

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE R11T0162



DÉRAILLEMENT EN VOIE PRINCIPALE

**DU TRAIN Q10251-10 DU
CANADIEN NATIONAL AU
POINT MILLIAIRE 243,1 DE LA SUBDIVISION BALA
WATERFALL (ONTARIO)
LE 14 JUILLET 2011**

Canada

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

Rapport d'enquête ferroviaire

Déraillement en voie principale

du train Q10251-10

du Canadien National

au point milliaire 243,10 de la subdivision Bala

Waterfall (Ontario)

le 14 juillet 2011

Rapport numéro R11T0162

Sommaire

Vers 5 h 10, heure avancée de l'Est, le 14 juillet 2011, le train de marchandises Q10251-10 des Chemins de fer nationaux du Canada (Canadien National) roulant vers le sud à 40 mi/h déraile : 11 wagons intermodaux à plates-formes multiples transportant 86 conteneurs quittent les rails au point milliaire 243,10 de la subdivision Bala près de Waterfall (Ontario). Quelque 6800 pieds de voie sont endommagés ou détruits, dont l'aiguillage sud de la voie d'évitement à Waterfall. Il n'y a pas eu de blessés. Aucune marchandise dangereuse ne s'est déversée.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base



1. Carte de l'emplacement

Le 14 juillet 2011, le train de marchandises Q10251-10 du Canadien National (le train), train intermodal prioritaire ayant son point d'origine à Vancouver (Colombie-Britannique), quitte Capreol (Ontario) à 3 h 35¹ à destination de Toronto (Ontario) (Figure 1). Le train était formé de 2 locomotives, équipées toutes deux du frein rhéostatique (FR) à effet prolongé², et de 57 wagons intermodaux chargés, un mélange de wagons articulés à évidemment central à une seule plate-forme ou à plates-formes multiples. Le train marchait en traction répartie (TR) dans une configuration 1:0:1 (c.-à-d. une locomotive en tête et une autre en queue). Le train pesait environ 9537 tonnes et la locomotive de queue, CN 8856, était située à 10 201 pieds de la locomotive de tête, CN 2261.

L'équipe de train était formée d'un mécanicien de locomotive et d'un chef de train. Les 2 répondaient aux normes d'aptitude au travail et de repos, et connaissaient bien la subdivision. Le temps était dégagé et il faisait 16 °C.

Vers 5 h 06 min 37 s, le train Q10251-10, avec sa locomotive de tête au cran de marche 5 et roulant à 38 mi/h, franchit l'aiguillage nord de la voie d'évitement (point milliaire 243,3) à Waterfall, puis le passage à niveau du chemin Puska's (point milliaire 243,22), et entre dans une courbe à droite de 3°. Entre 5 h 06 min 45 s et 5 h 06 min 51 s, le manipulateur est déplacé de la position 5 à la position 8, et la vitesse augmente à 39 mi/h dans la descente d'une pente légère. À 5 h 07 min 32 s, la locomotive de tête se trouvait au point milliaire 242,71 et roulait à 39 mi/h. À ce moment-là, le 12^e wagon, le DTTX 724638, était dans le voisinage du point milliaire 243,10.

Le train poursuit sa marche sur la voie principale entre les aiguillages de la voie d'évitement à Waterfall, négociant une série de courbes de 2 et 3°. À 5 h 08 min 25 s, la vitesse du train avait augmenté à 42 mi/h et le manipulateur avait été rétrogradé à la position de ralenti pour les 15 prochaines secondes. Le mécanicien plaça la poignée du frein rhéostatique sur la position de mise en service (SETUP) à 5 h 09 min 06 s alors que la vitesse avait commencé à baisser à 39 mi/h.

¹ Les heures exprimées sont en heure avancée de l'Est.

² Le frein rhéostatique est un système électrique de freinage de locomotive qui transforme les moteurs de traction en génératrices pour freiner les essieux moteurs. L'électricité ainsi produite est dissipée sous forme de chaleur dans les résistances du frein rhéostatique. Ce frein peut fonctionner de façon isolée ou en combinaison avec le système de freinage pneumatique du train.

À 5 h 09 min 16 s, le frein rhéostatique de la locomotive de tête étant réglé sur la position FR6 et le train se trouvant au point milliaire 241,51, il se produit un freinage d'urgence provenant de la conduite générale (UDE). Un signal radio d'urgence est envoyé simultanément aux locomotives de tête et de queue, ce qui a pour effet d'isoler le frein rhéostatique de la locomotive menée, de déclencher le serrage d'urgence des freins du train et de serrer le frein indépendant (direct). La fonction d'affranchissement du frein direct des locomotives n'a pas été utilisée³. À 5 h 09 min 38 s, la locomotive de tête s'immobilise au point milliaire 241,39 après avoir parcouru une distance de 623 pieds après la réception du signal d'urgence. La locomotive menée s'est immobilisée 8 secondes plus tard au point milliaire 243,57, au nord de l'aiguillage nord de la voie d'évitement (Figure 2).

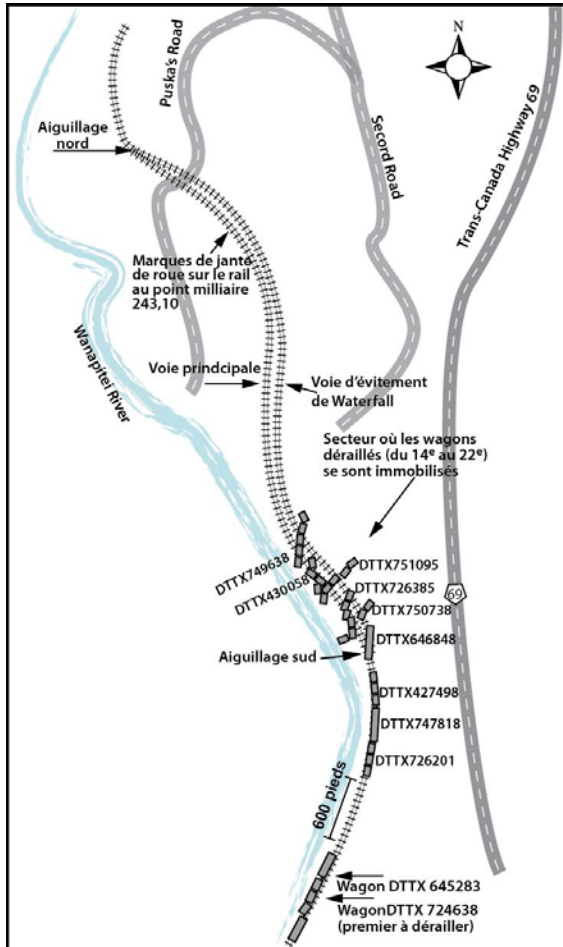


Figure 2. Schéma du site du déraillement (le diagramme n'est pas à l'échelle)

L'équipe a ensuite lancé les messages d'urgence prescrits et a constaté que 11 wagons intermodaux, lignes 12 à 22, comprenant 33 plates-formes chargées de 86 conteneurs, avaient déraillé et s'étaient arrêtés dans le voisinage de l'aiguillage sud de la voie d'évitement (point milliaire 241,92). Il n'y a eu ni blessures ni déversement de marchandises dangereuses.

Examen du site

Les wagons déraillés se sont immobilisés dans une courbe à droite de 3° au sud de l'aiguillage, dans le court tronçon en alignement droit renfermant l'aiguillage, et dans la courbe à gauche de 3° à l'approche de l'aiguillage sud de la voie d'évitement (Figure 2).

Dans le voisinage de l'aiguillage sud, les wagons 14 à 19 et les 2^eux plates-formes de tête du 20^e wagon s'étaient mis en portefeuille et empilés. Les wagons 20 à 22 ont déraillé pêle-mêle le long de la voie principale.

³ Le terme « affranchissement » désigne l'action posée par le conducteur pour expulser de l'air du cylindre de frein de la locomotive. La fonction d'affranchissement desserre les freins de la locomotive de façon à réduire la compression des attelages et la force de compression excessive en tête du convoi lors d'un serrage des freins du train ou d'un freinage de maintien.

