



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE R15T0173



Dérive, collision et déraillement de matériel roulant en voie non principale

Compagnie des chemins de fer nationaux du
Canada

Rame de wagons et train A42241-29

Point milliaire 0,0, subdivision de Halton

Triage MacMillan

Concord (Ontario)

29 juillet 2015

Bureau de la sécurité des transports du Canada
Place du Centre
200, promenade du Portage, 4^e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741
1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst-tsb.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2017

Rapport d'enquête ferroviaire R15T0173

No de cat. TU3-6/15-0173F-2-PDF
ISBN 978-0-660-48043-5

Le présent rapport se trouve sur le site Web
du Bureau de la sécurité des transports du Canada
à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête ferroviaire R15T0173

Dérive, collision et déraillement de matériel roulant en voie non principale

Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Point milliaire 0,0, subdivision de Halton

Triage MacMillan

Concord (Ontario)

29 juillet 2015

Résumé

Le 29 juillet 2015, vers 13 h 30, heure avancée de l'Est, une rame de 91 wagons de marchandises mixtes s'est dételée des locomotives sur la voie de refoulement est, au triage MacMillan de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada. Cette rame de wagons, avec en tête 24 wagons-citernes chargés de pétrole brut (UN 1267), est partie à la dérive jusque sur la voie R-13, où elle a percuté le train A42241-29 (train 422) de plein fouet à environ 13 mi/h. Même si aucun des wagons de la rame de wagons n'a quitté les rails, les locomotives à la tête du train 422 ont été refoulées de 350 pieds, et 10 wagons de ce train ont déraillé de la voie R-13. Un wagon sur la voie R-11 adjacente a également déraillé. Le matériel roulant déraillé comprenait un wagon-citerne vide (résidus) ayant contenu en dernier lieu de l'acide sulfurique (UN 1830). Un second wagon sur la voie R-11 et 1 wagon sur la voie R-10 ont été endommagés. Un tronçon d'environ 585 pieds de voie a été endommagé. Il n'y a eu aucun déversement de produit ni aucun blessé.

This report is also available in English.

Table des matières

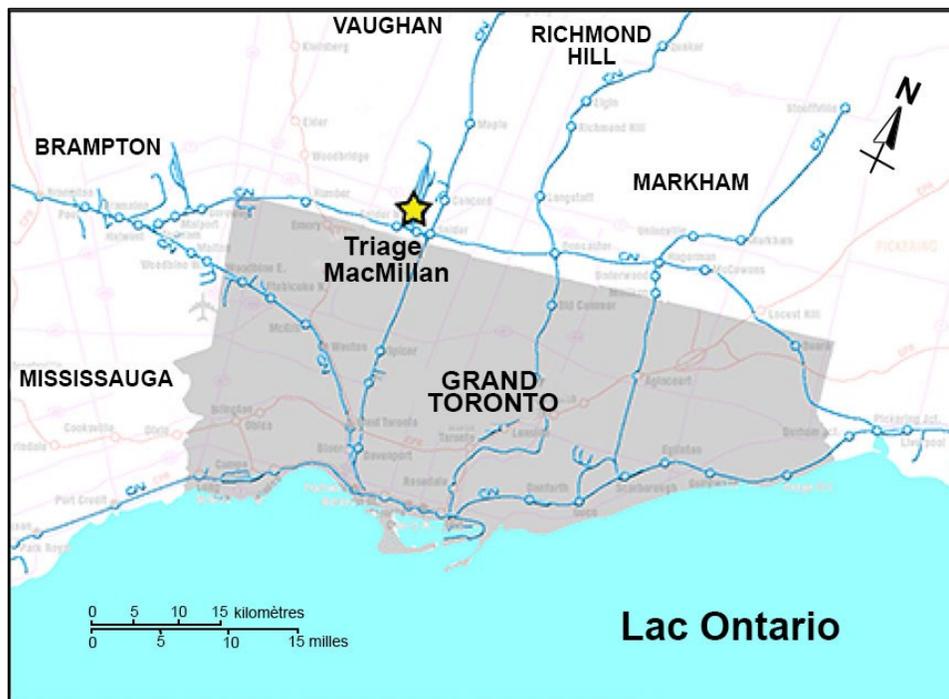
1.0	Renseignements de base.....	1
1.1	L'accident	2
1.2	Examen des lieux.....	3
1.3	Renseignements consignés.....	5
1.4	Triage MacMillan	6
1.5	Opérations de triage à butte	8
1.5.1	Triage MacMillan	9
1.6	Attelage au matériel.....	9
1.7	Renseignements sur la voie.....	10
1.8	Règlement sur le transport des marchandises dangereuses	12
1.8.1	Article 10.7 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses	12
1.8.2	TP 14877, Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer, une norme de Transports Canada	14
1.9	Suivi plus poussé des wagons-citernes en cause dans la collision.....	15
1.10	Inspection par la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada des wagons-citernes soupçonnés d'avoir fait l'objet d'attelages à vitesse excessive....	17
1.10.1	Attelages à vitesse excessive de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada au triage MacMillan – 2015.....	18
1.10.2	Projet pilote de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada sur les attelages à vitesse excessive potentiels – 2016.....	18
1.11	Application par Transports Canada du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses	19
1.12	Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire.....	20
1.13	Système de gestion de la sécurité de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada	21
1.14	Examen vidéo, simulation de la dynamique du train et forces de collision	22
1.14.1	Calculs pour d'autres rames de wagons non contrôlées	23
1.15	Normes et règles relatives aux wagons-citernes.....	23
1.15.1	Normes et règles de l'Association of American Railroads	23
1.15.2	Normes de Transports Canada.....	24
1.16	Examens des wagons-citernes	25
1.16.1	TGOX 155010 (91 ^e wagon).....	26
1.16.2	TILX 255667 (90 ^e wagon)	27
1.16.3	TILX 281395 (89 ^e wagon)	28
1.16.4	Réparations aux wagons-citernes	28
1.17	Technologies de télémétrie émergentes pour wagons de marchandises	29
1.18	Examen du module d'acquisition des données IONX par le laboratoire du BST ..	30
1.19	Renseignements sur l'attelage et la mâchoire d'attelage	31
1.20	Force de tirage et résistance en pente	32
1.21	Examen par le laboratoire du BST de l'appareil de choc et de traction du wagon CN 44257.....	34
1.22	Statistiques du BST sur les événements de mouvements imprévus ou non contrôlés.....	39

1.23	Autres enquêtes du BST sur des attelages à vitesse excessive.....	41
1.24	Liste de surveillance du BST.....	42
1.25	Rapports de laboratoire du BST.....	42
2.0	Analyse.....	44
2.1	L'accident.....	44
2.2	Séparation de train.....	44
2.2.1	Composants d'attelage.....	45
2.2.2	Confirmation visuelle du lève-verrou d'attelage.....	45
2.2.3	Lève-verrou d'attelage.....	46
2.3	Moyens de défense contre les mouvements imprévus ou non contrôlés durant les opérations de triage.....	47
2.3.1	Simulation de la dynamique du train.....	48
2.3.2	Utilisation des freins à air des wagons de marchandises durant les opérations de refoulement.....	48
2.4	Forces de collision.....	49
2.5	Forces de traction en-train durant les opérations de refoulement . Error! Bookmark not defined.	
2.6	Examen des wagons-citernes.....	50
2.7	Article 10.7 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses.....	51
2.7.1	Conformité de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	51
2.7.2	Surveillance réglementaire.....	52
2.7.3	Risques liés à la non-conformité et au manque de mise en application.....	52
2.8	Recours à la télémétrie embarquée.....	53
2.9	Système de gestion de la sécurité.....	54
2.10	Évacuation du personnel.....	55
2.11	Statistiques sur les mouvements imprévus ou non contrôlés.....	55
3.0	Faits établis.....	56
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	56
3.2	Faits établis quant aux risques.....	57
3.3	Autres faits établis.....	57
4.0	Mesures de sécurité.....	59
4.1	Mesures de sécurité prises.....	59
4.1.1	Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	59
4.1.2	Transports Canada.....	60
	Annexes.....	63
	Annexe A - Enquêtes du BST sur des mouvements non contrôlés.....	63

1.0 Renseignements de base

Le 29 juillet 2015, la manœuvre de triage à butte YDHF01 (la manœuvre) de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) effectuait des manœuvres au triage MacMillan, situé à Concord (Ontario), qui fait partie de la région du Grand Toronto (figure 1). Le groupe de traction de butte, situé en tête de la manœuvre, se composait de 2 locomotives séparées par 2 auxiliaires de traction. Ces locomotives s'apprêtaient à tirer 91 wagons (64 wagons chargés et 27 wagons vides) sur la voie de refoulement en préparation au triage à butte. La manœuvre mesurait environ 6100 pieds de long et pesait environ 9000 tonnes, et elle était commandée par un seul chef de train au moyen d'un système de télécommande de locomotives (STL) appelé « système Beltpack¹ ». Le chef de train connaissait bien les opérations de triage, répondait aux normes d'aptitude au travail et de repos, et était qualifié pour ce poste.

Figure 1. Emplacement du triage MacMillan de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (Source : Association des chemins de fer du Canada, Atlas des chemins de fer canadiens, avec annotations du BST)



Le 1^{er} wagon attelé à la locomotive de manœuvre menée (CN 7506), à l'extrémité nord du mouvement, était un wagon plat de 89 pieds de long (CN 44257). À l'extrémité sud de la manœuvre, les wagons de la 68^e à la 91^e position (24 wagons) étaient des wagons-citernes de service général DOT-111² chargés de pétrole brut (UN 1267) destinés à Irving Oil, à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick). Ces wagons-citernes avaient été construits de manière à être

¹ « Beltpack » est un nom de marque déposée par CANAC Inc. et désigne un système de télécommande informatisé qui permet à l'opérateur d'une locomotive de commander à distance les locomotives munies de microprocesseurs.

² Tous ces wagons avaient été construits entre 2012 et 2014.

conformes à la norme CPC-1232 de l'Association of American Railroads (AAR). À l'exception du 74^e wagon-citerne à partir de la tête du train (TILX 281284), les wagons-citernes situés à l'extrémité sud du mouvement étaient dotés d'une enveloppe externe et d'isolant.

Le train A42241-29 (train 422) du CN était un train clé³ qui faisait route vers l'est. Il était arrivé au triage MacMillan depuis Port Robinson (Ontario) par la subdivision de Halton. À son arrivée, il était demeuré sur la voie d'arrivée en attendant d'accéder au faisceau de réception. Le train 422 se composait de 2 locomotives en tête qui tiraient 50 wagons chargés et 131 wagons vides. Il mesurait quelque 11 400 pieds de long et pesait 10 200 tonnes. Les 27 wagons à la tête du train comprenaient 4 wagons chargés et 23 wagons vides. Parmi ces wagons vides, 6 faisaient partie des 8 premiers wagons derrière les locomotives. L'équipe du train 422 était composée d'un mécanicien de locomotive et d'un chef de train. Ils connaissaient bien le territoire, répondaient aux normes d'aptitude au travail et de repos, et étaient qualifiés pour leurs postes respectifs.

1.1 L'accident

Vers 13 h 19⁴, la manœuvre de triage à butte a tenté de s'atteler au 1^{er} wagon (CN 44257) d'une rame de 91 wagons de marchandises mixtes (rame de wagons) sur la voie R-13 du faisceau de réception, mais sans succès. Environ 1 minute plus tard, la manœuvre a réussi à s'atteler à la rame de wagons. Après avoir observé l'attelage depuis sa position au sol, le chef de train a étiré le mouvement et a commencé le tirage de la rame de wagons vers le nord, en direction de la voie d'accès à la voie de refoulement est. Conformément à la pratique courante, les freins à air de la rame de wagons avaient été préalablement purgés; ainsi, seuls les freins de locomotive pouvaient contrôler la manœuvre.

Alors que la manœuvre quittait la voie R-13 à son extrémité nord, le chef de triage a autorisé le train 422 à s'engager sur la voie R-13 à son extrémité sud. Le chef de train est demeuré au sol. En marchant vers le pied de la butte, le chef de train a inspecté au défilé les wagons de la manœuvre. Une fois rendu au pied de la butte, le chef de train a continué d'observer la manœuvre à mesure que les wagons gravissaient la voie d'accès à la voie de refoulement est jusqu'à cette dernière.

Vers 13 h 25, après qu'une soixantaine de wagons avaient défilé, le chef de train a remarqué que le mouvement avait commencé à ralentir de façon imprévue. Au moyen de l'unité du

³ Le terme « train clé » signifie une locomotive attelée à des wagons comprenant, selon le cas :

- a) au moins un wagon-citerne chargé de marchandises dangereuses appartenant à la classe 2.3, Gaz toxiques, et de marchandises dangereuses toxiques par inhalation assujetties à la disposition particulière 23 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*;
- b) au moins 20 wagons-citernes chargés ou citernes mobiles intermodales chargées de marchandises dangereuses, selon la définition de la *Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses*, ou toute combinaison de ces transports comportant au moins 20 wagons-citernes chargés et citernes mobiles intermodales chargées. (Transports Canada, *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*, article 3.4)

⁴ Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est (temps universel coordonné moins 4 heures).

système Beltpack, le chef de train a vérifié l'état de la locomotive et a commandé l'application de sable sur les roues de la locomotive. Le STL n'avait signalé aucun problème. Comme les wagons continuaient de ralentir, le chef de train a de nouveau vérifié l'état au moyen de l'unité Beltpack. Le chef de train a alors communiqué avec le chef de triage pour lui signaler qu'il soupçonnait une rupture d'attelage. À peu près au même moment, les wagons ont roulé sur leur erre jusqu'à ce qu'ils s'immobilisent.

À 13 h 27 min 10 s, la rame de wagons a commencé à dériver à reculons vers la voie R-13, avec en tête les 24 wagons-citernes chargés de pétrole brut.

À 13 h 28 min, le chef de triage a averti les membres de l'équipe du train 422 qu'un mouvement non contrôlé se dirigeait vers eux. L'équipe a fait un arrêt dirigé et serré les freins à air du train 422 avant d'en descendre et de prendre position à l'ouest de la voie R-16. Une caméra vidéo dans le triage du CN a enregistré la séquence d'événements qui a suivi.

À 13 h 31 min 27 s, le chef de triage a averti des employés du service Mécanique qui travaillaient sur les voies R-19 et R-25 qu'une rame de wagons allait percuter le train 422 sur la voie R-13. À l'approche de la rame de wagons, l'équipe du train 422 s'est rapprochée à une vingtaine de pieds de la locomotive de tête.

À 13 h 32 min 29 s, l'extrémité sud de la rame de wagons non contrôlée a percuté de plein fouet le train 422 (figure 2), alors que l'équipe du train 422 s'éloignait rapidement de la voie.

Figure 2. Images séquentielles d'un enregistrement vidéo de la collision et du déraillement au triage de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN). L'équipe du train 422 s'est approchée du train avant de s'en éloigner rapidement juste avant la collision. (Source : CN)



Il n'y a eu ni déversement de produit ni blessé.

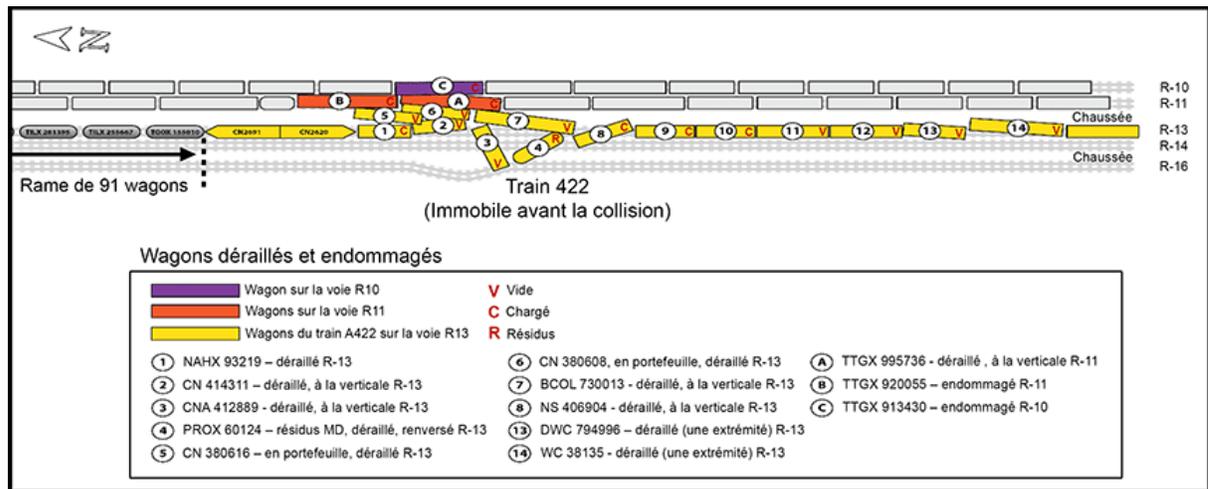
Au moment de l'accident, le ciel était dégagé, la température était d'environ 32 °C, et les vents soufflaient du nord-est à 12 km/h.

1.2 Examen des lieux

La collision est survenue à environ 5900 pieds au sud de l'aiguillage 18. La force de la collision a refoulé d'environ 350 pieds les 2 locomotives à la tête du train 422. Celles-ci ont percuté les wagons de leur mouvement et causé le déraillement des wagons la 1^{re} à la

8^e position, et des 13^e et 14^e wagons derrière les locomotives. Le 3^e wagon (le wagon couvert CNA 412889, vide) a divergé à l'ouest par-dessus la voie R-14 et une chaussée, et a déplacé 60 pieds de la voie R-16. Les 5^e et 6^e wagons (les wagons-trémies couverts CN 380616 et CN 380508, vides) se sont mis en portefeuille à la verticale avant de tomber vers l'est et de heurter 2 wagons porte-automobiles à plusieurs étages chargés (TTGX 920055 [endommagé] et TTXG 995736 [endommagé et déraillé]) qui étaient stationnaires sur la voie R-11 adjacente. Le wagon porte-automobiles à plusieurs étages TTXG 913430, sur la voie R-10, a lui aussi été endommagé. Six wagons de marchandises ont été détruits. Environ 585 pieds (180 mètres) des voies R-13, R-14 et R-16 ont été endommagés (figure 3). Aucun des wagons de la rame de wagons non contrôlée n'a déraillé.

Figure 3. Plan du lieu



Le wagon à la tête de la rame de wagons non contrôlée (c.-à-d. le 91^e wagon à partir de la tête de la manœuvre) était le wagon-citerne TGOX 155010. Après la collision, le personnel du service Mécanique du CN a fait une inspection visuelle de la rame de wagons. Aucune déféctuosité relative à la sécurité n'a été relevée, et aucun wagon-citerne ne fuyait. Par la suite, les wagons de marchandises, y compris les wagons-citernes qui contenaient des marchandises dangereuses (MD), ont été remis en service et transportés à leurs destinations respectives. Aucune autre mesure n'a alors été prise par le CN.

À l'extrémité nord de la manœuvre, la rame de wagons s'était séparée de la locomotive menée (CN 7506). La mâchoire d'attelage de la locomotive menée était demeurée fermée et verrouillée, mais la mâchoire d'attelage contiguë, au bout B du wagon plat CN 44257, s'était ouverte. Les attelages de la locomotive CN 7506 et du wagon plat CN 44257 ont été retirés et envoyés au laboratoire du BST aux fins d'examen plus poussé.

Durant un examen subséquent des voies de refoulement, divers composants brisés et rouillés d'attelages et de mâchoires d'attelage ont été trouvés le long des voies. On n'a pu déterminer depuis quand ces composants gisaient là.

1.3 Renseignements consignés

Une caméra vidéo installée dans le triage MacMillan du CN a enregistré la collision. Le laboratoire du BST a analysé l'enregistrement vidéo et a déterminé que la rame non contrôlée de 91 wagons roulait à environ 13 mi/h lorsqu'elle a percuté le train 422.

Le tableau 1 présente un résumé de la séquence des événements. Cette séquence a été reproduite à partir de l'enregistrement de la caméra vidéo du triage, du consignateur d'événements de locomotive (CEL) et de l'enregistreur vidéo à bord du train 422, des dossiers d'événement du système Beltpack, et de divers enregistrements audio.

Tableau 1. Séquence des événements

Heure	Activité
12 h 7 min	Le train 422 est arrivé au triage MacMillan.
13 h 18 min 52 s	La manœuvre a tenté sans succès de s'atteler à la rame de wagons (CN 44257) sur la voie R-13.
13 h 19 min 52 s	La manœuvre de triage à butte s'est attelée à la rame de wagons (CN 44257) sur la voie R-13.
13 h 20 min 14 s	Le chef de train a étiré l'attelage et commandé 4 mi/h, et la manœuvre a amorcé son mouvement vers le nord sur la voie R-13.
13 h 20 min 22 s	Le chef de triage a autorisé le train 422 à s'engager sur la voie R-13 à son extrémité sud.
13 h 22 min 28 s	La tête de la manœuvre s'est engagée sur la voie de refoulement est à une vitesse de 14,7 mi/h.
13 h 23 min 36 s	Le train 422 a commencé à s'engager sur la voie R-13 à son extrémité sud.
13 h 25 min	Les roues de la manœuvre ont patiné à mesure que celle-ci avançait sur la pente de la voie de refoulement est. Remarque : le consignateur d'événements de l'unité Beltpack a enregistré le patinage, mais l'information ne peut pas être affichée de sorte que l'opérateur STL (le chef de train) n'y a pas eu accès.
13 h 25 min 14 s	Dernière instance de patinage enregistrée de la manœuvre.
13 h 25 min 47 s	Le chef de train a commandé l'application de sable.
13 h 25 min 53 s	La rame de wagons s'est séparée de la manœuvre, qui roulait en direction nord à environ 13 mi/h. La manœuvre de triage à butte a continué de gravir la voie de refoulement est, sa vitesse étant limitée par le système de contrôle informatisé de la voie de refoulement. Au même moment, le chef de train a demandé l'état du mouvement à partir de l'unité Beltpack et a reçu un message selon lequel la locomotive fonctionnait normalement.
13 h 26 min 20 s	Le chef de train a demandé une autre vérification de l'état.
13 h 27 min 10 s	La rame de 91 wagons a ralenti avant de s'immobiliser; la rame s'étendant sur la voie de refoulement est sur environ 4700 pieds au nord de l'aiguillage 18 jusqu'à environ 1400 pieds au sud de celui-ci.
13 h 27 min 15 s	Le chef de triage a utilisé une caméra de triage pour vérifier l'état du mouvement au moment où la rame de wagons amorçait sa dérive.
13 h 28 min	Le chef de triage a informé les membres de l'équipe du train 422 qu'une rame non contrôlée de 91 wagons se dirigeait vers eux. L'équipe du train 422 a reçu l'ordre d'immobiliser son train et d'évacuer l'endroit.
13 h 29 min	Le chef de triage a émis un 2 ^e avertissement.

