



Commission économique pour l'Europe**Comité des transports intérieurs****Forum mondial de l'harmonisation des Règlements
concernant les véhicules****191^e session**

Genève, 14-16 novembre 2023

Point 4.8.6 de l'ordre du jour provisoire

Accord de 1958 :**Examen de projets d'amendements****à des Règlements ONU existants,****soumis par le GRSP****Proposition de série 02 d'amendements
au Règlement ONU n° 134
(Véhicules à hydrogène)****Communication du Groupe de travail de la sécurité passive***

Le texte ci-après, adopté par le Groupe de travail de la sécurité passive (GRSP) à sa soixante-treizième session (ECE/TRANS/WP.29/GRSP/73, par. 37), est fondé sur le document ECE/TRANS/WP.29/GRSP/2023/8, tel que modifié par le document informel GRSP-73-54. Il est soumis au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité d'administration de l'Accord de 1958 (AC.1) pour examen à leurs sessions de novembre 2023.

* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour 2023 tel qu'il figure dans le projet de budget-programme pour 2023 (A/77/6 (Sect. 20), tableau 20.6), le Forum mondial a pour mission d'élaborer, d'harmoniser et de mettre à jour les Règlements ONU en vue d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis en vertu de ce mandat.



Dans l'ensemble du texte du Règlement ONU, remplacer la référence à la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3) par :

« Selon les définitions figurant dans la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3), document ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.7, ... (<https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/resolutions>). ».

Paragraphe 1, note de bas de page 1, lire :

«¹ Le présent Règlement ne couvre pas la sécurité électrique des chaînes de traction électrique, la compatibilité des matériaux et la résistance à la fragilisation par l'hydrogène du système d'alimentation en carburant du véhicule, ni l'intégrité du système d'alimentation en carburant après choc en cas de choc arrière. ».

Paragraphe 1.2 et 1.3, lire :

« 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 des catégories M et N² comportant un système de stockage d'hydrogène comprimé en ce qui concerne ses prescriptions de sécurité. ».

Paragraphe 2.2 à 2.4, lire :

« 2.2 “Clapet antiretour”, un clapet qui évite le reflux de l'hydrogène.

2.3 “Système de stockage d'hydrogène comprimé (CHSS)”, un système conçu pour stocker l'hydrogène comprimé alimentant un véhicule à hydrogène et composé d'un réservoir, éventuellement muni d'accessoires, et de tous les dispositifs de fermeture primaire qui sont nécessaires pour isoler l'hydrogène stocké du reste du système d'alimentation en carburant et du milieu ambiant.

2.4 “Réservoir” (de stockage d'hydrogène), le composant sous pression du véhicule qui stocke le volume primaire d'hydrogène carburant dans une seule chambre ou dans plusieurs chambres raccordées en permanence. ».

Ajouter le nouveau paragraphe 2.5, libellé comme suit :

« 2.5 “Accessoires du réservoir”, les pièces non soumises à la pression qui sont fixées au réservoir, lui fournissent un appui ou une protection supplémentaire et ne peuvent être retirées que temporairement à des fins d'entretien ou d'inspection et à l'aide d'outils. ».

Le paragraphe 2.5 devient le paragraphe 2.6.

Les paragraphes 2.6 et 2.7 deviennent les paragraphes 2.7 et 2.8, et se lisent comme suit :

« 2.7 “Date de fabrication” (d'un réservoir à hydrogène comprimé), la date (mois et année) de l'essai de pression d'épreuve ou de l'essai de contrôle final effectué par le fabricant.

2.8 “Espaces fermés ou semi-fermés”, les volumes se trouvant à l'intérieur du véhicule (ou du contour du véhicule traversant des ouvertures), mais qui sont extérieurs au système hydrogène (système de stockage, système de pile à combustible, moteur à combustion interne et système de gestion du débit). ».

Supprimer le paragraphe 2.8.

Paragraphe 2.12, lire :

« 2.12 “Véhicule fonctionnant à l'hydrogène”, tout véhicule à moteur qui utilise comme moyen de propulsion de l'hydrogène gazeux comprimé, y compris les véhicules à pile à combustible et à moteur à combustion interne. L'hydrogène servant de carburant à ces véhicules est défini dans les normes ISO 14687:2019 et SAE J2719_202003. ».

Paragraphes 2.15 à 2.17, lire :

- « 2.15 “Pression de service maximale admissible (PSMA)”, la plus haute pression manométrique à laquelle un réservoir ou un système de stockage d’hydrogène est autorisé à fonctionner en conditions d’utilisation normales.
- 2.16 “Pression maximale de remplissage (PMR)”, la pression maximale appliquée à un système de stockage d’hydrogène comprimé au cours du remplissage. La pression maximale de remplissage est égale à 125 % de la pression de service nominale.
- 2.17 “Pression de service nominale (PSN)”, la pression manométrique qui caractérise les conditions d’utilisation typiques d’un système. Dans le cas des systèmes de stockage d’hydrogène comprimé, la PSN est la pression stabilisée du gaz comprimé à une température uniforme de 15 °C dans un réservoir plein. ».

Ajouter le nouveau paragraphe 2.18, libellé comme suit :

- « 2.18 “Habitacle”, l’espace destiné aux occupants, qui est délimité par le pavillon, le plancher, les parois latérales, les portes, les vitres extérieures, la cloison avant et la cloison arrière ou le hayon arrière. ».

Le paragraphe 2.18 devient le paragraphe 2.19.

Ajouter le nouveau paragraphe 2.20, libellé comme suit :

- « 2.20 “Système rechargeable de stockage de l’énergie électrique (SRSEE)”, le système rechargeable de stockage de l’énergie qui alimente le système de propulsion électrique. ».

Le paragraphe 2.19 devient le paragraphe 2.21.

Supprimer le paragraphe 2.20.

Le paragraphe 2.21 devient le paragraphe 2.22.

Les paragraphes 2.22 et 2.23 deviennent les paragraphes 2.23 et 2.24, et se lisent comme suit :

- « 2.23 “Vanne d’arrêt”, une vanne située entre le réservoir et le système d’alimentation en carburant du véhicule, qui est par défaut en position fermée en l’absence d’alimentation électrique.
- 2.24 “Défaillance unique”, une défaillance causée par un événement unique, y compris toute défaillance résultant de cette défaillance. ».

Ajouter les nouveaux paragraphes 2.25 et 2.26, libellés comme suit :

- « 2.25 “Flux thermique surfacique (HRR/A)”, le flux de chaleur par unité de surface du brûleur, qui est fonction du débit de combustible multiplié par le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du combustible. Il est approprié d’utiliser le PCI pour caractériser les incendies de véhicules, car l’eau issue de la combustion reste sous forme de vapeur. Le PCI du GPL est d’environ 46 MJ/kg, mais il doit être déterminé sur chaque site en tenant compte de la composition réelle du combustible.
- 2.26 “Taux de charge”, le rapport entre la densité de l’hydrogène dans les conditions réelles de température et de pression du système de stockage d’hydrogène comprimé et à 15 °C à la pression de service nominale. Il s’exprime en pourcentage et se calcule à l’aide de la formule suivante :

$$SOC(\%) = \frac{\rho(P, T)}{\rho(NWP, 15^\circ C)} \times 100$$

La densité de l’hydrogène à différentes pressions et températures est indiquée dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1
Densité de l'hydrogène comprimé (g/l)

Température (°C)	Pression (MPa)												
	1	10	20	30	35	40	50	60	65	70	75	80	87,5
-40	1,0	9,7	18,1	25,4	28,6	31,7	37,2	42,1	44,3	46,1	48,4	50,3	53,0
-30	1,0	9,4	17,5	24,5	27,7	30,6	36,0	40,8	43,0	45,1	47,1	49,0	51,7
-20	1,0	9,0	16,8	23,7	26,8	29,7	35,0	39,7	41,9	43,9	45,9	47,8	50,4
-10	0,9	8,7	16,2	22,9	25,9	28,7	33,9	38,6	40,7	42,8	44,7	46,6	49,2
0	0,9	8,4	15,7	22,2	25,1	27,9	33,0	37,6	39,7	41,7	43,6	45,5	48,1
10	0,9	8,1	15,2	21,5	24,4	27,1	32,1	36,6	38,7	40,7	42,6	44,4	47,0
15	0,8	7,9	14,9	21,2	24,0	26,7	31,7	36,1	38,2	40,2	42,1	43,9	46,5
20	0,8	7,8	14,7	20,8	23,7	26,3	31,2	35,7	37,7	39,7	41,6	43,4	46,0
30	0,8	7,6	14,3	20,3	23,0	25,6	30,4	34,8	36,8	38,8	40,6	42,4	45,0
40	0,8	7,3	13,9	19,7	22,4	24,9	29,7	34,0	36,0	37,9	39,7	41,5	44,0
50	0,7	7,1	13,5	19,2	21,8	24,3	28,9	33,2	35,2	37,1	38,9	40,6	43,1
60	0,7	6,9	13,1	18,7	21,2	23,7	28,3	32,4	34,4	36,3	38,1	39,8	42,3
70	0,7	6,7	12,7	18,2	20,7	23,1	27,6	31,7	33,6	35,5	37,3	39,0	41,4
80	0,7	6,5	12,4	17,7	20,2	22,6	27,0	31,0	32,9	34,7	36,5	38,2	40,6
85	0,7	6,4	12,2	17,5	20,0	22,3	26,7	30,7	32,6	34,4	36,1	37,8	40,2

».

Les paragraphes 2.24 à 2.28 deviennent les paragraphes 2.27 à 2.31.

Paragraphe 3.1.2, lire :

« 3.1.2 Un modèle de document d'information figure dans le modèle I de la partie 1 de l'annexe 1. ».

Paragraphe 3.2.2, lire :

« 3.2.2 Un modèle de document d'information figure dans le modèle II de la partie 1 de l'annexe 1. ».

Paragraphe 5, lire :

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

La présente partie contient les prescriptions applicables au système de stockage d'hydrogène comprimé.

- a) Les dispositifs de fermeture primaire, qui peuvent être associés, sont les suivants :
 - i) Dispositif de décompression thermocommandé (TPRD) ;
 - ii) Clapet antiretour ;
 - iii) Vanne d'arrêt ;
- b) Les dispositifs de fermeture primaire doivent être montés directement sur chaque réservoir ou à l'intérieur de chaque réservoir ;
- c) Les systèmes de stockage d'hydrogène comprimé doivent satisfaire aux prescriptions en matière d'essais fonctionnels résumées dans le tableau 2. Les procédures d'essai correspondantes sont décrites à l'annexe 3 ;

- d) Tous les nouveaux systèmes de stockage d'hydrogène comprimé destinés aux véhicules routiers doivent avoir une PSN inférieure ou égale à 70 MPa ;
- e) La durée de service du système de stockage d'hydrogène comprimé est déterminée par le fabricant, qui fixe la date de retrait du service en tenant compte des prescriptions fonctionnelles appliquées sur le marché concerné.

Tableau 2

Synthèse des prescriptions fonctionnelles

<i>Section énonçant les prescriptions</i>	<i>Article soumis à l'essai</i>
5.1 Essais de vérification des caractéristiques de référence	Réservoir ou réservoir et ses accessoires, selon le cas
5.2 Essais de vérification de la durabilité	Réservoir ou réservoir et ses accessoires, selon le cas
5.3 Essais de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route	Système de stockage d'hydrogène comprimé
5.4 Essai de vérification du comportement au feu (conditions justifiant le retrait du service)	Système de stockage d'hydrogène comprimé
5.5 Essai de vérification de la durabilité des dispositifs de fermeture	Dispositifs de fermeture primaire

».

Paragraphes 5.1.1 à 5.4, lire :

« 5.1.1 Pression d'éclatement initiale de référence

Trois (3) réservoirs doivent être soumis à une pression hydraulique jusqu'à éclatement conformément aux dispositions du paragraphe 2.1 de l'annexe 3. Les éventuels accessoires du réservoir doivent également être soumis à cet essai, à moins que le fabricant ne puisse démontrer que les accessoires n'influencent pas sur les résultats de l'essai et ne sont pas affectés par la procédure d'essai. Le fabricant doit fournir la documentation nécessaire (mesures et analyses statistiques) permettant de déterminer la valeur médiane de la pression d'éclatement des réservoirs neufs (pression d'éclatement initiale BP_0).

La pression d'éclatement de tous les réservoirs soumis à l'essai doit se situer dans la plage $BP_0 \pm 10\%$ et être supérieure ou égale à une pression d'éclatement minimale BP_{min} égale à 200 % de la PSN.

La pression d'éclatement minimale des réservoirs composites en fibres de verre doit être supérieure à 350 % de la PSN.

5.1.2 Résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles)

Trois (3) réservoirs sont soumis à des cycles de pression hydraulique ; ils doivent résister à l'éclatement pendant 22 000 cycles, l'essai s'arrête en cas de perte d'étanchéité conformément aux dispositions du paragraphe 2.2 de l'annexe 3. Les éventuels accessoires du réservoir doivent également être soumis à cet essai, à moins que le fabricant ne puisse démontrer que les accessoires n'influencent pas sur les résultats de l'essai et ne sont pas affectés par la procédure d'essai. La perte d'étanchéité ne doit pas survenir avant 11 000 cycles.

5.2. Essais de vérification de la durabilité (essais hydrauliques séquentiels)

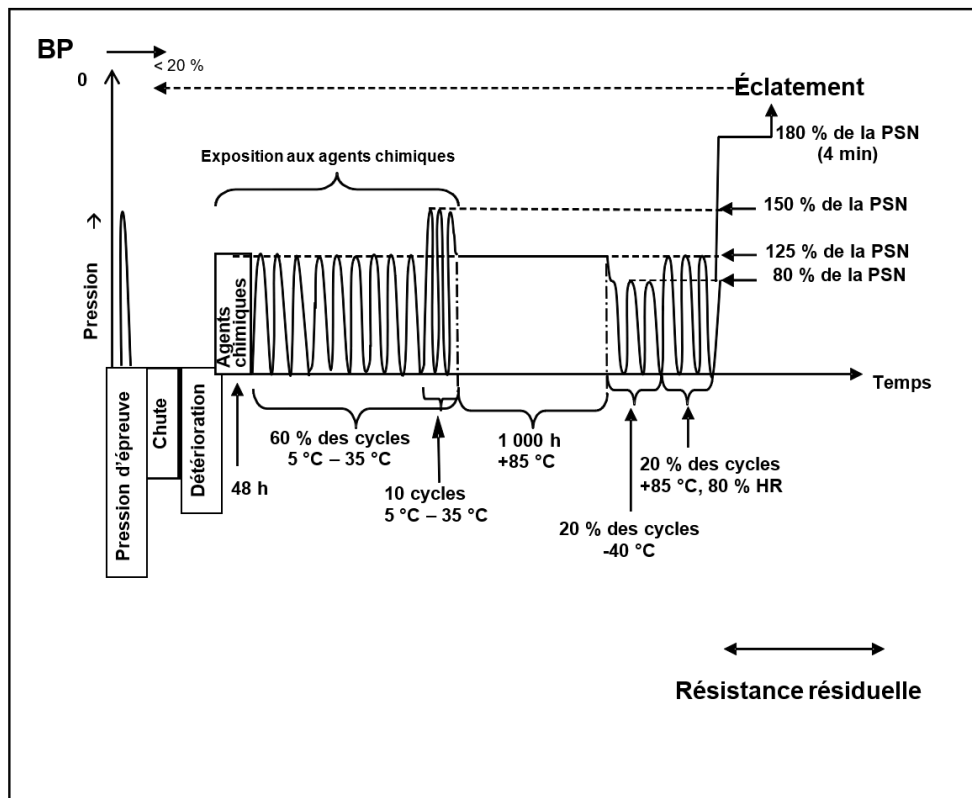
Si le nombre de cycles avant perte d'étanchéité des trois réservoirs mentionnés au paragraphe 5.1.2 est supérieur à 11 000 ou si toutes les valeurs mesurées sont comprises dans une fourchette de $\pm 25\%$ les unes par rapport aux autres, un seul (1) réservoir est soumis aux essais du présent paragraphe. Dans le cas contraire, trois (3) réservoirs sont soumis aux essais du présent paragraphe.

Sauf indication contraire, les essais du paragraphe 5.2 doivent être effectués sur le réservoir équipé de ses éventuels accessoires qui constitue le système de stockage d'hydrogène comprimé sans les dispositifs de fermeture primaire.

Le réservoir ne doit présenter aucune fuite pendant les essais décrits à la figure 1 ; ces essais sont menés de manière séquentielle sur un seul et même réservoir. Les procédures d'essai applicables sont définies en détail au paragraphe 3 de l'annexe 3.

Figure 1

Essai de vérification de la durabilité (essais hydrauliques)



5.2.1 Essai de pression d'épreuve

Le réservoir est mis sous pression conformément aux dispositions du paragraphe 3.1 de l'annexe 3. Les éventuels accessoires du réservoir doivent également être soumis à cet essai, à moins que le fabricant ne puisse démontrer que les accessoires n'influencent pas sur les résultats de l'essai et ne sont pas affectés par la procédure d'essai. Les réservoirs qui ont subi un essai de pression d'épreuve en usine sont dispensés du présent essai.

5.2.2 Essai de chute (choc)

Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à une chute selon l'une quelconque des orientations indiquées au paragraphe 3.2 de l'annexe 3.

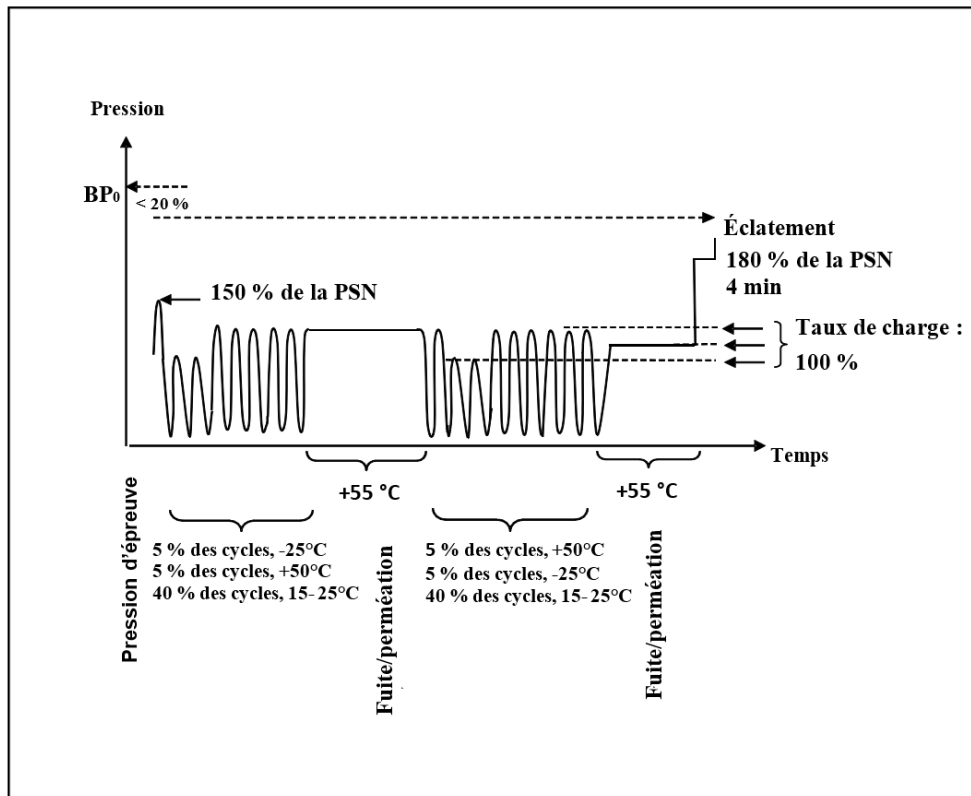
5.2.3 Essai de détérioration de la surface

Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à l'essai de détérioration de la surface décrit au paragraphe 3.3 de l'annexe 3.

Les réservoirs en métal sont dispensés de la partie de l'essai portant sur l'entaillage de la surface.

- 5.2.4 Essai de cycles de pression à température ambiante avec exposition aux agents chimiques
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est préalablement exposé aux agents chimiques présents dans l'environnement routier puis soumis à des cycles de pression conformément aux dispositions du paragraphe 3.4 de l'annexe 3.
- 5.2.5 Essai de pression statique à haute température
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est mis sous pression conformément aux dispositions du paragraphe 3.5 de l'annexe 3.
- 5.2.6 Essai de cycles de pression à des températures extrêmes
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à des cycles de pression conformément aux dispositions du paragraphe 3.6 de l'annexe 3.
- 5.2.7 Essai de pression d'épreuve en fin de vie
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est mis sous pression conformément à la procédure décrite au paragraphe 3.1 de l'annexe 3.
- 5.2.8 Essai de résistance résiduelle à l'éclatement
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à une pression hydraulique jusqu'à éclatement. La pression d'éclatement mesurée conformément à la procédure décrite au paragraphe 2.1 de l'annexe 3 doit être supérieure ou égale à 80 % de la valeur de BP_0 déterminée à partir des données fabricant au paragraphe 5.1.1.
- 5.3 Essais de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route (essais pneumatiques séquentiels)
- Le système de stockage d'hydrogène comprimé est soumis aux essais séquentiels illustrés à la figure 2 ci-dessous. Les procédures d'essai applicables aux systèmes de stockage d'hydrogène comprimé sont décrites à l'annexe 3.
- Pendant l'essai, le système de stockage d'hydrogène comprimé ne doit pas présenter de fuite et les dispositifs de fermeture primaire doivent rester fonctionnels.

