



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE R15H0013



Déraillement en voie principale

Compagnie des chemins de fer nationaux du
Canada

Train de marchandises U70451-10

Point milliaire 111,7, subdivision de Ruel

Gladwick (Ontario)

14 février 2015

Canada 

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 R15H0013

No de cat. TU3-6/15-0013F-PDF
ISBN 978-0-660-07281-4

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 R15H0013

Déraillement en voie principale

Compagnie des chemins de fer nationaux du
Canada

Train de marchandises U70451-10

Point milliaire 111,7, subdivision de Ruel
Gladwick (Ontario)

14 février 2015

Résumé

Le 14 février 2015, vers 23 h 35 (heure normale de l'Est), le train-bloc de pétrole brut U70451-10 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) circulait vers l'est à environ 38 mi/h dans la subdivision de Ruel du CN lorsqu'un freinage d'urgence provenant de la conduite générale s'est produit au point milliaire 111,7, à Gladwick, près de Gogama (Ontario). Une inspection subséquente a permis de constater que les wagons 7 à 35 (29 wagons au total) avaient déraillé. Dix-neuf wagons-citernes ont subi des brèches, et environ 1,7 million de litres de pétrole brut ont été rejetés dans l'atmosphère ou dans le sol. Le produit rejeté s'est enflammé et a brûlé pendant 5 jours. Le déraillement a détruit quelque 900 pieds de voie principale. Il n'y a eu aucune évacuation ni aucun blessé.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0	Renseignements de base	1
1.1	L'accident.....	1
1.2	Examen des lieux.....	2
1.3	Conditions météorologiques	4
1.4	Marchandises dangereuses.....	5
1.4.1	Liquides inflammables de classe 3	5
1.4.2	Pétrole brut.....	6
1.4.3	Procédures d'intervention d'urgence en présence de pétrole brut.....	6
1.5	Norme 472 de la National Fire Protection Association.....	7
1.6	Méthode de gestion d'événements mettant en cause des marchandises dangereuses de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	8
1.7	Commandement en cas d'incident.....	9
1.8	Intervention en cas d'urgence.....	10
1.8.1	Documentation relative au commandement en cas d'incident.....	10
1.8.2	Surveillance du lieu de l'accident.....	11
1.9	Impacts environnementaux.....	13
1.9.1	Description du lieu de l'événement à l'étude.....	13
1.9.2	Programme de surveillance des eaux de surface.....	13
1.9.3	Traitement des eaux usées et activités de déviation des cours d'eau.....	13
1.9.4	Programme de surveillance des eaux souterraines	13
1.9.5	Excavation et confinement du sol.....	14
1.9.6	Remise en état du site.....	14
1.10	Catégorie de voie.....	14
1.11	Renseignements sur la subdivision.....	15
1.12	Joint de rail	16
1.13	Écrasement aux abouts de rail et dénivellation locale.....	16
1.14	Inspection de la voie	18
1.14.1	Contrôle de la géométrie de la voie.....	18
1.14.2	Contrôle des défauts de rail.....	20
1.14.3	Inspections visuelles.....	21
1.14.4	Directives d'inspection de la voie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	24
1.14.5	Systèmes de contrôle des éclisses	24
1.15	Effet du temps froid sur l'infrastructure de la voie.....	25
1.16	Bulletin d'ingénierie 2015-F-01 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	26
1.17	Perfectionnement des employés.....	27
1.17.1	Perfectionnement et cheminement des employés du Service d'ingénierie.....	27
1.17.2	Encadrement des superviseurs adjoints de la voie.....	30
1.17.3	Encadrement efficace pour acquérir de l'expertise.....	30
1.18	Entretien de la voie dans la subdivision de Ruel	31
1.18.1	Directeur principal, Ingénierie.....	31
1.18.2	Superviseur de la voie.....	31
1.18.3	Superviseur adjoint de la voie.....	32

1.18.4	Défis liés à l'entretien de la voie dans la subdivision de Ruel.....	32
1.19	Surveillance réglementaire.....	34
1.19.1	Inspections réglementaires de la voie de Transports Canada.....	34
1.20	Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire.....	35
1.21	Système de gestion de la sécurité de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	37
1.22	Culture de sécurité.....	38
1.23	Culture de sécurité à la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada....	40
1.24	Résilience : enveloppe d'exploitation sécuritaire et imagination nécessaire.....	41
1.25	Accidents graves mettant en cause le déversement de wagons-citernes de catégorie 111.....	42
1.26	Accident à Lac-Mégantic.....	43
1.27	Réponse de Transports Canada à la recommandation R14-01 du BST (janvier 2016).....	43
1.28	Évaluation par le Bureau de la réponse de Transports Canada à la recommandation R14-01 (mars 2016).....	45
1.29	Circulaire OT-55-N de l'Association of American Railroads et recommandation R14-02 du Bureau de la sécurité des transports.....	45
1.30	Réponse de Transports Canada à la recommandation R14-02 (janvier 2016).....	46
1.31	Évaluation par le Bureau de la réponse de Transports Canada à la recommandation R14-02 (mars 2016).....	47
1.32	Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés.....	47
1.33	Évaluation des risques par corridor de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	49
1.34	Facteurs ayant une incidence sur la gravité du déraillement des wagons-citernes chargés de marchandises dangereuses.....	49
1.35	Examen du joint isolé rompu par le laboratoire du BST.....	50
1.36	Analyse du BST des échantillons de pétrole brut.....	52
1.37	Renseignements sur les wagons-citernes.....	56
1.38	Examen sur les lieux des wagons-citernes dérailés.....	60
1.38.1	Brèches des wagons-citernes.....	61
1.38.2	Dommmages à la coque des wagons-citernes.....	63
1.38.3	Dommmages thermiques.....	63
1.38.4	Dommmages aux boucliers protecteurs et aux têtes de citernes.....	64
1.38.5	Dommmages aux raccords supérieurs et aux dispositifs de décharge de pression.....	65
1.38.6	Dommmages aux trous d'homme.....	65
1.38.7	Dommmages à l'enceinte de protection contre le glissement et aux robinets de vidange par le bas.....	65
1.38.8	Dommmages à la longrine troquée.....	67
1.38.9	Propriétés du matériau de la coque de citerne.....	68
1.39	Enquêtes du BST sur des problèmes de sécurité.....	70
1.40	Liste de surveillance du BST.....	71
1.40.1	Gestion de la sécurité et surveillance.....	71
1.40.2	Transport de liquides inflammables par rail.....	72
1.41	Rapports de laboratoire du BST.....	73
2.0	Analyse.....	74
2.1	L'accident.....	74

2.2	Défaillance des éclisses	74
2.3	Effets du temps froid	75
2.4	Écrasements aux abouts de rail et éclisses fissurées.....	75
2.5	Surveillance des écrasements aux abouts de rail et contrôle des éclisses	76
2.5.1	Directives d'inspection de la voie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	77
2.5.2	Normes de la voie – Ingénierie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	77
2.5.3	Technologies émergentes de contrôle des éclisses.....	78
2.6	Formation et encadrement du superviseur adjoint de la voie à la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	79
2.7	Analyse des échantillons de pétrole brut	80
2.7.1	Plaques de marchandises dangereuses sur les wagons-citernes	81
2.8	Rendement des wagons-citernes	81
2.8.1	Brèches de la coque.....	82
2.8.2	Brèches causées par des ruptures thermiques	82
2.8.3	Dommmages aux têtes et aux boucliers protecteurs.....	83
2.8.4	Dommmages des trous d'homme, des raccords supérieurs et des dispositifs de décharge de pression.....	84
2.8.5	Dommmages aux robinets de vidange par le bas.....	84
2.8.6	Dommmages aux longrines tronquées.....	85
2.9	Caractéristiques du matériau des wagons-citernes.....	85
2.10	Nouveaux règlements sur les wagons-citernes transportant des liquides inflammables.....	86
2.11	Vitesse des trains clés.....	87
2.12	Évaluation des risques dans les corridors clés de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	88
2.13	Surveillance réglementaire ciblant la subdivision de Ruel.....	90
2.14	Intervention en cas d'urgence.....	91
2.14.1	Gestion de l'accès au site.....	91
2.14.2	Système de gestion de la sécurité et documentation sur le commandement en cas d'incident de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada.....	91
2.14.3	Surveillance du site et protection des voies respiratoires	92
2.15	Impacts environnementaux.....	93
3.0	Faits établis.....	94
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	94
3.2	Faits établis quant aux risques.....	95
3.3	Autres faits établis	97
4.0	Mesures de sécurité	99
4.1	Mesures de sécurité prises.....	99
4.1.1	Bureau de la sécurité des transports du Canada.....	99
4.1.2	Transports Canada.....	99
4.1.3	Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada	100
4.2	Préoccupation liée à la sécurité.....	103
4.2.1	Vitesse des trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3.....	103
4.3	Mesure de sécurité requise.....	105

4.3.1 Validation de la vitesse maximale des trains qui transportent des
marchandises dangereuses 105

Annexes..... 107

Annexe A – Données météorologiques pour la période du 14 au 21 février 2015 107
Annexe B – Bulletin d’ingénierie n° 2015-F -01 de la Compagnie des chemins de fer
nationaux du Canada envoyé au personnel de l’Ingénierie de la Région de l’Est
par l’Ingénieur en chef régional (15 janvier 2015)..... 108
Annexe C – Rapports d’enquête ferroviaire du National Transportation Safety Board
sur des trains transportant du pétrole brut 109

1.0 Renseignements de base

1.1 L'accident

Le 10 février 2015, le train-bloc de pétrole brut U70451-10 (le train) de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) a quitté Edmonton (Alberta) en direction est à destination de la raffinerie de Valero Energy Corporation (Valero) à Lévis (Québec).

Le train se composait de 2 locomotives de tête et de 100 wagons-citernes chargés de marchandises dangereuses (MD). De ces 100 wagons-citernes, 68 étaient chargés de pétrole brut (UN 1267) et 32 de distillats de pétrole (UN 1268). Ce train mesurait 6089 pieds de longueur et pesait 14 355 tonnes, et était désigné comme un train clé¹ exploité sur un itinéraire clé².

Le 14 février 2015, une relève d'équipe prévue a eu lieu à Hornepayne (Ontario), au point milliaire 296,2 de la subdivision de Ruel du CN³. L'équipe de train se composait de 1 mécanicien de locomotive et de 1 chef de train. Les 2 membres de l'équipe connaissaient le territoire, répondaient aux normes d'aptitude au travail et de repos et étaient qualifiés pour leur poste respectif. Le train a entamé son voyage vers l'est dans la subdivision de Ruel aux alentours de 20 h 15⁴.

Vers 23 h 35, alors que le train circulait à environ 38 mi/h, un freinage d'urgence provenant de la conduite générale s'est produit à Gladwick (point milliaire 111,7), près de Gogama (Ontario; figure 1). En regardant vers l'arrière, l'équipe du train a vu une grosse explosion et le début d'un incendie. Elle a suivi les procédures d'urgence et lancé le message radio requis. Après l'arrêt du train, l'équipe a dételé les locomotives et les 6 premiers wagons, et a avancé vers l'est jusqu'à un endroit sûr, à l'écart de l'incendie. Il n'y a eu ni blessures ni évacuation.

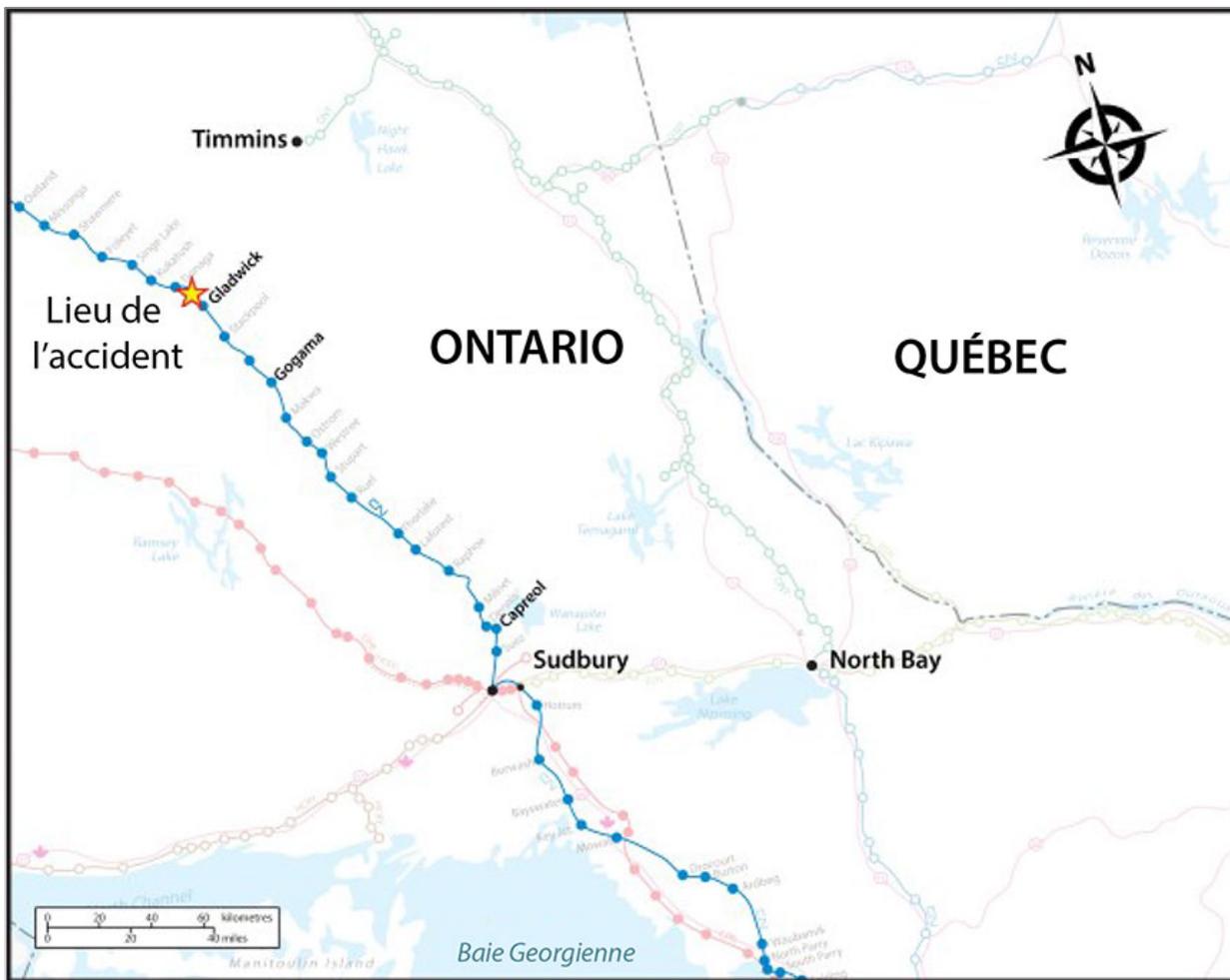
¹ Un « train clé » est défini comme étant une « [l]ocomotive attelée à des wagons comprenant, selon le cas : au moins 1 wagon-citerne chargé de marchandises dangereuses appartenant à la classe 2.3, Gaz toxiques, et de marchandises dangereuses toxiques par inhalation assujetties à la disposition particulière 23 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*; ou au moins 20 wagons-citernes chargés ou citernes mobiles intermodales chargées de marchandises dangereuses et définies dans la *Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses*, ou une combinaison quelconque d'au moins 20 wagons-citernes chargés et citernes mobiles intermodales chargées. (Transports Canada, *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*, paragraphe 3.4)

² Le terme « itinéraire clé » s'entend d'une voie sur laquelle, « [s]ur une période d'un an, [...] sont acheminés au moins 10 000 wagons-citernes chargés ou citernes mobiles intermodales chargées de marchandises dangereuses, comme le définit la *Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses*, ou toute combinaison de ces transports comprenant au moins 10 000 wagons-citernes chargés et citernes mobiles intermodales chargées. » (Transports Canada, *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*, paragraphe 3.3)

³ Tous les points milliaires mentionnés sont dans la subdivision de Ruel du CN.

⁴ Les heures sont exprimées en heure normale de l'Est.

Figure 1. Emplacement de l'accident (Source : Association des chemins de fer du Canada, *Atlas des chemins de fer canadiens*, avec annotations du BST)

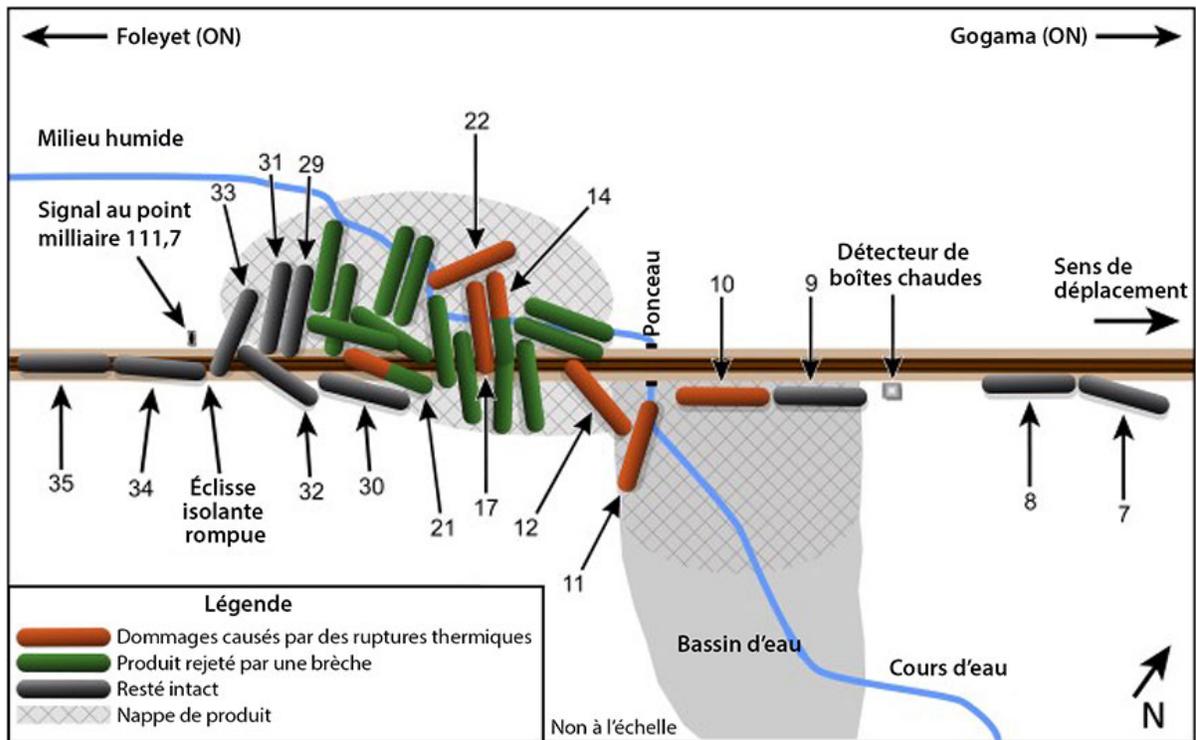


1.2 Examen des lieux

Les wagons 7 à 35 ont déraillé (figure 2). Les 2 premiers wagons qui ont déraillé, soit le 7^e et le 8^e wagon à partir de la tête du train (VMSX 310740 et VMSX 311903) se sont immobilisés sur leur flanc à l'extrémité est du lieu du déraillement, au sud de la structure de la voie et plus ou moins parallèlement à celle-ci. Ces 2 wagons ont subi des dommages mineurs et se sont séparés de leurs bogies, mais n'ont pas laissé échapper leur chargement. Un écart d'environ 200 pieds séparait le 8^e et le 9^e wagons.

Les wagons 9 à 12 se sont immobilisés au sud de la structure de la voie, plus ou moins parallèlement à celle-ci; à cet endroit, la neige fondue et le produit ont formé une petite nappe. Les wagons-citernes 13 à 33 ont subi des dommages plus importants et se sont empilés sur quelque 700 pieds dans différentes positions à l'ouest de la nappe. Les 2 derniers wagons qui ont déraillé, soit le 34^e et le 35^e wagons à partir de la tête du train, sont restés debout près de la voie à l'extrémité ouest du lieu du déraillement. Le déraillement a détruit quelque 900 pieds de voie.

Figure 2. Schéma du lieu de l'accident (remarque : la position des wagons-citernes numérotés est juste, mais la position des wagons-citernes non numérotés est approximative)



Dix-neuf des wagons-citernes ont laissé échapper du pétrole brut (UN 1267). Pendant le déraillement, 14 des wagons-citernes (13^e au 16^e, 18^e au 21^e, et 23^e au 28^e) ont subi des brèches et ont laissé échapper du produit qui s'est accumulé des 2 côtés de la voie. La nappe de produit a pris feu; l'incendie qui a suivi s'est propagé à 5 autres wagons-citernes, lesquels ont subi des ruptures thermiques. Les wagons-citernes 14 à 21 ont subi des brèches et des ruptures thermiques. Environ 1,7 million de litres de produit ont été libérés à l'atmosphère ou déversés dans le sol; l'incendie a brûlé pendant 5 jours.

La table de roulement de la roue L1 du bogie avant du 8^e wagon (VMSX 311903), présentait des marques d'impact correspondant à un contact avec l'extrémité exposée d'un rail. On a observé des marques d'abrasion sur la circonférence de la jante extérieure de la roue L4 du bogie arrière, ce qui indique que la roue est tombée entre les rails.

On n'a pas observé de marques d'impact sur l'infrastructure de la voie à l'approche du lieu du déraillement depuis l'ouest. À l'extrémité ouest du lieu du déraillement, on a trouvé un joint isolant brisé sur le rail sud, près du mât du signal au point milliaire 111,7 (photo 1).

Photo 1. Partie ouest du joint isolant comprenant les éclisses brisées et le rail intact récupérés sur le lieu du déraillement



Les 2 éclisses se sont brisées en 2 morceaux. On n'a pas retrouvé la partie est des éclisses, mais leur partie ouest est demeurée fixée au rail. On a observé l'écrasement du champignon aux abouts de rail de la partie récupérée du joint. Le dessus des parties restantes des éclisses présentait des ondulations de fatigue, lesquelles constituent un signe de défaillance par fatigue. Selon les renseignements inscrits sur l'âme du rail, un contrôle des défauts de rail à l'aide de la voiture d'auscultation des rails (Sperry) le 18 janvier 2015 avait permis d'identifier des écrasements aux abouts de rail de 3,5 mm au point milliaire 111,7.

On a envoyé les composants de voie au laboratoire du BST afin de les analyser entièrement.

1.3 Conditions météorologiques

Au moment du déraillement, la température était de -31 °C. Le temps est demeuré très froid au cours des 7 jours suivant le déraillement (annexe A).

1.4 Marchandises dangereuses

Le transport de MD⁵ est assujéti à de la réglementation au Canada⁶ et aux États-Unis⁷. Chaque pays fonde sa réglementation sur les *Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses* de l'Organisation des Nations Unies.

Le train de l'événement à l'étude transportait du pétrole brut (UN 1267) et des distillats de pétrole (UN 1268). Ces produits sont des liquides inflammables de classe 3 faisant partie du groupe d'emballage (GE) I, lequel comprend les produits les plus dangereux de cette classe.

1.4.1 Liquides inflammables de classe 3

Les liquides inflammables de classe 3 sont des MD dont les vapeurs peuvent former avec l'air un mélange inflammable à une température égale ou inférieure à 60 °C. Ces liquides inflammables peuvent poser de graves dangers en raison de leur volatilité et de leur inflammabilité, qui sont déterminés respectivement par le point d'ébullition initial⁸ et le point d'éclair⁹.

Comme la volatilité et l'inflammabilité des liquides inflammables peuvent varier grandement, les liquides de classe 3 sont classés en fonction de ces caractéristiques pour qu'il soit possible d'établir différentes exigences relativement à leur emballage, leur stockage, leur manutention et leur transport. Selon le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, les liquides inflammables de classe 3 sont répartis en 3 groupes d'emballage (GE), du GE I (danger le plus élevé) au GE III (danger le plus faible). Les critères ci-dessous s'appliquent à ces MD :

- GE I : regroupe les liquides inflammables dont le point initial d'ébullition est inférieur ou égal à 35 °C à une pression absolue de 101,3 kPa, quel que soit leur point d'éclair.
- GE II : regroupe les liquides inflammables dont le point initial d'ébullition est supérieur à 35 °C à une pression absolue de 101,3 kPa et dont le point d'éclair est inférieur à 23 °C.

⁵ Les États-Unis utilisent les termes « marchandises dangereuses » et « matières dangereuses » indifféremment. Dans le présent rapport, nous utilisons « marchandises dangereuses », sauf pour les références aux normes ou à la réglementation des États-Unis.

⁶ *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* et *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*.

⁷ *Code of Federal Regulations* des États-Unis, 49 CFR, sous-chapitre C, Hazardous Materials Regulations.

⁸ Le point initial d'ébullition d'un mélange liquide est la température à laquelle la première goutte de distillat se forme à partir du mélange liquide, à une pression donnée. Le point initial d'ébullition dépend de la pression et de la composition du mélange liquide.

⁹ Le point d'éclair d'un liquide est la température minimale à laquelle le liquide émet une vapeur suffisamment concentrée pour former avec l'air, à la surface du liquide, un mélange pouvant s'enflammer. Un point d'éclair plus bas représente un danger d'inflammabilité plus grand dans certaines conditions en laboratoire.

- GE III : regroupe les produits qui ne satisfont pas aux critères d'inclusion dans les groupes d'emballage I ou II.

1.4.2 Pétrole brut

Les caractéristiques d'inflammabilité et de volatilité du pétrole brut varient grandement. Ce produit est habituellement qualifié en fonction de sa teneur en soufre (peu sulfureux à sulfureux) et de sa densité (léger à lourd). La densité du pétrole brut est exprimée en degrés selon les normes de l'American Petroleum Institute¹⁰ (API); un nombre plus élevé indique une densité plus faible. Les seuils de densité du pétrole brut, soit léger, moyen et lourd, varient selon la région d'origine du produit et l'organisme qui procède à cette détermination¹¹.

Selon le bulletin de composition du train, tous les wagons qui ont déraillé transportaient du pétrole brut (UN 1267).

1.4.3 Procédures d'intervention d'urgence en présence de pétrole brut

Dans le guide 128 du *Guide des mesures d'urgence*¹², on définit les dangers potentiels liés aux produits de pétrole brut, lesquels comprennent aussi les distillats de pétrole. Ce guide comprend des conseils sur les mesures d'urgence et la sécurité publique.

À la section Risques potentiels¹³ du guide, on retrouve ce qui suit :

- Ces produits sont moins denses que l'eau, extrêmement inflammables et « s'enflammeront facilement sous l'action de la chaleur, d'étincelles ou de flammes ».
- « Les vapeurs de ces produits sont plus lourdes que l'air. Elles se propageront au ras du sol pour s'accumuler dans les dépressions ou les endroits clos (égouts, sous-sols, citernes). [...] Les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air. Les vapeurs peuvent se propager vers une source d'allumage et provoquer un retour de flamme au point de fuite ».
- Les vapeurs de ces produits posent un risque explosif à l'intérieur, à l'extérieur ou dans les égouts et les contenants peuvent exploser lorsque chauffés.

Aux sections Mesures d'urgence¹⁴ et Sécurité publique¹⁵ du guide, on retrouve ce qui suit :

¹⁰ La densité API (American Petroleum Institute) est une mesure de la densité relative du pétrole brut en degrés API, comme défini par l'American Petroleum Institute.

¹¹ En général, le pétrole brut est dit « léger » quand sa densité API se situe entre 32° à 37°, et est dit « lourd », quand sa densité API se situe entre 20° à 26°.

¹² Le *Guide des mesures d'urgence* a pour but d'aider les premiers répondants pendant la phase initiale d'un incident de transport de marchandises ou de matières dangereuses. Le *Guide des mesures d'urgence* est une publication conjointe de Transports Canada et de la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) du département des Transports des États-Unis (DOT).

¹³ Département des Transports des États-Unis et Transports Canada, *Guide des mesures d'urgence 2016*, Guide 128 – Liquides inflammables (non-miscibles à l'eau), Risques potentiels, page 192.

¹⁴ *Idem.*, Mesures d'urgence, page 193.

- On peut utiliser de l'eau « pulvérisée ou en brouillard » ou de la « mousse régulière » pour combattre les incendies, mais il ne faut « pas employer de jet d'eau direct ». Puisque le point d'éclair de ces produits est très bas, l'eau pulvérisée peut s'avérer inefficace; une « mousse antivapeur peut être utilisée pour réduire les émanations ».
- « Envisager une première évacuation d'une distance de 300 mètres [1000 pieds] sous le vent. »
- « Il faut éliminer toutes les sources d'allumage. »
- « Tout équipement utilisé pour manipuler ce produit doit être mis à la terre. »
- « Ne pas toucher ou marcher sur le produit déversé. »
- « Si sans risque, arrêter la fuite. »
- « Empêcher l'infiltration dans les cours d'eau, les égouts, les sous-sols ou les endroits clos. »
- « Absorber ou couvrir avec de la terre sèche, du sable ou tout autre produit non combustible et transférer dans des contenants. »
- « Utiliser des outils antiétincelles propres pour récupérer le matériel absorbé. »

1.5 Norme 472 de la National Fire Protection Association

Partout en Amérique du Nord, les organismes d'intervention d'urgence utilisent la norme *National Fire Protection Association 472: Standard for Competence of Responders to Hazardous Materials/Weapons of Mass Destruction Incidents* (norme 472 de la NFPA).

La norme 472 de la NFPA définit les niveaux de compétence minimaux requis du personnel d'intervention d'urgence lorsqu'il y a présence de MD¹⁶ ou d'armes de destruction massive (ADM). Ces personnes doivent pouvoir intervenir efficacement en fonction des risques dans de tels incidents. Cette norme comprend les compétences pour les intervenants suivants :

- le personnel formé au niveau de sensibilisation;
- les intervenants opérationnels;
- les techniciens, Marchandises dangereuses;
- les commandants des interventions;
- les agents, Sécurité de marchandises dangereuses;
- d'autres employés spécialisés¹⁷.

Les compétences requises des techniciens en MD et des commandants des interventions sont semblables. S'y ajoutent les habiletés suivantes :

1. analyser les incidents mettant en cause des MD/ADM pour établir la complexité du problème et les résultats potentiels;
2. planifier l'intervention dans les limites des capacités des ressources disponibles;

¹⁵ *Idem.*, Sécurité publique, page 192.

¹⁶ Les termes « marchandises dangereuses » et « matières dangereuses » (hazmat) sont synonymes.

¹⁷ National Fire Protection Association, *NFPA 472: Standard for Competence of Responders to Hazardous Materials/Weapons of Mass Destruction Incidents*, édition de 2013, chapitre 1 – Administration.

3. mettre en œuvre l'intervention planifiée conformément aux procédures courantes d'exploitation et au plan de sécurité et de gestion du lieu de l'intervention;
4. évaluer la progression de l'intervention planifiée et la modifier, au besoin;
5. mettre fin à l'incident en contribuant au compte rendu et à la critique de l'incident¹⁸.

1.6 *Méthode de gestion d'événements mettant en cause des marchandises dangereuses de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Le CN a mis en œuvre un système de gestion des MD et d'intervention en cas d'urgence chapeauté par son vice-président, Sécurité et développement durable (VPSDD). Le vice-président adjoint, Sécurité et intervention d'urgence (VPA) relève du VPSDD, et assure notamment la gestion d'une équipe de 3 agents responsables des marchandises dangereuses (AMD) principaux. Ces 3 AMD principaux assurent la supervision de leurs régions respectives (ouest du Canada, est du Canada et États-Unis). Dans chacune de ces régions, une équipe d'AMD relève de l'AMD principal.

Les AMD sont postés à la plupart des grands terminaux sur le territoire du CN; du personnel posté à chacun des terminaux est formé pour venir en aide durant une intervention. Tous les membres de l'équipe sont formés pour acquérir les compétences requises en vertu de la norme 472 de la NFPA pour leurs postes respectifs. On offre de la formation périodique tous les 3 ans au Security and Emergency Response Training Center du Transportation Technology Center Incorporated de l'Association of American Railroads (AAR) à Pueblo (Colorado).

En 2006, le CN a engagé le VPA, qui était déjà un expert reconnu en interventions d'urgence mettant en cause des MD, et lui a donné le mandat de mettre sur pied l'équipe des MD du CN et de développer le plan d'intervention d'urgence du CN et une formation sur les interventions d'urgence dans le domaine ferroviaire à l'échelle de l'entreprise. Chacune de ces initiatives se fondait sur les pratiques d'intervention d'urgence établies, les instructions de la compagnie et la norme NFPA 472.

Au CN, les AMD avaient en leur possession :

- des copies papier de différents documents de référence, dont le *Guide des mesures d'urgence*, le manuel du National Institute for Occupational Safety and Health et des tableaux de conversion variés;
- une tenue d'intervention en cas d'incendie;
- des vêtements ignifuges;
- un appareil respiratoire autonome;
- un détecteur de gaz multiples (limite inférieure d'explosivité, oxygène, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone);

¹⁸ *Idem.*, chapitre 7 – *Competencies for Hazardous Materials Technicians* et chapitre 8 – *Competencies for Incident Commanders*.

- des tubes colorimétriques pour échantillonner des produits lorsqu'il est impossible de le faire à l'aide du détecteur de gaz multiples.

Les AMD du CN avaient aussi accès à des appareils portatifs de surveillance météorologique qui mesuraient la vitesse et la direction du vent. Ces renseignements peuvent s'avérer utiles pour déterminer la direction de l'approche des intervenants d'urgence au lieu d'un accident. Dans le cas de l'événement à l'étude, le CN n'a pas noté de données météorologiques.

1.7 Commandement en cas d'incident

Lorsque des liquides inflammables de classe 3 sont en cause dans une situation d'urgence, les meilleures pratiques du secteur exigent la mise en place d'une structure de commandement formelle en cas d'incident (SCI) afin de gérer les interventions.

En mars 1990¹⁹, les États-Unis ont modifié la loi pour inclure la SCI. Depuis lors, les militaires, les pompiers, les policiers et les équipes d'intervention d'urgence en cas de déversement de MD l'utilisent souvent. Cette structure a été élaborée pour organiser le personnel, l'équipement et les ressources afin de répondre à toutes les situations d'urgence, y compris les incendies et les incidents mettant en cause des MD. Au Canada, lorsqu'on établit une SCI lors d'incidents où il y a présence d'incendie ou de MD, le chef des pompiers local ou un représentant provincial assume habituellement le rôle de commandant des interventions. Dans le cas d'accidents ferroviaires, si aucun autre organisme n'intervient, le responsable du chemin de fer sur place le plus haut gradé s'occupe généralement de la mise en place de la SCI et de la gestion des activités de remise en état.

Une SCI efficace comprend notamment :

- un commandant des interventions responsable des activités liées à l'incident;
- une équipe de SCI avec des responsabilités claires et composée d'un agent d'information, d'un agent de la sécurité des lieux, d'un agent de planification et de logistique et d'autres personnes selon l'envergure et la complexité de l'incident;
- un périmètre de sécurité convenable qui permet de contrôler l'accès au site;
- un poste de commandement réservé pour faciliter les réunions et les comptes rendus;
- un point d'accès contrôlé au site;
- un système de contrôle d'accès au site, avec feuilles d'arrivée/départ et insignes d'identité pour assurer le suivi de tout le personnel sur les lieux et coordonner les activités;
- un point de contrôle de toutes les interventions afin de garantir qu'elles sont appropriées et que le matériel utilisé est compatible avec le produit en cause (dans le cas des liquides inflammables, cela signifie l'utilisation d'outils anti-étincelles,

¹⁹ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis, *Code of Federal Regulations*, 29 CFR, norme 1910.120, *Hazardous Waste Operations and Emergency Response* (en vigueur depuis mars 1990).

d'appareils électroniques à sécurité intrinsèque et de matériel mis à la terre pour prévenir toute combustion);

- un point de contrôle des mesures d'atténuation des risques pour en garantir la bonne coordination, la sécurité et la documentation.

1.8 *Intervention en cas d'urgence*

L'événement à l'étude s'est produit dans un endroit éloigné situé à environ 90 km au sud de Timmins (Ontario). Initialement, l'impossibilité d'accéder au site par d'autres moyens que la voie (locomotive ou véhicule rail-route) a entravé l'accès au site et la mise en œuvre des mesures d'atténuation. Le froid extrême, les conditions hivernales difficiles et l'éloignement de l'emplacement ont posé un certain nombre de défis pendant l'intervention, dont :

- l'accès au lieu de l'accident (amélioré par l'aménagement d'une route permettant aux véhicules de s'y rendre);
- le déploiement d'équipement de lutte contre les incendies et de remise en état du site;
- l'utilisation et le gel de l'équipement;
- l'accès à des abris et à des aires de repos pour les intervenants d'urgence;
- les communications (par téléphone satellite seulement).

Dans le cas de l'événement à l'étude, le CN, à titre de principal organisme d'intervention, a mis en œuvre son système de commandement en cas d'incident. Le premier vice-président, Exploitation, Région de l'est du CN a agi à titre de commandant des interventions et a été soutenu par le VPA, l'AMD, d'autres employés du CN et des entrepreneurs.

1.8.1 *Documentation relative au commandement en cas d'incident*

En raison de leur nature, les interventions en déraillements mettant en cause des MD peuvent être dynamiques et fluides, car ces situations peuvent changer rapidement. Une fois sur le site d'un événement, il faut prévoir un certain temps pour la sécurisation du site, la mise en place de la structure de commandement en cas d'incident (SCI), le transport des techniciens en MD jusqu'au site, les activités de reconnaissance initiales, la planification et la mise en application des mesures d'atténuation.

Pour chaque incident, les protocoles du CN exigent la tenue d'un registre des interventions d'urgence au centre de commandement pour documenter les différentes activités effectuées sur le lieu de l'incident. Le registre du CN était bien structuré et contenait des renseignements utiles et des conseils sur sa tenue et sur la documentation de toutes les réunions notamment. Le personnel de la gestion des risques du CN a été chargé de tenir ce registre.

