



---

**Comité d'experts du transport des marchandises dangereuses  
et du Système général harmonisé de classification  
et d'étiquetage des produits chimiques**

Sous-Comité d'experts du transport des marchandises dangereuses

Soixante-quatrième session

Genève, 24 juin-3 juillet 2024

Point 6 c) de l'ordre du jour provisoire

**Propositions diverses d'amendements au Règlement type  
pour le transport des marchandises dangereuses :**

**Citernes mobiles**

**Proposition de nouveau 6.9.4, « Prescriptions relatives à la  
conception et à la construction des citernes mobiles destinées  
au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés dont les réservoirs  
sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF)  
et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir »**

**Communication de la Fédération de Russie\***

**I. Généralités**

1. Le Comité d'experts du transport des marchandises dangereuses et du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques a été informé, à sa dixième session, des amendements à la vingt et unième édition révisée des Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses, Règlement type (ST/SG/AC.10/48/Add.1). Les amendements comprenaient un nouveau chapitre 6.9 intitulé « Prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir » ainsi que des mises à jour appropriées du chapitre 4.2 en rapport avec le chapitre 6.9.

2. Au cours des dernières décennies, le PRF a été largement utilisé pour la fabrication de citernes de stockage pour les gaz liquéfiés non réfrigérés correspondant à la classe 2, y compris l'hydrogène. Les techniques employées pour la production des réservoirs de stockage du type II-V sont l'enroulement filamentaire et l'enroulement robotisé. On a recours à la fibre de carbone, de verre ou de basalte comme matériau de renforcement et on utilise des polymères thermodurcissables et thermoplastiques. Ces structures sont conçues pour résister à une pression interne pouvant atteindre 350 bars. L'expérience internationale en matière de production et d'exploitation de citernes pour le stockage et le transport de gaz liquéfiés non réfrigérés démontre que le PRF peut être utilisé efficacement et sans limitations d'ordre technologique pour la fabrication de citernes portables ONU destinées au transport de matières de la classe 2.

---

\* A/78/6 (Sect. 20), tableau 20.5.



3. La Fédération de Russie estime que l'utilisation de PRF dans la construction des citernes portables destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés correspondant à la classe 2, y compris l'hydrogène, permettra d'augmenter la durée de vie des citernes et de réduire les coûts de réparation.

4. La Fédération de Russie a acquis une certaine expérience dans l'utilisation de PRF pour la fabrication des citernes et souhaiterait engager une réflexion sur l'élaboration du nouveau sous-chapitre 6.9.4 portant sur les dispositions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles destinées au transport des matières de la classe 2 (gaz liquéfiés non réfrigérés) dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir.

## II. Contexte

5. À sa cinquante-quatrième session (27 novembre-6 décembre 2017, rapport publié sous la cote ST/SG/AC.10/C.3/108), le Sous-Comité a examiné, entre autres, les demandes de l'Australasian Explosives Industry Safety Group (ST/SG/AC.10/C.3/2018/99) et de la Fédération de Russie (ST/SG/AC.10/C.3/2018/91) visant à étendre la portée des travaux au transport des explosifs et des gaz liquéfiés non réfrigérés dans des citernes en PRF.

6. Le Sous-Comité a pris note du fait que le groupe de travail informel avait reconnu que les citernes mobiles en PRF pouvaient transporter des marchandises dangereuses de la classe 2 mais qu'il avait décidé, compte tenu des difficultés supplémentaires liées au transport de ces marchandises, de donner la priorité à l'élaboration de dispositions relatives au transport de marchandises d'autres classes dans des citernes mobiles en PRF et d'achever ces travaux avant de se pencher sur la question du transport des gaz.

7. La Fédération de Russie est convaincue que le moment est venu d'élaborer des prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés dont les réservoirs sont en PRF et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir.

8. Il convient de rappeler qu'à la soixante-troisième session (27 novembre-6 décembre 2023, rapport publié sous la cote ST/SG/AC.10/C.3/126), certaines délégations ont exprimé le souhait de poursuivre l'élaboration de nouvelles dispositions relatives aux citernes mobiles en PRF pour le transport des matières de la classe 2 et ont invité la Fédération de Russie à recueillir des données sur ce sujet et à soumettre une proposition à la session suivante, en tenant compte des observations reçues.

9. Compte tenu de ce qui précède, la Fédération de Russie souhaite présenter pour examen un projet de nouveau sous-chapitre 6.9.4 intitulé « Prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir ».

