

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE

R04T0161



DÉRAILLEMENT

CANADIEN NATIONAL
TRAIN DE MARCHANDISES N° Q-111-31-25
POINT MILLIAIRE 184,4 DE LA SUBDIVISION BALA
BURTON (ONTARIO)
LE 25 JUILLET 2004

Canada

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet accident dans le seul 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

Déraillement

Canadien National

Train de marchandises n° Q-111-31-25

Point milliaire 184,4 de la subdivision Bala

Burton (Ontario)

Le 25 juillet 2004

Rapport numéro R04T0161

Résumé

Le 25 juillet 2004 vers 9 h 23, heure avancée de l'est, tandis que le train de marchandises n° Q-111-31-25 du Canadian National roulait vers le nord à une vitesse de 43 mi/h, 13 de ses wagons intermodaux à plates-formes multiples, transportant 88 conteneurs, ont déraillé au point milliaire 184,38 de la subdivision Bala, près de Burton (Ontario). Le déraillement a causé la destruction de la voie sur une distance d'environ 2 300 pieds. L'accident n'a fait aucune victime, et il n'y a pas eu de déversement de marchandises dangereuses.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

L'accident

Le 25 juillet 2004 vers 9 h 23, heure avancée de l'est¹, le train intermodal exprès de marchandises n° Q-111-31-25 (le train) du Canadien National (CN)² part de Parry Sound (Ontario) à destination de Winnipeg au Manitoba (voir la figure 1). Le train se compose de 2 locomotives, nos CN 2542 et CN 5546, et de 28 wagons intermodaux chargés, en l'occurrence des wagons articulés à évidement central à une seule plate-forme, à trois plates-formes et à cinq plates-formes. Il mesure 5 919 pieds et pèse environ 5 750 tonnes. L'équipe se compose d'un mécanicien et d'un chef de train. Les membres de l'équipe se conforment tous deux aux normes en matière de repos et de condition physique et ils connaissent bien la subdivision. Le chef de train, désigné par le CN comme étant chef de train-conducteur de locomotives (CTCL)³, est aux commandes du groupe de traction. Deux autres membres du personnel d'exploitation prennent place dans la seconde locomotive.

Aux alentours du point milliaire 184, le train gravit une rampe à une vitesse de 43 mi/h. Il entre dans une courbe composée à droite, suivie d'une courbe vers la gauche. Les freins sont desserrés.

L'équipe ressent deux secousses dans le train, après quoi un serrage d'urgence intempestif (SUI) des freins du train se produit. La tête du train s'immobilise au point milliaire 185,5, soit à quelque 6,7 km (4,2 milles) au nord de la voie d'évitement de Burton, en Ontario (voir la figure 1).

Le temps est ensoleillé et il fait 24 °C.

¹ Toutes les heures sont exprimées en HAE (Temps universel coordonné [UTC] moins quatre heures).

² Voir l'annexe C, Sigles et abréviations.

³ Le poste de chef de train-conducteur de locomotive (CTCL) correspond à une désignation établie par le CN. Après avoir terminé avec succès un programme de formation et de certification conçu et mis en application par la compagnie, les chefs de train désignés comme CTCL sont autorisés par le CN à conduire des locomotives sous la supervision d'un mécanicien qualifié. Le poste de CTCL n'est pas une désignation du personnel d'exploitation qui est reconnue dans la réglementation relative à la conduite des locomotives.

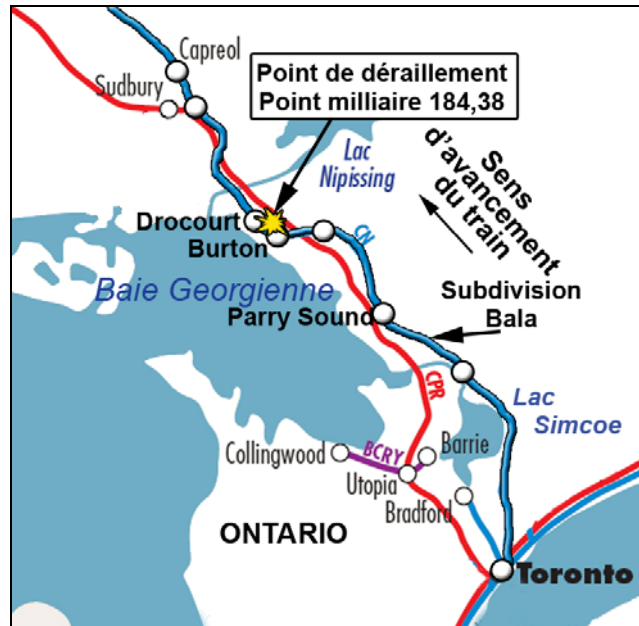


Figure 1. Lieu où le déraillement s'est produit
(Source : Association des chemins de fer du Canada,
Atlas des chemins de fer canadiens)

Après avoir transmis les messages d'urgence qui s'imposent, le chef de train entreprend d'inspecter le train. Il constate qu'une séparation du train s'est produite à environ 400 pieds (250 m), et remarque qu'une mâchoire d'attelage est brisée. On fait avancer le train afin de remplacer la mâchoire d'attelage, après quoi on fait revenir le train en marche arrière pour le réatteler à sa partie arrière. Le chef de train s'aperçoit alors que des wagons de la partie arrière du train ont déraillé. Comme la feuille de train indique que certains des conteneurs mêlés au déraillement renferment des produits dangereux, l'équipe signale immédiatement la situation au contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) et l'avise de l'endroit où le déraillement s'est produit.

Inspection sur place

Le wagon n° DTTX 728396, wagon articulé à trois plates-formes, était le 11^e wagon du train et il était celui des wagons déraillés qui était le plus au nord. Le bogie arrière de la troisième caisse (plate-forme B) avait déraillé. Tous les wagons qui suivaient, jusqu'au 23^e wagon inclusivement, (n° NKCR 1229), avaient déraillé (voir la figure 2).

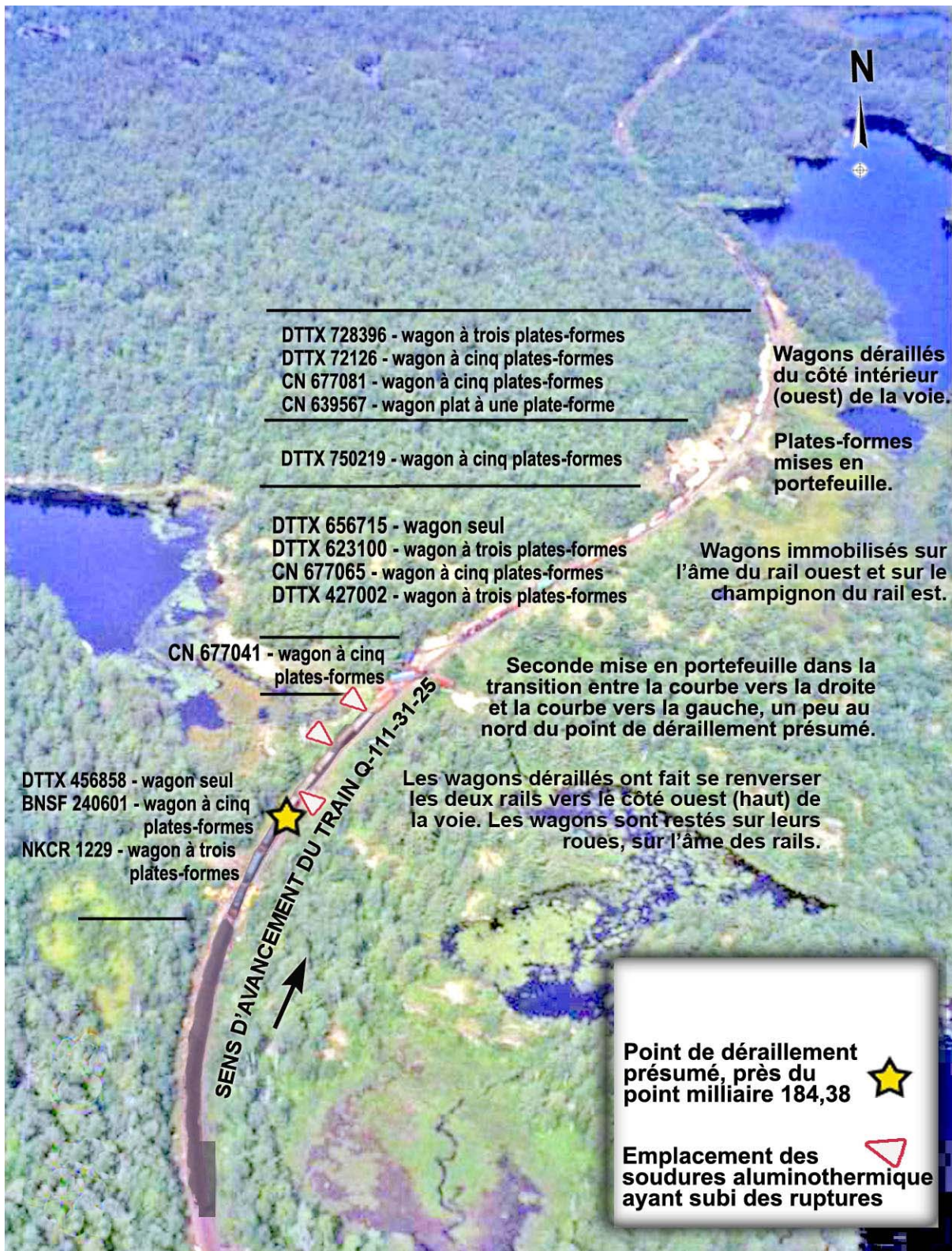


Figure 2. Vue aérienne des lieux du déraillement (Source : photo du BST)

Les trois wagons qui suivaient le DTTX 728396 (les 12^e, 13^e et 14^e wagons) ont tous déraillé à la file du côté intérieur de la courbe à gauche, le rail ouest ayant été renversé vers le côté extérieur de la courbe. Le 14^e wagon, n^o CN 639567, est resté sur ses roues sur la plate-forme de la voie, et est resté attelé au 15^e wagon, n^o DTTX 750219.