Une fois que le CN eût mis en œuvre la SCI, la compagnie a tourné son attention vers la construction d'une route d'accès au site et la mobilisation du personnel et des ressources d'intervention, et ce, pour réduire au minimum les dommages à l'environnement, maîtriser les feux en nappe et entamer la réparation de la voie. Ces activités sont normalement documentées dans le registre. Toutefois, dans le cas de l'événement à l'étude, le registre ne

contenait pas d'entrées. Ainsi, il n'y avait à peu près pas de comptes rendus de séances régulières sur la sécurité décrivant l'avancement et les défis et aucun sur les plans de travail sécuritaire soulignant les mesures d'atténuation mises en œuvre pendant l'ensemble de l'intervention. Autrement dit, il n'y avait aucun rapport détaillé décrivant :

- l'accès au site et la surveillance des wagons touchés;
- les activités de démolition;
- les réunions et les décisions internes;
- les réunions tenues avec les tierces parties et les comptes rendus leur ayant été présentés.

1.8.2 Surveillance du lieu de l'accident

Immédiatement après le déraillement, un incendie a éclaté et a engouffré un grand nombre des wagons-citernes qui avaient subi des brèches. L'incendie a rompu 7 autres wagons-citernes (en raison de ruptures thermiques), et ceux-ci ont laissé échapper plus de pétrole brut dans l'environnement (photo 2).

Photo 2. Vue du lieu du déraillement montrant l'incendie d'un wagon-citerne causé par une rupture thermique (16 février 2015)



Le 15 février, un centre de commande mobile du CN s'est rendu sur place depuis Sudbury (Ontario) et a établi des moyens de communications avec l'extérieur (téléphone satellite). Les intervenants disposaient ainsi d'un point de rencontre pour la planification des activités et d'un abri contre les éléments et les températures glaciales. Le 16 février, un second centre de

commande mobile est arrivé sur les lieux et a été mis en service pour soutenir l'élargissement des mesures d'atténuation.

Le CN a initialement tenté de mettre sur pied un protocole formel de suivi des arrivées et des départs de tout le personnel travaillant au lieu de l'événement à l'étude. Toutefois, ce protocole n'a pas toujours été suivi, notamment en raison de l'éloignement du site et des difficultés à y accéder et à en sortir. Il s'est amélioré quelque peu après que le transport par locomotive ou véhicule rail-route du personnel ait été éliminé par la construction d'une route d'accès au site; toutefois, il n'existait toujours pas de liste fidèle des personnes se trouvant sur place ou non.

Une fumée dense tourbillonnait sur le site pendant que le produit brûlait et que les mesures d'atténuation progressaient. En vertu des protocoles sur les MD, les intervenants doivent approcher un site de matières dangereuses avec le vent dans le dos. Toutefois, pendant l'événement à l'étude, aucun dispositif de mesure du vent n'a été utilisé.

Initialement, de nombreux employés ne portaient pas de masques faciaux ou de respirateurs pour se protéger contre les particules en suspension dans l'air produites par l'incendie ou contre les vapeurs des composés organiques volatils (COV)²⁰ du produit (p.ex., les vapeurs de benzène). Ainsi, les intervenants voyaient leur peau nue, ainsi que leur bouche et leur nez, recouverts de suie à la fin de leur quart de travail. Plus tard au cours de l'intervention, les employés ont reçu des masques antipoussières pour les protéger contre les particules.

En raison de la nature du produit déversé, on a surveillé la limite inférieure d'explosivité des COV²¹ et les niveaux de sulfure d'hydrogène (H₂S) sur le site. Les AMD du CN et les entrepreneurs ont mesuré, toutes les 30 minutes, le niveau de benzène sur le site. Toutefois, les mesures du niveau de benzène n'étaient valables qu'à l'endroit exact où elles avaient été prises. On a rapporté un niveau de benzène maximal de 0,46 partie par million, ce qui est bien en deçà de la limite d'exposition à court terme établie²² de 5 parties par million (moyenne au cours d'une période de 15 minutes)²³. Cependant, on n'a pas fourni de respirateurs à cartouches à demi-masque ou de masques complets aux employés pour les protéger contre l'exposition répétée et cumulée potentielle au benzène pendant la mise en œuvre des mesures d'atténuation prolongées sur le site.

²⁰ Les composés organiques volatils (COV) constituent un grand groupe de produits chimiques à base de carbone qui s'évaporent facilement à température ambiante. La plupart des personnes peuvent sentir la présence d'un niveau élevé de certains COV, mais d'autres COV sont inodores.

²¹ La limite inférieure d'explosivité (LIE) est la concentration la plus basse (exprimée en pourcentage) de gaz ou de vapeurs dans l'air pouvant produire une déflagration en présence d'une source d'allumage (arc, flamme, chaleur). Les concentrations inférieures à la LIE sont trop « pauvres » pour s'enflammer.

²² Dans les domaines de la santé et sécurité au travail, de l'hygiène industrielle et de la toxicologie, on utilise le terme « limite d'exposition à court terme » pour définir la limite d'exposition acceptable aux produits chimiques et aux autres produits au cours d'une période de 15 minutes.

²³ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis, section numéro 1910 (Occupational Safety and Health Standards), sous-section Z (Toxic and Hazardous Substances), norme numéro 1910.1028 (Benzene).

1.9 *Impacts environnementaux*

1.9.1 *Description du lieu de l'événement à l'étude*

L'endroit où le déraillement s'est produit est délimité à l'ouest par de basses terres humides et à l'est par une zone boisée, un ruisseau et des zones encore plus basses. Dans les environs du déraillement, un petit ruisseau, alimenté par l'eau des basses terres, coulait de l'ouest à l'est sous l'emprise de la voie par l'intermédiaire d'un ponceau de 40 pouces. Le ruisseau s'étendait vers le nord vers l'extrémité du lieu du déraillement, tournait vers l'ouest au-delà de celui-ci, puis se déversait dans un étang affluent du lac Upper Kasasway.

Le sol au lieu du déraillement était enneigé. Il était composé de sable non consolidé perméable sur fond rocheux. La nappe aquifère se trouvait à environ 6 à 10 pieds sous la surface. Après le déraillement, une grande nappe de pétrole et d'eau s'est formée du côté sud de la voie, à l'endroit où le ponceau était bouché. Le plan d'intervention environnementale du CN portait principalement sur le confinement de l'écoulement direct de surface, car on supposait que le produit déversé était moins dense que l'eau.

1.9.2 *Programme de surveillance des eaux de surface*

La contamination des eaux de surface se limitait aux zones où du pétrole brut était entré en contact avec la surface. On a mis sur pied un programme d'échantillonnage des eaux de surface dans les environs du déraillement, y compris le ruisseau menant au lac Upper Kasasway et différents endroits du lac Upper Kasasway.

Au début, chaque endroit était observé quotidiennement pour déceler toute conséquence visuelle ou olfactive. Après plusieurs rondes consécutives d'échantillonnage aux résultats négatifs, la fréquence d'échantillonnage fut réduite à 2 fois par semaine jusqu'à la fin de l'automne 2015. La surveillance des eaux de surface fut reprise au printemps 2016; depuis le 1^{er} juillet 2016, la surveillance s'effectue tous les trimestres, et la durée du programme est indéfinie.

1.9.3 *Traitement des eaux usées et activités de déviation des cours d'eau*

On a dépêché des unités mobiles d'épuration des eaux usées (UME) sur le lieu de l'accident. Toutes les UME étaient assujetties à de la réglementation provinciale et approuvées en conséquence et détenaient un certificat d'approbation mobile ou une approbation de conformité environnementale mobile. Avant de libérer les eaux traitées, on a respecté à la lettre les exigences relatives à l'échantillonnage des eaux confinées et les critères d'évacuation. Trois UME installées en série ont traité toutes les eaux contaminées qui avaient été récupérées, puis les ont libérées dans l'environnement.

1.9.4 *Programme de surveillance des eaux souterraines*

Dix-sept puits d'échantillonnage des eaux souterraines ont servi à vérifier la direction de l'écoulement et la profondeur des eaux souterraines et déterminer si elles avaient été contaminées par le produit déversé. Les eaux souterraines se trouvaient à environ 2,5 et

3,5 m sous la surface du sol et n'étaient contaminées qu'aux endroits où du pétrole brut flottait en surface. Les contaminants ont été retirés avec succès pendant les travaux de réhabilitation du sol des côtés est et ouest de la plateforme de la voie.

La surveillance des eaux souterraines fut interrompue pour la saison hivernale en novembre 2015 (à ce moment, aucune contamination par du pétrole brut n'avait été détectée dans l'eau) et fut reprise au printemps 2016. En date du 1^{er} juillet 2016, aucun impact environnemental négatif n'avait été observé en ce qui concerne les eaux souterraines.

1.9.5 *Excavation et confinement du sol*

On a retiré par camion un volume considérable de sol contaminé du lieu du déraillement. L'accès routier limité au site et le peu de sites d'enfouissement dans les environs en mesure d'accepter du sol contaminé ont nui à la mise en œuvre de cette mesure.

Par la suite, 13 cellules de confinement du sol doublées ont été construites pour entreposer le sol contaminé jusqu'à ce qu'il soit possible de le transporter dans un site d'enfouissement approuvé. Chaque cellule de confinement pouvait contenir environ 2500 tonnes (5000 m³) de sol. Au printemps 2016, le Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique (MEACC) de l'Ontario a déclaré ce sol comme étant un déchet non dangereux; on a transporté par camion tout le sol contaminé entreposé au lieu de l'accident vers des sites d'enfouissement approuvés.

1.9.6 *Remise en état du site*

Le CN a transmis un plan de remise en état détaillé à tous les organismes de réglementation et à la première nation de Mattagami afin qu'ils l'étudient et le commentent. Au printemps 2016, on a réhabilité la forêt conformément à un programme de plantation des divers spécimens indigènes détruits, et ce, avec l'aide de la première nation de Mattagami.

Le 27 mai 2016, le CN a transmis un rapport environnemental de fermeture au MEACC dans le cadre du processus d'approbation de la fermeture du site. À ce moment, on attendait toujours les résultats de la dernière ronde d'analyse de l'eau (prévue à l'automne 2016), mais on s'attendait à ce que la fermeture du site soit approuvée. Toutefois, on continuera à surveiller les 17 puits de surveillance des eaux souterraines installés au lieu de l'accident tous les trois mois, et ce, pour une période indéfinie.

1.10 *Catégorie de voie*

On définit toutes les lignes ferroviaires en fonction d'une catégorie de voie particulière qui indique l'état et le niveau de maintenance de la voie. Le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV) approuvé par Transports Canada (TC), aussi connu sous le nom de *Règlement sur la sécurité ferroviaire*, décrit les catégories de voie et les vitesses maximales corollaires auxquelles les trains peuvent circuler. Conformément au RSV, la catégorie de voie la plus restrictive est la catégorie 1, qui limite les trains de marchandises à une vitesse maximale de 10 mi/h. La catégorie de voie la plus étendue est la catégorie 5, qui permet une vitesse maximale de 80 mi/h pour les trains de marchandises.

1.11 Renseignements sur la subdivision

La subdivision de Ruel du CN se compose d'une voie principale simple qui s'étend, d'est en ouest, de Capreol (Ontario; point milliaire 0,0) à Hornepayne (Ontario; point milliaire 296,2). Les mouvements de train dans cette subdivision sont régis par le système de commande centralisée de la circulation (CCC) autorisé en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REFC) et sont supervisés par un contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) en poste à Toronto (Ontario).

Dans les environs du déraillement, la voie appartenait à la catégorie 3. La vitesse limite autorisée est de 40 mi/h pour les trains de marchandises et de 45 mi/h pour les trains de voyageurs. En moyenne, 18 trains de marchandises parcouraient chaque jour la subdivision de Ruel. Un train de voyageurs de VIA Rail Inc. y circulait en direction ouest les mercredis et samedis et en direction est les mercredis et vendredis.

Au lieu du déraillement, la voie est une voie principale simple en alignement généralement orientée d'est en ouest. Elle était formée de longs rails soudés (LRS) de 136 livres fabriqués par Sydney Steel en 1996. On a mesuré une usure du rail de 6 mm, ce qui est inférieur à 75 % de la limite de réforme d'usure verticale. Les rails étaient posés sur des selles à double épaulement de 14 pouces fixées à des traverses en béton à l'aide d'attaches Pandrol. Le ballast était fait de roche concassée. Les banquettes avaient une largeur d'environ 16 pouces et les cases étaient garnies.

De 2010 à 2014, le tonnage de marchandises dans la subdivision de Ruel est passé de 32,8 millions de tonnes-milles brutes par mille (MTMB/mille) à 47,1 MTMB/mille (tableau 1). Pendant la même période, le nombre de wagons complets de pétrole brut est passé de 62 à 75 186.

Tableau 1. Tonnage de marchandises et de pétrole brut dans la subdivision de Ruel

Année	Marchandises (MTMB/mille)*	Marchandises TMB (milliers)	TMB de pétrole brut (milliers)	Pétrole brut (wagons complets)	Pétrole brut (MTMB/mille)
2010	32,8	9 709 654	2263	62	0,007
2011	35,3	10 452 629	71 369	2843	0,240
2012	36,8	10 897 795	459 077	19 399	1,549
2013	37,2	11 013 838	835 271	34 384	2,819
2014	47,1	13 956 400	1 937 152	75 186	6,540

* Dans l'industrie ferroviaire, on utilise indifféremment les termes « million de tonnes brutes » (MTB), « million de tonnes-milles brutes » (MTMB) et « million de tonnes-milles brutes par mille » (MTMB/mille).

1.12 *Joints de rail*

Les joints de rail fixés à l'aide d'éclisses constituent des discontinuités de la surface des rails. Si un joint n'est pas adéquatement soutenu ou entretenu, il peut faire l'objet de surcharges dynamiques causées par les chocs de roues. Un joint bien entretenu est solidement soutenu par des traverses en bon état reposant sur du ballast bien bourré, perméable et propre. Si des joints ne sont pas adéquatement soutenus ou entretenus, les chocs exercés par les roues peuvent s'accroître. Cela peut entraîner une augmentation du déplacement vertical des rails, un desserrage et une détérioration du joint, des écrasements aux abouts de rail, et une dégradation des traverses, du ballast et de la plateforme sous le joint.

En territoire signalisé, on installe des joints isolants à la limite des circuits de voie pour isoler électriquement des sections de voie (cantons). Ces joints sont généralement assemblés en usine et se composent de 2 morceaux de rail fixés à l'aide d'éclisses. On place un matériau isolant époxyde entre les rails et les éclisses pour isoler ces composants. On utilise des bagues en fibre isolante et des garnitures isolantes latérales pour isoler les boulons et les éclisses.

Les défaillances de joints isolants sont généralement de nature électrique et causées par un décollement des adhésifs, le bris ou l'usure d'un composant isolant ou la défaillance mécanique des éclisses en raison de charges dynamiques.

1.13 *Écrasement aux abouts de rail et dénivellation locale*

Un écrasement aux abouts de rail se produit à un joint de rail lorsque les extrémités des champignons ne correspondent pas ou qu'il y a un écart trop important entre l'extrémité des rails. Un écrasement aux abouts de rail constitue un signe de dégradation du soutien du joint qui peut se traduire par un mouvement excessif du joint. Un joint brise le plus souvent en raison d'un mauvais soutien, lequel est généralement causé par du ballast pollué, des traverses en mauvais état ou des pièces de fixation desserrées. En Amérique du Nord, la durée de vie moyenne d'un joint isolant est d'environ 200 millions de tonnes-brutes (MTB)²⁴. Cela est inférieur à la durée de vie de la plupart des autres composants des surfaces de roulement de l'infrastructure ferroviaire.

Les affaissements localisés de la table de roulement (aussi appelés dénivellations locales de la surface de roulement [LSC]) se caractérisent par un fluage plastique du métal qui cause un aplatissement et une déformation du champignon du rail au-dessus du plan du congé âme-champignon. Les LSC sont généralement dues à une interaction mécanique provenant de charges de roue répétitives. Les chocs exercés par les roues augmentent avec l'aggravation des LSC et l'accroissement de l'usure verticale du champignon. Cette situation peut entraîner d'importantes contraintes de contact et mener au développement d'autres défauts de rail. Plus particulièrement, les LSC et les écrasements aux abouts de rail sont souvent des conséquences d'un soutien inadéquat de la voie (creux ou affaissement de la surface), ce qui

²⁴ Transport Technology Center Inc., *Technology Digest TD04-06*, mai 2004.

fait croître les chocs exercés par les roues et, par conséquent, causer des défauts de fatigue catastrophiques des composants de la voie.

Le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV) ne contient aucune orientation ni aucun critère sur les limites critiques pour un écrasement aux abouts de rail ou une LSC. Au Canada, ces défauts font partie de la catégorie des problèmes de surface de roulement de rail, et non de la catégorie des défauts de rail. Bien qu'on ne juge pas qu'il s'agisse de défaillances en service, ces problèmes de surface de roulement de rail sont un indicateur de défauts émergents potentiels dans le rail.

La norme de la voie (NV) 1.7 des *Normes de la voie – Ingénierie* (NVI) du CN, intitulée « Périodicité d'inspection des rails et mesures correctives dans le cas de rails défectueux », comprend les articles suivants :

- À l'article 10a., on indique qu'il faut surveiller les LSC dont la profondeur est inférieure à 5 mm sur un rail usé à moins de 75 % de la limite de réforme de son usure verticale.
- À l'article 10b., on énonce les limites relatives aux écrasements aux abouts de rail en saison hivernale :

Durant les mois d'hiver (comme déterminés par l'ingénieur en chef régional), on doit appliquer les mesures ci-dessous aux joints de rail situés sur les voies de catégorie 3 ou de catégorie supérieure supportant annuellement un tonnage de 10 MTB ou plus.

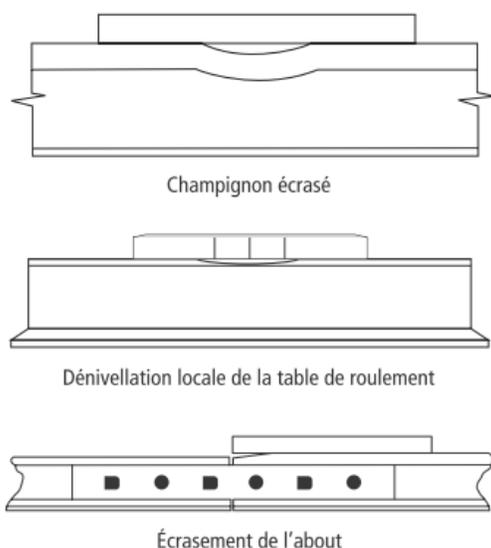
Si l'écrasement aux abouts de rail est :

> 3.5 mm	> 4 mm	>= 5 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Le mesurer deux fois par semaine. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer le rail dans les 48 heures. • Si le rail ne peut pas être remplacé, appliquer une limitation de vitesse de 40 mi/h jusqu'à ce qu'on puisse le remplacer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter la vitesse à 30 mi/h • Remplacer le rail dans les 48 heures, sans exception.

On peut mesurer la profondeur d'un LSC ou d'un affaissement aux abouts de rail à l'aide d'une règle droite, comme on le montre à la figure 3.

Figure 3. Diagramme tiré des *Normes de la voie – Ingénierie* du CN, NV 1.7, article 11, démontrant comment mesurer la profondeur de l'écrasement du champignon, de la dénivellation locale de la table de roulement et de l'écrasement de l'about

11. Pour mesurer la profondeur de l'écrasement du champignon et la dénivellation de la table de roulement, on utilise une règle et une jauge d'épaisseur de 3/8 po (10 mm) conformément au schéma ci-dessous.



1.14 Inspection de la voie

Les exigences réglementaires minimales sur l'inspection des voies ferrées sous réglementation fédérale sont définies dans le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV). Lorsqu'il constate qu'une voie n'est pas conforme au RSVH, « le chemin de fer doit immédiatement [...] rétablir la conformité de la voie [...] » ou « en interrompre l'exploitation »²⁵.

1.14.1 Contrôle de la géométrie de la voie

Selon le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV), une voie de catégorie 3 dont le tonnage annuel est supérieur à 35 MTB doit faire l'objet d'un contrôle de la géométrie de la voie au moins 2 fois par année. Conformément au RSV, l'écart de la flèche par rapport au profil uniforme sur une corde de 62 pieds ne peut-être, sur l'un ou l'autre rail, supérieur à 2 ¼ pouces.

²⁵ Transports Canada, *Règlement concernant la sécurité de la voie*, paragraphe 6.2.

Conformément à la NV 7.1, intitulée « Géométrie de la voie », des NVI du CN :

1. [L]es dépassements des valeurs limites établies dans le Règlement sur la sécurité de la voie de Transports Canada [...] sur la géométrie de la voie sont définis comme étant des défauts nécessitant une INTERVENTION URGENTE²⁶.

Cette norme comprend également ce qui suit :

2. Lorsque les défauts de la voie dépassent les valeurs limites au-delà desquelles une INTERVENTION URGENTE est déclenchée, on doit prendre l'une ou l'autre des mesures ci-dessous avant un nouveau passage de train sur la partie de voie où se trouve le défaut :
 - i. corriger le défaut de façon à obtenir des valeurs en deçà des valeurs limites;
 - ii. imposer une limitation temporaire de vitesse (LTV) ne dépassant pas la vitesse maximale permise sur les voies de la catégorie pour laquelle des défauts de cette importance sont tolérés [...]; ou
 - iii. interrompre la circulation sur la partie de voie concernée²⁷.

Les défauts approchant les limites de géométrie de la voie définies dans le RSV sont des défauts nécessitant une intervention « quasi urgente ». À l'article 3 de la NV 7.1 des *Normes de la voie* du CN, on indique ce qui suit :

- i) Les défauts nécessitant une intervention QUASI URGENTE, qui seront repérés par le véhicule de contrôle de la géométrie de la voie, doivent être inspectés dans un délai de 72 heures et être corrigés dans un délai de 30 jours²⁸.

La NV 7.1 comprend également ce qui suit :

4. Les dépassements des valeurs limites d'entretien admises au CN sont définis comme étant des défauts nécessitant une INTERVENTION PRIORITAIRE.
 - a. Les défauts de la voie qui dépassent les valeurs au-delà desquelles une INTERVENTION PRIORITAIRE est déclenchée doivent être surveillés jusqu'à ce qu'ils soient réparés, de façon qu'ils ne deviennent pas des défauts nécessitant une INTERVENTION URGENTE²⁹.

²⁶ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Normes de la voie – Ingénierie* (juin 2011), NV 7.1, Géométrie de la voie, page 159.

²⁷ *Idem.*

²⁸ *Idem.*

²⁹ *Idem.*

Selon la NV 7.1 des *Normes de la voie* du CN, la « valeur maximale des défauts de dressage, établis par la mesure de la flèche au milieu d'une corde de 62 pieds, ne doit pas dépasser » 1 ¼ pouce pour une voie de catégorie 3³⁰.

Le tableau 2 donne un aperçu des défauts de géométrie détectés par le CN dans la subdivision de Ruel de 2011 à 2014 et nécessitant une intervention prioritaire, quasi urgente ou urgente.

Tableau 2. Défauts de géométrie dans la subdivision Ruel (2011 à 2014)

Type de défaut	2011	2012	2013	2014
Intervention prioritaire	14 538	30 634	13 827	9053
Intervention quasi urgente	5030	11 971	5326	2289
Intervention urgente	390	892	308	302
Total	19 958	43 497	19 461	11 644

Les contrôles de la géométrie de la voie dans la subdivision de Ruel étaient effectués de 4 à 6 fois par année³¹, le plus récent ayant eu lieu le 2 novembre 2014, soit environ 3 mois avant le déraillement. Pendant ce contrôle, on avait détecté un creux de surface de 1 pouce sur le rail sud au joint isolant du point milliaire 111,7. Comme le creux ne dépassait pas le critère du RSV sur les défauts nécessitant une intervention urgente (2 ¼ pouces) ou celui du CN sur les défauts nécessitant une intervention prioritaire (1 ¼ pouce), le CN n'a pris aucune mesure pour le réparer et rien ne l'y obligeait.

1.14.2 Contrôle des défauts de rail

Selon le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV), une voie de catégorie 3 dont le tonnage annuel est supérieur à 35 MTB doit faire l'objet d'un contrôle des défauts de rail au moins 2 fois par année. L'équipement d'inspection doit pouvoir détecter les défauts de rail recouverts par les éclisses. Selon ce règlement, les écrasements aux abouts de rail ne constituent pas des défauts de rail.

Le CN effectue un contrôle des défauts de rail dans la subdivision de Ruel environ tous les 20 jours en saison hivernale et tous les 37 jours pendant les autres saisons³². Les 2 derniers contrôles des défauts de rail s'étaient déroulés le 18 janvier 2015 et le 7 février 2015. Le contrôle du 18 janvier 2015 a permis de détecter un écrasement de 3,5 mm aux abouts du rail sud du joint isolant au point milliaire 111,7. Aucun défaut de rail n'a été détecté dans la zone durant le contrôle du 7 février 2015.

Cet écrasement aux abouts de rail n'avait pas encore atteint la limite justifiant une surveillance, telle que définie dans les NVI du CN. Toutefois, par mesure de précaution, le

³⁰ *Idem.*, page 169.

³¹ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Corridor Risk Assessment Toronto – Winnipeg*, 23 juin 2014, page 24.

³² *Idem.*

superviseur adjoint de la voie (SAV) responsable du territoire a commencé à surveiller cet écrasement aux abouts de rail 2 fois par semaine. Comme on avait déjà constaté ce problème et qu'on l'avait inscrit sur le rail³³, cet écrasement aux abouts de rail n'a pas été ajouté au rapport de contrôle des défauts de rail du 7 février 2015.

De janvier 2014 à mars 2015, les contrôles des défauts de rail effectués dans la subdivision de Ruel ont permis d'identifier 570 défauts (tableau 3), dont 332 affaissements localisés de la surface de roulement, 87 écrasements aux abouts de rail et 19 écrasements du champignon. L'état de la surface de roulement du rail a exigé une surveillance ou des réparations considérables de la part des inspecteurs et des équipes d'entretien.

Tableau 3. Résumé de l'état de la surface de roulement et des défauts de rail détectés dans la subdivision de Ruel entre janvier 2014 et mars 2015

État de la surface de roulement/défaut de rail	Nombre	Pourcentage du total*
Trou de boulonnage	31	5 %
Champignon écrasé	19	3 %
Soudure défectueuse faite sur le terrain	35	6 %
Soudure défectueuse faite en usine	8	1 %
Rupture de fatigue	12	2 %
Fissuration horizontale de l'âme	3	1 %
Fissuration horizontale du champignon	7	1 %
Affaissement localisé de la surface de roulement	332	58 %
Écrasement aux abouts de rail	87	15 %
Fissuration de l'âme	5	1 %
Fissuration verticale du champignon	31	5 %
Total	570	100 %

* On a arrondi certaines valeurs.

1.14.3 Inspections visuelles

1.14.3.1 Voie

Selon le RSV et la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN³⁴, toute voie de catégorie 3 dont le tonnage annuel est supérieur à 35 MTB doit faire l'objet

³³ Une fois que les écrasements aux abouts de rail et les affaissements localisés de la surface de roulement sont identifiés dans un rapport de contrôle des défauts de rail, ils ne sont pas répétés dans des rapports subséquents, car le personnel d'entretien de la voie est censé les surveiller.

³⁴ À l'article 1a de la NV 7.0, intitulée « Directives relatives à l'inspection la voie », des Normes de la voie – Ingénierie (NVI) de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, on indique que « [l]a périodicité minimale des inspections au Canada est indiquée dans le Règlement sur la sécurité de la voie de Transports Canada ».

d'une inspection visuelle au moins 2 fois par semaine. Toutefois, au cours de l'hiver 2015, le CN a demandé à ce qu'on effectue des inspections de la voie quotidiennes dans le nord de l'Ontario en raison de la température et de la neige.

Le SAV avait effectué la plus récente inspection visuelle de la voie le 12 février 2015, sans remarquer d'aggravation du problème d'écrasement aux abouts de rail du joint isolant au point milliaire 111,7. À ce moment toutefois, il ne l'avait inspecté que visuellement, sans prendre de mesure. Cet écrasement aux abouts de rail mesurait 3,5 mm lors du contrôle des défauts de rail du 7 février 2015. Aucune mesure de cet écrasement aux abouts de rail n'a été consignée pendant les inspections visuelles, et il n'était pas requis de le faire.

1.14.3.2 Exigences sur l'inspection des joints du Règlement concernant la sécurité de la voie

À l'article V (Joints de rail) de la section D (Structure de la voie) du *Règlement concernant la sécurité de la voie*, on indique ce qui suit :

- (a) Tous les joints de rail, ordinaires, isolants et mixtes, doivent présenter des caractéristiques et des dimensions compatibles avec les rails qu'ils réunissent.
- (b) Lorsque, sur une voie de catégorie 3, 4 ou 5, une éclisse est fissurée, cassée, ou que, en raison de son usure, elle permet le déplacement vertical de l'un des rails alors que tous les boulons sont serrés, il est nécessaire de la remplacer.
- (c) Lorsqu'une éclisse est fissurée ou rompue entre les deux trous de boulon centraux, il faut remplacer cette dernière³⁵.

Au paragraphe 2.5 (Inspection à pied) de l'article 2 (Voie - Inspections) de la section F (Inspection), on indique ce qui suit :

- (a) Une inspection à pied doit être effectuée sur toutes les voies à joints éclissés et voies à traverses de béton dont la courbure est de 4 degrés ou plus. Si les éclisses sont inspectées par un moyen électronique, tel qu'une caméra ou toute autre technologie capable de détecter des éclisses défectueuses, il n'est pas nécessaire, dans un territoire à joints éclissés, de procéder à une inspection à pied des voies droites et des courbes de moins de 4 degrés de courbure; cependant, toutes les voies qui présentent des courbes de 4 degrés ou plus doivent faire l'objet d'une inspection à pied³⁶.

1.14.3.3 Exigences sur l'inspection des joints de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

À l'article 6 de la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN, on indique notamment ce qui suit :

³⁵ Transports Canada, *Règlement concernant la sécurité de la voie*, section D (Structure de la voie), article V (Joints de rail).

³⁶ *Idem.*, section F (Inspection), article 2 (Voie - Inspections), paragraphe 2.5 (Inspection à pied).

Les éclisses sur les tronçons en LRS doivent faire l'objet d'une inspection à pied une fois par année, selon la fréquence établie pour la catégorie de voie et le tonnage annuel [...] ³⁷.

Il faut inspecter 2 fois par année les joints de rail de toute voie de catégorie 3 dont le tonnage annuel se situe entre 40 et 60 MTB. Il n'y avait aucun rapport indiquant qu'on avait effectué des inspections à pied des joints dans les environs du joint isolant en cause dans l'événement à l'étude.

Ces mêmes normes fournissent des conseils sur les mesures à prendre lorsque l'on constate un problème à un joint de longs rails soudés (LRS) ne justifiant pas de réparation en vertu de la réglementation.

À l'article 8 de la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN, on indique notamment ce qui suit [traduction] ³⁸ :

Si l'on constate l'un des problèmes suivants [...] à un joint de LRS, et que la réglementation ne requiert pas la prise de mesures correctives ou qu'il est impossible d'éliminer ce problème immédiatement, il faut effectuer des inspections de suivi à pied jusqu'à ce que le problème soit éliminé.

Tableau 4 - Défaits des joints de rail et mesures correctives

[tableau adapté ³⁹]

État des joints de rail	Mesures correctives
Éclisse visiblement fissurée	Remplacer
Écrasement des abouts (profondeur supérieure à 5/16 po [8,0 mm] et longueur supérieure à 6 po; mesures prises à l'aide d'une règle de 24 po)	Corriger le nivellement du joint ou remplacer le rail*
Déplacement vertical d'un joint (profil) excédant 75 % de la valeur limite prévue pour la catégorie de voie visée	Corriger le nivellement du joint*

* Ou faire effectuer une inspection de suivi toutes les deux semaines jusqu'à ce que le défaut soit corrigé ou supprimé.

³⁷ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Normes de la voie – Ingénierie* (juin 2011), NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie), article 6, page 143.

³⁸ *Idem.*, article 8, page 148.

³⁹ Le tableau 4 de l'article 8 de la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN énumère 13 types d'état de rail et les mesures correspondantes à prendre. Les 3 exemples présentés ici sont les types d'état de rail en cause dans l'événement à l'étude.

Le SAV aurait effectué une inspection visuelle de l'écrasement aux abouts de rail du joint le 12 février 2015 dans le cadre d'une inspection visuelle bihebdomadaire effectuée en véhicule rail-route.

1.14.4 Directives d'inspection de la voie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Le module 5 de la formation 00022E, intitulée « Inspection de la voie », sur les directives d'inspection de la voie du CN traite des éléments suivants à l'intention des employés :

- l'assemblage des joints de rail;
- le nombre minimal de boulons par joint;
- le désaffleurement des abouts de rails;
- les exigences sur les écrasements aux abouts de rail;
- les défauts de géométrie causés par les joints bas;
- les exigences de la NV 7.0, Directives relatives à l'inspection de la voie, des NVI du CN.

Les directives d'inspection de la voie et la NV 7.0 des NVI du CN traitent des mesures correctives de différents problèmes de joints. Il faut corriger le nivellement des joints accompagnés de ballast pollué et d'un déplacement vertical (profil) excédant 75 % de la valeur limite prévue pour la catégorie de voie visée. On ne mentionne pas dans ces documents le nivellement des joints dont le déplacement vertical est inférieur à 75 % de la valeur limite prévue pour la catégorie de voie visée (c.-à-d. un creux de 1 pouce), même si les joints bas constituent souvent les causes sous-jacentes de défauts plus graves.

1.14.5 Systèmes de contrôle des éclisses

L'Office of Research and Development de la Federal Railroad Administration (FRA) et ENSCO, Inc. ont mis au point un système optique automatisé de contrôle des éclisses doté de caméras à grande vitesse fonctionnelles à des vitesses pouvant atteindre 70 mi/h. Ce système comprend 4 caméras à balayage linéaire fixées à un véhicule rail-route ou ferroviaire qui captent continuellement des images haute définition des 2 côtés de chaque rail. Un ordinateur embarqué enregistre automatiquement les images de chaque éclisse. Le système les analyse pour détecter sur les éclisses ou les rails les défauts visibles, dont les fissures de fatigue et les boulons manquants. Toutefois, les caméras ne peuvent capter que les fissures qui se forment sur la surface extérieure (exposée) des éclisses.

Lorsque le système détecte un défaut potentiel, il émet un avertissement sonore, ajoute les coordonnées GPS (système mondial de positionnement pour navigation satellite) à l'image, puis met en évidence le défaut sur l'image de l'éclisse à l'écran. Un opérateur doit ensuite confirmer ou rejeter le défaut. À la fin du contrôle, il est alors possible de créer un rapport comprenant les coordonnées GPS des éclisses et les défauts détectés. Herzog Services Inc.

(Herzog) et Sperry Rail Service (SRS)⁴⁰ ont installé ce système sur certaines de leurs voitures d'auscultation (par induction et ultrasons).

De plus, le Transport Technology Center Inc. et Herzog ont conçu un système de contrôle non destructif par ultrasons. Ce système peut détecter les défauts d'éclisses qui sont cachés par la partie incurvée située entre le champignon et l'âme du rail et qu'il est impossible de voir à l'œil nu ou à l'aide de systèmes optiques⁴¹. Ce système utilise des transducteurs à ultrasons fixés à un support coulissant ou une unité de recherche à rouleaux pour ausculter l'extérieur d'une éclisse, tout en transmettant des ondes sonores pulsées pour détecter les défauts et les fissures qui se trouvent à l'intérieur de la surface supérieure de l'éclisse. Cela permet la détection de fissures se trouvant à l'intérieur de la partie supérieure du milieu des éclisses, c'est-à-dire à l'endroit où se forment 95 % des fissures de fatigue⁴².

Au moment de l'événement à l'étude, le CN n'utilisait ni la technologie optique automatisée ni la technologie de contrôle des éclisses par ultrasons.

1.15 Effet du temps froid sur l'infrastructure de la voie

Par temps très froid, la résistance de la voie et de l'infrastructure aux sollicitations en service, aux dommages et aux ruptures se trouve diminuée.

Il est reconnu que l'acier des rails et des éclisses est moins tenace et ductile à la rupture quand il est soumis à de basses températures, surtout s'il y a un défaut du rail ou que la contraction des longs rails soudés (LRS) soumet les joints de rail à des contraintes élevées. Pour réduire au minimum les effets du temps froid sur l'infrastructure de la voie, le CN a élaboré une politique d'inspection par température très basse. Plus précisément, à l'article 33 de la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN, on indique ce qui suit⁴³ :

Par temps très froid, on devra procéder à des inspections quotidiennes sur les lignes essentielles lorsque prévaudront les conditions suivantes :

[tableau adapté⁴⁴]

⁴⁰ Sperry Rail Service est un fournisseur de services contractuel pour le secteur ferroviaire. Il inspecte les voies ferrées à la recherche de défauts de sous-surface au moyen d'un parc de voitures de contrôle spécialisées faisant appel à une technologie exclusive et à des systèmes de gestion de données mis au point à l'interne.

⁴¹ Greg Garcia, *Automated Ultrasonic Inspection Detects Cracks in Joint Bars, Railway Track and Structure*, juin 2010 et avril 2011.

⁴² Transport Technology Center Inc., *Technology Digest 08-040, Evaluation of Feasibility of Automated Joint Bar Inspection*.

⁴³ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Normes de la voie – Ingénierie* (juin 2011), NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie), article 33, page 155.

⁴⁴ La politique d'inspection par temps de froid extrême énoncée à l'article 33 de la NV 7.0 des NVI du CN énumère 4 territoires et les conditions qui doivent être remplies pour qu'une inspection soit effectuée. Le territoire et l'état indiqués ici sont ceux qui sont pertinents pour l'événement à l'étude.