## III. Mesures à prendre

10. La Fédération de Russie souhaiterait discuter de la poursuite de l'élaboration du chapitre 6.9, « Prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir », qui concerne actuellement les classes et divisions 3, 5.1, 6.1, 6.2, 8 et 9, afin d'en étendre le champ d'application au transport des matières de la classe 2.

11. La Fédération de Russie invite le Sous-Comité à :

a) Envisager l'élaboration d'un nouveau sous-chapitre 6.9.4 intitulé « Prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir », tel que proposé à l'annexe du présent document ;

b) Inviter tous les experts à contribuer à l'élaboration du nouveau sous-chapitre 6.9.4 et inviter également le groupe de travail actuellement chargé des équipements de service en PRF à procéder à l'élaboration d'un nouveau sous-chapitre 6.9.4 s'il en est ainsi décidé.

## Annexe

### **6.9.4 Prescriptions relatives à la conception et à la construction des citernes mobiles destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés dont les réservoirs sont en matière plastique renforcée de fibres (PRF) et aux contrôles et épreuves qu'elles doivent subir**

#### **6.9.4.1** *Domaine d'application et prescriptions générales*

- 6.9.4.1.1 Les prescriptions de la section 6.9.4 s'appliquent aux citernes mobiles à réservoir en PRF destinées au transport des gaz liquéfiés non réfrigérés de la classe 2, par tous les modes de transport, conformément au 6.7.1.
- 6.9.4.1.2 Les prescriptions du chapitre 6.7 et de la section 6.7.3 s'appliquent aux réservoirs de citernes mobiles en PRF, à l'exception de celles qui sont relatives à l'utilisation de matériaux métalliques pour la construction du réservoir d'une citerne mobile et des prescriptions supplémentaires énoncées dans le présent chapitre.
- 6.9.4.1.3 Pour tenir compte du progrès scientifique et technique, les prescriptions techniques du présent chapitre pourront être remplacées par d'autres prescriptions (arrangements alternatifs) qui devront offrir un niveau de sécurité au moins égal à celui des prescriptions du présent chapitre quant à la compatibilité avec les matières transportées et la capacité de la citerne mobile en PRF à résister aux chocs, aux charges et au feu. En cas de transport international, les citernes mobiles en PRF construites selon ces arrangements alternatifs devront être agréées par les autorités compétentes.

#### **6.9.4.2** *Définitions*

Aux fins de la présente section, les définitions des 6.7.3.1 et 6.9.2.1 s'appliquent.

Par *revêtement étanche aux gaz*, on entend une couche de la surface intérieure d'un réservoir en PRF constituant la première barrière destinée à conférer au réservoir une imperméabilité de longue durée aux gaz liquéfiés non réfrigérés et à empêcher toute réaction dangereuse, la formation de composés dangereux et tout affaiblissement important des couches structurales du réservoir. Le revêtement peut être un revêtement métallique ou un revêtement en PRF.

#### **6.9.4.3** *Prescriptions générales concernant la conception et la construction*

- 6.9.4.3.1. Les prescriptions du 6.7.3.2 s'appliquent aux réservoirs en PRF, à l'exclusion des 6.7.3.2.1, 6.7.3.2.10 et 6.7.3.2.11. Les réservoirs en PRF doivent être conçus et construits conformément aux dispositions d'un code pour appareils à pression reconnu par l'autorité compétente. Aux fins de la présente section, les prescriptions du 6.9.2.2 s'appliquent, à l'exclusion des 6.9.2.2.3.3, 6.9.2.2.3.5, 6.9.2.2.3.6, 6.9.2.2.3.8, 6.9.2.2.3.13 et 6.9.2.2.3.14
- 6.9.4.3.2. La couche structurale doit être conçue de manière à supporter les charges prévues aux 6.7.3.2.9 et 6.9.4.4.2.
- 6.9.4.3.3. L'imperméabilité de longue durée du réservoir en PRF équipé du revêtement étanche aux gaz doit être vérifiée conformément à la norme ISO 15105-1:2007.

#### **6.9.4.4** *Critères de conception*

- 6.9.4.4.1 Les réservoirs en PRF doivent être conçus de façon à pouvoir analyser les contraintes mathématiquement ou expérimentalement avec des jauges de contrainte à fil résistant ou par d'autres méthodes agréées par l'autorité compétente.