Figure 2
Essai de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route
(essais pneumatiques)



5.3.1 Essai de pression d'épreuve

Le réservoir du système de stockage d'hydrogène comprimé est mis sous pression conformément aux dispositions du paragraphe 3.1 de l'annexe 3. Les éventuels accessoires du réservoir doivent également être soumis à cet essai, à moins que le fabricant ne puisse démontrer que les accessoires n'influent pas sur les résultats de l'essai et ne sont pas affectés par la procédure d'essai. Les réservoirs qui ont subi un essai de pression d'épreuve en usine sont dispensés du présent essai.

5.3.2 Essai de cycles de pression à températures ambiante et extrêmes (essais pneumatiques)

Le système de stockage d'hydrogène comprimé est mis sous pression conformément aux dispositions du paragraphe 4.1 de l'annexe 3.

5.3.3 Essais de fuite/perméation sous pression statique à des températures extrêmes (essais pneumatiques)

L'essai doit être mené conformément aux dispositions des paragraphes 4.2 et 4.3 de l'annexe 3.

Le débit de fuite/perméation maximal admissible du système de stockage d'hydrogène comprimé est de 46 ml/h/l de capacité en eau du système. En cas de fuite externe localisée, le débit de fuite mesuré conformément aux dispositions du paragraphe 4.3 de l'annexe 3 doit être inférieur ou égal à 0,005 mg/sec (3,6 Nml/min).

5.3.4 Pression d'épreuve en fin de vie (essai hydraulique)

Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est mis sous pression conformément à la procédure décrite au paragraphe 3.1 de l'annexe 3.

- 5.3.5 Essai de résistance résiduelle à l'éclatement (essai hydraulique)
- Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à une pression hydraulique jusqu'à éclatement. La pression d'éclatement mesurée conformément à la procédure décrite au paragraphe 2.1 de l'annexe 3 doit être supérieure ou égale à 80 % de la valeur de BP_0 déterminée à partir des données fabricant au paragraphe 5.1.1.
- 5.4 Essai de vérification du comportement au feu (conditions justifiant le retrait du service)
- Le système de stockage d'hydrogène comprimé est soumis à l'essai de feu localisé/enveloppant en deux phases défini au paragraphe 5 de l'annexe 3.
- Pendant cet essai, le taux de charge du système de stockage est de 100 %, le gaz d'essai étant l'hydrogène comprimé.
- La pression dans le système de stockage d'hydrogène comprimé doit retomber à moins de 1 MPa dans un délai d'une heure pour les véhicules des catégories M_1 et N_1 ou de deux heures pour les véhicules des catégories M_2 , M_3 , N_2 et N_3 . En cas de déclenchement des TPRD, l'évacuation du gaz doit être continue. Le réservoir doit résister à l'éclatement pendant l'essai au feu. À l'exception du gaz libéré par les TPRD, les rejets résultant d'une fuite, de la perméation ou de l'évacuation du gaz à travers les parois ou les joints du réservoir ou d'autres composants ne doivent pas provoquer de jets de flamme de plus de 0,5 m.
- Si la pression dans le réservoir n'est pas retombée à moins de 1 MPa dans les délais prescrits, l'essai est arrêté et on considère que le système de stockage ne satisfait pas aux critères de l'essai (même s'il a résisté à l'éclatement). ».

Paragraphes 5.5 et 5.6, lire :

- « 5.5 Prescriptions applicables aux dispositifs de fermeture primaire
- Les dispositifs de fermeture primaire du système de stockage d'hydrogène à haute pression (les TPRD), les clapets antiretour et les vannes d'arrêt doivent être éprouvés et homologués conformément à la partie II du présent Règlement et produits de manière à être conformes au type homologué.
- 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 condition ci-dessus. Cependant, toute modification physique d'un TPRD, de son emplacement ou de ses conduites d'évacuation nécessite une requalification conformément au paragraphe 5.4.
- 5.6 Étiquetage
- Une étiquette doit être fixée de façon permanente sur chaque réservoir ou accessoire et contenir au moins les renseignements suivants : nom du fabricant, numéro de série, date de la fabrication, PMR, PSN, type de carburant (par exemple "CHG" pour l'hydrogène gazeux) et date de retrait du service, ainsi que le nombre de cycles effectués lors de l'essai défini au paragraphe 5.1.2. Les étiquettes apposées conformément au présent paragraphe doivent rester en place et être lisibles pendant la durée de service recommandée par le fabricant.
- La date de retrait du service ne doit pas être fixée au-delà de 25 ans après la date de fabrication. ».

Paragraphes 6.1 et 6.2, lire :

- « 6.1 Prescriptions applicables aux dispositifs de décompression thermocommandés (TPRD)
- Les TPRD doivent satisfaire aux prescriptions fonctionnelles suivantes :
- a) Cycles de pression (par. 1.1 de l'annexe 4) ;

- b) Essai de vieillissement accéléré (par. 1.2 de l'annexe 4) ;
- c) Essai de cycles de température (par. 1.3 de l'annexe 4) ;
- d) Essai de résistance à la corrosion saline (par. 1.4 de l'annexe 4) ;
- e) Essai d'exposition aux agents chimiques présents dans l'environnement routier (par. 1.5 de l'annexe 4) ;
- f) Essai de fissuration par corrosion sous contrainte (par. 1.6 de l'annexe 4) ;
- g) Essai de chute et de vibration (par. 1.7 de l'annexe 4) ;
- h) Essai d'étanchéité (par. 1.8 de l'annexe 4) ;
- i) Essai de déclenchement sur banc (par. 1.9 de l'annexe 4) ;
- j) Essai de débit (par. 1.10 de l'annexe 4) ;
- k) Essai d'exposition aux agents atmosphériques (par. 1.11 de l'annexe 4).

6.2 Prescriptions applicables aux clapets antiretour et aux vannes d'arrêt

Les clapets 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) Essai de cycles de pression à des températures extrêmes (par. 2.3 de l'annexe 4) ;
- d) Essai de résistance à la corrosion saline (par. 2.4 de l'annexe 4) ;
- e) Essai d'exposition aux agents chimiques présents dans l'environnement routier (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 vibration (par. 2.8 de l'annexe 4) ;
- i) Essai de fissuration par corrosion sous contrainte (par. 2.9 de l'annexe 4). ».

Paragraphe 7, lire :

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

On trouvera ci-après les prescriptions relatives au système d'alimentation en carburant du véhicule, qui comprend le système de stockage d'hydrogène comprimé, les tuyauteries, les raccords et les composants contenant de l'hydrogène. Le système de stockage d'hydrogène présent dans le système d'alimentation en carburant du véhicule doit être éprouvé et homologué conformément à la partie I du présent Règlement et produit de manière à être conforme au type homologué. ».

Paragraphes 7.1.1.1 et 7.1.1.2, lire :

- « 7.1.1.1 L'embout de remplissage évite le reflux de l'hydrogène comprimé et empêche qu'il ne s'échappe dans l'atmosphère. La vérification se fait selon la procédure d'essai d'étanchéité décrite au paragraphe 2.2 de l'annexe 4.

- 7.1.1.2 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 (par exemple "CHG" pour l'hydrogène gazeux), PSN, PMR et date de retrait du service des réservoirs. ».

Ajouter le nouveau paragraphe 7.1.1.5, libellé comme suit :

- « 7.1.1.5 La géométrie de l'embout de remplissage des véhicules à hydrogène comprimé doit être conforme à la norme internationale ISO 17268:2020 et être compatible avec la spécification H35, H35HF ou H70 en fonction de la pression de service nominale et de l'utilisation qui en est faite. ».

Paragraphe 7.1.2, lire :

- « 7.1.2 Protection du système basse pression contre les surpressions (voir la procédure d'essai au paragraphe 6 de l'annexe 5)

La partie du système située en aval d'un détendeur (partie basse pression) doit être protégée contre toute surpression due à une défaillance éventuelle de ce dernier. La pression de déclenchement du dispositif de protection contre les surpressions doit être inférieure ou égale à la pression de service maximale admissible de la partie concernée du système. ».

Paragraphes 7.1.3.1 et 7.1.3.2, lire :

- « 7.1.3.1 Dispositifs de décompression (voir la procédure d'essai au paragraphe 6 de l'annexe 5)

- a) L'orifice de sortie de la ligne de mise à l'air libre des dispositifs de décompression thermocommandés du système de stockage d'hydrogène comprimé doit être protégé (par ex. par un couvercle) pour éviter que du sable ou de l'eau n'y pénètre ;
- b) Le flux d'hydrogène gazeux libéré par le ou les TPRD du système de stockage d'hydrogène comprimé doit être dirigé de manière à ne pas pouvoir se rabattre vers :
 - i) Des espaces fermés ou semi-fermés ;
 - ii) Un passage de roue ;
 - iii) Des réservoirs d'hydrogène gazeux ;
 - iv) Le SRSEE du véhicule.

- 7.1.3.2 Système d'échappement du véhicule (voir la procédure d'essai au paragraphe 5 de l'annexe 4)

Au point d'évacuation des gaz :

- a) La concentration moyenne en hydrogène doit être inférieure ou égale à 4,0 % en volume (moyenne mobile sur 3 s) en fonctionnement normal, y compris les phases de démarrage et d'arrêt du moteur ;
- b) La concentration instantanée en hydrogène (pics) doit être inférieure ou égale à 8,0 % (voir la procédure d'essai au paragraphe 4 de l'annexe 5). ».

Paragraphe 7.1.4.1, lire :

- « 7.1.4.1 En cas de rejet ou de fuite/perméation d'hydrogène gazeux depuis le système d'alimentation en carburant du véhicule, l'hydrogène ne doit pas être libéré directement dans l'habitacle ou le compartiment à bagages, ni dans aucun espace fermé ou semi-fermé à l'intérieur du véhicule contenant une source d'inflammation non protégée. ».

Paragraphe 7.1.5, lire :

« 7.1.5 Fuite du système d'alimentation en carburant

Les tuyauteries d'alimentation en hydrogène situées en aval de la ou des vannes d'arrêt principales 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). ».

Paragraphe 7.2, lire :

« 7.2 Intégrité du système d'alimentation en carburant après un choc

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

- a) Essai de choc avant conformément à l'annexe 3 du Règlement ONU n° 94 et à l'annexe 3 du Règlement ONU n° 137, dans la mesure prévue par leurs champs d'application respectifs ;
- b) Essai de choc latéral conformément à l'annexe 4 du Règlement ONU n° 95.

À la demande du constructeur, les véhicules qui n'entrent pas dans le champ d'application de ces Règlements ONU et qui dérivent de véhicules des catégories M₁ ou N₁ peuvent être soumis à des essais conformément aux procédures d'essai de choc prévues dans lesdits Règlements ONU.

Cette condition est considérée comme remplie si le véhicule équipé d'un système de stockage d'hydrogène comprimé est homologué conformément au Règlement ONU n° 94 (à compter de la série 05 d'amendements) ou au Règlement ONU n° 137 (à compter de la série 03 d'amendements) en ce qui concerne le choc avant et au Règlement ONU n° 95 (à compter de la série 06 d'amendements) en ce qui concerne le choc latéral, suivant ce que prévoit le champ d'application desdits Règlements.

Au cas où l'une ou l'autre de ces directions, ou les deux, ne serait pas applicable au véhicule pour les essais de choc, il faut soumettre le système de stockage d'hydrogène comprimé à des accélérations conformes aux plages de tolérance définies aux tableaux 3 à 5 dans les deux sens opposés. Le système doit satisfaire aux prescriptions des paragraphes 7.2.3 et 7.2.4. Les accélérations doivent être mesurées à l'endroit où est fixé le système de stockage d'hydrogène comprimé. Celui-ci doit être monté et fixé sur la partie représentative du véhicule. La masse utilisée doit être représentative d'un système de stockage d'hydrogène comprimé complètement équipé et rempli.

Les impulsions d'essai doivent être comprises entre les limites minimale et maximale conformément aux valeurs des tableaux 3 à 5. Un niveau de choc plus élevé ou une durée plus longue que ceux prescrits aux tableaux 3 à 5 peuvent être appliqués si le constructeur le recommande.

Figure 3
Description générale des impulsions d'essai

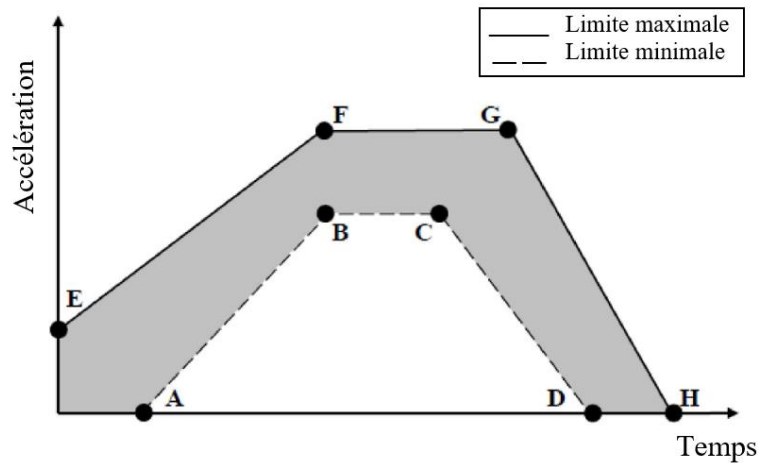


Tableau 3
Pour les véhicules des catégories M₁ et N₁

Point	Temps (ms)	Accélération (g)	
		Longitudinale	Transversale
A	20	0	0
B	50	20	8
C	65	20	8
D	100	0	0
E	0	10	4,5
F	50	28	15
G	80	28	15
H	120	0	0

Tableau 4
Pour les véhicules des catégories M₂ et N₂

Point	Temps (ms)	Accélération (g)	
		Longitudinale	Transversale
A	20	0	0
B	50	10	5
C	65	10	5
D	100	0	0
E	0	5	2,5
F	50	17	10
G	80	17	10
H	120	0	0

Tableau 5
Pour les véhicules des catégories M₃ et N₃

Point	Temps (ms)	Accélération (g)	
		Longitudinale	Transversale
A	20	0	0
B	50	6,6	5
C	65	6,6	5
D	100	0	0
E	0	4	2,5
F	50	12	10
G	80	12	10
H	120	0	0

Une méthode de calcul peut être utilisée au lieu d'un essai concret d'accélération si son équivalence peut être démontrée par le constructeur à la satisfaction du service technique et en accord avec l'autorité d'homologation de type. ».

Paragraphe 7.2.3, lire :

« 7.2.3 Déplacement du réservoir

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

Paragraphes 7.2.4.1 à 7.2.4.2, lire :

« 7.2.4.1 Prescriptions concernant l'installation d'un système de stockage d'hydrogène non soumis à l'essai de choc avant

Le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être monté de sorte que ses dispositifs de fermeture primaire soient situés en arrière d'un plan vertical perpendiculaire à l'axe médian du véhicule et placé à 420 mm en arrière du bord avant du véhicule. Dans tous les cas, le réservoir ne doit jamais se situer à l'extrémité du véhicule.

7.2.4.2 Prescriptions concernant l'installation d'un système de stockage d'hydrogène non soumis à l'essai de choc latéral

Le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être monté de sorte que ses dispositifs de fermeture primaire soient situés entre les deux plans verticaux parallèles à l'axe médian du véhicule, 200 mm à l'intérieur des bords les plus externes du véhicule au voisinage de son (ses) réservoir(s). Dans tous les cas, le réservoir ne doit jamais se situer à l'extrémité du véhicule. ».

Paragraphe 7.2.4.3, lire :

« 7.2.4.3 Essai de choc latéral applicable au système de stockage d'hydrogène comprimé en remplacement des prescriptions du paragraphe 7.2.4.2

À la demande du constructeur, le système de stockage d'hydrogène comprimé peut être éprouvé selon la procédure applicable décrite à l'alinéa a) ou b) ci-dessous, en remplacement des prescriptions du paragraphe 7.2.4.2.

- a) Pour les systèmes de stockage d'hydrogène comprimé installés de sorte que le point le plus bas de tout dispositif de fermeture primaire soit situé à une hauteur inférieure ou égale à 800 mm du sol : annexe 8, partie 1 ;
- b) Pour les systèmes de stockage d'hydrogène comprimé installés de sorte que le point le plus bas de tout dispositif de fermeture primaire soit situé à une hauteur supérieure à 800 mm du sol : annexe 8, partie 2.

Après l'essai de choc latéral, le système de stockage d'hydrogène comprimé doit satisfaire aux prescriptions des paragraphes 7.2.1 et 7.2.3.

Le constructeur et le service technique conviendront du système de stockage d'hydrogène comprimé à soumettre à l'essai.

Une méthode de calcul peut être utilisée au lieu d'un essai concret d'accélération si son équivalence peut être démontrée par le constructeur à la satisfaction du service technique et en accord avec l'autorité d'homologation de type. ».

Paragraphes 7.2.4.3.1 à 7.2.4.3.4, supprimer.

Paragraphes 9 à 9.3.2.3.7, lire :

« 9. Conformité de la production

- 9.1 Les procédures de conformité de la production doivent être conformes à celles qui sont définies à l'annexe 1 de l'Accord (E/ECE/324E/ECE/TRANS/505/Rev.3 et Amend.1).
- 9.2 Le contrôle de la production du réservoir du système de stockage d'hydrogène comprimé doit satisfaire aux prescriptions supplémentaires suivantes ;
- 9.2.1 Chaque réservoir (ou, avec l'accord de l'autorité d'homologation de type, chaque chambre du système de stockage d'hydrogène comprimé soumise à la pression) doit être mis sous pression graduellement, avec un fluide hydraulique ou du gaz à une pression cible ≥ 125 % de la PSN jusqu'à ce que la pression cible soit atteinte. Cette pression est alors maintenue pendant ≥ 30 secondes. Il faut tenir compte des variations de température au cours de l'essai. La variabilité de la qualité des produits, par exemple la variabilité de l'expansion élastique, doit être évaluée selon une méthode définie par le fabricant.
- 9.2.2 Essai par échantillonnage
- 9.2.2.1 L'essai par échantillonnage et le contrôle de la production ont lieu sur la base de lots de produits. Un lot ne doit pas contenir plus de 200 unités ou du nombre d'unités produites pendant une période de production, le plus grand des deux nombres étant retenu. Le fabricant doit réaliser les essais prescrits au paragraphe 9.2.3 sur au moins un système de stockage d'hydrogène comprimé prélevé au hasard dans chaque lot produit. Si les résultats des essais par échantillonnage confirment qu'un système est défectueux, le fabricant doit empêcher l'utilisation de tous les systèmes du même lot.
- 9.2.2.2 À la demande du fabricant, après l'achèvement d'essais menés sur au moins 20 lots séquentiels, comprenant au moins 2 000 réservoirs finis, conformément aux prescriptions du paragraphe 9.2.2.1, l'autorité d'homologation de type peut accepter d'autres procédures d'échantillonnage de systèmes de stockage d'hydrogène comprimé de sa production. Dans ce cas, il faut adopter des mesures assurant la traçabilité des données de contrôle de la qualité et suffisant à la surveillance des écarts de production dus à différents facteurs, par exemple les matériaux, le processus, les milieux, pour chaque système de stockage d'hydrogène comprimé produit. Le fabricant doit effectuer les essais spécifiés au paragraphe 9.2.3 sur des systèmes de stockage d'hydrogène comprimé prélevés au hasard selon le taux d'échantillonnage qu'il a déterminé. Si les résultats des essais par échantillonnage confirment qu'un système est défectueux, le fabricant doit identifier tous les systèmes susceptibles de présenter les mêmes défauts et prendre les mesures appropriées pour que ces systèmes cessent d'être utilisés.

Le taux d'échantillonnage déterminé par le fabricant doit être fondé sur une justification logique et vérifié dans le cadre de l'évaluation initiale réalisée conformément au paragraphe 9.1. Ce taux peut être assorti d'une stratégie d'adaptation en fonction des facteurs qui influent sur la stabilité de la qualité du produit.

9.2.3 Procédure d'essai par échantillonnage

9.2.3.1 Essai d'éclatement

L'essai doit être exécuté conformément au paragraphe 2.1 de l'annexe 3 (essai d'éclatement). La pression d'éclatement de chaque échantillon mis à l'essai doit être au moins égale à la valeur de BP_{min} et la pression d'éclatement moyenne enregistrée sur les 10 derniers essais doit être supérieure ou égale à $BP_0-10\%$.

9.2.3.2 Essai de cycles de pression à la température ambiante : essai par lots

L'essai doit être exécuté conformément au paragraphe 2.2 a) à c) (cycles de pression hydrostatique) de l'annexe 3, sans que les prescriptions concernant la température du liquide et le revêtement du réservoir ainsi que celles qui concernent l'humidité relative s'appliquent. Le réservoir du système de stockage d'hydrogène comprimé doit être soumis à des cycles de pression avec des pressions hydrostatiques supérieures ou égales à 125 % de la PSN, à 22 000 cycles lorsqu'il ne se produit pas de fuite ou jusqu'à ce qu'une fuite se produise. La perte d'étanchéité ne doit pas survenir avant 11 000 cycles. »

Paragraphe 13.1, lire :

« 13.1 À compter de la date officielle d'entrée en vigueur de la série 02 d'amendements, aucune Partie contractante appliquant le présent Règlement ONU ne pourra refuser d'accorder ou d'accepter une homologation de type en vertu dudit Règlement tel que modifié par la série 02 d'amendements. ».