Au sud de l'aiguillage sud, les wagons DTTX 724638 (le 12^e wagon) et DTTX 645283 (le 13^e wagon) s'immobilisèrent encore attelés à la tête du train, à quelque 600 pieds des autres wagons déraillés. Le DTTX 645283 a quitté complètement les rails, à l'intérieur de la courbe (Photo 1a).



Photo 1a. Vue des wagons DTTX 724638 et DTTX 645283, direction sud



Photo 1b. Cette photo rapprochée de la roue L3 du wagon DTTX 724638 montre un bleuissage et de l'abrasion sur la face de la jante

La plate-forme arrière du DTTX 724638, wagon intermodal à évidement central à 3 plates-formes qui roulait bout B en tête (Figure 3), a quitté les rails, mais est restée debout, les essieux montés 5/6 et 7/8 chevauchant le rail ouest. Le bogie de tête n'a pas été endommagé. Les roues L3 et L4 du bogie articulé C (Figure 3 et Photo 1b) se sont arrêtées endommagées, mais sans dérailler. Il y avait des marques d'impact sur la table de roulement et de l'abrasion et un bleuissage prononcés sur la face des jantes de roue. Des fragments d'anticheminants fraîchement cassés se trouvaient à l'avant de l'évidement central de la plate-forme C. La surface de la table de roulement des roues 5/6 et 7/8 arborait une certaine rugosité provenant du déraillement, mais non les dommages importants observés sur les roues L3/L4.

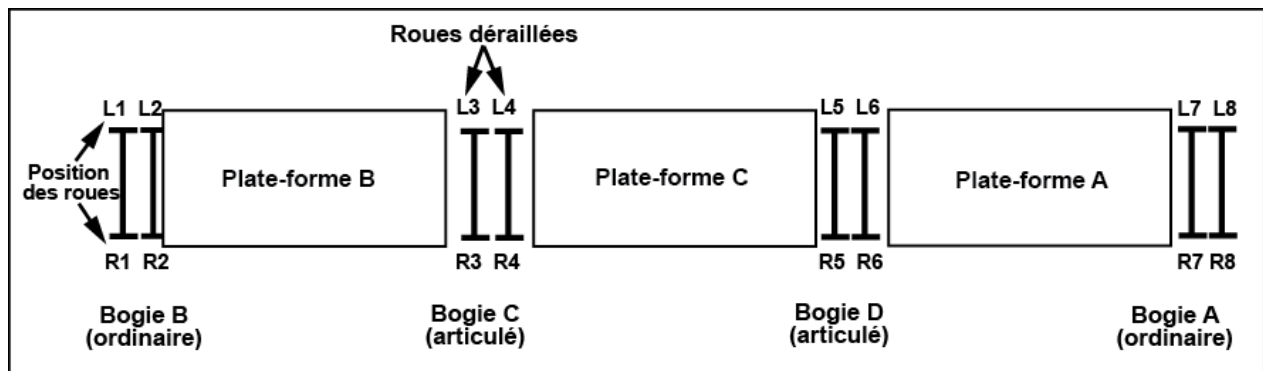


Figure 3. Schéma du wagon DTTX 724638

Examen de la voie

Les premiers signes d'un déraillement se sont manifestés au point milliaire 243,10, au sud du passage à niveau du chemin Puska, dans une pleine courbe à droite de 3° avec dévers de 4 pouces. La vitesse d'équilibre⁴ pour les trains de marchandises y était de 45 mi/h. Deux marques d'abrasion de 4 pouces de long sur la face intérieure du rail ouest (file basse) dans la pleine courbe indiquaient l'endroit où 2 roues avaient quitté le champignon du rail. Il y avait aussi une marque fraîche de jante de roue sur l'âme du rail bas, au-dessous de la seconde marque d'abrasion (Photo 2).

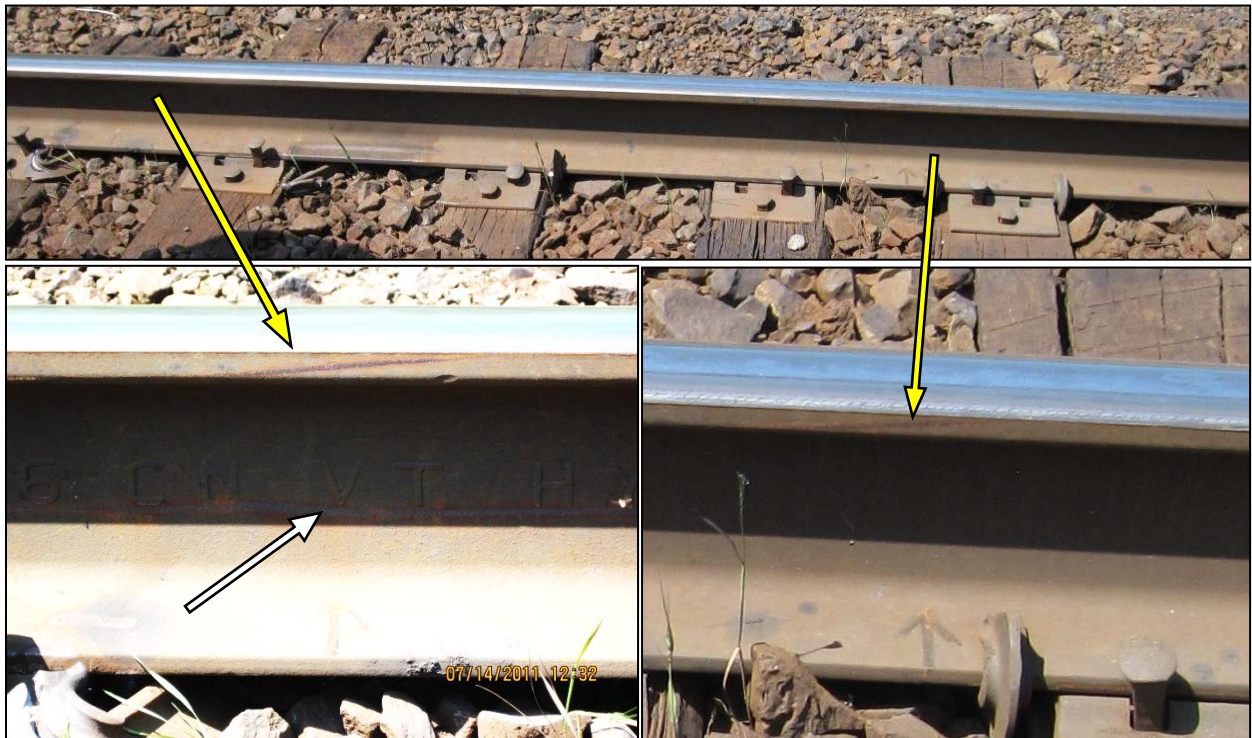


Photo 2. Photo du côté intérieur du rail bas au point de déraillement (PDD). Les flèches jaunes indiquent les marques sur la jante où les roues L4 (photo rapprochée de gauche) et L3 (photo rapprochée de droite) sont tombées dans l'écartement. Notez la marque de jante (flèche blanche) sur l'âme du rail, juste à l'intérieur de la marge dessinée par l'ombre du champignon du rail.

Il y avait des signes d'une inclinaison et d'un déplacement continu du rail bas, y compris des appuis de rail luisants sur les selles, des marques de frottement sur la traverse par des anticheminants et des crampons soulevés (Photo 3). De plus, des selles s'étaient déplacées et avaient été entaillées par un anticheminant. Le rail haut correspondant affichait un certain soulèvement (jusqu'à 1 pouce) des crampons sur le côté intérieur; son écartement avait été mesuré récemment. Un certain nombre de mesures de l'écartement et du nivellement

⁴ Lors de la négociation d'une courbe, la voie exerce sur le véhicule ferroviaire une force de passage en courbe; le rail extérieur de la courbe est donc surélevé pour compenser la force de gravité. La vitesse d'équilibre est la vitesse précise à laquelle la force de gravité attribuable au dévers compense la force d'accélération engendrée par le passage en courbe.

transversal avaient été prises dans le voisinage nord du PDD. On a repéré à 46 ½ au nord du PPD un sous-écartement de 1 pouce nécessitant une intervention urgente.

De cet endroit jusqu'au cœur de croisement à l'aiguillage sud de Waterfall (point milliaire 241,92), là où les wagons s'étaient immobilisés, il y avait des marques contiguës d'abrasion et d'impact sur la face intérieure et sur les attaches du côté intérieur du rail bas (ouest).



