

Bureau de la sécurité des transports  
du Canada



Transportation Safety Board  
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE  
R14V0215**



**DÉRAILLEMENT EN VOIE PRINCIPALE  
CHEMINS DE FER NATIONAUX DU CANADA  
TRAIN Q19771-09  
POINT MILLIAIRE 48,41, SUBDIVISION DE SKEENA  
KWINITSA (COLOMBIE-BRITANNIQUE)  
15 NOVEMBRE 2014**

**Canada**

Bureau de la sécurité des transports du Canada  
Place du Centre  
200, promenade du Portage, 4<sup>e</sup> étage  
Gatineau QC K1A 1K8  
819-994-3741  
1-800-387-3557  
[www.bst.gc.ca](http://www.bst.gc.ca)  
[communications@bst-tsb.gc.ca](mailto:communications@bst-tsb.gc.ca)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par  
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2016

Rapport d'enquête ferroviaire R14V0215

No de cat. TU3-6/14-0215F-PDF  
ISBN 978-0-660-05771-2

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](http://www.bst.gc.ca)

*This report is also available in English.*

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.

## Rapport d'enquête ferroviaire R14V0215

### **Déraillement en voie principale**

Chemins de fer nationaux du Canada

Train Q19771-09

Point milliaire 48,41, subdivision de Skeena

Kwinitsa (Colombie-Britannique)

15 novembre 2014

### *Résumé*

Le 15 novembre 2014, à 6 h 7, heure normale du Pacifique, le train Q19771-09 des Chemins de fer nationaux du Canada circulait vers l'ouest à environ 32 milles à l'heure, lorsque 1 locomotive et 8 wagons plats intermodaux (composés de 17 plateformes) ont déraillé au point milliaire 48,41 de la subdivision de Skeena. Aucun blessé n'a été signalé et aucune marchandise dangereuse n'était en cause.

*This report is also available in English.*



# Table des matières

1.0	Renseignements de base.....	1
1.1	L'accident .....	1
1.2	Renseignements consignés.....	4
1.3	Systèmes de détection en voie.....	4
1.4	Subdivision de Skeena.....	8
1.5	Renseignements sur le train.....	8
1.6	Locomotives.....	8
1.7	Système Trip Optimizer .....	8
1.8	Mise en œuvre de nouvelles technologies .....	11
1.9	Mise en œuvre du système Trip Optimizer aux Chemins de fer nationaux du Canada.....	12
1.10	Recherche sur l'automatisation des tâches de conduite des trains .....	12
1.11	Alarmes de locomotives .....	14
1.12	Formation des mécaniciens de locomotive sur le patinage des roues.....	20
1.13	Évaluation des lignes de visibilité vers l'arrière du train.....	22
1.14	Fatigue et rendement des équipes de train.....	23
1.15	Variabilité de l'heure de début du quart des employés .....	25
1.16	Horaire de travail et de repos de l'équipe du train.....	26
1.17	Examen en laboratoire du moteur de traction (LP244/2014) .....	27
1.18	Examen du système d'alarmes de la locomotive (LP246/2014) .....	28
2.0	Analyse .....	29
2.1	L'accident .....	29
2.1.1	Fatigue .....	30
2.2	Information sur les alarmes des locomotives branchées par l'intermédiaire de la ligne de train.....	30
2.3	Systèmes de détection en voie.....	32
2.4	Mise en œuvre de nouvelles technologies touchant la façon dont les trains sont exploités.....	33
2.5	Variabilité de l'heure de début des quarts des équipes.....	34
2.6	Évaluation des lignes de visibilité vers l'arrière du train.....	34
3.0	Faits établis.....	35
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	35
3.2	Faits établis quant aux risques.....	36
3.3	Autres faits établis.....	36
4.0	Mesures de sécurité.....	37
4.1	Mesures de sécurité prises .....	37
4.1.1	Chemins de fer nationaux du Canada.....	37

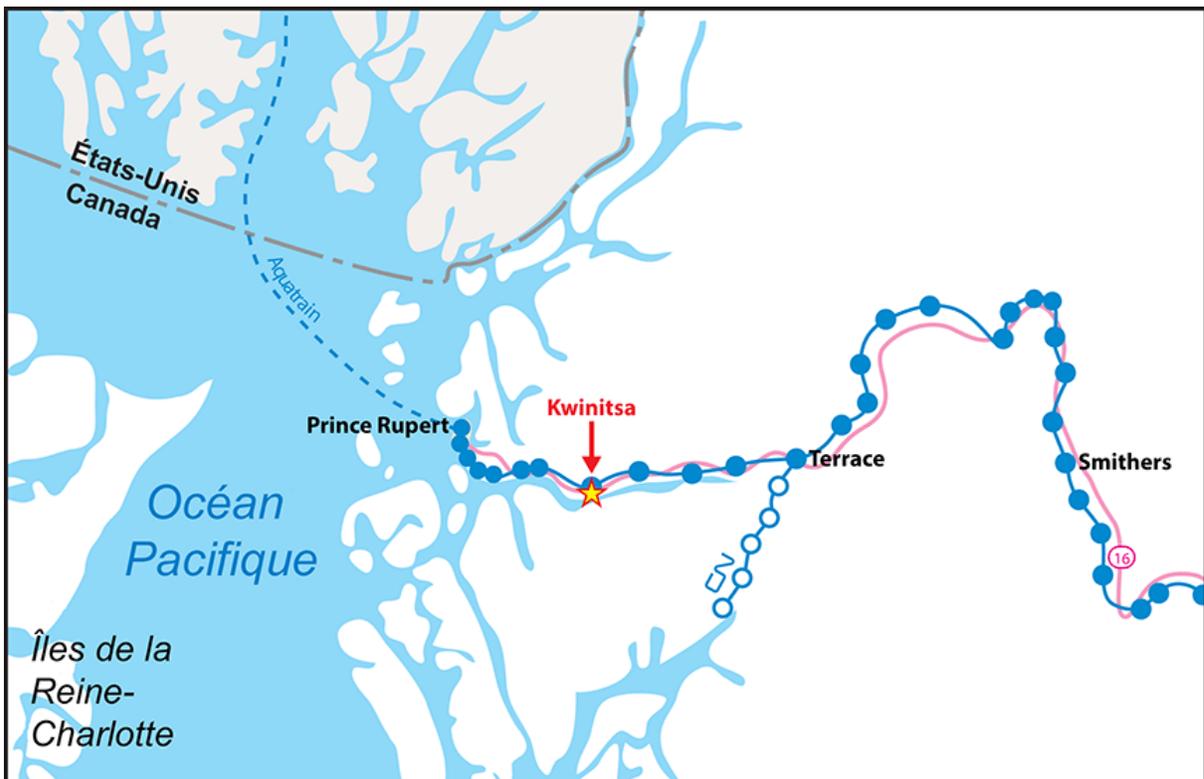


## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 L'accident

Le 15 novembre 2014, à 6 h 7<sup>1</sup>, le train Q19771-09 (le train) des Chemins de fer nationaux du Canada (CN) circulait vers l'ouest à environ 32 milles à l'heure (mi/h) lorsque 1 locomotive et 8 wagons plats intermodaux ont déraillé au point milliaire 48,41 de la subdivision de Skeena, près de Kwinitisa (Colombie-Britannique) (figure 1). Ce train ordinaire<sup>2</sup> comprenait 2 locomotives et 153 wagons plats intermodaux chargés. Il mesurait 9382 pieds et pesait 6760 tonnes. Les 17 plateformes qui ont déraillé transportaient 34 conteneurs de différents produits, dont des pois et du bois d'œuvre. Aucune marchandise dangereuse n'était en cause.

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



Le train a quitté Smithers (Colombie-Britannique) le 14 novembre vers 23 h 50 h et a d'abord parcouru la subdivision de Bulkley en direction ouest. Une fois que l'ensemble du train s'est engagé sur la voie principale, on a actionné le système Trip Optimizer<sup>3</sup> (TO, aussi appelé

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en heure normale du Pacifique.

<sup>2</sup> Un train ordinaire est un train dont toutes les locomotives sont placées en tête

<sup>3</sup> Le système Trip Optimizer est un système de gestion de l'énergie qui réduit la consommation de carburant et les forces dans le train en ajustant automatiquement le régime du moteur, le frein rhéostatique et la traction répartie.

« Optimiseur de parcours » au CN), lequel a assuré la conduite du train. Pendant qu'il circulait dans la subdivision de Bulkley, le train en a croisé 2 autres : le train Q19851-14 entre Fleming et McLeod, et le train A46051-15 à Andimaul. Ces croisements n'ont nécessité aucun arrêt de ces trains.

Le 15 novembre, à 4 h, le train a quitté Terrace (Colombie-Britannique) et a entamé son voyage vers l'ouest dans la subdivision de Skeena. Dans cette subdivision, le train a franchi 3 détecteurs de boîtes chaudes (DBC) aux points milliaires 5,1, 17,0 et 32,2, lesquels comprenaient également des détecteurs de pièces traînantes (DPT) et des détecteurs de roues chaudes (DRC). Aucun des détecteurs à ces 3 emplacements n'a signalé d'anomalie. Vers 5 h, le train a pris la voie d'évitement à Salvus (point milliaire 36,5) pour croiser le train G84651-15 (train 846) circulant en direction opposée. Le train s'est immobilisé et a attendu le train 846 pendant une quarantaine de minutes. L'équipe a effectué l'inspection au défilé<sup>4</sup> obligatoire du train 846. Après l'inspection et la reprise du mouvement vers l'ouest, les écrans intelligents intégrés (SDIS) de la locomotive menante ont indiqué une alarme d'antipatinage. Des alarmes d'antipatinage intermittentes se déclenchent couramment lorsque les locomotives produisent un effort de traction élevé, notamment au moment de la reprise d'un mouvement après un arrêt.

Une fois que l'ensemble du train s'est engagé sur la voie principale, on a réactivé le TO. Le mécanicien de locomotive a constaté que le train semblait accélérer moins rapidement que ce à quoi il s'attendait. Au point milliaire 45,9, environ 10 milles à l'ouest de Salvus, le train a franchi un autre DBC, lequel n'a signalé aucune anomalie. Environ 2,5 milles plus à l'ouest, alors que la tête du train franchissait l'aiguillage ouest de la voie d'évitement de Kwinitsa (y compris son cœur de croisement<sup>5</sup>), l'équipe a senti quelques chocs. Peu après, un freinage d'urgence provoqué par le train s'est déclenché. Le train s'est immobilisé; l'équipe a lancé l'appel d'urgence obligatoire sur la radio, puis a inspecté le train.

L'examen a permis de faire les constatations suivantes :

- L'essieu n° 4 de la locomotive menée (CN 5543) était grippé (c.-à-d., il ne tournait pas), et cette locomotive et les 8 premiers wagons (comprenant 17 plateformes) ont déraillé.
- La roue D4 de la locomotive menée a déraillé du côté intérieur du rail sud.
- Le premier wagon, DTTX 74619 (5 plateformes), a déraillé, mais est demeuré attelé aux locomotives. Les 6 wagons suivants ont déraillé en accordéon du côté nord de la voie et se sont immobilisés dans la crique Swamp. Deux des 3 plateformes du dernier wagon qui a déraillé (DTTX 786362) ont déraillé, mais sont demeurées à la verticale (figure 2).

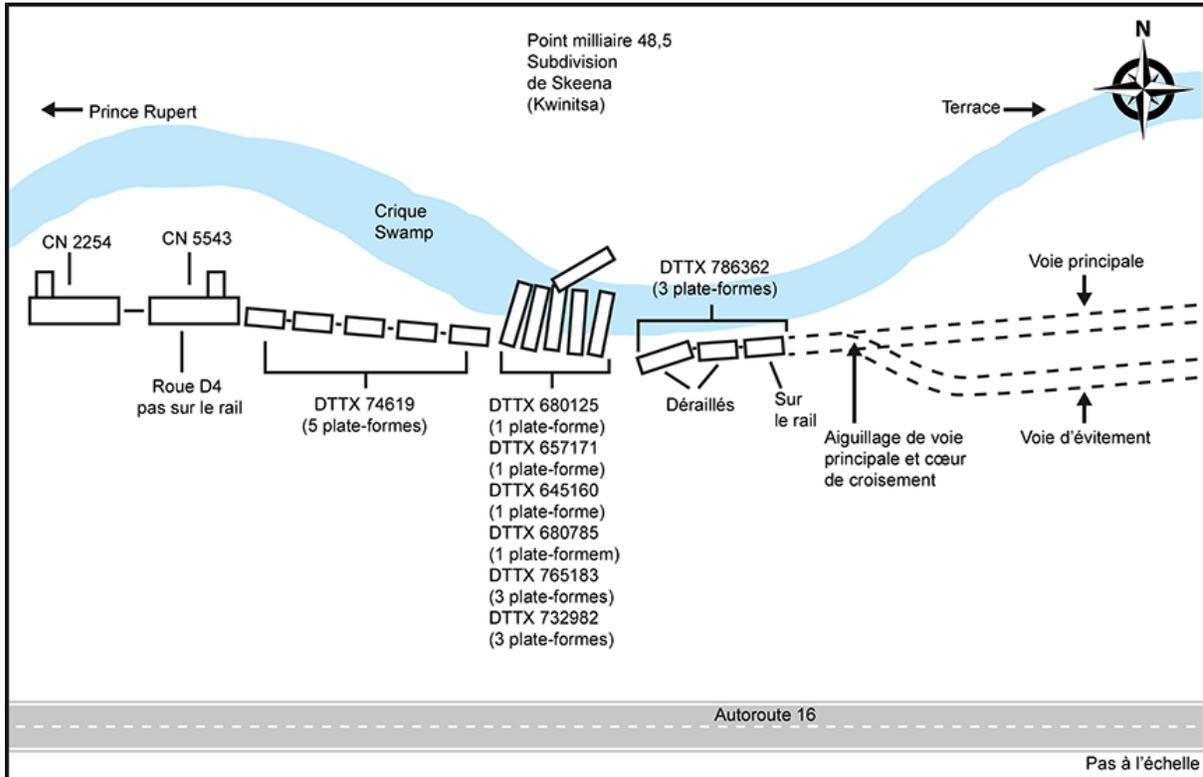
---

<sup>4</sup> Conformément à l'extrait suivant de la règle 110 (a) du REFC : « [l]orsque leurs obligations et le terrain le permettent, au moins deux membres de l'équipe d'un train [...] à l'arrêt [...] doivent se poster au sol des deux côtés de la voie pour surveiller l'état du matériel roulant des trains [...] qui passent ».