Paragraphe 13.6, lire :

« 13.6 À compter du 1^{er} septembre 2027, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement ONU ne seront plus tenues d'accepter les homologations de type établies conformément aux précédentes séries d'amendements, délivrées pour la première fois après le 1^{er} septembre 2027. ».

Ajouter les nouveaux paragraphes 13.7 à 13.9, libellés comme suit :

« 13.7 Les Parties contractantes appliquant le présent Règlement ONU continueront de reconnaître les homologations de type établies au titre de l'une quelconque des précédentes séries d'amendements, délivrées pour la première fois avant le 1^{er} septembre 2027, sous réserve que les dispositions transitoires énoncées dans lesdites séries d'amendements prévoient cette possibilité.

13.8 Les Parties contractantes appliquant le présent Règlement ONU pourront accorder des homologations de type en vertu de l'une quelconque des précédentes séries d'amendements audit Règlement.

13.9 Les Parties contractantes appliquant le présent Règlement ONU doivent continuer d'accorder des extensions aux homologations déjà délivrées en vertu de l'une quelconque des précédentes séries d'amendements audit Règlement. ».

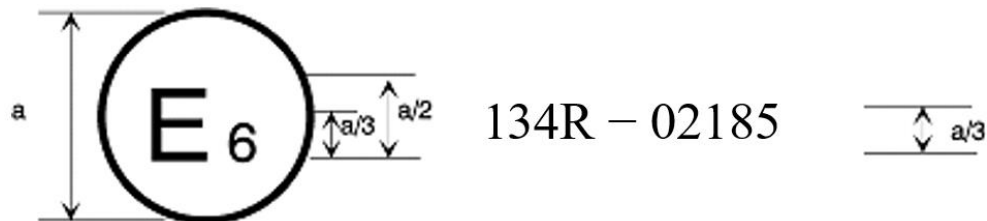
Annexe 2, lire :

« Annexe 2

Exemples de marques d'homologation

Modèle A

(voir les paragraphes 4.4 à 4.4.2 du présent Règlement)

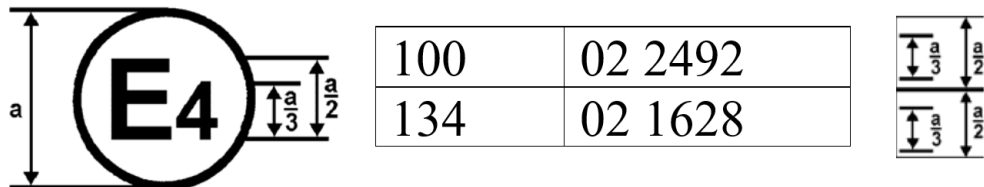


$a = 8 \text{ mm min}$

La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule/système de stockage/composant spécifique, indique que le type de ce véhicule/système de stockage/composant spécifique a été homologué en Belgique (E 6) en ce qui concerne les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène en vertu du Règlement ONU n° 134. Les deux premiers chiffres du numéro d'homologation indiquent que l'homologation a été délivrée conformément aux dispositions du Règlement ONU n° 134 tel que modifié par la série 02 d'amendements.

Modèle B

(voir le paragraphe 4.5 du présent Règlement)



$a = 8 \text{ mm min}$

La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule, indique que le véhicule routier concerné a été homologué aux Pays-Bas (E 4) en vertu des Règlements n°s 134 et 100*. Le numéro d'homologation indique qu'à la date où les homologations correspondantes ont été délivrées, le Règlement ONU n° 100 était modifié par la série 02 d'amendements et le Règlement ONU n° 134 était modifié par la série 02 d'amendements. ».

Annexe 3 (tous les paragraphes), lire :

« Annexe 3

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

1. Les procédures d'essai de conformité des systèmes de stockage d'hydrogène comprimé sont organisées comme suit :

* Le second numéro n'est donné qu'à titre d'exemple.

Paragraphe 2 et 3 de la présente annexe : Procédures d'essai de vérification des caractéristiques de référence (voir le paragraphe 5.1 du présent Règlement) et procédures d'essai de vérification de la durabilité (voir le paragraphe 5.2) ;

Paragraphe 4 de la présente annexe : Procédures d'essai de vérification des caractéristiques attendues en utilisation sur route (voir le paragraphe 5.3 du présent Règlement) ;

Paragraphe 5 de la présente annexe : Procédures d'essai de vérification du comportement au feu (voir le paragraphe 5.4 du présent Règlement) ;

Sauf indication contraire, tous les essais sont menés à une température ambiante de 20 ± 15 °C.

Sauf indication contraire, la fréquence d'échantillonnage des données pour les essais de cycles de pression est d'au moins 1 Hz.

Sauf indication contraire, le fabricant peut recommander des limites de tolérance des paramètres d'essai qui ne sont pas définies de manière stricte.

2. Procédures d'essai de vérification des caractéristiques de référence

2.1 Essai de résistance à l'éclatement (essai hydraulique)

L'essai de résistance à l'éclatement doit être effectué à température ambiante, à l'aide d'un fluide hydraulique. 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 que le réservoir soit placé en série entre la source de pression et le dispositif de mesure de celle-ci, ou que la durée pendant laquelle la pression est supérieure à la pression d'éclatement visée soit supérieure à 5 s. La pression d'éclatement du réservoir doit être consignée.

2.2 Essai de cycles de pression à température ambiante (essai hydraulique)

Cet essai doit être conduit conformément à la procédure ci-après et aux paramètres d'essai indiqués au tableau 1 ci-dessous :

- a) On remplit le spécimen d'essai de fluide hydraulique ;
- b) Au début de l'essai, on stabilise le spécimen d'essai et le fluide à la température indiquée au tableau 1. Le milieu ambiant, le fluide hydraulique et la surface du spécimen d'essai doivent être maintenus à la température indiquée du début à la fin des cycles de pression. La température du spécimen d'essai peut toutefois s'écarter de la température ambiante durant les cycles de pression ;
- c) On soumet le spécimen d'essai à des cycles de pression entre 2 ± 1 MPa et les pressions cibles indiquées au tableau 1 ;
- d) La température du fluide hydraulique entrant dans le réservoir est maintenue à la valeur spécifiée et mesurée le plus près possible de l'orifice d'entrée du réservoir.

Note : Le fabricant peut définir un profil de cycle de pression adéquat afin d'éviter une défaillance prématurée du réservoir due à des conditions d'essai en dehors des limites de conception.

Tableau 1
Cycles de pression et conditions d'essai

Objet	Nombre de cycles	Pression cible	Température	Vitesse
Résistance aux cycles de pression (par. 5.1.2)	22 000 cycles ou jusqu'à l'apparition d'une fuite	≥ 125 % de la PSN	Milieu ambiant 20 ± 15 °C Fluide hydraulique 20 ± 15 °C	≤ 10 cycles par minute

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 réservoir muni de ses éventuels accessoires est mis sous pression graduellement, avec un fluide hydraulique ou du gaz, jusqu'à ce que la pression cible soit atteinte. Cette pression est alors maintenue pendant la durée spécifiée au tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2

Pression cible et durée de maintien de la pression d'épreuve

<i>Objet</i>	<i>Pression cible</i>	<i>Durée de maintien</i>
Essai de pression d'épreuve (réservoir neuf) (par. 5.2.1 et 5.3.1)	≥ 150 % de la PSN	≥ 30 s
Essai de pression d'épreuve en fin de vie (par. 5.2.7 et 5.3.4)	≥ 180 % de la PSN	≥ 4 min

3.2 Essai de chute (choc) (sans mise sous pression)

Le réservoir muni de ses éventuels accessoires est soumis à l'essai de chute sans pression interne et sans clapets ou vannes. La surface sur laquelle tombe le spécimen d'essai doit être une dalle en béton horizontale et lisse ou une surface de dureté équivalente. Aucune mesure ne doit être prise pour empêcher le spécimen d'essai de rebondir ou de se renverser au cours d'un essai de chute ; par contre, il convient de l'empêcher de se renverser pendant l'essai de chute verticale.

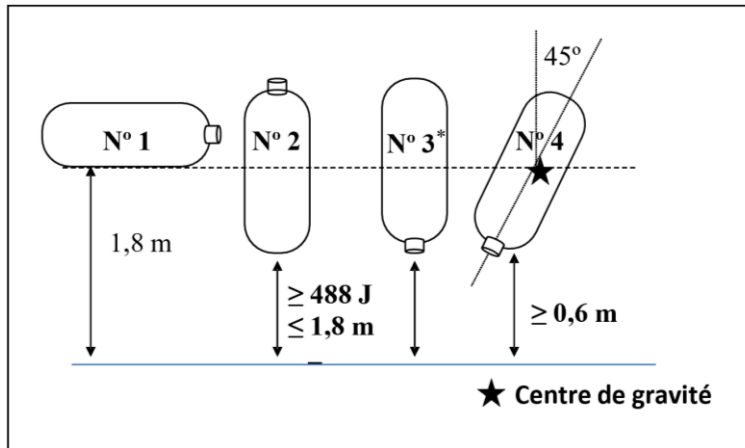
On laisse tomber le spécimen d'essai selon l'une quelconque des quatre orientations suivantes :

- i) Chute à l'horizontale, le fond du réservoir se trouvant à 1,8 m au-dessus du sol. Dans le cas d'un réservoir non axisymétrique, la plus grande surface projetée du réservoir doit être horizontale et placée côté sol, l'axe passant par l'interface de la vanne d'arrêt et le centre de gravité du réservoir étant dans la mesure du possible horizontal ;
- ii) Chute à la verticale, l'embase de fixation de la vanne d'arrêt étant le point haut, la hauteur de chute correspondant à une énergie potentielle de 488 J. L'extrémité inférieure du réservoir (point bas) ne doit en aucun cas se trouver à moins de 0,1 m ou plus de 1,8 m au-dessus du sol. Dans le cas d'un réservoir non axisymétrique, l'axe passant par l'interface de la vanne d'arrêt et le centre de gravité du réservoir doit être vertical ;
- iii) Chute à la verticale, l'embase de fixation de la vanne d'arrêt étant le point bas, la hauteur de chute correspondant à une énergie potentielle de 488 J. L'extrémité inférieure du réservoir (point bas) ne doit en aucun cas se trouver à moins de 0,1 m ou plus de 1,8 m au-dessus du sol. Dans le cas d'un réservoir symétrique (c'est-à-dire avec deux extrémités identiques), il n'est pas nécessaire de procéder à cet essai. Dans le cas d'un réservoir non axisymétrique, l'axe passant par l'interface de la vanne d'arrêt et le centre de gravité du réservoir doit être vertical ;
- iv) Chute selon un angle de 45° par rapport à la verticale, l'embase de fixation de la vanne d'arrêt étant le point bas, le centre de gravité du réservoir étant situé à 1,8 m au-dessus du sol et l'extrémité inférieure (point bas) du réservoir au minimum à 0,6 m du sol. Si cette dernière condition n'est pas satisfaite, il convient de modifier l'angle de chute

en conséquence tout en respectant le critère concernant la hauteur du centre de gravité. Dans le cas d'un réservoir non axisymétrique, l'axe passant par l'embase de fixation de la vanne d'arrêt et le centre de gravité du réservoir doit former un angle de 45° par rapport à la verticale et l'embase de la vanne d'arrêt doit être le point bas.

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

Figure 1
Orientations de chute



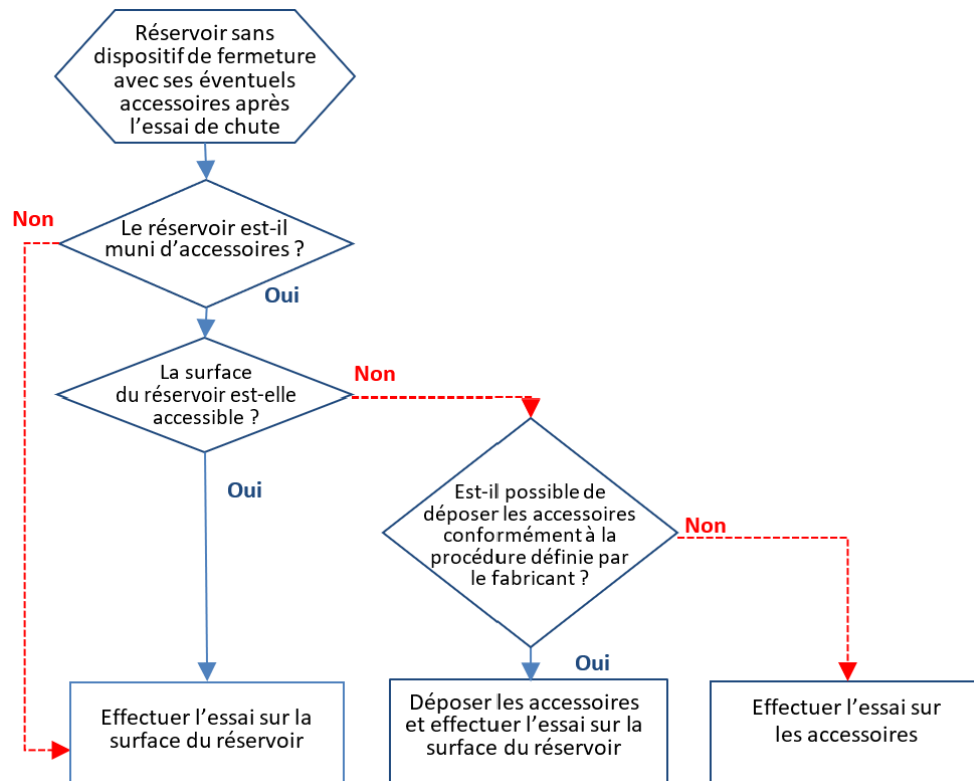
3.3 Essai de détérioration de la surface (sans mise sous pression)

Les essais de détérioration de surface et d'exposition aux agents chimiques (voir le paragraphe 3.4 de l'annexe 3) doivent être effectués sur la surface de la chambre du réservoir soumise à la pression si elle est accessible, que le réservoir soit ou non muni d'accessoires.

S'il est possible de démonter les accessoires conformément à la procédure définie par le fabricant, ceux-ci doivent être déposés. On procède ensuite aux essais sur la surface de la chambre du réservoir soumise à la pression.

Dans le cas contraire, les essais doivent être effectués sur la surface des accessoires, comme illustré à la figure 2.

Figure 2
Diagramme de décision : essai de détérioration de surface



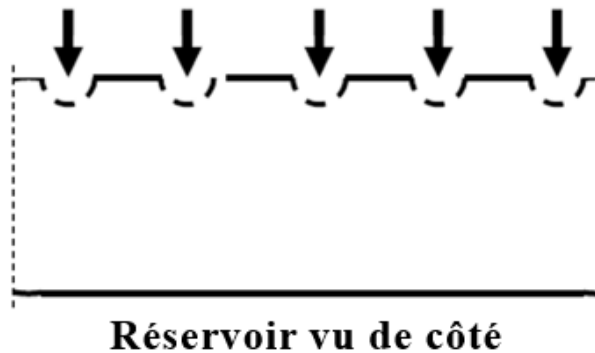
Cet essai se déroule comme suit :

- a) Entaillage de la surface : Une entaille d'au moins 0,75 mm de profondeur et 200 mm de long est pratiquée à la scie sur la surface définie ci-avant.

Si le réservoir est destiné à être monté sur le véhicule par compression de sa surface composite, on fait une seconde entaille d'au moins 1,25 mm de profondeur et 25 mm de long à l'extrémité du réservoir située du côté opposé à la première entaille ;

- b) Choc au pendule : La surface du spécimen d'essai située du côté opposé à la surface définie ci-avant, ou la surface d'une autre chambre du réservoir si celui-ci comporte plusieurs chambres raccordées en permanence, doit être divisée en cinq zones distinctes (qui ne se chevauchent pas) d'un diamètre de 100 mm chacune (voir fig. 3). Immédiatement après un préconditionnement d'une durée minimale de 12 heures à une température ≤ -40 °C dans une enceinte à atmosphère contrôlée, on percute le centre de chaque zone au moyen d'un pendule pyramidal (faces triangulaires équilatérales et 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 cinq zones du réservoir doit être ≥ 30 J. Au cours de l'essai, le spécimen doit être maintenu fermement en place et ne doit pas être sous pression.

Figure 3
Réservoir vu de côté



3.4 Essai de cycles de pression à température ambiante avec exposition aux agents chimiques

Le réservoir muni de ses éventuels accessoires n'étant pas sous pression, chacune des cinq zones préconditionnées par le choc du pendule (voir le paragraphe 3.3 de l'annexe 3) est exposée à l'une des cinq solutions ci-après :

- a) Acide sulfurique en solution aqueuse à 19 % en volume (acide de batteries) ;
- b) Hydroxyde de sodium en solution aqueuse à 25 % en poids ;
- c) Méthanol dilué dans de l'essence à 5 % en volume (fluides utilisés dans les stations de ravitaillement) ;
- d) Nitrate d'ammonium en solution aqueuse à 28 % en poids dans l'eau (urée) ;
- e) Méthanol en solution aqueuse à 50 % en volume (liquide lave-glace).

Le spécimen d'essai est orienté avec les zones d'exposition au-dessus. Un tampon de laine de verre d'environ 0,5 mm d'épaisseur et 100 mm de diamètre est posé sur chacune des cinq zones préconditionnées. On verse sur la laine de verre une quantité de solution suffisante pour mouiller le tampon de manière homogène sur toute sa surface et toute son épaisseur pendant toute la durée de l'essai. Une protection en plastique peut être appliquée sur la laine de verre pour éviter l'évaporation.

Le spécimen d'essai est maintenu dans cet état d'exposition durant au moins 48 heures, à une pression ≥ 125 % de la PSN (appliquée hydrauliquement) et à température ambiante avant d'être soumis à d'autres essais.

On soumet le spécimen d'essai à des cycles de pression entre 2 ± 1 MPa et les pressions cibles indiquées au tableau 3. Une fois les cycles de pression terminés, on retire les tampons de laine de verre et on rince la surface du réservoir à l'eau.

Tableau 3
Cycles de pression et conditions d'essai – Essai de cycles de pression à température ambiante avec exposition aux agents chimiques

Objet	Nombre de cycles	Pression cible	Température	Vitesse
Essai de cycles de pression à température ambiante avec exposition aux agents chimiques (par. 5.2.4)	60 % du nombre de cycles indiqué au par. 5.1.2	≥ 125 % de la PSN	Milieu ambiant 20 ± 15 °C	≤ 10 cycles par minute
	Les 10 derniers cycles	≥ 150 % de la PSN	Fluide hydraulique 20 ± 15 °C	

3.5 Essai de pression statique (essai hydraulique)

On remplit le spécimen d'essai de fluide hydraulique et on le soumet à une pression ≥ 125 % de la PSN à une température ≥ 85 °C pendant au moins 1 000 heures dans une enceinte à température contrôlée. L'enceinte et la surface du spécimen d'essai sont maintenues à la température spécifiée pendant la durée indiquée.

3.6 Essai de cycles de pression à des températures extrêmes

Cet essai doit être conduit conformément à la procédure ci-après et aux paramètres d'essai indiqués au tableau 4 :

- a) On remplit le spécimen d'essai de fluide hydraulique avant chaque essai ;
- b) Au début de l'essai, on stabilise le spécimen d'essai et le fluide à la température et à l'humidité relative indiquées au tableau 4. Le milieu ambiant, le fluide hydraulique et la surface du spécimen d'essai doivent être maintenus à la température indiquée du début à la fin des cycles de pression. La température du spécimen d'essai peut toutefois s'écarter de la température ambiante durant les cycles de pression ;
- c) On soumet le spécimen d'essai à des cycles de pression entre 2 ± 1 MPa et les pressions cibles indiquées au tableau 4 ;
- d) La température du fluide hydraulique entrant dans le réservoir est maintenue à la valeur spécifiée et mesurée le plus près possible de l'orifice d'entrée du réservoir.

Note : Il est recommandé de maintenir le réservoir à une pression supérieure à la pression atmosphérique pendant toute la durée de l'essai et d'attendre qu'il soit stabilisé à température ambiante pour le mettre hors pression.

Tableau 4

Cycles de pression et conditions d'essai – Essai de cycles de pression à des températures extrêmes

Objet	Nombre de cycles	Pression cible	Température	Vitesse
Essai à très basse température	20 % du nombre de cycles indiqué au par. 5.1.1.2	≥ 80 % de la PSN	Milieu ambiant ≤ -40 °C au début de chaque essai Fluide hydraulique et surface du réservoir : ≤ -40 °C du début à la fin des cycles de pression	≤ 10 cycles par minute
Essai à très haute température	20 % du nombre de cycles indiqué au par. 5.1.1.2	≥ 125 % de la PSN	Milieu ambiant ≥ 85 °C et HR ≥ 80 % Fluide hydraulique et surface du réservoir : ≥ 85 °C du début à la fin des cycles de pression	≤ 10 cycles par minute

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

La séquence et les paramètres des essais pneumatiques de cycles de pression à températures ambiante et extrêmes sont indiqués aux tableaux 5a et 5b.