Photo 3a. Crampons du rail bas déformés et soulevés sur le côté intérieur du rail bas au PDD



Photo 3b. Vue d'une selle montrant une rotation et un polissage provenant de l'inclinaison du rail et du pivotement de son patin



Photo 3c. Vue rapprochée d'une entaille ancienne faite par un anticheminant dans la traverse et la selle, ainsi qu'un polissage vertical/horizontal plus récent sur la face d'appui de l'anticheminant



Photo 3d. Vue montrant une traverse entaillée par une selle sur le côté extérieur du rail bas, le polissage de l'appui de rail et le fendillement de la traverse

Renseignements sur la subdivision et la voie

La subdivision Bala est constituée d'une voie principale unique de catégorie 4⁵, qui s'étend de Toronto (point milliaire 0,0) vers le nord jusqu'à Capreol (point milliaire 276,1). Aux termes d'une entente de circulation directionnelle conclue entre le CN et le Chemin de fer Canadien Pacifique (CP), le trafic vers le sud de Sudbury à Parry Sound emprunte la subdivision Bala entre les points milliaires 146,2 et 247,5. Les mouvements dans la subdivision Bala sont régis par le système de commande centralisée de la circulation, autorisé par le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REFC) et supervisé par un contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) à Toronto. Au moment de l'évènement, une limite permanente de vitesse à 45 mi/h était en vigueur dans le voisinage du point de déraillement. Les trains vers le sud devaient de plus ralentir à 40 mi/h au point milliaire 241,4, puis à 35 mi/h au point milliaire 240,10.

Dans la courbe au sud du chemin Puska (points milliaires 242,84 à 243,15), la voie était armée en rail de 136 livres mis en place en octobre 1997 et posé sur des selles de 14 pouces à double épaulement fixées sur un mélange de traverses en bois dur et en bois mou. Le ballast était formé de roche concassée, avec cases pleines et banquettes. Il y avait 4 crampons par selle sur le rail bas, et 6 ou 7 sur le rail haut. Les rails étaient encadrés d'anticheminants toutes les 2 traverses. L'usure des rails se situait dans la limite des spécifications, mais il y avait de l'usure sur le congé intérieur. Les rails dans la courbe n'étaient pas graissés. Le graisseur de rails le plus proche⁶ au nord du point de déraillement était situé sur le rail est au point milliaire 248,9 - 5,8 milles au nord du PDD. Les graisseurs de rails sont habituellement placés tout près de l'endroit où s'impose une gestion du frottement.

Selon un sondage auprès des chemins de fer de classe 1 aux États-Unis⁷, la durée de service des traverses dans une voie supportant un trafic annuel de plus de 38 millions de tonnes brutes (MTB) est inférieure à 20 ans. Les traverses mises en place au moment de la pose du rail étaient en service depuis 14 ans. Le trafic sur la subdivision Bala entre Sudbury et Parry Sound s'établissait à 39,4 MTB en 2010. Entre 2006 et 2011, le pourcentage du trafic intermodal sur la subdivision Bala est passé de 51 à 55 %.

Entretien et inspection de la voie

Aucun défaut n'avait été constaté au cours des six inspections visuelles régulières de la voie effectuées entre le 30 juin et le 14 juillet 2011. Dans la courbe où s'est produit le déraillement, il n'y avait eu aucune rupture de rail au cours des 12 mois précédant l'évènement. Aucune opération de soudage ou de transposition de rails à cet endroit n'avait eu lieu dans les 6 mois

⁵ Le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV) porte sur les prescriptions minimales de sécurité à observer sur une ligne de chemin de fer faisant partie d'un réseau de transport ferroviaire. La Partie II A établit les limites de vitesse de circulation (en mi/h) pour les différentes catégories de voies. La vitesse de circulation maximale admissible pour les trains de marchandises sur une voie de catégorie 4 est de 60 mi/h.

⁶ Les graisseurs de rails font partie du programme de gestion du frottement d'un chemin de fer. Limiter le frottement au point de contact roue-rail, aussi bien sur le boudin de roue qu'au sommet du rail, peut réduire l'usure des roues et des rails, les contraintes attribuables au contact, la force latérale et la résistance au roulement dans les courbes et les tronçons en alignement droit.

⁷ Robert E. Ahlf, *Section 8, Ties - Railway Track Systems: Engineering and Design*, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, pages T1-T41, août 2007.

précédant l'évènement. On avait procédé 2 fois durant l'année, en 2009 et 2010, à un meulage des rails sur la voie principale entre les aiguillages. Un meulage des rails avait également été effectué le 25 février 2011. Sur la subdivision Bala, le meulage des rails avait normalement lieu au printemps et à l'automne, à des intervalles approximatifs de 20 MTB.

En octobre 2009, on avait remis à l'écartement la courbe en cause dans le déraillement⁸. Le rail haut a été déplacé vers l'intérieur d'environ 1 pouce, les trous de crampon ont été remplis de colle et le rail a été fixé à raison de 6 ou 7 crampons par selle. Sur le rail bas, les selles comptaient 6 trous, dont 4 seulement avaient reçu un crampon, et seulement 2 crampons étaient positionnés de manière à maintenir le rail sur sa selle.

En 2010, la dernière inspection des traverses avait révélé qu'environ 30 % d'entre elles dans le voisinage étaient défectueuses. Un programme de renouvellement des traverses dans ce secteur était prévu en mai 2012.

Un contrôle de la géométrie de la voie avait été effectué au moyen de la voiture TEST du CN le 8 novembre 2010 ainsi que les 8 et 28 avril 2011. Le contrôle du 8 novembre avait révélé, sur une distance de 15 pieds près du point milliaire 243,105, un surécartement de 57,5 pouces (limite selon le RSV) nécessitant une intervention quasi urgente⁹. On avait alors établi que les crampons soulevés et les traverses entaillées sur le côté intérieur du rail bas avaient contribué au surécartement. La voie a été remise à l'écartement le 16 novembre 2010.

Au cours du contrôle de la géométrie de la voie le 8 avril 2011, 2 défauts de surécartement exigeant une intervention quasi urgente ont été repérés entre les points milliaires 243,142 et 243,147. Une inspection visuelle le 10 avril 2011 a révélé dans la courbe de raccordement nord un surécartement de 7/8 de pouce près du passage à niveau du chemin Puska. Aucun défaut exigeant une intervention urgente ou quasi urgente n'a été enregistré lors du contrôle du 28 avril 2011, mais la bande graphique a permis de reconnaître un certain nombre d'anomalies d'écartement, de tracé et de surface ne donnant pas lieu à une intervention¹⁰, et des mesures de l'inclinaison du rail de 2 à 3°¹¹ à proximité du passage à niveau. Ces anomalies avaient perduré dans le même secteur depuis au moins 2009.

Transports Canada (TC) a vérifié la subdivision Bala les 18 et 19 mai 2011 à l'aide de son véhicule rail-route de contrôle de la géométrie de la voie¹². Ces vérifications n'ont relevé, dans le

⁸ Avec le temps, l'espacement entre les voies sous charge peut s'écarter des normes de conception. La remise à l'écartement est une pratique qui consiste à faire les réglages nécessaires à la position, au soutien et à la fixation des rails de façon à rétablir le tracé des 2 rails.

⁹ La valeur qui définit un défaut exigeant une intervention quasi urgente correspond à environ 90 % de la valeur exigeant une intervention urgente et agit comme avertissement qu'un défaut approche de cette dernière valeur. Le défaut doit faire l'objet d'une inspection dans les 72 heures qui suivent et être corrigé dans un délai de 30 jours.

¹⁰ S'entend d'une anomalie ou d'un groupe d'anomalies qui ne répondent pas aux critères d'un défaut exigeant une intervention quasi urgente ou urgente et qui, par conséquent, ne requièrent pas des mesures correctives particulières.

¹¹ Une inclinaison parfaite mesure 1,43 pouce, de sorte que les rails peuvent dans les faits être légèrement inclinés vers le côté extérieur; cependant, aucune intervention n'a normalement lieu tant qu'on n'enregistre pas pour l'inclinaison des mesures de 4° ou plus.