<sup>5</sup> Un cœur de croisement est un élément de voie qui est installé à l'intersection de 2 rails de roulement et qui permet aux roues et aux boudins de roues de traverser le rail opposé.

- Le rail nord a été principalement endommagé près des wagons intermodaux qui ont déraillé du côté nord et qui se sont immobilisés dans le ruisseau.
- À l'ouest de l'aiguillage de la voie d'évitement, le rail sud s'est renversé ou a été déplacé sur environ 300 pieds.

Figure 2. Plan du lieu du déraillement



Des fèves de soja se sont échappées dans le cours d'eau adjacent (crique Swamp) d'au moins 1 des conteneurs endommagés pendant le déraillement. L'eau a continué d'affluer dans les conteneurs endommagés (par le renouvellement des marées), entraînant avec elle, en s'échappant, d'autres fèves de soja dans le cours d'eau après le déraillement. La poussée d'Archimède n'agit plus sur les fèves de soja une fois qu'elles sont saturées; elles ont donc glissé au fond du ruisseau au gré des courants changeants produits par les marées montantes et descendantes.

Les travaux de nettoyage et de rétablissement ont commencé le 16 novembre 2014. Pendant le nettoyage, on a utilisé des camions aspirateurs pour retirer les fèves de soja des conteneurs. On a récupéré un total de 2 m<sup>3</sup> de fèves de soja. On a installé des clôtures grillagées pour réduire leur mouvement en aval. Environ 220 m<sup>3</sup> de fèves de soja se sont retrouvés dans la crique. Elles ont été transportées à environ 150 mètres en aval et 70 mètres en amont du lieu du déraillement.

On a retiré les wagons endommagés de la crique. Les fèves de soja récupérées ont été transportées vers des sites d'enfouissement à Terrace et Prince Rupert (Colombie-Britannique).

En fonction des conditions de l'emplacement, de l'habitat des poissons dans la crique Swamp et des risques probablement faibles que constituent les fèves de soja pour les ressources aquatiques, on n'a pas déployé d'autres efforts pour récupérer les fèves de soja qui ont été déversées dans la zone assujettie à la marée haute. Toute autre tentative de récupérer les fèves de soja (à l'aide d'aspirateurs ou de méthodes manuelles) se serait probablement soldée par une sédimentation accrue difficilement maîtrisable.

On a déterminé que la dégénérescence des fèves de soja serait relativement lente en saison hivernale. On s'attendait à ce que les fèves de soja déversées restantes commencent à se décomposer au printemps. Cette décomposition se traduit généralement par une certaine demande en oxygène, ce qui peut modifier le potentiel d'hydrogène (pH) des eaux chaudes et stagnantes. Toutefois, en raison des effets de la marée et des caractéristiques du bassin à cet endroit, on a déterminé que la décomposition des fèves de soja aurait peu de répercussions sur la qualité de l'eau. Malgré tout, on a surveillé la qualité de l'eau et la distribution des fèves de soja déversées au cours de l'été 2015.

## 1.2 Renseignements consignés

Un examen de l'enregistreur d'événements des 2 locomotives a permis de faire les constatations suivantes :

- L'alarme d'antipatinage s'est déclenchée lorsque le train a recommencé à circuler en direction ouest après un croisement à Salvus.
- Cette alarme a continué à se déclencher de manière intermittente jusqu'au moment du déraillement, soit pendant environ 24 minutes et sur 11 milles.
- Le freinage d'urgence provoqué par le train s'est produit au point milliaire 48,41 alors que le train circulait à 32 mi/h.

## 1.3 Systèmes de détection en voie

Le réseau du CN comporte plus de 890 DBC espacés d'environ 12 à 15 milles en voie principale. Ces détecteurs sont branchés à un réseau de communication. Grâce à ce réseau, les contrôleurs de la circulation ferroviaire (CCF) et les techniciens, Mécanique - CCF (TM-CCF) du CN (en poste 24 heures par jour) d'un centre de contrôle centralisé ont accès aux données sur la température des roulements à rouleaux et des roues. Tous les DBC comportent également un DPT, et plus de 600 DBC/DPT sont accompagnés d'un DRC.

Les DBC/DRC mesurent la chaleur produite par les roulements à rouleaux et les roues qui franchissent les capteurs installés en bordure de la voie. Ils comportent 2 capteurs de roulements, 2 capteurs de roues (à la plupart des emplacements), 1 DPT et 4 transducteurs (c.-à-d., des transducteurs avancés et des transducteurs d'entrée). Tous les transducteurs sont boulonnés aux rails selon un espacement précis pour détecter les roues d'un train. Les transducteurs avancés activent le DBC à l'approche d'un train. Les transducteurs d'entrée sont conçus pour définir le taux d'échantillonnage des capteurs, compter les essieux et détecter les trains.

Les capteurs analysent 28 lectures de température par roue/roulement pour déceler toute température anormalement élevée. Si une lecture de température dépasse le seuil défini, un message d'alarme à l'intention de l'équipe de train est immédiatement transmis sur un canal radio désigné. Ce système est conçu pour transmettre un message après le passage du train, lorsque toutes les roues et tous les roulements ont été inspectés. Dans le message diffusé sur le canal radio désigné, le système indique que le train ne comporte pas de défaillances, ou énumère celles qu'il a détectées. Si une alarme de roue chaude, de roulement chaud ou de pièce traînante se déclenche, une alarme surgit également à l'écran de l'ordinateur des CCF et des TM-CCF du centre de contrôle centralisé.

Les DBC/DRC peuvent aussi calculer la vitesse, la longueur et la direction du train, l'espacement des essieux, et le nombre d'essieux et de wagons. Le système enregistre les résultats de chaque train à des fins d'examen ultérieur. On peut aussi consulter ces données à l'aide du système WIM (gestion de l'information des systèmes de détection en voie) du CN. Ce système est conçu pour transmettre un message pour les trains et tout autre matériel roulant comprenant au moins 4 essieux; ainsi, aucun message n'est transmis lorsqu'un véhicule rail-route franchit l'emplacement. Tous les détecteurs peuvent diffuser des messages radio personnalisés. Au moment de l'événement à l'étude, le message radio transmis après le passage du train ne comprenait pas le nombre total d'essieux du train.

Dans l'événement à l'étude, après avoir quitté Terrace, le train a franchi 4 DBC/DRC/DPT aux points milliaires 5,1, 17, 32,2 et 45,9, le dernier se trouvant entre la voie d'évitement de Salvus (point milliaire 36,2) et le lieu du déraillement (point milliaire 48,5). Les détecteurs des 3 premiers emplacements ont enregistré une température des roues endommagées de la locomotive menée inférieure à 100 °F. Ces détecteurs n'ont diffusé aucune alarme.

Dans l'événement à l'étude, les roues de l'essieu n° 4 de la locomotive menée ne tournaient pas, car l'essieu était grippé. Ces roues glissaient sur le champignon des rails, ce qui a causé une usure de la table de roulement des roues et des brûlures de contact avec le rail (photo 1 et photo 2). À mesure que les roues s'usaient, les boudins de roues ont descendu sous le champignon des rails à un point tel qu'ils ont heurté et délogé les 2 transducteurs de chaleur intérieurs du dernier détecteur franchi par le train avant le déraillement. Les transducteurs, quoique délogés, ont continué à fonctionner, mais ne pouvaient plus effectuer de lectures en raison de leur désalignement. Les transducteurs se sont ensuite entièrement détachés des rails; le détecteur a cessé de recevoir les impulsions créées par le passage du train et a commencé à traiter le message normalement diffusé après le passage du train. Le train a reçu le message « Aucun problème » sur le canal radio désigné. Toutefois, les capteurs de roulements et de roues ont mesuré la température de seulement 9 essieux (c.-à-d., les 6 essieux de la locomotive menante et les 3 premiers essieux de la locomotive menée).

Sur le réseau du CN, les détecteurs sont configurés pour différencier les défaillances en transmettant certains signaux sonores sur le canal d'attente. Lorsqu'aucune défaillance n'est détectée pendant une inspection, le message automatisé est diffusé environ 30 secondes après le franchissement du détecteur par le train. Lorsque des défaillances sont détectées, un message est immédiatement diffusé sur le canal d'attente.

Selon l'information enregistrée par le DBC, le train a activé le détecteur à 6 h 2 min 36 s. Le train circulait à environ 35 mi/h (51,3 pieds par seconde). À cette vitesse, le franchissement du DBC par l'ensemble du train (9382 pieds) aurait nécessité environ 3 minutes, et le système aurait commencé la transmission des résultats de l'inspection 30 secondes plus tard.

Comme les transducteurs d'entrée ont été délogés, le système DBC a transmis les résultats environ 30 secondes après le passage des 9 premiers essieux (c.-à-d., environ 35 secondes après l'activation du détecteur). L'équipe n'a pas remarqué la diffusion précoce des résultats de l'inspection du DBC.

Les lectures enregistrées pour les roues de l'essieu grippé de la locomotive menée étaient de 554 °F et 545 °F. Au CN, les roues dont la température est d'entre 300 °F et 557 °F sont considérées comme des roues tièdes; ainsi, les roues de l'essieu grippé n'ont pas atteint le seuil d'alarme de roue chaude, et le DBC/DRC/DPT n'a pas diffusé d'alarme. Toutefois, les lectures des roues tièdes ont fait surgir un message à l'écran de l'ordinateur du TM-CCF. Ce dernier n'a pas eu la chance d'assurer un suivi de la situation, car le train a déraillé peu de temps après avoir franchi les détecteurs.

Photo 1. Brûlures de contact avec le rail



Photo 2. Table de roulement endommagée



Les DRC ne sont pas spécialement conçus pour détecter la chaleur produite par le patinage des roues; ils sont plutôt créés, orientés et étalonnés pour mesurer la chaleur produite par la friction entre les sabots de frein et les roues en rotation. De plus, les seuils d'alarme de roue chaude n'ont pas été définis en fonction de la chaleur produite par le patinage des roues.

## 1.4 *Subdivision de Skeena*

La subdivision de Skeena est une ligne principale à voie simple qui s'étend d'est en ouest, de Terrace (Colombie-Britannique), au point milliaire 0,0, à Prince Rupert (Colombie-Britannique), au point milliaire 94,6. Dans cette subdivision, les mouvements de train sont régis par le système de commande centralisée de la circulation (CCC), tel qu'autorisé par le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* (REF) et sous la supervision d'un CCF en poste à Edmonton (Alberta). La vitesse limite autorisée pour les trains de marchandises dans les environs du déraillement est de 40 mi/h.

La subdivision de Skeena comprend 7 DBC/DRC/DPT, lesquels étaient situés aux points milliaires 5,1, 17,0, 32,2, 45,9, 60,6, 75,2 et 84,0.

Dans les environs du lieu du déraillement, la voie était composée de longs rails soudés de 136 livres fabriqués par Sydney Steel Corporation en 1992. Les rails étaient posés sur des selles à double épaulement fixées à des traverses en bois dur de 8 pieds 6 pouces à l'aide de 5 crampons chacune. Le ballast était composé de gravier standard de 3 ½ pouces.

## 1.5 *Renseignements sur le train*

L'équipe de train se composait de 1 mécanicien de locomotive et de 1 chef de train. Les 2 membres de l'équipe étaient qualifiés pour leur poste respectif, répondaient aux normes d'aptitude au travail et de repos, et connaissaient bien les méthodes d'exploitation dans les subdivisions de Bulkley et de Skeena. Le chef de train était également un mécanicien de locomotive qualifié.

## 1.6 *Locomotives*

La locomotive menante (CN 2254) était une ES44DC (Evolution Series - EVO) de General Electric de 200 tonnes et 4400 hp, dotée de 6 essieux et 6 moteurs de traction. La locomotive menée (CN 5543) était une SD60 d'EMD de 184 tonnes et 3800 hp, dotée de 6 essieux et 6 moteurs de traction. Les 2 locomotives étaient en état de marche et fonctionnaient normalement.

