

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE
R14D0011**



COLLISION EN VOIE PRINCIPALE

**ENTRE UN TRAIN DE TRIAGE
ET LE TRAIN DE MARCHANDISES Q12111-21
EXPLOITÉS PAR LE CANADIEN NATIONAL
POINT MILLIAIRE 3,5 DE LA SUBDIVISION DE MONTRÉAL
MONTRÉAL (QUÉBEC)
23 FÉVRIER 2014**

Canada

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

Rapport d'enquête ferroviaire R14D0011

Collision en voie principale entre un train de triage et le train de marchandises Q12111-21 exploités par le Canadien National point milliaire 3,5 de la subdivision de Montréal Montréal (Québec) 23 février 2014

Résumé

Le 23 février 2014, un train de triage du Canadien National, contrôlé par un système de loco-commande, circulait avec 25 wagons chargés sur la voie de service « voie de marchandises » de la subdivision de Montréal, à Montréal (Québec). Vers 0 h 5, le train de triage a franchi un signal d'arrêt et est entré en collision avec le train Q12111-21 qui roulait sur la voie nord. Les 2 trains ainsi que les voies qu'ils occupaient ont été endommagés. Il n'y a eu aucun blessé.

This report is also available in English.

Renseignements de base

L'accident

Le 22 février 2014, vers 21 h¹, un chef de train (Cdtr) et un Cdtr adjoint ont débuté leur quart de travail à la cour de triage Taschereau du Canadian National (CN) à Montréal (Québec) sur un train de triage supplémentaire tracté par les locomotives CN 7208 et CN 7224. Cette affectation était exploitée sans mécanicien de locomotive (ML) à l'aide d'un système de loco-commande (Beltpack²). Les 2 membres de l'équipe connaissaient bien le territoire et se conformaient aux normes de repos et de condition physique. Ils répondaient aux exigences de leurs postes respectifs et avaient été formés comme opérateurs de locomotive avec le système de loco-commande.

Après avoir révisé tous les documents liés à leur train, les 2 employés se sont rendus dans la locomotive CN 7224 et y ont déposé leurs sacs contenant les documents liés à l'exploitation. Ensuite, ils ont armé le Beltpack et effectué les vérifications préliminaires. L'équipe devait s'atteler à 25 wagons chargés de grain qui se trouvaient du côté est du triage Taschereau et les transporter chez un client situé près du port de Montréal, à environ 8 milles à l'est du triage Taschereau.

Vers 23 h 15, les locomotives étant attelées aux wagons, l'équipe était prête à quitter la cour de triage Taschereau en statut de transfert³, en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REF). Les 2 membres de l'équipe ont pris place dans la cabine de la locomotive CN 7208, placée en tête du train. Les locomotives étaient en mode Beltpack, contrôlées par le Cdtr. Le train pesait environ 3500 tonnes et avait une longueur approximative de 1550 pieds.

En quittant la cour de triage, le Cdtr a effectué un essai des freins en marche afin de vérifier le fonctionnement du système de freinage. Pour ce faire, les freins des locomotives et des wagons ont été serrés à fond alors que le train circulait à une vitesse de 11 mi/h. Le train s'est immobilisé en 32 secondes, sur une distance d'environ 350 pieds. L'équipe, ayant constaté que le système de freinage répondait adéquatement, a poursuivi sa route vers le port de Montréal.

Vers 0 h 3, alors que le train de triage roulait à 15 mi/h et se trouvait à environ 3000 pieds du signal 506LC contrôlant les mouvements sur l'aiguillage 501 qui relie la voie de marchandises et la voie principale nord, le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) a

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

² Beltpack est la marque de commerce qui désigne la technologie permettant de commander à distance des locomotives (loco-commande), qui a été mise au point et mise en marché par les Services ferroviaires CANAC Inc., une ancienne filiale du Canadien National.

³ « Locomotive attelée ou non à des wagons ou à des voitures et circulant sur une voie principale à des vitesses ne dépassant pas quinze (15) mi/h et n'ayant pas besoin d'être munie d'un TIBS [Système de contrôle et de freinage en queue]. » (Transports Canada, TC O-0-167, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, Définitions).

appelé l'équipe pour annuler un bulletin de marche (BM)⁴. Comme les 2 membres de l'équipe avaient déposé leurs sacs dans la locomotive CN 7224, le Cdtr adjoint a quitté son poste dans la cabine de la locomotive de tête pour aller chercher l'imprimé approprié. Entre-temps, le Cdtr a trouvé le document approprié dans la locomotive CN 7208 et s'est placé debout au poste de commande du ML pour commencer à transcrire les instructions du CCF.

Dans les minutes suivantes, le train de triage a franchi le signal 506LC situé à 700 pieds à l'ouest de l'aiguillage 501 menant à la voie nord. Le Cdtr adjoint est revenu dans la locomotive de tête et a attiré l'attention du Cdtr à la collision imminente. Les freins d'urgence ont été serrés. Cependant, le train de triage n'a pu s'arrêter avant d'entrer en collision avec le train Q12111-21 (train 121), un train porte-conteneurs qui circulait vers l'ouest sur la voie nord (photo 1).

Photo 1. Lieu du déraillement (direction est) (Source : Félix O.J. Fournier)



Au moment de l'accident, le ciel était nuageux et la température était de 2 °C.

Examen des lieux

La collision a eu lieu dans l'arrondissement de Saint-Henri (Québec), au sud-ouest de la ville de Montréal. Ce quartier comprend surtout des édifices résidentiels qui, à certains endroits, se trouvent à la limite de l'emprise du chemin de fer. Il y a 3 viaducs et 2 passages à niveau publics à Saint-Henri, soit un sur la rue Saint-Ambroise et l'autre sur la rue de Courcelle.

Les 2 locomotives du train de triage ont déraillé et se sont immobilisées vis-à-vis de l'aiguillage 501 reliant la voie de marchandises à la voie nord. La locomotive de tête CN 7208 a subi des dommages considérables aux composants suivants du côté droit : marchepieds, échelles latérales, mains courantes, timonerie de frein, tuyauterie de freinage et plateformes de côté. Son réservoir de carburant a été perforé, ce qui a entraîné un déversement d'environ 4000 litres de carburant diesel. Les 2 premiers wagons (SOO 122215 et SOO 121820) ont déraillé et ont été endommagés du côté sud. Les marchepieds, les échelles latérales, les échelles de bout et les longerons des 2 wagons ont été abîmés.

Les 2 wagons déraillés ont été remis sur les rails en premier et laissés à l'ouest des lieux. Ensuite, les employés du CN se sont concentrés sur les locomotives. Pendant qu'une grue

⁴ Bulletin de marche (BM) 2964 annulant le BM 2810, qui limitait la vitesse à 10 mi/h au point milliaire 1,76 sur la voie principale sud.

levait le devant de la locomotive CN 7208, son châssis s'est plié immédiatement derrière la cabine (photo 2). Ces dommages additionnels ont mené le CN à classer cette locomotive comme irréparable. On en a extirpé des pièces récupérables puis elle a été découpée sur place.

