



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada



RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT FERROVIAIRE R19V0002

DÉRAILLEMENT DE TRAIN EN VOIE PRINCIPALE

Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique
Train de marchandises 401-02
Point milliaire 128,9, subdivision de Laggan
Partridge (Colombie-Britannique)
3 janvier 2019

À PROPOS DE CE RAPPORT D'ENQUÊTE

Ce rapport est le résultat d'une enquête sur un événement de catégorie 3. Pour de plus amples renseignements, se référer à la Politique de classification des événements au www.bst.gc.ca.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement 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.

CONDITIONS D'UTILISATION

Utilisation dans le cadre d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre

La *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* stipule que :

- 7(3) Les conclusions du Bureau ne peuvent s'interpréter comme attribuant ou déterminant les responsabilités civiles ou pénales.
- 7(4) Les conclusions du Bureau ne lient pas les parties à une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Par conséquent, les enquêtes du BST et les rapports qui en découlent ne sont pas créés pour être utilisés dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Avisez le BST par écrit si le présent rapport d'enquête est utilisé ou pourrait être utilisé dans le cadre d'une telle procédure.

Reproduction non commerciale

À moins d'avis contraire, vous pouvez reproduire le contenu du présent rapport d'enquête en totalité ou en partie à des fins non commerciales, dans un format quelconque, sans frais ni autre permission, à condition :

- de faire preuve de diligence raisonnable quant à la précision du contenu reproduit;
- de préciser le titre complet du contenu reproduit, ainsi que de stipuler que le Bureau de la sécurité des transports du Canada est l'auteur;
- de préciser qu'il s'agit d'une reproduction de la version disponible au [URL où le document original se trouve].

Reproduction commerciale

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu du présent rapport d'enquête, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite du BST.

Contenu faisant l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie

Une partie du contenu du présent rapport d'enquête (notamment les images pour lesquelles une source autre que le BST est citée) fait l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie et est protégé par la *Loi sur le droit d'auteur* et des ententes internationales. Pour des renseignements sur la propriété et les restrictions en matière des droits d'auteurs, veuillez communiquer avec le BST.

Citation

Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Rapport d'enquête sur la sécurité du transport ferroviaire R19V0002* (publié le 19 juillet 2023).

Bureau de la sécurité des transports du Canada
200, promenade du Portage, 4^e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741 ; 1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2023

Rapport d'enquête sur la sécurité du transport ferroviaire R19V0002

N° de cat. TU3-11/19-0002F-3-PDF
ISBN 978-0-660-49120-2

Le présent rapport se trouve sur le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base	5
1.1 L'événement	6
1.2 Examen des lieux	9
1.3 Renseignements météorologiques	12
1.4 Renseignements sur la subdivision et sur la voie	12
1.4.1 Field Hill	13
1.4.2 Tunnels en spirale	14
1.4.3 La voie dans les environs du déraillement	14
1.5 Renseignements sur l'équipe	14
1.5.1 Équipe d'origine	14
1.5.2 Équipe de relève	14
1.5.3 Transfert d'équipe à équipe	15
1.6 Renseignements consignés	15
1.6.1 Caméra vidéo orientée vers l'avant de la locomotive	15
1.6.2 Consignateur d'événements de locomotive	15
1.7 Vue d'ensemble du système de freins à air des trains de marchandises	17
1.7.1 Composants des freins à air sur un wagon	17
1.7.2 Dispositifs en bout de wagon	18
1.7.3 Ligne de train	19
1.8 Serrages et desserrages des freins à air	20
1.8.1 Serrages des freins à air	20
1.8.2 Desserrages des freins à air	21
1.9 Forces exercées le long du train et jeu des attelages	23
1.9.1 Effet du jeu des attelages sur les dispositifs en bout de wagon	23
1.10 Dispositifs en bout de wagon sur le train	26
1.10.1 Configurations conformes aux versions antérieures des normes	26
1.10.2 Configurations non standard	28
1.10.3 Têtes d'accouplement fixées par des attaches autobloquantes	29
1.11 Interaction roue-rail dans les courbes	30
1.11.1 Rapport entre la force latérale et la force verticale	31
1.11.2 Simulation de la dynamique du train	32
1.12 Formation des trains	32
1.12.1 Formation des trains du Canadien Pacifique	33
1.12.2 Formation du train à l'étude	35
1.13 Rapports de laboratoire du BST	36
2.0 Analyse	37
2.1 L'événement	37
2.1.1 Séquence des événements qui ont suivi le desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral	38
2.2 Interaction roue-rail	39
2.3 Desserrage intempestif des freins à air	39
2.4 Robinets de retenue	40

2.5	Dispositifs en bout de wagon.....	41
2.6	Formation des trains	43
2.6.1	Formation du train à l'étude.....	43
2.6.2	Interprétation des règles et instructions régissant la formation des trains.....	44
2.7	Évaluation d'une condition d'exploitation émergente et réaction	46
2.8	Disponibilité des enregistrements des caméras orientées vers l'avant	47
3.0	Faits établis	48
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	48
3.2	Faits établis quant aux risques	49
3.3	Autres faits établis.....	49
4.0	Mesures de sécurité	50
4.1	Mesures de sécurité prises	50
4.1.1	Canadien Pacifique	50
Annexes	52
	Annexe A – Principaux événements de la conduite du train	52
	Annexe B – Principaux événements des freins à air	57
	Rendement de la conduite générale entre le triage Alyth et Stephen.....	57
	Premier desserrage intempestif des freins à air sur Field Hill.....	58
	Desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral	62
	Annexe C – Inspections et essais des freins à air effectués par le Canadien Pacifique après l'événement	65
	Wagon CP 315578.....	65
	Wagon IANR 624291.....	67
	Wagons de la série TTZX	67

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT FERROVIAIRE R19V0002

DÉRAILLEMENT DE TRAIN EN VOIE PRINCIPALE

Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique
Train de marchandises 401-02
Point milliaire 128,9, subdivision de Laggan
Partridge (Colombie-Britannique)
3 janvier 2019

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement 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. **Le présent rapport n'est pas créé pour être utilisé dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.** Voir Conditions d'utilisation à la page 2.

Résumé

Le 3 janvier 2019, vers 10 h 15, heure normale des Rocheuses, alors que le train de marchandises 401-02 de la Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique circulait vers l'ouest dans la subdivision de Laggan, 15 wagons vides ont déraillé dans le tunnel Upper Spiral au point milliaire 128,9, près de Partridge (Colombie-Britannique). Il n'y a pas eu d'incendie et aucune marchandise dangereuse n'était en cause lors du déraillement. Personne n'a été blessé.

1.0 RENSEIGNEMENTS DE BASE

Le 2 janvier 2019, vers 21 h¹, le train de marchandises 401-02 de la Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique (CP) a quitté le triage Alyth à Calgary (Alberta), à destination de Port Coquitlam (Colombie-Britannique). Avant le départ, le train a subi un essai de frein n° 1² et aucun problème n'a été relevé.

Le train était un train de marchandises mixtes transportant 159 wagons (86 wagons chargés et 73 wagons vides)³. Certains des wagons chargés transportaient des

¹ Toutes les heures sont exprimées en heure normale des Rocheuses.

² L'essai de frein n° 1, effectué par un inspecteur accrédité de matériel remorqué, permet de vérifier l'intégrité et la continuité de la conduite générale, l'état de la timonerie de frein, le serrage et le desserrage des freins à air et la course du piston sur chaque wagon.

³ Au cours de l'enquête, il est apparu qu'il y avait un écart entre la composition du train et les renseignements fournis à l'équipe du train au triage Alyth. Le journal original du train indiquait que le train était composé de 161 wagons. Toutefois, 2 wagons chargés, indiqués dans le journal original du train comme étant aux positions 57 et 58, ne se trouvaient pas dans le train. L'enquête a ensuite permis de confirmer, d'après les données du scanneur d'inspection automatique du matériel, que le train transportait en fait 159 wagons.

marchandises dangereuses : 12 wagons étaient chargés de carburant diesel (UN1202) et 1 wagon était chargé de déchets dangereux (NA3082).

Le train était propulsé par 3 locomotives : 2 placées à la tête du train (CP 8959 et CP 8580), et 1 (CP 8867) à la position 73, à peu près au milieu du train. La locomotive en milieu de train était commandée à distance à partir de la locomotive de tête à l'aide de la technologie de télécommande à traction répartie (TR) (locomotive télécommandée)⁴. Le train pesait 13 896 tonnes⁵ et mesurait 10 044 pieds. Il avait un poids total par frein fonctionnel de 87 tonnes.

Selon le manifeste du voyage, le train devait d'abord rouler vers l'ouest jusqu'à Field (Colombie-Britannique), dans la subdivision de Laggan, et traverser un secteur connu sous le nom de Field Hill. Field Hill est un tronçon de voie ferrée de 13,5 milles qui présente une pente descendante abrupte (2,2 % en moyenne), des contre-courbes successives prononcées et 2 tunnels en spirale (le tunnel Upper Spiral et le tunnel Lower Spiral). À l'ouest de Field, le train devait faire 2 arrêts en cours de route pour dételé 40 wagons à Golden (Colombie-Britannique), et 94 autres wagons à Kamloops (Colombie-Britannique).

1.1 L'événement

Vers 4 h 01 le 3 janvier 2019, le train a commencé à descendre Field Hill. À 4 h 11, le mécanicien de locomotive (ML) a remarqué une augmentation soudaine du débit d'air dans la conduite générale de la locomotive télécommandée lorsque les freins à air étaient serrés⁶. Peu après, à 4 h 12, une alerte s'est déclenchée dans la cabine en raison d'une augmentation soudaine de la pression dans la conduite générale, indiquant un desserrage intempestif des freins à air (UDR) provenant de la conduite générale. En réaction, pour arrêter le train de façon contrôlée, le ML a augmenté progressivement le freinage dynamique. Il a aussi augmenté le serrage minimal des freins à air, ajoutant 2 serrages supplémentaires de 7 lb/po² chacun. Le train s'est immobilisé près du point milliaire 126, les derniers 2/3 du train étant sur un terrain plat dans la courbe autour du lac Wapta.

⁴ Lorsqu'une locomotive télécommandée reçoit un message radio de traction répartie (TR) de la locomotive menante de tête, elle répond en exécutant les commandes de conduite de train qu'elle reçoit. Lorsque le train fonctionne en mode synchrone de TR, comme dans l'événement à l'étude, les signaux envoyés par la locomotive de tête permettent d'assurer le fonctionnement synchrone avec la locomotive télécommandée.

⁵ Dans le présent rapport, « tonne » désigne une tonne courte, soit 2000 livres ou environ 907 kg.

⁶ Dans des conditions normales, lorsque la pression dans la conduite générale est réduite pour serrer les freins d'un train, la valeur du débit d'air diminue, puis se stabilise à une valeur constante. Une augmentation du débit d'air lorsque les freins à air sont serrés constitue un indicateur avancé d'un mauvais fonctionnement des freins à air, comme une fuite d'air excessive, ou d'un desserrage intempestif des freins de 1 ou plusieurs wagons.

Le ML a communiqué avec le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF). Au cours de la conversation, le ML a exprimé sa crainte qu'un autre UDR se produise⁷. Il a indiqué que, une fois que le système de freins à air du train serait rechargé, l'équipe « essayerait de nouveau » (c.-à-d., reprendrait le voyage), mais a réitéré sa crainte qu'un autre UDR se produise. Le CCF a confirmé qu'il comprenait que l'équipe essayerait de nouveau. Il a également indiqué qu'il aviserait son superviseur de la crainte du ML⁸.

Compte tenu de l'endroit, et avec la permission du coordonnateur de trains, le train a été immobilisé par les freins indépendants sur les 3 locomotives pendant que les freins à air étaient rechargés pendant environ 25 minutes. Le train est reparti à 4 h 45, poursuivant sa route vers l'ouest.

Quelques minutes plus tard, à 4 h 48, un freinage d'urgence intempestif (UDE) provenant de la conduite générale s'est produit alors que le train circulait à environ 8 mi/h. Cela a entraîné un 2^e arrêt imprévu au point milliaire 126,3.

Le chef de train a procédé à une inspection et a trouvé une mâchoire d'attelage rompue, qui présentait des signes de rouille préexistante sur les surfaces de rupture, soit un possible signe de rupture par fatigue⁹, à l'extrémité arrière (est) du 50^e wagon (COER 353930, à la position 52). Il a été déterminé qu'après la rupture de la mâchoire d'attelage, le 50^e wagon s'était éloigné du 51^e wagon qui le suivait, ce qui a entraîné la séparation des conduites d'air raccordées et l'UDE.

Le chef de train a remplacé la mâchoire d'attelage rompue pendant que le ML communiquait de nouveau avec le CCF et l'informait que les robinets de retenue¹⁰ devaient être réglés à la

⁷ La source d'un UDR provenant de la conduite générale est extrêmement difficile à déterminer. Les conditions qui entraînent une augmentation spontanée de la pression dans la conduite générale sont souvent dynamiques et intermittentes; par exemple, des changements importants et brusques du débit d'air causés par l'obstruction d'une conduite d'air pliée. Une fois le train immobilisé, la condition défectueuse dynamique revient généralement à son état antérieur, sans laisser de signe visible. Par conséquent, les équipes de train sur le terrain sont souvent incapables de déterminer et d'isoler le wagon responsable de l'UDR. Par conséquent, une fois qu'un UDR s'est produit dans un train, il est fort probable qu'il se reproduise.

⁸ Lorsque des problèmes mécaniques surviennent dans un train, les contrôleurs de la circulation ferroviaire (CCF) peuvent transmettre des renseignements au personnel de supervision, mais il n'appartient pas aux CCF de déterminer si le train devrait poursuivre sa route ou de quelle manière.

⁹ Les chefs de train de la Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique (CP) sont formés pour faire la distinction entre une rupture attribuable à une contrainte excessive et une rupture attribuable à une condition préexistante. Dans l'événement à l'étude, le chef de train a déterminé que la mâchoire d'attelage présentait de la rouille préexistante sur les surfaces de rupture. D'après cette évaluation sur le terrain, le personnel du CP n'a pas conservé la mâchoire d'attelage et aucune analyse métallurgique n'a été effectuée sur cette dernière.

¹⁰ Un robinet de retenue est un robinet manuel qui est utilisé pour limiter l'évacuation de la pression d'air du cylindre de frein d'un wagon.

position haute pression (HP)¹¹ avant de rétablir et de recharger le système de freins à air après le freinage d'urgence. Ces mesures étaient conformes aux procédures d'exploitation et aux instructions du coordonnateur de trains. Par la suite, les robinets de retenue ont été réglés à la position HP sur 50 wagons entre la locomotive de tête et la locomotive télécommandée en milieu de train.

Les 2 arrêts imprévus ont causé d'importants retards. À 6 h, alors que le train était toujours immobilisé au point milliaire 126,3 à la suite de l'UDE, les membres de l'équipe étaient en service depuis 12 heures, soit le nombre maximal d'heures de service permis en vertu des *Règles relatives au temps de travail et de repos du personnel d'exploitation ferroviaire*¹². Conscient que le quart de l'équipe d'origine prendrait fin avant que le train n'arrive à Field, le CCF avait dépêché une équipe de relève, qui est arrivée au train vers 8 h 10. Les 2 équipes ont tenu une séance de briefing où elles ont discuté des événements d'UDR et d'UDE. Le ML d'origine s'est dit d'avis qu'il y avait une forte probabilité d'un autre UDR.

Une fois que l'équipe de relève a pris en charge la conduite du train, celui-ci est parti à 9 h 54. Vers 10 h 10, le train est entré dans le tunnel Upper Spiral au point milliaire 128,8 à une vitesse de 15,6 mi/h.

À 10 h 13, alors que la tête du train sortait du tunnel à environ 12 mi/h, une alerte s'est déclenchée dans la cabine, indiquant un UDR provenant de la conduite générale. En réaction, pour arrêter le train de façon contrôlée, le ML de relève a réglé le manipulateur de la locomotive à la position de ralenti et a effectué un serrage à fond des freins à air, selon les besoins¹³; il a aussi serré rapidement les freins dynamiques, puis a augmenté progressivement le serrage jusqu'à la position 8 maximale. Vers 10 h 14, alors que le train circulait à environ 14 mi/h, un UDE provenant de la conduite générale s'est produit et le train s'est immobilisé brusquement.

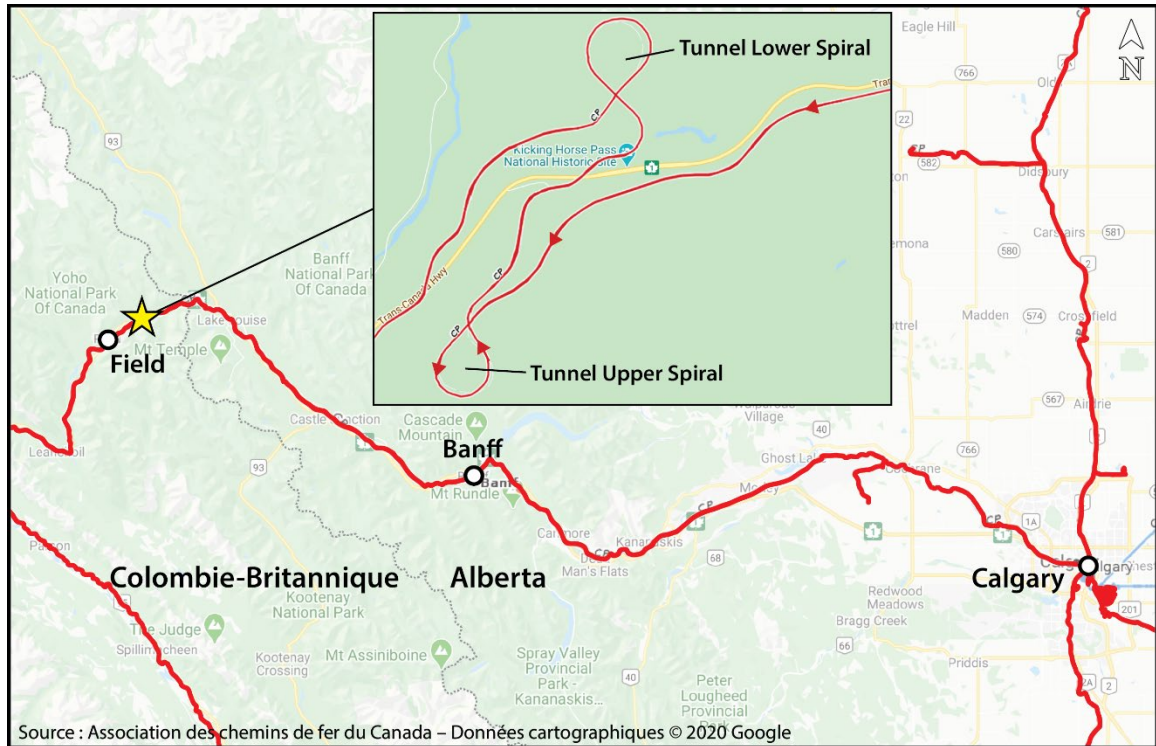
Une inspection a permis de déterminer qu'un total de 15 wagons vides avaient déraillé dans le tunnel Upper Spiral (figure 1). Il n'y a pas eu d'incendie et aucune marchandise dangereuse n'était en cause lors du déraillement. Personne n'a été blessé.

¹¹ Le réglage haute pression (HP) sert à évacuer la pression du cylindre de frein à 20 lb/po² après le desserrage des freins à air et pendant que le système de freins se recharge. La pression de freinage retenue dans le cylindre fournit également une force retardatrice des freins supplémentaire pour aider à contrôler la vitesse du train lorsque celui-ci reprend son parcours. Cependant, lorsqu'ils sont réglés à la position HP, les robinets de retenue ajoutent de la résistance et augmentent les forces exercées le long du train.

¹² Transports Canada, TC O 0-140, *Règles relatives au temps de travail et de repos du personnel d'exploitation ferroviaire* (en vigueur le 23 février 2011).

¹³ Les *Instructions générales d'exploitation* du CP indiquent, en partie, ce qui suit au sujet de la conduite des trains dans des conditions hivernales : « S'il y a des indications de freinage anormal [...], le train doit être arrêté au moyen d'un serrage normal à fond de ses freins [...] » Chemin de fer Canadien Pacifique, *Instructions générales d'exploitation* (valide le 14 octobre 2015), section 1, paragraphe 32.10C.

Figure 1. Carte du lieu de l'événement, avec carte en médaillon montrant le lieu de l'événement et la configuration du tunnel Upper Spiral et du tunnel Lower Spiral (Source : Association des chemins de fer du Canada, Atlas du rail canadien, avec annotations du BST)



1.2 Examen des lieux

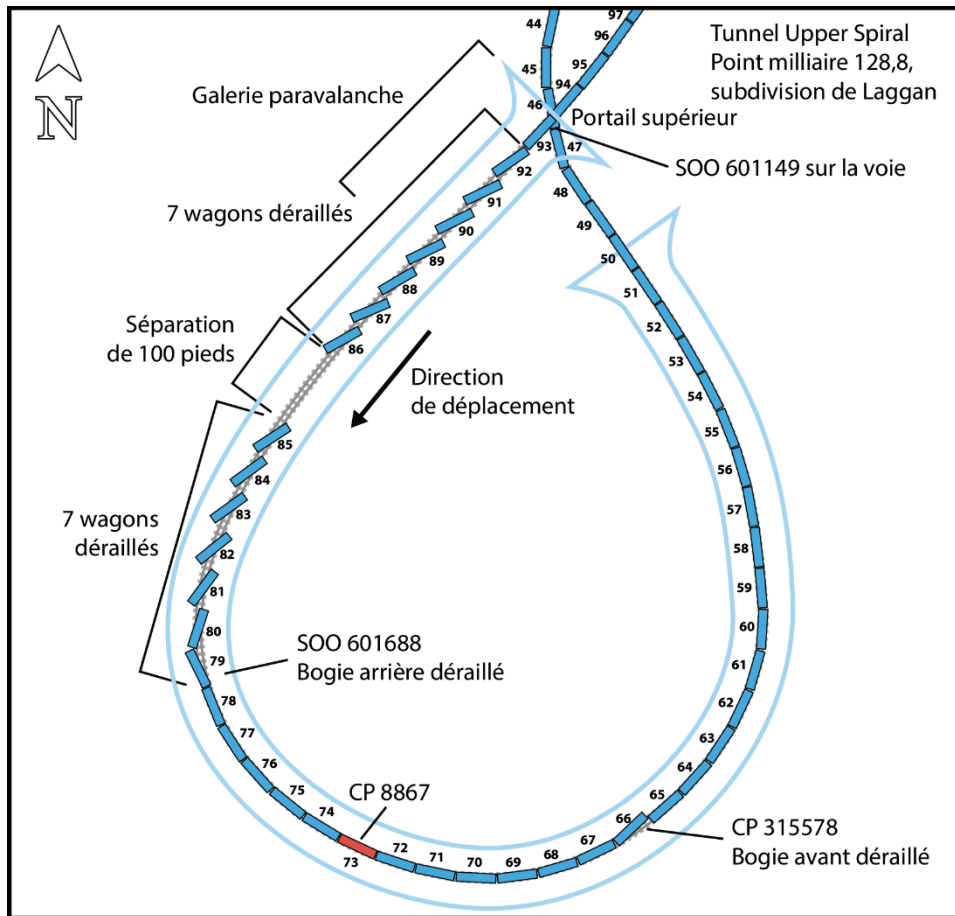
La tête du train s'est immobilisée au point milliaire 129,95. Un total de 15 wagons avaient déraillé (position 66, devant la locomotive télécommandée, et positions 79 à 92, derrière la locomotive télécommandée); tous les wagons avaient déraillé dans le tunnel Upper Spiral. Tous les wagons plats qui avaient déraillé, sauf 1, étaient des wagons plats à parois de bout. Ils avaient déraillé sans se renverser et s'étaient mis en portefeuille à 3 endroits distincts (figure 2) :

- un seul wagon plat à la position 66 (CP 315578, un wagon plat vide de 42 tonnes et de 94,8 pieds), situé 7 wagons devant la locomotive télécommandée; seul son bogie avant avait déraillé;
- un lot de 7 wagons plats (positions 79 à 85) situés 6 wagons derrière la locomotive télécommandée; dans le cas du wagon à la position 79 (SOO 601688), seul son bogie arrière avait déraillé;
- un lot de 7 wagons (positions 86 à 92) comprenant 1 wagon plat, 1 wagon couvert et 5 wagons plats;

Il y avait une séparation de 100 pieds entre les 2 lots de 7 wagons déraillés.

