



Sommaire de recherche – Performance structurelle des wagons-citernes TC-117 dans des conditions de déraillement

Transport des marchandises dangereuses | Division de la recherche scientifique

SOMMAIRE

La présente recherche a permis d'évaluer la performance structurelle des conceptions de wagons-citernes TC-117 dans des scénarios de déraillement, et ce, à l'aide d'une combinaison de simulations de déraillement, d'évaluations de la résistance à la perforation et de considérations sur la résistance des matériaux par temps froid. Les wagons-citernes TC-117 devaient, selon les prévisions, être plus performants que les anciens wagons-citernes TC-111 dans des conditions de déraillement; les wagons-citernes TC-117J (conformes aux nouvelles spécifications) ont présenté un nombre moins élevé de perforations que plusieurs variantes de wagon-citerne TC-117R (anciens wagons ayant été modernisés). Les résultats de modèle suggèrent que le nombre de perforations des wagons-citernes pourrait augmenter jusqu'à 10 % à -40 °C par rapport au nombre de perforations à une température ambiante de 20 °C.

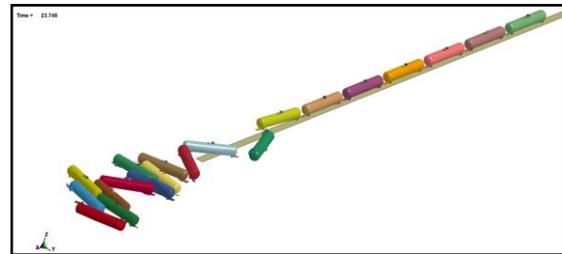


Figure 1 – Exemple d'empilage final obtenu à partir de l'une des simulations de déraillement

CONTEXTE

La norme actuelle relative aux wagons-citernes transportant des liquides inflammables, TC-117, exige que les nouveaux wagons (TC-117J) soient dotés d'une coque d'une épaisseur de 9/16 pouce fabriqués à partir d'acier normalisé TC-128, nuance B, d'une chemise de calibre 11, d'une protection de tête complète d'une épaisseur de 1/2 pouce et d'une enceinte protectrice des raccords supérieurs conforme à la section 8.2.3.4.1 de la norme TP14877 de Transports Canada, Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer. Les anciens wagons-citernes existants peuvent être mis à niveau TC-117R. Les modifications requises par la conception TC-117R devraient améliorer la résistance aux impacts, mais le niveau d'amélioration

dépendra des spécifications du wagon-citerne d'origine.

OBJECTIFS

L'objectif global est de prédire la résistance aux impacts des wagons-citernes TC-117J et des variantes TC-117R, et d'évaluer leurs avantages sur le plan de la sécurité par le biais de leur performance relative lorsqu'ils font partie de trains-cargos de 100 wagons, et lorsqu'ils sont inclus dans un train mixte contenant des wagons couverts. Les paramètres de performance sont le nombre de wagons perforés et le nombre de raccords supérieurs défailants dans une série de scénarios d'accident différents.

MÉTHODES

La méthodologie d'estimation du nombre de perforations découle de travaux antérieurs menés pour la Federal Railroad Administration (FRA) du département des Transports (DOT) des États-Unis, et comprend des mises à jour apportées au modèle pour tenir compte :

- des défaillances des enceintes protectrices des raccords supérieurs;
- des connexions entre les wagons qui modélisent la façon dont le couple est transmis entre les wagons lors de déraillements;
- de l'effet des températures froides sur la résistance à la perforation des wagons-citernes.

La méthodologie globale d'estimation de la résistance à la perforation est la suivante :

- caractériser l'environnement de charge associé aux déraillements de wagons-citernes par le biais de multiples simulations de déraillement de trains-cargos composés de wagons-citernes afin d'obtenir un histogramme des forces d'impact attendues;
- quantifier la résistance à la perforation de certaines conceptions de

wagons-citernes pour une gamme nominale de tailles d'impacteurs et de forces d'impact, en fonction de recherches antérieures;

- combiner les histogrammes de l'environnement de charge, les courbes de résistance à la perforation et les distributions de la taille nominale d'impacteurs afin d'évaluer la probabilité de perforation pour un ensemble de conceptions et de vitesses d'exploitation.

Une méthodologie semblable a également été adoptée pour l'estimation de la défaillance des raccords :

- quantifier la distribution des vitesses avec lesquelles les enceintes protectrices des raccords heurtent le sol par le biais de simulations de déraillement;
- caractériser la résistance des enceintes protectrices par une analyse détaillée des éléments finis des enceintes protectrices de wagons individuels heurtant le sol à des vitesses données;
- estimer la probabilité de la défaillance des raccords en combinant les deux éléments susmentionnés.