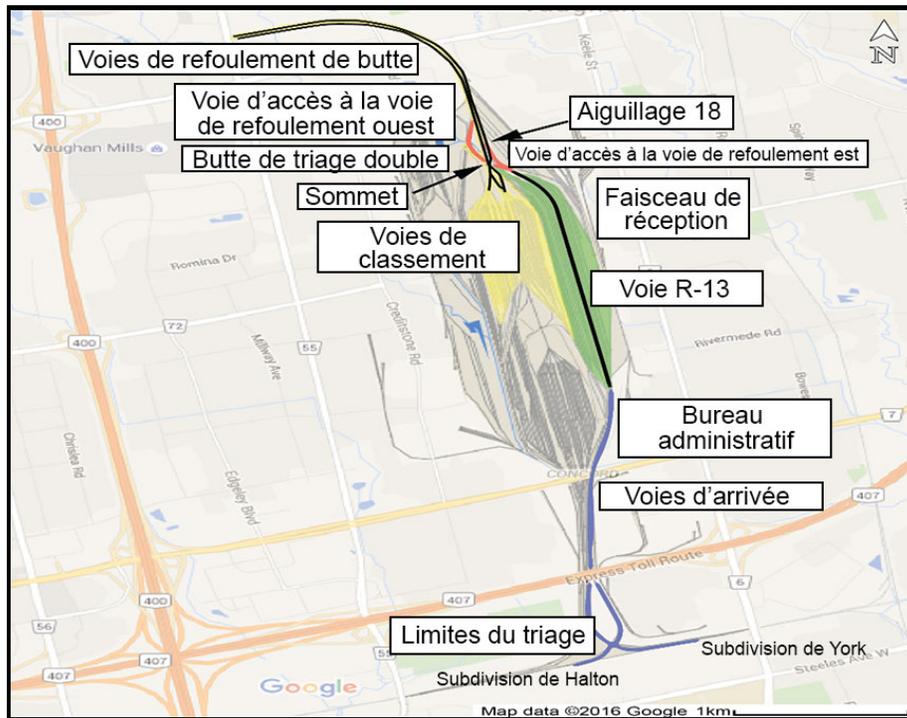
Heure	Activité
13 h 31 min	Il y a eu un 3 ^e appel à l'équipe du train 422 pour l'avertir que la rame de wagons non contrôlée qui se dirigeait vers elle contenait des liquides inflammables.
13 h 31 min 27 s	Les employés du service Mécanique qui travaillaient sur les voies R-19 et R-25 ont reçu l'avertissement qu'une rame de wagons allait percuter le train 422 sur la voie R-13.
13 h 31 min 30 s	L'équipe du train 422 a évacué la locomotive de tête et s'en est éloignée en amont et à l'ouest de la voie R-16.
13 h 32 min 15 s	Alors que les wagons à la dérive s'approchaient du train 422 immobile, l'équipe du train a marché jusqu'à environ 15 à 20 pieds au sud-ouest du point de l'imminente collision.
13 h 32 min 29 s	Le wagon de tête (91 ^e de la rame de wagons derrière la manœuvre) (le wagon-citerne TGOX 155010, chargé) a percuté la locomotive de tête du train 422 (CN 2691). L'équipe du train 422 s'est rapidement éloignée de la voie R-16 vers l'ouest.
13 h 33 min 7 s	L'événement a duré 38 secondes, après quoi tous les wagons se sont immobilisés.

1.4 *Triage MacMillan*

Le triage MacMillan est la principale gare de triage du CN dans l'est du Canada. On y pratique la manœuvre en palier ou « à la butte⁵ » pour répartir les wagons sur diverses voies en vue de leur placement dans différents trains. Ce triage est orienté selon un axe nord-sud (figure 4).

⁵ Le triage à butte consiste à faire gravir une « butte », ou colline par une rame de wagons vers une voie de refoulement, avant de pousser doucement les wagons, les dételer et les libérer lorsqu'ils atteignent le sommet de la butte. Les wagons dételés descendent alors librement sur une pente vers la voie approuvée, leur vitesse et leur direction étant automatiquement contrôlées.

Figure 4. Aménagement du triage MacMillan de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (Source : Google Maps, avec annotations du BST)



Les trains entrants arrivent au triage par la subdivision de York ou la subdivision de Halton, à l'extrémité sud du triage. Les trains s'avancent sur les voies d'arrivée du côté est du triage. Lorsque le triage est congestionné, les trains entrants s'arrêtent sur les voies d'arrivée et attendent que se libère une voie du faisceau de réception, à l'est de la gare de triage principale. Une fois que les wagons sont garés sur un faisceau de réception, on détèle les locomotives, on inspecte les wagons, et on purge le système de freins à air. Les wagons sont ensuite manœuvrés en palier ou à la butte pour être redistribués dans différents trains aux destinations diverses.

Le triage à butte comprend 2 voies de refoulement (est et ouest), une voie d'accès menant à chaque voie de refoulement à partir du faisceau de réception, une butte avec des freins de voie, et des voies de classement. Ni l'une ni l'autre des voies d'accès aux voies de refoulement n'est munie de freins de voie à ressort, qui servent à ralentir les wagons pour contrôler la vitesse durant les opérations de triage à butte, puisque les wagons de marchandises ne sont pas dirigés sur le faisceau de réception. Dans le cas d'un mouvement que l'on tire vers le nord sur les voies de refoulement de butte à partir du faisceau de réception, il n'y a aucun moyen de défense en place contre un mouvement qui part à la dérive à la suite d'une séparation imprévue du train, jusqu'à ce que le mouvement se trouve au nord de l'aiguillage 18 et l'ait dégagé.

Le point le plus élevé de la voie de refoulement est, à l'extrémité nord du triage MacMillan, présente la plus haute élévation de tout le triage (environ 710 pieds au-dessus du niveau de la mer). À partir de cet endroit, la voie descend en direction sud vers l'aiguillage 18 selon une pente maximale d'environ 0,5 %. La voie d'accès et la voie de refoulement est se rejoignent à

l'aiguillage 18. Au sud de l'aiguillage 18, la voie d'accès à la voie de refoulement descend vers le sud sur quelque 800 pieds selon une pente moyenne de 2,5 %. À partir de là, la pente vers le sud s'adoucit.

1.5 Opérations de triage à butte

Au triage MacMillan du CN, il y a triage à butte d'environ 2000 wagons de marchandises par jour; dont 200 environ (10 %) sont des wagons-citernes de MD. Les opérations de triage à butte sont contrôlées par le système de contrôle de triage à butte, qui détermine l'acheminement dans le triage et contrôle la vitesse des wagons lorsqu'ils roulent vers leur voie de classement désignée. Une fois que les wagons ont franchi la butte, leur vitesse est automatiquement contrôlée⁶ à 2 endroits, qui comprennent un frein de voie primaire et un frein de voie secondaire⁷.

Un ordinateur calcule la vitesse des wagons et prédit leur coefficient de roulement en fonction de la vitesse et de la direction du vent, de la température, des précipitations, du type de wagon et de son poids, et de la distance avant attelage (DAA). Après que le wagon a quitté le frein de voie principal, sa vitesse est mesurée par un radar et par des capteurs de roues. La vitesse est rajustée une fois de plus par le frein de voie secondaire. Une fois que le wagon a dégagé le frein de voie secondaire, il est impossible de modifier sa vitesse avant qu'il atteigne le point où il est censé s'atteler à un autre matériel roulant.

On calcule la DAA en surveillant l'écart dans la fréquence d'un courant (circuit) électrique pendant que le wagon roule le long de la voie de classement. En déterminant l'emplacement du wagon et en connaissant la longueur de la voie ainsi que le nombre de wagons qui sont déjà arrêtés sur la voie, il est possible d'estimer la distance qui reste à parcourir et la vitesse d'attelage.

L'analytique prédictive permet de déterminer la vitesse d'un wagon – un ordinateur surveille des mesures qui comprennent le poids du wagon, la vitesse et la direction du vent, la vitesse à des endroits fixes (comme à la sortie des freins de voie), la DAA et le coefficient de roulement. Ce système ne constitue pas une méthode de mesure précise, car diverses conditions peuvent influencer sur l'exactitude de la DAA, entre autres :

- le coefficient de roulement d'un wagon, qui peut changer en fonction de la contamination des rails;
- des variations de la rigidité des bogies dans les branchements;
- le nombre de branchements à traverser;
- la friction des roues, selon le profil des roues et des rails;

⁶ Lorsque les wagons roulent vers le bas de la pente, des capteurs de roues collectent des données, et la force de freinage est calculée en fonction d'un certain nombre de facteurs, y compris le type et le poids du wagon.

⁷ Un frein de voie exerce une pression de freinage sur les roues des wagons au moyen de sections à fonctionnement hydraulique.

- des changements de vitesse et de direction du vent relativement à l'aérodynamique des wagons;
- la présence de plusieurs wagons dans la même zone de mesure; en effet, 2 wagons ou plus en mouvement sur une voie ou dans une zone d'attelage engendrent des zones mortes que la logique d'un calculateur ne peut résoudre.

Il n'existe à l'heure actuelle aucune méthode exacte pour déterminer la vitesse d'attelage réelle durant les opérations de triage à butte.

1.5.1 *Triage MacMillan*

Durant les opérations de déplacement de wagons vers les voies de refoulement, le chef de train ne se trouve pas à bord du mouvement. Le chef de train doit se tenir au sol pour observer le matériel et détecter toute condition qui pourrait nuire aux opérations de triage à butte, comme des pièces traînantes, des roues qui patinent, des portes mal fermées ou du chargement mal arrimé. Si le chef de train détecte une telle condition, il doit avertir le chef de triage et immobiliser le mouvement⁸ au besoin.

On doit assurer la manœuvre sécuritaire des wagons durant les opérations de triage. À cette fin, l'article 5.17 du Manuel des opérations – triage MacMillan aborde la question des séparations de train. D'après ce manuel :

[Traduction]

Les employés doivent faire preuve de prudence lorsqu'ils manœuvrent des trains vers le nord pour passer la butte. Des employés DOIVENT être en position à la butte pour détecter toute séparation de train et informer le coordonnateur du trafic dès qu'ils constatent une telle situation.

Des séparations de train se produisent de temps à autre durant les opérations de refoulement. Au triage MacMillan, s'il se produit une séparation de train avant que les wagons aient dégagé les voies d'accès aux voies de refoulement, les wagons qui se séparent peuvent partir à la dérive vers le sud et réintégrer le triage, selon l'orientation des aiguillages à ce moment-là. Lorsque survient une séparation de train, sa détection est habituellement immédiate, et les wagons sont immobilisés sans incident. Le CN n'a aucune exigence interne sur le signalement des événements de séparation de train imprévue au triage si ces événements n'occasionnent ni collision, ni déraillement, ni quelque autre conséquence.

1.6 *Attelage au matériel*

L'attelage de matériel doit s'effectuer conformément à la règle 113 du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REF) et aux articles 3.5, 8 et 12.10 des *Instructions générales d'exploitation* (IGE) du CN. Voici quelques-unes de ces exigences :

⁸ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, MacMillan Yard Operation Manual, p. 62

- Les attelages réalisés à l'aide du STL doivent être effectués à une vitesse qui ne dépasse pas 1 mi/h⁹.
- Il faut étirer les attelages pour s'assurer que le matériel est bien attelé¹⁰.
- Si l'on effectue l'attelage sur des voies autres qu'en alignement droit, on doit d'abord immobiliser les wagons à une distance d'au moins 6 pieds et d'au plus 12 pieds les uns des autres pour s'assurer que les attelages sont bien alignés¹¹.

Au CN, le personnel d'exploitation reçoit l'instruction de surveiller le bon alignement des articulations du lève-verrou d'attelage à manœuvre par le bas lorsqu'il vérifie un attelage pour s'assurer que le verrou s'est bien logé pour tenir la mâchoire d'attelage (voir les figures à la section 4.1.1).

Les chefs de train du CN font régulièrement l'objet d'un contrôle d'efficacité sur les attelages¹² aux fins de conformité. Au cours des 12 mois qui ont précédé l'événement à l'étude, le chef de train avait fait l'objet, à 53 reprises, de tels contrôles couvrant 89 règles, et avait à son actif 6 non-conformités. Huit des 53 contrôles portaient sur l'attelage au matériel roulant, pour lesquels le chef de train avait une note parfaite de 100 %.

1.7 Renseignements sur la voie

Les opérations au triage MacMillan sont assujetties à la règle 105 du REF. Les mouvements de trains peuvent circuler à une vitesse maximale de 15 mi/h, et ils doivent pouvoir s'arrêter en deçà de la moitié de la distance de visibilité.

La voie R-13 fait partie du faisceau de réception, à l'est de la voie de classement. Cette voie, principalement en alignement droit, suit une orientation nord-sud. La voie se compose de rails éclissés à champignon chanfreiné de 130 livres. Ces rails étaient posés sur des selles à simple épaulement fixées à des traverses en bois dur numéro 1, et des anticheminants encadraient chaque 3^e traverse. Le ballast était composé de pierre concassée, et les cases étaient garnies. La voie était en bon état.

En général, les triages ont un profil concave pour empêcher les wagons de marchandises de dériver sur la voie principale durant les manœuvres ou les opérations de triage à butte. Le triage MacMillan comprend une pente descendante depuis les extrémités nord et sud des voies vers le centre du triage, ce qui lui donne un profil concave.

⁹ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, Instructions générales d'exploitation, section 8, Méthodes de travail sécuritaires, article 12.10 – Attelage et dételage du matériel roulant, p. 42–43.

¹⁰ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, règle 113, 15 février 2013.

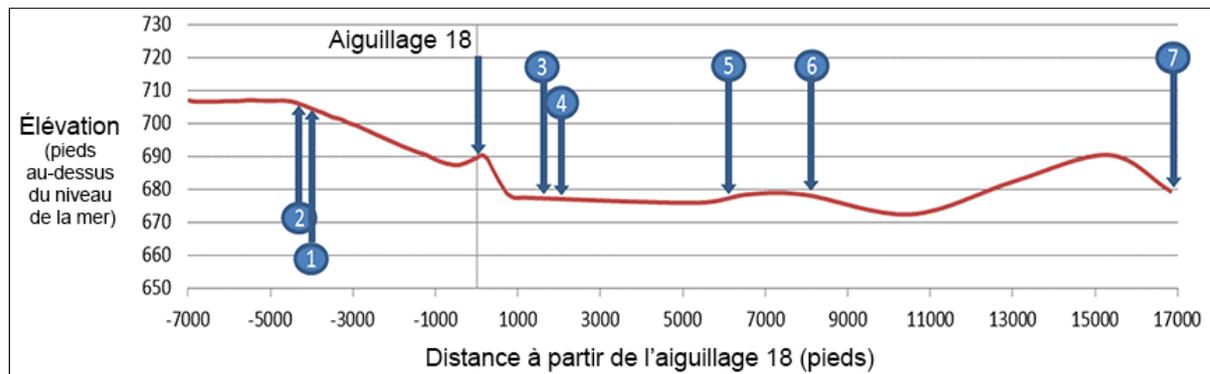
¹¹ *Ibid.*, règle 113 (f).

¹² Test 2.1, *Transport Canada E-Test 3rd Edition*, 15 novembre 2013, p. 23. Il s'agit d'un essai dynamique pour s'assurer que l'attelage au matériel roulant se fait conformément à la règle 113 du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, à l'article 3.5 des Instructions générales d'exploitation (IGE), et à l'article 12.10, 1. Atteler le matériel roulant, de la section 8 des IGE.

On a examiné un levé de la voie de refoulement est, de la voie d'accès à la voie de refoulement est, de la voie R-13 et de la voie d'arrivée et de départ du triage. À partir de l'aiguillage 18 comme point de référence, on a mesuré divers points critiques relativement à l'accident. Le profil de voie qui en est ressorti (figure 5) illustre les élévations du triage, les distances et les points critiques le long du parcours de la rame de wagons non contrôlée dans le triage. Les points critiques qui coïncident avec des événements ou des endroits précis comprennent :

1. Le wagon de marchandises CN 44257 et les 90 wagons suivants se sont séparés de la manœuvre.
2. L'extrémité nord de la rame de 91 wagons s'est immobilisée avant de se mettre à dériver à reculons dans la pente descendante.
3. L'extrémité sud de la rame de 91 wagons s'est immobilisée à environ 4500 pieds au nord du train 422.
4. Limite nord de la voie R-13.
5. Point de collision avec le train 422, à environ 5900 pieds au sud de l'aiguillage 18.
6. Jonction de la voie R-13 et de la voie d'arrivée York 3.
7. Jonction de la voie d'arrivée York 3 et de la voie principale de la subdivision de York.

Figure 5. Profil de la voie le long du parcours de la rame de wagons non contrôlée avec divers points critiques indiqués (pas à l'échelle)



1.8 Règlement sur le transport des marchandises dangereuses

En 1997, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a réalisé des essais¹³ pour déterminer la vitesse maximale à laquelle on pouvait atteler des wagons-citernes de MD sans dépasser 1 000 000 de livres-force, ce qui correspond à la spécification de force longitudinale minimale fixée par l'AAR pour les wagons-citernes¹⁴.

En 2002, les résultats des essais du CNRC ont été incorporés dans l'article 10.7 – Attelage des véhicules ferroviaires du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (Règlement sur le TMD) de Transports Canada (TC). L'article 10.7 vise les wagons qui transportent des matières réglementées¹⁵. Les vitesses spécifiées dans cet article sont fondées sur des vitesses d'attelage réelles.

1.8.1 Article 10.7 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses

L'article 10.7 du Règlement sur le TMD stipule, en partie, ce qui suit :

- (1) Il est interdit d'atteler un véhicule ferroviaire à un autre véhicule ferroviaire à une vitesse d'attelage relative supérieure à 9,6 km/h (6 mi/h) si l'un ou l'autre des véhicules ferroviaires subissant l'impact au cours de l'attelage contient des marchandises dangereuses pour lesquelles des plaques doivent être apposées conformément à la partie 4, Indications de danger – marchandises dangereuses.
- (2) Malgré le paragraphe (1), il est permis d'atteler un seul véhicule ferroviaire en mouvement sur sa lancée à une vitesse d'attelage relative inférieure ou égale à 12 km/h (7,5 mi/h), lorsque la température ambiante est supérieure à -25 °C.
- (3) Si une personne attelle un wagon-citerne qui contient des marchandises dangereuses pour lesquelles une plaque doit être apposée conformément à la partie 4, Indications de danger – marchandises dangereuses, à un autre véhicule ferroviaire et que les trois circonstances mentionnées dans l'un

¹³ R. Dong et D. Militaru, « Dynamic Structural Characterization of Stub Sill Tank Cars Utilizing ADAMS and ANSYS Simulation Models, rapport 1 : *The ADAMS System Dynamic Model - Its Validation and Application to the Characterization of Impact Forces*, Centre de technologie des transports de surface (CTTS), CNRC, CSTT-RYV-TR-010, mars 1997; rapport 2 : *ANSYS Finite Element Modelling - Its Validation and Application to the Characterization of Impact Forces*, CSTT-RYV-TR-010, mars 1997; *Tank Car Derailment Analysis*, CSTT-RYV-CTR-25, mars 1997; et J.Z. Zu et R. Dong, « Multi Tank Car Impact Tests and Analysis », rapport 3 : *ADAMS Model Simulations of Tank Car Impact*, CSTT-RVC-TR-033 TP 13359E, octobre 1998.

¹⁴ Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices*, Specifications for Tank Cars, article 6.2.3.1, Washington, D.C., janvier 1996.

¹⁵ Les wagons qui transportent des marchandises dangereuses, mais qui sont vides ou qui contiennent des quantités résiduelles de marchandises dangereuses pourraient être en cause dans un événement d'attelage à vitesse élevée. Toutefois, ils ne sont pas assujettis à l'article 10.7 du *Règlement sur le transport de marchandises dangereuses* et ne sont pas tenus de subir une inspection structurale avant d'être garés et chargés de marchandises dangereuses.

des quatre articles du tableau du présent paragraphe sont présentes, la personne doit :

- a) effectuer une inspection visuelle du châssis inférieur et des éléments du dispositif de traction et du mécanisme amortisseur pour s'assurer de leur intégrité avant de déplacer le wagon-citerne sur une distance supérieure à 2 km de l'endroit où l'attelage a eu lieu;
- b) faire rapport par écrit au propriétaire du wagon-citerne dans les 10 jours suivant l'attelage du wagon-citerne, lequel rapport contient une copie du présent article et des renseignements relatifs à tout dommage compromettant l'intégrité du châssis inférieur ou du mécanisme amortisseur de choc du wagon-citerne découvert par suite de l'inspection.