Lorsque les enquêteurs du BST sont arrivés sur les lieux, la partie avant du train (les locomotives de tête, tous les wagons non déraillés à l'avant, le wagon déraillé à la position 66, la locomotive télécommandée et les 5 wagons non déraillés situés juste derrière la locomotive télécommandée) avait été éloignée du lieu du déraillement.

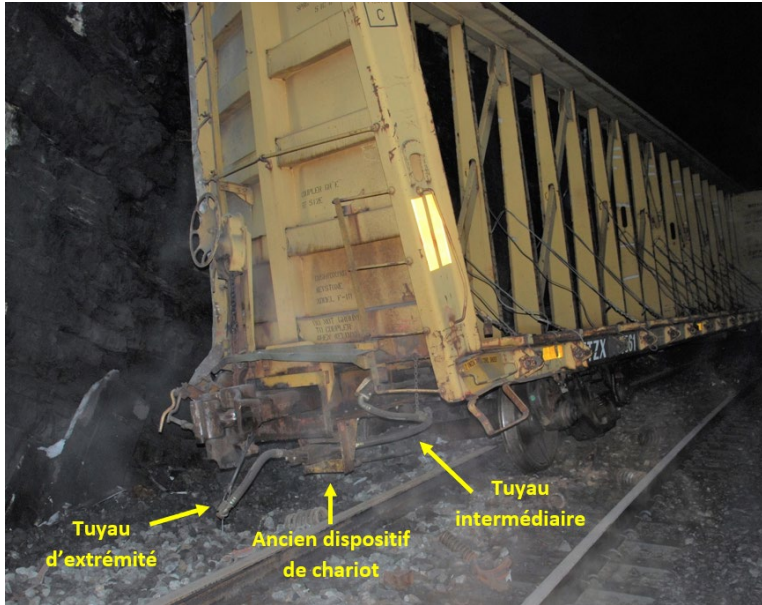
Figure 2. Diagramme du tunnel Upper Spiral montrant l'emplacement relatif des wagons déraillés (Source : BST)



En inspectant les autres wagons qui avaient déraillé, les enquêteurs ont remarqué que le wagon plat à support central TTZX 85561 (position 85, le premier wagon juste avant la séparation de 100 pieds) était équipé d'un ancien dispositif de chariot en bout de wagon (figure 3)¹⁴.

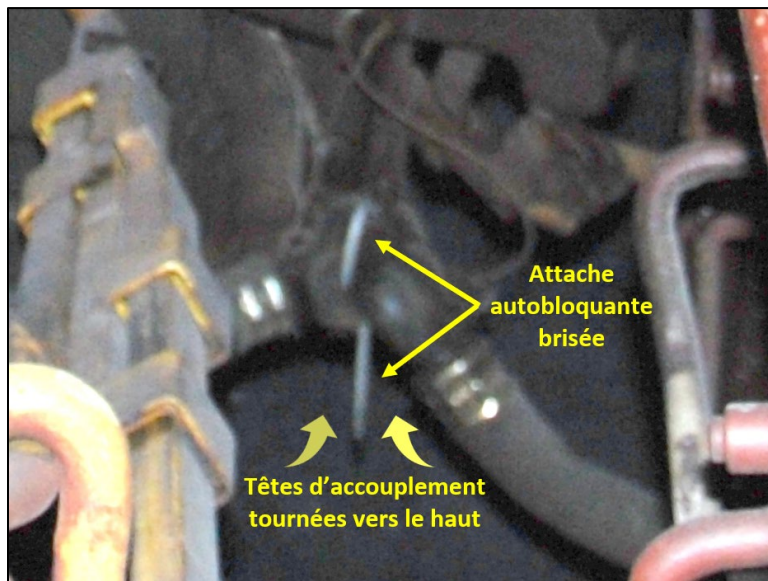
¹⁴ Les divers composants des dispositifs en bout de wagon sont décrits à la section 1.7.2.

Figure 3. Wagon plat à support central TTZX 85561 équipé d'un ancien dispositif de chariot en bout de wagon à l'avant (Source : BST)



Les enquêteurs ont aussi remarqué que les têtes d'accouplement des tuyaux souples d'extrémité de certains wagons plats à support central de la série SOO qui ont déraillé avaient été fixées au moyen d'attaches autobloquantes; dans un cas, les têtes d'accouplement étaient tournées vers le haut (figure 4).

Figure 4. Têtes d'accouplement des tuyaux souples d'extrémité fixées ensemble par des attaches autobloquantes sur l'un des wagons à support central SOO qui ont déraillé (Source : BST)



La voie qui traverse le tunnel et qui se trouve au lieu du déraillement présente une courbe de 10°. Le déraillement a causé des dommages à la structure de la voie, aux parois du tunnel et à la galerie paravalanche du portail supérieur.

Des marques de boudin de roue étaient présentes sur le dessus du rail au point milliaire 128,9, ce qui indique qu'une roue avait passé par-dessus le rail extérieur (figure 5). On a déterminé qu'il s'agissait du point de déraillement.

Figure 5. Marque de boudin de roue (encerclée) indiquant qu'une roue avait passé par-dessus le rail extérieur (Source : Canadien Pacifique, avec annotations du BST)



Après l'événement, le CP a immédiatement envoyé le wagon de la position 66 et tous les wagons non déraillés des positions 67 à 162 à ses installations de Golden pour une inspection mécanique et des essais.

1.3 Renseignements météorologiques

Au moment de l'événement, la température ambiante était d'environ -1 °C. Il y avait de légères chutes de neige et des rafales de vent modérées d'environ 41 km/h en provenance du sud. Même s'il avait récemment neigé abondamment dans la région, le sommet du champignon du rail était exempt de neige au moment du déraillement en raison du passage récent de matériel roulant.

1.4 Renseignements sur la subdivision et sur la voie

La subdivision de Laggan fait partie du corridor principal du CP menant à la côte ouest. La subdivision s'étend de Calgary (point milliaire 0,0) à Field (point milliaire 136,6), et est principalement formée d'une voie principale simple et d'un tronçon à double voie situé entre Lake Louise (Alberta) (point milliaire 116,2) et Stephen (Colombie-Britannique)

(point milliaire 123,1). À Field, la voie se raccorde au point milliaire 0,0 de la subdivision de Mountain.

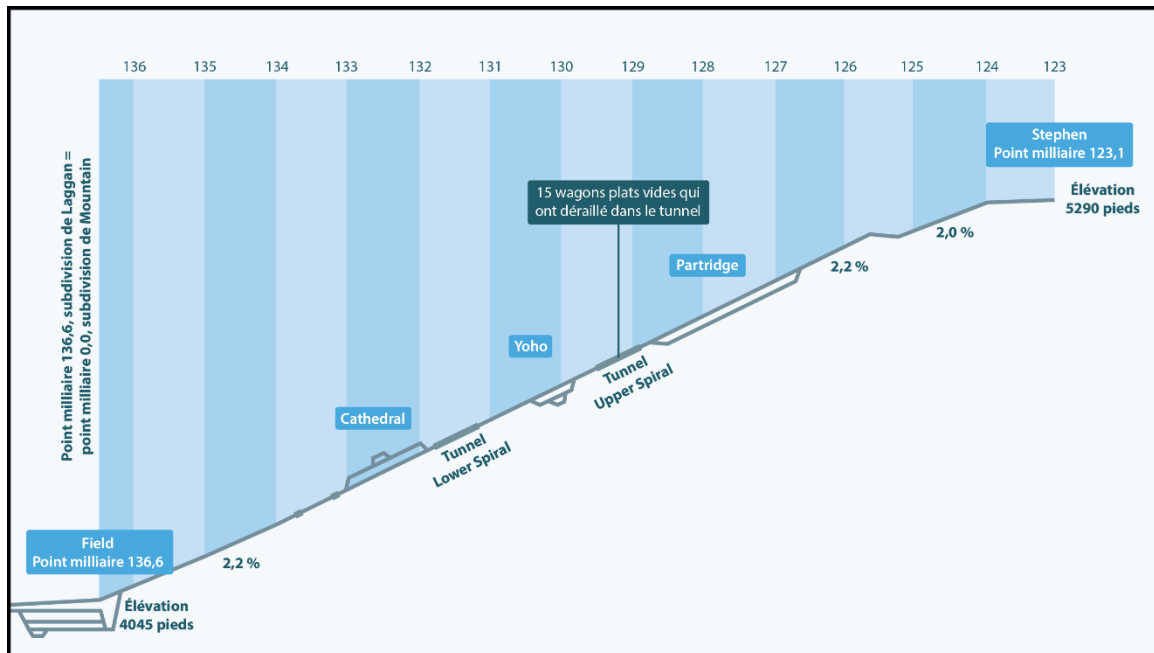
La subdivision de Laggan est l'une de plusieurs subdivisions caractérisées par des pentes abruptes et des courbes prononcées qui traversent les montagnes Rocheuses et la chaîne des Cascades. Cet itinéraire traverse certains des reliefs d'exploitation ferroviaire les plus difficiles en Amérique du Nord.

Les mouvements de train sont régis par le système de commande centralisée de la circulation, comme l'autorise le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*. Leur répartition est effectuée par un CCF en poste à Calgary.

1.4.1 Field Hill

Le tronçon de la subdivision de Laggan connu sous le nom de Field Hill s'étend sur 13,5 milles de Stephen jusqu'à Field. Il est désigné comme une pente en terrain montagneux¹⁵ et passe d'une élévation de 5290 pieds à Stephen à 4045 pieds à Field. La pente descendante moyenne est de 2,2 % (figure 6); dans le tunnel Upper Spiral, la pente est d'environ 1,7 %.

Figure 6. Schéma de Field Hill montrant les déclivités de la voie et le lieu du déraillement (Source : BST)



Il y a plusieurs courbes prononcées allant de 8° à 10°, y compris des contre-courbes successives.

¹⁵ Le CP définit les pentes de plus de 1,8 % comme des pentes en terrain montagneux.

1.4.2 Tunnels en spirale

Il y a 2 tunnels en spirale sur Field Hill : le tunnel Upper Spiral et le tunnel Lower Spiral (voir la figure 1). Les tunnels suivent une trajectoire en spirale à travers les montagnes; cette conception permet aux trains de négocier plus facilement les changements d'élévation importants.

Le tunnel Upper Spiral, d'une longueur de 3255 pieds, s'étend du point milliaire 128,8 au point milliaire 129,5. Il forme une courbe totale de 250° (environ $\frac{3}{4}$ d'un cercle), avec une diminution totale d'élévation d'environ 56 pieds.

Le tunnel Lower Spiral, d'une longueur de 2922 pieds, s'étend du point milliaire 131,0 au point milliaire 131,5. Il forme une courbe totale de 226° (environ $\frac{3}{5}$ d'un cercle), avec une diminution d'élévation d'environ 50 pieds.

L'alignement horizontal de la voie dans chacun des 2 tunnels en spirale a une courbure maximale d'environ 10°, et l'alignement vertical dans chaque tunnel a une pente descendante moyenne de 1,7 %.

1.4.3 La voie dans les environs du déraillement

À l'intérieur des tunnels en spirale, le rail était constitué de longs rails soudés de 136 livres, installés en juin 2018. Le rail était fixé à des traverses d'acier à l'aide de lames-ressorts, avec environ 3170 traverses par mille. Le ballast était fait de roche concassée propre. La largeur des épaulements était d'environ 12 pouces, les cases étaient garnies et le drainage était bon.

La voie est normalement inspectée au moins 2 fois par semaine, conformément au *Règlement concernant la sécurité de la voie* et au *Livre rouge des exigences relatives à la voie et aux ouvrages* du CP. La dernière inspection de la voie avait été effectuée le 3 janvier 2019, et aucun défaut n'avait été relevé. Un contrôle de détection des défauts de rail a été effectué en décembre 2018; aucun défaut n'a été trouvé dans le secteur du déraillement.

1.5 Renseignements sur l'équipe

1.5.1 Équipe d'origine

L'équipe d'origine se composait d'un ML et d'un chef de train. Les 2 membres de l'équipe étaient qualifiés pour leurs postes respectifs, connaissaient bien le territoire et se conformaient aux normes établies en matière de repos et de condition physique.

1.5.2 Équipe de relève

L'équipe de relève se composait d'un ML et d'un chef de train. Les 2 membres de l'équipe étaient qualifiés pour leurs postes respectifs, connaissaient bien le territoire et se conformaient aux normes établies en matière de repos et de condition physique.

1.5.3 Transfert d'équipe à équipe

L'équipe d'origine a été appelée au service au triage Alyth à 18 h le 2 janvier 2019 pour un quart qui devait se terminer à Field (point milliaire 136,6), où un changement d'équipe était prévu. Toutefois, en raison des arrêts imprévus sur Field Hill et des importants retards qui ont suivi, le train ne s'était rendu qu'au point milliaire 126,3 lorsque les heures de service permises de l'équipe ont pris fin à 6 h le 3 janvier 2019.

Une équipe de relève a été appelée à se présenter au travail à 6 h 50. Les membres de l'équipe de relève ont été transportés de Field à Yoho par véhicule routier, puis ont dû faire le reste du trajet à bord d'un chasse-neige sur rail, arrivant vers 8 h 10.

1.6 Renseignements consignés

1.6.1 Caméra vidéo orientée vers l'avant de la locomotive

Les caméras vidéo orientées vers l'avant sont conçues pour enregistrer en continu durant la marche de la locomotive. De nombreux chemins de fer ont pris l'initiative d'installer de telles caméras à bord des locomotives de tête, même si la réglementation ne l'exige pas.

Dans l'événement à l'étude, la locomotive de tête était dotée d'une caméra orientée vers l'avant. Le BST a demandé l'enregistrement vidéo de la caméra, mais a été informé qu'il n'était pas possible de récupérer les données de cette caméra en raison d'une défaillance de l'équipement de bord de la locomotive.

La locomotive télécommandée était également équipée d'une caméra vidéo orientée vers l'avant. Un examen de l'enregistrement vidéo a montré qu'un effet de compression soudain et important du jeu des attelages s'est produit au même moment que le deuxième UDR à l'intérieur du tunnel Upper Spiral. (De plus amples renseignements sur les forces exercées le long du train et le jeu des attelages sont fournis à la section 1.9.)

1.6.2 Consignateur d'événements de locomotive

Les locomotives de tête et la locomotive télécommandée étaient équipées d'un consignateur d'événements de locomotive (CEL). Le CEL est un dispositif électronique d'enregistrement de données qui saisit en temps réel les données relatives à l'état opérationnel des commandes de bord de la locomotive, comme le manipulateur, le freinage dynamique, le freinage à air, la cloche et le sifflet.

Dans l'événement à l'étude, les locomotives étaient équipées d'anciens CEL qui ne saisissaient pas les données sur le débit d'air dans la conduite générale. Les enquêteurs ont donc utilisé les données transmises au CEL de la locomotive de tête par l'unité de détection et de freinage, communément appelée l'unité de queue de train (UQT)¹⁶.

¹⁶ Une unité de queue de train (UQT) est placée à la queue du train et est raccordée à la conduite générale du train. Elle surveille la pression dans la conduite générale à la queue et détecte le mouvement du train; elle envoie ces renseignements par radio à la locomotive, où ils sont affichés dans la cabine. L'UQT peut aussi servir à déclencher un freinage d'urgence à partir de la queue du train.

Les données envoyées au CEL par l'UQT représentent l'état en temps réel de la pression dans la conduite générale à la queue du train. Elles fournissent une indication indirecte des caractéristiques de rendement de la conduite générale, du taux de charge et des anomalies potentielles de la conduite générale entre la locomotive télécommandée et le dernier wagon. En outre, lorsqu'elles sont comparées aux données sur la pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée, les données de l'UQT peuvent donner une idée des changements importants dans les fuites de la conduite générale et/ou le débit d'air. Dans le cas d'un train conventionnel ayant seulement une traction en tête de train, les données de l'UQT fournissent des renseignements pertinents entre la locomotive menante de tête et le dernier wagon.

Des changements inattendus dans le débit d'air dans la conduite générale peuvent mettre en évidence une condition anormale ou émergente dans le système de freins à air du train. Il peut s'agir d'un changement dans les fuites d'air comprimé qui se produisent naturellement dans le système de freins et/ou d'un changement critique dans la continuité de la conduite générale. Bien que les changements de continuité soient rares, ils peuvent néanmoins se produire, ne serait-ce que momentanément, par exemple lorsque le jeu des attelages s'ajuste sur un train en mouvement en réponse à des commandes de conduite du train ou en raison de changements de terrain.

Les données pertinentes du CEL et de l'UQT sont fournies aux annexes A et B.

Le BST a examiné ces données et a conclu ce qui suit :

- Avant que le train ne commence à descendre Field Hill, le système de freins à air fonctionnait comme prévu, et rien n'indiquait qu'il y avait des problèmes intermittents.
- Les événements d'UDR n'ont pas découlé des actions de conduite du train exécutées par les ML, mais se sont produits lorsque la pression dans la conduite générale a augmenté spontanément, ce qui donne à penser qu'il y a eu un changement dynamique du débit d'air dans la conduite générale de 1 ou plusieurs wagons.
- Au moment du premier UDR, le freinage dynamique était à la position 1 et le ML avait effectué un serrage de 7 lb/po² des freins à air. Au moment du deuxième UDR, le manipulateur était à la position 3 et le ML avait effectué un serrage de 10 lb/po² des freins à air.
- Les UDR provenaient de la partie arrière du train, entre la locomotive télécommandée et la queue du train, probablement d'un wagon placé à une courte distance de la locomotive télécommandée.
- Le ML de relève a effectué un serrage à fond des freins, comme il se devait, en réponse au deuxième UDR, et le serrage des freins a été suivi de changements dans la vitesse du train : en 1 seconde, le train a accéléré de 0,7 mi/h; puis, en 2 secondes, il a décéléré de 0,7 mi/h. Les changements de la vitesse du train indiquent un effet de compression soudain et important du jeu des attelages, qui a été suivi du déraillement et d'un UDE moins d'une minute plus tard.

Le CP a également examiné les données du CEL et de l'UQT. La compagnie a déduit que l'UDR avait fort probablement été déclenché sur le wagon TTZX 86441 (position 96), d'après la séquence des augmentations de la pression dans la conduite générale à la locomotive de tête, à la locomotive télécommandée et à l'UQT, et d'après les résultats de son inspection et de ses essais des wagons aux positions 66 à 162 (annexe C).

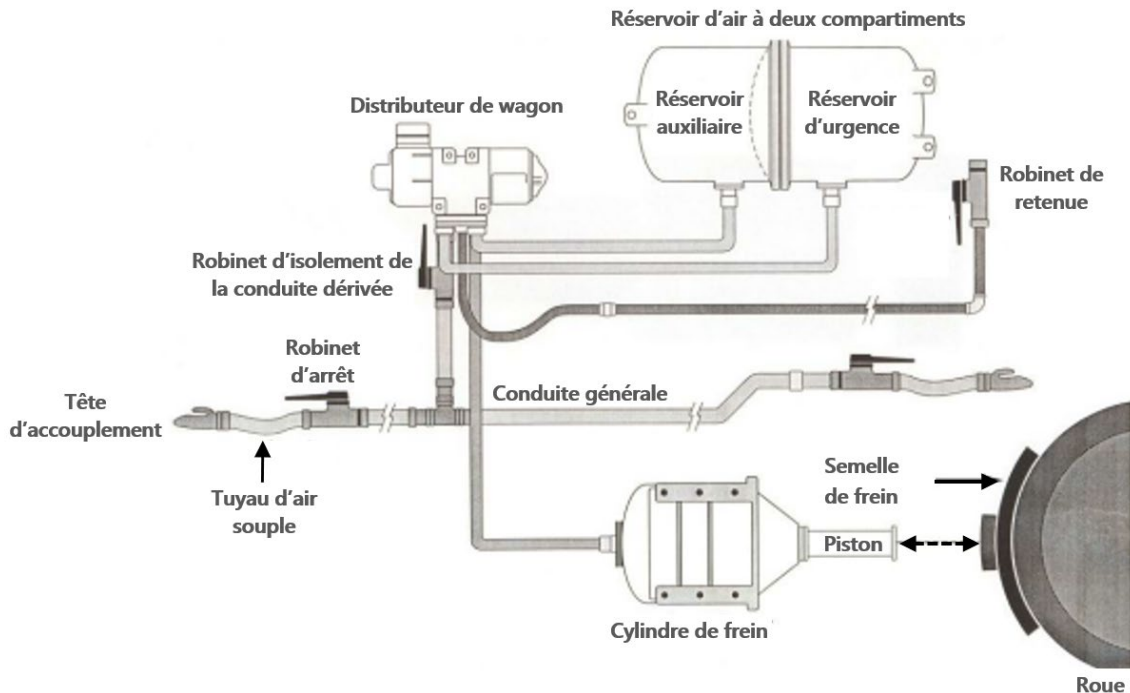
1.7 Vue d'ensemble du système de freins à air des trains de marchandises

1.7.1 Composants des freins à air sur un wagon

Les wagons de marchandises exploités en Amérique du Nord sont équipés de freins à friction à commande pneumatique, appelés freins automatiques ou, plus communément, freins à air.

Chaque wagon est équipé des composants de freins à air de base suivants : une conduite générale rigide, des tuyaux souples d'extrémité, des robinets d'arrêt, un réservoir combiné de stockage d'air (qui comprend les réservoirs d'air auxiliaire et d'urgence), des cylindres de frein et un robinet de retenue, tous reliés à un distributeur de wagon (figure 7).

