

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE
R10Q0037**



DÉRAILLEMENT EN VOIE PRINCIPALE

**DU TRAIN DE MARCHANDISES NUMÉRO M-365-21-23
EXPLOITÉ PAR LE CANADIEN NATIONAL
AU POINT MILLIAIRE 165,80 DE LA SUBDIVISION SAINT-
MAURICE
À CLOVA (QUÉBEC)
LE 23 AOÛT 2010**

Canada

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 principale

Du train de marchandises M-365-21-23
exploité par le Canadien National
au point milliaire 165,80 de la subdivision Saint-
Maurice
à Clova (Québec)
Le 23 août 2010

Rapport numéro R10Q0037

Sommaire

Le 23 août 2010, vers 16 h 30, heure avancée de l'Est, 17 wagons (16 wagons chargés et 1 wagon vide) du train M365-21-23 du Canadien National, ont déraillé au point milliaire 165,80 de la subdivision Saint-Maurice, près de Clova (Québec). La voie ferrée a été détruite sur une distance d'environ 1300 pieds. L'accident n'a fait aucun blessé et n'a causé aucun dommage permanent à l'environnement.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Le 23 août 2010, le train de marchandises M-365-21-23 (le train) du Canadien National (CN) part de Senneterre (Québec) et roule en direction est à destination de La Tuque (Québec). Le train compte 5 locomotives dont 2 sont isolées et 95 wagons (90 wagons chargés et 5 wagons vides); il pèse environ 13 100 tonnes et mesure approximativement 5640 pieds. L'équipe de train se compose d'un mécanicien et d'un chef de train. Ils connaissent bien le territoire, se conforment aux normes de repos et de condition physique et répondent aux exigences de leurs postes respectifs. Le ciel est dégagé et la température est de 21 °C.

Vers 16 h 30¹, alors que le train s'approche de la municipalité de Clova (voir la figure 1), un serrage intempestif des freins d'urgence provenant de la conduite générale se déclenche au moment où la locomotive se trouve au point milliaire 164,97. La locomotive de tête s'immobilise au point milliaire 164,70. Dix-sept wagons (du 61^e au 77^e wagon) ont déraillé.