Territoire	État de la voie	Température très basse
Lignes canadiennes	Toutes les voies	inférieure à -30 °C

Le CN a également défini des limitations temporaires de vitesse par temps froid. À l'article 36 de la NV 7.0 (Directives relatives à l'inspection de la voie) des NVI du CN, on indique ce qui suit :

Dans les secteurs où se produisent fréquemment des défauts (la direction de l'Ingénierie produit une liste de ces secteurs chaque année), on doit avoir recours par temps froid aux limitations temporaires de vitesse ci-dessous :

Si la température est inférieure à -25 °C au Canada ou -10 °F aux États-Unis, la vitesse de tous les trains marchandises doit être limitée à 40 mi/h ou à la vitesse maximale prévue pour la voie [...] ⁴⁵.

Au moment du déraillement, on avait effectué les inspections quotidiennes par temps froid, et restreint la vitesse et la longueur des trains à 40 mi/h et 10 000 pieds, respectivement.

1.16 *Bulletin d'ingénierie 2015-F-01 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Le 15 janvier 2015, en raison du grand nombre d'écrasements de champignons et d'abouts de rail ainsi que d'affaissements localisés de la surface de roulement détectés pendant les contrôles des défauts de rail, le directeur de l'Ingénierie, Région de l'est a publié le bulletin 2015-F-01 (annexe B). Le bulletin indiquait ce qui suit : de mesurer et d'inspecter tous les champignons et abouts de rail écrasés et les affaissements localisés de la surface de roulement de plus de 3 mm dans les 96 heures; d'envoyer les relevés au directeur adjoint de l'Ingénierie et à l'Ingénieur en chef régional d'ici le 20 janvier 2015; de prendre des mesures correctives conformément aux normes hivernales définies à la section NV 1.7; de définir des limitations de vitesse en dernier recours pour gérer ces types de défauts. Le bulletin précisait également ce qui suit :

Il ne faut en aucun cas compromettre la sécurité ou l'intégrité de la voie; par ailleurs, on doit faire tout ce qui est possible pour corriger les défauts de rail ou de géométrie avant de mettre en place une LTV⁴⁶.

Le CN a indiqué que cette directive n'a pas été publiée par suite de préoccupations particulières relativement à l'augmentation du nombre d'écrasements aux abouts de rail et

⁴⁵ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Normes de la voie – Ingénierie* (juin 2011), NV 7.0 Directives relatives à l'inspection de la voie, article 36, page 156.

⁴⁶ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, bulletin n° 2015-F-01, *Objet: Écrasements du champignon, joints de rail, joints isolants collés* (de l'Ingénieur en chef régional au personnel de l'Ingénierie de la Région de l'Est), 15 janvier 2015.

de zones de roulement brutal. L'objectif était plutôt de gérer de manière préventive l'aggravation de l'état de la surface de roulement du rail.

1.17 *Perfectionnement des employés*

Avant l'événement à l'étude, le CN avait connu une rotation élevée de personnel. Le CN avait engagé environ 50 % de ses 25 000 employés au cours des 5 années précédentes⁴⁷. En 2014, le CN a ouvert 2 nouveaux centres de formation pour gérer sa transition vers une main-d'œuvre plus jeune et diversifiée. Les centres de formation pour les employés canadiens et américains étaient situés à Winnipeg (Manitoba) et Homewood (Illinois), respectivement. À chaque centre de formation, on offrait des formations aux recrues et aux cheminots d'expérience occupant différents postes, dont les mécaniciens de locomotive, les chefs de train, les wagonniers, les agents d'entretien de la voie, les inspecteurs de voie et les agents d'entretien des signaux. Les employés y recevaient des formations pratiques dans des laboratoires modernes et intérieurs dotés d'équipement de fine pointe par des formateurs utilisant des techniques d'enseignement modernes. Environ 3000 employés y étaient formés annuellement.

1.17.1 *Perfectionnement et cheminement des employés du Service d'ingénierie*

Les employés syndiqués du Service d'ingénierie étaient initialement engagés comme agents d'entretien de la voie. La formation des agents d'entretien de la voie se composait d'un cours de 3 semaines au centre de formation du CN à Winnipeg. On donnait un cours de base sur le travail au CN pendant la première semaine, on consacrait la deuxième semaine aux tâches des agents d'entretien de la voie et on réservait la troisième semaine au *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REFC).

Pour participer à la formation sur le REFC, les candidats devaient réussir un examen sur l'entretien de la voie à la fin de la deuxième semaine. À cette étape de la formation, très peu de candidats échouaient à cet examen. On soumettait les candidats à un examen sur le règlement d'exploitation à la fin de la troisième semaine. Environ 75 % des candidats réussissaient cet examen à leur première tentative. Les candidats qui échouaient devaient passer l'examen à nouveau après 90 jours d'expérience pratique. Le taux de réussite de cette deuxième tentative se chiffrait à 95 %.

Une fois qu'ils étaient qualifiés comme agents d'entretien de la voie, les employés pouvaient postuler des postes de contremaîtres de la voie (CV). Les CV devaient suivre une formation de 10 jours comprenant un certain nombre de cours obligatoires, dont un sur les directives de contrôle de la voie, un sur les LRS et un sur l'utilisation de grues. Les CV devaient renouveler leur qualification sur les directives de contrôle de la voie et les LRS tous les 3 ans. Le CN assurait le suivi de ce renouvellement à l'aide de son système de gestion de la formation.

⁴⁷ Chambre des communes, Comité permanent des transports, de l'infrastructure et des collectivités (CPTIC), numéro 049, 2^e session, 41^e législature, 24 mars 2015.

Le poste de SAV constituait le premier niveau de direction au Service de l'ingénierie du CN. Environ 50 % des candidats choisis pour recevoir une formation de SAV provenaient des rangs des employés syndiqués. Les 50 % restants étaient composés de recrues embauchées à l'externe par le CN. Quoique l'on privilégiait les candidats possédant de l'expérience en entretien de la voie et en gestion, les SAV avaient des profils variés.

Les aspirants SAV participaient à un programme de formation d'une durée pouvant atteindre 52 semaines. Cette formation se composait de 7 modules didactiques de 10 à 13 jours chacun offerts au centre de formation de Winnipeg. Ces modules didactiques étaient offerts en alternance avec des modules de formation pratique en cours d'emploi. Dans l'ensemble, ce programme de formation comprenait environ 14 semaines de formation en classe et 36 semaines de formation pratique en cours d'emploi. La durée de la formation pratique en cours d'emploi variait. Après avoir achevé cette formation, les candidats possédaient l'année d'expérience requise pour obtenir la qualification d'inspecteur de la voie. Le tableau 4 donne un aperçu du programme de formation des SAV.

Tableau 4. Aperçu du programme de formation des superviseurs adjoints de la voie (SAV) de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Module et lieu de formation	Nombre de semaines	Objectif principal	Sujets
Module 1 Salle de classe	2	Orientation	Orientation des employés et santé et sécurité au travail. Dans le cadre de ce module, les nouveaux employés suivent aussi une formation d'agent d'entretien de la voie de 1 semaine. On consacre également une demi-journée à l'introduction aux relations avec la main-d'œuvre (leadership).
Module 1 Formation pratique en cours d'emploi (FPCE)	4		
Module 2 Salle de classe	2	Règlement	Formation de 5 jours sur le règlement et de 4 jours sur la santé et sécurité au travail et la gestion du parc.
Module 2 FPCE	4		
Module 3 Salle de classe	2	Voie	Voie, y compris les directives d'inspection de la voie, les longs rails soudés, les mouvements sur des rails brisés, etc.
Module 3 FPCE	4		
Module 4 Salle de classe	2	Leadership	Formation en leadership, contrôles d'efficacité et utilisation de camions-grues.
Module 4 FPCE	2		
Module 5 Salle de classe	2	Voie	Formation sur la voie comprenant les géotechnologies et les directives de contrôle exhaustif de la voie.
Module 5 FPCE	8		
Module 6 Salle de classe	2	<i>Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada</i>	Formation sur le <i>Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada</i> pour les superviseurs.
Module 6 FPCE	10 à 12		
Module 7 Salle de classe	2	Voie	Formation supplémentaire sur l'entretien de la voie et les directives d'inspection de la voie.

Pendant les modules de formation pratique en cours d'emploi, on fournissait aux aspirants SAV une liste de vérification comprenant 16 compétences liées au contrôle de la voie et 8 compétences professionnelles que chaque candidat devait mettre en pratique pour acquérir de l'expérience. Les candidats devaient aussi essayer d'observer un certain nombre d'activités avant la fin du programme de formation. Toutefois, il incombait aux candidats de trouver des occasions d'observer ces activités lorsqu'ils se trouvaient sur le terrain. Pendant la formation pratique en cours d'emploi, le rendement des candidats quant aux compétences de la liste de vérification n'était pas officiellement vérifié ou évalué.

Les SAV relèvent généralement d'un superviseur de la voie (SV). Habituellement, les SAV sont promus au poste de SV; les exigences de formation sont les mêmes pour ces 2 postes.

1.17.2 Encadrement des superviseurs adjoints de la voie

Même un SAV inexpérimenté doit savoir faire le point sur les combinaisons d'états et de défauts pour en évaluer l'ampleur sur la structure de la voie, et d'anticiper leur dégradation s'ils ne sont pas éliminés. S'il est possible de comparer des défauts individuels à des critères précis relatifs à la voie, la gestion d'une combinaison d'états et de défauts émergents (c.-à-d. nécessitant une intervention prioritaire ou quasi urgente) nécessite une certaine expérience et un bon jugement.

L'un des défis de la formation d'aspirants SAV possédant une expérience limitée dans le domaine ferroviaire est de les aider à acquérir l'expérience et le jugement nécessaires pour évaluer les problèmes et les défauts de voie. Pour les aider à acquérir de l'expérience et compléter les programmes de formation didactique et pratique en cours d'emploi pour les SAV, le CN avait mis sur pied un programme d'encadrement, en vertu duquel le SV et le directeur principal, Ingénierie (DPI) devaient encadrer leurs employés en plus de s'acquitter de leurs tâches d'entretien de la voie.

Depuis 2013, les superviseurs de première ligne et cadres intermédiaires du CN suivaient un programme de communication et de leadership intitulé LEAD. Le programme LEAD complet, qui comprenait un volet de mentorat, consistait en une formation de 4 jours à l'intention des superviseurs sur les relations et les styles de communication positifs pour intéresser les employés et obtenir leur coopération. Au moment de l'accident, ni le SV ni le SAV n'avaient suivi cette formation.

1.17.3 Encadrement efficace pour acquérir de l'expertise

Selon la recherche sur le développement des compétences requises dans des situations nécessitant du jugement et une capacité à gérer des problèmes complexes, il est important d'encadrer les recrues en commentant la façon dont ils s'occupent de situations à complexité croissante. Pour offrir un encadrement efficace, il faut notamment :

- développer avec l'apprenti une relation positive favorisant l'apprentissage;
- comprendre pourquoi l'apprenti éprouve des difficultés;
- adapter la méthode d'apprentissage aux capacités de l'apprenti.

Pour qu'un mentor puisse créer un environnement favorable à l'apprentissage, l'entreprise doit s'engager à lui fournir les ressources et les compétences nécessaires à un encadrement efficace⁴⁸.

1.18 *Entretien de la voie dans la subdivision de Ruel*

La subdivision de Ruel du CN s'étend, d'est en ouest sur une distance de 296,2 milles, entre Capreol (point milliaire 0,0) et Hornepayne (point milliaire 296,2). Pour faciliter les activités d'entretien de la voie, cette subdivision est divisée en 2 parties : la partie est (des points milliaires 0,0 à 183,2) et la partie ouest (des points milliaires 183,2 à 296,2). Dans la partie est de la subdivision de Ruel, un SV et 2 SAV étaient responsables de toutes les activités d'entretien, y compris la supervision du personnel de maintenance technique. Un SAV était responsable d'environ 87 milles de l'extrémité est de la partie est, et l'autre d'environ 97 milles de l'extrémité ouest de la partie est. L'été, le personnel d'entretien de la voie se composait de 18 à 24 employés permanents. Environ 34 employés temporaires s'ajoutaient à cette équipe pendant l'hiver.

Le SV relevait du DPI de la zone du nord de l'Ontario. Ce DPI était l'un des 4 DPI du CN œuvrant dans la province de l'Ontario. Il était responsable d'un territoire comprenant des parties des subdivisions de Bala, de Caramat et de Newmarket, et l'ensemble des subdivisions de Ruel et de Soo. Il relevait d'un des 2 ingénieurs adjoints en chef de la région de l'est du CN qui relevaient du directeur de l'Ingénierie, Région de l'est.

1.18.1 *Directeur principal, Ingénierie*

Le DPI en poste au moment de l'événement à l'étude était entré au service du CN en 1979, puis à l'équipe de direction du chemin de fer en 2009 en tant que superviseur de construction. À la fin de 2009, il avait été promu au poste de directeur de la production, et avait été promu à son poste de DPI en décembre 2014.

Le DPI précédemment en poste était entré au service du CN en 1981 comme agent de la voie. Il a occupé un poste de contremaître d'équipe pendant 21 ans. En 2005, il a obtenu le poste de SV, puis a été promu au poste de DPI en 2008.

1.18.2 *Superviseur de la voie*

Le SV était entré au service du CN en mai 2007 en tant que SAV dans le sud de l'Ontario. Le 15 octobre 2013, il a été promu au poste de SV de la partie est de la subdivision de Ruel; il était basé à Foleyet (Ontario), au point milliaire 148,3. Avant l'événement à l'étude, on n'avait pas identifié de problèmes liés au rendement ou aux compétences du SV dans son travail.

⁴⁸ Hoffman, R. et Feltowich, P. 2010. *Accelerated Proficiency and Facilitated Retention: Recommendations Based on an Integration of Research and Findings from a Working Meeting*, Air Force Research Laboratory, rapport final AFRL-RH-AZ-TR-2011-0001, page 53.

En raison de la charge de travail dans la subdivision de Ruel, le SV disposait de peu de temps et avait peu d'occasions de fournir de l'instruction et de l'encadrement aux SAV.

1.18.3 *Superviseur adjoint de la voie*

Le SAV était entré au service du CN en février 2013 en tant que contremaître adjoint de la voie. En mai 2014, il a été promu au poste de SAV de la subdivision de Ruel – un poste basé à Foleyet (Ontario) – et a commencé le programme de formation des SAV du CN. De mai 2014 à février 2015, le SAV a rempli les fonctions de son poste en effectuant les modules de formation pratique en cours d'emploi du programme de formation des SAV. Pendant cette période, le SAV se rendait périodiquement au centre de formation du CN de Winnipeg (Manitoba) pour participer aux modules en classe de la formation.

De mai 2014 à décembre 2014, le SAV a travaillé sous la direction de l'ancien DPI. Pendant cette période, le SAV a peu interagi avec le DPI. À partir de décembre 2014, le nouveau DPI a accordé plus de temps au SAV que l'ancien et était généralement plus réceptif à ses préoccupations envers sa charge de travail et les ressources. Même si l'on considérait que le SAV avait les aptitudes requises pour gravir les échelons de la direction, il a démissionné peu de temps après l'événement à l'étude et est retourné à un poste syndiqué du CN. Les demandes liées au poste de SAV et le manque d'encadrement et de soutien ont contribué à sa décision.

1.18.4 *Défis liés à l'entretien de la voie dans la subdivision de Ruel*

Selon le CN, la vitesse des trains⁴⁹ est un élément qui peut avoir des répercussions considérables sur l'utilisation des actifs et le contrôle des coûts, lesquels constituent 2 des 5 piliers de la stratégie commerciale du CN⁵⁰. Le personnel du Service de l'ingénierie comprend l'urgence d'assurer une circulation aussi rapide et sécuritaire que possible des trains. Les retards de trains qui réduisent la vitesse produisent des contraintes interfonctionnelles au sein de l'entreprise. Ces contraintes peuvent parfois créer des conflits entre les décisions prises à propos de l'entretien de la voie et l'exploitation des trains. Comme il est très important de ne pas retarder les trains, le personnel d'entretien peut avoir de la difficulté à obtenir des périodes d'occupation de la voie nécessaires aux contrôles, à l'entretien et aux réparations de la voie. Un employé nouveau venu au sein de la direction de première ligne peut se sentir particulièrement vulnérable à la coercition exercée sur lui par les niveaux supérieurs de la direction de l'entreprise.

Dans le cas de l'événement à l'étude, le DPI inspectait la subdivision de Ruel à bord d'un véhicule rail-route toutes les 2 à 3 semaines. Suite à l'évaluation globale effectuée par le DPI en poste et le DPI précédent, il avait été déterminé que l'état de la voie était acceptable. Les

⁴⁹ La vitesse des trains est la capacité de déplacer les trains vers leur destination de la façon la plus sécuritaire et rapide possible. (Source : Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Comment nous travaillons et pourquoi.*)

⁵⁰ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Comment nous travaillons et pourquoi.*

deux étaient d'avis que le nombre de défauts diminuait et que la voie et la surface étaient en bon état.

À son arrivée en décembre 2014, le nouveau DPI a mis sur pied un système de rapports de travail pour obtenir une meilleure compréhension des défis opérationnels dans le territoire. En étudiant ces rapports de travail, le DPI a constaté que le personnel du Service d'ingénierie avait de la difficulté à obtenir des périodes d'occupation de la voie suffisantes pour effectuer des patrouilles et des travaux d'entretien nécessaires.

Le SV, qui travaillait dans ce territoire depuis octobre 2013, croyait également que l'état général du territoire s'améliorait, surtout depuis l'installation de 860 nouvelles traverses en béton l'année précédente. Toutefois, en raison du grand nombre de défauts de géométrie de la voie, on mettait l'accent sur l'élimination des défauts nécessitant une intervention urgente ou quasi urgente; il était donc difficile d'éliminer les défauts nécessitant une intervention prioritaire. Dans les mois précédant le déraillement, les contrôles des défauts de rail avaient permis de détecter un grand nombre d'affaissements localisés de la surface de roulement et d'écrasements aux abouts de rail devant être surveillés. C'est pourquoi peu de temps était consacré aux activités d'entretien ordinaires dans la majeure partie du tronçon est de la subdivision de Ruel.

Le SAV était chargé de l'inspection et de l'entretien d'environ 62 milles de voie, entre Gogaga (Ontario), au point milliaire 86,6, et Foleyet (Ontario), au point milliaire 148,3. En raison du temps requis pour l'entretien de la voie et des difficultés d'obtention de périodes d'occupation de la voie, le SAV trouvait difficile d'effectuer les contrôles nécessaires de la voie. Comme il s'agissait du premier hiver du SAV dans le nord de l'Ontario, il n'avait pas de cadre de référence acquis lors d'années précédentes sur la charge de travail et les défis à relever.

Le SAV effectuait lui-même la plupart des contrôles de la voie au lieu de les déléguer à des CV qualifiés, car ceux-ci étaient souvent affectés à des travaux urgents d'entretien de la voie. Au début de 2015, pendant les périodes de grand froid, le SAV devait parfois effectuer des contrôles de la voie chaque jour pendant des périodes prolongées. Il devait de plus surveiller un grand nombre de défauts de rails et de surfaces de roulement. En raison des difficultés d'obtention de périodes d'occupation de la voie, un contrôle des 62 milles de voie pouvait prendre jusqu'à 16 heures. Le SAV avait aussi de la difficulté à terminer les réparations, car le SV refusait les demandes d'heures supplémentaires pour les équipes d'entretien.

Le SAV prévoyait souder le joint isolant au point milliaire 111,7 pour le réparer temporairement en attendant de le remplacer à une date ultérieure. Le SAV a souvent tenté d'inscrire à l'horaire la réparation du joint isolant par soudure en décembre 2014 et en janvier 2015. Toutefois, ses tentatives s'étaient soldées par des échecs, en raison apparemment de l'indisponibilité du soudeur et de son véhicule.

Le SAV a attribué une grande partie de la lourde charge de travail du soudeur au grand nombre de joints de la voie qui n'avaient pas été soudés au cours de l'été précédent. Il avait parlé des défis de la subdivision de Ruel au nouveau DPI, lequel lui avait fourni du personnel et du soutien supplémentaires. D'une part, même si le SAV avait de la difficulté à

garder le pas, l'hésitation manifestée à l'égard des limitations de vitesse qui réduiraient la vitesse des trains était généralisée. D'autre part, la haute direction considérait l'absence de limitations de vitesse comme un signe que le personnel et l'entretien étaient adéquats.

1.19 Surveillance réglementaire

TC préconise la sûreté et la sécurité des réseaux de transport aériens, maritimes, ferroviaires et routiers et du transport des MD. Pour ce faire, TC élabore des règlements et des normes de sécurité; dans le cas des chemins de fer, il encadre l'élaboration de règlements au sein de l'industrie ferroviaire. Une fois que les règlements sont approuvés, TC doit les mettre en application et veiller à leur respect à l'aide d'un certain nombre de programmes d'inspections. Les inspections de la voie se fondent sur les risques. TC gère également un programme national d'inspections dans le cadre duquel, chaque année, il sélectionne au hasard des segments de voie à inspecter. Les corridors de transport principaux reçoivent généralement plus d'attention que les voies principales secondaires.

La sécurité ferroviaire est régie par la *Loi sur la sécurité ferroviaire* (LSF), dont les objectifs sont les suivants :

- a) pourvoir à la sécurité et à la sûreté du public et du personnel dans le cadre de l'exploitation ferroviaire et à la protection des biens et de l'environnement, et en faire la promotion;
- b) encourager la collaboration et la participation des parties intéressées à l'amélioration de la sécurité et de la sûreté ferroviaires;
- c) reconnaître la responsabilité qui incombe aux compagnies d'établir, par leurs systèmes de gestion de la sécurité et autres moyens à leur disposition, qu'elles gèrent continuellement les risques en matière de sécurité;
- d) favoriser la mise en place d'outils de réglementation modernes, flexibles et efficaces dans le but d'assurer l'amélioration continue de la sécurité et de la sûreté ferroviaires⁵¹.

TC a également élaboré des règlements sur les systèmes de gestion de la sécurité (SGS) en vertu desquels les chemins de fer sont responsables de la gestion de leurs risques pour la sécurité.

1.19.1 Inspections réglementaires de la voie de Transports Canada

Dans le cadre des devoirs de supervision de TC, les inspecteurs en sécurité ferroviaire du ministère effectuent des contrôles de l'infrastructure ferroviaire, et ce, partout au Canada. TC n'effectue pas d'inspections périodiques dans les subdivisions ferroviaires. Le ministère cible plutôt des parties de subdivisions selon une approche fondée sur le risque et en tenant compte de différents facteurs. TC tient compte de toute augmentation considérable du trafic ferroviaire global ou du transport de MD, mais ces facteurs ne sont pas nécessairement décisifs dans le choix des subdivisions qui seront inspectées. TC établit la priorité des

⁵¹ *Loi sur la sécurité ferroviaire*, L.R.C. (1985), ch. 32 (4^e suppl.), article 3.

inspections en tenant compte de différents facteurs opérationnels, dont les défauts de rail ou de géométrie de la voie, les trains de voyageurs et leurs vitesses d'exploitation rapides, et le tonnage. Le tableau 5 présente un résumé des inspections de la voie effectuées par TC dans la subdivision de Ruel depuis 2005.

Tableau 5. Inspections de la voie effectuées par Transports Canada dans la subdivision de Ruel (2005 à 2015)

Année	Début (PM)	Fin (PM)
2005	148,3	223,5
2006	87	183
2007	0	86,7
2008	0	87
2010	87	127
2012	86	296
2013	-	-
2014	-	-
2015 (jusqu'en février 2015)	-	-

Entre 2012 et l'événement à l'étude, TC n'avait pas effectué d'inspections dans la subdivision de Ruel. TC a inspecté l'ensemble de la subdivision entre le 15 et le 19 mars 2015. Pendant cette inspection, TC a constaté 67 états non conformes et a rapporté 59 autres préoccupations et observations.

1.20 Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire

Un SGS est un « processus systématique, explicite et global de gestion des risques pour la sécurité »⁵². Il s'agit d'un moyen de s'assurer que les chemins de fer mettent en place les processus nécessaires pour identifier les dangers liés à leurs activités et définir des mesures d'atténuation des risques. Un SGS est fondé sur des concepts de sécurité en constante évolution qui semblent les plus susceptibles de faire croître l'efficacité de la gestion des risques. On a progressivement mis en œuvre des SMS au sein de l'industrie des transports du Canada. Ils servent à s'assurer que les entreprises mettent sur pied des processus systématiques de gestion des risques. L'on juge que cette approche de surveillance réglementaire, combinée à des inspections et à des mesures d'application de la loi, réduit considérablement les taux d'accident.

⁵² Transports Canada, TP 15058F, *Systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire – Guide : Guide de mise en place et d'amélioration des systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire* (novembre 2010), page 3, <http://publications.gc.ca/site/fra/9.694086/publication.html#> (dernière consultation le 25 janvier 2017).

À l'article 2 du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* (2001) de TC, qui était en vigueur au moment de l'événement à l'étude⁵³, on retrouve ce qui suit :

- 2 Toute compagnie de chemin de fer doit mettre en œuvre et conserver un système de gestion de la sécurité qui comporte au moins les composantes suivantes :
- a) la politique de la compagnie de chemin de fer en matière de sécurité ainsi que ses objectifs annuels de rendement en matière de sécurité et les initiatives connexes liées à la sécurité pour les atteindre, approuvés par un dirigeant supérieur de la compagnie et communiqués aux employés;
 - b) les responsabilités, pouvoirs et obligations de rendre compte en matière de sécurité, exprimés clairement, à tous les paliers de la compagnie de chemin de fer;
 - c) un système visant la participation des employés et de leurs représentants dans l'élaboration et la mise en œuvre du système de gestion de la sécurité de la compagnie de chemin de fer;
 - d) des mécanismes visant à déterminer :
 - (i) d'une part, les règlements, règles, normes et ordres applicables en matière de sécurité ferroviaire et les procédures pour en démontrer le respect,
 - (ii) d'autre part, les exemptions qui sont applicables et les procédures pour démontrer le respect, le cas échéant, des conditions fixées dans l'avis d'exemption;
 - e) un processus qui a pour objet :
 - (i) d'une part, de déterminer les problèmes et préoccupations en matière de sécurité, y compris ceux qui sont associés aux facteurs humains, aux tiers et aux modifications d'importance apportées aux opérations ferroviaires,
 - (ii) d'autre part, d'évaluer et de classer les risques au moyen d'une évaluation du risque;
 - f) des stratégies de contrôle du risque;
 - g) des mécanismes visant la déclaration des accidents et incidents, les analyses et les enquêtes s'y rapportant, et les mesures correctives;
 - h) des méthodes pour faire en sorte que les employés et toute autre personne à qui la compagnie de chemin de fer donne accès aux biens de celle-ci disposent des compétences et de la formation appropriées et d'une supervision suffisante afin qu'ils puissent respecter toutes les exigences de sécurité;

⁵³ Le nouveau *Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* de Transports Canada est entré en vigueur le 1^{er} avril 2015.

- i) des procédures visant la collecte et l'analyse de données aux fins d'évaluation du rendement de la compagnie de chemin de fer en matière de sécurité;
- j) des procédures visant les vérifications internes périodiques de la sécurité, les examens effectués par la gestion, la surveillance et les évaluations du système de gestion de la sécurité;
- k) des mécanismes de surveillance des mesures correctives approuvées par la gestion découlant des systèmes et processus exigés en application des alinéas d) à j);
- l) de la documentation de synthèse qui décrit les systèmes pour chacune des composantes du système de gestion de la sécurité⁵⁴.

En vertu du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, les chemins de fer doivent également :

- tenir des dossiers facilitant l'évaluation du rendement en matière de sécurité (paragraphe 3[1]);
- envoyer des documents et des dossiers au ministre prouvant que le chemin de fer se conforme à la réglementation (paragraphe 4[1]);
- fournir, sur demande, de la documentation sur la gestion de la sécurité (article 6).

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

Conformément au *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, le CN avait élaboré et mis en œuvre un SGS détaillé. Depuis 2008, le CN apportait chaque année des améliorations à son SGS, et celui-ci avait été intégré à la majorité de ses activités. Dans ce SGS, on décrivait des initiatives d'entreprise satisfaisant aux exigences de l'article 2 du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*.

En ce qui concerne le paragraphe 2(e) du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* (qui était en vigueur au moment de l'événement), le CN avait mis en œuvre les systèmes nécessaires pour :

- déterminer les problèmes 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 du risque;
- définir et mettre sur pied des stratégies de contrôle du risque.

Les mesures concrètes à prendre comprenaient les suivantes :

⁵⁴ Transports Canada, *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* (DORS/2001-37), art. 2, <http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-37/20060322/P1TT3xt3.html> (dernière consultation le 25 janvier 2017).

- Le signalement des problèmes 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), 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 produit) 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.

Lorsque des facteurs humains contribuaient à un accident, le CN effectuait une enquête plus approfondie avant de mettre en œuvre des mesures correctives, et ce, en tenant compte des facteurs suivants :

- A-t-on planifié, organisé et supervisé les travaux adéquatement?
- L'employé avait-il reçu la formation requise et utilisait-il l'équipement nécessaire?
- L'employé avait-il eu l'occasion de se reposer adéquatement?
- L'employé avait-il une compréhension adéquate du règlement ou des travaux^{55,56}?

Même si un processus formel d'évaluation des risques était en place, le CN a considéré l'augmentation du volume de pétrole brut dans la subdivision de Ruel en 2014 comme étant un paramètre d'exploitation normal. Cette augmentation du volume n'a pas incité le CN à effectuer une nouvelle évaluation des risques ou à revoir une évaluation.

1.22 Culture de sécurité

Une culture de sécurité est [traduction] « l'interaction de valeurs partagées (ce qui est important) et de principes (déroulement des activités) avec les structures et les systèmes de contrôle d'un organisme qui aboutit à l'établissement de normes comportementales »⁵⁷. Une culture de sécurité est essentielle à la gestion bien organisée de la sécurité, car les processus de gestion de la sécurité sont inefficaces lorsque la culture n'encourage pas le partage en aval

⁵⁵ SGS et culture de sécurité du CN – Présentation au Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire (CCSF), 17 février 2015.

⁵⁶ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Leadership en sécurité 2015 – Veiller les uns sur les autres – Un aperçu du Système de gestion de la sécurité du CN*.

⁵⁷ Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate, page 192.

de renseignements sur la sécurité. Lorsque la gestion organisée de la sécurité est appuyée par une culture de sécurité, on cherche activement à obtenir des renseignements sur la sécurité. Les employés sont formés pour repérer les dangers, et récompensés lorsqu'ils partagent des préoccupations liées à la sécurité. Au sein d'une telle culture, les échecs sont des occasions d'apprentissage et les nouvelles idées sont toujours bienvenues⁵⁸. Une culture de sécurité solide est essentielle aux processus d'un SGS soutenant le développement d'un organisme robuste.

Dans son document sur les SGS intitulé *Systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire – Guide : Guide de mise en place et d'amélioration des systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire*, TC indique ce qui suit :

Dans une compagnie ferroviaire, une [solide culture de sécurité] peut réduire le nombre de morts et de blessés parmi les employés et le public, les dommages causés aux biens matériels par les accidents ferroviaires, ainsi que l'impact d'accidents sur l'environnement.

En termes simples, la culture de sécurité d'une organisation se manifeste par la façon dont les gens font leur travail – leurs décisions, leurs actions et leurs comportements définissent cette culture.

La culture de sécurité d'une organisation est le produit des valeurs, des attitudes, des perceptions, des compétences et des modes de comportement individuels et collectifs qui déterminent l'engagement envers le système de gestion de la santé et de la sécurité de l'organisation, ainsi que le style et la compétence de l'organisation en cette matière.

Les organisations qui ont adopté une culture de sécurité positive se caractérisent par des communications des divers intervenants fondées sur une confiance mutuelle, des perceptions partagées de l'importance de la sécurité et une confiance dans l'efficacité des mesures de prévention⁵⁹.

Les principes, attitudes et comportements de la direction d'une entreprise reflètent en partie la relation entre la culture de sécurité et la gestion de la sécurité.

Une solide culture de sécurité comprend des mesures d'identification et de gestion préventives des risques opérationnels. Elle se caractérise par une culture éclairée, par laquelle « les gens connaissent les dangers et les risques inhérents à leur activité » et par laquelle « le personnel est toujours conscient de la possibilité d'une défaillance et s'efforce constamment de relever les dangers opérationnels et d'y remédier »; par une culture juste, par laquelle « l'effectif de travail sait ce qui constitue un comportement acceptable et inacceptable et en convient »; par une culture déclarante, par laquelle « aussitôt qu'une préoccupation est exprimée, on ouvre une enquête et l'on prend les mesures qui

⁵⁸ Westrum, R. (1992), dans Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate.

⁵⁹ Transports Canada, TP 15058F, *Systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire – Guide : Guide de mise en place et d'amélioration des systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire* (novembre 2010), section 5, <http://publications.gc.ca/site/fra/9.694086/publication.html> (dernière consultation le 10 février 2017) [italiques dans l'original]

s'imposent »; et finalement, par une culture de formation, par laquelle la sécurité est enrichie par les leçons apprises⁶⁰.

Les politiques d'une compagnie déterminent comment elle atteindra ses objectifs de sécurité comme suit : en définissant clairement les responsabilités; en développant des processus, des structures et des objectifs pour incorporer la sécurité dans toutes les facettes de ses activités; et en perfectionnant les compétences et les connaissances de son personnel. Les procédures sont des directives destinées aux employés; elles communiquent les instructions de la direction. Les pratiques correspondent à ce qui se passe réellement au travail : elles peuvent s'écarter des procédures et, dans certains cas, accroître les risques pour la sécurité.

1.23 Culture de sécurité à la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Lorsqu'il a mis en œuvre son SGS, le CN a reconnu l'importance d'établir une solide culture de sécurité, la considérant comme étant une composante essentielle à tout SGS. Pour renforcer sa culture de sécurité, le CN a investi dans la formation, l'encadrement, la reconnaissance et la participation des employés.

En octobre 2014, le CN a agi en qualité d'hôte conjoint d'un colloque sur la culture de sécurité à Halifax (Nouvelle-Écosse) au cours duquel on a discuté de culture de sécurité et partagé des renseignements à ce sujet. Le CN a également tenu un certain nombre de sommets sur la sécurité dans ses différentes régions pour faire la promotion des communications bidirectionnelles et de pratiques exemplaires en sécurité.

En 2014, le CN a notamment conçu et mis en œuvre *Veiller les uns sur les autres*, une initiative qui fait maintenant partie intégrante de sa culture de sécurité. « La stratégie d'engagement entre pairs [...] vise les objectifs suivants :

- sensibiliser les membres du personnel aux principales causes d'incidents et de blessures;
- déterminer et passer en revue les méthodes de travail sécuritaires [...];
- former les membres du personnel de sorte qu'ils soient attentifs à ce qui se passe autour d'eux et reconnaissent les types de comportements ou de situations présentant un risque sur le terrain;
- apprendre aux membres du personnel à fournir de la rétroaction constructive à leurs collègues;
- tirer des leçons des incidents passés pour éviter qu'ils se reproduisent et veiller les uns sur les autres pour assurer la sécurité de tous »⁶¹.

⁶⁰ Transports Canada, TP 13739, *Introduction aux systèmes de gestion de la sécurité* (avril 2001).

⁶¹ Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, *Leadership en sécurité 2015 – Veiller les uns sur les autres – Un aperçu du Système de gestion de la sécurité du CN*.

1.24 Résilience : enveloppe d'exploitation sécuritaire et imagination nécessaire

On définit généralement la résilience comme la « capacité à vivre, à se développer, en surmontant les chocs traumatiques, l'adversité »⁶². Lorsqu'on l'applique à un organisme ou un à système, le concept de résilience est défini de la manière suivante [traduction] : « un système résilient peut s'ajuster rapidement pour reprendre le fonctionnement normal qu'il avait avant, pendant et après un changement, un imprévu important ou une perturbation, et en dépit de pressions constantes »⁶³.

On a défini les 4 pierres angulaires que partagent tous les organismes résilients. Une entreprise qui possède une bonne capacité d'ajustement et d'adaptation sait réagir aux événements, surveiller les indicateurs clés de changement, anticiper les défis à long terme et tirer parti de son expérience. Une fois qu'il a établi ces pierres angulaires, un organisme résilient :

- sait quoi faire (comment réagir aux événements ordinaires);
- sait quoi surveiller (comment surveiller les problèmes potentiels);
- sait à quoi s'attendre (anticiper les dangers potentiels);
- sait ce qui s'est passé (disposer des bons indicateurs pour apprendre de son expérience)⁶⁴.

Ces habiletés aident les organismes à établir un équilibre entre les pressions potentiellement concurrentes exercées par la sécurité, l'efficacité et la charge de travail et qui existent au sein de leur environnement opérationnel.

Un organisme qui surveille, anticipe et apprend efficacement à l'aide de processus de gestion préventive de la sécurité et d'indicateurs de sécurité éprouvés peut réagir aux pressions concurrentes et maintenir un niveau de risque acceptable. Si un organisme est mal équipé pour détecter les changements mineurs à son environnement opérationnel et en comprendre les répercussions, les risques augmentent jusqu'à ce que des indicateurs tardifs, comme des accidents ou des incidents graves, indiquent clairement que le système est déséquilibré.

L'un des défis constitue le fait que les provisions, les procédures et les pratiques de sécurité qui aident à maintenir une marge de sécurité acceptable peuvent faire l'objet de pressions en raison des priorités concurrentes dont le but est d'augmenter l'efficacité. Si l'on fait l'erreur de considérer les provisions de sécurité comme des inefficacités, cela peut nuire à l'atteinte

⁶² 2016 Dictionnaires Le Robert - Le Petit Robert de la langue française.

⁶³ Hollnagel, E. (2009). "The Four Cornerstones of Resilience Engineering". Dans : Nemeth, C.P., Hollnagel, E. et Dekker, S. (rédac.). *Resilience Engineering Perspectives, Volume 2: Preparation and Restoration*, page 117.

⁶⁴ *Idem.*, page 120.

des objectifs en sécurité⁶⁵. L'équilibre entre des demandes concurrentes est un défi, à tous les niveaux d'un organisme, car les problèmes de sécurité peuvent se manifester progressivement et il peut être difficile de les détecter. On utilise le terme « imagination nécessaire » pour parler de la capacité des personnes à saisir l'importance des renseignements et des événements et à anticiper leurs répercussions sur la sécurité.