Photo 2. Locomotive CN 7208 après que son châssis s'est plié



Le train 121 a subi des dommages sur une longueur d'environ 475 pieds, du 12^e wagon au 17^e wagon, touchant les échelles, les marchepieds et les longerons. De plus, quelques conteneurs ont été défoncés.

La voie de marchandises et la voie nord ont été endommagées. Le rail nord de la voie de marchandises a été arraché de ses traverses sur une longueur de 175 pieds et s'est rompu à plusieurs endroits. Le mécanisme de l'aiguillage 501 a été détruit. De plus, le rail sud de la voie nord a dû être remis sur ses selles et cramponné à nouveau pour rétablir l'écartement de la voie. Les passages à niveau de la rue Saint-Ambroise et de la rue de Courcelle ont été obstrués pendant environ 2 heures.

Renseignements sur la voie

La subdivision de Montréal se compose d'une voie principale double qui s'étend de Cape (jonction avec la subdivision de St-Hyacinthe) au point milliaire 1,2 près de la gare Centrale de Montréal jusqu'à Dorval (Québec) au point milliaire 11,6. Sur ce tronçon de voie, il y a 8 emplacements contrôlés⁵ munis de plusieurs liaisons⁶. Les mouvements de train sont régis par le système de commande centralisée de la circulation (CCC) en vertu du REF, sous la supervision d'un CCF qui est posté à Montréal.

⁵ « Un emplacement en CCC [système de commande centralisée de la circulation] dont la zone est définie par des signaux de canton contrôlés [par le contrôleur de la circulation ferroviaire qui sont] de sens contraire. » (Transports Canada, TC O-0-167, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, Définitions).

⁶ « Voie reliant entre elles deux voies principales adjacentes, ou une voie principale et une autre voie. » (Transports Canada, TC O-0-167, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, Définitions).

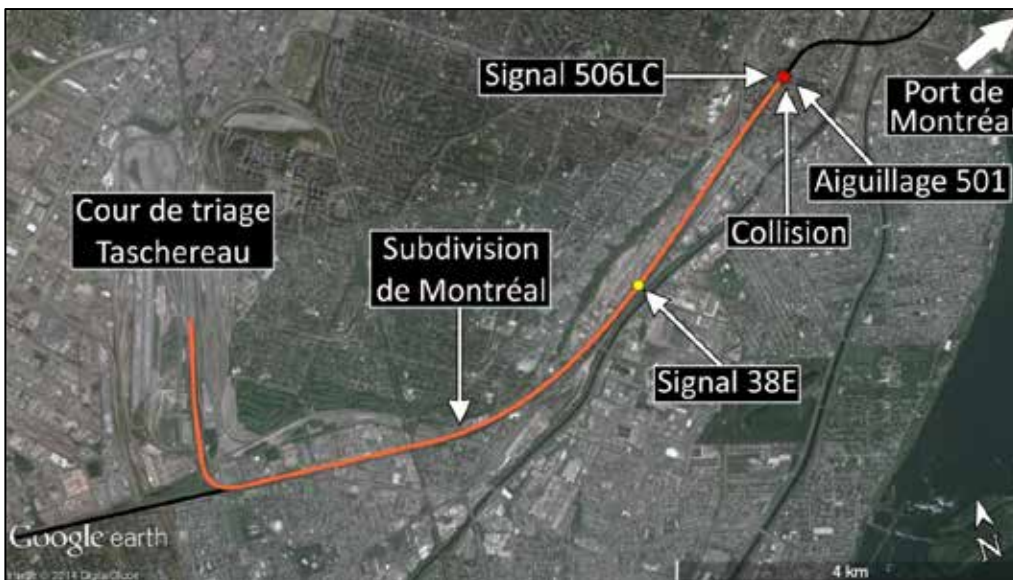
La subdivision comprend 2 voies principales. Sur certains tronçons, il y a des voies signalisées additionnelles. Par exemple, la voie signalisée (voie de marchandises) empruntée par le train de triage débute au point milliaire 3,5, et s'étend jusqu'au point milliaire 8,9. Dans le secteur de l'accident, toutes les voies sont au minimum de catégorie 3⁷ au sens du *Règlement sur la sécurité de la voie* approuvé par Transports Canada (TC). La vitesse maximale autorisée pour la voie de marchandises est de 30 mi/h. La subdivision fait partie du corridor ferroviaire de grande vitesse au Canada entre Québec (Québec) et Windsor (Ontario). Les trains de VIA Rail Canada Inc. (VIA) qui circulent vers Ottawa (Ontario), Toronto (Ontario) et le Nord du Québec circulent sur cette subdivision après avoir quitté la gare Centrale de Montréal. La circulation ferroviaire est constituée d'une cinquantaine de trains par jour (marchandises et voyageurs), ce qui représente environ 60 millions de tonnes brutes par année.

Dans le secteur de l'accident, la voie est composée de rails de 132 livres. Les rails reposent sur des selles de 14 pouces à double épaulement et sont fixés aux traverses par 4 crampons. Des anticheminants encadrent chaque traverse et le ballast est composé de pierre concassée de ½ à 2 pouces.

Itinéraire du train de triage

En partant du triage Taschereau, le train de triage a emprunté la voie de marchandises pour rejoindre la voie nord de la subdivision de Montréal, au point milliaire 3,5 (figure 1). Le train de triage devait attendre le passage du train intermodal 121 circulant sur la voie nord, en direction ouest. Une fois le train 121 passé, le train de triage allait continuer son trajet, vers l'est.

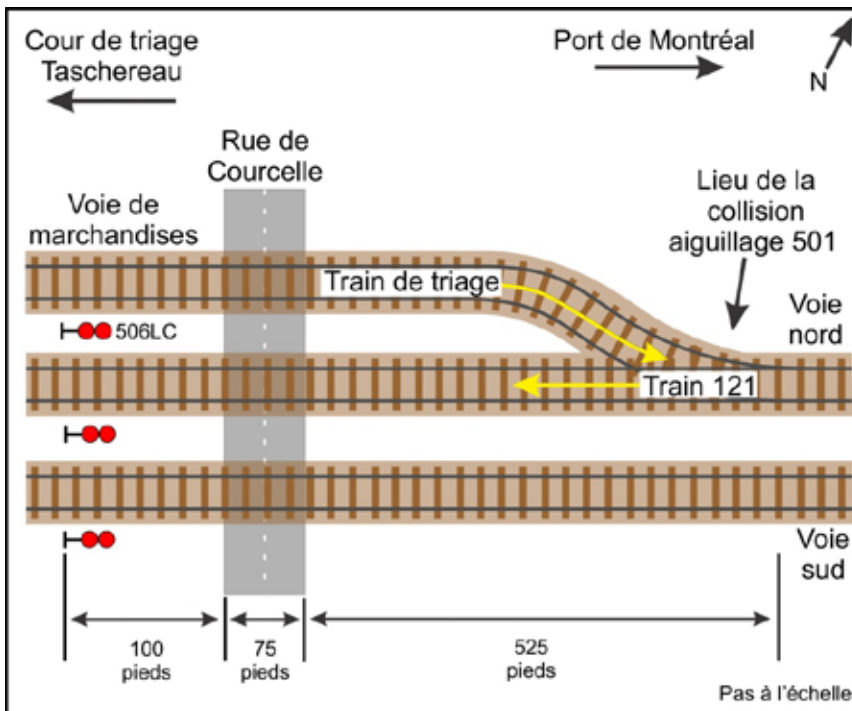
Figure 1. Trajet du train de triage (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