Le wagon n^o DTTX 750219 était un wagon intermodal articulé à cinq plates-formes avec évidemment central, dont le bout A était à l'avant. Il a déraillé et s'est mis en portefeuille du côté ouest de la voie. Les conteneurs qu'il portait ont été fortement endommagés, et un des conteneurs a perdu une partie de son chargement. Il a été déterminé par la suite que le produit en question était un liquide non dangereux.

Les quatre wagons qui suivaient (les 16^e, 17^e, 18^e et 19^e) sont restés sur leurs roues après avoir déraillé. Le rail ouest s'étant renversé du côté extérieur de la voie, les wagons se sont immobilisés avec leurs roues reposant sur l'âme du rail ouest et sur le champignon du rail est. La dernière plate-forme du 18^e wagon avait déraillé et s'était éloignée du rail renversé en direction ouest, finissant sa course contre la pente sud d'un étroit talus rocheux. Le 20^e wagon, un wagon intermodal articulé à cinq plates-formes avec évidemment central, s'est mis en portefeuille en travers de la voie. Quant au 23^e wagon (n^o NKCR 1229) et aux wagons déraillés les plus au sud, ils sont restés à la verticale, toutes leurs roues reposant sur l'âme du rail renversé. Même si le matériel roulant qui a déraillé transportait des marchandises dangereuses, il n'y a eu aucun déversement de produits et il n'y a pas eu de victimes.

Le premier signe montrant que les roues étaient tombées du rail a été relevé sur le rail est aux environs du point milliaire 184,38. Le rail était incliné vers l'extérieur et montrait des marques de boudin de roue sur la face intérieure et l'âme du côté intérieur du rail. Au nord de ce point, sur une distance de 400 pieds, on a relevé trois ruptures du rail dans des soudures aluminothermiques, deux dans le rail haut et une dans le rail bas. La rupture relevée dans le rail bas (est) se trouvait au point milliaire 184,42. Au nord de cette rupture du rail, on a constaté que le rail bas s'était renversé sur le côté intérieur et montrait des marques de boudin de roue (et des roues reposant) sur le côté extérieur de l'âme du rail. Une rupture localisée dans le rail haut (ouest) au point milliaire 184,45 se trouvait au point de transition entre deux systèmes différents de fixation du rail. Après qu'on eut fait revenir le train en arrière, on a relevé de nombreuses marques de boudin de roue et marques d'écrasement des abouts de rails sur le côté intérieur des deux rails.

La voie ferrée a été détruite sur une distance d'environ 2 300 pieds.

Subdivision Bala

La subdivision Bala fait partie de la ligne principale transcontinentale du CN et va, du sud vers le nord, de Toronto, en Ontario (point milliaire 0,0), à Capreol en Ontario (point milliaire 276,1). Il s'agit d'une voie principale simple de catégorie 4⁴ sur laquelle la vitesse maximale autorisée est de 60 mi/h pour les trains de marchandises et de 70 mi/h pour les trains de voyageurs.

⁴ Transports Canada, *Règlement sur la sécurité de la voie*, Partie II, A. CATÉGORIES DE VOIES : Limites de vitesse de circulation

En 2004, cette subdivision a acheminé un trafic de l'ordre de 39,7 millions de tonnes brutes (MTB), soit une augmentation de 4 p. 100 par rapport à 2002 (38,1 millions). Le trafic intermodal représente 50 p. 100 du trafic ferroviaire depuis 2001.

Dans la subdivision Bala, la circulation des trains est régie grâce au système de commande centralisée de la circulation (CCC) en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REF), et elle est supervisée par un CCF posté à Toronto.

Renseignements sur la voie

Dans le secteur du déraillement, la voie décrit une courbe composée vers la droite, de cinq à trois degrés, suivie d'une courbe de trois degrés vers la gauche, et gravit une rampe de 0,5 p. 100. Dans le secteur du déraillement, la vitesse maximale autorisée pour les trains de marchandises était de 45 mi/h.

Dans la portion à cinq degrés de la courbe, la voie était faite de rails Nippon à champignon traité thermiquement, fabriqués en 1998. Le rail haut reposait sur des traverses de bois dur et il était retenu en place par des attaches de type élastique (attaches Pandrol de type « E»), et il reposait sur des selles de rail en fonte ductile, mesurant 7 ½ pouces sur 16 pouces, le tout retenu aux traverses par trois tire-fonds, deux du côté extérieur et un du côté intérieur, dans une partie de la courbe. Dans le reste de la courbe, on avait posé quatre crampons par traverse et utilisé des anticheminants de type Fair pour encadrer le rail. Ces derniers travaux avaient été faits au cours des deux mois précédant l'accident et étaient destinés à corriger un surécartement de la voie dans la courbe.

Le rail bas était posé sur des selles de rail standard de 14 pouces à double épaulement, il était retenu par quatre crampons par selle de rail, et encadré par des anticheminants Fair à chaque traverse. De chaque côté de la zone où la voie a été détruite, le taux de traverses défectueuses se situait entre 25 et 30 p. 100. On n'a relevé aucun mouvement évident du rail jusqu'au point où la voie a été détruite. Le ballast consistait en un mélange de pierre concassée et de scories reposant sur un matériau sablonneux placé sous les traverses. Les cases étaient garnies et les épaulements dépassaient de 12 pouces les têtes des traverses.

Une auscultation des rails de la subdivision a été faite par la voiture Sperry à la fin de mai/au début de juin 2004. Aucune anomalie n'a été signalée à cette occasion. La subdivision Bala fait l'objet de huit contrôles des rails par année, dont la plupart sont faits pendant les mois d'hiver.

Le dernier passage de la voiture d'évaluation de la voie (voiture TEST) a eu lieu le 15 juillet 2004. À cette occasion, la voiture TEST a enregistré dans le secteur du déraillement plusieurs défauts de la géométrie de la voie qui exigeaient des interventions urgentes⁵, pressantes et prioritaires. En pleine courbe, la courbe de cinq degrés vers la droite avait un

⁵ Dans le présent rapport, la définition des défauts nécessitant une intervention « urgente » correspond à celle du CN, laquelle diffère de la définition qu'on trouve pour ce terme dans le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV) de Transports Canada.

dévers MOYEN de 5,55 pouces, et montrant notamment deux défauts du dévers (plus de 6 pouces) nécessitant une intervention urgente sur une longueur de 60 pieds. D'après la circulaire sur les méthodes normalisées (CMN) n° 1305 du CN⁶, pour une vitesse de 45 mi/h (voie de catégorie 4), le dévers d'une courbe de cinq degrés affectée par un déséquilibre de 2 pouces devrait être d'environ 5 1/8 pouces. Le dévers de 6 pouces se rapprochait davantage du dévers d'équilibre de 7 1/8 pouces (permettant une répartition égale de la charge sur le rail haut et le rail bas) qui est recommandé pour les trains roulant à 45 mi/h. On a tout de même signalé des défauts nécessitant une intervention urgente parce que les normes du CN interdisent un dévers maximal supérieur à 5 pouces, à moins que l'ingénieur en chef n'ait donné son autorisation. Faute de cette autorisation, le dévers d'une courbe va de la valeur minimale pour une voie affectée par un déséquilibre de 2 pouces, à la moindre des deux valeurs suivantes : 5 pouces ou la valeur de dévers d'équilibre.

En plus des écarts du dévers nécessitant une intervention urgente, on a relevé sept défauts de type WRP62SPR (Warp 62 dans une courbe de raccordement), dont cinq qui nécessitaient une intervention prioritaire et deux qui nécessitaient une intervention pressante, et un défaut de type WRP31 (Warp 31 dans une courbe de raccordement) qui nécessitait une intervention pressante. Tous ces défauts étaient localisés entre les positions 184+1 904 et 184+3 530, soit une distance de 1 626 pieds dans laquelle se trouvent la courbe composée de cinq à trois degrés vers la droite et la courbe de raccordement sud de la courbe de trois degrés vers la gauche, qui se trouve au nord (voir le tableau 1). Le terme WRP62SPR désigne l'écart de nivellement transversal qu'on mesure entre deux points situés à moins de 62 pieds l'un de l'autre dans une courbe de raccordement, alors que le terme WRP31 désigne l'écart de nivellement transversal qu'on mesure entre deux points situés à moins de 31 pieds l'un de l'autre dans une courbe de raccordement. Les défauts nécessitant une intervention pressante sont définis comme étant des défauts qui atteignent 90 p. 100 de la valeur correspondant à celle d'un défaut nécessitant une intervention urgente. La CMN 3101 du CN définit les normes d'entretien de la géométrie de la voie.

⁶ Les Circulaires sur les méthodes normalisées (CMN) du CN traitent des normes d'entretien de la voie qui sont en vigueur au CN.