Pour développer une imagination nécessaire, les personnes d'un organisme doivent⁶⁶ :

- posséder de vastes connaissances leur permettant d'anticiper et de juger les anomalies;
- avoir la volonté de réfléchir de manière critique au fonctionnement du système;
- participer à des formations pragmatiques pour perfectionner leurs habiletés;
- avoir suffisamment de ressources en elles pour réagir aux événements;
- assurer une transmission facile des renseignements dans tout l'organisme.

Un SGS exhaustif aide un organisme à développer l'imagination nécessaire en ayant des processus appuyant les 4 pierres angulaires de la résilience, dont :

- des procédures bien conçues pour les situations normales et anormales (réaction);
- des rapports de sécurité et des analyses des tendances (surveillance);
- des procédures d'identification et d'évaluation des risques (anticipation);
- des procédures d'enquêtes sur des incidents (apprentissage).

[traduction] « La gestion préventive de la sécurité permet aux organismes de remarquer les signes de changement ou d'augmentation des risques, et ce, malgré les succès passés et l'augmentation des contraintes de rendement à court terme⁶⁷. » Pour tirer profit des avantages de l'imagination nécessaire, il est essentiel d'avoir une solide culture de sécurité. La culture de sécurité d'un organisme contribue largement à la définition du type et de la quantité des renseignements qu'il utilise dans le cadre de ses processus de gestion de la sécurité, et à la méthode de collecte et de traitement de ces renseignements.

1.25 *Accidents graves mettant en cause le déversement de wagons-citernes de catégorie 111*

Un certain nombre d'événements sont survenus au Canada et aux États-Unis au cours desquels du produit s'est échappé de wagons-citernes de catégorie 111 à la suite d'une

⁶⁵ Woods, D., Schenk, J. et Allen, T.T. (2009). "An Initial Comparison of Selected Models of System Resilience". Dans : Nemeth, C.P., Hollnagel, E. et Dekker, S. (rédac.), *Resilience Engineering Perspectives, Volume 2: Preparation and Restoration*, page 92.

⁶⁶ Westrum, R. (2009). "Ready for Trouble: Two Faces of Resilience". Dans : Nemeth, C.P., Hollnagel, E. et Dekker, S. (rédac.), *Resilience Engineering Perspectives, Volume 2: Preparation and Restoration*, pages 135 à 148.

⁶⁷ Woods, D., Schenk, J. et Allen, T.T. (2009). "An Initial Comparison of Selected Models of System Resilience". Dans : Nemeth, C.P., Hollnagel, E. et Dekker, S. (rédac.), *Resilience Engineering Perspectives, Volume 2: Preparation and Restoration*, page 92.

collision, d'un choc ou d'un incendie (annexe C). Ces événements mettent en lumière la vulnérabilité des wagons-citernes de catégorie 111 aux dommages d'accident et au rejet de produit. En juin 2015, environ 270 000 wagons-citernes de catégorie 111 étaient en service en Amérique du Nord, dont environ 141 000 pour le transport de MD.

1.26 Accident à Lac-Mégantic

Le 5 juillet 2013, vers 22 h 50, heure avancée de l'Est, le train de marchandises MMA-002 de la Montreal, Maine & Atlantic Railway (MMA), en route de Montréal (Québec) à Saint John (Nouveau-Brunswick), est arrêté à Nantes au point milliaire 7,40 de la subdivision de Sherbrooke (Québec), point de relève désigné des équipes de la MMA. Le train, formé de 5 locomotives en tête, de 1 wagon VB (fourgon de queue spécial), de 1 wagon-couvert et de 72 wagons-citernes de catégorie 111 transportant des liquides inflammables (pétrole brut, UN 1267, classe 3), a été immobilisé dans une pente sur la voie principale et laissé sans surveillance.

Peu après 1 h, le 6 juillet 2013, le train sans surveillance s'est mis en mouvement et a gagné de la vitesse en dérivant dans la pente en direction de la ville de Lac-Mégantic (Québec). Le train avait atteint une vitesse de 65 mi/h lorsque 63 wagons-citernes et le wagon couvert ont déraillé près du centre de la ville. Les wagons qui ont déraillé ont déversé quelque 5,98 millions de litres de produit, lequel s'est enflammé presque tout de suite et provoqué un grand feu en nappe qui a brûlé durant plus d'une journée. Quarante-sept personnes ont perdu la vie.

De nombreux bâtiments et véhicules ont été détruits, de même que la voie ferrée. Quelque 2000 personnes ont été évacuées de la zone environnante.

Dans le cadre de son enquête sur l'accident à Lac-Mégantic⁶⁸, le BST a souligné les vulnérabilités des wagons-citernes de catégorie 111 et a fait les recommandations suivantes :

Le ministère des Transports et la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration exigent que tous les wagons-citernes de catégorie 111 affectés au transport de liquides inflammables soient conformes à des normes de protection renforcées qui réduisent considérablement le risque de déversement de produit lorsque ces wagons sont mis en cause dans des accidents.

Recommandation R14-01 du BST (publiée en janvier 2014)

1.27 Réponse de Transports Canada à la recommandation R14-01 du BST (janvier 2016)

Le 23 avril 2014, TC a annoncé une élimination progressive sur une période de 3 ans des wagons-citernes de classe 111, plus vieux et moins résistants aux chocs. Le 2 juillet 2014, la norme TP 14877 a été adoptée par renvoi dans le *Règlement sur le transport des marchandises*

⁶⁸ Rapport d'accident ferroviaire R13D0054 du BST.

dangereuses, harmonisant ainsi la réglementation fédérale avec la norme CPC-1232 de l'AAR (2011).

En mai 2015, TC a publié dans la *Gazette du Canada*, Partie II, le *Règlement modifiant le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (wagons-citernes TC-117)*. Ce règlement établissait les exigences pour une nouvelle norme (TC-117) sur les wagons-citernes transportant des liquides inflammables, des exigences en matière de rattrapage pour les wagons-citernes plus anciens (DOT-111 et CPC-1232) en service de transport de tels liquides et des calendriers de mise en œuvre relativement à la modernisation du parc canadien de wagons-citernes. Les normes et le calendrier ont été en général harmonisés avec ceux des organismes de réglementation américains, la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), la Federal Railroad Administration (FRA) et le département des Transports des États-Unis (DOT). Avec l'entrée en vigueur de la récente loi *Fixing America's Surface Transportation* (FAST), les États-Unis se sont harmonisés davantage avec les exigences canadiennes.

La réglementation canadienne exige que tous les nouveaux wagons-citernes construits en vue du transport de liquides inflammables utilisent un acier plus épais et résistant mieux aux chocs et soient munis d'une protection thermique sous enveloppe, de boucliers protecteurs complets, d'une protection des raccords supérieurs, de robinets de déchargement par le bas améliorés et de dispositifs de décharge de pression appropriés.

TC continue de travailler avec l'industrie canadienne pour qu'elle envisage d'inclure dans les règles sur la conduite des trains des dispositions relatives au freinage, comme les freins pneumatiques à commande électronique (ECP), plutôt que d'envisager de telles dispositions dans le cadre des exigences de la norme TC-117 sur les wagons-citernes. TC suit également de près les nouvelles exigences introduites par la loi FAST aux États-Unis, qui a imposé de nouvelles exigences de recherche avant que le freinage pneumatique à commande électronique (ECP) puisse être mis en service aux États-Unis.

Avec le repli actuel de la demande mondiale pour le pétrole brut, et la faiblesse conséquente de son prix sur les marchés mondiaux, le transport de pétrole brut par rail a ralenti, de même que la demande pour des wagons-citernes. Les expéditeurs et les constructeurs ont utilisé ce cycle de faible demande pour mieux évaluer l'utilisation des parcs, la demande de wagons-citernes et les exigences sur le rattrapage. Avec l'entrée en vigueur aux États-Unis de la loi FAST, qui harmonise davantage les exigences étasuniennes à celles du Canada, l'industrie a entrepris d'accélérer la modification en rattrapage des wagons-citernes DOT-111 en service de transport de liquides inflammables.

Le 24 juillet 2016, TC a publié l'Ordre 38 pour devancer la date d'entrée en vigueur des restrictions relatives à l'utilisation de wagons-citernes DOT-111 plus âgés indiquée dans la *Règlement modifiant le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (wagons-citernes TC-117)*. La date de retrait du service des wagons-citernes DOT-111 plus âgés avec et sans enveloppe extérieure a été devancée du 1^{er} mai 2018 au 1^{er} mai 2017, puis au 1^{er} novembre 2016. L'Ordre 38 s'applique seulement au pétrole brut; selon cet Ordre, il peut s'agir :

- de pétrole brut (UN 1267);
- de distillats de pétrole, n.s.a., ou de produits pétroliers, n.s.a. qui sont du pétrole brut;
- de pétrole brut acide, inflammable et toxique (UN 3494).

1.28 *Évaluation par le Bureau de la réponse de Transports Canada à la recommandation R14-01 (mars 2016)*

En mars 2016, le Bureau a évalué la réponse de TC à la recommandation R14-01. Le Bureau a reconnu l'engagement de TC et les progrès accomplis en ce qui concerne la publication de nouvelles normes sur les wagons-citernes et la mise à jour de la norme TP14877. Le Bureau a noté les progrès accomplis dans la construction des nouveaux wagons-citernes TC-117 et la modification en rattrapage des wagons-citernes plus anciens de liquides inflammables. Compte tenu des progrès faits par TC sur cet enjeu, sa surveillance soutenue et son intention de faire appliquer intégralement les calendriers d'élimination progressive et de modification en rattrapage, le Bureau estime que la réponse de TC à la recommandation R14-01 dénote une intention satisfaisante.

Cependant, le risque demeurera élevé tant que des liquides inflammables ne seront pas transportés dans des wagons-citernes de construction suffisamment robuste pour éviter une défaillance catastrophique en cas d'accident. Par conséquent, le Bureau demande à TC de s'assurer que les mesures de gestion des risques durant la transition sont gérées de façon efficace.

1.29 *Circulaire OT-55-N de l'Association of American Railroads et recommandation R14-02 du Bureau de la sécurité des transports*

En janvier 1990, par suite de recommandations formulées par l'Inter-Industry Task Force on the Safe Transportation of Hazardous Materials by Rail, l'Association of American Railroads (AAR) a publié la circulaire OT-55, intitulée *Recommended Railroad Operating Practices for Transportation of Hazardous Materials*. Cette circulaire a donné au secteur ferroviaire des consignes sur le choix de l'itinéraire pour certaines MD, comme les MD toxiques à l'inhalation (TIH). On a ajouté les matières radioactives à la circulaire OT-55 en août 2001. En outre, la circulaire OT-55 précisait des exigences techniques et de manutention pour les trains clés et les itinéraires clés.

Après l'accident à Lac-Mégantic, la définition de « train clé » a été élargie dans la circulaire OT-55-N⁶⁹ pour désigner tout train constitué d'un wagon ou de plus d'un wagon de produits TIH, d'ammoniac anhydre, d'ammoniac en solution, de combustible nucléaire usé ou de déchets hautement radioactifs, ou de 20 wagons complets ou citernes intermodales portables complètes de toute combinaison d'autres matières dangereuses.

Même si la circulaire OT-55-N ne s'applique pas au Canada, le CN y a puisé des mesures pour les incorporer à ses activités canadiennes en août 2013. Dans le cadre d'une d'initiative

⁶⁹ Circulaire OT-55-N (CPC-1258) de l'AAR (en vigueur le 5 août 2013).

de la compagnie, le CN a procédé à des évaluations du risque pour les subdivisions à l'intérieur de corridors désignés comme itinéraires clés.

Dans le contexte de l'enquête sur l'accident à Lac-Mégantic, le BST a indiqué qu'une approche similaire, basée sur la circulaire OT-55-N, assortie de l'obligation de procéder à la planification et à l'analyse de l'itinéraire, serait un pas dans la bonne direction en vue d'améliorer la sécurité du transport de MD par train, pour tous les chemins de fer au Canada. Le 23 janvier 2014, le Bureau a recommandé que :

Le ministère des Transports établisse des critères rigoureux pour l'exploitation des trains qui transportent des marchandises dangereuses et exige que les compagnies ferroviaires procèdent à la planification ainsi qu'à l'analyse des itinéraires et effectuent des évaluations périodiques des risques pour veiller à ce que les mesures de contrôle des risques soient efficaces.

Recommandation R14-02 du BST (publiée en janvier 2014)

1.30 Réponse de Transports Canada à la recommandation R14-02 (janvier 2016)

Le 23 avril 2014, TC a publié l'ordre ministériel 14-01 exigeant de toutes les compagnies de chemin de fer et de tous les chemins de fer d'intérêt local d'établir de nouvelles règles et de réviser les règles existantes relativement au transport de MD. Toutes ces règles devaient être remises au ministre des Transports au plus tard le 23 octobre 2014.

En même temps, TC a publié une injonction ministérielle exigeant que les chemins de fer qui transportent des MD mettent en œuvre un minimum de pratiques d'exploitation pour les trains clés pour donner suite à la recommandation du BST et gérer les enjeux de sécurité pressants, dont les suivants : limitations de vitesse pour les trains transportant des MD; élargissement des exigences de contrôle sur les itinéraires ferroviaires à accès limité; réalisation d'évaluations des risques pour les itinéraires clés. Cette injonction ministérielle avait été mise en vigueur pour une période de 6 mois et on l'a renouvelée tous les 6 mois pour tenir compte des consultations tenues avec les intervenants, notamment la Fédération canadienne des municipalités (FCM) et les syndicats, et de l'examen de toute autre exigence qui pourrait être établie aux États-Unis.

Quant au seuil de 10 000 wagons complets de MD, il a été adopté sur la base des critères établis dans la circulaire OT-55-N de l'Association of American Railroads (AAR), que les compagnies de chemins de fer américaines ont aussi adoptés. TC reconnaît que d'autres analyses sont requises pour établir un seuil de wagons complets qui pourrait optimiser la sécurité des transports de MD et mener à des critères plus rigoureux sur les itinéraires clés. TC a embauché un spécialiste indépendant pour effectuer les analyses nécessaires afin d'établir les critères appropriés pour le seuil. Ce projet, qui est dirigé par le Centre de développement des transports de TC, établira le seuil approprié sur les itinéraires clés. Le Centre de développement des transports a achevé le projet en décembre 2016, et TC en examine les résultats à l'heure actuelle.

TC étudie aussi la possibilité d'élargir les critères actuels qui définissent les trains clés, en y introduisant des exigences sur les moyens technologiques qui pourraient augmenter la capacité de freinage. En outre, par l'entremise du processus de planification fondé sur les risques, TC étudiera le dossier de toutes les compagnies de chemins de fer sous réglementation fédérale afin de cibler celles qui assurent le transport du pétrole brut, mais qui n'ont pas atteint le seuil de 10 000 wagons complets sur leurs itinéraires. Cette approche fondée sur les risques a permis à TC de consacrer les ressources appropriées à une surveillance accrue de ces exploitants ferroviaires.

Le *Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* publié dans la *Gazette du Canada*, Partie II, le 25 février 2015, et qui est entré en vigueur le 1^{er} avril 2015, contient des exigences sur le processus d'évaluation des risques. L'article 15 de ce règlement stipule qu'une compagnie de chemin de fer doit effectuer une évaluation des risques lorsqu'elle « se propose d'entreprendre le transport de MD ou le transport de MD différentes de celles qu'elle transporte déjà » ou « lors d'un changement proposé à son exploitation ferroviaire. » Les changements proposés à l'exploitation ferroviaire comprennent toute modification qui peut avoir une incidence sur la sécurité du public ou du personnel ou sur la protection des biens ou de l'environnement, par exemple une augmentation du volume de MD transportées et une modification apportée au trajet emprunté pour le transport de telles marchandises.

1.31 *Évaluation par le Bureau de la réponse de Transports Canada à la recommandation R14-02 (mars 2016)*

En mars 2016, le Bureau a évalué la réponse de TC à la recommandation R14-02. Le Bureau a noté que TC a fait des progrès sur cette question, y compris les critères d'évaluation des risques plus rigoureux pour les compagnies de chemins de fer qui transportent des MD, l'analyse en cours visant à établir leur seuil de wagons complets sur les itinéraires clés et la récente promulgation du *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*. Ainsi, le Bureau croit que les risques associés aux déversements ou aux explosions catastrophiques de MD sont réduits. Toutefois, même si le Bureau a noté des progrès chez les 5 compagnies de chemin de fer qui ont défini leurs itinéraires clés, il faut encore établir le seuil de wagons complets sur les itinéraires clés. Par conséquent, le Bureau estime que la réponse de TC à la recommandation R14-02 dénote une intention satisfaisante.

1.32 *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*

En réponse à la recommandation R14-02 du BST, TC a publié en avril 2014 l'ordre ministériel 14-01 pour définir les critères d'identification des trains et des itinéraires clés. En vertu de l'ordre ministériel 14-01, les chemins de fer doivent :

- « établir des règles quant à la sécurité et la sûreté de l'exploitation des trains transportant certaines marchandises dangereuses et certains liquides inflammables »;
- « régir l'itinéraire et la vitesse de tout train clé à 50 milles à l'heure (mi/h) ou moindre, y compris sans s'y limiter, une autre limite de vitesse établit à 40 mi/h ou moindre pour tout train clé transportant un wagon-citerne chargé DOT-111 ou plus contenant » certaines MD, dont du pétrole brut et des distillats de pétrole, « vers les

secteurs désignés comme étant à risque élevé dans le cadre du processus d'évaluation des risques »;

- « exiger des évaluations des risques [...] et des mises à jour périodiques en fonction de changements importants pour déterminer le niveau de risque associé à chaque itinéraire clé où un train clé est exploité [...]»⁷⁰.

On a publié à nouveau cet ordre ministériel à quelques reprises pour prévoir du temps pour la consultation et l'élaboration de règles pour l'industrie. Après la finalisation des règles, on a levé l'ordre ministériel. TC a approuvé le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* qui est entré en vigueur en février 2016. Aux paragraphes 4.1 et 4.2 de ce règlement, on indique ce qui suit :

- 4.1 Les compagnies doivent limiter la vitesse des trains clés à une vitesse maximale de 50 milles à l'heure (mi/h). De plus, ceux-ci doivent être exploités à une vitesse maximale de 40 mi/h à l'intérieur du noyau et du noyau secondaire des régions métropolitaines de recensement⁷¹.
- 4.2 Les compagnies doivent limiter la vitesse des trains clés acheminant un ou plusieurs wagons-citernes DOT-111 chargés des produits suivants : UN1170 ÉTHANOL; UN1202 CARBURANT DIESEL; UN1203 ESSENCE; UN1267 PÉTROLE BRUT; UN1268 DISTILLATS DE PÉTROLE, N.S.A.; UN1863 CARBURÉACTEUR; UN1993 LIQUIDE INFLAMMABLE, N.S.A.; UN3295 HYDROCARBURES LIQUIDES, N.S.A.; UN1987 ALCOOLS, N.S.A.; UN3494 PÉTROLE BRUT ACIDE, INFLAMMABLE, TOXIQUE, ou UN3475 MÉLANGE D'ÉTHANOL ET D'ESSENCE, à une vitesse maximale de 40 mi/h dans les secteurs désignés comme étant à risque élevé dans le cadre du processus d'évaluation des risques exigé en vertu de l'article 6 du présent règlement. Les wagons-citernes DOT-111 comprennent ceux qui sont conformes à la spécification CPC-1232⁷².

En ce qui concerne la limitation de vitesse à 40 mi/h des trains unitaires transportant des liquides inflammables de classe 3, on n'a pas effectué d'analyse technique détaillée pour évaluer les effets des limitations de vitesse sur la gravité d'un déraillement.

⁷⁰ Transports Canada, MO14-01, Arrêté pris par le ministre des Transports en vertu de l'article 19 de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*, <http://www.tc.gc.ca/eng/mediaroom/ministerial-order-railway-7491.html> (dernière consultation le 25 janvier 2017).

⁷¹ Une région métropolitaine de recensement (RMR), selon la définition de Statistique Canada, est formée d'une ou de plusieurs municipalités adjacentes situées autour d'un centre de population. Une RMR doit avoir une population totale d'au moins 100 000 habitants, et son noyau doit compter au moins 50 000 habitants. L'agglomération de recensement doit avoir un noyau d'au moins 10 000 habitants.

⁷² Transports Canada, *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* (12 février 2016), paragraphes 4.1 et 4.2.

1.33 *Évaluation des risques par corridor de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Le 23 juin 2014, pour se conformer à l'ordre ministériel 14-01, le CN a transmis à TC une évaluation des risques liés au transport de MD entre Winnipeg et Toronto (un itinéraire clé). Dans cette évaluation des risques, on examinait chaque subdivision du territoire pour définir les zones de vulnérabilité, et ce, en fonction de ce qui suit :

- des mesures en place pour prévenir les incidents (c.-à-d. la couverture des systèmes de détection en voie);
- des conséquences potentielles liées à un incident (c.-à-d. la proximité des agglomérations et les zones écosensibles);
- les capacités d'intervention en cas d'incident (c.-à-d. l'emplacement du personnel et du matériel nécessaires à une intervention en cas de déversement).

En ce qui concerne la subdivision de Ruel, la plupart des mesures d'atténuation définies dans le cadre de l'évaluation des risques par corridor concernaient les capacités d'intervention en cas d'urgence mettant en cause des MD, dont l'ajout de réserves d'équipement d'intervention dans le territoire et l'évaluation de la présence d'intervenants d'urgence dans les environs.

De la même manière, cette évaluation des risques tenait compte des trains clés transportant des MD de classe 2.3 (gaz toxiques), ainsi que les trains comprenant au moins 20 wagons-citernes ou citernes intermodales chargés de MD.

Cette évaluation des risques par corridor ne tenait pas compte de l'état actuel et futur de la voie. De plus, dans cette évaluation des risques, on n'anticipait pas l'augmentation du transport de pétrole brut ou les répercussions de l'augmentation du volume de transport ferroviaire sur le maintien de marges de sécurité convenables sur l'infrastructure.

1.34 *Facteurs ayant une incidence sur la gravité du déraillement des wagons-citernes chargés de marchandises dangereuses*

Dans une étude publiée en 1992 et intitulée *Hazardous Materials Car Placement in a Train Consist*, on a passé en revue un certain nombre d'enquêtes du National Transportation Safety Board (NTSB) sur des déraillements, ainsi que des données de la Federal Railroad Administration (FRA) sur les accidents ferroviaires. Au moment de cette étude, les trains unitaires de liquides inflammables de classe 3 étaient pratiquement inexistantes, et les wagons-citernes de catégorie 111 étaient limités à un poids brut sur rail (PBR) de 263 000 livres. Cette étude ne portait sur aucun train unitaire de MD. Elle comprenait notamment les conclusions suivantes [traduction] :

2. Les données sur les accidents ferroviaires confirment qu'en général, plus le train est long, plus le nombre de wagons qui dérailent augmente. Pour accroître la sécurité du transport de MD, les wagons de MD devraient faire partie de trains plus courts, et ce, même si l'on reconnaît que cela augmentera le nombre de trains et les risques

d'exposition. Évidemment, l'exposition dépend de l'itinéraire et doit être évaluée en conséquence.

3. Les données sur les accidents ferroviaires confirment également qu'en général, plus un train roule vite, plus le nombre de wagons qui déraillent augmente. Ainsi, les trains de MD devraient circuler à des vitesses réduites. Une réduction modeste des vitesses ne se traduira pas nécessairement par une exposition accrue. Encore une fois, tout dépend de l'itinéraire⁷³.

Même si on n'y faisait pas explicitement référence dans l'étude, le poids des wagons en cause dans tout déraillement contribue également à la gravité de l'accident.

D'autres études plus récentes, résumées en 2014⁷⁴, ont montré que le nombre de wagons qui déraillent est circonstanciel à la cause d'un accident, à la vitesse du train, à la longueur du train et au point de déraillement. Plus précisément, les rails rompus font dérailler plus de wagons que toute autre cause d'accident; les déraillements à vitesse plus élevée font dérailler plus de wagons; plus un train est long, plus il y a de wagons qui déraillent; plus le déraillement survient proche de la tête du train, plus le nombre de wagons déraillés est élevé.

1.35 Examen du joint isolé rompu par le laboratoire du BST

On a envoyé le joint isolé rompu au laboratoire d'ingénierie du BST pour l'analyser plus en détail. Voici les constatations :

- La surface de roulement du rail parent présentait un écrasement à l'about de rail d'une profondeur moyenne de 2,4 mm; la partie la plus profonde se trouvait à environ 4,4 mm sous la surface de roulement du rail (figure 4).
- Un examen visuel des ruptures a permis de constater des fissures de fatigue commençant à la portée d'éclissage supérieur (la surface de contact entre le dessus des éclisses et le dessous du champignon du rail) sur le dessus des 2 éclisses.
- Ces fissures de fatigue se propageaient verticalement vers le bas dans environ 20 % de la section transversale des éclisses avant de se transformer en rupture par contraintes excessives (figure 5).
- On a également constaté des piqûres de corrosion sur les portées d'éclissage, le long du rebord supérieur des éclisses, adjacentes aux points de départ des ruptures.
- Les points de départ des ruptures de fatigue correspondaient avec les piqûres de corrosion observées sur les surfaces extérieures.

⁷³ Thompson, R. E., Zarnejc, E. R. et Ahlbeck, D. R. (Federal Railroad Administration), *Hazardous Materials Car Placement In A Train Consist*, volume I ("Review and Analysis"), section 6.2 ("Conclusions/Recommendations"), page 144, U.S. DOT/FRA/ORD-92118.1, rapport final, juin 1992.

⁷⁴ Xiang Liu, Mohd Rapik Saat, Christopher P.L. Barkan (2014), *Probability analysis of multiple-tank-car release in railway hazardous materials transportation*. Journal of Hazardous Materials 276, 442-451.

Figure 4. Vue du côté intérieur de la partie ouest du joint isolé (remarque : les flèches indiquent l'écrasement de l'about de rail de la surface de roulement et la fissuration secondaire)

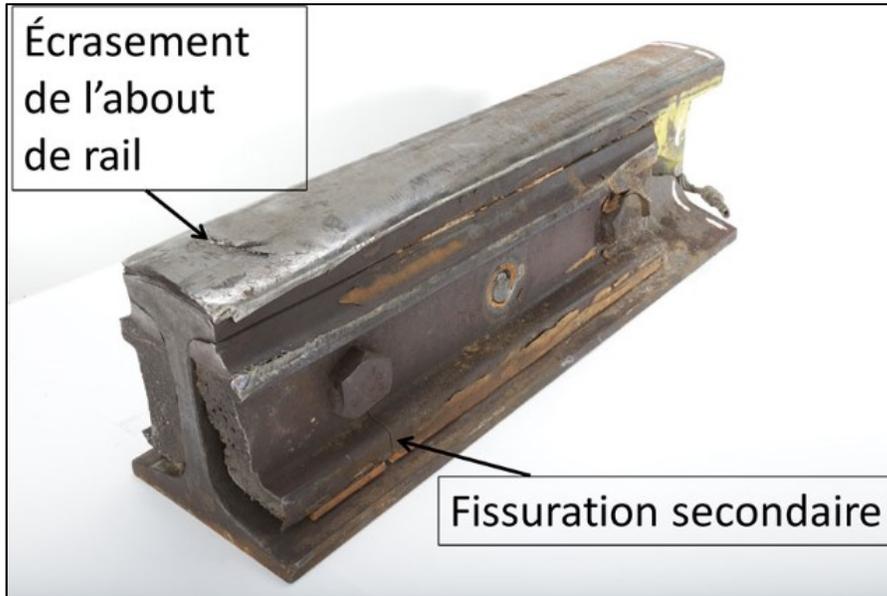
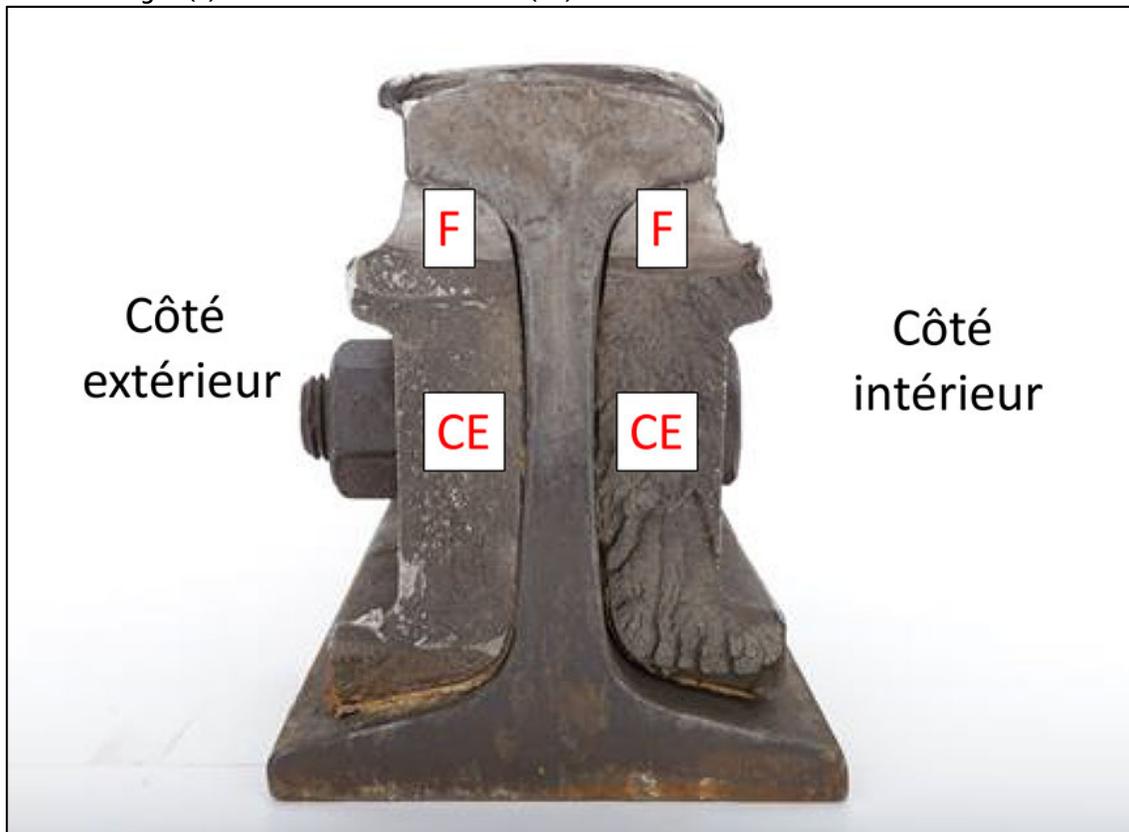


Figure 5. Vue de l'extrémité du joint rompu montrant les éclisses intérieure et extérieure, ainsi que les zones de fatigue (F) et de contraintes excessives (CE)



- Il y avait très peu de colle, voire aucune, entre le dessus des éclisses et le dessous du champignon du rail.
- On a observé des fissures secondaires au bas de chaque éclisse, sous le trou de boulonnage le plus près de la rupture, ainsi que sur le coin inférieur extérieur de l'éclisse intérieure. Il s'agissait de fissures de fatigue.
- Le champignon du rail présentait aussi un écrasement, principalement du côté extérieur, s'étendant sur environ 200 mm à partir de l'extrémité du rail.
- Le matériau des éclisses satisfaisait les exigences de résistance en vigueur.

1.36 Analyse du BST des échantillons de pétrole brut

Le tableau 6 présente un résumé des renseignements d'expédition concernant les MD transportées dans les wagons-citernes du train de l'événement à l'étude.

Tableau 6. Renseignements sur le chargement des wagons-citernes

Position du wagon-citerne dans le train	Description d'expédition en vertu de la <i>Loi sur le transport des marchandises dangereuses</i>				Renseignements de la fiche signalétique		
	Numéro d'identification du produit	Appellation réglementaire	Catégorie de risques	Groupe d'emballage	Nom du produit	Synonymes	Fabricant
1 à 58 71 à 80	UN 1267	Pétrole brut	3	I	Pétrole brut léger peu sulfureux du projet Horizon	Distillats synthétiques de pétrole brut; pétrole brut léger peu sulfureux	Canadian Natural Resources Ltd., Calgary (AB)
59 à 70 81 à 100	UN 1268	Distillats de pétrole, N.S.A. (pétrole brut synthétique)	3	I	Pétrole brut synthétique	Syncrude Sweet Premium; SSB; SSP; SYN; étiquette d'échantillon Syncrude n° 200000	Partenariat n° 1 de Canadian Oil Sands, Calgary (AB)

On a prélevé des échantillons (photo 3) de 3 wagons-citernes représentatifs qui n'ont pas déraillé.

Photo 3. Échantillons de pétrole prélevés des wagons-citernes VMSX 310351, VMSX 310187 et VMSX 310192



On a prélevé les échantillons le 23 février 2015 à la raffinerie de Valero à Lévis (Québec) sous la supervision d'un enquêteur du BST. Avant la collecte des échantillons, les trappes d'accès respectives des wagons-citernes ont été ouvertes, et un essai de détection de gaz a été effectué dans l'environnement de travail autour de la trappe de chaque wagon, à l'aide d'un détecteur multi-gaz portable capable de détecter 6 différents gaz. Les résultats de l'essai indiquaient que l'environnement de travail était adéquat pour y travailler sans protection respiratoire.

On a prélevé tous les échantillons de pétrole brut à la pression atmosphérique. On a analysé ces échantillons pour en définir les caractéristiques de classification du pétrole brut, ainsi que le comportement et les effets en cas de déversement et d'incendie causés par un déraillement. On a divisé les échantillons de produit et on les a envoyés à 2 laboratoires externes certifiés à des fins d'analyse. Le tableau 7 présente les tests auxquels on a assujéti chaque échantillon.

Tableau 7. Tests d'échantillons de pétrole brut

Paramètre	Méthode d'essai
Température du point d'éclair	Norme D3828-12a de l'ASTM: Standard Test Methods for Flash Point by Small Scale Closed Cup Tester. Method B
Distribution du point d'ébullition	Norme D2887-14 de l'ASTM: Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography
	Norme D86-12 de l'ASTM: Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure
Densité	Norme D5002-13 de l'ASTM: Standard Test Method for Density and Relative Density of Crude Oils by Digital Density Analyzer
Pression de vapeur Reid	Norme D323-15a de l'ASTM: Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)
Teneur en soufre	Norme D4294-10 de l'ASTM: Standard Test Method for Sulphur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry
Viscosité	Norme D7042-14 de l'ASTM: Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity)

Dans la fiche signalétique du pétrole brut synthétique, on indique qu'il s'agit d'un mélange à faible teneur en soufre de naphta traité (de 16 % à 20 %), de gazole léger (de 34 % à 48 %) et de gazole lourd (de 30 % à 45 %), qui sont des fractions pétrolières dérivées du bitume, dont l'intervalle d'ébullition varie de -20 °C à 560 °C et dont le point d'éclair est inférieur à 20 °C. Dans la fiche signalétique du pétrole brut léger non sulfureux du projet Horizon, on indique qu'il s'agit d'un mélange complexe d'hydrocarbures issus de la première distillation du pétrole brut, et dont le point initial de distillation et le point d'éclair sont inférieurs à -20 °C et 35 °C, respectivement.

On a comparé les résultats de l'analyse du produit de l'événement à l'étude aux valeurs publiées concernant d'autres produits pétroliers (tableau 8). Ces valeurs publiées proviennent du *2014 Crude Characteristics Booklet*⁷⁵, dans lequel on décrit une sélection de propriétés de produits pétroliers acheminés dans le réseau d'Enbridge Pipelines/Enbridge Energy Partners. À des fins de comparaison, on a également examiné les résultats de l'analyse du pétrole brut de Bakken mis en cause dans le déraillement à Lac-Mégantic (Rapport d'enquête ferroviaire R13D0054 du BST).

⁷⁵ Enbridge, *2014 Crude Characteristics Booklet*, <http://www.enbridge.com/~//media/www/Site%20Documents/Delivering%20Energy/2014%20Mainline%20Crude%20Characteristics.pdf?la=en> (dernière consultation le 25 janvier 2017).

Tableau 8. Comparaison des résultats de l'analyse des échantillons du produit de l'événement à l'étude et des propriétés publiées de produits pétroliers

Source	Identifiant du produit	Teneur totale en soufre (% massique)	Pression de vapeur Reid (kPa)	Densité (kg/m ³)	Viscosité (cSt) à une température de		
					20 °C	30 °C	40 °C
Résultats des essais relatifs à l'événement à l'étude*	Pétrole brut léger non sulfureux du projet Horizon (VMSX 310192)	0,081	24,2	846,9	3,616	2,968	2,419
	Pétrole brut synthétique (VMSX 310351)	0,157	31,6	867,3	7,899	5,914	4,544
2014 Crude Characteristics Booklet	CNS**	0,03	31,4	841,5	3,39	2,73	2,26
	SP***	0,17	28,6	860,4	8,34	6,12	4,69
	WCB (Western Canadian Blend)****	3,03	32,1	927,5	155	88,3	54,8
Résultats des essais relatifs à l'accident à Lac-Mégantic (R13D0054)*****	PROX44211-C-TOP	0,117	62,3	821,9	3,259	2,665	2,230

*À des fins de simplicité, on ne présente dans le tableau 8 que l'échantillon du wagon-citerne VMSX 310192; les résultats de l'échantillon du wagon-citerne VMSX 310187 étaient semblables.

**CNS est l'identifiant du pétrole brut léger non sulfureux synthétique produit par le projet Horizon de Canadian Natural Resources Ltd.

***SP est l'identifiant du pétrole Syncrude Sweet Premium produit par le projet Syncrude au Canada.

****Selon le Règlement de l'Office national de l'énergie concernant le gaz et le pétrole (partie VI de la Loi), le « pétrole brut lourd » est une substance « ayant une densité supérieure à 875,7 kg/m³ ».

*****Rapport LP148/2013 du laboratoire du BST - Analysis of Crude Oil Samples [Analyse des échantillons de pétrole brut].