Article	Colonne 1 Masse totale lors de l'attelage : wagon-citerne et autre véhicule ferroviaire, y compris leur contenu, en kilogrammes	Colonne 2 Température ambiante en degrés Celsius	Colonne 3 Vitesse relative d'attelage en kilomètres à l'heure
1.	> 150 000	≤ -25	> 9,6
2.	> 150 000	> -25	> 12
3.	≤ 150 000	≤ -25	> 12,9
4.	≤ 150 000	> -25	> 15,3

- (4) Le propriétaire d'un wagon-citerne qui reçoit le rapport ne peut utiliser le wagon-citerne, ou en permettre l'utilisation, pour le transport de marchandises dangereuses autres que celles qui se trouvaient dans le wagon-citerne au moment de l'attelage, jusqu'à ce que le wagon-citerne ait subi :
- a) d'une part, une inspection visuelle et une inspection portant sur l'intégrité structurale conformément au sous-alinéa 9.5.6(a) et à l'alinéa 9.5.7 de la norme TP14877;
 - b) d'autre part, si le wagon est pourvu d'une longrine centrale courte, une inspection, à tout le moins, des parties suivantes de cette longrine :
 - (i) l'extrémité de la plaque de renfort de la longrine centrale courte qui se trouve la plus près du milieu de la citerne et les soudures associées et, à partir de ce point, sur une longueur de 30 cm en direction de l'autre extrémité de la plaque de renfort,
 - (ii) toutes les soudures :
 - (A) reliant la cale de bout de citerne à la longrine,
 - (B) reliant la cale de bout de citerne à la plaque de renfort de bout de citerne,
 - (C) entre la citerne et la plaque de renfort de bout de citerne et, si celle-ci est rattachée à la plaque de renfort de la longrine, sur

- une longueur de 2,5 cm au-delà du point de rattachement vers le milieu de la citerne,
 - (iii) tout le métal de l'ensemble de la longrine centrale courte, sauf les soudures, à partir de la traverse pivot jusqu'à l'attelage,
 - (iv) le logement de l'appareil de choc et de traction.
- (5) Le présent article ne s'applique pas si le wagon-citerne ou l'autre véhicule ferroviaire qui a été attelé est équipé d'un dispositif amortisseur permettant un déplacement en compression de 15 cm ou plus et est en mesure de limiter la contrainte maximale sur l'attelage à 453 600 kg lorsqu'il est heurté par un véhicule ferroviaire d'une masse brute de 99 792 kg à une vitesse de 16,1 km/h (10 mph)¹⁶.

Le règlement n'exige pas des compagnies de chemin de fer qu'elles mesurent les vitesses d'attelage ou qu'elles documentent les cas soupçonnés d'attelage à vitesse excessive. Le règlement exige une inspection visuelle si l'on soupçonne l'attelage à vitesse excessive d'un wagon-citerne de marchandises dangereuses. Toutefois, dans le cas de wagons-citernes dotés d'une enveloppe externe, une inspection visuelle rigoureuse de la longrine tronquée et de l'ensemble du châssis est impossible sans le retrait partiel de l'enveloppe.

1.8.2 TP 14877, Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer, une norme de Transports Canada

TP 14877, *Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer, une norme de Transports Canada*, est incorporée au Règlement sur le TMD par référence. L'alinéa 9.5.6 de TP 14877 précise ce qui suit :

9.5.6 Inspection visuelle

À tout le moins, l'inspection visuelle effectuée aux termes de la présente section doit comprendre les éléments suivants afin de détecter les défauts ou les autres situations qui peuvent compromettre la fiabilité du wagon-citerne :

- a. sous réserve du sous-alinéa 9.5.6 i., les surfaces intérieure et extérieure de la citerne du wagon-citerne, sauf dans les endroits où un système calorifuge, un système de sécurité, une doublure ou un revêtement interne empêchent de faire l'inspection;

L'alinéa 9.5.7 de TP 14877 précise ce qui suit :

9.5.7 Inspection de l'intégrité structurale

- 9.5.7.1 L'inspection de l'intégrité structurale doit se faire à l'aide d'au moins une des méthodes d'évaluation non destructives données au tableau T2 de la publication de l'AAR intitulée *Specifications for Tank Cars*.

¹⁶ Transports Canada, *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, DORS/2008-34, partie 10, article 10.7.

- 9.5.7.2 À tout le moins, l'inspection de l'intégrité structurale doit comprendre tous les endroits susceptibles d'être endommagés qui pourraient compromettre la fiabilité de la citerne, des manchons, des soudures et des accessoires soudés de wagons-citernes, y compris :
- a. toutes les soudures d'angle transversales d'une dimension nominale supérieure à 6 mm (1/4 po) situées à moins de 122 cm (4 pi) de l'axe longitudinal du fond, à l'exception des soudures de la plaque de la traverse de pivot;
 - b. l'extrémité des soudures d'angle longitudinales d'une dimension nominale supérieure à 6 mm (1/4 po) situées à moins de 122 cm (4 pi) de l'axe longitudinal du fond sur la chemise extérieure; et
 - c. les soudures bout à bout de la coque situées à moins de 60 cm (2 pi) de l'axe longitudinal du fond, à moins que le propriétaire du wagon-citerne puisse déterminer au moyen d'une analyse, comme une analyse de tolérance aux avaries ou une analyse des contraintes par éléments finis, que le wagon-citerne ne sera pas affecté par des défauts ou d'autres états qui peuvent en compromettre la fiabilité; l'analyse en question doit donner une détermination de l'emplacement et des modes probables des dommages au wagon-citerne attribuables à la fatigue, à la corrosion ou aux accidents; autrement, on peut avoir recours à l'évaluation de la fiabilité du service, pourvu qu'elle soit appuyée par une analyse de données recueillies systématiquement.
- 9.5.7.3 Dans le cas d'un wagon-citerne de spécification 115, le sous-alinéa 9.5.7.2 vise seulement les soudures d'angle de la chemise extérieure et les soudures bout à bout non renforcées à découvert de la chemise extérieure.
- 9.5.7.4 Dans le cas des wagons-citernes dotés d'une doublure, les exigences d'inspection de la division 9.5.7.2 c. ne visent pas une soudure bout à bout de la coque recouverte à l'extérieur par une plaque de renfort ou tout autre élément de structure soudé à la coque tant que la doublure n'a pas été posée ou déposée.
- 9.5.7.5 Dans le cas d'un wagon-citerne dont l'intérieur a été rapiécé, les exigences relatives à l'inspection de l'intégrité structurale de la présente section ne visent pas les soudures bout à bout de la coque d'une citerne recouvertes à l'intérieur d'une pièce rapportée et à l'extérieur d'une plaque de renfort ou de tout autre élément de structure soudé à la coque de la citerne.

1.9 *Suivi plus poussé des wagons-citernes en cause dans la collision*

Peu après l'événement, le CN a fait une inspection visuelle des wagons-citernes en cause dans la collision sur les lieux de l'événement. Comme on n'a relevé ni défectuosité relative à la sécurité ni wagon-citerne qui fuyait, les wagons-citernes ont été remis en service et ont pu transporter leur produit jusqu'à leurs destinations respectives. Environ une semaine plus tard, le 4 août 2015, on a informé le CN que la rame non contrôlée de 91 wagons roulait à

environ 13 mi/h au moment de la collision. Étant donné la vitesse et l'ampleur de la collision, certains des wagons-citernes dotés d'une enveloppe externe qui se trouvaient à l'extrémité sud de la rame de wagons ont été tenus de subir une inspection plus poussée.

Ces wagons-citernes avaient déjà été transportés à leur destination. Après que les wagons-citernes qui contenaient du pétrole brut ont été déchargés par Irving Oil, le BST a demandé que les 10 premiers wagons-citernes qui se trouvaient à l'extrémité sud du mouvement (du 82^e au 91^e inclusivement) soient envoyés à Moncton (Nouveau-Brunswick) et qu'ils y soient retenus jusqu'à nouvel ordre.

Le 91^e wagon (TGOX 155010), qui a percuté la locomotive de tête du train 422, le 90^e wagon (TILX 255667) et le 89^e wagon (TILX 281395) ont été retenus pour des inspections d'intégrité et de la longrine tronquée plus détaillées. Même s'il n'était pas prévu que le mouvement non contrôlé s'attelle au train 422, on a déterminé qu'en raison de la vitesse de la collision avec des wagons-citernes chargés de MD, des inspections auraient lieu conformément aux critères d'inspection établis à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Les 3 wagons-citernes en question ont été transportés aux installations d'ARI Fleet Services of Canada, à Sarnia (Ontario) pour inspection, tandis que les 7 autres wagons-citernes sont demeurés à Moncton en attendant les résultats des inspections.

Le 21 août 2015, le CN a informé les propriétaires des 3 wagons-citernes (du 91^e au 89^e) qu'il s'était probablement produit un attelage à vitesse excessive de ces wagons.

Le 5 octobre 2015, des enquêteurs du BST ont visuellement inspecté les 7 wagons-citernes qui étaient demeurés à Moncton. Ces wagons-citernes occupaient de la 4^e à la 10^e position à partir du point d'impact entre la rame de wagons et le train 422. Tous ces wagons étaient relativement neufs, ayant été construits entre 2012 et 2014. L'examen de suivi visait principalement à détecter tout signe d'attelage à vitesse excessive, entre autres :

- contact entre les saillies d'arrêt et les pylônes de choc à chaque extrémité;
- attelages passés;
- longrines tronquées tordues ou déformées;
- dommages aux butées avant et arrière de l'appareil de traction;
- appareils de traction, attelages, sabots et pièces connexes brisés ou endommagés;
- travaux de réparation antérieurs à ces mêmes endroits.

Aucun des 7 wagons-citernes ne présentait de signe visible de manutention brusque ou d'attelage à vitesse excessive. En outre, rien n'indiquait que sur l'un ou l'autre de ces 7 wagons, il y a eu impact entre les saillies d'arrêt de l'attelage et les pylônes de choc correspondants.

1.10 *Inspection par la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada des wagons-citernes soupçonnés d'avoir fait l'objet d'attelages à vitesse excessive*

Le 15 août 2002, le CN avait émis les instructions suivantes :

- Le superviseur de triage à butte doit informer le responsable du transport en service de tout attelage à vitesse excessive¹⁷ d'un wagon-citerne de MD à la suite de manœuvres de triage à butte ou en palier.
- Le responsable du transport doit alors signaler l'incident au service Mécanique, qui doit faire une inspection de suivi et produire un rapport.

Avant février 2015, il n'y avait aucune trace écrite d'un processus officiel au triage MacMillan pour documenter les cas d'attelage à vitesse excessive de wagons-citernes de MD.

En février 2015, le CN a mis en place un nouveau protocole pour l'inspection et la documentation de cas soupçonnés d'attelage à vitesse excessive survenus au cours d'opérations de triage à butte au triage MacMillan. Lorsqu'il y a attelage à vitesse excessive d'un wagon-citerne de MD au cours d'opérations de triage à butte, on doit mettre en œuvre le protocole suivant :

- Le service Mécanique du CN reçoit un courriel d'avis automatisé.
- Pour la plupart des catégories de courriel d'avis, les 2 wagons en cause dans l'attelage à vitesse excessive sont automatiquement désignés comme étant avariés dans le système du service Mécanique du CN.
- Un employé du service Mécanique du CN doit inspecter les wagons des trains sortants.
- Par la suite, les wagons-citernes sont soit codés pour que leur état avarié soit maintenu, soit remis en service après une inspection visuelle.

Pour les manœuvres de triage en palier, il n'y a aucun protocole semblable d'inspection des wagons-citernes soupçonnés d'avoir fait l'objet d'un attelage à vitesse excessive. En outre, le CN n'analyse pas les données téléchargées des consignateurs d'événements de locomotive pour examiner les pratiques de manœuvre, sauf si un événement d'attelage à vitesse excessive soupçonné entraîne un déraillement ou une collision.

¹⁷ Durant les opérations de triage à butte, on estime la vitesse d'attelage des wagons à partir des valeurs de vitesse que prédit le système.

1.10.1 *Attelages à vitesse excessive de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada au triage MacMillan – 2015*

Selon les données provenant du système d'alerte « Special Car Handling Hazardous Commodity » (SCH-HC)¹⁸ du CN, de février 2015 à décembre 2015 :

- Il y a eu 279 attelages à vitesse excessive de wagons-citernes de MD dont la vitesse d'attelage estimée était d'au moins 12 km/h (7,5 mi/h);
- ces 279 cas d'attelage à vitesse excessive touchaient en tout 448 wagons-citernes de MD¹⁹ pour lesquels il a été déterminé s'il s'agissait d'un marteau ou d'une enclume²⁰. Dans environ 3 % des cas (13 des 448 événements), le propriétaire du wagon-citerne a été informé de l'événement d'attelage à vitesse excessive, et la longrine tronquée du wagon-citerne a été inspectée.

1.10.2 *Projet pilote de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada sur les attelages à vitesse excessive potentiels – 2016*

En 2016, le CN a mis en œuvre un projet pilote pour déterminer s'il était possible d'enregistrer avec exactitude les vitesses d'attelage dans les triages à butte. À partir des vitesses d'attelage estimées par le système de triage à butte calculées d'après la distance avant attelage (DAA), le CN a détecté 100 wagons-citernes de MD dont la vitesse d'attelage avait possiblement été supérieure à (>) 8 mi/h.

Ces wagons ont été inspectés par le personnel du service Mécanique du CN, puis transportés à un atelier pour wagons-citernes où ils ont subi une inspection détaillée, conformément à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Un petit nombre de ces wagons présentait des défauts externes mineurs principalement liées aux composants de leurs attelages. Toutefois, de ces 100 wagons, aucun ne présentait quelque dommage que ce soit à la longrine tronquée, à la cale de bout de citerne ou à la coque que l'on pouvait associer à un attelage à vitesse excessive.

Au début de 2017, le CN a discuté des résultats de son projet pilote avec la Direction générale du transport des marchandises dangereuses (TMD) de TC. Le CN a indiqué que même si l'article 10.7 du Règlement sur le TMD exige la prise de mesures pour enrayer les attelages à vitesse excessive, il n'existe aucune façon d'enregistrer avec exactitude les vitesses d'attelage.

¹⁸ Le système d'alerte « Special Car Handling Hazardous Commodity » (SCH-HC) signale automatiquement les attelages à vitesse excessive de wagons-citernes de marchandises dangereuses lorsque la vitesse d'attelage estimée est d'au moins 12 km/h (7,5 mi/h). Le service Mécanique de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada inspecte ensuite ces wagons pour déterminer si des mesures correctives sont nécessaires.

¹⁹ Les 448 wagons-citernes de marchandises dangereuses (MD) signalés représentent 0,7 % du nombre total de wagons-citernes de MD passés à la butte (66 800) au triage MacMillan au cours de cette même période de 11 mois, étant donné que l'on fait passer à la butte environ 200 wagons-citernes de MD par jour.

²⁰ Un wagon qui est passé à la butte vers un wagon stationnaire sur une voie de classement est le « marteau », et le wagon stationnaire est l'« enclume ».

À ce jour, la Direction générale du TMD n'a émis ni dérogation ni exemption pour dispenser le CN de son devoir de se conformer à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.

1.11 Application par Transports Canada du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses

L'article 10.7 du Règlement sur le TMD se fonde sur des vitesses d'attelage réelles. Pour TC, les vitesses calculées par les systèmes DAA qu'emploient les compagnies de chemin de fer ne sont pas des lectures de vitesses réelles et exécutoires. Les compagnies de chemin de fer ne disposent d'aucun système pouvant calculer la vitesse d'attelage réelle durant les opérations de triage à butte.

La Direction générale du TMD n'avait ordonné aucune inspection ni émis quelque avis, ordonnance ou exemption au CN concernant les attelages à vitesse excessive ou la conformité à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD durant les opérations de triage à butte et de manœuvre au triage MacMillan.

En 2003, le BST a enquêté sur une collision à vitesse excessive au triage MacMillan (rapport d'enquête ferroviaire R03T0047 du BST). Cette enquête avait permis de déterminer que :

- les inspecteurs TMD de TC n'avaient pas reçu d'instructions sur la façon de déterminer la mesure dans laquelle les compagnies de chemin de fer se conformaient à la réglementation sur la vitesse d'attelage;
- les inspecteurs TMD de TC étaient incertains des mesures raisonnables et pratiques que pouvait prendre la compagnie de chemin de fer pour assurer la conformité à la réglementation sur la vitesse d'attelage, mais ils étaient satisfaits du fait qu'il y avait un certain degré de conformité;
- les inspecteurs TMD de TC supposaient que les chemins de fer assuraient un suivi approprié en cas d'attelage à vitesse excessive. Or, les compagnies de chemin de fer n'avaient fait l'objet d'aucune vérification pour déterminer si le suivi requis avait bel et bien eu lieu.

Pour des raisons de sécurité, la Direction générale du TMD a indiqué que les pistolets radar ne devraient pas être utilisés pour surveiller les activités à la gare de triage. On avait toutefois reconnu que dans sa forme actuelle, qui s'appuie sur les mesures de vitesses réelles, sans qu'il y ait obligation pour les compagnies de chemins de fer de mesurer les vitesses d'attelage, l'article 10.7 du Règlement sur le TMD n'était pas mis en application à l'échelle du secteur et qu'il était difficile d'en assurer la mise en application.

En outre, on a reconnu que les dispositions d'aptitude à circuler de l'article 10.7 étaient moins efficaces relativement aux wagons-citernes munis d'une enveloppe externe, car on doit retirer cette enveloppe pour inspecter visuellement les parties essentielles à la sécurité d'un wagon à longrine tronquée. Par conséquent, la conformité à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD n'était ni toujours ni rigoureusement vérifiée.

1.12 Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire

Le 1^{er} avril 2015, le *Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* (Règlement sur le SGS de 2015) est entré en vigueur et a remplacé le Règlement sur le SGS de 2001. Le Règlement sur le SGS de 2015 a été pris en réponse aux recommandations de l'*Examen de la Loi sur la sécurité ferroviaire de 2007* et d'une étude de 2008 sur la sécurité ferroviaire menée par le Comité permanent des transports, de l'infrastructure et des collectivités (CPTIC) qui visaient à améliorer l'efficacité des systèmes de gestion de la sécurité (SGS) ferroviaires.

En vertu de ce règlement, les compagnies de chemin de fer de compétence fédérale doivent élaborer et mettre en œuvre un SGS, établir un répertoire de tous les processus requis, tenir des registres, aviser le ministre de tout changement proposé à leurs activités, et déposer auprès du ministre la documentation sur le SGS, à la demande de celui-ci.

L'article 5 du Règlement sur le SGS stipule ce qui suit :

La compagnie de chemin de fer élabore et met en œuvre un système de gestion de la sécurité qui comprend :

- a) un processus visant la responsabilité et l'obligation de rendre compte;
- b) un processus à l'égard de la politique de sécurité;
- c) un processus pour veiller au respect des règlements, des règles et des autres instruments;
- d) un processus pour gérer les accidents ferroviaires;
- e) un processus pour cerner les préoccupations en matière de sécurité;
- f) un processus visant les évaluations des risques;
- g) un processus pour mettre en œuvre et évaluer les mesures correctives;
- h) un processus pour établir les objectifs et élaborer des initiatives;
- i) un processus pour signaler les infractions et les dangers pour la sécurité;
- j) un processus pour gérer la connaissance;
- k) un processus à l'égard de l'établissement des horaires;
- l) un processus visant l'amélioration continue du système de gestion de la sécurité.

L'item (e) du Règlement sur le SGS précise ce qui suit :

Processus pour cerner les préoccupations en matière de sécurité

Analyses

13. La compagnie de chemin de fer effectue, de façon continue, des analyses de son exploitation ferroviaire pour cerner les préoccupations en matière de sécurité, y compris toute tendance actuelle, nouvelle tendance ou

situation répétitive. Les analyses reposent, à tout le moins, sur les éléments suivants :

- a) tout signalement d'accidents ferroviaires;
- b) tout document interne relatif aux accidents ferroviaires;
- c) tout signalement de blessures;
- d) les résultats de toute inspection effectuée par la compagnie de chemin de fer ou un inspecteur de la sécurité ferroviaire;
- e) tout signalement, fait par les employés de la compagnie de chemin de fer et reçu par elle, des infractions ou des dangers pour la sécurité;
- f) toute plainte relative à la sécurité qui est reçue par la compagnie de chemin de fer;
- g) toute donnée provenant de technologies de surveillance de la sécurité;
- h) les conclusions du rapport annuel visé au paragraphe 29(3);
- i) les constatations figurant dans tout rapport d'audit.

1.13 Système de gestion de la sécurité de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Conformément au Règlement sur le SGS, le CN avait élaboré et mis en œuvre un SGS détaillé. Depuis 2008, le CN apporte chaque année des améliorations à son SGS, et a intégré celui-ci à la plupart de ses activités. Le SGS décrivait des initiatives d'entreprise satisfaisant aux exigences du Règlement sur le SGS.

Le CN avait mis en œuvre les systèmes nécessaires pour :

- déterminer les enjeux et préoccupations en matière de sécurité, y compris ceux qui sont associés aux facteurs humains, aux tiers et aux modifications d'importance apportées aux activités ferroviaires;
- évaluer et classer les risques au moyen d'une évaluation des risques;
- définir et mettre sur pied des stratégies de contrôle du risque.

Les mesures concrètes à prendre à l'égard du SGS comprenaient les suivantes :

- Le signalement des enjeux et des préoccupations en matière de sécurité à la direction du CN par l'intermédiaire de formulaires de signalement de dangers, de comités de santé et sécurité, de l'Ombudsman du CN, de la ligne PREVENT du CN (en collaboration avec la Saint Mary's University à Halifax, en Nouvelle-Écosse), ainsi que de vérifications et d'analyses de tendances.
- L'utilisation du processus formel d'évaluation des risques du CN pour évaluer et classer les risques, y compris les risques liés aux modifications d'importance apportées à l'exploitation ferroviaire comme l'ouverture de nouvelles gares de triage et installations, l'acquisition d'autres chemins de fer, la mise en œuvre de nouvelles technologies, les modifications d'importance apportées aux activités (volumes ou produits), et les changements d'équipement de protection individuel.

- La réalisation d'évaluations des risques dans des corridors spéciaux pour évaluer et réduire les risques aux endroits densément peuplés, près des cours d'eau, et à d'autres endroits présentant certaines caractéristiques environnementales ou topographiques.
- La distribution de formation aux employés effectuant des évaluations des risques.

Conformément à ses processus, le CN doit analyser toute séparation de train imprévue qui survient en voie principale. Dans ces cas, le CN doit déterminer la cause probable de l'événement et documenter ce dernier. Par contre, au CN, il n'y a aucune exigence interne d'analyse d'une séparation de train imprévue qui survient dans un triage. Le CN ne documente ces cas que s'ils entraînent un événement plus grave comme une collision, un déraillement ou une blessure à un ou à des employés.