## 1.7 *Système Trip Optimizer*

Le système Trip Optimizer (TO) est un système dont sont munies les locomotives afin de réduire la consommation de carburant et les efforts générés dans le train en commandant automatiquement le régime du moteur et le freinage rhéostatique. En réduisant les efforts générés dans le train, le système peut également réduire les risques de ruptures d'attelage ou de dommages aux marchandises des clients. Le système TO se compare au régulateur de vitesse dans une voiture. Au CN, le système TO était installé sur toutes les locomotives ES44DC (EVO) de General Electric dotées d'écrans intelligents (SDIS), y compris la locomotive menante du train en cause dans l'événement.

La brochure de General Electric décrit en ces termes certaines des fonctions du système TO :

- Création d'un itinéraire optimisé pour chaque train traversant un tronçon donné.
- Commande automatique du régime du moteur, du frein rhéostatique (tête de train) et de la traction répartie (locomotives télécommandées).
- Surveillance de la puissance, de la vitesse, du patinage, de l'état du moteur, de la qualité du rail et des effets du vent.
- Commande automatique en circuit fermé<sup>6</sup> du régime du moteur et du frein rhéostatique avec supervision constante de l'opérateur et reprise des commandes possible en tout temps.
- Commande automatique et indépendante de la traction répartie<sup>7</sup> facilitant la conduite de longs trains en terrain difficile.

Lorsqu'un mécanicien de locomotive conduit un train manuellement, il gère la vitesse et le freinage en se fiant aux paramètres visuels de l'interface, aux renseignements sur les vitesses limites disponibles dans l'environnement, à sa connaissance des règles et des procédures, à sa formation et à son expérience. Au sein de cette stratégie de conduite en circuit fermé, le mécanicien de locomotive peut gérer la vitesse prévue, la vitesse demandée et la vitesse réelle en fonction de rétroaction immédiate en temps réel.

Dans un système de conduite en circuit fermé, le mécanicien de locomotive assume 2 tâches<sup>8</sup> :

1. Collecte de données : Observer et interpréter l'information sur l'état du véhicule et des systèmes par l'intermédiaire de canaux d'information visuels et auditifs.
2. Conduite : Utiliser les données perçues, conjointement avec les règles et les règlements d'exploitation, pour prendre des décisions de conduite et poser des gestes concrets (commande du manipulateur et des freins).

Il est possible d'automatiser ces 2 tâches. Le système de collecte automatisée de données est accompagné d'une automatisation de l'affichage qui facilite la perception des données. La conduite automatisée est accompagnée de systèmes de commande de surveillance qui prennent en charge les réglages physiques de la locomotive, ou un certain nombre d'entre eux. La commande de surveillance de la vitesse peut prendre différentes formes, d'un simple régulateur de vitesse à un pilote automatique complet programmé pour ajuster la vitesse en fonction de la position du véhicule.

Dans le cas du système TO, la collecte des données et la conduite sont automatisées par un système de commande de surveillance comprenant un pilote automatique complet. L'écran

---

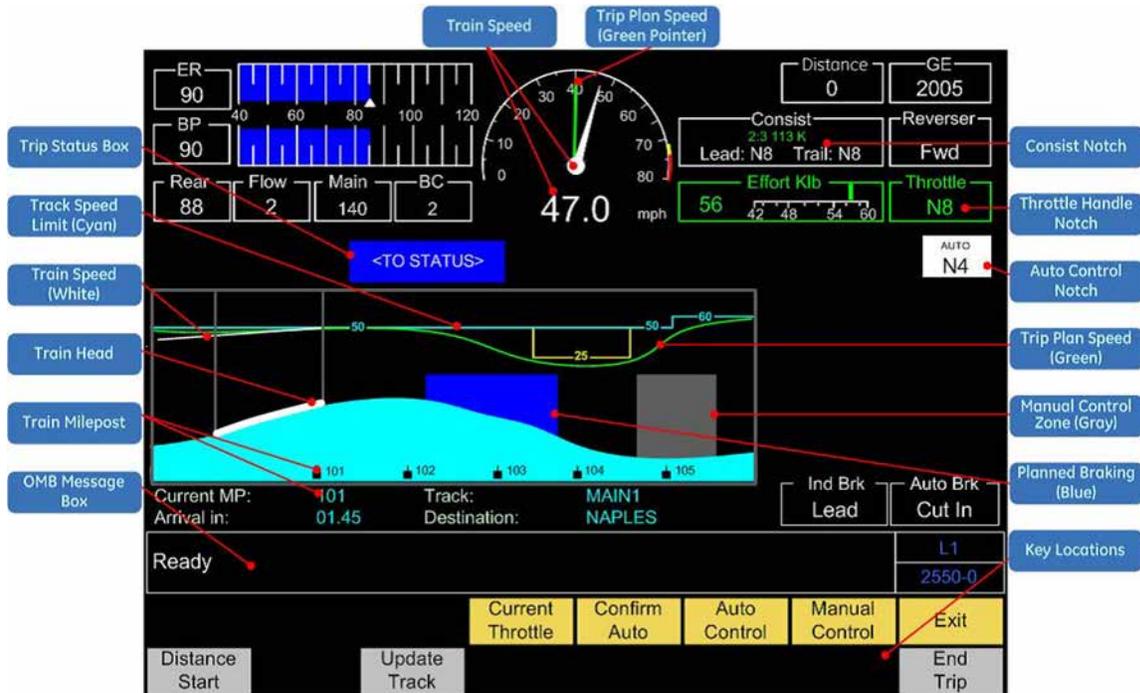
<sup>6</sup> Les systèmes en circuit fermé sont conçus pour atteindre et maintenir la condition de sortie voulue en la comparant à l'état réel de la condition.

<sup>7</sup> Le système Trip Optimizer passe automatiquement de la surveillance synchrone à la surveillance indépendante pour optimiser l'efficacité énergétique et atténuer les forces dans le train.

<sup>8</sup> U.S. Department of Transportation, 2005. *Human Factors Phase 111: Effects of train control technology on operator performance*, DOT/FRA/ORD-04/18.

de conduite du système TO, qui fait partie des écrans SDIS (figure 3), sert d'interface entre le système TO et le mécanicien.

Figure 3. Écran de conduite du système Trip Optimizer affiché sur écrans intelligents intégrés (SDIS) (Source : Chemins de fer nationaux du Canada, disponible en anglais seulement)



Au moment de la reprise d'un mouvement après un arrêt, comme à la voie d'évitement de Salvus, le mécanicien de locomotive conduit le train en mode manuel jusqu'à ce que les conditions du système TO pour la conduite automatique soient satisfaites. Ces conditions comprennent notamment

- l'atteinte d'une vitesse minimale,
- le dégagement du train de la gare ou de la voie d'évitement,
- la remise à zéro de toutes les erreurs/alarmes actives (gérées par le système TO)<sup>9</sup>.

Une fois que ces conditions sont satisfaites et que le système TO est actionné, le mécanicien de locomotive ne commande plus manuellement la vitesse du train.

Lorsque le train est en mode automatique, le mécanicien de locomotive doit surveiller le système TO à l'aide des écrans SDIS pour garantir l'exploitation sécuritaire du train. Le mécanicien de locomotive doit reprendre les commandes manuelles, au besoin. Les exigences d'exploitation énoncées dans le document *Optimiseur de parcours – Guide d'utilisation*<sup>10, 11</sup> comprennent notamment ce qui suit :

<sup>9</sup> Le système Trip Optimizer ne gère pas les alarmes d'antipatinage de la locomotive.

<sup>10</sup> Pratiques d'exploitation du CN, *Optimiseur de parcours – Guide d'utilisation*, janvier 2011.

<sup>11</sup> Pratiques d'exploitation du CN, *Optimiseur de parcours – Guide d'utilisation*, septembre 2013.

Le mécanicien de locomotive demeure responsable d'observer l'ensemble des règles d'exploitation et des techniques de conduite sécuritaire. Si l'on ne prévoit pas une distance d'arrêt suffisante, le train risque de dépasser un signal. Lorsque la fonction Frein rhéostatique est activée, le mécanicien de locomotive doit surveiller continuellement l'effort de freinage rhéostatique [...] afin d'assurer la marche sécuritaire du train. Toute anomalie constatée par le mécanicien de locomotive ayant une incidence sur la sécurité justifie l'arrêt immédiat de l'Optimiseur de parcours.

Le système TO demeure actif jusqu'à ce que le train atteigne une plage déterminée de rétablissement du mode manuel ou qu'un imprévu se produise. Dans ces situations, le mécanicien de locomotive prend les commandes. En cas d'imprévu (p. ex., si le système TO détecte une erreur nécessitant l'intervention du mécanicien de locomotive), des alarmes sonores se déclenchent, un avis s'affiche sur les écrans SDIS, et les commandes passent automatiquement et sans préavis en mode de conduite manuelle.

Au moment de l'événement, le système TO était installé dans 318 locomotives du CN, ce qui correspond à moins du quart de son parc. Un mécanicien de locomotive utilise normalement le système TO pour conduire les locomotives de 30 % à 50 % du temps. Le reste du temps, un mécanicien de locomotive conduit des locomotives non dotées du système TO dont les commandes sont entièrement manuelles. Pendant les voyages de trains dont la locomotive menante est dotée du système TO, le système est normalement actif environ 50 % à 60 % du temps.

## 1.8 *Mise en œuvre de nouvelles technologies*

En vertu du *Règlement de 2015 sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* de Transports Canada, les compagnies ferroviaires doivent

- a) identifier les problèmes et les préoccupations en matière de sécurité, dont ceux liés aux facteurs humains, aux tiers et aux changements considérables à l'exploitation ferroviaire; et
- b) effectuer une évaluation des risques pour définir et classer les risques.

Au CN, on effectuait des évaluations des risques officielles de manière systématique et structurée avant la mise en œuvre d'un changement quelconque à l'exploitation. Ces évaluations permettaient la définition et la classification des risques liés à la mise en œuvre de nouvelles technologies. De plus, les employés effectuant ces évaluations des risques avaient reçu une formation.

Les évaluations des risques liés aux nouvelles technologies et aux autres facteurs pouvant entraîner des changements considérables à l'exploitation ferroviaire constituaient une partie intégrante du système de gestion de la sécurité du CN.

## 1.9 *Mise en œuvre du système Trip Optimizer aux Chemins de fer nationaux du Canada*

Le CN a commencé la mise en œuvre du système TO en 2009. Dans le territoire du nord de la Colombie-Britannique du CN, qui comprend les subdivisions de Bulkley et de Skeena, le système TO a été mis en œuvre en 2012. Avant cette mise en œuvre, le CN a effectué une évaluation des risques portant principalement sur l'intégration physique du système dans les locomotives. Le CN a également collaboré avec General Electric, le fabricant et concepteur du système TO, pour élaborer un programme de formation. On mettait à jour ce programme de formation et les procédures connexes à chaque mise à niveau du système TO.

Lorsqu'un mécanicien de locomotive qualifié était appelé à conduire un train dans une subdivision où l'on utilisait le système TO, on lui offrait la plus récente formation sur ce système et lui fournissait la dernière version de la procédure. Tous les nouveaux mécaniciens de locomotive suivaient une formation sur le système TO dans le cadre de leur formation de mécanicien de locomotive. La formation d'environ 4 heures en classe sur le système TO offerte aux mécaniciens de locomotive (et aux chefs de train) comportait une présentation PowerPoint sur le fonctionnement et les caractéristiques du système TO. On offrait également des formations d'appoint sur ce système comportant des consultations de documentation, des formations aux terminaux ou des voyages avec d'autres équipes de train.

## 1.10 *Recherche sur l'automatisation des tâches de conduite des trains*

L'analyse des facteurs humains portant sur un autre système d'automatisation en cabine, le système européen de gestion du trafic ferroviaire (en anglais, European Rail Traffic Management System, ou ERTMS), a permis de constater que l'automatisation d'une partie considérable des tâches d'un mécanicien de locomotive réduit les tâches psychomotrices et visuelles (car l'information est combinée sur un écran dans la cabine). Au cours d'un voyage typique, le mécanicien de locomotive peut avoir jusqu'à 1000 tâches cognitives de moins à exécuter. La mise en œuvre d'un tel système a transformé une stratégie de conduite proactive et anticipatoire en une stratégie de suivi réactif. Une telle transformation s'est avérée créer des situations de faible charge de travail pouvant avoir les effets suivants :

- Une faible charge de travail et des tâches monotones peuvent réduire le niveau d'éveil d'une personne, et ainsi exacerber la somnolence et la fatigue<sup>12</sup>. En particulier, de longues périodes d'inertie n'étant ponctuées que d'occasionnelles manipulations des commandes peuvent entraîner une fatigue passive<sup>13</sup>. Ces manipulations

---

<sup>12</sup> S.G. Larue, A. Rakotonirainy et A.N. Pettitt, 2011. « Driving performance impairments due to hypovigilance on monotonous roads », *Accident Analysis & Prevention*, 43 (2207), pages 2037 à 2046.

<sup>13</sup> D.J. Saxby, G. Matthews, E.M. Hitchcock et J.S. Warm, 2007. « Development of active and passive fatigue manipulations using a driving simulator », *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, Santa Monica (É.-U.).

minimales, combinées à une faible charge de travail, peuvent accroître la sensation de léthargie d'une personne déjà fatiguée.