L'analyse du produit et les comparaisons ont permis d'effectuer les constatations suivantes :

- Même si les résultats des tests présentaient des différences mineures, on considère que les propriétés chimiques et physiques des produits étaient semblables.
- Les résultats des tests correspondaient aux données de la fiche signalétique de chaque produit et aux valeurs publiées par l'industrie pour chacun de ces types de produits.
- Les produits étaient classifiés correctement.
- Comme l'on s'y attendait, la densité et la viscosité des produits étaient considérablement inférieures à celle du pétrole brut lourd, comme le produit WCB.
- Les produits présentaient une tension de vapeur inférieure, mais une densité, une viscosité et une volatilité semblables au pétrole brut de la formation schisteuse de Bakken mis en cause dans l'événement à Lac-Mégantic.

- Les grandes quantités de produit déversé, la rapidité du déversement ainsi que la grande volatilité et la faible viscosité du pétrole ont grandement contribué aux importants feux en nappe qui ont suivi le déraillement.

1.37 Renseignements sur les wagons-citernes

Historiquement, la plupart des wagons-citernes plus âgés de catégorie 111 ont un poids brut sur rail (PBR) de 263 000 livres. Au milieu des années 1990, l'industrie a entamé une transition vers des wagons-citernes de catégorie 111 d'un PBR de 286 000 livres.

Vers la fin des années 1990, TC, le DOT et l'AAR ont établi un certain nombre d'exigences pour permettre l'augmentation du PBR des wagons-citernes à 286 000 livres. Ces exigences comprenaient une résistance accrue à la perforation des têtes et coques de citernes, des charges nominales accrues et une meilleure protection du matériel de service. Ces exigences ont en outre été incorporées aux normes de TC et de l'AAR pour les wagons-citernes de PBR de 286 000 livres. Or, ces exigences ne s'appliquaient pas à la majorité des wagons-citernes de catégorie 111 dont le PBR à cette époque était de 263 000 livres. La prochaine étape devait porter sur les wagons-citernes de 263 000 livres.

En 2011, les normes sur les wagons-citernes (Casualty Prevention Circular n° CPC-1232) de l'American Association of Railroads (AAR) ont été établies, et comprenaient un certain nombre d'améliorations à apporter aux wagons-citernes de catégorie 111 construits après le 1^{er} octobre 2011 et destinés au transport de pétrole brut ou d'éthanol (marchandises de classe 3, groupe d'emballage [GE] I ou II). Ces améliorations comprenaient la construction de wagons-citernes aux normes des wagons de 286 000 livres, la protection du matériel de service sur le dessus de la coque, l'utilisation de dispositifs de décharge de pression réenclenchables, l'utilisation d'acier normalisé pour la coque et les têtes de la citerne, une épaisseur minimale accrue de l'acier pour tous les wagons-citernes dépourvus d'enveloppe extérieure et non isolés, et des demi-boucliers protecteurs d'une épaisseur d'au moins ½ pouce.

Les spécifications applicables aux wagons-citernes construits avant décembre 2013 figuraient dans la norme de sécurité CAN/CGSB-43.147⁷⁶ de TC. En ce qui concerne les wagons-citernes construits après décembre 2013, ils devaient se conformer à la spécification de citerne de TMD de la norme TP14877 de TC⁷⁷. Les autres spécifications applicables

⁷⁶ À l'article 5.14 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, on indique qu'un contenant fabriqué, sélectionné et utilisé conformément à la norme de sécurité CAN/CGSB-43.147 (dont la dernière révision date de juillet 2008) est un contenant conforme pour le transport de marchandises dangereuses de classe 3, 4, 5, 6.1, 8 ou 9 par véhicule ferroviaire ou par navire.

⁷⁷ TP14877F, *Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer*, norme de Transports Canada, décembre 2013.

comprenaient le *Code of Federal Regulations* (49 CFR, paragraphe 179.200)⁷⁸ pour les États-Unis, et la norme de l'industrie Casualty Prevention Circular No. CPC-1232(CPC-1232)⁷⁹.

TC a par la suite incorporé ces exigences au *Règlement modifiant le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (wagons-citernes TC-117)*, qui permettait d'utiliser les wagons-citernes de catégorie 111 construits selon la norme CPC-1232 pour transporter des liquides inflammables jusqu'à ce que les wagons-citernes TC-117 deviennent obligatoires.

Après le déraillement à Lac-Mégantic (Rapport d'enquête ferroviaire R13D0054 du BST), l'industrie ferroviaire croyait que les wagons-citernes de catégorie 111 construits selon la norme CPC-1232 offriraient plus de protection pour les produits de classe 3 que les wagons-citernes plus âgés de catégorie 111⁸⁰.

À l'heure actuelle, les wagons-citernes de trains unitaires de pétrole brut transportent tous 286 000 livres de produit. Par comparaison, les trains de marchandises mixtes et les trains intermodaux sont généralement composés de wagons à PBR plus bas. En 2014, un train unitaire de pétrole brut moyen mesurait environ 6000 pieds et pesait environ 13 000 tonnes, ce qui est très lourd pour un train de cette longueur. Par comparaison, la longueur d'un train de marchandises mixtes ou d'un train intermodal de 13 000 tonnes varie généralement de 9000 à 12 000 pieds.

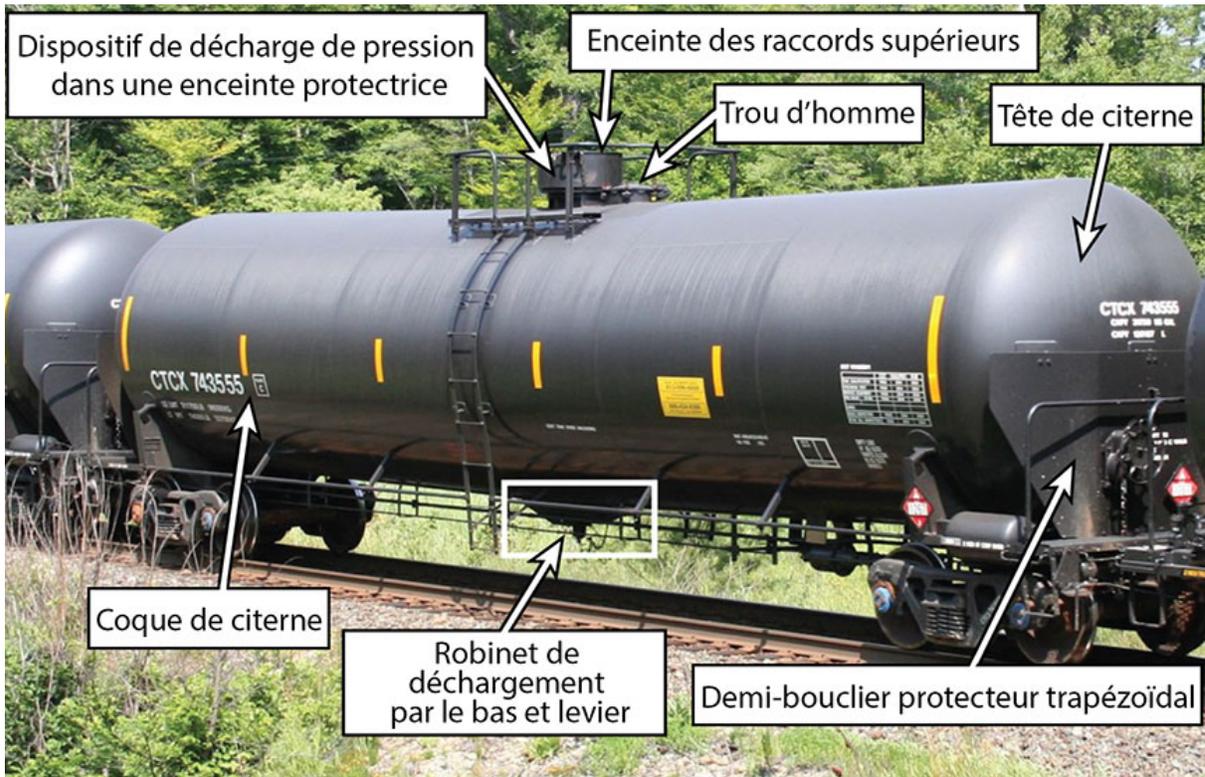
La figure 6 présente les principaux composants d'un wagon-citerne de catégorie 111.

⁷⁸ *Code of Federal Regulations* des États-Unis, titre 49, partie 179, « Specifications for Tank Cars ».

⁷⁹ *AAR Manual of Standards and Recommended Practices*, section C-III ("Specifications for Tank Cars [M-1002]"), octobre 2007, chapitre 2.7 (*Requirements for Cars Built for the Transportation of Packing Group I and II Materials with the Proper Shipping Name "Petroleum Crude Oil", "Alcohols, n.o.s.", and "Ethanol and Gasoline Mixture"*), entrée en vigueur en septembre 2011.

⁸⁰ D'après une base de données d'un projet de recherche et de mise à l'essai en matière de sécurité des wagons-citernes gérée par le Railway Supply Institute – Association of American Railroads, la performance à la probabilité conditionnelle de déversement (PCD) des wagons-citernes conformes à la norme CPC-1232 est de 25 % à 50 % supérieure à celles des wagons-citernes DOT-111.

Figure 6. Configuration générale d'un wagon-citerne de catégorie 111 (CPC-1232) (le dispositif de décharge de pression de tous les wagons-citernes de l'événement à l'étude se trouvait sous l'enceinte protectrice des raccords supérieurs)



On avait construit les 100 wagons-citernes du train en cause pour leur propriétaire actuel, Valero, et cette entreprise était également l'expéditeur et le destinataire du produit. Ces wagons-citernes ont été chargés au terminal Pembina Redwater à Redwater (Alberta) et étaient destinés à la raffinerie de Valero à Lévis (Québec). L'entreprise Trinity Tank Car Inc. avait construit tous les wagons-citernes qui ont déraillé au cours des 3 années qui ont précédé l'accident. Ils avaient été construits conformément à la norme 111A100W1 du département des Transports des États-Unis (DOT) et à la norme CPC-1232 de l'industrie.

Les têtes et la coque des wagons étaient faites d'acier normalisé⁸¹ de nuance B conformément à la norme TC128 de l'AAR. Les boucliers protecteurs étaient faits de plaques d'acier de nuance 50, de 1/2 pouce d'épaisseur conformément à la norme A572 de l'ASTM. Les 15^e (VMSX 5112) et 18^e (VMSX 280529) wagons-citernes étaient dotés de boucliers protecteurs complets, d'enveloppes et d'isolant. Les autres wagons-citernes étaient dépourvus d'enveloppes ou d'isolant, et étaient munis de demi-boucliers protecteurs trapézoïdaux. Tous les wagons-citernes étaient dotés de longrines tronquées TRN 024, à l'exception du 15^e wagon, lequel était doté d'une longrine tronquée TRN 023.

⁸¹ La normalisation est un processus utilisé pour accroître la ductilité et la robustesse de l'acier en le chauffant légèrement au-dessus de sa température de transformation critique supérieure, puis en le laissant refroidir à l'air. Cela produit une structure ferritoperlitique à grain fin plus uniforme.

Les wagons-citernes étaient dotés d'un robinet de vidange par le bas de 4 pouces, de raccords supérieurs (reniflard et robinets à tournant sphérique de 2 et 3 pouces) sous une enceinte protectrice de 20 pouces, d'un trou d'homme à charnières boulonné et d'un dispositif de décharge de pression (DDP). Ce DDP se trouvait aussi sous l'enceinte protectrice.

Le tableau 9 résume certains renseignements pertinents sur la construction des 29 wagons-citernes déraillés.

Tableau 9. Renseignements sur la construction des wagons-citernes qui ont déraillé

Position du wagon par rapport à la tête du train	Numéro du wagon-citerne	Date d'approbation du certificat de construction	Épaisseur des têtes/de la coque (en pouces)	Bouclier thermique	Enveloppe/isolant	Dispositif de décharge de la pression (DDP)	
						Pression de déclenchement de la décharge (en lb/po ² au manomètre)	Capacité de débit réelle** (en pscm)***
7	VMSX 31 0740	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
8	VMSX 31 1903	Février 2013	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
9	VMSX 31 0400	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
10	VMSX 31 1809	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
11	VMSX 31 0404	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
12	VMSX 31 0872	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
13	VMSX 31 1626	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
14	VMSX 31 0095	Février 2013	½	Demi-bouclier	Aucune	165	35 608
15	VMSX 51 12	Août 2013	7/16	Bouclier complet	Acier et fibre de verre (4 po)	165	2329
16	VMSX 31 0838	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
17	VMSX 31 1634	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
18	VMSX 28 0529	Septembre 2014	7/16	Bouclier complet	Acier et fibre de verre (4 po)	165	2329
19	VMSX 31 0274	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
20	VMSX 31 1644	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000
21	VMSX 31 1725	Juillet 2014	½	Demi-bouclier	Aucune	75	27 000

22	VMSX 31 1643	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
23	VMSX 31 0432	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
24	VMSX 31 0438	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
25	VMSX 31 0486	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
26	VMSX 31 1851	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
27	VMSX 31 1824	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
28	VMSX 31 0054	Février 2013	½	Demi- bouclier	Aucune	165	35 608
29	VMSX 31 1892	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
30	VMSX 31 0173	Février 2013	½	Demi- bouclier	Aucune	165	35 608
31	VMSX 31 1629	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
32	VMSX 31 0767	Juillet 2014	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
33	VMSX 31 0091	Février 2013	½	Demi- bouclier	Aucune	165	35 608
34	VMSX 31 1962	Février 2013	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000
35	VMSX 31 1906	Février 2013	½	Demi- bouclier	Aucune	75	27 000

* Dans le présent rapport, on fait référence aux wagons-citernes en utilisant leur position dans le train.

** Remarque : La capacité de débit requise varie en fonction du type de wagon-citerne (non isolé, isolé, protégé thermiquement).

*** Pied cube standard par minute.

1.38 Examen sur les lieux des wagons-citernes déraillés

On a pris des photographies aériennes des lieux pour documenter l'incident avant l'extinction de l'incendie qui a suivi le déraillement. En conséquence, des parties de la zone de déraillement étaient obstruées par de la fumée et les photographies aériennes ne sont pas toutes très claires. Toutefois, les enquêteurs du BST ont été en mesure d'examiner le site et de photographier la plupart des wagons-citernes sur place pendant que les intervenants d'urgence combattaient l'incendie.

Une fois l'incendie éteint, on a retiré le produit restant des wagons-citernes, puis on les a déplacés vers une zone de transition pour les vidanger et les nettoyer et libérer le site en prévision de son examen. Le CN, le BST et des représentants du fabricant des wagons-citernes ont examiné les wagons-citernes.

Tous les wagons-citernes déraillés étaient conformes aux exigences de la spécification en vigueur (CPC-1232) au moment de leur approbation et de leur construction. Pendant

l'examen du site, on a prélevé des échantillons du matériau de construction de certains wagons-citernes à des fins d'examen métallurgique. On a envoyé ces échantillons au laboratoire du BST à des fins d'examen plus poussé.

1.38.1 Brèches des wagons-citernes

Le tableau 10 résume les types de brèches qu'ont subies les wagons-citernes dérailés.

Tableau 10. Brèches de chaque wagon-citerne

Position du wagon par rapport à la tête du train	Numéro du wagon-citerne	Type de brèche					
		Tête	Coque	Raccords supérieurs et dispositifs de décharge de pression	Trou d'homme	Robinet de vidange par le bas	Rupture thermique
7	VMSX 310740						
8	VMSX 311903						
9	VMSX 310400						
10	VMSX 311809						Brèche
11	VMSX 310404						Brèche
12	VMSX 310872						Brèche
13	VMSX 311626		Séparation en 2				
14	VMSX 310095	Brèche					Brèche
15	VMSX 5112 (isolé)		Brèche				
16	VMSX 310838				Brèche	Brèche	
17	VMSX 311634						Brèche
18	VMSX 280529 (isolé)					Brèche	
19	VMSX 310274			Brèche			
20	VMSX 311644		Brèche				
21	VMSX 311725		Brèche				Brèche
22	VMSX 311643						Brèche
23	VMSX 310432		Séparation en 2				
24	VMSX 310438		Brèche			Brèche	
25	VMSX 310486		Brèche	Brèche			
26	VMSX 311851		Séparation en 2				
27	VMSX 311824					Brèche	
28	VMSX 310054	Brèche	Brèche				
29	VMSX 311892						
30	VMSX 310173						
31	VMSX 311629						
32	VMSX 310767						
33	VMSX 310091						
34	VMSX 311962						
35	VMSX 311906						

L'observation des brèches a mené aux constatations générales suivantes :

- Des 29 wagons-citernes déraillés, 19 (66 %) ont subi une brèche et ont rejeté différentes quantités de produit.
- Trois des wagons-citernes (les 13^e, 23^e et 26^e wagons) se sont complètement séparés en 2 parties. Les ruptures de ces 3 wagons-citernes présentaient des signes de fragilisation.
- Des 19 wagons-citernes endommagés, 6 ont subi plus d'un type de brèche.
- Après l'extinction de l'incendie, le rejet par des brèches plus petites, bien que non instantané, a contribué à l'alimentation du feu en nappe et au déversement de produit.

1.38.2 Dommages à la coque des wagons-citernes

Neuf wagons-citernes ont rejeté du produit en raison de brèches de coque causées par la collision. De ces 9 brèches de coque, 8 (89 %) étaient de taille moyenne à grande, ce qui a entraîné le rejet rapide d'une grande quantité de produit et la naissance du feu en nappe qui a suivi. Ainsi, en raison de leur taille et du nombre de wagons touchés, les brèches de coque ont été les plus importants contributeurs au rejet de produit.

Comme seulement 2 des wagons-citernes touchés étaient dotés d'enveloppes et d'isolant, la coque de la plupart des wagons a subi un impact direct. Ainsi, à l'exception des 9^e, 10^e, 11^e, 34^e et 35^e wagons, la coque de tous les wagons-citernes déraillés présentait une certaine forme de dommage dû à un impact. Les dommages variaient entre des bosselures et éraflures mineures et des bosselures localisées profondes et d'importants gauchissements et écrasements transversaux. On considère que les dommages observés étaient représentatifs de collisions avec des objets allant de petits objets relativement pointus (p.ex., attelages, bogies) à de gros objets très peu tranchants (p.ex., la tête d'un autre wagon).

1.38.3 Dommages thermiques

Un dommage thermique se produit lorsqu'un wagon-citerne est assujéti à un incendie suivant un déraillement. Les ruptures thermiques (causées par la chaleur) se produisent généralement lorsque des wagons-citernes chargés sont exposés à un incendie et que leur dispositif de décharge de pression (DDP) ou d'autres brèches sont incapables d'évacuer la pression interne croissante. Cela peut se traduire par la rupture énergétique d'un wagon-citerne. Lorsqu'il y a présence de liquides inflammables de classe 3, la soudaine détente de la pression accumulée entraîne généralement le rejet du chargement sous la forme d'une grosse boule de feu, ainsi que l'inflammation du produit restant à l'intérieur du wagon-citerne. Les ruptures de wagons-citernes causées par la surchauffe sont généralement longitudinales et perpendiculaires aux contraintes circonférentielles de la coque de la citerne.

Des 27 wagons-citernes inspectés par le BST, 21 (78 %) présentaient des dommages indiquant qu'ils ont été exposés à l'incendie qui a suivi le déraillement. Les dommages par le feu variaient d'entre le roussissement de la peinture à des changements de la teneur en carbone en surface et à de l'oxydation externe, ce qui correspond à une exposition au pétrole brut et à

de l'air très chaud. Aucune de perforation due à des dommages causés par le feu (trou de brûlure) n'a été constatée sur les wagons touchés.

L'examen a permis de constater ce qui suit :

- Sept wagons-citernes ont subi des brèches causées par des ruptures thermiques dues à l'exposition au feu qui a suivi le déraillement.
- Des 7 wagons-citernes qui ont subi des ruptures thermiques, 5 (les 10^e, 11^e, 12^e, 17^e et 22^e wagons) n'ont subi aucune autre brèche pouvant avoir contribué à la détente de la pression interne.
- Des 7 wagons-citernes qui ont subi des ruptures thermiques, 2 ont également subi des brèches de coque et à la tête (les 14^e et 21^e wagons, respectivement).
- La taille des ruptures thermiques variait de 1 à 16 pieds. On a rapporté que tous les wagons-citernes ayant subi des ruptures thermiques avaient perdu l'ensemble de leur chargement, à l'exception du 14^e wagon dont la tête de l'extrémité B a subi une rupture thermique.
- Ainsi, en raison de leur taille et du nombre de wagons touchés, les ruptures thermiques ont été les deuxièmes importants contributeurs au rejet de produit (après les brèches de coque).
- On a précédemment suggéré que les DDP dont la pression de déclenchement de la décharge est plus élevée risqueraient de créer une pression interne excessive au cours d'un incendie, entraînant ainsi des ruptures thermiques plus énergétiques. La longueur des ruptures thermiques des wagons-citernes dotés d'un DDP de 75 livres au pouce carré variait de 1 à 16 pieds; le 14^e wagon, qui était doté d'un DDP de 165 livres au pouce carré, avait subi une rupture thermique d'une longueur 4 pieds. Ainsi, rien ne soutenait l'hypothèse selon laquelle les DDP dont la pression de déclenchement est plus élevée produisent des ruptures thermiques plus énergétiques (plus grandes).
- Les 15^e et 18^e wagons-citernes étaient dotés d'une enveloppe et d'isolant en laine de verre de 4 pouces d'épaisseur. Ces 2 wagons n'ont pas subi de ruptures thermiques, et ce, même s'ils ont été exposés à l'incendie qui a suivi le déraillement. Toutefois, ils ont subi d'autres brèches qui ont probablement permis la détente de pression interne. Ainsi, il a été impossible de déterminer l'efficacité de l'enveloppe et de l'isolant en ce qui concerne le retardement de l'augmentation de la pression interne.

1.38.4 Dommages aux boucliers protecteurs et aux têtes de citernes

Le BST a inspecté les 27 wagons-citernes déraillés et a fait les constatations suivantes :

- Les boucliers protecteurs de 23 wagons (85 %) ont subi des dommages causés par une collision.
- Huit wagons (30 %) ont perdu 1 de leurs boucliers protecteurs, et 3 wagons (11 %) ont perdu leurs 2 boucliers protecteurs. La plupart des boucliers protecteurs se sont détachés en raison du bris de leurs supports de fixation.
- Au moins 1 des 2 têtes de 17 wagons (63 %) présentaient des bosselures.
- La tête de 2 wagons (les 14^e et 28^e wagons) a subi une brèche causée par un impact.

Les résultats de l'examen suggèrent que dans l'ensemble, les demi-boucliers protecteurs trapézoïdaux et les boucliers protecteurs complets installés sur les wagons-citernes CPC-1232 ont protégé efficacement les têtes contre les perforations pendant le déraillement.

1.38.5 Dommages aux raccords supérieurs et aux dispositifs de décharge de pression

L'enceinte protectrice d'environ la moitié des wagons-citernes présentait des dommages causés par un impact. L'enceinte protectrice de 2 wagons-citernes (les 19^e et 25^e wagons) était manquante, et tous les raccords et les dispositifs de décharge de la pression de ces wagons ont été cisailés. Plus spécifiquement :

- Le 19^e wagon n'avait subi aucune autre brèche. On ne connaissait pas l'orientation de ce wagon-citerne parmi les wagons empilés, mais celui-ci aurait rejeté l'ensemble de sa cargaison. C'est pourquoi il est probable que ce wagon était orienté de façon à ce que le produit puisse s'échapper par les raccords supérieurs et le DDP endommagés et alimenter le feu en nappe.
- Le 25^e wagon-citerne s'est immobilisé debout. Il avait une importante perforation de coque près de la buse des raccords supérieurs et aurait rejeté une partie de sa cargaison. Il est probable que le déversement de produit ait été le résultat des rejets par les brèches de la coque, des raccords supérieurs et du DDP.

1.38.6 Dommages aux trous d'homme

Les wagons déraillés étaient équipés d'un couvercle de trou d'homme articulé et boulonné. La plupart étaient fermés, et leurs charnières et boulons à œil ne montraient pas de dommages causés par un impact. Aucun couvercle de trou d'homme ne s'était séparé en raison d'un impact.

Le couvercle de trou d'homme des 25^e et 26^e wagons-citernes était ouvert, et certains boulons à œil de ces wagons étaient manquants ou brisés. Ces wagons ont également subi de grandes brèches à la coque, ce qui indique qu'ils ont subi de violentes collisions pendant l'accident. Il a été impossible d'établir si les couvercles de trou d'homme se sont ouverts pendant l'accident, ou si on les a ouverts pendant les activités de remise en état du site.

Le couvercle du trou d'homme du 16^e wagon était fermé, mais sa charnière était brisée, la buse était craquée et plusieurs boulons à œil étaient dégagés. On a observé des résidus brûlés de produit dans l'espace entre le couvercle et la buse. Comme ce wagon-citerne s'est immobilisé sur son côté gauche, le produit s'est probablement échappé par le trou d'homme ébréché. Les robinets de vidange par le bas (RVB) de ce wagon ont également subi des brèches, par lesquelles une partie de la cargaison se serait échappée.

1.38.7 Dommages à l'enceinte de protection contre le glissement et aux robinets de vidange par le bas

L'enceinte de protection contre le glissement des robinets de vidange par le bas (RVB) de 8 wagons a subi des dommages causés par un impact. Ces dommages variaient de la déformation de la structure de protection causée par des impacts ou de l'écrasement, à la séparation de cette structure ou au bris des soudures entre la structure et la coque, ou à une

combinaison de ces types de dommages. Dans l'ensemble, la coque des wagons-citernes, dont la structure de protection contre le glissement était endommagée, était lourdement déformée à proximité de cette structure de protection, indiquant que les wagons avaient subi d'importantes collisions.

L'AAR exige que [traduction] « la poignée du robinet de vidange par le bas, sauf si elle est rangée séparément, soit conçue de manière qu'à l'impact elle se déforme ou se détache, ou que, dans la position fermée, elle soit située au-dessus de la surface inférieure du patin »⁸². Dans le cas à l'étude, la poignée et le mécanisme de fixation du RVB de 13 wagons-citernes ont subi des dommages causés par un impact. Ces dommages variaient d'une déformation liée à un impact à la séparation complète de la poignée et de son mécanisme de fixation.

L'adaptateur du RVB de 9 wagons-citernes (les 13^e, 16^e, 18^e, 19^e, 21^e, 24^e, 26^e, 27^e et 28^e) s'est brisé à la bride de fixation (le point de rupture prévu), ce qui a mis à découvert le tournant sphérique du RVB. La poignée du RVB de ces wagons (à l'exception des 13^e et 28^e) était également endommagée ou manquante.

Les 16^e, 18^e, 24^e et 27^e wagons-citernes étaient ébréchés à cause de leur RVB endommagé par un impact. Le tournant sphérique du RVB exposé de 3 de ces 4 wagons-citernes (les 16^e, 18^e et 24^e wagons) était partiellement ouvert ou laissait visiblement échapper du produit. Si les raccords supérieurs et le robinet de vidange par le bas sont endommagés, le raccord qui se retrouve à la position la plus haute peut agir comme un évent et augmenter grandement le débit à partir de l'autre accessoire endommagé.

Deux de ces 4 wagons-citernes ont également subi un autre type de brèche; notamment, le 16^e wagon avait subi une brèche du trou d'homme. Trois des wagons-citernes ont rejeté du produit en raison d'un mouvement de la poignée du RVB, ce qui a probablement eu lieu pendant le déraillement ou les activités de remise en état du site. En particulier :

- L'adaptateur du RVB du 16^e wagon-citerne (VMSX 310838) s'est rompu, ce qui a mis à découvert le tournant sphérique du RVB. Ce RVB rejetait du produit. La poignée de manœuvre du RVB et le mécanisme de fixation étaient déformés et écrasés contre la citerne. Le tournant sphérique du RVB n'a pas subi de dommages causés par le feu, ce qui suggère que l'adaptateur s'est rompu pendant les activités de remise en état du site. Le trou d'homme de ce wagon fuyait également.
- L'adaptateur du RVB du 18^e wagon-citerne (VMSX 280529) s'est détaché par cisaillement. La poignée de manœuvre du RVB ne présentait pas de dommages d'impact visibles, mais n'était plus fixée au wagon, car son mécanisme de fixation était détaché. Le tournant sphérique exposé du RVB était oxydé et partiellement ouvert. La poignée s'est complètement détachée pendant les activités de remise en état du site, et le tournant sphérique du RVB pivotait librement. S'il a été impossible de définir la position originale du tournant sphérique du RVB après le déraillement, on considère qu'il est probable que ce RVB ait rejeté du produit.

⁸² Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices Section C-III Specifications for Tank Cars [M-1002]*, octobre 2007, annexe E, sous-alinéa 10.1.2.8.

- L'adaptateur du RVB du 27^e wagon-citerne (VMSX 311824) s'est détaché par cisaillement. L'impact a grandement déformé le mécanisme de fixation de la poignée de manœuvre de ce RVB, et cette poignée n'était plus fixée au wagon. Il a été impossible de définir avec précision l'état du tournant sphérique exposé de ce RVB après l'immobilisation du wagon-citerne. Toutefois, on a placé ce wagon avec son RVB pointant vers le haut pendant les activités de remise en état du site, et l'on a rapporté que le wagon a rejeté une partie de sa cargaison après le déraillement. Cela suggère que le produit a sans doute été rejeté par le RVB.

Ce problème avait également été identifié dans le cadre d'une enquête sur un déraillement survenu à White River (Ontario) en 2013, où étaient en cause des wagons-citernes de catégorie 111 construits avant l'entrée en vigueur de la norme CPC-1232 (Rapport d'enquête ferroviaire R13T0060 du BST). Le BST a transmis l'Avis de sécurité ferroviaire 15/13 à TC pour l'aviser des risques liés au rejet de produit lorsque la poignée d'un RVB est endommagée pendant un déraillement. On a également identifié ces risques dans le cadre de l'enquête sur le déraillement de 63 wagons-citernes de catégorie 111 survenu à Lac-Mégantic en 2013 (Rapport d'enquête ferroviaire R13D0054 du BST).

1.38.7.1 *Recommandation du National Transportation Safety Board sur les robinets de vidange par le bas*

À la suite de l'enquête réalisée en 2009 sur le déraillement d'un train de marchandises du CN à Cherry Valley (Illinois), le NTSB a conclu que [traduction] « les normes et les règlements existants pour la protection des robinets de vidange par le bas des wagons-citernes n'abordaient pas les mécanismes de manœuvre des robinets, et étaient donc insuffisants pour assurer le maintien du robinet en position fermée en cas d'accident »⁸³. Le NTSB recommandait que la NHTSA : [traduction]

exige que tous les robinets de vidange par le bas utilisés sur les wagons-citernes non pressurisés, nouvellement construits ou existants, soient conçus pour rester fermés lors d'accidents où le robinet et sa poignée de manœuvre subissent des forces d'impact (R12-6)⁸⁴.

1.38.8 *Dommages à la longrine tronquée*

Il est interdit de fixer les longrines tronquées directement à la coque des wagons-citernes. L'American Association of Railroads (AAR) exige de fixer les longrines tronquées à des plaques de renfort qui, elles, doivent être fixées à la coque de la citerne. L'AAR exige également que la plaque de renfort se prolonge de part et d'autre du point de fixation de la longrine et jusqu'au point de fixation des cales de tête de la citerne^{85,86}. Ces exigences visent

⁸³ Rapport d'accident 12-01 du National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis, intitulé *Derailment of CN Freight Train U70691-18 With Subsequent Hazardous Materials Release and Fire, Cherry Valley (Illinois)*, 19 juin 2009 (Washington, DC : 14 février 2012), p.88.

⁸⁴ *Idem.*, p. 90.

⁸⁵ Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices (MSRP), Manual C-III [M-1002]*, octobre 2007, article 6, sous-alinéa 6.1.2.5.

à empêcher le rejet de produit en garantissant qu'en cas de surcharge d'une longrine tronquée, la séparation se produira entre la longrine et la plaque de renfort, sans se propager au niveau de la coque de la citerne.

Au moins 1 longrine troquée ou 1 attelage de la majorité des wagons-citernes qui ont déraillé était endommagé. Les dommages à la longrine troquée des 23^e et 28^e wagons-citernes se sont étendus jusqu'à la citerne. L'examen a permis de constater ce qui suit :

- À l'extrémité A du 23^e wagon-citerne, la soudure reliant la cale de tête et la longrine troquée portait une petite fissure qui se propageait dans la soudure reliant la semelle de longrine avant et la tête de citerne, et se terminait dans la tête de citerne. Toutefois, l'on considère que cette petite fissure constituait une négligeable source de rejet en comparaison avec la large brèche de la coque qu'avait subie ce wagon-citerne qui s'est séparé en 2 pièces.
- Le 28^e wagon-citerne avait subi une brèche en raison de dommages causés par un impact aux points de fixation de la longrine tronquée de l'extrémité A. On a prélevé des échantillons de la longrine tronquée endommagée à des fins d'analyse plus poussée au laboratoire du BST, et ce, pour valider la conception de la longrine tronquée. L'analyse a permis de constater ce qui suit :
 - L'extrémité A de ce wagon-citerne a subi de multiples impacts élevés pendant l'accident.
 - Une cale de bout de citerne s'est rompue et s'est séparée de la tête de citerne de l'extrémité A.
 - Une rupture s'est formée selon un mode de défaillance causée par des contraintes ductiles dans la partie avant de la cale de bout, puis s'est propagée dans les soudures d'angle entre la cale de bout et la tête de citerne.
 - Cette rupture a continué de se propager vers l'intérieur par les soudures d'angle jusqu'aux soudures longitudinales, entre les semelles de glissoir et la cale de bout de citerne.
 - Cette rupture s'est ensuite étendue jusque dans la coque de la citerne, ce qui s'est traduit par une brèche des 2 côtés.
 - Les ruptures de la coque et de la tête présentaient principalement des signes de fragilisation.
 - Les charges multidirectionnelles élevées liées aux impacts ont probablement dépassé les critères de conception de la longrine tronquée et a causé la propagation peu énergétique (par fragilisation) des fissures depuis les soudures de fixation de la cale de bout de citerne jusqu'à la coque et la tête de citerne.

1.38.9 Propriétés du matériau de la coque de citerne

On a soumis à des essais métallurgiques les échantillons prélevés sur le 29^e wagon-citerne (VMSX 311892), lequel était fait de tôles d'acier normalisé de nuance B conforme à la

⁸⁶ *Idem.*, article 6, sous-alinéas 6.1.2.5.2 et 6.1.2.5.3, et annexe E, paragraphe 13.0.

norme TC128 de l'AAR. Ces tôles étaient du même âge que les autres wagons-citernes qui ont déraillé. Les essais ont permis de constater ce qui suit :

- Les échantillons des têtes et de la coque de citerne étaient conformes aux spécifications applicables en matière de composition chimique et de résistance à la traction.
- Comme les wagons-citernes déraillés n'étaient pas conçus pour le service par temps froid, leur matériau n'était pas assujéti à des exigences sur l'absorption de l'énergie d'impact.
- Néanmoins, selon les résultats d'énergie d'impact d'échantillons assujéti à l'essai Charpy V testés à une température de -45,6 °C (50 °F), le matériau satisfaisait aux exigences de l'AAR sur l'absorption de l'énergie d'impact pour le service par temps froid.
- Certains wagons-citernes présentaient des perforations ductiles. D'autres ont subi des ruptures fragiles correspondant à une propagation peu énergétique des fissures.
- Pendant une collision, la vitesse de déformation et les contraintes triaxiales⁸⁷ à l'endroit d'une rupture peuvent varier considérablement en fonction de certains facteurs, dont la force de la collision, l'orientation et la vitesse de l'impact, et la pression interne de la citerne⁸⁸. Il est bien connu que les tendances de rupture par fragilisation de l'acier augmentent lorsque la vitesse de déformation et la triaxialité des contraintes augmentent⁸⁹. Ainsi, lorsque des collisions violentes se traduisent par une vitesse de déformation ou une triaxialité des contraintes élevée, le matériau de la citerne peut se comporter de manière plus cassante que ce à quoi on s'attendrait des résultats de l'essai Charpy V.

1.38.9.1 Résumé de l'examen du wagon-citerne

L'examen a permis de conclure que :

- Le matériau des têtes et de la coque du wagon-citerne satisfaisait aux exigences de composition chimique et de résistance à la traction pour l'acier normalisé de nuance B et conforme à la norme TC128 de l'Association of American Railroads (AAR).
- Dans l'ensemble, les boucliers protecteurs et les enceintes de protection des raccords supérieurs des wagons-citernes conformes à la norme CPC-1232 ont très bien protégé les têtes et les autres dispositifs pendant le déraillement.
- Certains wagons-citernes présentaient des perforations ductiles. D'autres ont subi des ruptures fragiles correspondant à une propagation peu énergétique des fissures.

⁸⁷ On définit les contraintes à un point donné en fonction des 3 principales contraintes dans 3 axes mutuellement perpendiculaires; on utilise le terme « contraintes triaxiales » lorsqu'aucune des 3 principales contraintes n'est égale à 0.

⁸⁸ Anderson, T.L. et Kirkpatrick, S.W. 2006. *Quantifying and Enhancing Puncture Resistance in Railroad Tank Cars Carrying Hazardous Materials Phase I: Preliminary Study (Report prepared by Structural Reliability Technology Inc. and Applied Research Associates Inc. for The Chlorine Institute, pages 47 à 56.*

⁸⁹ Meyers M.A. et Chawla K.K. 1984. *Mechanical Metallurgy*, Prentice-Hall Inc., New Nersey, page 149.

- Il est probable que les effets combinés de la basse température ambiante et des conditions de la collision se sont traduits par une vitesse de déformation accrue et une grande triaxialité des contraintes, ce qui a entraîné les ruptures fragiles des citernes.
- On considère que le rendement des wagons-citernes de catégorie 111 conformes à la norme CPC-1232 était semblable à celui des wagons-citernes de catégorie 111 plus âgés examinés dans le cadre de l'enquête du BST sur l'accident à Lac-Mégantic⁹⁰.

1.38.9.2 Plaques de marchandises dangereuses

Selon le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, il faut afficher de chaque côté et à chaque extrémité d'un wagon-citerne une plaque identifiant la classe et le numéro UN des MD transportées.

