



**RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE
R11D0099**



DÉRAILLEMENT EN VOIE NON PRINCIPALE

**DU TRAIN DE BANLIEUE 805
EXPLOITÉ PAR L'AGENCE MÉTROPOLITAINE DE TRANSPORT
AU POINT MILLIAIRE 73,84 DE LA SUBDIVISION
SAINT-HYACINTHE
À MONTRÉAL (QUÉBEC)
LE 9 DÉCEMBRE 2011**

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement 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 en voie non principale

du train de banlieue 805

exploité par l'Agence métropolitaine de transport

au point milliaire 73,84 de la subdivision

Saint-Hyacinthe

à Montréal (Québec)

le 9 décembre 2011

Rapport numéro R11D0099

Sommaire

Le 9 décembre 2011, le train de banlieue 805 de l'Agence métropolitaine de transport, formé de 2 locomotives (une à chaque extrémité du train) et de 9 voitures à voyageurs à 2 niveaux, roulait vers l'ouest à 11 mi/h quand la locomotive de tête, qui était en service depuis environ 2 semaines, et une voiture à voyageurs ont déraillé après que le train a pénétré sur la voie 22 de la gare Centrale, à Montréal (Québec). La partie avant du train s'est arrêtée près du quai voyageurs, ce qui a facilité l'évacuation des 1400 voyageurs du train. Personne n'a été blessé.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Le 9 décembre 2011, le train 805 (le train) de l'Agence métropolitaine de transport (AMT), train de banlieue régulier, quitte Mont-Saint-Hilaire (Québec) à 7 h¹ en direction ouest à destination de la gare Centrale, à Montréal (Québec) (Figure 1). L'équipe se compose d'un mécanicien et d'un chef de train. Tous les 2 répondent aux exigences de leurs postes respectifs, se conforment aux normes de repos et de condition physique et connaissent bien la subdivision.

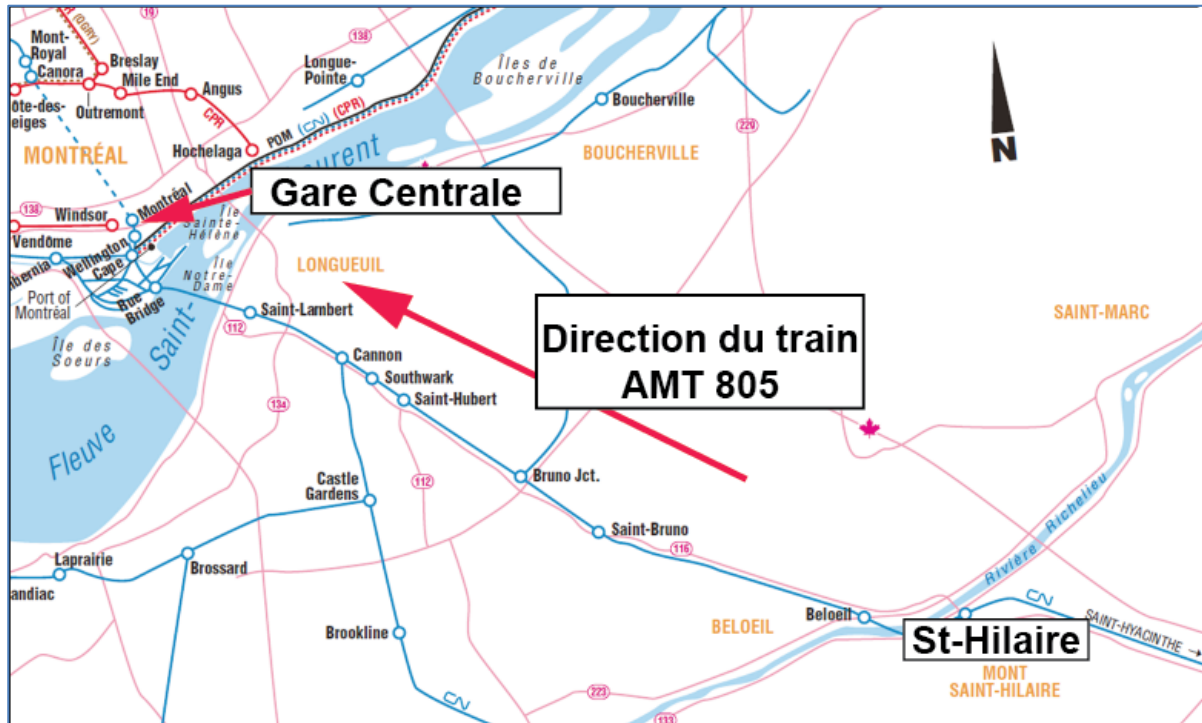


Figure 1. Carte du lieu du déraillement (Source : Association des chemins de fer du Canada, *Atlas des chemins de fer canadiens*, avec annotations du BST)

Le parcours à partir de Mont-Saint-Hilaire se déroule sans incident. Vers 7 h 47, juste avant l'entrée du train à la gare Centrale, le mécanicien arrête le moteur de la locomotive de tête, comme cela se fait normalement². Le mécanicien, posté dans la locomotive de tête, utilise la puissance de la locomotive de queue pour propulser la rame. Les freins à air du train sont opérationnels, mais ne sont pas utilisés. La manette des gaz se trouve à la position de ralenti à l'approche de la gare.

Alors que la partie avant du train sort d'une courbe à gauche de 11,75° (dans la direction du mouvement du train) et entre à 11 mi/h dans la zone des quais de la gare sur la voie 22 (Figure 2), il se produit une secousse inhabituelle et le mécanicien serre les freins d'urgence. Après l'arrêt du train, l'équipe constate que la locomotive de tête (AMT 1352) et la première

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

² Avant d'entrer dans le terminal souterrain, on coupe le moteur des locomotives de tête afin de réduire au minimum les gaz d'échappement.

voiture à voyageurs (AMT 3000) ont déraillé et se sont immobilisées contre le quai d'embarquement en béton situé sur le côté sud de la voie.

Les voyageurs sont invités à se déplacer vers l'avant du train, où ils peuvent descendre normalement sur le quai d'embarquement de la voie 22. Personne n'est blessé.

La température est de 2 °C.

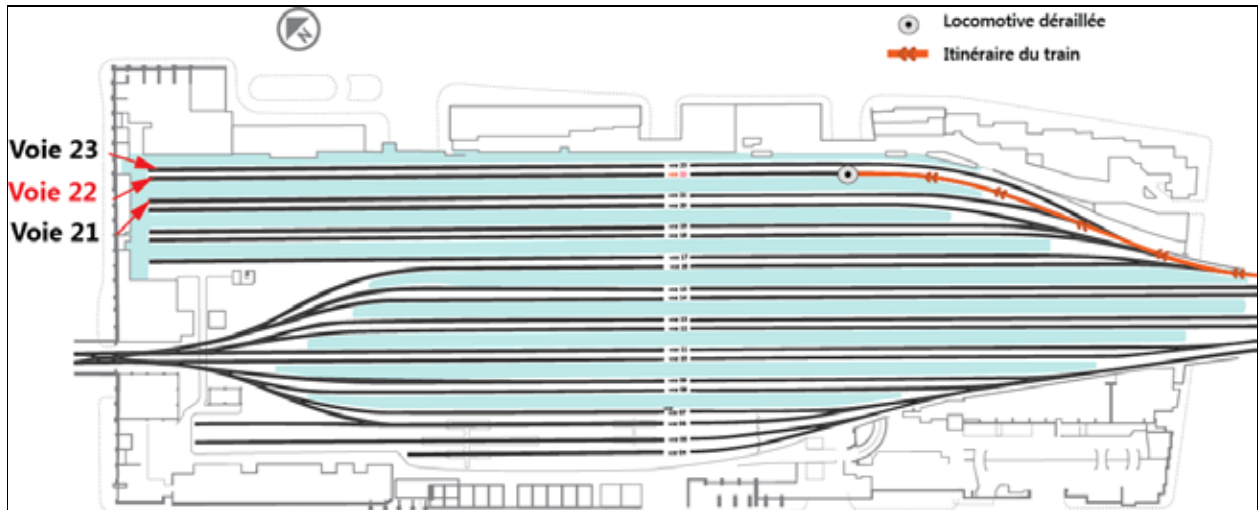


Figure 2. Schéma des voies de la gare Centrale (Source : CN, avec annotations du BST)

Renseignements sur les lieux

La gare Centrale est située au point milliaire 74,25, à l'extrémité de la subdivision Saint-Hyacinthe du Canadien National (CN), qui commence à Sainte-Rosalie (Québec). La gare Centrale est la deuxième gare ferroviaire la plus achalandée au Canada. Ce terminal souterrain, situé au centre-ville de Montréal, est constitué de 20 voies utilisées presque exclusivement par l'AMT, VIA Rail Canada Inc. (VIA) et Amtrak pour les trains de banlieue et intercités en service voyageurs. Le mouvement des trains dans les limites de la gare Centrale est régi par le système de commande centralisée de la circulation autorisé en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, sous la supervision d'un contrôleur de la circulation ferroviaire posté à Montréal.

