

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR DES PROBLÈMES DE SÉCURITÉ

SII R05-01



ANALYSE DE DÉRAILLEMENTS SURVENUS SUR DES VOIES PRINCIPALES DE DEUXIÈME CATÉGORIE ET DES RELATIONS ENTRE CES DÉRAILLEMENTS ET LE TRAFIC DE VRAC



Rapport d'enquête sur des problèmes de sécurité SII R05-01

Analyse de déraillements survenus sur des voies principales de deuxième catégorie et des relations entre ces déraillements et le trafic de vrac

Résumé

Introduction

Une série de déraillements causés par des ruptures de rails, qui se sont produits au cours de l'hiver 2003-2004 sur des voies principales de deuxième catégorie situées dans l'ouest du Canada a incité le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) à instituer la présente enquête sur des problèmes de sécurité. Afin de comprendre les facteurs sous-jacents relatifs à ces événements, on a examiné les similitudes qui existaient entre les événements en question, étudié les données pertinentes du BST et utilisé les données fournies par les compagnies ferroviaires pour vérifier une hypothèse précise.

Portée

Les subdivisions sur lesquelles a porté l'enquête étaient celles où les déraillements initiaux s'étaient produits, auxquelles ont été ajoutées d'autres subdivisions qui ont été choisies en fonction

- des caractéristiques de leurs voies (c'est-à-dire voies principales de deuxième catégorie),
- de leur trafic,
- de leur situation géographique (c'est-à-dire l'ouest du Canada),
- d'un historique de déraillements récents.

On a étudié l'information relative aux éléments de l'infrastructure de la voie, aux programmes de renouvellement, à l'auscultation des rails, aux pratiques d'entretien et d'inspection, aux équipes de travaux, à la densité du trafic et aux charges par essieu afin de connaître les rapports

qualitatifs qui existent entre l'état de la voie, le trafic, le taux de défauts de la voie et la fréquence des déraillements. On a analysé l'historique des cinq dernières années en matière de géométrie de la voie et de défauts de rail, le type et la densité du trafic, l'historique en matière de déraillements, les causes et les facteurs contributifs afin de déceler les éventuelles lacunes de sécurité. Cette analyse qualitative des déraillements a tenu compte des données du Canadien National (CN) et de celles du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP).

On a mené des analyses statistiques afin de vérifier l'hypothèse voulant que le trafic de vrac, indépendamment du tonnage cumulatif, soit associé à une augmentation des risques de déraillements causés par des défauts de rail. L'analyse quantitative n'a porté que sur les données relatives aux subdivisions du CFCP, étant donné que les subdivisions du CN répondant aux critères de sélection n'étaient pas suffisamment nombreuses pour qu'on puisse obtenir un échantillonnage significatif aux fins d'analyse ou pour qu'on puisse déterminer s'il y avait assez de similitudes entre les données du CN et du CFCP pour les regrouper en un seul échantillon.

Résultats

On a pu établir une relation statistiquement significative entre la fréquence des défauts de rail et le niveau de trafic de vrac. Quand les rails ont un poids inférieur à 130 livres, l'accroissement du tonnage de trains-blocs vraciers entraîne une augmentation significative du nombre de défauts de rail, d'où un risque accru de déraillements consécutifs à la rupture de rails. Le présent rapport d'enquête sur des problèmes de sécurité permet de signaler des risques relatifs à la difficulté de faire concorder les activités d'entretien de la voie et les besoins découlant de la dégradation de la voie aux lacunes du *Règlement sur la sécurité de la voie* et aux problèmes attribuables aux capacités d'inspection des rails et aux pratiques d'entretien.

Table des matières

1.0	Introduction.....	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Dossiers du BST sur les événements pour les subdivisions sélectionnées.....	4
1.3	Inspections faites par Transports Canada.....	4
1.4	Objet de l'enquête sur des problèmes de sécurité	5
1.5	Effets du trafic de trains-blocs vraciers sur les voies principales de deuxième catégorie	5
1.6	Analyse statistique	7
1.6.1	Sélection des échantillons.....	7
1.6.2	Résultats.....	9
2.0	Discussion.....	11
2.1	Lien de causalité entre le tonnage de trains vraciers et le taux de défauts de rail	11
2.2	Mesures prises par les compagnies ferroviaires pour gérer l'accroissement des charges sur les voies principales de deuxième catégorie.....	11
2.3	Entretien, inspection et essais	14
2.3.1	Auscultation des rails	16
2.3.2	Meulage des rails.....	18
2.3.3	Joints de rail.....	20
2.3.4	Trous d'éclissage	22
2.4	Règlement sur la sécurité de la voie	23
3.0	Faits établis	27
Annexes		
	Annexe A - Résumés des événements décrits dans le tableau 1.....	29
	Annexe B - Renseignements supplémentaires relatifs à l'analyse statistique	35
	Annexe C - Auscultation des rails.....	37
	Annexe D - Inspections faites par Transports Canada.....	41
	Annexe E - Sigles et abréviations	43

Figures

Figure 1	Endroits et subdivisions où les huit événements ont eu lieu.....	3
Figure 2	Carte montrant la ligne principale du CFCP et les subdivisions sélectionnées	8
Figure 3	Relations entre le taux de défauts de rail et le tonnage de trains-blocs vraquiers dans les six subdivisions de l'ouest du CFCP	10
Figure 4	Activités de meulage dans les subdivisions sélectionnées du CFCP, de 2000 à 2003	20

Tableaux

Tableau 1	Déraillements	2
Tableau 2	Sélection des subdivisions qui ont constitué l'échantillon	8
Tableau 3	Corrélations entre les variables	9
Tableau 4	Sélection des subdivisions du CFCP.....	36

1.0 Introduction

1.1 Contexte

Entre octobre 2003 et mars 2004, un grand nombre de déraillements en voie principale qui sont survenus dans l'ouest du Canada sur des voies principales de deuxième catégorie dépourvues de signalisation¹ ont résulté de défaillances de l'infrastructure. Un examen initial de huit de ces événements (voir le Tableau 1 et la Figure 1) suggérait qu'il y avait des similitudes en ce qui a trait à la situation géographique, au type de voies et aux facteurs de causalité (voir les résumés des événements du tableau 1 à l'Annexe A). On a remarqué que ces événements étaient similaires au déraillement survenu le 4 décembre 2002, lors duquel 42 wagons-citernes chargés de soufre liquide ont déraillé au point milliaire 11,8 de la subdivision Taber du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP)², en Alberta (rapport R02E0114 du BST).

L'enquête a permis de faire les constatations suivantes :

- L'état de la voie et le nombre de défauts et de défaillances d'éléments de la voie dans la subdivision Taber dénotent une détérioration accélérée de la voie, attribuable en partie au passage d'un grand nombre de wagons dont la charge par essieu était élevée et à l'augmentation du tonnage transporté dans la subdivision.
- Même si les compagnies ferroviaires peuvent réduire la vitesse pour se conformer aux exigences minimales du RSV [*Règlement sur la sécurité de la voie*], il se pourrait que le RSV actuel ne permette pas d'assurer la sécurité à long terme dans le contexte d'une augmentation du trafic ferroviaire et de l'augmentation des charges par essieu sur des voies secondaires ou des voies de dérivation.
- Alors que les activités de réglementation visant la subdivision Taber dénotaient une préoccupation grandissante quant à la détérioration de la voie, le fait que la compagnie n'a pas pris rapidement des mesures pour répondre à ces préoccupations a rendu impossible toute atténuation des risques de déraillement attribuables à cette situation.
- L'augmentation du poids brut maximal supporté par les rails, si elle ne s'accompagne pas d'améliorations correspondantes et adéquates de l'infrastructure, a pour effet d'accroître le risque de déraillements attribuables à l'état de la voie, à plus forte raison si le trafic en question est acheminé à long terme.

¹ Aux fins de la présente enquête, les voies principales de deuxième catégorie sont toutes dépourvues de signalisation.

² Voir l'Annexe E pour la signification des sigles et abréviations.

Tableau 1. Dérailements

Dossier n°	Catégorie	Date	Matériel déraillé	Lieu	Vitesse en voie / Vitesse du train	Rail	Cause	Vérifications de l'état de la voie
R03E0091	4	12 octobre 2003	19 wagons du train 269-11 chargés du CFCP	Point milliaire 46,9 de la subdivision Aldersyde	Vitesse en voie de 45 mi/h	Longs rails soudés (LRS) de 115 livres fabriqués par Algoma en 1974; usure du champignon de 3/8 de pouce; usure latérale de 5/16 de pouce	La rupture d'un tronçon de rail a créé une trouée de 38 pieds dans le rail de la file haute d'une courbe de quatre degrés vers la gauche	Le dernier contrôle des défauts de rail a eu lieu le 30 juillet. Aucun défaut interne n'a été enregistré dans les 10 milles de part et d'autre du point de déraillement (PDD). Le contrôle suivant devait avoir lieu pendant la semaine du 13 octobre.
R03E0092	4	15 octobre 2003	14 wagons du train 863-017 chargés du CFCP	Point milliaire 40,4 de la subdivision Taber	Vitesse en voie de 40 mi/h, avec ordre temporaire de vitesse réduite à 25 mi/h en raison du mauvais état du ballast	Rails éclissés à champignon chanfreiné de 100 livres en longueurs de 66 pieds fabriqués en 1953 par Dominion et posés sur un tronçon en alignement droit, posés comme rails de réemploi dans les années 1980	Rupture d'un rail due à une fissuration verticale du champignon de 15 pouces et à une fissuration du congé âme-champignon	Un contrôle par ultrasons du rail a été fait une semaine avant, le 8 octobre, mais le défaut n'a pas été détecté en raison d'une erreur d'interprétation de l'opérateur (faux négatif)
R03C0101	3	24 octobre 2003	16 wagons du train 269-21 chargés du CFCP	Point milliaire 10,75 de la subdivision Moyie	Vitesse en voie de 25 mi/h; vitesse du train de 27 mi/h	LRS de 136 livres à profil RE fabriqués par Algoma entre 1980 et 1985 avec usure du champignon de 5/8 de pouce et usure latérale de 7/16 de pouce	Rupture du rail de la file haute dans une courbe de six degrés vers la gauche, due à une fissuration transversale progressive amorcée en surface partant de l'angle intérieur du rail de la file haute et atteignant une profondeur de 1 3/4 pouce. On avait fixé ensemble deux bouts de rail au moyen d'éclisses boulonnées, afin de réparer temporairement une rupture de rail survenue le 7 octobre.	Le dernier contrôle par ultrasons fait avant le déraillement a eu lieu le 19 septembre et n'a révélé aucun défaut dans le secteur. Près du PDD, la voiture de détection des défauts de rail a obtenu des réponses intermittentes qui dénotent habituellement un mauvais état de la surface du champignon du rail et aucune mesure n'était exigée et n'a été prise par l'opérateur de l'appareil de contrôle.
R04E0001	4	1 ^{er} janvier 2004	28 wagons chargés de céréales du train A44351-01 du CN	Point milliaire 58,90 de la subdivision Camrose	Le train roulait à 40 mi/h et a ralenti pour se conformer à un ordre permanent de vitesse réduite à 25 mi/h entre les points milliaires 49,2 et 38,4	Rails éclissés de 100 livres, en longueurs de 39 pieds (éclisses à quatre boulons) fabriqués en 1949 par Algoma, avec perte de 7 mm du champignon	Rupture d'un rail dans un joint d'une voie en alignement droit vraisemblablement causée par une fissure dans un trou d'éclissage	
R04C0002	4	5 janvier 2004	15 wagons du train 266-02 chargés du CFCP	Point milliaire 76,4 de la subdivision Crownsnest	Vitesse en voie de 35 mi/h; vitesse du train de 30 mi/h	LRS de 115 livres partiellement usés, fabriqués en 1982 par Algoma, transportés de la voie principale du CFCP dans le nord de l'Ontario avec usure du champignon de 1/4 de pouce et usure latérale de 1/8 de pouce (en deçà des limites permises)	Rupture du rail de la file haute dans une transition entre des courbes de cinq et six degrés - défauts transversaux dans 12 des 14 fractures	Le dernier contrôle par ultrasons, fait le 3 octobre 2003, a révélé un possible défaut transversal près du PDD, mais l'opérateur de l'appareil de contrôle par ultrasons a conclu que le défaut affectait moins de 10 % de la surface et n'a pris aucune mesure étant donné le mauvais état de la surface (écaillage et shelling notables)
R04C0014	4	26 janvier 2004	11 wagons intermodaux du train 104-26 sud du CFCP	Point milliaire 46,1 de la subdivision Red Deer, près de Didsbury (Alberta)	Vitesse normale en voie de 55 mi/h; vitesse du train de 21,7 mi/h; ordre de marche à vitesse réduite à 35 mi/h en vigueur en raison du temps froid	LRS de 115 livres fabriqués en 1983 par Algoma, posés sur un tronçon en alignement droit avec des éclisses à six trous	Rupture du rail/Des éclisses du rail ouest. Des fissures de fatigue s'étaient propagées à partir des trous d'éclissage; fissures de fatigue bien évidentes sur les surfaces de rupture des deux éclisses. Des méthodes d'inspection et d'entretien des joints laissant à désirer ont contribué à ce déraillement.	Le dernier contrôle par ultrasons, fait le 10 novembre 2003, a révélé une soudure de chantier défectueuse un peu au nord du PDD (pas considérée comme étant un facteur de causalité)
R04C0031	4	22 février 2004	22 plates-formes intermodales du train Q11531-19 ouest du CN	Point milliaire 37,21 de la subdivision Oyen	Vitesse en voie de 40 mi/h; vitesse du train de 34 mi/h	Rails éclissés de profil RA de 100 livres, en longueurs de 78 pieds (éclisses à quatre boulons) fabriqués en 1956 par Dominion, posés sur un tronçon en alignement droit	Rupture d'un rail en raison d'une fissuration verticale du champignon dans un joint voisin d'un croisement	Aucun défaut de rail n'a été enregistré dans le secteur lors du dernier contrôle par ultrasons fait le 17 juin 2003
R04E0027	3	4 mars 2004	20 wagons du train 575-03 ouest du CFCP	Point milliaire 86,03 de la subdivision Red Deer, près de Penhold (Alberta)	Un ordre de marche à vitesse réduite de 40 mi/h était en vigueur dans le secteur en raison de variations excessives du nivellement transversal (non considéré comme étant un facteur déterminant); vitesse du train de 39,2 mi/h	LRS de 115 livres fabriqués par Algoma en 1984	Le train a déraillé dans un tronçon en alignement droit quand il est passé au-dessus d'un joint de rail brisé qui s'était séparé de la voie. Le rail brisé a perforé un wagon de résidus d'ammoniac anhydre.	Le dernier passage de la voiture de détection des défauts de rail a eu lieu entre les points milliaires 67,3 et 95,6 le 13 février 2004. Aucun défaut n'a été décelé à cette occasion.

