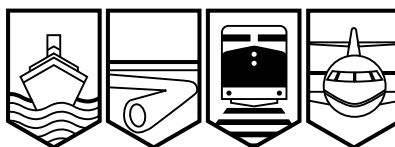


Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE
R03V0083



DÉRAILLEMENT EN VOIE PRINCIPALE
DU TRAIN NUMÉRO 356-51-14
DU CANADIEN NATIONAL
AU POINT MILLIAIRE 7,9, SUBDIVISION FRASER
À MCBRIDE (COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 14 MAI 2003

Canada

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

Rapport d'enquête ferroviaire

Déraillement en voie principale

du train numéro 356-51-14
du Canadien National
au point milliaire 7,9, subdivision Fraser
à McBride (Colombie-Britannique)
le 14 mai 2003

Rapport numéro R03V0083

Résumé

Le 14 mai 2003, vers 12 h 10, heure avancée du Pacifique, pendant que le train de marchandises n° 356-51-14 du Canadien National roulait vers l'est à destination d'Edmonton (Alberta) en provenance de Prince George (Colombie-Britannique), deux locomotives et cinq wagons chargés de bois d'oeuvre ont déraillé sur un pont, au point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser, près de McBride (Colombie-Britannique). Un incendie s'est déclaré et a causé la destruction du pont, des deux locomotives, des cinq wagons et de leur contenu. Les deux membres de l'équipe ont été mortellement blessés.

This report is also available in English.

1.0	Renseignements de base	1
1.1	L'accident	1
1.2	Victimes	2
1.3	Dommmages	2
1.4	Renseignements sur le train	2
1.5	Renseignements sur le personnel	3
1.6	Exploitation ferroviaire	4
1.7	Conditions météorologiques	3
1.8	Consignateurs d'événements	4
1.9	Particularités de la voie	6
1.10	Particularités du pont	7
1.11	Renseignements sur les lieux de l'événement	8
1.12	Examen du matériel roulant	12
1.13	Examen du rail brisé	13
1.14	Inspection et entretien du pont	13
1.14.1	Transition entre les tâches	13
1.14.2	Directives d'inspection et d'entretien	14
1.14.3	Formation en matière d'inspection	16
1.14.4	Inspection du pont	17
1.14.4.1	Inspection visuelle de 1998 (21 octobre)	17
1.14.4.2	Inspection visuelle de 1999 (23 juillet)	18
1.14.4.3	Inspection détaillée de 1999 (du 31 juillet au 2 août)	18
1.14.4.4	Inspection visuelle de 2000 (1 ^{er} août)	21
1.14.4.5	Inspection en 2001	21
1.14.4.6	Inspection visuelle de 2002 (25 septembre)	21
1.15	Entretien du pont	22
1.16	Évaluation de la capacité du pont et du matériel roulant	23
1.16.1	Capacité portante des longerons	24
1.16.1.1	Évaluation technique indépendante	26
1.16.1.2	Contrainte admissible de cisaillement horizontal	27
1.16.2	Évaluation de la capacité du chapeau 15	27

1.17	Aperçu de la réglementation	27
1.17.1	Programme de surveillance des ponts	28
1.18	Système de gestion de la sécurité	29
1.19	Autres renseignements	30
1.19.1	Défectuosité du module radar	30
1.19.2	Communications	31
1.19.3	Information sur l'état des lieux après l'accident	31
2.0	Analyse	33
2.1	Le déraillement	33
2.1.1	Scénarios possibles de l'accident	33
2.1.1.1	Premier scénario	33
2.1.1.2	Second scénario	35
2.2	Inspection et entretien du pont	36
2.2.1	Inspections	39
2.2.1.1	Inspections visuelles	39
2.2.1.2	Évaluation de l'état des éléments du pont	40
2.2.1.3	Fréquence des inspections	41
2.2.2	Assurance de la qualité	41
2.2.3	Formation	42
2.2.4	Répercussions de la transition entre les tâches et de la charge de travail ...	42
2.3	Pertinence des réparations	43
2.4	Programme de surveillance des ponts de Transports Canada	43
2.5	Communications	44
3.0	Conclusions	45
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	45
3.2	Faits établis quant aux risques	46
3.3	Autres faits établis	46