⁷ Permettant une vitesse jusqu'à 40 mi/h pour les trains de marchandises et 60 mi/h pour les trains de voyageurs.

La jonction entre la voie de marchandises et la voie nord est située au branchement 501, qui est muni d'un aiguillage à double commande⁸ (figure 2). Cet endroit est sous le contrôle du CCF et les mouvements de train sont régis par les signaux. Les mouvements vers l'est sur la voie de marchandises et qui approchent de l'aiguillage 501 rencontrent le signal d'approche 38E et le signal 506LC. Le signal 506LC est situé à 700 pieds à l'ouest de l'aiguillage 501 alors que le signal 38E se trouve à environ 6500 pieds plus à l'ouest. La distance de visibilité du signal 38E est de 3600 pieds, alors que celle du signal 506LC est de 1500 pieds.

Figure 2. Lieu de la collision



L'examen des enregistrements du système de CCC n'a révélé aucune anomalie de fonctionnement des signaux. Le signal 506LC à Saint-Henri exhibait une indication d'arrêt et le signal d'approche 38E indiquait « de vitesse normale à arrêt⁹ ».

Séquence des événements

Le tableau 1 indique l'heure des conversations enregistrées entre le Cdtr et le CCF ainsi que des données du consignateur d'événements de locomotive du train de triage.

⁸ « Aiguillage commandé électriquement, qui peut être aussi manœuvré à la main. » (Transports Canada, TC O-0-167, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, Définitions).

⁹ « Avancer, être prêt à s'arrêter au signal suivant. » (Transports Canada, TC O-0-167, *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, règle 411).

Tableau 1. Séquence des événements immédiatement précédant la collision

Heure	Événement
0 h 3 min 16 s	Le CCF appelle le train de triage pour annuler un BM.
0 h 3 min 29 s	Réarmement du système de veille du Beltpack.
0 h 3 min 51 s	Le Cdtr commence à transcrire l'annulation du BM.
0 h 3 min 57 s	Le signal 506LC devient visible.
0 h 4 min 19 s	Réarmement du système de veille du Beltpack.
0 h 5 min 6 s	Le train de triage franchit le signal 506LC.
0 h 5 min 12 s	Réarmement du système de veille du Beltpack.
0 h 5 min 18 s	Le Cdtr complète l'annulation du BM.
0 h 5 min 19 s	Le Cdtr adjoint revient dans la locomotive de tête et attire l'attention du Cdtr à la collision imminente.
0 h 5 min 21 s	Les freins d'urgence sont serrés.
0 h 5 min 29 s	La locomotive CN 7208 entre en collision avec le train 121.
0 h 5 min 31 s	Le train de triage s'immobilise.

Un examen des données du consignateur d'événements du train de triage a montré que, pendant une période de 2 minutes, alors que le train s'est déplacé du point milliaire 4,17 au point milliaire 3,63, sur un terrain relativement plat, il y a eu 35 changements du manipulateur de vitesse entre la position n° 1 et la position n° 7 (annexe A).

Formation des employés

Au CN, les nouveaux employés du groupe d'exploitation des trains recevaient initialement une formation de Cdtr complétée plus tard par une formation de mécanicien de locomotive (ML). La formation de ML nécessitait un minimum de 18 mois d'expérience comme Cdtr et durait 6 mois.

La formation Beltpack était intégrée à la formation initiale donnée aux nouveaux Cdtr embauchés dans les terminaux qui se servaient des locomotives Beltpack. Cette formation, d'une durée d'une semaine, comprenait un volet théorique et un volet pratique sous la surveillance d'un instructeur. Une fois la formation terminée, les participants avaient les connaissances et compétences suivantes :

- Démarrer et arrêter une locomotive Beltpack en toute sécurité.
- Identifier les composants Beltpack sur une locomotive et l'unité de commande (UC).
- Armer le système Beltpack.
- Effectuer l'inspection des locomotives et les vérifications préliminaires.
- Identifier, résoudre et réinitialiser les anomalies qui peuvent survenir pendant un quart de travail.
- Contrôler la vitesse et arrêter un train.

Une fois les volets théorique et pratique réussis, le Cdtr apprenti mettait en œuvre ses connaissances en travaillant avec des affectations Beltpack régulières. Tout au long de la formation, le nombre d'heures que l'apprenti passait aux commandes du Beltpack était compilé afin d'assurer un minimum d'expérience avant qu'il puisse travailler seul. Les opérateurs de loco-commande n'ont pas reçu de formation approfondie sur les opérations en voie principale pour être aux commandes directes d'une locomotive et l'opérer comme ML.

Le Cdtr a débuté sa carrière au CN à la fin septembre 2011, et le Cdtr adjoint, en février 2013. Tous les deux ont été embauchés dans le groupe d'exploitation des trains et avaient reçu la formation d'opérateur Beltpack pendant leur formation initiale. Ni l'un ni l'autre n'avait reçu une formation de ML.

Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada

Les mouvements de train du CN sont régis conformément au REF. La règle 34 (Reconnaissance et observation des signaux fixes) se lit comme suit :

[...]

- (b) Les membres de l'équipe qui sont à portée de voix les uns des autres se communiqueront d'une manière claire et audible le nom de chaque signal fixe qu'ils sont tenus d'annoncer. Tout signal influant sur un mouvement doit être nommé à haute voix dès l'instant où il est reconnu formellement; cependant, les membres de l'équipe doivent surveiller les changements d'indication et, le cas échéant, s'en faire part rapidement et agir en conséquence.

Les signaux/panneaux indicateurs suivants doivent être communiqués :

- (i) Signaux de canton et d'enclenchement¹⁰;

[...]

De plus, la règle 136 (Document pris par écrit, répété, complété et annulé) précise ce qui suit :

[...]