La salle des pas perdus est située au-dessus des voies de la gare. Sur un côté de chaque voie, on trouve des quais en béton pour l'embarquement des voyageurs. Des escaliers ordinaires et roulants permettent aux voyageurs d'avoir accès aux quais d'embarquement à partir de la salle des pas perdus. Certaines voies, dont la voie 22, sont des voies en impasse équipées d'un butoir d'attelage à leur extrémité ouest. L'éclairage est concentré principalement dans la zone des quais d'embarquement des voyageurs. Un éclairage secondaire provient des nombreux signaux nains présents dans l'ensemble de la gare et, dans une faible mesure, de la lumière naturelle provenant de l'entrée est.

La locomotive de tête s'est arrêtée à environ 440 pieds à l'ouest du début du quai d'embarquement de la voie 22. L'essieu monté arrière du bogie avant de la locomotive de tête a déraillé du côté nord de la voie. Les roues sud des 3 autres essieux montés de la locomotive ont

dérailé du côté intérieur du rail. Sur la voiture à voyageurs déraillée, l'essieu monté avant du bogie avant a également déraillé à l'intérieur du rail.

Les premières marques d'impact ont été observées sur un joint du rail sud situé à quelque 200 pieds à l'ouest du début du quai d'embarquement et à 10 pieds à l'ouest de la fin de la courbe. Plus à l'ouest, le rail sud s'est renversé sur le côté extérieur après s'être déplacé latéralement vers l'extérieur d'environ 10 pouces (Photo 3). On a observé des marques à l'intérieur des rails le long de l'âme et du patin du rail sud ainsi que sur les selles et les traverses, jusqu'à l'avant de la locomotive de tête. Le rail nord n'a pas bougé. Les crampons sur le côté intérieur du rail nord à la fin de la courbe se sont soulevés d'environ $\frac{3}{4}$ de pouce à 1 pouce.



Photo 1. Courbe à l'approche du quai d'embarquement



Photo 2. Marques sur un joint du rail sud



Photo 3. Déplacement latéral du rail sud



Photo 4. État du ballast

Renseignements sur le train

Le train compte 2 locomotives bimodes récemment acquises de Bombardier Transport (BT) (la locomotive AMT 1352 en tête et l'AMT 1353 en queue) et 9 voitures à voyageurs à 2 niveaux. Il pèse environ 980 tonnes et mesure quelque 910 pieds de longueur.

La locomotive AMT 1352 a été livrée à l'AMT en juillet 2011. Après les derniers essais, elle a été inspectée par Transports Canada (TC) le 25 novembre 2011 et mise en service payant le 28 novembre 2011, environ 2 semaines avant l'accident. Depuis sa mise en service, la locomotive avait accumulé environ 1070 milles de service pour l'AMT, surtout sur la ligne de Saint-Hilaire.

À Mont-Saint-Hilaire, le matin de l'accident, le train a fait l'objet d'une inspection avant parcours et d'un essai de frein n° 1. Aucune anomalie n'avait été constatée.

Les nouvelles locomotives ont emprunté les voies de la gare Centrale 33 fois, notamment 15 fois sur la voie 21, 5 sur la voie 22, 8 sur la voie 23, et le reste sur d'autres voies.

Acquisition du matériel roulant - AMT

Par suite de l'augmentation de l'achalandage et de ses plans d'expansion, l'AMT a reçu du gouvernement du Québec une approbation de financement en vue de l'acquisition de 160 voitures et de 20 locomotives bimodes de BT. Le devis technique pour le nouveau matériel roulant a été préparé en 2007, le contrat a été octroyé en août 2008 et les livraisons ont commencé à Montréal en juin 2011. Le nouveau matériel roulant venait compléter la flotte existante de l'AMT³. Pour économiser sur les coûts d'acquisition, l'AMT a présenté pour les locomotives une soumission conjointe avec la New Jersey Transit (NJ Transit).

Depuis 2007, de nombreuses rencontres ont eu lieu entre l'AMT et le CN, ainsi qu'avec le Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP) afin de déterminer et d'examiner les enjeux liés à la mise en service du nouveau matériel roulant. L'AMT a rencontré les compagnies ferroviaires durant la préparation du devis technique, pendant la construction et lors des essais. L'AMT a invité les compagnies ferroviaires à participer à l'inspection de l'assemblage des locomotives en Allemagne, aux séances de familiarisation avec le nouvel équipement lors de sa réception à la NJ Transit et durant les essais menés à Pueblo, Colorado.

Des représentants de l'AMT et de TC ont examiné les nouvelles locomotives au cours de leur construction en Allemagne. Une nouvelle locomotive a été expédiée au Transportation Technology Center de l'Association of American Railroads (AAR), près de Pueblo, où elle a été soumise à des essais sur une période de 6 mois dans un environnement nord-américain. Des cours de formation ont été donnés à Montréal aux équipes du CN et du CFCP qui seront appelées à prendre les commandes des nouvelles locomotives à bord des trains de l'AMT.

³ Une fois toutes les commandes livrées, la capacité voyageurs des trains de l'AMT augmentera de 70 %, permettant ainsi la mise à la retraite de certain matériel roulant plus ancien.

Caractéristiques de la locomotive

La locomotive bimode a été construite de façon à se conformer au Manual of Standards and Recommended Practices de l'AAR et de l'American Public Transportation Association, ainsi qu'aux exigences de la Federal Railroad Administration (FRA), de TC et de la Province de Québec (y compris les conditions préalables en matière d'environnement et d'émissions). La locomotive a été conçue pour rouler en toute sécurité à des vitesses pouvant aller jusqu'à 125 mi/h⁴ avec une insuffisance de dévers⁵ pouvant atteindre 6 pouces. La locomotive a excédé les exigences du Manual of Standards and Recommended Practices de l'American Public Transportation Association relativement aux essais de réaction du bogie à des défauts de voie (APTA SS-M-014-06). Voici les caractéristiques techniques de la locomotive bimode :

Tableau 1. Caractéristiques de la locomotive

Longueur hors tout	71,5 pieds	Type de roue	Catégorie B (empattement de 110 pouces)
Poids brut	281 040 livres ⁶	Profil de roue	AAR - conicité ⁷ de 1:40
Nombre d'essieux	4 (tous motorisés)	Vitesse maximale de calcul	125 mi/h (80 mi/h sur l'AMT)
Poids approximatif par roue	35 125 livres	Freins	À disque et à sabot + rhéostatique
Classification	ALP-45DP	Mode de propulsion	Électrique ou diesel

La configuration des bogies de la locomotive est basée sur un concept éprouvé de BT utilisé à grande échelle depuis 1980. Contrairement à un grand nombre de locomotives nord-américaines, la caisse de la locomotive ne repose pas sur une traverse pivot, mais est plutôt soutenue sur chaque bogie par 4 ressorts hélicoïdaux Flexicoil avec ressorts extérieurs et intérieurs. Ces ressorts se déforment verticalement sous le poids de la locomotive et travaillent en cisaillement aussi bien latéral que longitudinal au cours de la rotation du bogie, et aide celui-ci à reprendre son orientation normale à la sortie d'une courbe (Figure 3).

⁴ La vitesse maximale d'exploitation était de 80 mi/h sur les voies de l'AMT.

⁵ La quantité de dévers qu'il faut rajouter à une courbe pour obtenir le dévers requis pour la vitesse d'équilibre.

⁶ Le poids véhiculaire brut des nouvelles locomotives est supérieur d'environ 7 % à celui du type de locomotives précédemment utilisé.

⁷ Pente donnée à la table de roulement. L'augmentation de la conicité (par exemple, de 1:40 à 1:20) peut faciliter la manœuvrabilité des roues dans les courbes et réduire les charges latérales qu'elles génèrent. Cependant, ceci peut augmenter le mouvement de lacet des bogies à des vitesses élevées.