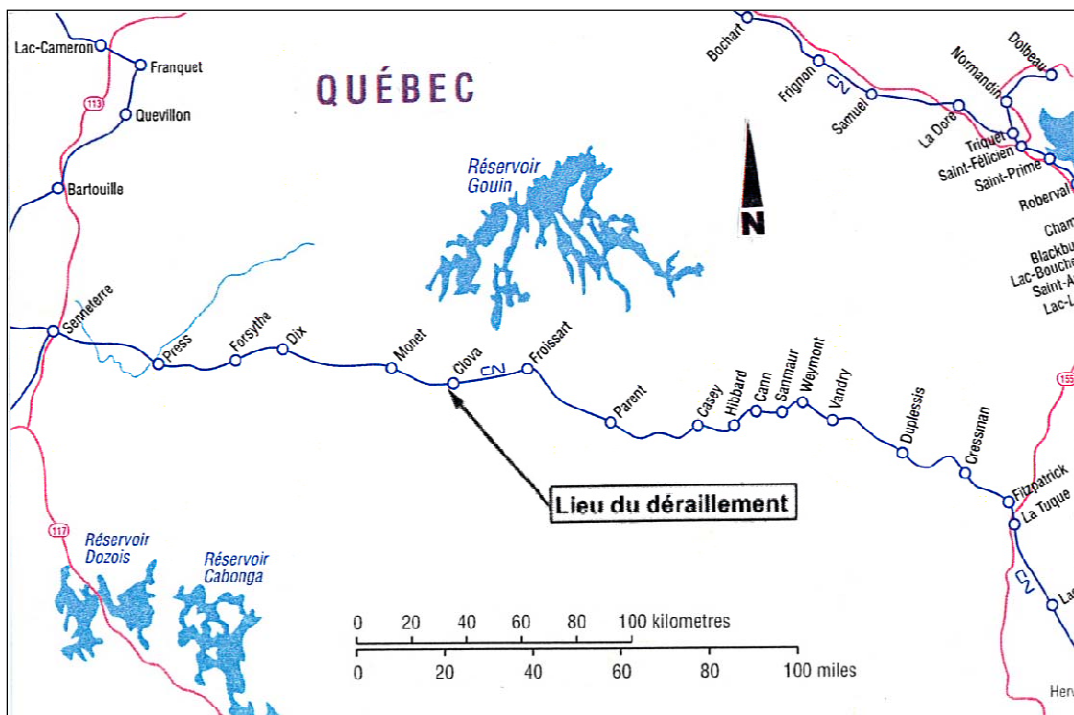


Figure 1. Lieu du déraillement (source: Association des chemins de fer du Canada, *Atlas des chemins de fer canadiens*).

¹ Toutes les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est (temps universel coordonné moins 4 heures).

Examen des lieux

La zone de déraillement couvre environ 1300 pieds (voir figure 2). Le matériel roulant déraillé compte 10 wagons-tombereaux à copeaux de bois chargés, 1 wagon-trémie couvert vide (résidu de cyanure de sodium UN1689) et 6 wagons couverts chargés de papier journal.

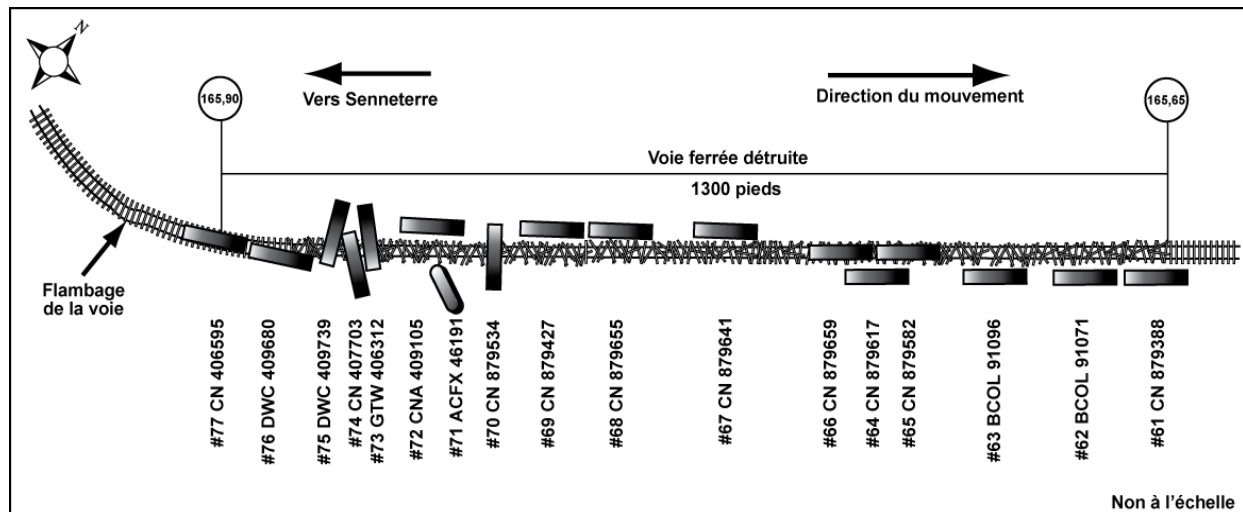


Figure 2. Diagramme représentant le lieu de l'accident

Les 4 premiers wagons déraillés, du 61^e wagon au 64^e wagon, se sont renversés sur le côté sud de la voie ferrée. Les 2 wagons suivants, les 65^e et 66^e wagons, sont demeurés sur leurs bogies en position verticale au centre de la plate-forme de la voie ferrée. Les 67^e, 68^e et 69^e wagons se sont renversés sur le côté nord de la voie. Les wagons suivants, du 70^e au 75^e, se sont empilés à proximité du point de déraillement. Les 2 derniers wagons déraillés sont demeurés en position verticale sur la voie ferrée, le 76^e ayant ses 2 bogies déraillés et le 77^e ayant uniquement son bogie meneur déraillé.