Tous les wagons-citernes qui ont déraillé transportaient du pétrole brut (UN 1267). Si la plupart des wagons-citernes portaient les plaques UN 1267 appropriées, les 31^e et 34^e wagons-citernes avaient des plaques UN 1268 (distillats de pétrole). Les marques de sécurité des MD de ces 2 wagons-citernes déraillés identifiaient incorrectement le produit. Par conséquent, elles n'étaient pas conformes à la réglementation. De plus, les plaques de 1 wagon-citerne n'indiquaient pas toutes le même numéro UN.

1.39 Enquêtes du BST sur des problèmes de sécurité

En réponse à une série de déraillements dans des voies principales secondaires mettant en cause des rails brisés et survenus à l'hiver 2003-2004, le BST a effectué une enquête sur des problèmes de sécurité⁹¹. Cette étude a permis d'établir une relation considérable entre les défauts de rail et le niveau de trafic de trains-blocs, et de constater que l'on n'avait pas assuré un entretien régulier adapté à l'augmentation du trafic. Ces mêmes circonstances peuvent s'appliquer aux voies principales. Cette étude a également permis de déterminer ce qui suit :

- Les compagnies ferroviaires savent que l'augmentation du volume de transport ferroviaire de trains-blocs accélère la dégradation de la voie. Toutefois, ils ne réalisent pas toujours d'équilibre approprié entre la dégradation accélérée de la voie et l'entretien/le remplacement opportun de l'infrastructure.
- En soi, la conformité au *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV) n'a pas suffi à assurer la sécurité, car elle ne comprend pas de moyens d'anticiper l'évolution des conditions, dont l'augmentation à long terme du trafic.
- Il faut établir des processus plus vigilants pour anticiper les conditions opérationnelles pouvant réduire les marges de sécurité à l'aide SGS.

⁹⁰ Rapport d'accident ferroviaire R13D0054 du BST.

⁹¹ Bureau de la sécurité des transports du Canada, rapport d'enquête sur des problèmes de sécurité SII R05-01, *Analyse de déraillements survenus sur des voies principales de deuxième catégorie et des relations entre ces déraillements et le trafic de vrac* (2005).

1.40 Liste de surveillance du BST

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

1.40.1 Gestion de la sécurité et surveillance

Il incombe aux entreprises de transport de gérer les risques de sécurité liés à leur exploitation. Les SGS fournissent le cadre nécessaire pour y parvenir, et de nombreuses entreprises en appliquent un de façon formelle, volontairement ou parce que le *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* de TC les y oblige. Même les petites entreprises doivent suivre des processus de sécurité pour gérer les risques.

Certaines entreprises considèrent que leurs mesures de sécurité sont appropriées tant qu'elles sont conformes aux exigences de la réglementation. Or, la réglementation ne suffit pas, à elle seule, à prévenir tous les risques uniques d'une opération particulière. C'est la raison pour laquelle le BST insiste régulièrement sur les avantages des SGS. En effet, ces systèmes constituent un cadre reconnu partout dans le monde, et permettent aux entreprises de gérer efficacement les risques et de rendre leur exploitation plus sécuritaire.

Le passage à un SGS doit être accompagné d'une surveillance réglementaire appropriée. Puisque les organismes de réglementation devront traiter avec des entreprises ayant différentes capacités ou différents niveaux d'engagement en matière de gestion préventive des risques, cette surveillance doit être équilibrée. Elle doit inclure la vérification en amont des processus de gestion de la sécurité, une formation pratique et théorique continue et des contrôles habituels permettant d'assurer le respect de la réglementation en vigueur.

En outre, elle doit comprendre 3 éléments clés : un cadre réglementaire clair exigeant la mise en œuvre d'un SGS adapté à la portée et à la taille des opérations de l'entreprise; des SGS permettant de cerner et de réduire les risques efficacement; une surveillance réglementaire équilibrée.

On a constaté certains problèmes dans le cadre d'enquêtes précédentes du BST :

- Même si les opérateurs ferroviaires du Canada ont l'obligation de se doter d'un SGS, le BST a constaté que les processus du SGS n'étaient pas toujours suivis ou étaient inefficaces. Cette lacune a empêché d'identifier des dangers et de mettre en place des mesures d'atténuation des risques⁹².
- En ce qui concerne la surveillance réglementaire assurée par TC, on a observé 2 problèmes : l'incapacité du ministère à déterminer les processus inefficaces des entreprises, et le manque d'équilibre entre les processus de vérification et les inspections habituelles.

⁹² Rapports d'enquête ferroviaire R09T0057, R13D0054, R14Q0045 et R14W0256 du BST.

Pour éliminer ces problèmes, les entreprises qui possèdent un SGS doivent démontrer que celui-ci 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). Si les entreprises ne peuvent gérer efficacement la sécurité, TC doit non seulement intervenir, mais le faire de façon à changer les pratiques d'exploitation jugées non sécuritaires.

1.40.2 *Transport de liquides inflammables par rail*

En novembre 2014, le BST a ajouté le transport de liquides inflammables par rail à sa Liste de surveillance. Cet enjeu est demeuré sur la Liste de surveillance du BST en 2016.

Le transport de pétrole brut par rail a augmenté de façon exponentielle partout en Amérique du Nord depuis 2009; en 2014, il a atteint un sommet de 238 000 wagons complets au Canada⁹³ et de 500 000 wagons complets aux États-Unis⁹⁴. Pour sa part, le volume d'éthanol est demeuré relativement stable, soit en moyenne 76 250 wagons complets par année au Canada, et 331 000 wagons complets aux États-Unis⁹⁵. Malgré une tendance à la baisse dernièrement, on prévoit que le volume de liquides inflammables transporté par rail demeurera important.

Le BST craint que les méthodes d'exploitation actuelles des compagnies ferroviaires, combinées à la vulnérabilité des wagons-citernes plus âgés utilisés pour transporter du pétrole brut et d'autres liquides inflammables, ne permettent d'atténuer efficacement le risque associé au transport de grandes quantités de telles matières dangereuses par rail.

La vulnérabilité des wagons-citernes de catégorie 111 est connue depuis des années⁹⁶. Le Bureau a réclamé des normes plus strictes pour tous les wagons-citernes de catégorie 111⁹⁷ – et non seulement les nouveaux – afin de réduire la probabilité de rejet en cas d'accident. Plusieurs enquêtes du NTSB sur des accidents aux États-Unis ont, elles aussi, fait ressortir la vulnérabilité des wagons-citernes de catégorie 111⁹⁸.

Le BST juge encourageant que les organismes de réglementation fédéraux du Canada et des États-Unis aient pris d'importantes mesures pour régler ce problème, y compris la promulgation d'une norme de wagon-citerne plus robuste (catégorie 117), des dispositions de rattrapage, un calendrier de mise en œuvre, ainsi que des mesures de surveillance réglementaire et d'application. Les mesures prises jusqu'à présent par les organismes de réglementation fédéraux et le secteur ferroviaire ont, depuis 2014, contribué à réduire

⁹³ Volume de pétrole brut transporté par les chemins de fer canadiens de Classe 1.

⁹⁴ Association des chemins de fer du Canada et Association of American Railroads.

⁹⁵ De 2009 à 2015.

⁹⁶ Recommandation R07-04 du BST.

⁹⁷ Recommandation R14-01 du BST.

⁹⁸ New Brighton (Pennsylvanie) (octobre 2006); Cherry Valley (Illinois) (juin 2009); Tiskilwa (Illinois) (octobre 2011); Columbus (Ohio) (juillet 2012); Casselton (Dakota du Nord) (décembre 2013); Lynchburg (Virginie) (avril 2014); Mount Carbon (Virginie-Occidentale) (février 2015); Heimdal (Dakota du Nord) (mai 2015); Lesterville (Dakota du Sud) (septembre 2015).

considérablement l'utilisation des anciens wagons-citernes de catégorie 111 pour le transport du pétrole brut.

Bien que les organismes de réglementation fédéraux et le secteur ferroviaire aient pris des mesures concernant la sécurité des wagons-citernes, les règlements fédéraux autorisent néanmoins l'utilisation des wagons-citernes de catégorie 111 pour transporter certains liquides inflammables jusqu'au milieu de 2025. Par conséquent, le facteur de risque demeurera élevé tant que tous les liquides inflammables à plus haut risque ne seront pas transportés dans des wagons-citernes plus robustes et à protection renforcée en Amérique du Nord.

Depuis le déraillement à Lac-Mégantic en juillet 2013 (Rapport d'enquête ferroviaire R13D0054 du BST), d'autres déraillements survenus au Canada⁹⁹, dont celui à l'étude, ont démontré que la population, les biens et l'environnement sont exposés à un risque important en cas de déraillement de trains transportant de grands volumes de liquides inflammables.

Ces événements récents soulignent la nécessité d'une planification d'itinéraires stratégique et d'une exploitation plus sûre de tous les trains transportant des marchandises dangereuses au Canada. Les chemins de fer doivent choisir soigneusement les itinéraires servant à transporter le pétrole brut et d'autres liquides inflammables et s'assurer de la sécurité d'exploitation des trains sur ces voies. Ces risques doivent être traités comme un enjeu de transport nord-américain, puisque les produits sont transportés d'un côté à l'autre de la frontière par les sociétés ferroviaires.

Pour éliminer ces problèmes, les compagnies ferroviaires doivent planifier et analyser rigoureusement les itinéraires, et effectuer des évaluations des risques pour s'assurer que les mesures de contrôle des risques sont efficaces. Il faut, en outre, qu'elles transportent les liquides inflammables dans des wagons-citernes plus robustes afin de réduire la probabilité de rejet de MD en cas d'accident.

1.41 Rapports de laboratoire du BST

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

- LP 055/2015 : Examination of Rail Joint and Pieces [examen du joint et des morceaux de rail]
- LP 056/2015 : Examination of Tank Cars [examen des wagons-citernes]
- LP 057/2015 : Analysis of Crude Oil Samples [analyse d'échantillons de pétrole brut]
- LP 146/2015 : Examination of Tank Car Coupons [examen des coupons des wagons-citernes]

⁹⁹ Rapports d'enquête ferroviaire R15H0021, R14W0256, R15V0046, R14W0256 et R14M0002 du BST.

2.0 *Analyse*

Le train était conduit en conformité avec les exigences de l'entreprise et de la réglementation. Le matériel roulant avait été maintenu en bon état, et on n'a observé aucun défaut pouvant être considéré comme un facteur ayant causé cet événement. L'analyse portera principalement sur les éléments suivants : défaillance des éclisses; formation et encadrement du superviseur adjoint de la voie (SAV); rendement des wagons-citernes; propriétés du pétrole brut; vitesse des trains clés; système de gestion de la sécurité (SGS) et évaluation des risques par corridor de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN); structure de commandement en cas d'incident et intervention d'urgence du CN; surveillance réglementaire; impacts environnementaux.

2.1 *L'accident*

Dans le cadre de l'événement à l'étude, un train-bloc de pétrole brut du CN circulait vers l'est à environ 38 mi/h dans la subdivision de Ruel du CN lorsqu'un freinage d'urgence provenant de la conduite générale s'est produit au point milliaire 111,7, près de Gladwick (Ontario). Vingt-neuf wagons-citernes de catégorie 111 conformes à la norme CPC-1232 ont déraillé; 19 wagons-citernes ont subi des brèches, et environ 1,7 million de litres de produit ont été rejetés dans l'atmosphère et dans le sol. Le produit déversé s'est enflammé et a brûlé pendant 5 jours. Il n'y a eu aucune évacuation ni aucune blessure.

La table de roulement de la roue L1 du bogie avant du 8^e wagon (VMSX 311903) présentait des marques d'impact correspondant à un contact avec l'extrémité exposée d'un rail. On a observé des marques d'abrasion sur la circonférence de la jante extérieure de la roue L4 du bogie arrière, ce qui indique que la roue est tombée entre les rails. On n'a pas observé de marques d'impact sur l'infrastructure de la voie à l'approche du lieu du déraillement depuis l'ouest. On a trouvé un joint isolant brisé sur le rail sud, près du signal au point milliaire 111,7.

On a tenu compte des facteurs suivants : l'absence de marques sur l'infrastructure avant le joint isolé rompu au point milliaire 111,7; des marques d'impact sur la roue L1 du 8^e wagon; des marques d'abrasion sur la jante extérieure de la roue L4 de ce même wagon. À la lumière de ces observations, le déraillement s'est produit lorsque le joint isolé du rail sud, au point milliaire 111,7, s'est rompu sous la tête du train. La roue L4 du bogie arrière du 8^e wagon est alors tombée entre les rails, ce qui a causé un surécartement des rails et le déraillement des wagons suivants.

2.2 *Défaillance des éclisses*

Le matériau des éclisses satisfaisait aux exigences. Un examen détaillé des éclisses brisées a permis de constater que les surfaces de rupture présentaient des ondulations de fatigue, lesquelles constituent un signe de défaillance par fatigue. Les ruptures commençaient à la portée d'éclissage supérieur (la surface de contact entre le dessus des éclisses et le dessous du champignon du rail) sur le dessus des 2 éclisses. Les points de départ des ruptures de fatigue correspondaient avec les piqûres de corrosion observées sur les surfaces extérieures.

Les fissures de fatigue se propageaient verticalement vers le bas dans environ 20 % de la section transversale des éclisses avant de se transformer en ruptures par contraintes excessives (fragilisation). L'agrandissement par contrainte excessive des fissures de fatigue par flexion inversée (engendrées par la corrosion), qui se sont formées à la surface de contact supérieure entre le dessus des éclisses et le dessous du champignon du rail, a entraîné la rupture des éclisses isolantes.

2.3 *Effets du temps froid*

Au moment de l'accident, la température était de -31 °C. Il est reconnu que l'acier des rails et l'acier des éclisses sont moins tenaces et ductiles à basse température, surtout lorsque les éclisses ont déjà subi des défauts de fatigue ou que la contraction des longs rails soudés (LRS) soumet les joints de rail à des contraintes élevées par temps froid. L'infrastructure de la voie peut aussi subir les contraintes d'impacts de roues répétés causés par des tables de roulement endommagées, des roues ovalisées et des problèmes de surface de rail, dont des écrasements aux abouts de rail et des dénivellations locales de la surface de roulement.

Le joint isolé a été assujéti à des impacts de roues ou à des déplacements verticaux répétés au cours d'une période d'au moins 3 mois avant la rupture. Ces impacts auraient contribué à la croissance des fissures de fatigue et auraient aussi soumis la structure de la voie à des contraintes accrues, particulièrement par temps très froid. Le temps froid au moment de l'événement à l'étude a rendu le matériau des éclisses encore plus susceptible d'une rupture par fragilisation. Lorsque les fissures de fatigue des éclisses ont atteint une taille critique, les éclisses ne pouvaient plus résister aux charges en service et se sont rompues.

2.4 *Écrasements aux abouts de rail et éclisses fissurées*

Un écrasement aux abouts de rail se produit à un joint de rails lorsque les extrémités des champignons ne correspondent pas ou qu'il y a un écart trop important entre les extrémités des rails. Un écrasement aux abouts de rail constitue un signe de dégradation du soutien du joint qui peut se traduire par un mouvement excessif du joint. Si un joint n'est pas adéquatement soutenu, les chocs exercés par les roues peuvent entraîner une augmentation du déplacement vertical des rails, un desserrage et une détérioration du joint, un écrasement aux abouts de rail, une dégradation des traverses, du ballast et de la plateforme et, ultimement, une rupture du rail ou du joint.

Généralement, les fissures de fatigue se développent au fil du temps. Dans l'événement à l'étude, les fissures de fatigue des éclisses s'étendaient jusqu'à la surface extérieure de chaque éclisse, juste en dessous du champignon du rail. Cela suggère qu'elles étaient probablement visibles quelque temps avant l'événement à l'étude et qu'elles étaient peut-être présentes lorsqu'on a initialement détecté l'écrasement aux abouts de rail.

Lorsqu'on détecte des fissures dans des éclisses, il faut immédiatement les remplacer, comme l'exigent le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV) approuvé par TC, aussi connu sous le nom de *Règlement sur la sécurité ferroviaire*, et les protocoles du CN. S'il est impossible de remplacer les éclisses immédiatement, comme dans le cas d'un joint isolant collé, il faut

définir une limitation de vitesse ou mettre la voie hors service. Toutefois, dans l'événement à l'étude, on n'a pas détecté les fissures de fatigue des éclisses, et on ne semblait pas réaliser que l'écrasement aux abouts de rail assujettirait les éclisses à des contraintes accrues. Si on avait compris cette corrélation, on aurait peut-être inspecté les éclisses de plus près dans le cadre de la surveillance de l'écrasement aux abouts de rail. Comme les fissures de fatigue des éclisses s'étendaient jusqu'à la surface extérieure de chaque éclisse, juste en dessous du champignon du rail, elles étaient probablement visibles depuis un certain temps avant la rupture des éclisses, mais le CN ne les a pas détectées en dépit de ses nombreux contrôles.

2.5 *Surveillance des écrasements aux abouts de rail et contrôle des éclisses*

Le superviseur adjoint de la voie (SAV) était entré au service du CN en février 2013 en tant que contremaître adjoint de la voie. En mai 2014, il a été promu au poste de SAV de la subdivision de Ruel – un poste basé à Foleyet (Ontario) – et a commencé le programme de formation des SAV du CN. De mai 2014 à février 2015, le SAV a occupé son poste tout en effectuant les modules de formation en cours d'emploi du programme de formation des SAV et a acquis de l'expérience.

Le creux de surface de 1 pouce qu'on a noté au joint isolant du point milliaire 111,7, lequel comprenait également un écrasement aux abouts de rail, indiquait que le soutien du joint était dans les limites, mais se détériorait. Le SAV connaissait ces problèmes et avait prévu à quelques reprises en décembre 2014 et janvier 2015 de réparer temporairement par soudure l'écrasement aux abouts de rail. Toutefois, ses tentatives s'étaient soldées par des échecs. Au lieu de cela, le SAV a surveillé visuellement l'écrasement aux abouts de rail et a mesuré la surface de roulement du rail à quelques reprises. Les mesures n'ont pas été consignées dans un dossier, et cela n'était pas requis. Comme l'écrasement aux abouts de rail et le creux correspondant ne dépassaient pas les limites définies dans le RSCV ou les Normes de la voie – Ingénierie (NV) du CN, aucune mesure immédiate n'était requise et il n'était pas urgent d'effectuer cette réparation.

Le SAV travaillait au sein de l'industrie ferroviaire et à son poste depuis relativement peu de temps; il n'avait pas encore terminé le programme de formation des SAV et avait reçu peu de supervision pendant les modules de formation en cours d'emploi du programme. De plus, le tronçon de voie dont il était responsable comprenait un certain nombre de défauts de rail et de problèmes de surface de rail qu'il devait surveiller, en plus d'accomplir ses tâches d'inspection de la voie. Le SAV travaillait parfois plusieurs journées consécutives de 16 heures en raison de ces facteurs et de la difficulté à obtenir des périodes d'occupation de la voie.

Dans l'exercice de ses tâches de contrôle et d'entretien de la voie, le SAV était principalement préoccupé par la surveillance de l'écrasement aux abouts de rail du joint isolé au point milliaire 111,7. Le SAV ne possédait pas l'expérience nécessaire pour : reconnaître que le creux de 1 pouce était un signe de dégradation du soutien du joint; reconnaître les effets des chocs répétés des roues sur ce joint; savoir qu'il fallait inspecter les éclisses pour y déceler des fissures pendant la surveillance de l'écrasement aux abouts de rail.

2.5.1 Directives d'inspection de la voie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Dans les directives d'inspection de la voie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) sur l'inspection des joints, on n'indiquait pas que le mauvais soutien d'un joint constitue souvent la cause fondamentale des écrasements aux abouts de rail, des fissures de fatigue des éclisses, des fissures des trous de boulonnage et, ultimement, de la rupture des joints. La correction de l'écrasement aux abouts de rail ne se limite pas à la soudure des champignons des rails. On doit également soulever le joint et bourrer le ballast pour que le joint soit bien soutenu. La soudure à elle seule n'est qu'une panacée qui ne fera que retarder la dégradation de l'écrasement aux abouts de rail si l'on n'élimine pas les problèmes de soutien sous-jacents. Cela n'est pas nécessairement aussi évident pour un SAV récemment embauché ou promu que pour un inspecteur de voie chevronné.

Dans les directives d'inspection de la voie du CN, on ne fait pas référence au lien de causalité potentiel entre un joint mal soutenu et les défauts de joint. Conséquemment, la formation des SAV du CN sur les écrasements aux abouts de rail, les fissures de fatigue des éclisses, les fissures des trous de boulonnage et les ruptures de joints ne permettait pas au SAV de comprendre la relation entre un joint mal soutenu et le développement de défauts de joint. Si le programme de formation ne couvre pas toutes les mesures d'entretien principales des joints de rail, les nouveaux membres du personnel d'ingénierie de la voie peuvent ne pas comprendre les stratégies d'atténuation des risques qui s'offrent à eux. Tout compte fait, cela peut faire croître les risques que les problèmes de voie ne soient pas éliminés efficacement et rapidement.

2.5.2 Normes de la voie – Ingénierie de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV) ne contient aucune orientation ni aucun critère sur les limites critiques pour les écrasements aux abouts de rail, car on les considère comme des problèmes de surface de rail, et non comme des défauts de rail. Bien qu'on ne juge pas qu'il s'agisse de défaillances en service, les écrasements aux abouts de rail peuvent être considérés comme étant des indicateurs de défauts émergents potentiels dans le rail. Le CN sait que les problèmes émergents peuvent entraîner la rupture d'un rail ou d'un joint et a mis en œuvre des mesures pour atténuer ces risques. Par exemple, la norme de la voie (NV) 1.7, intitulée « Périodicité d'inspection des rails et mesures correctives dans le cas de rails défectueux » des *Normes de la voie – Ingénierie* (NVI) du CN, exige de mesurer les écrasements aux abouts de rail de plus de 3,5 mm deux fois par semaine pendant les mois d'hiver. Même si l'écrasement n'avait pas encore atteint cette limite de 3,5 mm, le SAV l'inspectait 2 fois par semaine par mesure de précaution.

Toutefois, la NV 1.7 des NVI du CN n'indiquait pas qu'il fallait inspecter les éclisses pour y déceler des fissures lors de la mesure d'un écrasement aux abouts de rail. S'il peut être évident pour un employé chevronné qu'il faut inspecter les éclisses pour y déceler des fissures, ce n'est pas nécessairement le cas d'un employé de l'entretien de la voie avec peu d'expérience (comme le SAV). Comme un grand nombre des SAV récemment embauchés

par le CN ne possèdent pas beaucoup d'expérience dans l'industrie ferroviaire, ce manque de directives spécifiques pourrait s'avérer encore plus problématique. Si les normes d'entreprise sur la surveillance des écrasements aux abouts de ne comprennent pas des directives sur l'inspection des éclisses pour y déceler des fissures lorsqu'on mesure un écrasement aux abouts de rail, il peut être impossible de détecter les éclisses fissurées dans un délai convenable, ce qui fait croître les risques de rupture d'un joint.

2.5.3 Technologies émergentes de contrôle des éclisses

Dans le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV), on indique que « [s]i les éclisses sont inspectées par un moyen électronique, tel qu'une caméra ou toute autre technologie capable de détecter des éclisses défectueuses, il n'est pas nécessaire [...] de procéder à une inspection à pied¹⁰⁰ ». Il faut effectuer une inspection à pied sur toutes les voies dont la courbure est de 4 degrés ou plus. On assiste à l'émergence d'autres technologies de détection des éclisses fissurées pouvant remplacer les inspections à pied des éclisses, dont des caméras à grande vitesse et des technologies d'inspection par ultrasons.

Le système optique automatisé de contrôle des éclisses comprend des caméras à grande vitesse fonctionnant à des vitesses pouvant atteindre 70 mi/h. Ce système comprend 4 caméras à balayage linéaire fixées à un véhicule rail-route ou ferroviaire qui captent continuellement des images haute définition des 2 côtés de chaque rail. Un ordinateur embarqué enregistre automatiquement les images de chaque éclisse. Le système les analyse pour détecter sur les éclisses ou les rails les défauts visibles, dont les fissures de fatigue et les boulons manquants. Toutefois, les caméras ne peuvent capter que les fissures et les défauts qui se forment sur la surface extérieure (exposée) des éclisses.

Par comparaison, un système de contrôle par ultrasons peut détecter des fissures dans les parties des éclisses qu'il est impossible d'inspecter visuellement ou à l'aide de systèmes optiques. Cette approche facilite la détection de fissures se trouvant à l'intérieur de la partie supérieure du milieu des éclisses, c'est-à-dire à l'endroit où se forment la plupart des fissures de fatigue.

Ces 2 systèmes peuvent améliorer la productivité et la sécurité des travailleurs. Comme ces systèmes contrôlent les éclisses depuis un véhicule en mouvement, les inspecteurs n'ont plus à marcher le long de voies en service, ce qui permet une détection en amont des éclisses défectueuses avant qu'elles cassent. Même si les nouvelles technologies de contrôle des éclisses sont prometteuses, la réglementation n'exige pas l'utilisation de caméras à grande vitesse et de systèmes de contrôle par ultrasons pour contrôler les éclisses (comme c'est le cas pour les contrôles de la géométrie de la voie ou des défauts de rail). L'utilisation de ces systèmes n'est pas encore répandue au sein de l'industrie.

¹⁰⁰ Transports Canada, *Règlement concernant la sécurité de la voie*, alinéa 2.5(a).

2.6 *Formation et encadrement du superviseur adjoint de la voie à la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

On utilise le terme « imagination nécessaire » pour parler de la capacité des personnes à prévoir les risques potentiels. Pour développer l'imagination nécessaire et, par extension, la capacité à participer efficacement aux améliorations en sécurité, le personnel doit posséder l'expérience nécessaire, suivre la formation requise et avoir en lui les ressources appropriées pour comprendre les dangers et y réagir. Dans l'événement à l'étude, les faiblesses du CN en matière de perfectionnement et d'encadrement d'un superviseur adjoint de la voie (SAV) inexpérimenté ont réduit son aptitude à exécuter efficacement les tâches d'un poste complexe et essentiel à la sécurité.

Le CN considère que la vitesse des trains est un facteur de croissance des affaires. L'ensemble du personnel de l'ingénierie comprend l'urgence d'assurer une circulation aussi rapide et sécuritaire que possible des trains. Les retards de trains qui ont des répercussions sur la vitesse produisent des contraintes internes qui peuvent parfois créer des conflits entre les décisions prises à propos de l'entretien de la voie et l'exploitation des trains. Ces contraintes touchent particulièrement les recrues parmi les cadres de première ligne. Comme il est très important de ne pas retarder les trains, le personnel d'entretien peut avoir de la difficulté à obtenir des périodes d'occupation de la voie nécessaires aux contrôles, à l'entretien et aux réparations de la voie.

Le SAV occupait un poste de superviseur en ingénierie de première ligne depuis relativement peu de temps dans son territoire; il était responsable des contrôles et de la surveillance de l'état de la voie, ainsi que de l'établissement de la priorité et de l'horaire des travaux d'entretien de la voie. Même s'il avait de la difficulté à garder le pas en raison de sa grande charge de travail, le SAV déployait tous les efforts pour éliminer les défauts de voie avant qu'il ne soit nécessaire d'établir une limitation temporaire de vitesse réduisant la vitesse des trains. Comme le SAV arrivait à maintenir la voie dans un état conforme aux normes minimales, il y avait peu de limitations de vitesse et d'indicateurs pouvant porter les défis liés à la subdivision de Ruel à l'attention des cadres supérieurs. La haute direction considérait l'absence de limitations de vitesse comme un signe que le personnel et l'entretien étaient adéquats.

Depuis 2013, les superviseurs de première ligne et cadres intermédiaires du CN suivaient un programme de communication et de leadership de 4 jours nommé LEAD qui comprenait un volet de mentorat. Toutefois, au moment de l'accident, ni le SV ni le SAV n'avaient suivi cette formation.

L'expérience du SAV était limitée; au moment où il a commencé à occuper ce poste, il devait toujours compléter les 5 derniers mois du programme de formation de 12 mois des SAV. Pendant les modules de formation en cours d'emploi du programme de formation des SAV, le SAV travaillait de manière autonome. Il recevait peu d'encadrement et de soutien du superviseur de la voie (SV) et du directeur principal, Ingénierie (DPI), car ceux-ci avaient peu de temps à lui consacrer en raison des demandes liées à leur poste.

Le CN avait élaboré un programme de formation à l'intention des candidats à un poste de SAV. Ce programme, portant sur les connaissances et les habiletés requises des SAV, comportait des lacunes. Pendant la partie en cours d'emploi de leur formation, les candidats n'étaient pas jumelés à un mentor ou à un formateur particulier. Comme ils étaient exposés à certaines techniques et activités d'entretien de la voie, il leur incombait de remplir leurs propres listes de vérification. Le processus de formation en cours d'emploi était généralement informel; on n'offrait pas de supervision directe ou de commentaires pour renforcer les comportements positifs ou rectifier les points de vue erronés. Ainsi, les modules en cours d'emploi du programme de formation des SAV du CN comprenaient peu d'encadrement ou de soutien permettant aux aspirants SAV d'acquérir les compétences requises pour travailler efficacement dans un environnement très exigeant et un poste complexe essentiel à la sécurité.

Le CN éprouvait de la difficulté à conserver ses SAV. L'aspirant SAV précédent de ce territoire avait démissionné après avoir terminé le programme de formation. Au moment de l'événement à l'étude, le SAV était en poste depuis moins de 1 an.

Au moment de l'événement à l'étude, la direction du CN faisait confiance au SAV et considérait qu'il avait le potentiel nécessaire pour devenir un bon superviseur. Toutefois, en raison des exigences du poste et du manque d'encadrement et de soutien du SV, il était difficile pour le SAV de se perfectionner alors qu'il occupait ce poste. Après l'événement à l'étude, le SAV a démissionné et est volontairement retourné à un poste syndiqué.

Le poste de SAV est très exigeant et est quelquefois accablé d'un roulement de personnel. Dans la subdivision de Ruel, au moment de l'événement à l'étude, on disposait d'une expertise ferroviaire limitée pour gérer l'infrastructure et les équipes d'entretien, effectuer les contrôles de la voie, anticiper les problèmes potentiels et prévoir des mesures d'atténuation, et surveiller les combinaisons de défauts et de problèmes de voie émergents dans ce grand territoire. Ainsi, le reste du personnel d'ingénierie du CN, dont le SAV nouvellement embauché travaillant comme SAV pleinement qualifié, devait satisfaire à des contraintes qui laissaient certaines parties de la subdivision de Ruel devenir vulnérables. Si les aspirants SAV n'obtiennent pas d'encadrement et de soutien appropriés pendant les modules en cours d'emploi de leur formation, les risques qu'ils ne possèdent pas l'expérience nécessaire pour occuper ce poste essentiel à la sécurité augmentent, et ce, même s'ils ont terminé le programme de formation des SAV.

2.7 Analyse des échantillons de pétrole brut

L'analyse en laboratoire des échantillons de produits a permis de constater que les 2 produits avaient des propriétés chimiques et physiques semblables, et qu'il s'agissait de pétrole brut léger non sulfureux. Les résultats des analyses correspondaient aussi aux renseignements figurant dans la fiche signalétique de chaque produit, et les produits étaient adéquatement classifiés. Les produits présentaient une tension de vapeur inférieure, mais une densité, une viscosité et une volatilité semblables au pétrole brut de la formation schisteuse de Bakken mis en cause dans l'événement à Lac-Mégantic (Rapport d'enquête ferroviaire R14D0054 du BST).

Le point d'éclair bas du pétrole brut explique pourquoi il s'est enflammé aussi rapidement à la suite du cisaillement des wagons-citernes. Les grandes quantités de produit rejeté, la rapidité du rejet et la grande volatilité et faible viscosité du pétrole ont contribué aux importants incendies et feux en nappe qui ont suivi le déraillement.

2.7.1 *Plaques de marchandises dangereuses sur les wagons-citernes*

Tous les wagons-citernes qui ont déraillé transportaient du pétrole brut (UN 1267). Si la plupart des wagons-citernes portaient les plaques UN 1267 appropriées, les 31^e et 34^e wagons-citernes avaient des plaques UN 1268 (distillats de pétrole).

Les indications de danger relatives aux MD des wagons-citernes qui ont déraillé n'étaient pas conformes à la réglementation fédérale. En effet, les wagons portaient des plaques UN 1268 alors que leur contenu était classé UN 1267. Dans l'événement à l'étude, cela ne posait pas de risques considérables pour la sécurité, car les 2 produits avaient des caractéristiques semblables, et les procédures d'intervention d'urgence étaient les mêmes pour les 2 produits. Toutefois, dans d'autres circonstances, une différence entre les renseignements d'expédition et les plaques installées sur les wagons-citernes aurait pu causer de la confusion et exposer les intervenants d'urgence à certains risques. Si les plaques installées sur les wagons-citernes ne correspondent pas aux renseignements d'expédition, les intervenants d'urgence pourraient ne pas être pleinement conscients du contenu des wagons-citernes et se placer involontairement dans une situation vulnérable, ce qui fait croître les risques de blessures.

2.8 *Rendement des wagons-citernes*

Historiquement, les wagons-citernes plus âgés de catégorie 111 avaient un poids brut sur rail (PBR) de 263 000 livres.

Vers la fin des années 1990, TC, le département des Transports des États-Unis (DOT) et l'AAR ont établi un certain nombre d'exigences pour permettre l'augmentation du PBR des wagons-citernes à 286 000 livres. Ces exigences comprenaient une résistance accrue à la perforation des têtes et coques de citernes, des charges nominales accrues et une meilleure protection du matériel de service. Ces exigences ont en outre été incorporées dans les normes de TC et de l'AAR pour les wagons-citernes de PBR de 286 000 livres, mais ne s'appliquaient pas à la majorité des wagons-citernes de catégorie 111 dont le PBR, à cette époque, était de 263 000 livres. La prochaine étape devait porter sur les wagons-citernes de 263 000 livres.

Pour sa part, l'AAR a émis la norme CPC-1232, dont les exigences étaient semblables à celles pour les wagons-citernes de PRB de 286 000 livres. La norme CPC-1232 comprend un certain nombre d'améliorations s'appliquant à tous les nouveaux wagons-citernes de catégorie 111 (commandés depuis octobre 2011) qui devaient servir au transport de MD et de liquides inflammables de classe 3 (GE I et II), comme le pétrole brut, l'éthanol et le méthanol. La norme CPC-1232 contient des améliorations de la sécurité, dont les suivantes :

- ajout d'une protection des raccords supérieurs;
- utilisation de dispositifs de décharge de pression (DDP) qui se referment;

- utilisation d'acier normalisé pour la coque et les têtes des citernes;
- augmentation de l'épaisseur minimale du matériau (1/2 pouce) pour tous les wagons-citernes dépourvus d'enveloppe extérieure et non isolés;
- ajout de demi-boucliers protecteurs de 1/2 pouce d'épaisseur.

En avril 2014, en réponse à la recommandation R14-01 du BST du Canada, TC a annoncé le retrait du service dans un délai de 3 ans des wagons-citernes de catégorie 111 plus âgés et moins résistants aux collisions. En juillet 2014, on a adopté la norme TP 14877 par renvoi dans le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (Règlement sur le TMD) de TC, harmonisant ainsi la réglementation fédérale avec la norme CPC-1232 de l'AAR (2011).

Tous les wagons-citernes mis en cause dans l'événement à l'étude étaient conformes à la norme CPC-1232.

2.8.1 Brèches de la coque

Des 29 wagons-citernes déraillés, 19 (66 %) ont subi une brèche et ont rejeté différentes quantités de produit. Neuf de ces wagons ont rejeté du produit par des brèches à la coque. Les collisions subies par les wagons-citernes pendant le déraillement ont causé ces brèches à la coque. Des 9 brèches de la coque, 8 (89 %) étaient de taille moyenne à grande. Trois de ces 8 wagons-citernes se sont complètement séparés en 2 parties. Ces défaillances ont permis le rejet rapide d'une grande quantité de produit et ont contribué au feu en nappe qui a suivi. Après l'extinction de l'incendie, le rejet par des brèches plus petites, bien que non instantané, a contribué à l'alimentation du feu en nappe et au déversement de produit.

Ainsi, en raison de leur taille et du nombre de wagons touchés, les brèches à la coque ont été les plus importants contributeurs au déversement de produit. Huit des 29 wagons-citernes qui ont déraillé ont subi des brèches de la coque de taille moyenne à large pendant le déraillement, et ont immédiatement rejeté leur chargement, lequel a pris feu et créé un grand feu en nappe.

2.8.2 Brèches causées par des ruptures thermiques

Des 27 wagons-citernes inspectés par le BST, 21 (78 %) présentaient des dommages indiquant qu'ils ont été exposés à l'incendie qui a suivi le déraillement. Seulement 2 des 21 wagons-citernes qui ont été exposés à l'incendie étaient dotés d'une enveloppe extérieure et étaient isolés. Ainsi, dans le cas de 19 des wagons-citernes exposés à l'incendie qui a suivi l'accident, les flammes ont directement endommagé la surface de la coque des wagons, ce qui a fait croître rapidement la température du produit à l'intérieur des wagons. Les dommages par le feu variaient d'entre le roussissement de la peinture à des changements de la teneur en carbone en surface et à de l'oxydation externe, ce qui correspond à une exposition au pétrole brut et à de l'air très chaud. Aucune perforation due à des dommages causés par le feu (trou de brûlure) n'a été constatée sur les wagons touchés.

Sept wagons-citernes ont subi des brèches causées par des ruptures thermiques dues à l'exposition au feu en nappe qui a suivi le déraillement. Le produit déversé a aussi pris feu et a contribué à alimenter l'incendie. Les wagons-citernes ayant subi des ruptures thermiques

avaient perdu l'ensemble de leur chargement, à l'exception du 14^e wagon dont la tête de l'extrémité B a subi une rupture thermique. Ainsi, en raison de leur taille et du nombre de wagons touchés, les ruptures thermiques ont été les deuxièmes importants contributeurs au rejet de produit.