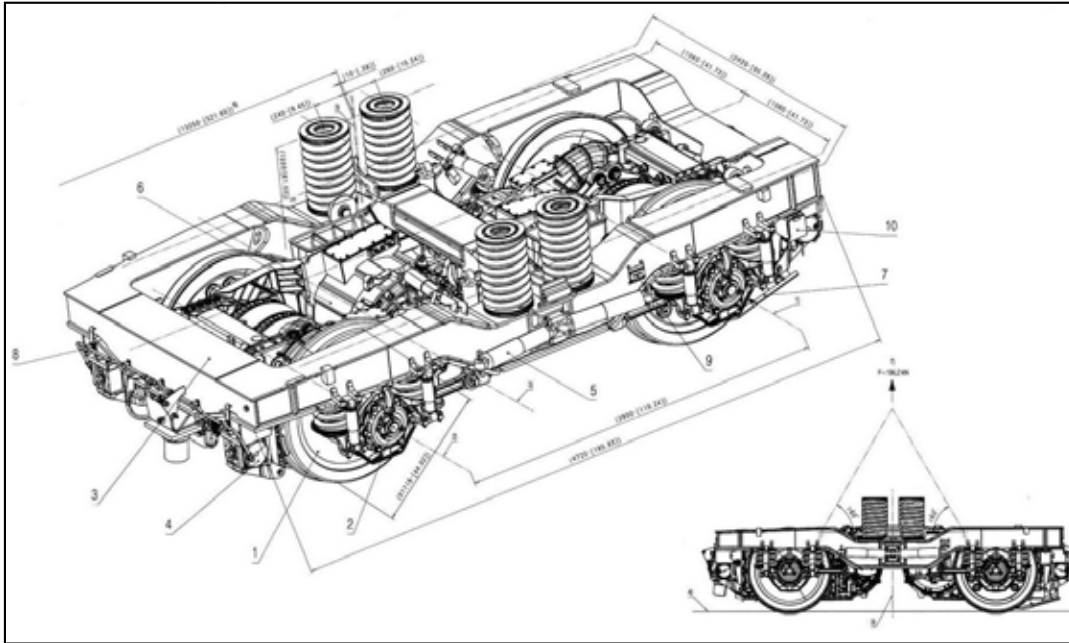


Figure 3. Configuration du bogie d'une locomotive ALP-45DP (Source : Bombardier Transport)

Dans le monde, il y a plus de 1000 locomotives de BT en service ayant une configuration de bogie semblable. Certaines d'entre elles, affectées au transport lourd en Europe, ont une charge par essieu atteignant 35 tonnes et sont en service depuis 2000. Cependant, la plupart d'entre elles possèdent une charge par essieu moins élevée que la locomotive ALP-45DP. Environ 60 de ces locomotives (type ALP-46), dont plusieurs ont été construites depuis 2002, sont en service à la NJ Transit. Leur poids brut est d'environ 207 000 livres. D'autres locomotives sans traverse pivot (type P42DC et PL-42) affectées au service voyageurs par Amtrak, la NJ Transit et VIA depuis plus de 10 ans, ont un poids brut entre 282 000 et 295 000 livres.

Le 20 décembre 2011, du personnel de BT ont effectué une inspection après démontage de la locomotive AMT 1352 en présence d'enquêteurs du BST dans les ateliers de l'AMT à Pointe-Saint-Charles (Québec). Au cours de cette inspection, les caractéristiques de la locomotive ont été comparées au devis du constructeur. Aucune anomalie n'a été constatée. On a aussi examiné les documents de contrôle de la qualité du fabricant des ressorts. On a conclu que les exigences pour le matériau des ressorts et les essais connexes répondaient aux spécifications de BT.

Particularités de la voie

La voie 22 commence à un branchement n° 8 spécial. Elle consiste en une courbe à gauche de 270 pieds, suivie d'un tronçon en alignement droit d'environ 1000 pieds prenant fin à un butoir d'attelage. La partie en courbe commence à environ 75 pieds à l'est du début du quai d'embarquement et se termine 195 pieds plus à l'ouest. La voie est constituée de rails éclissés de

39 pieds. Le rail sud est un rail Dominion de 100 livres ARAA HF à champignon chanfreiné⁸ de 1939. Le rail nord est un rail standard de 100 livres ARAA, suivi d'un rail de 100 livres à champignon chanfreiné. Le passage au rail à champignon chanfreiné se produit à quelque 60 pieds avant la fin de la courbe. Les traverses n° 2 en bois dur sont réparties à 18 pouces de centre à centre; elles sont dans un état acceptable (Annexe A - Exigences relatives aux traverses).

Les selles utilisées pour fixer le rail dans le secteur du déraillement sont différentes et plus anciennes étant donné que de l'entretien localisé avait été effectué au fil des ans. Il y a en place 3 types de selle de rail : 10 pouces, 11 pouces et 14 pouces. Les selles de 10 pouces sont d'une conception unique, identifiées par les marques Y-1939 CNR; la gare Centrale en est équipée depuis sa construction. Les selles de 11 et 14 pouces sont des selles ordinaires à double épaulement.

Il y a des selles de 14 pouces sous le rail standard ARAA sur le côté nord de la courbe; elles sont fixées chacune par 6 crampons. Le reste de la voie utilise un mélange de selles de rail de 10 et 11 pouces. Les 2 rails à l'extrémité de la courbe (photos 5 et 6) comportent un groupe de selles de 10 pouces. Chaque selle présente un intervalle de $\frac{1}{8}$ de pouce entre ses épaulements et le patin du rail.

⁸ Le rail à champignon chanfreiné présente un profil de champignon différent de celui du rail standard. Le champignon n'est pas carré et ses côtés sont biseautés. Ce type de rail est rarement utilisé, mais se trouve encore sur certaines voies à faible densité.



Photo 5. Les flèches rouges indiquent l'emplacement des selles de rail de 10 pouces fixées par des crampons à section arrondie à la fin de la courbe – rail sud



Photo 6. Les flèches rouges indiquent l'emplacement des selles de rail de 10 pouces fixées par des crampons à section arrondie à la fin de la courbe – rail nord

Les selles de rail de 10 pouces sont fixées par 4 crampons à section arrondie et 2 goujons; les selles de 11 pouces sont fixées par 2 crampons dans l'alignement droit et par au moins 3 crampons dans la courbe. Bon nombre des selles de 11 pouces reposent sur un tampon isolant de caoutchouc de $\frac{1}{4}$ de pouce.

La voie ne comporte pas d'anticheminants. Le ballast est constitué de gravier concassé (diamètre de 1 à 2 pouces); à certains endroits, il est obstrué par de la graisse et de la boue (photos 7 et 8).



Photo 7. Traverses, selles de rail, crampons et ballast



Photo 8. Traverse, selle de rail, crampons et ballast en gros plan

La vitesse maximale était limitée à 10 mi/h. La voie était considérée comme une « autre voie », mais les exigences d'entretien suivaient les critères de catégorie 1, selon le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV), en date du 3 novembre 2008 (TCE-31), approuvé par TC.

Examen des éléments de la voie

Plusieurs des selles de rail de 10 pouces et des crampons à section arrondie provenant de la voie 22 (photos 9 à 13) ont été envoyés au Laboratoire du BST (rapport LP 099/2012). Les analyses ont permis de déterminer que :

- Les axes des crampons à section arrondie étaient corrodés juste sous le champignon, à l'endroit où les crampons viennent en contact avec les selles. La réduction du diamètre des crampons atteignait jusqu'à $\frac{5}{16}$ de pouce.
- L'agrandissement des trous de crampon dans les selles atteignait jusqu'à $\frac{1}{4}$ de pouce.
- La base des selles de 10 pouces était amincie d'environ 50 % par rapport à celle des selles de 14 pouces.



Photo 9. Selles de rail de style plus ancien et crampons à section arrondie

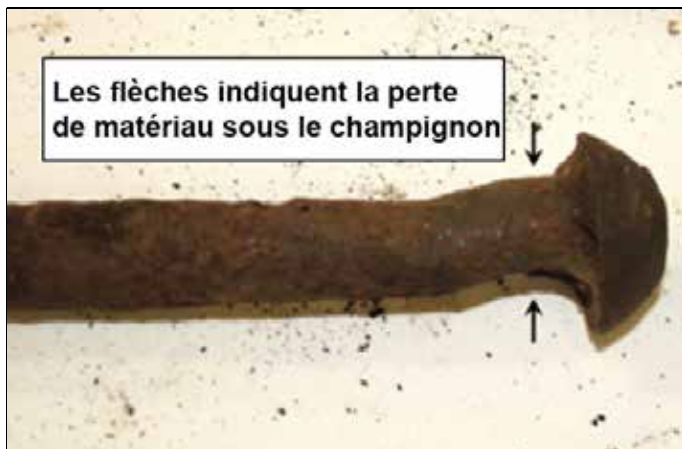


Photo 10. Crampon à section arrondie avec perte de matériau sous le champignon



Photo 11. Agrandissement d'un trou de crampon dans une selle de rail atteignant jusqu'à $\frac{1}{4}$ de pouce



Photo 12. Type de selle de rail plus ancien de 10 pouces superposé sur une nouvelle selle de rail de 14 pouces. La base de la selle de 10 pouces fait environ la moitié de l'épaisseur de la base de la selle de 14 pouces.