4.0	Mesures de sécurité	49
4.1	Mesures prises	49
4.1.1	Inspection et entretien des ponts en bois	49
4.1.2	Programme de surveillance de Transports Canada	50

5.0 Annexes

Annexe A	– Caractéristiques des ponts à chevalets en bois	53
Annexe B	– Extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées 4000 du Canadien National	55
Annexe C	– Extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées 4300 du Canadien National	61
Annexe D	– Détails supplémentaires des inspections	63
Annexe E	– Charge normalisée Cooper E	67
Annexe F	– Sigles et abréviations	69

Figures

Figure 1	Lieu du déraillement	1
Figure 2	Répartition du matériel roulant par type	3
Figure 3	Plan des lieux du déraillement	9
Figure 4	Élévation longitudinale du pont	9
Figure 5	Positions où les locomotives se sont immobilisées	10
Figure 6	Vue en coupe d'un pont typique à chevalets en bois et à tablier ajouré .	53

Photos

Photo 1	Lieux de l'événement	8
Photo 2	Marques laissées par un champignon de rail sur le déflecteur du réservoir de carburant	11
Photo 3	Marque d'impact sur le boulon de l'éclisse du contre-rail	12

Tableaux

Tableau 1	Capacité portante de la travée 15, membrure sud	25
Tableau 2	Capacité portante de la travée 26, membrure nord	25
Tableau 3	Répartition des charges par roue entre les longerons en pourcentage, travée 15	26

1.0 Renseignements de base

1.1 L'accident

Le 14 mai 2003 vers 6 h 25, heure avancée du Pacifique¹, le train de marchandises n° 356-51-14 (le train) du Canadien National (CN) part de Prince George (Colombie-Britannique), et roule vers l'est dans la subdivision Fraser à destination d'Edmonton (Alberta).

Une équipe de relève postée à McBride (Colombie-Britannique), point milliaire 0,0 de la subdivision Fraser, qui doit prendre son service à 11 h 40, prévoit que le train va arriver vers 12 h 30. Lors d'une communication antérieure avec le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF), il a été déterminé que le train avait environ une heure de retard en raison d'ennuis de moteur subis en cours de route. Peu après 13 h, le chef de train de l'équipe de relève essaie d'entrer en communication avec le train, mais il n'obtient pas de réponse. Il appelle alors le CCF pour s'enquérir de la cause de ce retard additionnel. Le CCF est sans nouvelles de l'équipe depuis environ 11 h 40, heure à laquelle le train se trouvait près de Loos (Colombie-Britannique). Il essaie de communiquer avec le train à 12 reprises entre 13 h 23 et 13 h 35, mais ne reçoit aucune réponse. La dernière position confirmée du train a été déterminée à 12 h 1 min 8 s par les installations du système de détection en voie situées au point milliaire 12,27. À 13 h 39, le CCF appelle le superviseur adjoint de la voie de la subdivision Tete Jaune et, à 13 h 44, il appelle le superviseur de la voie, qui se trouve alors au point milliaire 56 de la subdivision Fraser, pour leur demander de l'aider à localiser le train. À 13 h 54, on demande au chef de train de l'équipe de relève à McBride et à un employé d'entretien de la voie de prendre un taxi pour aller localiser le train. Il est évident que le train se trouve au pont situé au point milliaire 7,9 (voir la figure 1) en raison d'un nuage de fumée noire.