Tout le matériel roulant déraillé a été examiné; aucun défaut antérieur au déraillement n'y a été décelé. Le train avait auparavant subi une inspection détaillée et une inspection au défilé lors de son départ de Senneterre et aucun défaut n'avait été signalé. Le train a ensuite franchi le détecteur de boîte chaude situé au point milliaire 214,8 sans déclencher d'alarme.

À l'ouest de la zone du déraillement, la voie ferrée décrit une courbe à gauche de 4 degrés 45 minutes, dans le sens du mouvement, d'une longueur de 2014 pieds. Du côté est du point de déraillement localisé au point milliaire 165,80, la voie ferrée traverse une zone marécageuse et comporte une section en alignement droit jusqu'au point milliaire 165,63 pour ensuite décrire une courbe à droite de 2 degrés 0 minutes, d'une longueur de 773 pieds.

Dans la portion courbe de la voie située à l'ouest du point de déraillement, la voie est composée de longs rails soudés (LRS) de 115 livres alors que la portion en alignement droit située à l'est du point de déraillement comporte des rails de 100 livres. Les rails reposent sur des selles de rail à double épaulement, fixées aux traverses par 3 crampons. Il y a environ 3200 traverses de bois dur par mille de voie. Des anticheminants encadrent chaque deuxième traverse.

Dans le secteur est de la courbe, à environ 75 pieds derrière le dernier wagon déraillé, la voie ferrée a subi un déplacement latéral d'environ 12 pouces vers l'extérieur de la courbe (côté sud de la voie). Le ballast, constitué principalement de pierres concassées, est en bon état et ne montre pas de signe de colmatage. Le ballast a été perturbé et l'épaulement ne mesure qu'environ 6 pouces de largeur (voir photo 1). De plus, il a été constaté que plus de 50 % des traverses ont été récemment remplacées.

Dans la zone affectée par le flambage, qui couvre une longueur d'environ 50 pieds, une marque diagonale de boudin de roue est visible sur le champignon du rail nord à partir du côté intérieur du rail. À 5 pieds de cette marque, les selles de rail et les traverses montrent des marques d'impact du côté extérieur. Des marques correspondantes ont été relevées sur les traverses, du côté intérieur du rail sud. Ces marques s'étendent jusqu'aux wagons déraillés.



Photo 1. Ballast perturbé au bout des traverses.

Renseignements sur la voie

La subdivision Saint-Maurice est constituée d'une voie principale simple qui relie le triage Fitzpatrick près de La Tuque (point milliaire 0,0) à Senneterre (point milliaire 257,52). Le mouvement des trains est régi par la régulation de l'occupation de la voie autorisée en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, sous la supervision d'un contrôleur de la circulation ferroviaire posté à Montréal (Québec). Il s'agit d'une voie de catégorie 3, au sens du *Règlement sur la sécurité de la voie* approuvé par Transports Canada. Dans la zone de l'accident, la vitesse maximale autorisée est de 35 mi/h pour les trains de marchandises et de 40 mi/h pour les trains de voyageurs. Le trafic ferroviaire est constitué de 2 trains de marchandises et 1 train voyageur par jour, ce qui représente un tonnage annuel de près de 3,6 millions de tonnes brutes.

La voie a été inspectée régulièrement et aucun défaut n'a été signalé aux alentours de l'endroit où le déraillement est survenu. La dernière inspection visuelle de la voie ferrée a été faite le vendredi 20 août 2010, le dernier passage de la voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie remontait au 11 juin 2010, et le dernier contrôle de détection des défauts du rail avait été fait le 20 août 2010.

Renseignements consignés

Selon les données du consignateur d'événements, au moment de l'accident, le train roulait à 38 mi/h avec la manette des gaz à la position 4, le frein rhéostatique n'était pas appliqué et les freins à air étaient desserrés.