¹² Les véhicules d'évaluation de la voie de TC sont des véhicules légers de contrôle de l'état géométrique. Les mesures obtenues avec ces véhicules sont considérées comme des mesures

voisinage du PDD, aucun défaut de voie donnant lieu à une intervention. L'écartement de la voie à cet endroit a été estimé inférieur d'environ $\frac{1}{8}$ de pouce à l'écartement standard de 56,5 pouces.

Systèmes de fixation de la voie

Quand la voie est soumise à des charges de roue, celles-ci sont transférées du rail à la plateforme par l'entremise des éléments de fixation, des selles, des traverses, du ballast et de la sous-couche de ballast. Le crampon a le double emploi de positionner le rail dans la selle et de fixer celle-ci à la traverse de façon à maintenir l'écartement. Le passage sur une voie en courbe fixée par des moyens classiques d'un grand nombre de wagons dont la charge par essieu est élevée peut amener les crampons à se desserrer avec le temps et à sortir de la traverse. Quand cela se produit, les trous de crampon s'agrandissent, l'intérieur de la traverse est exposé à l'humidité et à la décomposition; il se crée alors un surécartement.

Par contraste, l'utilisation de selles en acier moulé ou laminé permet une séparation de la fonction de fixation. Le rail est retenu à la selle au moyen d'une attache élastique en forme de « e » constituée d'une barre ronde en acier trempé de 20 mm de diamètre; à son tour, la selle est fixée à la traverse par des tirefonds ou une combinaison de vis et de crampons. La selle est en fonte ductile moulée et son dessous est muni de saillies en forme de coin qui s'encastrent dans la traverse de bois pour assurer une résistance accrue au déplacement. Quant aux selles laminées, leur dessous est lisse et dépourvu de saillies.

Les systèmes de fixation de type élastique procurent une structure de voie beaucoup plus solide qui résiste mieux à aux forces latérales et longitudinales élevées ainsi qu'au développement d'un surécartement, d'une inclinaison anormale des rails et de dommages résultants aux traverses. Les fixations vissées assurent une résistance accrue au déplacement des selles et, de ce fait, accroissent aussi la résistance au surécartement, la force de maintien du rail et la résistance au renversement du rail. Quand on utilise des attaches élastiques, les traverses risquent moins d'être « mâchées par les crampons » car il suffit de retirer et de remettre en place l'attache, sans perte de force de maintien.

Un rapport du Transportation Technology Center Inc. (TTCI) (*TD-11-052, Root Cause of Rail Roll/Reverse Rail Cant*¹³) présente les résultats d'une étude conjointe TTCI/Norfolk Southern (NS) sur les causes fondamentales du renversement d'un rail ou d'une inversion de son inclinaison. La recherche a permis de constater que des tâches d'entretien de la voie comme la remise à l'écartement et le renouvellement des traverses pouvaient avoir comme effet imprévu de réduire l'aptitude de la structure de la voie à résister aux forces génératrices d'un surécartement. On a observé que le fait d'amener seulement le rail haut dans une situation de sous-écartement ($56 \frac{3}{8}$ pouces) et de fixer ce rail au moyen d'attaches élastiques entraînait plus rapidement une inclinaison et un renversement du rail bas. On a aussi observé une variation

statiques de la géométrie, puisque la charge verticale appliquée à la voie est limitée au poids du véhicule rail-route.

¹³ Wu, Huimin (TTCI), Kerchof, Brad (NS), *Root causes of Rail Roll/Reverse Rail Cant and Remedies - TD-11-052*, Transportation Technology Center, Inc., décembre 2011

des charges latérales d'un bogie à l'autre, ce qui provoquait des mouvements d'inclinaison en va-et-vient du rail bas dans la selle, le rail n'étant maintenu debout que par la charge verticale et la torsion du rail. Dans des conditions défavorables véhicule/roue, les crampons classiques ne fournissent pas un moyen suffisant et durable de retenue contre le renversement du rail dans les courbes. La perte constatée de résistance du rail bas aux contraintes d'écartement a été corrigée par l'installation de selles et d'attaches assorties sur les 2 rails.

Au cours des grands programmes de renouvellement des traverses sur la subdivision Bala à la fin des années 1990, des attaches élastiques ont été installées sur les 2 rails des courbes d'un degré de courbure supérieur ou égal à 6°. En 2001 et 2002, on s'est efforcé de convertir au système de fixations élastiques les courbes d'un degré de courbure supérieur ou égal à 4°. Dans certains cas, lors d'un remplacement de rails dans la courbe, on a installé les attaches élastiques seulement sur un rail (le haut ou le bas).

La section 3.0 des *Normes de la voie - Ingénierie du CN*¹⁴ précise l'usage recommandé pour les selles au CN dans le cas de lignes supportant de fortes charges par essieu. Les normes du CN indiquent qu'il faut utiliser des attaches élastiques sur les voies des catégories 3 à 6 pour les courbes de plus de 4° supportant un trafic ferroviaire annuel compris entre 20 et 40 MTB. Les normes prescrivent l'utilisation de selles de 16 pouces dans les courbes de plus de 2°. De plus, des selles de 16 pouces et des attaches élastiques doivent être utilisées dans les courbes de plus de 2° supportant un trafic supérieur à 40 MTB. Il n'est pas expressément question dans les normes du CN de l'installation d'attaches élastiques sur un rail seulement ou dans une partie seulement de la courbe.

La section 3.3¹⁵ prescrit l'usage de 2 crampons sur le côté intérieur ainsi que d'un crampon-cheville côté extérieur pour les courbes de 2 à 4° sur les lignes supportant un trafic de plus de 20 MTB. Le crampon supplémentaire côté intérieur assure une plus grande résistance à la rotation du rail et au surécartement.

Wagon DTTX 724638

Le wagon DTTX 724638 était un wagon articulé à 3 éléments de 53 pieds à évidement central, construit par Gunderson (novembre 2002). Les bogies étaient du modèle articulé Barber S2-HD de 125 tonnes, et du modèle S2-C de 70 tonnes pour les bogies de bout; tous étaient équipés par construction de patins stabilisateurs en 2 pièces. Par comparaison avec le patin stabilisateur monobloc d'origine (834-C), les patins stabilisateurs en 2 pièces (915-SW) du bogie S2-HD augmentent sensiblement la limitation du gauchissement chez le bogie S2-HD à 3 éléments, surtout quand il se trouve dans un état usé. Quand on les mesure au cours d'essais de gauchissement en laboratoire, les patins stabilisateurs 915-SW affichent généralement une résistance accrue au gauchissement¹⁶ (par un facteur de 2) par rapport aux patins 834-C. Les glisseurs à contact permanent sur le bogie C du wagon considéré étaient du modèle Miner à

¹⁴ *Normes de la voie - Ingénierie du CN - Section NV 3.0 - Les selles, CN, pages 77-78 approx., mars 2011.*

¹⁵ *Normes de la voie - Ingénierie du CN - Section NV 3.3 - Figure 1, page 95 approx., mars 2011.*

¹⁶ Le bogie courant à 3 éléments est constitué d'une « traverse danseuse » reliant entre eux les 2 longerons dans une configuration en forme de « H ». Sur un bogie ferroviaire en service, le longeron devrait être d'équerre avec la traverse danseuse, c.-à-d. former avec elle un angle de 90°. Si cette perpendicularité n'est pas maintenue ou si la traverse danseuse et le longeron se « tordent » de jusqu'à 1 ou 2° et ne sont plus d'équerre, le bogie « gauchit ». La limitation du gauchissement est synonyme de résistance au gauchissement.

longue course, avec des éléments à ressort 4500LT de la série IV. Les connecteurs articulés étaient du type ASF, avec les parties mâles orientées vers le bout B.

Après le déraillement, on a garé le wagon dans la voie d'évitement à Burwash pour l'inspecter. Des inspections du bogie C ont révélé que la hauteur des patins stabilisateurs était usée au-delà de la limite critique et que la hauteur de réglage de 2 des 4 glisseurs était faible par rapport à celle recommandée dans le *Field Manual of Interchange Rules* de l'Association of American Railroads (AAR)¹⁷.