Tableau 5a

Paramètres des essais pneumatiques de cycles de pression à températures ambiante et extrêmes

Nombre de cycles	Conditions ambiantes	Conditions d'équilibre initial du système de stockage	Température de l'alimentation en carburant	Pression initiale	Pression cible
5	$\leq -25\text{ °C}$	$\leq -25\text{ °C}$	$20 \pm 5\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
5	$\leq -25\text{ °C}$	$\leq -25\text{ °C}$	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
15	$\leq -25\text{ °C}$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
5	$\geq 50\text{ °C}$, HR $\geq 80\%$	$\geq 50\text{ °C}$, HR $\geq 80\%$	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
20	$\geq 50\text{ °C}$, HR $\geq 80\%$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
200	$20 \pm 5\text{ °C}$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
1 ^{er} essai de perméation	$55\text{ °C à }60\text{ °C}$	$55\text{ °C à }60\text{ °C}$	s/o	s/o	Taux de charge $\geq 100\%$
25	$\geq 50\text{ °C}$, HR $\geq 80\%$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
25	$\leq -25\text{ °C}$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
200	$20 \pm 5\text{ °C}$	s/o	$-33\text{ °C à }-40\text{ °C}$	$\leq 2\text{ MPa}$	Taux de charge $\geq 100\%$
2 ^e essai de perméation	$55\text{ °C à }60\text{ °C}$	$55\text{ °C à }60\text{ °C}$	s/o	s/o	Taux de charge $\geq 100\%$

Tableau 5b

Vitesse de montée en pression du système de stockage d'hydrogène comprimé pour les essais de cycles de pression à températures ambiante et extrêmes

Volume du système de stockage d'hydrogène comprimé (l)	Vitesse de montée en pression (MPa/min)			
	$T_{\text{ambiante}} : 50\text{ °C}$ $-40\text{ °C} \leq T_{\text{carburant}} \leq -33\text{ °C}$	$T_{\text{ambiante}} : 20\text{ °C}$ $-40\text{ °C} \leq T_{\text{carburant}} \leq -33\text{ °C}$	$T_{\text{ambiante}} : -25\text{ °C}$ $-40\text{ °C} \leq T_{\text{carburant}} \leq -33\text{ °C}$	$T_{\text{ambiante}} : -25\text{ °C}$ $T_{\text{carburant}} = 20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
50	7,6	19,9	28,5	13,1
100	7,6	19,9	28,5	7,7
174	7,6	19,9	19,9	5,2
250	7,6	19,9	19,9	4,1
300	7,6	16,5	16,5	3,6
400	7,6	12,4	12,4	2,9
500	7,6	9,9	9,9	2,3
600	7,6	8,3	8,3	2,1
700	7,1	7,1	7,1	1,9
1 000	5,0	5,0	5,0	1,4
1 500	3,3	3,3	3,3	1,0
2 000	2,5	2,5	2,5	0,7
2 500	2,0	2,0	2,0	0,5

4.1 Essai pneumatique de cycles de pression

- a) Le système de stockage d'hydrogène comprimé est soumis à 500 cycles de pression avec de l'hydrogène gazeux ; ces cycles sont divisés en deux séries de 250 conduits conformément aux paramètres d'essai définis au tableau 5a.

L'environnement d'essai est maintenu à la température et à l'humidité relative prescrites. Lorsque les spécifications de l'essai le prévoient, la température du système de stockage est stabilisée à la température ambiante externe entre les cycles de pression. Si le système est équipé de dispositifs de régulation qui empêchent la pression de tomber en dessous d'une certaine valeur pendant la durée de service du véhicule, la pression appliquée pendant les cycles ne doit pas descendre en dessous de celle-ci.

La température du carburant doit se trouver dans la plage prescrite dans les 30 secondes qui suivent le début du ravitaillement ;

- b) La vitesse de montée en pression pour un volume donné doit être supérieure ou égale à la vitesse de montée en pression calculée par interpolation linéaire à partir des valeurs du tableau 5b. Toutefois, si la température interne du réservoir dépasse 85 °C, il faut réduire la vitesse de montée en pression ;
- c) Si le véhicule est équipé de dispositifs ou commandes destinés à protéger le système de stockage d'hydrogène comprimé contre les températures internes extrêmes, il est possible d'exécuter l'essai avec ceux-ci (ou avec des instruments ayant une fonction équivalente) ;
- d) La vitesse de vidage doit être supérieure ou égale à la consommation instantanée maximale théorique du véhicule. Sur les 500 cycles de pression, 50 sont effectués avec une vitesse de vidage supérieure ou égale à la vitesse de vidage pendant la maintenance indiquée par le fabricant sur l'étiquette du réservoir ou dans les manuels d'utilisation ou d'entretien ;
- e) Dans le cas d'une fuite localisée, le débit de fuite maximal admissible doit être conforme aux dispositions de l'alinéa b) du paragraphe 4.3 de l'annexe 3.

4.2 Essai pneumatique de perméation du gaz

Cet essai est effectué après chacune des deux séries de 250 cycles décrites au tableau 5a du paragraphe 4 de l'annexe 3.

Le système de stockage est rempli entièrement avec de l'hydrogène gazeux à un taux de charge $\geq 100\%$; on le laisse ensuite se stabiliser pendant au moins 12 heures à une température comprise entre 55 °C et 60 °C dans une enceinte hermétique avant de procéder à l'essai. L'essai se poursuit jusqu'à ce que la vitesse de perméation se stabilise (l'écart entre 3 mesures consécutives effectuées à 12 heures d'intervalle doit être inférieur ou égal à 10 %) ou pendant 500 heures, selon l'événement qui survient en premier.

4.3 Essai de fuite localisée (essai pneumatique)

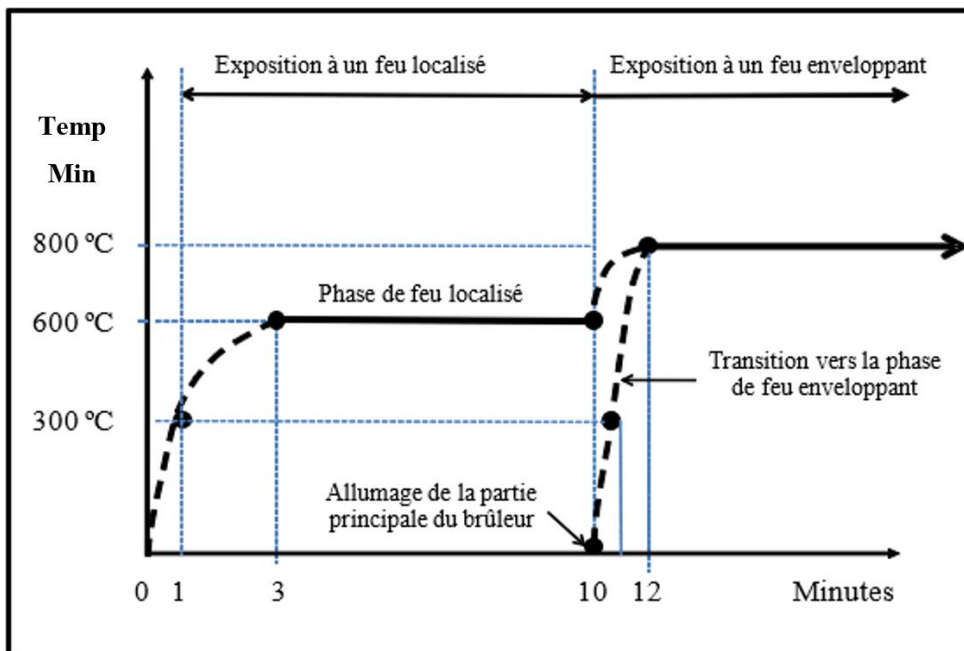
La recherche de fuite localisée peut se faire au moyen d'un essai de bulles selon la procédure suivante :

- a) L'orifice de sortie de la vanne d'arrêt ainsi que les autres raccords internes au système de stockage d'hydrogène doivent être obturés (l'essai portant sur la recherche de fuite externe).

Au choix du service technique, le spécimen d'essai peut être immergé dans le fluide d'essai, ou le fluide d'essai peut être appliqué sur le spécimen placé à l'air libre. La taille des bulles produites par la fuite peut être très variable selon les conditions. Le débit de fuite est déterminé à partir de la taille et de la vitesse de formation des bulles ;

- b) Le débit de fuite maximal admissible, qui est de 0,005 mg/s (3,6 Nml/min), correspond à la formation d'environ 2 030 bulles de 1,5 mm de diamètre (taille typique) par minute. Même avec des bulles beaucoup plus grandes, la fuite doit être aisément détectable. Pour un diamètre de 6 mm, c'est-à-dire particulièrement grand, on observerait la formation d'environ 32 bulles par minute.
5. Procédures d'essai de feu localisé/enveloppant en deux phases (voir le paragraphe 5.4 du présent Règlement)
- L'essai se déroule en deux temps : une phase de feu localisé suivie d'une phase de feu enveloppant, comme décrit à la figure 4.

Figure 4

Profil de température pour l'essai de comportement au feu

Le système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai est décrit au paragraphe 5.1 de l'annexe 3.

Les conditions d'essai et les prescriptions relatives aux protections contre le vent sont définies au paragraphe 5.2 de l'annexe 3.

Les caractéristiques du système d'alimentation en combustible et du brûleur figurent au paragraphe 5.3 de l'annexe 3.

On trouvera au paragraphe 5.4 de l'annexe 3 les prescriptions de l'essai de vérification préalable du fonctionnement du brûleur (niveaux de température). Les critères figurant au paragraphe 5.4.1 de l'annexe 3 permettent de déterminer s'il est nécessaire de procéder à cet essai.

Les derniers préparatifs de l'essai au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé sont décrits aux paragraphes 5.5 et 5.6 de l'annexe 3, et la procédure d'essai de feu localisé/enveloppant en deux phases est définie au paragraphe 5.7 de l'annexe 3.

5.1 Système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai

Le système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai doit comprendre le réservoir, les dispositifs de fermeture primaire (TPRD, clapet(s) antiretour et vanne(s) d'arrêt) permettant de l'isoler, ainsi que les éventuels accessoires tels que les logements ou barrières susceptibles de gêner le bon fonctionnement des TPRD. Les lignes de mise à l'air libre doivent être raccordées aux TPRD de telle sorte que la direction d'évacuation des gaz soit représentative de la configuration du véhicule.

Au gré du fabricant, le système de stockage d'hydrogène comprimé peut également comprendre des structures, écrans et panneaux ou d'autres dispositifs de sécurité propres au véhicule et destinés à protéger le système de stockage des expositions au feu correspondant aux risques d'incendie caractéristiques de ce véhicule.

5.2 Conditions d'essai et protections contre le vent

L'essai peut être effectué à l'intérieur ou à l'extérieur.

La température ambiante ainsi que la vitesse et la direction du vent doivent être mesurées et consignées si l'essai se déroule à l'extérieur.

L'essai ne doit pas être effectué à l'extérieur en cas de précipitations (pluie, neige, grésil, etc.), à moins que la zone d'essai, le spécimen d'essai et le brûleur ne soient protégés de telle sorte que les précipitations n'aient pas d'incidence sur le résultat de l'essai.

Des protections contre le vent telles que des murs, clôtures ou enceintes doivent être mises en œuvre sur les sites sensibles aux effets du vent (essai de vérification préalable et essai de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé). La distance entre les pare-vent et le spécimen d'essai (système de stockage ou réservoir d'essai préalable) doit être supérieure ou égale à 0,5 m afin que le tirage du feu ne soit pas perturbé et qu'il soit possible de vérifier la longueur des éventuels jets de flamme. Les pare-vent doivent être munis d'ouvertures (ou d'autres dispositifs) permettant d'alimenter la zone d'essai en air extérieur et d'évacuer les produits de combustion. Avant de procéder à l'essai de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé, il convient de mener un essai préalable afin de vérifier que les pare-vent sont adaptés et respectent les critères figurant au tableau 10.

NOTE : L'éclatement du réservoir pendant l'essai au feu est susceptible d'entraîner des ondes de souffle, la projection des matériaux et accessoires du réservoir et la libération rapide de l'hydrogène qu'il contient.

Ces effets peuvent se traduire par des mouvements incontrôlés du spécimen d'essai et par des explosions secondaires en raison de l'accumulation de mélanges gazeux inflammables sous haute pression dans la zone d'essai et entre les éventuels pare-vent.

Des mesures correctives doivent être envisagées et mises en œuvre dans le cadre du choix de la zone d'essai (prise en compte de la position des autres équipements) et de la conception et de la construction des éventuelles protections contre le vent et de la structure d'essai afin d'éviter des blessures graves et des dommages matériels inacceptables.

5.3 Caractéristiques du brûleur

Le brûleur comporte deux parties correspondant respectivement au feu localisé et au feu enveloppant :

- a) La zone de feu localisé, qui est utilisée seule pendant la phase de feu localisé ;
- b) La zone d'extension du feu, qui permet de simuler la propagation du feu de la zone de feu localisé à la zone de feu enveloppant, cette dernière comprenant les deux précédentes.

5.3.1 Système d'alimentation et de commande du brûleur

Les deux parties du brûleur sont alimentées au GPL.

Les débits de GPL alimentant la zone de feu localisé et la zone d'extension du feu doivent être réglés conformément aux valeurs de flux thermiques surfaciques (HRR/A) définis au paragraphe 5.4.5 de l'annexe 3.

Les débits de combustibles doivent être relevés toutes les secondes pendant toute la durée des essais.

5.3.2 Configuration du brûleur

5.3.2.1 La longueur de la zone de feu localisé (L_{LOC}) est égale à 250 ± 50 mm.

La longueur de la zone d'extension du feu (L_{EXT}) est égale à $1\,400 \pm 50$ mm au maximum. Un brûleur présentant une zone d'extension de longueur égale à la valeur maximale peut être utilisé pour tous les essais de comportement au feu. Le recours à un brûleur présentant une zone d'extension du feu plus courte que la valeur maximale est acceptable si la longueur du brûleur est supérieure à celle du système de stockage d'hydrogène comprimé lorsqu'il est positionné pour l'essai de comportement au feu.

La longueur de la zone de feu enveloppant (L_{ENG}) est égale à la somme de L_{LOC} et L_{EXT} . Compte tenu de ce qui précède, elle est de $1\,650 \pm 100$ mm au maximum.

La largeur (W) des zones de feu localisé et d'extension du feu est de 500 ± 50 mm, quels que soient le diamètre et la largeur du réservoir.

La configuration et la disposition des buses du brûleur sur les rampes doivent être définies de telle sorte que les valeurs indiquées au tableau 6 soient respectées. Le nombre de buses (N_{LOC} et N_{EXT}) des rampes des zones de feu localisé et d'extension du feu ainsi que l'espacement entre les buses (S_N) doivent être fixés de manière que les longueurs résultantes de ces zones (L_{LOC} et L_{EXT}) respectent les conditions mentionnées ci-dessus. De même, le nombre de rampes (N_R) et l'espacement entre celles-ci (S_R) doivent être arrêtés de telle sorte que la largeur du brûleur satisfasse aux critères ci-dessus.

NOTES :

- a) Les longueurs résultantes des zones de feu localisé (L_{LOC}) et d'extension du feu (L_{EXT}) sont respectivement calculées à l'aide des formules suivantes :

$$L_{LOC} = N_{LOC} \times S_N$$

et

$$L_{EXT} = N_{EXT} \times S_N$$

où N_{LOC} est le nombre de buses de la zone de feu localisé, N_{EXT} le nombre de buses de la zone d'extension du feu et S_N l'espacement entre les buses.

De même, la largeur (W) du brûleur est donnée par la formule suivante :

$$W = (N_R - 1) \times S_R$$

où N_R est le nombre de rampes et S_R l'espacement entre celles-ci ;

- b) Comme illustré à la figure 7 ci-dessous, les buses situées sur la troisième et quatrième rampes sont destinées à former une « zone haute température ».

Tableau 6
Caractéristiques des buses du brûleur prescrit

Élément	Description
Type de buse	Buses de prémélange pour GPL
– Orifice d'arrivée du GPL	Diamètre interne $1,0 \pm 0,1$ mm
– Orifices d'arrivée d'air	Quatre (4) orifices de diamètre interne $6,4 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$
– Tube mélangeur air/GPL	Diamètre interne 10 ± 1 mm

<i>Élément</i>	<i>Description</i>
Nombre de rampes	6
Espacement entre rampes (entraxe)	100 ± 10 mm
Espacement entre buses (entraxe)	50 ± 5 mm

5.3.2.2 Les valeurs de L_{LOC} , L_{EXT} et W indiquées ci-dessus doivent être utilisées pour calculer le flux thermique surfacique (HRR/A) de la zone de feu localisé et de la zone d'extension du feu.

Les limites de ces zones doivent être déterminées à l'aide de L_{LOC} , L_{EXT} et W afin que les spécimens d'essai soient correctement positionnés et orientés pendant l'essai de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé. La limite entre les deux zones du brûleur se trouve à mi-distance entre la dernière rangée de buses de la zone de feu localisé et la première rangée des buses de la zone d'extension du feu ; elle sert de référence pour définir les limites extérieures de ces zones, situées respectivement à L_{LOC} et L_{EXT} . Les deux limites restantes correspondent aux axes longitudinaux des rampes externes du brûleur.

5.4 Essai de vérification préalable du brûleur

L'objectif de la vérification préalable est de s'assurer que les deux zones du brûleur fonctionnent correctement et que le montage d'essai, y compris les pare-vent, est fonctionnel et permet d'obtenir des résultats reproductibles avant d'effectuer les essais de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé.

5.4.1 Fréquence d'exécution de l'essai de vérification préalable

L'essai de vérification préalable doit être effectué au moins une fois avant de procéder aux essais de comportement au feu. En cas de modification du brûleur ou le montage d'essai, l'essai de vérification préalable doit être de nouveau exécuté.

5.4.2 Caractéristiques du réservoir d'essai préalable

Un réservoir d'essai préalable de 320 mm de diamètre (tube en acier NPS 12 Schedule 40/DN 300 fermé par des bouchons) semblable à celui qui sert aux essais de comportement au feu des véhicules est utilisé pour effectuer l'essai de vérification du bon fonctionnement du brûleur.

La longueur de la partie cylindrique du réservoir d'essai préalable doit être d'au moins 800 mm et la longueur totale doit être supérieure ou égale à celle du système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai, et inférieure ou égale à la longueur maximale de la zone de feu enveloppant indiquée au paragraphe 5.1.1 de l'annexe 3.

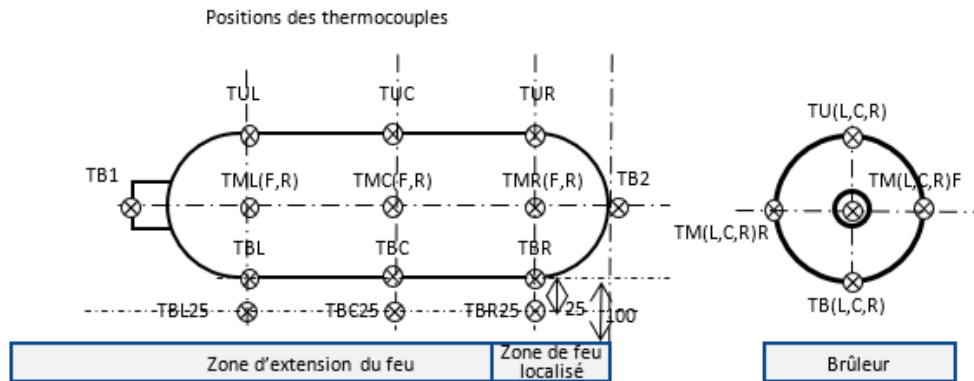
5.4.3 Instrumentation et traitement des données

5.4.3.1 Le réservoir d'essai préalable doit être équipé d'instruments de mesure permettant de vérifier que le brûleur et le montage d'essai permettent d'obtenir des niveaux de température conformes aux prescriptions fonctionnelles relatives aux zones de feu localisé et de feu enveloppant. Les instruments doivent être installés le long de la partie cylindrique du réservoir d'essai préalable de sorte que leurs emplacements correspondent aux zones de feu localisé et de feu enveloppant du système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai. Un jeu d'instruments doit être monté sur la section cylindrique au centre de la zone de feu localisé, et les deux autres jeux doivent être répartis le long de la zone d'extension du feu.

La figure 5 présente une situation courante dans laquelle un réservoir est protégé par un TPRD à une extrémité (à gauche), la zone de feu localisé étant située à l'autre extrémité (à droite). Les températures de surface sont mesurées en trois emplacements le long du réservoir d'essai préalable, sur le dessus, à mi-hauteur et sur le dessous. Le premier emplacement se trouve à l'extrémité droite de la partie cylindrique, au centre de la zone de feu localisé ; le second et le troisième se trouvent au centre et à l'extrémité gauche de la partie cylindrique, ces deux derniers étant situés dans la zone d'extension du feu.