- 6.9.4.4.2 Les réservoirs en PRF doivent être conçus et construits pour résister à une pression d'épreuve au moins égale à 1,3 fois la pression de calcul. La conception du réservoir doit prendre en considération les valeurs minimales prévues pour la PSMA dans l'instruction de transport en citernes mobiles T50 du 4.2.5.2.6, pour chaque gaz liquéfié non réfrigéré destiné au transport.
- 6.9.4.4.3 À la pression d'épreuve prescrite, la déformation maximale relative due à la traction mesurée dans le réservoir, en mm/mm, ne doit pas entraîner la formation de microfissures, et ne doit donc pas dépasser le premier point de rupture ou d'endommagement de la résine à l'allongement, mesuré lors des essais de traction prescrits au 6.9.2.7.1.2 c).
- 6.9.4.4.4 Pour les charges de calcul indiquées au 6.7.3.2.9 et la pression d'épreuve prescrite au 6.9.4.4.2, les critères de défaillance (FC) dans la direction longitudinale, dans la direction circonférentielle et dans toute autre direction dans le plan des différentes couches du matériau composite ne doivent pas dépasser la valeur suivante :

$$FC \leq \frac{1}{K}$$

où :

$$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

où :

**K** doit avoir une valeur minimale de 4 ;

**K<sub>0</sub>** est un facteur de résistance. Pour la conception générale, la valeur de **K<sub>0</sub>** doit être supérieure ou égale à 1,5. On appliquera la valeur de **K<sub>0</sub>** multipliée par un coefficient deux, à moins que le réservoir ne dispose d'une protection sous la forme d'une armature métallique complète, y compris des membrures structurales longitudinales et transversales ;

**K<sub>1</sub>** est un facteur lié à la détérioration des propriétés du matériau dû au fluage et au vieillissement. Il est déterminé par la formule :

$$K_1 = \frac{1}{\alpha\beta}$$

où «  $\alpha$  » est le facteur de fluage et «  $\beta$  » le facteur de vieillissement, conformément aux dispositions respectives des 6.9.2.7.1.2 e) et f). Lorsqu'ils sont utilisés dans le calcul, les facteurs  $\alpha$  et  $\beta$  doivent être compris entre 0 et 1.

On peut aussi, par précaution, décider que **K<sub>1</sub>** = 2 aux fins de l'exercice de validation numérique du 6.9.2.3.4 (ce qui ne supprime pas la nécessité d'effectuer des épreuves pour déterminer  $\alpha$  et  $\beta$ ) ;

**K<sub>2</sub>** est un facteur lié à la température de service et aux propriétés thermiques de la résine ; il est déterminé par l'équation suivante avec une valeur minimum de 1 : **K<sub>2</sub>** = 1,25 - 0,0125 (HDT - 70) où HDT est la température de déformation thermique de la résine, en °C ;

**K<sub>3</sub>** est un facteur lié à la fatigue du matériau, la valeur de **K<sub>3</sub>** étant égale à 1,75 sauf accord contraire avec l'autorité compétente. Pour la conception dynamique prévue au 6.7.2.2.12, **K<sub>3</sub>** doit être égal à 1,1 ;

**K<sub>4</sub>** est un facteur lié à la réticulation de la résine avec les valeurs suivantes :  
1,0 quand la réticulation est obtenue conformément à un procédé agréé et documenté, et que le système qualité décrit au 6.9.2.2.2 comprend le contrôle du degré de réticulation de chaque citerne mobile en PRF en utilisant une méthode de mesure directe, comme indiqué au 6.9.2.7.1.2 h), telle que l'analyse calorimétrique différentielle (ACD) selon la norme ISO 11357-2:2016 ;

1,1 quand le formage de la résine thermoplastique ou la réticulation de la résine thermodurcissable est obtenu conformément à un procédé agréé et documenté, et que le système qualité décrit au 6.9.2.2.2 comprend le contrôle, selon le cas, des caractéristiques de la résine thermoplastique formée ou du degré de réticulation de la résine thermodurcissable, pour chaque citerne mobile en PRF, en utilisant une méthode de mesure indirecte comme indiqué au 6.9.2.7.1.2 h), telle que le test de Barcol selon la norme ASTM D2583:2013-03 ou EN 59:2016, la HDT selon la norme ISO 75-1:2013, l'analyse thermomécanique selon la norme ISO 11359-1:2014, ou l'analyse thermomécanique dynamique selon la norme ISO 6721-11:2019 ;

1,5 dans les autres cas.