Travaux d'entretien de la voie

Entre le 16 et le 21 août 2010, une équipe de pose a remplacé des traverses et procédé au nivellement de la voie du point milliaire 162,84 au point milliaire 172,50. L'équipe a travaillé de nuit, commençant à 20 h et finissant à 4 h. Le 20 août 2010, l'équipe a entrepris des travaux du point milliaire 166,60 au point milliaire 165,70. La température ambiante minimale était de 8 °C. L'équipe de pose a remplacé approximativement 1820 traverses, dont certaines dans la courbe où le déraillement a eu lieu. La voie a été nivelée et stabilisée dynamiquement. À la fin des travaux, entre 3 h et 4 h, un contrôle visuel de la qualité des travaux a été réalisé par un inspecteur à bord d'un véhicule rail-route et aucune anomalie n'a été relevée. Aucun ordre de marche au ralenti n'a été donné entre les points milliaires 164,0 et 169,0 pour la période s'échelonnant entre le 16 août 2010 et le 23 août 2010, ce qui était conforme aux *Normes de la voie – Ingénierie* du CN de mars 2007 ainsi qu'au *Bulletin des Normes de la voie* du 22 mai 2009 portant sur la limitation temporaire de vitesse sur une voie perturbée.

Température de contrainte nulle du rail

Dans la subdivision Saint-Maurice, près de Clova, les rails existants ont été installés au début des années 1970. À cette époque, la température idéale de pose (TIP) était de 21,1 °C (70 °F). En 2010, la TIP en vigueur était de 32,2 °C (90 °F). Les rails nouvellement posés, dont la température de pose est à l'extérieur de la gamme des TIP, doivent être libérés dès que possible après la pose mais il n'est pas obligatoire d'appliquer cette pratique aux rails posés dans le passé.

Au moment de son installation, le rail est libre de tout effort de traction ou de compression. Il est à la température de contrainte nulle; mais dès que sa température devient supérieure à la température de contrainte nulle, des contraintes longitudinales de compression apparaissent. Des températures ambiantes extrêmement hautes ou basses, des travaux mécanisés d'entretien de la voie (p. ex. programmes de pose des traverses et de nivellement de la voie) et des mouvements du rail causés par le trafic peuvent entraîner un changement ou une redistribution des efforts internes qui s'exercent sur le rail, modifiant ainsi la température de contrainte nulle. Généralement, la température de contrainte nulle d'un rail diminue avec le temps.

Risques de flambage de la voie

Les risques de flambage de la voie augmentent quand les contraintes de compression longitudinales qui s'accumulent dans le rail augmentent ou quand la résistance latérale de la structure de la voie est affaiblie. La plupart du temps, les flambages de la voie se produisent dans les courbes. Ils sont davantage susceptibles de se produire en présence d'au moins un des facteurs suivants :

- fortes contraintes thermiques de compression exercées sur le rail;
- affaiblissement de la structure de la voie;
- forces exercées par le passage du train;
- mauvaise géométrie de la voie.

Selon un rapport relatif aux effets des travaux d'entretien sur les risques de flambage de la voie, intitulé *Effects of Maintenance Operations on Track Buckling Potential*², des programmes de remplacement de traverses et de nivellement peuvent généralement entraîner une perte de 40 % à 60 % de la résistance latérale. Un stabilisateur dynamique permet de retrouver de 60 % à 80 % de la résistance originale, ce que la plupart des chemins de fer considèrent comme étant une résistance adéquate contre le flambage de la voie dans la plupart des conditions. Le rapport indique aussi que le passage de 6 à 10 millions de tonnes brutes qui s'ajoute à cela n'est pas suffisant pour que la voie retrouve toute la résistance latérale qui était la sienne avant les travaux d'entretien.

Quart de nuit et baisse de vigilance

Presque toutes les fonctions du corps (p. ex. température corporelle, digestion, niveau hormonal) sont régies par un cycle quotidien appelé rythme circadien. L'effet le plus important de ce cycle sur l'être humain est de le programmer à être réveillé le jour et endormi la nuit. Les perturbations du rythme circadien peuvent affecter le rendement et le fonctionnement cognitif. Les travailleurs des quarts de nuit sont particulièrement affectés par l'altération de ces fonctions. Le rendement et le fonctionnement cognitif sont à leur plus bas pendant les périodes où le rythme circadien voudrait qu'on dorme. Des mesures précises du rendement, portant notamment sur le temps de réaction et sur les alarmes liées à la sécurité des trains, démontrent que le rendement est à son plus bas pendant le quart de nuit.