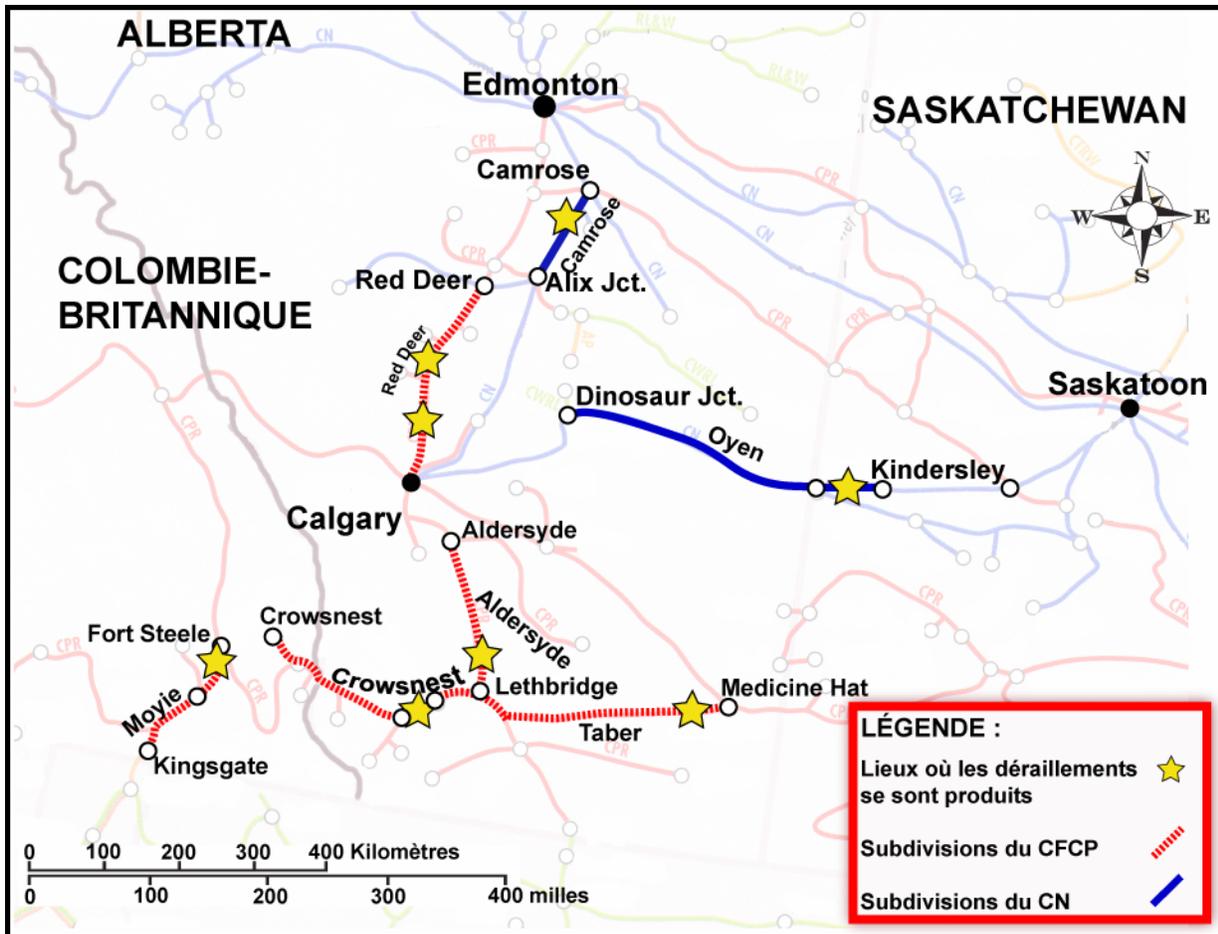


Figure 1. Endroits et subdivisions où les huit événements ont eu lieu

Ces événements similaires ont incité le BST à rechercher les facteurs systémiques sous-jacents. À cette fin, il a institué une enquête sur des problèmes de sécurité relative aux déraillements survenus sur des voies principales de deuxième catégorie du Canadien National (CN) et du CFCP qui étaient situées dans l'ouest du Canada. Sachant que les facteurs en cause auraient vraisemblablement une incidence dans des subdivisions autres que celles qui sont énumérées dans le Tableau 1, le BST a élargi le champ d'application de l'enquête sur des problèmes de sécurité pour y inclure d'autres subdivisions similaires. La sélection des subdivisions a tenu compte des caractéristiques de la voie (voies principales de deuxième catégorie), du trafic, de la situation géographique (ouest du Canada) et d'un historique de déraillements récents. Les 13 subdivisions sélectionnées consistaient en 5 subdivisions³ situées le long de voies principales de deuxième catégorie du CFCP (527 milles), entre North Portal (Saskatchewan) et Kingsgate (Colombie-Britannique), 2 subdivisions (116 milles) situées entre Calgary et Lethbridge (Alberta)⁴ et 6 subdivisions du CN (837 milles) situées en Alberta et en Saskatchewan⁵.

³ Subdivisions Moyie, Cranbrook, Crowsnest, Taber et Weyburn

⁴ Subdivisions Macleod et Aldersyde

⁵ Subdivisions Blackfoot, Vegreville, Brazeau, Camrose, Sangudo et Three Hills

L'information relative aux éléments de l'infrastructure, aux programmes de renouvellement, à l'auscultation des rails, aux pratiques d'entretien et d'inspection, aux équipes de travaux, à la densité du trafic et aux charges a été fournie par les compagnies ferroviaires.

1.2 *Dossiers du BST sur les événements pour les subdivisions sélectionnées*

Au total, 51 déraillements en voie principale ont été signalés dans les subdivisions sélectionnées entre le 1^{er} janvier 1998 et le 12 février 2004. Depuis 1998, le nombre de déraillements survenus chaque année dans des subdivisions du CFCP (33) a varié entre 3 et 9. Le nombre total de déraillements survenus dans des subdivisions du CN (18) a été de 5 ou moins par année. En tout, 27 des 51 déraillements étaient attribuables à l'état de la voie, dont 16 étaient attribuables à des ruptures de rails ou de joints (3 sur les voies du CN et 13 sur celles du CFCP). Au total, 11 des 13 déraillements consécutifs à des ruptures de rails ou de joints survenus sur les voies du CFCP se sont produits le long de l'itinéraire North Portal-Kingsgate.

Bien que les voies du CN et celles du CFCP aient une infrastructure similaire, les subdivisions du CN sont surtout des voies de dérivation qui acheminent un trafic léger, alors que les subdivisions du CFCP entre North Portal et Kingsgate font partie d'une voie principale de deuxième catégorie qui relie le centre de l'Amérique du Nord et la côte ouest. Aux fins de la présente enquête sur des problèmes de sécurité, le BST définit les « voies de dérivation » et les « voies principales de deuxième catégorie » comme étant des voies qui ne font pas partie d'un réseau transcontinental de voies principales. Pour le besoin de l'analyse statistique, on a fait porter la présente enquête sur des problèmes de sécurité sur des subdivisions qui acheminaient un tonnage annuel supérieur à 10 millions de tonnes-brutes (MTB) et qui étaient composées en majorité de rails dont le poids était inférieur à 130 livres. Dans toutes les cinq subdivisions de l'itinéraire North Portal-Kingsgate, le trafic a augmenté au cours des cinq dernières années, les subdivisions Weyburn et Cranbrook étant celles qui acheminaient le tonnage le plus élevé. Cinq des déraillements se sont produits dans la subdivision Weyburn en 2001 et au début de 2002, avant la fin de programmes majeurs de renouvellement de l'infrastructure qui comprenaient des programmes de pose de rail et de branchements de réemploi, et de remplacement de traverses. Le taux de défauts de rail par 100 milles de voies contrôlés a diminué dans la subdivision Weyburn, est resté inchangé à moins de 10 défauts par 100 milles de voies contrôlés dans la subdivision Cranbrook, mais a augmenté dans les subdivisions Taber, Moyie et Crowsnest.

1.3 *Inspections faites par Transports Canada*

Transports Canada a la responsabilité de surveiller la sécurité des compagnies ferroviaires de compétence fédérale et, à cette fin, il procède à des activités de promotion, de surveillance et d'exécution. Transports Canada applique les dispositions de la *Loi sur la sécurité ferroviaire* (LSF) et des règlements, règles, normes et ordonnances connexes, partant du principe que la sécurité est une responsabilité qui incombe d'abord aux compagnies ferroviaires.

Transports Canada exerce une surveillance de l'infrastructure ferroviaire en faisant une vérification des données, des processus et des procédures et en veillant à ce que les compagnies se conforment à la LSF et à la réglementation connexe. Il inspecte aussi les voies choisies de compagnies, et examine particulièrement les systèmes de sécurité et le dossier de conformité

des compagnies pour déceler les problèmes de sécurité de nature systémique. Cette façon de procéder se démarque des programmes de surveillance des voies existant avant l'entrée en vigueur du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, qui reposaient presque tous sur des inspections.

L'examen des dossiers de Transports Canada indique que, ces dernières années, Transports Canada a inspecté la plupart des subdivisions sélectionnées, les inspections étant complètes dans certains cas et partielles dans d'autres. Alors que les inspections ont révélé différentes infractions au RSV, elles n'ont révélé aucun problème de sécurité de nature systémique dans la plupart des subdivisions. Toutefois, ces dossiers indiquent que trois subdivisions, Moyie, Cranbrook et Taber, attiraient particulièrement l'attention puisque Transports Canada signalait une détérioration persistante et systémique de l'état des voies de ces subdivisions du fait de l'accroissement du trafic et du nombre de trains-blocs vraciers.

1.4 *Objet de l'enquête sur des problèmes de sécurité*

Compte tenu de ce qui précède, la présente enquête s'est intéressée surtout aux effets du trafic de trains-blocs vraciers sur les voies principales de deuxième catégorie. On a examiné les aspects suivants :

- mesures prises par les compagnies ferroviaires pour gérer l'accroissement des charges sur les voies principales de deuxième catégorie;
- entretien, inspection et essai;
- meulage des rails;
- joints de rail;
- *Règlement sur la sécurité de la voie* approuvé par Transports Canada.

1.5 *Effets du trafic de trains-blocs vraciers sur les voies principales de deuxième catégorie*

Ces dernières années, les compagnies ferroviaires d'Amérique du Nord ont accru la charge par essieu dans leurs réseaux, passant de 33 tonnes (263 000 livres) à 36 tonnes (286 000 livres). Des charges par essieu accrues exigent une augmentation de la capacité des voies et permettent une utilisation plus efficace des actifs et une diminution des frais d'exploitation des trains, étant donné qu'on utilise moins de locomotives, de wagons et de trains pour transporter un volume de marchandises plus considérable. Les clients des compagnies ferroviaires en bénéficient, du fait de la diminution des tarifs. Bien que les wagons de 263 000 livres des trains-blocs soient devenus très courants dans l'industrie et que leurs mouvements fassent l'objet de peu de restrictions, les dossiers relatifs aux événements donnent à penser que l'augmentation du trafic de trains-blocs pourrait s'avérer problématique pour les voies principales de deuxième catégorie.

L'enquête sur des problèmes de sécurité a pour objet d'analyser les effets indésirables de ce type de trafic sur les voies principales de deuxième catégorie. Grâce à des ponts solides et à une infrastructure ferroviaire de qualité supérieure, il a été possible d'accroître les charges jusqu'à 263 000 livres sur la plupart des voies principales. Pour que le matériel roulant puisse résister à l'accroissement des charges par essieu, il a fallu revoir la conception d'éléments comme les

bogies, les ressorts et les roulements d'essieu pour les rendre plus robustes. Toutefois, quand on a accru le trafic de trains-blocs vraciers sur les voies principales de deuxième catégorie, il est vite apparu que l'infrastructure ferroviaire pourrait devenir un facteur de limitation.

Les compagnies ferroviaires ont une certaine marge de manœuvre quant à l'acheminement de leur trafic, et au choix de leurs méthodes d'exploitation, de leurs pratiques d'entretien et des itinéraires d'expédition de leur trafic. En faisant passer par l'itinéraire sud une partie de ses trains-blocs de la côte ouest, le CFCP accroît l'utilisation de son réseau secondaire, et gagne ainsi un avantage du point de vue de l'exploitation puisqu'il peut atténuer la congestion sur ses voies principales et libérer des créneaux pour le passage des trains prioritaires. La gestion de l'infrastructure suppose qu'on tienne compte au préalable du type de trafic qu'on doit acheminer. À l'occasion, il est possible de faire circuler des trains-blocs sur des voies principales de deuxième catégorie sans que cela entraîne des dommages considérables, mais l'augmentation à long terme de ce type de trafic entraînera une détérioration accélérée de la voie, à moins que des mesures d'atténuation ne soient prises.

Les trains-blocs constitués de wagons à grande capacité posent des problèmes particuliers pour les voies principales de deuxième catégorie dont la structure (traverses, ballast, plate-forme) est parfois affaiblie. La composition d'un train-bloc est habituellement uniforme, c'est-à-dire que tous les wagons sont du même modèle et portent la même charge et que leurs châssis et bogies réagissent à peu près de façon uniforme. Par conséquent, chaque wagon du train réagit aux irrégularités de la voie de la même manière que le précédent, si bien que le passage d'un train occasionne des impacts cumulatifs dès que la voie est affectée par la moindre irrégularité. Quand un train est composé de nombreux wagons du même modèle dont la capacité de charge est grande, la capacité de reprise élastique⁶ de la voie sous le poids des wagons est faible, voire inexistante. La voie subit alors une déformation hâtive, permanente, et habituellement non uniforme.

La dégradation de la voie et les besoins d'entretien qui en résultent s'accroissent au fur et à mesure de l'augmentation des charges par essieu. Alors que les effets des fortes charges par essieu (charges par essieu égales ou supérieures à 286 000 livres) ont été bien documentés au fil des ans dans le cas des voies principales, les effets de ces charges sur les voies principales de deuxième catégorie ne sont pas aussi bien connus. Depuis une vingtaine d'années, l'Association of American Railroads (AAR), par l'entremise de son centre de recherche, le Transportation Technology Center Inc. (TTCI), procède à la mise au point et à des essais exhaustifs de nouveaux éléments de voie et de nouveaux équipements mécaniques dans un contexte de fortes charges par essieu à ses installations de Pueblo (Colorado). L'Office of Railroad Development (bureau de développement des chemins de fer) de la Federal Railroad Administration (FRA) a réalisé des travaux spécifiques portant sur la capacité des ponts des chemins de fer sur courtes distances dans des conditions de fortes charges par essieu, mais ni l'AAR ni la FRA ne font actuellement ou n'ont entrepris par le passé des recherches relatives aux effets des fortes charges par essieu sur l'infrastructure des voies principales de deuxième catégorie. L'American Short Line and Regional Railroad Association (association des chemins de fer sur courtes distances et des chemins de fer régionaux des États-Unis) étudie activement la question des

⁶ Le terme reprise élastique signifie la capacité de la voie de reprendre sa forme originale après le passage d'un matériel roulant.

fortes charges par essieu⁷, à la suite de la demande relative à l'accroissement des charges par essieu sur les réseaux des compagnies membres de l'association. L'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) a commandé une étude⁸ sur la mise à niveau dont les voies des chemins de fer sur courtes distances devront faire l'objet si l'on veut les adapter aux normes de chargement de 286 000 livres. La conclusion de toutes ces études est similaire : le trafic à fortes charges par essieu qui emprunte des voies principales de deuxième catégorie dégrade les éléments et la surface de la voie plus rapidement que ceux des voies principales de première catégorie, et il faudra prendre des mesures pour faire en sorte que le matériel roulant dont la charge par essieu est forte puisse rouler à long terme sur ces voies en toute sécurité.

Dans les faits, on a signalé peu de chargements de 286 000 livres dans les subdivisions examinées dans le cadre de la présente enquête. Toutefois, on considère que les conclusions des études susmentionnées sont valables pour les voies principales de deuxième catégorie, étant donné qu'une augmentation du trafic de trains-blocs vraciers de 263 000 livres entraîne aussi une dégradation accrue de la voie et une augmentation des coûts d'entretien.

1.6 Analyse statistique

On a procédé à une analyse statistique afin d'avoir une appréciation quantitative des effets causés par le trafic de trains-blocs vraciers. L'hypothèse expérimentale voulait qu'il y ait une corrélation significative entre ce type de trafic et le taux de défauts de rail (par mille de voie). On a analysé les moyennes annuelles établies d'après les valeurs calculées pendant une période de deux ans. On a établi des corrélations pour les variables (tonnage global, tonnage des trains-blocs vraciers, taux de défauts de rail par mille de voie et indice de rugosité de la surface [IRS])⁹.