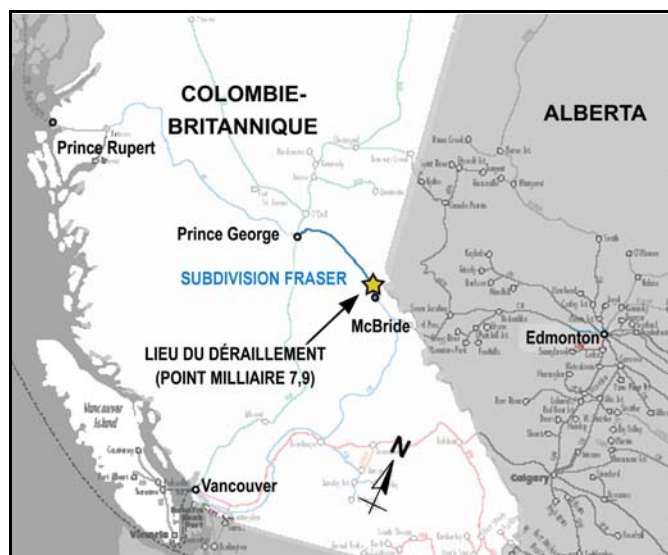


Figure 1. Lieu du déraillement

¹ Toutes les heures sont exprimées en heure avancée du Pacifique (temps universel coordonné moins sept heures).

Le chef de train et l'employé d'entretien de la voie ne peuvent pas accéder au pont en passant par la route, mais ils peuvent s'en approcher jusqu'à environ 1 km. Inquiet d'une exposition possible aux vapeurs toxiques de marchandises dangereuses, et ayant conclu que la situation est sûrement très grave, le chef de train ordonne à l'employé d'entretien de la voie d'aller alerter les services d'urgence. Le chef de train continue ensuite vers l'ouest, en direction de l'extrémité est du pont. Il constate que les locomotives et un certain nombre de wagons sont tombés dans le ravin et ont pris feu. Il est incapable de localiser les membres de l'équipe. La chaleur de l'incendie est si intense qu'il est impossible de s'approcher des locomotives. On informe le CCF que deux locomotives et plusieurs wagons de bois d'oeuvre ont déraillé sur le pont du point milliaire 7,9, et sont enveloppés par les flammes au fond du ravin.

L'endroit le plus rapproché par lequel un véhicule rail-route peut accéder au lieu du déraillement est un passage à niveau public situé au point milliaire 5,7. Le CN emprunte ce passage pour transporter le personnel d'intervention d'urgence et les autres intervenants jusqu'au lieu de l'accident. Par la suite, on ouvre un sentier que les secouristes peuvent emprunter pour accéder au pont à bord de véhicules. La Gendarmerie royale du Canada est avisée de l'accident à 14 h 8 et arrive sur place à 14 h 30. Le service ambulancier de la Colombie-Britannique et les pompiers de McBride sont avisés à 14 h 15 et arrivent sur place vers 15 h 30.

Des résidants de l'endroit se rappellent qu'ils ont d'abord vu de la fumée dans le secteur du pont vers 12 h 15. Le rapport initial a été transmis au centre provincial de lutte contre les feux de forêt à 13 h 35, et le centre a dépêché une équipe d'assistance au sol à 14 h 44, puis un hélicoptère à 14 h 55. L'hélicoptère est arrivé à 15 h 50 et a commencé à déverser de l'eau sur le dernier wagon déraillé afin d'empêcher que le feu ne s'étende au reste du train.

1.2 *Victimes*

Le mécanicien et le chef de train ont été mortellement blessés.

1.3 *Domages*

L'incendie a été circonscrit dans le secteur immédiat du pont. Tout le pont, deux locomotives et cinq wagons chargés de bois d'oeuvre ont été détruits par le feu. Plusieurs acres des terrains environnants ont subi des dommages du fait de l'incendie et de l'opération de nettoyage qui a suivi. Ultérieurement, les lieux du déraillement ont été remis en état à la satisfaction des organismes de réglementation de l'environnement.

