur du réservoir doit être limitée à 150 % de la PSMA du réservoir intérieur;
- c) Si un disque de rupture fait office de dispositif de décompression secondaire et s'il est situé dans la zone sous vide, la pression à l'intérieur du réservoir doit être limitée à 150 % de la pression de service maximale admissible plus 0,1 MPa ($PSMA \pm 0,1 \text{ MPa}$) du réservoir intérieur.

Si d'autres matériaux sont utilisés, un niveau de sécurité équivalent doit être prouvé.

Annexe 7

Procédures d'essai pour les composants spécifiques du LHSS

Les procédures d'essai applicables aux dispositifs de décompression (par. 9.4.1 du présent Règlement) et aux vannes d'arrêt (par. 9.4.2) sont décrites ci-dessous:

Les essais doivent être effectués avec de l'hydrogène gazeux conforme aux normes ISO 14687-2 et SAE J2719, à une température ambiante de 20 (± 5)°C, sauf indication contraire.

1. Essai de pression

Les composants hydrogène doivent pouvoir supporter sans aucun signe visible de fuite ou de déformation une pression égale à 150 % de la PSMA, les orifices de sortie étant obturés. La pression est ensuite portée à 300 % de la PSMA, sans que le composant ne présente de signe visible de rupture ou de fissure.

Le système de mise sous pression doit être équipé d'une vanne d'arrêt complet et d'un manomètre dont la plage de pression est comprise entre 150 et 200 % de la pression d'essai et la précision de 1 % de la plage de pression.

Les composants devant être soumis à un essai d'étanchéité, cet essai doit être effectué avant l'essai de pression.

2. Essai de fuite vers l'extérieur

Un composant ne doit présenter aucune fuite par un joint de la tige ou du corps ou un autre joint quelconque, ni présenter de signes de porosité (défaut de fonderie) lorsqu'il est soumis aux essais décrits au paragraphe 3.3 de l'annexe 7, sous toute pression de gaz comprise entre 0 et la PSMA.

L'essai doit être effectué sur le même matériel, dans les conditions suivantes:

- a) À température ambiante;
- b) À la température de fonctionnement minimale ou à la température de l'azote liquide après une période de conditionnement suffisante pour établir la stabilité thermique;
- c) À la température de fonctionnement maximale après une période de conditionnement suffisante pour établir la stabilité thermique.

Pendant l'essai, le matériel soumis à l'essai doit être raccordé à une source de gaz sous pression. Une vanne d'arrêt complet et un manomètre ayant une plage de pression comprise entre 150 et 200 % de la pression d'essai doivent être installés dans la conduite de mise sous pression et la jauge doit avoir une précision de 1 % de la plage de pression. Le manomètre doit être placé entre la vanne d'arrêt complet et l'échantillon soumis à l'essai.

Tout au long de l'essai, l'échantillon, recouvert d'un agent tensioactif, ne doit présenter ni bulle ni fuite supérieure à 216 Nml/hr.

3. Essai d'endurance
 - 3.1 Un composant doit satisfaire aux prescriptions des essais d'étanchéité des paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7, après avoir subi 20 000 cycles de fonctionnement.
 - 3.2 Les essais d'étanchéité vers l'extérieur et d'étanchéité du siège, tels qu'ils sont décrits aux paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7, doivent être effectués juste après l'essai d'endurance.
 - 3.3 La vanne d'arrêt doit être raccordée de manière solide à une source d'air ou d'azote sec sous pression et subir 20 000 cycles de fonctionnement. Par cycle de fonctionnement, on entend une ouverture et une fermeture de la soupape pendant un laps de temps au moins égal à 10 ± 2 s.
 - 3.4 Le composant doit être actionné pendant 96 % du nombre de cycles prévus, à la température ambiante et à sa PSMA. Lors de la phase de fermeture, on doit laisser la pression aval du montage d'essai descendre jusqu'à 50 % de la PSMA du composant.
 - 3.5 Le composant doit être actionné pendant 2 % du nombre total de cycles à la température maximale du matériau (-40 à +85 °C) après une période de conditionnement suffisante pour établir la stabilité thermique, à sa PSMA. Le composant doit satisfaire aux dispositions des paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7 à la température maximale du matériau qui convient (-40 à +85 °C), une fois terminés les cycles d'exposition à haute température.
 - 3.6 Le composant est actionné pendant 2 % du nombre total de cycles à la température minimale du matériau (-40 à +85 °C) mais au minimum à la température de l'azote liquide, après une période de conditionnement suffisante pour établir la stabilité thermique, à sa PSMA. Le composant doit satisfaire aux prescriptions des paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7 à la température minimale prévue (-40 à +85 °C), une fois terminés les cycles d'exposition à basse température.
4. Essai de fonctionnement