- Une réduction de la charge de travail et du niveau d'éveil peut entraîner une réduction proportionnelle de la vigilance. La vigilance est associée aux états de veille suffisante qui optimisent la surveillance de l'environnement, et plus particulièrement, la recherche attentive de stimuli potentiellement dangereux<sup>14</sup>. Selon une étude des effets de l'automatisation sur les mécaniciens de locomotive, les niveaux élevés d'automatisation réduisent la vigilance, et cela empire avec le temps consacré à la tâche<sup>15</sup>.
- Il a été montré qu'une baisse de vigilance réduit le taux de détection des stimuli critiques pendant toute la durée d'une tâche donnée<sup>16</sup>. On a constaté la même chose dans le cas des technologies d'automatisation des automobiles, comme le régulateur de vitesse. Les personnes accomplissent les tâches secondaires plus efficacement lorsque les tâches principales sont automatisées, mais prennent généralement plus de temps à détecter les dangers<sup>17</sup>.

En raison de ces études, le Rail Safety and Standards Board (RSSB) du Royaume-Uni a indiqué que la formation des mécaniciens de locomotive devait être mise à jour lors de la mise en œuvre de nouvelles technologies pour tenir compte des changements devant être apportés aux habiletés non techniques. Cette formation supplémentaire pourrait traiter de différentes habiletés, dont l'attention aux détails, la prise de conscience globale, la concentration et l'anticipation des risques<sup>18</sup>.

De plus, le Department of Transportation des États-Unis a comparé les différents niveaux d'automatisation de la conduite des trains (c.-à-d., allant du régulateur de vitesse au pilote automatique complet)<sup>19</sup>. On a constaté que pendant l'exploitation normale, l'automatisation complète permettait une meilleure conscience situationnelle de la tâche générale de conduite. En effet, elle libère des ressources attentionnelles qui peuvent être consacrées aux tâches secondaires et à la surveillance des défaillances. Toutefois, certains opérateurs ont indiqué qu'ils se sentaient « déconnectés » de la tâche principale. Cela fait ressortir le fait qu'il peut

---

<sup>14</sup> B.S. Oken, M.C. Salinsky et S.M. Elsas, 2006. « Vigilance, alertness, or sustained attention: Physiological basis and measurement », *Clinical Neurophysiology*, 117, pages 1885 à 1901.

<sup>15</sup> P. Spring, M. Baysari, C. Caponecchia et A. Mcintosh, 2008. « Level of automation: Effects on train driver vigilance », *Proceedings of the 44th Annual Human Factors and Ergonomics Society of Australia Conference*, pages 264 à 271.

<sup>16</sup> J. Deaton et R. Parasuraman, 1997. « Effects of task demands and age on vigilance and subjective workload », *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 32, pages 1458 à 1462.

<sup>17</sup> C. Rudin-Brown et H. Parker, 2004. « Behavioural adaptation to adaptive cruise control: Implications for preventative strategies », *Transportation Research*, partie F 7, pages 59 à 76.

<sup>18</sup> Rail Safety and Standards Board, 2012. « Operations and Management – Non-technical skills for rail: A list of skills and behavioural markers for drivers », rapport du projet de recherche T869.

<sup>19</sup> U.S. Department of Transportation, 2005. *Human Factors Phase 111: Effects of train control technology on operator performance*, DOT/FRA/ORD-04/18.

être difficile de maintenir une conscience situationnelle lorsque des anomalies complexes touchent la tâche principale, surtout en présence de désengagement ou de fatigue.

### 1.11 Alarmes de locomotives

Les locomotives modernes sont dotées de systèmes de commande informatisés qui surveillent de nombreux aspects de leur fonctionnement. Par exemple, ces systèmes surveillent les composants électriques et mécaniques des locomotives pour détecter toute défaillance pouvant nuire à la sûreté de l'exploitation. Chaque système affiche les anomalies de manière différente, selon le type et le modèle de la locomotive et les capacités des systèmes.

Lorsque les locomotives sont branchées les unes aux autres à l'aide de câblots d'attelage, les défaillances détectées par le système de commande de 1 locomotive sont transmises aux autres locomotives. Les câblots d'attelage sont dotés de fiches à 27 broches; la broche n° 10 étant assignée au système d'alarme d'antipatinage (tableau 1). Toutefois, lorsqu'une défaillance est transmise aux locomotives, les autres locomotives ne présentent pas toujours l'alarme correspondante de la même manière. De plus, les renseignements sur l'anomalie ne sont pas tous nécessairement affichés.

Selon le *Manual of Standards and Recommended Practices* de l'Association of American Railroads (AAR), l'urgence de l'information ferroviaire transmise par une alarme doit être indiquée par la couleur d'arrière-plan (c.-à-d., que les alarmes les plus urgentes ont un arrière-plan rouge, les alarmes moins urgentes ont un arrière-plan jaune, et les alarmes les moins urgentes ont un arrière-plan blanc)<sup>20</sup>.

La locomotive menante du train en cause dans l'événement, CN 2254, était une locomotive ES44DC construite en 2006. La locomotive menée, CN 5543, était une locomotive SD60F construite en 1989. Les locomotives ES44DC et SD60F ont des fonctions d'affichage d'alarmes différentes, ce qui comprend la manière dont le signal d'antipatinage est affiché dans la locomotive. Lorsqu'un groupe de traction comprend ces 2 modèles de locomotives, les alarmes de la locomotive menée (SD60F) sont affichées à l'équipe de train prenant place dans la locomotive menante (ES44DC). Dans les locomotives ES44DC et SD60F, le témoin « WHEEL SLIP » (« ANTIPATINAGE ») est blanc à texte noir.

---

<sup>20</sup> Association of American Railroads, 2007. *Manual of Standards and Recommended Practices*, section M (« Locomotives and Locomotive Interchange Equipment S-591, Locomotive System Integration Operating Display »), version du 25 février 2010.

Tableau 1. Normes de l'Association of American Railroads pour les fils des câblots d'attelage à 27 broches  
(Source : Chemins de fer nationaux du Canada, traduction par le BST)

LIGNES DE TRAIN DE LA LOCOMOTIVE				
CAPOT COURT	CAPOT LONG	FIL	FONCTION	EMPLACEMENT SUR LE SCHÉMA
1	1	PRS	RÉDUCTION DE LA PUISSANCE	J1-C7
2	2	SG	CARILLON DE SIGNAL ET D'ALARME	H-C4
3	3	DV	SOLÉNOÏDE D DU MANIPULATEUR	H3-E1
4	4	N	NÉGATIF DE COMMANDE	U4-B5
5	5	ES	SABLAGE D'URGENCE	H2-C9
6	6	GF	CHAMP DE GÉNÉRATRICE	J1-C9
7	7	CV	SOLÉNOÏDE C DU MANIPULATEUR	H3-E8
8	8	RE	MARCHE ARRIÈRE ET AVANT	J-ES
9	9	O	MARCHE AVANT ET ARRIÈRE	J-D2
10	10	WS	PATINAGE	H-C1
11	11	BA	RECHANGE	N-A5
12	12	BV	SOLÉNOÏDE B DU MANIPULATEUR	H3-E6
13	13	PC	POSITIF DE COMMANDE	U2-E9
14	14	SN	RECHANGE	N-A3
15	15	AV	SOLÉNOÏDE A DU MANIPULATEUR	H3-E2
16	16	ER	MARCHE DU MOTEUR	H3-E9
17	17	B	CONFIGURATION DU FREIN RHÉOSTATIQUE	J1-C0
18	18	US	RECHANGE	N-A4
19	19	NN	NÉGATIF DE COMMANDE	U4-E7
20	20	BW	AVERTISSEMENT DE FREIN RHÉOSTATIQUE	H-A7
21	21	BC	DÉMARRAGE DU FREIN RHÉOSTATIQUE	J1-C3
22	22	CC	SYNCHRONISATION DES COMPRESSEURS	H2-C4
23	23	SA	SABLAGE	H2-C1
24	24	BC	EXCITATION DE FREINAGE	J1-C4
25	25	HL	PHARES UM	K1-A6
26	26	SV	RECHANGE	N-A3
27	27	RV	RECHANGE	N-A2

Les systèmes des locomotives SD60F surveillent continuellement les roues et la puissance relative consommée par les moteurs de traction. En cas d'anomalie, le témoin « WHEEL SLIP » s'allume. Ce témoin fait partie d'un groupe de 6 témoins lumineux situés sur un panneau au-dessus du poste du mécanicien de locomotive (photo 3). Ce témoin blanc à texte noir est utilisé pour attirer l'attention de l'équipe sur 5 défaillances potentielles liées aux roues et à une défaillance générale du système Super Series<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> *SD60F Locomotive Service Manual for Canadian National Railways Class GF-638b Units 5504 through 5563* (juin 1991). Le système Super Series est un système de gestion d'antipatinage d'EMD.

Photo 3. Voyant lumineux « WHEEL SLIP » d'une locomotive SD60F



- **Défaillance n° 1 : grippage d'une roue d'essieu motorisé (essieu grippé)**  
Il s'agit d'une défaillance de roue grippée anormale, et non d'une défaillance transitoire fréquente, comme le patinage et l'enrayage des roues. Elle nécessite une intervention immédiate, car il est improbable qu'elle se corrige d'elle-même.
- **Défaillance n° 2 : lâchage de pignon**  
Il s'agit d'une défaillance anormale nécessitant une intervention immédiate.
- **Défaillance n° 3 : patinage**  
Il s'agit d'une défaillance transitoire et intermittente causée par le patinage des roues. Elle se produit généralement en situation d'adhésion réduite (surface des rails). Le témoin indique au mécanicien de locomotive que le système de gestion d'antipatinage répond à la défaillance, ce qui peut comprendre le déclenchement automatique du sablage. Elle ne nécessite pas une intervention immédiate.
- **Défaillance n° 4 : enrayage**  
Il s'agit d'une défaillance transitoire de grippage causée par l'enrayage des roues qui se produit habituellement lors de l'activation du frein rhéostatique. Le témoin indique au mécanicien de locomotive que le système de gestion de l'enrayage répond à la défaillance. Elle ne nécessite pas une intervention immédiate.
- **Défaillance n° 5 : survitesse des roues**  
Il s'agit d'une défaillance transitoire causée par une vitesse excessive. Le système corrige cette défaillance automatiquement.

Le tableau 2 résume la manière dont les défaillances liées aux roues sont présentées à l'équipe de train et les mesures que celle-ci doit habituellement prendre.

Tableau 2. Cinq défaillances indiquées par le témoin « WHEEL SLIP » d'une locomotive SD60F

Description			Présentation			Urgence/mesure	
Défaillance	État	Condition	Voyant	Cadence	Signal sonore		
1.	Roue d'essieu motorisé grippée	Anormal	En tout temps	PATINAGE	Voyant constamment allumé lorsque sous tension	Non	Intervention immédiate/arrêt
2.	Lâchage de pignon	Anormal	En tout temps	PATINAGE	Voyant constamment allumé ou clignotant	Non	Intervention immédiate/arrêt
3.	Patinage des roues	Gestion normale du patinage des roues	Adhésion réduite	PATINAGE	Voyant clignotant de manière occasionnelle	Non	Aucune intervention immédiate
4.	Enrayage des roues	Gestion normale de l'enrayage des roues	Frein rhéostatique actif	PATINAGE	Voyant clignotant par intermittence	Non	Aucune intervention immédiate
5.	Survitesse des roues	Survitesse	Vitesse excessive	PATINAGE	Voyant clignotant	Non	Correction automatique de la défaillance par le système
6.	Défaillance du système Super Series	Défaillance du système Super Series	Adhésion réduite à au moins 1,5 mi/h	PATINAGE	Voyant clignotant de manière occasionnelle et irrégulière	Non	Signaler le problème et poursuivre le trajet

Ces différentes défaillances liées aux roues sont indiquées par le même témoin lumineux blanc « WHEEL SLIP ». Elles ne s'accompagnaient pas d'une alarme sonore. Les équipes de train distinguent généralement les différents types de défaillances de la manière suivante :

- **Message textuel**

Les défaillances urgentes nécessitant une intervention immédiate (défaillances n<sup>os</sup> 1 et 2) engendraient l'affichage d'un message textuel descriptif informatisé. Ce message était affiché sur un panneau derrière le mécanicien de locomotive.

Lorsqu'une roue d'un essieu motorisé subissait un grippage (essieu grippé), le message textuel « LOCKED POWERED WHEEL » était affiché à l'écran de l'interface homme-machine (photo 4).

- **Contexte**

Les défaillances peuvent varier selon le contexte (p. ex., mauvaises conditions environnementales [défaillance n° 3], frein rhéostatique [défaillance n° 4] ou vitesse excessive [défaillance n° 5]).

- **Cadence**

Chaque défaillance commande sa propre cadence de clignotement du voyant sur le panneau supérieur. Les différentes cadences du voyant étaient établies comme suit : allumage constant lorsque sous tension; allumage constant ou clignotant; clignotement occasionnel; clignotement par intermittence; clignotant par intervalles; clignotement occasionnel et irrégulier.