1.14 *Examen vidéo, simulation de la dynamique du train et forces de collision*

À partir des renseignements du levé du triage MacMillan, des données enregistrées de l'unité Beltpack et des renseignements des bulletins de composition, on a effectué une analyse vidéo, une simulation de la dynamique du train et des calculs théoriques pour évaluer les vitesses, les distances, et les forces de collision et de déraillement.

On a déterminé ce qui suit :

- À 13 h 20 min 5 s, la manœuvre tirait vers le nord, a accéléré et a continué à des vitesses variant de 13,4 mi/h à 15,6 mi/h sur la pente ascendante.
- À 13 h 25 min 53 s, la vitesse a diminué à 10,2 mi/h, avec une soudaine décélération de 1,067 mi/h/s, ce qui indique que la rame de 91 wagons s'était séparée de la manœuvre. À ce moment-là, la manœuvre occupait environ 4000 pieds de la voie de refoulement est au nord de l'aiguillage 18, et 2100 pieds au sud de celui-ci, jusque sur la voie R-13.
- Après la séparation, la rame de wagons a ralenti en continuant de rouler sur son erre vers le nord sur une distance d'environ 700 pieds.
- À 13 h 27 min 8 s, la rame de wagons s'est immobilisée; elle occupait environ 4700 pieds de la voie de refoulement est au nord de l'aiguillage 18, et environ 1400 pieds de voie au sud de celui-ci.
- À 13 h 27 min 10 s, la rame de wagons a commencé à dériver vers le sud.
- À 13 h 32 min 29 s, la rame de wagons avait accéléré à une vitesse allant de 12,8 mi/h à 13,3 mi/h (environ 13 mi/h) sur la pente descendante lorsqu'elle a percuté le train 422 immobile. Au moment initial de la collision, la rame de wagons était en compression, tandis que le train 422, immobile, était étiré (traction).
- La rame de wagons non contrôlée pesait environ 8972 tonnes. La collision a duré de 0,0545 à 0,0552 seconde.
- La valeur seuil d'attelage de 150 000 kg de masse à une vitesse de 12 km/h (7,5 mi/h), spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD, équivaut à une force

d'impact d'environ 1024 kips²¹ ou une force d'accélération de 3,1 g²² sur 0,0552 seconde.

- La force d'impact au point initial de collision entre le 91^e wagon (TGOX 155010), le wagon à la tête de la rame, et la locomotive CN 2691 variait de 3500 à 3800 kips, soit environ 4 fois la valeur seuil d'attelage de 1024 kips spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.
- La force d'impact au 3^e wagon de la rame (TILX 281395, en 89^e position) était de 2600 à 2800 kips, soit environ 3 fois la valeur seuil d'attelage spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.
- La force d'impact calculée pour les 7 premiers wagons-citernes (du 85^e au 91^e) de la rame de wagons a dépassé la valeur seuil d'attelage spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.
- Si la voie avait été libre, la rame de wagons aurait continué de rouler vers le sud et aurait atteint l'extrémité sud de la voie R-13 à une vitesse d'environ 11 mi/h. Elle aurait ensuite poursuivi sa course jusqu'aux voies d'arrivée à l'extrémité sud du triage MacMillan, sans toutefois atteindre la voie principale²³.

1.14.1 *Calculs pour d'autres rames de wagons non contrôlées*

Des calculs additionnels ont été faits pour estimer ce qui arriverait à une rame de wagons non contrôlée de composition semblable et pesant 6000 tonnes, sans collision et sur la même voie si elle était libre. Ces calculs laissent croire qu'une rame de wagons non contrôlée de 6000 tonnes aurait continué de rouler vers le sud et aurait atteint l'extrémité sud de la voie R-13 à une vitesse d'environ 11 mi/h. Dans ces circonstances, la rame de wagons aurait également poursuivi sa course jusqu'aux voies d'arrivée à l'extrémité sud du triage MacMillan. On a également déterminé qu'une rame de wagons non contrôlée, de quelque masse que ce soit et partant du même endroit, aurait suivi la même route pour traverser le faisceau de réception.

1.15 *Normes et règles relatives aux wagons-citernes*

L'AAR et TC ont tous deux des normes et des règles relatives aux wagons-citernes.

1.15.1 *Normes et règles de l'Association of American Railroads*

Le *Manual of Standards and Recommended Practices* (MSRP) de l'AAR indique, notamment, que le faux rond maximal permis de la coque d'un wagon-citerne se limite à +/- 1 % de son

²¹ Un kip est équivalent à une force de 1000 livres de poids mort.

²² On mesure la force d'accélération en g. Un (1) g équivaut à la force gravitationnelle à la surface de la Terre, qui est de 9,8 mètres carrés par seconde.

²³ Une simulation dynamique a permis de déterminer que la rame de wagons non contrôlée aurait franchi le signal 61 IB, à la jonction de la voie R-13 et de la voie d'arrivée York 3, et se serait immobilisée à environ 10 688 pieds de l'aiguillage 18, avant la jonction de la voie d'arrivée York 3 et la voie principale de la subdivision de York.

diamètre intérieur d'origine²⁴. Comme le diamètre intérieur d'origine de chacun des 3 wagons-citernes en question était d'au moins 110 pouces, la déformation maximale permise de la coque était limitée à 1,1 pouce.

D'après la règle 81, article E (14.) du document *2015 Field Manual of the AAR Interchange Rules* (règles de l'AAR) :

[Traduction]

Les wagons-citernes munis d'une longrine tronquée doivent passer à l'atelier lorsqu'ils sont vides pour une inspection de la longrine tronquée, et le propriétaire doit être avisé au cas où le wagon présenterait l'un des états suivants :

- a. Pliure, torsion ou déformation de plus de 3/4 pouce sur 30 pouces de longueur de la longrine. La longrine tronquée s'étend vers l'extérieur de l'extrémité du wagon depuis la traverse pivot.
- b. Pliure d'une profondeur de 1/2 pouce ou plus de la plaque de renfort du bas de la citerne ou de la longrine tronquée. Cet endroit se trouve entre les traverses pivots.
- c. Butées de choc arrière ou soudures de fixation rompues.
- d. Toute fissure dans la longrine de traction à l'intérieur de la face de la butée de choc arrière.
- e. Toute fissure proche de la cale de bout de citerne.

La règle 95 de l'AAR interdit la livraison de wagons-citernes en échange si l'on sait que le bas d'une citerne comprend une bosselure ou une pliure de 1/2 pouce ou plus²⁵.

1.15.2 Normes de Transports Canada

Les normes de TC relatives aux wagons-citernes sont précisées dans TP 14877, *Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer, une norme de Transports Canada* (12/2013). L'article 10.2.4, intitulé « Bosselures et pliures localisées », stipule ce qui suit :

Aucun wagon-citerne dont la coque porte une bosselure ou pliure localisée, à l'exception des bosselures ou pliures dans ses têtes, ne doit être utilisé pour la manutention, la demande de transport ou le transport de marchandises dangereuses si, selon le cas :

- a. la profondeur de la bosselure ou pliure localisée sur la coque de la citerne est supérieure à 19 mm (3/4 po) au point le plus creux, mesurée par rapport à la surface externe non déformée autour de la coque;

²⁴ Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices*, Section C, Part III—Specifications for Tank Cars, M-1002, 11/2014, Appendix W 13.5 Out-of-Roundness of Shells, p. 477.

²⁵ Association of American Railroads, *2015 Field Manual of the AAR Interchange Rules*, règle 95, section B 4(e), p. 670.

- b. une partie de la bosselure ou pliure localisée sur la coque de la citerne se trouve à 610 mm (24 po) ou moins de l'axe longitudinal de la citerne au fond de celle-ci et la profondeur de la bosselure ou pliure est supérieure à 13 mm (1/2 po) au point le plus creux, mesurée par rapport à la surface externe non déformée autour de la coque.

1.16 Examens des wagons-citernes

Le 15 octobre 2015, des inspections d'intégrité structurale et des longrines tronquées ont été faites sur les 3 wagons-citernes qui avaient été transportés aux installations pour wagons-citernes d'ARI Fleet Services, à Sarnia. Des représentants des fabricants de wagons-citernes et de l'atelier de réparation, ainsi qu'un spécialiste en inspection par essais non destructifs embauché à forfait et des enquêteurs du BST étaient présents.

En préparation à l'examen, les wagons-citernes ont été purgés, nettoyés et soulevés pour que les bogies et l'appareil de traction soient retirés. Chacun des 3 wagons-citernes comprenait des boucliers protecteurs complets et était doté d'une enveloppe externe. L'enveloppe externe et l'isolant ont été retirés lorsque cela s'imposait (figure 6). Des inspections externes et internes ont été faites. Une attention particulière a été portée à la région de la cale de bout de citerne, au logement d'appareil de traction et aux extrémités intérieures des longrines tronquées.

Figure 6. TGOX 155010 préparé pour une inspection, sans enveloppe externe ni isolant (flèche)



1.16.1 TGOX 155010 (91^e wagon)

Le wagon-citerne TGOX 155010, le wagon à la tête de la rame de wagons non contrôlée, a été construit par Gunderson. Le bout A du wagon était en tête lorsque la rame de wagons a dévalé la voie d'accès à la voie de refoulement. L'examen du bout A a permis de faire les constatations suivantes :

- Ni l'attelage, ni la face du pylône de choc, ni les saillies d'arrêt de l'attelage n'affichaient de dommage visible attribuable à l'impact.
- La soudure entre la cale de bout de citerne et la plaque de renfort comprenait des fissures au bord de la passe de soudure supérieure. Un examen magnétoscopique a permis de confirmer la présence d'une fissuration intermittente sur une longueur d'environ 4,5 pouces, soit 1 pouce à gauche et 3,5 pouces à droite de l'axe longitudinal du wagon-citerne.
- On a relevé une indication de petite fissure de 3/16 pouce au bord de la passe de soudure inférieure de la soudure entre la cale de bout de citerne et la plaque de renfort, à l'axe longitudinal du wagon-citerne (figure 7).
- L'inspection du logement d'appareil de traction a révélé des indications d'une possible fissuration. Un examen magnétoscopique a relevé une petite indication dans la soudure supérieure de la butée de choc intérieure de gauche. Cette indication se trouvait à l'extrémité d'une passe de soudure par-dessus d'autres passes de soudure. Une seconde indication a été relevée à la mi-longueur de cette passe. Aucune autre indication ni aucun signe de dommage attribuable à l'impact n'a été relevé.
- Le dessous du wagon-citerne, près de l'extrémité intérieure de la longrine tronquée où celle-ci rejoint la plaque de renfort de citerne, présentait une déformation par gauchissement de la coque. Pour déterminer l'ampleur du gauchissement, on a tenu une règle droite de 24 pouces contre le dessous de la plaque de renfort de la citerne, et parallèlement à l'axe longitudinal du wagon. Des perturbations verticales dans la surface étaient évidentes. On a également examiné cette déformation depuis l'intérieur du wagon. Le gauchissement maximal de la citerne relevé au bout A du wagon se trouvait près de l'extrémité intérieure de la première section de coque et mesurait environ 1/2 pouce verticalement, vers l'intérieur à partir du dessous du wagon. En tout, la région touchée formait une déformation elliptique qui mesurait environ 29 pouces longitudinalement sur 34 pouces de diamètre.
- Les traverses pivots du wagon présentaient des fissures dans les soudures unissant le prolongement et la plaque de renfort de traverse pivot du wagon. Des fissures dans ces soudures étaient visibles (figure 8) et ont été confirmées par examen

Figure 7. Emplacement de la fissuration relevée dans la soudure de la cale de bout de citerne, au bout A du wagon TGOX 155010, montrée en noir



magnétoscopique, à l'extrémité du cordon de soudure de part et d'autre du prolongement de traverse pivot, à chacun des 4 emplacements et sur les 4 prolongements de traverse pivot.

- Aucune fissure n'a été relevée aux soudures les unissant à la coque du wagon-citerne.

Figure 8. Gros plan d'une fissure dans la soudure unissant le prolongement de traverse pivot et la plaque de renfort de traverse pivot



Un examen du bout B a permis de faire les constatations suivantes :

- Des dommages mineurs attribuables à l'impact ont été relevés sur la garde supérieure de l'attelage à double garde, mais aucun dommage n'a été constaté sur la face du pylône de choc ou sur les saillies d'arrêt de l'attelage.
- Un examen magnétoscopique de la soudure unissant la cale de bout de citerne à la plaque de renfort a révélé une petite indication discontinue d'environ 1/4 pouce qui s'étendait sur 3/16 pouce à gauche et sur 1/16 pouce à droite de l'axe longitudinal du wagon-citerne.
- Le logement d'appareil de traction du bout B ne présentait aucune fissure ni déformation comme suite à l'événement.
- Le dessous du wagon-citerne, près de l'extrémité intérieure de la longrine tronquée où celle-ci rejoint la plaque de renfort de citerne, présentait une déformation par gauchissement de la coque. On a également examiné cette déformation depuis l'intérieur du wagon. Le gauchissement maximal de la citerne relevé au bout A du wagon se trouvait près de l'extrémité intérieure de la première section de coque et mesurait environ 1/8 pouce verticalement, vers l'intérieur à partir du dessous du wagon, environ 10 pouces à droite de l'axe longitudinal du wagon-citerne.
- Aucune fissure n'a été relevée aux soudures les unissant à la coque du wagon-citerne.

1.16.2 TILX 255667 (90^e wagon)

Le wagon-citerne TILX 255667, qui suivait immédiatement le wagon de tête (91^e), a été construit par Trinity. Le bout A de ce wagon était en tête lorsque la rame de wagons a dévalé la voie d'accès. L'examen a permis de constater ce qui suit :

- Des dommages causés par l'impact sur la face du pylône de choc, et des traces de peinture du pylône de choc sur les saillies d'arrêt de l'attelage au bout A du wagon. Aucun dommage n'a été relevé au bout B.
- Un examen externe du dessous du wagon, près du joint entre les extrémités intérieures des longrines tronquées et la plaque de renfort de citerne, n'a révélé aucun gauchissement. Toutefois, un examen interne du bout A du wagon a révélé un

gauchissement mineur dans la citerne à cet endroit. Le gauchissement maximal dans la citerne relevé au bout A du wagon se trouvait près de l'extrémité intérieure de la première section de coque et mesurait 5/32 pouce verticalement, vers l'intérieur à partir du dessous du wagon. La région touchée formait une déformation elliptique qui mesurait 36 pouces longitudinalement sur 25 pouces de diamètre.

- Aucune fissure n'a été relevée dans les soudures unissant la cale de bout de citerne et la plaque de renfort, dans les logements d'appareil de traction ou dans les soudures unissant la traverse pivot et les plaques de renfort de traverse pivot, à l'un ou l'autre bout du wagon.
- Aucune fissure n'a été relevée aux soudures les unissant à la coque du wagon-citerne.

1.16.3 TILX 281395 (89^e wagon)

Le wagon-citerne TILX 281395, 3^e wagon derrière le wagon de tête de la rame de wagons non contrôlée, a également été construit par Trinity. Le bout A de ce wagon était en tête lorsque la rame de wagons a dévalé la voie d'accès. L'examen a permis de constater ce qui suit :

- Ni les faces du pylône de choc ni les saillies d'arrêt de l'attelage à l'un ou l'autre bout n'affichaient de dommage attribuable à l'impact.
- Un examen externe et interne du wagon, près du joint entre les extrémités intérieures des longrines tronquées et la plaque de renfort de citerne, n'a révélé aucun gauchissement.
- Aucune fissure n'a été relevée dans les soudures unissant la cale de bout de citerne et la plaque de renfort, dans les logements d'appareil de traction ou dans les soudures unissant la traverse pivot et les plaques de renfort de traverse pivot, à l'un ou l'autre bout du wagon. De plus, aucune fissure n'a été relevée aux soudures les unissant à la coque du wagon-citerne.

Le wagon-citerne TILX 281395 était également muni d'un dispositif de télémétrie, soit un module d'acquisition des données IONX (le module). Ce module était installé sur le dessus et au centre de la citerne, près de l'entrée du trou d'homme (figure 9). Ce module a été récupéré et envoyé au laboratoire du BST aux fins de l'extraction de toute donnée utile à l'enquête.

Figure 9. Module d'acquisition des données IONX



1.16.4 Réparations aux wagons-citernes

Le gauchissement de 1/2 pouce situé au bas du bout B de la coque du wagon-citerne TGOX 155010 a été coupé et remplacé. Toutes les indications de fissuration relevées sur le

wagon TGOX 155010 ont été meulées et réparées par soudage. Ces réparations ont été achevées en avril 2016.

Aucun des dommages aux coques relevés n'était visible sans que l'on retire partiellement l'enveloppe externe et l'isolant pour permettre l'examen externe de la coque ou sans que l'on descende dans la citerne pour y faire un examen interne.

1.17 Technologies de télémétrie émergentes pour wagons de marchandises

Depuis au moins une quinzaine d'années, on utilise la technologie de télémétrie dans le secteur ferroviaire pour faire un suivi de la position du matériel roulant et de ses conditions d'exploitation particulières. Au début, les expéditeurs de produits de grande valeur et sensibles aux chocs se servaient de cette technologie pour surveiller leurs produits durant l'expédition. Plus récemment, en réponse aux menaces potentielles de vandalisme ou contre la sécurité, et aux événements comme le déraillement d'un train à Lac-Mégantic (rapport d'enquête ferroviaire R13D0054 du BST), on a utilisé cette technologie pour surveiller les composants essentiels de wagons, comme l'application de freins à main, la performance des bogies, et la température et l'immobilisation d'expéditions de produits toxiques à l'inhalation.

On estime que plus de 40 000 wagons de marchandises sont aujourd'hui dotés d'appareils de télémétrie. Ces appareils enregistrent systématiquement la date, l'heure, le lieu, les coordonnées du système mondial de positionnement (GPS) de même que les accélérations, y compris leur durée et les événements de force maximale dans les axes horizontal, vertical et longitudinal. Ces données sont normalement téléchargées à intervalles réguliers ainsi que lorsqu'un événement se produit. Les données sont transmises sur un réseau cellulaire ou satellite à une base de données centrale.

En 2010, GATX, entreprise propriétaire et de crédit-bail de wagons ferroviaires, a mené un projet pilote pour déterminer dans quelle mesure les appareils de télémétrie ajouteraient de la valeur sur le plan commercial et de la maintenance. Ce projet a été mené avec 2 importants fournisseurs d'équipement de télémétrie dont les appareils ont été installés sur des wagons-citernes GATX. L'étude a indiqué qu'il y avait une valeur élevée pour les applications suivantes :

- capteurs de frein à main pour cerner les circonstances dans lesquelles les freins à main demeurent systématiquement serrés;
- capteurs d'impact pour cerner les circonstances dans lesquelles se produisent systématiquement une manutention brusque des wagons et des dommages à ceux-ci.

Or, à l'époque, sans l'acceptation par l'AAR de cette technologie et des modifications connexes qu'il faudrait apporter aux MSRP de l'AAR ou aux règles de celle-ci, il y avait peu d'options pour aborder les problèmes opérationnels parmi les réseaux acheminants ou les

clients. Dans certains cas, des manutentionnaires qui ne connaissaient pas cette technologie ont cru qu'il s'agissait d'une menace pour la sécurité²⁶.

Depuis ce projet pilote, la durée de vie des piles et la capacité de surveillance n'ont fait que s'accroître à mesure que de nouveaux paramètres se sont ajoutés. Aujourd'hui, on peut générer des données sur l'accélération et la force en calibrant le type de wagon et en normalisant l'endroit où l'on installe les appareils²⁷.

1.18 Examen du module d'acquisition des données IONX par le laboratoire du BST

Le module d'acquisition des données IONX était un appareil autonome qui ne comprenait aucun capteur sans fil. Cet appareil fonctionne avec des piles dont on estime la durée de vie de 5 à 7 ans. L'appareil consigne l'heure, la latitude et la longitude par GPS, ainsi que l'ampleur et la durée de l'accélération dans les 3 axes. Les données consignées représentent des événements de lieu et des événements déclenchés par l'accélération. Les événements de lieu comprennent la date, l'heure, le lieu, la latitude et la longitude.

L'appareil était configuré pour enregistrer un événement de lieu toutes les 6 heures. Les événements déclenchés par l'accélération comprennent les mêmes données que les événements de lieu, auxquelles s'ajoutent l'ampleur et la durée des accélérations longitudinale, latérale et verticale. Lorsqu'une accélération atteint 3 g dans au moins 1 des 3 axes, l'appareil consigne un événement d'accélération. Des événements consignés dans un laps de 2 minutes reçoivent les mêmes coordonnées de lieu. Quoique l'appareil soit configuré en vue d'une saisie des données de lieu toutes les 6 heures, il enregistre de plus les coordonnées de lieu lorsque se produit un événement d'accélération.

L'appareil transmet périodiquement toutes les données consignées à un serveur central. Ces données ont été téléchargées depuis le serveur et transmises au BST à des fins d'analyse. Ce fichier contenait 429 points de données qui couvraient la période allant du 1^{er} juillet 2015 au 16 octobre 2015.

Pour la date de l'événement à l'étude, le fichier de données contenait 6 inscriptions. L'une d'elles avait été déclenchée lors d'une accélération longitudinale de 10,06 g, qui correspond à l'accélération maximale captée durant cet événement. Les données consignées à ce point de

²⁶ Il arrivait à l'occasion que des expéditeurs et des destinataires remarquent les appareils de télémétrie durant le chargement ou le déchargement de wagons-citernes. Comme ces appareils n'étaient pas installés sur tous les wagons-citernes, certains manutentionnaires ont cru que ces appareils pouvaient être des engins explosifs.

²⁷ On peut utiliser les appareils de télémétrie sur n'importe quel type de wagon de marchandises. Durant l'installation, on tient compte des caractéristiques de chaque wagon (p. ex. longueur, largeur, masse à vide et chargé) de sorte que les renseignements consignés soient normalisés. Ainsi, il faudrait installer les appareils de télémétrie au même endroit sur chaque wagon pour que les données soient comparables.

déclenchement figurent au tableau 2, qui indique également les événements de lieu qui ont été enregistrés avant et après l'événement d'accélération.