Figure 7. Composants des freins à air des wagons de marchandises (Source : Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, CN Locomotive Engineer Training Course: Participant Manual, module 8 : CN – 0031E CRS [2011]; modifié par le BST aux fins de clarté; traduction par le BST)



L'assemblage du distributeur de wagon comprend 2 parties – une partie de service et une partie d'urgence – toutes deux fixées à un support de conduite. Ces parties sont des dispositifs de commande pneumatique complexes qui contrôlent toutes les fonctions des

freins à air du wagon à l'aide de quantité de passages d'air, d'orifices, de chambres, d'ensembles piston et de soupapes spécialisées.

Le distributeur de wagon est relié au cylindre de frein, à la conduite générale et au réservoir combiné de stockage d'air. Il a 3 fonctions de contrôle principales : charger les réservoirs auxiliaire et d'urgence à partir de la conduite générale, serrer les freins et desserrer les freins. En plus de ces 3 fonctions de base, le distributeur de wagon offre des fonctions spécialisées pour accélérer la transmission et la propagation d'un serrage ou d'un desserrage des freins. D'autres fonctions importantes sont également intégrées au distributeur de wagon afin d'améliorer le rendement du système de freins au niveau des wagons et dans l'ensemble du train^{17,18}.

1.7.2 Dispositifs en bout de wagon

Les wagons sont équipés à chaque extrémité d'un dispositif en bout de wagon qui permet d'atteler le wagon à d'autres wagons et de raccorder les systèmes de freins à air des wagons pour les faire fonctionner dans un train.

1.7.2.1 Tuyaux souples d'extrémité et têtes d'accouplement

Un tuyau d'air souple se trouve à l'extrémité de chaque wagon pour se raccorder au tuyau des wagons adjacents. Les têtes d'accouplement sont les raccords de verrouillage fixés à chaque tuyau souple d'extrémité pour établir la connexion réelle entre les tuyaux au moment d'atteler les wagons.

1.7.2.2 Attelage et appareil de choc et de traction

Un attelage est un appareil mécanique situé à l'extrémité de chaque wagon qui sert à relier le matériel roulant d'un train. L'attelage comprend généralement un bras, une mâchoire, un pivot de mâchoire et un mécanisme de verrouillage.

Conjointement avec l'attelage, un appareil de choc et de traction est installé aux deux extrémités d'un wagon pour faciliter l'absorption de l'énergie produite par les mouvements du train. Les appareils de choc et de traction sont essentiellement des amortisseurs de choc conçus pour se comprimer et s'étirer jusqu'à un certain point lorsqu'une force y est appliquée. En raison des appareils de choc et de traction, le point de raccordement entre les wagons attelés présente un certain jeu, selon la conception de l'appareil.

L'appareil de choc et de traction peut utiliser soit des appareils de traction à friction standard, soit des appareils amortisseurs en bout de wagon, selon la conception et l'utilisation prévue du wagon.

¹⁷ D. G. Blaine, « Modern Freight Car Air Brakes » (Simmons-Boardman Publishing Corporation Educational Division, 1979), unité II, p. 87 à 119.

¹⁸ D. G. Blaine, « Improving Freight Train Operation with 'ABD' Valves », dans *Proceedings of the 64th Annual Convention of the Air Brake Association*, Chicago (Illinois) (du 18 au 20 septembre 1972).

- Un appareil de traction à friction standard est l'appareil de choc et de traction le plus rudimentaire et offre une protection limitée contre les chocs. Le déplacement maximal de l'appareil de traction qui se produit quand il se détend et se contracte, appelé longueur de course de l'attelage, est limité à seulement 3 ½ pouces environ. En raison de cette plage de déplacement limitée, le tuyau d'extrémité est directement relié au robinet d'arrêt de la conduite générale et se déplace à l'unisson avec l'attelage sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un appareil supplémentaire.
- L'appareil amortisseur en bout de wagon est conçu pour réduire au minimum les dommages au chargement en offrant une protection supplémentaire contre les effets des chocs. L'amortisseur de l'appareil amortisseur en bout de wagon est doté d'un attelage à long bras et d'un piston qui lui confère une longue course, de 10 à 18 pouces, car il entre dans le boîtier de l'appareil amortisseur en bout de wagon et en sort. Pour s'adapter à la plage de déplacement étendue des appareils amortisseurs en bout de wagon, il faut utiliser un dispositif en bout de wagon spécial avec un tuyau d'air intermédiaire (de rallonge). Les trains qui comportent plusieurs wagons équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon ont plus de jeu.

1.7.2.3 Dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot

Pour s'adapter à la plage de déplacement étendue des appareils amortisseurs en bout de wagon, un tuyau d'air souple intermédiaire, situé horizontalement sous la caisse du wagon, est raccordé au tuyau d'extrémité et au robinet d'arrêt. De plus, un appareil mobile de support de tuyau, appelé dispositif de chariot en bout de wagon, permet au tuyau de se déplacer à l'unisson avec l'attelage.

Un document sur les essais des dispositifs en bout de wagon des systèmes de freins, présenté en 2022 lors de la Railway Supply Institute Expo and Technical Conference, indique notamment ce qui suit [traduction] :

Le dispositif en bout de wagon doit garantir que les tuyaux d'extrémité restent raccordés pendant le mouvement et peuvent s'adapter à :

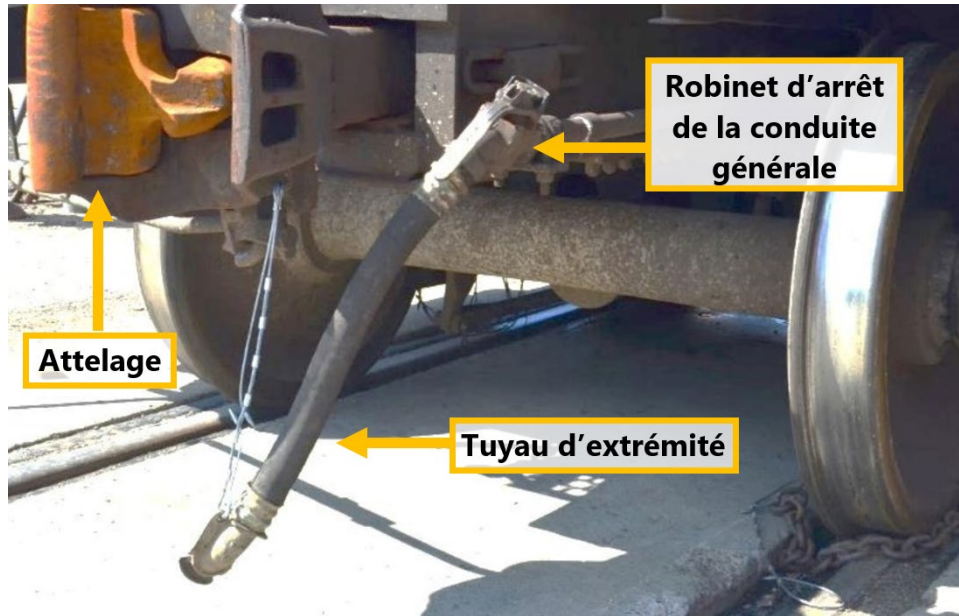
- jusqu'à 18 pouces de déplacement longitudinal;
- jusqu'à 15 degrés d'angle d'attelage (balancement latéral)¹⁹.

1.7.3 Ligne de train

Lorsque les wagons sont assemblés pour former un train, le tuyau d'air souple situé à chaque extrémité d'un wagon est relié aux tuyaux des wagons adjacents, et les robinets d'arrêt de la conduite générale sont réglés à la position ouverte (figure 8). L'ensemble forme une conduite générale continue, souvent appelée « ligne de train », qui s'étend sur toute la longueur du train. L'équipement de freinage de chaque wagon fonctionne avec celui de tous les autres dans un système de freins à air automatique.

¹⁹ Y. Wang, « Brake System End Arrangement Tests », présenté à la Railway Supply Institute Expo and Technical Conference, Fort Worth (Texas) (du 11 au 13 octobre 2022).

Figure 8. Dispositif en bout de wagon sur un wagon équipé d'appareils de choc et de traction standard (Source : D. Cummins, Canadien Pacifique, J. Reiling et Strato Inc., « Underslung Air hose Arrangements. The Good, the Bad, and the Ugly », document présenté lors de la conférence technique annuelle de l'Air Brake Association à Minneapolis (Minnesota) (23 septembre 2019), avec annotations du BST)



Grâce à l'air comprimé fourni par les locomotives, le système de freins à air automatique du train constitue pour les ML un moyen simple et fiable de serrer et de desserrer les freins des wagons et des locomotives, de ralentir le train, de contrôler ou de stabiliser le jeu des attelages, de contrôler la vitesse sur les pentes descendantes ou d'arrêter le train. Les ML contrôlent l'air comprimé et les freins à l'aide d'une poignée de robinet de mécanicien située dans la cabine de la locomotive de commande.

1.8 Serrages et desserrages des freins à air

1.8.1 Serrages des freins à air

Pour serrer les freins dans tout le train, le ML déplace la poignée du robinet de mécanicien autant qu'il le faut pour réduire la pression dans la conduite générale. Le serrage des freins se propage alors le long de la conduite générale à une vitesse d'environ 600 à 700 pi/s (selon les caractéristiques particulières des divers distributeurs de wagon dans le train).

Le distributeur de chaque wagon est relié au cylindre de frein, à la conduite générale et au réservoir combiné de stockage d'air; le distributeur de wagon détecte les changements de pression et y réagit. Plus précisément, un piston de commande principal du distributeur de wagon compare les pressions de la conduite générale et du réservoir auxiliaire. Une différence de pression de 1,5 à 2 lb/po² ou plus entraîne le déplacement du piston principal et, selon le changement de pression, le serrage ou le desserrage des freins.

Lorsque la pression dans la conduite générale est réduite de 1,5 à 2 lb/po² par rapport à la pression du réservoir auxiliaire, le distributeur de wagon serre les freins proportionnellement à la réduction de pression, jusqu'à ce que les pressions de la conduite

générale et du réservoir auxiliaire soient égales. Ainsi, pendant un serrage normal des freins, la pression du réservoir auxiliaire suit la réduction commandée de la pression dans la conduite générale, tel qu'elle est effectuée par le ML lorsque les freins du train sont serrés. Pendant ce temps, la pression du réservoir d'urgence reste inchangée et conserve la même pression qu'avant le serrage des freins.

Pour serrer les freins du train plus fort qu'un serrage à fond, il faut utiliser un freinage d'urgence, au cours duquel l'air de la conduite générale est évacué à l'atmosphère, ce qui permet à la pression de chuter rapidement à 0 lb/po². En réaction, le distributeur de wagon relie immédiatement les réservoirs auxiliaire et d'urgence au cylindre de frein pour fournir la pression maximale dans le cylindre de frein. Une fois qu'un freinage d'urgence est amorcé, la chute de la pression dans la conduite générale à 0 lb/po² ne peut pas être arrêtée. Un freinage d'urgence peut être commandé par un ML (en mettant la poignée du robinet de mécanicien à la position d'urgence) ou par le chef de train (en actionnant la poignée du robinet de freinage d'urgence du chef de train). Il peut aussi être déclenché par le train; par exemple, lorsque les tuyaux d'air entre 2 wagons se séparent, la pression dans la conduite générale s'échappe à un rythme rapide.

1.8.2 Desserrages des freins à air

Le système de freins à air d'un wagon de marchandises est conçu pour le desserrage direct. Une fois que les freins automatiques ont été serrés, ils ne peuvent pas être desserrés progressivement; ils peuvent être serrés davantage, ou ils peuvent être complètement desserrés et rechargés.

1.8.2.1 Desserrage commandé des freins

Pour desserrer les freins d'un train, le ML met la poignée du robinet de mécanicien à la position de desserrage, ce qui augmente la pression dans la conduite générale. Sur chaque wagon, lorsque la pression dans la conduite générale augmente d'au moins 1,5 à 2 lb/po² par rapport à la pression du réservoir auxiliaire, le distributeur de wagon desserre complètement les freins, quelle que soit l'augmentation totale de la pression. Le signal de desserrage des freins se propage dans tout le train à peu près au même rythme qu'un serrage des freins.

1.8.2.2 Desserrage accéléré des freins

Les distributeurs de wagon ont une fonction de desserrage accéléré des freins conçue pour améliorer le desserrage des freins. Bien que cette fonction fasse partie du dispositif de freinage d'urgence du distributeur de wagon, elle est utilisée pour faciliter le desserrage des freins en utilisant la pression plus élevée qui est stockée dans le réservoir d'urgence.

Lorsque la pression dans la conduite générale d'un wagon augmente d'aussi peu que 1,5 à 2 lb/po² par rapport à la pression du réservoir auxiliaire du wagon, la fonction de desserrage accéléré des freins permet temporairement à l'air comprimé de passer du réservoir d'urgence du wagon à la conduite générale. Cela renforce l'augmentation de pression initiale, assurant ainsi un desserrage efficace des freins.

L'augmentation de pression localisée est détectée par les distributeurs des wagons adjacents. De la même façon, les freins des wagons adjacents se desserrent et de l'air comprimé provenant du réservoir d'urgence du wagon passe dans la conduite générale. La réaction combinée du desserrage accéléré des freins de plusieurs wagons déclenche un effet domino qui génère une onde de pression, assurant le desserrage des freins. En se propageant le long de la conduite générale vers l'avant et l'arrière du train, l'onde entraîne un desserrage progressif des freins sur toute la longueur du train.

La fonction de desserrage accéléré des freins permet de déclencher rapidement le desserrage des freins en créant un différentiel plus important entre la conduite générale et le réservoir auxiliaire. Cela crée une forte onde de pression dans la conduite générale, ce qui réduit le temps nécessaire pour que les freins commencent à se desserrer dans tout le train. Ceci est particulièrement bénéfique sur les trains longs. Par exemple, le desserrage plus rapide des freins permet à un train immobilisé de commencer à se déplacer beaucoup plus vite qu'il ne serait possible autrement. De même, le desserrage plus rapide des freins dans l'ensemble du train permet aux ML d'effectuer un desserrage des freins en marche à des vitesses inférieures sans que le train cale²⁰.

1.8.2.3 Desserrage intempestif provenant de la conduite générale

Un UDR provenant de la conduite générale se produit lorsque la pression d'air dans la conduite générale d'un train augmente spontanément, indépendamment de toute action de conduite du train exécutée par le ML, ce qui amène le distributeur d'un wagon à desserrer automatiquement les freins de ce wagon. Grâce à la fonction de desserrage accéléré des freins, une fois qu'un UDR s'est produit sur 1 wagon, l'onde de desserrage des freins commence à se propager dans tout le train.

Après un UDR, et en fonction de son point d'origine, plusieurs secondes peuvent s'écouler avant que le ML ne se rende compte que les freins se desserrent progressivement. Lorsque l'onde de desserrage des freins atteint l'UQT, une locomotive télécommandée ou la locomotive de tête, selon le premier de ces événements, les manomètres de la conduite générale surveillés par le ML affichent une brusque augmentation de pression. Sur un train à TR, une augmentation de pression non commandée sur la locomotive télécommandée déclenche aussi immédiatement une alarme dans la cabine pour alerter le ML.

Pour contrer un UDR en cours, les ML doivent agir rapidement et serrer de nouveau les freins en réduisant suffisamment la pression dans la conduite générale. Autrement, les freins à air continueront de se desserrer rapidement sur tous les wagons du train. Une réduction relativement faible de la pression dans la conduite générale à la suite d'un UDR n'entraînera pas un nouveau serrage des freins sur les wagons dont les freins sont desserrés.

²⁰ D. G. Blaine, « Train Brake System Action and Effect on Track Structure », dans *Proceedings of the 64th Annual Convention of the Air Brake Association*, Chicago (Illinois) (du 18 au 20 septembre 1972).

1.9 Forces exercées le long du train et jeu des attelages

Les forces exercées le long du train sont des forces dynamiques de compression et de traction appliquées aux wagons et à leurs composants lorsqu'un train est en mouvement. Ces forces longitudinales exercent des pressions sur les wagons et leurs composants.

Un train circulant sur une voie en alignement génère des forces longitudinales constantes qui s'exercent sur le train. Sur une pente ascendante, un train génère des forces de traction. L'ampleur de la force de traction est déterminée par le tonnage remorqué du train, l'effort de traction de la locomotive, la déclivité de la pente ascendante et la résistance au roulement du train. De même, sur une pente descendante, lorsqu'un train décélère ou maintient une vitesse constante, il génère des forces de compression. L'ampleur de la force de compression est déterminée par l'effort retardateur des freins dynamiques et des freins à air de la locomotive, le tonnage remorqué du train et la déclivité de la pente descendante.

Le jeu des attelages désigne le mouvement longitudinal aux extrémités d'un wagon et le mouvement cumulatif des wagons d'un même train. Ce mouvement se produit lorsque les forces exercées le long du train sont transmises entre les wagons pendant la conduite. Le jeu des attelages peut entraîner des différences de vitesse dans un train. Un effet de compression ou de traction du jeu des attelages désigne une brusque différence de vitesse entre des wagons adjacents.

Les appareils amortisseurs en bout de wagon sont conçus pour amortir les forces exercées le long du train et réduire au minimum les dommages au chargement. Cependant, le regroupement d'un grand nombre de wagons dotés d'appareils amortisseurs en bout de wagon dans un train peut augmenter considérablement le jeu des attelages total du train.

1.9.1 Effet du jeu des attelages sur les dispositifs en bout de wagon

Les dispositifs en bout de wagon sont conçus pour s'adapter aux variations du jeu des attelages lorsque le train circule à des vitesses différentes sur des terrains différents.

Sur un train en mouvement, les attelages des wagons basculent fréquemment d'un côté à l'autre, de haut en bas, et ils entrent dans le boîtier de l'appareil de choc et de traction et en sortent lorsqu'ils s'adaptent aux changements d'alignement de la voie, de la vitesse du train et/ou des commandes de conduite du train. En plus de ces variations de jeu entre les wagons, une force de compression s'exerce souvent sur les tuyaux d'air et les têtes d'accouplement entre wagons adjacents et sur le tuyau intermédiaire, si un wagon en est équipé.

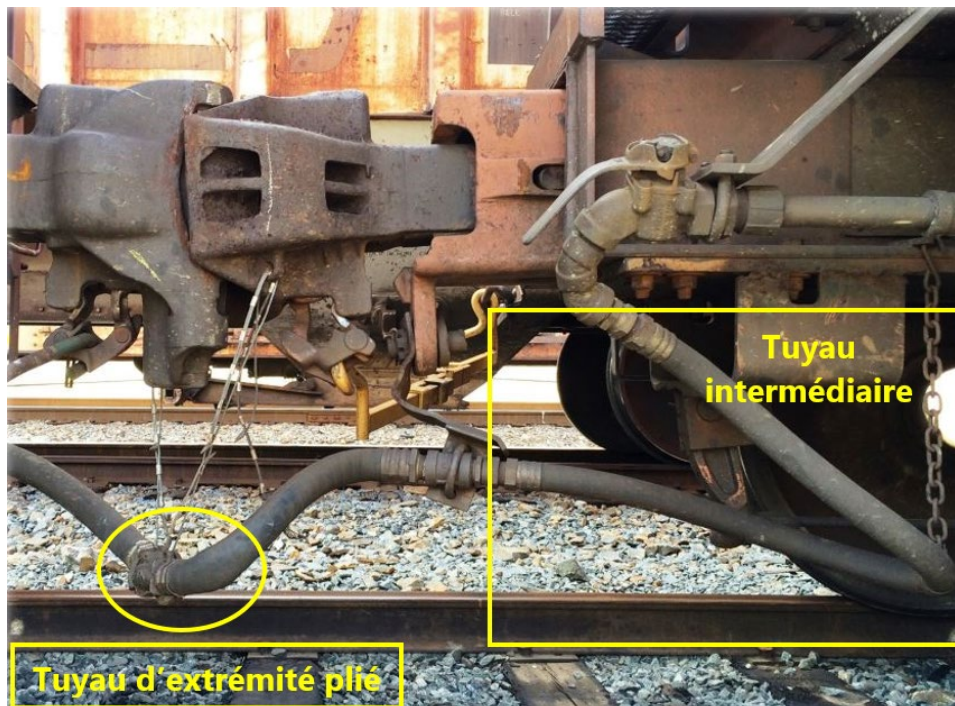
Lorsqu'une force de compression est exercée sur un wagon équipé d'appareils amortisseurs en bout de wagon, la distance physique entre le wagon et le wagon adjacent est réduite en raison de l'action d'absorption des chocs de l'appareil amortisseur à longue course en bout de wagon. Pour absorber la force de compression, le piston de l'appareil amortisseur en bout de wagon est poussé contre le fluide hydraulique et le piston rentre progressivement dans le boîtier de l'appareil amortisseur en bout de wagon. La distance entre les wagons varie proportionnellement en fonction de la force de compression exercée sur les wagons,

du « jeu » disponible à l'interface de l'attelage de wagon à wagon et de la course de l'appareil amortisseur en bout de wagon²¹.

Pour s'adapter à ce jeu, les tuyaux d'air et les têtes d'accouplement attelées doivent être libres de se déplacer suffisamment pour suivre le mouvement de balancement de l'attelage du wagon et de se déplacer à l'unisson avec la longue course de l'amortisseur des appareils amortisseurs en bout de wagon. Idéalement, le chariot en bout de wagon entre et sort avec l'attelage, de sorte que les têtes d'accouplement attelées ont toujours la même relation avec l'attelage. Lorsque l'attelage et l'amortisseur reviennent à leur position neutre, les têtes d'accouplement et les dispositifs de tuyau devraient également revenir à leur position initiale.

Si la force de compression exercée sur les tuyaux d'air et les têtes d'accouplement devient excessive, un changement indésirable de la quantité d'air circulant dans la conduite générale peut se produire en raison du pliage des tuyaux d'air (figure 9) ou de la poussée vers le haut des têtes d'accouplement, ce qui peut entraîner un changement localisé de la pression dans la conduite générale.

Figure 9. Tuyau d'extrémité plié (Source : Y. Wang, « Brake System End Arrangement Tests », présenté à la Railway Supply Institute Expo and Technical Conference, Fort Worth [Texas] [du 11 au 13 octobre 2022])



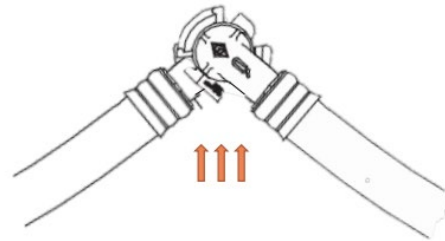
²¹ La course combinée est beaucoup plus longue sur 2 wagons attelés qui sont tous deux équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon. Le total combiné peut atteindre 30 pouces.

1.9.1.1 Poussée vers le haut des têtes d'accouplement

Lorsqu'un réglage du jeu en compression se produit entre des wagons, l'alignement des têtes d'accouplement attelées entre wagons adjacents change souvent l'un par rapport à l'autre à mesure que les têtes d'accouplement sont poussées vers le haut (figure 10).