Photo 4. Panneau d'affichage de l'interface homme-machine d'une locomotive SD60F (Source : Chemins de fer nationaux du Canada)



Les systèmes des locomotives ES44DC surveillent également leurs roues et la vitesse de rotation relative de celles-ci comparativement au panneau d'affichage des locomotives SD60F, lorsqu'une anomalie liée aux roues se produit sur une locomotive ES44DC, 1 des voyants suivants apparaissent à l'écran plat SDIS<sup>22</sup> :

- **ESSIEU GRIPPÉ**

Dans l'éventualité du grippage d'une roue d'essieu motorisé (essieu grippé), le voyant « ESSIEU GRIPPÉ » apparaît à l'écran. Ce voyant jaune à texte noir apparaît au centre et à gauche de la section des alarmes de l'écran SDIS. Il est accompagné d'une alarme sonore.

- **LÂCHAGE DE PIGNON**

Dans l'éventualité du lâchage d'un pignon, l'indication « LÂCHAGE DE PIGNON » apparaît à l'écran. Ce voyant rouge à texte blanc apparaît au centre et à droite de la section des alarmes de l'écran SDIS. Il est accompagné d'une alarme sonore.

- **ANTIPATINAGE**

Dans l'éventualité du patinage, de l'enrayage ou de la survitesse des roues, le voyant « ANTIPATINAGE » apparaît à l'écran. Ce voyant blanc à texte noir apparaît à l'extrême gauche de la section des alarmes de l'écran SDIS. Il n'est pas accompagné d'une alarme sonore.

<sup>22</sup> ES44DC Locomotive, Operating Manual for Canadian National Railways Road Numbers 2220-2254, GEJ-6926 (2005).

Si une locomotive SD60F est branchée à une locomotive ES44DC à l'aide d'une ligne de train<sup>23</sup>, comme c'était le cas dans l'événement à l'étude, les défaillances liées aux roues de l'une ou l'autre locomotive sont affichées à l'écran SDIS de la locomotive ES44DC menante (photo 5) :

- Si la défaillance liée aux roues se situait au niveau de la locomotive ES44DC, les voyants textuels « ESSIEU GRIPPÉ » (jaune), « LÂCHAGE DE PIGNON » (rouge) ou « ANTIPATINAGE » (blanc) peuvent s'afficher.
- Si la défaillance liée aux roues (nonobstant son type) se situait au niveau de la locomotive SD60F, seul le voyant textuel « ANTIPATINAGE » (blanc) s'affichait, car cette locomotive utilisait ce voyant pour transmettre toutes les défaillances liées aux roues par l'intermédiaire de la ligne de train (figure 4).

---

<sup>23</sup> Le terme « ligne de train » est utilisé dans l'industrie ferroviaire pour parler de la connexion pneumatique et électronique des locomotives faisant partie d'un groupe de traction. Les autres locomotives sont commandées depuis la locomotive désignée comme locomotive menante.

Photo 5. Voyant d'antipatinage à l'écran intelligent intégré (SDIS) d'une locomotive ES44DC (Source : Chemins de fer nationaux du Canada)

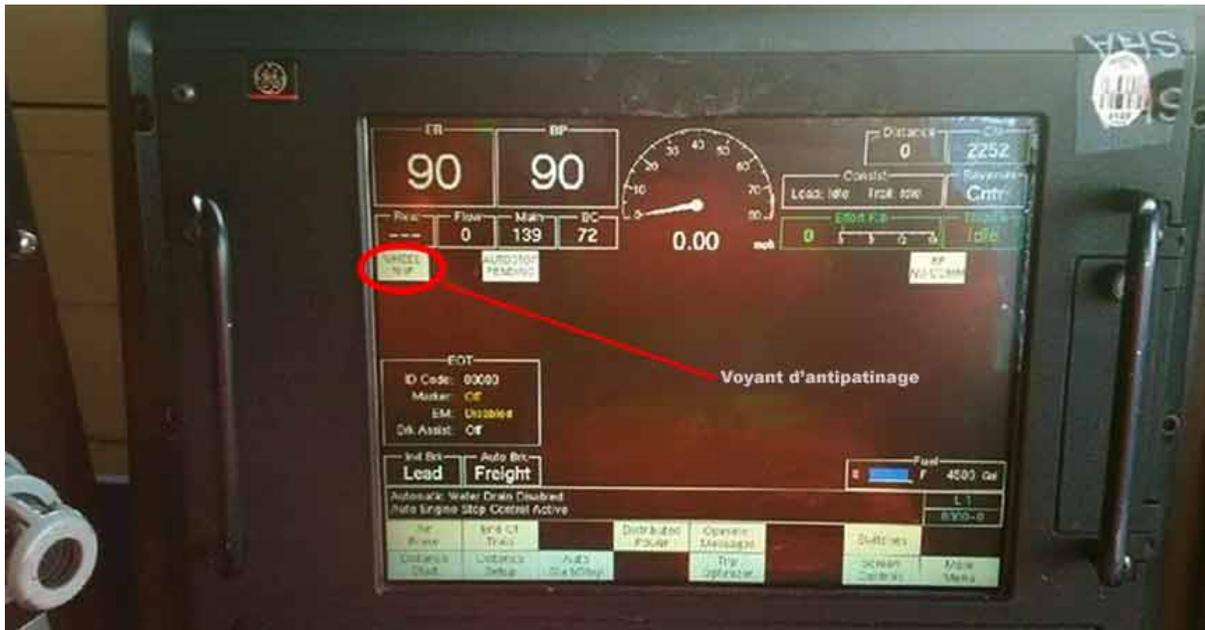
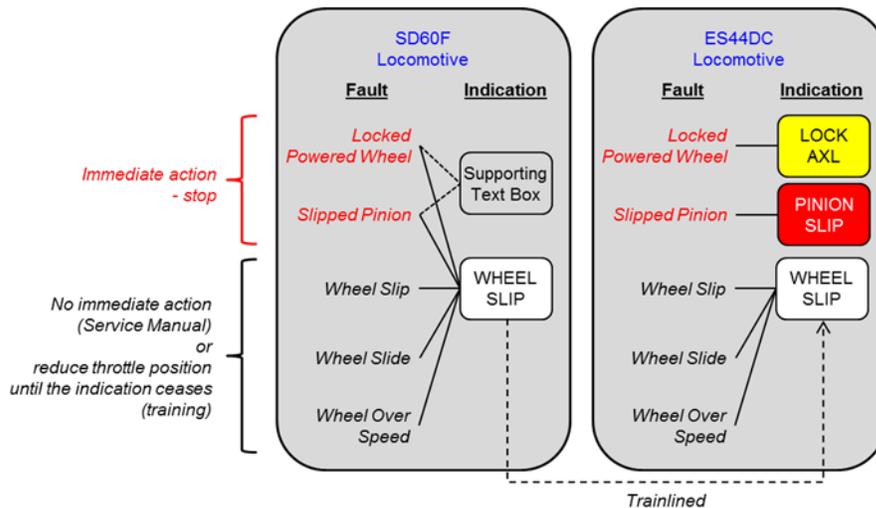


Figure 4. Voyants et leur signalisation lorsqu'une locomotive SD60F est branchée à une locomotive menante ES44DC par l'intermédiaire d'une ligne de train



### 1.12 Formation des mécaniciens de locomotive sur le patinage des roues

Pendant la formation<sup>24</sup> des mécaniciens de locomotive du CN, on traitait des différentes défaillances liées au patinage et de leur signalisation dans différentes locomotives, dont la SD60F et la ES44DC. Pendant la formation sur ces 2 locomotives, on indiquait qu'il fallait immobiliser le train immédiatement et effectuer une inspection dans l'éventualité du grippage d'une roue d'essieu motorisé ou du lâchage d'un pignon. Toutefois, on ne traitait

<sup>24</sup> Formation des mécaniciens de locomotive du CN : manuel du participant, module 17 (« Dépannage »), CN - 00331E CRS (2011).

pas de la situation particulière où une locomotive SD60F est branchée à une locomotive ES44DC par l'intermédiaire d'une ligne de train. De plus, on n'offrait pas de formation ou de conseils relativement à la façon de faire la distinction entre des défaillances non urgentes et urgentes lorsque le voyant « ANTIPATINAGE » s'affiche à l'écran SDIS d'une locomotive ES44DC.

À la section sur le patinage des roues du *Guide du Mécanicien de Locomotive* du CN, on indique ce qui suit :

Le témoin d'antipatinage de la locomotive menante signale le patinage de toute roue du groupe de traction. Le sablage se déclenche automatiquement pour arrêter bon nombre de patinages. Il faut éviter de commander le sablage des roues au moyen de la ligne de train, sauf dans le cas où le sablage au niveau du bogie menant est inefficace.

#### **Intervention manuelle en cas de patinage**

Si le dispositif d'antipatinage ne réussit pas à faire cesser le patinage, le mécanicien doit faire ce qui suit :

- (i) ramener le manipulateur à un cran inférieur jusqu'à ce que le témoin d'antipatinage s'éteigne;
- (ii) actionner le sablage, si c'est possible;
- (iii) remettre le manipulateur à un cran supérieur seulement lorsque les roues ne patinent plus.

Si le voyant d'antipatinage de patinage reste allumé ou s'il clignote avec persistance pendant la marche de la locomotive, cela peut signifier qu'un essieu est enrayé. Il faut alors arrêter immédiatement la locomotive, puis la faire avancer lentement pendant qu'une personne au sol observe si toutes les roues tournent librement.

#### **Lâchage du pignon**

Le clignotement intermittent du témoin d'antipatinage des roues, de lâchage de pignon ou d'avertissement du frein rhéostatique peut être causé par un pignon lâche. De plus, l'aiguille de l'ampèremètre oscillera, et sur les locomotives de haute puissance, une alarme sonore retentira. Dans ce cas, il faut isoler le moteur de traction défectueux, et ensuite s'assurer que les roues tournent librement<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> *Guide du Mécanicien de Locomotive* (imprimé 8960) du CN, section G (« Conduite des trains »), paragraphe G3.41, page 73.

### 1.13 Évaluation des lignes de visibilité vers l'arrière du train

Au moment du déraillement, les roues de l'essieu n° 4 de la locomotive menée glissaient sur le champignon des rails depuis environ 24 minutes (soit de 5 h 43 à 6 h 7). Cet enrayage aurait produit des étincelles et de la fumée pendant une certaine partie du parcours entre la voie d'évitement de Salvus et le lieu du déraillement. Lorsqu'ils sont aperçus, ces indices visuels externes indiquent qu'il y a un problème et qu'il faut immédiatement immobiliser le train pour effectuer une inspection. Toutefois, les membres de l'équipe n'ont pas remarqué d'étincelles ou de fumée.

À ce moment, le ciel était dégagé, mais il faisait sombre. Il y avait un rétroviseur de chaque côté de la cabine de la locomotive permettant

aux membres de l'équipe de voir vers l'arrière du train sans devoir se retourner (photo 6). Il y avait aussi une fenêtre arrière de chaque côté de la cabine. En se retournant, les membres de l'équipe du train pouvaient voir le train derrière eux par ces fenêtres arrière. Toutefois, il se peut que les obstructions suivantes aient gêné la vue des membres de l'équipe vers l'arrière du train :

- Du côté droit (vue du mécanicien de locomotive), il y avait une passerelle surélevée menant de la cabine vers l'arrière de la locomotive (photo 7).
- Du côté gauche (vue du chef de train), il y avait une plateforme surélevée s'étendant depuis le compartiment-moteur (photo 8).

Photo 6. Vue dans le rétroviseur du mécanicien de locomotive



Photo 7. Vue par la fenêtre derrière le mécanicien de locomotive

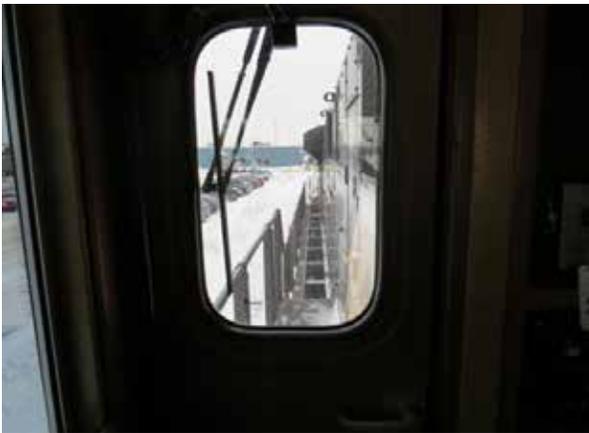


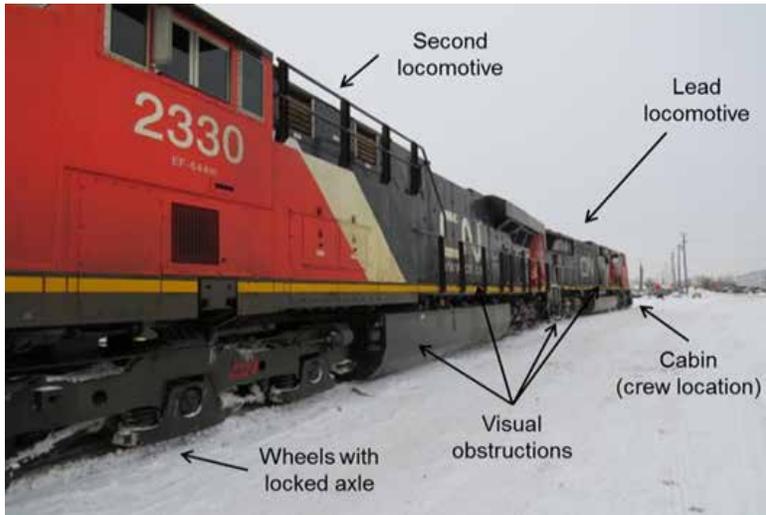
Photo 8. Vue par la fenêtre derrière le chef de train



Ces composants s'étendant de chaque côté de la locomotive obstruaient la vue des roues de la seconde locomotive. Comme les 2 locomotives étaient placées dos à dos (photo 9), la vue

vers l'arrière du mécanicien de locomotive était gênée par les obstructions du côté droit de la locomotive menante et du côté gauche de la locomotive menée. De la même façon, la vue vers l'arrière du chef de train était gênée par les obstructions du côté gauche de la locomotive menante et les obstructions du côté droit de la locomotive menée.