Tableau 2. Données du module d'acquisition des données IONX du wagon TILX 281395

Catégorie	Données antérieures	Données sur l'événement	Données ultérieures
Données sur l'événement et heure UTC	2015-07-29 15 h 49 min 26 s	2015-07-29 17 h 32 min 35 s	2015-07-29 17 h 32 min 35 s
Type d'événement	Événement de lieu	Événement d'accéléromètre	Événement de lieu
Emplacement	Vaughan (Ontario)	Vaughan (Ontario)	Vaughan (Ontario)
Latitude	43.807159	43.807159	43.807159
Longitude	-79.5062656	-79.5062656	-79.5062656
Accélération longitudinale	-	10,06	-
Accélération latérale	-	2,09	-
Accélération verticale	-	7,41	-
Durée (longitudinale)	-	0,05523811	-
Durée (latérale)	-	0,009667282	-
Durée	-	0,01991882	-

L'événement déclenché par l'accélération est survenu environ 2 heures après l'événement de lieu. Après l'événement déclenché par l'accélération, 9 secondes se sont écoulées avant l'événement de lieu suivant.

À partir de la décélération longitudinale et de la durée consignées, on a estimé la vitesse initiale du 89^e wagon (TILX 281395). Ce calcul a donné une vitesse initiale, au moment du déclenchement de l'événement d'accéléromètre, d'environ 19,6 km/h (12,2 mi/h). Cette valeur était proche de la vitesse de la rame de wagons que le BST avait préalablement estimée entre 12,8 et 13,3 mi/h (environ 13 mi/h) au moment de la collision.

1.19 Renseignements sur l'attelage et la mâchoire d'attelage

Des attelages se trouvent aux 2 extrémités de wagons ferroviaires afin de relier les wagons entre eux pour former un train. Au contact avec un autre wagon, la mâchoire d'attelage est conçue pour passer automatiquement de la position ouverte à la position fermée et verrouillée. Lorsqu'elle se ferme, la mâchoire d'attelage pivote autour du pivot de mâchoire de manière à ce que sa face s'engage avec la face de l'autre mâchoire d'attelage; elles se verrouillent ensuite lorsque les extrémités de la mâchoire rentrent dans chacun des corps d'attelage. Une fois qu'elle est entièrement rentrée, l'extrémité de la mâchoire est retenue par un verrou. Le verrou est conçu pour se loger entre l'extrémité de la mâchoire et le corps d'attelage pour empêcher l'ouverture intempestive de la mâchoire d'attelage.

On ouvre les mâchoires d'attelage en manipulant un levier de dételage. Lorsque l'on soulève à la main le levier de dételage, celui-ci déplace le lève-verrou d'attelage à la verticale, mouvement qui soulève le verrou et libère l'extrémité de la mâchoire d'attelage. Une autre

rotation du levier de dételage force la tige du verrou à engager le déclencheur de la mâchoire d'attelage, ce qui ouvre la mâchoire. La protection anticheminant du lève-verrou d'attelage permet d'éviter le déverrouillage intempestif de la mâchoire d'attelage en empêchant le verrou de se déplacer vers le haut, à moins que le lève-verrou d'attelage ne soit activé par le levier de dételage.

Il n'existe aucun gabarit pour les inspections sur place du lève-verrou d'attelage ou du verrou. Ces composants n'ont aucune durée de vie déterminée. Les règles de l'AAR interdisent l'installation de lève-verrou d'attelage usagés. Toutefois, on peut réutiliser un lève-verrou d'attelage si la mâchoire ou le corps d'attelage a été remplacé²⁸. Il est interdit de remettre à neuf les lève-verrou d'attelage²⁹.

La partie II, article 15, Attelages et bras d'attelage, du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises* approuvé par TC comprend notamment ceci³⁰ :

- 15.1 Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon présentant une des anomalies suivantes :
- [...]
- f) un attelage a un lève-verrou qui ne fonctionne pas ou est dépourvu d'anticheminant pour empêcher le déverrouillage accidentel des mâchoires;
 - g) un verrou d'attelage manque, ne fonctionne pas, est déformé, fissuré ou rompu.
- [...]

À l'heure actuelle, il n'y a aucun mécanisme d'inspection en place pour s'assurer que les lève-verrou d'attelage sont en bon état.

1.20 Force de tirage et résistance en pente

Le patinage des roues de locomotive survient lorsque l'effort de traction d'une locomotive dépasse l'adhérence des roues au rail. Un effort de traction élevé est nécessaire pour gravir des voies en pente avec de lourdes charges, mais le patinage survient également lorsque l'effort de traction que produit une locomotive dépasse l'adhérence à l'interface roues-rail. L'effort de traction est égal à la force de tirage sur l'attelage et la mâchoire d'attelage de tête du premier wagon. Pareillement, la résistance en pente est elle aussi égale à la charge de tirage des attelages et mâchoires d'attelage. La plage sécuritaire de force de tirage exercée sur les attelages et les mâchoires d'attelage en particulier est bien connue dans le secteur ferroviaire, et elle est décrite dans le *Train Make-up Manual* (manuel de composition des

²⁸ Association of American Railroads, *2015 Field Manual of the AAR Interchange Rules*, règle 16, section B. Correct Repairs, article 7. p. 171.

²⁹ Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices*, section S, Casting Details, [M-212], 4.2.5.

³⁰ Transports Canada, *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*, Partie II, article 15.1, alinéas f) et g).

trains) de l'AAR³¹. Même si ce document remonte à 1992, les compagnies de chemin de fer se servent encore des renseignements qu'il contient. Le *Train Make-up Manual* de l'AAR comprend notamment l'énoncé suivant :

[Traduction]

4.0 Forces excessives produites par le train

4.1 Forces en régime stable

Les forces en régime stable sont la base d'un calcul initial de la composition acceptable d'un train. Les forces en régime stable sont celles qui sont appliquées durant une période relativement longue, comme la montée stable d'une déclivité ou la décélération au moyen des freins dynamiques. Les forces longitudinales du train produisent des charges latérales sur la voie qui peuvent être élevées, en fonction de divers facteurs comme le rayon de courbe et la longueur des wagons attelés. Ces forces, lorsqu'elles sont élevées, peuvent causer des problèmes.

4.1.1 Séparation de train

Des efforts de traction excessivement élevés peuvent dépasser la résistance des matériaux des appareils de choc et de traction et entraîner une défaillance mécanique suivie d'une séparation de train. La mâchoire d'attelage est conçue comme le maillon faible, une sorte de « fusible » mécanique, de ces appareils. Lorsque les forces de traction approchent des niveaux qui pourraient endommager le wagon, la défaillance se produit au niveau de la mâchoire d'attelage plutôt que du wagon.

À l'heure actuelle, 2 matériaux différents entre dans la fabrication de systèmes d'attelage en Amérique du Nord : l'acier de nuance C et l'acier de nuance E. On utilise habituellement l'acier de nuance C, le plus faible de ces 2 types, pour le matériel d'échange sans restriction. Sa limite de charge acceptée (force de tirage) est de 250 000 livres en traction, et sa charge ultime admise est de 300 000 livres. Pour calculer la composition d'un train de marchandises générales, on utilise habituellement cette valeur pour concevoir les lignes directrices de composition et de conduite du train.

Dans le cas du matériel en acier de nuance E, parfois appelé « à haute résistance » ou portant l'indication « HTE », sa limite de charge acceptée est de 350 000 livres en traction, et sa charge ultime admise est de 400 000 livres. On peut élaborer des lignes directrices de composition et de conduite du train à partir de cette valeur si l'on a la certitude qu'aucun matériel comprenant de l'acier de nuance C ne fera partie de la composition du train.

Les valeurs des limites de charge ont été sélectionnées après un examen des spécifications des attelages et des données de l'environnement de la charge à l'attelage qui se trouvent dans le MSRP de l'AAR.

³¹ Association of American Railroads, *Train Make-up Manual*, rapport R-802, janvier 1992.

Bien que les appareils en acier de nuance C soient en voie d'être remplacés par des appareils en acier de nuance E plus résistants, bon nombre d'attelages et de mâchoires d'attelage en acier de nuance C demeurent en service à ce jour.

Le tirage de charges qui dépassent les limites de charge acceptées peut entraîner la déformation permanente de la mâchoire d'attelage et, éventuellement, la rupture de la mâchoire ou une séparation de train. Les mâchoires d'attelage plus âgées de la même catégorie peuvent aussi avoir une capacité de charge réduite à cause de l'usure, notamment si leur matériau présente des fissures ou des défauts.

On peut calculer la résistance en pente et la force de tirage des attelages et mâchoires d'attelage³².

Une pratique opérationnelle généralement acceptée dans le secteur ferroviaire veut que la plage de charges de tirage « sécuritaire » ne dépasse pas les 300 000 livres³³.

1.21 Examen par le laboratoire du BST de l'appareil de choc et de traction du wagon CN 44257

Les attelages respectifs de la locomotive et du wagon plat ont été examinés (figure 10).

Figure 10. Attelages de la locomotive CN 7506 et du wagon de marchandises CN 44257



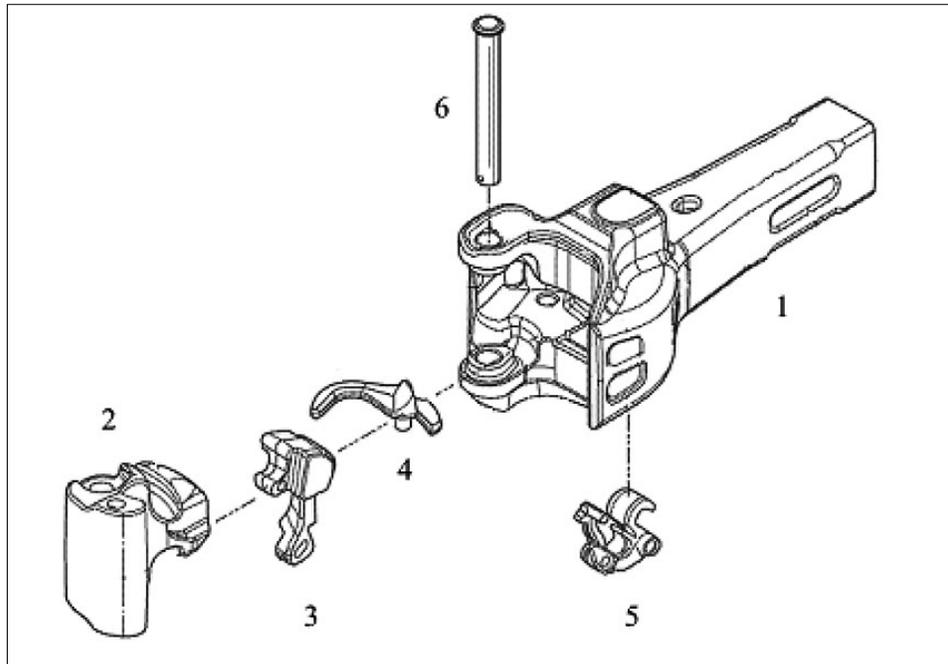
On n'a relevé aucune anomalie sur l'attelage de la locomotive CN 7506.

Un attelage se compose d'un corps d'attelage, d'une mâchoire d'attelage, du verrou, du déclencheur de la mâchoire, du lève-verrou d'attelage et d'un pivot de mâchoire (figure 11).

³² Association of American Railroads, *Train Make-up Manual*, rapport R-802, janvier 1992, article 3.1.1. - RP = masse du train × % pente × 20 livres/tonne/%pente.

³³ *Ibid.*, article 4.1.1, Train Separation.

Figure 11. Schéma d'un attelage. Le schéma montre le corps d'attelage (1), la mâchoire d'attelage (2), le verrou (3), le déclencheur de la mâchoire (4), le lève-verrou d'attelage (5) et le pivot de mâchoire (6).



L'attelage du wagon plat CN 44257 était un attelage à manoeuvre par le bas de type E/F qui comprenait une tête d'attelage de type E et le long bras d'un attelage de type F. Les marques sur les composants de l'attelage du wagon CN 44257 figurent au tableau 3.

Tableau 3. Marques sur les composants de l'attelage du bout B du wagon CN 44257

Composant	Marque	Signification
Corps d'attelage	E69AE	Type E, corps d'attelage, modèle d'origine, acier moulé de nuance E
	CSF	Fabriqué par Canadian Steel Foundries
	11-81	Date de fabrication - novembre 1981
Mâchoire d'attelage	E50BE	Type E, mâchoire d'attelage, révision B, acier moulé de nuance E
	MT	Fabriqué par McConway and Torley
	HI ENDUR	Modèle à haute résistance à la fatigue
	8 01 15	Date de fabrication - 8 janvier 2015
Verrou	E42AE	Type E, verrou (bas), modèle d'origine, acier moulé de nuance E
Lève-verrou d'attelage	E24B	Lève-verrou d'attelage

En mai 2015, la mâchoire d'attelage du bout B avait été remplacée à l'atelier Transcona du CN à Winnipeg (Manitoba). L'attelage du bout B et ses autres composants étaient probablement les pièces d'origine du wagon, qui avait été fabriqué en avril 1982. Seule la

mâchoire d'attelage du bout B avait été remplacée, étant donné que les autres composants ne s'écartaient pas des normes.

Aucune marque n'était estampée sur la saillie d'arrêt de l'attelage, ce qui indique qu'elle n'avait pas été remise à neuf. On n'a relevé ni fissuration, ni déformation, ni usure excessive sur la tête ou le corps d'attelage.

L'attelage satisfaisait aux exigences de l'AAR pour les essais. La mâchoire d'attelage et le verrou satisfaisaient aux exigences chimiques et de dureté indiquées pour l'acier de nuance E. La mâchoire d'attelage et le verrou ont été inspectés conformément aux lignes directrices de l'AAR relatives aux dimensions. L'inspection de la mâchoire d'attelage a été probante, et l'ajustement de son contour dans le corps d'attelage était acceptable. Même si la largeur hors-tout du verrou était conforme, un renforcement dans le côté du verrou causé par l'impact avec l'extrémité de la mâchoire d'attelage dépassait les limites.

Il y avait une déformation mineure qui semblait récente (sans rouille) sur l'arête supérieure de l'extrémité de la mâchoire (figure 12). On a également relevé du métal qui semblait récemment déformé sur la surface correspondante du coin intérieur inférieur du verrou (figure 13).

Le lève-verrou d'attelage comprenait 3 pièces : l'articulation X, l'articulation Y et l'articulation Z. L'articulation X repose sur le pivot de support d'attelage, au bas du corps d'attelage (figure 14). L'articulation Z s'engage dans l'extrémité du verrou. L'articulation Y, qui unit les articulations X et Z, constitue l'attache pour le levier de dételage.

Figure 12. Vue en plan de la déformation sur l'extrémité de la mâchoire



Figure 13. Surface correspondante sur le verrou



On a relevé sur le lève-verrou d'attelage une usure prononcée des joints d'articulation et des rivets comparativement à un lève-verrou d'attelage plus récent (figure 15). Cette forte usure a accru le mouvement latéral de l'articulation Z.

La protection anticheminant vise à prévenir tout dételage intempestif. L'attelage a été soumis à un essai anticheminant aux termes des lignes directrices de l'AAR. Le mécanisme de protection anticheminant a fonctionné tel que prévu. Toutefois, lors de la fermeture de la mâchoire d'attelage, la tige de l'articulation Z du lève-verrou d'attelage est parfois restée coincée dans le trou du verrou, ce qui a empêché le verrou de s'abaisser pour se loger à fond (figure 16).

Figure 14. Lève-verrou d'attelage installé, avec détail des articulations X, Y et Z



Figure 15. Usure du lève-verrou d'attelage en comparaison avec un dispositif plus récent

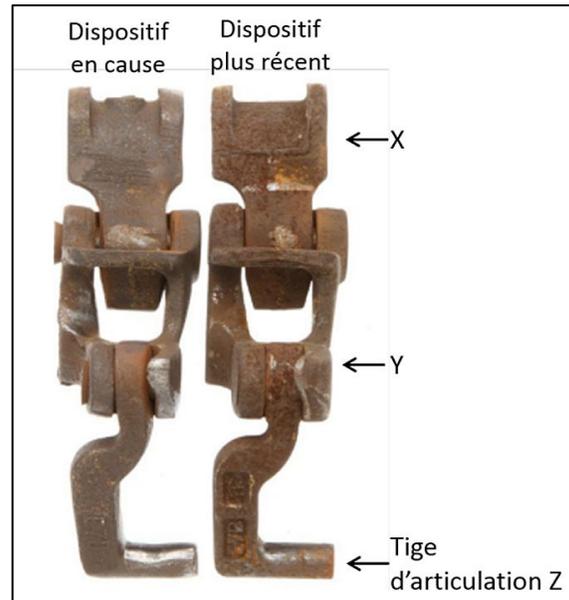
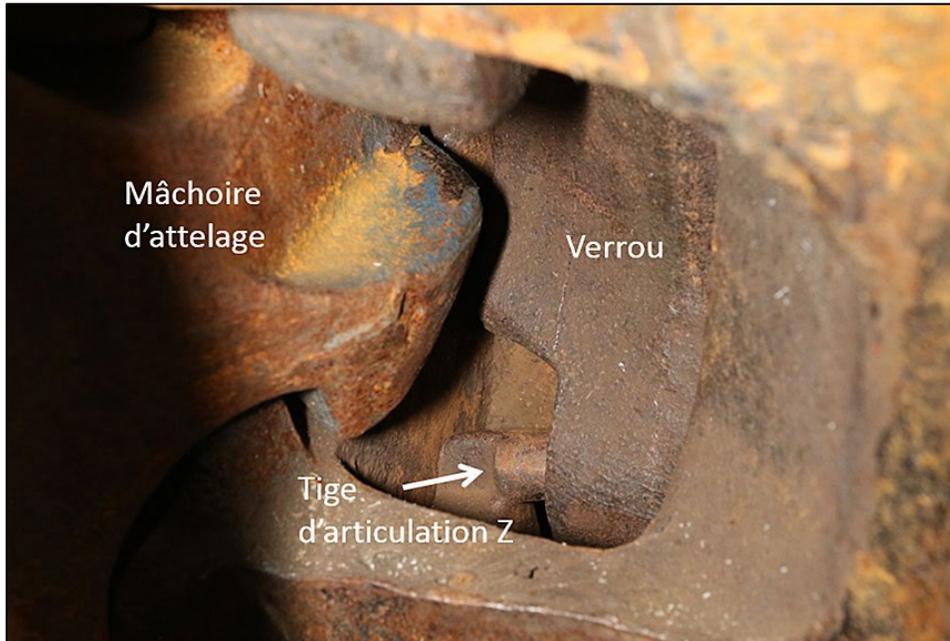


Figure 16. Tige de l'articulation Z du lève-verrou d'attelage coincée dans le trou du verrou



Lorsque la tige de l'articulation Z du lève-verrou d'attelage est restée coincée dans le trou du verrou, le verrou n'a que partiellement engagé l'extrémité de la mâchoire d'attelage (figure 17 et figure 18).

Figure 17. Tige de l'articulation Z du lève-verrou d'attelage coincée dans le trou du verrou



Figure 18. Verrou logé à fond



Le levier de dételage pend d'un côté de l'articulation Y, ce qui engendre une charge latérale dans le lève-verrou d'attelage durant l'utilisation. L'articulation Z affichait une usure sur le côté et au centre de la tige d'extrémité qui s'insère dans le trou du verrou, dans l'extrémité du verrou. L'usure relevée sur la tige d'extrémité de l'articulation Z était caractéristique de son interaction avec le trou du verrou et d'un mauvais alignement causé par un mouvement latéral excessif du lève-verrou d'attelage.

1.22 Statistiques du BST sur les événements de mouvements imprévus ou non contrôlés

Depuis 2007, 392 événements³⁴ de mouvements imprévus ou non contrôlés sur l'ensemble des chemins de fer au Canada ont été signalés au BST (figure 19).

³⁴ Entré en vigueur le 1^{er} juillet 2014, le *Règlement sur le Bureau de la sécurité des transports* (DORS/2014-37) du Bureau de la sécurité des transports du Canada, partie 1, Rapports, Rapports obligatoires, Accidents ferroviaires, paragraphe 5 (1) comprend notamment l'énoncé suivant :

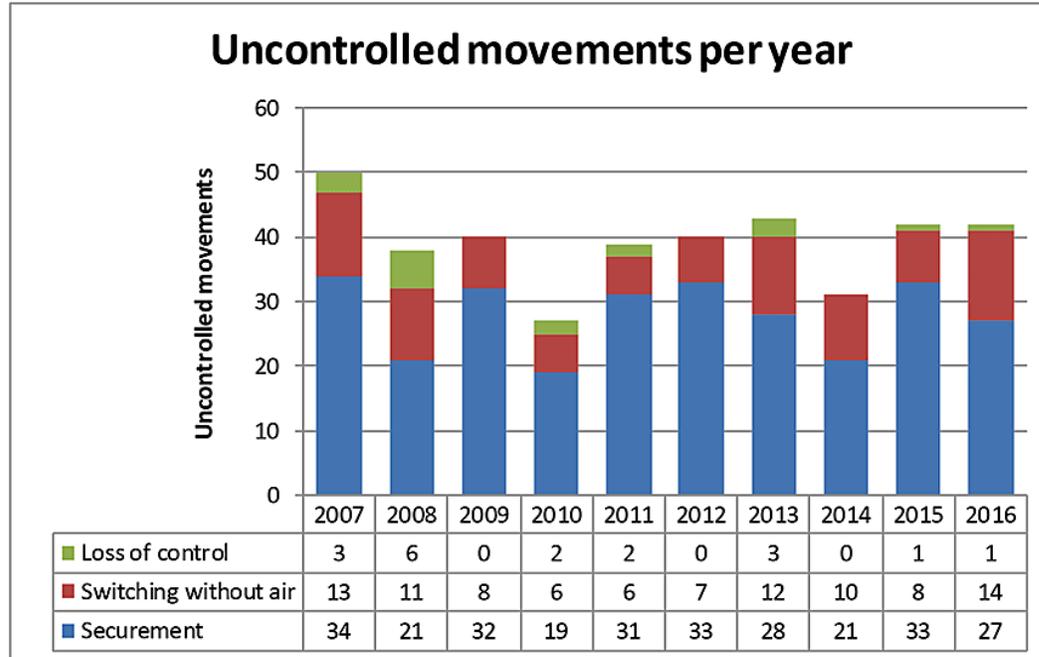
L'exploitant de matériel roulant, l'exploitant de la voie ferrée ainsi que tout membre d'équipage qui constatent personnellement un accident ferroviaire, en font rapport au Bureau dans les cas suivants :

[...]