Bien qu'un certain degré de rotation soit sans conséquences, la rotation, combinée à la force de compression exercée, peut entraîner une fuite d'air momentanée à travers le joint d'étanchéité pneumatique créé par les joints en caoutchouc comprimés des têtes d'accouplement. En raison de la nature dynamique de la force de compression et du mouvement de balancement des tuyaux d'air, le taux de fuite peut être très variable, ce qui entraîne un débit d'air irrégulier et des fluctuations de pression localisées dans la conduite générale.

Figure 10. Têtes d'accouplement attelées poussées vers le haut sous l'effet d'une force ascendante (Source : Y. Wang, « Brake System End Arrangement Tests », présenté à la Railway Supply Institute Expo and Technical Conference, Fort Worth [Texas] [du 11 au 13 octobre 2022])



Si la force exercée entraîne une rotation trop importante des têtes d'accouplement, les têtes d'accouplement interverrouillées finissent par atteindre une position à laquelle elles sont conçues pour se déverrouiller. Dans ce cas, les têtes d'accouplement sont écartées sous l'effet de la force de l'air comprimé qu'elles contiennent, et la pression dans la conduite générale s'échappe dans l'atmosphère, ce qui entraîne un serrage d'urgence des freins à air du train comme mesure de sécurité.

1.9.1.2 Pliage du tuyau intermédiaire

Les tuyaux d'air intermédiaires sont également soumis à des forces de compression. Lorsque le mouvement du tuyau intermédiaire est entravé par le mauvais fonctionnement d'un dispositif de chariot, le tuyau peut se plier à l'endroit où il forme une boucle ouverte sous le wagon. Si le tuyau se plie trop et finit par se replier sur lui-même, le débit d'air normal dans la conduite générale peut être partiellement restreint, voire entièrement bloqué.

Un changement rapide du débit d'air dans la conduite générale peut créer des fluctuations de pression irrégulières. Si le débit d'air est complètement bloqué à cause d'un tuyau intermédiaire plié, le blocage peut créer un effet de barrage qui se traduit souvent par une augmentation de la pression dans la conduite générale. Lorsque la force de compression exercée sur le tuyau diminue, le tuyau plié reprend invariablement sa forme initiale. Dans ce cas, il y a un afflux d'air initial, souvent accompagné d'une diminution temporaire de la pression localisée dans la conduite générale jusqu'à ce que le débit d'air se stabilise et reprenne son débit initial.

1.10 Dispositifs en bout de wagon sur le train

Le train à l'étude comptait 120 wagons équipés d'appareils de traction à friction standard et 39 wagons dotés d'appareils amortisseurs en bout de wagon. Tous les wagons qui ont déraillé étaient équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon, et donc des dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot.

1.10.1 Configurations conformes aux versions antérieures des normes

Les dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot sont régis par 2 documents de l'Association of American Railroads (AAR) : le *Manual of Standards and Recommended Practices* (MSRP), applicable aux nouvelles constructions de wagons, et le *Field Manual of the AAR Interchange Rules* (Field Manual), applicable aux réparations sur le terrain.

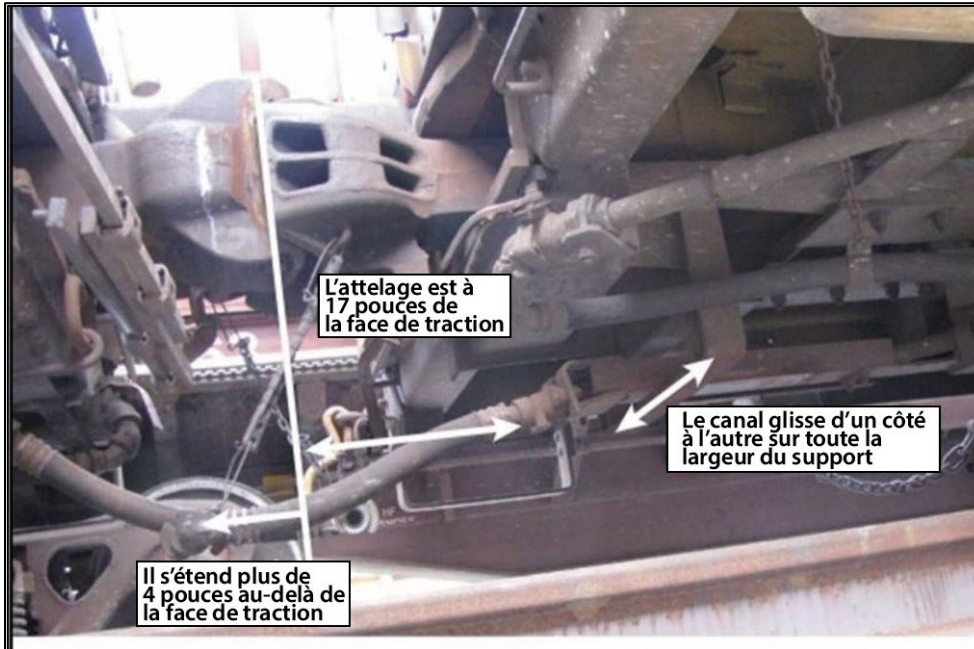
Pour couvrir les différents types d'attelages et d'appareils de choc et de traction dont un wagon peut être équipé, il existe plus d'une douzaine de normes anciennes et actuelles applicables aux dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot.

Dans l'événement à l'étude, 1 ou plusieurs wagons de la série TTZX étaient équipés d'un ancien dispositif de tuyau intermédiaire et de chariot en bout de wagon fondé sur la version précédente de la norme S-4003 du MSRP²². Les wagons de cette série qui ont déraillé comprenaient le wagon TTZX 85561 (position 85), dont l'observation pendant l'examen sur place a déterminé qu'il était équipé de l'ancien dispositif de chariot, et le wagon TTZX 86441 (position 96).

Dans la version précédente de la norme S-4003, la position de repos non attelée de la tête d'accouplement dépassait la face de traction de l'attelage d'environ 4 pouces. En outre, le chariot en bout de wagon utilisait une conception de canal mobile qui pouvait glisser sur le support inférieur. Cela permettait au tuyau intermédiaire de se balancer jusqu'à 6 pouces latéralement par rapport à l'axe central du wagon (figure 11). Cette version précédente de la norme S-4003 relative au dispositif de chariot en bout de wagon s'appliquait aux wagons de marchandises munis d'attelages à bras de type F de 43 ou 60 pouces et d'appareils amortisseurs en bout de wagon de 10 à 15 pouces. Cette version de la norme est toujours incluse dans la section E du MSRP de l'AAR à titre d'information, mais elle ne s'applique plus aux nouveaux wagons.

²² Association of American Railroads (AAR), *Manual of Standards and Recommended Practices* (1990), norme S-4003: Brakes and Brake Equipment.

Figure 11. Dispositif de chariot en bout de wagon conforme à la version précédente de la norme S-4003, montrant l'emplacement du robinet d'arrêt et du tuyau de frein à air (Source : Association of American Railroads, Field Manual of the AAR Interchange Rules [en vigueur le 1^{er} janvier 2019], règle 6, figure 6.12; traduction par le BST)

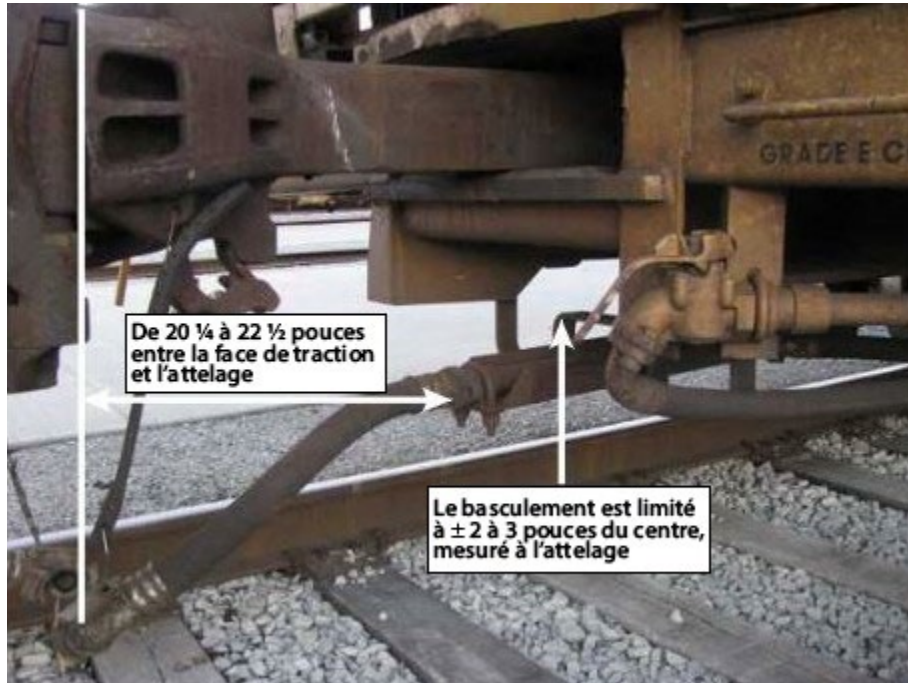


Note : « Attelage » désigne la distance entre la face de l'attelage et l'endroit où le tuyau d'air souple s'enfile dans la conduite générale rigide.

Dans la version de la norme S-4003 en vigueur au moment de l'événement à l'étude²³, un dispositif de plateau est utilisé plutôt qu'un dispositif de chariot; le balancement latéral du tuyau intermédiaire dans le dispositif de plateau est limité à 2 à 3 pouces de chaque côté de l'axe central du wagon. De plus, la position de repos non attelée de la tête d'accouplement se trouve immédiatement sous la face de traction de l'attelage, ce qui élimine l'extension précédente de 4 pouces. Ensemble, ces spécifications révisées réduisent la force de compression sur le tuyau et le mouvement vertical et latéral des tuyaux attelés. Le risque que le tuyau intermédiaire du wagon se plie est ainsi réduit (figure 12). Cette version de la norme s'appliquait aux wagons de marchandises munis d'attelages à bras de type F de 43 ou 60 pouces et d'appareils amortisseurs en bout de wagon de 10 à 18 pouces. Notons, dans la figure 12, la distance entre la face de traction et l'attelage ainsi que le balancement limité.

²³ Association of American Railroads (AAR), *Manual of Standards and Recommended Practices* (2005), norme S-4003: Brakes and Brake Equipment.

Figure 12. Dispositif en bout de wagon conforme à la version actuelle de la norme S-4003, montrant l'emplacement du robinet d'arrêt et du tuyau de frein à air (Source : Association of American Railroads, Field Manual of the AAR Interchange Rules [en vigueur le 1^{er} janvier 2019], règle 6, figure 6.11; traduction par le BST)



Toutefois, aucune des 2 versions de la norme S-4003 n'est bien adaptée aux wagons dont le bras d'attelage mesure 45 pouces ou moins, car ces wagons n'ont pas besoin d'un long tuyau intermédiaire. En reconnaissance de ce fait, l'AAR a établi en 1999 une nouvelle norme, la norme S-4021. Dans l'événement à l'étude, les wagons TTZX avaient des bras d'attelage mesurant moins de 45 pouces; or, comme les wagons avaient été fabriqués avant 1999, leurs dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot et leurs dispositifs de plateau étaient conformes à l'ancienne version de la norme S-4003, la seule norme existante à l'époque.

Malgré les changements et les améliorations apportés aux normes, l'AAR n'exige pas la mise à niveau des dispositifs de tuyau d'extrémité et/ou de chariot pour les rendre conformes aux normes plus récentes, à moins que les dispositifs en bout de wagon ne soient endommagés et doivent être réparés.

1.10.2 Configurations non standard

Après l'événement à l'étude, le CP a procédé à l'inspection et à l'essai du wagon à la position 66 et de tous les wagons non déraillés aux positions 67 à 162 du train. Les détails figurent à l'annexe C.

Le CP a constaté que certains des wagons à support central de la série TTZX avaient des dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot munis de tuyaux intermédiaires d'une longueur non standard. Parmi ces wagons, 3 présentaient également des problèmes de désalignement des chariots. En raison de ces configurations non standard, les tuyaux d'extrémité, et surtout les tuyaux intermédiaires, risquaient fort de se plier sur ces wagons

lorsque le jeu des attelages était en force de compression. Dans le train, 5 des wagons de la série TTZX étaient situés entre les positions 77 et 104 inclusivement, près de la locomotive télécommandée à la position 73.

Les configurations non standard ont probablement été créées lorsque des pièces ont été remplacées lors de l'entretien ou de la réparation des wagons.

1.10.3 Têtes d'accouplement fixées par des attaches autobloquantes

Lors de l'examen sur place, on a constaté que les têtes d'accouplement de certains wagons plats à support central de la série SOO qui avaient déraillé étaient fixées par des attaches autobloquantes. Ces attaches autobloquantes auraient été fixées aux têtes d'accouplement lorsque les wagons ont été attelés pour former le train au triage Alyth, conformément à un bulletin des services mécaniques émis par le CP en décembre 2002 et toujours en vigueur au moment de l'événement. Ce bulletin exigeait que les têtes d'accouplement soient fixées par des attaches autobloquantes dans certaines situations – par exemple, sur tout wagon équipé d'appareils amortisseurs en bout de wagon et attelé à un wagon équipé d'appareils de choc et de traction standard²⁴.

Les têtes d'accouplement sont conçues pour se déverrouiller et se séparer sous l'effet d'une force excessive (figure 13). Lorsqu'elles se séparent, la pression dans la conduite générale s'échappe dans l'atmosphère, ce qui entraîne un UDE. Le fait de fixer les têtes d'accouplement à l'aide d'une attache autobloquante, tout en permettant la rotation

Figure 13. Force longitudinale exercée sur les têtes d'accouplement attelées (Source : Y. Wang, « Brake System End Arrangement Tests », présenté à la Railway Supply Institute Expo and Technical Conference, Fort Worth [Texas] [du 11 au 13 octobre 2022])



vers le haut, augmente la force requise pour séparer les têtes d'accouplement. Cela peut contribuer à empêcher leur séparation, réduisant ainsi au minimum les perturbations opérationnelles et les retards en route qui peuvent résulter d'arrêts imprévus du train. Si la force exercée sur les têtes d'accouplement dépasse la cote de résistance de l'attache autobloquante, celle-ci finit par se rompre; les têtes d'accouplement tendues ou poussées vers le haut se détèlent alors de façon normale et sans contrainte.

Toutefois, le fait de fixer les têtes d'accouplement à l'aide d'attaches autobloquantes peut nuire à leur fonctionnement normal. Lorsque des têtes d'accouplement fixées par des attaches autobloquantes sont poussées vers le haut et ne se séparent pas, elles peuvent s'ouvrir partiellement, laissant échapper de l'air comprimé à travers les joints d'étanchéité des têtes d'accouplement. Cette fuite est intermittente et s'arrête lorsque les têtes d'accouplement reviennent en position neutre. De plus, les têtes d'accouplement fixées par des attaches autobloquantes peuvent soumettre les tuyaux souples d'extrémité et les tuyaux

²⁴ Lorsqu'un wagon équipé d'appareils amortisseurs en bout de wagon est attelé à un wagon doté d'appareils de choc et de traction standard, les tuyaux de chaque wagon n'ont pas la même course lorsqu'ils sont en force de compression, ce qui peut faire pousser les têtes d'accouplement vers le haut et les séparer.

intermédiaires (si les wagons en sont équipés) à une contrainte accrue, ce qui crée un risque que le tuyau se plie.

1.11 Interaction roue–rail dans les courbes

Lorsqu'un wagon passe dans une courbe, il y a une combinaison de forces latérales (L) et de forces verticales (V) à l'interface roue–rail.

Les forces latérales sont en grande partie un sous-produit des forces longitudinales de compression et de traction exercées le long du train; autrement dit, les forces longitudinales sont transformées en forces latérales au point de contact entre le boudin de la roue et le champignon du rail. Ces forces proviennent d'un certain nombre de sources, notamment les suivantes :

- **Contact des boudins :** Les forces latérales sont générées lorsque les boudins de roue du wagon entrent en contact avec le congé de roulement intérieur du rail. Plus le degré de courbure augmente, plus la force latérale attribuable au contact des boudins augmente. Par exemple, la force latérale résultant du contact des boudins dans une courbe de 8° est plus de deux fois supérieure à la force latérale créée dans une courbe de 3°²⁵.
- **Alignement des attelages :** Les forces latérales sont générées par l'alignement des attelages entre les wagons adjacents. Pour permettre aux wagons attelés d'être dirigés dans une courbe, les attelages sont conçus pour se déplacer latéralement par rapport à l'axe central du wagon et de la voie. L'ampleur de la force latérale est proportionnelle aux forces longitudinales agissant sur les wagons et varie directement selon l'angle de balancement²⁶ des attelages par rapport à l'axe central du wagon. L'angle de balancement augmente en fonction du degré de courbure et de la longueur du bras d'attelage²⁷.

L'ampleur de la force latérale que les roues du wagon exercent sur le rail est déterminée par plusieurs facteurs, notamment la force longitudinale exercée le long du train, l'angle des attelages par rapport à l'axe central du wagon, la pente et le degré de courbure. Une déclivité élevée et/ou une courbe prononcée, en particulier, augmentent la force longitudinale nécessaire pour maintenir le train en mouvement et sont associées à des forces latérales plus élevées.

La dynamique du train peut accroître l'ampleur des forces latérales exercées sur le rail, et cela vaut particulièrement pour la dynamique du train qui résulte d'actions de conduite du train imprévues et nécessairement abruptes qui visent à réagir à une situation émergente.

Les forces verticales des wagons sont tout aussi importantes pour garantir que les roues restent en contact permanent avec la surface de roulement du rail. L'ampleur de la force

²⁵ Association of American Railroads (AAR), *Track Train Dynamics*, rapport R-185 (1979).

²⁶ Ibid.

²⁷ Les wagons longs attelés à des wagons courts génèrent des angles d'attelage plus importants.

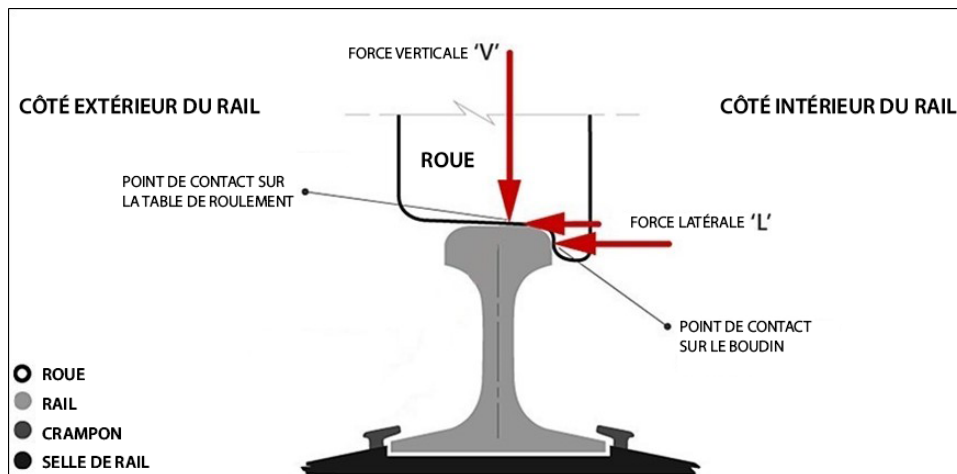
verticale exercée sur le champignon du rail est déterminée par la répartition du poids du wagon. Pour cette raison, un wagon chargé produira une force verticale proportionnellement plus grande en raison de l'augmentation de la charge sur roues.

Dans l'événement à l'étude, lorsque le serrage à fond des freins a été effectué en réaction à l'UDR dans le tunnel Upper Spiral, la décélération et les forces exercées le long du train qui en ont découlé n'ont pas été réparties uniformément sur toute la longueur du train.

1.11.1 Rapport entre la force latérale et la force verticale

Le rapport entre la force latérale et la force verticale, appelé rapport L/V, est une mesure de base de l'interaction des forces latérales et verticales (figure 14). Il est calculé comme étant la force latérale poussant vers l'extérieur contre le rail, divisée par la force verticale poussant vers le bas sur la surface du champignon du rail.

Figure 14. Forces latérales et verticales entre la roue et le rail (Source : Association of American Railroads, avec annotations du BST)



Le rapport L/V indique la probabilité ou le potentiel de déraillement d'une roue. Lorsque des wagons circulent sur une voie en courbe, la probabilité qu'une roue déraille augmente en fonction de la valeur numérique du rapport L/V. Lorsque les forces latérales sont élevées (par exemple, dans les courbes prononcées) et que les forces verticales sont faibles (par exemple, lorsque les wagons sont vides), les boudins de roue ont tendance à être poussés vers le haut et par-dessus le côté intérieur du rail, ce qui entraîne un déraillement par chevauchement du rail. À l'inverse, lorsque les forces verticales sont modérées ou élevées, le soulèvement de roue est moins probable. Toutefois, une force latérale élevée et constante peut incliner le rail vers l'extérieur et provoquer le renversement du rail, causant un déraillement.

Pour assurer la sécurité de la conduite des trains, le rapport L/V ne doit pas dépasser les valeurs seuils établies par l'industrie. En janvier 1992, le service de recherche et d'essais de l'AAR a publié le rapport R-802, *Train Make-up Manual*²⁸, qui porte notamment sur le seuil

²⁸ Association of American Railroads (AAR), *Train Make-up Manual*, rapport R-802 (1992).

des charges latérales sécuritaires à l'interface roue-rail. Il a déterminé les seuils suivants pour les rapports L/V d'une seule roue :

- rapport L/V supérieur à 0,64 (un rail mal retenu peut se renverser);
- rapport L/V supérieur à 0,75 (une roue peut passer par-dessus un rail usé);
- rapport L/V supérieur à 0,82 (soulèvement imminent de la roue).

1.11.2 Simulation de la dynamique du train

À l'aide du logiciel Train Energy and Dynamics Simulator (TEDS), le laboratoire du BST a effectué des simulations et des analyses de la dynamique du train afin de déterminer les forces exercées le long du train, notamment les forces de compression, et l'effet de ces forces sur les rapports L/V au niveau du premier wagon déraillé. Elles ont démontré ce qui suit :

- Le wagon déraillé le plus à l'avant (CP 315578, position 66) était un wagon plat long (94,8 pieds) avec un attelage à long bras et un balancement libre de 15°, ce qui le rendait plus susceptible de pousser contre le pylône de choc²⁹ en position de mise en portefeuille.
- Si l'attelage atteignait un angle de 8°, les rapports L/V transformés pour une roue ou un bogie en particulier produits par les forces simulées exercées le long du train seraient dans la plage critique de 1,0 à 1,1, suffisamment élevés pour faire passer la roue par-dessus le rail et dépassant la limite de l'AAR, soit un rapport L/V de 0,82.
- Si l'angle de l'attelage atteignait le maximum de 15°, les rapports L/V transformés pour une roue ou un bogie en particulier produits par les forces simulées exercées le long du train se situeraient dans la plage critique de 2,1 à 2,3.