Figure 5

Exemple de positionnement des instruments de mesure sur le réservoir d'essai préalable



Les températures sont mesurées à l'aide de thermocouples chemisés de type K ($\phi \leq 3,2$ mm) installés à moins de 5 mm de la surface du réservoir et maintenus en place par des sangles ou d'autres fixations mécaniques. Les températures mesurées aux emplacements illustrés à la figure 5 sont les suivantes :

- TBR, TBC et TBL sont les températures de surface mesurées sur le dessous du réservoir d'essai préalable (exposition directe à la flamme du brûleur) ;
- TMR(F,R), TMC(F,R), TML(F,R), TMR(L,C,R), TMC(L,C,R) et TML(L,C,R) sont les températures de surface mesurées à mi-hauteur du réservoir d'essai. Les relevés sont exploités uniquement dans le cadre de l'essai préalable de vérification et d'étalonnage des feux localisé et enveloppant ;
- TUR, TUC et TUL sont les températures de surface mesurées sur le dessus du réservoir d'essai préalable (côté opposé à l'exposition directe à la flamme du brûleur).

Il est possible de placer d'autres thermocouples au niveau des capteurs des TPRD ou en d'autres points à des fins de diagnostic.

- 5.4.3.2. Trois (3) thermocouples doivent également être répartis sur toute la longueur du réservoir d'essai préalable, à $25 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ sous celui-ci, afin d'établir des niveaux de température de référence (TBR25, TBC25 et TBL25) pendant l'essai de vérification préalable ; ceux-ci permettront ensuite de surveiller le brûleur pendant l'essai au feu. Les emplacements de ces thermocouples doivent être cohérents avec ceux des instruments de mesure montés sur le réservoir d'essai préalable, comme le montre la figure 5. Il est également possible d'ajouter des thermocouples le long de l'axe longitudinal du brûleur en soutien ou complément des thermocouples mesurant TBR25, TBC25 et TBL25. On trouvera au paragraphe 5.6 les prescriptions relatives au positionnement des thermocouples destinés à surveiller le brûleur pendant l'essai au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé.

Les thermocouples utilisés pour la surveillance du brûleur doivent être des thermocouples chemisés de type K ($\phi \leq 3,2$ mm) non blindés (c'est-à-dire non protégés par des tubes métalliques). La distance entre le réservoir et les thermocouples doit être maintenue à 5 mm près ; il faut donc fixer ces derniers mécaniquement pour éviter tout déplacement ou chute. Dans le cas de systèmes de stockage d'hydrogène comprimé de grande largeur ou de grand diamètre, le montage doit permettre de maintenir l'écartement entre le réservoir et les thermocouples de surveillance du brûleur lorsqu'on ajuste la distance entre le brûleur et le réservoir (voir par. 5.4.5.5).

5.4.3.3 Les températures mesurées par les thermocouples sont relevées au moins une fois par seconde puis utilisées pour déterminer les températures suivantes :

- a) La température de la surface inférieure du réservoir d'essai préalable, TB_{LOC} , calculée à partir de TBR ;
- b) Les températures de la surface avant du réservoir d'essai préalable, TMF_{LOC} , calculées à partir de TMRF ;
- c) Les températures de la surface arrière du réservoir d'essai préalable, TMR_{LOC} , calculées à partir de TMRR ;
- d) La température de la surface supérieure du réservoir d'essai préalable, TU_{LOC} , calculée à partir de TUR ;
- e) La température du brûleur situé sous le réservoir d'essai préalable (puis sous le système de stockage d'hydrogène comprimé, voir par. 5.6), TB_{LOC25} , calculée à partir de TBR25. Les relevés des thermocouples utilisés en soutien ou complément du thermocouple mesurant TBR25 peuvent également être pris en compte dans le calcul de la température moyenne du brûleur dans la zone de feu localisé. Toute valeur provenant d'un thermocouple endommagé ou défaillant (ou situé hors de la zone de feu localisé) doit être écartée du calcul de la température moyenne du brûleur ;
- f) La température de la surface inférieure du réservoir d'essai préalable pendant la phase de feu enveloppant, TB_{ENG} , calculée en faisant la moyenne de TBR, TBC et TBL ;
- g) La température de la surface avant du réservoir d'essai préalable pendant la phase de feu enveloppant, TMF_{ENG} , calculée en faisant la moyenne de TMLF, TMLF et TMRF ;
- h) La température de la surface arrière du réservoir d'essai préalable pendant la phase de feu enveloppant, TMR_{ENG} , calculée en faisant la moyenne de TMLR, TMCR et TMRR ;
- i) La température de la surface supérieure du réservoir d'essai préalable pendant la phase de feu enveloppant, TU_{ENG} , calculée en faisant la moyenne de TUR, TUC et TUL ;
- j) La température du brûleur situé sous le réservoir d'essai préalable (puis sous le système de stockage d'hydrogène comprimé, voir par. 5.6) pendant la phase de feu enveloppant, TB_{ENG25} , calculée en faisant la moyenne de TBR25, TBC25 et TBL25 (températures mesurées par les trois thermocouples prescrits). Les relevés des thermocouples utilisés en soutien ou complément des thermocouples mesurant TBR25, TBC25 et TBL25 peuvent également être pris en compte dans le calcul de la température moyenne du brûleur dans la zone de feu enveloppant. Toute valeur provenant d'un thermocouple endommagé ou défaillant (ou situé hors de la zone de feu enveloppant) doit être écartée du calcul de la température moyenne du brûleur.

5.4.4 Montage du réservoir d'essai préalable

Le réservoir utilisé pour l'essai de vérification préalable doit être placé à $100 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ au-dessus du brûleur de manière que les buses des deux rampes centrales soient dirigées vers le centre de la partie inférieure du réservoir.

NOTE : Les figures 6 et 7 illustrent des exemples de montage.

Figure 6

Montage du réservoir d'essai préalable – vue de côté

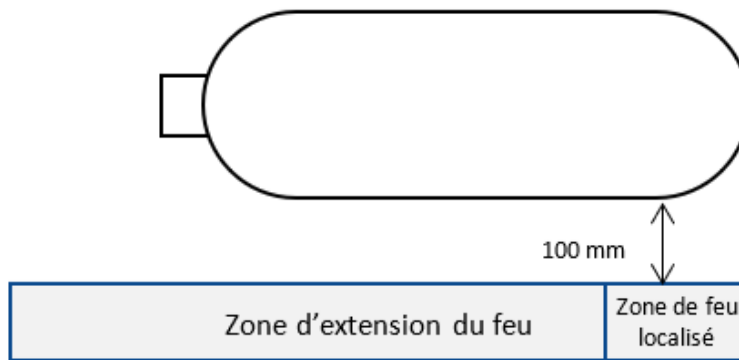
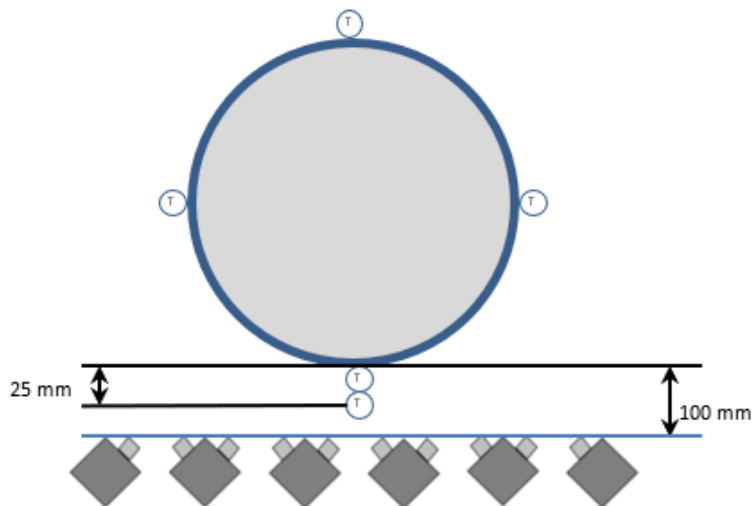


Figure 7

Montage du réservoir d'essai préalable – vue de face



5.4.5 Procédure de l'essai de vérification préalable

5.4.5.1 Des pare-vent doivent être installés conformément aux dispositions du paragraphe 5.2 avant l'essai de vérification préalable.

5.4.5.2 Le brûleur doit au minimum pouvoir fonctionner à des débits de combustible correspondant au flux thermique surfacique de la phase de feu localisé et de la phase de feu enveloppant. Les valeurs suggérées ainsi que les plages admissibles figurent au tableau 7.

NOTE : Pendant la phase de feu enveloppant, les flux thermiques surfaciques des deux parties du brûleur doivent correspondre aux valeurs prévues afin que la chaleur émise soit répartie de manière uniforme.

Tableau 7

Plages de fonctionnement admissibles et valeurs suggérées pour les brûleurs prescrits

<i>Phase</i>	<i>Plage de flux thermique surfacique (HRR/A) admissible</i>	<i>Valeur de flux thermique surfacique (HRR/A) suggérée</i>
Feu localisé	200-500 kW/m ²	300 kW/m ²
Feu enveloppant	400-1 000 kW/m ²	700 kW/m ²

5.4.5.3 Les moyennes mobiles sur 60 secondes des températures relevées pendant la phase de feu localisé (TB_{LOC}, TMF_{LOC}, TMR_{LOC} et TU_{LOC}) et pendant la phase de feu enveloppant (TBR, TBC, TBL, TMRF, TMCF, TMLF, TMRR, TMCR, TMLR, TUR, TUC et TUL) doivent être conformes aux valeurs du tableau 8 et aux réglages du flux thermique surfacique définis au paragraphe 5.7.

Tableau 8

Critères d'acceptation des autres configurations de brûleur

<i>Phase</i>	<i>Plage de température admissible : dessous du réservoir d'essai préalable</i>	<i>Plage de température admissible : côtés du réservoir d'essai préalable</i>	<i>Plage de température admissible : dessus du réservoir d'essai préalable</i>
Feu localisé	450 °C < TB _{LOC} < 750 °C	TMF _{LOC} < 750 °C et TMR _{LOC} < 750 °C	TU _{LOC} < 300 °C
Feu enveloppant	TB _{ENG} > 600 °C		TU _{ENG} > 100 °C et TU _{ENG} < TB _{ENG} lorsque TU _{ENG} > 750 °C

5.4.5.4 Les plages de températures admissibles pour le brûleur pendant l'essai ultérieur de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé doivent être déterminées en fonction des résultats de l'essai de vérification préalable :

- La température minimale pendant la phase de feu localisé, T_{min}_{LOC25}, est calculée en soustrayant 50 °C à la moyenne mobile sur 60 secondes de TB_{LOC25}. Si le résultat est supérieur à 600 °C, la température minimale pendant la phase de feu localisé est fixée à 600 °C ;
- La température minimale pendant la phase de feu enveloppant, T_{min}_{ENG25}, est calculée en soustrayant 50 °C à la moyenne mobile sur 60 secondes de TB_{ENG25}. Si le résultat est supérieur à 800 °C, la température minimale pendant la phase de feu enveloppant est fixée à 800 °C.

Si les critères ci-dessus sont satisfaits, on considère que le brûleur est prêt pour l'essai de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé.

5.4.5.5 Dans le cas contraire, il convient de rechercher les causes du non-respect des prescriptions et d'y remédier puis de procéder à un nouvel essai jusqu'à ce que le problème soit résolu. Il est permis de modifier la hauteur d'installation du réservoir aux fins du respect des plages de fonctionnement admissible indiquées aux tableaux 7 et 8.

Lorsque la largeur ou le diamètre du système de stockage d'hydrogène comprimé sont supérieurs à la largeur du brûleur et que la forme de la partie inférieure du système de stockage empêche les gaz de combustion de s'écouler librement vers le haut et autour de ce dernier pendant l'essai au feu, cela risque d'entraîner une réduction du débit d'air du brûleur telle qu'il soit impossible d'atteindre les températures minimales pendant les phases de feu localisé ou de feu enveloppant de l'essai. Si on s'attend à ce que ce soit le cas (ou si les

températures prescrites n'ont pas été atteintes pendant l'essai), il convient de mener les essais préalables supplémentaires suivants afin d'établir la hauteur d'installation adéquate :

- a) Une plaque d'essai préalable (en acier) de dimensions équivalentes à celle du système de stockage d'hydrogène comprimé (longueur et largeur/diamètre) est installée à 100 mm au-dessus du brûleur ;
- b) Les thermocouples mesurant la température du brûleur décrits au paragraphe 5.4.3.2 de l'annexe 3 sont installés à $25 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ sous la plaque ;
- c) On fait fonctionner le brûleur en mode feu localisé et feu enveloppant (aux HRR/A indiqués ci-dessus) et on relève les températures ;
- d) Si les températures du brûleur relevées pendant la phase de feu localisé et la phase de feu enveloppant ne sont pas conformes aux valeurs minimales définies au paragraphe 5.4.5.4 de l'annexe 3, on augmente de 50 mm la distance entre la plaque et le brûleur et on répète les étapes b) et c) ci-dessus jusqu'à ce que la hauteur adéquate soit atteinte.

NOTE : Les résultats devraient être satisfaisants à des hauteurs de 200 à 250 mm.

L'essai préalable est terminé et la hauteur adéquate d'installation du système de stockage d'hydrogène comprimé au-dessus du brûleur est établie lorsque les températures du brûleur sont conformes aux valeurs minimales définies ci-dessus pendant la phase de feu localisé et la phase de feu enveloppant.

5.5 Montage du système de stockage d'hydrogène comprimé au-dessus du brûleur

Une fois que le ou les essais de vérification préalables ont été menés de façon satisfaisante, le système de stockage d'hydrogène comprimé est installé au-dessus du brûleur.

5.5.1 Hauteur et position du système de stockage d'hydrogène comprimé au-dessus du brûleur

Le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être installé au-dessus du brûleur à la hauteur définie au paragraphe 5.4 de l'annexe 3 et positionné de manière que les buses des deux rampes centrales soient dirigées vers le centre de la partie inférieure du système de stockage. Les figures 8 et 9 illustrent des exemples de montage de réservoirs cylindrique et modulaire, respectivement.

Figure 8
Montage du réservoir cylindrique

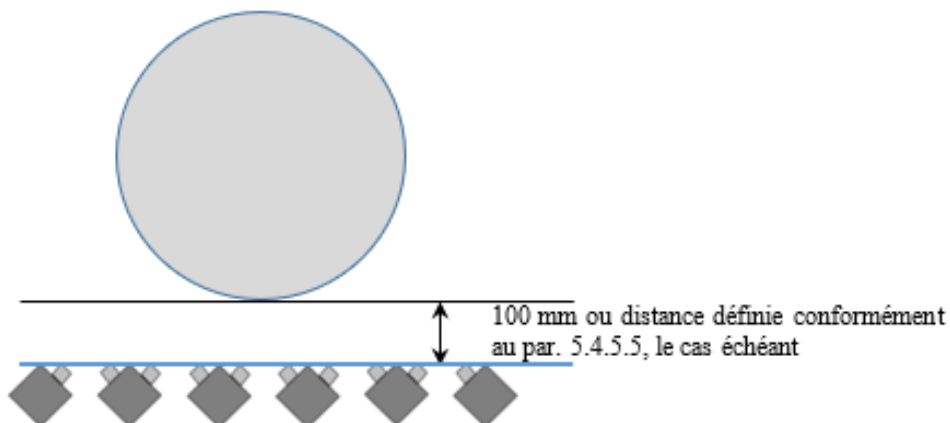
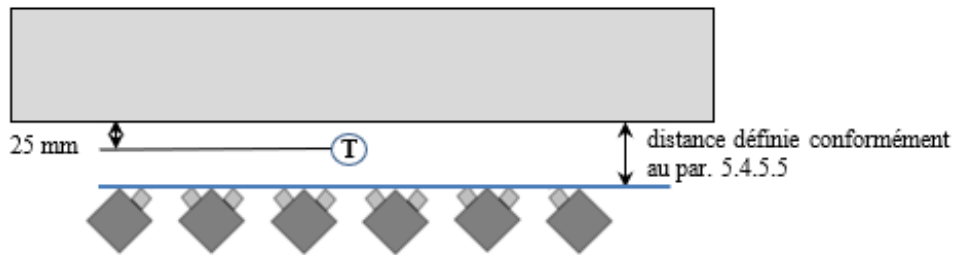


Figure 9
Montage du réservoir modulaire



5.5.2 Positionnement de la zone de feu localisé et de la zone de feu enveloppant par rapport au système de stockage d'hydrogène comprimé

La zone de feu localisé doit être positionnée sous le système de stockage d'hydrogène comprimé de manière à tester la capacité des TPRD à détecter l'incendie et à se déclencher pour protéger le réservoir.

- a) Lorsque le fabricant a choisi de ne pas inclure de dispositifs de sécurité spécifiques au véhicule (tels que définis au paragraphe 5.1) dans l'essai, le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être orienté de manière à limiter la capacité des TPRD à détecter un feu localisé et à se déclencher. Les écrans, panneaux, isolants thermiques enroulés, éléments structurels et autres dispositifs de sécurité doivent être pris en compte lors de la détermination de l'orientation la plus défavorable par rapport à la zone de feu localisé, car les pièces et dispositifs destinés à protéger certaines parties du réservoir peuvent accroître l'exposition d'autres sections ou joints ou réduire la capacité des TPRD à se déclencher.

Lorsque le fabricant a choisi d'inclure dans l'essai des dispositifs de sécurité spécifiques au véhicule (tels que définis au paragraphe 5.1 de l'annexe 3), le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être orienté de manière que l'exposition au feu localisé soit la plus défavorable possible ;

- b) La zone de feu localisée doit être positionnée sous le système de stockage d'hydrogène comprimé afin que la distance au(x) TPRD le(s) plus proche(s) soit maximale.

La zone d'extension du feu court vers le TPRD (ou point de détection) le plus proche. Elle peut s'étendre au-delà du (des) TPRD si la distance entre la zone de feu localisé et le (les) TPRD est inférieure à la longueur maximale admissible de la zone d'extension du feu définie ci-avant, à savoir $1\,400\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$.

5.6 Instrumentation et raccordement du système de stockage d'hydrogène comprimé soumis à l'essai

5.6.1 Les caractéristiques des thermocouples destinés à surveiller le brûleur et les prescriptions relatives à leur positionnement sont analogues à celles qui figurent au paragraphe 5.4.3.2 de l'annexe 3 (essai de vérification préalable du brûleur). Les figures 8 et 9 illustrent des exemples de montage de réservoirs cylindrique et modulaire, respectivement.

Au moins un thermocouple de surveillance du brûleur doit être installé sous le système de stockage d'hydrogène comprimé dans la zone de feu localisé, et deux dans la zone d'extension du feu. Il est également possible d'ajouter des thermocouples le long de l'axe longitudinal du brûleur en soutien ou complément des trois thermocouples susmentionnés.

5.6.2 Le mode de calcul des températures du brûleur ($T_{B_{LOC25}}$ et $T_{B_{ENG25}}$) est analogue à celui décrit au paragraphe 5.4.3.3 de l'annexe 3 (essai de vérification préalable du brûleur).

Il est possible de placer d'autres thermocouples au niveau des capteurs des TPRD ou en d'autres points à des fins de diagnostic.

Avant l'essai, le système de stockage d'hydrogène doit être raccordé à une conduite de fluide permettant de le remplir et de le vidanger.

Cette conduite doit être équipée d'une ou plusieurs vannes d'arrêt afin d'isoler le système de stockage d'hydrogène comprimé pendant l'essai et d'exécuter les procédures de remplissage ou de vidange requises avant ou après l'essai.

Un transmetteur de pression doit être installé sur la conduite afin de pouvoir surveiller à distance la pression du système de stockage pendant l'essai. La précision du transmetteur doit être de ± 1 % de la pleine échelle et de ± 10 % à 1 MPa.

5.7 Procédure d'essai de vérification du comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé

5.7.1 Avant de procéder à l'essai, le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être rempli d'hydrogène gazeux à un taux de charge ≥ 100 %.

5.7.2 La première étape de l'essai de comportement au feu du système de stockage d'hydrogène comprimé commence par le démarrage de l'alimentation en combustible de la partie du brûleur correspondant à la zone de feu localisé et l'allumage de celle-ci :

- a) On vérifie que la zone de feu localisé du brûleur est allumée, puis on règle le débit de combustible conformément à la valeur de flux thermique surfacique (HRR/A) définie pour la phase de feu localisé au paragraphe 5.4.5.3 de l'annexe 3, et l'essai commence ($t = 0$) ;
- b) Comme illustré à la figure 4 du paragraphe 5 de l'annexe 3, la température moyenne du brûleur (moyenne mobile sur 10 secondes) pendant la phase de feu localisé, $T_{B_{LOC25}}$, doit être au minimum de 300 °C au bout d'une minute et pendant les 2 minutes suivantes.

Au bout de 3 minutes, la moyenne mobile sur 60 secondes de $T_{B_{LOC25}}$ doit être supérieure à la température minimale $T_{min_{LOC25}}$ définie au paragraphe 5.4.5.4 de l'annexe 3. Si ce n'est pas le cas, l'essai est arrêté.

NOTES :

- i) Il n'est pas obligatoire de continuer à surveiller la moyenne mobile sur 60 secondes de $T_{B_{LOC25}}$ une fois les conditions ci-dessus satisfaites, car les relevés du thermocouple risquent d'être faussés par l'expansion ou la chute de matériaux du système de stockage d'hydrogène comprimé pendant la poursuite de l'essai ;
- ii) La valeur de la température en dehors de la zone de feu localisé n'est pas précisée pendant les 10 premières minutes de l'essai ;
- iii) Si l'essai est arrêté parce que la température $T_{B_{LOC25}}$ n'a pas atteint la valeur requise au bout du délai prescrit, il convient d'examiner les dispositions du paragraphe 5.2 de l'annexe 3 relatives aux protections contre le vent et celles du paragraphe 5.4.5 portant sur le réglage et le montage du brûleur avant de procéder à un nouvel essai.