(h) il se produit un mouvement imprévu et non contrôlé de matériel roulant.

[...]

Figure 19. Événements de mouvements imprévus ou non contrôlés signalés au BST, 2007–2016



En général, les mouvements non contrôlés sont attribuables à 1 des 3 causes suivantes :

1. **Perte de maîtrise** – Se produit lorsqu’un mécanicien de locomotive ou un opérateur de système Beltpack n’est pas en mesure de maîtriser un train au moyen des freins à air disponibles.
2. **Manœuvres sans freins à air** – Se produisent lorsqu’un matériel roulant est manœuvré dans un triage en utilisant seulement les freins à air de la locomotive (autrement dit, il n’y a pas de freins à air disponibles sur les wagons manœuvrés). Lorsqu’un mouvement non contrôlé se produit, ces situations peuvent se traduire par des wagons qui sortent du triage et entrent sur la voie principale.
3. **Immobilisation insuffisante** – Un wagon, une rame de wagons ou un train est laissé sans surveillance et part à la dérive, en général, car :
 - aucun frein à main n’a été serré ou un nombre insuffisant de freins à main ont été serrés;
 - de l’air s’échappe des circuits de freins à air des wagons immobilisés à l’aide d’un serrage d’urgence des freins à air et, en conséquence, les freins à air du train se desserrent;
 - un wagon (ou plusieurs wagons) est équipé de freins à main défectueux ou inefficaces.

Des 392 événements signalés,

- une immobilisation insuffisante a été le principal facteur dans 279 cas (71 %);

- des manœuvres sans freins à air, comme dans le cas de l'événement à l'étude, ont été le principal facteur dans 95 cas (24 %);
- la perte de maîtrise a été le principal facteur dans 18 cas (5 %).

On a également classé ces événements en fonction de leurs conséquences (tableau 4).

Tableau 4. Conséquences des mouvements non contrôlés

Conséquence	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Déraillements de 1 à 5 wagons	25	16	23	14	16	17	17	17	24	23	192
Déraillements de plus de 5 wagons	1	4	1	0	0	2	1	0	1	1	11
Collision	28	15	22	13	22	18	17	12	18	21	186
Impact sur la voie principale	11	9	5	4	7	6	8	7	3	5	65
Présence de MD	11	11	9	3	6	4	7	6	10	8	75
Nombre total de blessés ou de morts	4	1	1	0	0	2	50	0	0	0	58

Parmi ces 392 événements,

- 186 mouvements imprévus ou non contrôlés (47 %) ont entraîné une collision;
- 65 mouvements imprévus ou non contrôlés (17 %) ont eu une incidence sur la voie principale.

Depuis 1994, le BST a enquêté sur 27 événements (y compris celui à l'étude) qui mettaient en cause du matériel roulant parti à la dérive (annexe A).

1.23 Autres enquêtes du BST sur des attelages à vitesse excessive

Depuis 2003, le BST a enquêté sur 2 événements d'attelage à vitesse excessive durant des opérations de triage à butte à Toronto.

R03T0026 – Le 21 janvier 2003, au triage du Chemin de fer Canadien Pacifique à Toronto, un wagon-citerne contenant des résidus d'hydroxyde de sodium (UN 1824), son dernier chargement, a passé la butte pour se diriger vers la voie de classement C-34, où il a heurté un wagon couvert stationnaire à une vitesse estimée de 12 mi/h. Les 2 wagons ont été endommagés. Il n'y a eu ni déraillement, ni déversement de produit, ni blessé.

L'enquête a permis de déterminer que, de novembre 2002 à janvier 2003, 4 attelages à vitesse excessive de wagons chargés de MD avaient eu lieu au triage Toronto. L'enquête a permis de déterminer que les exigences réglementaires concernant l'attelage de véhicules sur rail avaient été mises en place sans moyen ni méthode pour mesurer les vitesses d'attelage. À moins que l'inspection visuelle du matériel roulant n'ait relevé des dommages, aucune trace écrite de ces événements n'était conservée. La réglementation ne visait que les wagons-

citernes de MD, et les risques de défaillance en service d'autre matériel roulant s'en trouvaient accrus.

R03T0047 – Le 4 février 2003, on a constaté une fuite de produit du bout A du wagon-citerne de MD PROX 77811, au triage MacMillan du CN. Une inspection subséquente a relevé une fissure de 20 pouces de long dans la citerne à proximité de la longrine tronquée. L'enquête a permis de déterminer que le wagon-citerne avait récemment subi plusieurs attelages à vitesse excessive au triage MacMillan, dont 1 événement durant lequel le wagon s'était attelé à une vitesse prévue supérieure à 13 mi/h (20,9 km/h). Aucune inspection n'avait été faite de ce wagon après ces attelages à vitesse excessive, et on l'avait laissé circuler jusqu'à sa destination (des installations de chargement à proximité), où l'on a constaté la fissure dans la citerne.

On a également déterminé que les compagnies de chemin de fer ne disposent d'aucun moyen fiable de mesurer directement les vitesses d'attelage réelles, ni de processus documenté pour cerner et inspecter les wagons qui auraient pu subir des attelages à vitesse excessive avant qu'on les remette en service. Le Bureau a émis la préoccupation liée à la sécurité qui suit :

Comme on n'a pas mis en place des moyens de mesurer directement les vitesses d'attelage réelles ou les forces longitudinales générées pendant un attelage, le BST craint encore que, malgré les protocoles actuels relatifs au triage à butte, il y ait encore des wagons qui restent en service après qu'ils ont été affectés par un attelage fait à une vitesse excessive.

1.24 Liste de surveillance du BST

La Liste de surveillance du BST énumère les principaux enjeux de sécurité qu'il faut s'employer à régler pour rendre le système de transport canadien encore plus sûr.

La gestion de la sécurité et la surveillance figurent sur la Liste de surveillance 2016.

Comme l'événement à l'étude l'a démontré, les occasions ratées d'analyser des événements comme les séparations de train imprévues peuvent mener au défaut de mettre en œuvre des mesures correctives pour atténuer les risques et améliorer la sécurité.

1.25 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit les rapports de laboratoire suivants dans le cadre de la présente enquête :

- LP 137/2016 - Video Analysis [analyse de la vidéo]
- LP 153/2015 - Collision Analysis [analyse de la collision]

La gestion de la sécurité et la surveillance resteront sur la Liste de surveillance du BST jusqu'à ce que :

- les entreprises de transport qui possèdent un système de gestion de la sécurité démontrent qu'il fonctionne bien, c'est-à-dire qu'il permet de déceler les risques et que des mesures de réduction des risques efficaces sont mises en œuvre;
- Transports Canada intervienne lorsque des entreprises de transport ne peuvent assurer efficacement la gestion de la sécurité et le fasse de façon à corriger les pratiques d'exploitation jugées non sécuritaires.

- LP 171/2015 - Draft System Teardown and Analysis [démontage et analyse de l'appareil de choc et de traction]
- LP 226/2015 - Inspection of Tank Car Stub Sills [inspection des longrines tronquées des wagons-citernes]
- LP 242/2015 - Non-Volatile Memory Recovery - Data Collection Unit [récupération de la mémoire non volatile - module d'acquisition des données]

2.0 Analyse

Aucun défaut de voie n'a contribué à l'accident. L'analyse mettra l'accent sur les circonstances qui ont mené à la séparation de la manœuvre, le mouvement non contrôlé subséquent et la collision avec le train A42241-29 (train 422). L'analyse se concentrera également sur les forces en-train générées durant la collision, les moyens de défense secondaires contre les mouvements non contrôlés au triage MacMillan, la conformité du secteur ferroviaire, et l'application de la réglementation, notamment de l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (Règlement sur le TMD).

2.1 L'accident

L'accident s'est produit lorsqu'une rame de 91 wagons pesant environ 9000 tonnes s'est séparée de la manœuvre qui gravissait la voie de refoulement est en direction nord, en préparation au triage à butte. Comme c'est l'habitude durant les opérations de refoulement au triage à butte, le circuit des freins à air des wagons avait été purgé.

Après qu'elle s'est séparée de la manœuvre, la rame de wagons de 6100 pieds de long s'est d'abord immobilisée en occupant environ 4700 pieds de la voie de refoulement est au nord de l'aiguillage 18, et environ 1400 pieds de voie au sud de celui-ci. Après s'être immobilisée, la rame de wagons a commencé à rouler à la dérive vers le sud (à reculons) en suivant la trajectoire qu'elle venait d'emprunter sur la voie R-13. Seuls les freins à air des locomotives de commande étaient actifs de sorte qu'une fois séparée de la manœuvre, la rame non contrôlée de wagons, avec en tête 24 wagons-citernes chargés de pétrole brut (UN 1267), a dévalé une pente descendante vers le sud sur une distance d'environ 4500 pieds, jusque sur la voie R-13 avant d'entrer en collision avec le train 422 à environ 13 mi/h³⁵.

Bien qu'aucun des wagons de la rame de wagons n'ait quitté les rails, les locomotives à la tête du train 422 ont été refoulées d'environ 350 pieds, et 10 wagons de ce train ont déraillé de la voie R-13, tout comme 1 wagon sur la voie R-11 adjacente. Le matériel roulant déraillé du train 422 comprenait un wagon-citerne vide (résidus) ayant contenu en dernier lieu de l'acide sulfurique (UN 1830). Un second wagon sur la voie R-11 et 1 wagon sur la voie R-10 ont été endommagés. Environ 585 pieds des voies R-13, R-14 et R-16 ont été endommagés.

2.2 Séparation de train

La séparation de la manœuvre est survenue à son extrémité nord, entre la locomotive menée CN 7506 et le bout B en tête du 1^{er} wagon derrière la locomotive (CN 44257). Les mâchoires d'attelage de la locomotive et du wagon n'étaient pas rompues. La mâchoire d'attelage de la

³⁵ Au moyen de la vidéo saisie au triage de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, de la simulation de la dynamique du train, de calculs d'ingénierie et des données consignées par le module de collecte de données IONX installé sur le 89^e wagon-citerne (TILX 281395), on a déterminé que la rame de wagons avait accéléré pour atteindre environ 13 mi/h au moment de la collision.

locomotive de manœuvre CN 7506 était demeurée fermée et verrouillée, mais la mâchoire d'attelage contiguë, au bout B du wagon plat CN 44257, s'était ouverte.

L'attelage de la locomotive ne présentait aucune anomalie. Par contre, le verrou et le lève-verrou d'attelage du bout B du wagon CN 44257 étaient très usés.

2.2.1 Composants d'attelage

La largeur hors-tout du verrou était acceptable. Toutefois, un renforcement sur le côté du verrou causé par l'impact avec l'extrémité de la mâchoire d'attelage dépassait les limites. Même si le mécanisme de protection anticheminant de l'attelage fonctionnait normalement la plupart du temps lors de la fermeture de la mâchoire d'attelage, la tige de l'articulation Z du lève-verrou d'attelage se coinçait parfois dans le trou du verrou et empêchait le verrou de s'abaisser pour se loger à fond. L'usure du lève-verrou d'attelage a permis un mouvement latéral excessif de la tige de l'articulation Z, à tel point qu'elle empêchait parfois le bon fonctionnement du verrou.

En outre, des déformations mineures constatées sur l'arête supérieure de l'extrémité de la mâchoire et sur la surface correspondante du coin intérieur inférieur du verrou étaient caractéristiques d'un verrou partiellement en place, mais non logé à fond. Étant donné l'usure constatée, il est possible que cet état ait été antérieur à l'événement. L'usure à l'intérieur du lève-verrou d'attelage du bout B du wagon CN 44257 a permis un mouvement latéral excessif de la tige de l'articulation Z, au point où elle s'est coincée dans le trou du verrou, ce qui a empêché le verrou de s'abaisser et de se loger à fond. Par conséquent, le verrou n'était probablement que logé en partie après le premier attelage réussi de la manœuvre. La manœuvre a ainsi pu être tirée hors de la voie R-13 sans que s'ouvre la mâchoire d'attelage.

Ne disposant que des freins à air des locomotives, la manœuvre a amorcé son mouvement vers le nord. Alors que la manœuvre gravissait une pente ascendante vers le nord en tirant une rame de wagons pesant environ 9000 tonnes en direction de la voie de refoulement est, la force de tirage exercée sur la mâchoire d'attelage du bout B et sur l'attelage du wagon CN 44257 augmentait graduellement. Lorsque la charge maximale a été atteinte près du sommet de la voie de refoulement est, les arêtes partiellement engagées du verrou et de la mâchoire d'attelage ont cédé. Le verrou s'est soulevé et est sorti de son logement, la mâchoire d'attelage s'est ouverte, et la rame de 91 wagons est partie à la dérive.

2.2.2 Confirmation visuelle du lève-verrou d'attelage durant l'attelage

À la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN), le personnel de l'exploitation reçoit l'instruction de surveiller le bon alignement des articulations du lève-verrou d'attelage à manœuvre par le bas lorsqu'il vérifie un attelage. On s'assure ainsi que le verrou s'est bien logé pour maintenir la mâchoire d'attelage. Le chef de train en cause dans l'événement à l'étude connaissait bien les opérations de triage et avait reçu des notes de 100 % lors de contrôles d'efficacité sur l'attelage de matériel roulant.

Durant l'attelage du matériel, on doit aussi étirer l'attelage pour s'assurer de son intégrité. Dans l'événement à l'étude, le chef de train a tenté à 2 reprises d'atteler la manœuvre à la rame de wagons sur la voie R-13. Dans les 2 cas, le chef de train a observé l'attelage depuis sa position au sol et a étiré le mouvement pour vérifier l'attelage. La première tentative d'attelage a échoué, et la manœuvre s'est séparée de la rame de wagons quand on a étiré l'attelage. Peu de temps après, une seconde tentative d'attelage a semblé réussir.

Si le verrou n'était que partiellement logé, le lève-verrou d'attelage serait mal aligné après l'attelage, indiquant que le verrou ne s'était pas abaissé. Par conséquent, malgré une seconde tentative d'attelage en apparence réussie, le chef de train n'a probablement pas confirmé visuellement que le lève-verrou d'attelage du bout B du wagon CN 44257 était bien aligné. Il n'a pas non plus confirmé que le verrou était logé à fond avant d'amorcer le mouvement vers le nord.

Habituellement, quand une mâchoire d'attelage ne se verrouille pas comme prévu, elle s'ouvre lorsque l'on étire l'attelage. Toutefois, comme c'est le cas dans l'événement à l'étude, il arrive que des attelages dont le verrou est mal logé demeurent attelés durant l'étirement. Ces cas soulignent l'importance de confirmer visuellement le bon alignement du lève-verrou d'attelage au moment de l'attelage pour confirmer de nouveau que la mâchoire d'attelage est bien verrouillée. Si l'on ne confirme pas visuellement le bon alignement du lève-verrou d'attelage durant l'attelage, des attelages inadéquats peuvent passer inaperçus.

2.2.3 Lève-verrou d'attelage

Le lève-verrou d'attelage est un composant crucial qui assure le bon fonctionnement du mécanisme de verrouillage de la mâchoire d'attelage. Toutefois, il n'y a aucune exigence visant le remplacement du lève-verrou d'attelage, sauf lorsque celui-ci est rompu. Avec le temps, l'usure de ce composant peut faire qu'il se coince, ce qui accroît la probabilité d'un attelage raté et d'une séparation de train. À titre comparatif, il existe des seuils critiques pour la mâchoire d'attelage, un autre composant crucial, que l'on remplace souvent avant que son usure ne cause une séparation de train.

En mai 2015, la mâchoire d'attelage du bout B avait été remplacée à l'atelier Transcona du CN à Winnipeg (Manitoba). L'attelage du bout B avait été fabriqué en novembre 1981. L'attelage et ses autres composants étaient probablement les pièces d'origine du wagon, qui avait été construit en avril 1982. Seule la mâchoire d'attelage du bout B avait été remplacée, étant donné que les autres composants ne s'écartaient pas des normes. Le verrou et le lève-verrou d'attelage n'avaient pas été remplacés, étant donné l'absence de critères de remplacement de l'Association of American Railroads (AAR) pour ces composants. On ne les remplaçait que lorsqu'ils étaient rompus.

Il n'existe aucun gabarit pour inspecter un lève-verrou d'attelage. De plus, il n'y a aucune date de fabrication estampée ou moulée sur ce composant, pour lequel il n'y a aucune limite de durée de vie. Le document *2015 Field Manual of the AAR Interchange Rules* (règles de l'AAR) interdit l'installation de lève-verrou d'attelage usagés, mais on peut réinstaller ces composants sur des wagons si la mâchoire d'attelage ou le corps d'attelage a été remplacé, comme c'était le cas dans l'événement à l'étude. Comme un lève-verrou d'attelage ne peut

être remis à neuf, il faisait probablement partie de l'attelage d'origine. Le lève-verrou d'attelage avait probablement plus de 30 ans; il était usé au point où la tige de l'articulation Z s'est coincée dans le trou du verrou, ce qui a empêché le verrou de bien se loger. Si l'on n'établit pas de critères de remplacement définis ou de durée de vie déterminée pour les lève-verrou d'attelage, des lève-verrou d'attelage usés peuvent demeurer en service, ce qui accroît le risque de défaillances de mâchoires d'attelage et de séparations de train imprévues.

2.3 *Moyens de défense contre les mouvements imprévus ou non contrôlés durant les opérations de triage*

Sur son erre, la rame de wagons qui s'était séparée a continué de gravir la pente sur 700 pieds encore avant de ralentir et de s'immobiliser. Les wagons séparés ont changé de direction et sont partis à la dérive sur la pente descendante. Quand la séparation d'un train dans un triage donne lieu à un mouvement imprévu ou non contrôlé on doit tenter de reprendre la maîtrise des wagons, s'il est sécuritaire de le faire. On peut s'y prendre en serrant les freins à main, en déplaçant des locomotives à un endroit où elles peuvent ralentir le mouvement, ou en aiguillant les wagons sur une voie où on peut les arrêter en toute sécurité avec un risque minime de collision ou de déraillement. Or, pour mettre en œuvre ces approches, l'équipe de train doit savoir qu'il y a eu séparation de train. Ces mesures dépendent en outre de l'endroit où survient la séparation dans le mouvement et de la position du mouvement dans le triage.

Dans l'événement à l'étude, il n'y avait aucun opérateur de système de télécommande de locomotives (STL) à bord des locomotives. Le chef de train, qui travaillait seul, était bien positionné au sol à l'extrémité sud de la manœuvre, près de la voie d'accès à la voie de refoulement est. Comme la séparation est survenue à l'extrémité nord de la manœuvre, le chef de train n'a pas été en mesure de l'observer. Lorsque le mouvement a commencé à ralentir prématurément, le chef de train n'a pas immédiatement compris pourquoi la rame de wagons ralentissait. Lorsqu'il a été déterminé que les wagons s'étaient séparés et que le chef de triage en a été informé, la rame de wagons s'était déjà immobilisée. Les wagons ont commencé à dévaler la pente et à refaire leur trajectoire en sens inverse jusque sur la voie R-13. Cette situation a empêché l'intervention sécuritaire d'employés ou de locomotives du triage pour reprendre la maîtrise du mouvement non contrôlé.

L'extrémité sud de la rame de wagons n'avait pas dégagé l'aiguillage 18 au nord et occupait partiellement la voie d'accès à la voie de refoulement est, où il n'existe aucun moyen de ralentir des wagons.

À 13 h 20 min 14 s, la manœuvre a commencé à se déplacer vers le nord pour dégager la voie R-13. Environ 3 minutes plus tard, après qu'il en a reçu l'autorisation, le train 422 a commencé à s'engager sur la voie R-13 à son extrémité sud et s'est avancé lentement derrière la manœuvre pendant les quelque 7 à 8 minutes suivantes. Puisqu'il mesurait plus de 11 000 pieds et pesait plus de 10 000 tonnes, il était difficile de déplacer le train 422 en le faisant rouler en marche arrière. Dans ces conditions, une collision entre la rame de wagons non contrôlée, avec 24 wagons-citernes chargés de pétrole brut en tête, et le train 422 était inévitable. L'autorisation qu'avait reçue le train 422 de suivre la manœuvre sur la voie R-13 a

mis le train 422 en position vulnérable lorsque la manœuvre s'est séparée et que la rame non contrôlée de 91 wagons a roulé vers le sud jusque sur la voie R-13.

La rame de 91 wagons pesant environ 9000 tonnes s'est séparée de la manœuvre qui gravissait la voie de refoulement de butte en préparation au triage à butte. La rame de wagons s'est mise à reculer et est partie à la dérive en refaisant sa trajectoire. Elle a dévalé 4500 pieds sur une pente avant d'entrer en collision avec le train 422 sur le faisceau de réception. En cas de séparation de train durant des opérations de refoulement, il n'y avait aucun moyen de défense secondaire en place au triage MacMillan pour empêcher qu'une rame de wagons non contrôlée ne retourne vers le faisceau de réception. S'il n'y a aucun moyen de défense secondaire en place pour protéger contre les mouvements non contrôlés durant les opérations de refoulement à butte, une rame de wagons qui se sépare peut partir à la dérive sur la pente descendante, ce qui accroît le risque de collision avec d'autre matériel.