Photo 9. Locomotives placées dos à dos



Dans la subdivision de Skeena, il y a un certain nombre de courbes entre la voie d'évitement de Salvus et le lieu du déraillement. Si les membres de l'équipe avaient regardé vers l'arrière alors que le train se trouvait dans une courbe, ils auraient peut-être mieux vu les étincelles et la fumée produites par l'essieu grippé.

### 1.14 *Fatigue et rendement des équipes de train*

La fatigue est fondamentalement liée au sommeil. Chez les personnes occupant des postes essentiels à la sécurité, les perturbations du sommeil ou des cycles de sommeil peuvent se traduire par une réduction du rendement, ce qui augmente les risques d'incidents et d'accidents. Parmi les perturbations possibles, on retrouve les perturbations aiguës du sommeil, les perturbations chroniques du sommeil, l'état de veille continu, les perturbations des rythmes circadiens, les troubles du sommeil et les autres affections médicales ou psychologiques, maladies et médicaments qui peuvent avoir des répercussions sur le sommeil ou la somnolence.

Il a été montré que lorsqu'ils sont atteints de fatigue, les membres des équipes de train réagissent moins vite, tardent à serrer les freins, respectent moins les exigences de conduite d'un train<sup>26</sup>, prennent plus de risques et ont plus de difficulté à résoudre des problèmes

<sup>26</sup> J. Dorrian, F. Hussey et D. Dawson, 2007. « Train driving efficiency and safety: Examining the cost of fatigue », *Journal of Sleep Research*, 16 (1).

complexes<sup>27</sup>. La fatigue peut aussi avoir des répercussions sur l'attention, le soin apporté au travail et le fonctionnement cognitif général.

Les humains ont un certain nombre de rythmes biologiques quotidiens (circadiens) qui ont des répercussions sur les fonctions corporelles internes et externes. Des recherches suggèrent qu'il existe des centaines de rythmes<sup>28</sup> liés à différentes fonctions corporelles, dont la température du corps, le rythme cardiaque, la fatigue subjective, l'attention, l'endormissement, le débit maximal expiratoire et la force de préhension. Des rythmes circadiens affectent aussi le rendement et les fonctions cognitives<sup>29</sup>.

Habituellement, le rendement et les fonctions cognitives sont à leur niveau le plus bas pendant les rythmes circadiens du sommeil, ce qui s'applique aussi aux équipes de train. Il a été montré que le rendement de certaines fonctions, dont le temps de réaction<sup>30</sup>, l'arithmétique et la détection des signaux<sup>31</sup>, et la réaction aux alarmes de sécurité des trains<sup>32</sup>, est inférieur la nuit.

De nombreux rythmes circadiens sont interdépendants et synchronisés, et surviennent à des moments précis de la journée. Les chercheurs ont également constaté que la synchronisation des rythmes circadiens peut être compromise par un changement du cycle sommeil-veille. Cette désynchronisation se produit parce que les différents rythmes biologiques s'adaptent différemment aux nouveaux cycles sommeil-veille. Les rythmes circadiens des personnes qui font des quarts de travail de nuit pendant des périodes prolongées évoluent et s'adaptent au fil du temps. Toutefois, les rythmes circadiens des personnes qui effectuent des quarts de nuit de manière occasionnelle ne s'adaptent pas au travail de nuit.

Des chercheurs ont constaté que le système circadien des humains s'adapte aux changements du cycle sommeil-veille à un taux d'environ 1 à 1,5 heure par jour. Ainsi, l'adaptation de la veille pendant le jour à la veille pendant la nuit (c.-à-d., une différence de 12 heures) nécessite normalement de 12 à 18 jours pour un retour au rendement optimal. Les rythmes circadiens des personnes qui effectuent seulement quelques quarts de nuit, surtout sporadiquement, ne s'adaptent pas de manière optimale, et leur rendement sera toujours

---

<sup>27</sup> Pour des exemples, consulter : W.T. Maddox, B.D. Glass, S.M. Wolosin, et coll., 2009. « The effects of sleep deprivation on information-integration categorization performance », *Sleep*, 32 (11); M.T. Corfitsen, 1999. « Fatigue among young male night-time car drivers: Is there a risk-taking group? », *Safety Science*, 33 (1-2).

<sup>28</sup> J. Aschoff (réd.), 1981. *Biological rhythms*, New York: Plenum Press.

<sup>29</sup> T.H. Monk, 1988. « Shiftwork: Determinants of coping ability and areas of application », *Advances in the Biosciences*, 73, pages 195 à 207.

<sup>30</sup> A.J. Tilley, R.T. Wilkinson, P.S.G. Warren et coll., 1982. *Human Factors*, 24, pages 629 à 641.

<sup>31</sup> D.I. Tepas, J.K. Walsh et D.R. Armstrong, 1981. « Comprehensive study of the sleep of shift workers », dans L.C. Johnson, D.I. Tepas, W.P. Colquhoun et coll. (Réd.), 1981. *Biological rhythms, sleep and shift work*, New York: Spectrum Publishing, pages 347 à 356.

<sup>32</sup> G. Hildebrandt, W. Rohmert et J. Rutenfranz, 1974. « Twelve and twenty-four hour rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness », *International Journal of Chronobiology*, 2, pages 97 à 110.

affecté par les creux circadiens. De plus, d'autres facteurs de risques liés à la fatigue, comme la fatigue chronique, peuvent affecter l'ampleur des répercussions sur le rendement.

Même lorsque les rythmes circadiens ne sont pas désynchronisés, il y a 2 périodes de somnolence maximale par période de 24 heures. Ces périodes varient d'une personne à l'autre, mais la principale période de somnolence d'une personne travaillant de jour se produit généralement entre 3 h et 5 h. Une seconde période de somnolence se produit aussi entre 15 h et 17 h. Pendant ces périodes, les systèmes physiologiques sont à leur niveau le plus bas. Une personne peut avoir de la difficulté à demeurer alerte pendant ces périodes de somnolence maximale, et ce, peu importe sa motivation et les circonstances.

La désynchronisation peut engendrer de la fatigue, de la somnolence pendant le jour, des troubles psychomoteurs, une diminution du rendement, de l'insomnie, d'autres troubles du sommeil, une réduction des capacités cognitives et de la fatigue musculaire. Les symptômes de la désynchronisation peuvent aussi réduire davantage la durée et la qualité du sommeil. Lorsque l'heure de début et de fin de leurs quarts de travail varie, les employés risquent constamment de souffrir de désynchronisation, et ce, même s'ils travaillent depuis longtemps selon un horaire variable. Les employés peuvent aussi avoir de la difficulté à gérer leurs périodes de sommeil variables lorsqu'ils vivent avec des proches travaillant le jour, ou lorsqu'ils anticipent un événement, comme un appel au travail. On sait que plus l'heure de début des quarts varie, plus la fatigue augmente.

Les périodes d'ajustement inadéquates et les horaires complexes réduisant la prédictibilité des responsabilités professionnelles et sociales font croître les risques de fatigue. On peut recourir à des mesures d'atténuation, comme une formation en sensibilisation à la fatigue, la consommation de caféine ou des siestes stratégiques, pour réduire les risques et la gravité des diminutions du rendement.

### *1.15 Variabilité de l'heure de début du quart des employés*

Les trains de marchandises du CN, à l'instar des trains des autres chemins de fer canadiens, ne sont pas exploités selon un horaire<sup>33</sup>. Ainsi, les employés sont appelés à travailler en fonction des besoins. Les voyages sont attribués aux membres d'équipe faisant partie de bassins ou de listes d'une subdivision en fonction du système « premier entré, premier sorti ». Lorsque les membres d'une équipe terminent un voyage, leurs noms sont remis dans la liste du bassin aux fins de l'attribution de leur prochain voyage.

Comme les trains ne sont pas exploités selon un horaire, les membres d'équipe doivent estimer l'heure de début de leur prochain quart à l'aide des listes du mouvement des trains (c.-à-d., une liste des trains prévus). Ils peuvent utiliser cette liste pour connaître l'heure approximative de l'arrivée des trains prévus à leur gare d'attache et à leur gare de détachement.

---

<sup>33</sup> Un horaire peut être établi pour certains trains de marchandises pour des besoins de marketing.

Toutefois, l'heure d'arrivée des trains peut changer considérablement en fonction de certains facteurs, dont les limitations de vitesse, les problèmes mécaniques, et l'entretien prévu et imprévu de la voie. De plus, les autres employés plus hauts sur la liste peuvent devenir indisponibles à très courte échéance. Tous ces facteurs contribuent à rendre imprévisible l'heure d'appel des équipes de train.

### 1.16 *Horaire de travail et de repos de l'équipe du train*

Dans l'événement à l'étude, le mécanicien de locomotive et le chef de train avaient commencé leur quart de nuit à 23 h 30. À environ 5 h 43, le train a quitté la voie d'évitement de Salvus; c'est à ce moment que le problème d'essieu grippé s'est manifesté. Cette situation dangereuse a perduré jusqu'au déraillement, à 6 h 7.

Les 2 membres de l'équipe avaient travaillé selon les limites des *Règles relatives au temps de travail et de repos du personnel d'exploitation ferroviaire*. Toutefois, avant l'événement à l'étude, le mécanicien de locomotive et le chef de train avaient tous deux effectué des quarts sporadiques dont l'heure de début avait varié. En raison de la variabilité de l'heure de début des quarts, il était difficile d'obtenir suffisamment de sommeil de bonne qualité, car les périodes de sommeil disponibles s'étendaient sur différents creux et crêtes circadiens. La variabilité de l'heure de début des quarts peut avoir des répercussions sur les rythmes circadiens, ce qui peut causer de la fatigue. Le mécanicien de locomotive n'avait jamais suivi de formation sur la gestion de la fatigue.

L'historique de travail et de repos du mécanicien de locomotive était le suivant :

- Au cours des 6 semaines précédant l'événement, le mécanicien de locomotive avait eu un horaire de quarts de jour et de nuit de 17 h à 2 h ou 3 h, et de 7 h à 13 h, suivis de périodes de repos de 24 à 48 heures. Cet horaire régulier alternant les nuits de sommeil et les nuits de travail avait engendré des perturbations du sommeil.
- Le jour de l'événement, le mécanicien de locomotive avait dormi et s'était préparé pour un quart commençant en début de soirée, mais n'avait pas été appelé à travailler avant 23 h 30; à ce moment, il était éveillé depuis plusieurs heures. Comme son quart a commencé tard, il allait se terminer tard; ainsi, le mécanicien de locomotive était encore au travail entre 5 h et 6 h, un creux circadien connu et une période pendant laquelle il s'attendait à dormir. Au cours des 6 semaines précédentes, il n'avait travaillé jusqu'à cette heure en matinée qu'une seule fois.

L'historique de travail et de repos du chef de train était le suivant :

- Le chef de train avait travaillé 2 semaines en octobre, avait pris 2 semaines de vacances, et était de retour au travail depuis 2 semaines au moment de l'événement.
- Au cours de ces 2 semaines, le chef de train avait effectué une combinaison de quarts de jour et de nuit et avait bénéficié d'occasions de sommeil commençant, dans l'ordre, à 12 h, 12 h, 2 h, 20 h, 4 h, 3 h, 13 h, 13 h et, le jour de l'événement, 7 h.
- La veille de l'événement, le chef de train avait eu l'occasion de dormir la nuit; toutefois, au cours des 4 jours précédents, il avait commencé ou terminé son quart entre minuit et 6 h.

- Le jour de l'événement, le chef de train avait dormi et s'était préparé pour un quart commençant en fin d'après-midi. Toutefois, son quart n'avait pas commencé avant 23 h 30; à ce moment, il était éveillé depuis plusieurs heures. Le chef de train était encore au travail entre 5 h et 6 h, un creux circadien connu et une période pendant laquelle il s'attendait à dormir. Le jour de l'événement, le chef de train avait travaillé de minuit à 6 h, ce qu'il n'avait pas fait au cours des 6 semaines précédentes.

Bien que les membres de l'équipe aient eu l'occasion d'obtenir un sommeil de bonne qualité, ils ont dû composer avec les effets de l'heure variable de début des quarts et la perturbation des rythmes circadiens.