L'essai de fonctionnement doit être effectué conformément à la norme EN 13648-1 ou 13648-2. Les prescriptions propres à ces deux normes sont applicables.
5. Essai de résistance à la corrosion

Les parties métalliques contenant de l'hydrogène doivent satisfaire aux essais d'étanchéité définis aux paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7, après avoir été soumis pendant 144 h à un brouillard d'eau salée conformément à la norme ISO 9227, tous les raccords étant obturés.

Les composants en cuivre ou en laiton en contact avec l'hydrogène doivent satisfaire aux essais d'étanchéité définis aux paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7, après avoir été plongés pendant 24 h dans un bain d'ammoniaque, conformément à la norme ISO 6957, tous raccords obturés.

6. Essai de résistance à la chaleur sèche

L'essai doit être effectué conformément à la norme ISO 188. L'échantillon doit être exposé à l'air, à une température égale à sa température de fonctionnement maximale pendant 168 h, pendant lesquelles sa résistance à la traction ne doit pas augmenter de plus de 25 %. Quant à son allongement à la rupture, il ne doit pas:

 - augmenter de plus de 10 %;
 - ou diminuer de plus de 30 %.
7. Essai de vieillissement à l'ozone

L'essai doit être effectué conformément à la norme ISO 1431-1. L'échantillon, qui doit subir une élongation sous contrainte de 20 %, doit être exposé à de l'air à +40 °C ayant une teneur en ozone de 50 parties par centaine de millions, pendant 120 h.

L'échantillon ne doit pas présenter de fissuration.
8. Essai de cycles de température

Les parties en matériaux non métalliques contenant de l'hydrogène doivent satisfaire aux essais d'étanchéité visés aux paragraphes 2 et 9 de l'annexe 7 après avoir été soumis pendant 96 h à un essai de cycles de température allant de leur température de fonctionnement minimale à leur température de fonctionnement maximale, chaque cycle durant 120 min, à leur PSMA.
9. Essai de cycles sur les conduites flexibles

Les conduites flexibles d'alimentation doivent satisfaire aux essais d'étanchéité pertinents visés au paragraphe 2 de l'annexe 7, après avoir été soumis à 6 000 cycles de pression.

La pression d'essai doit augmenter de la pression atmosphérique à la PSMA du réservoir en moins de cinq secondes et, après un délai d'au moins cinq secondes, redescendre à la pression atmosphérique en moins de cinq secondes.

L'essai de fuite vers l'extérieur, défini au paragraphe 2 de l'annexe 7, doit être effectué immédiatement après l'essai d'endurance.

Annexe 8

Procédure d'essai pour un système d'alimentation du véhicule comportant un LHSS

1. Essai d'étanchéité après choc des systèmes de stockage de l'hydrogène liquéfié
Avant l'essai de choc, le système de stockage de l'hydrogène liquéfié (LHSS) doit être préparé comme suit:

- a) Si le véhicule n'en est pas déjà équipé de série et s'il doit être soumis aux essais décrits au paragraphe 1 de l'annexe 5, il convient d'y installer au préalable les équipements suivants:
 - i) Un capteur de pression dont la valeur de mesure maximale soit au moins égale à 150 % de la PSMA, d'une précision d'au moins 1 % de la plage de mesure maximale et capable de lire des valeurs d'au moins 10 kPa;
 - ii) Un capteur de température capable de mesurer les températures cryogéniques attendues avant le choc. Il doit être placé à proximité d'un orifice de sortie, aussi près que possible du réservoir;
 - iii) Des orifices de remplissage et de vidange permettant de remplir ou de vider le dispositif de stockage de son contenu liquide ou gazeux, avant et après l'essai de choc;
- b) Le système de stockage est purgé avec au moins 5 volumes d'azote gazeux;
- c) Le dispositif de stockage est rempli avec de l'azote à un niveau équivalant au niveau maximum de remplissage de l'hydrogène, en poids;
- d) Une fois le système rempli, l'évent (d'évacuation de l'azote) doit être obturé et il faut laisser au réservoir le temps de trouver sa pression d'équilibre;
- e) L'étanchéité du dispositif de stockage est vérifiée.