Le nouveau modèle a été utilisé dans des simulations de trains-cargos composés de 100 wagons, dont des wagons-citernes TC-117, à des vitesses comprises entre 5 et 60 mi/h (8 et 97 km/h). Dix-huit simulations ont été effectuées à chaque vitesse pour tenir compte des variations de la force nécessaire pour provoquer un déraillement, de l'état de la voie et de l'état du sol. On a ainsi obtenu un histogramme des forces d'impact prévues et le nombre de perforations de wagons-citernes qui en résultent, pour chaque vitesse. Les résultats des simulations ont également permis de prévoir les vitesses d'impact des raccords supérieurs lors de déraillements.



L'effort de modélisation par temps froid représentait un défi, celui de développer un modèle de matériau et une méthodologie reflétant le changement des propriétés de matériau telles que la limite apparente d'élasticité, la résistance limite et l'allongement, tout en tenant compte de la réduction drastique des énergies Charpy par temps froid. Ce défi a été relevé de la manière suivante :

- modéliser l'essai Charpy à l'aide de modèles d'éléments finis détaillés de haute-fidélité d'éprouvettes Charpy;
- ajuster le modèle de matériau de sorte que les résultats de l'essai Charpy à basse température soient raisonnablement simulés;
- transférer les propriétés de matériau correspondantes dans un modèle de perforation;
- utiliser ces résultats pour estimer la performance par temps froid.

RÉSULTATS

La résistance à la perforation et la performance des raccords supérieurs de plusieurs variantes de wagon-citerne TC-117 ont été estimées au moyen de l'approche décrite, pour différentes températures et vitesses de fonctionnement. Un aperçu des résultats de la résistance à la perforation et de la performance des raccords supérieurs est présenté dans les figures 2 et 3.

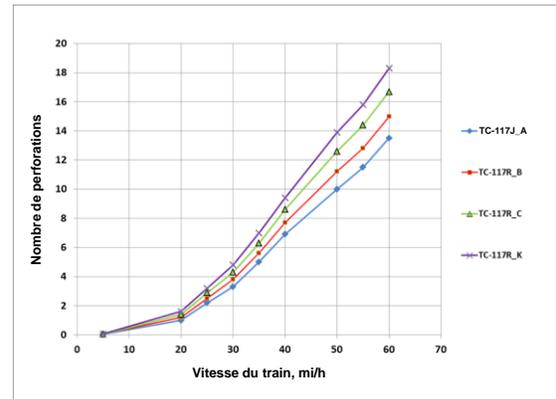


Figure 2 – Nombre de perforations en fonction de différentes vitesses pour 4 types de wagons à 20 °C

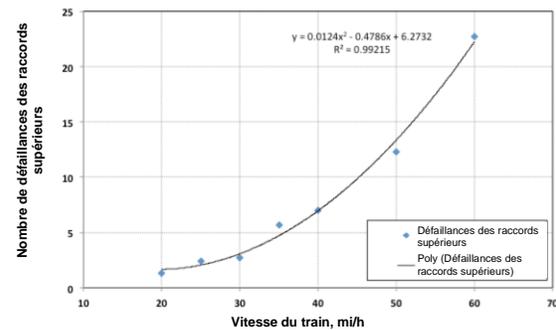


Figure 3 – Défaillance des raccords supérieurs en fonction de la vitesse

Un exemple de résultats de l'évaluation de la performance par temps froid est présenté à la figure 4.

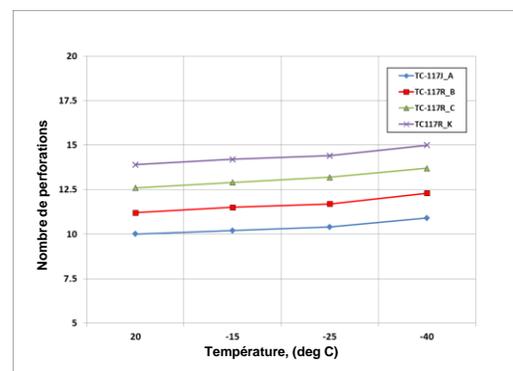


Figure 4 – Nombre de perforations en fonction de la température pour 4 types de wagons à 50 mi/h

CONCLUSIONS

Les résultats montrent que les dommages à la structure lors de déraillements augmentent considérablement en fonction de la vitesse. Le wagon-citerne TC-117J présente un nombre moins élevé de perforations que toute variante TC-117R. De plus, des comparaisons réalisées avec les résultats de travaux antérieurs suggèrent que toute variante TC-117 présente une meilleure performance que les anciens wagons TC-111, le wagon-citerne de conception TC-117J offrant la meilleure performance. Comme prévu, les deux variantes dotées de coque d'acier non normalisé ont présenté un nombre légèrement plus élevé de perforations par rapport aux parois d'acier normalisé, et les coques plus minces, un nombre plus élevé de perforations par rapport aux coques plus épaisses fabriquées du même matériau. Un exemple de comparaison de la différence entre un wagon-citerne TC-117J et une (1) variante TC-117R à diverses vitesses figure au tableau 1.