L'être humain a 2 périodes de somnolence maximale en 24 heures. Elles varient selon les personnes, mais la période de somnolence principale se produit en général entre 3 h et 5 h, et la période de somnolence secondaire, entre 15 h et 17 h. Indépendamment de sa motivation et de la situation, on peut avoir du mal à rester vigilant pendant les périodes de somnolence maximale.

² A. Kish, T. Sussmann et M. Trosino, *Effects of Maintenance Operation on Track Buckling Potential*, Proceeding of International Heavy Haul Association Conference, mai 2003.

Analyse

Même si le train excédait la vitesse permise d'environ 3 mi/h, il est peu probable que cet excès de vitesse ait été un facteur contributif de l'accident. Comme la conduite du train était par ailleurs conforme aux exigences de la compagnie et à celles de la réglementation, et comme aucune défaillance du matériel roulant n'a été relevée, on considère que ni la conduite du train ni l'état du matériel roulant ne sont en cause. Donc, l'analyse portera surtout sur les travaux d'entretien et le déplacement latéral de la voie ferrée.

L'accident

Lorsque les locomotives et les 60 premiers wagons chargés de ballast ont passé à l'extrémité est de la courbe, la voie s'est désalignée progressivement. Les forces latérales exercées par les roues des wagons au moment de leur passage ont causé de légères déviations dans le rail. Ces déviations se sont accentuées avec le passage de chaque wagon, jusqu'à ce que la voie se déplace brusquement. Les wagons suivants, chargés de copeaux de bois, n'ont pu négocier le tracé de la voie gauchie et ont déraillé.

Le déplacement latéral d'environ 12 pouces qui a été observé dans le secteur est de la courbe, à environ 75 pieds derrière le dernier wagon déraillé, suggère un flambage de la voie. Le fait que le flambage de la voie se soit produit dans une courbe concorde avec les circonstances de ruptures similaires dues au flambage. De même, le fait que la rupture ait eu lieu lors du passage d'un train et causé le déraillement des derniers wagons du train est un élément typique des accidents causés par un flambage de la voie.

La contrainte de compression exercée sur le rail s'élève lorsqu'il y a un écart entre la température de contrainte nulle et la température ambiante. Lors des travaux du 20 août, la voie a été perturbée alors que la température ambiante était de 8 °C; par conséquent, il y a eu une redistribution des contraintes dans le rail, entraînant un abaissement supplémentaire de la température de contrainte nulle dans le secteur du déraillement. Le jour du déraillement, la température ambiante a atteint sa valeur la plus élevée depuis la réalisation des travaux, augmentant ainsi les contraintes thermiques dans le rail. Comme la température de contrainte nulle dans le secteur du déraillement a été abaissée lors des travaux, la voie est devenue plus susceptible au flambage.

Capacité de résistance aux charges latérales

Une voie conçue et entretenue de façon appropriée résiste aux forces de compression qui s'accumulent normalement dans les LRS. Les anticheminants, les attaches de rail, les selles de rail, les traverses et le ballast contribuent à empêcher le rail de se déplacer dans le sens longitudinal et latéral. Toutefois, quand la structure de la voie est perturbée à la suite de travaux d'entretien, la résistance latérale de la voie est réduite, de même que sa capacité à résister au flambage. Les travaux de nivellement, le remplacement de plus de la moitié des traverses à l'extrémité est de la courbe et la faible largeur de l'épaulement sud, ont affaibli la structure de la voie et réduit sa capacité de résistance aux charges latérales exercées par les wagons.

Baisse de la température de contrainte nulle du rail

Lorsque les rails ont été installés au cours des années 1970, la TIP, et de fait, la température de contrainte nulle étaient beaucoup plus basses que celles en vigueur de nos jours. Comme la température de contrainte nulle du rail a tendance à diminuer avec le temps, il est vraisemblable qu'avant l'exécution des travaux d'entretien, la température de contrainte nulle dans la zone des travaux ait diminué au point d'être inférieure à la température de pose initiale. Par conséquent, de telles zones deviennent vulnérables au flambage et présentent des risques accrus de déraillement.