Lorsque le capteur de température et le capteur de pression indiquent que le système s'est refroidi et que sa pression s'est équilibrée, le véhicule doit être soumis aux essais de choc conformément à la réglementation en vigueur dans l'État ou au niveau régional. Pendant 1 h au minimum après l'essai de choc, aucune fuite visible d'azote gazeux ou liquide froid ne doit apparaître. De plus, le bon fonctionnement des détendeurs ou des dispositifs de décompression doit être démontré afin de prouver que le système de stockage de l'hydrogène liquéfié est protégé contre l'éclatement après le choc. Si le vide d'isolation dans le système de stockage est intact après le choc, de l'azote gazeux peut être ajouté dans le système, par l'orifice de remplissage ou de vidange jusqu'à ce que les détendeurs et/ou les dispositifs de décompression s'actionnent. Dans le cas de détendeurs ou de dispositifs de décompression à refermeture, il doit être démontré qu'ils peuvent effectuer au moins 2 cycles complets d'ouverture et refermeture. Les gaz d'évacuation provenant des détendeurs ou des dispositifs de décompression ne doivent pas être envoyés vers l'habitacle ou le compartiment à bagages lors de ces essais après choc.

Une fois qu'il a été confirmé que les détendeurs et/ou les dispositifs de décompression sont toujours en état de fonctionnement, le système de stockage de l'hydrogène liquéfié doit être soumis à un essai d'étanchéité, conformément aux dispositions du paragraphe 1.1 ou du paragraphe 1.2 de l'annexe 5.

La procédure d'essai décrite au paragraphe 1.1 de l'annexe 8 ou la procédure alternative décrite au paragraphe 1.2 de l'annexe 8 (qui se subdivise en 1.2.1 et 1.2.2) peut être choisie au gré du constructeur.

1.1 Essai d'étanchéité des systèmes de stockage d'hydrogène liquéfié après choc

L'essai décrit ci-après pourrait remplacer à la fois l'essai d'étanchéité prescrit au paragraphe 1.2.1 de l'annexe 8 et les mesures de concentration de gaz définies au paragraphe 1.2.2 de cette même annexe. Après avoir obtenu confirmation que les détendeurs et les dispositifs de décompression fonctionnent toujours, on peut démontrer l'étanchéité du système de stockage en examinant toutes les parties susceptibles de fuir à l'aide d'un détecteur de fuite à hélium utilisé en mode renifleur. Cet essai peut remplacer l'essai d'étanchéité si les conditions préalables ci-après sont remplies:

- a) Aucune partie susceptible de fuir ne doit être située en dessous du niveau de l'azote liquide dans le réservoir;
- b) Toutes les parties susceptibles de fuir sont mises sous pression d'hélium gazeux lorsque le système de stockage est mis sous pression;
- c) Les capots et autres panneaux et composants peuvent être enlevés pour donner accès aux endroits susceptibles de fuir.

Avant l'essai, le constructeur doit communiquer la liste de toutes les parties du système de stockage susceptibles de fuir, notamment:

- a) Tous les raccords entre tuyaux et entre tuyaux et réservoir;
- b) Toutes les soudures sur des tuyaux et des composants se trouvant en aval du réservoir;
- c) Les soupapes;
- d) Les flexibles;
- e) Les capteurs.

Avant d'appliquer la surpression de l'essai d'étanchéité, le système de stockage doit être remis à la pression atmosphérique, et par la suite il doit être pressurisé avec de l'hélium jusqu'à la pression de fonctionnement, mais largement en dessous de la pression normale de consigne des dispositifs (de façon à éviter que les détendeurs ne s'actionnent pendant la période d'essai). L'essai est considéré comme réussi si la fuite totale (c'est-à-dire la somme de toutes les fuites détectées) est inférieure à 216 Nml/hr.

1.2 Essais alternatifs des systèmes de stockage d'hydrogène liquéfié après choc

Les essais prescrits aux paragraphes 1.2.1 et 1.2.2 de l'annexe 8 sont effectués conformément à la procédure définie au paragraphe 1.2 de cette même annexe.