- (b) L'employé aux commandes d'un matériel roulant ou d'un véhicule d'entretien en mouvement ne doit pas prendre par écrit des BM, autorisations ou instructions lorsque la sécurité de son mouvement peut s'en trouver compromise.

¹⁰ Ensemble de signaux et de dispositifs de signalisation reliés les uns aux autres de manière à être actionnés dans l'ordre voulu en succession (p. ex., aiguillages, ponts, liaisons, passages à niveau, etc.).

Respect des indications des signaux

À la suite de l'enquête sur la collision entre 2 trains du Chemin de fer Canadien Pacifique (CP) en 1998 à proximité de Notch Hill (Colombie-Britannique) (rapport d'enquête ferroviaire R98V0148 du BST), le Bureau a déterminé que les mesures de sécurité préventives supplémentaires à l'égard des indications des signaux étaient insuffisantes. Le Bureau a recommandé que :

Le ministère des Transports et l'industrie ferroviaire mettent en œuvre des mesures de sécurité supplémentaires afin de s'assurer que les membres des équipes identifient les signaux et s'y conforment de façon uniforme.

Recommandation R00-04 du BST, publiée en février 2001

Le CP avait pris des mesures pour corriger la lacune en mettant en œuvre des améliorations aux procédures dans le cadre de ses pratiques de gestion des ressources des équipes. Bien qu'il y ait eu certains avantages pour la sécurité, les moyens de défense d'ordre administratif ou procédural ne constituent pas toujours des mesures adéquates pour empêcher une équipe d'exploitation de mal interpréter ou mal percevoir les indications des signaux en voie. TC et les compagnies ferroviaires examinent la possibilité d'inclure des capacités de reconnaissance des signaux et de contrôle des freins à air dans les systèmes informatiques de la flotte existante de locomotives. Toutefois, jusqu'à maintenant, aucune stratégie officielle n'a été élaborée pour qu'une technologie émergente ou des systèmes informatiques de bord existants puissent être adaptés afin de fournir des moyens de défense de contrôle des trains à sécurité intrinsèque. Par conséquent, le Bureau a réévalué la réponse à la recommandation R00-04 et estime qu'elle demeure en partie satisfaisante.

En plus de l'installation du système de CCC, les compagnies de chemin de fer ont adopté divers autres mécanismes de protection pour aider à prévenir les accidents. Cependant, ces mécanismes de protection sont insuffisants dans les situations où l'équipe de train interprète ou perçoit mal l'indication d'un signal, ou n'applique pas ou applique incorrectement une règle d'exploitation.

À la suite d'un autre accident attribuable à un signal mal perçu ou mal interprété à Aldershot (Ontario)¹¹ en février 2012, le Bureau a recommandé que :

Le ministère des Transports exige que les grands transporteurs ferroviaires canadiens de voyageurs et de marchandises mettent en œuvre des méthodes de contrôle des trains à sécurité intrinsèque, en commençant par les corridors ferroviaires à grande vitesse du Canada.

Recommandation R13-01 du BST, publiée en juin 2013

TC a accepté cette recommandation et demandera une étude et un rapport écrit du Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire (CCSF). L'effet de l'initiative de TC ne pourra être entièrement connu avant que le CCSF ne remette son rapport, que ses solutions et ses

¹¹ Rapport d'enquête ferroviaire R12T0038 du BST.

recommandations soient rendues publiques, et que TC annonce sa décision de prendre des mesures concrètes. Étant donné que la réponse de TC n'établit pas de programme clair visant à combler les lacunes de sécurité, le Bureau a estimé que la réponse à la recommandation R13-01 était en partie satisfaisante.

Liste de surveillance

La Liste de surveillance énumère les enjeux qui font courir les plus grands risques au système de transport du Canada. Elle vise à attirer l'attention de l'industrie et des organismes de réglementation sur des problèmes qui nécessitent une intervention immédiate. Étant donné qu'un risque de collision ou de déraillement existe si les signaux ferroviaires ne sont pas reconnus ni respectés de façon uniforme, le BST a inscrit cette lacune dans sa Liste de surveillance en 2012 et en 2014. Depuis 2002, chaque année, 30 événements en moyenne se produisent où l'indication d'un signal a été faussement identifiée, mal interprétée ou n'a pas été reconnue immédiatement, contribuant ainsi à l'événement. Si les indications des signaux ne sont pas respectées, le système de CCC ne peut garantir un espacement approprié entre les trains circulant sur la même ligne. Le système de CCC ne donne aucun avertissement qu'un train s'apprête à franchir un point de restriction, et ne permet pas de ralentir automatiquement un train ou de l'arrêter avant qu'il franchisse un signal d'arrêt absolu ou tout autre point de restriction.

Introduction du système de loco-commande

Une équipe de triage traditionnelle comprend un ML ainsi qu'un Cdtr et un Cdtr adjoint postés au sol pour effectuer les manœuvres de triage. Les employés au sol transmettent leurs instructions au ML qui contrôle la locomotive. L'utilisation du Beltpack et d'autres technologies équivalentes permet à l'équipe de commander la locomotive à distance à partir de l'UC, au lieu de se fier à des instructions communiquées par des employés au sol. Les mouvements Beltpack sont régis par le REF.

Cette technologie a été introduite au Canada et permise par TC vers la fin des années 1980. Lors de l'introduction initiale du système de loco-commande, des systèmes de ce type étaient utilisés principalement pour commander les locomotives de triage en butte¹². Vers le milieu des années 1990, l'usage du Beltpack a été étendu au triage en palier dans les cours de triage du CN et sur la voie principale. De nos jours, de nombreuses équipes de triage s'engagent chaque jour sur la voie principale avec le Beltpack pour se déplacer soit d'une cour de triage à une autre ou pour se rendre chez un client pour effectuer des manœuvres.

¹² Cour de triage caractérisée par la présence d'une élévation (butte ou bosse) créée de main d'homme et surplombant une vaste étendue de faisceaux de voies et d'aiguillages sur laquelle les trains sont refoulés par une locomotive, dételés puis entraînés par gravité vers les voies du faisceau de triage.

Lors de l'introduction du Beltpack, plusieurs règles du REF nécessitaient une observation conjointe par le Cdtr et le ML; de ce fait, les trains Beltpack étaient restreints aux voies non principales où ces règles n'étaient pas requises. La réglementation ferroviaire a ensuite été adaptée et des instructions spéciales ont été ajoutées par le CN pour permettre à des équipes de train sans ML de circuler en voie principale.

En mai 2008, à la suite d'une révision du REF, le terme « opérateur de loco-commande » a été ajouté aux définitions. De plus, plusieurs règles ont été modifiées¹³ permettant que certaines tâches anciennement effectuées par le ML puissent se faire par un autre membre de l'équipe. Depuis cette révision, le REF permet à toutes les compagnies de chemin de fer au Canada de circuler sur la voie principale avec une équipe Beltpack.