Tableau 1. Défauts de la géométrie de la voie

Défaut	Longueur (pieds)	Valeur mesurée (pouces)	Intervention nécessaire	Valeur seuil pour une intervention urgente (pouce(s))	Valeur seuil pour une intervention prioritaire (pouce(s))	Position dans la courbe
Dévers	38	6,11	Urgente	1	1	Pleine courbe 5R
Dévers	22	6,10	Urgente	1	1	Pleine courbe 5R
WRP62SPR	12	1,49	Prioritaire	1 3/4	1 1/8	ES 3R
WRP62SPR	12	1,49	Prioritaire	1 3/4	1 1/8	SS 3L
WRP62SPR	3	1,51	Pressante	1 3/4	1 1/8	SS 3L
WRP31	6	0,92	Pressante	1	15/16	SS 3L
WRP62SPR	8	1,49	Prioritaire	1 3/4	1 1/8	SS 3L
WRP62SPR	3	1,52	Pressante	1 3/4	1 1/8	SS 3L
WRP62SPR	4	1,49	Prioritaire	1 3/4	1 1/8	SS 3L
WRP62SPR	12	1,49	Prioritaire	1 3/4	1 1/8	SS 3L

ES = fin du raccordement SS = début du raccordement

L'examen détaillé des dossiers d'évaluation de l'état géométrique de la voie dans le secteur de l'accident a permis de déterminer que l'alignement, la surface et l'écartement de la voie étaient en deçà des limites établies pour chacune de ces valeurs dans le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV). La courbure de la voie était égale et uniforme, la variation de l'alignement était de 0,4 pouce sur une distance de 32 pieds et la variation de l'écartement était de 0,6 pouce sur une distance de 15 pieds, dans le secteur du point de déraillement (PDD).

Systèmes de fixation de la voie

Il se produit des interactions entre les éléments de la voie lorsque ces derniers sont soumis à la charge de l'essieu sur le rail. Les charges du train se transfèrent du rail à la plate-forme par l'entremise des éléments de fixation, des selles de rail, du ballast et de la sous-couche du ballast. Des voies en courbe qui sont fixées par des crampons et des selles de rail conventionnels ont parfois de la difficulté à supporter de fortes charges par essieu. Les crampons se desserrent et finissent par sortir de la traverse, ce qui entraîne un surécartement, élargit davantage les trous des crampons et fait en sorte que l'intérieur non traité de la traverse est exposé à l'humidité et à la pourriture. Cela se produit parce que le crampon joue deux rôles, soit celui de positionner le rail sur la selle de rail et celui de fixer la selle de rail à la traverse de façon à maintenir l'écartement.

Par contre, l'utilisation de selles en acier moulé ou laminé permet une séparation de la fonction de fixation. Le rail est retenu à la selle de rail au moyen d'un organe de fixation élastique en forme de « e » constitué d'une barre en acier trempé de 20 mm de diamètre. La selle de rail est retenue à la traverse par des tire-fonds ou une combinaison de vis et de crampons. Sous la selle de rail, on trouve des rainures en coin qui s'encastrent dans la traverse de bois de façon à donner une résistance accrue contre le glissement.

Les systèmes de fixation de type élastique rendent la structure de la voie beaucoup plus solide et font en sorte que celle-ci résiste mieux aux forces latérales et longitudinales considérables qui s'exercent sur elle, et aux risques de surécartement et d'inclinaison des rails, qui sont susceptibles de causer des dommages aux traverses. Les fixations vissées assurent une résistance accrue contre le déplacement des selles de rail et, de ce fait, accroissent aussi la résistance de la voie au surécartement ainsi que la durée de maintien de l'écartement. Il s'ensuit que les traverses risquent moins d'être « mâchées par les crampons » lorsqu'on retire et remet en place les éléments de fixation au moment de remplacer des rails. Les attaches de type élastique accroissent aussi la force de retenue des rails, ce qui fait que les rails résistent mieux aux contraintes de renversement.

La pratique consistant à installer des fixations de type élastique sur un seul rail (et des crampons conventionnels sur l'autre rail) a été en vigueur dans la subdivision Bala et à d'autres endroits du réseau du CN pendant plusieurs années. Dans la subdivision Bala, on a installé des attaches de type élastique sur les deux rails des courbes dont la courbure était égale ou supérieure à six degrés, lors des programmes majeurs de remplacement de traverse qui ont eu lieu à la fin des années 1990. En 2001 et 2002, on a étendu l'utilisation de ce système de fixation aux courbes de quatre degrés et plus. On a donc installé des attaches de type élastique sur le rail haut ou sur le rail bas au moment du remplacement des rails dans les courbes. Cette pratique a été étendue au rail haut des courbes dans lesquelles le surécartement ou l'inclinaison des rails étaient devenus excessifs. L'expérience sur le terrain a démontré que les rails hauts des courbes sont affectés par ces conditions plus tôt que les rails bas et que l'installation d'attaches de type élastique sur le rail haut donnait de meilleurs résultats pour ce qui est de corriger le surécartement et l'inclinaison des rails. Les anticheminants qu'on retire du rail haut pendant l'installation des fixations élastiques sont posés sur le rail bas, de façon à accroître la résistance du rail aux contraintes longitudinales. Bien que les essais menés par l'industrie aient démontré que les fixations élastiques permettent une meilleure tenue des rails lorsqu'elles sont installées sur les deux rails, on n'a fait aucun essai quant aux effets de l'installation de fixations élastiques sur un seul rail d'une courbe.

La CMN 3600 du CN recommande l'utilisation d'attaches de type élastique dans les courbes de plus de quatre degrés, dans le cas des voies de la catégorie 3 à la catégorie 6 sur lesquelles le trafic annuel est de l'ordre de 20 à 40 MTB. Sur les voies qui acheminent plus de 40 MTB, on recommande d'utiliser des attaches de type élastique dans les courbes de plus de deux degrés. Comparativement, la Notice technique (NT) 16 du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP) recommande d'utiliser des attaches de type élastique dans les courbes de plus de huit degrés, dans le cas des voies qui acheminent plus de 10 MTB par année et où la vitesse est supérieure à 50 mi/h, ou dans les courbes où il y a des signes évidents de rupture de crampons. L'installation d'attaches de type élastique sur un seul rail (le rail haut ou le rail bas, dépendant des activités de remplacement des rails) se fait couramment depuis au moins 10 ans. Dans le manuel du CFCP sur la constatation des causes des accidents ferroviaires (*Train Accident Cause*

Finding Manual), on lit aux pages 6-28 et 6-29 : « du fait de la capacité de rétention accrue que ce système rend possible, les fixations à rétention positive (attaches de type élastique) devraient être installées sur les deux rails (si l'on équipait un seul rail de ces fixations en utilisant le clouage conventionnel pour l'autre rail, le rail retenu par des crampons serait susceptible de se renverser en raison des forces latérales additionnelles qui s'exerceraient sur ce rail). » [Traduction] La CMN du CN ne traite pas de l'installation de fixations élastiques sur un seul rail, ou dans seulement une partie d'une courbe.

Dossiers sur l'état mécanique du matériel roulant

Après avoir identifié le premier wagon à avoir déraillé, les enquêteurs ont obtenu et analysé les dossiers d'entretien et de réparation du wagon en question, en l'occurrence le wagon n° DTTX 750219 (voir le tableau 2). Les dossiers montrent que ce wagon avait connu des problèmes fréquents causés par des charges d'impact considérables et par des boudins de roue trop hauts.

Tableau 2. Registre des travaux récents effectués sur les roues du wagon n° DTTX 750219

Date	Roue*	Service
1 ^{er} décembre 2003	RX	Boudin trop haut (code 64)
21 janvier 2004	L8	Défauts de roue (code 65)
3 février 2004	RZ	Défauts de roue
16 février 2004	L8	Défauts de roue (code 65)
4 avril 2004	RY et LY	Boudin trop haut
7 juin 2004	RX	Boudin trop haut
19 juillet 2004	R3	Boudin trop haut

* Les essieux sont numérotés à partir du bout B de la façon suivante : 1, 2 – bout B; 3, 4 – entre les plates-formes B et C; 5, 6 – entre les plates-formes C et D; 7, 8 – entre les plates-formes D et E; 9, Z – entre les plates-formes E et A; Y, X – bout A. Les désignations R et L indiquent le côté du wagon (R pour le côté droit et L pour le côté gauche) du point de vue d'une personne qui se tiendrait debout face au bout B du wagon.

Rapport n° LP 105/2004 du laboratoire technique du BST – Analyse du rail⁷

Des bouts de rail provenant des rails brisés est et ouest ont été envoyés au laboratoire technique du BST pour que celui-ci détermine le mode de rupture ainsi que la cause de cette rupture. Voici les principales conclusions du rapport :

- les surfaces de rupture des deux rails concordaient avec les particularités d'une rupture consécutive à une contrainte de torsion instantanée excessive;
- les surfaces de rupture des deux rails ne montraient aucun signe d'une défaillance progressive;
- les soudures aluminothermiques des échantillons des rails est et ouest étaient dans un état acceptable.

Rapport n° LP 129/2004 du laboratoire technique du BST – Analyse de la dynamique du matériel roulant⁸

Des informations détaillées relatives au comportement du train, et notamment les données du consignateur d'événements de locomotive (CEL), ont été envoyées pour analyse au laboratoire technique du BST. Comme le CEL de la locomotive n° CN 2542 n'était pas muni de canaux d'enregistrement des données en provenance de la queue du train ou des données sur l'accélération, on a calculé les valeurs d'accélération et de décélération à partir des vitesses et des heures consignées, afin de déterminer le moment du SUI et d'identifier le premier wagon à dérailler. Compte tenu du niveau de résolution des données du CEL (± 1 seconde pour l'heure, $\pm 0,01$ mille pour le millage et ± 1 mi/h pour la vitesse), il a été possible de déterminer la position du train avec une marge d'erreur de 50 à 60 pieds. Il s'ensuit que la position du PDD serait exacte à 50 pieds près. À partir de l'information recueillie, il a été possible de déterminer ce qui suit :

- La locomotive de tête a roulé à une vitesse constante de 48 mi/h entre le point milliaire 183,71 (0922:51) et le point milliaire 183,91 (0923:06). La variation de la force de traction au moment de la modification de la position de la manette des gaz n'a fait que compenser la résistance due au poids du train aux abords de la rampe.