1.6.1 Sélection des échantillons

La sélection des subdivisions a tenu compte de deux critères : la subdivision devait acheminer plus de 10 MTB par année et la majorité de ses rails devait être de moins de 130 livres. Initialement, le BST a demandé des données portant sur 13 subdivisions de l'ouest (7 du réseau du CFPC et 6 de celui du CN) qui pourraient correspondre aux critères de sélection. L'examen des données fournies a révélé que seulement 4 subdivisions du CFPC et 3 subdivisions du CN répondaient aux critères de sélection. On a donc demandé des données portant sur 7 autres

-
- ⁷ Heavy Axle Loads Needs Assessment (évaluation des besoins en matière de fortes charges par essieu) préparée pour l'American Short Line and Regional Railroad Association, Zeta-Tech Associates, mai 2000.
- ⁸ Upgrading Short Line and Regional Railways Infrastructure to Accommodate Heavier Axle Loads (Mise au point de l'infrastructure des chemins de fer sur courtes distances et des chemins de fer régionaux afin de tenir compte des fortes charges par essieu), IBI Group, 2002.
- ⁹ L'indice de rugosité de la surface (IRS) correspond au nombre moyen de défauts qui affectent la surface, c'est-à-dire les défauts de l'état géométrique de la voie. En comparant entre eux les IRS obtenus après chaque parcours, on a une idée de l'évolution de l'état de la voie dans le temps, un IRS peu élevé correspondant à une voie en bon état.

subdivisions du CFCP, dont 2 répondaient aux critères. La même demande de données additionnelles n'a pas été adressée au CN, car on croyait qu'aucune autre des subdivisions du CN ne répondrait aux critères de sélection. Le Tableau 2 dresse la liste des subdivisions au sujet desquelles on a fait une demande initiale de données au CFCP et au CN, et de celles qui ont fait l'objet de la demande de suivi au CFCP. Les subdivisions dont le nom est rayé sont celles qui ne répondaient pas aux critères de sélection. La Figure 2 illustre la situation géographique des subdivisions du CFCP qui ont été sélectionnées.

Tableau 2. Sélection des subdivisions qui ont constitué l'échantillon

Canadien National		Chemin de fer Canadien Pacifique	
Demande initiale		Demande initiale	Demande de suivi
Camrose		Taber	Red Deer
Vegreville		Weyburn	Leduc
Blackfoot		Macleod	Hardisty
Three Hills		Aldersyde	Wilkie (tronçon à 10 MTB et plus)
Brazeau		Moyie	Nelson
Sangued		Cranbrook	Estevan (tronçon à 10 MTB et plus)
		Crowsnest	Sutherland (de Lanigan à Saskatoon)

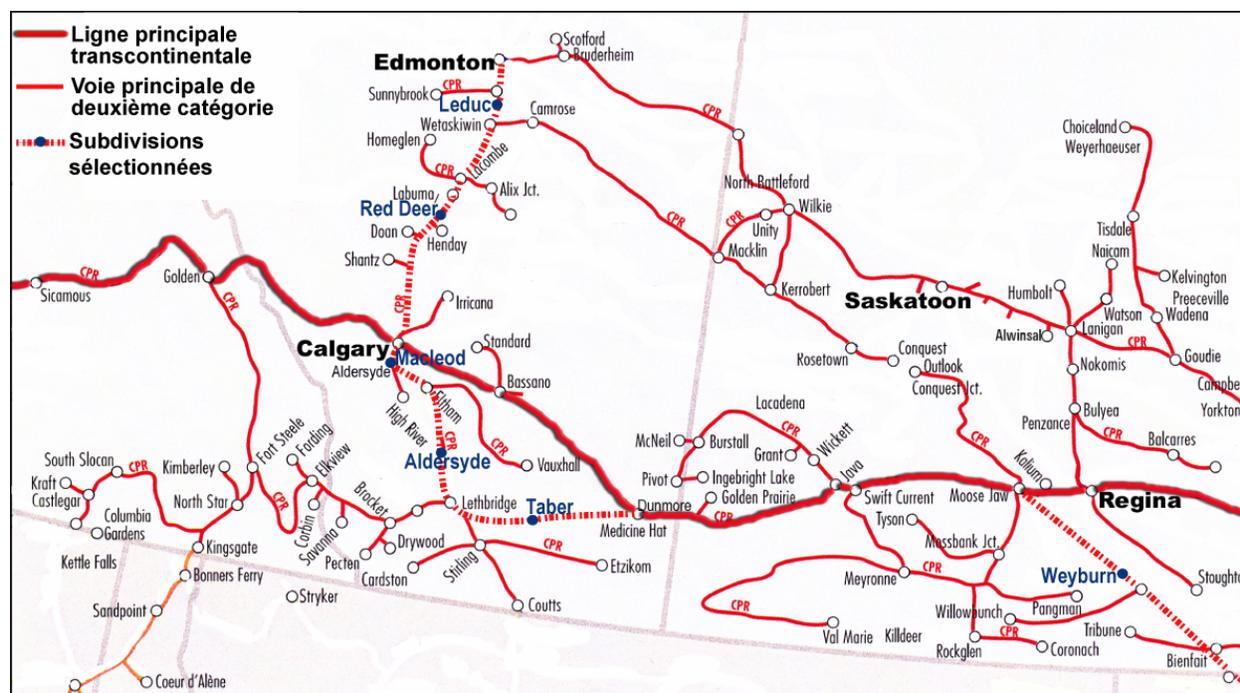


Figure 2. Carte montrant la ligne principale du CFCP et les subdivisions sélectionnées

Les 9 subdivisions restantes du CN et du CFCP ne pouvaient être regroupées en un seul ensemble de données en vue d'une analyse ultérieure que si la variable indépendante (c'est-à-dire le chemin de fer) n'avait aucun effet significatif sur la variable dépendante (c'est-à-dire le taux de défauts de rail). Pour déterminer si la différence entre les deux ensembles de données

est statistiquement significative, on applique habituellement un test t¹⁰. Si l'on ne découvre aucun écart statistiquement significatif, on combine les données pour tous les niveaux de la variable et on n'en tient pas compte aux fins des analyses subséquentes. Toutefois, pour procéder à un test t (ou à toute autre technique statistique pertinente), il faut un échantillon d'au moins cinq valeurs pour chaque niveau de la variable¹¹. Avec un échantillon de seulement trois subdivisions du CN, il a été impossible de procéder à un test statistiquement rigoureux des écarts qui existaient entre les chemins de fer, et à une analyse indépendante de l'échantillon du CN. Par conséquent, la vérification statistique de l'hypothèse n'a été appliquée qu'aux données du CFCP.

Cela ne signifie pas que le réseau du CN est épargné par les effets que la circulation de trains-blocs peut avoir sur le taux de défauts touchant les rails de moins de 130 livres. Cela signifie simplement que le CFCP avait un nombre suffisant de subdivisions qui répondaient aux critères de sélection pour faire une vérification statistique de l'hypothèse, tandis que le CN n'en avait pas. L'Annexe B présente une description plus détaillée des données utilisées aux fins de l'analyse statistique exposée ci-après.

1.6.2 Résultats

Tableau 3. Corrélations entre les variables

	Tonnage global	Tonnage de trains-blocs vraciers	Défauts de rail par mille de voie	Indice de rugosité de la surface
Tonnage global	1,00	0,44	0,29	-0,34
Tonnage de trains-blocs vraciers		1,00	0,92*	0,57
Défauts de rail par mille de voie			1,00	0,71
Indice de rugosité de la surface				1,00
* indique un niveau de signification statistique à < 0,05				

¹⁰ Un test t est une technique de statistique qui permet de déterminer s'il y a des différences significatives entre deux échantillons.

¹¹ T.C. Krehbiel (2003), « Correlation coefficient rule of thumb », présenté à *The Decision Science Journal of Innovative Education* (M. Krehbiel enseigne au département des sciences de la prise de décisions et des systèmes de l'information de gestion de la Richard T. Farmer School of Business, Université de Miami). L'article démontre de façon rigoureuse que la corrélation critique (c'est-à-dire la corrélation statistiquement significative minimale) correspond à $2 / \sqrt{n}$, ce qui n'est possible que si $n \geq 5$.

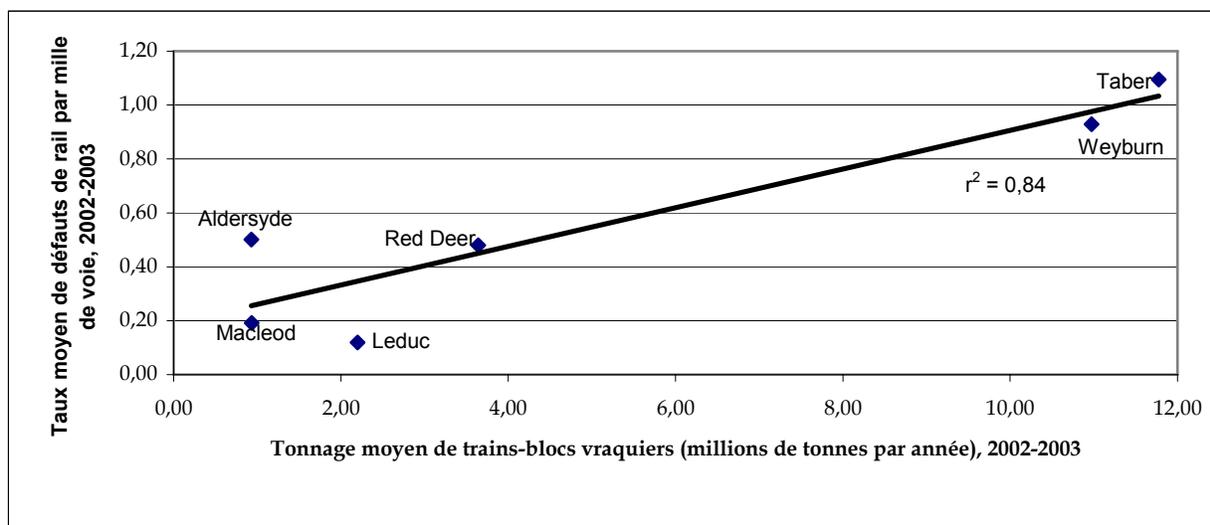


Figure 3. Relations entre le taux de défauts de rail et le tonnage de trains-blocs vraciers dans les six subdivisions de l'ouest du CFCP

On a relevé une corrélation significative entre le tonnage constitué de trains-blocs vraciers et le taux de défauts de rail par mille de voie ($r = 0,92$, $p < 0,05$), ce qui indique que 84 % de l'écart dans le nombre de défauts de rail est dû au tonnage de trains-blocs vraciers, comme le montrent le Tableau 3 et la Figure 3. Cela signifie qu'il y a une relation directe évidente entre le taux global de défauts de rail et le tonnage annuel de trains-blocs vraciers, si l'on prend en compte les six subdivisions qui répondent aux critères de sélection.

Le coefficient de corrélation, r , représente la relation linéaire qui existe entre deux variables. Quand $r = 1,00$, on obtient une corrélation positive parfaite. Le coefficient de détermination, r^2 , représente la force ou la magnitude de la relation qui existe entre les deux variables. La valeur de signification statistique, p , indique la probabilité d'une relation due à la chance. La convention veut que des résultats indiquant une valeur $p < 0,05$ soient statistiquement significatifs. Des résultats allant de 0,01 à 0,001 sont très significatifs. Dans le cadre de la présente analyse, la valeur calculée de p était de 0,0102.

La corrélation entre le tonnage global et le taux de défauts de rail par mille de voie n'était pas statistiquement significative. De plus, on n'a pas signalé une corrélation statistiquement significative entre le taux de défauts de rail par mille de voie et l'IRS.

On n'a pas signalé une corrélation statistiquement significative entre le tonnage global ou le tonnage de trains-blocs vraciers et l'IRS.

2.0 *Discussion*

2.1 *Lien de causalité entre le tonnage de trains vraciers et le taux de défauts de rail*

Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'il y a une corrélation étroite et statistiquement significative entre le tonnage annuel de trains vraciers et le taux de défauts de rail, mais pas entre le tonnage global et le taux de défauts de rail.

Bien qu'une corrélation ne suffise pas à elle seule à prouver l'existence d'un lien de causalité, on peut combiner logique et connaissances spécialisées à une corrélation significative pour construire un argument causal valide. L'argument selon lequel un accroissement du trafic de trains-blocs vraciers cause un accroissement du taux de défauts de rail veut qu'une des trois hypothèses suivantes soit vraie : 1) le trafic de trains-blocs vraciers cause des défauts de rail; 2) les défauts de rail causent une augmentation du trafic de trains-blocs vraciers; 3) les deux résultats sont causés par un facteur non mentionné ou un ensemble de facteurs interdépendants. La deuxième hypothèse de causalité est fautive. La troisième hypothèse suppose l'existence d'un ou de plusieurs facteurs de causalité qui sont liés au trafic de trains-blocs vraciers et au taux de défauts de rail, mais pas au tonnage global étant donné qu'il n'y a pas de relation significative entre le taux de défauts et le tonnage global (ce qui exclut une augmentation du nombre d'inspections, par exemple). Aucun autre facteur plausible ne pouvant être postulé, il s'ensuit, en procédant par élimination, que le trafic de trains-blocs vraciers cause des défauts de rail.

L'entretien n'a pas été inclus au nombre des variables lors de l'analyse, ce qui fait que les effets atténuateurs de l'entretien de la voie sur les subdivisions faisant partie de l'échantillon n'ont pas été exploités. Il s'ensuit donc que les travaux d'entretien de la voie qui ont été faits dans ces subdivisions n'ont pas permis de régler complètement les relations qui existent entre le trafic de vrac et l'apparition de défauts de rail.

De même, la vitesse en voie n'ayant pas été incluse au nombre des variables lors de l'analyse, la même logique s'applique, c'est-à-dire que les limites de vitesse et les ordres de marche à vitesse réduite qui ont été imposés n'ont pas permis de régler complètement les relations qui existent entre le trafic de vrac et l'apparition éventuelle de défauts de rail.

2.2 *Mesures prises par les compagnies ferroviaires pour gérer l'accroissement des charges sur les voies principales de deuxième catégorie*

Les compagnies ferroviaires ont augmenté le trafic sur les voies principales de deuxième catégorie afin d'accroître la capacité des réseaux et l'utilisation d'infrastructures coûteuses et sous-utilisées, et d'atténuer la congestion de leurs voies principales. Les deux principales compagnies ferroviaires du Canada, le CN et le CFCP, ont une approche similaire concernant l'acheminement sur les voies principales de deuxième catégorie du trafic dont les charges par essieu sont considérables. Avant d'accepter d'acheminer ce genre de trafic sur des voies principales de deuxième catégorie, on établit un modèle de gestion qui prend en compte les engagements en matière de service à la clientèle, la dégradation accélérée et accrue de

l'infrastructure et les revenus. Les effets indésirables de ce genre de trafic sur les infrastructures étant bien connus, ce sont des considérations techniques qui régissent la façon dont ce trafic sera acheminé.

Le *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, en vigueur depuis le 31 mars 2001, exige que toutes les compagnies ferroviaires de compétence fédérale mettent en œuvre un système de gestion de la sécurité (SGS). L'alinéa 2 e) de ce règlement exige que le SGS inclue un processus qui permet :

- i) d'une part, de déterminer les problèmes et préoccupations en matière de sécurité, y compris ceux qui sont associés aux facteurs humains, aux tiers et aux modifications d'importance apportées aux opérations ferroviaires,
- ii) d'autre part, d'évaluer et de classer les risques au moyen d'une évaluation du risque.

L'alinéa 2 f) du même règlement exige que le SGS inclue des stratégies de contrôle du risque.

Au CN, le critère de base veut qu'on accepte l'acheminement de trafic dont les charges par essieu sont considérables si la voie est faite de rails éclissés d'au moins 100 livres. On détermine des vitesses d'exploitation appropriées en tenant compte de la capacité des ponts, de l'état des traverses, des anticheminants et des crampons et de l'état général de la voie. Si la voie est faite de rails de moins de 100 livres, on limite la vitesse en voie de façon à atténuer la dégradation de l'infrastructure, les impacts sur les ponts et les risques de déraillement.