Dans le cas des selles de rail de 10 pouces, la tête des crampons à section arrondie recouvre la totalité du trou, ce qui rend difficile l'évaluation de l'usure et de la corrosion de l'axe des crampons ou des trous dans la selle (Photo 13).



Photo 13. Vue du dessus de la tête d'un crampon à section arrondie dans une selle de rail de 10 pouces

Inspections de la voie

Un véhicule rail-route a inspecté la voie 22 les 22 novembre 2011 et 4 octobre 2011. Aucune anomalie n'a été observée dans le secteur du déraillement. Le RSV précisait qu'une autre voie devait être inspectée mensuellement, mais n'exigeait pas l'auscultation des rails ni les essais par les voitures de contrôle de la géométrie de la voie.

Le dernier contrôle de la voie pour les défauts de rail remontait au 16 décembre 2010, sans qu'aucune anomalie n'ait été détectée. La voie n'avait pas été vérifiée par une voiture de contrôle de la géométrie de la voie.

Mesures de la voie après l'accident

Après l'accident, on a mesuré le nivellement transversal et l'écartement à 15 endroits (à 15 pieds et 6 pouces de distance entre eux), en commençant à l'est du matériel roulant déraillé (Annexe B) :

- L'écartement sans charge était d'environ 57 ¼ pouces, ce qui se situe dans les limites acceptables de 58 pouces autorisées par le RSV pour une voie de catégorie 1.
- Comme le précisent les Normes de la voie de l'Ingénierie⁹ du CN, les courbes de 12 ° sont conçues avec un dévers de ½ pouce pour les trains roulant à 10 mi/h. Le

⁹ Normes de la voie de l'Ingénierie du CN, tableau 1, juin 2011.

nivellement transversal¹⁰ mesuré dans la courbe variait entre $-1 \frac{1}{4}$ pouce et $+5/8$ de pouce, les valeurs négatives relevées à 3 endroits à la fin de la courbe. Les écarts de nivellement transversal par rapport aux dévers conceptuels se situaient dans les limites de 3 pouces admises par le RSV pour les courbes dans une voie de catégorie 1.

Écartement critique des rails

Quand l'écartement sous charge dépasse la limite critique de 59 pouces, définie par la dimension physique d'un essieu monté standard usé d'un wagon de marchandises, une roue tombera entre les rails (Figure 4).

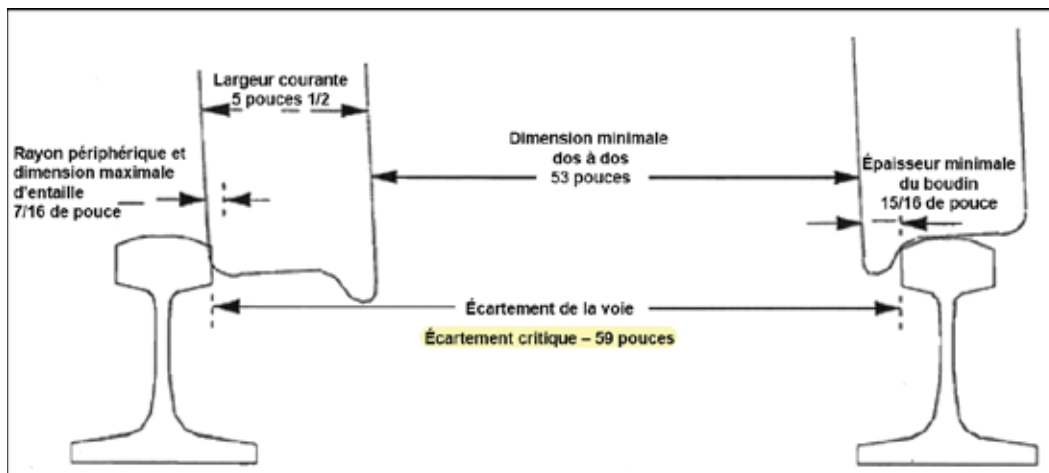


Figure 4. Écartement critique d'un essieu monté standard usé (Source : Volpe National Transportation Systems Center)

L'écartement critique serait de $59 \frac{1}{2}$ pouces pour une locomotive de type ALP-45DP, équipée d'essieux montés neufs.

Rapport entre les efforts latéraux et les efforts verticaux

Le rapport latéral/vertical (rapport L/V) exprime le rapport qui existe entre la force de la poussée exercée par le boudin de roue vers l'extérieur du rail (effort latéral) et la charge générée par les roues sur le rail (effort vertical). On peut se servir du seul rapport L/V pour prévoir le risque qu'une roue chevauche le côté intérieur d'un rail ou se soulève d'un rail (Figure 5). De façon similaire, les forces combinées provenant des roues d'un côté du bogie et exerçant des efforts latéraux élevés sur le même rail peuvent entraîner une déflexion du champignon de rail, une inversion de l'inclinaison du rail ou un déplacement latéral, ce qui donnerait lieu à un surécartement ou un renversement du rail. Les lignes directrices de l'AAR indiquent que les valeurs L/V d'un côté du bogie ne devraient pas dépasser 0,6.

¹⁰

Le nivellement transversal est la différence de hauteur, en mm ou en pouces, entre 2 rails, tel qu'il est mesuré avec une règle-niveau.

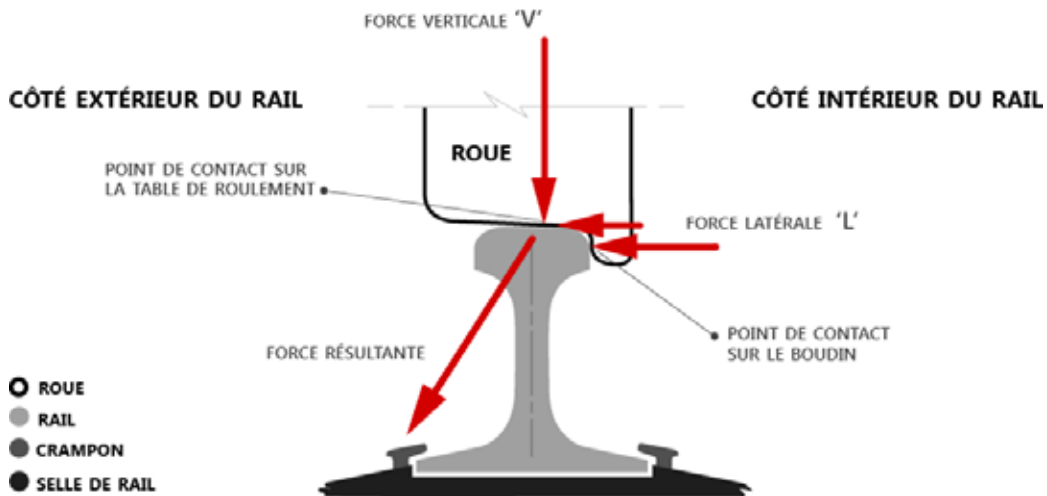


Figure 5. Forces s'exerçant entre le rail et la roue (Source : AAR)

Essais instrumentés

À la suite de l'accident, des essais indépendants ont été effectués à Montréal et au New Jersey afin d'évaluer les efforts latéraux exercés sur la voie par les nouvelles locomotives bimodes.

Les essais à Montréal ont été effectués par TUV Rheinland Rail Sciences (TUV/RSI), firme de consultants ferroviaires ayant son siège social à Scottdale, Géorgie. Deux sites instrumentés en voie ont été équipés de jauges de contraintes afin de comparer les efforts latéraux exercés sur la voie par 2 différents types de locomotives. Les essais à basse vitesse ont eu lieu le 24 mars 2012, dans la courbe où s'est produit le déraillement à la gare Centrale. Les essais à plus grande vitesse se sont déroulés le 31 mars 2012, dans une courbe de 3 ° sur la voie principale de la subdivision Deux-Montagnes du CN.