⁷ Pour obtenir le rapport n° LP 105/2004 du laboratoire technique du BST, prière d'en faire la demande au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

⁸ Pour obtenir le rapport n° LP 129/2004 du laboratoire technique du BST, prière d'en faire la demande au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

- Pendant que la locomotive de tête roulait entre le point milliaire 183,91 (0923:06) et le point milliaire 184,96 (0924:28), la décélération a été mineure et régulière, ce qui correspondait à l'augmentation de la résistance due au fait que le train abordait la rampe à 0,5 p. 100.
- À partir du point milliaire 184,96 (0924:28), la décélération augmente de façon marquée jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum au point milliaire 185,19 (0924:49) – dépassant la valeur qui aurait correspondu à la résistance attribuable à la rampe et à la géométrie de la voie.
- Le signal du SUI est parvenu à la locomotive de tête à 0924:53. Comme la vitesse de propagation du signal était de 820 à 830 pieds par seconde et comme le train mesurait 5 919 pieds, le délai de propagation du signal n'a pas pu excéder 7,2 secondes. Cela indique que le SUI s'est déclenché quelque part dans le train entre 0924:45 et 0924:53.
- Une autre pointe de décélération survient au point milliaire 185,3 (0925:04).
- Il a été déterminé que le SUI s'était produit à la hauteur du 15^e ou du 16^e wagon. Des calculs plus poussés ont révélé qu'à ce moment, ces wagons se trouvaient aux alentours du point milliaire 184,62, position très voisine de l'endroit où le 15^e wagon s'est mis en portefeuille. Comme le 16^e wagon est resté sur ses roues après avoir déraillé, on en conclut que c'est le 15^e wagon, n° DTTX 750219, qui a déraillé le premier.
- Il est vraisemblable que le wagon n° DTTX 750219 a fait se renverser le rail bas et a déraillé aux alentours du point milliaire 184,383, dans la portion à cinq degrés d'une courbe composée vers la droite, aux abords de la transition vers la portion à trois degrés.
- Le calcul de la position des wagons a révélé que le wagon n° DTTX 750219 était au PDD, point milliaire 184,383, au moment où la décélération s'est fortement accentuée.

Résumé des conclusions du rapport n° LP 129/2004

Le laboratoire a analysé les réactions dynamiques de toutes les roues afin de déterminer le rôle que celles-ci ont joué dans le déraillement. Voici les conclusions de l'analyse :

- Le déraillement a résulté d'une combinaison de facteurs : les caractéristiques dynamiques du wagon articulé à cinq plates-formes, les écarts de la géométrie de la voie, la faible conicité du bandage des roues, la présence d'attaches différentes sur le rail haut et sur le rail bas, et le frottement entre les boudins de roue et la face intérieure des rails.
- Le premier déraillement s'est vraisemblablement produit quand le 15^e wagon, n° DTTX 750219, en l'occurrence un wagon articulé à cinq plates-formes avec évidemment central, a fait se renverser le rail bas au point milliaire 184,383 d'une

courbe de cinq degrés vers la droite, du fait de l'angle d'attaque prononcé des bogies et des grandes forces dynamiques latérales causées par la combinaison de facteurs contributifs qui, pris isolément, n'auraient pas suffi à faire dérailler le wagon.

- Une simulation sur ordinateur faite au moyen du logiciel Vampire⁹ (voir le sommaire à l'annexe A et voir aussi l'exposé complet contenu dans le rapport n° LP 129/2004 du laboratoire technique du BST) a montré que, pour une même charge et un même état de la voie, le wagon intermodal articulé n° DTTX 750219 produirait des contraintes latérales dynamiques plus grandes pendant le passage dans une courbe que des wagons porte-conteneurs à une seule plate-forme dont les bogies sont indépendants. Les fréquents travaux d'entretien et de réparation dont le dossier du wagon n° DTTX 750219 fait état recouperent les résultats qu'on attendrait de la simulation.
- Les multiples défauts qui affectaient la géométrie de la voie au point milliaire 184,377 ont été à l'origine de réactions dynamiques dont la violence inhabituelle a entraîné le renversement du rail bas. Les valeurs d'alignement et d'écartement de la voie n'excédaient pas les limites de sécurité, mais elles montraient des écarts qui, compte tenu de l'angle d'attaque prononcé des bogies, ont dû causer des impacts contre le rail haut et exercer des efforts latéraux sur le rail est, lequel était retenu moins solidement et s'est alors incliné. Le dévers avait été signalé comme étant un défaut qui nécessitait une intervention urgente, vu qu'il excédait la limite maximale, mais il était proche du dévers équilibré en fonction de la vitesse des trains, de sorte que sa contribution aux réactions dynamiques a été moindre.
- La présence d'attaches élastiques plus rigides sur le rail haut contribue en général à la rigidité de la longueur montée dans le sens latéral, et a donc pour effet d'accentuer la réaction dynamique lorsqu'il y a un défaut de la géométrie de la voie. Le fait que le rail haut soit plus rigide permet aussi une résistance accrue contre le déplacement de la longueur montée et contre le renversement du rail haut. Toutefois, la résistance du rail bas demeure inchangée, même si ce dernier supporte une partie de l'augmentation de l'effort dynamique latéral. Il s'ensuit que le rail bas, s'il est retenu en place par des crampons conventionnels, risque davantage de se renverser dans ces conditions.
- Le frottement à sec entre les boudins de roue et la face interne des rails a causé une augmentation de l'effort dynamique pendant le passage dans la courbe et des efforts latéraux.
- La conicité peu marquée du bandage des roues, lesquelles avaient été remplacées récemment, a eu pour effet de rendre plus difficile le passage des bogies dans les courbes et d'accentuer les efforts latéraux.

⁹ Vampire est un logiciel de modélisation dynamique qui permet une analyse tridimensionnelle des interactions entre le matériel roulant et la voie ferrée.

- Même si les écarts de l’alignement et de l’écartement sur les lieux de l’événement n’atteignaient pas le niveau de défaut critique qui est défini dans le RSV, ils ont été à l’origine des réactions dynamiques exceptionnellement fortes et ont contribué au déraillement. Bien que l’écart du dévers ait été signalé comme étant un défaut qui nécessitait une intervention urgente, il a eu un effet moindre sur les efforts dynamiques et n’a pas été un facteur important lors du déraillement.
- Les données téléchargées du CEL (fournies par le CN) de la locomotive n° CN 2542 ont révélé que ce consignateur n’était pas équipé des canaux d’enregistrement des données sur la queue du train et sur l’accélération, données qui s’avèrent importantes lorsqu’il s’agit de déterminer l’origine du SUI et d’identifier le wagon qui a déraillé le premier.
- La simulation de référence qu’on a faite au moyen du logiciel Vampire a révélé que le bogie avant¹⁰ du bout A du wagon n° DTTX 750219 avait occasionné des réactions dynamiques exceptionnellement fortes au point milliaire 184,377, soit à quelque 30 pieds au sud du PDD estimatif (point milliaire 184,383). Cette différence étant conforme à la plage de tolérance du CEL, on considère qu’il s’agit du même endroit. L’angle d’attaque des roues de l’essieu avant atteignait 22 mrad¹¹, alors que l’angle d’attaque normal le long de la section n’était que de 5 mrad environ sur les lieux du déraillement. Les efforts latéraux et verticaux et le ratio latéral/vertical (L/V) exceptionnellement grands du bogie 1 excédaient largement les valeurs qui correspondent habituellement à un déraillement, alors qu’ils correspondaient aux valeurs normales à d’autres endroits. Le fait que les efforts dynamiques maximaux aient été particulièrement grands dénotait clairement qu’il y avait un risque de déraillement.
- Les données relatives aux autres bogies ne dénotaient pas des efforts dynamiques pouvant être associés à un déraillement. Les bogies articulés 2 et 3 ont produit des efforts latéraux moyens plus grands que le bogie 1 dans toute la courbe, mais ils n’ont pas montré des pointes dynamiques exceptionnellement élevées sur les lieux de l’accident. Ces bogies articulés étaient soumis à des charges par essieu plus considérables, et leurs ratios L/V étaient voisins de 0,3, ce qui est de beaucoup inférieur au critère correspondant à un déraillement, soit 0,6. Leur angle d’attaque était aussi voisin des valeurs normales, et n’a montré aucun changement marqué sur les lieux de l’accident.

¹⁰ Pour les besoins de cette simulation, le bogie du bout A a été désigné comme étant le bogie 1, les bogies étant désignés à la suite comme étant le bogie 2, le bogie 3, et ainsi de suite.

¹¹ L’angle d’attaque est exprimé en radians plutôt qu’en degrés (degrés = radians X 180/π)

Programme du Canadien National concernant la formation des chefs de train-conducteurs de locomotives

Le chef de train était autorisé à conduire le train en vertu du programme de formation des CTCL du CN. Le CN a mis sur pied le programme CTCL en 1995 pour permettre aux mécaniciens de se faire remplacer aux commandes des locomotives pendant des parcours prolongés. Les chefs de train suivent une formation qui leur permet par intermittence de relever brièvement le mécanicien tout en étant sous la supervision de ce dernier. Les CTCL prennent les commandes selon le bon vouloir du mécanicien, et le CN a fait savoir que la conduite de locomotives n'est pas confiée à des CTCL lorsque les conditions d'exploitation sont complexes.