Le CFCP, quant à lui, a procédé en 1995 à un examen d'ensemble de ses voies principales de deuxième catégorie afin de déterminer si elles pouvaient supporter des chargements de 286 000 livres. L'examen tenait compte des restrictions imposées par les indicateurs et des restrictions attribuables aux ponts, aux voies, au matériel de traction et aux autorisations de circuler, et il a permis de classer les voies suivant un code de couleurs : voie rouge (pas de fortes charges par essieu), voie jaune (fortes charges par essieu avec certaines restrictions) ou voie verte (aucune restriction). Toutes les voies principales de deuxième catégorie du CFCP sont maintenant considérées comme étant des voies vertes, à moins d'une dégradation de l'infrastructure.

À court terme, le CN et le CFCP ont entrepris des programmes mineurs d'amélioration de la voie qui consistaient à installer des anticheminants additionnels, à faire des remplacements ponctuels de traverses ou à poser des rails de réemploi à certains endroits sélectionnés. À l'occasion, les compagnies réduisent la vitesse d'exploitation et la catégorie de la voie afin de se conformer au RSV. Le fait de réduire la vitesse a pour effet d'atténuer les charges d'impact et de ralentir la dégradation de la voie, et permet de différer les programmes d'amélioration de l'infrastructure ou l'accentuation des travaux d'entretien à court et à moyen terme. Des charges par essieu atteignant 286 000 livres sont permises dans la plupart des subdivisions qui ont été

examinées au cours de la présente enquête; toutefois, le pourcentage global est faible¹². Dans les tronçons où les charges autorisées sont plus fortes, on a habituellement imposé des limites de vitesse sur les ponts et dans les tronçons dont la voie n'est pas conforme aux normes afin d'atténuer les effets de l'augmentation des charges.

Comme la plupart des trains-blocs qui circulent sur les voies principales de deuxième catégorie du CFCP transportent des marchandises en vrac dont le délai de livraison n'est pas critique, le fait de réduire la vitesse dans ces circonstances s'avère acceptable pour les besoins des clients et pour ceux de la compagnie, du moins à court terme. Les opérations ferroviaires à basse vitesse sont coûteuses puisque les compagnies doivent alors affecter un plus grand nombre d'équipes, de locomotives et de wagons à un même parcours. Si le trafic se maintient à long terme, les compagnies ont tendance à limiter la vitesse le moins possible, par souci de rentabilité.

En plus de limiter la vitesse, les compagnies procèdent à des inspections et à des essais plus fréquents afin de contrôler de près la dégradation des voies, en se basant sur leurs circulaires sur les méthodes normalisées (CMN), dans le cas du CN, ou sur les notices techniques (NT), dans le cas du CFCP, et sur le RSV. Les deux compagnies utilisent leurs CMN (CN) ou leurs NT (CFCP) comme norme d'entretien de la voie. Le RSV prescrit les exigences minimales de sécurité, lesquelles sont généralement moins strictes que celles des CMN ou NT des deux compagnies.

Les essais menés par l'industrie et l'expérience ont démontré qu'il est possible de faire circuler sans danger de fortes charges par essieu sur des voies conventionnelles faites de rails de 100 livres, à condition que la voie soit bien supportée. En fait, le CN et le CFCP acceptent tous deux des volumes limités de charges de 286 000 livres sur des rails de 100 livres. Par contre, si le volume de trafic ayant de fortes charges par essieu se maintient ou augmente à long terme, il faudra renforcer les rails, les traverses, les organes de fixation de la voie, le ballast et la plateforme, ou améliorer leur état au besoin. Il est rare qu'on réalise des programmes majeurs de renouvellement de l'infrastructure avant d'accepter la circulation de trafic ayant de fortes charges par essieu. Habituellement, ces programmes sont entrepris quand les restrictions qui gênent l'exploitation, par exemple les limitations de la vitesse ou de la charge par essieu, deviennent inacceptables. Le coût de ces mesures est élevé et il doit être pondéré en fonction du taux de dégradation de la voie, des considérations relatives à l'exploitation, de la durée prévue du trafic dans le temps et des recettes que l'on compte en tirer. Comme les compagnies ferroviaires affectent leurs ressources avec circonspection, elles doivent faire une analyse de rentabilisation rigoureuse quand elles envisagent d'améliorer des voies principales de deuxième catégorie, et à plus forte raison si les ressources en question proviennent des voies principales. Étant donné que les activités d'ingénierie génèrent des coûts plutôt que des revenus, il est plus difficile de justifier du point de vue économique une augmentation des dépenses consacrées aux voies principales de deuxième catégorie.

¹² Au CN, des charges de 286 000 livres étaient autorisées dans des proportions allant de 5,2 % des voies dans la subdivision Blackfoot à 15,7 % des voies dans la subdivision Three Hills. Au CFCP, des charges de 286 000 livres étaient autorisées dans des proportions allant de moins de 1 % des voies dans les subdivisions Crowsnest, Aldersyde et Macleod à 4,19 % des voies dans la subdivision Taber. Toutefois, le tonnage total des trains ayant des charges de 286 000 livres était inférieur dans le réseau du CN.

En l'absence de programmes majeurs d'amélioration des éléments de l'infrastructure, il faut accroître les activités d'entretien, d'inspection et de renforcement des rails et des voies afin d'éviter que l'augmentation des charges par essieu n'entraîne une diminution de la sécurité ferroviaire.

Les compagnies ferroviaires se rendent compte de la dégradation accélérée de la voie qui est associée au trafic de trains-blocs vraciers sur les voies principales de deuxième catégorie. Toutes les compagnies limitent temporairement la vitesse lorsque la voie est affectée par des défauts mineurs qui peuvent être réparés rapidement. Ces limitations de vitesse sont levées dès que l'état de la voie est revenu à la normale. Le CN et le CFCP ont adopté des processus d'évaluation rigoureux pour les travaux planifiés d'entretien de la voie de grande envergure, mais ils doivent établir des priorités étant donné qu'ils disposent de ressources limitées. Si la mise en œuvre des programmes est différée, les compagnies peuvent abaisser la catégorie de la voie de façon à assurer la conformité avec le RSV jusqu'à ce que les ressources soient disponibles. Cette façon de procéder est normale pour toutes les compagnies, et pas seulement pour le CFCP. Le CFCP dépense plus du double par tonne brute-mille pour l'entretien des voies principales de deuxième catégorie que pour celui des voies principales de première catégorie. Malgré cela, les dossiers d'événements montrent qu'on n'est pas encore parvenu à un point d'équilibre entre l'augmentation de la dégradation de la voie et les besoins d'entretien ou de renouvellement de l'infrastructure.

2.3 *Entretien, inspection et essais*

Plusieurs options s'offrent aux compagnies ferroviaires quand il s'agit de régler les problèmes associés à la dégradation accélérée de la voie. Les efforts nécessaires pour maintenir un trafic de wagons ayant de fortes charges par essieu sur les voies principales de deuxième catégorie n'entraînent pas tous la mise en œuvre de coûteux programmes de renouvellement de l'infrastructure. Par exemple, une augmentation des activités d'entretien, d'inspection et d'essai permet parfois de différer des dépenses majeures à court terme tout en se conformant à la réglementation.

Les compagnies ont réalisé des programmes de renouvellement de l'infrastructure (notamment installation de longs rails soudés (LRS) partiellement usés munis de selles de rail plus grosses à double épaulement dans les courbes accentuées, augmentation du nombre d'anticheminants ou de crampons, programmes ponctuels de remplacement de traverses, installation d'éclisses à haute résistance et, dans certains cas, programmes supplémentaires de ballastage et de réfection de la surface) afin de renforcer la structure de la voie à des endroits choisis. Cependant, les nombreux événements et défauts de l'état géométrique qui ont été signalés récemment dans les subdivisions du CN et du CFCP donnent à penser que les programmes de remplacement de traverses, de ballastage et de réfection de la surface ne suivent peut-être pas le rythme de la détérioration de la voie.

De 1995 à 2000, les données sur la sécurité compilées par la FRA des États-Unis montrent une tendance à la hausse du nombre de déraillements qui surviennent sur des voies principales et qui sont dus à la rupture de rails. Un groupe de travail sur l'intégrité de la voie, parrainé par la FRA et appelé Rail Integrity Task Force, a été formé en avril 2002 et invité à définir les « meilleures pratiques » au sein de l'industrie ferroviaire dans les domaines de l'inspection, de l'entretien et du remplacement des rails. Le groupe de travail se compose de spécialistes dans le transport lourd délégués par des compagnies ferroviaires, de représentants de l'AAR, de

l'Office of Safety Assurance and Compliance (bureau d'assurance de la sécurité et de la conformité) de la FRA et de l'Office of Railroad Development (bureau de développement des chemins de fer) de la FRA, et il bénéficie du soutien technique du Volpe National Transportation Systems Center, établi à Cambridge (Massachusetts). Le groupe de travail compte aussi sur les services de spécialistes du domaine des essais non destructifs de rails. L'objectif du groupe est de réduire le nombre d'accidents et de pertes qui résultent de déraillements causés par la rupture de rails. Le CN et le CFCP participent tous deux aux activités du groupe.

Le comité 18 de l'American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA) est chargé de la rédaction et de la publication d'information et de pratiques recommandées concernant les besoins économiques des chemins de fer à faible densité de trafic et sur courtes distances, et leurs besoins spéciaux en matière d'ingénierie et d'entretien. Le comité a entrepris de compiler des données sur les normes recommandées qui donneront aux chemins de fer à faible densité la capacité d'acheminer des trains dont les charges par essieu sont élevées.

Les deux compagnies ferroviaires ont accru la fréquence des contrôles par ultrasons de leurs réseaux, surtout au cours des mois d'hiver pendant lesquels on signale un nombre accru de défauts de rail. Le CN a lancé un programme conjoint d'entretien et de remplacement de boulons qui prévoit une inspection soigneuse des éclisses ainsi que le remplacement des éclisses par des éclisses à haute résistance, si nécessaire. Les deux compagnies effectuent un mesurage de l'écartement des voies sous charge pour identifier les secteurs où les traverses sont en mauvais état, et elles ont accru à au moins trois contrôles par année la fréquence des vérifications des défauts de rail, vérifications qui étaient auparavant annuelles. Le CN a passé des contrats par lesquels des véhicules rail-route procèdent à des contrôles de l'écartement, du nivellement transversal et de l'alignement des voies plus fréquemment que les voitures TEST. En plus de ces mesures, les deux compagnies réalisent des programmes annuels de meulage des rails sur les voies principales de deuxième catégorie de façon à assurer un contrôle plus fiable des défauts de rail. Toutes ces mesures visent à assurer une surveillance étroite de la dégradation de la voie et fournissent des données objectives à l'appui des programmes de renouvellement de l'infrastructure. Les deux compagnies ont installé dans des subdivisions choisies des détecteurs de boîtes chaudes et de pièces traînantes qui contrôlent l'état du matériel roulant. Le CFCP a installé un détecteur de défauts de roues (DDR) dans la subdivision Red Deer. De plus, on a placé un DDR à un endroit stratégique de la subdivision Swift Current, de façon qu'il protège le trafic qui entre dans les subdivisions Weyburn et Taber et tout le trafic qui roule vers l'ouest en provenance de Moose Jaw.

La voiture d'évaluation de la voie du CFCP mesure l'état géométrique de la voie à des fréquences qui sont définies dans la NT 34 de la compagnie. La voiture détecte les défauts de la surface, du dévers, de l'alignement, du nivellement transversal et de l'écartement qui exigent une intervention urgente ou prioritaire, après quoi les équipes prennent les mesures qui sont décrites dans les notices techniques. La voiture d'évaluation de la voie calcule un IRS qui correspond à la moyenne du nombre de défauts de la surface par mille de voie. La comparaison des valeurs d'IRS obtenues à chaque passage de la voiture donne une idée de l'évolution de l'état de la voie dans le temps, un IRS peu élevé correspondant à une voie en bon état. Au CN, la voiture TEST remplit la même fonction et calcule un indice de qualité des voies (IQV) qui détermine la qualité moyenne de chaque quart de mille de voie à partir de la moyenne des

valeurs mesurées de nivellement longitudinal, de nivellement transversal, d'écartement et d'alignement. Les valeurs obtenues en fonction de ces paramètres vont de 0 à 1000, 1000 correspondant à une voie exempte de défauts.

2.3.1 *Auscultation des rails*

Avec l'accroissement du trafic, des vitesses et des charges par essieu, l'inspection des rails s'avère plus importante que jamais. Jusqu'aux premières années du dernier siècle, on ne faisait que des inspections visuelles qui permettaient uniquement de détecter les défauts externes et, parfois, les indices subtils qui révélaient de graves problèmes internes. La Sperry Rail Service, qui se charge à contrat de l'auscultation des rails pour le CN et le CFCP, a commencé dès les années 1920 à mettre au point une méthode de contrôle par induction qui permet de détecter les défauts internes de rail. Le système induit un fort champ magnétique dans le rail en y faisant passer une grande quantité de courant à faible voltage. La présence d'un défaut interne modifie le champ magnétique et l'indication de défaut est consignée par un enregistreur à bande déroulante. La méthode par induction permet surtout de sonder le champignon du rail et, bien qu'elle puisse déceler des fissures transversales, elle ne peut pas détecter un grand nombre d'autres défauts de fabrication, de défauts qui sont dus au service et de fissures de fatigue qui se trouvent sous le champignon du rail.

Pour compléter le contrôle par induction, on a mis au point des méthodes d'essai non destructif et d'inspection qui se basent sur des applications mises au point antérieurement dans le domaine médical. Les contrôles par ultrasons font appel à des ondes sonores à haute fréquence qui sont générées par un transducteur et qui se propagent dans le matériau. Quand une discontinuité comme une fissure affecte la propagation de l'onde, une partie de l'énergie est réfléchi par la surface du défaut. Le signal réfléchi est transformé en signal électrique par le transducteur et s'affiche sur un écran. La force du signal réfléchi s'affiche en regard du temps qui s'est écoulé entre l'émission du signal et la réception d'un écho. On peut établir une relation directe entre le temps de déplacement du signal et la distance parcourue par le signal et obtenir de l'information exacte sur la position, la taille et l'orientation du réflecteur. Les compagnies ferroviaires d'Amérique du Nord utilisent l'auscultation des rails par ultrasons depuis l'introduction de la première voiture d'inspection par ultrasons, en 1959; cette méthode est celle qui est la plus utilisée de nos jours.

L'auscultation par ultrasons est une méthode de contrôle rapide, rentable, efficiente et productive dont les compagnies se servent pour contrôler les milliers de milles de rails qui constituent le réseau ferroviaire d'Amérique du Nord. Grâce aux perfectionnements de la technologie, le processus est plus précis, le traitement de l'information est plus rapide et la présentation visuelle des résultats des tests est améliorée, d'où une réduction des interprétations et des interventions humaines nécessaires. Les contrats d'auscultation des rails comprennent des spécifications qui précisent la taille minimale des défauts à détecter et les taux de fiabilité des contrôles. Pour mesurer le rendement des contrôles, les compagnies ferroviaires surveillent le nombre de défaillances qui se produisent pendant le service au cours des 30 jours suivant une auscultation des rails.

Comme toutes les méthodes d'essai non destructif, les inspections par ultrasons ont leurs limitations. Les défauts transversaux sont détectés dans le champignon et la partie supérieure de l'âme du rail. Bien qu'elle permette une bonne vérification du champignon, la technologie actuelle ne permet pas une inspection approfondie de l'âme et du patin. En raison de leur

orientation et de leur position, les défauts situés dans le milieu de l'âme et les défauts transversaux situés dans la partie basse du rail sont presque indétectables. Les défauts longitudinaux peuvent être détectés dans le champignon et l'âme, et dans le patin du rail juste sous l'âme, s'ils sont suffisamment étendus. Les défauts situés dans la partie externe de l'âme (s'éloignant de l'âme en direction de la partie extérieure du patin) ne peuvent pas être détectés, étant donné que le système ne transmet aucun signal ultrasonore vers cette partie du rail.