Mode d'emploi du système de loco-commande Beltpack

Pendant les opérations utilisant le Beltpack, l'opérateur se sert d'une UC (photo 3), en l'occurrence un petit boîtier de 3 à 5 livres accroché à sa veste de sécurité. Les commandes radio transmises par l'UC sont reçues et traitées par un ordinateur installé à bord de la locomotive. L'UC du Beltpack dispose notamment d'un sélecteur de vitesse, d'un sélecteur de marche avant/marche arrière et d'un sélecteur de freinage comprenant une fonction de freinage d'urgence.

La section 6 des Instructions générales d'exploitation (IGE) du CN, qui encadre l'utilisation du Beltpack, définit l'opérateur de loco-commande comme un employé de l'exploitation qui, du fait de ses connaissances, de sa formation et de l'expérience acquise, possède les qualifications voulues pour exécuter des manœuvres de triage et utiliser la technologie Beltpack pour télécommander un mouvement.

Les opérateurs de Beltpack sélectionnent une vitesse prédéterminée allant jusqu'à 15 mi/h, sans se soucier de la manipulation des commandes requises pour l'atteindre et la maintenir puisque c'est le Beltpack qui s'en occupe. La vitesse maximale à laquelle un mouvement peut circuler en mode loco-commande est de 15 mi/h. Le système applique soit le manipulateur ou les freins des locomotives pour maintenir la vitesse prédéterminée à $\pm 0,5$ mi/h. L'adaptation du système aux caractéristiques du train et

Photo 3. Unité de commande de la loco-commande Beltpack



¹³ Les règles 34(c), 85, 135, 147(b), 147(c), 302(b), 302.2(d), 302.3(b), 303, 309(b), 567.2(b), 569(b), 571(a), 577(d), 604(c), 609(b), 610(c), 618.1(b) du Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada.

du terrain se fait de manière réactive sans tenir compte de la longueur du train, du tonnage ou du jeu des attelages.

Par contre, l'opération d'une locomotive est une tâche complexe demandant au ML de connaître les caractéristiques du train qu'il conduit ainsi que celles du territoire sur lequel il circule. Le ML doit anticiper la réaction du train et doit adapter sa conduite pour négocier les changements de terrain et se conformer aux indications des signaux et aux instructions du CCF. Pour ce faire, il se sert du manipulateur et des freins. De plus, afin de réduire au minimum les efforts exercés dans le train, ainsi que ceux mis en jeu entre le train et la voie, les changements de vitesse doivent être planifiés et graduels. Les trains sont exploités à des vitesses pouvant atteindre 100 mi/h et qui varient selon la voie et le type de train.

Usage du Beltpack à Montréal

Au moment de l'accident, il y avait 14 équipes Beltpack postées dans la zone de service de Montréal. De ces 14 affectations, 3 empruntaient la voie principale quotidiennement pour effectuer des manœuvres. Ces équipes Beltpack circulaient principalement sur les subdivisions de St-Laurent et de Montréal sur une distance d'environ 10 milles. En moyenne, les trains étaient dotés de 2 locomotives à 4 essieux, ils transportaient entre 25 et 30 wagons, ils avaient une longueur de 1300 pieds et ils pesaient environ 2600 tonnes. Toutefois, les mouvements Beltpack n'avaient aucune limite de longueur ni de tonnage quand ils circulaient sur la voie principale.

Systèmes de veille

Les systèmes de veille modernes surveillent la vitesse de la locomotive, la pression d'air dans les cylindres de freins et les actions du ML au poste de commande pour déterminer la fréquence à laquelle le système doit être réarmé. Des moments prolongés (entre 30 secondes et 2 minutes) sans action par le ML déclenchent le système de veille. Un repère visuel, suivi d'une alarme sonore, mène le ML à agir. Le ML doit réarmer le système soit en actionnant une commande à partir du poste de commande de la locomotive (p. ex., cloche, manipulateur, radio) ou en pesant sur le bouton de réarmement. Si le ML n'y parvient pas, un freinage compensatoire¹⁴ survient pour immobiliser le mouvement.

L'UC des Beltpack dispose d'un système de veille muni d'une alarme sonore qui retentit après 50 secondes d'inactivité. Toute activité de l'opérateur redémarre le décompte. Si l'opérateur n'accuse pas réception de l'alarme, les freins des locomotives et des wagons sont serrés à fond. Pendant les opérations utilisant le Beltpack, c'est le système de veille du Beltpack qui devient opérationnel et non pas celui de la locomotive.

¹⁴ La conduite générale se vide et les freins des locomotives et des wagons se serrent à fond.

Évaluations des risques liés au Beltpack

La publication de TC intitulée *Systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire – Guide : Guide de mise en place et d’amélioration des systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire* (TP 15058F) identifie 3 étapes pour la gestion des risques : détermination des problèmes et préoccupations, estimation des risques et évaluation des risques afin de déterminer si ces risques sont tolérables, si des mesures d’atténuation sont nécessaires, ou si les risques identifiés sont inacceptables. Le guide indique que les évaluations de risque devraient être documentées en incluant les stratégies de contrôle mises en place. Le guide souligne également que les compagnies doivent analyser les nouvelles activités et les modifications importantes à l’exploitation. De plus, il stipule qu’une analyse complète des activités existantes n’est pas nécessaire à condition que les stratégies d’atténuation actuelles soient documentées. Le guide indique aussi ce qui suit :

Pour les activités actuelles, bon nombre des risques ont déjà été examinés, et des stratégies de contrôle du risque font partie des règles, normes, procédures et pratiques d’exploitation du chemin de fer. Dans ce cas, le processus d’évaluation des risques fait ressortir cette relation et se concentre ensuite sur les résultats des enquêtes sur les accidents et incidents, les analyses des données sur la sécurité, le suivi des plaintes, les inspections et les vérifications pour que le risque soit réduit à un niveau acceptable. Cette analyse devrait signaler aux compagnies de chemin de fer les domaines où elles pourraient prendre des initiatives qui dépassent leurs pratiques actuelles en vue d’améliorer leur rendement global en matière de sécurité¹⁵.

Depuis 2001, le CN a effectué des évaluations des risques spécifiquement liés à l’exploitation Beltpack en général, et à des endroits qui présentent des défis particuliers afin d’établir des procédures qui servent à atténuer les risques. Cependant, aucune évaluation de ce genre n’a été effectuée dans la zone de service de Montréal et rien n’indique que les leçons tirées ailleurs sont applicables aux conditions locales de Montréal. Par ailleurs, le CN n’a aucune restriction opérationnelle formelle quant à la longueur, au tonnage ou à la topographie de la voie pour les trains Beltpack.