Au CN, les candidats au cours de CTCL doivent au préalable être des chefs de train possédant toutes les qualifications requises. Le cours dure 42 heures, réparties sur sept jours, et traite des sujets suivants :

- formation de base sur les freins à air
- formation de base sur la recherche de pannes à bord des locomotives
- conduite des trains
- réglage des locomotives suivant les différentes méthodes d'exploitation
- quelques exercices sur simulateur
- réglementation relative aux freins à air et essais des freins à air
- conduite des trains et matériel moteur

Les candidats doivent passer un test à la fin du cours.

Le CN a offert la formation de CTCL à plus de 1 700 chefs de train. Une fois qu'ils ont obtenu la qualification, les CTCL ne sont pas tenus de suivre des cours d'appoint réguliers ou d'obtenir un renouvellement de leur certification, si ce n'est le renouvellement de la certification sur la connaissance des règles, que les chefs de train doivent obligatoirement obtenir. Le CTCL qui était aux commandes du train n'avait suivi aucune formation additionnelle depuis la fin de son cours de CTCL en 1995. Les CTCL du CN ne suivent pas le stage obligatoire de perfectionnement que les mécaniciens doivent suivre, notamment la formation sur la conduite des trains longs.

La mesure dans laquelle les CTCL acquièrent de l'expérience pratique de la conduite des trains pendant un parcours dépend du bon vouloir du mécanicien. Comme les paires de CTCL et de mécaniciens changent fréquemment, le mécanicien doit déterminer dans quelle mesure le CTCL peut prendre les commandes du train dès le début du trajet pendant lequel le CTCL sera aux commandes. Il n'existe pas de formation ou de directives qui permettent aux mécaniciens de procéder à cette évaluation ou de superviser les CTCL. Il peut arriver que des CTCL ne conduisent pas de trains pendant des périodes prolongées.

Bien que le nombre de parcours prolongés ait diminué, le rôle des chefs de train désignés comme CTCL est de plus en plus important depuis 1995. À l'heure actuelle, les CTCL

conduisent des locomotives sur de longues distances autrement que dans le cadre de parcours prolongés. Notamment, ils sont appelés à conduire des locomotives faisant partie de trains longs et lourds, à l'occasion de croisements de trains, au moment d'entrer dans des triages et d'en sortir, et quand des trains circulent dans des courbes et dans des territoires ondulés.

Réglementations de Transports Canada concernant la conduite des trains

Dans le règlement de Transports Canada (TC) concernant les normes de compétence minimales des mécaniciens de locomotives, des mécaniciens de manœuvre¹², des chefs de train et des contremaîtres de triage, intitulé *Règlement sur les normes de compétences des employés ferroviaires*¹³ (RNCEF), on peut lire :

- 5.(1) La compagnie de chemin de fer ne peut permettre à un employé de remplir les fonctions de mécanicien de locomotives, de mécanicien de manœuvre, de chef de train ou de contremaître de triage, que si l'employé :
 - (a) a la compétence requise pour cette catégorie d'emploi, conformément à l'article 14; et
 - (b) dans le cas d'un mécanicien de locomotives ou d'un mécanicien de manœuvre, a obtenu la note de passage requise pour la formation en cours d'emploi propre à cette catégorie d'emploi.

Le *Règlement* ajoute :

- 10.(1) La compagnie de chemin de fer doit, à des intervalles ne dépassant pas trois ans, faire subir à tous les employés d'une catégorie d'emploi un réexamen sur les sujets requis.
11. L'employé qui passe d'une catégorie d'emploi à une autre doit :
 - a) avoir la compétence requise, conformément à l'article 14, pour la catégorie d'emploi à laquelle il passe.

L'article 14 du RNCEF définit les sujets pour lesquels une personne doit se qualifier pour accéder à un poste d'une catégorie d'emploi. On y précise aussi que la compagnie de chemin de fer ne peut accepter dans une catégorie d'emploi que les personnes qui ont obtenu une note globale d'au moins 80 p. 100 dans les sujets requis. Le poste de CTCL n'est pas défini comme étant une poste de la catégorie de l'exploitation.

¹² Employé chargé de manœuvrer les unités motrices sur les voies de triage et sur les voies principales, entre les ateliers d'entretien et de réparation de ces locomotives et le lieu où elles sont soit mises en service soit retirées du service pour être conduites à la gare de triage.

¹³ CCT DORS/87-150, établi le 16 mars 1987 en vertu de l'article 46 de la *Loi nationale sur les transports* et de l'article 227 de la *Loi sur les chemins de fer*

L'article 106 du REF, en vigueur le 1^{er} février 2004, définit comme il suit les responsabilités de l'équipe :

RESPONSABILITÉS DE L'ÉQUIPE

- a) Un train circule sous la direction de son chef de train.
- b) Le mécanicien a l'entière responsabilité de la conduite de la locomotive du train.
- (. . .)
- d) Les chefs de train et les mécaniciens (ainsi que les pilotes, s'il y en a) sont responsables de la sécurité des trains ou du matériel roulant qui leur sont confiés, ainsi que de l'application du règlement.

Le Règlement n'interdit pas expressément au chef de train de s'acquitter des fonctions du conducteur de locomotives sous la direction du mécanicien. Toutefois, il ne précise pas que le poste de CTCL est un poste d'exploitation dont le titulaire a des fonctions et des responsabilités particulières et doit se soumettre à un processus de reclassification.

Analyse

La conduite du train de marchandises n° Q-111-31-25 du CN s'est avérée conforme aux exigences de la compagnie et à celles de la réglementation. L'examen des données relatives à la détection des défauts de la voie et à l'inspection du matériel roulant déraillé n'a fait ressortir aucune défectuosité du matériel roulant qui aurait été antérieure à l'accident. L'analyse du rail faite en laboratoire a révélé que les soudures aluminothermiques voisines des lieux du déraillement ont connu une défaillance consécutive à une contrainte de torsion instantanée excessive; par conséquent, la défaillance du rail ou des soudures aluminothermiques n'est pas considérée comme étant un facteur de causalité.

L'analyse traitera surtout des constatations faites lors de l'examen de la dynamique matériel roulant/voie ferrée et des facteurs contributifs identifiés lors de l'étude. Elle s'intéressera aussi à l'état de la voie avant le déraillement, aux pratiques d'entretien de la voie et au comportement du matériel roulant affecté au trafic intermodal, et plus particulièrement du wagon n° DTTX 750219. Il sera aussi question du rôle du personnel désigné pour le poste de CTCL quant à la conduite des trains du CN.

Analyse des données du consignateur d'événements de locomotive et simulation de la dynamique voie ferrée/train

L'analyse des données du CEL et des observations faites sur les lieux du déraillement a révélé que le wagon n° DTTX 750219 avait vraisemblablement été le premier à dérailler et qu'il avait quitté la voie près du point milliaire 184,38. À partir de cette information, la simulation de la dynamique du matériel roulant a révélé que le 15^e wagon, n° DTTX 750219, avait généré un effort latéral considérable sur la structure de la voie au point milliaire 184,38. Il s'ensuit que le

déraillement s'est fort vraisemblablement produit lorsque le 15^e wagon, n° DTTX 750219, un wagon porte-conteneurs intermodal articulé à cinq plates-formes, a causé le renversement du rail bas au point milliaire 184,38, dans la portion à cinq degrés de la courbe composée vers la droite. Une fois le déraillement amorcé, les deux rails se sont renversés; le renversement des deux rails a alors entraîné leur rupture du fait d'une contrainte de torsion excessive et instantanée.

Facteurs qui ont contribué au déraillement

La simulation a révélé que les facteurs suivants avaient contribué à la génération d'efforts latéraux considérables :

- Graissage des rails – Les rails étaient secs (c'est-à-dire non lubrifiés).
- Conicité du bandage des roues – Les roues étant neuves, la conicité de leur bandage était peu marquée.
- Système de fixation des rails – Les attaches de type élastique qui étaient présentes dans la portion à cinq degrés du rail haut ont fait en sorte d'accroître la rigidité du rail à cet endroit.
- Géométrie de la voie – Les écarts de l'alignement et de l'écartement qui ont déclenché les fortes réactions dynamiques du wagon à plates-formes articulées n'excédaient pas les limites établies dans le RSV. Toutefois, ces écarts ont eu pour effet d'accentuer les contraintes dynamiques latérales exercées par le rail haut sur le rail bas, ces contraintes excédant la capacité de retenue du rail bas.

Wagons articulés

On a comparé le comportement d'un wagon à une seule plate-forme avec celui du modèle de wagon à cinq plates-formes articulées qui a été mêlé au déraillement. Tous les autres paramètres étant constants, on a déterminé qu'avec le wagon à plate-forme unique, la présence de forces d'impact considérables et les effets d'un angle d'attaque prononcé du bogie avant étaient nuls (c'est-à-dire que, sur les lieux du déraillement, le wagon articulé a produit une réaction dynamique plus marquée qu'un wagon similaire à plate-forme unique dans des conditions similaires). Par conséquent, bien qu'on ne comprenne pas entièrement les aspects mécaniques du comportement des wagons, il a été déterminé de façon empirique que les caractéristiques des wagons articulés étaient un des facteurs qui avaient contribué au déraillement.