Un exercice de validation de la conception s'appuyant sur une analyse numérique et sur un critère pertinent de défaillance des composites doit être réalisé pour vérifier que les contraintes dans les plis du réservoir présentent des valeurs inférieures aux valeurs admissibles. Les critères pertinents de défaillance des composites comprennent, entre autres, les critères Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hashin, et Yamada-Sun, la méthode SIFT (Strain Invariant Failure Theory), le critère de déformation maximale ou le critère de contrainte maximale. D'autres relations pour le critère de résistance sont autorisés avec l'accord de l'autorité compétente. La méthode de cet exercice de validation de la conception et ses résultats doivent être communiqués à l'autorité compétente.

Les valeurs admissibles doivent être déterminées sur la base d'expériences visant à établir les paramètres requis en fonction des critères de défaillance choisis, associés au facteur de sécurité K, aux valeurs de résistance mesurées conformément au 6.9.2.7.1.2 c), et aux critères de déformation maximale prescrits au 6.9.2.3.5. L'analyse des joints doit être effectuée en fonction des valeurs admissibles déterminées conformément au 6.9.2.3.7 et des valeurs de résistance mesurées conformément au 6.9.2.7.1.2 g). Le flambage doit être examiné conformément au 6.9.2.3.6. La conception des ouvertures et des inclusions métalliques doit être examinée conformément au 6.9.2.3.8.

6.9.4.4.5 Pour l'une quelconque des contraintes définies aux 6.7.3.2.9 et 6.9.4.4.2, l'allongement qui en résulte dans une direction quelconque ne doit pas dépasser la plus faible des deux valeurs suivantes : la valeur indiquée dans le tableau ci-après ou un dixième de l'allongement à la rupture de la résine déterminé selon la norme ISO 527-2:2012.

Des exemples de limites connues sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Type de résine	Déformation maximale en tension (%)
Polyester non saturée ou phénolique	0,2
Vinylester	0,25
Époxy	0,3
Thermoplastique	Voir 6.9.4.4.3

6.9.4.4.6 Pour la pression extérieure de calcul, le facteur de sécurité minimal pour l'analyse du flambage linéaire du réservoir doit être tel que défini dans le code pour appareils à pression applicable mais ne doit pas être inférieur à trois.

- 6.9.4.4.7 Les liaisons adhésives ou les éléments superposés dans les joints d'assemblage, y compris ceux des fonds, les raccords entre l'équipement et le réservoir, les joints entre le réservoir et les brise-flots et les cloisons doivent pouvoir résister aux contraintes énoncées aux 6.7.3.2.9 et 6.9.4.4.2. Pour éviter une concentration de contraintes dans les éléments superposés, les pièces raccordées doivent être chanfreinées dans un rapport d'au plus 1/6. La résistance au cisaillement entre les éléments superposés et les composants de la citerne auxquels ils sont fixés ne doit pas être inférieure à :

$$\tau = \gamma \frac{Q}{l} \leq \frac{\tau_R}{K}$$

où :

$\tau_R$  est la résistance interlaminaire au cisaillement conformément à la norme ISO 14130:1997 et Cor 1:2003 ;

Q est la charge par unité de largeur de l'interconnexion ;

K est le facteur de sécurité déterminé selon le 6.9.4.4.4 ;

l est la longueur des éléments superposés ;

$\gamma$  est le facteur d'entaille rapportant la contrainte moyenne s'exerçant sur le joint à la contrainte maximale sur le joint au point d'initiation de la rupture.

D'autres méthodes de calcul pour les joints sont autorisées avec l'accord de l'autorité compétente.

- 6.9.4.4.8 L'utilisation de brides métalliques et de leurs fermetures est autorisée pour les réservoirs en PRF, conformément aux prescriptions relatives à la conception énoncées au 6.7.3. Les ouvertures dans le réservoir en PRF doivent être renforcées de façon à assurer les mêmes marges de sécurité contre les contraintes statiques et dynamiques spécifiées aux 6.7.3.2.9 et 6.9.4.4.2 pour le réservoir lui-même. Il doit y avoir aussi peu d'ouvertures que possible. Le rapport des axes des ouvertures ovales ne doit pas être supérieur à 2.