Après le déraillement (le 18 juillet 2011), on a remplacé les essieux montés 5 et 6 à Burwash et apposé sur le wagon une étiquette d'avarie pour qu'il fasse l'objet d'une inspection supplémentaire et de réparations à Capreol. Après ces réparations, tous les essieux montés retirés (3, 4, 5, 6, 7 et 8) ont été expédiés au centre de maintenance du CN à Chicago pour y subir d'autres tests. Au cours de ces tests, la table de roulement des roues L3 et R3 a montré peu d'usure. Les autres roues arboraient une usure en creux de la table de roulement et une usure du boudin qui n'exigeaient pas de les retirer du service; l'usure était cependant plus prononcée sur les roues L4 et R4.

La remise en service du wagon DTTX 724638 a été autorisée. Celui-ci a été remorqué sous charge jusqu'à Vancouver, puis est retourné à vide à Brampton (Ontario), où on l'a retiré du service pour l'acheminer ensuite au centre d'essais du Transportation Technology Center Incorporated (TTCI) à Pueblo (Colorado) en vue de tests supplémentaires. L'acheminement du wagon s'est déroulé sans incident. Les tests réalisés au centre d'essais du TTCI ont permis de faire les constatations suivantes :

- La force génératrice d'un surécartement exercée sur les rails ainsi que les angles de gauchissement des bogies n'étaient pas suffisants pour provoquer un renversement du rail dans une voie en bon état.
- La force maximale génératrice d'un surécartement que l'on a enregistrée sur le bogie responsable du déraillement s'élevait à 16 kips. Une telle force est considérée comme étant très faible, moins de la moitié de la valeur des niveaux d'alarme établis par l'AAR (38 kips) pour les détecteurs de bogie en voie basés sur la force exercée, et faible comparativement à la charge verticale de 59 kips provenant de chaque côté du bogie.
- L'angle d'attaque moyen¹⁸ de l'essieu monté avant se trouvait dans les limites de ce qui est attendu des bogies classiques. Cet angle inclut en général l'angle de gauchissement du bogie¹⁹, qui était faible lors des tests en courbe. Cela explique que l'angle d'attaque soit resté faible pendant les tests, en dépit de l'espacement entre les butées constaté au cours de l'inspection de démontage.

¹⁷ Règle 46 de l'AAR, *Truck System Performance*, A (2 c.) – Condemnable When Car is On Shop Or Repair Track For Any Reason et Règle 62, *Truck Side Bearings*. Les défauts qui y sont décrits ne peuvent pas facilement être repérés au cours d'une inspection autorisée des wagons (IAW). Il n'est possible de les mesurer au calibre que lorsque le wagon se trouve dans un atelier ou sur une voie de réparation, ou à l'occasion du démontage du bogie.

¹⁸ L'angle pris par l'essieu par rapport à la direction du mouvement.

¹⁹ Un bogie devrait rouler avec la traverse danseuse et le longeron formant entre eux un angle de 90°. L'angle de gauchissement du bogie est l'écart entre l'angle mesuré et 90°.

Le CN a réalisé une analyse à l'aide du logiciel *Train Operations and Energy Simulator* (TOES) pour déterminer les forces en-train à l'origine du déraillement, y compris les forces agissant sur le wagon DTTX 724638 : la force de traction maximale exercée sur le train était de 40 000 livres, la force de compression de 30 000 livres, et la force de traction s'exerçant sur le wagon DTTX 724638 au PDD de quelque 25 000 livres. Ces forces étaient compatibles avec une conduite normale des trains.

Dossiers de la mécanique pour le wagon DTTX 724638

On a analysé les dossiers d'entretien et de réparation du wagon DTTX 724638. En 8 ans, on a remplacé les essieux montés 3 et 4 quinze fois au total, par paires. Douze de ces remplacements ont eu lieu à la suite de valeurs élevées de charges d'impact et, sur 3 essieux montés, on a observé des jantes trop minces et des boudins trop hauts. Par comparaison avec les autres endroits partageant un bogie, ceux des essieux montés 6 et 7 ont été l'objet de 9 remplacements par paires en 8 ans – 5 remplacements survenant à la suite de charges d'impact élevées. Il n'y avait aucun dossier de remplacement de roues pour le motif code 60 de l'AAR (boudin trop haut, qui s'inscrit dans la logique d'un bogie mauvais vireur).

Groupe de travail sur la dynamique des wagons porte-conteneurs à 2 niveaux

À la fin des années 1990, on avait mis sur pied le groupe de travail sur la dynamique des wagons porte-conteneurs à 2 niveaux (Doublestack Dynamics Task Force, DDTF)^{20, 21} pour enquêter sur 22 déraillements impliquant 125 wagons de ces wagons en service intermodal. Tous les déraillements s'étaient produits sur des voies munies de traverses de bois et de crampons classiques dans des conditions de rail sec, surtout dans les régions arides du sud-ouest des États-Unis. Les déraillements avaient plusieurs caractéristiques : renversement du rail bas, courbe de courbure modérée (3 à 7°), vitesse de sous-équilibre du train, extrémité mâle du connecteur articulé située en tête dans le sens du mouvement, faible effort au crochet et wagons chargés (mais la plupart à moins de la capacité de wagons de 100 tonnes).

Le DDTF a conclu que les déraillements, pour se produire, devaient répondre à 5 conditions :

- une perte du moment longitudinal de direction sur le rail haut en raison d'un contact roue-rail en 2 points et d'un graissage excessif du rail haut, le tout associé à un rail bas sec;
- une force latérale élevée de cheminement exercée sur le champignon du rail bas à cause de l'état sec de ce dernier;
- des moments de virage élevés des bogies;

²⁰ Ron Newman et al, An Executive Summary of Doublestack Dynamics Task Force (DDTF) Research, Chicago, 1992.

²¹ Les objectifs du DDTF étaient d'effectuer des tests sur les wagons de 125 tonnes, leurs éléments et leurs bogies, d'évaluer pourquoi ces wagons dérailent et, sur la base des résultats obtenus, de faire des recommandations pour prévenir ces déraillements. Le DDTF a été désigné comme comité d'examen technique pour le projet d'études de l'AAR sur les déraillements inexpliqués.

- le gauchissement de l'ensemble longeron-traverse danseuse à cause d'une faible limitation du gauchissement des bogies; et
- une résistance insuffisante au renversement du rail bas à cause de l'absence d'un bogie adjacent sur le wagon articulé pour fournir une charge verticale de maintien du rail, un système de fixation des rails inadéquat ou des traverses mâchées par les crampons et le déplacement du contact vertical et de l'angle de contact vers le côté extérieur du rail (facteur B/H).

L'étude a proposé des stratégies correctives pour le court et le long terme. Actions à court terme :

- un graissage annuel des crapaudines et des connecteurs;
- une attention portée au bon réglage du dégagement des glissoirs de traverse danseuse;
- éviter les plans de meulage de rails à contact en 2 points;
- éduquer le personnel de la voie et de la mécanique aux bonnes procédures de maintenance;
- évaluer et utiliser des designs améliorés de glissoirs de caisse.

Prévention à long terme :

- mettre au point de nouveaux designs de bogies résistant au gauchissement;
- poursuivre la conception de moyens pour réduire les moments de virage défavorables;
- améliorer la résistance du rail au renversement dans les courbes munies de traverses en bois et de crampons classiques en installant des attaches de qualité supérieure, des traverses de béton ou autres moyens de maintien;
- maintenir un suivi des itinéraires utilisés pour les wagons porte-conteneurs à 2 niveaux de façon à assurer une bonne tenue de l'écartement sous charge et la résistance latérale, autant sur le rail haut que sur le rail bas.

Position des locomotives en traction répartie (TR)

La section H 2.8 de l'imprimé 8960 du CN énonce les exigences du CN relatives à la formation des trains pour un seul groupe télécommandé fonctionnant en traction répartie. Selon ces exigences, la distance maximale séparant les groupes de tête et télécommandé en traction répartie ne doit pas dépasser 10 500 pieds, mais peut être portée à 12 000 pieds dans le cas de trains acheminant uniquement du trafic intermodal. La position des groupes télécommandés en traction répartie dépend de l'environnement d'exploitation, y compris de critères comme le type de train, la longueur, le tonnage remorqué et le corridor utilisé.