Graissage des rails

Le graissage de la face intérieure des rails facilite le passage des bogies dans les courbes, du fait qu'il réduit le frottement au point de contact entre le boudin de la roue et la face intérieure du rail. L'absence de graissage sur la face intérieure du rail haut a donc eu pour effet d'accroître le frottement entre le boudin et la face intérieure du rail, ce qui a rendu difficile la rotation du bogie et a occasionné des efforts latéraux considérables.

Conicité du bandage des roues

Les dossiers de réparation et d'entretien du wagon n° DTTX 750219 ont révélé que les roues avaient été remplacées récemment et qu'elles étaient presque neuves. Le frottement entre les roues et les rails est à son maximum lorsque les roues sont peu usées, étant donné que leur profil est moins conique que le profil conforme correspondant à une roue usée. En règle générale, les roues dont le bandage a une forte conicité ou les roues usées améliorent le comportement des bogies dans les courbes, mais elles peuvent induire des mouvements de galop du bogie dans les tronçons en alignement droit. À l'inverse, les roues plus récentes, ou celles dont le bandage a une faible conicité, sont plus stables sur les tronçons en alignement droit, mais elles rendent le passage des bogies un peu plus difficile dans les courbes, où elles entraînent des efforts latéraux plus grands.

Dans le cas des roues dont le bandage a une forte conicité (roues usées), l'angle d'attaque et l'effort dynamique latéral étaient réduits dans la courbe, ce qui indique qu'une conicité réduite du bandage a dû être à l'origine des réactions dynamiques exceptionnellement fortes. Le contact entre le champignon du rail et les roues récentes, ayant un profil peu conique, a dû se faire plus près de l'axe longitudinal du rail. Il s'ensuit que la faible conicité du bandage des roues, qu'on avait remplacées récemment, a dû contribuer aux contraintes dynamiques exceptionnellement fortes qui ont entraîné le déraillement.

Système de fixation des rails

Dans le cas de la simulation de référence, la présence d'attaches de type élastique sur le rail haut a permis une résistance accrue contre les efforts latéraux qui s'exerçaient dans les courbes et a effectivement atténué les risques d'inclinaison du rail haut et de surécartement. La grande rigidité latérale des attaches élastiques retenant le rail haut a produit des réactions dynamiques plus fortes que celles qu'on aurait obtenues avec des attaches plus flexibles. Toutefois, l'effet que les efforts latéraux ont exercé sur le rail bas, retenu par des attaches conventionnelles, a entraîné des problèmes. Il s'est avéré que la résistance des attaches conventionnelles du rail bas était insuffisante pour contrer les forces latérales considérables engendrées par le rail haut, et pour empêcher le renversement du rail bas.

Le scénario de simulation portant sur la présence de crampons sur les deux rails a indiqué une diminution de l'angle d'attaque des roues et des efforts latéraux et, par conséquent, une diminution de la réaction dynamique. Ce résultat est dû au fait que les crampons utilisés sur le rail haut sont plus souples que les attaches de type élastique et peuvent absorber les chocs dus aux écarts de la géométrie de la voie.

La rigidité accrue des attaches de type élastique permet à la voie de mieux résister aux réactions dynamiques. Dans le cas qui nous intéresse, si les deux rails avaient été retenus par des attaches de type élastique, il est vraisemblable que le rail haut aurait quand même produit des efforts dynamiques plus grands, mais que la résistance plus grande des attaches de type élastique du rail bas aurait permis à celui-ci de mieux contrebalancer ces efforts latéraux.

Donc, le fait de ne plus installer de fixations de ce type dans les courbes et d'y recourir dans des tronçons en alignement droit n'est peut-être pas la meilleure façon de procéder. Du fait qu'on

installe des attaches de type élastique sur un seul rail d'une courbe ou dans une seule partie de la courbe, on risque davantage de voir les efforts latéraux excessifs se transmettre au rail qui est retenu par des crampons et des selles de rail conventionnels et de constater des ruptures ou des renversements de rails.

Géométrie de la voie

Les petits écarts de l'écartement et de l'alignement dans les environs du PDD se sont avérés problématiques. La simulation a permis de déterminer que les écarts en question avaient dû être à l'origine des réactions dynamiques exceptionnellement fortes. Ces écarts, même s'ils n'excédaient pas les limites tolérées dans le RSV, ne donneraient normalement pas lieu à des efforts latéraux excessifs. Toutefois, quand on les combine aux caractéristiques dynamiques du wagon articulé n° DTTX 750219, ils ont vraisemblablement fait en sorte que le bogie avant touche le rail haut selon un angle d'attaque prononcé, de sorte que le bogie a été repoussé violemment contre le rail bas et a exercé un effort latéral tel que le rail bas, moins bien retenu, s'est renversé.

Cinq facteurs contributifs

La combinaison de ces cinq facteurs – conception des wagons, graissage des rails, conicité du bandage des roues, système de fixation de la voie et géométrie de la voie – a produit un angle d'attaque prononcé, des efforts latéraux considérables, et un rapport L/V élevé du bogie, qui ont forcé le rail bas à s'incliner. Les roues sont tombées du côté intérieur du rail bas et ont causé le renversement du rail devant le wagon. La combinaison des efforts dus au frottement et au contact entre les roues et les rails, de la méthode de fixation de la voie, du comportement en courbe du wagon n° DTTX 750219 et de la présence de défauts de l'alignement et de l'écartement qui n'excédaient pas les limites autorisées par le RSV, a été suffisante pour entraîner le renversement du rail bas.

La simulation a permis de déterminer que, si un seul de ces facteurs avait été absent, les efforts latéraux n'auraient pas été suffisants pour entraîner le renversement du rail.

Si des attaches de type élastique sont installées sur un seul rail d'une courbe ou dans seulement une partie de la courbe, il y a un risque accru que des efforts latéraux excessifs soient transférés au rail qui est retenu par des crampons et des selles de rail de type conventionnel et que ce rail se brise ou se renverse.

Même si les écarts de l'alignement et de l'écartement qui ont été relevés près du PDD n'étaient pas des défauts si l'on s'en tient aux définitions du RSV, ils ont été un des facteurs critiques qui ont entraîné une réaction dynamique exceptionnellement forte lors du passage du wagon n° DTTX 750219. Le défaut du dévers exigeant une intervention urgente qui a été signalé au PDD n'a pas contribué de façon notable aux efforts dynamiques et au déraillement.

Formation et certification des chefs de train-conducteurs de locomotives

Comme il y a environ 1 700 chefs de train désignés comme CTCL au CN et comme on confie fréquemment la conduite de locomotives à ces personnes, on constate que le recours par le CN aux CTCL va au-delà de la portée du programme original. Par ailleurs, les CTCL ne sont pas tenus de se conformer à des normes équivalentes à celles qui régissent la formation et la recertification des mécaniciens¹⁴. Cette pratique tire parti d'un vide de la réglementation qui régit les rôles des équipes de conduite des locomotives. Le CTCL du train mêlé à l'accident a suivi le cours de formation des CTCL en 1995, mais il n'a suivi aucune formation subséquente et n'a obtenu aucune certification permettant de conserver sa qualification de conducteur de locomotives, et ce, même si le partage des fonctions relatives à la conduite des locomotives était devenu pratique courante.

Le fait de passer beaucoup de temps aux commandes peut aider les gens à perfectionner leurs compétences en matière de conduite de locomotives, mais cela peut aussi contribuer à renforcer de mauvaises habitudes. Du fait que les CTCL ne sont pas obligés de suivre des cours de formation régulière pour conserver et accroître leurs compétences et qu'ils n'ont pas à renouveler tous les trois ans leur certification à titre de conducteurs de locomotives, alors que les mécaniciens sont tenus de se conformer à ces exigences, les CTCL sont davantage susceptibles de faire face à des situations auxquelles ils ne sont pas préparés. Par exemple, quand une situation d'urgence survient, le mécanicien doit réagir rapidement et doit prendre un ensemble de mesures dans des conditions de tension extrême.

Alors que les mécaniciens, qui reçoivent une formation régulière et ont obtenu la certification obligatoire, prennent rarement toutes les mesures essentielles à la sécurité qui s'imposent lorsque survient une situation d'urgence, p. ex. commander un freinage à partir de la queue du train, on peut difficilement s'attendre à ce qu'un CTCL exécute toutes les tâches qu'on attend d'un mécanicien dans de telles situations. Cette procédure de freinage d'urgence ne fait pas l'objet d'un surapprentissage¹⁵. À force de répétition, la procédure devient un automatisme, de sorte qu'on doit y consacrer moins d'attention et que l'intervention d'urgence est moins influencée par le stress et par l'exécution d'autres tâches.

Au CN, le recours à des chefs de train désignés comme CTCL s'est étendu au-delà de la portée du programme original. Bien que le programme des CTCL ait été modifié, TC n'a pas encore procédé à une évaluation en bonne et due forme pour savoir si les exigences du CN quant à la formation et à la certification du personnel de conduite des locomotives répondent toujours aux impératifs de la sécurité ferroviaire.

¹⁴ Les mécaniciens doivent suivre une formation régulière afin de conserver et d'accroître leurs qualifications, et doivent renouveler leur certification tous les trois ans.

¹⁵ J.E. Driskell, R.P. Willis and C. Copper (1992), "Effect of overlearning on retention," *Journal of Applied Psychology*, 77(5), pp. 615-622.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Le déraillement s'est produit lorsque le 15^e wagon, n° DTTX 750219, en l'occurrence un wagon porte-conteneurs articulé à cinq plates-formes servant au transport intermodal, a causé le renversement du rail bas de la portion de cinq degrés d'une courbe composée vers la droite, située au point milliaire 184,383.
2. Plusieurs facteurs combinés, dont le frottement et le contact entre les roues et les rails, la méthode de fixation de la voie, le comportement en courbe du wagon n° DTTX 750219 et la présence de défauts de l'alignement et de l'écartement qui n'excédaient pas les limites tolérées par le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV), ont fait en sorte que des efforts latéraux finissent par causer le renversement du rail bas.