5.7.3 La seconde phase de l'essai commence au bout de 10 minutes par le démarrage de l'alimentation en combustible de la zone d'extension du feu et l'allumage de la partie du brûleur correspondante :

- a) On vérifie que la zone d'extension du feu du brûleur est allumée, puis on règle le débit de combustible des deux zones du brûleur conformément à la valeur de flux thermique surfacique (HRR/A) définie pour la phase de feu enveloppant au paragraphe 5.4.5.3 de l'annexe 3 ;
- b) Au bout de 2 minutes (soit 12 minutes après le début de l'essai), la température moyenne du brûleur (moyenne mobile sur 60 secondes) pendant la phase de feu enveloppant, $T_{B_{ENG25}}$, doit être supérieure à la température minimale $T_{min_{ENG25}}$ définie au paragraphe 5.4.5.4 de l'annexe 3.

NOTES :

- i) Il n'est pas obligatoire de continuer à surveiller la température moyenne du brûleur (moyenne mobile sur 60 secondes) $T_{B_{ENG25}}$ une fois les conditions ci-dessus satisfaites, car les relevés du thermocouple risquent d'être faussés par l'expansion ou la chute de matériaux du système de stockage d'hydrogène comprimé pendant la poursuite de l'essai ;
- ii) Si l'essai est arrêté parce que la température $T_{B_{ENG25}}$ n'a pas atteint la valeur requise au bout du délai prescrit, il convient d'examiner les dispositions du paragraphe 5.2 de l'annexe 3 relatives aux protections contre le vent et celles du paragraphe 5.4.5 de l'annexe 3 portant sur le réglage et le montage du brûleur avant de procéder à un nouvel essai.

5.7.4 Un léger déplacement du système de stockage d'hydrogène comprimé dû au déclenchement des TPRD est admis ; dans ce cas, on repositionne correctement le système de stockage par rapport au brûleur.

L'essai au feu se poursuit jusqu'à ce que :

- a) La purge se déclenche et la pression dans le système de stockage d'hydrogène comprimé retombe à moins de 1 MPa ; ou
- b) La durée totale de l'essai atteint une heure pour les véhicules des catégories M_1 et N_1 ou deux heures pour les véhicules des catégories M_2 , M_3 , N_2 et N_3 .

On arrête d'alimenter le brûleur dans un délai d'une minute après la fin de l'essai et on met le système de stockage d'hydrogène comprimé hors pression (si sa pression n'était pas déjà proche de la pression ambiante), puis on le purge avec un gaz inerte afin de pouvoir ensuite le manipuler en toute sécurité. ».

Annexe 4 (tous les paragraphes et l'appendice), lire :

« Annexe 4

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

L'essai est effectué avec de l'hydrogène ou un gaz inerte répondant aux critères ci-dessous.

L'hydrogène gazeux doit être conforme aux normes ISO 14687:2019 ou SAE J2719_202003 ou satisfaire aux spécifications suivantes :

- a) Pureté de l'hydrogène $\geq 99,97$ % mol ;

- b) Teneur en autres constituants $\leq 300 \mu\text{mol/mol}$;
- c) Teneur en eau $\leq 5 \mu\text{mol/mol}$;
- d) Teneur en particules $\leq 1 \text{ mg/kg}$.

Le gaz d'essai doit être de l'hydrogène, de l'hélium ou un mélange gazeux inerte contenant une quantité détectable d'hydrogène ou d'hélium.

Sauf indication contraire, tous les essais sont menés à une température ambiante de $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Essais de qualification des dispositifs de décompression thermocommandés
Les essais de qualification des dispositifs de décompression thermocommandés sont énumérés ci-après (voir aussi l'appendice 1) :

- 1.1 Essai de cycles de pression

Cinq dispositifs de décompression thermocommandés sont soumis à 15 000 cycles de pression interne conformément aux paramètres d'essai définis au tableau 1. À la suite de cet essai, les TPRD doivent satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), de l'essai de déclenchement sur banc (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4) et de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4). On trouvera au tableau 1 ci-dessous une synthèse des cycles de pression.

Tableau 1
Conditions d'essai des cycles de pression (4 étapes)

<i>Plage de variation de la pression</i>	<i>Nombre de cycles</i>	<i>Température du spécimen d'essai</i>
$\leq 2 \text{ MPa à } \geq 150 \% \text{ PSN}$	10	$\geq 85 \text{ }^\circ\text{C}$
$\leq 2 \text{ MPa à } \geq 125 \% \text{ PSN}$	2 240	$\geq 85 \text{ }^\circ\text{C}$
$\leq 2 \text{ MPa à } \geq 125 \% \text{ PSN}$	10 000	$20 \text{ }^\circ\text{C}$
$\leq 2 \text{ MPa à } \geq 80 \% \text{ PSN}$	2 750	$\leq -40 \text{ }^\circ\text{C}$
Note : Toutes les étapes de l'essai sont menées à raison de 10 cycles par minutes au maximum.		

- 1.2 Essai de vieillissement accéléré

Huit dispositifs de décompression thermocommandés sont mis à l'essai : trois à la température de déclenchement indiquée par le fabricant, T_f , et cinq à la température d'essai de vieillissement accéléré, T_L , exprimée en $^\circ\text{C}$ et donnée par la formule suivante :

$$T_L = \left(\frac{0.502}{\beta + T_f} + \frac{0.498}{\beta + T_{ME}} \right)^{-1} - \beta$$

où $\beta = 273,15 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{ME} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ et T_f est la température de déclenchement indiquée par le fabricant.

Les TPRD sont placés dans un four ou dans un bain de liquide et maintenus à température constante ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). La pression à l'entrée des dispositifs doit être $\geq 125 \%$ de la PSN. La source de pression peut se trouver à l'extérieur du four ou du bain à température régulée. Chaque dispositif est mis sous pression individuellement ou au moyen d'une rampe de distribution. Dans ce dernier cas, chaque branchement peut comporter un clapet antiretour de façon à éviter une dépressurisation de l'ensemble en cas de défaillance d'un TPRD. Les trois dispositifs mis à l'essai à T_f doivent se déclencher en moins de 10 heures. Les cinq dispositifs mis à l'essai à T_L ne doivent pas se déclencher avant 500 heures et doivent satisfaire aux prescriptions du paragraphe 1.8 de l'annexe 4 (essai d'étanchéité).

- 1.3 Essai de cycles de température
- a) Un TPRD n'étant pas sous pression est placé dans un bain de liquide maintenu à une température ≤ -40 °C pendant au moins 2 heures. Il est ensuite transféré dans un bain de liquide maintenu à une température ≥ 85 °C en moins de 5 min et maintenu à cette température pendant au moins 2 heures. Ensuite, il est transféré dans un bain de liquide maintenu à une température ≤ -40 °C en moins de 5 min ;
 - b) L'étape a) est répétée de façon à exécuter 15 cycles de température ;
 - c) Après avoir été conditionné pendant au moins 2 heures dans le bain de liquide maintenu à une température ≤ -40 °C, le TPRD est soumis à des cycles de pression interne d'hydrogène ou d'un gaz inerte entre une pression ≤ 2 MPa et une pression ≥ 80 % de la PSN durant 100 cycles, le bain étant maintenu à une température ≤ -40 °C ;
 - d) À la suite des essais de cycles de température et de pression, le dispositif de décompression doit satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), qui doit être exécuté à une température ≤ -40 °C. Ensuite, le TPRD doit satisfaire aux prescriptions de l'essai de déclenchement sur banc (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 saline

L'essai de corrosion accélérée se déroule comme suit :

- a) Trois TPRD sont soumis à un essai de corrosion accélérée en laboratoire, dans des conditions cycliques : exposition à un brouillard salin (solution saline complexe à environ 1 % en poids) en conditions ambiantes, suivie d'une phase humide et d'une phase sèche à haute température. Chaque cycle se déroule sur 24 heures, comme indiqué au tableau 2 ;

Tableau 2

Conditions de l'essai de corrosion accélérée (1 cycle = 24 h)

<i>Phases du cycle</i>	<i>Température (°C)</i>	<i>Humidité relative (%)</i>	<i>Durée de la phase</i>
Conditions ambiantes	25 ± 3	45 ± 10	8 h ± 10 min
Phase de transition (1 h ± 5 min)			
Phase humide	49 ± 2	100	7 h ± 10 min
Phase de transition (3 h ± 10 min)			
Phase sèche	60 ± 2	≤ 30	5 h ± 10 min

- b) L'appareillage comporte une enceinte à atmosphère contrôlée ou de brouillard salin, une alimentation en eau conforme aux prescriptions de la norme ASTM D1193-06(2018) (eau de qualité réactif de type IV), un système de chauffage de l'enceinte et un dispositif permettant de faire varier la température entre 22 °C et 62 °C. Il doit également comprendre une alimentation en air comprimé correctement conditionné et une ou plusieurs buses de génération de brouillard. La ou les buses doivent être orientées de telle sorte que le brouillard ne soit pas pulvérisé directement sur les échantillons d'essai, ou être munies de déflecteurs ;
- c) La conception de l'enceinte doit satisfaire aux dispositions de la norme ISO 6270-2:2017 (humidité générée par un réservoir à eau chauffée). Des gouttelettes d'eau doivent être visibles sur les échantillons pendant la phase humide ;

- d) Il est possible d'utiliser de la vapeur pour générer l'humidité, à condition que l'eau utilisée à cet effet soit exempte d'inhibiteurs de corrosion. Des gouttelettes d'eau doivent être visibles sur les échantillons pendant la phase humide ;
- e) L'appareil doit être capable de créer et de maintenir les conditions suivantes : température de 60 ± 2 °C et $HR \leq 30$ %. La circulation d'air doit être suffisante pour éviter la stratification thermique et pour permettre le séchage complet des échantillons d'essai ;
- f) La force du jet de pulvérisation ou le contact direct avec celui-ci ne doit pas éliminer la corrosion ou endommager le revêtement ou la peinture des échantillons ;
- g) La composition de la solution saline complexe est la suivante :
 - i) Chlorure de sodium (NaCl) : 0,9 % en poids ;
 - ii) Chlorure de calcium (CaCl₂) : 0,1 % en poids ;
 - iii) Bicarbonate de sodium (NaHCO₃) : 0,075 % en poids ;

Le chlorure de sodium doit être de qualité réactif ou alimentaire. Le chlorure de calcium doit être de qualité réactif. Le bicarbonate de sodium doit être de qualité réactif ou alimentaire (par exemple, le bicarbonate de sodium utilisé comme levure chimique ou un produit comparable sont acceptables). L'eau doit satisfaire aux prescriptions de la norme ASTM D1193-06(2018) (eau de qualité réactif de type IV).

NOTE : Le CaCl₂ et le NaHCO₃ doivent être dissous dans l'eau avant d'être ajoutés à la solution. Si tous les ingrédients sont ajoutés sous forme solide, un précipité insoluble risque de se former ;

- h) Les TPRD doivent être installés conformément à la procédure recommandée par le fabricant et soumis à l'essai de corrosion accélérée en conditions cycliques décrit au tableau 2 ;
- i) Le cycle de 24 heures doit être répété 100 fois. Lors des phases d'exposition au brouillard salin, la solution doit être pulvérisée de sorte que la totalité de la surface des échantillons d'essai soit mouillée ou que le liquide s'égoutte. Parmi les techniques de pulvérisation adaptées, on peut citer l'utilisation d'une bouteille en plastique ou d'un pulvérisateur à siphon alimenté à débit régulé par de l'air exempt d'huile. La quantité de brouillard appliqué doit être suffisante pour éliminer de manière visible le sel accumulé sur la surface pendant les expositions précédentes. Les échantillons d'essai sont exposés quatre fois au brouillard salin, uniquement en conditions ambiantes. La première exposition a lieu au début de la phase en conditions ambiantes. Les expositions ultérieures ont lieu à des intervalles d'environ 90 minutes, afin de laisser aux échantillons le temps de sécher. S'il est nécessaire d'interrompre l'essai (week-ends et vacances), les échantillons d'essai doivent être maintenus à une température ambiante de 25 ± 3 °C et à une humidité relative de 45 ± 10 %. L'essai reprend en conditions ambiantes ;
- j) La vitesse de variation de l'humidité entre les conditions ambiantes et la phase humide et entre la phase humide et la phase sèche peut avoir une incidence importante sur les résultats de l'essai, car c'est pendant ces phases de transition que la vitesse de corrosion est la plus élevée. La durée de la transition entre les conditions ambiantes et la phase humide doit être de 60 ± 5 min, et de 180 ± 10 min entre la phase humide et la phase sèche ;
- k) Immédiatement après l'essai de corrosion, on rince les échantillons à l'eau du robinet et on les laisse sécher avant de les examiner ;

- l) Les TPRD doivent ensuite satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), de l'essai de déclenchement sur banc (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4) et de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4).

1.5 Essai d'exposition aux agents chimiques présents dans l'environnement routier

On évalue la résistance de la surface extérieure du spécimen d'essai à l'exposition aux fluides automobiles en exécutant l'essai ci-après :

- a) Les orifices d'entrée et de sortie du dispositif de décompression thermocommandé sont raccordés ou obturés conformément aux instructions du fabricant. La surface extérieure du TPRD est exposée durant 24 heures à température ambiante à chacun des fluides ci-après :
 - i) Acide sulfurique en solution aqueuse à 19 % en volume ;
 - ii) Éthanol dilué dans de l'essence à 10 % en volume (E10) ;
 - iii) Méthanol en solution aqueuse à 50 % en volume (liquide lave-glace) ;

Si nécessaire, on ajoute du fluide pour que le spécimen d'essai reste immergé pendant toute la durée de l'essai. Chaque fluide fait l'objet d'un essai distinct. Un même TPRD peut être exposé successivement à tous les fluides ;

- b) Le TPRD est essuyé et rincé à l'eau après chaque exposition ;
- c) Le TPRD ne doit présenter aucun signe de détérioration physique susceptible de compromettre son bon fonctionnement, comme des fissures, un ramollissement ou des cloques ; les altérations superficielles telles que les piqûres ou les taches ne sont pas prises en considération. À la suite de cet essai, le TPRD doit satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), de l'essai de déclenchement sur banc (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4) et de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4).

1.6 Essai de fissuration par corrosion sous contrainte

Cet essai est applicable aux TPRD contenant des pièces en alliages de cuivre qui sont exposées à l'environnement extérieur.

Dans le cas des TPRD contenant des pièces en alliages de cuivre (laiton, par exemple), un seul échantillon est soumis à l'essai. Toutes les pièces en alliages de cuivre qui sont en contact avec l'atmosphère sont dégraissées puis installées dans une chambre en verre fermée par un couvercle en verre et exposées en continu pendant au moins 10 jours à un brouillard d'ammoniac.

On verse une solution aqueuse d'ammoniac de densité relative de 0,94 au fond de la chambre en verre ; la quantité de solution doit être supérieure ou égale à 2 % du volume de la chambre. L'échantillon est placé à 35 ± 5 mm au-dessus de la solution aqueuse d'ammoniac, 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.

1.7 Essai de chute et de vibration

- a) Plusieurs TPRD représentatifs de la forme finie du produit sont lâchés d'une hauteur ≥ 2 m (chute libre sous l'effet de la gravité), à température ambiante sur un sol en béton lisse sur lequel ils peuvent rebondir.

Il est possible d'utiliser six spécimens d'essai, soit un par orientation de chute (dans les deux sens selon les trois axes orthogonaux du spécimen, à savoir l'axe vertical, l'axe latéral et l'axe longitudinal). Au choix du fabricant, on peut également laisser tomber un seul spécimen selon les six orientations.

L'intégrité du spécimen doit être vérifiée visuellement après chaque chute. Si l'échantillon ne présente aucun dommage extérieur indiquant qu'il est inutilisable (par exemple, filetage trop endommagé pour permettre le montage), on passe à l'étape b).

Note : S'il est impossible d'installer le TPRD en raison des dégâts provoqués par la chute (par exemple, filetage abîmé), on ne passe pas à l'étape b) et on ne considère pas que l'échantillon a échoué à l'essai ;

- b) Les échantillons soumis à l'essai de chute mentionné sous a) qui ne présentent pas de dommages visibles plus un autre échantillon qui n'a pas été soumis à l'essai de chute sont placés sur un montage d'essai conformément aux instructions d'installation du fabricant et soumis à des vibrations pendant 30 minutes selon leurs trois axes orthogonaux (axe vertical, axe latéral et axe longitudinal), à la fréquence de résonance correspondant à l'amplitude de vibration maximale pour chaque axe. On détermine ces fréquences en appliquant une accélération de 1,5 g et en balayant en 10 minutes une plage de fréquences sinusoïdales comprises entre 10 et 500 Hz. La fréquence de résonance se reconnaît à une augmentation marquée de l'amplitude des vibrations. Si aucune fréquence de résonance n'est mise en évidence dans la plage ci-dessus, l'essai est effectué à une fréquence de 40 Hz. Les échantillons doivent ensuite satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 1.8 de l'annexe 4), de l'essai de déclenchement sur banc (voir le paragraphe 1.9 de l'annexe 4) et de l'essai de débit (voir le paragraphe 1.10 de l'annexe 4).

1.8 Essai d'étanchéité

Cet essai s'applique à un TPRD qui n'a pas subi les essais de qualification précédents et aux TPRD supplémentaires mentionnés dans les autres essais figurant au paragraphe 1 de l'annexe 4. L'essai d'étanchéité est conduit à température ambiante, à haute température et à basse température. Avant l'essai, le spécimen d'essai doit être mis à la température requise et soumis à une pression ≥ 2 MPa pendant au moins une heure afin de le stabiliser thermiquement. L'orifice d'entrée du TPRD est mis sous pression avec du gaz d'essai. L'essai se déroule comme suit :

- a) Phase à température ambiante : on conditionne l'échantillon à température ambiante ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 125 % de la PSN ;
- b) Phase à haute température : on conditionne l'échantillon à une température ≥ 85 °C ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 125 % de la PSN ;
- c) Phase à basse température : on conditionne l'échantillon à une température ≤ -40 °C ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 100 % de la PSN.

Pour chaque phase, une fois l'échantillon mis à la température d'essai, on l'immerge dans un fluide à température contrôlée (ou équivalent) en appliquant la pression d'essai correspondante pendant au moins une minute. Si aucune bulle n'est observée pendant la période prescrite, l'échantillon a subi l'essai avec succès. En revanche, si des bulles apparaissent, le débit de fuite doit être mesuré. Le débit de fuite total doit être inférieur à 10 Nml/h pour l'hydrogène.

1.9 Essai de déclenchement sur banc

Trois TPRD neufs (qui n'ont pas subi d'autres essais de qualification) sont soumis à cet essai afin d'établir un délai de déclenchement de référence, qui est égal à la moyenne du délai de déclenchement de ces trois spécimens. D'autres échantillons ayant déjà subi des essais (menés conformément aux dispositions des paragraphes 1.1, 1.3, 1.4, 1.5 et 1.7 de l'annexe 4) sont soumis à l'essai de déclenchement sur banc comme indiqué dans les autres essais visés au paragraphe 1 de l'annexe 4 :

- a) Le montage d'essai se compose d'un four ou d'une cheminée dont il est possible de réguler le débit d'air et la température de sorte que la température de l'air au voisinage du TPRD soit égale à 600 ± 10 °C. L'échantillon n'est pas exposé directement à la flamme. Il est installé dans le montage d'essai conformément aux instructions du fabricant, et la configuration d'essai est consignée ;
- b) Un thermocouple est placé dans le four ou la cheminée pour surveiller la température, qui doit se situer dans la plage admissible au moins 2 minutes avant le début de l'essai ;
- c) Avant d'être placé dans le four ou la cheminée, le TPRD est mis sous pression, à $2 \pm 0,5$ MPa ;
- d) Le TPRD sous pression est introduit dans le four ou la cheminée, et son délai de déclenchement est enregistré ;
- e) Le délai de déclenchement des dispositifs de décompression précédemment soumis aux autres essais du paragraphe 1 de l'annexe 4 ne doit pas dépasser de plus de 2 minutes le délai de déclenchement de référence ;
- f) L'écart maximal entre les délais de déclenchement des trois échantillons neufs ne doit pas être supérieur à 2 minutes.

1.10 Essai de débit

- a) Huit TPRD sont soumis à l'essai de débit, dont trois nouveaux échantillons, plus cinq échantillons déjà soumis aux essais des paragraphes 1.1, 1.3, 1.4, 1.5 et 1.7 de l'annexe 4, respectivement ;
- b) On déclenche chaque échantillon conformément aux dispositions du paragraphe 1.9 de l'annexe 4. Chaque échantillon, sans nettoyage, démontage, ni reconditionnement préalable, est ensuite soumis à l'essai de débit ;
- c) La pression d'entrée est de $2 \pm 0,5$ MPa, la pression de sortie est égale à la pression ambiante. La pression d'entrée et le débit sont enregistrés ;
- d) Le débit est mesuré avec une précision de 2 %. La valeur la plus basse doit être supérieure ou égale à 90 % de la valeur la plus élevée.