1.4 *Renseignements sur le train*

Le train mesurait quelque 5 730 pieds et pesait quelque 8 800 tonnes. Il était tiré par 2 locomotives et se composait de 85 wagons de marchandises, dont 68 wagons chargés, 4 wagons vides et 13 wagons-citernes contenant des résidus.

Les deux locomotives ont été fabriquées par la General Motors. La locomotive de tête, CN 5512, était une locomotive à six essieux de modèle SD 60F, qui pesait 193,5 tonnes et mesurait 71 pieds 2 pouces. La locomotive menée, CN 5448, était une locomotive à six essieux de modèle SD 50, pesant 195 tonnes et mesurant 71 pieds 2 pouces.

1.5 Renseignements sur le personnel

L'équipe était composée d'un mécanicien et d'un chef de train. Tous deux connaissaient bien le territoire, répondaient aux exigences de leurs postes et se conformaient aux exigences en matière de repos et de condition physique.

1.6 Exploitation ferroviaire

La subdivision Fraser est un territoire où la voie principale est simple. Elle s'étend de McBride, point milliaire 0,0, à Prince George, point milliaire 146,1. Dans la subdivision Fraser, la circulation des trains est régie par la régulation de l'occupation de la voie en vertu du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, et est supervisée par un CCF à partir d'Edmonton.

Le trafic ferroviaire quotidien qui passait par la subdivision Fraser consistait en six trains de marchandises et un train de voyageurs. Le tonnage total acheminé en 2002 était de quelque 17 millions de tonnes brutes. La figure 2 illustre la répartition du matériel roulant selon le poids brut en livres par véhicule.

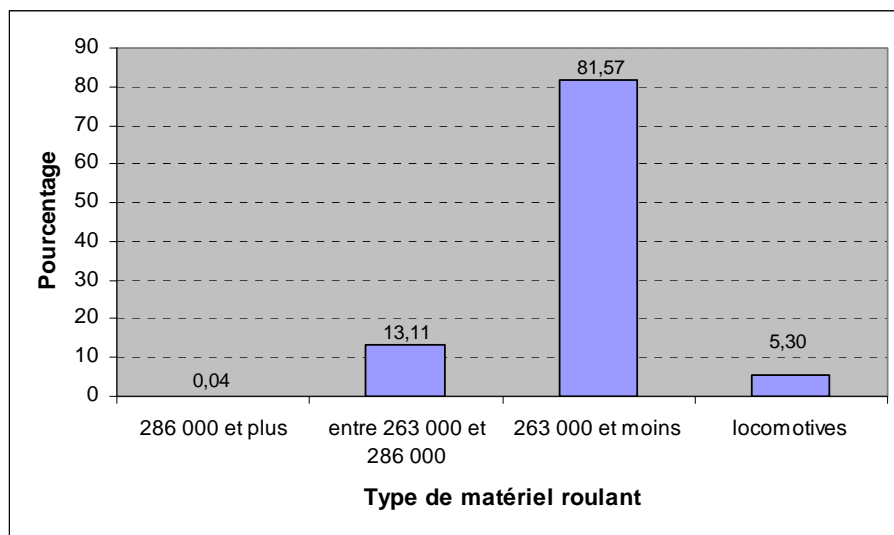


Figure 2. Répartition du matériel roulant par type

1.7 Conditions météorologiques

Au moment du déraillement, le temps était couvert et les vents étaient modérés. Il y avait des orages dans le secteur. La visibilité était bonne et la température consignée était d'environ 15 °C.

1.8 Consignateurs d'événements

Les deux consignateurs d'événements des locomotives ont été envoyés pour analyse au Laboratoire technique du BST. Il a été impossible de récupérer les données, car le feu et la chaleur ont considérablement endommagé les consignateurs. La puce mémoire du consignateur de la locomotive de tête a été endommagée, mais elle était quand même dans un état acceptable; toutefois, la batterie d'alimentation placée à l'intérieur du boîtier qui abritait les puces avait explosé en raison des températures élevées dues au feu, si bien que les données avaient été éliminées (rapport LP 044/03 du Laboratoire technique du BST). Les cartes à mémoire et le câblage du consignateur de la locomotive menée ont été complètement détruits.