Après le déraillement, le CP, en collaboration avec l'Université Simon Fraser, a procédé à des simulations approfondies de la dynamique du train à l'étude afin de déterminer l'ampleur des forces exercées le long du train et les rapports L/V qui en ont résulté. Des simulations ont également été effectuées pour divers autres scénarios de formation du train. Les résultats ont indiqué que, lorsqu'il y a plus de 15 wagons plats vides à support central ou à parois de bout dans un train de marchandises mixtes, ceux-ci doivent être placés à l'extrémité arrière du train³⁰.

1.12 Formation des trains

La formation des trains fait référence au placement prévu des wagons dans un train. Il existe différentes méthodes de formation des trains; par exemple, les wagons peuvent être

²⁹ Le pylône de choc est un composant de l'appareil de choc et de traction; il représente l'extrémité de la longrine centrale du wagon et a pour effet de limiter le mouvement latéral et vertical de l'attelage.

³⁰ Y. Wang, S. Nich, K. Mulligan, K. Oldknow et G. G. Wang, « Multiscale Simulation-Based Mixed Train Derailment Analysis: A Case Study », dans *Proceedings of the Joint Rail Conference of ASME Rail Transportation Division and Land Transportation Division of the IEEE Vehicular Technology Society*, en ligne (les 20 et 21 avril 2021).

placés en fonction de leur longueur et/ou de leur poids, de leur destination ou encore d'autres facteurs.

Les exigences de formation des trains fondées sur la longueur et le poids des wagons servent à gérer la sécurité des trains en limitant les forces maximales exercées le long du train dans des scénarios de conduite précis. L'interprétation des forces exercées le long du train et une compréhension approfondie de leur influence sur la sécurité du train et la prévention des déraillements sont les pierres angulaires des pratiques exemplaires en matière de formation des trains.

Dans le contexte de la formation des trains en fonction de la destination, aussi appelée lotissement selon la destination, les wagons sont regroupés en lots destinés au même endroit. Cette méthode de formation des trains tend à réduire les retards des trains en allégeant la charge de travail des équipes liée aux manœuvres de triage en route.

Au moment de l'événement, il n'y avait pas de lignes directrices précises sur la formation des trains approuvées par Transports Canada, ni d'exigences réglementaires limitant les forces maximales exercées le long du train au moyen de la formation des trains. Les compagnies de chemin de fer du Canada élaborent leurs propres règles et instructions de formation des trains pour faciliter la gestion des forces exercées le long du train et prévenir les déraillements.

1.12.1 Formation des trains du Canadien Pacifique

Le CP tient compte de la répartition du poids lorsqu'il assemble un train dans un triage ou un terminal important et aux endroits où des wagons sont retirés des trains ou ajoutés à ceux-ci. Les exigences du CP en matière de formation des trains sont régies par ses *Instructions générales d'exploitation* (IGE) et d'autres documents comme les instructions spéciales et les bulletins.

Pour faciliter la vérification de la formation des trains, et pour adapter les exigences de formation des trains aux particularités des différentes régions géographiques, le CP a mis en œuvre un programme informatique exclusif de formation des trains appelé Train Area Marshalling (TrAM) en décembre 2003. Les vérifications TrAM aident à déterminer le placement sécuritaire des wagons et des locomotives télécommandées à TR dans un train, afin de maintenir les forces exercées le long du train à des niveaux acceptables dans une gamme normale de conditions d'exploitation et de conduite du train. Par rapport aux méthodes traditionnelles non automatisées, le TrAM offre une plus grande latitude quant à la formation sécuritaire d'un train.

Le TrAM tient compte des caractéristiques d'exploitation des subdivisions où le train circulera. Il applique des restrictions de formation fondées sur les aspects particuliers d'un territoire afin d'éviter des règles de formation restrictives là où elles ne sont pas nécessaires. Aux fins du TrAM, l'ensemble du réseau du CP est divisé en 5 types de terrain différents (appelés « zones » de TrAM), qui se distinguent par leurs pentes ascendantes et descendantes, les courbures des voies et les profils ondulés des voies.

La zone de TrAM 1 est la moins restrictive, tandis que la zone de TrAM 5 est la plus restrictive. Environ 85 % de l'ensemble du réseau de voies du CP est considéré comme faisant partie de la zone de TrAM 1. Certains secteurs de la subdivision de Laggan sont classés comme une zone de TrAM 1, et d'autres comme une zone de TrAM 3 ou 5, en fonction de la direction de déplacement du train et des limites (millage) précisées dans la note de bas de page 11.1 de l'indicateur³¹. Dans l'événement à l'étude, le train circulait entre Lake Louise et Field sur la voie nord; ce secteur de la subdivision est classé comme une zone de TrAM 3.

Pour chacune des 5 zones de TrAM qu'un train doit traverser, le programme TrAM

- calcule les forces de traction et de compression maximales en fonction du nombre de locomotives dans le train, de leur position et de leurs caractéristiques;
- évalue les restrictions à l'égard du tonnage remorqué derrière les longs wagons vides;
- veille à ce que les rapports L/V prévus seront inférieurs au niveau critique de 0,82 pour assurer en tout temps une conduite sécuritaire du train³².

Lorsque des modifications sont apportées en cours de route à la configuration de la traction d'un train (isolement d'une ou de plusieurs locomotives ou coupure des moteurs de traction), ou que le nombre et la configuration des wagons de marchandises changent (en raison du retrait et de l'ajout de wagons), une vérification informatisée du TrAM doit être effectuée. Ce nouveau contrôle permet de s'assurer que le train est toujours conforme au TrAM et que sa formation convient aux zones de TrAM de son itinéraire.

Le TrAM n'est pas conçu pour prendre en compte les forces exercées le long du train qui sont créées par les UDR, les UDE ou une mauvaise conduite du train.

Le placement des courts wagons vides est régi par les IGE du CP, qui doivent être prises en compte parallèlement au TrAM lorsque des trains de marchandises mixtes sont formés au terminal initial ou à tout autre endroit en cours de route.

Les IGE du CP exigent que les trains de marchandises soient formés, dans la mesure du possible, en plaçant les wagons chargés le plus près des locomotives. Les IGE interdisent le placement de lots de wagons lourds à l'arrière du train à moins que les lots qui les précèdent ne soient aussi lourds, et elles exigent que les wagons légers (wagons vides ou transportant une charge légère), ou encore les lots de wagons légers, soient placés aussi près que possible de l'arrière du train.

³¹ Chemin de fer Canadien Pacifique, *Prairie Division Time Table No 32*, module 14 : Laggan Subdivision (en vigueur le 14 octobre 2015), note de bas de page 11.1, p. 3.

³² A. Aronian, K. Wachs et M. Jamieson, « Train Marshalling Process at Canadian Pacific », présenté lors de la 23^e International Railway Safety Conference, Vancouver (Colombie-Britannique) (du 6 au 11 octobre 2013).

Les exigences applicables se trouvent à la section 7, article 6 des IGE :

6.0 Instructions relatives aux trains mixtes – classiques et à traction répartie

Les présentes instructions s'appliquent SEULEMENT aux trains classiques mixtes et aux trains mixtes à traction répartie.

6.1 Classement des wagons lourds ou légers ou de lots de ces wagons

Pour réduire les interactions voie-train indésirables dans les trains mixtes, il faut se conformer aux consignes de classement qui suivent, sous réserve du lotissement selon la destination.

Wagons lourds, individuellement ou en lots

- Atteler ces wagons aussi près que possible de la tête du train.
- Ne **pas** classer des lots de wagons lourds à l'arrière du train, sauf si les lots de wagons devant sont tout aussi lourds.

Wagons légers, individuellement ou en lots

- Classer les wagons légers ou les lots de tels wagons aussi près que possible de la queue du train, sauf si les wagons devant [lire : derrière] sont aussi relativement légers.

Nota :

1. Les messages TrAM **n'indiquent pas** si la formation du train respecte l'esprit du présent article.
2. Le lotissement selon la destination n'a pas préséance sur les violations des règles de classement du TrAM indiquées dans le bulletin de composition³³.

1.12.2 Formation du train à l'étude

Dans l'événement à l'étude, le train était formé d'un groupe de wagons lourds chargés à l'avant du train, suivi d'un groupe de 71 wagons vides au milieu et de 19 wagons entièrement chargés près de l'arrière, y compris un lot solide de 16 wagons chargés aux positions 135 à 150.

Le train a également été formé en tenant compte de la destination des wagons. Quarante wagons devaient être dételés à Golden; ils avaient été placés à la queue du train. On devait également dételé 94 wagons plus à l'ouest, à Kamloops; de ce nombre, 45 wagons ont été placés dans 3 lots séparés dans la moitié avant du train, et un lot de 49 wagons a été placé immédiatement derrière la locomotive en milieu de train. Les 25 wagons restants du train devaient être transportés à la destination finale du train, soit le triage de Port Coquitlam.

Le tableau 1 indique la destination des divers lots de wagons, le nombre de wagons chargés et de wagons vides devant être dételés à chaque destination, ainsi que la position des lots de wagons dans le train.

³³ Chemin de fer Canadien Pacifique, *Instructions générales d'exploitation* (valide le 14 octobre 2015), section 7, article 6.0.

Tableau 1. Détails des lots de wagons à déposer à chaque destination

Destination	Nombre de wagons chargés	Nombre de wagons vides	Total des wagons	Positions des wagons*
Golden	16	24	40	123 à 162
Kamloops	48	46	94	3 à 8, 21 à 33, 47 à 61 et 74 à 122
Port Coquitlam	22	3	25	9 à 20 et 62 à 72
	86	73	159	

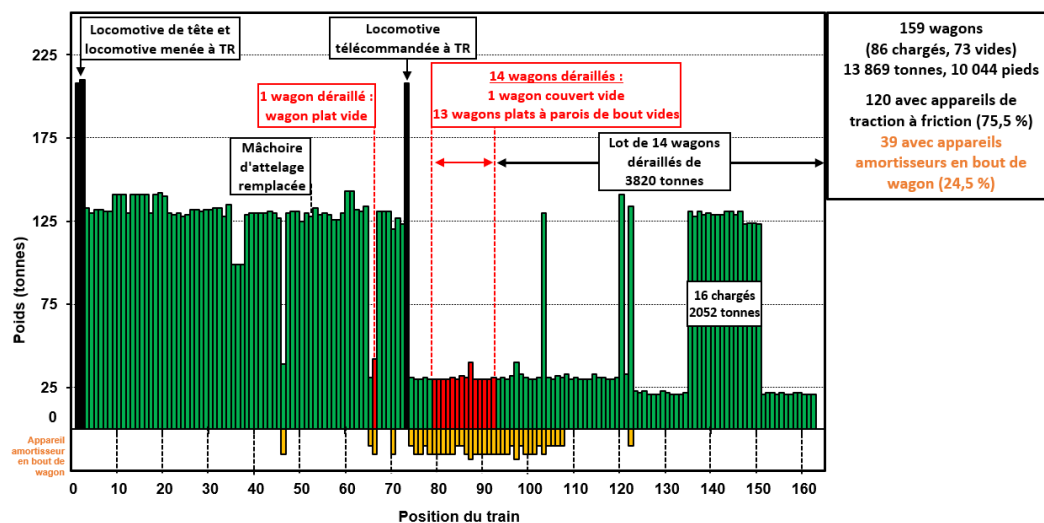
* La position des wagons indiquée sur le bulletin de composition d'un train comprend les locomotives. Par exemple, s'il y a 2 locomotives de tête, le premier wagon situé derrière ces locomotives occupe la position 3. Dans le tableau 1, la position des wagons comprend les locomotives de tête (positions 1 et 2) et la locomotive télécommandée en milieu de train (position 73).

Un examen des documents sommaires du train fournis par le CP indique que le train était conforme aux exigences de formation du TrAM pour la subdivision de Laggan. Le rapport sur la formation et les restrictions du train ne contenait aucun message d'avertissement sur la formation dans la partie 2 – Caution Messages [Messages d'avertissement], et il ne montrait aucune violation de la formation dans la partie 3 – Marshalling Violations [Violations de la formation] pour les zones de TrAM que le train devait traverser.

Toutefois, le train ne répondait pas aux exigences en matière de formation indiquées dans les IGE, lesquelles précisent que les lots de wagons lourds ne devraient pas être placés à l'arrière du train à moins que les lots de wagons qui les précèdent ne soient tout aussi lourds.

La figure 15 montre la répartition du poids dans le train et la position des wagons qui ont déraillé.

Figure 15. Répartition du poids du train montrant l'emplacement des wagons qui ont déraillé (Source : BST)



1.13 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit le rapport de laboratoire suivant dans le cadre de la présente enquête :

- LP286/2019 — Train Dynamics Simulations [simulations de la dynamique du train]

2.0 ANALYSE

L'analyse portera sur l'interaction roue-rail, les desserrages intempestifs des freins à air (UDR) des wagons, les dispositifs en bout de wagon, l'angle de basculement des attelages, le rapport entre la force latérale et la force verticale (L/V) et la formation du train. L'état de la voie n'a pas été considéré comme un facteur contributif à l'accident.

2.1 L'événement

Dans la subdivision de Laggan de la Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique (CP), entre Calgary (Alberta) et Stephen (Colombie-Britannique) (le début de Field Hill), le train 401-02 se comportait comme prévu, et il n'y avait aucun signe de problèmes dans le système de freins à air.

Le train a commencé à descendre Field Hill vers 4 h 01. À 4 h 12, soit 11 minutes après le début de la descente, une alerte s'est déclenchée dans la cabine, indiquant un UDR provenant de la conduite générale. Le mécanicien de locomotive (ML) a augmenté le serrage des freins et a arrêté le train de façon contrôlée. Après que le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF) et le coordonnateur de trains ont été avisés de la situation, les freins à air ont été rechargés. Le ML a aussi fait savoir au CCF et, dans une conversation distincte avec le coordonnateur de trains, qu'il était d'avis que le train allait probablement subir un autre UDR; toutefois, aucun autre plan d'action n'a été envisagé pour aborder les préoccupations du ML.

Une fois les freins rechargés, le train a poursuivi sa descente. Quelques minutes plus tard, à 4 h 48, un freinage d'urgence intempestif (UDE) provenant de la conduite générale s'est produit en raison de la rupture d'une mâchoire d'attelage à l'arrière (est) du 50^e wagon. L'équipe a noté des preuves visuelles de rouille préexistante sur les surfaces de rupture.

La mâchoire d'attelage rompue a été remplacée, les robinets de retenue ont été réglés à la position haute pression (HP) sur 50 des 72 wagons de tête, et le train a été pris en charge par une nouvelle équipe.

Le CCF et le coordonnateur de trains ont demandé à l'équipe de relève de poursuivre le voyage jusqu'à Field. Le train a repris sa descente vers 9 h 54.

Vers 10 h 10, alors que la tête du train sortait du tunnel Upper Spiral, une alerte s'est déclenchée dans la cabine, indiquant qu'un autre UDR s'était produit. En réaction, le ML de relève a réglé le manipulateur à la position de ralenti et a effectué un serrage à fond des freins; il a aussi serré rapidement les freins dynamiques, puis a augmenté progressivement le serrage jusqu'à la position 8 maximale afin d'arrêter le train de façon contrôlée. Toutefois, l'effet de compression qui s'est produit pendant que le train décélérait rapidement a fait dérailler le bogie avant du wagon à la position 66. Les tuyaux d'air situés entre les wagons aux positions 66 et 67 se sont séparés pendant le déraillement, ce qui a déclenché un UDE provenant de la conduite générale. Lorsque le train s'est immobilisé, 14 autres wagons avaient déraillé dans la courbe du tunnel Upper Spiral.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

À la suite d'un UDR et du serrage à fond des freins et du serrage des freins dynamiques qui ont suivi, le train 401-02 a décéléré rapidement; l'effet de compression qui en a résulté a fait dérailler le bogie avant du wagon à la position 66 dans la courbe du tunnel Upper Spiral.

2.1.1 Séquence des événements qui ont suivi le desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral

À la suite d'un examen et d'une analyse approfondis des données disponibles, l'enquête a permis de déterminer que la séquence des événements la plus probable entre l'UDR dans le tunnel Upper Spiral et le déraillement était la suivante :

- Un UDR s'est produit dans la partie arrière du train alors que celui-ci descendait la pente de 1,7 % dans le tunnel à environ 12 mi/h; ce desserrage spontané des freins à air a entraîné un effet de compression des wagons lourds à l'arrière du train.
- L'effet de compression s'est propagé vers la tête du train, générant des forces de compression élevées à cette extrémité du train.
- Le ML a reçu une alerte dans la cabine indiquant une augmentation soudaine de la pression dans la conduite générale et, en réaction, a réglé le manipulateur à la position de ralenti, a augmenté le serrage des freins à air pour le faire passer de 10 lb/po² à un serrage à fond, a serré rapidement les freins dynamiques, puis a augmenté progressivement le serrage jusqu'à la position 8 maximale.
- Le serrage des freins a créé des forces retardatrices des freins élevées sur tous les wagons du train, mais surtout sur les 50 wagons de la partie avant dont les robinets de retenue étaient réglés; ainsi, les forces de freinage n'ont pas été réparties uniformément dans tout le train.
- La combinaison de la pente abrupte, de la courbe prononcée et des forces de freinage élevées a exercé des forces latérales importantes à l'interface roue-rail, tandis que les forces verticales exercées sur les roues des wagons vides au milieu du train étaient relativement faibles; pour le wagon à la position 66, un wagon plat vide de 42 tonnes et de 94,8 pieds, le rapport L/V a atteint un niveau critique, et une ou plusieurs des roues du wagon ont passé par-dessus le rail.
- Pendant que le wagon à la position 66 déraillait, ses tuyaux d'air se sont séparés, causant un UDE.
- L'UDE a fait augmenter davantage les forces de freinage d'environ 20 %, ce qui a entraîné des rapports L/V critiques sur les wagons vides aux positions 79 à 92, qui ont également déraillé.
- Après l'UDE et le déraillement, le train s'est arrêté brusquement en environ 253 pieds.

2.2 Interaction roue-rail

Dans l'événement à l'étude, des forces latérales ont été exercées sur le rail pendant que le train descendait la pente abrupte et négociait les courbes. Les forces latérales ont été générées par les forces longitudinales de compression agissant sous l'effet de l'alignement des attelages entre les wagons adjacents, et en particulier sous l'effet de l'angle d'attelage élevé créé par les attelages à long bras des wagons équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon. Normalement, on s'attend à ce que des forces latérales modérées soient exercées pendant la descente de Field Hill. Cependant, l'ampleur de ces forces latérales a augmenté soudainement pendant l'UDR et le serrage subséquent des freins à air et des freins dynamiques dans le tunnel Upper Spiral.

Les forces latérales n'ont pas entraîné de rapports L/V critiques sur les wagons chargés, car leur poids a créé une force verticale compensatrice vers le bas sur les roues des wagons. Toutefois, le faible poids des wagons vides et les forces verticales vers le bas plus faibles exercées sur leurs roues ont donné lieu à des rapports L/V critiques sur les wagons vides au milieu du train, où les forces de compression étaient plus importantes.

La simulation du BST a indiqué que même si les attelages n'atteignaient qu'un angle de 8°, soit la moitié de l'angle maximal de basculement des attelages des wagons équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon, les forces élevées exercées le long du train ont généré un rapport L/V supérieur à 1,0 dans la courbe. Ce rapport L/V dépasse le seuil de 0,82 établi lors des recherches menées par l'Association of American Railroads (AAR) comme étant le point auquel le soulèvement des roues est imminent; il était donc suffisamment élevé pour provoquer un déraillement par chevauchement du rail.

Les forces latérales élevées, combinées aux faibles forces verticales, ont déstabilisé les wagons vides, ce qui a entraîné le déraillement.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les forces longitudinales de compression élevées qui ont suivi le serrage à fond des freins, le serrage des freins dynamiques et le freinage d'urgence ont entraîné des rapports L/V critiques, le soulèvement des roues et le déraillement de 15 wagons vides qui circulaient dans la courbe du tunnel Upper Spiral.

2.3 Desserrage intempestif des freins à air

Un UDR se produit lorsque la pression d'air dans la conduite générale d'un train augmente spontanément, ce qui amène le distributeur d'un wagon à desserrer automatiquement les freins de ce wagon. L'effet de ce desserrage, renforcé par la fonction de desserrage accéléré des freins du distributeur de wagon, est détecté par les distributeurs des wagons adjacents, ce qui déclenche un effet domino au cours duquel le desserrage se propage en une onde dans les deux sens. Ce desserrage des freins se propage alors le long de la conduite générale à une vitesse d'environ 600 à 700 pi/s (selon les caractéristiques particulières des divers distributeurs de wagon).

Dans l'événement à l'étude, en réaction au deuxième UDR survenu alors que le train se trouvait dans le tunnel Upper Spiral, le ML de relève a effectué un serrage à fond des freins conjointement avec un serrage des freins dynamiques, et le train s'est mis à décélérer rapidement. La commande de freinage a été transmise par radio à la locomotive télécommandée en milieu de train. Le freinage s'est ensuite propagé vers l'arrière à partir des locomotives de tête, tout en se propageant simultanément dans les deux sens à partir de la locomotive télécommandée en milieu de train. Les wagons les plus proches des locomotives de tête et de la locomotive télécommandée en milieu de train ont été les premiers à réagir au serrage des freins. La queue du train a commencé à décélérer un peu plus tard, car il faut du temps pour qu'un freinage se propage sur toute la longueur d'un train.

Un examen de l'enregistrement vidéo de la caméra orientée vers l'avant de la locomotive télécommandée confirme l'effet de compression soudain et important dans la partie arrière du train à la suite de l'UDR.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Lorsque les freins à air et les freins dynamiques ont été serrés en réaction à l'UDR dans le tunnel Upper Spiral, la décélération rapide et les forces exercées le long du train qui en ont découlé n'ont pas été réparties uniformément sur toute la longueur du train. Par conséquent, le lot de wagons chargés à la queue du train a heurté le lot de wagons vides situé juste devant, ce qui a créé de grandes forces de compression concentrées sur ces wagons vides.

2.4 Robinets de retenue

Lorsque les robinets de retenue sont réglés à la position HP, ils fournissent une force retardatrice des freins qui peut faciliter le contrôle de la vitesse lorsqu'un train reprend sa descente après le desserrage des freins à air. L'utilisation des robinets de retenue est avantageuse lorsque le système de freins à air se recharge. Cependant, si les freins à air sont serrés sur un wagon dont le robinet de retenue a été réglé, le serrage des freins à air augmentera davantage la force retardatrice des freins fournie par le robinet de retenue sur ce wagon, augmentant ainsi les forces globales exercées le long du train.

Dans l'événement à l'étude, après le premier UDR survenu sur Field Hill en raison de la rupture de la mâchoire d'attelage, le robinet de retenue a été réglé à la position HP sur 50 wagons devant la locomotive télécommandée en milieu de train.