### 1.17 Examen en laboratoire du moteur de traction (LP244/2014)

On a envoyé le moteur de traction de l'essieu n° 4 grippé (c.-à-d., ne tournant pas) de la locomotive CN 5543 au laboratoire du BST à des fins d'examen détaillé. L'examen a permis de faire les constatations suivantes :

- L'entreprise Electro Motor Services avait remis ce moteur de traction à neuf le 8 septembre 2012. Au moment de cette remise à neuf, l'ajustement mesuré entre le roulement de la tête de pignon et l'arbre du moteur de traction était de 0,0007 pouce sous la limite minimale définie pour un moteur de traction ARS d'EMD.
- Lorsque l'arbre d'un moteur de traction est trop petit, l'ajustement serré réduit entre l'arbre et l'anneau intérieur peut rendre le moteur de traction plus susceptible au patinage.
- Cet ajustement entre l'arbre de l'induit et l'anneau intérieur du roulement de la tête de pignon était suffisant pour permettre le fonctionnement normal du moteur de traction pendant un certain temps après la remise à neuf.
- Les conditions de fonctionnement<sup>34</sup> ont probablement changé à un certain moment avant l'événement; l'ajustement serré n'offrait donc plus une friction suffisante pour empêcher l'arbre de glisser par rapport au roulement (photo 10).
- Lorsque l'arbre a commencé à glisser dans l'anneau intérieur, la friction a causé une usure excessive et a généré de la chaleur sur les surfaces serrées. L'anneau intérieur s'en est trouvé surchauffé à un point tel que ses propriétés métallurgiques ont changé.
- Juste avant l'événement à l'étude, le train s'était immobilisé dans la voie d'évitement de Salvus. À ce moment, la séquence de défaillance était probablement déjà commencée de sorte que l'arbre et l'anneau intérieur étaient probablement très chauds. Lorsque le train s'est immobilisé, l'arbre a cessé de pivoter dans l'anneau intérieur. L'arbre et le roulement de la tête de pignon ont refroidi et ont grippé l'un à l'autre.

---

<sup>34</sup> Il a été impossible de définir les conditions de fonctionnement précises qui ont causé la perte de l'ajustement serré.

- Lorsque le train a quitté la voie d'évitement, la force produite n'a pas suffi à libérer l'arbre et le roulement grippés, ce qui a causé l'enrayage de l'essieu grippé, puis le déraillement.

Photo 10. Vue rapprochée de l'anneau intérieur pendant son retrait de l'arbre de l'induit



### *1.18 Examen du système d'alarmes de la locomotive (LP246/2014)*

Un examen du système d'alarmes de locomotive pour les locomotives branchées par l'intermédiaire de la ligne de train a permis de faire les constatations suivantes :

- Le système d'alarme et de voyant d'antipatinage de la deuxième locomotive (CN 5543) a fonctionné comme prévu.
- L'enregistreur d'événements de la locomotive CN 5543 a enregistré les occurrences de patinage de cette locomotive.
- L'enregistreur d'événement de la locomotive menante (CN 2254) a enregistré les occurrences de patinage de la locomotive menée transmises par l'intermédiaire de la ligne de train.
- Le système d'alarme et de voyant d'antipatinage de la locomotive menante a fonctionné comme prévu.

## 2.0 Analyse

Les conditions de la structure de la voie n'ont pas contribué à l'événement à l'étude. L'analyse portera sur la défaillance du roulement de pignon et les alarmes d'antipatinage des locomotives, l'horaire et la fatigue des membres de l'équipe, l'automatisation des fonctions de conduite et les systèmes de détection en voie.

### 2.1 L'accident

Le déraillement s'est produit lorsque l'essieu n° 4 grippé de la locomotive menée, qui glissait, a atteint l'aiguillage ouest de la voie d'évitement de Kwinitza. L'essieu n° 4 grippé et les roues avaient glissé sur les rails sur environ 11 milles. Les roues de l'essieu n° 4 se sont déformées à un point tel que la table de roulement des 2 roues a subi une usure d'environ 4 pouces de profondeur, et un boudin s'est formé de chaque côté du rail. La roue déformée du côté sud (R4) est entrée en contact avec le cœur de croisement, ce qui a soulevé la roue et l'a fait dérailler du côté intérieur au moment où l'essieu a franchi le cœur de croisement. Les contraintes latérales produites par la roue qui a déraillé ont dépassé la résistance latérale de la structure de la voie, ce qui a causé le renversement du rail, puis le déraillement des 8 wagons intermodaux suivants.

Pendant que le train était immobilisé dans la voie d'évitement de Salvus, l'arbre et le roulement de tête de pignon surchauffés du moteur de traction de l'essieu n° 4 ont refroidi et ont grippé l'un à l'autre. L'arbre et le roulement de tête de pignon avaient surchauffé en raison du glissement dans l'anneau intérieur, ce qui a créé de la friction et une usure excessive, et a généré de la chaleur sur les surfaces serrées. L'ajustement serré mesuré entre le roulement de la tête de pignon et l'arbre du moteur de traction était de 0,0007 pouce sous la limite minimale définie pour un moteur de traction ARS d'EMD. Cet ajustement serré réduit entre l'arbre et l'anneau intérieur a rendu le moteur de traction plus susceptible au patinage. Dans cette situation, l'ajustement entre l'arbre et l'anneau intérieur a été initialement suffisant pour permettre le fonctionnement normal du moteur de traction pendant un certain temps avant l'apparition du glissement.

Au départ de la voie d'évitement de Salvus, l'alarme d'antipatinage s'est déclenchée et était affichée à l'écran intelligent intégré (SDIS) de la locomotive menante. Il n'est pas inhabituel que des alarmes d'antipatinage intermittentes se déclenchent lorsque les locomotives produisent un effort de traction élevé, notamment au moment de la reprise d'un mouvement après un arrêt; ainsi, l'équipe du train ne s'est pas inquiétée de l'activation de cette alarme.

L'écran SDIS n'offrait au mécanicien de locomotive aucun moyen de savoir hors de tout doute si le voyant d'antipatinage blanc correspondait à une défaillance urgente de la locomotive ES44DC, une défaillance non urgente de la locomotive SD60F ou une défaillance urgente de la locomotive SD60F. Comme la locomotive SD60F était branchée à la locomotive ES44DC par l'intermédiaire de la ligne de train, l'alarme affichée ne fournissait pas suffisamment d'information à l'équipe du train pour lui indiquer une défaillance urgente.

Lorsque l'équipe du train a repris sa route vers l'ouest après le croisement à Salvus, le mécanicien de locomotive a conduit le train en mode manuel jusqu'à ce que toutes les conditions nécessaires à l'activation de la fonction de conduite automatique du système Trip Optimizer (TO) soient satisfaites : vitesse minimale atteinte, train dégagé la voie d'évitement et toutes défaillances et alarmes actives (gérées par le système TO) remises à zéro. Les conditions de la fonction de conduite automatique du système TO ont été satisfaites pour la locomotive menante, et le système TO a été activé, alors que la locomotive menée subissait une défaillance urgente (c.-à-d., un essieu grippé). Il est probable que la réactivation du système TO au départ du train de la voie d'évitement de Salvus ait porté le mécanicien de locomotive à croire que les locomotives ne faisaient l'objet d'aucune défaillance active.

Environ 9 milles après avoir quitté la voie d'évitement de Salvus, le train a franchi un détecteur de boîtes chaudes/détecteur de roues chaudes/détecteur de pièces traînantes (DBC/DRC/DPT). Ce DBC/DRC/DPT a transmis les résultats de l'inspection peu de temps après le passage des 9 premiers essieux. L'équipe du train n'a pas remarqué que le message de l'inspection a été transmis beaucoup plus tôt (3 minutes plus tôt) que normalement.

### 2.1.1 *Fatigue*

Au moment de l'événement, les membres de l'équipe du train étaient fatigués. Au cours des journées précédentes, les 2 membres de l'équipe avaient eu des périodes de sommeil disponibles erratiques en raison de quarts de travail dont l'heure de début et de fin variait. Cette variabilité du sommeil avait entraîné des perturbations des rythmes circadiens sans périodes d'ajustement adéquates. On a constaté d'autres conditions causant de la fatigue, dont les suivantes :

- Les membres de l'équipe n'ont pas bénéficié d'une période de repos optimale avant leur quart, car l'heure de début prévu de celui-ci a été repoussée. Les membres de l'équipe ont commencé leur quart plusieurs heures après leur dernière période de sommeil.
- L'équipe a travaillé toute la nuit (de 0 h à 6 h), une période généralement considérée comme un creux circadien.
- Vers la fin du quart (vers 5 h), les membres de l'équipe auraient subi un creux physiologique.

Cet état de fatigue a probablement eu des répercussions sur la capacité du mécanicien de locomotive à reconnaître la signification de l'alarme d'antipatinage et de l'accélération moins rapide que celle attendue. Ni l'un ni l'autre des 2 membres de l'équipe n'ont remarqué la transmission précoce du message du DBC/DRC/DPT.

## 2.2 *Information sur les alarmes des locomotives branchées par l'intermédiaire de la ligne de train*

Un bon système d'alarmes permet la gestion rapide et efficace des défaillances afférentes à chacune. Ce système d'alarmes devrait offrir 3 niveaux de conscience situationnelle à l'opérateur : la perception des éléments dans l'environnement, une compréhension de leur signification, et une prévision de leur état. Pour ce faire, le système d'alarmes doit être

compatible avec le ou les modèles mentaux de l'opérateur pour une tâche et une situation données, et toute information clé doit être affichée bien en vue à l'écran (celle-ci peut se démarquer par sa couleur, sa taille ou son contraste)<sup>35</sup>.

Dans l'événement à l'étude, les 2 locomotives utilisaient des signaux d'affichage des alarmes différents et distincts. La locomotive SD60F était dotée d'un voyant « WHEEL SLIP » (« ANTIDÉRAPAGE ») utilisé pour indiquer 6 différentes défaillances, dont certaines défaillances courantes ou transitoires. L'utilisation accrue de signaux de défaillance pour indiquer des conditions non urgentes fait croître la probabilité qu'un signal de défaillance indiquant une condition urgente passe inaperçu.

Par comparaison, la locomotive ES44DC avait des voyants à code de couleur accompagnés d'alarmes sonores pour les alarmes « LOCK AXL » (« ESSIEU GRIPPÉ ») et « PINION SLIP » (« LÂCHAGE DE PIGNON ») (c.-à-d., les 2 défaillances urgentes). Le voyant « WHEEL SLIP » (« ANTIPATINAGE ») blanc servait à attirer l'attention sur les défaillances non urgentes (c.-à-d., patinage, enrayage ou survitesse des roues).

Toutefois, dans le cas de l'accident à l'étude, la locomotive SD60F était branchée à la locomotive ES44DC (la locomotive menante) par l'intermédiaire de la ligne de train. Les défaillances liées aux roues de l'une ou l'autre des locomotives étaient affichées sur l'écran SDIS de la locomotive menante de la manière suivante :

- Les voyants textuels possibles des défaillances liées aux roues de la locomotive ES44DC étaient « ESSIEU GRIPPÉ » (jaune), « LÂCHAGE DE PIGNON » (rouge) ou « ANTIPATINAGE » (blanc). Remarque : Les 2 alarmes urgentes (« ANTIPATINAGE » et « LÂCHAGE DE PIGNON ») sont accompagnées d'alarmes sonores.
- Pour tous les types de défaillances liées aux roues de la locomotive SD60F, seul le voyant textuel « ANTIPATINAGE » blanc s'affichait. Aucune de ces alarmes n'était accompagnée d'une alarme sonore.

Cela signifie que le voyant « ANTIPATINAGE » blanc à l'écran SDIS servait aux défaillances non urgentes de la locomotive ES44DC, ainsi qu'aux défaillances non urgentes et urgentes de la locomotive SD60F. De plus, les défaillances de la locomotive SD60F transmises par l'intermédiaire de la ligne de train n'étaient pas accompagnées de texte justificatif (p. ex., « ESSIEU GRIPPÉ » ou « LÂCHAGE DE PIGNON ») qui aurait été affiché dans la cabine de la locomotive SD60F. En présence de différents types de locomotives branchées par l'intermédiaire d'une ligne de train, si les renseignements disponibles sur les alarmes des locomotives ne sont pas transmis à la locomotive menante, l'équipe de train pourrait ne pas avoir suffisamment d'information pour réagir adéquatement à ces alarmes, ce qui augmente le risque d'une défaillance du matériel roulant entraînant un déraillement.

---

<sup>35</sup> M.R. Endsley, B. Bolte, et D.G. Jones, 2003. *Designing for situation awareness: An approach to user-centred design*, New York: Taylor and Francis.

Selon le *Manual of Standards and Recommended Practices* (ci-après, le « manuel ») de l'Association of American Railroads (AAR), un signal d'antipatinage devrait être blanc, constant, et non accompagné d'une alarme sonore (défaillance peu urgente). Dans ce manuel, on indique que les conditions anormales nécessitant une intervention urgente, dont un essieu grippé, doivent être affichées en rouge (plus urgent) ou en jaune (urgent), et être accompagnées d'une alarme sonore. Un essieu de la locomotive SD60F, qui était branchée à la locomotive ES44DC par l'intermédiaire de la ligne de train, était grippé; l'alarme affichée n'était donc pas conforme aux exigences du manuel et n'était pas suffisamment contraignante pour amener le mécanicien de locomotive à croire qu'une défaillance urgente s'était produite.