À la suite du présent évènement, le CN a procédé à une comparaison des données des consignateurs d'évènements des deux locomotives. Il a été confirmé que :

- les données de l'enregistreur d'évènements de la locomotive de tête CN 2216 et de la locomotive menée/télécommandée CN 8856 étaient synchronisées avec l'heure du GPS;

- la locomotive télécommandée, marchant dans le mode synchrone de la TR, n'accusait aucune interruption des communications radio en TR et répondait immédiatement aux signaux de celle-ci pour la commande du train.

Autres évènements connexes sur la subdivision Bala

Depuis 2004, il y a eu sur la subdivision Bala 21 autres déraillements en voie principale, dont cinq (24 %) impliquaient des trains intermodaux de la série Q²² et ont entraîné le déraillement de 94 caisses de wagon. La géométrie de la voie a été reconnue comme le principal facteur dans 3 des 5 évènements. Des enquêteurs du BST ont été envoyés sur le terrain pour deux des cinq évènements. Dans les deux cas, les déraillements mettaient en cause une inclinaison du rail bas et une chute des roues :

- **R04T0161 (Burton)** - Le 25 juillet 2004, 45 caisses du train de marchandises intermodal Q-11131-25 ont déraillé au point milliaire 185,50 de la subdivision Bala près de Burton (Ontario). Une analyse dynamique a déterminé que le train avait quitté les rails quand le 15^e wagon, le DTTX 750219, avait renversé le rail bas au point milliaire dans le tronçon à 5 degrés d'une courbe à droite composée. Cinq facteurs avaient contribué au déraillement : le frottement et contact roue-rail, la méthode de fixation du rail, les caractéristiques de virage des wagons et le tracé de la voie. De récentes activités de remise à l'écartement de la voie avaient consisté à installer des selles de 16 pouces et des attaches élastiques sur le rail haut. Le rail bas était muni de crampons classiques et de selles de 14 pouces.
- **R06T0125 (South Parry)** - Le 6 juin 2006, le train de marchandises intermodal Q10251-02 du CN a déraillé au point milliaire 147,60 de la subdivision Bala, à l'aiguillage nord de la voie d'évitement de South Parry. Un mélange d'attaches élastiques récemment installées était utilisé sur le rail haut et un nombre passable d'anticheminants sur le rail bas. Le 6^e wagon, le DTTX 57532 à plates-formes multiples, a déraillé quand le rail bas dans une courbe à gauche de 6 degrés s'est incliné. La roue L4 (roue arrière, côté bas) est tombée à l'intérieur, et les roues suivantes ont fait de même.

Rapport du laboratoire technique du BST LP 138/2011 – Analyse des forces dynamiques du train

Le Laboratoire du BST s'est livré à un examen de la recherche actuelle et de l'information sur les sites d'accident pour évaluer l'état des roues/de la voie avant le déraillement et déterminer les scénarios de déraillement les plus probables. L'analyse du laboratoire a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les roues L3 et L4 sont tombées dans l'écartement tout près l'une de l'autre, mais pas en même temps.

²² Les cinq évènements en question ont fait l'objet des rapports suivants : R04T0161 (cause : inclinaison et renversement du rail), R04T0269 (cause indéterminée), R05T0002 (jante éclatée), R06T0125 (cause : inclinaison et renversement du rail) et R10T0127 (tracé de la voie).

- L'inclinaison négative existante du rail bas avait sans doute augmenté à la suite du contact roue-rail non conforme²³ vers le côté extérieur du rail bas. Quand le rail s'incline, le vecteur descendant de la charge verticale tend à se déplacer vers le côté extérieur, réduisant ainsi dans les faits le rapport L/V (ou B/H)²⁴ requis pour produire un renversement du rail ou un déraillement par surécartement, ce qui augmente le potentiel d'un renversement du rail (Figure 4).

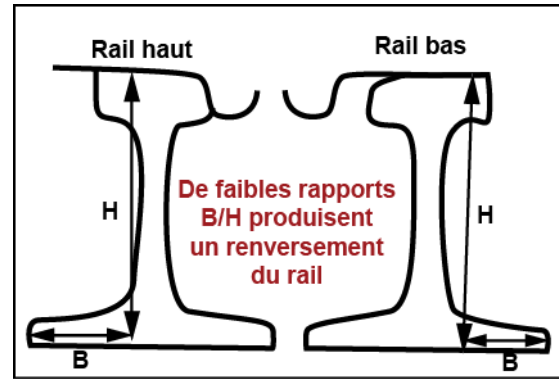


Figure 4. Rapport L/V
(Source : Rapport TD-11-052 du TTCI/NS)

- Le point de contact roue-rail s'est déplacé du sommet du rail à son congé intérieur, ce qui a entraîné la chute des roues, comme l'ont confirmé les marques. Si les deux roues L3 et L4 avaient roulé simultanément sur le sommet du rail, le rail incliné aurait retrouvé sa position verticale, le rapport B/H ²⁵ aurait augmenté à une valeur d'au moins 0,64 une fois les deux roues de retour sur le côté intérieur, et les roues ne seraient pas tombées entre les rails.
- Les bogies précédant et suivant étaient trop éloignés pour maintenir le rail incliné de façon à provoquer la chute des autres roues.
- Par conséquent, le scénario le plus plausible est que la roue L3 est tombée en premier, suivie de la roue L4. En fait, les deux roues se sont aidées mutuellement. D'abord, les deux roues ont travaillé ensemble alors que le rail s'inclinait. Ensuite, la roue L3 a franchi le sommet du rail pour tomber dans l'écartement, tandis que la roue L4 maintenait le rail incliné. En dernier lieu, la roue L3 a maintenu ouvert le rail incliné pour permettre à la roue L4 de franchir le champignon du rail et de tomber à son tour dans l'écartement.
- Les deux points de chute étaient très proches du rail. Cependant, la marque de jante sur l'âme du rail bas où se trouve la seconde marque sur cette âme indique que la roue L3 avait déjà déraillé quand la roue L4 a quitté le champignon du rail : le délai entre les deux chutes était court, mais non simultané.

²³ Un contact « non conforme » fait référence aux différences dans le profil de la surface de la table de roulement en contact avec le profil du champignon du rail. Il est connu aussi sous le nom de « contact roue-rail en deux points ».

²⁴ On peut calculer le potentiel de renversement d'un rail au moyen du rapport entre le patin du rail et la hauteur du rail. Les charges latérales agissent sur un bras de moment se trouvant à quelque 7 pouces au-dessus du sommet du rail. Cette force tend à renverser le rail vers l'extérieur, dans le sens horaire. Les charges verticales sont appliquées près du congé intérieur, ce qui crée un moment à environ 4,5 pouces transversalement à partir du point de pivotement au niveau du patin; là, les charges verticales tentent, dans un sens antihoraire, de ramener le rail dans sa position non renversée. Une fois équilibrées, ces forces maintiennent le rail en place. Le pire contact, avec le congé extérieur du champignon, d'une roue à table de roulement usée en creux peut entraîner un rapport L/V de 0,22.

²⁵ En l'absence d'effet de maintien par les crampons, la résistance au renversement (B/H) est égale au rapport L/V . L'inclinaison du rail et le soulèvement des crampons sont déjà un fait accompli.

- Pour qu'une chute de roue se produise sur le rail bas, il aurait fallu que la roue L3 pousse contre le rail haut en franchissant la courbe. Dans une courbe à droite, la roue sur le rail haut recherchera un rayon de roulement (congé intérieur du champignon/congé du boudin) pour que chaque roue parcoure une distance égale dans la courbe, produisant ainsi un moment de direction. L'usure du congé intérieur de champignon et l'inclinaison du rail bas forcent l'essieu monté à effectuer des mouvements de lacet pour obtenir le meilleur contact conforme, et la plus grande usure en creux du profil sur les essieux montés arrière favorise encore plus la migration du contact roue-rail vers le côté extérieur du rail.
- Pour un bogie franchissant une courbe avec des contacts roue-rail non conformes et un changement rapide dans l'écartement, on s'attend que se forme, au cours du passage en courbe, un angle d'attaque plus grand que la normale. Un tel angle favorise le gauchissement d'un bogie s'il est usé, mais aussi, dans le cas d'un design de bogie rigide et d'un surécartement, peut générer encore d'importants mouvements de lacet du bogie et des charges latérales élevées. Les marques de jante de roue sur le champignon du rail bas et la séquence rapide qui a mené à la chute des roues témoignent d'un angle d'attaque plus grand.