L'auscultation des rails n'est pas une science exacte – l'opérateur doit avoir les compétences, la formation et l'expérience voulues pour pouvoir interpréter correctement les données et détecter les défauts de rail. Les voitures abritent habituellement un conducteur, un opérateur et un assistant, habituellement un stagiaire. Le conducteur assure la sécurité de la voiture et l'opérateur est responsable des auscultations. Les opérateurs des appareils de contrôle par ultrasons doivent exécuter beaucoup de tâches simultanément pendant les contrôles, et notamment surveiller le défilement des données d'essai sur les six canaux d'enregistrement et surveiller l'état des rails et les particularités de la voie à mesure que la voiture avance. Ils essaient en même temps de maximiser le nombre de milles auscultés alors que le nombre et la durée des fenêtres de travail sont limités. Pour être détectés, les défauts doivent être suffisamment étendus et être orientés de façon à présenter une surface réfléchissante suffisamment grande. Des lacunes dans n'importe quel de ces secteurs peuvent donner lieu à une mauvaise interprétation, donc à une mauvaise détection des défauts ou à des défauts de petite taille qui n'ont pas été remarqués, ce qui s'est déjà produit par le passé.

Le BST a procédé à une évaluation de la performance humaine à bord d'une voiture de la Sperry Rail Service le 30 juillet 2004 afin de déterminer si l'exécution des auscultations des rails était ou non une tâche raisonnable, compte tenu des limitations liées aux performances humaines. Il a conclu que, même si la tâche exigeait beaucoup de jugement de la part de l'opérateur, un opérateur expérimenté pouvait s'en acquitter.

Les surfaces des rails doivent être lisses et propres pour pouvoir réfléchir correctement le signal ultrasonore. Si, pour une raison ou pour une autre, le signal est réfléchi avant d'avoir atteint le point voulu du patin ou de l'âme du rail, on soupçonnera la présence d'un défaut à cet endroit. La plupart de ces réflexions parasites sont dues à un mauvais état de la surface ou à une contamination de la surface du rail, ce qui fait que l'opérateur doit se servir de son jugement pour déterminer si les indications sont valides. L'opérateur peut conclure, à tort, à la présence d'un défaut de rail alors qu'il n'y en a pas (faux positif), ou conclure qu'il est en présence d'un signal parasite alors que, dans les faits, le signal en question est bien réel (faux négatif).

Après un déraillement causé par la rupture d'un rail, l'un des premiers renseignements dont on se procure est les résultats des essais de rails les plus récents. On examine la bande pour voir s'il y avait un défaut qui n'a pas été signalé. La plupart du temps, le défaut, s'il existait, était trop petit pour être détecté ou alors il était masqué par le mauvais état ou la contamination de la surface du rail. Il arrive rarement que des défauts ne soient pas détectés à cause d'un faux négatif; toutefois, un déraillement survenu récemment dans le réseau du CFCP a résulté d'une

erreur de ce genre¹³. Bien qu'il soit possible d'augmenter la sensibilité de l'équipement de détection, cela s'avère peu utile puisque le nombre de faux positifs augmente et que le processus d'auscultation est alors ralenti.

La FRA et l'AAR commanditent des recherches sur l'amélioration des techniques de détection des défauts de rail, dans le cadre de l'initiative de recherche stratégique 7A (AAR Strategic Research Initiative 7A). L'initiative 7A a pour objectif d'accroître la fiabilité et la sécurité ferroviaires en mettant au point des méthodes améliorées de détection des défauts et en favorisant l'élaboration de systèmes améliorés de détection des défauts. L'auscultation par ultrasons à commande de phase vise un accroissement de la fiabilité lorsqu'il s'agit de détecter des défauts touchant 20 % ou moins du rail. L'auscultation par ultrasons à laser offre la capacité d'inspecter le tronçon de rail en entier et d'inspecter des rails dont la surface est en mauvais état, étant donné que le son peut entrer dans le rail autrement que par le dessus.

On a mis au point de petits appareils d'auscultation qu'une seule personne peut porter et faire fonctionner, et qui servent à ausculter un seul ou les deux rails d'un passage à niveau, d'un aiguillage ou d'un cœur de croisement. On peut se servir de ces appareils portables dans un triage sans avoir à se servir d'un véhicule d'auscultation plus gros et sans gêner les opérations ferroviaires. On s'efforce toujours d'accroître la vitesse d'auscultation et la fiabilité de détection grâce à l'emploi de logiciels de reconnaissance des formes, à l'automatisation du processus de prise de décisions de l'opérateur et à l'amélioration des performances des capteurs.

Bien que la recherche de défauts de rail vise à réduire les risques de déraillements dus à la rupture de rails, les systèmes actuellement en usage ne sont pas en mesure de détecter tous les défauts internes de rail.

2.3.2 *Meulage des rails*

Un certain nombre de déraillements dus à des ruptures de rails qui sont survenus ces dernières années dans des subdivisions du CN et du CFCP ont été attribués au fait que l'appareillage d'auscultation par ultrasons n'a pas pu détecter les défauts internes de rail en raison du mauvais état de la surface du rail¹⁴. Un meulage adéquat accroît l'efficacité de l'appareillage d'auscultation par ultrasons en rendant la surface du rail lisse et claire¹⁵. Le meulage des rails vise surtout à limiter le nombre de défauts de surface dus à la fatigue. Il consiste à retirer une

¹³ R03E0092 (le 15 octobre 2003, point milliaire 40,4 de la subdivision Taber) Certains des événements dont il est question dans le présent rapport n'ont fait l'objet que d'une enquête préliminaire du BST. Par contre, des rapports sommaires peuvent être fournis sur demande.

¹⁴ R04C0002, R03C0101, R03E0091

¹⁵ Comité n° 4 de l'AREMA, présentation du sous-comité n° 9 lors du congrès annuel de l'AREMA, tenu en septembre 2003 à Chicago (Illinois).

mince couche superficielle de métal afin de prévenir la croissance de microfissures. Le meulage améliore aussi la géométrie du contact entre les roues et le rail et réduit les contraintes de contact¹⁶.

Des études que l'AREMA a menées récemment sur quatre chemins de fer de catégorie 1 montrent que des intervalles de meulage plus longs, une vitesse de meulage plus grande et une réduction du meulage du côté extérieur causent une augmentation des dommages dus à la fatigue dans les courbes et une augmentation marquée du taux de fissuration transversale progressive amorcée en surface. L'AREMA recommande que les voies principales de première catégorie fassent l'objet de meulages fréquents, et de meulages d'une seule passe.

Les cycles de meulage préventif font appel à des travaux de meulage qui sont effectués à des intervalles établis en fonction du tonnage ou du temps et qui visent à atténuer ou supprimer les petites fissures de fatigue qui sont causées par le passage de millions de roues sur le rail. L'intervalle de meulage dépend aussi de la dureté et de la courbure des rails. L'AREMA recommande que les rails des courbes de trois degrés ou plus qui sont faites de rails standard soient meulés après le passage de 8 à 12 MTB, que ceux des courbes de moins de trois degrés soient meulés après le passage de 16 à 24 MTB et que les rails des tronçons en alignement droit soient meulés après le passage de 40 à 60 MTB. Autrement dit, l'AREMA recommande que les intervalles de meulage soient déterminés par la courbure de la voie et par les niveaux de trafic. Les intervalles en question supposent un meulage en un passage à une vitesse de meulage de 6 à 14 mi/h. Le meulage des rails étant une opération d'entretien fort coûteuse, le CFCP et le CN concentrent leurs travaux de meulage dans les subdivisions qui acheminent le tonnage le plus élevé.

Ces dernières années, des travaux de meulage ont été exécutés dans toutes les subdivisions qui font l'objet de la présente enquête (voir la Figure 4). Comme il s'agissait de voies principales de deuxième catégorie, on a fait un meulage correctif, lequel a été exécuté en passes multiples et moins fréquentes. Le temps qui s'écoule entre les travaux de meulage correctif peut faire en sorte que des défauts apparaissent à la surface et se propagent, ce qui fait qu'un nombre accru de défauts de rail peuvent passer inaperçus.

¹⁶ À mesure que le rail s'use du fait du passage des trains sur la surface, la dégradation de la géométrie de la surface de contact entre les roues et le rail donne lieu à des contraintes excessives qui causent une déformation plastique de la surface du rail et une fatigue superficielle (exfoliation, shelling et criques du champignon) et qui cachent d'autres défauts internes. L'usure du rail aidant, les contraintes et les inclusions présentes dans le rail se combinent et deviennent le point à partir duquel les différents types de défauts se propagent.

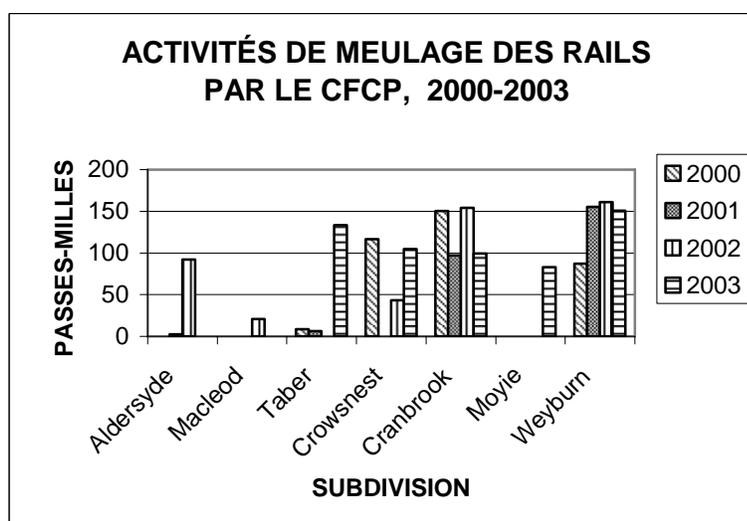


Figure 4. Activités de meulage dans les subdivisions sélectionnées du CFCP, de 2000 à 2003

2.3.3 *Joints de rail*

Les joints de rail sont des éléments courants de la voie, même lorsque celle-ci est faite de LRS, et ils causent nécessairement une discontinuité de la voie vis-à-vis des aiguillages et des limites des circuits de voie et dans les endroits où des sections de rail défectueux ont été découpés et remplacés par des coupons de rail. Les éclisses sont conçues pour aligner les bouts de rail verticalement et horizontalement; idéalement, elles devraient avoir la même résistance et la même rigidité que les rails qu'elles relient. La rigidité en flexion d'un joint correspond aux trois-quarts de la résistance à la flexion du rail adjacent du réseau. Donc, même si les éclisses sont fixées solidement aux rails, le joint de rail qui résulte de leur installation constitue un point faible de la structure de la voie, dont la rupture a déjà causé des déraillements. Pour cette raison, les joints et la structure qui les supporte doivent être bien entretenus. D'ailleurs, les chemins de fer s'efforcent d'éliminer les joints grâce à la pose de LRS et au soudage aluminothermique.

Les joints doivent être bien supportés par des traverses solides posées sur un ballast propre, bien égoutté et bien bourré. Les joints doivent être boulonnés complètement (à moins qu'on n'ait prévu de procéder au soudage aluminothermique) et les boulons doivent être serrés à la force de couple recommandée, faute de quoi les forces d'impact des roues auront tôt fait de causer un fléchissement des rails dans le sens vertical, ce qui entraînerait un desserrage et une détérioration de l'ensemble du joint, le martèlement du champignon du rail et la dégradation des traverses, du ballast et de la plate-forme sous le joint. Si ces anomalies ne sont pas corrigées, des fissures de fatigue pourraient apparaître dans les éclisses et les trous de boulon, ce qui pourrait entraîner la rupture d'une ou de plusieurs éclisses ou celle du rail. Des essais ont démontré que même une petite fissure affectant le centre d'une éclisse peut réduire considérablement la résistance de l'éclisse. Le BST a enquêté sur quatre déraillements dus à la

défaillance d'éclisses/ de rails qui sont survenus dans les subdivisions sélectionnées au cours des dernières années¹⁷. Il a aussi enquêté sur neuf autres événements¹⁸ survenus dans d'autres subdivisions depuis 1998.

L'enquête menée par le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis au sujet du déraillement d'un train du CFCP survenu le 18 janvier 2002 près de Minot au Dakota du Nord (rapport RAR-04-01 du NTSB) a révélé que l'accident avait résulté de la rupture d'éclisses et d'un rail de 100 livres qui s'était produite soit lors du passage du train précédent, soit lors du passage du train qui a été mêlé à l'accident. Le NTSB a aussi déterminé que le CFCP avait utilisé des méthodes d'inspection inadéquates avant l'accident, ce qui fait que l'inspection et l'entretien des joints avaient été déficients et que des fissures affectant les éclisses étaient passées inaperçues et s'étaient propagées jusqu'à atteindre une taille critique.

Il n'existe aucun moyen de se protéger contre les défauts de ce genre sur les voies dépourvues de signalisation. Même si la voie était protégée par un système de signalisation, il n'est pas certain que les défauts seraient décelés. Le circuit de voie n'indique aucune défaillance tant que le rail ou les éclisses ne sont pas complètement brisés. Par exemple, le circuit ne s'ouvre pas si le rail se brise dans un joint et si les éclisses demeurent intactes, ou si la rupture du rail se produit vis-à-vis d'une selle de rail. D'autre part, l'industrie de la signalisation ferroviaire et une grande compagnie de chemin de fer des États-Unis collaborent à la mise au point d'un système qui permettra de détecter les rails brisés en territoire dépourvu de signalisation. Des circuits de voie constamment alimentés doivent soit être raccordés à une coûteuse source d'alimentation commerciale ou à de grands panneaux solaires munis de batteries de secours. Une nouvelle technologie offre la possibilité de réduire la consommation d'électricité (une question critique dans le domaine de la signalisation ferroviaire) du circuit de voie quand on n'a pas besoin d'être informé de l'état de la voie, ce qui fait que le courant du système peut être fourni par un seul panneau solaire. L'unité peut être activée par un système radio de transmission de données qui envoie des signaux à travers le rail, ou par d'autres moyens.

L'inspection des éclisses fait appel le plus souvent à une inspection visuelle faite à partir d'un véhicule rail-route qui circule sur la voie. Bien que les inspections de ce type permettent de détecter un joint dont la rupture ou la séparation est évidente, elles sont inefficaces dans le cas des petites fissures de fatigue affectant les éclisses. Pour faire une vérification visuelle adéquate des éclisses, l'inspecteur doit les contrôler de près, c'est-à-dire sur place. L'inspection sur place offre un avantage secondaire, à savoir qu'elle donne à l'inspecteur l'occasion d'apprécier les écarts qui affectent les joints de rail et de rechercher les boulons tordus ou desserrés. En raison du rythme rapide des opérations ferroviaires d'aujourd'hui, des inspections de ce genre sont considérées comme irréalisables et les inspecteurs des chemins de fer y ont rarement recours. Le CN collabore actuellement avec d'autres chemins de fer de catégorie 1 d'Amérique du Nord et avec la FRA afin de proposer des fréquences d'inspection visuelle qui conviennent pour tous les types d'éclisses, y compris les joints collés dans les territoires où la voie est faite de LRS.