Dans des rapports d'enquête portant sur des accidents antérieurs, lors desquels les consignateurs d'événements avaient été fortement endommagés ou détruits, le Bureau a mis en évidence la question de la survie des données des consignateurs d'événements.

- En août 1996, près d'Edson (Alberta), une collision de plein fouet s'est produite entre un train du CN et une rame de 20 wagons partis à la dérive. Les trois personnes qui prenaient place dans la cabine de la locomotive de tête du train de marchandises ont été mortellement blessées. Le consignateur d'événements de la locomotive de tête a été détruit dans la collision et l'incendie qui a suivie. On a récupéré les consignateurs des deuxième et troisième locomotives et on en a téléchargé les données (rapport R96C0172 du BST).
- En mars 1997, en raison d'une forte dépression dans la plate-forme de la voie au point milliaire 106,15 de la subdivision Ashcroft, près de Conrad (Colombie-Britannique), un train du CN qui roulait en direction de Kamloops (Colombie-Britannique) a déraillé. Les deux membres de l'équipe ont été mortellement blessés. Il a été impossible de récupérer les données des consignateurs d'événements puisque les locomotives ont été détruites par le feu (rapport R97V0063 du BST).
- En décembre 1999, près de Mont-Saint-Hilaire (Québec), des wagons du train 783 du CN, qui roulait sur la voie nord de la subdivision Saint-Hyacinthe, ont déraillé et ont obstrué la voie sud au point milliaire 50,84. Le train 306 du CN, qui roulait vers l'est sur la voie sud, est entré en collision avec les wagons du train 783 qui venaient de dérailler. Les deux membres de l'équipe du train 783 ont été mortellement blessés. Les

données des consignateurs d'événements des deux locomotives se sont avérées irrécupérables (rapport R99H0010 du BST). Par suite de cet accident, le Bureau a recommandé que :

Transports Canada s'assure que les normes de conception des consignateurs d'événements des locomotives comprennent des dispositions quant à la survie des données. (R02-04, émise en septembre 2002)

- En janvier 1999, un train de VIA Rail Canada Inc. a franchi le signal 2328S au point milliaire 232,8 de la subdivision Kingston du CN, à Trenton Junction (Ontario). Par la suite, le train a pris en talon un aiguillage de voie principale qui était en position renversée (rapport R99T0017 du BST). L'enquête a incité le Bureau à recommander que :

Le ministère des Transports, en collaboration avec l'industrie ferroviaire, établit, en matière de rendement des enregistreurs de données de locomotive, des normes nationales exhaustives qui précisent les exigences relatives à un dispositif d'enregistrement des conversations de cabine combiné aux systèmes de communication de bord. (R03-02, émise en juillet 2003)

Transports Canada a accepté les deux recommandations du Bureau et surveille de près l'élaboration par la Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis d'une règle portant sur la survie des données et la résistance aux chocs des consignateurs d'événements. Transports Canada compte mettre en oeuvre au Canada un processus de réglementation similaire. Le Railroad Safety Advisory Committee (comité consultatif sur la sécurité ferroviaire), un comité présidé par la FRA qui comprend des représentants de Transports Canada, des compagnies ferroviaires d'Amérique du Nord, des syndicats et d'autres intervenants, a mis sur pied un groupe de travail chargé d'étudier les grandes questions associées aux consignateurs d'événements, dont les paramètres qu'il convient d'enregistrer.

En date de juillet 2004, Transports Canada a élaboré le mandat d'une future équipe de projet qui se chargera de mettre au point des normes nationales concernant la survie des données des consignateurs d'événements. L'équipe comptera des représentants de Transports Canada, de l'industrie ferroviaire canadienne et de la FRA.