Analyse

L'analyse de la marche des locomotives en traction répartie n'a révélé aucune action anormale et que de faibles forces en-train au moment du déraillement; ces facteurs ne sont donc pas intervenus dans l'évènement. L'analyse se concentrera sur l'effet que la géométrie de la voie et le comportement des wagons ont eu sur le déraillement.

L'accident

Deux marques identiques de jante de roue sur l'intérieur du rail bas dans une pleine courbe à droite de 3 degrés et la présence d'une abrasion sur la face de la jante des roues L3 et L4 du bogie C du wagon DTTX 724638 indiquent que les deux roues en question ont été les premières à quitter les rails. Elles sont tombées dans l'écartement presque en même temps alors que le bogie négociait la courbe.

Les déraillements dus à une chute de roues ont pour caractéristiques des charges latérales élevées sur la voie, une résistance réduite du rail au renversement ou une combinaison de ces facteurs. Une courbe de 3 degrés utilisée dans un seul sens, un trafic de près de 40 MTB, dont plus de 50 % en service intermodal de porte-conteneurs à deux niveaux (type de wagon exerçant des charges latérales élevées sur la voie) et des traverses vieillissantes devraient normalement produire des signes que de telles charges s'exercent effectivement sur la voie. Parmi ces signes, mentionnons des activités de remise à l'écartement qui remontent à 2009 ainsi que, à proximité du PDD, la récurrence en 2010 d'un surécartement localisé nécessitant une intervention quasi urgente. Une inspection physique a déterminé que la plupart des défauts d'écartement récents étaient imputables à des traverses entaillées par les selles et à d'autres mâchées par les crampons ainsi qu'à une mauvaise inclinaison du rail.

Bien qu'on ait remis à l'écartement le rail bas pour corriger le défaut d'écartement, des conditions similaires ont été observées au PDD après le déraillement. La présence de traverses entaillées par des selles sur le côté extérieur et l'usure des appuis du rail bas étaient compatibles avec une inclinaison négative préexistante du rail. Des crampons étaient soulevés et désolidarisés, des traverses usées et des anticheminants et des selles abrasés d'une manière compatible avec une importante et constante inclinaison localisée sous charge du rail bas. De plus, le rail bas était fixé avec un seul crampon-cheville sur le côté intérieur et reposait seulement sur des selles de 14 pouces, contrairement aux normes du CN pour le degré de courbure et le niveau de trafic considérés. Toutes ces conditions ont contribué à réduire la résistance du rail bas au renversement. Par conséquent, quand le wagon DTTX 724638 du train Q10251-10 est entré dans la pleine courbe de 3 degrés au sud du chemin Puska's Road, les roues L3 et L4 du bogie articulé C sur ce wagon sont tombées dans l'écartement, à la hauteur de la courbe, en raison des charges localisées qui s'exerçaient sur la voie, de l'inclinaison négative du rail bas et de sa résistance inadéquate au renversement.

De récentes recherches par le TTCI et Norfolk Southern ont démontré que des activités de renouvellement des traverses et de remise à l'écartement peuvent entraîner un surécartement dynamique localisé et accru si on n'accorde pas une égale attention à la fixation des deux rails. Lors de la remise à l'écartement effectuée en 2009, on avait ramené le rail haut vers l'intérieur dans la courbe au sud du chemin Puska's Road, rempli de colle les trous de crampon et fixé la voie au moyen de 6 ou 7 crampons par selle. Cependant, le rail bas a continué d'être fixé aux selles seulement à raison de quatre crampons par selle – deux pour retenir la selle sur la traverse – et un seul crampon-cheville, côtés intérieur et extérieur, pour fixer le rail à la selle. À cause de ce plan de cramponnage, la résistance du rail bas à sa rotation et au surécartement était inférieure aux normes de la voie du CN et sensiblement moins élevée que celle assurée par les moyens de fixation utilisés sur le rail haut.

La surveillance de la voie par TC avant le déraillement et les mesures de la voie prises après indiquaient un état de sous-écartement juste avant le PDD. Un sous-écartement, joint à une fixation du rail bas inférieure aux normes, augmente les efforts latéraux, favorise un contact roue-rail non conforme plus loin vers le côté extérieur du rail et réduit ainsi sa résistance au renversement. L'inclinaison du rail dans une zone de sous-écartement se transmet dans le sens de la marche du train (vers le sud en direction du PPD).

Le démontage du matériel après le déraillement a permis de découvrir une usure de certains éléments du bogie. Une telle usure n'aurait pu être reconnue au cours d'inspections autorisées des wagons effectuées normalement en service. Conjugée à des variations dans le tracé de la voie et à une usure du congé extérieur liées à une gestion inadéquate du frottement roue-rail²⁶, l'usure du bogie le rend normalement plus vulnérable au gauchissement. Des forces de virage élevées sont également imputées au style, utilisé dans le cas présent, de wagons intermodaux porte-conteneurs à deux niveaux à plates-formes multiples. Cependant, des tests effectués sur le bogie après le déraillement donnent à penser que le modèle rigide de bogie à patins

²⁶ Ni le meulage ni le graissage ne suffisent à eux seuls à bien gérer l'interface roue-rail; les avantages d'un programme combiné de meulage des rails et de gestion du frottement sont reconnus et largement acceptés. - « Grinding, Friction Management, Handling HAL Maintenance of Way Headaches, » *Railway Track & Structures*, juillet 2004.

stabilisateurs en deux pièces utilisé dans le wagon DTTX 724638 présentait une résistance améliorée au gauchissement. L'usure du rail au congé intérieur et l'inclinaison du rail bas compromettent la stabilité et la conformité du contact roue-rail, compte tenu de la faible conicité des roues de l'essieu monté n° 3 et de l'usure en creux (mais non critique) du profil de la roue sur l'essieu monté n° 4 du wagon DTTX 724638. Des charges latérales élevées sur la structure de la voie peuvent aussi se créer avec un bogie plus rigide, les roues effectuant alors des mouvements de lacet pour stabiliser le contact roue-rail entre des surfaces non conformes. Au PDD, la combinaison de divers facteurs, à savoir des profils de contact roue-rail non conformes, des variations du tracé de la voie et l'usure d'éléments de bogie (aucun de ces facteurs n'exigeant par ailleurs des soins urgents en service), a augmenté les forces de passage dans la courbe et agrandi l'angle d'attaque sur les essieux montés avant et arrière. Au même moment, la fixation inadéquate du rail bas et le déplacement du contact de la roue vers le côté extérieur de ce rail ont réduit sa résistance au renversement. Le rail bas s'est incliné vers l'extérieur, permettant à la roue L3, puis à la roue L4 de se suivre sur le champignon du rail et de tomber dans l'écartement presque en même temps.

L'état de la voie entre le PPD initial et le lieu de l'empilement qui a suivi indiquent que, au début, seules les roues L3 et L4 déraillèrent. Les wagons qui suivaient ont pu franchir le PDD à l'aiguillage sud sans dérailler. Immédiatement au-delà du PDD, le rail se conformait aux limites prescrites dans le RSV et présentait une résistance à la torsion suffisante pour supporter les deux premières roues à dérailler et empêcher qu'il se renverse ou bascule latéralement sur le côté extérieur.

En dépit des inspections et des tests détaillés effectués sur le wagon dans trois différents centres d'essais, les résultats des essais n'ont pas été concluants. Le wagon DTTX 724638 avait pu parcourir des milliers de milles sans dérailler, jusqu'à ce qu'il franchisse la courbe à Waterfall. Des tests dynamiques pratiqués sur le bogie articulé C ont démontré qu'il n'exerçait pas d'efforts latéraux élevés sur la voie d'essais du TPCI. Cependant, un examen détaillé a révélé que plusieurs éléments du wagon étaient hors normes, mais leur état ne justifiait pas de retirer le wagon du service.

Quand on prend en considération les variations de la géométrie de la voie et l'état des éléments du wagon, aucun de ces facteurs à lui seul n'a été jugé suffisant pour créer les conditions du déraillement. Ces conditions découlaient probablement des effets combinés de la structure affaiblie de la voie, de l'état des éléments du wagon et du comportement connu dans les virages des wagons porte-conteneurs à deux niveaux.