Étude américaine sur le Beltpack

L’introduction des locomotives télécommandées aux États-Unis a mené la Federal Railroad Administration (FRA) à faire une étude sur leur utilisation. L’étude s’est concentrée sur la formation des opérateurs de loco-commande, l’exploitation des trains avec un système de loco-commande et leur incidence sur la sécurité. Le rapport, terminé en 2006, a conclu que la technologie de loco-commande n’avait qu’une application limitée pour les exploitations sur la voie principale et qu’une formation plus approfondie serait requise pour l’exploitation sur la voie principale. De plus, la FRA a recommandé que les chemins de fer adoptent des

¹⁵ Transports Canada, TP 15058F, *Systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire – Guide : Guide de mise en place et d’amélioration des systèmes de gestion de la sécurité ferroviaire* (novembre 2010), p. 27, disponible à l’adresse : <http://www.tc.gc.ca/fra/securiteferroviaire/guide-sgs.htm> (dernière consultation le 10 juillet 2015).

restrictions opérationnelles quant à la longueur, au tonnage et aux caractéristiques du territoire.

Nettoyage du site

Le réservoir de carburant de la locomotive CN 7208 a été perforé, ce qui a causé un déversement de 4000 litres de carburant diesel (UN 1202). Le service des incendies de la ville de Montréal et du personnel du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) sont intervenus et ont pris les mesures suivantes :

- Des absorbants épandus par les pompiers ont confiné l'étendue du déversement et l'ont limité au chemin bordant le nord de la voie ferrée.
- Environ 2800 litres de carburant ont été pompés immédiatement après l'accident et 1000 litres additionnels ont été récupérés dans les jours qui ont suivi.
- La neige, la glace et le ballast contaminés ont été récupérés à l'aide d'un camion-citerne sous vide.

Le MDDEFP a effectué un suivi du lieu du déraillement le 17 avril 2014. Des résidus d'huile ont été observés à l'endroit où la locomotive a été découpée. Des mesures additionnelles ont été prises pour enlever les contaminants. De plus, 4 trous de forage ont été percés et des échantillons de sol provenant de différentes profondeurs ont été pris aux fins d'analyse. Les résultats de l'analyse des échantillons présentaient des résidus d'hydrocarbures au-delà de la norme acceptée, ce qui a mené le CN à procéder à un nettoyage plus approfondi du lieu du déraillement.

Analyse

Aucun défaut de la voie ni du matériel roulant n'est considéré comme ayant contribué à l'accident. L'examen des enregistrements du système de commande centralisée de circulation (CCC) n'a révélé aucune anomalie de fonctionnement des signaux. Par conséquent, l'analyse se concentrera sur l'exploitation du train, le système Beltpack et les facteurs humains.

L'accident

Les mouvements vers l'est qui approchent de l'aiguillage 501 rencontrent le signal d'approche 38E, puis le signal 506LC. Le signal d'approche 38E est visible à 3600 pieds et le signal 506LC, à 1500 pieds. Ces distances de visibilité étaient suffisantes pour permettre à l'équipe du train de triage de voir les signaux, de les identifier et de s'y conformer. L'examen des enregistrements du système de CCC n'a révélé aucune anomalie de fonctionnement des signaux. Le signal 506LC à Saint-Henri exhibait une indication d'arrêt. Le chef de train (Cdtr) et le Cdtr adjoint avaient identifié le signal 38E et avaient confirmé entre eux qu'il indiquait « de vitesse normale à arrêt ». Vu le résultat de l'essai des freins en marche, l'équipe n'avait pas besoin de réduire la vitesse du train pour être en mesure d'arrêter le train si le signal 506LC indiquait « arrêt ». En effet, l'équipe était en mesure de continuer à une vitesse de 15 mi/h jusqu'à ce que le signal 506LC entre dans son champ de vision, puis de réagir en conséquence. Cependant, l'indication d'arrêt affichée par le signal 506LC n'a pas été perçue par le Cdtr et, par conséquent, les mesures pour s'y conformer n'ont pas été prises. Le train de triage a franchi le signal 506LC alors qu'il indiquait un signal d'arrêt, s'est engagé sur l'aiguillage 501 et est entré en collision avec le train 121, qui circulait sur la voie adjacente.

Transcription des instructions du contrôleur de la circulation ferroviaire

La pratique courante est de transcrire les instructions du contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) immédiatement, car elles peuvent avoir une incidence immédiate sur l'exploitation du train. Cependant, la règle 136 du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REF) précise qu'un employé aux commandes d'un matériel roulant en mouvement ne doit pas prendre par écrit des bulletins de marche (BM), autorisations ou instructions lorsque la sécurité de son mouvement peut s'en trouver compromise. Cette règle sous-entend que la situation du mouvement et les risques qu'il encourt doivent être évalués avant de transcrire des instructions du CCF. Puisque la voie était libre et que le signal 506LC n'était pas visible, le Cdtr croyait que la transcription des instructions ne mettrait pas à risque le mouvement, car il pourrait prendre les mesures requises pour se conformer à l'indication du signal 506LC au moment voulu. Toutefois, en se plaçant debout au poste de commande du mécanicien de locomotive (ML) afin de transcrire les instructions du CCF, le Cdtr ne faisait plus face au sens du mouvement et son champ de vision par les fenêtres était restreint; il n'a donc pas remarqué l'indication d'arrêt du signal 506LC et n'a pu arrêter son train pour éviter la collision.

Pendant les 10 minutes précédant l'accident, l'opérateur de loco-commande n'a eu à prendre aucune mesure pour maintenir la vitesse du train de triage et n'a fait que réarmer le système

de veille. Lorsque le CCF est entré en communication avec l'équipe du train pour annuler un BM, le train de triage se trouvait à environ 3000 pieds du signal 506LC. Le train circulait sur le tronçon de voie qui se trouve sur le terreplein d'une autoroute, peu accessible au public, sans passage à niveau et qui ne nécessite pas une attention visuelle soutenue. Par ailleurs, la faible vitesse du train et la courte distance de freinage nécessaire pour l'arrêter ont probablement influé sur la prise de décision du Cdtr de transcrire les instructions du CCF alors qu'il était seul dans la locomotive de tête et que le train était en mouvement.

Habituellement, l'employé qui n'est pas aux commandes du mouvement, le Cdtr adjoint dans le cas à l'étude, transcrit les instructions. Cependant, le Cdtr adjoint s'était déplacé vers la deuxième locomotive pour se procurer l'imprimé approprié afin de prendre par écrit l'annulation du BM, laissant le Cdtr seul dans la locomotive de tête. La tâche principale du Cdtr était de surveiller la voie et de contrôler le mouvement par l'intermédiaire de son Beltpack. Par conséquent, la tâche de transcrire les instructions du CCF a été priorisée au détriment de l'observation de la voie alors que le train s'approchait du signal 506LC, ce qui a mené à la collision.