1.2.1 Essai alternatif d'étanchéité après choc

Après avoir obtenu confirmation que les détendeurs et/ou les dispositifs de surpression sont toujours en état de fonctionnement, l'essai ci-après peut être effectué pour mesurer l'importance des fuites après choc. L'essai de mesure de la concentration prescrit au paragraphe 1.1 de l'annexe 5 doit être effectué en parallèle, pendant les 60 min de la période d'essai, si la concentration en hydrogène n'a pas été encore directement mesurée à la suite de l'essai de choc.

Le réservoir doit être ramené à la pression atmosphérique et vidé de son contenu liquide et réchauffé jusqu'à la température ambiante; à cette fin, on peut par exemple le purger plusieurs fois avec de l'azote chaud ou augmenter la pression de l'enveloppe sous vide.

Si la pression de consigne est inférieure à 90 % de la PSMA, le dispositif de décompression doit être désactivé pour empêcher qu'il ne s'actionne et libère du gaz pendant l'essai d'étanchéité.

Le réservoir doit ensuite être purgé avec de l'hélium:

- a) Soit en faisant passer dans le réservoir au moins cinq fois son volume d'hélium;
- ou
- b) Soit en pressurant et dépressurant le réservoir au moins cinq fois de suite.

Le système de stockage est ensuite rempli avec de l'hélium, à une pression de 80 % de la PSMA du réservoir ou à 10 % de moins que la valeur de consigne de la soupape de décompression primaire, si cette seconde valeur est moins élevée, et cette pression est maintenue pendant une période de 60 min. La perte de pression mesurée pendant ces 60 min doit être inférieure ou égale aux valeurs fixées ci-après, en fonction de la contenance en liquide du système de stockage d'hydrogène:

- a) 2 atm pour les systèmes dont la contenance est inférieure ou égale à 100 l;
- b) 1 atm pour les systèmes dont la contenance est supérieure à 100 l mais au maximum égale à 200 l; et
- c) 0,5 atm pour les systèmes dont la contenance dépasse 200 l.

1.2.2 Essai de mesure des concentrations dans les espaces fermés après choc

Les mesures relevées pendant l'essai d'étanchéité à l'hydrogène liquéfié (par. 1.2.1 de l'annexe 8) si le système de stockage d'hydrogène liquéfié contient de l'hydrogène pour l'essai ou celles relevées pendant l'essai d'étanchéité à l'hélium (par. 2 de l'annexe 8) doivent être consignées.

Il convient de choisir des capteurs capables de mesurer l'accumulation d'hydrogène ou d'hélium (selon le gaz qui est utilisé pour l'essai de choc dans le système de stockage. Ces capteurs peuvent mesurer soit la teneur en hydrogène ou en hélium de l'atmosphère à l'intérieur des compartiments soit la réduction de la teneur en oxygène due au déplacement de l'air par l'hydrogène ou l'hélium présent).

Les capteurs doivent être étalonnés sur la base de critères reconnus, avoir une précision de 5 % de la valeur de lecture pour une concentration en hydrogène de 4 % (essai avec de l'hydrogène liquéfié) ou une concentration en hélium de 0,8 % en volume dans l'air (dans le cas d'un essai à température ambiante avec de l'hélium), et avoir une valeur de mesure maximale d'au moins 25 % supérieure aux valeurs limites fixées. Ils doivent être capables de répondre à 90 % à une variation d'amplitude maximale de la concentration, en moins de 10 s.

L'installation sur les véhicules des systèmes de stockage d'hydrogène liquéfié doit satisfaire aux mêmes prescriptions que l'installation des systèmes de stockage d'hydrogène comprimé (par. 2 de l'annexe 5). Les données fournies par les capteurs doivent être collectées au moins toutes les 5 s et pendant une période de 60 min après que le véhicule se soit immobilisé s'il s'agit de mesurer l'accumulation d'hydrogène après choc, ou après le début de l'essai d'étanchéité avec l'hélium s'il s'agit de mesurer l'accumulation d'hélium jusqu'à 5 s en moyenne mobile, peuvent être appliquées aux valeurs de mesure aux fins de lissage et de filtrage des valeurs aberrantes. La moyenne mobile de chaque capteur doit être inférieure aux 4 % fixés pour l'hydrogène (dans le cas d'un essai avec de l'hydrogène liquéfié) ou au 0,8 % fixé pour l'hélium en volume dans l'air (dans le cas d'un essai avec l'hélium à température ambiante), à tout instant pendant les 60 min suivant le choc.