¹⁷ R01W0025, R01W0032, R04E0001, R01E0017

¹⁸ R03T0064, R04C0014, R04T0027, R04W0064, R04E0027, R04T0015, R04T0016, R04C0031, R00E0126

Bien que l'auscultation par ultrasons et par induction faite à partir de véhicules sur rail ou de véhicules rail-route permette généralement de faire une vérification efficace des rails, il n'existe aucune méthode de production connue qui permette de vérifier un grand nombre d'éclisses sur le terrain¹⁹. Il est possible d'utiliser un transducteur portatif pour faire des auscultations par ultrasons des éclisses. Dans le rapport d'enquête sur l'accident de Minot, le NTSB a signalé que cette méthode avait été utilisée par le CFCP par le passé, mais qu'elle avait été abandonnée avec le temps. On peut aussi recourir à la méthode de contrôle magnétoscopique ou à un examen par ressuage pour ausculter les éclisses, mais tous ces essais prennent du temps et supposent des efforts et des coûts. La façon la plus simple d'éviter les difficultés relativement aux joints consiste à éliminer tout simplement les joints ou à faire en sorte que leur installation et leur entretien soient conformes aux normes et aux pratiques des compagnies.

Ces dernières années, de nouveaux développements touchant le matériel et des changements apportés aux pratiques de nivellement ont rendu l'entretien de l'infrastructure plus difficile. Par le passé, les équipes d'entretien locales pouvaient se servir de machines plus petites pour corriger les problèmes ponctuels de nivellement qui se présentaient. Cependant, le parc de matériel a été rationalisé depuis lors, ce qui fait qu'un grand nombre des petites machines de nivellement ont été remplacées par des machines plus grosses et moins nombreuses qui offrent une productivité accrue. Ces machines sont utilisées principalement dans le cadre de programmes majeurs d'entretien continu des traverses, du ballast et de la surface. Il s'ensuit que les programmes d'entretien ponctuels, d'envergure moindre, dépendent davantage de la disponibilité des machines. Pour cette raison, il est arrivé à l'occasion qu'on attende plus longtemps qu'on aurait dû pour corriger certains problèmes relatifs à la surface de la voie.

Des joints de rail mal inspectés et entretenus rendent les réseaux ferroviaires particulièrement vulnérables et présentent des risques d'aggravation des défauts, de rupture et de déraillement. Le matériel actuel de détection des défauts ou les voitures actuelles de contrôle de l'état géométrique de la voie ne sont pas en mesure de déceler les défauts qui affectent les éclisses.

2.3.4 *Trous d'éclissage*

Un grand nombre de fissures de fatigue prennent leur origine dans des trous d'éclissage. Sur les 1495 défauts de rail qu'on a détectés entre 2001 et 2003 à la suite de contrôles par ultrasons dans les six subdivisions du CN visées par la présente enquête, 1164 (78 %) des défauts résultaient d'étoilures ou de fissures du trou d'éclissage dans le secteur du joint. Des 4813 défauts de rail qui ont été relevés entre 1998 et 2003 dans les sept subdivisions du CFCP visées par la présente enquête, il y en avait 1569 (35 %) qui résultaient d'étoilures du trou d'éclissage dans le secteur du joint.

Quand on perce des trous dans un rail, le perçage proprement dit peut entraîner une défaillance du rail. Une force ou une vitesse excessive, combinée à l'utilisation d'un foret émoussé, peut entraîner la formation de martensite²⁰ et l'apparition subséquente de microfissures. Si les trous

¹⁹ Un système d'inspection des éclisses dont la mise au point est en cours permettra de détecter des fissures dans des éclisses à des vitesses atteignant 50 mi/h.

²⁰ Le martensite est un acier durci et cassant.

ne sont pas débarrassés de leurs rebords rugueux et inégaux, des concentrations de contraintes apparaissent dans cette zone déjà soumise à des tensions considérables, et pourraient entraîner la formation de fissures pendant le service. Cela suggère qu'il est souhaitable que les rebords de tous les trous percés dans les rails aient un fini lisse. Bien qu'on puisse ébavurer les trous, on ne fait pas normalement le chanfreinage²¹ des trous qu'on perce dans les rails sur le terrain. Reconnaissant la menace que représentent les trous d'éclissage dont le perçage a été mal exécuté, les chemins de fer ont amélioré la qualité des trous d'éclissage, en utilisant des perceuses au gaz et des perceuses hydrauliques à alimentation automatique dont les forets ronds (plutôt que plats) produisent des trous usinés beaucoup plus nets dans lesquels des concentrations de contraintes risquent moins d'apparaître. La méthode recommandée RM 3700-0 du CN, Drilling Holes in Rail (perçage de trous dans les rails), expose en détail les techniques recommandées de perçage afin d'éviter les effets nuisibles des méthodes de perçage inadéquates. L'annexe 9 de la NT 14 du CFCP précise qu'on doit chanfreiner les trous d'éclissage de façon à en supprimer les ébarbures et les arêtes vives, mais cette norme s'adresse aux fournisseurs de rails et ne porte pas sur le perçage de trous sur le terrain.

Il arrive couramment que des fissures de fatigue se forment dans le premier trou qui est percé à partir de l'about de rail, car c'est à cet endroit que les tensions sont les plus fortes. Cette condition s'aggrave lorsque la température est basse, si le joint est soumis à de fortes charges d'impact ou s'il est mal supporté. La détection des fissures de fatigue autour des trous d'éclissage ne peut se faire qu'au moyen d'un contrôle par ultrasons. Il continue d'y avoir des risques de fissuration par fatigue autour des trous d'éclissage parce que le chanfreinage des trous percés sur le terrain n'est pas obligatoire.

2.4 Règlement sur la sécurité de la voie

Au Canada, les compagnies ferroviaires de réglementation fédérale sont régies par le RSV depuis 1992. Le règlement a pour but de garantir la sécurité des trains circulant sur les voies à écartement normal qu'une compagnie ferroviaire possède, exploite ou utilise. Il ne saurait remplacer l'application des bonnes pratiques d'entretien précisées dans les CMN ou les NT des chemins de fer, ou permettre que les compagnies se soustraient à l'application de celles-ci.

Les catégories de voies sont établies en fonction de la vitesse maximale autorisée pour les trains, et non pas en fonction du tonnage ou du type de trafic. Les limites exposées dans le RSV relativement aux défauts de la géométrie de la voie sont basées sur la vitesse des trains plutôt que sur la résistance de la voie, bien qu'aux alinéas II c) et IV a) de la section F de la partie II, on tienne compte du tonnage pour déterminer la fréquence des inspections de la voie et des rails. Les compagnies ferroviaires déterminent la vitesse des trains en tenant compte des besoins de leur exploitation et elles doivent entretenir les voies conformément aux exigences énoncées dans le RSV pour la catégorie de voie, quels que soient la charge par essieu ou le tonnage des trains qui circulent dans le tronçon en question.

²¹ Le chanfreinage est un processus consistant à biseauter la surface des rebords des trous d'éclissage qui sont percés dans l'âme du rail.

Avant l'entrée en vigueur du RSV, les normes du CN concernant la construction de nouvelles voies principales ou l'amélioration des voies principales existantes étaient celles qui figuraient dans sa CMN 1301. Les normes en question se fondaient sur une formule du rapport tonnage-vitesse (RTV) qui prenait en compte le tonnage des trains de voyageurs, de marchandises et de messageries et les vitesses maximales énoncées dans la CMN 1300 du CN :

$$\text{RTV} = (P \times 1,01^{\text{Sp}}) + (F \times 1,01^{\text{Sf}}) + (E \times 1,01^{\text{Se}})$$

Les lettres P, F et E correspondent respectivement au tonnage annuel des trains de voyageurs, de marchandises et de messageries, et les lettres Sp, Sf et Se représentent les facteurs de vitesse des trains de voyageurs, de marchandises et de messageries respectivement, lesquels sont basés sur la vitesse des trains. Plus le RTV est élevé, plus les normes de construction et d'amélioration des voies sont strictes. Les normes de construction et d'amélioration se basaient sur ces critères, mais la formule du RTV est devenue désuète après l'adoption du RSV en 1992. La CMN 1300 est devenue désuète après 1998. Les normes de construction et d'amélioration des voies se fondent maintenant sur la vitesse et sur les catégories de voies énoncées dans le RSV, et ne tiennent aucunement compte du tonnage ou de la charge par essieu.

Même si la formule du RTV prenait le tonnage en considération, elle ne donnait pas une idée exacte des effets attribuables aux fortes charges par essieu et à la vitesse, étant donné que la base de calcul (1,01) et les facteurs de vitesse placés en exposant dans la formule RTV étaient les mêmes pour les trains de voyageurs, les trains de marchandises et les trains de messageries. En outre, les facteurs de vitesse augmentaient de façon linéaire par rapport à la vitesse des trains, alors que la relation entre la vitesse et les effets des fortes charges par essieu n'est pas nécessairement linéaire. Sur des voies bien entretenues dont le ballast et la surface sont en bon état, l'accroissement des charges par essieu n'entraînerait pas nécessairement une augmentation exponentielle de la sollicitation dynamique. Par contre, sur une voie dont l'état géométrique laisse à désirer et dont certains joints sont mal supportés, l'accroissement des charges par essieu entraînera une augmentation non linéaire et exponentielle de la sollicitation dynamique, et ce même si le matériel roulant se compose de wagons de conception récente et améliorée.

Aucune des NT du CFCP ne porte spécifiquement sur les normes de construction. On traite du poids des rails et des types de rails dans la NT 09 Rail, et ce poids et ces types de rails dépendent des catégories de voies et du tonnage ainsi que des catégories de voies du RSV. Les normes concernant les rails, les attaches, les traverses et le ballast figurent dans d'autres NT portant sur ces éléments.

Le fait de réduire la vitesse des trains ou d'abaisser la classification des voies permet de différer des programmes d'amélioration de l'infrastructure ou d'accroître les activités d'entretien, et permet aussi d'atténuer les charges d'impact et la dégradation de la voie à court et à moyen terme. À long terme, l'acheminement d'un trafic de trains-blocs vraciers circulant à vitesse réduite sur des voies principales de deuxième catégorie qui sont tout juste conformes aux normes présente des risques pour la sécurité, et à plus forte raison si les travaux d'amélioration de l'infrastructure ou l'accroissement des activités d'entretien ne se concrétisent pas. En 2004, Transports Canada a fait savoir que son groupe de travail responsable du *Règlement sur la sécurité de la voie* prendra en compte les effets des fortes charges par essieu, du tonnage et de la fréquence des trains dans le cadre de la révision du RSV.

À plus long terme, l'acheminement de trains-blocs vraciers circulant à vitesse réduite sur des voies principales de deuxième catégorie qui satisfont tout juste aux normes relatives à la vitesse maximale sur des voies de catégorie inférieure présente des risques à long terme pour la sécurité, surtout si les travaux d'amélioration des voies ou l'accroissement des activités d'entretien ne se concrétisent pas.

Il se peut que l'application du RSV existant ne soit pas suffisante pour assurer la sécurité, étant donné que le règlement ne tient pas suffisamment compte des effets indésirables à long terme que l'accroissement du trafic ferroviaire et des charges par essieu peut avoir sur les voies principales de deuxième catégorie ou les voies de dérivation.

3.0 *Faits établis*

1. Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'il y a une corrélation étroite et statistiquement significative entre le tonnage annuel de vrac et le taux de défauts de rail, mais pas entre le tonnage global et le taux de défauts de rail.
2. Quand le poids des rails est inférieur à 130 livres, l'accroissement du tonnage de trains-blocs vrac entraîne une augmentation significative du nombre de défauts de rail, d'où un risque accru de déraillements dus à la rupture de rails.
3. Bien que les compagnies ferroviaires se rendent compte de la dégradation accélérée de la voie qui est associée au trafic de trains-blocs vrac sur les voies principales de deuxième catégorie, les dossiers sur les événements montrent qu'on n'est pas encore parvenu à un point d'équilibre entre l'augmentation de la dégradation de la voie et les besoins opportuns d'entretien ou de renouvellement de l'infrastructure.
4. Bien qu'il incombe aux compagnies ferroviaires de prendre des mesures pour veiller à ce que les voies ferrées soient sûres et conformes au *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV), il se peut que l'application du RSV ne soit pas suffisante pour assurer la sécurité, étant donné qu'il ne tient pas suffisamment compte des effets indésirables à long terme que l'accroissement du trafic, et plus particulièrement du trafic de trains-blocs vrac, peut avoir sur les voies principales de deuxième catégorie ou les voies de dérivation.
5. Des joints de rail mal inspectés et entretenus rendent les réseaux ferroviaires particulièrement vulnérables et présentent des risques d'aggravation des défauts et de rupture. Les inspections des joints de rail qui sont faites à l'aide du matériel actuel de détection des défauts de rail ou par les voitures actuelles de contrôle de l'état géométrique de la voie ne permettent pas de déceler les défauts qui affectent les éclisses.
6. Il continue d'y avoir des risques de fissuration par fatigue autour des trous d'éclissage parce que le chanfreinage des trous percés sur place n'est pas obligatoire.
7. Bien que la vérification des défauts de rail permette d'atténuer les risques de déraillements causés par la rupture de rails, les méthodes de détection des défauts actuellement utilisées ne sont pas en mesure de détecter tous les défauts internes de rail.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 25 mai 2006.

Visitez le site Web du BST (www.bst.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.

Annexe A – Résumés des événements décrits dans le tableau 1

Il est à remarquer que les données portant sur certains de ces événements (c'est-à-dire événements de catégorie 4) ont été recueillies lors d'une enquête préliminaire. Les données qui portent sur d'autres événements (c'est-à-dire événements de catégorie 3) résultent d'enquêtes exhaustives du BST. Il se pourrait donc qu'il y ait des écarts entre les données portant sur les différents événements.

R03E0091 (le 12 octobre 2003), déraillement de 19 wagons du train 269-11 du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP) au point milliaire 46,9 de la subdivision Aldersyde

Huit des wagons contenaient de l'ammoniac anhydre et sept autres contenaient du mazout, mais il n'y a eu aucun déversement de produits. Le train roulait à la vitesse en voie, soit 45 mi/h. Le ciel était partiellement nuageux, le temps était venteux et la température ambiante était de 15 °C. La cause première de l'événement a été la rupture d'un tronçon de rail qui a créé une trouée de 38 pieds dans le rail de la file haute d'une courbe de quatre degrés vers la gauche. Les rails étaient de longs rails soudés (LRS) de 115 livres fabriqués en 1974 par Algoma. De forts impacts de roues produits par le 15^e wagon derrière les locomotives ont été un facteur contributif important de la rupture du rail. Le dernier contrôle des défauts de rail qui a précédé le déraillement a eu lieu le 30 juillet 2003 et n'avait révélé aucun défaut interne dans les 10 milles de part et d'autre du point de déraillement. Le contrôle suivant devait avoir lieu pendant la semaine du 13 octobre.

Dans la subdivision Aldersyde, la voie était constituée de LRS de 115 livres fabriqués en 1974 dans une proportion de 47 %, le reste de la voie (53 %) étant fait de rails éclissés de 100 livres en longueurs de 72 pieds retenus par des crampons et des anticheminants conformes au plan de pose standard. Il y avait une combinaison de selles de rail à double épaulement de 11 pouces et de 14 pouces. Le ballast était en mauvais état. En 2003, le trafic de la subdivision Aldersyde était de 13,0 millions de tonnes-brutes (MTB), soit une augmentation de 15 % depuis 2001, et se composait de trains-blocs dans une proportion de 7 %. Le taux de défauts de rail par 100 milles de voie a diminué de 19,69 en 1999 à 11,42 en 2002, mais il est remonté à 16,52 en 2003.

R03E0092 (le 15 octobre 2003), déraillement de 14 wagons du train 863-017 du CFCP au point milliaire 40,4 de la subdivision Taber

Les wagons qui ont déraillé comptaient six wagons contenant des résidus de soufre liquide et huit wagons vides servant au transport de charbon. La vitesse en voie était de 40 mi/h et elle était limitée à 25 mi/h en raison d'un ordre temporaire de vitesse réduite attribuable au mauvais état du ballast. On a déterminé que la cause principale du déraillement avait été la rupture d'un rail due à une fissuration verticale du champignon de 15 pouces et à une fissuration du congé âme-champignon. La voie en alignement droit était faite de rails éclissés à champignon chanfreiné de 100 livres, en longueurs de 66 pieds, qui avaient été fabriqués en

1953 par Dominion et posés comme rails de réemploi²² pendant les années 1980. Les rails avaient fait l'objet d'une auscultation par ultrasons une semaine avant l'accident. Le défaut avait été détecté, mais avait été mal interprété par l'opérateur.