Lorsque l'UDR s'est produit dans le tunnel Upper Spiral, le ML de relève a effectué un serrage à fond des freins, tel qu'exigé dans les règles d'exploitation.

Les robinets de retenue réglés sur les wagons à l'avant du train ont entraîné des forces de freinage globales plus élevées sur ces wagons, ce qui a créé un déséquilibre dans l'ampleur de la force retardatrice des freins sur la longueur du train. La combinaison des robinets de retenue et du serrage des freins à 10 lb/po² entraînerait théoriquement une pression de cylindre de frein de 45 lb/po² sur les 50 wagons à l'avant du train; la pression de cylindre de frein des autres wagons du train serait de 25 lb/po². Après le serrage à fond des freins, la

pression de cylindre de frein des wagons dont les robinets de retenue sont réglés s'égaliserait à un maximum théorique d'environ 70 lb/po², tandis que la pression des wagons dont les robinets de retenue ne sont pas réglés s'égaliserait à un maximum théorique de 65 lb/po².

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les robinets de retenue réglés sur 50 wagons à l'avant du train ont contribué à la répartition inégale des forces de freinage sur toute la longueur du train.

2.5 Dispositifs en bout de wagon

Un examen des données provenant des consignateurs d'événements de locomotive et de l'unité de queue de train (UQT) a révélé que les événements d'UDR s'étaient produits lorsque la pression dans la conduite générale avait augmenté spontanément d'elle-même, ce qui laisse croire qu'il y avait une condition dynamique sur 1 ou plusieurs wagons. Une condition dynamique est par nature intermittente, se manifestant puis se résolvant à mesure que le train se déplace. Une fluctuation d'aussi peu que 1,5 à 2,0 lb/po² de la pression locale dans la conduite générale peut actionner le distributeur de wagon, ce qui entraîne un UDR.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les UDR ont été déclenchés à la suite d'une augmentation de la pression locale dans la conduite générale de 1,5 à 2,0 lb/po² pendant que le train était en mouvement.

Les conditions dynamiques qui entraînent une augmentation temporaire et spontanée de la pression dans la conduite générale sont souvent causées par le mouvement des composants des dispositifs en bout de wagon, comme les attelages, les appareils de choc et de traction, les têtes d'accouplement, les tuyaux de frein et les dispositifs de chariot. Ce mouvement résulte des forces de compression et de traction qui sont invariablement présentes dans un train en mouvement.

Les dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot des wagons équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon sont particulièrement vulnérables aux problèmes de rendement sous l'effet des forces de compression. Cette vulnérabilité est attribuable en partie à la grande plage de déplacement et en partie au fait que le tuyau intermédiaire est acheminé en serpentif sous la caisse du wagon.

Si le dispositif de tuyau intermédiaire et de chariot est de conception ancienne, mal entretenu ou mal réparé, le tuyau intermédiaire pourrait se replier sur lui-même sous l'effet des forces de compression, ce qui pourrait interrompre temporairement le débit d'air normal jusqu'à ce que le tuyau revienne en position neutre. De même, si le mouvement du chariot est entravé, les têtes d'accouplement peuvent être poussées vers le haut sous l'effet de forces de compression élevées et laisser échapper temporairement de l'air jusqu'à ce qu'elles reviennent en position neutre. Dans les deux cas, le mouvement des composants sous l'effet des forces élevées exercées le long du train pourrait provoquer des fluctuations dynamiques de la pression dans la conduite générale.

Après le déraillement, pour aider à déterminer la cause possible des UDR, le CP a procédé à des inspections et à des essais des freins à air de la locomotive en milieu de train, de l'UQT, du premier wagon qui a déraillé (position 66) et des wagons qui n'ont pas déraillé aux positions 67 à 162 du train. Une inspection visuelle a révélé que les wagons à support central de la série TTZX étaient équipés d'anciens dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot en bout de wagon, conformes à une version antérieure de la norme S-4003 de l'AAR (dans le *Manual of Standards and Recommended Practices* de l'AAR). Dans cette version antérieure de la norme, la tête d'accouplement dépassait la face de traction de l'attelage d'environ 4 pouces, ce qui créait un risque que les têtes d'accouplement soient poussées vers le haut ou que les tuyaux intermédiaires se plient. Le CP a constaté que dans au moins 3 wagons à support central ayant cette configuration, il y avait un risque élevé que les tuyaux intermédiaires se plient en raison de problèmes de désalignement lorsque le jeu des attelages était en force de compression.

Selon le CP, le wagon le plus susceptible d'avoir causé les UDR dans l'événement à l'étude, d'après son examen des données du consignateur d'événements de locomotive et de l'UQT, était un wagon de la série TTZX, TTZX 86441 (position 96).

L'enquête du BST a aussi permis de déterminer que, sur certains wagons, les têtes d'accouplement du tuyau d'extrémité avaient été fixées ensemble par des attaches autobloquantes; cette observation a été faite en particulier sur certains des wagons à support central de la série SOO qui avaient déraillé et qui étaient équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon. Fixer les têtes d'accouplement du tuyau d'extrémité par des attaches autobloquantes vise à réduire la probabilité de séparation des tuyaux. Toutefois, il s'agit d'une pratique non conventionnelle qui pourrait entraîner une rotation ou un mouvement anormal des tuyaux d'extrémité, créant un risque que les têtes d'accouplement soient poussées vers le haut ou que les tuyaux intermédiaires se plient, et augmentant le risque de fuites irrégulières dans la conduite générale ou de fluctuations de la pression dans la conduite générale, ce qui pourrait entraîner un UDR.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les fluctuations de la pression dans la conduite générale ont vraisemblablement été causées par des configurations anciennes et non conventionnelles des dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot en bout de wagon sur certains wagons, causant l'UDR.

L'AAR a mis à jour ses normes relatives aux dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot en bout de wagon. Toutefois, l'AAR n'exige pas la mise à niveau des anciens dispositifs pour se conformer aux normes plus récentes, à moins que les composants ne soient endommagés et doivent être réparés. Par conséquent, les anciens dispositifs de tuyau et de chariot qui ne sont pas conformes aux normes les plus récentes resteront en service jusqu'à ce que les wagons ainsi équipés soient retirés du service pour d'autres travaux de réparation.

Fait établi quant aux risques

Si des wagons équipés d'anciens dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot restent en service sans être conformes aux normes les plus récentes, il peut y avoir une incidence négative sur le rendement du système de freins d'un train, augmentant le risque d'un UDR.

2.6 Formation des trains

La formation des trains fait référence au placement prévu des wagons dans un train. Il existe différentes méthodes de formation des trains; par exemple, les wagons peuvent être placés en fonction de leur longueur et/ou de leur poids, de leur destination ou encore d'autres facteurs. Une compréhension approfondie de l'influence des forces exercées le long du train sur la sécurité du train et la prévention des déraillements est la pierre angulaire des pratiques exemplaires en matière de formation des trains.

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'ampleur des forces exercées le long du train, comme la façon dont les poids des wagons sont répartis dans le train, le placement des wagons équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon, ainsi que la longueur totale du train. Sur les trains longs en particulier, le placement des wagons lourds et des wagons légers les uns par rapport aux autres est particulièrement important; le risque de déraillement augmente lorsque des wagons légers vides sont placés devant ou entre des wagons plus lourds. La gestion des forces exercées le long des trains de marchandises mixtes présente également des défis supplémentaires. Ces trains transportent généralement divers types de wagons (par exemple, certains wagons peuvent être équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon, d'autres non) de poids et de longueurs différents.

Les trains peuvent également être soumis à la formation des trains en fonction de la destination, aussi appelée lotissement selon la destination. Lorsque cette méthode est utilisée, les wagons sont regroupés en lots destinés au même endroit. Cette méthode tend à alléger la charge de travail liée aux manœuvres de triage en route en réduisant au minimum le déplacement des wagons. Cependant, la formation des trains en fonction de la destination peut entraîner la concentration des wagons chargés en queue de train et derrière les wagons vides en tête de train. Dans ces circonstances, la dynamique du train est influencée et peut ne pas être optimale.

2.6.1 Formation du train à l'étude

Le train à l'étude présentait plusieurs défis liés à la gestion des forces exercées le long du train. Il s'agissait d'un grand train de marchandises mixtes transportant divers types de wagons de poids et de longueurs différents. De nombreux wagons (39 wagons, soit 24,5 % du nombre total de wagons) étaient équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon, ce qui augmentait le jeu des attelages. Le train devait également circuler dans les subdivisions de Laggan et de Mountain, qui présentent des défis uniques en raison de leur pente et de leur courbure.

Outre la gestion des forces exercées le long du train, la composition du train devait tenir compte du lotissement selon la destination. Quarante wagons devaient être dételés à Golden

(Colombie-Britannique), et 94 autres wagons devaient être dételés plus à l'ouest, à Kamloops (Colombie-Britannique). Les 25 wagons restants du train devaient être transportés à la destination finale du train, soit le triage de Port Coquitlam (Colombie-Britannique).

En raison des objectifs concurrents de la gestion des forces exercées le long du train, d'une part, et de la composition du train en vue de dételé les wagons de manière efficace en route, d'autre part, le train a été formé d'un groupe de wagons lourds chargés à l'avant du train, suivi d'un groupe de 71 wagons vides au milieu et de 19 wagons entièrement chargés près de l'arrière, y compris un lot solide de 16 wagons chargés aux positions 135 à 150. Les 40 wagons devant être dételés à Golden avaient été placés à la queue du train. Des 94 wagons devant être dételés à Kamloops, 45 ont été placés dans 3 lots séparés dans la moitié avant du train, et un lot de 49 wagons a été placé immédiatement derrière la locomotive en milieu de train.

Cette composition du train respectait en grande partie les pratiques exemplaires de l'industrie en matière de formation des trains. Toutefois, les wagons vides placés devant les wagons chargés en queue de train rendaient les wagons vides plus vulnérables à un déraillement par chevauchement du rail dans les courbes dans certaines conditions d'exploitation, comme un serrage à fond des freins ou un freinage d'urgence, ou dans des situations où des robinets de retenue sont réglés sur certains des wagons.

Dans l'événement à l'étude, la répartition du poids du train, avec des wagons vides au milieu du train, et en particulier 32 wagons plats à parois de bout vides situés derrière la locomotive télécommandée à traction répartie et devant le lot de wagons lourdement chargés près de la queue du train, a fait en sorte que les wagons chargés heurtent le lot de wagons vides situés immédiatement devant, exerçant de grandes forces concentrées le long du train.

Après le déraillement, le CP, en collaboration avec l'Université Simon Fraser, a procédé à des simulations de la dynamique du train à l'étude. Les résultats ont indiqué que lorsqu'il y a plus de 15 wagons plats vides à support central ou à parois de bout dans un train de marchandises mixtes, ceux-ci doivent être placés à l'extrémité arrière. Ces types de wagons sont équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon et le regroupement d'un grand nombre de ces appareils peut augmenter considérablement le jeu des attelages total du train.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

La formation du train, où des wagons lourds se trouvaient près de la queue, a contribué aux forces de compression élevées exercées le long du train sur les wagons vides situés près du milieu du train.

2.6.2 Interprétation des règles et instructions régissant la formation des trains

Au moment de l'événement, il n'y avait pas de lignes directrices précises sur la formation des trains approuvées par Transports Canada, ni d'exigences réglementaires limitant les forces maximales exercées le long du train au moyen de la formation des trains. Les

compagnies de chemin de fer du Canada élaborent leurs propres règles et instructions de formation des trains pour faciliter la gestion des forces exercées le long du train et prévenir les déraillements.

Au CP, les exigences en matière de formation des trains sont régies par les *Instructions générales d'exploitation* (IGE) de la compagnie, et les trains doivent respecter le TrAM, le programme informatique de vérification de la formation des trains exclusif du CP.

Selon la section 7, article 6.1 des IGE,

- les wagons lourds doivent être placés aussi près que possible de la tête du train; ils ne doivent pas être placés à l'arrière d'un train à moins que les lots de wagons qui les précèdent ne soient aussi lourds;
- les wagons légers doivent être placés aussi près que possible de l'arrière du train, à moins que les wagons derrière eux ne soient relativement légers eux aussi.

Une note se trouvant à la fin de ces instructions indique ce qui suit : « [l]es messages TrAM **n'indiquent pas** si la formation du train respecte l'esprit du présent article³⁴ ». Le TrAM ne vérifie donc pas si les trains respectent ces exigences. En l'absence de vérification automatique, il incombe au personnel opérationnel de garantir et de valider le respect de ces instructions.

Dans l'événement à l'étude, le train était conforme au TrAM lorsqu'il a quitté le triage Alyth. Le rapport du TrAM sur la formation et les restrictions ne contenait aucun message d'avertissement sur la formation et ne montrait aucune violation de la formation pour les zones de TrAM que le train devait traverser. Toutefois, le train à l'étude n'était pas conforme à la section 7, article 6.1 des IGE, puisqu'il était formé d'un groupe de wagons lourds chargés en tête de train, suivi d'un groupe de 71 wagons vides au milieu et d'un groupe plus petit de 19 wagons lourds chargés près de la queue.

Fait établi quant aux risques

Si les applications informatiques utilisées pour la vérification de la formation des trains ne tiennent pas compte de toutes les exigences applicables en matière de formation des trains, telles que les exigences prévues dans les IGE, les instructions spéciales et les bulletins, il se peut qu'une règle ou une instruction critique soit omise, ce qui augmenterait le risque de déraillement.

À la section 7, article 6.1 des IGE, il est également indiqué que ces instructions sont « sous réserve du lotissement selon la destination » et que « [l]e lotissement selon la destination n'a pas préséance sur les violations des règles de classement du TrAM indiquées dans le bulletin de composition³⁵ ».

Ces instructions peuvent être interprétées de différentes façons. Elles pourraient être interprétées comme signifiant qu'elles ne s'appliquent pas lorsque la formation du train

³⁴ Ibid., article 6.1.

³⁵ Ibid.

repose sur le lotissement selon la destination, ou qu'un train formé à l'aide du lotissement selon la destination satisfait aux exigences de formation, à condition que le TrAM ne relève pas de violations liées à la formation du train. Le lotissement selon la destination ne fait toutefois pas partie de la validation effectuée par le TrAM.

En outre, les règles de formation des trains utilisées dans le logiciel TrAM sont fondées sur l'exploitation normale des trains. Elles ne sont pas conçues pour prendre en compte les interactions véhicule-voie à faible probabilité mais à risque élevé que les trains peuvent rencontrer. Par conséquent, le TrAM ne tient pas compte des forces générées au cours de situations exceptionnelles, telles que les UDR, les UDE ou une mauvaise conduite du train par le ML.

Même si un train respecte les règles générales de formation des trains, les forces excessives exercées le long du train au cours de situations exceptionnelles présentent toujours un risque important et peuvent entraîner un déraillement.

Dans l'événement à l'étude, étant donné que le train avait été formé à l'aide du lotissement selon la destination et que le TrAM n'avait pas relevé toutes les violations de formation, le train a été autorisé à quitter le triage Alyth sans autre vérification de la formation.

Fait établi quant aux risques

Si les limites des programmes de vérification de la formation des trains ne sont pas clairement énoncées et comprises, le personnel opérationnel peut supposer que les rapports de vérification de ces programmes sont exhaustifs, ce qui crée un risque que des trains non conformes soient autorisés à partir.

2.7 Évaluation d'une condition d'exploitation émergente et réaction

Alors que le train s'approchait de Field Hill et s'apprêtait à descendre la pente, un UDR s'est produit.

Le ML a fait part de son inquiétude au CCF et, dans une conversation distincte avec le coordonnateur de trains, il a indiqué que le train allait probablement subir un autre UDR. Le CCF a répondu qu'il aviserait son superviseur de l'inquiétude du ML. Au bout du compte, aucun autre plan d'action n'a toutefois été envisagé.

La décision de poursuivre le voyage après le premier UDR n'a probablement pas tenu compte des risques associés aux possibles forces élevées exercées le long du train si un autre UDR survenait, surtout si l'on considère la pente abrupte descendante et les courbes prononcées de Field Hill. Dans ces circonstances, le train circulait dans des conditions qui n'avaient pas été anticipées.

Peu après la reprise du voyage, un UDE s'est produit. Dans le cadre des procédures de rétablissement visant à préparer le train à reprendre son voyage, les procédures d'exploitation exigeaient que des robinets de retenue soient réglés sur un grand pourcentage des wagons chargés de la partie avant du train.

Lorsqu'une situation imprévue comme un UDR ou un UDE se produit, il est important que les membres du personnel opérationnel communiquent avec des personnes possédant l'expertise nécessaire pour examiner et évaluer les aspects particuliers de la situation, comme, dans l'événement à l'étude, l'incidence de la formation du train sur les forces exercées le long du train.

Fait établi quant aux risques

Si la réaction d'une compagnie ferroviaire à une condition d'exploitation émergente ne prend pas en compte les facteurs critiques, tels que la formation du train et le terrain, les risques associés pourraient ne pas être atténués, augmentant ainsi la probabilité qu'un déraillement ait lieu.

2.8 Disponibilité des enregistrements des caméras orientées vers l'avant

Les caméras orientées vers l'avant ne sont pas exigées par la réglementation. Toutefois, les enregistrements produits par ces caméras sont souvent utiles pour comprendre les circonstances qui ont mené à un accident.

À la suite de l'événement à l'étude, le BST a été informé que même si la locomotive de tête était dotée d'une caméra orientée vers l'avant, les données ne pouvaient pas être récupérées de cette caméra en raison d'une défaillance de l'équipement vidéo à bord de la locomotive.

Fait établi : Autre

Les caméras orientées vers l'avant peuvent être utiles dans les enquêtes sur un accident; toutefois, dans l'événement à l'étude, les données de la caméra installée sur la locomotive de tête du train n'étaient pas disponibles.

3.0 FAITS ÉTABLIS

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

Il s'agit des conditions, actes ou lacunes de sécurité qui ont causé l'événement ou y ont contribué.

1. À la suite d'un desserrage intempestif des freins à air et du serrage à fond des freins et du serrage des freins dynamiques qui ont suivi, le train 401-02 a décéléré rapidement; l'effet de compression qui en a résulté a fait dérailler le bogie avant du wagon à la position 66 dans la courbe du tunnel Upper Spiral.
2. Les forces longitudinales de compression élevées qui ont suivi le serrage à fond des freins, le serrage des freins dynamiques et le freinage d'urgence ont entraîné des rapports entre la force latérale et la force verticale critiques, le soulèvement des roues et le déraillement de 15 wagons vides qui circulaient dans la courbe du tunnel Upper Spiral.
3. Lorsque les freins à air et les freins dynamiques ont été serrés en réaction au desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral, la décélération rapide et les forces exercées le long du train qui en ont découlé n'ont pas été réparties uniformément sur toute la longueur du train. Par conséquent, le lot de wagons chargés à la queue du train a heurté le lot de wagons vides situé juste devant, ce qui a créé de grandes forces de compression concentrées sur ces wagons vides.
4. Les robinets de retenue réglés sur 50 wagons à l'avant du train ont contribué à la répartition inégale des forces de freinage sur toute la longueur du train.
5. Les desserrages intempestifs des freins à air ont été déclenchés à la suite d'une augmentation de la pression localisée dans la conduite générale de 1,5 à 2,0 lb/po² pendant que le train était en mouvement.
6. Les fluctuations de la pression dans la conduite générale ont vraisemblablement été causées par des configurations anciennes et non conventionnelles des dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot en bout de wagon sur certains wagons, causant le desserrage intempestif des freins à air.
7. La formation du train, où des wagons lourds se trouvaient près de la queue, a contribué aux forces de compression élevées exercées le long du train sur les wagons vides situés près du milieu du train.

3.2 Faits établis quant aux risques

Il s'agit des conditions, des actes dangereux, ou des lacunes de sécurité qui n'ont pas été un facteur dans cet événement, mais qui pourraient avoir des conséquences néfastes lors de futurs événements.

1. Si des wagons équipés d'anciens dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot restent en service sans être conformes aux normes les plus récentes, il peut y avoir une incidence négative sur le rendement du système de freins d'un train, augmentant le risque d'un desserrage intempestif des freins à air.
2. Si les applications informatiques utilisées pour la vérification de la formation des trains ne tiennent pas compte de toutes les exigences applicables en matière de formation des trains, telles que les exigences prévues dans les *Instructions générales d'exploitation*, les instructions spéciales et les bulletins, il se peut qu'une règle ou une instruction critique soit omise, ce qui augmenterait le risque de déraillement.
3. Si les limites des programmes de vérification de la formation des trains ne sont pas clairement énoncées et comprises, le personnel opérationnel peut supposer que les rapports de vérification de ces programmes sont exhaustifs, ce qui crée un risque que des trains non conformes soient autorisés à partir.
4. Si la réaction d'une compagnie ferroviaire à une condition d'exploitation émergente ne prend pas en compte les facteurs critiques, tels que la formation du train et le terrain, les risques associés pourraient ne pas être atténués, augmentant ainsi la probabilité qu'un déraillement ait lieu.

3.3 Autres faits établis

Ces éléments pourraient permettre d'améliorer la sécurité, de régler une controverse ou de fournir un point de données pour de futures études sur la sécurité.

1. Les caméras orientées vers l'avant peuvent être utiles dans les enquêtes sur un accident; toutefois, dans l'événement à l'étude, les données de la caméra installée sur la locomotive de tête du train n'étaient pas disponibles.

4.0 MESURES DE SÉCURITÉ

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Canadien Pacifique

À la suite de cet événement, la Compagnie de chemin de fer Canadien Pacifique (CP) a pris les mesures de sécurité suivantes :

- Elle a publié une alerte d'entretien pour 95 wagons plats TTZX à support central exploités activement sur les lignes du CP afin de faire inspecter le tuyau d'air intermédiaire pour y détecter un éventuel pliage pendant le mouvement des chariots sur la ligne de train.
- Elle a publié le bulletin de service n° 19-001 (10 janvier 2019), ordonnant ce qui suit :
 - l'inspection du dispositif de chariot à chaque extrémité d'un wagon pour déterminer le dispositif et le type du tuyau d'air intermédiaire;
 - l'inspection pour repérer tout pliage des tuyaux (d'extrémité et intermédiaires), des séparateurs d'eau sur les tuyaux intermédiaires, des marques de contact ou d'usure sur les tuyaux et du placement adéquat de la chaîne de support intermédiaire;
 - la mesure de la longueur du tuyau intermédiaire à chaque extrémité du wagon et son remplacement en cas de non-conformité;
 - le maintien de l'état avarié des wagons jugés non conformes jusqu'à ce que les réparations soient effectuées conformément au manuel de l'AAR, ou que des dispositions soient prises pour que le wagon soit renvoyé à l'atelier d'origine pour y être réparé.
- Elle a engagé une équipe d'ingénierie des wagons TTZX pour émettre une alerte à l'intention du reste de l'industrie.
- Elle a publié le bulletin de service n° 19-003R (16 janvier 2019), ordonnant ce qui suit :
 - l'inspection de tous les wagons des séries 521, 522 et 315 du CP pour
 1. vérifier la présence du relais de dépression A1,
 2. vérifier si la valve à action rapide B1 est présente ou obturée,
 3. déterminer quel dispositif de serrage d'urgence est installé sur le wagon,
 - l'exécution des réparations nécessaires pour que les composants des freins à air soient conformes aux lignes directrices du CP en matière d'entretien.
- Elle a effectué un examen et une analyse approfondis de la composition des trains de marchandises mixtes exploités à l'ouest de Calgary sur 555 trains entre novembre 2017 et août 2019.
- Elle a publié le bulletin d'exploitation OPER-AB-65-19 (27 août 2019) concernant les restrictions dans les zones de TrAM 3 (qui comprennent des sections des subdivisions de Laggan et de Mountain) pour les wagons plats à support central et/ou à parois de bout équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon. Le bulletin indique aussi que le déplacement des wagons plats vides à support central ou à parois de bout sur tous les trains circulant vers l'ouest soit limité comme suit [traduction] :

- **15 wagons ou moins** : les wagons peuvent être placés n'importe où dans le train;
- **16 wagons ou plus** : les wagons **doivent** être placés dans un **seul** lot à la toute fin de la **queue** du train. Dans un tel placement, une locomotive télécommandée placée derrière le lot de queue des wagons concernés générera une violation de télécommande d'une zone. La locomotive télécommandée doit être placée devant le lot.