2.3.1 *Simulation de la dynamique du train*

Le triage MacMillan est la principale gare de triage du CN dans l'est du Canada. Chaque jour, des manœuvres gravissent des voies de refoulement en tirant des milliers de wagons. Ces mouvements imposants et lourds comprennent souvent des wagons de marchandises dangereuses (MD). Les voies de refoulement comprennent des pentes non négligeables. Par conséquent, lorsque survient une séparation de train imprévue durant les opérations de refoulement, la rame de wagons séparée peut partir à la dérive. Comme la plupart des gares de triage, le triage MacMillan a un profil concave pour faciliter la manœuvre des wagons sans utiliser le circuit de freins à air chargé des wagons de marchandises. On compte sur la déclivité de la voie, la résistance au roulement des wagons et les limites de vitesse dans le triage pour prévenir les conséquences graves de la séparation imprévue d'un train et d'un mouvement non contrôlé dans le triage. Toutefois, ce profil concave peut parfois s'avérer insuffisant.

Une simulation de la dynamique du train, faite en fonction des renseignements de la manœuvre en cause dans l'événement à l'étude, a permis de déterminer que si la trajectoire menant à la voie R-13 avait été libre, la rame non contrôlée de 91 wagons aurait continué de rouler vers le sud et aurait atteint l'extrémité sud de la voie R-13 à une vitesse d'environ 11 mi/h. On a obtenu des résultats comparables pour une rame de wagons non contrôlée de composition semblable et pesant 6000 tonnes. En fait, il en irait de même pour toute rame de wagons non contrôlée, peu importe sa masse. Par conséquent, si la trajectoire pour retourner vers la voie R-13 est libre, une rame de wagons non contrôlée (peu importe sa masse) poursuivra sa course pour traverser le faisceau de réception et atteindra l'extrémité sud de la voie R-13 à environ 11 mi/h. Elle continuera ainsi jusqu'aux voies d'arrivée du triage MacMillan, sans toutefois atteindre la voie principale.

2.3.2 *Utilisation des freins à air des wagons de marchandises durant les opérations de refoulement*

Les trains entrants arrivent au triage MacMillan par la subdivision de York ou la subdivision de Halton, à l'extrémité sud du triage. Les trains s'avancent sur les voies d'arrivée du côté est du triage jusqu'au faisceau de réception. Lorsqu'un train arrive au faisceau de réception, les

wagons sont garés et inspectés, et on purge le circuit de freins à air en préparation à des manœuvres sans freins à air dans le triage. Pour faciliter les opérations de manœuvre et de refoulement, de manière générale, seuls les freins à air des locomotives fonctionnent. Étant donné que seules les locomotives de butte groupées ont des freins à air qui fonctionnent durant les opérations de refoulement au triage MacMillan, s'il survient une séparation de train imprévue avant qu'un mouvement dégage l'aiguillage 18 au nord, il n'y a aucun moyen de défense secondaire en place pour empêcher la rame de wagons de partir à la dérive vers le faisceau de réception.

2.4 *Forces de collision*

Aucun des wagons de la rame n'a déraillé durant la collision. Par contre, plusieurs wagons vides du train 422 se sont mis en portefeuille à la verticale et ont été éjectés, tandis que plusieurs autres wagons derrière eux ont déraillé et se sont immobilisés dans diverses positions.

La rame de wagons non contrôlée avait une masse d'environ 8972 tonnes. Le point initial de collision a été avec la locomotive de tête (CN 2691) du train 422. La collision a duré de 0,0545 à 0,0552 seconde. La valeur seuil d'attelage de 150 000 kg de masse à une vitesse de 12 km/h (7,5 mi/h), spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD, équivaut à une force d'impact d'environ 1024 kips ou à une force d'accélération de 3,1 g sur 0,0552 seconde. À partir de ces observations, il peut être établi que la force d'impact calculée pour les 7 premiers wagons-citernes (du 85^e au 91^e) de la rame de wagons avait probablement dépassé le seuil d'attelage spécifié à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.

La force d'impact au point initial de collision entre le 91^e wagon (TGOX 155010), à la tête de la rame, et la locomotive de tête du train 422 allait de 3500 kips à 3800 kips. Cette force dépassait la capacité nominale de la coque du wagon-citerne, soit presque 4 fois supérieure à la valeur seuil d'attelage de 1024 kips spécifiée à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Dans le cas du 3^e wagon de la rame (TILX 281395, en 89^e position), la force d'impact était de 2600 kips à 2800 kips, soit presque 3 fois la valeur seuil d'attelage réglementaire. Durant l'examen détaillé du 3^e wagon, on n'a relevé aucun dommage qui aurait pu être attribuable à un attelage à vitesse excessive.

La collision est survenue sur des voies en alignement, et les forces de collision se sont exercées sur l'appareil de choc et de traction de la rame de wagons. Cela a atténué certaines des forces longitudinales sur les coques des wagons-citernes et réduit au minimum les forces latérales qui auraient pu causer des impacts de grande force, la mise en portefeuille et la rupture des wagons-citernes.

Les 8 premiers wagons derrière les locomotives du train 422 comprenaient 6 wagons vides, tandis que les 24 premiers wagons de la rame de wagons (du 68^e au 91^e) étaient des wagons-citernes chargés de pétrole brut. Même s'il y a bel et bien eu gauchissement des coques des wagons-citernes TGOX 155010 (91^e wagon) et TILX 255667 (90^e wagon), les forces de compression maximales atteintes durant la collision n'ont pas été de durée suffisante pour entraîner une défaillance catastrophique des coques. Une zone d'absorption s'est créée

lorsque les wagons vides ou légers près de la tête du train 422 se sont mis en portefeuille ou ont été éjectés. Cette zone d'absorption et les appareils de choc et de traction ont réduit la durée de la force maximale exercée sur les wagons-citernes chargés. Étant donné la composition du train 422, il est probable que le déraillement de ses wagons après la collision ait absorbé et dissipé une grande partie de l'énergie de la collision. La rame de wagons a ainsi pu demeurer intacte et à la verticale sur la voie et ne subir qu'un minimum de dommages.

2.5 Examen des wagons-citernes

L'article 10.7 du Règlement sur le TMD s'applique à l'attelage de matériel durant les opérations de triage à butte ou de manœuvre dans une gare de triage. Il ne vise pas à éviter les collisions entre des mouvements non contrôlés et du matériel stationnaire. Bien qu'un mouvement non contrôlé puisse occasionner un attelage à vitesse excessive, les critères de vitesse et d'inspection stipulés dans l'article 10.7 ne s'appliqueraient pas nécessairement à un tel cas.

Dans l'événement à l'étude, il y a eu collision des wagons-citernes chargés à l'extrémité sud de la rame de wagons alors qu'ils roulaient à environ 13 mi/h. Même si elles n'étaient pas requises, des inspections d'intégrité et des longrines tronquées ont été faites conformément à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD pour déterminer s'il était sécuritaire de remettre ces wagons en service.

La limite de faux rond stipulée dans le *Manual of Standards and Recommended Practices* (MSRP) de l'AAR pour ces wagons-citernes permet une déformation maximale de la coque de 1,1 pouce. Le gauchissement le plus fort d'une coque, relevé au bout A du wagon-citerne TGOX 155010, mesurait environ 1/2 pouce à la verticale. Ainsi, le gauchissement de la coque des wagons-citernes TGOX 155010 et TILX 255667 n'était pas critique. Toutefois, la règle 95 des règles de l'AAR interdit la livraison de wagons-citernes en échange si l'on sait que le bas d'une citerne présente une bosselure ou une pliure de 1/2 pouce ou plus. Ainsi, les dommages par gauchissement au bout A de la coque du wagon-citerne TGOX 155010 ont été réparés par la suite. Même si le gauchissement relevé sur les coques des wagons-citernes TGOX 155010 et TILX 255667 ne constituait pas un écart par rapport aux normes d'après la limite de faux rond stipulée dans le MSRP de l'AAR, le gauchissement de 1/2 pouce au bout A du wagon TGOX 155010 a exigé des réparations pour qu'il soit conforme à la règle 95 des règles de l'AAR.

Les dommages à la coque du wagon-citerne TGOX 155010 et certaines des fissures relevées seraient passés inaperçus si l'on n'avait pas partiellement retiré l'enveloppe externe et l'isolant pour faire un examen externe ou si l'on n'était pas descendu dans la citerne pour y faire un examen interne. S'il soupçonne un attelage à vitesse excessive, le personnel de la Mécanique d'une compagnie de chemin de fer devrait, par prudence, faire un examen visuel pour relever tout dommage. Toutefois, si l'examen d'un wagon-citerne après un attelage à vitesse excessive soupçonné se limite à un examen visuel superficiel par le personnel ferroviaire, les dommages à la coque ou les fissures dans les soudures qui sont dissimulés

par l'enveloppe externe et l'isolant d'une citerne pourraient passer inaperçus et ne pas être réparés, ce qui accroît le risque de défaillance du wagon-citerne.

2.6 Article 10.7 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses

En 1997, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a effectué des essais pour déterminer la vitesse maximale à laquelle on pouvait atteler des wagons-citernes de MD sans dépasser 1 000 000 de livres-force, ce qui correspondait à la spécification de force longitudinale minimale fixée par l'AAR pour les wagons-citernes. Les résultats de ces essais ont donné lieu à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD, entré en vigueur en 2002.

Les critères de vitesse d'attelage et de force d'impact spécifiés à l'article 10.7 visent à faire en sorte que, si un attelage dépasse le seuil établi pour des wagons-citernes transportant des marchandises réglementées, les wagons-citernes en cause soient immédiatement inspectés visuellement par le personnel ferroviaire pour déterminer s'ils peuvent circuler en toute sécurité. Ce règlement exige en outre que la compagnie de chemin de fer informe le propriétaire du wagon de tout attelage à vitesse excessive pour s'assurer qu'une inspection d'intégrité structurale et de la longrine tronquée ainsi que toutes les réparations nécessaires soient faites avant que les wagons en cause transportent de nouveau des MD.

2.6.1 Conformité de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Pour les opérations de triage à butte, le CN utilise son système de contrôle de triage à butte pour contrôler la vitesse des wagons et estimer la vitesse d'attelage des wagons. En 2002, le CN avait émis des instructions selon lesquelles le superviseur de triage à butte devait informer le responsable du transport en service si un wagon-citerne de MD faisait l'objet d'un attelage à vitesse excessive à la suite de manœuvres de triage à butte ou en palier. Le responsable du transport devait alors signaler l'incident au service Mécanique, qui devait faire une inspection de suivi et produire un rapport. Malgré ces instructions, avant février 2015, le CN ne disposait d'aucun processus officiel pour documenter les cas d'attelage à vitesse excessive de wagons-citernes de MD au triage MacMillan.

En février 2015, le CN a mis en place un protocole officiel pour inspecter et documenter les cas soupçonnés d'attelage à vitesse excessive survenus durant les opérations de triage à butte au triage MacMillan. Toutefois, aucun processus semblable n'a été mis en place pour documenter les attelages à vitesse excessive durant les manœuvres de triage en palier. De février 2015 à décembre 2015, il y a eu 279 cas d'attelage à vitesse excessive de 448 wagons-citernes de MD dont la vitesse d'attelage estimée était de 12 km/h (7,5 mi/h) ou plus. Malgré le fait qu'il a relevé 448 wagons-citernes de MD pour lesquels une intervention était nécessaire aux termes de l'article 10.7 du Règlement sur le TMD, le CN a informé les propriétaires et a fait inspecter la longrine tronquée de ces wagons-citernes dans moins de 3 % des cas (13 sur 448).

2.6.2 *Surveillance réglementaire*

Une enquête du BST sur une collision à vitesse excessive au triage MacMillan survenue en 2003 a permis de déterminer que les inspecteurs de transport de marchandises dangereuses (TMD) de Transports Canada (TC) n'avaient reçu aucune instruction sur la façon d'évaluer la conformité d'une compagnie de chemin de fer à la réglementation sur la vitesse d'attelage. Les inspecteurs TMD ne savaient pas vraiment non plus comment les chemins de fer se conformaient à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Ils ont supposé que les chemins de fer assuraient le suivi approprié après un attelage à vitesse excessive. Malgré ces suppositions, la Direction générale du TMD de TC n'avait aucune trace écrite de quelque activité de surveillance ou de suivi relativement à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.

La Direction générale du TMD avait écarté l'utilisation d'un pistolet radar pour mesurer les vitesses d'attelage réelles dans une gare de triage achalandée, car elle considérait cette approche non sécuritaire pour les inspecteurs TMD qui effectuaient cette tâche. Comme l'article 10.7 du Règlement sur le TMD se fonde sur des vitesses d'attelage réelles, on considère qu'il est impossible de prendre des mesures d'application en fonction de la vitesse calculée au moyen du système de distance avant attelage (DAA). En effet, ni l'organisme de réglementation ni les compagnies de chemin de fer n'ont de processus ou de système en place pour mesurer la vitesse d'attelage réelle durant les opérations de triage à butte. Comme le règlement repose sur des mesures de vitesse réelles, et comme les compagnies de chemin de fer et l'organisme de réglementation n'ont aucun moyen pour mesurer les vitesses d'attelage, il n'y a pas eu de mise en application de l'article 10.7 du Règlement sur le TMD à l'échelle du secteur ferroviaire.

2.6.3 *Risques liés à la non-conformité et au manque de mise en application*

Beaucoup de wagons-citernes étaient demeurés en service après un attelage à vitesse excessive soupçonné, sans qu'ils aient été inspectés comme le stipule l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Le secteur ferroviaire et l'organisme de réglementation sont au courant de cette situation depuis au moins 2004. Cette année-là, le BST avait émis une préoccupation liée à la sécurité. En effet, le BST estimait qu'en l'absence de moyens pour mesurer directement les vitesses d'attelage réelles ou les forces longitudinales générées durant l'attelage, les protocoles de triage à butte permettraient aux wagons-citernes qui font l'objet d'attelages à vitesse excessive de demeurer en service.

Bon nombre des wagons-citernes de MD qui subissent un attelage à vitesse excessive font l'objet d'une inspection visuelle par le personnel ferroviaire. Or, les dommages aux endroits cruciaux sont parfois cachés, et les wagons ne sont pas nécessairement transportés à des installations de réparation pour y subir une inspection de la longrine tronquée. Lorsque les wagons-citernes de MD en cause sont dotés d'une enveloppe externe et d'isolant, les dommages et les fissures dans les endroits critiques passeraient inaperçus sans le retrait partiel de l'enveloppe externe et de l'isolant pour faire un examen externe, ou sans que l'on descende dans la citerne pour y faire un examen interne. Faute de se conformer à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD ou de le faire respecter, un wagon-citerne de MD doté d'une enveloppe externe et d'isolant qui subit des dommages durant un attelage à vitesse

excessive pourrait demeurer en service, ce qui accroît le risque d'une défaillance en service d'un wagon-citerne de MD.

2.7 *Recours à la télémétrie embarquée*

En 2016, le CN a mis en œuvre un projet pilote pour déterminer s'il était possible d'enregistrer avec exactitude les vitesses d'attelage dans les triages à butte. À partir des vitesses d'attelage calculées d'après la distance avant attelage (DAA) et estimées par le système de triage à butte, le CN a détecté 100 wagons-citernes de MD dont la vitesse d'attelage avait pu être supérieure à (>) 8 mi/h. Ces wagons ont été inspectés par le personnel du service Mécanique du CN, puis transportés à un atelier pour wagons-citernes où ils ont subi une inspection détaillée, conformément à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD. Toutefois, aucun de ces 100 wagons ne présentait quelque dommage que ce soit à la longrine tronquée, à la cale de bout de citerne ou à la coque qui pouvait être attribuable à un attelage à vitesse excessive. Le CN a déterminé qu'il était impossible de mesurer avec exactitude les vitesses d'attelage dans les triages à butte au moyen de la prédiction automatisée des vitesses d'attelage.

Depuis au moins une quinzaine d'années dans le secteur ferroviaire, on utilise la technologie de télémétrie pour faire un suivi de la position du matériel roulant ferroviaire et de ses conditions d'exploitation particulières. Au fil du temps, la technologie a évolué à mesure que la durée de vie des piles a augmenté, et les capacités de surveillance se sont élargies à mesure que de nouveaux paramètres se sont ajoutés. Aujourd'hui, on peut générer des données assez fiables sur l'accélération et la force en calibrant le type de wagon et en normalisant l'endroit où l'on installe les appareils. Les données consignées sur les impacts de wagons-citernes peuvent être comparées aux inscriptions d'heure et de lieu, et aux dossiers de réparations des wagons.

On dénombre plusieurs fournisseurs de cette technologie, et on estime que plus de 40 000 wagons de marchandises sont aujourd'hui dotés d'appareils de télémétrie. Ces appareils enregistrent systématiquement la date, l'heure, le lieu, les coordonnées du système mondial de positionnement (GPS) de même que les accélérations, y compris leur durée et les événements de force maximale dans les axes horizontal, vertical et longitudinal. Ces données sont normalement téléchargées à intervalles réguliers, ainsi que lorsqu'un événement se produit. Les données sont transmises par un réseau cellulaire ou satellite à un serveur central.

Dans l'événement à l'étude, on a récupéré un module d'acquisition des données IONX du 3^e wagon-citerne de la rame de wagons non contrôlée depuis le point de collision (TILX 281395). Les données de ce module ont fourni un moyen utile et fiable de calculer la vitesse au moment de l'impact ainsi que la force d'impact qui a été générée. Le recours à la technologie de télémétrie embarquée présente au secteur ferroviaire des occasions de mieux comprendre l'environnement de forces dans lequel les wagons-citernes sont exploités, de cerner les facettes des opérations à risque élevé, et d'offrir une méthode plus fiable de surveillance de la vitesse et des forces d'impact durant les attelages à vitesse excessive ou les accidents.

2.8 *Système de gestion de la sécurité*

Des systèmes de gestion de la sécurité (SGS) ont été progressivement mis en œuvre dans l'industrie des transports au Canada parce que l'on considère que cette approche à la surveillance réglementaire, combinée aux inspections et aux mesures d'application, réduit efficacement les taux d'accidents. Toute compagnie de chemin de fer devrait analyser ses opérations ferroviaires de façon continue afin d'assurer sa conformité réglementaire et de cerner toute préoccupation liée à la sécurité, comme les mouvements de train imprévus et non contrôlés, en analysant les tendances, les tendances émergentes ou les situations dangereuses répétées. Un SGS rigoureux doit permettre de saisir, de documenter et d'analyser de tels événements en vue de prendre rapidement des mesures pour réduire les risques à l'avenir.

Le CN avait élaboré et mis en œuvre un SGS détaillé qu'il avait intégré dans la plupart de ses opérations. Ce SGS décrivait les initiatives de la compagnie qui se rapportent au *Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* (Règlement sur le SGS). Ce SGS comprenait un processus pour assurer la conformité à la réglementation, aux règles et à d'autres instruments, ainsi qu'un processus pour cerner les préoccupations liées à la sécurité. Toutefois, comme le montre l'événement à l'étude, il y avait des lacunes dans le SGS du CN, entre autres :

- De 2002 à 2016 au moins, le CN ne s'est pas entièrement conformé à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD.
- Même s'il s'était doté d'instructions pour traiter les cas soupçonnés d'attelage à vitesse excessive de wagons-citernes de MD, le CN n'avait aucun dossier fiable de tels cas au triage MacMillan avant février 2015. Sans données fiables, il était impossible de déterminer la fréquence des attelages à vitesse excessive de wagons-citernes de MD, et aucune analyse ne pouvait être faite pour déterminer si les risques opérationnels liés au triage à butte ou aux manœuvres de wagons-citernes de MD étaient émergents, s'amélioraient ou s'aggravaient.
- Le CN exigeait la documentation de toute séparation de train imprévue sur une voie principale. Il n'y avait toutefois aucune exigence de signalement des séparations de train imprévues dans un triage, à moins qu'elles n'entraînent un événement plus grave comme une collision, un déraillement ou une blessure à un employé. En l'absence de dossier exact ou d'analyse des tendances des séparations de train imprévues dans les triages, un nouvel enjeu opérationnel dangereux risque de passer inaperçu avant qu'un événement fâcheux ne se produise.

Si le SGS d'une compagnie ne comprend pas de processus adéquat pour documenter la conformité réglementaire à l'article 10.7 du Règlement sur le TMD, ou pour consigner toutes les séparations de train imprévues qui entraînent un mouvement non contrôlé dans un triage, on rate des occasions d'analyser ces événements et de prendre des mesures correctives pour atténuer les risques et améliorer la sécurité.

2.9 *Évacuation du personnel*

Lorsque le chef de train s'est rendu compte qu'il y avait probablement eu séparation de train, il a informé le chef de triage de la situation. À 13 h 27 min 10 s, la rame de 91 wagons a ralenti et s'est immobilisée, après quoi le chef de triage a consulté une caméra vidéo dans le triage pour confirmer que la rame de wagons était partie à la dérive vers le sud. Au cours des 4 minutes qui ont suivi, le chef de triage a communiqué à 3 reprises avec les membres de l'équipe du train 422 pour les informer qu'une rame non contrôlée de 91 wagons se dirigeait vers eux avec en tête des wagons-citernes chargés de liquides inflammables. Un avertissement a également été émis à l'intention du personnel de la Mécanique qui travaillait sur des voies avoisinantes. Une fois qu'il était évident qu'une collision était inévitable, le chef de triage a agi promptement pour que l'équipe du train 422 et le personnel de la Mécanique qui travaillait à proximité aient le temps de quitter les lieux et de se mettre à l'abri.

L'équipe du train 422 s'est d'abord éloignée du train, avant de se rapprocher à une vingtaine de pieds de la locomotive de tête alors qu'approchait la rame de wagons. Lorsque l'extrémité sud de la rame de wagons a percuté de plein fouet le train 422, l'équipe de train a rapidement évacué les lieux pour éviter les blessures. Malgré l'avertissement de collision imminente qu'elle avait reçu et son évacuation des lieux, l'équipe du train 422 s'est rapprochée de la locomotive de tête et se trouvait dans une position vulnérable lorsque la collision s'est produite.

2.10 *Statistiques sur les mouvements imprévus ou non contrôlés*

De 2007 à 2016, il y a eu 392 mouvements imprévus ou non contrôlés au Canada. Environ 24 % (95 sur 392) de tous les mouvements imprévus ou non contrôlés au Canada étaient liés à des manœuvres sans freins à air, comme c'est le cas dans l'événement à l'étude. De ces 392 événements, 47 % (186 sur 392) ont donné lieu à une collision, tandis que 17 % (65 sur 392) ont eu une incidence sur une ligne principale.