Deux rames ont été utilisées à cette fin, l'une propulsée par des nouvelles locomotives bimodes (ALP-45DP) et l'autre par des locomotives du type précédemment utilisé, c'est-à-dire la locomotive F40-PH construite par l'Electromotive Division de General Motors. Voici un résumé des essais instrumentés en voie :

Tableau 2. Comparaison des locomotives utilisées pour les essais instrumentés en voie

Type de locomotive	Gare Centrale - Voie 22		Point milliaire 16,5, subdivision Deux-Montagnes	
	ALP-45DP	F40-PH	ALP-45DP	F40-PH
Efforts latéraux maximums (roues)	25 kips	20 kips	20 kips	20 kips
Rapport L/V maximum (côté du bogie)	0,32	0,21	0,30	0,52 ¹¹

¹¹ Ce rapport L/V maximum sur un côté du bogie a été mesuré sur le bogie arrière de la locomotive de tête; on a jugé qu'il découlait d'un profil de roue usé, mais non critique. Le rapport moyen pour le bogie était de 0,39. Les rapports L/V du bogie avant s'établissaient en moyenne à 0,30.

(Source des données : TUV/RSI)

Les essais au New Jersey ont été réalisés par Prose Ltd., société d'ingénierie basée en Suisse. Des jauges de contraintes ont été installées directement sur les roues du bogie avant d'une locomotive bimode ALP-45DP qui a parcouru, entre les 16 et 23 avril 2012, des tronçons en voie de triage et en voie principale à l'échelle du réseau de la NJ Transit. Des essais ont également été faits sur la Bayhead Loop, qui comporte une courbe de 8 à 12 °, avec un dévers d'environ 2 ½ pouces. Par comparaison, la voie 22 à la gare Centrale possède une courbure maximale de 11,75 °. Voici un résumé des résultats des essais instrumentés de la charge générée par les roues pour la voie de la Bayhead Loop :

Tableau 3. Essais instrumentés de la charge générée par les roues de la locomotive ALP-45DP

ALP-45DP	Parcours 1	Parcours 2
Efforts latéraux maximums	23 kips	19 kips
Rapport L/V maximum (côté du bogie)	0,21	0,18

(Source des données : Prose Ltd.)

Simulations par ordinateur

TUV/RSI a effectué des simulations ont été effectuées à partir des données de la voie 22 afin de comparer la locomotive ALP-45DP à d'autres types de locomotive affectés au service voyageurs à la gare Centrale par Amtrak et VIA. Les résultats sont comme suit :

Tableau 4. Simulations par ordinateur à partir des données de la voie 22

Type de locomotive	Conicité des roues	Charge par essieu	Effort latéral
ALP-45DP	1:40	71 380 livres	22,4 kips
ALP-45DP	1:20	71 380 livres	20,4 kips
F40-PH (AMT 287)	1:20	65 500 livres	16,7 kips
F40-PH (AMT 243)	1:20	65 500 livres	21,6 kips
P42-DC (Genesis)	1:40	67 000 livres	19,8 kips

(Source: TUV/RSI)

Mesure de l'écartement des voies sous charge

Un système de mesure de l'écartement des voies sous charge (GRMS) fait appel à la pression hydraulique pour appliquer à chaque rail une charge latérale vers l'extérieur. L'équipement peut être monté sur un véhicule ferroviaire spécialisé ou sur un véhicule rail-route de façon que les essais puissent se dérouler dans un environnement dynamique pendant que le matériel roulant avance sur la voie. Un appareillage portatif est également disponible pour les essais statiques effectués aux endroits isolés.

Un GRMS peut appliquer au rail une plage de charges verticales adaptées aux circonstances, tout en maintenant un rapport L/V d'environ 0,7. Pour éviter toute influence de charges adjacentes générées par les roues, les exigences de conception précisent que l'écartement sans charge d'une voie doit être mesuré en un point se trouvant au moins 10 pieds de toute application de charges latérales ou verticales. On enregistre les charges verticales et latérales ainsi appliquées, ainsi que les mesures précises de l'écartement.

Des essais ont montré que la relation entre la charge appliquée et la déflexion du champignon du rail a un caractère prédictif. Le système mesure en continu la déflexion latérale du rail sous charge et reconnaît au moyen d'algorithmes les zones où la déflexion du champignon indique un point faible. Le personnel d'entretien de la voie peut alors examiner ces endroits pour améliorer l'état de fixation des rails (par exemple, traverses, selles, anticheminants et attaches). Le RSV n'exige pas la mesure de l'écartement des voies sous charge latérale; par ailleurs, cette pratique n'est pas couramment utilisée sur les voies des gares par l'industrie ferroviaire.

Effet des efforts latéraux sur la déflexion du champignon du rail

Des essais commandités par la Federal Railroad Administration¹² des États-Unis ont évalué le degré de déflexion du champignon du rail sous diverses charges pour différents états de la voie. Par exemple, l'application d'une charge verticale de 15 000 livres et d'une charge latérale de 10 000 livres (rapport L/V de 0,66) entraînera des déplacements du champignon du rail de 1/8 de pouce à 1 1/4 pouce, selon l'état des traverses (Figure 6).

¹² A. Kish, D. Jeong et D. Dzwonczyk, *Experimental Investigation of Gauge Widening and Rail Restraint Characteristics*, novembre 1984.

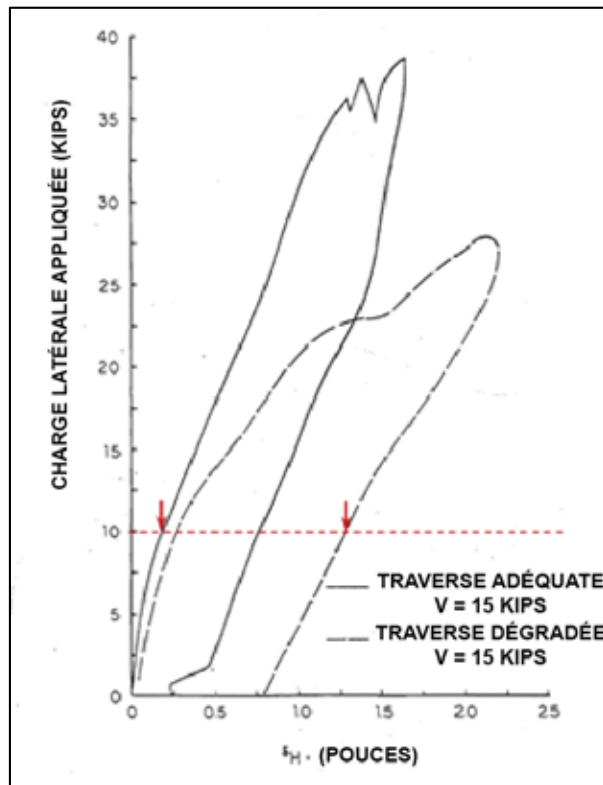


Figure 6. Déflexion du champignon du rail sous charge latérale en fonction de l'état des traverses (Source: FRA, avec annotations du BST)

Les essais ont également montré que la déflexion du champignon du rail est relativement insensible à la taille (poids) du rail. Cependant, dans le cas d'un rail à champignon chanfreiné, dont la rigidité latérale est plus faible, la déflexion du champignon est plus grande que pour les autres types de rail. Avec des charges verticales de 30 kips, un rapport L/V de 0,7 génère des charges latérales de 21 kips, ce qui peut provoquer des déflexions du champignon du rail d'environ 1 pouce (Figure 7).

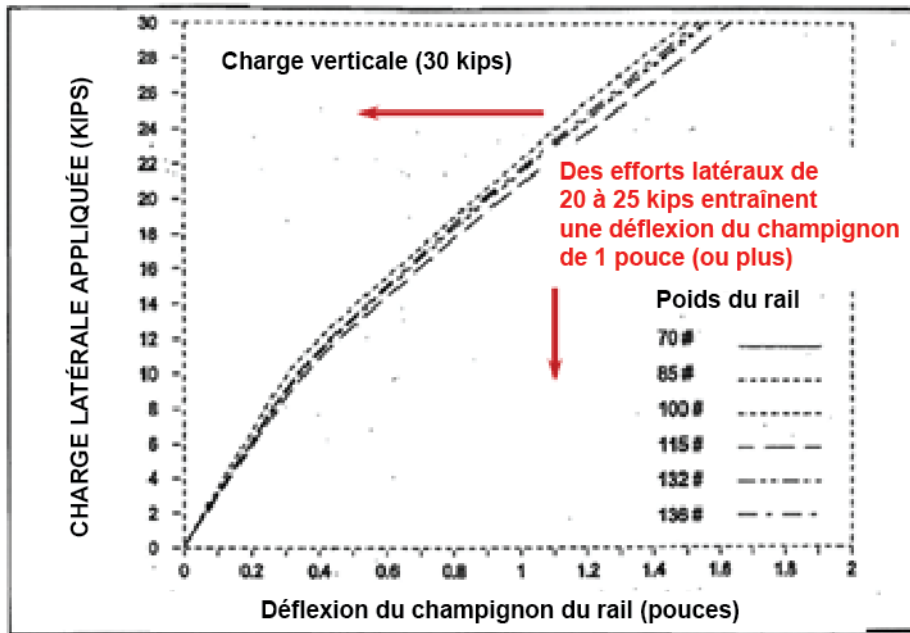


Figure 7. Déflexion du champignon du rail par rapport à la charge latérale appliquée sur des rails de diverses tailles quand la charge verticale est égale à 30 kips (Source : AAR, avec annotations du BST)

Effet du contact de la roue sur la stabilité du rail

Sous les charges latérales exercées par les roues, le rail pivote autour du côté extérieur de son patin. La stabilité latérale d'un rail est liée au rapport b/h entre sa hauteur et la distance d'application de la charge générée par les roues au côté extérieur du patin (Figure 8). Sous des conditions d'équilibre, juste avant le début du renversement du rail, le rapport L/V est égal au rapport b/h .