Les voies de la subdivision Taber étaient faites de rails éclissés de 100 livres et de 115 livres, retenus par des crampons et des anticheminants conformes au plan de pose standard. Des selles de rail de 10 pouces à simple épaulement étaient utilisées sous les rails de moins de 100 livres, et des selles de 14 pouces à double épaulement étaient utilisées sous les rails de moins de 115 livres. L'état du ballast allait de passable à mauvais à l'extrémité est de la subdivision, et il était mauvais dans l'ouest de la subdivision. En 2004, on devait poser des LRS sur une distance approximative de 17 milles, et des selles de rail sur une distance de 48 milles. De plus, des LRS devaient être posés sur une distance de 31,4 milles en 2005 et sur une distance de 50 milles en 2006.

En 2003, la subdivision Taber a vu passer un trafic de 15,7 MTB, ce qui représente une augmentation de 43 % depuis 1999. Dans une proportion de 80 %, ce trafic est constitué de trains-blocs qui transportent surtout des produits en vrac comme du charbon, des céréales, du soufre et de la potasse. Le taux de défauts de rail est resté relativement stable entre 1999 (30,46 par 100 milles de voie contrôlés) et 2001 (30,75), il a diminué en 2002 (20,40) puis a augmenté en 2003 (39,44).

R03C0101 (le 24 octobre 2003), déraillement de 16 wagons du train 269-21 du CFCP au point milliaire 10,75 de la subdivision Moyie

La vitesse en voie était de 25 mi/h dans le secteur; le train circulait à 27 mi/h. Le ciel était dégagé et il faisait 9 °C. Au nombre des wagons déraillés, il y avait un wagon-citerne contenant des résidus de marchandises non dangereuses et un wagon-citerne de résidus dont le dernier chargement avait été de l'hydroxyde de sodium. Les wagons-citernes n'ont pas laissé fuir leur chargement. La cause première du déraillement a été la rupture du rail de la file haute au milieu d'une courbe de six degrés vers la gauche, en raison d'une fissuration transversale progressive amorcée en surface partant de l'angle intérieur du rail de la file haute. La voie était faite de LRS de 136 livres à profil RE, fabriqués par Algoma entre 1980 et 1985. La dernière auscultation par ultrasons qui avait été faite avant le déraillement avait eu lieu le 19 septembre et n'avait révélé aucun défaut dans le secteur. Près du point de déraillement, la voiture de détection des défauts de rail a obtenu des réponses intermittentes qui dénotent habituellement un mauvais état de la surface du champignon, ce qui fait que l'opérateur de la voiture de contrôle n'a pas pris d'autres mesures.

La voie ferrée de la subdivision Moyie était faite d'une combinaison de rails de 100 livres, de 130 livres, de 132 livres et de 136 livres; des LRS étaient posés dans la plupart des courbes, et il y avait des rails éclissés dans les tronçons en alignement droit. L'ancrage standard était utilisé, avec des selles de rail à double épaulement et cinq crampons par selle dans la plupart des courbes et des selles de rail à simple épaulement et deux crampons par selle dans les tronçons en alignement droit. L'état du ballast allait de passable à mauvais. Des rails de réemploi ont été

²² Le terme « réemploi » désigne la pratique qui consiste à réutiliser des longs rails soudés qui proviennent de voies principales de première catégorie et qui ont encore une durée de vie utile résiduelle.

posés sur une distance d'environ neuf milles entre 2001 et 2004, et devaient être posés sur une distance de deux milles en 2005 et 2006. En 2003, le trafic de la subdivision Moyie a été de 16,0 MTB, soit une augmentation de 33 % depuis 1999, et se composait de trains-blocs dans une proportion de 26 %. Le taux de défauts de rail par 100 milles de voies contrôlés a diminué de 1999 à 2001, passant de 17,61 à 9,15, il a remonté à 26,76 en 2002 puis a diminué en 2003, revenant à 20,13.

R04E0001 (le 1^{er} janvier 2004), déraillement de 28 wagons de céréales du train A44351-01 du Canadien National (CN) au point milliaire 58,90 de la subdivision Camrose

Le train roulait vers le nord à une vitesse de 40 mi/h, et avait ralenti à 25 mi/h pour se conformer à un ordre permanent de vitesse réduite qui était en vigueur entre les points milliaires 49,2 et 58,4. La cause première du déraillement a été la rupture d'un rail dans un joint, sur un tronçon en alignement droit. La rupture a été vraisemblablement causée par une étoilure du trou d'éclissage. La voie était faite de rails éclissés (joints de rail à quatre boulons) de 100 livres en longueurs de 39 pieds, fabriqués en 1949 par Algoma, qui étaient affectés par une perte de 7 mm du champignon. Les traverses n° 1 en bois dur étaient en bon état; les rails reposaient sur des selles de rail de 14 pouces à double épaulement, étaient fixés par cinq crampons à chaque selle et étaient encadrés par des anticheminants à toutes les deux traverses. L'état du ballast en pierre concassée allait de passable à bon.

La voie était faite de rails de 100 livres, des LRS en majorité, le reste étant constitué de rails éclissés de 39 pieds encadrés par des anticheminants à toutes les deux traverses. Les traverses étaient en bois mou, sauf dans les courbes de plus de quatre degrés, où elles étaient en bois dur. Les rails étaient généralement posés sur des selles de 11 pouces à double épaulement, mais ils reposaient sur des selles de 14 pouces à double épaulement dans certaines courbes, et ils étaient fixés par deux crampons à chaque selle de rail, et par des tiges de clouage dans les courbes plus prononcées. Il y avait en moyenne de 20 à 30 % de traverses défectueuses. Le ballast de pierre concassée était en bon état. Depuis 2001, on avait installé des LRS partiellement usés sur une distance de plus de 16 milles et fait 15 200 soudures par étincelage bout à bout, afin d'éliminer les rails éclissés. On avait posé 14 000 anticheminants, 3600 traverses et 6000 crampons, corrigé l'écartement sur une distance de 4,52 milles et épandu 2600 verges cubes de ballast. En 2003, le trafic a été de 10,5 MTB, soit une augmentation de 40 % depuis 2001. Dans une proportion de 21 %, le trafic était constitué de trains-blocs, principalement des trains chargés de soufre et de céréales qui roulaient en direction nord.

R04C0002 (le 5 janvier 2004), déraillement de 15 wagons du train 266-02 du CFCP au point milliaire 76,4 de la subdivision Crowsnest

La vitesse en voie était de 35 mi/h, et le train circulait à 30 mi/h. Lors de l'événement, la température était de -31 °C. Tous les wagons qui ont déraillé étaient vides, sauf un wagon-citerne contenant des résidus de gaz de pétrole liquéfié et un wagon chargé d'acide phosphorique. La cause première du déraillement a été la rupture du rail de la file haute dans une transition entre des courbes de cinq et de six degrés. On a récupéré 11 morceaux de rail, et l'examen du BST a révélé la présence de défauts transversaux dans 12 des 14 fractures, toutes dans l'angle intérieur du champignon du rail; la taille des défauts variait, allant de 5 à 50 % de la surface de la section transversale du champignon. La dernière auscultation par ultrasons

remontait au 3 octobre 2003 et avait indiqué un possible défaut transversal près du point de déraillement, mais l'opérateur de l'appareil de contrôle avait conclu que le défaut affectait moins de 10 % de la surface et il n'avait pas pris de mesures, étant donné le mauvais état de la surface (écaillage et shelling notables). La voie était constituée de LRS partiellement usés de 115 livres, fabriqués en 1982 par Algoma et transposés à partir de la ligne principale du CFCP dans le nord de l'Ontario.

Entre les points milliaires 7,9 et 10,3, la voie était faite de rails éclissés de 100 livres posés sur des selles de rail à simple épaulement. Le reste des rails étaient des LRS de 115 livres, de 132 livres et de 136 livres posés sur des selles de 14 pouces à double épaulement, sauf entre les points milliaires 48 et 77, où ils étaient posés sur des selles de 11 pouces à double épaulement. Les crampons et anticheminants avaient été posés conformément au plan de pose standard. Le ballast était en bon état. En 2003, le trafic était de 20,1 MTB, soit une augmentation de 53 % depuis 1999, et il était constitué de trains-blocs dans une proportion de 58 %. Le taux de défauts de rail par 100 milles de voie contrôlés est passé de 2,14 en 2000 à 11,79 en 2002, pour se maintenir à 11,53 en 2003.

R04C0014 (le 26 janvier 2004), déraillement de 11 wagons intermodaux du train 104-26 sud du CFCP au point milliaire 46,1 de la subdivision Red Deer, près de Didsbury (Alberta)

La vitesse maximale permise sur la voie était de 55 mi/h, et le train roulait à 21,7 mi/h. Le ciel était dégagé et la température était de -29 °C. Un ordre de marche à vitesse réduite (35 mi/h) était en vigueur en raison du temps froid. La cause première du déraillement a été la rupture du rail/des éclisses du rail ouest. Des fissures de fatigue s'étaient propagées à partir des trous d'éclissage de l'about du rail sud du joint. Des fissures de fatigue évidentes étaient présentes dans les surfaces de rupture des deux éclisses. Des méthodes d'inspection et d'entretien des joints qui laissaient à désirer ont été des facteurs contributifs de ce déraillement. La voie en alignement droit se composait de LRS de 115 livres fabriqués en 1983 par Algoma et reliés par des éclisses à six trous. Le dernier contrôle par ultrasons, effectué le 10 novembre 2003, a révélé une soudure de chantier défectueuse un peu au nord du point de déraillement (pas considérée comme étant un facteur de causalité).

La voie de la subdivision Red Deer est faite surtout de rails éclissés de 100 livres, mais compte aussi des LRS de 115 livres. Dans l'ensemble, le trafic de la subdivision Red Deer a peu varié entre 2000 (25,0 MTB) et 2003 (26,4 MTB), et consistait en un trafic de vrac dans une proportion de 14 à 20 %.

R04C0031 (le 22 février 2004), déraillement de 22 plates-formes intermodales du train Q11531-19 ouest du CN au point milliaire 37,21 de la subdivision Oyen

La vitesse en voie était de 40 mi/h, et le train roulait à 34 mi/h. Le ciel était dégagé, le temps était calme, et il faisait -6 °C. La cause première du déraillement a été la rupture d'un rail due à une fissuration verticale du champignon dans un joint voisin d'un croisement. La voie était faite de rails éclissés de profil RA de 100 livres, en longueurs de 78 pieds (éclisses à quatre boulons)

fabriqués en 1956 par Dominion et posés sur un tronçon en alignement droit. Lors du dernier passage de la voiture d'auscultation par ultrasons, le 17 juin 2003, aucun défaut du rail n'avait été signalé.

En 2003, le trafic de la subdivision Oyen a été de l'ordre de 5,1 MTB, dont la répartition était la suivante : 70 % de trafic intermodal et 30 % de transport d'autres marchandises, notamment des céréales. La charge maximale autorisée dans la subdivision Oyen est de 268 000 livres.

R04E0027 (le 4 mars 2004), déraillement de 20 wagons du train 575-03 ouest du CFCP au point milliaire 86,03 de la subdivision Red Deer, près de Penhold (Alberta)

Au nombre des wagons déraillés, on comptait cinq wagons de résidus d'ammoniac anhydre, deux wagons de résidus de propylène et un wagon de résidus d'aluminate de sodium. Le ciel était dégagé, le temps était calme et la température était de -18 °C. Au moment du déraillement, le train circulait à 39,2 mi/h. La vitesse autorisée dans la subdivision au point de déraillement était de 45 mi/h; toutefois, elle était limitée à 40 mi/h du fait d'un ordre de marche à vitesse réduite rendu nécessaire par une variation excessive du nivellement transversal (non considéré comme étant un facteur de causalité). Le dernier passage de la voiture de détection des défauts de rail, le 13 février 2004, avait porté sur le secteur compris entre les points milliaires 67,3 et 95,6, et n'avait révélé aucun défaut. Le déraillement s'est produit quand le train est passé au-dessus d'un joint de rail brisé dans un tronçon en alignement droit qui s'était rompu et séparé. Deux joints situés aux deux extrémités d'une barre de protection ont été affectés par la rupture. Toutes les éclisses se sont rompues à peu près au milieu de leur longueur et les surfaces de rupture montraient des ruptures de fatigue préexistantes qui partaient du sommet des portées d'éclissage. Les éclisses avaient été affaiblies par ces défauts dus à la fatigue, les joints et les rails adjacents étant mal supportés et assujettis.

Annexe B – Renseignements supplémentaires relatifs à l'analyse statistique

Sélection des subdivisions du CFCP

Les subdivisions du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP) dont le tonnage annuel n'excédait pas 10 millions de tonnes-brutes (MTB) et qui étaient constituées en majorité de rails de moins de 130 livres, d'après les données fournies par le CFCP, ont été exclues de l'échantillon final. Les subdivisions Hardisty, Wilkie, Estevan et Sutherland ont été exclues parce que leur tonnage (MTB) était inférieur aux critères de sélection. Les subdivisions Cranbrook, Moyie et Nelson ont été exclues parce que les rails qui les constituaient étaient en majorité des rails de plus de 115 livres. La subdivision Crowsnest a aussi été exclue, étant donné que presque tout le trafic de vrac qui y circulait était porté par des rails de 132 livres ou de 136 livres. Bien que seulement 26 % des rails de la subdivision Crowsnest aient un poids supérieur à 115 livres, ces rails de poids élevé se trouvent tous entre le point milliaire 77,2 et le point milliaire 101,1, soit le secteur où circulent presque tous les trains-blocs vraciers qui empruntent la subdivision. Les wagons de transport de charbon en vrac roulent en direction sud après avoir quitté les mines de charbon à ciel ouvert d'Elk Valley, puis roulent vers l'ouest et le nord dans la subdivision Cranbrook pour se rendre aux installations portuaires de Roberts Bank sur la côte ouest. Il s'ensuit que les rails de poids plus léger qu'on trouve à l'est des mines de charbon à ciel ouvert de la région de Crowsnest Pass assurent l'acheminement d'une très petite partie du trafic de trains-blocs vraciers.

Variables

On a établi des moyennes pour déterminer les variables ci-après pour les années 2002 et 2003 :

- tonnage global – nombre annuel de MTB;
- tonnage des trains-blocs vraciers – obtenu en multipliant le pourcentage du trafic de trains-blocs vraciers (fourni par la compagnie ferroviaire) par le tonnage global en MTB;
- taux de défauts de rail – total annuel de défauts de rail par mille de voie;
- indice de rugosité de la surface – chiffres fournis par le CFCP.

Tableau 4. Sélection des subdivisions du CFCP

Subdivision	Tonnage Moyen (MTB)	Tonnage moyen de vrac (MTB)	Taux moyen de défauts de rail	IRS moyen
Taber*	15,10	11,78	1,09	95,65
Weyburn*	28,50	10,97	0,93	49,75
Macleod*	12,45	0,93	0,19	52,75
Aldersyde*	12,40	0,93	0,50	60,50
Red Deer*	25,70	3,64	0,48	55,00
Leduc*	18,55	2,19	0,12	42,90
Cranbrook	37,90	15,96		
Moyie	15,20	3,57		
Crowsnest	18,85	10,57		
Hardisty	3,50	0,81		
Wilkie	3,85	0,69		
Nelson	15,70	3,95		
Estevan	3,25	1,20		
Sutherland (de Lanigan à Saskatoon)	9,40	5,90		

* les subdivisions qui ont été sélectionnées aux fins de l'analyse statistique

Les taux de défauts de rail et les valeurs d'indice de rugosité de la surface sont signalés seulement pour les subdivisions qui étaient conformes aux critères de sélection.