Procédures d'inspection et d'entretien de la voie

Chaque année sur la subdivision Bala, on procède à de fréquents contrôles de la géométrie de la voie à l'aide de la voiture TEST. Au cours de chaque contrôle, on repère et corrige, selon les besoins, les défauts exigeant une intervention quasi urgente ou prioritaire. Chaque contrôle produit une bande graphique qui peut aider à planifier les travaux d'entretien et de réparation de la voie. Avec une telle bande graphique, il est possible de déterminer les tronçons de voie qui se détériorent, mais pas encore au point qu'on enregistre la situation comme un défaut.

Dans le présent évènement, la voiture TEST avait enregistré depuis au moins 2009 des conditions de surécartement, de tracé et de surface ne donnant pas lieu à une intervention, ainsi qu'une perte d'inclinaison sur les deux rails près du passage à niveau du chemin Puska's Road. Même si les anomalies de géométrie se situaient dans les limites du *Règlement sur la sécurité de la voie* pour les voies de catégorie 4 et qu'aucune mesure corrective ne s'imposait, les effets de ces anomalies (inclinaison, écartement et usure des rails) ont contribué à un surécartement dynamique accru et à un mauvais comportement des wagons en virage. Quand on ne surveille pas étroitement et qu'on ne corrige pas en temps opportun des anomalies de géométrie de la voie récurrentes qui ne donnent pas lieu à une intervention, il y a un risque accru que ces défauts ne nécessitant pas d'intervention urgente, associés à d'autres anomalies du matériel roulant ou de la voie, puissent entraîner un déraillement.

Résistance réduite du rail au renversement pour les wagons intermodaux articulés

Les risques au sujet du comportement en virage du matériel ferroviaire intermodal sont bien connus. Les wagons à plates-formes partageant des attelages dont l'extrémité mâle est en tête dans la direction du mouvement produisent des efforts latéraux élevés qui, s'ils sont suffisamment importants, peuvent renverser le rail. Il est connu également que les bogies articulés ont pour résultat de réduire la résistance du rail à son renversement, puisque les plates-formes partagent un bogie plutôt que d'en avoir un en propre. Pour réduire au minimum l'effet de cette résistance réduite du rail à son renversement, le groupe de travail sur la dynamique des wagons porte-conteneurs à deux niveaux a établi un certain nombre de stratégies correctives, dont celles d'utiliser des attaches de qualité supérieure dans les courbes et de veiller au maintien de l'écartement de la voie et de la résistance latérale, une attention égale étant accordée aux rails haut et bas.

Impact sur les courbes des activités de remise à l'écartement et de renouvellement des traverses

La subdivision Bala constitue un itinéraire intermodal à haute densité de trafic. Ces dernières années, le BST a dépêché des enquêteurs sur trois sites de déraillements (Burton, South Parry et le présent site) imputables à une inclinaison et à un renversement du rail bas. Dans les trois cas, le déraillement a été précédé d'activités de remise à l'écartement marquées par des efforts pour améliorer la résistance du rail au renversement. Cependant, les activités de remise à l'écartement n'ont pas amélioré de façon égale sur les rails haut et bas l'écartement de la voie sous charge et la résistance latérale.

Avant les déraillements de Burton et de South Parry, seul le rail haut avait été équipé d'attaches élastiques et des selles en fonte de 16 pouces. En ce qui concerne le présent évènement, le rail haut avait reçu de nouvelles fixations, à savoir 6 ou 7 crampons par selle, tandis que le rail bas avait conservé ses fixations de 4 seulement 4 crampons par selle. Dans chaque cas, on avait amélioré la résistance aux efforts latéraux générateurs d'un surécartement dynamique. Cependant, sans une amélioration similaire sur le rail bas, les efforts latéraux engendrés par le passage des trains agissent sur le rail bas moins résistant, ce qui a pour effet d'augmenter la détérioration de ses attaches ainsi que son déplacement ou son inclinaison. Par conséquent,

quand des activités de remise à l'écartement et de renouvellement des traverses sont menées dans des courbes sans amélioration de la résistance des rails haut et bas aux efforts générateurs d'un surécartement, le risque augmente que des déraillements se produisent par suite d'une inclinaison anormale ou du renversement du rail bas, et d'une chute de roues due à un surécartement.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Le wagon DTTX 724638 du train Q10251-10 a déraillé quand les roues L3 et L4 du bogie articulé C de ce wagon sont tombées dans l'écartement à la hauteur d'une courbe de 3 degrés en raison des charges latérales élevées exercées sur le rail bas, d'une inclinaison négative localisée de ce rail et de sa résistance insuffisante au renversement.
2. Au point de déraillement, une combinaison de profils de contact roue-rail non conformes, de variations du tracé de la voie et d'usure d'éléments de bogie, aucun de ces facteurs n'exigeant par ailleurs des soins urgents en service, a augmenté les forces latérales de passage dans la courbe et agrandi l'angle d'attaque sur les essieux montés avant et arrière.
3. Au même moment, la fixation inadéquate du rail bas, son inclinaison négative et le déplacement du contact de la roue vers le côté extérieur de ce rail ont réduit sa résistance au renversement. Le rail bas s'est incliné vers l'extérieur, permettant à la roue L3, puis à la roue L4 de se suivre sur le champignon du rail et de tomber dans l'écartement presque en même temps.
4. Les deux roues déraillées ont poursuivi leur route vers le sud sans faire basculer le rail latéralement. À l'aiguillage sud de la voie d'évitement de Waterfall, les roues déraillées ont heurté le cœur de croisement et se sont remises sur rails, mais les wagons à partir du 14^e et jusqu'au 22^e ont déraillé et se sont mis en portefeuille.
5. Le déraillement a découlé des effets conjugués de la structure de voie affaiblie, de l'usure d'éléments du bogie et du comportement en virage du wagon porte-conteneurs à deux niveaux.

Faits établis quant aux risques

1. Quand on ne surveille pas étroitement et qu'on ne corrige pas en temps opportun des anomalies de géométrie de la voie récurrentes qui ne donnent pas lieu à une intervention, il y a un risque accru que ces défauts ne nécessitant pas d'intervention urgente, associés à d'autres anomalies du matériel roulant ou de la voie, puissent entraîner un déraillement.
2. Quand des activités de remise à l'écartement et de renouvellement des traverses sont menées dans des courbes sans amélioration de la résistance des rails haut et bas aux forces génératrices d'un surécartement, le risque augmente que des déraillements se produisent par suite de la mauvaise inclinaison ou du renversement du rail bas, et d'une chute de roue due à un surécartement.

Autres faits établis

1. Quand on prend en considération les variations de la géométrie de la voie et l'état des éléments du wagon, aucun de ces facteurs à lui seul n'a été jugé suffisant pour créer les conditions du déraillement.
2. Afin de réduire au minimum l'effet, pour les wagons intermodaux articulés, d'une résistance réduite du rail à son renversement, le groupe de travail sur la dynamique des wagons porte-conteneurs à deux niveaux a établi un certain nombre de stratégies correctives, consistant notamment à utiliser des attaches de qualité supérieure dans les courbes et à veiller au maintien de l'écartement de la voie et de la résistance latérale, une attention égale étant accordée aux rails haut et bas.

Mesures de sécurité

TC a discuté avec le CN des préoccupations liées aux plans de cramponnage utilisés sur la subdivision Bala du CN. Le CN a confirmé que la totalité du rail bas dans la courbe comportait maintenant une quantité suffisante de crampons, au bon endroit, pour respecter ou dépasser la *Norme de la voie 3.3 - Attaches de rail* du CN. Le CN continuera de procéder à des inspections ciblées sur la subdivision Bala de façon à détecter tout autre endroit pouvant soulever des préoccupations, et à y apporter les correctifs nécessaires.

En guide de suivi, TC prévoit effectuer en octobre 2012 une vérification de sécurité à cet endroit de la subdivision Bala pour y surveiller les risques associés à des défauts exigeant une intervention quasi urgente.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 26 septembre 2012.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits, visitez son site Web (www.bst-tsb.gc.ca). Vous y trouverez également la Liste de surveillance qui décrit les problèmes de sécurité dans les transports présentant les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a établi que les mesures prises jusqu'à présent sont inadéquates, et que tant l'industrie que les organismes de réglementation doivent prendre de nouvelles mesures concrètes pour éliminer ces risques.