Dans des conditions normales, le contact entre la roue et le rail se produit au congé de roulement intérieur du champignon du rail. Quand la charge générée par les roues se déplace vers le côté extérieur, b diminue et b/h diminue. Par conséquent, le rapport L/V diminue aussi, ce qui entraîne un risque accru de renversement du rail. Le rapport b/h peut varier de plus de 0,6 pour un contact sur le côté intérieur à environ 0,2 quand la surface de contact se trouve sur le côté extérieur opposé.

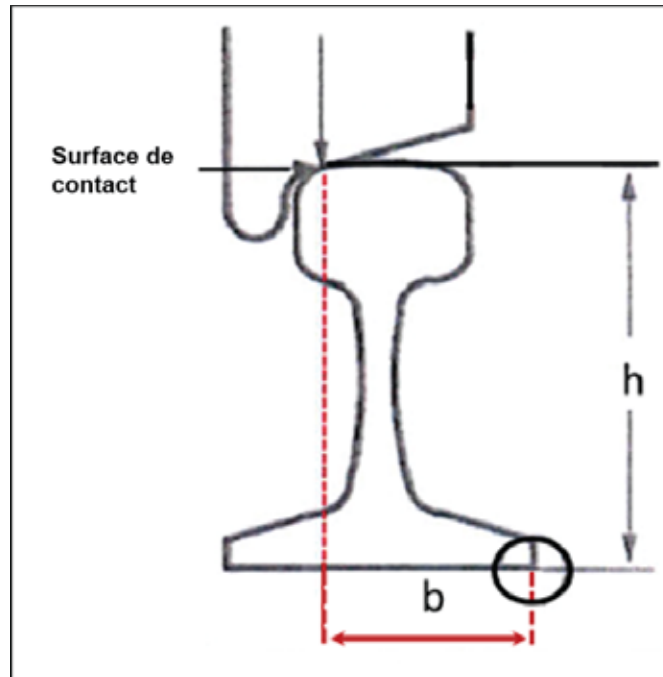


Figure 8. Stabilité du rail (Source: TUV/RSI)

Les profils de roue de la locomotive AMT 1352 ont été comparés aux profils réels du rail. La Figure 9 indique les points de contact entre la roue et le rail.

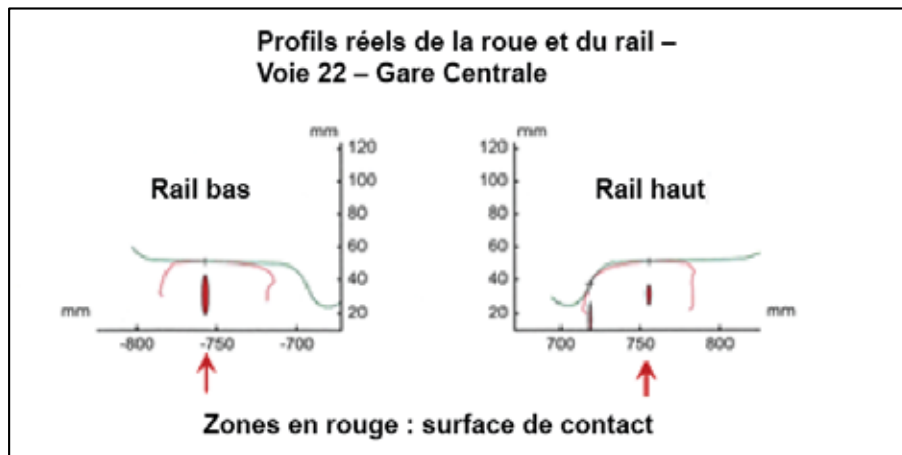


Figure 9. Emplacement du contact de la roue de la locomotive de tête avec le champignon du rail sur la voie 22 (Source: TUV/RSI)

En raison de l'emplacement des points de contact entre la roue et le rail (c'est-à-dire, vers le côté extérieur du rail), on a calculé que la valeur b/h était d'environ 0,45.

Crampons brisés provenant de la voie 21

Après l'accident, une inspection de la voie 21 a été effectuée. Cette voie avait aussi été utilisée par les locomotives bimodes ALP-45DP. Il a alors été remarqué que plusieurs crampons étaient brisés dans la partie en courbe de la voie à l'approche est du quai d'embarquement. La tête des crampons était complètement séparée de leur axe. Certaines surfaces de rupture sur ces crampons étaient luisantes. D'autres montraient divers degrés d'oxydation (Photo 14). L'examen de ces crampons au Laboratoire du BST (rapport LP 003/2012) a permis de déterminer que :

- les crampons ne se sont pas brisés à la même hauteur;
- les crampons se sont brisés en raison de fatigue;
- les fissures de fatigue variaient selon leur âge;
- les surfaces luisantes des crampons, la déformation et les fissures de fatigue portent à croire qu'il y avait un mouvement relativement important des crampons et des selles.



Photo 14. Crampons brisés de la voie 21

L'enquête a donné lieu aux rapports de Laboratoire suivants :

- LP 003/2012 – *Joint Bar and Spike Examination* (Examen des éclisses et des crampons)
- LP 099/2012 – *Tie Plate and Track Spike Examination* (Examen des selles et des crampons)

On peut obtenir ces rapports en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Analyse

Rien d'inhabituel n'a été observé dans la conduite du train. L'analyse se concentrera donc sur le matériel roulant, c'est-à-dire la locomotive AMT 1352, l'état de la voie, les pratiques connexes d'entretien et d'inspection de la voie et les normes de sécurité de la voie.

L'accident

Alors que le train approchait du quai et a négocié la courbe de 11,75 °, le bogie avant de la locomotive AMT 1352 a exercé des efforts latéraux sur le rail nord en raison des mouvements de braquage de ses bogies. Ces efforts, amplifiés par les caractéristiques géométriques de la courbe, c'est-à-dire absence de dévers et nivellement transversal négatif, se sont traduits par une déflexion du champignon du rail et un élargissement de l'écartement. Étant donné l'état des dispositifs de maintien de l'écartement de la voie à la fin de la courbe, c'est-à-dire usure et corrosion des crampons à section arrondie, trous de selle élargis, intervalle entre le patin du rail et les épaulements des selles et la plus faible rigidité du rail à champignon chanfreiné, la voie est devenue moins résistante à l'élargissement de son écartement et n'a pas pu supporter les efforts exercés par le bogie avant. Lorsque l'écartement critique de 59 ½ pouces a été atteint, le déraillement s'est produit. La position des roues déraillées, les marques sur l'éclisse et le déplacement latéral du rail sud concordent avec une roue qui est tombé entre les rails du côté sud.

Caractéristiques du matériel

Les chemins de fer savaient que le poids véhiculaire brut de la locomotive bimode était supérieur d'environ 7 % à celui du type de locomotive utilisé précédemment. Le poids plus élevé de la locomotive et la conicité, moins accentuée de 1:40, ont contribué à générer des charges de roue plus élevées sur la structure de la voie. En raison de la longueur de l'empattement des roues (110 pouces), les efforts provenant d'un côté du bogie ont été mieux répartis sur le rail. Par contre, l'effet de retenue que les charges adjacentes générées par les roues peuvent avoir pour réduire au minimum l'élargissement de l'écartement s'en est trouvé négativement touché.

Les charges verticales transmises à la structure de la voie ont été similaires à d'autre équipement pour marchandises lourdes couramment accepté sur la plupart des secteurs en voie principale, à savoir 286 000 livres de poids brut. Comparativement à la locomotive F40-PH, la locomotive ALP-45DP a produit des efforts latéraux plus élevés. Bien que les efforts latéraux augmentation pouvaient être jusqu'à 25 % plus élevés, les essais ont montré que le rapport L/V se situait bien dans les normes de l'industrie et de l'organisme de réglementation et n'aurait pas dû présenter un risque de renversement du rail.