Les 7 wagons-citernes ayant subi des ruptures thermiques n'avaient pas d'enveloppe extérieure ou de protection thermique. Même si 5 de ces 7 wagons-citernes n'ont subi aucune autre brèche pouvant avoir contribué à la détente de la pression interne, 2 wagons-citernes ont également subi des brèches à la coque et à la tête (les 14^e et 21^e wagons, respectivement). Comme 7 wagons-citernes ont subi des ruptures thermiques après avoir été exposés au feu en nappe, l'absence de protection thermique a probablement augmenté la gravité du rejet de produit et alimenté davantage l'incendie.

Les 2 wagons dotés d'une enveloppe extérieure et isolés n'ont pas subi de ruptures thermiques, et ce, même s'ils ont été exposés à l'incendie qui a suivi le déraillement. Toutefois, ils ont aussi subi d'autres brèches qui ont probablement permis la détente de pression interne. Ainsi, il a été impossible de déterminer l'efficacité de l'enveloppe et de l'isolant en ce qui concerne le retardement de l'augmentation de la pression interne. Les 15^e et 18^e wagons-citernes étaient dotés d'une enveloppe extérieure et isolés; ils n'ont pas subi de ruptures thermiques même s'ils ont été exposés au feu en nappe, mais ils ont subi d'autres brèches. Comme ces autres brèches ont probablement permis la détente de la pression interne, il a été impossible de déterminer l'efficacité de l'enveloppe et de l'isolation en ce qui concerne le retardement de l'augmentation de la pression.

On a précédemment suggéré que les DDP dont la pression de déclenchement de la décharge (DD) est plus élevée risqueraient de créer une pression interne excessive au cours d'un incendie, entraînant ainsi des ruptures thermiques plus énergétiques. Six des 7 wagons-citernes qui ont subi des ruptures thermiques étaient dotés d'un DDP de 75 livres au pouce carré. La taille des ruptures thermiques de ces wagons-citernes variait de 1 pied à 16 pieds. Le 14^e wagon, qui était doté d'un DDP de 165 livres au pouce carré, a subi une rupture thermique d'une longueur 4 pieds. Ainsi, les 7 wagons-citernes ont subi des ruptures thermiques, et rien ne soutenait l'hypothèse selon laquelle les DDP dont la pression est plus élevée produisent des ruptures thermiques plus énergétiques (plus grandes).

2.8.3 Dommages aux têtes et aux boucliers protecteurs

Des 27 wagons-citernes déraillés inspectés, on a observé ce qui suit : les boucliers protecteurs de 23 wagons (85 %) ont subi des dommages causés par une collision; les têtes de 17 wagons (63 %) présentaient des bosselures; huit wagons (27 %) ont perdu 1 de leurs boucliers protecteurs; trois wagons (11 %) ont perdu leurs 2 boucliers protecteurs. La plupart des boucliers protecteurs se sont détachés en raison du bris de leurs supports de fixation. La tête de seulement 2 wagons (7 %; les 14^e et 28^e wagons) a subi une brèche causée par un impact. Dans l'événement à l'étude, les résultats de l'examen suggèrent que dans l'ensemble, les demi-boucliers protecteurs trapézoïdaux et les boucliers protecteurs complets installés sur les wagons-citernes CPC-1232 conformes ont protégé efficacement les têtes contre les perforations pendant le déraillement.

2.8.4 *Dommmages des trous d'homme, des raccords supérieurs et des dispositifs de décharge de pression*

Le couvercle du trou d'homme du 16^e wagon était fermé, mais sa charnière était brisée, la buse était fissurée, et plusieurs boulons à œil étaient dégagés. On a observé des résidus brûlés de produit dans l'espace entre le couvercle et la buse. Comme ce wagon-citerne s'est immobilisé sur son côté gauche, le produit s'est probablement échappé par le trou d'homme ébréché.

L'enceinte protectrice d'environ la moitié des wagons-citernes présentait des dommages causés par un impact. L'enceinte protectrice de 2 wagons-citernes (les 19^e et 25^e wagons) manquait, et tous les raccords et les dispositifs de décharge de pression (DDP) de ces wagons se sont brisés. Le petit nombre de wagons-citernes dont les trous d'homme, les raccords supérieurs et les DDP ont été ébréchés suggère que les éléments de sécurité incorporés aux dispositifs supérieurs ont généralement réduit efficacement le rejet de produit.

2.8.5 *Dommmages aux robinets de vidange par le bas*

Si, au cours d'un déraillement, un wagon-citerne chargé s'immobilise en position renversée et que ses raccords supérieurs sont endommagés, une fuite de produit pourrait s'ensuivre. De même, si un wagon s'immobilise en position verticale et que son robinet de vidange par le bas (RVB) a été endommagé, le produit peut s'échapper par ce RVB. Si les raccords supérieurs et le robinet de vidange par le bas sont endommagés, le raccord qui se retrouve à la position la plus haute peut agir comme un évent et augmenter grandement le débit à partir de l'autre accessoire endommagé. Pour réduire et prévenir les déversements de produit au cours d'un déraillement, il faut protéger les raccords supérieurs et le RVB, si nécessaire.

Quatre wagons-citernes (les 16^e, 18^e, 24^e et 27^e wagons) étaient ébréchés à cause de leur RVB endommagé par un impact. Le tournant sphérique du RVB exposé de 3 de ces 4 wagons-citernes (les 16^e, 18^e et 24^e wagons) était partiellement ouvert ou laissait visiblement fuir du produit. La poignée du RVB de ces 3 wagons-citernes était déformée ou s'était détachée. Cela met en évidence la nécessité de concevoir de meilleures poignées pour les robinets à tournant sphérique des RVB.

Le BST a souligné ce problème dans l'Avis de sécurité ferroviaire 15/13 et dans l'Avis de sécurité ferroviaire 15/13 et 2 enquêtes2 enquêtes précédentes (R13T0060 et R13D0054). Dans ces événements, on a constaté que le RVB des wagons-citernes de catégorie 111 n'offrait pas de protection adéquate contre les mouvements du tournant sphérique dans les cas suivants : après la rupture ou la déformation de la poignée; lorsque le tournant sphérique est actionné involontairement pendant le déraillement ou les activités de remise en état du site.

On a précédemment identifié des problèmes avec les poignées des RVB dans d'autres rapports d'enquête sur des accidents. En 2012, le National Transportation Safety Board (NTSB) a recommandé des modifications techniques pour s'assurer que les RVB demeurent fermés en cas de déraillement. Toutefois, au moment de la fabrication des wagons, on n'a pas apporté les modifications recommandées. Comme on n'a pas modifié les poignées, ces types

de rejets continuent de se produire lors de déraillements. Dans l'événement à l'étude, même si les poignées des RVB étaient conformes aux normes de l'Association of American Railroads (AAR), elles avaient été exposées et actionnées pendant l'accident ou les activités de remise en état du site, ce qui a causé le rejet de produit. La façon dont les poignées des RVB étaient conçues des wagons-citernes n'a pas empêché le rejet de produit au cours du déraillement et ont contribué à la gravité du déversement. Si les poignées des RVB continuent d'être exposées (sans protection appropriée), les risques de rejet au cours d'un déraillement et d'activités de remise en état de sites augmentent.

2.8.6 Dommages aux longrines tronquées

Le 28^e wagon-citerne a subi une brèche en raison de dommages causés par un impact aux points de fixation de la longrine tronquée de l'extrémité A. L'examen a permis de constater que l'extrémité A de ce wagon-citerne a subi de multiples impacts élevés pendant l'accident. En conséquence, une cale de bout de citerne s'est rompue et s'est séparée de la tête de citerne de l'extrémité A. La rupture s'est ensuite propagée des 2 côtés de la coque de la citerne, ce qui a causé 2 brèches à la coque, et ce, même si le wagon était conforme aux exigences de conception définies par l'Association of American Railroads (AAR) pour empêcher de telles brèches. Les ruptures de la coque et de la tête présentaient principalement des signes de fragilisation. La gravité des impacts multidirectionnels subis par l'extrémité A du 28^e wagon-citerne a probablement dépassé les critères de conception de la longrine tronquée et a causé la propagation peu énergétique (par fragilisation) des fissures depuis les soudures de fixation de la cale de bout de citerne jusqu'à la coque et la tête de citerne.

2.9 Caractéristiques du matériau des wagons-citernes

Le matériau des têtes et de la coque des wagons-citernes était conforme aux spécifications applicables en matière de composition chimique et de résistance à la traction. Le matériau satisfaisait aussi aux exigences sur l'énergie d'impact de l'Association of American Railroads (AAR) pour le service par temps froid, et ce, même si ces wagons n'étaient pas assujettis à ces exigences. De manière générale, cela signifie que le matériau des wagons-citernes aurait dû être plus résistant aux ruptures fragiles à basse température. Toutefois, certains wagons-citernes ont subi des ruptures fragiles montrant des signes de propagation peu énergétique des fissures, ce qui a causé le rejet de produit. Il est probable que la gravité des collisions (lesquelles ont produit un taux de déformation accrue et une grande triaxialité des contraintes aux emplacements des ruptures), associée à la température froide (-31 °C) au moment de l'accident ont contribué aux ruptures fragiles constatées sur les citernes.

Malgré leurs améliorations techniques, le rendement des wagons-citernes de catégorie 111 conformes à la norme CPC-1232 était sensiblement le même que celui des wagons-citernes de catégorie 111 plus âgés mis en cause dans l'accident à Lac-Mégantic. Même si la norme CPC-1232 constitue une amélioration par rapport aux wagons-citernes de catégorie 111 plus âgés, les wagons-citernes conformes à cette norme ne semblent pas assez robustes pour contenir de façon sûre des produits de classe 3 (GE 1 et II) en cas de déraillement à grande vitesse.

La gravité des impacts et des dommages thermiques subis par les wagons-citernes, le rejet de produit et l'incendie qui ont suivi le déraillement, ainsi que les dommages causés à l'environnement notés dans l'événement à l'étude, renforcent les préoccupations actuelles du BST relativement aux trains transportant de grandes quantités de liquides inflammables. Si l'on continue de transporter les liquides inflammables ne sont pas transportés dans des wagons-citernes qui ne sont pas de construction suffisamment robuste pour éviter une défaillance catastrophique lorsque survient un accident, les risques de rejet de marchandises dangereuses en cas de déraillement demeureront élevés.

2.10 Nouveaux règlements sur les wagons-citernes transportant des liquides inflammables

En mai 2015, TC a publié des modifications au *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (Règlement sur le TMD) dans la *Gazette du Canada*, Partie II. Ces modifications établissaient les exigences pour une nouvelle norme (TC-117) sur les wagons-citernes transportant des liquides inflammables, des exigences de rattrapage pour les wagons-citernes plus âgés utilisés pour transporter de tels liquides et des calendriers de mise en œuvre relativement à la modernisation du parc canadien de wagons-citernes. TC a également mis à jour la norme TP 14877, intitulée *Contenant pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer*, décembre 2013. Cette norme canadienne est citée dans le Règlement sur le TMD relativement à la construction des wagons-citernes conformes à la norme TC-117. On a généralement harmonisé les normes et les calendriers avec celles et ceux des organismes de réglementation des États-Unis, c'est-à-dire la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration et la Federal Railroad Administration (FRA). Avec l'entrée en vigueur chez eux de la récente loi *Fixing America's Surface Transportation* (FAST), les États-Unis se sont harmonisés davantage avec les exigences canadiennes.

En vertu de la nouvelle réglementation, tous les nouveaux wagons-citernes destinés au transport de liquides inflammables doivent être faits d'un acier plus épais et résistant mieux aux chocs et être munis d'une protection thermique sous enveloppe, de boucliers protecteurs complets, d'une protection des raccords supérieurs, de robinets de déchargement par le bas améliorés et de dispositifs de décharge de pression appropriés. L'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) et le secteur continuent d'appuyer l'amélioration des normes sur les wagons-citernes.

Toutefois, la transition aux nouveaux wagons-citernes TC-117 et l'installation sur les wagons-citernes plus âgés des dispositifs de protection améliorés qu'exige maintenant la réglementation pour le transport de certains liquides inflammables de classe 3 nécessiteront du temps. Un certain nombre de déraillements importants ont causé le rejet de liquides inflammables, des pertes de vie et des dommages à l'environnement et, à la lumière de ces déraillements, on peut avancer que si les nouvelles normes sur les wagons-citernes ne sont pas mises en œuvre dans un délai raisonnable, les risques liés aux rejets de produit et aux conséquences de ces rejets subsisteront en cas de déraillement de wagons-citernes transportant des liquides inflammables.

En attendant que le secteur effectue la transition aux nouveaux wagons-citernes TC-117 et modifie les wagons-citernes plus âgés, il faut gérer en amont les mesures d'atténuation des risques, dont les limitations de vitesse pour les trains clés et les évaluations des risques dans les itinéraires clés.

2.11 Vitesse des trains clés

Le train de l'événement à l'étude comportait 100 wagons-citernes de catégorie 111 chargés de liquides inflammables. Chaque wagon était conforme à la norme CPC-1232 et avait un poids brut sur rail (PBR) de 286 000 livres. Soixante-huit des wagons étaient chargés de pétrole brut (UN 1267), et 32 de distillats de pétrole (UN 1268). Ce train mesurait 6089 pieds de longueur et pesait 14 355 tonnes. Ce train était désigné comme un train clé exploité sur un itinéraire clé. Au moment de l'accident, il circulait à 38 mi/h.

L'énergie cinétique est fonction de la masse et de la vitesse au carré. Lorsqu'un train quitte les rails, les forces produites par le déraillement et le ralentissement progressif du train consomment son énergie cinétique. Comparativement à un train plus léger, un train lourd (p. ex., un train-bloc de pétrole brut) a une quantité de mouvement plus élevée, nécessite plus d'énergie pour ralentir, et exige une plus grande distance pour s'immobiliser. Dans le secteur, on sait très bien que lorsque la vitesse d'un train augmente, le nombre de wagons qui quittent les rails en cas de déraillement augmente également.

Si la gravité d'un déraillement dépend principalement de la vitesse du train, le poids des wagons est aussi un important facteur : les wagons plus lourds ont une quantité de mouvement plus élevée lorsque la vitesse du train augmente et l'immobilisation de ces wagons requiert un effort supplémentaire. Lorsque des wagons-citernes plus lourds sont chargés de MD, les risques de rejet et les conséquences qui s'ensuivent en cas de déraillement s'aggravent. Tous ces facteurs étaient présents pendant l'événement à l'étude. À la lumière des circonstances de l'événement à l'étude, la vitesse du train-bloc de pétrole brut a exacerbé la gravité du déraillement.

Les organismes de réglementation ont constaté le rôle que joue la vitesse dans la gravité d'un déraillement et ont mis en œuvre des mesures pour limiter la vitesse des trains clés dans certaines situations. Après l'accident à Lac-Mégantic, le 23 avril 2014, TC a publié l'ordre ministériel 14-01 pour enjoindre les compagnies ferroviaires à limiter la vitesse des trains clés et à effectuer des évaluations des risques dans les itinéraires clés. On a publié à nouveau cet ordre ministériel jusqu'à l'entrée en vigueur du *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* approuvé par TC, en février 2016.

En vertu du *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*, les compagnies ferroviaires « doivent limiter la vitesse des trains clés à une vitesse maximale de 50 [mi/h] », et les trains clés « doivent être exploités à une vitesse maximale de 40 mi/h à l'intérieur du noyau et du noyau secondaire des régions métropolitaines de recensement ». Selon ce règlement, les compagnies ferroviaires « doivent limiter la vitesse des trains clés comportant 1 ou plusieurs wagons-citernes de catégorie DOT-111 chargés » de certains liquides inflammables de classe 3 « à une vitesse maximale de 40 mi/h dans les secteurs désignés comme étant à risque

élevé dans le cadre du processus d'évaluation des risques exigé » par le règlement. Les wagons-citernes de catégorie DOT-111 comprennent aussi les wagons-citernes conformes à la norme CPC-1232, dont ceux faisant partie du train de l'événement à l'étude. Malgré cette limitation de vitesse à 40 mi/h des trains unitaires transportant des liquides inflammables de catégorie 3, on n'a pas effectué d'analyse technique détaillée pour évaluer les effets des limitations de vitesse sur la gravité d'un déraillement.

Au moment de l'événement à l'étude, le train circulait à une vitesse de 38 mi/h, ce qui a causé le déraillement de 29 wagons-citernes transportant des MD. Dix-neuf wagons-citernes ont subi des brèches, et environ 1,7 million de litres de produit ont été libérés à l'atmosphère ou déversés dans le sol. Le produit déversé s'est enflammé et a brûlé pendant 5 jours. Même si l'accident s'est produit dans une région éloignée et que personne n'a été blessé, l'accident a causé des dommages à l'environnement et a nécessité des travaux considérables de remise en état du site. Si l'accident à l'étude s'était produit dans une ville ou une région métropolitaine, comme dans le cas d'accidents précédents, les conséquences auraient pu être beaucoup plus graves. Comme le train circulait à 38 mi/h lorsque l'accident s'est produit, la gravité du déraillement suggère que la limitation de vitesse à 40 mi/h définie dans l'ordre ministériel de TC en vigueur au moment de l'accident et dans le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* actuel n'est pas suffisante pour les trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3.

Les trains de marchandises générales, lesquels comportent souvent des wagons-citernes de MD, sont moins à risque en cas de déraillement. En effet, le déraillement peut se produire dans une partie du train ne comportant pas ou peu de wagons-citernes de MD. Quant à eux, les trains-blocs de wagons-citernes chargés de liquides inflammables de classe 3 ont un profil de risques différent. Lorsque tous les wagons d'un train-bloc transportent des liquides inflammables de classe 3 et que le train déraile à la vitesse maximale ou légèrement en dessous, les risques de rejet et de conséquences négatives sont élevés, et ce, peu importe la partie du train où se produit le déraillement. Si l'on ne réduit pas adéquatement la vitesse des trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3, les risques de rejet de produit et de conséquences négatives en cas de déraillement augmentent.

2.12 *Évaluation des risques dans les corridors clés de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Dans le rapport d'enquête sur des problèmes de sécurité SII R05-01, le BST a étudié une série d'événements et a constaté un déséquilibre entre l'entretien de l'infrastructure et l'augmentation du trafic de vrac. Cette étude a permis au BST de constater que même si les compagnies ferroviaires savent que la voie se dégrade plus rapidement lorsque le trafic de trains-blocs de vrac augmente, elles n'ont pas toujours maintenu un équilibre approprié entre la dégradation accélérée de la voie et l'entretien ou le renouvellement de l'infrastructure. Dans cette étude, on a souligné que la conformité avec le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (RSV) ne suffit pas à elle seule à assurer la sécurité, et on a mis l'accent sur la nécessité de mettre en œuvre des processus astucieux de gestion de la sécurité pour anticiper les conditions opérationnelles pouvant réduire les marges de sécurité. Dans sa Liste de surveillance, le BST a aussi mis l'accent sur l'importance de la mise en œuvre

organisée de SGS pour faciliter la détection proactive des dangers et le maintien d'un niveau acceptable de risques.

De 2010 à 2014, le volume de transport ferroviaire a augmenté de 44 % dans la subdivision de Ruel. Pendant cette même période, le transport de pétrole brut par rail a considérablement augmenté, correspondant à 46 % de cette hausse du volume de transport ferroviaire. La majorité du pétrole brut était transporté par des trains-blocs composés de wagons-citernes de catégorie 111 conformes à la norme CPC-1232 et d'un poids brut sur rail (PBR) de 286 000 livres. Même si la voie dans les environs du lieu du déraillement était en tout temps maintenue conformément aux normes sur les voies de catégorie 3, on n'a pas immédiatement identifié les risques de dégradation accélérée de l'infrastructure de la voie causée par l'augmentation de 44 % susmentionnée du volume de transport ferroviaire.

En vertu de son SGS, le CN devait effectuer une évaluation des risques lorsque ses activités connaissaient des modifications d'importance (y compris les changements de volume de transport ferroviaire ou de types de produits transportés); toutefois, on ne définissait pas le terme « modification d'importance » dans ce SGS. Le CN a effectué une évaluation des risques associés au transport de MD entre Winnipeg et Toronto et a constaté qu'il y avait un manque de fournitures d'intervention d'urgence dans la subdivision de Ruel. Toutefois, le CN n'a pas anticipé les répercussions de l'augmentation du trafic et du volume de transport ni sa capacité de maintenir des marges de sécurité ferroviaire acceptables dans la subdivision de Ruel. Ces augmentations n'ont pas incité le CN à effectuer un examen attentif de son évaluation des risques d'avril 2014.

De plus, cette évaluation n'a pas permis au CN d'établir des stratégies d'atténuation des risques pour gérer l'augmentation des demandes d'entretien de la voie causée par la hausse du trafic et du volume de transport ni d'évaluer les répercussions de ces demandes. Le CN a donc géré l'équilibre entre l'augmentation du trafic et les activités d'entretien en se fiant à des indicateurs tardifs, comme les inspections, les contrôles de la voie, les limitations de vitesse, les incidents et les accidents. Le CN n'avait pas explicitement défini les modifications d'importance de ses activités qui justifieraient l'examen d'une évaluation des risques, comme le volume de transport ferroviaire et les produits transportés. Le SGS du CN était donc fondé sur des indicateurs réactifs et ne lui permettait pas d'anticiper la nécessité d'augmenter l'entretien de la voie pour faire contrepoids à une augmentation considérable des quantités de MD et du tonnage du trafic ferroviaire.

Les wagons de marchandises sont généralement dotés de 8 roues (4 essieux montés munis de 2 roues chacun). Chaque roue d'un wagon d'un PBR de 263 000 livres (comme un wagon-citerne de catégorie 111 plus âgé) supporte 32 875 livres. Par comparaison, chaque roue d'un wagon-citerne d'un PBR de 286 000 livres (comme un wagon-citerne de catégorie 111 conforme à la norme CPC-1232) supporte 35 750 livres, c'est-à-dire environ 2875 livres de plus qu'un wagon d'un PBR de 263 000 livres. Pour mettre ces données en perspective, les wagons-citernes d'un PBR de 286 000 livres du train de l'événement à l'étude assujettissaient le rail sud à 1 150 000 livres (2875 livres x 4 roues x 100 wagons) de plus qu'un train semblable comportant des wagons-citernes d'un PBR de 263 000 livres.

Le poids supplémentaire des wagons d'un PBR de 286 000 livres aurait aussi accéléré la dégradation de l'infrastructure de la voie, et ce, en raison des chocs plus violents exercés par les roues, mais aussi en raison du déplacement vertical accru des rails là où il y avait des écrasements aux abouts de rail ou des joints mal soutenus. Dans l'événement à l'étude, tous ces éléments étaient présents. Si l'on ne tient pas compte du tonnage du trafic ferroviaire, de l'utilisation de wagons plus lourds et des risques de dégradation accélérée de l'infrastructure de la voie pendant les évaluations des risques, l'entretien ordinaire de la voie peut ne plus suffire à son maintien dans un état satisfaisant aux normes en vigueur, ce qui fait croître les risques de défaillance de l'infrastructure de la voie.

2.13 Surveillance réglementaire ciblant la subdivision de Ruel

Dans le cadre des responsabilités de TC envers la surveillance de la conformité réglementaire, les inspecteurs en sécurité ferroviaire de TC effectuent des inspections de l'infrastructure ferroviaire, et ce, partout au Canada. Les subdivisions ferroviaires ne font pas l'objet d'inspections périodiques de TC. TC utilise une approche fondée sur les risques et tient compte de différents facteurs pour définir les endroits qui doivent faire l'objet d'inspections ciblées. Dans l'événement à l'étude, on n'a pas jugé que la subdivision de Ruel devait faire l'objet d'inspections ciblées plus fréquentes en raison de l'augmentation considérable du volume de transport de marchandises générales et dangereuses, et ce, même s'il s'agit de l'un des principaux corridors ferroviaires du CN.

Avant l'accident, TC avait effectué ses dernières inspections visuelles de la voie dans les environs du lieu du déraillement en 2012 et en 2010. De 2012 à 2014, le volume de transport ferroviaire a augmenté de 28 % dans cette subdivision. Pendant cette même période, le transport de pétrole brut par rail a considérablement augmenté et correspondait à 48 % de l'augmentation du volume de transport ferroviaire. Entre 2012 et l'événement à l'étude, TC n'a pas effectué d'inspections de la voie dans la subdivision de Ruel. Au milieu de mars 2015, TC a inspecté l'ensemble de la subdivision et a constaté 67 défauts non conformes nécessitant des réparations et a rapporté 59 autres préoccupations et observations.

Les programmes d'entretien doivent être mis en œuvre rapidement pour assurer une atténuation congruente des risques. Les inspections réglementaires sont tout aussi importantes pour assurer la conformité. En vertu du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, les entreprises doivent effectuer des évaluations des risques lorsque leurs activités (volumes ou produits) connaissent des modifications d'importance; toutefois, ces modifications n'amènent pas nécessairement TC à effectuer d'examen de l'état de l'infrastructure de la subdivision ou d'inspections réglementaires supplémentaires. Si l'approche fondée sur les risques utilisée par TC pour prévoir les inspections réglementaires ciblées ne tient pas compte de tous les facteurs opérationnels pertinents (dont l'augmentation du tonnage du trafic ferroviaire et de MD transportées dans les principaux corridors ferroviaires), les inspections de la voie peuvent ne pas cibler les éléments appropriés, ce qui fait croître les risques que l'organisme de réglementation ne constate pas la dégradation de l'état de la voie.

2.14 *Intervention en cas d'urgence*

L'accident s'est produit en région éloignée. Initialement, l'impossibilité d'accéder au site par d'autres moyens que la voie (locomotive ou véhicule rail-route) a entravé l'accès au site et la mise en œuvre des mesures d'atténuation. Le CN a amélioré l'accès au site en construisant une route pour permettre aux véhicules de s'y rendre. L'éloignement du site, le temps très froid et les conditions hivernales difficiles ont posé des défis considérables aux intervenants pendant l'intervention d'urgence et les activités de remise en état du site.

2.14.1 *Gestion de l'accès au site*

Le CN a initialement tenté de gérer l'accès au site en mettant sur pied un protocole formel de suivi des arrivées et des départs. Toutefois, ce processus n'a pas toujours été suivi, notamment en raison de l'éloignement du site et des difficultés à y accéder et à en sortir. Le processus a été amélioré quelque peu après la construction d'une route d'accès au site, mais il n'existait toujours pas de liste fidèle des personnes se trouvant sur place ou non. On pourrait faire valoir qu'en raison de l'accès limité au site, il n'était pas absolument nécessaire d'utiliser un protocole de suivi des arrivées et des départs, car seul du personnel autorisé accédait au site. Toutefois, le principal objectif d'un protocole de suivi des arrivées et des départs est de conserver une liste fidèle des occupants du site pour s'assurer que personne ne manque à l'appel en cas d'évacuation d'urgence. C'est pourquoi il est peut-être encore plus important de mettre en œuvre un protocole fidèle de suivi des arrivées et des départs lorsqu'on travaille en région éloignée. Si l'on ne tient pas de liste fidèle des arrivées et des départs au site d'un accident mettant en cause des MD, les responsables du commandement des interventions peuvent perdre le fil de toutes les personnes qui se trouvent sur place, ce qui fait croître les risques qu'on ne sache pas si une personne manque à l'appel en cas d'évacuation d'urgence.

2.14.2 *Système de gestion de la sécurité et documentation sur le commandement en cas d'incident de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

En vertu du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, les chemins de fer doivent mettre en œuvre :

- des mécanismes visant la déclaration des accidents et incidents, les analyses et les enquêtes s'y rapportant et les mesures correctives;
- des méthodes pour faire en sorte que les employés et toute autre personne à qui la compagnie de chemin de fer donne accès aux biens de celle-ci disposent des compétences et de la formation appropriées et d'une supervision suffisante afin qu'ils puissent respecter toutes les exigences de sécurité;
- des procédures visant la collecte et l'analyse de données aux fins d'évaluation du rendement de la compagnie de chemin de fer en matière de sécurité.

Dans le cas de l'événement à l'étude, le CN, à titre de principal organisme d'intervention, a mis en œuvre son système de commandement en cas d'incident. Le premier vice-président, Exploitation, Région de l'est du CN a agi à titre de directeur des opérations d'intervention, avec l'aide du vice-président adjoint, Sécurité et intervention d'urgence, d'agents du CN

responsables des MD, d'autres employés du CN et d'entrepreneurs. Les protocoles du CN exigeaient la tenue d'un registre détaillé des interventions d'urgence au centre de commandement (ci-après, le « registre »). En vertu des procédures du CN, le personnel de la gestion des risques du CN était chargé de tenir ce registre et de documenter toutes les réunions.

Une fois que le CN eût mis en œuvre la structure de commandement en cas d'incident, la compagnie a tourné son attention vers la construction d'une route d'accès au site et la mobilisation du personnel et des ressources d'intervention, et ce, pour réduire au minimum les dommages à l'environnement, maîtriser les feux en nappe et entamer la réparation de la voie. Ces activités seraient normalement documentées dans le registre. Toutefois, dans cet événement à l'étude, le registre ne contenait pas d'entrées.

Conformément au *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, le CN avait élaboré et mis en œuvre un SGS détaillé. Depuis 2008, le CN apportait chaque année des améliorations à son SGS, et celui-ci avait été intégré à la majorité de ses activités. Lorsqu'il avait mis en œuvre son SGS, le CN avait reconnu l'importance d'établir une solide culture de sécurité et avait fait des progrès à cet égard. Un SGS organisé assure la documentation des activités. Ainsi, l'entreprise pourra identifier les processus qui sont fructueux et ceux qui ont des lacunes devant être améliorées pour accroître la sécurité. Malgré son SGS, le CN ne suivait pas ses propres procédures, car le registre ne comprenait pas d'entrées. L'absence de documentation sur les activités d'intervention d'urgence au CN met en évidence une lacune dans le signalement ou dans les procédures de son SGS.

2.14.3 Surveillance du site et protection des voies respiratoires

Une fumée dense tourbillonnait sur le site pendant que le produit brûlait et que les mesures d'atténuation progressaient. En vertu des protocoles sur les MD, les intervenants doivent approcher un site de MD avec le vent dans le dos. Or, il n'y avait aucun dispositif de mesure du vent sur les lieux. Si l'on ne surveille pas les changements de direction du vent et que l'horaire des activités n'est pas modifié en conséquence, les intervenants d'urgence peuvent s'exposer inutilement à des MD et augmenter leurs risques de blessures.

Initialement, de nombreux employés ne portaient pas de masques antipoussières ou de respirateurs pour se protéger contre les particules en suspension dans l'air produites par l'incendie ou contre les vapeurs des composés organiques volatils (COV) du produit (p.ex., les vapeurs de benzène). En raison de la nature du produit déversé, on a surveillé la limite inférieure d'explosivité des COV et les niveaux de sulfure d'hydrogène (H₂S) sur le site. De plus, on mesurait le niveau de benzène sur le site toutes les 30 minutes pour s'assurer que celui-ci était inférieur à la limite d'exposition à court terme établie de 5 parties par million (moyenne au cours d'une période de 15 minutes). Toutefois, comme une mesure du niveau de benzène n'est valide qu'à l'endroit exact où elle a été effectuée, il a été impossible de déterminer avec précision les effets cumulés de l'exposition répétée dans l'ensemble du site. On n'a pas fourni de respirateurs à cartouches aux employés du CN pour les protéger contre les vapeurs de benzène.

De nombreux employés ne portaient pas de masques antipoussières pour se protéger contre les particules en suspension dans l'air, et leur peau à nu (y compris la bouche et le nez) était recouverte de suie à la fin des quarts de travail. Le CN a distribué des masques antipoussières plus tard au cours de l'intervention. Toutefois, des respirateurs à cartouches à demi-masque ou à masque complet auraient offert une meilleure protection des voies respiratoires contre les particules en suspension dans l'air et les vapeurs de benzène. Si l'on ne fournit pas d'appareils de protection des voies respiratoires adéquats au personnel travaillant sur les lieux d'un accident mettant en cause des MD, celui-ci peut être exposé aux particules en suspension dans l'air et aux produits chimiques. Les risques d'effets cumulatifs néfastes à long terme sur la santé s'en trouvent accrus.

2.15 Impacts environnementaux

On a mis sur pied un programme d'échantillonnage des eaux de surface dans les environs du déraillement, qui comprenait le ruisseau menant au lac Upper Kasasway et différents endroits du lac Upper Kasasway. On a dépêché des unités mobiles d'épuration des eaux usées sur le lieu de l'accident pour traiter toutes les eaux contaminées récupérées. Une fois traitées, elles ont été libérées dans l'environnement. Après plusieurs rondes consécutives d'échantillonnage aux résultats négatifs, la fréquence d'échantillonnage fut réduite à 2 fois par semaine jusqu'à l'hiver 2015.

Dix-sept puits d'échantillonnage des eaux souterraines ont servi à vérifier la direction de l'écoulement et la profondeur des eaux souterraines et déterminer si elles avaient été contaminées par le produit déversé. La surveillance des lieux fut interrompue pour la saison hivernale en novembre 2015. À ce moment, les eaux souterraines n'étaient pas contaminées par du pétrole brut. En date du 1^{er} juillet 2016, aucun impact environnemental négatif n'avait été observé en ce qui concerne les eaux souterraines ou de surface. Les eaux de surface et souterraines feront l'objet d'une surveillance tous les trois mois, et ce, pour une période indéfinie.

On a retiré par camion un volume considérable de sol du lieu du déraillement. Au printemps 2016, le Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique de l'Ontario a déclaré ce sol comme étant un déchet non dangereux; on a transporté par camion tout le sol contaminé entreposé au lieu de l'accident vers des sites d'enfouissement approuvés. Au printemps 2016, on avait terminé la réhabilitation de la forêt, qui comprenait un programme de plantation des spécimens indigènes détruits, et ce, avec l'aide de la première nation de Mattagami. Le plan d'intervention environnementale était exhaustif, et on a apparemment mis en place des stratégies d'atténuation appropriées pour remettre le site en état.

3.0 *Faits établis*

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

1. Le déraillement s'est produit lorsque le joint isolé du rail sud, au point milliaire 111,7, s'est rompu sous la tête du train. La roue L4 du bogie arrière du 8^e wagon est alors tombée entre les rails, ce qui a causé un surécartement des rails et le déraillement des wagons suivants.
2. L'agrandissement par contrainte excessive des fissures de fatigue par flexion inversée (engendrées par la corrosion), qui se sont formées à la surface de contact supérieure entre le dessus des éclisses et le dessous du champignon du rail, a entraîné la rupture des éclisses isolantes.
3. Le temps froid au moment de l'événement à l'étude a rendu le matériau des éclisses encore plus susceptible d'une rupture par fragilisation. Lorsque les fissures de fatigue des éclisses ont atteint une taille critique, les éclisses ne pouvaient plus résister aux charges en service et se sont rompues.
4. Comme les fissures de fatigue des éclisses s'étendaient jusqu'à la surface extérieure de chaque éclisse, juste en dessous du champignon du rail, elles étaient probablement visibles depuis un certain temps avant la rupture des éclisses, mais le CN ne les a pas détectées en dépit de ses nombreux contrôles.
5. Le superviseur adjoint de la voie ne possédait pas l'expérience nécessaire pour : reconnaître que le creux de 1 pouce était un signe de dégradation du soutien du joint; reconnaître les effets des chocs répétés des roues sur ce joint; savoir qu'il fallait inspecter les éclisses pour y déceler des fissures pendant la surveillance de l'écrasement aux abouts de rail.
6. La formation des superviseurs adjoints de la voie (SAV) du CN sur les écrasements aux abouts de rail, les fissures de fatigue des éclisses, les fissures des trous de boulonnage et les ruptures de joints ne permettait pas au SAV de comprendre la relation entre un joint mal soutenu et le développement de défauts de joint.
7. Les modules en cours d'emploi du programme de formation des superviseurs adjoints de la voie (SAV) du CN comprenaient peu d'encadrement ou de soutien permettant aux aspirants SAV d'acquérir les compétences requises pour travailler efficacement dans un environnement très exigeant et un poste complexe essentiel à la sécurité.
8. Des 29 wagons-citernes qui ont déraillé, 8 ont subi des brèches de coque de taille moyenne à large pendant le déraillement, et ont immédiatement rejeté leur chargement, lequel a pris feu et créé un grand feu en nappe.
9. Comme 7 wagons-citernes ont subi des ruptures thermiques après avoir été exposés au feu en nappe, l'absence de protection thermique des wagons-citernes a

probablement augmenté la gravité du rejet de produit et alimenté davantage l'incendie.

10. La façon dont les poignées de vidange par le bas des wagons-citernes avaient été conçues n'a pas empêché le rejet de produit au cours du déraillement et ont contribué à la gravité du déversement.
11. Les grandes quantités de produit rejeté, la rapidité du rejet, ainsi que la grande volatilité et la faible viscosité du pétrole ont contribué aux importants incendies et feux en nappe qui ont suivi le déraillement.
12. Il est probable que la gravité des collisions (lesquelles ont produit un taux de déformation accru et une grande triaxialité des contraintes aux emplacements des ruptures), associée à la basse température ambiante, ont contribué aux ruptures fragiles constatées sur les citernes.
13. À la lumière des circonstances de l'événement à l'étude, la vitesse du train a exacerbé la gravité du déraillement.
14. Comme le train circulait à 38 mi/h lorsque l'accident s'est produit, la gravité du déraillement suggère que la limitation de vitesse à 40 mi/h définie dans l'ordre ministériel de Transports Canada en vigueur au moment de l'accident et dans le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* actuel est insuffisante pour les trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Si le programme de formation ne couvre pas toutes les mesures d'entretien principales des joints de rail, les nouveaux membres du personnel d'ingénierie de la voie peuvent ne pas comprendre les stratégies d'atténuation des risques qui s'offrent à eux. Tout compte fait, cela peut faire croître les risques que les problèmes de voie ne soient pas éliminés efficacement et rapidement.
2. Si les normes d'entreprise sur la surveillance des écrasements aux abouts de rail ne comprennent pas des directives sur l'inspection des éclisses pour y déceler des fissures lorsqu'on mesure un écrasement aux abouts de rail, il peut être impossible de détecter les éclisses fissurées dans un délai convenable, ce qui fait croître les risques de rupture d'un joint.
3. Si les aspirants superviseurs adjoints de la voie (SAV) n'obtiennent pas l'encadrement et le soutien appropriés pendant les modules en cours d'emploi de leur formation, les risques qu'ils ne possèdent pas l'expérience nécessaire pour occuper ce poste essentiel à la sécurité augmentent, et ce, même s'ils ont terminé le programme de formation des SAV.