1.11 Essai d'exposition aux agents atmosphériques

L'essai d'exposition aux agents atmosphériques s'applique à la qualification des TPRD si l'échantillon contient des matériaux non métalliques qui sont en contact avec l'atmosphère dans les conditions normales de fonctionnement.

- a) Les matériaux non métalliques assurant l'étanchéité qui sont exposés aux agents atmosphériques et pour lesquels aucune déclaration de propriétés satisfaisante n'a été déposée par le demandeur ne doivent présenter aucune fissure et aucun signe visible de détérioration après avoir été exposés à l'oxygène pendant au moins 96 heures à une température de 70 °C sous une pression de 2 MPa, conformément aux normes ISO 188:2011 ou ASTM D572-04(2019) ;

- b) La résistance à l’ozone de tous les élastomères exposés à l’atmosphère doit être prouvée à l’aide d’au moins l’une des deux méthodes suivantes :
 - i) Détermination de la résistance à l’ozone de chacun de leurs composés ;
 - ii) Essai des composants conformément aux normes ISO 1431-1:2012 ou ASTM D1149-18 ou selon une méthode d’essai équivalente ;
 - iii) L’échantillon doit subir une élongation sous contrainte de 20 % et être exposé de l’air à 40 °C ayant une teneur en ozone de 50 parties par centaine de millions pendant 120 heures. Les parties non métalliques de l’échantillon ne doivent présenter aucune fissure et aucun signe visible de détérioration après exposition à l’ozone.

2. Essais de qualification des clapets antiretour et des vannes d’arrêt

Les essais de qualification des clapets antiretour et des vannes d’arrêt sont énumérés ci-après (voir aussi l’appendice 2) :

2.1 Essai de résistance hydrostatique

L’orifice de sortie du spécimen d’essai (clapet ou vanne) est obturé et ses organes internes sont bloqués en position ouverte. Un échantillon neuf (qui n’a pas subi d’autres essais de qualification) est soumis à l’essai afin d’établir une pression d’éclatement de référence. D’autres échantillons sont soumis aux essais décrits dans le paragraphe 2 de l’annexe 4.

- a) Une pression hydrostatique ≥ 250 % de la PSN est appliquée à l’entrée du clapet ou de la vanne pendant au moins 3 minutes. On examine ensuite le spécimen pour s’assurer qu’il n’a pas éclaté ;
- b) On augmente la pression hydrostatique à une vitesse $\leq 1,4$ MPa/s jusqu’à défaillance du spécimen et on consigne la pression d’éclatement. La pression d’éclatement des échantillons ayant déjà subi des essais doit être ≥ 80 % de la pression d’éclatement de référence, sauf si la pression hydrostatique appliquée est supérieure à 400 % de la PSN.

2.2 Essai d’étanchéité

Cet essai s’applique à un spécimen qui n’a pas subi les essais de qualification précédents et aux spécimens supplémentaires mentionnés dans les autres essais figurant au paragraphe 2 de l’annexe 4. L’essai d’étanchéité est conduit à température ambiante, à haute température et à basse température. Avant l’essai, le spécimen d’essai doit être mis à la température requise et soumis à une pression ≥ 2 MPa pendant au moins une heure afin de le stabiliser thermiquement. L’orifice de sortie de l’échantillon est obturé et l’orifice d’entrée est mis sous pression avec du gaz d’essai. L’essai se déroule comme suit :

- a) Phase à température ambiante : on conditionne l’échantillon à 20 ± 5 °C ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 125 % de la PSN ;
- b) Phase à haute température : on conditionne l’échantillon à une température ≥ 85 °C ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 125 % ;
- c) Phase à basse température : on conditionne l’échantillon à une température ≤ -40 °C ; on le soumet ensuite à une pression égale à $2 \pm 0,5$ MPa puis à une pression ≥ 100 % de la PSN.

Pour chaque phase, une fois l'échantillon mis à la température d'essai, on l'immerge dans un fluide à température contrôlée (ou équivalent) en appliquant la pression d'essai correspondante pendant au moins une minute. Si aucune bulle n'est observée pendant la période prescrite, l'échantillon a subi l'essai avec succès. En revanche, si des bulles apparaissent, le taux de fuite est mesuré selon une méthode appropriée. Le débit de fuite total doit être inférieur à 10 Nml/h pour l'hydrogène.

2.3 Essai de cycles de pression à des températures extrêmes

Le nombre total de cycles est fixé à 15 000 pour les clapets antiretour et à 50 000 pour les vannes d'arrêt. L'échantillon est placé dans un montage d'essai conforme aux instructions d'installation du fabricant.

- a) On soumet de manière continue le spécimen d'essai à des cycles de fonctionnement avec de l'hydrogène gazeux ou un gaz inerte à toutes les températures et pressions prescrites ;
 - i) Cycles à température ambiante. Le spécimen d'essai stabilisé à température ambiante est soumis à des cycles de fonctionnement à une pression ≥ 100 % de la PSN pendant 90 % du nombre total de cycles ;
 - ii) Cycles à haute température. Le spécimen d'essai stabilisé à une température ≥ 85 °C est ensuite soumis à des cycles de fonctionnement à une pression ≥ 125 % de la PSN pendant 5 % du nombre total de cycles ;
 - iii) Cycles à basse température. Le spécimen d'essai stabilisé à une température ≤ -40 °C est enfin soumis à des cycles de fonctionnement à une pression ≥ 80 % de la PSN pendant 5 % du nombre total de cycles ;
- b) Les échantillons doivent satisfaire aux prescriptions suivantes :
 - i) Clapet antiretour. Le clapet antiretour doit pouvoir supporter 15 000 cycles de fonctionnement et au moins 24 heures d'application du débit provoquant le battement selon la procédure décrite ci-dessous. Le clapet antiretour doit être raccordé à un montage d'essai. L'orifice d'entrée est soumis à six reprises à l'impulsion de pression prescrite, l'orifice de sortie étant obturé. On laisse ensuite la pression à l'orifice d'entrée retomber à la pression atmosphérique. Si le clapet antiretour ne se referme pas de manière à éviter le reflux du gaz, on considère qu'il ne satisfait pas aux critères de l'essai. Dans ce cas, on réduit la pression appliquée sur l'orifice de sortie du clapet antiretour afin qu'elle soit ≤ 60 % de la PSN avant le cycle suivant. Une fois les cycles de fonctionnement terminés, le clapet antiretour est soumis pendant 24 heures au débit causant l'effet de battement maximum. Une fois l'essai achevé, le clapet antiretour doit subir avec succès l'essai d'étanchéité 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) ;
 - ii) Vanne d'arrêt. La vanne d'arrêt doit pouvoir supporter 50 000 cycles de fonctionnement selon la procédure décrite ci-dessous. La vanne d'arrêt doit être raccordée à un montage d'essai adapté. Un cycle de fonctionnement comprend les étapes suivantes : on remplit le montage d'essai via l'orifice d'entrée de la vanne jusqu'à ce que la pression requise soit atteinte ; on ouvre la vanne d'arrêt en la mettant sous tension ; la pression doit retomber à 50 % de la pression de remplissage ; on ferme la vanne d'arrêt en la mettant hors tension avant le début du cycle suivant.

Une fois les cycles de fonctionnement terminés, si la vanne d'arrêt sert de clapet antiretour pendant le remplissage, elle doit être soumise pendant 24 heures à un essai de battement à un débit compris dans la plage de fonctionnement normal.

Note : Si les débits correspondant à la plage de fonctionnement normal n'induisent pas d'effet de battement, il n'est pas nécessaire de mener l'essai de battement.

Une fois l'essai achevé, la vanne d'arrêt doit subir avec succès l'essai d'étanchéité 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 saline

L'essai de corrosion accélérée se déroule comme suit :

- a) Trois spécimens sont soumis à un essai de corrosion accélérée en laboratoire, dans des conditions cycliques : exposition à un brouillard salin (solution saline complexe à environ 1 %) en conditions ambiantes, suivie d'une phase humide et d'une phase sèche à haute température. Chaque cycle se déroule sur 24 heures, comme indiqué au tableau 3 ;

Tableau 3

Conditions de l'essai de corrosion accélérée (1 cycle = 24 h)

<i>Phases du cycle</i>	<i>Température (°C)</i>	<i>Humidité relative (%)</i>	<i>Durée de la phase</i>
Conditions ambiantes	25 ± 3	45 ± 10	8 h ± 10 min
Phase de transition (1 h ± 5 min)			
Phase humide	49 ± 2	100	7 h ± 10 min
Phase de transition (3 h ± 10 min)			
Phase sèche	60 ± 2	≤ 30	5 h ± 10 min

- b) L'appareillage comporte une enceinte à atmosphère contrôlée ou de brouillard salin, une alimentation en eau conforme aux prescriptions de la norme ASTM D1193-06(2018) (eau de qualité réactif de type IV), un système de chauffage de l'enceinte et un dispositif permettant de faire varier la température entre 22 °C et 62 °C. Il doit également comprendre une alimentation en air comprimé correctement conditionné et une ou plusieurs buses de génération de brouillard. La ou les buses doivent être orientées de telle sorte que le brouillard ne soit pas pulvérisé directement sur les échantillons d'essai, ou être munies de déflecteurs ;
- c) La conception de l'enceinte doit satisfaire aux dispositions de la norme ISO 6270-2:2017 (humidité générée par un réservoir à eau chauffée). Des gouttelettes d'eau doivent être visibles sur les échantillons pendant la phase humide ;
- d) Il est possible d'utiliser de la vapeur pour générer l'humidité, à condition que l'eau utilisée à cet effet soit exempte d'inhibiteurs de corrosion. Des gouttelettes d'eau doivent être visibles sur les échantillons pendant la phase humide ;
- e) L'appareil doit être capable de créer et de maintenir les conditions suivantes : température de 60 ± 2 °C et HR ≤ 30 %. La circulation d'air doit être suffisante pour éviter la stratification thermique et pour permettre le séchage complet des échantillons d'essai ;
- f) La force du jet de pulvérisation ou le contact direct avec celui-ci ne doit pas éliminer la corrosion ou endommager le revêtement ou la peinture des échantillons ;

- g) La composition de la solution saline complexe est la suivante :
- i) Chlorure de sodium (NaCl) : 0,9 % en poids ;
 - ii) Chlorure de calcium (CaCl₂) : 0,1 % en poids ;
 - iii) Bicarbonate de sodium (NaHCO₃) : 0,075 % en poids ;

Le chlorure de sodium doit être de qualité réactif ou alimentaire. Le chlorure de calcium doit être de qualité réactif. Le bicarbonate de sodium doit être de qualité réactif ou alimentaire (par exemple, le bicarbonate de sodium utilisé comme levure chimique ou un produit comparable sont acceptables). L'eau doit satisfaire aux prescriptions de la norme ASTM D1193-06(2018) (eau de qualité réactif de type IV).

NOTE : Le CaCl₂ et le NaHCO₃ doivent être dissous dans l'eau avant d'être ajoutés à la solution. Si tous les ingrédients sont ajoutés sous forme solide, un précipité insoluble risque de se former ;

- h) Les spécimens d'essai doivent être installés conformément à la procédure recommandée par le fabricant et soumis à l'essai de corrosion accélérée en conditions cycliques décrit au tableau 3 ;
- i) Le cycle de 24 heures doit être répété 100 fois. Lors des phases d'exposition au brouillard salin, la solution doit être pulvérisée de sorte que la totalité de la surface des échantillons d'essai soit mouillée ou que le liquide s'égoutte. Parmi les techniques de pulvérisation adaptées, on peut citer l'utilisation d'une bouteille en plastique ou d'un pulvérisateur à siphon alimenté à débit régulé par de l'air exempt d'huile. La quantité de brouillard appliqué doit être suffisante pour éliminer de manière visible le sel accumulé sur la surface pendant les expositions précédentes. Les échantillons d'essai sont exposés quatre fois au brouillard salin, uniquement en conditions ambiantes. La première exposition a lieu au début de la phase en conditions ambiantes. Les expositions ultérieures ont lieu à des intervalles d'environ 90 minutes, afin de laisser aux échantillons le temps de sécher. S'il est nécessaire d'interrompre l'essai (week-ends et vacances), les échantillons d'essai doivent être maintenus à une température ambiante de 25 ± 3 °C et à une humidité relative de 45 ± 10 %. L'essai reprend en conditions ambiantes ;
- j) La vitesse de variation de l'humidité entre les conditions ambiantes et la phase humide et entre la phase humide et la phase sèche peut avoir une incidence importante sur les résultats de l'essai, car c'est pendant ces phases de transition que la vitesse de corrosion est la plus élevée. La durée de la transition entre les conditions ambiantes et la phase humide doit être de 60 ± 5 min, et de 180 ± 5 min entre la phase humide et la phase sèche ;
- k) Immédiatement après l'essai de corrosion, l'échantillon est rincé à l'eau du robinet ; on le laisse ensuite sécher avant de l'examiner ;
- l) L'échantillon doit ensuite subir avec succès l'essai d'étanchéité (voir le paragraphe 2.2 de l'annexe 4) et l'essai de résistance hydrostatique (voir le paragraphe 2.1 de l'annexe 4).

2.5 Essai d'exposition aux agents chimiques présents dans l'environnement routier

On évalue la résistance de la surface extérieure du spécimen d'essai à l'exposition aux fluides automobiles en exécutant l'essai ci-après :

- a) Les orifices d'entrée et de sortie du spécimen d'essai (clapet antiretour ou vanne d'arrêt) sont raccordés ou obturés conformément aux instructions du fabricant. La surface extérieure du spécimen est exposée durant au moins 24 heures à température ambiante à chacun des fluides ci-après :

- i) Acide sulfurique en solution aqueuse à 19 % en volume ;
- ii) Éthanol dilué dans de l'essence à 10 % en volume (E10) ;
- iii) Méthanol en solution aqueuse à 50 % en volume (liquide lave-glace) ;

Si nécessaire, on ajoute du fluide pour que le spécimen d'essai reste immergé pendant toute la durée de l'essai. Chaque fluide fait l'objet d'un essai distinct. Un même échantillon peut être exposé successivement à tous les fluides ;

- b) Le spécimen d'essai est essuyé et rincé à l'eau après chaque exposition ;
- c) Le spécimen d'essai ne doit pas présenter de signes d'une dégradation physique qui pourrait nuire à son fonctionnement, comme des fissures, un ramollissement ou des cloques ; les altérations superficielles telles que les piqûres ou les taches ne sont pas prises en considération. À la suite de cet essai, le ou les échantillons doivent satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (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 clapets antiretour et des vannes d'arrêt si l'échantillon contient des matériaux non métalliques qui sont en contact avec l'atmosphère dans les conditions normales de fonctionnement.

- a) Les matériaux non métalliques assurant l'étanchéité qui sont exposés aux agents atmosphériques et pour lesquels aucune déclaration de propriétés satisfaisante n'a été déposée par le demandeur ne doivent présenter aucune fissure et aucun signe visible de détérioration après avoir été exposés à l'oxygène pendant au moins 96 heures à une température de 70 °C sous une pression de 2 MPa, conformément aux normes ISO 188:2011 ou ASTM D572-04 (2019) ;
- b) La résistance à l'ozone de tous les élastomères doit être prouvée à l'aide d'au moins l'une des deux méthodes suivantes :
 - i) Détermination de la résistance à l'ozone de chacun de leurs composés ;
 - ii) Essai des composants conformément aux normes ISO 1431-1:2012 ou ASTM D1149-1 ou selon une méthode d'essai équivalente ;
 - iii) L'échantillon doit subir une elongation sous contrainte de 20 % et être exposé à de l'air à 40 °C ayant une teneur en ozone de 50 parties par centaine de millions pendant 120 heures. Les parties non métalliques de l'échantillon ne doivent présenter aucune fissure et aucun signe visible de détérioration après exposition à l'ozone.

2.7 Essais électriques

Les essais électriques s'appliquent à la qualification des vannes d'arrêt mais pas à celle des clapets antiretour.

- a) Essai sous tension anormale. L'essai se déroule comme suit, l'électrovanne étant raccordée à une source de courant continu à tension variable :
 - i) L'électrovanne est maintenue à température constante (état stationnaire) pendant au moins une heure, à une tension $\geq 1,5$ fois la tension nominale ;

- ii) La tension est ensuite portée à une valeur ≥ 2 fois la tension nominale ou à 60 V, si cette dernière valeur est inférieure, et cette tension est maintenue pendant au moins une minute ;
 - iii) Aucune défaillance ne doit pouvoir entraîner une fuite externe de la vanne (voir le paragraphe 2.2 de l'annexe 4), une ouverture non voulue de la vanne ou une situation dangereuse (par exemple, dégagement de fumée, incendie ou fusion) ;
- b) Essai de résistance d'isolement. Un courant continu d'une tension de 1 000 V est appliqué entre la borne d'alimentation et le boîtier de la vanne pendant au moins deux secondes. La résistance minimale admissible est de 240 k Ω .

2.8 Essai de vibration

Le spécimen d'essai (vanne d'arrêt ou clapet antiretour) est soumis à une pression ≥ 100 % de la PSN, obturé à ses deux extrémités et soumis à des vibrations pendant 30 minutes selon ses trois axes orthogonaux, à savoir l'axe vertical, l'axe latéral et l'axe longitudinal, à la fréquence de résonance correspondant à l'amplitude de vibration maximale pour chaque axe. On détermine ces fréquences en appliquant une accélération de 1,5 g et en balayant en 10 minutes au moins une plage de fréquences sinusoïdales comprises entre 10 et 500 Hz. Si aucune fréquence de résonance n'est mise en évidence dans la plage ci-dessus, l'essai est effectué à une fréquence de 40 Hz. À la suite de cet essai, le spécimen d'essai ne doit présenter aucun signe de détérioration extérieure susceptible de compromettre son bon fonctionnement. Une fois l'essai achevé, l'échantillon doit satisfaire aux prescriptions de l'essai d'étanchéité (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).

2.9 Essai de fissuration par corrosion sous contrainte

Cet essai est applicable uniquement aux vannes d'arrêt et aux clapets antiretour contenant des pièces en alliages de cuivre qui sont exposées à l'environnement extérieur.

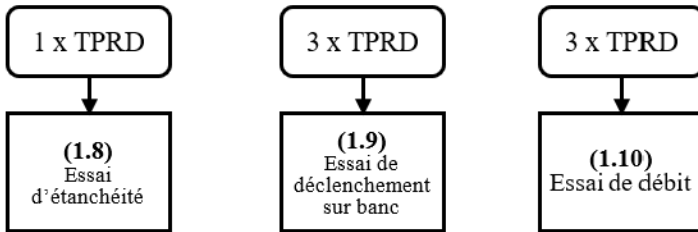
Dans le cas des vannes et clapets contenant des pièces en alliages de cuivre (laiton, par exemple), un seul échantillon est soumis à l'essai. Le spécimen d'essai est démonté et toutes ses pièces en alliages de cuivre sont dégraissées ; il est ensuite remonté avant d'être placé dans une chambre en verre fermée par un couvercle en verre et exposé en continu pendant au moins 10 jours à un brouillard d'ammoniac.

On verse une solution aqueuse d'ammoniac de densité relative de 0,94 au fond de la chambre en verre ; la quantité de solution doit être supérieure ou égale à 2 % du volume de la chambre. L'échantillon est placé à 35 ± 5 mm au-dessus de la solution aqueuse d'ammoniac, sur un plateau en matériau inerte. Le brouillard d'ammoniac est maintenu à la pression atmosphérique, à une température de 35 ± 5 °C. Les pièces en alliage de cuivre ne doivent présenter ni fissures ni délamination à la fin de l'essai.