Géométrie de la courbe

L'absence de dévers ainsi que l'existence d'un nivellement transversal négatif à la fin de la courbe sont compatibles avec les exigences admissibles de la compagnie et de l'organisme de

réglementation, c'est-à-dire un sous-équilibre pouvant atteindre 3 pouces. Cependant, ces conditions ont déplacé le poids de la locomotive vers l'extérieur de la courbe et augmenté la charge latérale exercée sur le rail nord. La charge latérale sur le rail a également été accrue par la perte de direction des essieux montés dans la courbe provoquée par le profil du rail courbé et les roues de la nouvelle locomotive. La surface de contact entre la roue et le rail s'est déplacée vers le côté extérieur, c'est-à-dire, diminution du rapport b/h , ce qui a réduit la stabilité latérale du rail. De plus, à la fin de la courbe, le type de rail change pour devenir un rail à champignon chanfreiné. Étant donné la stabilité latérale réduite et la plus faible rigidité en torsion associées au rail à champignon chanfreiné, celui-ci est moins en mesure de résister au déplacement de son champignon et à une inversion de son inclinaison.

État des dispositifs de maintien de l'écartement de la voie

À la fin de la courbe, l'écartement sans charge mesuré était d'environ $57 \frac{1}{4}$ pouces. Cependant, en raison de l'état de la fixation des rails, c'est-à-dire l'usure et la corrosion des crampons à section arrondie, les trous de selle élargis et l'intervalle entre le patin du rail et les épaulements des selles, l'écartement de la voie a pu atteindre $57 \frac{15}{16}$ pouces, même sous une charge latérale relativement faible. Le soulèvement des crampons sur le rail nord indique que le rail s'est renversé quelque peu. L'importance du soulèvement des crampons (jusqu'à 1 pouce) a entraîné un déplacement du champignon du rail de plus de 1 pouce, l'écartement s'approchant donc de la valeur critique de $59 \frac{1}{2}$ pouces, ce qui a causé la chute des roues entre les rails.

Pratiques d'inspection de la voie

La voie a fait l'objet d'inspections visuelles. Toutefois, la résistance latérale réduite de la voie n'a pas été détectée. Ce processus d'inspection visuelle consiste surtout à repérer tout signe de dégradation de la résistance latérale de la voie, comme des défauts ou des fendillements dans le bois, des traverses visiblement décomposées et des selles désolidarisées ou des crampons desserrés. Cependant, à la gare Centrale, bon nombre des selles plus petites ont été posées sur des tampons de caoutchouc qui peuvent masquer le déplacement des selles. En outre, les trous dans les selles de 10 pouces ont été entièrement recouverts par les crampons à section arrondie, ce qui a rendu difficile l'évaluation de l'usure et de la corrosion de l'axe des crampons ou des trous dans les selles. De plus, les inspections visuelles de la voie ont été effectuées sous un éclairage relativement faible, peu propice à la tenue d'inspections efficaces.

Il est possible que ce ne soit pas suffisant de s'en remettre uniquement aux méthodes d'inspection visuelle pour évaluer dans quelle mesure l'état de la voie a un effet sur sa résistance latérale puisqu'une telle approche est basée sur une évaluation subjective de l'état observé. Comme les signes visuels de la résistance latérale de la voie ne sont pas toujours entièrement évalués et comme l'examen d'une telle résistance constitue un processus subjectif, il y a un risque accru que l'affaiblissement de la résistance latérale de certains tronçons de voie continue de ne pas être détecté.

L'évaluation de la voie à l'aide d'une technologie comme le GRMS, qui applique des charges latérales aux rails, aurait permis avantageusement de reconnaître l'état des dispositifs de maintien de l'écartement de la voie. Le GRMS est généralement utilisé sur les tronçons en voie principale où la vitesse et le tonnage sont plus élevés. Cette méthode de contrôle autorise une

évaluation quantitative de l'état des traverses et corrige certaines lacunes des méthodes d'inspection visuelle. Toutefois, les trains de voyageurs ne roulent pas seulement sur des tronçons en voie principale. Par conséquent, quand des trains de voyageurs sont exploités sur des voies où les chemins de fer ne font pas usage d'un GRMS, la résistance latérale de la voie risque de ne pas être évaluée de façon adéquate.

Le recours à des mesures automatisées de la géométrie de la voie sous charge aurait pu aussi être bénéfique. Comme de telles mesures n'ont pas été prises sur la voie 22, on a perdu l'occasion de repérer une inversion de l'inclinaison du rail ou un nivellement transversal négatif, et de constater leurs effets sur les efforts d'élargissement de l'écartement exercés par les locomotives.

Même si l'état global des selles répondait aux exigences pour les voies de catégorie 1, l'état des moyens de fixation du rail et leur situation dans un groupe situé immédiatement avant le point de déraillement a provoqué un élargissement supplémentaire de l'écartement sous charge dans la sortie de la courbe.

Normes sur la sécurité de la voie

Dans le cas de matériel roulant lourd dont les charges verticales générées par les roues se situent autour de 35 kips, des rapports L/V acceptables à l'industrie produisent des charges latérales de l'ordre de 20 à 25 kips, comme c'était le cas pour la locomotive AMT 1352. Les études de la FRA ont montré que des charges latérales de l'ordre de 20 à 25 kips peuvent provoquer une déflexion du champignon du rail qui peut atteindre 1 pouce, selon l'état des traverses. De plus, d'après ces études, les charges latérales ne diminuent pas significativement, même quand le matériel ferroviaire roule à des vitesses inférieures à 25 mi/h. Comme le RSV admet un surécartement pouvant atteindre 1 ½ pouce pour une voie de catégorie 1, un matériel roulant présentant d'importantes charges générées par les roues et franchissant des courbes dont l'écartement approche de ces limites peut provoquer un surécartement susceptible d'atteindre la valeur critique de 59 pouces pour des roues standard usées.

Crampons de la voie 21

Les crampons de la voie 21 se sont brisés en raison de fatigue et les défaillances se sont sans doute produites avant l'introduction des nouvelles locomotives de l'AMT.

Conclusions

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. L'absence de dévers ainsi que l'existence d'un nivellement transversal négatif à la sortie de la courbe ont augmenté les efforts latéraux exercés par les roues.
2. La locomotive AMT 1352 a généré, au niveau des roues, des efforts latéraux élevés, qui ont contribué à déstabiliser le rail même si le rapport L/V se situait dans les normes de l'industrie et de l'organisme de réglementation.
3. Le déraillement s'est produit quand une roue de la locomotive AMT 1352, une nouvelle locomotive bimode, est tombée du côté intérieur du rail sud, à la sortie d'une courbe de 11,75 degrés de la voie 22, en raison des efforts latéraux élevés exercés par les roues et de l'état des dispositifs de maintien de l'écartement de la voie.

Faits établis quant aux risques

1. Une réduction de la vitesse à une vitesse inférieure à 25 mi/h n'est pas une mesure de sécurité appropriée sur les voies où du matériel roulant génère des charges latérales élevées car ces dernières ne diminuent pas d'une manière significative à des vitesses inférieures à ce niveau.
2. Comme le *Règlement sur la sécurité de la voie (RSV)* admet un surécartement pouvant atteindre 1 ½ pouce pour une voie de catégorie 1, un matériel roulant présentant d'importantes charges générées par les roues et franchissant des courbes dont l'écartement approche de ces limites pourrait provoquer un surécartement susceptible d'atteindre la valeur critique de 59 pouces pour des roues standard usées.
3. Sans mesures automatisées de la géométrie de la voie sous charge et d'inspections par un système de mesure de l'écartement des voies sous charge latérale (GRMS), il est difficile de reconnaître, seulement à partir d'inspections visuelles, une inversion de l'inclinaison du rail ou un nivellement transversal négatif et une faible résistance latérale de la voie, d'où le risque accru d'un surécartement qui entraîne un déraillement.

Autre fait établi

1. Les crampons de la voie 21 se sont brisés en raison de fatigue et les défaillances se sont sans doute produites avant l'introduction des nouvelles locomotives de l'AMT.

Mesures de sécurité

Canadien National

Immédiatement après l'accident, le Canadien National (CN) a modifié la fréquence des inspections visuelles des voies à la gare Centrale, de mensuelle à hebdomadaire. Le CN a également effectué des réparations et des améliorations aux voies 19 à 22, à savoir l'installation de nouvelles selles à double épaulement avec attaches élastiques, à toutes les 2 traverses.