Dans tous les cas, la composition du train doit réussir à une vérification du TrAM [classement zonal dans les trains]³⁶.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 21 juin 2023. Le rapport a été officiellement publié le 19 juillet 2023.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (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 principaux enjeux de sécurité auxquels il faut remédier pour rendre le système de transport canadien encore plus sécuritaire. 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.

³⁶ Chemin de fer Canadien Pacifique, bulletin d'exploitation OPER-AB-65-19 (27 août 2019).

ANNEXES

Annexe A – Principaux événements de la conduite du train

Le tableau A1 énumère les principaux événements de la conduite du train dans l'événement à l'étude, compilés à partir des données du consignateur d'événements de locomotive (CEL) obtenues des locomotives de tête et télécommandée.

L'examen des données relatives à la conduite du train dans les minutes qui ont précédé les 2 desserrages intempestifs des freins à air (UDR) provenant de la conduite générale sur Field Hill indique ce qui suit :

- Les actions de conduite du train exécutées par le mécanicien de locomotive (ML) d'origine étaient conformes aux variations du terrain (pente et courbure). Il n'y a pas eu de changements brusques de vitesse ni de serrage soudain des freins. Au moment du premier UDR, le freinage dynamique était à la position 1 et le ML avait effectué un serrage de 7 lb/po² des freins à air.
- Les actions de conduite du train exécutées par le ML de relève étaient également conformes aux variations du terrain. Après avoir pris le contrôle du train et repris la descente de la pente abrupte, pour contrôler la vitesse du train, il a serré les freins dynamiques à leur niveau maximum. Quelques minutes plus tard, lorsque le train entier a commencé à descendre la partie la plus abrupte de la pente de 2,2 %, il a complété le serrage des freins dynamiques par un serrage de 10 lb/po² des freins à air. Une fois dans le tunnel Upper Spiral, le train s'est mis à perdre de la vitesse, comme prévu, en raison de la résistance créée par la courbure de 10° dans le tunnel. Afin d'éviter que la vitesse du train ne chute trop, le ML a cessé d'utiliser les freins dynamiques et a progressivement réglé le manipulateur à bas régime jusqu'à la position 3. Il n'y a pas eu de changements brusques de vitesse ni de serrage soudain des freins.

Cela donne à penser que les fluctuations soudaines et l'augmentation critique de la pression dans la conduite générale, ainsi que les UDR qui en ont résulté, ont été causées par une condition dynamique sur un wagon plutôt que par les actions de conduite du train exécutées par les ML.

Un examen des données de conduite du train captées avant le déraillement révèle ce qui suit :

- En réaction à l'UDR dans le tunnel Upper Spiral, le ML de relève a augmenté le serrage des freins pour passer de 10 lb/po² à un serrage à fond des freins, tel qu'il est exigé dans les procédures d'exploitation.
- Le serrage à fond des freins a entraîné des changements de la vitesse du train : en 1 seconde, le train a accéléré de 0,7 mi/h; puis, en 2 secondes, il a décéléré de 0,7 mi/h.

- Après ces changements de vitesse, la pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée a diminué rapidement, ce qui indique qu'un freinage d'urgence intempestif (UDE) provenant de la conduite générale s'était produit.

Les données donnent à penser que le serrage à fond des freins effectué par le ML de relève en réaction à l'UDR aurait entraîné le déraillement et l'UDE.

Tableau A1. Principaux événements de la conduite du train et des freins à air

Date	Heure	Point milliaire	Événement
2019-01-02	21 h	0,00	Le train quitte le triage Alyth.
2019-01-02	21 h 42 min 49 s	9,60	Le ML serre les freins à air pour arrêter le train à Keith (point milliaire 9,6) pour les rencontres prévues.
2019-01-03	1 h 33 min 34 s	112,86	Le ML effectue un essai de frein en marche aux environs de Stream (point milliaire 113), conformément aux instructions d'exploitation.
2019-01-03	1 h 57 min 12 s	119,66	Le ML serre les freins à air pour arrêter le train au signal intermédiaire situé à l'est de Divide (signal 1197N).
2019-01-03	3 h 12 min 21 s	119,70	Le train part d'une position d'arrêt à l'est de Divide.
2019-01-03	3 h 56 min 33 s	122,80	Le ML desserre les freins automatiques du train et les freins indépendants de la locomotive, et le train part d'une position d'arrêt près de Stephen. Le train est sur une pente descendante de 0,1 %, et la conduite générale et le système de freins du train sont entièrement chargés. La pression enregistrée dans la conduite générale est de 88 lb/po ² à la locomotive de tête, de 89 lb/po ² à la locomotive télécommandée et de 91 lb/po ² à l'unité de queue de train (UQT).
2019-01-03	4 h 01 min 58 s	123,42	Le train commence à descendre Field Hill, à une vitesse d'environ 9 mi/h. Le manipulateur est à la position 3, et le ML effectue un serrage minimal des freins (dépression de 7 lb/po ² dans la conduite générale) en prévision d'une pente descendante de 2 %.
2019-01-03	4 h 04 min 50 s	123,93	Le train franchit le passage à niveau Hector, et le manipulateur est à la position 2. Le serrage minimal des freins s'est propagé avec succès de la locomotive de tête à l'UQT; la pression dans la conduite générale est de 83 lb/po ² à la locomotive de tête, de 81 lb/po ² à la locomotive télécommandée et de 82 lb/po ² à l'UQT.
2019-01-03	4 h 07 min 17 s	124,43	Le ML serre les freins dynamiques et augmente progressivement le serrage jusqu'à un niveau moyen au cours de la minute suivante.
2019-01-03	4 h 08 min 36 s	124,82	Le ML réduit momentanément le freinage dynamique à un niveau bas alors que le train commence à ralentir sur la voie en courbe autour du lac Wapta. Pendant ce temps, une partie du jeu dans les attelages du train a tendance à s'étirer sous l'effet de la résistance additionnelle produite par la courbe.
2019-01-03	4 h 09 min 42 s	125,17	La pente se stabilise quelque peu sous la tête du train, et le ML réduit progressivement le freinage dynamique à un niveau moyen (de la position 6 à la position 1).

Date	Heure	Point milliaire	Événement
2019-01-03	4 h 11 min 22 s	125,59	Le ML remarque une augmentation du débit d'air sur la locomotive télécommandée; le relevé fluctue entre 0 et 31 pieds cubes par minute.* La pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée chute de 82 lb/po ² à 81 lb/po ² , et la pression à l'UQT chute de 82 lb/po ² à 80 lb/po ² . Cela indique une fuite de la conduite générale dans la partie arrière du train, près de l'UQT; la fonction de maintien de la pression de la locomotive télécommandée commence à compenser la fuite. L'UQT reste à 80 lb/po ² ; toutefois, la pression dans la conduite générale augmente momentanément jusqu'à 81 lb/po ² , puis revient à 80 lb/po ² .
2019-01-03	4 h 11 min 39 s	125,64	La vitesse du train chute en dessous de 10 mi/h. Pour éviter que la vitesse du train ne chute davantage, le ML commence à pousser graduellement le manipulateur. Lorsque la tête du train commence à descendre la pente plus abrupte de 2,2 %, le ML recommence à utiliser le freinage dynamique.
2019-01-03	4 h 12 min 52 s	125,86	Pendant que la tête du train est sur la pente descendante de 2 % (et que les derniers 2/3 du train sont toujours sur la section de voie en palier), la pression dans la conduite générale passe de 82 à 84 lb/po ² à la locomotive télécommandée et de 81 à 82 lb/po ² à la locomotive de tête. La pression à l'UQT augmente de 80 à 84 lb/po ² , puis continue d'augmenter jusqu'à 87 lb/po ² , ce qui indique un UDR.
2019-01-03	4 h 13 min 00 s	125,88	Une alerte dans la cabine indique une augmentation spontanée et non commandée de la pression dans la conduite générale. En réaction à l'UDR, le ML augmente le freinage dynamique de la position 1 à la position 6 et applique une dépression supplémentaire de 7 lb/po ² dans la conduite générale alors que la vitesse du train est réduite à 7 mi/h.
2019-01-03	4 h 13 min 30 s	125,94	Le ML effectue un autre freinage de 7 lb/po ² et augmente le freinage dynamique jusqu'à la position 8.
2019-01-03	4 h 13 min 53 s	125,95	Le train s'immobilise de façon contrôlée; les derniers 2/3 du train s'immobilisent sur une section de voie en palier.
2019-01-03	4 h 20 min 22 s	125,95	Le ML commence à recharger les freins en desserrant les freins automatiques, et il maintient le train immobilisé à l'aide des freins indépendants des 3 locomotives.
2019-01-03	4 h 44 min 51 s	125,95	Le ML desserre les freins indépendants des locomotives et le train se remet à avancer vers l'ouest. Le ML commence à augmenter le freinage dynamique à la position 6 en vue de reprendre la descente de la pente. La pression dans la conduite générale est de nouveau stabilisée dans tout le train.
2019-01-03	4 h 46 min 06 s	126,00	Le train s'approche de la station de Partridge et du tunnel Upper Spiral; la moitié avant du train se trouve sur la pente de 2,2 % et la vitesse du train est de 5,2 mi/h. Le ML règle le freinage dynamique à la

Date	Heure	Point milliaire	Événement
			position 6, effectue un serrage minimal des freins, puis affranchit** les freins des locomotives pendant 16 secondes.
2019-01-03	4 h 48 min 23 s	126,25	La vitesse du train chute soudainement (de 7,8 mi/h à 7,4 mi/h en 1 seconde, soit une décélération de 0,4 mi/h/seconde). La pression dans la conduite générale chute rapidement à la locomotive télécommandée, et la chute de pression se propage rapidement vers la locomotive de tête et l'UQT. Un signal de freinage d'urgence à traction répartie est diffusé de la locomotive télécommandée à la locomotive de tête, indiquant un UDE.
2019-01-03	4 h 48 min 47 s	126,28	Le train s'immobilise après avoir parcouru 1758 pieds.
2019-01-03	4 h 46 min 48 s à 9 h 54 min 23 s	126,28	Le train reste immobile pendant que l'équipe remplace la mâchoire d'attelage rompue et règle les robinets de retenue. Pendant ce temps, une équipe de relève est appelée.
2019-01-03	9 h 54 min 24 s	126,28	Le train, maintenant conduit par une équipe de relève, se remet à circuler vers l'ouest. Le système de freins du train est entièrement chargé, la pression dans la conduite générale étant de 88 lb/po ² à la locomotive de tête et de 89 lb/po ² à la locomotive télécommandée; la pression à l'UQT est de 89 lb/po ² .
2019-01-03	9 h 59 min 44 s	126,65	Alors que la plus grande partie du train se trouve sur la pente descendante de 2,2 %, le ML de relève augmente le freinage dynamique à la position 8 et effectue une dépression de 10 lb/po ² dans la conduite générale.
2019-01-03	10 h 10 min 00 s	128,90	Le ML de relève continue de conduire le train avec des modulations de freinage dynamique. Lorsque la tête du train approche de l'entrée du tunnel Upper Spiral, le train ralentit en dessous de 15 mi/h (vitesse maximale de la voie). Pour augmenter la vitesse et la maintenir près de la vitesse maximale de la voie, le ML de relève cesse d'utiliser le freinage dynamique et pousse graduellement le manipulateur, qu'il fait varier entre les positions 2 et 3.
2019-01-03	10 h 13 min 31 s	129,74	La pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée augmente de 2 lb/po ² .
2019-01-03	10 h 13 min 33 s	129,74	La pression à l'UQT grimpe à 84 lb/po ² . Le train se trouve sur toute sa longueur à l'intérieur du tunnel Upper Spiral et circule à une vitesse de 12,3 mi/h avec le manipulateur réglé à la position 3.
2019-01-03	10 h 13 min 38 s	129,76	La pression à l'UQT augmente à 86 lb/po ² ; la pression dans la conduite générale augmente à 82 lb/po ² à la locomotive télécommandée et de 1 lb/po ² à la locomotive de tête. Peu après, une alerte dans la cabine indique un UDR.
2019-01-03	10 h 13 min 51 s	129,80	Pour contrer l'UDR, le ML de relève règle le manipulateur à la position de ralenti et effectue un serrage à fond des freins, conformément aux procédures d'exploitation.

Date	Heure	Point milliaire	Événement
2019-01-03	10 h 14 min 02 s	129,85	Le ML de relève engage progressivement le freinage dynamique. Il augmente graduellement le réglage jusqu'à la position 5, puis continue à moduler le réglage, pour atteindre la position 8 maximale quelques secondes plus tard. La vitesse du train augmente, passant de 13,8 mi/h à 14,5 mi/h (soit une augmentation de 0,7 mi/h en 1 seconde).
2019-01-03	10 h 14 min 06 s	129,86	La vitesse du train diminue, passant de 14,5 mi/h à 13,8 mi/h (soit une diminution de 0,7 mi/h en 2 secondes).
2019-01-03	10 h 14 min 10 s	129,88	Un UDE se produit alors que le train circule à 14,9 mi/h. Alors que la tête du train se trouve à l'extérieur du portail du tunnel Upper Spiral, les wagons situés près de la locomotive télécommandée déraillent à l'intérieur du tunnel.
2019-01-03	10 h 14 min 38 s	129,95	L'UDE et le déraillement qui s'ensuit font en sorte que le train s'immobilise après avoir parcouru environ 370 pieds.

* L'indicateur de débit d'air d'une locomotive affiche une valeur tronquée de 0 pour tout débit d'air inférieur à 20 pieds cubes par minute.

** L'affranchissement consiste à évacuer l'air comprimé des cylindres de frein de la locomotive après un serrage des freins automatiques. Pour ce faire, il faut ouvrir le robinet de frein indépendant, ce qui empêche ou annule le serrage des freins automatiques de la locomotive.

Annexe B – Principaux événements des freins à air

Rendement de la conduite générale entre le triage Alyth et Stephen

Le tableau B1 énumère les principaux événements des freins à air entre le moment où le train a quitté le triage Alyth et celui où il a commencé à descendre Field Hill. L'examen de ces renseignements révèle ce qui suit :

- La propagation de chaque serrage des freins à air sur toute la longueur du train et, par la suite, le desserrage des freins, se sont produits de façon ininterrompue et constante et ont eu lieu dans les délais prévus pour un train conduit selon une configuration à traction répartie.
- Le taux d'augmentation de la pression dans la conduite générale à la queue du train et le temps nécessaire pour recharger le système de freins après chaque desserrage des freins étaient conformes aux délais prévus.
- Dans chaque cas, après la recharge complète du système de freins, le gradient de pression dans la conduite générale entre la locomotive télécommandée et la queue du train était négligeable, est resté stable et présentait un taux de fuite très faible et constant.

À partir de ces renseignements, on peut conclure que le système de freins à air du train fonctionnait comme prévu avant que le train n'arrive à Stephen.

Tableau B1. Principaux événements des freins à air – du triage Alyth à Stephen

Événement des freins à air	Heure	Point milliaire	Dépression initiale dans la conduite générale (lb/po ²)	Dépression totale dans la conduite générale (lb/po ²)	Durée de recharge de 90 lb/po ² * (minutes)	Durée de recharge de 91 lb/po ² (minutes)	Taux de propagation à la queue du train** (pi/s)
Recharge au départ du triage Alyth	20 h 45	S.O.	26	26	15	20	S.O.
Serrage en vue de l'arrêt à Keith pour des rencontres	21 h 42	10,3	7	17	S.O.	S.O.	476
Desserrage et recharge au départ de Keith	21 h 59	10,5	S.O.	S.O.	9	16	380
Essai de frein en marche à l'approche de Stream	1 h 34	112,9	7	9	S.O.	S.O.	439
Desserrage et recharge à la suite de l'essai de frein en marche	1 h 35	113,3	S.O.	S.O.	7	11	300
Serrage en vue de l'arrêt au	1 h 57	119,7	8	17	S.O.	S.O.	439

Événement des freins à air	Heure	Point milliaire	Dépression initiale dans la conduite générale (lb/po ²)	Dépression totale dans la conduite générale (lb/po ²)	Durée de recharge de 90 lb/po ² * (minutes)	Durée de recharge de 91 lb/po ² (minutes)	Taux de propagation à la queue du train** (pi/s)
signal intermédiaire de Divide pour des rencontres							
Desserrage et recharge au départ de Divide	3 h 11	119,9	S.O.	S.O.	9	12	439
Serrage en vue de l'arrêt à Stephen pour des rencontres	3 h 50	122,8	8	11	S.O.	S.O.	476
Desserrage et recharge au départ de Stephen	3 h 52	122,8	S.O.	S.O.	6	8	317
Serrage au début de la descente de Field Hill	4 h 02	123,4	7	S.O.	S.O.	S.O.	571
Fluctuation de la pression dans la conduite générale observée par le mécanicien de locomotive	4 h 09	125,0	7	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

* Une recharge de 90 lb/po² représente une recharge substantielle et quasi finale du système de freins à la queue du train et peut être utilisée de façon fiable pour éviter la variabilité inhérente qui peut retarder une augmentation de la pression dans la conduite générale à une recharge de 91 lb/po².

** Le taux de propagation est une mesure de la vitesse à laquelle l'onde de pression dans la conduite générale se propage dans la conduite générale en réaction à un serrage ou à un desserrage des freins à air. Le taux de propagation à la queue du train à l'étude a été calculé en divisant la distance entre la locomotive télécommandée et la queue du train, soit une longueur de 5706 pieds, par le temps écoulé pour qu'un changement de pression dans la conduite générale se propage de la locomotive télécommandée à la queue du train. Une forte augmentation des fuites, ou une restriction du débit d'air dans la conduite générale, se manifesterait typiquement en raison d'un changement du taux de propagation normal.

Premier desserrage intempestif des freins à air sur Field Hill

Le tableau B2 énumère les principaux événements des freins à air survenus lors du premier desserrage intempestif des freins à air (UDR) pendant la descente de Field Hill. Les données proviennent des CEL des locomotives de tête et télécommandée et mettent en évidence les détails clés liés à la progression de l'UDR, du moment où le ML a observé les premières fluctuations inattendues du débit d'air à la locomotive télécommandée au moment où le train a ensuite été arrêté de façon contrôlée.

À ce moment-là, la pente sous la tête du train s'était momentanément mise en palier. Toutefois, la partie arrière du train continuait de descendre une pente de 2 % entre le point milliaire 123,6 et le point milliaire 124,5 environ.

Au cours de l'événement, les augmentations de la pression dans la conduite générale de chaque locomotive se sont succédé comme suit :

- À 4 h 12 min 30 s, la pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée est passée de 81 lb/po² à 82 lb/po².
- À 4 h 12 min 48 s, soit 18 secondes plus tard, la pression à la queue du train (enregistrée par l'unité de queue de train [UQT]) est passée de 80 lb/po² à 81 lb/po². La pression à la queue du train a continué à augmenter jusqu'à 87 lb/po² dans les 5 secondes qui ont suivi.
- À 4 h 12 min 59 s, soit 6 secondes plus tard, la pression dans la conduite générale à la locomotive de tête a aussi augmenté, passant de 81 lb/po² à 82 lb/po². Cette augmentation de la pression s'est produite 38 secondes après l'augmentation initiale de la pression à la locomotive télécommandée.

D'après ces renseignements, on peut conclure que l'UDR provenait d'un wagon situé quelque part dans la partie arrière du train, entre la locomotive télécommandée et la queue du train; le wagon était fort probablement placé à une courte distance de la locomotive télécommandée.

Tableau B2. Événements des freins survenus pendant le desserrage intempestif des freins à air lors de la descente de Field Hill

Heure	Point milliaire	Vitesse (mi/h)	Relevés de pression à la locomotive de tête (L), la locomotive télécommandée (R) et l'unité de queue de train (UQT) (lb/po ²)					Temps écoulé (secondes)
			Réservoir d'égalisation (L)	Conduite générale (L)	Réservoir d'égalisation (R)	Conduite générale (R)	UQT	
4 h 11 min 22 s	125,59	11,2	82	80	82	81	80	S.O.
4 h 12 min 30 s	125,79	10,4	82	81	82	82	80	0
4 h 12 min 48 s	125,85	9,7	82	81	82	82	81	18
4 h 12 min 49 s	125,85	9,7	82	81	82	82	82	19
4 h 12 min 50 s	125,85	9,7	82	81	82	83	82	20
4 h 12 min 51 s	125,86	9,7	82	81	82	84	82	21
4 h 12 min 52 s	125,86	9,7	82	81	82	84	84	22
4 h 12 min 53 s	125,86	9,7	82	81	82	84	87	23
4 h 12 min 54 s	125,86	9,7	82	81	82	84	86	24
4 h 12 min 55 s	125,87	9,7	82	81	82	84	85	25
4 h 12 min 56 s	125,87	9,3	82	81	82	84	85	26
4 h 12 min 57 s	125,87	8,9	82	81	82	84	87	27
4 h 12 min 58 s	125,87	8,5	82	81	82	83	87	28
4 h 12 min 59 s	125,88	8,2	82	82	82	83	87	29

Heure	Point milliaire	Vitesse (mi/h)	Relevés de pression à la locomotive de tête (L), la locomotive télécommandée (R) et l'unité de queue de train (UQT) (lb/po ²)					Temps écoulé (secondes)
			Réservoir d'égalisation (L)	Conduite générale (L)	Réservoir d'égalisation (R)	Conduite générale (R)	UQT	
4 h 13 min 00 s	125,88	8,2	80	81	79	83	85	30
4 h 13 min 30 s	125,94	5,9	71	72	70	73	77	60
4 h 13 min 53 s	125,95	0,0	68	67	68	69	72	83

Pour mieux illustrer la chronologie relative et les changements en temps réel de la pression dans la conduite générale, tels qu'ils ont été captés par les CEL, les figures B1 et B2 montrent tous les événements des freins à air dans un format graphique, de 4 h 10 jusqu'au moment où le train a été arrêté de façon contrôlée. Les données de pression de l'UQT, captées exclusivement par le CEL de la locomotive de tête, sont également incluses dans la représentation graphique de la locomotive télécommandée (figure B2) à titre de référence.