Le projet s'intéressera notamment à la définition des options et fournira des avis quant à l'établissement de normes nationales exhaustives, et pourrait porter sur :

- la définition des exigences réglementaires actuelles concernant les consignateurs d'événements, y compris la survie des données et les spécifications quant au type de données qu'on enregistre au Canada et aux États-Unis;
- la définition des exigences de la réglementation actuelle et future du Canada et des États-Unis relativement aux consignateurs d'événements, y compris au sujet des capacités audio;
- l'identification des technologies existantes et futures en ce qui a trait aux consignateurs d'événements, y compris la survie des données, le type de données qu'on peut enregistrer, les capacités audio et les interfaces avec les systèmes de communication de bord;
- la rédaction d'un rapport final indiquant les options et contenant des avis à l'intention de Transports Canada et de l'industrie ferroviaire au sujet de l'instauration potentielle de normes nationales exhaustives sur les consignateurs d'événements;
- l'élaboration par l'industrie de normes de sécurité nationales concernant les consignateurs d'événements.

Le projet a débuté à l'automne 2004. L'équipe de projet préparera un projet de rapport pour avril 2005, et compte avoir terminé son travail en décembre 2005.

1.9 *Particularités de la voie*

La voie ferrée traverse principalement des terrains très boisés et montagneux longeant le fleuve Fraser. Dans le secteur où l'accident a eu lieu, la vitesse maximale autorisée était de 25 mi/h pour les trains de marchandises et de 35 mi/h pour les trains de voyageurs. La voie était faite de longs rails soudés de 136 livres posés sur des selles de rail de 14 pouces à double épaulement, assujettis à chaque traverse par quatre crampons et encadrés par des anticheminants à toutes les deux traverses. Il y avait environ 3 120 traverses par mille de voie. Le ballast était constitué de pierre concassée. Les traverses et le ballast étaient en bon état.

Un pont à chevalets en bois (voir les caractéristiques et la terminologie relatives aux ponts à chevalets en bois à l'annexe A) enjambait un ravin au point milliaire 7,9. Sur le pont, la voie ferrée était en alignement droit et gravissait une rampe de 0,33 % d'ouest en est. Quand on arrivait de l'ouest, les lignes de visibilité aux abords du pont permettaient de voir sur une distance de quelque 2 100 pieds.

Une voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie a inspecté la voie le 10 mai 2003 et n'a signalé aucun défaut sur le pont. Une voiture de détection des défauts internes de rails a contrôlé le rail le 29 octobre 2002 et n'a pas relevé de défauts dans le secteur du pont.

La dernière inspection de la voie a eu lieu le 12 mai 2003, lorsqu'un superviseur adjoint de la voie est passé dans le secteur à bord d'un véhicule rail-route. Il n'a signalé aucune anomalie sur le pont. Plusieurs jours avant l'accident, un train s'est séparé un peu à l'ouest du pont du point milliaire 7,9. L'équipe a alors dû faire plusieurs manoeuvres de part et d'autre du pont. Au cours de ces manoeuvres, le chef de train a été en mesure d'observer le pont pendant qu'il prenait place sur le côté d'un wagon roulant à basse vitesse, et il n'a pas relevé d'anomalies sur le pont. L'enquête a aussi permis de déterminer que, pendant les jours qui ont précédé l'accident, les équipes des trains et le personnel d'entretien de la voie n'avaient rien relevé d'inhabituel au moment de traverser le pont.

1.10 *Particularités du pont*

Le pont était un pont à chevalets en bois et à tablier ajouré qui comptait 26 travées et qui mesurait au total 293 pieds. Sa hauteur maximale était de 26 pieds.