Faits établis quant aux risques

1. Du fait qu'on installe des attaches de type élastique sur un seul rail d'une courbe ou dans une partie seulement de la courbe, on risque davantage de voir les efforts latéraux excessifs se transmettre au rail qui est retenu par des crampons et des selles de rail conventionnels et de constater des ruptures ou des renversements de rails.

Autres faits établis

1. Au Canadien National (CN), le recours à des chefs de train désignés comme CTCL s'est étendu au-delà de la portée du programme original.
2. Bien que des changements aient été apportés au programme des CTCL, Transports Canada n'a pas procédé à une évaluation en bonne et due forme pour savoir si les exigences du CN quant à la formation et à la certification du personnel de conduite des locomotives répondaient toujours aux impératifs de la sécurité ferroviaire.
3. Même si les valeurs d'alignement et d'écartement qui ont été relevées près du point de déraillement (PDD) n'étaient pas des défauts au sens du *Règlement sur la sécurité de la voie*, elles sont un des facteurs qui ont joué un rôle critique lorsque le passage du wagon n° DTTX 750219 a généré une réaction dynamique exceptionnellement forte.
4. Le surécartement nécessitant une intervention urgente qui a été relevé au PDD n'a pas contribué de façon significative à la création des efforts dynamiques et au déraillement.
5. Si un seul des cinq facteurs contributifs (c'est-à-dire conception du wagon, graissage des rails, conicité du bandage des roues, système de fixation de la voie et géométrie de la voie) avait été absent, les efforts latéraux n'auraient pas été suffisants pour causer le renversement du rail.

Mesures de sécurité prises

Avis de sécurité ferroviaire n° 03/05 du BST

En avril 2005, le BST a émis un avis de sécurité ferroviaire (ASF) concernant la formation et la certification du personnel affecté à la conduite des locomotives. L'ASF portait sur le fait que le Canadien National (CN) confiait de plus en plus la conduite de locomotives à des chefs de train désignés comme chefs de train-conducteurs de locomotives (CTCL), et indiquait :

À la lumière des changements dont le programme des CTCL a fait l'objet, TC souhaiterait peut-être déterminer si les activités du CN quant à la formation et à la certification du personnel de conduite des locomotives répondent toujours aux impératifs de la sécurité ferroviaire. [Traduction]

Suite à l'ASF, des représentants des services des transports de surface de la région de l'Ontario de Transports Canada (TC) ont rencontré des cadres du district des Grands Lacs du CN pour discuter de l'état du programme de formation des CTCL. Ils ont fait part des résultats de cette rencontre dans une lettre datée du 3 juin 2005.

Utilisation d'attaches de type élastique dans les courbes

TC a fait savoir que, dans le cadre de ses activités courantes de surveillance, il examinerait la pratique consistant à installer des attaches de type élastique dans une portion d'une courbe de la voie.

Préoccupations quant à la sécurité

Formation et certification du personnel affecté à la conduite des locomotives

Dans sa réponse à l'ASF n° 03/05, portant sur la formation et la certification du personnel affecté à la conduite des locomotives et intitulée *Training and Certification of Personnel Operating Locomotives*, TC a examiné l'état actuel du programme de formation des CTCL du CN. Dans le cadre de cet examen, le CN a présenté au sujet de son programme des CTCL une description qui concorde avec l'information qu'il avait déjà transmise aux enquêteurs du BST. À partir de l'information fournie par le CN, TC a indiqué que le programme des CTCL était conforme aux impératifs de la sécurité ferroviaire.

Toutefois, l'appréciation de TC ne traitait pas de la préoccupation première qui avait présidé à l'envoi de l'ASF n° 03/05 (c'est-à-dire l'écart fondamental qui existe entre la définition que donne le CN quant aux fonctions des chefs de train désignés comme CTCL, et les fonctions qui sont confiées en réalité aux CTCL). Lorsque des chefs de train et des mécaniciens participent à parts égales à la conduite des trains, les CTCL ne font pas que remplacer le mécanicien par intermittence, alors que c'est la tâche qui devait leur incomber d'après la définition qu'on trouve dans l'exposé sur le programme des CTCL. Dans les faits, les CTCL agissent plutôt

comme s'ils étaient des seconds mécaniciens. Dans ces conditions, il arrivera tôt ou tard qu'un CTCL soit aux commandes d'une locomotive lorsque surviendra une situation complexe.

En guise de comparaison, dans l'industrie du transport aérien, seules les personnes qui ont obtenu et conservé leur qualification concernant le pilotage d'un aéronef donné (c'est-à-dire qui ont satisfait aux mêmes exigences minimales de qualification et de formation et ont obtenu leur recertification) sont autorisées à prendre les commandes de cet aéronef.

TC n'a pu fournir aucune documentation pouvant indiquer que TC ou l'industrie avait procédé à une évaluation en bonne et due forme des risques liés à cette pratique, conformément aux principes de la gestion de la sécurité. En outre, TC n'ayant fait aucun suivi des fonctions confiées aux CTCL, on ne dispose d'aucune donnée officielle quant à la fréquence à laquelle les CTCL font face à des situations complexes pendant leur travail. Ces situations ne sont signalées qu'*a posteriori*, après qu'elles ont occasionné un événement justifiant une enquête du BST.

Le récent programme avancé de formation d'appoint des mécaniciens (Advanced Locomotive Engineer Refresher Training (ALERT)) n'a pas été offert aux CTCL (sauf à ceux qui sont aussi des mécaniciens qualifiés). On a indiqué que les mécaniciens allaient transmettre aux CTCL l'information dont ils prendraient connaissance pendant la formation. Toutefois, on n'a établi aucune méthode ou aucun processus à cette fin.

Compte tenu de ce qui précède, le Bureau craint que le fait de confier la conduite de locomotives à des chefs de train désignés comme CTCL ne réponde pas aux impératifs de la sécurité ferroviaire.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports au sujet de cet accident. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 26 juillet 2006.

Annexe A – Conseil national de recherches du Canada – Analyse tridimensionnelle de la dynamique matériel roulant/voie ferrée faite à l’aide du logiciel de modélisation Vampire

Pour connaître le ou les mécanismes qui ont été à l’origine de ce déraillement, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a réalisé une analyse tridimensionnelle de la dynamique matériel roulant/voie ferrée à l’aide du logiciel de modélisation Vampire. La modélisation a tenu compte des performances dynamiques des wagons, des défauts de la géométrie de la voie, du profil du point de contact roues/rail (conicité), du graissage de la surface de contact roues/rails (frottement) et des systèmes de fixation de la voie.

On a procédé à neuf essais de simulation, afin d’analyser les réactions dynamiques des wagons impliqués et les influences potentielles de différentes combinaisons des facteurs susmentionnés dans le secteur de la courbe composée.

Essai de simulation n° 2 : Scénario de référence

Pour le scénario de référence, on a étudié les facteurs qui ont été les plus susceptibles de jouer un rôle lors du déraillement. Les facteurs analysés comprennent : wagon articulé à cinq plates-formes avec les valeurs mesurées de géométrie de la voie, roues neuves (faible conicité du bandage), valeurs mesurées de profil du rail, absence de graissage (frottement considérable) entre les boudins de roue et la face intérieure des rails, et rail haut retenu par des attaches de type élastique et rail bas retenu par des crampons.

Essai de simulation n° 1 : Wagon à une seule plate-forme

La simulation a tenu compte d’un wagon à une seule plate-forme dont les dimensions et l’intégrité étaient les mêmes que celles de l’unité de queue du wagon articulé, mais qui avait deux bogies indépendants. La simulation a été faite dans les mêmes conditions que celle du scénario de référence, et ses résultats ont ensuite été comparés à ceux du scénario de référence.

L’angle d’attaque et les efforts latéraux étaient moins grands dans le cas du wagon à une seule plate-forme que dans celui du wagon articulé à cinq plates-formes. Ce qui est plus important encore, le wagon à une seule plate-forme n’a pas causé de réaction dynamique exceptionnellement forte sur les lieux de l’accident. L’angle d’attaque des roues du wagon à une seule plate-forme et les efforts latéraux dynamiques attribuables à celui-ci n’ont pas excédé les valeurs normales dans la courbe, et n’ont pas montré des valeurs de pointe aussi grandes que les valeurs générées par le wagon articulé à cinq plates-formes.

La comparaison a démontré que, dans les mêmes conditions de charge et d’état de la voie, un wagon intermodal articulé du même modèle que le DTTX 750219 produirait dans une courbe des contraintes latérales dynamiques plus grandes qu’un wagon porte-conteneurs à une seule-plate-forme équipé de bogies indépendants. Les résultats de la simulation recourent les

renseignements tirés du dossier du wagon n° DTTX 750219, lequel signale des travaux de réparation et d'entretien dont la fréquence est exceptionnellement élevée.

Essais de simulation n°s 3, 4, 5 et 6 : Géométrie de la voie

On a procédé à quatre essais de simulation¹⁶ pour déterminer les effets de combinaisons différentes de variation de l'alignement, de l'écartement et de l'état de la surface au point de déraillement (PDD) ou près de celui-ci. Dans les deux premiers cas (essais de simulation n°s 3 et 4), on a procédé à une simulation sans aucune variation de l'alignement et à une autre lors de laquelle on avait tenu compte d'une variation constante de l'écartement de 0,2 pouce. Dans les deux cas, les effets de l'angle d'attaque, les efforts latéraux et les fortes réactions dynamiques sur les lieux de l'accident ont disparu.