Figure B1. Événements des freins à la locomotive de tête et à la queue du train survenus pendant le desserrage intempestif des freins à air lors de la descente de Field Hill (Source : BST)

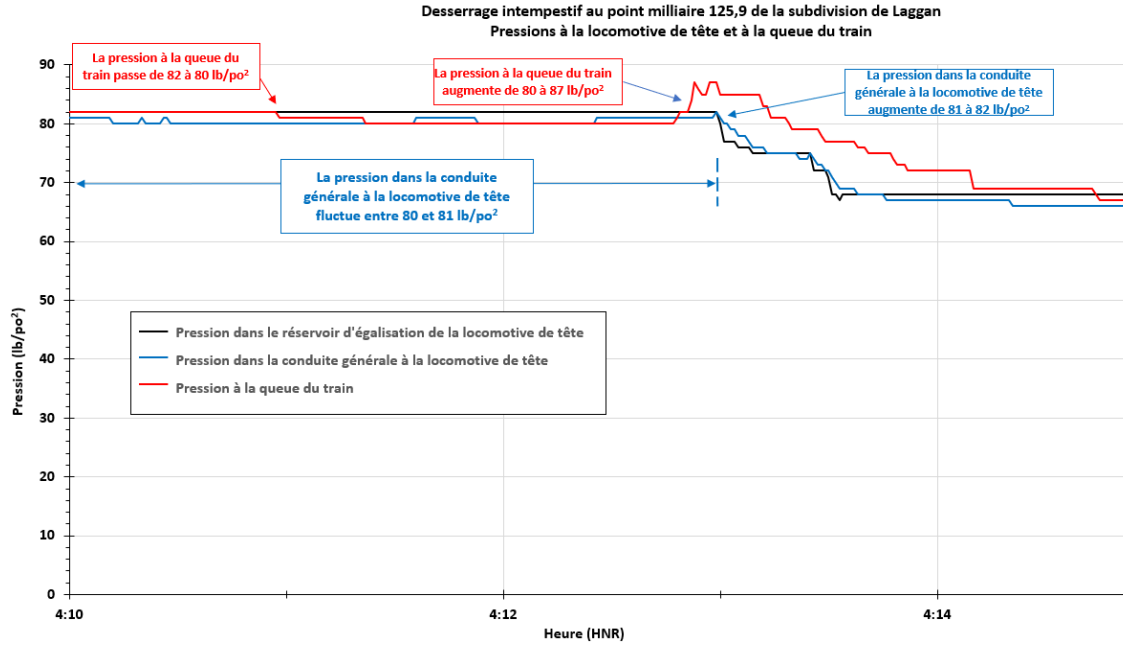
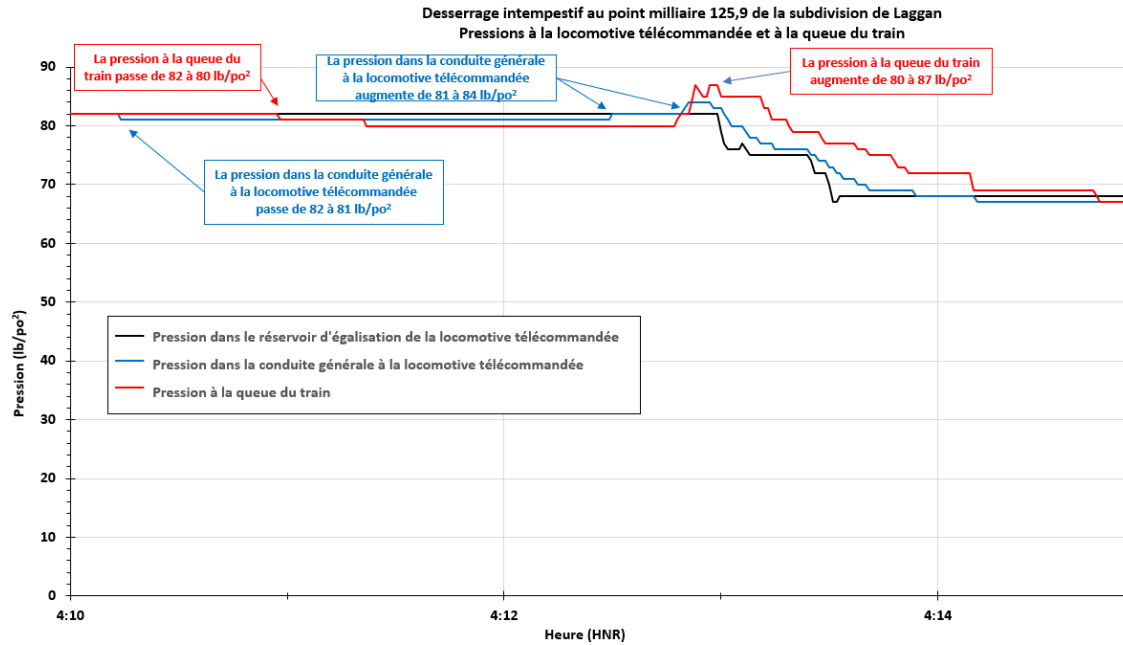


Figure B2. Événements des freins à la locomotive télécommandée et à la queue du train survenus pendant le desserrage intempestif des freins à air lors de la descente de Field Hill (Source : BST)



Desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral

Le tableau B3 énumère les principaux événements des freins à air survenus pendant l'UDR dans le tunnel Upper Spiral. Les données proviennent des CEL des locomotives de tête et télécommandée et mettent en évidence les détails clés liés à la progression de l'UDR jusqu'au moment où le train s'est arrêté brusquement après le freinage d'urgence provenant de la conduite générale.

Les données montrent que la pression dans la conduite générale a augmenté à la locomotive télécommandée avant d'augmenter à la queue du train. Environ 8 secondes plus tard, la pression dans la conduite générale a augmenté à la locomotive de tête.

D'après ces renseignements, on peut conclure que l'UDR provenait d'un wagon situé à courte distance de la locomotive télécommandée, fort probablement le même wagon qui était responsable du premier UDR sur Field Hill.

Tableau B3. Événements des freins pendant le desserrage intempestif des freins à air dans le tunnel Upper Spiral

Heure	Point milliaire	Vitesse (mi/h)	Relevés de pression à la locomotive de tête (L), la locomotive télécommandée (R) et l'unité de queue de train (UQT) (lb/po ²)					Temps écoulé (secondes)
			Réservoir d'égalisation (L)	Conduite générale (L)	Réservoir d'égalisation (R)	Conduite générale (R)	UQT	
10 h 13 min 30 s	129,73	12,3	80	78	79	79	77	S.O.
10 h 13 min 31 s	129,73	12,3	80	78	79	80	77	0
10 h 13 min 32 s	129,74	12,3	80	78	79	81	78	1
10 h 13 min 33 s	129,74	12,3	80	78	79	82	84	2
10 h 13 min 35 s	129,75	12,3	80	78	79	82	86	4
10 h 13 min 39 s	129,76	12,3	80	79	79	82	84	8
10 h 13 min 40 s	129,76	12,7	80	80	79	82	84	9
10 h 13 min 41 s	129,77	12,7	80	81	79	82	84	10
10 h 13 min 49 s	129,79	13,0	77	79	79	82	84	18
10 h 13 min 50 s	129,80	13,4	71	77	75	81	84	19
10 h 13 min 51 s	129,80	13,4	67	76	70	81	84	20
10 h 14 min 02 s	129,85	13,8	62	69	62	77	82	31
10 h 14 min 03 s	129,85	14,5	62	68	62	77	82	32
10 h 14 min 04 s	129,85	14,5	62	68	62	77	82	33
10 h 14 min 05 s	129,86	14,2	62	68	62	76	80	34
10 h 14 min 06 s	129,86	13,8	62	67	62	76	80	35
10 h 14 min 08 s	129,87	14,5	62	66	62	76	78	37
10 h 14 min 10 s	129,88	14,9	62	65	62	44	78	39
10 h 14 min 11 s	129,88	14,9	62	65	61	1	78	40
10 h 14 min 12 s	129,89	14,9	62	65	43	0	77	41
10 h 14 min 16 s	129,90	14,2	61	63	9	0	52	45

Heure	Point milliaire	Vitesse (mi/h)	Relevés de pression à la locomotive de tête (L), la locomotive télécommandée (R) et l'unité de queue de train (UQT) (lb/po ²)					Temps écoulé (secondes)
			Réservoir d'égalisation (L)	Conduite générale (L)	Réservoir d'égalisation (R)	Conduite générale (R)	UQT	
10 h 14 min 17 s	129,91	13,8	61	13	6	0	52	46
10 h 14 min 18 s	129,91	13,4	62	0	3	0	31	47
10 h 14 min 19 s	129,91	13,0	62	0	1	0	0	48
10 h 14 min 20 s	129,92	12,7	62	0	0	0	0	49
10 h 14 min 37 s	129,95	0,3	62	0	0	0	0	66
10 h 14 min 38 s	129,95	0,0	62	0	0	0	0	67

Pour mieux illustrer la chronologie relative et les changements en temps réel de la pression dans la conduite générale, tels qu'ils ont été captés par les CEL, les figures B3 et B4 montrent tous les événements des freins à air dans un format graphique, de 10 h 10 jusqu'au moment où le train a été arrêté de façon contrôlée. Les données de pression de l'UQT, captées exclusivement par le CEL de la locomotive de tête, sont également incluses dans la représentation graphique de la locomotive télécommandée (figure B4) à titre de référence. La représentation graphique montre également quelle a été la réaction de la pression dans la conduite générale à la locomotive de tête et à la locomotive télécommandée après que le ML a tenté de rétablir le serrage d'urgence des freins à air une fois que le train s'est immobilisé. Une comparaison des figures B3 et B4, et plus particulièrement l'augmentation momentanée de la pression dans la conduite générale à la locomotive télécommandée (figure B4), indique la continuité de la conduite générale entre la locomotive de tête et la locomotive télécommandée.

Figure B3. Événements des freins à la locomotive de tête et à la queue du train survenus pendant le desserrage intempestif des freins à air et le freinage d'urgence dans le tunnel Upper Spiral (Source : BST)

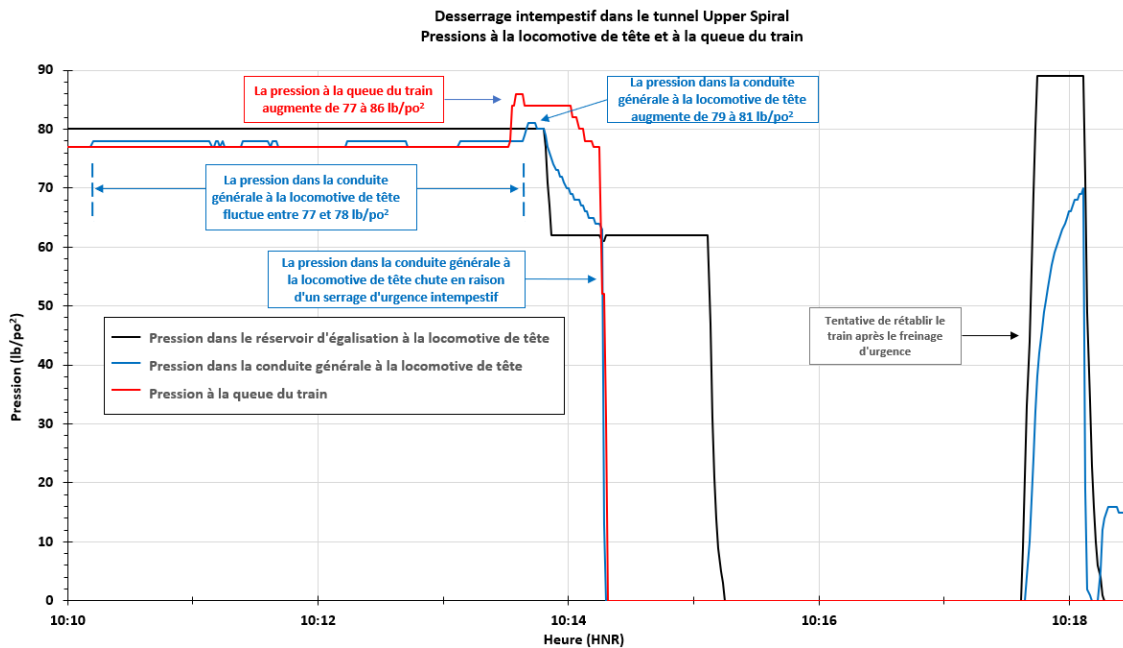
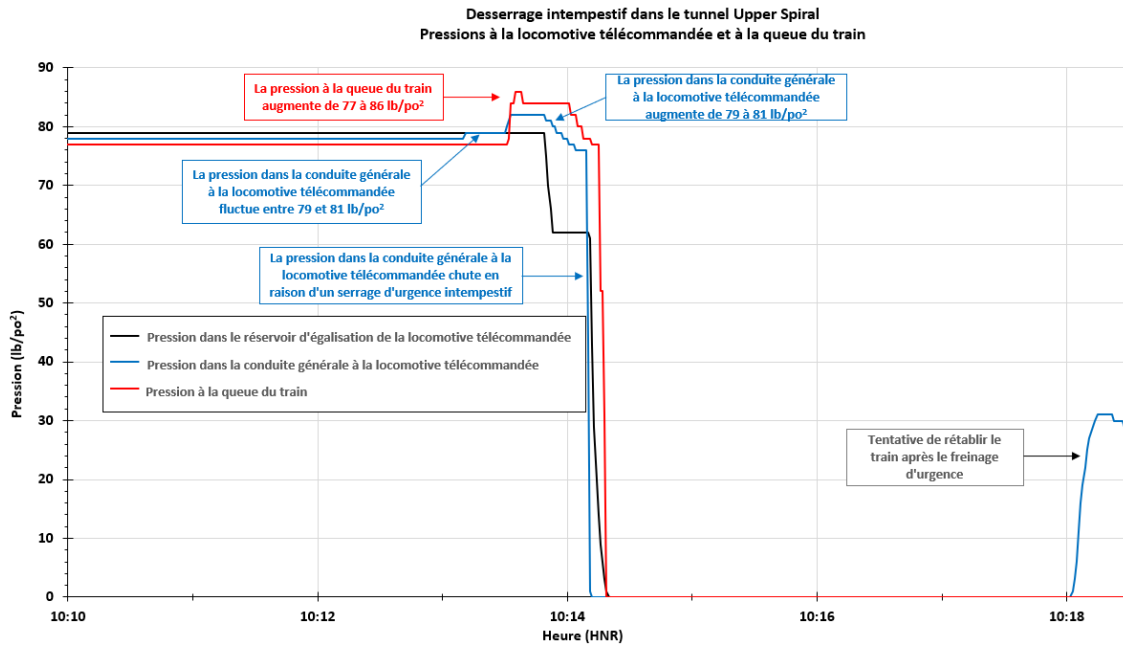


Figure B4. Événements des freins à la locomotive télécommandée et à la queue du train survenus pendant le desserrage intempestif des freins à air et le freinage d'urgence dans le tunnel Upper Spiral (Source : BST)



Annexe C – Inspections et essais des freins à air effectués par le Canadien Pacifique après l'événement

Après le déraillement, pour aider à déterminer la cause possible des desserrages intempestifs des freins à air, le CP a procédé à des inspections et à des essais des freins à air de la locomotive télécommandée en milieu de train (CP 8867), de l'unité de queue de train (UQT), du premier wagon qui avait déraillé (CP 315578, à la position 66) et des wagons qui n'avaient pas déraillé aux positions 67 à 162 du train.

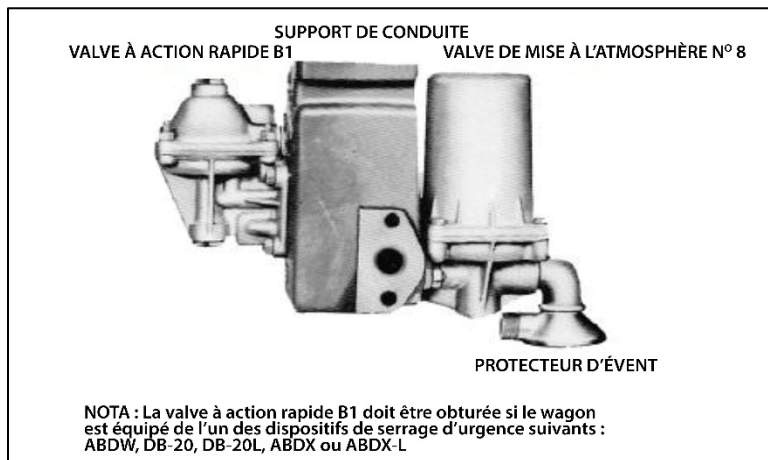
La locomotive télécommandée et l'UQT ont réussi tous les essais. L'inspection et les essais de la plupart des wagons n'ont pas révélé de problèmes importants, à l'exception du wagon CP 315578, le premier wagon à dérailler, du wagon IANR 624291 (position 74) et des wagons à support central de la série TTZX qui étaient équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon.

Wagon CP 315578

Une inspection visuelle du wagon CP 315578, le wagon le plus à l'avant qui avait déraillé, a révélé que le wagon était équipé d'un relais de dépression A1, lequel comprend une valve à action rapide B1 et une valve de mise à l'atmosphère n° 8. Cette configuration contrevient à la règle 4 du *Field Manual of the AAR Interchange Rules* (Field Manual)³⁷ en vigueur au moment de l'événement. Dès 2016, le Field Manual exigeait [traduction] l'« obturation » (c.-à-d. le retrait) de la valve à action rapide B1 sur les wagons longs équipés de dispositifs de serrage d'urgence de nouvelle technologie (Wabtec ABDX ou New York Air Brake DB-20) (figure C1).

³⁷ Association of American Railroads (AAR), *Field Manual of AAR Interchange Rules* (en vigueur le 1^{er} janvier 2019), règle 4, section E.3.

Figure C1. Instructions indiquant que la valve à action rapide B1 doit être retirée (Source : Association of American Railroads, Field Manual of the AAR Interchange Rules (en vigueur le 1^{er} janvier 2019), règle 4, figure 4.16; traduction par le BST)



Les dispositifs de serrage d'urgence de nouvelle technologie comprennent une valve d'accélération de serrage (AAV)³⁸, ce qui rend inutile la valve à action rapide B1, puisque sa fonction prévue est mieux remplie par la fonction de l'AAV. Par conséquent, lorsque la valve à action rapide B1 est encore fonctionnelle sur un wagon équipé d'un dispositif de serrage d'urgence de nouvelle technologie, les effets combinés de la valve B1 et de l'AAV pourraient déclencher un taux excessif de dépression dans la conduite générale lorsqu'un freinage est effectué, ce qui pourrait entraîner un freinage d'urgence intempestif.

Pour déterminer si la configuration des valves du wagon CP 315578 aurait déclenché un taux excessif de dépression dans la conduite générale, le wagon a été soumis à un essai sur wagon individuel (SCT). À l'aide d'un dispositif SCT, une dépression de 10 lb/po² a été effectuée dans la conduite générale. Cependant, la pression dans la conduite générale a diminué au-delà de la dépression commandée en raison de la valve à action rapide B1. Pour compenser la dépression excessive involontaire dans la conduite générale et toute fuite inhérente, le personnel d'essai a activé une fonction de maintien de la pression de 10 lb/po² sur le dispositif SCT. Il en a résulté une augmentation immédiate de la pression de 1 lb/po² ou plus dans la conduite générale, ce qui a déclenché le distributeur de wagon, comme prévu, pour desserrer les freins à air du wagon.

³⁸ La valve d'accélération de serrage (AAV) est une fonction du dispositif de serrage du distributeur qui permet d'évacuer localement la conduite générale au niveau de la valve pendant un serrage des freins afin d'accélérer la dépression dans la conduite générale et l'accumulation de pression dans le cylindre de frein du wagon.

Wagon IANR 624291

Le wagon IANR 624291 (position 74) a subi un essai au moyen d'un dispositif d'essai automatisé sur wagon individuel (ASCT)³⁹. Le wagon a échoué à [traduction] « l'essai de desserrage après un freinage d'urgence »⁴⁰.

Pendant la première partie de cet essai, le dispositif ASCT surveille la pression dans la conduite générale pendant que les freins du wagon sont serrés d'urgence, et la pression dans la conduite générale devrait rester à 0 lb/po². Pendant le temps d'attente d'une minute de l'essai, une augmentation de la pression de 1 lb/po² ou plus s'est produite dans la conduite générale. Cela indiquait un mauvais fonctionnement du distributeur de wagon causé par le retour de l'air comprimé dans la conduite générale. Les 2 dispositifs du distributeur de wagon (de service et d'urgence) ont été remplacés, et le wagon a ensuite réussi à l'ASCT. Puisque l'augmentation indésirable de la pression est considérée comme une défaillance, les 2 dispositifs défectueux ont été renvoyés au fabricant, New York Air Brake, pour une inspection par démontage et une analyse de la défaillance.

Même si le retour d'air comprimé et l'augmentation de la pression dans la conduite générale qui en a résulté, observés pendant l'essai, ont indiqué un mauvais fonctionnement du distributeur de wagon, ce mode de défaillance n'aurait pas entraîné le desserrage intempestif des freins à air du train à l'étude.

Wagons de la série TTZX

Une inspection visuelle a révélé que les wagons à support central de la série TTZX qui étaient équipés d'appareils amortisseurs en bout de wagon étaient dotés de dispositifs de tuyau intermédiaire et de chariot. Certains de ces dispositifs étaient équipés de tuyaux intermédiaires de longueurs non standard.

De plus, le CP a déterminé que le tuyau intermédiaire d'au moins 3 de ces wagons risquait fortement de se plier lorsque le jeu des attelages entre les wagons était à l'état de compression, en raison de la mauvaise configuration des chariots et/ou de problèmes de désalignement.

Au moment du déraillement, le train à l'étude comptait 5 wagons TTZX situés entre les positions 77 et 104, inclusivement, près de la locomotive télécommandée à la position 73.

³⁹ Dans un essai automatisé sur wagon individuel (ASCT), un dispositif d'essai approuvé est utilisé pour vérifier le fonctionnement du système de freins à air d'un wagon particulier. L'ASCT passe par une série d'étapes d'essai pour vérifier le rendement opérationnel de diverses fonctions du système de freins à air du wagon. Chaque étape de l'essai doit être franchie avec succès avant de passer à l'étape suivante. On considère que le wagon a réussi tout l'essai lorsque toutes les étapes individuelles ont été franchies.

⁴⁰ Association of American Railroads (AAR), *Manual of Standards and Recommended Practices* (2018), spécification S-4027 : Automated Single Car Test, section 3.11.