Depuis 1994, le BST a enquêté sur 27 événements (y compris celui à l'étude) qui mettaient en cause du matériel roulant parti à la dérive (annexe A). Un certain nombre d'entre eux ont été lourds de conséquences, provoquant notamment des décès. Même si le nombre d'événements de matériel roulant à la dérive a diminué à 31 en 2014, ce nombre a depuis augmenté à 42 en 2015 et en 2016. La moyenne quinquennale (39,6) est presque identique à la moyenne décennale (39,2). Le nombre d'événements de matériel roulant parti à la dérive n'a pas diminué au cours des 10 dernières années.

3.0 *Faits établis*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. L'accident s'est produit lorsqu'une rame de 91 wagons pesant environ 9000 tonnes s'est séparée de la manœuvre qui gravissait la voie de refoulement est en direction nord, en préparation au triage à butte.
2. Seuls les freins à air des locomotives de commande étaient actifs de sorte qu'une fois séparée de la manœuvre, la rame non contrôlée de wagons, avec en tête 24 wagons-citernes chargés de pétrole brut (UN 1267), a dévalé une pente descendante vers le sud sur une distance d'environ 4500 pieds, jusque sur la voie R-13 avant d'entrer en collision avec le train 422 à environ 13 mi/h.
3. L'usure à l'intérieur du lève-verrou d'attelage du bout B du wagon CN 44257 a permis un mouvement latéral excessif de la tige de l'articulation Z, au point où elle s'est coincée dans le trou du verrou, ce qui a empêché le verrou de s'abaisser et de se loger à fond.
4. Le verrou n'était probablement que logé en partie après le premier attelage réussi de la manœuvre. La manœuvre a ainsi pu être tirée hors de la voie R-13 sans que s'ouvre la mâchoire d'attelage.
5. Lorsque la charge maximale a été atteinte près du sommet de la voie de refoulement est, les arêtes partiellement engagées du verrou et de la mâchoire d'attelage ont cédé. Le verrou s'est soulevé et est sorti de son logement, la mâchoire d'attelage s'est ouverte, et la rame de 91 wagons est partie à la dérive.
6. Malgré une seconde tentative d'attelage en apparence réussie, le chef de train n'a probablement pas confirmé visuellement que le lève-verrou d'attelage du bout B du wagon CN 44257 était bien aligné. Il n'a pas non plus confirmé que le verrou était logé à fond avant d'amorcer le mouvement vers le nord.
7. Lorsqu'il a été déterminé que les wagons s'étaient séparés et que le chef de triage en a été informé, la rame de wagons s'était déjà immobilisée. Les wagons ont commencé à dévaler la pente et à refaire leur trajectoire en sens inverse jusque sur la voie R-13. Cette situation a empêché l'intervention sécuritaire d'employés ou de locomotives du triage pour reprendre la maîtrise du mouvement non contrôlé.
8. L'extrémité sud de la rame de wagons n'avait pas dégagé l'aiguillage 18 au nord et occupait partiellement la voie d'accès à la voie de refoulement est, où il n'existe aucun moyen de ralentir des wagons.
9. L'autorisation qu'avait reçue le train 422 de suivre la manœuvre sur la voie R-13 a mis le train 422 en position vulnérable lorsque la manœuvre s'est séparée et que la rame non contrôlée de 91 wagons a roulé vers le sud jusque sur la voie R-13.

10. Étant donné la composition du train 422, il est probable que le déraillement de ses wagons après la collision ait absorbé et dissipé une grande partie de l'énergie de la collision. La rame de wagons a ainsi pu demeurer intacte et à la verticale sur la voie et ne subir qu'un minimum de dommages.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Si l'on n'établit pas de critères de remplacement définis ou de durée de vie déterminée pour les lève-verrou d'attelage, des lève-verrou d'attelage usés peuvent demeurer en service, ce qui accroît le risque de défaillances de mâchoires d'attelage et de séparations de train imprévues.
2. S'il n'y a aucun moyen de défense secondaire en place pour protéger contre les mouvements non contrôlés durant les opérations de refoulement à butte, une rame de wagons qui se sépare peut partir à la dérive sur la pente descendante, ce qui accroît le risque de collision avec d'autre matériel.
3. Si l'examen d'un wagon-citerne après un attelage à vitesse excessive soupçonné se limite à un examen visuel superficiel par le personnel ferroviaire, les dommages à la coque ou les fissures dans les soudures qui sont dissimulés par l'enveloppe externe et l'isolant d'une citerne pourraient passer inaperçus et ne pas être réparés, ce qui accroît le risque de défaillance du wagon-citerne.
4. Faut de se conformer à l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* ou de le faire respecter, un wagon-citerne de marchandises dangereuses (MD) doté d'une enveloppe externe et d'isolant qui subit des dommages durant un attelage à vitesse excessive pourrait demeurer en service, ce qui accroît le risque d'une défaillance en service d'un wagon-citerne de MD.
5. Si le système de gestion de la sécurité d'une compagnie ne comprend pas de processus adéquat pour documenter la conformité réglementaire à l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, ou pour consigner toutes les séparations de train imprévues qui entraînent un mouvement non contrôlé dans un triage, on rate des occasions d'analyser ces événements et de prendre des mesures correctives pour atténuer les risques et améliorer la sécurité.

3.3 *Autres faits établis*

1. Si l'on ne confirme pas visuellement le bon alignement du lève-verrou d'attelage durant l'attelage, des attelages inadéquats peuvent passer inaperçus.
2. Si la trajectoire pour retourner vers la voie R-13 est libre, une rame de wagons non contrôlée (peu importe sa masse) poursuivra sa course pour traverser le faisceau de réception et atteindra l'extrémité sud de la voie R-13 à environ 11 mi/h. Elle continuera ainsi jusqu'aux voies d'arrivée du triage MacMillan, sans toutefois atteindre la voie principale.

3. Étant donné que seules les locomotives de butte groupées ont des freins à air qui fonctionnent durant les opérations de refoulement au triage MacMillan, s'il survient une séparation de train imprévue avant qu'un mouvement dégage l'aiguillage 18 au nord, il n'y a aucun moyen de défense secondaire en place pour empêcher la rame de wagons de partir à la dérive vers le faisceau de réception.
4. La force d'impact calculée pour les 7 premiers wagons-citernes (du 85^e au 91^e) de la rame de wagons avait probablement dépassé le seuil d'attelage spécifié à l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*.
5. Même si le gauchissement relevé sur les coques des wagons-citernes TGOX 155010 et TILX 255667 ne constituait pas un écart par rapport aux normes d'après la limite de faux rond stipulée dans le *Manual of Standards and Recommended Practices* de l'Association of American Railroads (AAR), le gauchissement de 1/2 pouce au bout A du wagon TGOX 155010 a exigé des réparations pour qu'il soit conforme à la règle 95 du *2015 Field Manual of the AAR Interchange Rules*.
6. Comme le règlement repose sur des mesures de vitesse réelles, et comme les compagnies de chemin de fer et l'organisme de réglementation n'ont aucun moyen pour mesurer les vitesses d'attelage, il n'y a pas eu de mise en application de l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* à l'échelle du secteur ferroviaire.
7. Le recours à la technologie de télémétrie embarquée présente au secteur ferroviaire des occasions de mieux comprendre l'environnement de forces dans lequel les wagons-citernes sont exploités, de cerner les facettes des opérations à risque élevé, et d'offrir une méthode plus fiable de surveillance de la vitesse et des forces d'impact durant les attelages à vitesse excessive ou les accidents.
8. Une fois qu'il était évident qu'une collision était inévitable, le chef de triage a agi promptement pour que l'équipe du train 422 et le personnel de la Mécanique qui travaillait à proximité aient le temps de quitter les lieux et de se mettre à l'abri.
9. Malgré l'avertissement de collision imminente qu'elle avait reçu et son évacuation des lieux, l'équipe du train 422 s'est rapprochée de la locomotive de tête et se trouvait dans une position vulnérable lorsque la collision s'est produite.
10. Le nombre d'événements de matériel roulant parti à la dérive n'a pas diminué au cours des 10 dernières années.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Le 31 juillet 2015, la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) a émis l'avis du réseau n° 909 intitulé *Ensuring the lock block is properly secured in couplers* [S'assurer que le verrou est bien logé dans les attelages].³⁶ D'après cet avis :

[Traduction]

En 2014, le CN a recensé plus de 100 événements d'ouverture de mâchoire d'attelage qui ont causé une séparation de train en voie principale. Cette situation peut se produire lorsqu'un verrou ou « axe » est mal logé.

La figure 1 montre un attelage sécuritaire avec le verrou bien logé – les 2 articulations sont alignées et parallèles au sol. La figure 2 montre un verrou qui n'est pas logé.

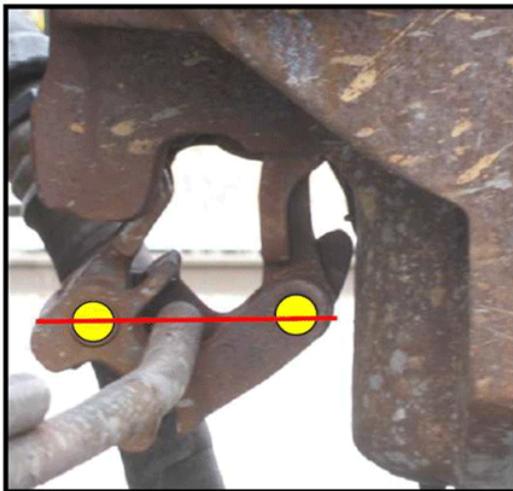


Figure 1 : axe logé correctement

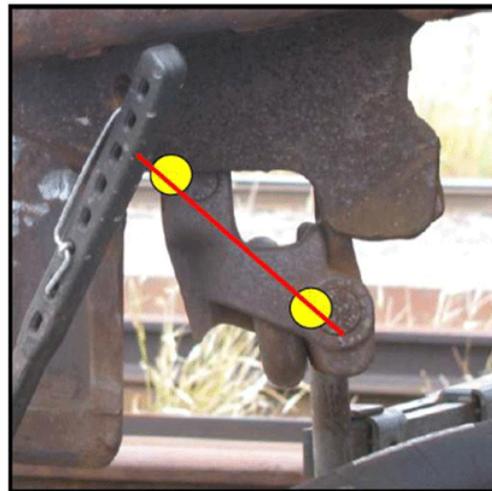


Figure 2 : axe NON logé

1. Lorsque l'on inspecte un attelage, on doit vérifier que l'alignement des articulations est conforme à l'image de gauche; les wagons sont ainsi bien attelés.
2. Durant une inspection au défilé, on doit s'assurer que le lève-verrou d'attelage est en place (figure 1).
3. Si le verrou est mal logé, on doit avertir l'équipe de train, qui doit faire un arrêt dirigé; on doit ensuite refaire correctement l'attelage.
4. Lorsqu'un attelage fonctionne mal, on doit demander l'aide du personnel de la Mécanique pour corriger tout problème.

³⁶ J.L. Whitt, System Notice No. 909, « Ensuring the lock block is properly secured in couplers, Eastern and Western Regions Operating Practices » (31 juillet 2015).

4.1.2 *Transports Canada*

Le 5 août 2015, Transports Canada (TC) a fait une inspection générale de conformité au triage MacMillan qui a permis de relever une non-conformité relativement à une plaque endommagée au bout A d'un wagon. On a porté à l'attention du CN les exigences de l'article 10.7 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (Règlement sur le TMD).

Le 12 mai 2016, TC a fait une inspection sur place au triage MacMillan du CN afin de vérifier la conformité par rapport aux données pour tous les événements d'attelage violent et aux dossiers d'avis aux propriétaires de wagons-citernes de marchandises dangereuses pour ce lieu au cours de l'année précédente. Durant l'inspection, les inspecteurs de TC ont remarqué que les propriétaires de wagons-citernes n'étaient pas informés par écrit, contrairement à l'alinéa 10.7 (3) (b) du Règlement sur le TMD. Par conséquent, TC a pris des mesures réglementaires en émettant un avis d'infraction au CN. Le CN a répondu en prenant des mesures pour corriger les non-conformités, et TC continue de collaborer avec le CN au chapitre de la surveillance, y compris la réception de copies conformes des communications écrites du CN aux propriétaires de wagons-citernes, conformément aux exigences du Règlement sur le TMD.

La Direction générale du transport des marchandises dangereuses (TMD) est à mettre au point un projet de recherche pour déterminer les forces d'attelage, les accélérations de wagon, et les contraintes et forces qui s'exercent sur les longrines tronquées des wagons-citernes en service. Ce projet comprendra des solutions de télémétrie embarquées fabriquées sur mesure et disponibles sur le marché. Ainsi, la Direction générale du TMD et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) préparent un énoncé des travaux pour un projet de surveillance de wagons-citernes en service commercial. Ce projet vise à mieux comprendre l'environnement d'exploitation des wagons-citernes et des marchandises qu'ils transportent. Ce projet servira également d'étude pilote pour évaluer la faisabilité et les avantages d'un éventuel déploiement à grande échelle de technologies de télémétrie par capteurs sur les parcs de wagons-citernes.

Le projet comprendra 2 phases de déploiement des instruments réparties sur 2 exercices financiers, sur certains wagons-citernes commerciaux :

- Dans le cas du 1^{er} déploiement, 90 wagons seront dotés de capteurs durant une période de 6 à 12 mois. Ces instruments serviront principalement à consigner les positions sur les voies où surviennent de fortes accélérations de wagons par rapport aux conditions normales établies, à cause de changements dans l'état des voies, l'exploitation des trains, et les conditions météorologiques.
- Pour le 2^e déploiement, 10 wagons seront dotés de capteurs durant une période de 6 mois pour surveiller de plus près des conditions de performance des wagons-citernes et des voies, comme les chocs violents, les forces dynamiques du train, les conditions de chargement, les fuites de marchandises dangereuses, l'efficacité des freins à air, et la pression de vapeur.

Le CNRC effectuera les essais dans le cadre du projet. La Direction générale du TMD évaluera les conclusions du projet, qui guideront toute autre décision en matière de réglementation.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 13 septembre 2017. Le rapport a été officiellement publié le 26 octobre 2017.

Correction

Après la publication de ce rapport, le BST a obtenu de nouveaux renseignements concernant la pente de la voie de même que l'effort de traction et les forces de traction des locomotives et des auxiliaires de traction, renseignements qui étaient incorrects dans le rapport original.

Par conséquent, dans la description du profil de la voie à la section 1.4, l'expression « le sommet de la butte » a été remplacée par « l'aiguillage 18 »; la pente entre le point le plus élevé de la voie de refoulement est et l'aiguillage 18 a été corrigée de 0,6 % à 0,5 %; on a clairement expliqué qu'au sud de l'aiguillage 18, la voie d'accès à la voie de refoulement est descend sur 800 pieds selon une pente moyenne, et non maximale, de 2,5 %, puis s'adoucit. On a ajouté une remarque à la Figure 5 (profil de la voie) pour indiquer que la figure n'est pas à l'échelle.

Les calculs figurant dans les deux derniers paragraphes de la section 1.20 ont été éliminés, et l'énoncé du dernier paragraphe indiquant que « [l]es procédures d'exploitation du CN au triage MacMillan ne prévoient aucune limite opérationnelle en matière de tonnage train à manœuvrer durant les opérations de refoulement en préparation au triage à butte » a été aussi éliminé.

En raison des calculs incorrects, la section 2.5 originale intitulée « Forces de traction en-train durant les opérations de refoulement » a été éliminée, de même que les faits établis connexes suivants : le fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs 11 : « Les forces de traction en-train durant les opérations de refoulement au triage MacMillan ont dépassé les paramètres d'exploitation sécuritaire décrits dans le *Train Make-up Manual* de l'Association of American Railroads », et le fait établi quant aux risques 3 : « Si on ne tient pas compte des forces de traction en-train durant les opérations de refoulement en préparation au triage à butte, des forces de tirage excessives pourraient entraîner la défaillance d'une mâchoire d'attelage et une séparation de train, ce qui accroît les risques de mouvements imprévus ou non contrôlés ».

Cette correction a été approuvée par le Bureau le 22 février 2023; la version corrigée du rapport a été publiée le 5 avril 2023.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.

Annexes

Annexe A – Enquêtes du BST sur des mouvements non contrôlés

Numéro	Numéro d'événement	Date	Description	Endroit
1.	R16W0059	2016-03-01	Matériel roulant à la dérive, Cando Rail Services, Co-op Refinery Complex, point milliaire 91,10, subdivision de Quappelle	Regina (Saskatchewan)
2.	R15D0103	2015-10-29	Wagons partis à la dérive et déraillement en voie non principale, Chemin de fer Canadien Pacifique, rame de wagons entreposée, point milliaire 2,24, embranchement d'Outremont	Montréal (Québec)
3.	R13D0054	2013-07-06	Train parti à la dérive et déraillement en voie principale, train de marchandises MMA-002 de la Montreal, Maine & Atlantic Railway, point milliaire 0,23, subdivision de Sherbrooke	Lac-Mégantic (Québec)
4.	R12E0004	2012-01-18	Collision en voie principale entre du matériel roulant à la dérive et le train A45951-16 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 44,5, subdivision de Grande Cache	Hanlon (Alberta)
5.	R11Q0056	2011-12-11	Train parti à la dérive, train de marchandises LIM-55 du Chemin de fer QNS&L, point milliaire 67,20, subdivision de Wacouana	Dorée (Québec)
6.	R09D0053	2009-09-09	Collision hors d'une voie principale, locomotive 6425 de VIA Rail Canada Inc., Centre de maintenance de Montréal	Montréal (Québec)
7.	R09T0057	2009-02-11	Train à la dérive et déraillement hors d'une voie principale, Southern Ontario Railway, train de manœuvre 0900 d'Hagersville, points milliaires 0,10 et 1,9, embranchement Hydro	Nanticoke (Ontario)
8.	R08V0270	2008-12-29	Train parti à la dérive et collision hors d'une voie principale, Kettle Falls International Railway, mission de Waneta, point milliaire 141,20, subdivision de Kettle Falls	Waneta (Colombie-Britannique)
9.	R07H0015	2007-07-04	Matériel roulant à la dérive, Chemin de fer Canadien Pacifique, tranche de wagons à la dérive, point milliaire 119,5, subdivision de Winchester	Smiths Falls (Ontario)
10.	R07V0109	2007-04-23	Déraillement sur une voie autre que la voie principale, Kootenay Valley Railway, manœuvre 0700 Trail, point milliaire 19,0, subdivision de Rossland	Trail (Colombie-Britannique)

Numéro	Numéro d'événement	Date	Description	Endroit
11.	R06V0183	2006-09-03	Train à la dérive et déraillement, train de travaux 114 du White Pass and Yukon Railway, point milliaire 36,5, subdivision Canadian	Log Cabin (Colombie-Britannique)
12.	R06V0136	2006-06-29	Matériel roulant parti à la dérive et déraillement, train de marchandises L-567-51-29 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 184,8, subdivision de Lillooet	près de Lillooet (Colombie-Britannique)
13.	R05H0011	2005-05-02	Wagons à la dérive et collision en voie principale, train de marchandises numéro 441 de l'Ottawa Central Railway, point milliaire 34,69, subdivision d'Alexandria	Maxville (Ontario)
14.	R04V0100	2004-07-08	Matériel roulant à la dérive, train M-359-51-07 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 57,7, subdivision de Fraser	Bend (Colombie-Britannique)
15.	R03T0026	2003-01-21	Collision dans un triage, Chemin de fer Canadien Pacifique, wagon numéro HOKX 111044, point milliaire 197,0, subdivision de Belleville, triage de Toronto	Agincourt (Ontario)
16.	R03T0047	2003-01-22	Collision dans un triage, wagon-citerne PROX 77811 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 25,0, subdivision de York	Toronto (Ontario)
17.	R99D0159	1999-08-27	Wagons partis à la dérive, Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 69,4, subdivision de Kingston, embranchement Wesco	Cornwall (Ontario)
18.	R98M0029	1998-09-24	Dérive de wagons, collision et déraillement en voie principale, train numéro A402-21-24 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 105,4, subdivision de Mont-Joli du Chemin de fer de la Matapédia	Mont-Joli (Québec)
19.	R98M0020	1998-07-31	Dérive d'un wagon et collision en voie principale, train de voyageurs numéro 14 de VIA Rail Canada Inc. et un five-pak à la dérive, point milliaire 105,7, subdivision de Mont-Joli du Chemin de fer de la Matapédia	Mont-Joli (Québec)
20.	R97C0147	1997-12-02	Dérive de wagons et déraillement, Chemin de fer Canadien Pacifique, train numéro 353-946, subdivision de Laggan	Field (Colombie-Britannique)

Numéro	Numéro d'événement	Date	Description	Endroit
21.	R96C0172	1996-08-12	Collision en voie principale, Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, train numéro 117 et 20 wagons partis à la dérive, point milliaire 122,9, subdivision d'Edson	Près d'Edson (Alberta)
22.	R96C0209	1996-10-09	Wagons partis à la dérive, Chemin de fer Canadien Pacifique, manœuvre de triage CP 0700, point milliaire 166,2, subdivision de Willingdon, voie d'échange de Clover Bar	Edmonton (Alberta)
23.	R96T0137	1996-04-24	Cinq wagons-citernes partis à la dérive, Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 0,0, subdivision de Hagersville	Nanticoke (Ontario)
24.	R96C0086	1996-04-13	Train parti à la dérive, Chemin de fer Canadien Pacifique, train de marchandises numéro 607-042, point milliaire 133,0, subdivision de Laggan	Field (Colombie-Britannique)
25.	R95M0072	1995-12-14	Wagons partis à la dérive, Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, train numéro 130-13, point milliaire 0,0, subdivision de Pelletier	Edmundston (Nouveau-Brunswick)
26.	R94V0006	1994-01-18	Train parti à la dérive, Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, point milliaire 175, subdivision de Grande Cache	Latornell (Alberta)