Lorsque les brides ou les composants métalliques sont intégrés au réservoir en PRF par collage, la méthode de caractérisation énoncée au 6.9.4.4.7 doit alors s'appliquer au joint placé entre le métal et la matière PRF. Lorsque les brides ou les composants métalliques sont fixés d'une autre manière, par exemple au moyen d'éléments de fixation filetés, les dispositions pertinentes de la norme relative aux récipients à pression doivent alors s'appliquer.

- 6.9.4.4.9 La résistance du réservoir doit être calculée au moyen de la méthode des éléments finis en simulant les différentes couches du réservoir, les joints entre le réservoir en PRF et le cadre du conteneur, et les ouvertures. Les singularités doivent être traitées en suivant une méthode adéquate conformément au code de conception appliqué.

#### **6.9.4.5** *Épaisseur minimale des parois des réservoirs*

- 6.9.4.5.1 L'épaisseur minimale des parois des réservoirs en PRF doit être confirmée par des calculs de la résistance du réservoir en respectant les prescriptions du 6.9.4.4.4.

#### **6.9.4.6** *Équipement de service*

Les équipements de service, les dispositifs de décompression ainsi que leur capacité et leur tarage, les jauges, les supports, les ossatures, et les attaches de levage et d'arrimage des citernes mobiles doivent être conformes aux prescriptions des 6.7.3.5 à 6.7.3.12. Les dispositions du 6.9.4.4.8 s'appliquent à tout autre élément métallique devant être intégré au réservoir en PRF.

**6.9.4.7 Agrément de type**

- 6.9.4.7.1 L'agrément de type des citernes mobiles en PRF doit être conforme aux prescriptions du 6.7.3.14.
- 6.9.4.7.2 Le prototype, muni de jauges de contrainte à tous les endroits où la contrainte est forte, recensés dans le cadre de l'exercice de validation de la conception mené conformément au 6.9.4.4.4, doit être soumis à la pression d'épreuve spécifiée au 6.9.4.4.2. Sous cette charge, la citerne ne doit présenter aucun dommage visible ni aucune fuite. La contrainte correspondant au niveau de déformation mesuré ne doit dépasser le facteur minimal de sécurité calculé au 6.9.4.4.4.
- 6.9.4.7.3 Le procès-verbal d'épreuve du prototype aux fins de l'agrément de type doit en outre contenir les éléments suivants :
- a) Les résultats des essais réalisés sur le matériau utilisé pour la construction des réservoirs en PRF conformément aux prescriptions du 6.9.2.7.1 ;
  - b) Les résultats de l'épreuve de chute de bille conformément aux prescriptions du 6.9.2.7.1.4 ;
  - c) Les résultats de l'épreuve de résistance au feu conformément aux dispositions du 6.9.2.7.1.5.
- 6.9.4.7.4 Le prototype doit être inspecté pour en déterminer la conformité avec les spécifications du modèle. Cette inspection doit comprendre une inspection visuelle interne et externe et la mesure des principales dimensions.
- 6.9.4.7.5 Un programme d'inspection de la durée de service doit être mis en place et prévu dans le manuel d'exploitation, afin de surveiller l'état du réservoir lors des contrôles périodiques. Le programme d'inspection doit mettre l'accent sur les principaux points de contrainte recensés dans l'analyse de la conception effectuée conformément au 6.9.4.4.4. La méthode d'inspection doit tenir compte du mode de détérioration auquel sont potentiellement exposés les principaux points de contrainte (par exemple, contrainte de traction ou contrainte interlaminaire). L'inspection doit s'effectuer sous forme d'une combinaison de tests visuels et non-destructifs (par exemple, émissions acoustiques, évaluations par ultrasons, analyses thermographiques). Lorsque des éléments chauffants sont utilisés, le programme d'inspection de la durée de vie doit permettre un examen du réservoir ou des points représentatifs pour tenir compte des effets de la surchauffe.

**6.9.4.8 Prescriptions complémentaires applicables aux citernes mobiles en PRF**

- 6.9.4.8.1 Les prescriptions complémentaires applicables sont celles du 6.9.2.7, à l'exclusion du 6.9.2.7.1.3.

**6.9.4.9 Contrôles et épreuves**

- 6.9.4.9.1 Les prescriptions des 6.7.3.15, 6.9.2.8.2 et 6.9.2.8.3 s'appliquent aux citernes mobiles en PRF.

**6.9.4.10 Marquage**

- 6.9.4.10.1 Le marquage doit être conforme au 6.7.3.16.
-