Effet du stabilisateur dynamique

Les travaux d'entretien de la voie avaient été faits conformément aux normes en vigueur au CN. L'utilisation du stabilisateur dynamique et le passage de 3 trains dans la zone affectée par les travaux, même s'ils ne redonnent pas à la voie la résistance latérale antérieure, auraient dû permettre d'obtenir une résistance latérale adéquate contre le flambage de la voie. Toutefois, comme la température de contrainte nulle du rail était exceptionnellement basse et que l'épaulement de la voie ne mesurait que 6 pouces, la résistance latérale regagnée, bien que suffisante dans la plupart des circonstances, n'a pas permis de contrer les forces de flambage générées par les contraintes thermiques et par l'action dynamique du train M365 21 23, le plus lourd et le plus long à passer depuis la réalisation des travaux.

Contrôle de la qualité

Le contrôle visuel de la qualité a été réalisé à la fin des travaux et l'étroitesse de l'épaulement n'a pas attiré l'attention de l'inspecteur. Si une vérification visuelle peut être adéquate pour vérifier des manquements majeurs, elle s'avère souvent insuffisante quand il s'agit de détecter des détails précis et qui sont de surcroît difficiles à distinguer à partir d'un véhicule rail-route et dans l'obscurité. Les limites de la capacité humaine en matière de traitement de l'information ont été étudiées en détail par de nombreux chercheurs dans le domaine de la psychologie cognitive, dont G. Miller (1956), D. Lane (1982) et C. Wickens (1984).

Lors du contrôle, l'inspecteur doit effectuer un grand nombre de vérifications distinctes mais concurrentes (p. ex., profil géométrique de la voie, rails, selles de rail, crampons, traverses, ballast). Quand une personne doit s'acquitter de plus d'une tâche à la fois, l'exécution d'au moins une des tâches en souffre. Les personnes peuvent suivre l'évolution de 5 à 9 éléments d'information en même temps, mais si plusieurs tâches concurrentes font appel à la même faculté (en l'occurrence la vue pour inspecter les travaux), le nombre d'éléments d'information qui peuvent être suivis diminue. De plus, dans le cas présent, le contrôle a eu lieu à la fin des travaux, lors de la période de somnolence principale au moment où la vigilance est à son plus bas.

Chacun des facteurs qui précèdent (p. ex., tâches concurrentes, obscurité, baisse de vigilance) peut réduire à lui seul la capacité des inspecteurs de s'acquitter de leurs fonctions. La situation s'aggrave quand une combinaison de facteurs entre en jeu, réduisant encore plus la capacité d'un inspecteur de faire son travail.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Le déraillement est survenu lorsque la voie s'est déplacée latéralement sous le passage du train.
2. Comme la température de contrainte nulle dans le secteur du déraillement a été abaissée lors des travaux, la voie est devenue plus susceptible au flambage.
3. Les travaux de nivellement, le remplacement des traverses et la faible largeur de l'épaulement ont affaibli la structure de la voie et réduit sa capacité de résistance aux charges latérales exercées par les wagons.

Faits établis quant aux risques

1. Comme la température de contrainte nulle du rail a tendance à diminuer avec le temps, il est vraisemblable que, dans certaines portions de voie, elle ait diminué au point d'être inférieure à la température de pose initiale. Par conséquent, de telles zones deviennent vulnérables au flambage et présentent des risques accrus de déraillement.
2. L'utilisation du stabilisateur dynamique et le passage de plusieurs trains dans la zone affectée par les travaux ne redonnent pas à la voie une résistance latérale adéquate dans toutes les circonstances.
3. Pris isolément ou combinés, certains facteurs (p. ex., tâches concurrentes, obscurité, baisse de vigilance) peuvent réduire la capacité d'un inspecteur de faire son travail.

Mesure de sécurité prise

Le 31 août 2010, le Canadien National a émis de nouvelles procédures concernant les mesures à prendre après la pose de traverses et l'utilisation du stabilisateur dynamique. Avant de rétablir la vitesse normale des trains à la fin des travaux, il est requis de mettre un ordre de marche au ralenti de 10 mi/h pour les 2 premiers trains et de 30 mi/h pour les 2 trains suivants; la voie devant être inspectée après le passage de chaque train.

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 14 juin 2011.