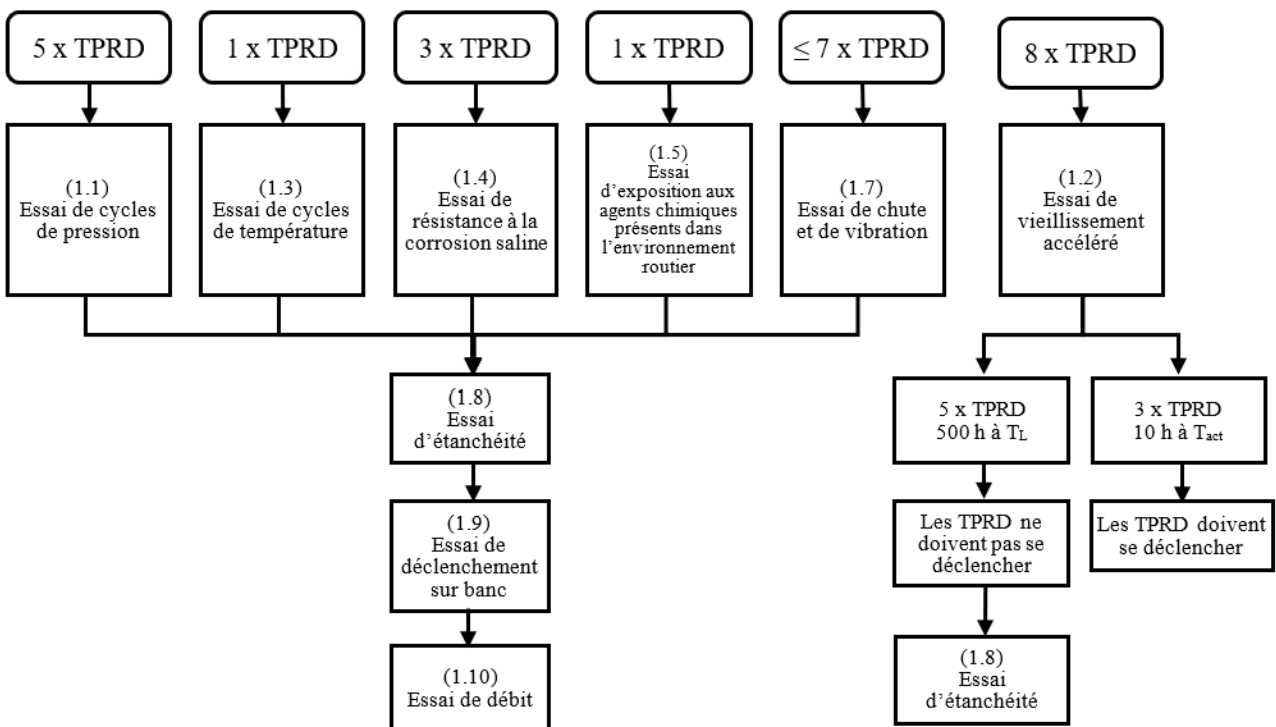
Annexe 4 – Appendice 1

Synthèse des essais applicables aux dispositifs de décompression thermocommandés

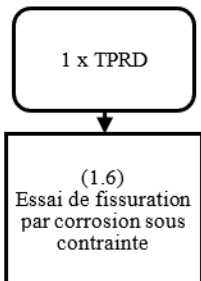
Essais de référence



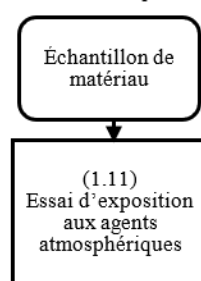
Essais fonctionnels et essais sous contrainte



Seulement pour les TPRD contenant des pièces en alliage de cuivre :



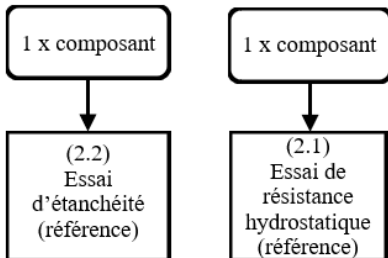
Seulement pour les TPRD contenant des matériaux non métalliques :



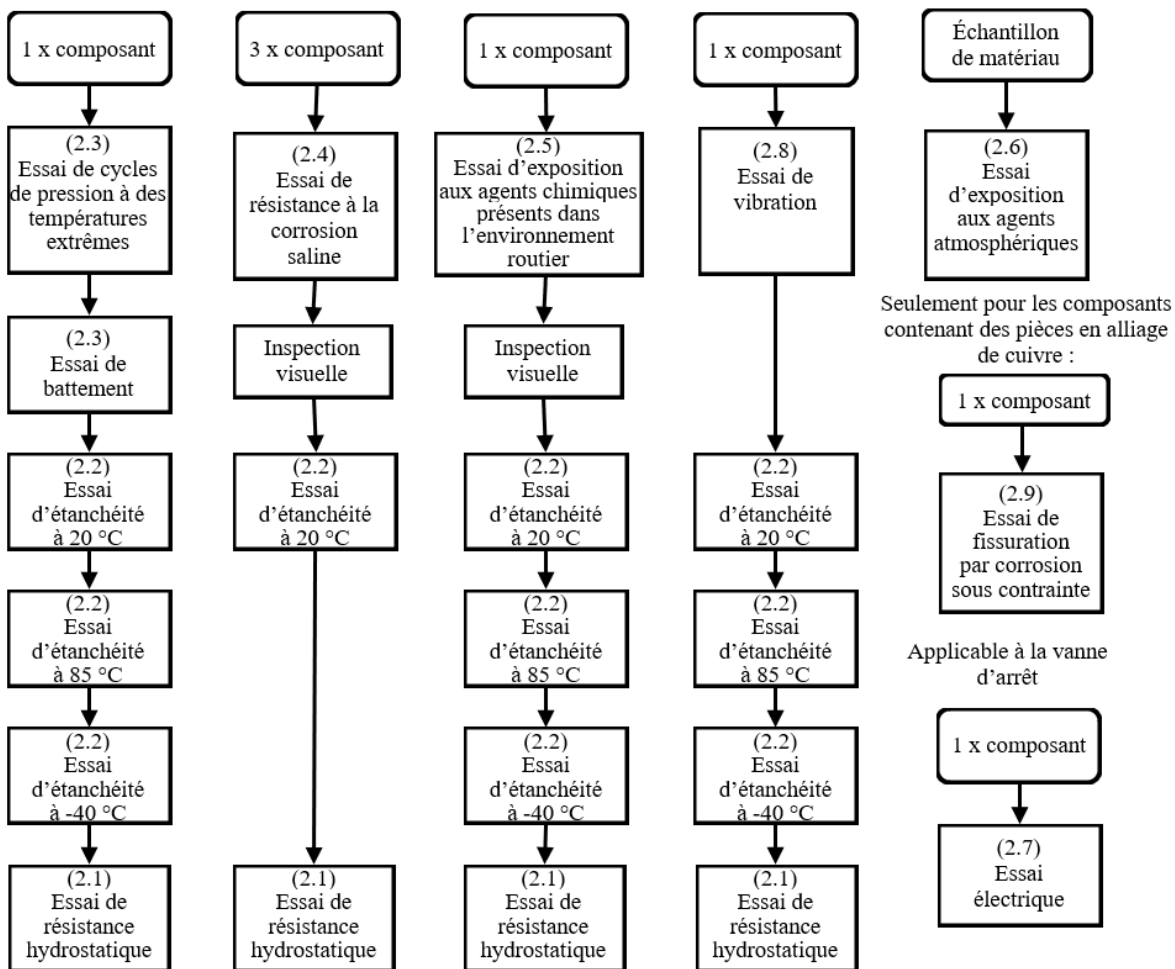
Annexe 4 – Appendice 2

Synthèse des essais applicables aux clapets antiretour et aux vannes d'arrêt automatiques

Essais de référence



Essais fonctionnels et essais sous contrainte



»

Annexe 5, paragraphes 1 à 3, lire :

« 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 de subir l'essai de choc, le système de stockage d'hydrogène comprimé est équipé d'instruments de mesure de la pression et de la température, sauf si le véhicule est déjà équipé d'instruments offrant la précision requise.

Si nécessaire, on purge ensuite le système de stockage conformément aux instructions du fabricant afin de débarrasser le réservoir de ses impuretés avant de remplir le système avec de l'hydrogène ou de l'hélium comprimé. La pression dans le système de stockage variant en fonction de la température, c'est également le cas de la pression de remplissage cible. La pression cible est déterminée au moyen de l'équation suivante :

$$P_{\text{target}} = \text{PSN} \times (273 + T_o) / 288$$

où PSN est la pression de service nominale (MPa), T_o , la température ambiante à laquelle le système de stockage est censé se stabiliser et P_{target} , la pression de remplissage cible, c'est-à-dire la pression après stabilisation de la température.

Le réservoir est rempli au minimum à 95 % de la pression de remplissage cible ; on le laisse ensuite se stabiliser avant de procéder à l'essai de choc.

La vanne d'arrêt principale et les autres vannes d'arrêt de l'hydrogène, situées dans la partie aval du circuit d'hydrogène, sont, dans les conditions normales de conduite, maintenues ouvertes immédiatement avant le choc.

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

La pression P_o (MPa) et la température T_o (°C) de l'hydrogène sont mesurées immédiatement avant le choc puis après un intervalle de temps Δt (minutes). Le début de l'intervalle Δt correspond au moment où le véhicule s'immobilise après le choc, sa durée est d'au moins 60 minutes. 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. Dans ce cas, Δt est calculé à l'aide de l'équation suivante :

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

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

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

$$P_o' = P_o \times 288 / (273 + T_o)$$

$$\rho_o' = -0,0027 \times (P_o')^2 + 0,75 \times P_o' + 1,07$$

$$M_o = \rho_o' \times V_{\text{CHSS}}$$

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

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

$$\rho_f' = -0,0027 \times (P_f')^2 + 0,75 \times P_f' + 1,07$$

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

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 pendant l'intervalle de temps (qui doit être inférieur au débit indiqué au paragraphe 7.2.1) se calcule donc comme suit :

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

où V_{H_2} est le débit volumique moyen (NI/min) pendant l'intervalle de temps et où le terme P_{target}/P_o rend compte de l'écart entre la pression initiale mesurée P_o et la pression de remplissage cible P_{target} .

- 1.2 Essai d'étanchéité après choc sur un système de stockage d'hydrogène comprimé rempli d'hélium comprimé

La pression P_o (MPa) et la température T_o (°C) de l'hélium sont mesurées immédiatement avant le choc puis après un intervalle de temps prédéterminé Δt (minutes). Le début de l'intervalle Δt correspond au moment où le véhicule s'immobilise après le choc, sa durée est d'au moins 60 minutes. 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. Dans ce cas, Δt est calculé à l'aide de l'équation suivante :

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

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

La masse initiale d'hélium dans le système de stockage est calculée comme suit :

$$P_o' = P_o \times 288 / (273 + T_o)$$

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

$$M_o = \rho_o' \times V_{\text{CHSS}}$$

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

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

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

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

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 pendant l'intervalle de temps se calcule donc comme suit :

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

où V_{He} est le débit volumique moyen (NI/min) pendant l'intervalle de temps et où le terme P_{target}/P_o rend compte de l'écart entre la pression initiale mesurée P_o et la pression de remplissage cible P_{target} .

Le débit volumique moyen d'hélium est converti en débit volumique moyen d'hydrogène à l'aide de la formule suivante :

$$V_{H_2} = V_{\text{He}} / 0,75$$

où V_{H_2} est le débit volumique moyen d'hydrogène (qui doit être inférieur au débit indiqué au paragraphe 7.2.1).

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

Les concentrations d'hydrogène (ou d'hélium) sont enregistrées au cours de l'essai de choc destiné à étudier les fuites éventuelles (voir la procédure d'essai au paragraphe 1 de l'annexe 5).

On utilise des capteurs permettant de mesurer soit l'augmentation de la concentration d'hydrogène ou d'hélium, soit la baisse correspondante de la concentration en oxygène (résultant du déplacement d'air induit par les fuites d'hydrogène ou d'hélium).

Les capteurs doivent être étalonnés à partir de références reconnues afin de pouvoir mesurer avec une précision de ± 5 % les valeurs cibles de concentration volumique dans l'air, à savoir 4,0 % pour l'hydrogène et 3,0 % pour l'hélium ; la limite supérieure de la plage de mesure à pleine échelle doit être supérieure à ces valeurs d'au moins 25 %. Leur temps de réponse à 90 % à une variation de la concentration correspondant à la pleine échelle doit être inférieur à 10 secondes.

Avant l'essai de choc, les capteurs sont placés 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 à proximité du point haut de la partie centrale de l'habitacle ;
- 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 point haut du compartiment à bagages situé dans une partie du véhicule qui n'est pas directement affectée par l'essai de choc.

Les capteurs sont solidement fixés à la structure du véhicule ou aux sièges et protégés des projections de débris et d'objets et des gaz libérés par les coussins de sécurité gonflables. Les données mesurées après le choc sont enregistrées par des instruments placés dans le véhicule ou à distance.

L'essai de choc peut se dérouler soit à l'extérieur, en un lieu protégé du vent et du soleil, ou à l'intérieur, dans un espace suffisamment grand ou ventilé, afin que la concentration en hydrogène reste inférieure à 10 % des valeurs cibles dans l'habitacle et le compartiment à bagages.

Dans un espace fermé, les mesures commencent dès que le véhicule s'est immobilisé. Les données relevées par les capteurs sont collectées à des intervalles de temps inférieurs ou égaux à 5 secondes pendant 60 minutes. On peut calculer la moyenne mobile des mesures sur des intervalles de temps inférieurs ou égaux à 5 secondes pour lisser les données et filtrer les données aberrantes.

Les valeurs filtrées fournies par les capteurs doivent être inférieures aux valeurs cibles de concentration, à savoir 4,0 % pour l'hydrogène et 3,0 % pour l'hélium à tout instant durant la période de 60 minutes suivant le choc.

3. Essai de conformité : cas d'une défaillance unique

La procédure d'essai présentée au paragraphe 3.2 de l'annexe 5 doit être exécutée afin de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.2.

L'une quelconque des procédures d'essai présentées aux paragraphes 3.1 et 3.2 de l'annexe 5 doit être exécutée afin de vérifier la conformité aux prescriptions du paragraphe 7.1.4.3 : ».

Annexe 5, paragraphe 3.1.1.2, lire :

- « 3.1.1.2 Gaz d'essai. Le gaz d'essai est un mélange d'air et d'hydrogène. La concentration d'hydrogène dans l'air est $> 3,0$ % pour la vérification du bon fonctionnement de l'alarme, et $> 4,0$ % pour la vérification du bon fonctionnement de la vanne d'arrêt. Les concentrations appropriées sont choisies sur la base des recommandations du fabricant (ou des caractéristiques du détecteur).

NOTE : Les restrictions ou interdictions concernant le stockage de prémélanges gazeux dont la concentration d'hydrogène dans l'air est supérieure à 2 % dans des bouteilles de gaz comprimé peuvent varier selon les juridictions dont dépendent les laboratoires d'essai. Une autre solution consiste à produire sur place (dans la zone d'essai) des mélanges gazeux dont la concentration d'hydrogène dans l'air peut atteindre 4 % à l'aide d'une station de mélange qui injecte la quantité requise d'hydrogène dans un flux d'air. Le mélange air-hydrogène peut ensuite être acheminé vers le point de libération situé à l'intérieur du véhicule au moyen d'un tuyau flexible. ».

Annexe 5, paragraphe 3.1.2.2, lire :

- « 3.1.2.2 Exécution de l'essai
- a) Du gaz d'essai est envoyé vers le détecteur de fuites d'hydrogène ;
 - b) Le déclenchement du système d'alarme dans les 10 secondes qui suivent permet de valider le bon fonctionnement de celui-ci ;
 - c) La fermeture de la vanne d'arrêt principale dans les 10 secondes qui suivent permet de valider le bon fonctionnement de celle-ci. La surveillance de l'alimentation électrique de la vanne d'arrêt principale ou le bruit émis par la fermeture de celle-ci permettent de confirmer qu'elle fonctionne correctement. ».

Annexe 5, paragraphe 3.2.1.3, lire :

- « 3.2.1.3 Avant de procéder à l'essai, on prépare le véhicule de façon à pouvoir simuler à distance des fuites du système de stockage d'hydrogène. Les fuites d'hydrogène peuvent être simulées à l'aide d'un système d'alimentation externe sans que les tuyauteries de carburant du véhicule d'essai soient modifiées. Le nombre et l'emplacement des points de rejet en aval de la vanne d'arrêt principale ainsi que les débits de fuite correspondants sont définis par le constructeur du véhicule sur la base des scénarios de fuite les plus défavorables dans le cas d'une défaillance unique. Au minimum, le débit cumulé de toutes les fuites commandées à distance doit être suffisant pour déclencher l'alarme et la fermeture de la vanne d'arrêt. ».

Annexe 5, paragraphe 4.3, lire :

- « 4.3 On place la sonde de l'appareil de mesure sur l'axe longitudinal du flux de gaz d'échappement, à 100 mm au maximum du point de rejet dans l'atmosphère. ».

Annexe 7, paragraphe 1, lire :

- « 1. Les modifications apportées à une homologation de type existante du système de stockage d'hydrogène comprimé peuvent être approuvées conformément au programme d'essai réduit spécifié dans le tableau 1 ci-dessous. Des exceptions peuvent être autorisées si un niveau de sécurité équivalent peut être garanti. ».

Annexe 7, tableau 1 et notes, lire :

« Tableau 1

Modification de conception

Élément modifié		Essais requis
Réservoir ou matériau de l'enveloppe en métal		<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu
Enveloppe en plastique		<ul style="list-style-type: none"> – Résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essais pneumatiques séquentiels – Essai au feu
Fibre ¹		<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu
Résine		<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu
Diamètre ²	≤ 20 %	<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles)
	>20 %	<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu
Longueur	≤ 50 %	<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essai au feu³
	>50 %	<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles) – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu³
Revêtement		<ul style="list-style-type: none"> – Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu⁴
Embase ⁵	Matériau, géométrie, taille de l'ouverture	<ul style="list-style-type: none"> – Pression d'éclatement initiale, résistance aux cycles de pression (nombre minimal de cycles)
	Étanchéité (interface enveloppe et/ou clapet/vanne)	<ul style="list-style-type: none"> – Essais pneumatiques séquentiels

Élément modifié		Essais requis
Système de protection contre le feu		– Essai au feu
Changement de clapet/vanne ⁶		– Essais pneumatiques séquentiels – Essai au feu ⁷
Accessoire du réservoir	Matériau, géométrie	– Essais hydrauliques séquentiels – Essai au feu ⁷

Notes :

1. Le changement de type de fibre, par exemple du verre au carbone, n'est pas applicable. La modification de conception ne s'applique qu'aux changements de propriétés des matériaux ou de fabricant dans un type de fibre.
2. Essais requis uniquement en cas de changement d'épaisseur proportionnel au changement de diamètre.
3. L'essai au feu n'est pas requis à condition que les dispositifs de sécurité ou la configuration des dispositifs aient réussi l'essai au feu requis sur un réservoir ayant un volume d'eau interne égal ou supérieur.
4. Un essai au feu est requis si le revêtement a une incidence sur la résistance au feu.
5. Les essais ne sont pas nécessaires si les contraintes dans le col sont égales aux contraintes d'origine ou réduites par la modification de la conception (par exemple, réduction du diamètre des filets intérieurs ou modification de la longueur de l'embase), si l'interface entre l'enveloppe et l'embase n'est pas affectée et si les matériaux d'origine sont utilisés pour l'embase, l'enveloppe et les joints.
6. Le clapet ou la vanne de remplacement doit être approuvé(e) conformément à la partie II.
7. L'essai au feu n'est pas nécessaire si la conception du TPRD n'a pas été modifiée et si la masse du clapet/de la vanne modifié(e) est de +/-30 % de celle du clapet/de la vanne d'origine. »

Ajouter la nouvelle annexe 8, libellée comme suit :

« Annexe 8 – Partie 1

Essai de choc latéral de remplacement applicable aux systèmes de stockage d'hydrogène comprimé installés à une hauteur inférieure ou égale à 800 mm

1. Conditions d'essai

Le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être rempli d'hydrogène ou d'hélium à la pression d'essai convenue entre le fabricant et le service technique. Les essais doivent être effectués sur le système de stockage d'hydrogène comprimé dans la position prévue pour son installation dans le véhicule, y compris les accessoires, supports et structures de protection, le cas échéant. La structure de protection doit être définie par le fabricant. Au choix du fabricant et en accord avec le service technique, le système de stockage d'hydrogène comprimé peut être monté sur un véhicule complet ou sur une carrosserie représentative.

2. Élément de frappe

L'élément de frappe doit être conforme aux prescriptions énoncées à l'annexe 5 du Règlement ONU n° 95.

3. Procédure d'essai

La vitesse de l'élément de frappe au moment du choc doit être de 50 ± 1 km/h. Toutefois, si l'essai a été effectué à une vitesse plus élevée au moment du choc et si le système de stockage d'hydrogène comprimé a satisfait aux prescriptions, l'essai doit être considéré comme réussi. La direction de

l'impact doit former un angle de 90° avec l'axe longitudinal du véhicule, la ligne médiane de la barrière étant alignée sur le plan transversal médian du système de stockage d'hydrogène comprimé dans le sens longitudinal du véhicule.

Annexe 8 – Partie 2

Essai de choc latéral de remplacement applicable aux systèmes de stockage d'hydrogène comprimé installés à une hauteur supérieure à 800 mm

1. Conditions d'essai

Le système de stockage d'hydrogène comprimé doit être rempli d'hydrogène ou d'hélium à la pression d'essai convenue entre le fabricant et le service technique. Les essais doivent être effectués sur le système de stockage d'hydrogène comprimé dans la position prévue pour son installation dans le véhicule, y compris les accessoires, supports et structures de protection, le cas échéant. La structure de protection doit être définie par le fabricant. Au choix du fabricant et en accord avec le service technique, le système de stockage d'hydrogène comprimé peut être monté sur un véhicule complet ou sur une carrosserie représentative.

En outre, le véhicule ou la carrosserie doit être fixé(e) conformément aux prescriptions relatives à l'essai C énoncées dans l'appendice 1 de l'annexe 3 du Règlement ONU n° 29.

2. Élément de frappe

L'élément de frappe doit être conforme aux prescriptions énoncées aux paragraphes 5.1 et 5.2 de l'annexe 3 du Règlement ONU n° 29.

3. Procédure d'essai

L'énergie de l'impact doit être égale à 29,4 kJ. Toutefois, si l'énergie était plus élevée au moment du choc et si le système de stockage d'hydrogène comprimé satisfaisait aux prescriptions, l'essai doit être considéré comme réussi. La direction de l'impact doit former un angle de 90° avec l'axe longitudinal du véhicule, l'élément de frappe étant centré sur la ligne d'intersection des plans transversal et longitudinal passant par le milieu du système de stockage d'hydrogène comprimé dans chaque sens. ».