### 2.3 *Systèmes de détection en voie*

Les détecteurs de roues chaudes (DRC) des Chemins de fer nationaux du Canada (CN) sont spécialement créés, orientés et étalonnés pour détecter les roues tièdes et chaudes dont la surchauffe est causée par des freins bloqués. La chaleur mesurée d'une roue est causée par la friction produite par le sabot de frein reposant contre une roue en rotation. Dans l'événement à l'étude, le DRC a aussi mesuré la chaleur produite par la friction des roues de la locomotive glissant sur les rails.

Le roulement du pignon du moteur de traction de l'essieu n° 4 a atteint les premières étapes d'une défaillance quelque temps avant l'immobilisation du train dans la voie d'évitement de Salvus. Le roulement du pignon a refroidi et a grippé pendant que le train était immobilisé. Au moment de la reprise du mouvement vers l'ouest, les roues de l'essieu n° 4 grippé ont glissé sur presque 10 milles, ce qui a déformé la table de roulement des roues et a généré une chaleur allant jusqu'à 554 °F. Toutefois, le seuil d'alarme de roue chaude des DRC du CN était réglé à 558 °F; ainsi, une alarme de roue chaude n'a pas été transmise. Les seuils d'alarme de roue chaude n'ont pas été définis en fonction de la chaleur produite par le patinage d'une roue. Néanmoins, juste avant le déraillement, la température des roues de l'essieu grippé se trouvait à l'intérieur de la plage des roues tièdes.

Au moment de l'événement, le nombre d'essieux ne faisait pas partie du message radio transmis aux équipes de train par les DBC/DRC/DPT du CN après une inspection. Le train en cause dans l'événement comportait 424 essieux. Toutefois, le DBC/DRC/DPT au point milliaire 45,8 n'a inspecté que 9 essieux avant que l'essieu endommagé ne déloge les capteurs de chaleur. Le DBC/DRC/DPT a transmis les résultats de l'inspection environ 30 secondes plus tard, soit beaucoup plus tôt que normalement. L'équipe du train n'a pas remarqué que le train (de plus de 9000 pieds de longueur) franchissait encore l'emplacement des détecteurs au moment de la transmission des résultats de l'inspection du DBC/DRC/DPT. Si tous les renseignements pertinents (y compris le nombre d'essieux) ne sont pas transmis après une inspection du DBC/DRC/DPT, un problème lié au matériel roulant pourrait ne pas être porté à l'attention de l'équipe de train, ce qui augmente le risque d'une défaillance du matériel roulant entraînant un déraillement.

## 2.4 *Mise en œuvre de nouvelles technologies touchant la façon dont les trains sont exploités*

Le système Trip Optimizer (TO) a changé le rôle du mécanicien de locomotive. Lorsque ce système est en mode de conduite automatique, il assure la gestion des tâches liées à la vitesse et à la conduite que le mécanicien de locomotive devrait autrement accomplir. Dans une telle situation, le rôle du mécanicien de locomotive consiste plutôt à assurer une surveillance visuelle. Cela peut avoir les effets suivants :

- Une automatisation accrue réduit la composante de conduite physique du mécanicien de locomotive et fait croître la composante de surveillance visuelle, et ce, surtout au moment de l'activation du système.
- Lorsque le système TO est en mode automatique, la charge de travail du mécanicien de locomotive est faible.
- Le mécanicien de locomotive peut ne pas avoir pleinement conscience des tâches effectuées par le système (c.-à-d., conscience situationnelle réduite). Par exemple, la vitesse affichée peut ne pas correspondre à la vitesse à laquelle le mécanicien de locomotive s'attendrait s'il conduisait manuellement le train.

Dans l'événement à l'étude, l'essieu grippé a produit de la traînée, ce qui a eu des répercussions sur l'accélération du train au départ de la voie d'évitement de Salvus (après l'activation du système TO). L'équipe du train a remarqué cette accélération moins rapide que celle attendue, mais n'a pas jugé la situation inhabituelle, car le système TO était activé, et l'objectif de ce système est de réduire la consommation en carburant. En l'absence de la rétroaction en temps réel dont le mécanicien de locomotive dispose lorsqu'il conduit manuellement le train, celui-ci n'a pas eu l'impression que l'accélération moins rapide était anormale et n'a pas recherché de défaillance.

Lorsqu'on met en œuvre de nouvelles technologies, il est important d'évaluer leurs risques inhérents et ceux liés à leur intégration aux opérations établies. L'évaluation de ces risques permet à l'entreprise de gérer les répercussions sur la sécurité de l'exploitation et de mettre en œuvre les mesures d'atténuation qui s'imposent. Ces mesures peuvent comprendre des modifications conceptuelles ou la mise à jour de la formation, des procédures, des tâches et de la supervision.

Bien que le CN ait évalué les risques de l'intégration technique du système TO, l'évaluation n'avait pas porté sur

- les répercussions potentielles du système TO sur les facteurs humains, dont la fatigue;
- les risques afférents à l'interopérabilité des différentes technologies, lorsque ces dernières sont jumelées (p. ex., entre le système TO et les locomotives branchées par l'intermédiaire de la ligne de train dotées de systèmes d'alarmes différents).

Si l'on n'effectue pas d'examen complet des conséquences liées aux facteurs techniques et humains lors de la mise en œuvre de nouvelles technologies touchant la façon dont les trains sont exploités, les risques connexes pourraient ne pas être cernés ou atténués.

## 2.5 Variabilité de l'heure de début des quarts des équipes

La variabilité de l'heure de début des quarts des équipes de train complique la planification du sommeil et l'obtention de sommeil de bonne qualité, surtout lorsqu'un membre d'équipe s'attend à être appelé à travailler. Afin d'accroître la prédictibilité de l'heure de début des quarts, les compagnies de chemin de fer ont apporté des améliorations aux listes du mouvement des trains et ont donné aux employés un accès aux renseignements que contiennent ces listes.

Toutefois, certains membres d'équipe qui font partie d'un bassin ont probablement encore de la difficulté à obtenir suffisamment de sommeil de bonne qualité en raison de la variabilité de l'heure de début des quarts. Lorsque l'heure de début des quarts varie beaucoup, les périodes de sommeil dont bénéficient les employés s'étendent souvent sur différents creux et crêtes circadiens.

Dans l'événement à l'étude, l'heure de début des quarts des membres de l'équipe avait varié au cours des semaines précédentes, ce qui a provoqué de la fatigue. Lorsque l'heure de début des quarts varie beaucoup, les membres des équipes de train peuvent régulièrement être privés de sommeil de bonne qualité, ce qui peut se traduire par une fatigue accrue pendant les quarts de travail et une augmentation des risques d'accident.

## 2.6 Évaluation des lignes de visibilité vers l'arrière du train

Il est possible d'obtenir des indices visuels externes vers l'arrière de la locomotive à l'aide des rétroviseurs ou en regardant par les fenêtres arrière. Toutefois, la visibilité de ces indices externes dans les rétroviseurs dépend de la position de ceux-ci par rapport à celle des membres de l'équipe. Si les rétroviseurs n'étaient pas ajustés correctement, il était alors impossible d'obtenir une vue représentative sans avoir à se déplacer. De plus, en l'absence d'autres indices visuels en période d'obscurité, l'ajustement incorrect des rétroviseurs a pu passer inaperçu.

Même si l'essieu grippé et les roues enrayées de la locomotive menée produisaient des flammes, des étincelles et de la fumée, de nombreuses obstructions se dressaient entre le train derrière et la position des membres de l'équipe dans la cabine. Comme de nombreuses obstructions physiques réduisaient la vue vers l'arrière du train, l'équipe du train n'avait peut-être pas toujours une bonne vue des indices externes (p. ex., étincelles et fumée) produits par l'essieu n° 4 grippé de la locomotive menée.

### 3.0 *Faits établis*

#### 3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Le déraillement s'est produit lorsque l'essieu n° 4 grippé de la locomotive menée, qui glissait, a atteint l'aiguillage ouest de la voie d'évitement de Kwinitsa.
2. La roue déformée du côté sud (R4) est entrée en contact avec le cœur de croisement, ce qui a soulevé la roue et l'a fait dérailler du côté intérieur au moment où l'essieu a franchi le cœur de croisement.
3. Les contraintes latérales produites par la roue qui a déraillé ont dépassé la résistance latérale de la structure de la voie, ce qui a causé le renversement du rail, puis le déraillement des 8 wagons intermodaux suivants.
4. Pendant que le train était immobilisé dans la voie d'évitement de Salvus, l'arbre et le roulement de tête de pignon surchauffés du moteur de traction de l'essieu n° 4 ont refroidi et ont grippé l'un à l'autre.
5. L'arbre et le roulement de tête de pignon avaient surchauffé en raison du glissement dans l'anneau intérieur, ce qui a créé de la friction et une usure excessive, et a généré de la chaleur sur les surfaces serrées.
6. Au départ de la voie d'évitement de Salvus, l'alarme d'antipatinage s'est déclenchée et était affichée à l'écran intelligent intégré (SDIS) de la locomotive menante. Il n'est pas inhabituel que des alarmes d'antipatinage intermittentes se déclenchent lorsque les locomotives produisent un effort de traction élevé, notamment au moment de la reprise d'un mouvement après un arrêt; ainsi, l'équipe du train ne s'est pas inquiétée de l'activation de cette alarme.
7. L'écran intelligent intégré (SDIS) n'offrait au mécanicien de locomotive aucun moyen de savoir hors de tout doute si le voyant d'antipatinage blanc correspondait à une défaillance urgente de la locomotive ES44DC, une défaillance non urgente de la locomotive SD60F ou une défaillance urgente de la locomotive SD60F.
8. Comme la locomotive SD60F était branchée à la locomotive ES44DC par l'intermédiaire de la ligne de train, l'alarme affichée ne fournissait pas suffisamment d'information à l'équipe du train pour lui indiquer une défaillance urgente.
9. Il est probable que la réactivation du système Trip Optimizer ait porté le mécanicien de locomotive à croire que les locomotives ne faisaient l'objet d'aucune défaillance active.
10. Le détecteur de boîtes chaudes/détecteur de roues chaudes/détecteur de pièces traînantes (DBC/DRC/DPT) a transmis les résultats de l'inspection peu de temps après le passage des 9 premiers essieux. L'équipe du train n'a pas remarqué que le message de l'inspection a été transmis beaucoup plus tôt que normalement.

11. Au moment de l'événement, les membres de l'équipe du train étaient fatigués, car leurs rythmes circadiens avaient été perturbés au cours des journées précédentes. Cet état de fatigue a probablement eu des répercussions sur leur capacité à reconnaître la signification de l'alarme d'antipatinage et de la transmission précoce du message du détecteur de boîtes chaudes/détecteur de roues chaudes/détecteur de pièces traînantes (DBC/DRC/DPT).

### 3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. En présence de différents types de locomotives branchées par l'intermédiaire d'une ligne de train, si les renseignements disponibles sur les alarmes des locomotives ne sont pas transmis à la locomotive menante, l'équipe de train pourrait ne pas avoir suffisamment d'information pour réagir adéquatement à ces alarmes, ce qui augmente le risque d'une défaillance du matériel roulant entraînant un déraillement.
2. Si tous les renseignements pertinents (y compris le nombre d'essieux) ne sont pas transmis après une inspection du détecteur de boîtes chaudes/détecteur de roues chaudes/détecteur de pièces traînantes (DBC/DRC/DPT), un problème lié au matériel roulant pourrait ne pas être porté à l'attention de l'équipe de train, ce qui augmente le risque d'une défaillance du matériel roulant entraînant un déraillement.
3. Si l'on n'effectue pas d'examen complet des conséquences liées aux facteurs techniques et humains lors de la mise en œuvre de nouvelles technologies touchant la façon dont les trains sont exploités, les risques connexes pourraient ne pas être cernés ou atténués.
4. Lorsque l'heure de début des quarts varie beaucoup, les membres des équipes de train peuvent régulièrement être privés de sommeil de bonne qualité, ce qui peut se traduire par une fatigue accrue pendant les quarts de travail et une augmentation des risques d'accident.

### 3.3 *Autres faits établis*

1. Comme de nombreuses obstructions physiques réduisaient la vue vers l'arrière du train, l'équipe du train n'avait peut-être pas toujours une bonne vue des indices externes (p. ex., étincelles et fumée) produits par l'essieu n° 4 grippé de la locomotive menée.
2. Juste avant le déraillement, la température des roues de l'essieu grippé se trouvait à l'intérieur de la plage des roues tièdes.

## 4.0 *Mesures de sécurité*

### 4.1 *Mesures de sécurité prises*

#### 4.1.1 *Chemins de fer nationaux du Canada*

Après l'événement à l'étude, les Chemins de fer nationaux du Canada (CN) ont ajusté les détecteurs de boîtes chaudes/détecteurs de roues chaudes/détecteurs de pièces traînantes (DBC/DRC/DPT) pour que le nombre d'essieux fasse partie du message transmis après une inspection.

*Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 8 juin 2016. Le rapport a été officiellement publié le 19 juillet 2016.*

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