4. Si les poignées des robinets de vidange par le bas continuent d'être exposées sans protection appropriée, les risques de rejet au cours d'un déraillement et d'activités de remise en état de sites augmentent.
5. Si les plaques installées sur les wagons-citernes ne correspondent pas aux renseignements d'expédition, les intervenants d'urgence pourraient ne pas être pleinement conscients du contenu des wagons-citernes et se placer involontairement dans une situation vulnérable, ce qui fait croître les risques de blessures.
6. Si l'on continue de transporter les liquides inflammables dans des wagons-citernes qui ne sont pas de construction suffisamment robuste pour éviter une défaillance catastrophique lorsque survient un accident, les risques de rejet de marchandises dangereuses en cas de déraillement demeureront élevés.
7. Si les nouvelles normes sur les wagons-citernes ne sont pas mises en œuvre dans un délai raisonnable, les risques liés aux rejets de produit et aux conséquences de ces rejets subsisteront en cas de déraillement de wagons-citernes transportant des liquides inflammables.
8. Si l'on ne réduit pas adéquatement la vitesse des trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3, les risques de rejet de produit et de conséquences négatives en cas de déraillement augmentent.
9. Si l'on ne tient pas compte de l'augmentation du tonnage du trafic, de l'utilisation de wagons plus lourds et des risques de dégradation accélérée de l'infrastructure de la voie pendant les évaluations des risques, l'entretien ordinaire de la voie peut ne plus suffire à son maintien dans un état satisfaisant aux normes en vigueur, ce qui fait croître les risques de défaillance de l'infrastructure de la voie.
10. Si l'approche fondée sur les risques de Transports Canada utilisée pour prévoir les inspections réglementaires ciblées ne tient pas compte de tous les facteurs opérationnels pertinents (dont l'augmentation du tonnage du trafic ferroviaire et le volume des marchandises dangereuses transportées dans les principaux corridors ferroviaires), les inspections de la voie peuvent ne pas cibler les éléments appropriés, ce qui fait croître les risques que l'organisme de réglementation ne constate pas la dégradation de l'état de la voie.
11. Si l'on ne tient pas de liste fidèle des arrivées et des départs au lieu d'un accident mettant en cause des marchandises dangereuses, les responsables du commandement en cas d'incident peuvent ne pas être conscients de la présence de toutes les personnes qui se trouvent sur place, ce qui augmente le risque qu'on ne sache pas si une personne manque à l'appel en cas d'évacuation d'urgence.
12. Si l'on ne surveille pas les changements de direction du vent et que l'horaire des activités n'est pas modifié en conséquence, les intervenants d'urgence peuvent s'exposer inutilement à des matières dangereuses et augmenter leurs risques de blessures.

13. Si l'on ne fournit pas d'appareils de protection des voies respiratoires adéquats au personnel travaillant sur les lieux d'un accident mettant en cause des matières dangereuses, le personnel peut être exposé aux particules en suspension dans l'air et aux produits chimiques. Les risques d'effets cumulatifs néfastes à long terme sur la santé s'en trouvent accrus.

3.3 *Autres faits établis*

1. Même si les nouvelles technologies de contrôle des éclisses sont prometteuses, la réglementation n'exige pas l'utilisation de caméras à grande vitesse et de systèmes de contrôle par ultrasons pour contrôler les éclisses (comme c'est le cas pour les contrôles de la géométrie de la voie ou des défauts de rail), et l'utilisation de ces systèmes n'est pas encore répandue au sein de l'industrie.
2. Les 15^e et 18^e wagons-citernes étaient dotés d'une enveloppe extérieure et isolés; ils n'ont pas subi de ruptures thermiques même s'ils ont été exposés au feu en nappe, mais ils ont subi d'autres brèches. Comme ces autres brèches ont probablement permis la détente de la pression interne, il a été impossible de déterminer l'efficacité de l'enveloppe et de l'isolation en ce qui concerne le retardement de l'augmentation de la pression.
3. Dans le cas des 7 wagons-citernes qui ont subi des ruptures thermiques, rien ne soutenait l'hypothèse selon laquelle les dispositifs de décharge de la pression, dont la pression de début de décharge est plus élevée, produisent des ruptures thermiques plus énergétiques (plus grandes).
4. Dans l'événement à l'étude, les demi-boucliers protecteurs trapézoïdaux et les boucliers protecteurs complets installés sur les wagons-citernes CPC-1232 conformes ont, en général, protégé efficacement les têtes contre les perforations pendant le déraillement.
5. Le petit nombre de wagons-citernes dont les trous d'homme, les raccords supérieurs et les dispositifs de décharge de la pression ont été ébréchés suggère que les éléments de sécurité incorporés aux dispositifs supérieurs ont généralement réduit efficacement le rejet de produit.
6. La gravité des impacts multidirectionnels subis par l'extrémité A du 28^e wagon-citerne a probablement dépassé les critères de conception de la longrine tronquée et a causé la propagation peu énergétique (par fragilisation) des fissures depuis les soudures de fixation de la cale de bout de citerne jusqu'à la coque et la tête de citerne.
7. Le système de gestion de la sécurité du CN était fondé sur des indicateurs réactifs et ne lui permettait pas d'anticiper la nécessité d'augmenter l'entretien de la voie pour faire contrepois à une augmentation considérable des quantités de marchandises dangereuses et du tonnage du trafic ferroviaire.

8. L'absence de documentation sur les activités d'intervention d'urgence au CN met en évidence une lacune dans le signalement ou dans les procédures de son système de gestion de la sécurité.
9. Le plan d'intervention environnementale était exhaustif, et on a apparemment mis en place des stratégies d'atténuation appropriées pour remettre le site en état.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Bureau de la sécurité des transports du Canada

Le 17 mars 2015, le Bureau de la sécurité des transports (BST) du Canada a publié l'Avis de sécurité ferroviaire (ASF) 04/15 sur l'état de l'infrastructure de la voie dans la subdivision de Ruel de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN).

Dans cet ASF, on indiquait qu'étant donné « les dommages et les conséquences potentiels d'un déraillement de train, tout particulièrement lorsqu'il s'agit de trains-blocs de pétrole brut, Transports Canada devrait examiner les évaluations des risques de la subdivision de Ruel, évaluer l'état de l'infrastructure de la voie et déterminer si des mesures additionnelles de contrôle des risques s'imposent pour exploiter un "train" clé sur cet "itinéraire" clé ».

4.1.2 Transports Canada

Transports Canada (TC) a pris les mesures suivantes :

Le 12 mars 2015, TC a transmis un avis au CN, conformément aux exigences de l'article 31 de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*, pour lui faire part de ses préoccupations concernant l'état de la voie dans la subdivision de Ruel.

En ce qui concerne l'infrastructure de la voie, après un troisième déraillement, le Bureau régional de l'Ontario de TC a demandé au CN de lui fournir des rapports d'inspection de la voie et a aussi inspecté l'ensemble de la subdivision de Ruel entre les 15 et 19 mars 2015. TC a fait parvenir au CN un résumé de ses constatations. Pendant cette inspection, TC a constaté un total de 67 états non conformes, et a rapporté 59 autres préoccupations et observations.

Le 30 mars 2015, le CN a répondu à l'avis de TC en lui transmettant une description du plan d'action qu'il a mis en œuvre. Ce plan comprenait ce qui suit : la limitation de la vitesse des trains circulant dans cette subdivision; des inspections supplémentaires; une analyse additionnelle effectuée par des experts indépendants sur la réduction potentielle de la gravité des déraillements par l'utilisation de la traction répartie; une évaluation des forces entre le train et la voie liées aux trains-blocs de pétrole brut.

Le 7 mai 2015, TC a envoyé au CN une lettre sur l'inadéquation des mesures prises. Dans cette lettre, TC signifiait au CN qu'après avoir examiné et évalué les mesures correctrices définies dans la correspondance du 30 mars 2015, il était d'avis qu'elles n'éliminaient pas les dangers et les conditions constituant des risques pour la sécurité de l'exploitation ferroviaire. TC a demandé des mises à jour et des renseignements supplémentaires sur les constatations et les plans du CN relativement aux déraillements récents.

Le 21 mai 2015, le CN a répondu à la lettre sur l'inadéquation des mesures prises de TC et lui a fourni les renseignements demandés, notamment : les résultats de son travail sur les causes fondamentales des déraillements; les conclusions de l'analyse sur les avantages de la

puissance répartie; les mesures prises pour éliminer les préoccupations sur l'inadéquation des mesures prises et lui a fourni l'entretien des branchements; son analyse des périodes d'occupation de la voie fournies aux employés chargés de l'entretien et des inspections dans la subdivision de Ruel. Le CN a également fourni un bilan des mesures d'atténuation des risques et d'autres mesures, et les résultats des analyses liées à ces mesures.

Le 22 mai 2015, le CN a avisé TC que la limitation temporaire de vitesse de 35 mi/h dans les subdivisions de Redditt, d'Allanwater, de Carmat et de Ruel (c.-à-d. le couloir entre Winnipeg et Capreol) qu'il avait établie immédiatement après les déraillements serait éliminée le 23 mai 2015. Le CN a indiqué que cette limitation n'était plus nécessaire en raison des mesures qu'il avait prises dans les 60 jours suivant le déraillement.

Le 2 juin 2015, TC a envoyé une lettre au CN pour lui indiquer qu'il enverrait des représentants de TC rencontrer des représentants du CN pour inspecter la subdivision de Ruel et évaluer la mise en œuvre, l'efficacité et la validité de la réponse du CN à la lettre de TC sur l'inadéquation des mesures prises.

4.1.3 *Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Le CN a vu dans cet événement l'occasion d'apprendre des leçons, et a renforcé ses processus de collecte de données.

Peu de temps après le déraillement, il s'est produit 2 autres déraillements importants causés par des problèmes liés à la voie dans la subdivision de Ruel du CN. Après le troisième déraillement (survenu le 7 mars 2015), le CN a immédiatement mis en œuvre les mesures ci-dessous :

Restrictions opérationnelles

- Une limitation temporaire (60 jours) de vitesse à 35 mi/h pour les trains clés circulant entre Winnipeg et Capreol a été établie, et ultérieurement levée.
- Quoique la loi limite à 40 mi/h la vitesse des trains qui traversent une RMR¹⁰¹, le CN l'a réduite à 35 mi/h pour ses trains clés dans les RMR.

Mesures mécaniques

- Réalisation, par du personnel qualifié du service Mécanique, d'inspections au défilé de trains de pétrole brut chargés à Hornepayne (Ontario) au cours des 60 jours suivant l'événement à l'étude.

Mesures techniques

- Réduction de l'intervalle des auscultations par ultrasons des défauts de rail dans la subdivision de Ruel à 14 jours, par rapport à l'intervalle de 20 jours qui était en vigueur pendant la saison hivernale précédente. Un examen subséquent des résultats

¹⁰¹ Une région métropolitaine de recensement (RMR), selon la définition de Statistique Canada, est formée d'une ou de plusieurs municipalités adjacentes situées autour d'un centre de population. Une RMR doit avoir une population totale d'au moins 100 000 habitants, et son noyau doit compter au moins 50 000 habitants. L'agglomération de recensement doit avoir un noyau d'au moins 10 000 habitants.

des contrôles a permis de constater que le nombre de défauts par mille contrôlé de la subdivision de Ruel était semblable aux autres subdivisions du tronçon Winnipeg-Toronto. En conséquence, l'intervalle des contrôles a été rétabli à 20 jours.

- Réalisation par le CN et Sperry Rail Service d'un examen des rubans du détecteur de défauts de rail (DDR) produits lors de contrôles effectués immédiatement après le déraillement. On a testé manuellement 37 emplacements relevés sur plusieurs rubans du DDR. Les résultats de ces tests ont indiqué que le DDR fonctionnait conformément aux attentes.
- Remplacement des critères de dénivellations locales de la surface de roulement et d'écrasements aux abouts de rail figurant aux articles 10a et 10b de la section NV 1.7 des Normes de la voie – Ingénierie du CN par les critères plus stricts du plan d'action fusionné du CN pour la subdivision de Ruel (en date du 12 mars 2015).
- Affectation de cadres supplémentaires d'autres territoires dans la zone du nord de l'Ontario à l'examen du territoire afin d'évaluer les occasions de perfectionner les compétences du personnel d'entretien de la voie chargé des inspections.
- Augmentation des investissements en rails, en traverses et en nivellement de 10 à 20 millions de dollars pour 2015. Au printemps et à l'été 2015, le CN a entrepris des programmes d'immobilisations en entretien de la voie : installation de 2 branchements complets en voie principale; remplacement des aiguilles et des contre-aiguilles de 17 branchements en voie principale et des cœurs de croisement de 27 branchements en voie principale; pose d'environ 44 milles de nouveaux rails et nivellement d'environ 216 milles de voie; remise à l'écartement d'environ 30 milles de voie à l'aide de chevilles en bois ou d'isolateurs en béton; réalisation de 773 soudures par étincelage pour éliminer des joints; installation d'environ 37 000 traverses en béton ou en bois.

Le CN a modifié son cours sur les directives d'inspection de la voie pour qu'il comprenne les conditions qui pourraient contribuer aux écrasements aux abouts de rail et aux conditions qui pourraient découler de ce phénomène.

En 2015, le CN a mis à jour le plan d'intervention d'urgence de ses opérations réseau, son registre de commandement en cas d'incident, et l'aide-mémoire pour les superviseurs, y compris la documentation sur le commandement en format électronique. Tous les cadres supérieurs des services Transport, Ingénierie, Mécanique et Gestion du risque du CN (jusqu'au vice-président) ont dû suivre le cours sur les interventions d'urgence ferroviaires du CN, une formation sur le plan d'intervention d'urgence et la formation sur le commandement en cas d'incident (ICS) 100. Les employés des fonctions de soutien comme les services de l'environnement et de police du CN ont également suivi une formation semblable.

Les agents de gestion du risque au Canada et les agents de sécurité aux États-Unis ont suivi une formation sur la sécurité des lieux et sur la façon de remplir la documentation du registre de commandement en cas d'incident.

Vers la fin de 2016, le CN a mis en place des évaluations et téléconférences trimestrielles pour tous les candidats à un poste SAV. Ces téléconférences se poursuivront pour tous les futurs cours de formation SAV. Le premier examen en bonne et due forme et la première téléconférence du cours de formation SAV de janvier 2017 auront lieu au deuxième trimestre de 2017.

Le CN a nommé des mentors internes permanents à raison de 1 mentor par région. Les cadres supérieurs de l'ingénierie collaborent désormais avec les chefs régionaux pour faire du mentorat sur le terrain. Les mentors utilisent une liste de vérification pour chaque superviseur et inspecteur qu'ils encadrent et remettent un rapport complet à l'employé ainsi qu'à l'équipe de direction régionale. Les directeurs régionaux feront un suivi auprès des employés relativement aux préoccupations et aux besoins de perfectionnement. Ils passent la majeure partie de leur temps sur le terrain, dans le territoire du nouveau superviseur, et se concentrent sur les activités suivantes :

- inspection de qualité;
- application des normes de la voie du service Ingénierie;
- prise de dispositions pour des réparations;
- suivi de l'achèvement et approbation.

Après l'événement, le CN a acheté 2 véhicules rail-route en 2015 qui peuvent faire l'inspection électronique des éclisses. Ces véhicules sont réservés pour les inspections au Canada. Le CN a également collaboré avec Sperry Rail Service afin d'équiper des camions particuliers pour faire l'inspection d'éclisses partout au Canada.

Le CN a modifié son programme SAV en ajoutant un cours sur le contrôle technique avancé de la voie. Ce cours est conçu tout particulièrement pour transmettre aux cadres du service Ingénierie des connaissances plus poussées sur l'évolution des défauts et les outils d'analyse. Ce cours porte sur les sujets suivants :

- métallurgie des rails, causes des défauts et mécanismes des défaillances;
- géométrie des branchements boulonnés comparativement aux branchements soudés et son impact sur la vitesse de la voie et les forces dynamiques;
- types de stratégies de graissage et leur impact sur l'usure et sur les efforts exercés sur la voie;
- interprétation juste des bandes graphiques de la voiture TEST pour identifier les défauts et les problèmes potentiels;
- utilisation des systèmes analytiques du CN pour cerner de façon préventive les problèmes et les défauts les plus courants.

4.2 Préoccupation liée à la sécurité

4.2.1 Vitesse des trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3

L'énergie cinétique est fonction de la masse et de la vitesse au carré. Lorsqu'un train quitte les rails, les forces produites par le déraillement et le ralentissement progressif du train consomment son énergie cinétique. Comparativement à un train plus léger, un train lourd (p. ex., un train-bloc de pétrole brut composé de wagons-citernes d'une capacité de poids brut sur rail [PRB] de 286 000 livres) a une énergie cinétique plus élevée, doit dissiper plus d'énergie pour ralentir, et exige une plus grande distance pour s'immobiliser. En outre, les déraillements qui surviennent près de la tête du train peuvent entraîner plus de wagons à quitter les rails, car le poids des wagons suivants peut jouer sur la dynamique de déraillement¹⁰².

Dans le secteur, on sait très bien que lorsqu'un train déraile, le nombre de wagons qui quittent les rails et la gravité du déraillement augmentent avec la vitesse. On sait également que la gravité d'un déraillement varie en fonction de la cause de l'accident – en général, les rails rompus entraînent le déraillement de plus de wagons que toute autre cause d'accident¹⁰³. Les exemples récents de déraillements de trains-blocs transportant des liquides inflammables de classe 3 attribuables à une défaillance de la voie comprennent :

- Dans l'accident survenu à Lynchburg (Virginie), le train-bloc K08227 de CSX Transportation (CSXT), composé de 104 wagons-citernes de catégorie 111 remplis de pétrole brut (UN1267), roulait vers l'est lorsque 17 de ses wagons ont déraillé. Ce train mesurait 6426 pieds, pesait 14 107 tonnes et roulait à 24 mi/h au moment de l'accident. Un des wagons-citernes a été perforé et a rejeté 29 868 gallons US (113 000 litres) de pétrole brut dans une rivière. Une partie du produit a pris feu.
- Dans l'accident survenu à Mount Carbon (Virginie-Occidentale), le train-bloc K08014 de CSXT, composé de 107 wagons-citernes de catégorie 111 remplis de pétrole brut, roulait vers l'est lorsque 27 wagons ont déraillé. Ce train mesurait 6721 pieds, pesait 15 261 tonnes et roulait à 33 mi/h au moment de l'accident. Des 27 wagons-citernes qui ont déraillé, 19 se sont empilés et ont contribué à un feu en nappe qui a suivi le déraillement. Deux wagons-citernes ont été perforés durant le déraillement et ont rejeté du produit, et 4 autres ont rejeté du produit par les raccords supérieurs ou inférieurs. Au total, environ 378 000 gallons US (1,43 million de litres) de produit ont été rejetés.
- Dans l'événement à l'étude, un train-bloc du CN (U70451-10) circulait vers l'est et transportait 100 wagons-citernes de catégorie 111 lorsque 29 d'entre eux ont déraillé. Soixante-huit wagons étaient chargés de pétrole brut (UN 1267), et 32 de distillats de pétrole (UN 1268). Ce train mesurait 6089 pieds, pesait 14 355 tonnes et roulait à

¹⁰² Xiang Liu, Mohd Rapik Saat, Christopher P.L. Barkan (2014), *Probability analysis of multiple-tank-car release in railway hazardous materials transportation*. Journal of Hazardous Materials 276, 442–451.

¹⁰³ *Idem*.

38 mi/h au moment de l'accident. Dix-neuf wagons-citernes ont été perforés, et environ 1,7 million de litres de produit ont été rejetés.

Si la gravité d'un déraillement dépend principalement de la vitesse du train, le poids des wagons est aussi un important facteur : les wagons plus lourds ont une énergie cinétique plus élevée lorsque leur vitesse augmente, et leur immobilisation requiert un effort supplémentaire. Lorsque des wagons-citernes plus lourds sont chargés de MD, les risques de rejet et les conséquences qui pourraient résulter d'un déraillement s'aggravent. À la lumière des circonstances de l'événement à l'étude, la vitesse du train-bloc de pétrole brut a exacerbé la gravité du déraillement.

Le 23 avril 2014, après l'accident à Lac-Mégantic, TC a publié l'ordre ministériel 14-01 pour enjoindre les compagnies ferroviaires à limiter la vitesse des trains clés¹⁰⁴ et à effectuer des évaluations des risques sur les itinéraires clés. On a publié à nouveau cet ordre ministériel jusqu'à l'entrée en vigueur du *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* approuvé par TC, en février 2016. Ce règlement exige des compagnies ferroviaires de limiter la vitesse maximale des trains clés à 50 mi/h, et de la réduire davantage (à 40 mi/h) à l'intérieur du noyau et du noyau secondaire des RMR.

Au moment de l'accident, le train en cause roulait à 38 mi/h. Des 29 wagons-citernes chargés de MD, 19 ont été perforés, et environ 1,7 million de litres de produit ont été libérés dans l'atmosphère ou déversés dans le sol. Le produit déversé s'est enflammé et a brûlé pendant 5 jours. Même si le déraillement s'est produit dans une région éloignée et que personne n'a été blessé, l'accident a causé des dommages à l'environnement et a nécessité des travaux considérables de remise en état du site. Si l'accident s'était produit dans un village, une ville ou une RMR, les conséquences auraient pu être beaucoup plus graves.

Le déraillement a eu lieu alors que le train roulait à une vitesse inférieure à la limitation de vitesse de 40 mi/h imposée par l'ordre ministériel de TC qui était en vigueur au moment de l'accident, et par le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* en vigueur. Étant donné la gravité du déraillement dans l'événement à l'étude et dans d'autres événements, le Bureau craint qu'une limitation de vitesse de 40 mi/h puisse être insuffisante pour certains trains clés, en particulier les trains-blocs qui transportent des liquides inflammables de classe 3 dans des wagons-citernes qui ne satisfont pas à la norme TC-117.

¹⁰⁴ Le terme « train clé » signifie une locomotive attelée à des wagons comprenant, selon le cas :

- a) au moins 1 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*, paragraphe 3.4)

4.3 *Mesure de sécurité requise*

4.3.1 *Validation de la vitesse maximale des trains qui transportent des marchandises dangereuses*

La gravité de tout déraillement est directement liée à la vitesse d'un train et à d'autres facteurs. Réduire la vitesse des trains est l'une des façons qu'emploie le secteur ferroviaire pour gérer le risque de déraillement. On limite la vitesse des trains en fonction de la catégorie et de l'état de la voie. Lorsqu'une voie exige de l'entretien additionnel, on peut mettre en place des limitations de vitesse pour réduire davantage la vitesse des trains. C'est là une pratique courante dans le secteur.

Quoique la vitesse des trains contribue à la gravité d'un déraillement, d'autres facteurs entrent en ligne de compte, notamment : la longueur du train, la cause du déraillement, la position du ou des premiers wagons à quitter les rails, la position des wagons-citernes dans le train et les éléments de sécurité intégrés dans la conception des wagons-citernes¹⁰⁵. Même si la gestion de la vitesse des trains en fonction de l'état de la voie aidera à réduire au minimum la gravité des déraillements, on doit également tenir compte du profil de risques de chaque train. Par exemple :

- Les trains de marchandises mixtes « non clés » qui transportent peu ou pas de marchandises dangereuses (MD) et les trains-blocs de marchandises non dangereuses (p. ex., céréales, potasse, charbon) ont le profil de risques le plus faible.
- Les trains de marchandises mixtes « clés » qui transportent le nombre minimal de wagons-citernes chargés de MD distribués dans tout le train sont exposés à moins de risques en cas de déraillement. En effet, le déraillement pourrait se produire à une partie du train qui ne comprend pas, sinon peu, de wagons-citernes chargés de MD.
- De même, les trains de marchandises mixtes « clés » qui transportent des lots importants de wagons-citernes chargés de MD sont exposés à des risques plus élevés en cas de déraillement.
- Les trains-blocs « clés » de wagons-citernes chargés de liquides inflammables de classe 3 ont le profil de risques le plus élevé. Lorsque tous les wagons d'un train-bloc transportent des liquides inflammables de classe 3 et que le train déraile, les risques de rejet et de conséquences négatives sont élevés, et ce, peu importe la partie du train où se produit le déraillement.

Dans une certaine mesure, TC a constaté le rôle que jouent la vitesse et le profil de risques d'un train dans la gravité d'un déraillement. Le ministère a donc mis en place certaines mesures pour limiter la vitesse des « trains clés » dans certaines conditions. Le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés* approuvé par TC limite la vitesse maximale des « trains clés » à 40 mi/h à l'intérieur du noyau (et du noyau secondaire) des régions métropolitaines de recensement (RMR). Quoique les limitations de ce règlement, au moment de son entrée en

¹⁰⁵ Xiang Liu, Mohd Rapik Saat, Christopher P.L. Barkan (2014), *Probability analysis of multiple-tank-car release in railway hazardous materials transportation*. Journal of Hazardous Materials 276, 442–451.

vigueur, semblaient prometteuses, l'actuelle vitesse maximale de 40 mi/h a été fixée sans être validée par des analyses d'ingénierie.

En outre, le fait que les nouvelles normes relatives aux wagons-citernes (TC-117) ne seront pas pleinement mises en œuvre avant 2025 signifie que les wagons-citernes moins robustes, comme ceux qui sont mis en cause dans cet événement, continueront de servir au transport des liquides inflammables de classe 3. Dans sa réévaluation de la réponse de TC à la Recommandation R14-01 le Bureau a déclaré que le risque demeurera élevé tant que les liquides inflammables continueront d'être transportés dans des wagons-citernes construits de façon qui n'est pas suffisamment robuste pour prévenir une défaillance catastrophique en cas d'accident. Par conséquent, le Bureau a demandé à TC et à l'industrie de veiller à ce que les mesures de contrôle des risques durant la transition soient gérées efficacement.

Tel qu'indiqué à la section 4.2.1, le Bureau est préoccupé par le fait que cette vitesse et les risques résiduels qu'elle entraîne pourraient être trop élevés dans le cas de certains « trains clés ». En conséquence, le Bureau recommande que :

le ministère des Transports mène une étude sur les facteurs qui accroissent la gravité des déraillements mettant en cause des marchandises dangereuses, détermine des stratégies d'atténuation appropriées, y compris les vitesses de trains propres à divers profils de risques de trains, et modifie en conséquence le *Règlement relatif aux trains et aux itinéraires clés*.

Recommandation R17-01 du BST

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 23 janvier 2017. Le rapport a été officiellement publié le 16 février 2017.

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 – Données météorologiques pour la période du 14 au 21 février 2015

Date	Heure	Max./min.	Temp. (°C)	Direction du vent (x10 degrés)	Vitesse du vent (km/h)	Visibilité (km)	Conditions météorologiques
14 févr. 2015	0001	Max.	-17	12	13	3.2	Neige
	2300	Min.	-31	33	22	19	Cristaux de glace
15 févr. 2015	0800	Min.	-36	30	9	24	Cristaux de glace
	1600	Max.	-22	27	12	24	Ciel dégagé
16 févr. 2015	0200	Min.	-37	18	4	24	Ciel dégagé
	1600	Max.	-14	18	18	24	Ciel dégagé
17 févr. 2015	1400	Max.	-13	36	2	5	Neige
	2300	Min.	-21	35	13	24	Neige
18 févr. 2015	0800	Min.	-27	33	10	24	Ciel dégagé
	1500	Max.	-20	35	18	16	Nuageux
19 févr. 2015	0700	Min.	-36	30	11	24	Cristaux de glace
	1600	Max.	-23	32	20	16	Cristaux de glace
20 févr. 2015	0500	Min.	-39	18	6	24	Cristaux de glace
	2100	Max.	-15	20	16	8	Neige
21 févr. 2015	1400	Max.	-8	23	15	16	Neige
	2300	Min.	-19	33	18	13	Poudrerie

Annexe B – Bulletin d'ingénierie n° 2015-F-01 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada envoyé au personnel de l'Ingénierie de la Région de l'Est par l'Ingénieur en chef régional (15 janvier 2015)

Canadien National, Région de l'Est – Ingénierie

N° BULLETIN : 2015-F-01

DATE : 15 janvier 2015

OBJET : Écrasements du champignon, joints de rail, joints isolants collés

DEST. : Personnel de l'Ingénierie de la Région de l'Est

MESURES À APPLIQUER IMMÉDIATEMENT – EST DU CANADA, sur toutes les voies de catégorie 5, dans le corridor de Toronto à Winnipeg et dans les subdivisions de Drummondville, Montmagny, Pelletier et Napadogan

Les mesures ci-dessous s'appliquent aux voies de l'Est du Canada et constituent un complément aux Normes de la voie (NV).

Elles visent tous les écrasements du champignon et les joints de rail, y compris les joints isolants collés.

- Au cours des 96 prochaines heures, on devra inspecter tous les écrasements du champignon et les joints de rail susceptibles de présenter une profondeur de plus de 3 mm, et déterminer s'il existe un problème de variation de nivellement (*warp*) dans la voie. On devra faire parvenir les relevés effectués (écrasements du champignon, écrasements des abouts et défauts de nivellement) aux chefs adjoints et à moi-même d'ici le mardi 20 janvier à midi. Si un écrasement ou un défaut de nivellement est sur le point de constituer un « défaut urgent », on devra protéger la voie comme le prévoient les NV.
- Si la valeur d'un écrasement du champignon ou des abouts est de > 4 mm, on devra réparer le joint dans les 48 heures. Si cela ne peut pas être fait, on devra appliquer sans délai une LTV de 40 mi/h jusqu'à ce que le défaut soit corrigé.
- Si la valeur d'un écrasement est de ≥ 5 mm, on appliquera une LTV de 30 mi/h comme le prescrivent les NV; on devra cependant corriger le défaut dans les 48 heures, sans exception.
- Les rails dont l'écrasement dépasse 3,5 mm devront être mesurés deux fois par semaine.

***Il ne faut en aucun cas compromettre la sécurité ou l'intégrité de la voie; par ailleurs, on doit faire tout ce qui est possible pour corriger les défauts de rail ou de géométrie avant de mettre en place une LTV.*

Directeurs principaux de l'Ingénierie : veuillez vous assurer que le présent document est largement diffusé auprès du personnel de la voie.

La présente ligne de conduite restera en vigueur dans la Région de l'Est jusqu'à ce qu'elle soit annulée par l'ingénieur en chef régional – Région de l'Est.

[Original signé par l'Ingénieur en chef régional – Région de l'Est]

Annexe C – Rapports d'enquête ferroviaire du National Transportation Safety Board sur des trains transportant du pétrole brut

Compte rendu sur un accident ferroviaire, à Lynchburg (Virginie), du National Transportation Safety Board : déraillement d'un train CSX Transportation chargé de pétrole brut et rejet de marchandises dangereuses [traduction]¹⁰⁶

Le 30 avril 2014, le train-bloc de pétrole brut K08227 de CSX Transportation (CSXT) circulait vers l'est. Au point milliaire 146.45 de la voie principale 2 de la subdivision de James River de CSXT à Lynchburg (Virginie), un rail défectueux a causé le déraillement de 17 wagons-citernes de catégorie 111. Ce train comptait 2 locomotives, 1 wagon tampon et 104 wagons-citernes chargés de pétrole brut. Il mesurait 6426 pieds de longueur et pesait 14 107 tonnes. Étant donné les voies courbes dans ce secteur, une vitesse maximale autorisée de 25 mi/h était en place en permanence. Au moment de l'accident, le train en cause roulait à 24 mi/h.

Trois des wagons qui ont déraillé ont été partiellement submergés dans la rivière James. L'un d'eux a été perforé et a rejeté 29 868 gallons de pétrole brut dans une rivière. Une partie du produit a pris feu. Il n'y a eu aucun blessé parmi l'équipe de train ou le public. Au moment de l'accident, le ciel était couvert et une légère pluie tombait; la température était de 53 °F.

Rapport factuel du National Transportation Safety Board sur le déraillement de CSX Transportation à Mount Carbon (Virginie-Occidentale) [traduction]¹⁰⁷

Le 16 février 2015, 27 wagons-citernes chargés du train-bloc de pétrole brut K08014 de CSX Transportation (CSXT) circulant vers l'est ont déraillé à Mount Carbon (Virginie-Occidentale) à cause d'un rail défectueux. Ce train était composé de 2 locomotives, de 1 wagon tampon, de 107 wagons-citernes et de 1 wagon tampon en queue de train. Ce train mesurait 6721 pieds de longueur, et pesait 15 261 tonnes. Il transportait environ 3,1 millions de gallons de pétrole brut (UN 1267, classe 3, groupe d'emballage I) en provenance du champ pétrolifère Bakken de Manitou (Dakota du Nord). Sa destination était Yorktown (Virginie). Au moment de l'accident, le CSXT avait établi une limitation temporaire de vitesse de 40 mi/h dans ce territoire en raison de la température froide. Au moment de l'accident, le train roulait à 33 mi/h. La température était de 15 °F, et il y avait 8 pouces de nouvelle neige au sol.

¹⁰⁶ National Transportation Safety Board, Railroad Accident Brief NTSB/RAB/16-01, Accident No.: DCA14FR008, CSXT Petroleum Crude Oil Train Derailment and Hazardous Materials Release.

¹⁰⁷ Rapport factuel du National Transportation Safety Board, « Tank Car Performance », daté du 8 juillet 2015.

Des 27 wagons-citernes qui ont déraillé, 19 se sont empilés et ont contribué à un feu en nappe qui a suivi le déraillement. Deux wagons-citernes ont été perforés durant le déraillement et ont rejeté du produit, et 4 autres ont rejeté du produit par les raccords supérieurs ou inférieurs. Le feu en nappe a causé des ruptures thermiques de la coque de 13 wagons-citernes qui étaient demeurés intacts pendant le déraillement. Au total, environ 378 000 gallons US (1,43 million de litres) de produit ont été rejetés.

Tous les wagons-citernes mis en cause dans cet accident étaient de catégorie DOT-111A100W1 et étaient conformes à la norme sectorielle CPC-1232 de l'Association of American Railroads (AAR). Au moment de l'accident, il n'était pas requis que les wagons-citernes de catégorie DOT-111 et les wagons-citernes conformes à la norme CPC-1232 de l'AAR soient dotés de systèmes de protection thermique protégeant les citernes contre l'exposition aux feux en nappe ou de torche qui peuvent s'allumer pendant un accident¹⁰⁸.

Aucun des wagons-citernes mis en cause n'était doté de systèmes de protection thermique. Pendant le déraillement, 2 wagons-citernes se sont rompus et ont rejeté plus de 50 000 gallons de pétrole brut. Dix-neuf des 27 wagons-citernes déraillés se sont empilés et ont contribué au feu en nappe qui a suivi le déraillement. Le feu en nappe a causé des ruptures thermiques de la coque de 13 wagons-citernes qui ne se sont pas rompus pendant le déraillement. Un seul des wagons-citernes se trouvant sur le front du feu en nappe n'a pas rejeté de produit. Les 8 autres wagons-citernes qui ont déraillé et qui se sont immobilisés d'un côté ou de l'autre du feu en nappe n'ont pas été considérablement endommagés et n'ont pas rejeté de produit.

Le 12 avril 2015, le National Transportation Safety Board a transmis 4 recommandations de sécurité urgentes à la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration concernant l'installation de systèmes de protection thermique sur les wagons-citernes de catégorie DOT-111 utilisés pour le transport de liquides inflammables de classe 3. Ces recommandations comprenaient les suivantes [traduction] :

Exiger que tous les wagons-citernes nouvellement construits et existants destinés au transport de liquides inflammables de classe 3 soient dotés de systèmes de protection thermique remplissant ou dépassant les normes de rendement thermique définies à l'article 179.18(a) du titre 49 du *Code of Federal Regulations*; que ces wagons-citernes soient adéquatement classifiés en fonction de leur configuration et du produit qu'ils transportent¹⁰⁹.

Outre les systèmes de protection thermique définis dans la recommandation de sécurité R-15-14 : exiger que tous les wagons-citernes nouvellement construits ou existants destinés au transport de liquides inflammables de

¹⁰⁸ Certains wagons-citernes peuvent être dotés d'isolant (généralement de la fibre de verre, des matelas de laine minérale ou de la mousse) placé entre la citerne et une enveloppe métallique. Cette isolation réduit la température du chargement pendant le transport, mais se désintègre à température élevée. Par comparaison, un système de protection thermique est conçu pour protéger le wagon-citerne contre les températures élevées produites par les feux en nappe ou de torche.

¹⁰⁹ National Transportation Safety Board des États-Unis, recommandation de sécurité R-15-014.

classe 3 soient dotés de dispositifs de décharge de la pression de taille appropriée. Ces dispositifs devront assurer la détente de la pression en cas d'incendie, et ce, pour que les wagons-citernes remplissent ou dépassent les exigences de l'article 179.18(a) du titre 49 du *Code of Federal Regulations* et que les risques de ruptures thermiques énergétiques soient réduits¹¹⁰.

Exiger un calendrier d'exécution à étapes déterminées agressif (p. ex., une exigence annuelle de 20 % sur une période de mise en œuvre de 5 ans) pour le remplacement ou le rattrapage des wagons-citernes DOT-111 et CPC-1232 plus âgés comprenant l'installation d'enveloppes extérieures, de systèmes de protection thermique et de dispositifs de décharge de la pression de taille conforme, pour garantir que ces wagons-citernes satisfassent aux normes de rendement appropriées¹¹¹.

Établir un mécanisme public de création de rapports annuels (ou plus fréquents) sur le rattrapage et le remplacement des wagons-citernes assujettis aux normes de rendement des systèmes de protection thermique, comme défini dans la recommandation de sécurité R-15-16¹¹².

¹¹⁰ *Idem.*, recommandation de sécurité R-15-15.

¹¹¹ *Idem.*, recommandation de sécurité R-15-16.

¹¹² *Idem.*, recommandation de sécurité R-15-17.