Bureau de la sécurité des transports du Canada

Le 5 avril 2012, le BST a émis la lettre d'information sur la sécurité ferroviaire 05/12, intitulée *Condition de la voie 22 à la gare Centrale de Montréal (Québec)*. Dans cette lettre, le BST a fait remarquer que, même si les voies 19 à 22 avaient fait l'objet de réparations et d'améliorations, certaines des nouvelles selles étaient fixées aux traverses au moyen de tirefonds qui avaient fendu de nombreuses traverses. La compagnie ferroviaire a informé le BST que les traverses endommagées seraient remplacées au cours de l'hiver 2012.

Transports Canada

Transports Canada (TC) a inspecté les voies réparées après l'accident et déterminé que l'état des traverses était conforme au RSV pour une voie de catégorie 1. TC a précisé qu'il était toutefois préoccupé par l'état des traverses endommagées, à moyen et à long terme. Le CN a fait parvenir un plan d'entretien relatif aux traverses sur les voies 19 à 22 et TC surveille les activités d'entretien de la compagnie ferroviaire jusqu'à ce que toutes les traverses endommagées aient été remplacées.

Le RSV a été révisé en date du 25 mai 2012 (TC E-54). Dans le cas des voies de catégorie 1 sur lesquelles sont exploités des trains de voyageurs, des inspections visuelles doivent être faites de façon hebdomadaire ou avant leur utilisation pour le service voyageurs si la voie est utilisée moins d'une fois par semaine alors que l'ancien RSV prescrivait une fréquence mensuelle pour les voies non principales.

Agence métropolitaine de transport

L'Agence métropolitaine de transport (AMT) a lancé plusieurs initiatives afin de réduire les efforts latéraux exercés dans les courbes par les nouvelles locomotives ALP-45DP. D'ici la fin de 2012, la conicité des tables de roulement sera modifiée à 1:20, ce qui permettra, selon les simulations effectuées par ordinateur, de réduire d'environ 9 % les efforts latéraux dans les courbes de la gare Centrale. L'AMT et Bombardier Transport se sont également engagés à installer, d'ici 12 mois, des lubrificateurs de roue montés sur les bogies afin d'améliorer le coefficient de friction entre les roues et les rails. L'AMT prévoit que ces lubrificateurs de roue permettront une réduction additionnelle de 7 % à 35 % des efforts latéraux dans les courbes. Par ailleurs, l'AMT effectue des simulations par ordinateur pour s'assurer que les locomotives ALP-45DP respectent les exigences de la spécification M-1001, chapitre XI, du Manual of

Standards and Recommended Practices de l'Association of American Railroads (AAR) relatives aux wagons de marchandises.

Préoccupation liée à la sécurité

L'installation de lubrificateurs de roue montés sur les bogies et la conicité de 1:20 des roues permettront de réduire les efforts latéraux exercés par les nouvelles locomotives ALP-45DP. Les efforts réduits devraient se rapprocher de ceux exercés par les locomotives F40-PH présentement utilisées par l'AMT. Toutefois, de plus en plus de locomotives affectées au service voyageurs, comme les locomotives P42-DC et PL-42, utilisées par Amtrak, VIA et NJ Transit, sont plus lourdes que la locomotive F40-PH. Leur poids est comparable à celui de la locomotive ALP-45DP et elles peuvent générer des charges latérales élevées.

Ces locomotives plus lourdes génèrent, par roue, des charges verticales se situant entre 30 et 35 kips et des charges latérales de 20 à 25 kips dans les courbes. Même si le rapport L/V se situe dans les limites de l'industrie et de l'organisme de réglementation, des études effectuées par la Federal Railroad Administration (FRA) ont démontré que des efforts latéraux de cette amplitude peuvent produire des déflexions du champignon du rail pouvant atteindre 1 pouce.

Tous les jours au Canada, de nombreuses locomotives lourdes affectées au service voyageurs circulent sur des voies de catégorie 1 et des voies de triage. Même si les nouvelles exigences du RSV feront augmenter le type et la fréquence de certaines inspections pour certaines de ces voies, il n'y a toujours pas d'exigences visant à effectuer des inspections automatisées sur les voies comme celles de la gare Centrale, où le tonnage est inférieur à 5 millions de tonnes brutes-milles (MTBM), à l'aide de technologies comme la voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie ou le système de mesure de l'écartement des voies sous charge latérale (GRMS).

Sur ces voies, les inspections visuelles constituent le principal moyen de défense pour s'assurer qu'elles respectent les exigences du RSV. Il est possible que ce ne soit pas suffisant de s'en remettre uniquement aux méthodes d'inspection visuelle pour évaluer dans quelle mesure l'état de la voie a un effet sur sa résistance latérale puisqu'une telle approche est basée sur une évaluation subjective de l'état observé. Étant donné que les exigences pour ces tronçons de voie ne sont pas aussi strictes que pour des catégories de voie plus élevées, il existe un risque accru qu'une faible résistance latérale soit présente et qu'elle ne soit pas décelée.

Par conséquent, le Bureau est préoccupé par le fait que, sur les voies de catégorie plus basses où des locomotives lourdes affectées au service voyageurs sont exploitées, il se peut que les mécanismes de défense nécessaires ne soient pas en place pour éviter un surécartement excessif de la voie, ce qui augmente le risque de déraillement.

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 12 décembre 2012. Il est paru officiellement le 24 janvier 2013.

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.

Annexe A – Exigences pour les traverses des voies de catégorie 1 (Règlement sur la sécurité de la voie)

Traverses

- a) Les traverses doivent être fabriquées dans un matériau permettant une fixation solide des rails.
- b) Tout tronçon de voie de 39 pieds doit :
 - 1) reposer sur un nombre suffisant de traverses capables de fournir un appui satisfaisant et assurer le maintien :
 - i) de l'écartement de la voie dans les limites prescrites [. . .] ;
 - ii) du nivellement dans les limites prescrites [. . .] ; et
 - iii) du tracé dans les limites prescrites [. . .] ;
 - 2) comprendre des traverses en nombre et de qualité conformes aux prescriptions du paragraphe c) du présent article, également réparties de façon à assurer un bon appui, et
 - 3) comprendre au moins une traverse de la qualité prescrite au paragraphe c) du présent article, située sous un joint du type décrit au paragraphe d) du présent article.
- c) Chaque tronçon de 39 pieds de voie :
 - de catégorie 1 doit reposer sur cinq traverses; [. . .]

Ces traverses ne doivent pas présenter :

- 1) de rupture de part en part;
- 2) de fissures ou de défauts permettant au ballast de pénétrer dans la traverse ou empêchant la fixation de crampons ou d'attaches de rail;
- 3) de détériorations telles que les selles de rail ou le patin des rails puissent se déplacer latéralement sur plus de 1/2 pouce par rapport à la traverse; ou
- 4) d'entailles causées par les selles sur une profondeur supérieure à 40 pour cent de l'épaisseur de la traverse.

Annexe B – Mesures de la voie 22 après l'accident

Endroit n° (15'6" de centre à centre)	Chainage (pieds)	Flèche d'alignement (corde de 62 pieds)	Écartement	Nivellement transversal sans charge	Courbure (degrés)	Rayon ($R=50/\sin(D/2)$)
Aiguille	0					
0	76		56 7/8 po	0 po		
1	91		56 1/2 po	0 po		
2	107	1 po 1/4	56 1/2 po	+ 1/4 po	1° 15'	4583,75 pi = 1397,13 m
3	122		56 5/8 po	+ 1/2 po		
4	138	5 po 1/2	56 1/2 po	+ 5/8 po	5° 30'	1042,14 pi = 317,64 m
5	153		56 5/8 po	+ 5/8 po		
6	169	11 po	57 po	0 po	11°	521,67 pi = 159,01 m
7	184		56 3/4 po	+ 1/8 po		
8	200	8 po 1/4	56 5/8 po	+ 1/4 po	8° 15'	695,09 pi = 211,86 m
9	215		56 5/8 po	+ 1/4 po		
10	231		56 3/4 po	0 po		
11	246		57 1/8 po	0 po		
12	262		57 1/4 po	0 po		
13	277		56 3/4 po	+ 1/4 po		
14	293		56 3/4 po	+ 1/8 po		
15	308		57 1/4 po	+ 1/8 po		
16	324		56 3/4 po	(- 1/2 po)-		
17	339		56 5/8 po	(- 3/8 po)		
18	355		56 7/8 po	(- 1 1/4 po)		
19	370		58 1/8 po	-		
20	386		n/r	-		
NOTA	L'endroit n°0 est situé à la sortie du cœur de croisement (75,86 pieds de l'aiguille de l'aiguillage de la voie 22).					