Le pont a été reconstruit en 1969 conformément au plan R-1198-1 du CN, approuvé en janvier 1969 par la Commission canadienne des transports. Les propriétés du bois d'oeuvre utilisé pour la superstructure du pont étaient conformes aux exigences de la spécification du CN concernant le Douglas taxifolié (mélèze).

L'infrastructure du pont était constituée de 27 palées de pieux. Les palées centrales (palées 8 à 20) comptaient 6 pieux alors que les palées restantes en comptaient 5. Les pieux avaient des diamètres allant de 12 pouces à 16 pouces.

Les chapeaux originaux du pont mesuraient 12 pouces sur 14 pouces sur 14 pieds, alors que les chapeaux de remplacement mesuraient 14 pouces sur 14 pouces sur 14 pieds.

Chaque travée comptait huit longerons, regroupés en deux membrures de quatre longerons, chacune étant centrée sous chaque rail. Les longerons avaient une section transversale de 8 pouces sur 16 pouces.

Les traverses du tablier mesuraient 8 pouces sur 8 pouces sur 12 pieds, et elles étaient espacées de 4 pouces. Les rails de roulement étaient de longs rails soudés de 136 livres fabriqués en 1984 et 1985. Les rails étaient posés sur des selles de rail pour pont de 14 pouces à double épaulement, qui étaient retenues aux traverses par deux crampons à chaque selle. Conformément aux pratiques normalisées, le rail n'était pas encadré par des anticheminants sur le pont. Les contre-rails étaient des rails de 100 livres munis d'éclisses à quatre trous, et ils étaient retenus par des crampons à toutes les deux traverses. Les contre-rails étaient posés à une distance de 17 pouces

du côté intérieur du rail de roulement. Cette distance n'est pas conforme à la distance standard de 9 pouces que l'on stipule dans le plan standard TS-1108 du CN concernant les ponts à tablier ajouré.

Le pont enjambait un ravin dans une zone où le sol était instable. Aucun mouvement du pont n'a été signalé au cours des dernières années.

1.11 Renseignements sur les lieux de l'événement

Les locomotives ont basculé du haut du pont, et sont tombées au fond du ravin profond de quelque 25 pieds (voir la photo 1). Les trois wagons suivants se sont tamponnés perpendiculairement à l'axe longitudinal du pont. Le premier wagon qui suivait la locomotive menée s'est immobilisé en travers de la cabine de la locomotive menée. La partie supérieure de la cabine de cette locomotive avait été arrachée. Le quatrième wagon s'est immobilisé sur ses roues vis-à-vis du mur de soutènement ouest du pont. Le cinquième wagon a déraillé, mais est resté sur ses roues sur la voie d'accès ouest du pont.



Photo 1. Lieux de l'événement

L'extrémité ouest du pont (travées 7 à 26) a été détruite lors du déraillement et de l'incendie qui a suivi. Une longueur de quelque 65 pieds de l'extrémité est du pont (travées 1 à 6) est restée debout, mais a été endommagée par le feu (voir les figures 3 et 4).