Pour la troisième simulation (essai de simulation n° 5), on a tenu compte d'une absence de variation de l'alignement ou de la surface et on a utilisé le wagon articulé dans les mêmes conditions que celles du scénario de référence. Dans ce cas, l'angle d'attaque et les efforts latéraux ont été moindres que ceux qu'on a obtenus avec le scénario de référence, portant sur les valeurs mesurées de l'état géométrique de la voie – résultats très voisins de ceux qu'on a obtenus avec le scénario où il n'y avait aucun désalignement. De même, une fois qu'on a soustrait les variations de l'alignement et de la surface des valeurs mesurées de géométrie de la voie, les réactions dynamiques exceptionnellement fortes qu'on avait relevées sur les lieux de l'accident avaient disparu.

Quand on compare l'angle d'attaque et les efforts latéraux dynamiques obtenus lors de la simulation faite sans variation de l'alignement et sans variation de l'alignement/de la surface, on constate que les écarts relevés à la surface sur les lieux de l'accident n'ont pas été le facteur qui a causé l'apparition de réactions dynamiques exceptionnellement fortes, et qu'ils ont donc peu contribué au déraillement.

Enfin, on a procédé à une simulation portant sur le passage du wagon articulé sur une voie dont le dévers était de cinq pouces (essai de simulation n° 6). On a utilisé les mêmes valeurs de référence, sauf que le dévers mesuré d'environ six pouces a été remplacé par le dévers maximal de cinq pouces dont il est question dans la circulaire sur les méthodes normalisées. L'angle d'attaque et les efforts latéraux obtenus lors de la simulation faite avec le dévers de cinq pouces étaient presque identiques à ceux de la simulation de référence, portant sur les valeurs mesurées de géométrie de la voie et un dévers de six pouces. Des réactions dynamiques exceptionnellement fortes se sont manifestées sur les lieux de l'accident dans les deux cas. Le point de perte de contact entre les roues et le rail a été atteint un peu plus tôt dans le cas de la simulation portant sur le dévers de cinq pouces.

La comparaison entre l'angle d'attaque et les efforts latéraux dynamiques obtenus au terme des scénarios de simulation avec des dévers de cinq pouces et de six pouces a indiqué que le dévers de six pouces n'a pas contribué de façon importante aux fortes réactions dynamiques qui ont été relevées sur les lieux de l'accident. Bien que le dévers de six pouces ait été identifié comme étant

¹⁶ Voir le rapport n° LP 129/2004 du laboratoire technique du BST pour avoir une représentation graphique des simulations.

un défaut nécessitant une intervention urgente, ce dévers était proche du dévers d'équilibre pour un train roulant à 43 mi/h. Le fait de réduire le dévers nécessitant une intervention urgente pour le ramener de six pouces à cinq pouces, pour le rendre conforme aux limites de sécurité, aurait effectivement occasionné une augmentation mineure des efforts dynamiques exceptionnellement élevés sur les lieux de l'accident, étant donné le déséquilibre induit de un pouce. Même si le dévers excessif nécessitant une intervention urgente qui a été relevé près du PDD était supérieur au maximum de cinq pouces, ce dévers accru aurait facilité le passage dans la courbe des wagons roulant à une vitesse de 45 mi/h.

Essai de simulation n° 7 : Conicité du bandage des roues

Lorsque des wagons roulent dans une courbe, les forces de frottement ont pour effet d'accroître la tendance du bogie à s'appuyer contre le rail extérieur de la courbe. Ce mouvement de braquage désaxe le bogie, faisant en sorte que la roue placée du côté haut de l'essieu avant et la roue placée du côté bas de l'essieu arrière se coincent contre le rail haut et le rail bas. Ce coincement force les rails à s'éloigner l'un de l'autre, d'où un risque de surécartement et de renversement du ou des rails.

Les réactions dynamiques exceptionnellement fortes causées par le bogie avant sur les lieux de l'accident ont été obtenues dans des conditions de faible conicité des bandages qui correspondent à la présence de roues installées récemment. Des roues installées récemment ont été intégrées au scénario de référence parce que les dossiers de réparation et d'entretien du wagon n° DTTX 750218 indiquaient que les roues avaient été remplacées récemment et devaient donc avoir des profils proches de ceux de roues neuves. Quand on a intégré au scénario des roues dont le bandage avait une forte conicité (roues usées), on n'a relevé aucune réaction dynamique violente sur les lieux de l'accident. L'angle d'attaque et les efforts latéraux étaient moins grands dans le cas de la simulation utilisant des roues à forte conicité que dans celui de la simulation de référence, utilisant des roues dont le bandage avait une faible conicité, respectivement.

Essai de simulation n° 8 : Graissage des rails

Dans les courbes, le frottement augmente considérablement à mesure que la courbure de la voie augmente, et à plus forte raison lorsque le graissage des rails est inadéquat. Le graissage du rail haut atténue le risque de chevauchement du rail haut. De plus, un graissage modéré du rail bas permet d'atténuer les forces qui causent un surécartement.

Lors de l'accident, il y avait des graisseurs de rails au point milliaire 185,5, soit au nord des lieux de l'accident, et au point milliaire 180,0, au sud. Le graisseur nord, celui qui était le plus rapproché du PDD, était censé graisser le rail haut de la courbe où le déraillement s'est produit. Or, les éléments de preuve indiquent que les rails étaient secs (aucune lubrification) dans l'ensemble du secteur du déraillement. On a donc procédé à une simulation avec le wagon articulé dans les mêmes conditions que celles du scénario de référence, mais en réduisant le frottement entre les boudins de roue et la face intérieure du rail, de façon à représenter les conditions correspondant à un rail graissé. Les résultats de cette simulation ont été consignés et comparés avec ceux de la simulation de référence.

Pour la simulation avec graissage de la face interne des rails, on a constaté que l'angle d'attaque et les efforts latéraux étaient moins prononcés que dans le cas du scénario de référence, dans lequel les rails étaient secs. Et plus important encore, dans le cas de la simulation avec graissage de la face intérieure des rails, on n'a relevé aucune réaction dynamique particulièrement forte sur les lieux de l'accident. La simulation avec graissage de la face intérieure des rails a révélé que l'angle d'attaque et les efforts latéraux dynamiques étaient peu accentués tout au long de la courbe, ce qui indique que le frottement à sec entre les boudins de roue et la face intérieure du rail a été une des conditions qui ont dû causer les réactions dynamiques exceptionnellement fortes.

Essai de simulation n° 9 : Systèmes de fixation de la voie

Les chercheurs ont procédé à une simulation dont le scénario voulait que des crampons conventionnels soient utilisés pour retenir les deux rails d'une voie sur laquelle le wagon articulé circulerait dans les mêmes conditions que celles du scénario de référence. Dans cette situation, on a réduit la rigidité latérale d'environ 50 p. 100 et on a aussi modifié en conséquence le rapport d'amortissement. Les résultats de la simulation portant sur la présence de crampons sur les deux rails ont été consignés et comparés avec ceux de la simulation de référence.

Avec le scénario portant sur la présence de crampons sur les deux rails, on a constaté que l'angle d'attaque et les efforts latéraux étaient moins grands que dans le scénario de référence, lequel tenait compte de la présence d'attaches de type élastique sur le rail haut. Et plus important encore, dans le cas de la simulation avec la présence de crampons sur les deux rails, on n'a remarqué aucune réaction dynamique marquée sur les lieux de l'accident. L'angle d'attaque et les efforts latéraux dynamiques étaient à peu près normaux tout au long de la courbe, ce qui indique que la présence des attaches élastiques plus rigides sur le rail haut a été une des conditions qui ont causé les réactions dynamiques exceptionnellement fortes.

Annexe B – Liste des rapports à l'appui

Le laboratoire technique du BST a rédigé les rapports suivants :

LP 105/2004 – Rail Analysis (Analyse des rails) [Traduction]

LP 129/2004 - Train Dynamics Analysis (Analyse de la dynamique du matériel roulant) [Traduction]

Pour obtenir ces rapports, prière d'en faire la demande au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Annexe C – Sigles et abréviations

°C	degré Celsius
ALERT	programme avancé de formation d'appoint des mécaniciens
ASF	Avis de sécurité ferroviaire
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CCC	système de commande centralisée de la circulation
CCF	contrôleur de la circulation ferroviaire
CEL	consignateur d'événements de locomotive
CFCP	Chemin de fer Canadien Pacifique
CMN	Circulaire sur les méthodes normalisées (CN)
CN	Canadien National
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CTCL	chef de train-conducteur de locomotives
ES	fin de raccordement
km	kilomètre
L/V	latéral/vertical
m	mètre
mi/h	mille à l'heure
mm	millimètre
MTB	million de tonnes brutes
NT	Notice technique (CFCP)
PDD	point de déraillement
REF	<i>Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada</i>
RNCEF	<i>Règlement sur les normes de compétence des employés ferroviaires</i>
RSV	<i>Règlement sur la sécurité de la voie</i>
SS	début de raccordement
SUI	serrage d'urgence intempestif des freins
TC	Transports Canada
TEST	système d'évaluation de la voie
WRP31	Warp 31 – écart du nivellement transversal enregistré entre deux points séparés de 31 pieds au plus dans une courbe de raccordement
WRP62SPR	Warp 62 spiral – écart du nivellement transversal enregistré entre deux points séparés de 62 pieds au plus dans une courbe de raccordement