Tableau 1 – Résultats sélectionnés à 20°C

Type de wagon-citerne	Nombre le plus probable de perforations à 20° C		Pourcentage d'amélioration comparé au TC-117R_K		Pourcentage d'amélioration due à la vitesse
	30 mi/h	50 mi/h	30 mi/h	50 mi/h	50 à 30 mi/h
TC-117J 9/16" TC128B Chemise calibre 11 Protection de tête ½ po	3,3	10,0	31 %	28 %	67 %
TC-117R_K ½ po A516-70 Chemise calibre 11 Protection de tête ½ po	4,8	13,9	-	-	65 %

On a constaté que la défaillance des raccords supérieurs augmentait considérablement en fonction de la vitesse, d'une manière semblable au nombre de perforations des wagons-citernes.

Un modèle de matériau a été développé pour tenir compte du changement des propriétés d'acier et du mode de défaillance en fonction de la température. Le modèle a été étalonné en comparant des simulations d'essais de résilience Charpy et des résultats d'essais en

laboratoire, et a été élargi pour inclure à la fois l'acier normalisé et l'acier non normalisé des wagons-citernes. On a constaté que la température avait un léger effet sur le nombre de perforations. En général, on note une augmentation de 10 % du nombre de perforations lorsque la température passe de 20 à -40 °C.

Des comparaisons avec un ensemble limité de données disponibles sur les accidents suggèrent que les prévisions du modèle correspondent aux observations sur le terrain de déraillements, mais la défaillance des raccords supérieurs est légèrement surestimée.

MESURES À VENIR

Ce projet a mis l'accent sur la performance des wagons-citernes qui font partie de trains-cargos. Les travaux se poursuivent pour évaluer la performance des wagons-citernes TC-117 dans un train mixte afin de déterminer si les écarts de performance sont amplifiés lorsque les wagons-citernes interagissent avec des structures plus rigides comme des wagons couverts.

Dans ce projet, la méthodologie servant à estimer un changement dans la performance des wagons-citernes par temps froid était un travail innovateur s'appuyant sur un concept théorique. Les essais de résistance à la perforation des wagons-citernes par temps froid pourraient aider à valider cette approche.

RÉFÉRENCES

1. TP 14877, Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer, janvier 2018, Transports Canada.
2. Rapport sous forme de lettre à la FRA du DOT des États-Unis intitulé, « Objective Evaluation of Risk Reduction from Tank Car Designs & Operations Improvements », juillet 2014, Sharma & Associates, Inc.
3. Rapport à Transports Canada, « Évaluation des risques de rupture de wagons-citernes », juin 2016, Sharma & Associates, Inc.
4. « Tank Car Top Fittings Protection – Evaluation of Derailment Failure Risks – A Conceptual Study », ASME JRC2016-5821, avril 2016.
5. « Full Scale Tank Car Rollover Test – Survivability of Top Fittings and Top Fittings Protective Structures », Proceedings of the 2011 IEEE/ASME Joint Rail Conference JRC2011, du 16 au 18 mars 2011, Pueblo (Colorado), États-Unis.

Rapport : Structural Performance of TC-117J Tank Cars and TC-117R Variants under Derailment Conditions (2022)

Auteur : A. Prabhakaran (Sharma & Associates)

ISBN : 978-0-660-46123-6

Numéro de catalogue : T44-3/32-2022E-PDF

Numéro de TP : 15544E

REMERCIEMENTS

Transports Canada a financé ce projet et Sharma & Associates l'a mené.

TC tient à remercier l'Office of Research, Development, and Technology de la FRA du DOT des États-Unis pour son soutien et sa collaboration tout au long du projet, ainsi que le Volpe Center du DOT des États-Unis pour son aide dans l'examen des résultats de recherche.

COMMUNIQUER AVEC

Pour obtenir une copie du rapport, veuillez communiquer avec nous :

Division de la recherche scientifique de la Direction générale du transport des marchandises dangereuses
TC.TDGScientificResearch-RecherchescientifiqueTMD.TC@tc.gc.ca

MOTS-CLÉS

Perforation, modélisation, train-bloc, HAZMAT, marchandises dangereuses, TC128B, A516-70, TC-117J, TC-117R, TC-111, wagon-citerne, liquides inflammables, raccords supérieurs