Priorisation des tâches – mémoire prospective

L'indication du signal 38E, « de vitesse normale à arrêt », était exécutoire pour plus tard; c'est-à-dire que l'information – d'approcher le prochain signal en étant prêt à s'arrêter – devait être mémorisée pour une tâche postérieure. La mémorisation de cette information est réalisée à l'aide de la mémoire prospective, soit la mémoire qui rappelle d'exécuter une tâche qui a été remise à plus tard¹⁶. Quand un train circule sur la voie principale, de nombreuses tâches simultanées peuvent demander l'attention des membres de l'équipe. C'est pour cette raison que les membres de l'équipe évaluent leurs circonstances et priorisent les tâches qu'ils effectuent. Parfois, par inadvertance, une équipe peut passer trop de temps à terminer une tâche moins importante avant de passer à une tâche plus prioritaire, voire même prendre préséance sur une tâche critique qui avait été retenue dans la mémoire prospective¹⁷. De plus, quand une tâche est commencée, il y a une propension à vouloir la terminer. La communication du CCF a donné lieu à une interférence (distraction) pendant que le train de triage s'approchait du signal 506LC.

Non-conformité au signal d'arrêt

En l'absence du deuxième membre de l'équipe, la conformité du train de triage au signal 506LC était fondée uniquement sur la capacité du Cdtr d'observer le signal, d'en reconnaître la signification et de prendre les mesures appropriées. Une fois que le Cdtr s'est trouvé seul dans la locomotive de tête, la défense administrative additionnelle fournie par la

¹⁶ J.R. Wilson, *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway* (Ashgate Publishing, Ltd., Aldershot : 2007), chapitre 9 : Cognitive Workload of Train Drivers, pp. 91-101.

¹⁷ Ibid.

règle 34 du REF ainsi que la synergie de travailler dans un contexte d'équipe n'étaient plus en place.

Depuis plus d'une décennie, le BST a une recommandation en suspens demandant la mise en œuvre de moyens de défense additionnels en territoire signalisé pour s'assurer que les membres des équipes reconnaissent bien les indications des signaux et s'y conforment de façon uniforme. En l'absence d'autres moyens de défense physiques à sécurité intrinsèque pour le contrôle des trains en territoire signalisé, les moyens de défense actuels se sont avérés insuffisants pour prévenir la collision.

Opération Beltpack en voie principale

Le système Beltpack contrôle automatiquement la vitesse du train de façon à ce que l'opérateur n'ait pas à se soucier du manipulateur de vitesse ni des freins. Il en résulte que l'exploitation des trains à l'aide du Beltpack est plus facile et requiert moins d'expérience que celle des trains conventionnels. Cependant, quand le tonnage et la longueur d'un train augmentent, son opération devient plus complexe. L'examen des données du consignateur d'événements du train de triage a montré que, pendant une période de 2 minutes, le Beltpack a effectué 35 changements du manipulateur de vitesse entre la position n° 1 et la position n° 7 et ce, sur un terrain relativement plat. Ce nombre élevé de changements du manipulateur était attribuable à la sensibilité du Beltpack qui réagissait à la moindre variation d'accélération en déplaçant le manipulateur pour maintenir la vitesse à la valeur prédéterminée. L'adaptation du système aux caractéristiques du train et du terrain se fait de manière réactive sans tenir compte de la longueur du train, du tonnage ou du jeu des attelages. Des manipulations de ce genre mènent à une conduite moins fluide et plus saccadée qui peut générer des efforts internes dans le train et augmenter les risques de dommages aux attelages et les risques de déraillement, surtout dans les convois ayant un tonnage élevé et inégalement réparti.

L'étude menée par la Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis en 2006 sur l'utilisation des locomotives télécommandées avait conclu que la technologie de loco-commande n'avait qu'une application limitée pour les exploitations sur la voie principale et qu'une formation plus approfondie serait requise pour l'exploitation sur la voie principale. De plus, la FRA avait préconisé que les chemins de fer adoptent des restrictions opérationnelles quant à la longueur, au tonnage et aux caractéristiques du territoire. Cependant, les recommandations de cette étude n'ont pas été suivies.

Depuis 2001, le CN a effectué plusieurs évaluations des risques afin d'établir des procédures qui servent à atténuer les risques liés à l'exploitation Beltpack. Cependant, aucune étude approfondie n'a été effectuée pour évaluer les limites de tonnage et de longueur des trains Beltpack en voie principale. Nonobstant les raisons qui peuvent expliquer qu'une évaluation des risques n'ait pas été effectuée, il demeure qu'une telle analyse systémique et documentée aurait permis de confirmer, par exemple, si des limites de tonnage et de longueur des trains devraient être prescrites, ou si une formation additionnelle s'imposerait pour les Cdtr qui circulent sur la voie principale. Si une analyse approfondie des risques n'est pas effectuée et si des critères ne sont pas établis pour l'utilisation des trains Beltpack en voie principale, les

risques associés à ce type d'opération ne seront pas tous identifiés et les mesures d'atténuation nécessaires ne seront pas mises en place pour protéger le public.

Incidence du Beltpack sur la performance de détection

Pendant les opérations utilisant le Beltpack, c'est le système de veille du Beltpack qui devient opérationnel et non pas celui de la locomotive. Contrairement au système de veille de la locomotive, où le ML est assis au poste de commande, position dans laquelle il est plus disposé à regarder vers l'avant, l'opérateur du Beltpack peut réarmer le système de veille de n'importe quelle position, ce qui pourrait détourner son attention de la voie. Par ailleurs, il est reconnu que l'automatisation des tâches, plus précisément du contrôle de la vitesse du train dans le cas du Beltpack, peut amener les opérateurs à être plus susceptibles à des distractions au détriment de la performance de détection¹⁸ et de l'attention visuelle¹⁹. Même si les opérations Beltpack sont utilisées sur des distances relativement courtes et l'automatisation des tâches est limitée, il n'en demeure pas moins que ce type d'opération peut altérer la vigilance et l'attention visuelle des opérateurs, et ainsi augmenter les risques d'accident.

Évaluation des risques sur la subdivision de Montréal

La subdivision de Montréal est l'un des corridors les plus achalandés au Canada, comprenant des voies multiples où circulent une cinquantaine de trains par jour, incluant des trains de voyageurs à grande vitesse. De plus, la présence de plusieurs emplacements contrôlés et de 2 passages à niveau, la proximité des voies aux édifices résidentiels ainsi que le nombre élevé de piétons qui côtoient l'emprise du chemin de fer exigent une vigilance accrue de la part des équipes de train. Le CN a effectué des évaluations des risques liés à l'exploitation à l'aide du Beltpack à des endroits qui présentent des défis particuliers mais pas sur la subdivision de Montréal, même si l'exploitation des trains sur cette subdivision présente des conditions uniques. Par ailleurs, rien n'indique que les leçons tirées ailleurs sont applicables aux conditions de la subdivision de Montréal. Une telle évaluation des risques aurait pu identifier qu'une formation supplémentaire et qu'un minimum d'expérience s'imposaient avant qu'un employé puisse circuler sur la voie principale en mode Beltpack. De plus, des restrictions opérationnelles quant à la longueur des trains, au tonnage des trains et aux caractéristiques particulières du territoire auraient pu être identifiées. Par conséquent, étant donné que le CN n'a effectué aucune évaluation des risques relativement à l'utilisation du Beltpack sur la subdivision de Montréal, les risques particuliers à cette subdivision n'ont pas été identifiés; donc, il n'y avait aucune restriction supplémentaire pour le mouvement Beltpack.