Annexe C – Auscultation des rails

Les compagnies ferroviaires se fient beaucoup à l'auscultation des rails pour détecter les défauts. Les méthodes de contrôle utilisées par toutes les entreprises spécialisées dans ce domaine sont essentiellement les mêmes. Les seules différences ont trait à la vitesse de traitement des données, à la présentation de l'information, à la configuration des véhicules et à la construction des chariots des unités de recherche à rouleaux. Au fil des ans, la Sperry Rail Service a mis au point et utilisé des unités de recherche à rouleaux équipées de transducteurs placés à différents angles qui permettent le meilleur contrôle possible. Les véhicules ont des roues remplies de liquide qui abritent les transducteurs et assurent leur couplage avec le rail. Un liquide de couplage consistant en une fine pellicule d'eau mélangée à du glycol ou du calcium facilite la transmission des ultrasons entre les transducteurs et le rail.

Le système A-scan utilise deux roues équipées de neuf transducteurs – cinq transducteurs dans une roue et quatre dans l'autre - pour sonder chaque rail. Chaque rail est ausculté par neuf transducteurs : un capteur orienté à zéro degré ou à balayage vertical, un transducteur orienté vers l'avant et un transducteur orienté vers l'arrière, dont l'alignement nominal est de 45 degrés (en fait 37 degrés) et six capteurs placés à un angle de 70 degrés. Dans le nouveau système B-scan, deux sondes additionnelles, dites « à balayage latéral », en l'occurrence des capteurs orientés à 70 degrés qui ont été modifiés, contrôlent latéralement le champignon de chaque rail pour déceler une éventuelle séparation dans le sens vertical, de sorte que chaque rail est ausculté par 11 transducteurs. Ces systèmes de capteurs peuvent ausculter toute la section transversale du rail, sauf les rebords extérieurs du patin du rail. La technologie B-scan d'auscultation par ultrasons est capable de vérifier un volume accru de rails et de détecter des défauts de plus petite taille, améliorant d'environ 50 % la capacité de détection des défauts.

Chez la Sperry Rail Service, on utilise surtout deux unités spécialisées d'inspection des rails : un véhicule sur rail équipé d'appareils d'auscultation par ultrasons et d'auscultation électromagnétique (par induction), et un camion rail-route muni d'appareils d'auscultation par ultrasons. Auparavant, le matériel d'auscultation par induction était trop volumineux pour pouvoir être monté à bord de véhicules rail-route, mais la Sperry Rail Service a mis au point récemment un système de contrôle par induction qui fonctionne sur une plate-forme rail-route. Les véhicules contrôlent les rails à des vitesses allant de 6,5 à 13 mi/h, mais on est en train de mettre au point des véhicules qui roulent à des vitesses plus élevées.

Les données recueillies par le matériel d'inspection sont transmises à l'opérateur qui se trouve dans la voiture, et elles sont affichées sur des écrans. Les données affichées sur six canaux montrent les signaux par ultrasons et les signaux d'induction ainsi que les anomalies qui affectent les éléments de la voie comme les joints et les croisements. Si l'opérateur considère qu'une indication est suspecte, il fait arrêter le véhicule et le fait revenir vers le point examiné. Il descend de la voiture et fait une vérification sur place à l'aide de l'appareil d'auscultation par ultrasons qui est monté à l'arrière de la voiture. Si la présence d'un défaut est confirmée, on fait une marque sur le rail et une équipe de travaux, qui suit la voiture de Sperry Rail Service, remplace le rail ou prend les mesures de protection pertinentes.

Le choix de la fréquence des auscultations de rails est un travail complexe qui doit prendre en compte un grand nombre de différents facteurs, dont la température, la densité du trafic, les sections de rail et le tonnage cumulatif. Le *Règlement sur la sécurité de la voie* (RSV) précise qu'une vérification annuelle visant à déceler les défauts internes de rail doit être faite sur les

voies de catégories 4 à 6 qui servent à l'acheminement de 25 millions de tonnes ou plus, et sur les voies de catégorie 3 qui font passer des trains de voyageurs. Le Canadien National (CN) et le Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP), reconnaissant que la fréquence des auscultations est importante, vont au-delà de ces exigences, et tout particulièrement au cours des mois les plus froids de l'hiver, pendant lesquels le rail est plus fragile et susceptible d'être affecté par la l'aggravation des défauts.

Le nombre et le type des défauts de rail sont répertoriés dans une base de données dont les compagnies ferroviaires se servent pour concevoir leurs programmes de remplacement des rails et pour avoir une idée d'ensemble de l'historique des défauts de rail dans une subdivision donnée. Le programme du CN relatif à la gravité des défauts de rail vise à calculer des indices de gravité, ou des indices de défauts de rail dans toute une subdivision. Le programme attribue une valeur de gravité à chaque type de défaut de rail. Des défauts dus à la fatigue, comme la fissuration verticale du champignon, la fissuration du congé âme-champignon, les défauts transversaux et la fissuration horizontale du champignon, ont une plus grande valeur que les défauts dus à l'usure, comme l'écrasement de l'about, l'usure de la voie dans les courbes, les bavures d'about de rail et le shelling. On calcule l'indice total de gravité des défauts pour une distance de cinq milles et on reporte le tout sur un tableau illustrant le degré de gravité des défauts de rail. Ce tableau est utilisé aux fins de la planification et de la priorisation des programmes de remplacement de rails, lesquels sont ensuite inclus au plan général de renouvellement des immobilisations et sont mis en concurrence avec les autres demandes de capitaux de l'organisation. Comme ils ne parviennent presque jamais à faire approuver tous les programmes relatifs aux rails qu'ils proposent, les superviseurs locaux utilisent les sommes qui leur sont attribuées aux endroits où les risques sont les plus grands.

Au CFCP, le remplacement des rails défectueux et les mesures de protection pertinentes sont régis par la Notice technique (NT) 27. La section 4.2 de la NT 09 veut qu'on remplace les rails d'une courbe lorsqu'ils ont atteint la limite d'usure A (limites d'usure à laquelle on réemploie les rails qui montrent des signes de fatigue), plutôt qu'à la limite C (limite d'usure maximale à laquelle un rail doit être retiré de la voie). On considère qu'un rail est affecté par la fatigue quand des indices montrent qu'il y a eu un défaut de rail dû à la fatigue au cours des 12 derniers mois, ou deux défauts au cours des 24 derniers mois. Le CFCP n'a pas de normes bien définies quant au nombre de défauts affectant un tronçon en alignement droit qui entraînerait automatiquement le remplacement des rails. On procède plutôt au cas par cas, suivant la nature des défauts.

Les directives relatives au remplacement des rails qui sont exposées dans la section 8.0 de la NT 09 du CFCP sont basées sur les exigences du RSV concernant chaque catégorie de voie. La pose de longs rails soudés (LRS) neufs ou de réemploi constitue la ligne directrice pour les voies principales de deuxième catégorie et de catégories supérieures de toutes les classes de tonnage; toutefois, la décision concernant le type de rail à employer peut dépendre de la disponibilité des rails, des coûts et des perspectives d'avenir de la voie.

La Sperry Rail Service a pris les mesures suivantes pour veiller à ce que les opérateurs aient une formation suffisante qui leur permettra de déceler les défauts de rail avec fiabilité :

- La compagnie a instauré un programme de formation d'une durée d'un à trois ans, y compris la formation en cours d'emploi, dans le cadre duquel le candidat commence par occuper le poste de conducteur, puis celui d'assistant, et enfin celui de chef. Avant de passer au niveau suivant, l'opérateur suit une formation officielle de 40 heures sur le contrôle par ultrasons et doit faire la preuve de sa compétence conformément à une norme reconnue par l'American Society for Nondestructive Testing (ASNT).
- Les résultats des essais de rails font l'objet d'une surveillance et, si une défaillance se produit pendant le service au cours des 30 jours suivant un contrôle, on mène une enquête et on compare les résultats des inspections successives des voies concernées afin de déterminer les défauts qui n'ont pas été décelés. Tout opérateur qui n'a pas décelé des défauts qui étaient présents dans le rail doit suivre une formation de rappel ou de rattrapage, ou les deux.
- Bien que la Sperry Rail Service cherche à contrôler le plus grand nombre possible de milles de voie par jour, c'est le chef qui est responsable de l'exécution des contrôles et de la vitesse à laquelle ils sont faits. Comme les contrats de contrôle des rails tiennent compte du nombre d'heures de travail, et non pas du nombre de milles contrôlés, les opérateurs peuvent prendre le temps voulu pour procéder à des contrôles ponctuels et à des inspections visuelles et pour faire arrêter la voiture afin de reprendre une section s'ils jugent que cela est nécessaire.

La Sperry Rail Service, le CN et le CFCP ont adopté les normes de rendement minimal recommandées par l'American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA) concernant les contrôles de rails (Recommended Minimum Performance Guideline for Rail Testing). Ces lignes directrices précisent le rendement minimal acceptable, exprimé en pourcentage (ratio de fiabilité) des défauts qui devraient être localisés en un seul passage par une voiture de contrôle qui est entretenue dans un état raisonnable et conduite par un opérateur expérimenté et qui roule sur des voies dont l'état correspond à celui des voies typiques. Comme la technologie et le matériel existants ne permettent pas une exactitude de 100 %, les lignes directrices précisent aussi le nombre de défauts véritables qui ne sont pas décelés ou qui passent inaperçus. Par exemple, les normes de l'AREMA concernant le rendement des contrôles précisent un ratio de fiabilité de 75 % pour la détection d'étoilures du trou d'éclissage mesurant de ½ pouce à 1 pouce de longueur sur des voies de catégorie I. La détection de fissures plus petites n'est pas assurée. Les ratios de fiabilité varient suivant la taille du défaut et la catégorie de la voie. Les voies de catégorie I comprennent toutes les voies principales qui acheminent un tonnage annuel égal ou supérieur à 3 millions de tonnes-brutes (MTB), ou sur lesquelles la vitesse des trains est égale ou supérieure à 40 mi/h. Les voies de catégorie II comprennent toutes les voies d'évitement et les voies qui acheminent un tonnage annuel inférieur à 3 MTB et sur lesquelles la vitesse des trains est inférieure à 40 mi/h.

Annexe D – Inspections faites par Transports Canada

Subdivision Moyie

Après avoir mené une inspection dans la subdivision Moyie en octobre 2004, Transports Canada a émis le 29 octobre 2004 un Avis et ordre concernant la densité de traverses défectueuses et de rails usés ou affectés par des défauts, l'entretien inadéquat des joints de rail et la présence de ballast colmaté ou insuffisant. Les subdivisions Cranbrook et Moyie ont été assujetties à un régime d'inspection particulier (consistant en des inspections plus fréquentes et plus détaillées faites par Transports Canada).

Subdivision Cranbrook

Transports Canada a émis un Avis et ordre le 8 mai 2003 concernant le mauvais état général des traverses, la présence d'un grand nombre d'attaches saillantes/brisées dans le dernier tronçon de la subdivision et l'accroissement du tonnage et des charges par essieu. Bien qu'il ait noté certaines améliorations temporaires, Transports Canada a informé le Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP) le 29 octobre 2004 que l'Avis resterait en vigueur en raison d'un mauvais entretien des joints de rail, de l'usure des rails, d'un entretien inadéquat des branchements et du non-respect des normes quant à l'état des voies dans le triage Cranbrook.

Subdivision Taber

Le 17 juillet 2002, Transports Canada a inspecté la voie ferrée entre le point milliaire 55,69 et le point milliaire 114,64. L'inspection a révélé la présence de ballast colmaté et des groupes de traverses défectueuses, une détérioration des traverses et des selles de rail, des anticheminants inefficaces et un mauvais état général de la voie. Transports Canada a écrit au CFCP le 18 juillet 2002 pour lui demander de l'information au sujet de son programme de renouvellement et d'entretien des rails, des traverses et du ballast, autant en ce qui concerne les travaux réalisés en 2001 que les travaux prévus pour 2002. Transports Canada a donné 14 jours au CFCP pour l'informer des mesures qu'il entendait prendre afin de corriger les défauts relatifs à la voie relevés lors de l'inspection du 17 juillet. Le CFCP a répondu le 8 août 2002, en exposant les grandes lignes des mesures correctives qu'il avait prises dans l'immédiat. Toutefois, la compagnie n'a transmis aucune information supplémentaire quant aux plans d'entretien à long terme qu'il faudrait entreprendre afin de corriger les problèmes signalés par les inspecteurs.

Une autre inspection a été faite le 8 janvier 2003 entre les points milliaires 32,5 et 62,0. Le 10 janvier 2003, Transports Canada a fait part de ses préoccupations au sujet de l'entretien continu et de la dégradation accélérée de la voie qui découle de l'augmentation du tonnage et du poids des wagons dans la subdivision au cours des quatre dernières années. Transports Canada a demandé au CFCP de lui communiquer au plus tard le 30 avril 2003 les détails des plans d'entretien de l'infrastructure de la subdivision Taber qu'il entend réaliser afin d'assurer l'acheminement sûr du trafic prévu. Dans la réponse qu'il a fait parvenir le 28 avril 2003, le CFCP a fait savoir qu'en 2003, ses plans d'entretien de la subdivision Taber comprendrait l'installation de rails de réemploi, l'amélioration des branchements et le remplacement de selles de rail brisées. Le CFCP a aussi communiqué à Transports Canada son plan d'entretien pluriannuel pour les années 2004 à 2008. Transports Canada a examiné

l'information qui lui avait été transmise et a fait part de ses préoccupations quant au programme de remplacement des traverses et au plan de remise en état du ballast. Il a demandé au CFCP d'examiner les préoccupations exprimées par Transports Canada et de faire un suivi approprié.

Le 22 septembre 2003, le CFCP a informé Transports Canada qu'il allait limiter la vitesse des trains dans la subdivision jusqu'à ce qu'il ait terminé les travaux d'amélioration de l'infrastructure (pose de meilleurs rails, de meilleures attaches, de ballast et, le cas échéant, de meilleures traverses). Le CFCP a également indiqué qu'il pourrait répondre aux autres préoccupations dont Transports Canada avait fait part précédemment en apportant des révisions appropriées au plan d'immobilisations, sans toutefois donner plus de précisions sur les révisions qu'il envisageait de faire.

Annexe E – Sigles et abréviations

AAR	Association of American Railroads
ACFC	Association des chemins de fer du Canada
AREMA	American Railway Engineering and Maintenance of Way Association
ASNT	American Society for Nondestructive Testing
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CFCP	Chemin de fer Canadien Pacifique
CMN	circulaire sur les méthodes normalisées
CN	Canadien National
DDR	détecteur de défauts de roues
E	tonnage annuel des trains de messageries
F	tonnage annuel des trains de marchandises
FRA	Federal Railroad Administration
IQV	indice de qualité des voies
IRS	indice de rugosité de la surface
LRS	longs rails soudés
LSF	<i>Loi sur la sécurité ferroviaire</i>
mi/h	milles à l'heure
MTB	millions de tonnes-brutes
NT	notice technique
NTSB	National Transportation Safety Board
p	valeur de signification statistique indiquant la probabilité d'une relation due à la chance
P	tonnage annuel des trains de voyageurs
PDD	point de déraillement
r	coefficient de corrélation représentant la relation linéaire qui existe entre deux variables
r ²	coefficient de détermination représentant la force ou la magnitude de la relation qui existe entre les deux variables
RM	méthode recommandée
RSV	<i>Règlement sur la sécurité de la voie</i>
RTV	rapport tonnage-vitesse
Se	facteur de vitesse des trains de messageries basé sur la vitesse des trains
Sf	facteur de vitesse des trains de marchandises basé sur la vitesse des trains
SGS	système de gestion de la sécurité
Sp	facteur de vitesse des trains de voyageurs basé sur la vitesse des trains
TTCI	Transportation Technology Center Inc.
°C	degrés Celsius
%	pour cent
<	plus petit que
√n	racine du nombre de points de données