¹⁸ G. Salvendy, *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 4^e édition (John Wiley & Sons : 2012), chapitre 59 : Human Factors and Ergonomics in Automation Design, pp. 1617-1619.

¹⁹ M.R. Endsley, « Automation and Situation Awareness » dans R. Parasuraman et M. Mouloua (éditeurs), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah : 1996), pp. 163-181.

Nettoyage du site

Le service des incendies de la ville de Montréal et du personnel du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs sont intervenus de manière appropriée pour atténuer le déversement de 4000 litres de carburant diesel et les dommages causés lors de la découpe de la locomotive. Le programme de suivi qui a été mis en place a permis de vérifier la qualité du sol et d'assurer que la totalité de la neige et des sols contaminés du site du déraillement soit excavée et évacuée pour être traitée. En conséquence, le plan d'intervention mis en œuvre et la remise en état des lieux du déraillement ont été appropriés, de sorte que les impacts environnementaux ont été minimisés.

Faits établis

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Le train de triage a franchi le signal 506LC alors qu'il indiquait un signal d'arrêt, s'est engagé sur l'aiguillage 501 et est entré en collision avec le train Q12111-21, qui circulait sur la voie adjacente.
2. En se plaçant debout au poste de commande du mécanicien de locomotive afin de transcrire les instructions du contrôleur de la circulation ferroviaire, le chef de train ne faisait plus face au sens du mouvement et son champ de vision par les fenêtres était restreint; il n'a donc pas remarqué l'indication d'arrêt du signal 506LC et n'a pu arrêter son train pour éviter la collision.
3. La faible vitesse du train et la courte distance de freinage nécessaire pour l'arrêter ont probablement influé sur la prise de décision du chef de train de transcrire les instructions du contrôleur de la circulation ferroviaire alors qu'il était seul dans la locomotive de tête et que le train était en mouvement.
4. La tâche de transcrire les instructions du contrôleur de la circulation ferroviaire a été priorisée au détriment de l'observation de la voie alors que le train s'approchait du signal 506LC, ce qui a mené à la collision.
5. La communication du contrôleur de la circulation ferroviaire a donné lieu à une interférence (distraction) pendant que le train de triage s'approchait du signal 506LC.
6. Une fois que le chef de train s'est trouvé seul dans la locomotive de tête, la défense administrative additionnelle fournie par la règle 34 du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* ainsi que la synergie de travailler dans un contexte d'équipe n'étaient plus en place.

Faits établis quant aux risques

1. Si une analyse approfondie des risques n'est pas effectuée et si des critères ne sont pas établis pour l'utilisation des trains Beltpack en voie principale, les risques associés à ce type d'opération ne seront pas tous identifiés et les mesures d'atténuation nécessaires ne seront pas mises en place pour protéger le public.
2. Même si les opérations Beltpack sont utilisées sur des distances relativement courtes et l'automatisation des tâches est limitée, il n'en demeure pas moins que ce type d'opération peut altérer la vigilance et l'attention visuelle des opérateurs, et ainsi augmenter les risques d'accident.

Autres faits établis

1. Étant donné que le Canadien National n'a effectué aucune évaluation des risques relativement à l'utilisation du Beltpack sur la subdivision de Montréal, les risques particuliers à cette subdivision n'ont pas été identifiés; donc, il n'y avait aucune restriction supplémentaire pour le mouvement Beltpack.
2. Le plan d'intervention mis en œuvre et la remise en état des lieux du déraillement ont été appropriés, de sorte que les impacts environnementaux ont été minimisés.

Mesures de sécurité

Mesures de sécurité prises

Le Canadien National (CN) a mené sa propre enquête sur ce déraillement. Les conclusions de l'enquête du CN ont été partagées et discutées dans le cadre d'un appel hebdomadaire sur la sécurité avec le personnel du Grand Montréal ainsi que lors d'un appel national du CN sur la sécurité.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 3 août 2015. Le rapport a été officiellement publié le 6 août 2015.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.

*Annexes**Annexe A - Données du consignateur d'événements de locomotive*

Heure*	Point milliaire	Position du manipulateur	Temps pendant lequel le manipulateur est resté immobile
2246:24	4,17	6	-
2246:25	4,17	5	1 seconde
2246:26	4,16	5	-
2246:31	4,14	5	-
2246:36	4,12	6	11 secondes
2246:36	4,12	6	-
2246:36	4,12	4	<1 seconde
2246:40	4,11	3	4 secondes
2246:40	4,11	7	<1 seconde
2246:40	4,11	5	<1 seconde
2246:40	4,11	6	<1 seconde
2246:40	4,11	6	-
2246:40	4,11	4	<1 seconde
2246:44	4,09	3	4 secondes
2246:44	4,09	7	<1 seconde
2246:44	4,09	5	<1 seconde
2246:46	4,08	6	2 secondes
2246:46	4,08	6	-
2246:46	4,08	4	<1 seconde
2246:47	4,08	4	-
2246:52	4,06	4	-
2247:04	4,01	4	-
2247:05	4,00	3	19 secondes
2247:07	3,99	4	2 secondes
2247:09	3,98	4	-
2247:34	3,88	3	27 secondes
2247:35	3,88	4	1 seconde
2247:47	3,83	3	12 secondes
2247:48	3,82	4	1 seconde
2247:55	3,79	4	-
2248:01	3,77	4	-
2248:08	3,74	3	20 secondes
2248:10	3,73	4	2 secondes
2248:10	3,73	3	<1 seconde

Heure*	Point milliaire	Position du manipulateur	Temps pendant lequel le manipulateur est resté immobile
2248:11	3,73	4	1 seconde
2248:15	3,71	3	4 secondes
2248:17	3,70	4	2 secondes
2248:18	3,70	3	1 seconde
2248:20	3,69	4	2 secondes
2248:21	3,68	3	1 seconde
2248:24	3,67	4	3 secondes
2248:25	3,67	3	1 seconde
2248:27	3,66	4	2 secondes
2248:27	3,66	2	<1 seconde
2248:30	3,65	1	3 secondes
2248:30	3,65	3	<1 seconde
2248:34	3,63	4	4 secondes
2248:34	3,63	2	<1 seconde

* Heure non rajustée