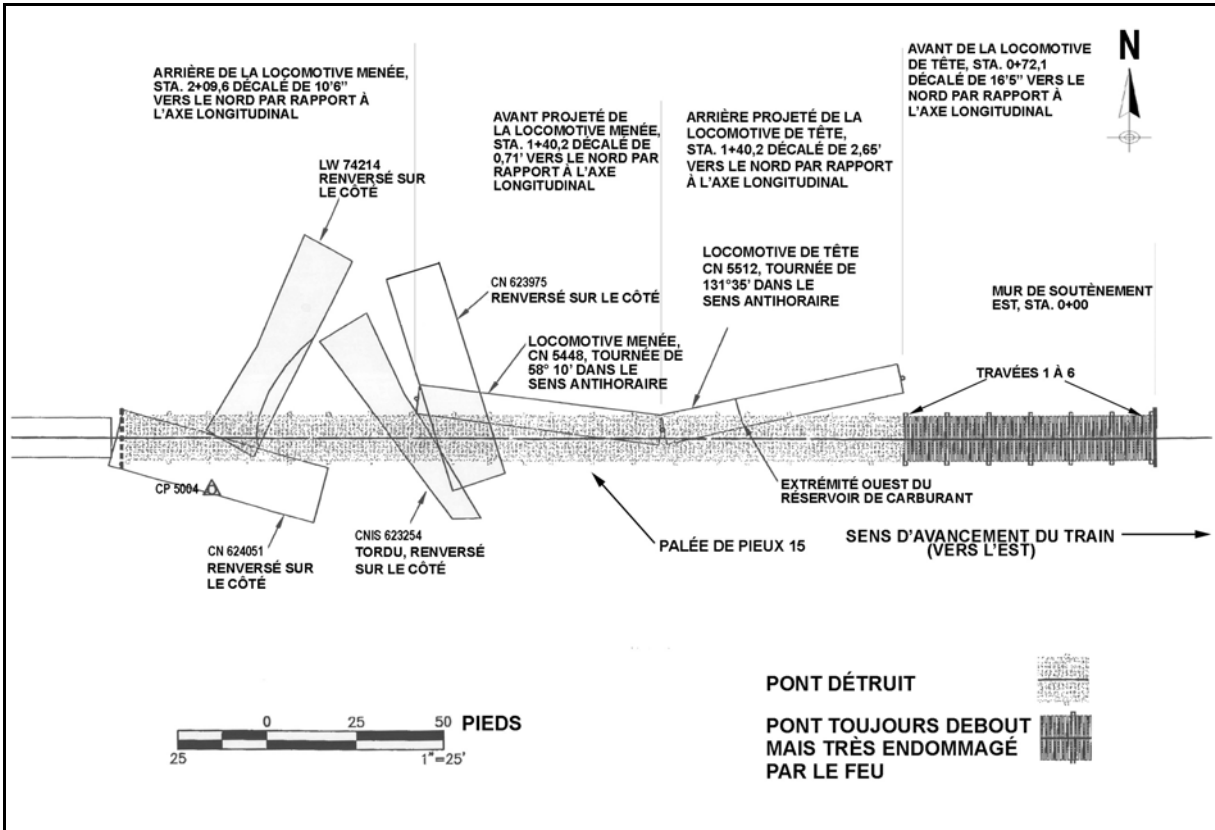


Figure 3. Plan des lieux du déraillement

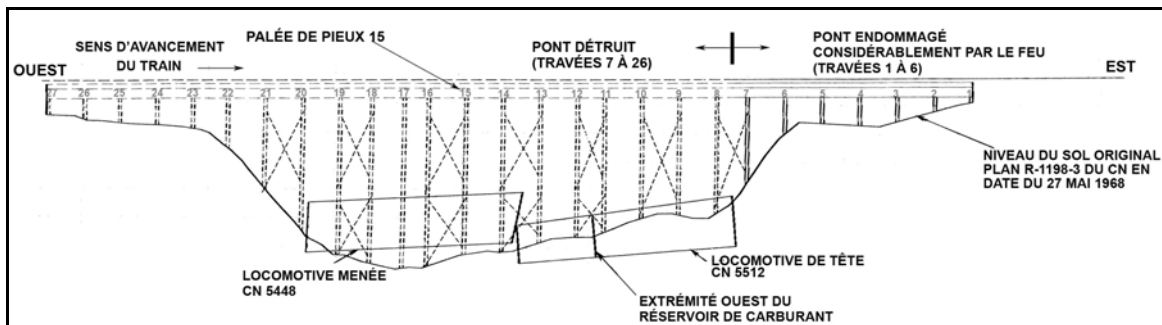


Figure 4. Élévation longitudinale du pont

Les deux locomotives se sont immobilisées entre les palées 7 et 20, près de l'axe longitudinal du pont. Elles étaient attelées ensemble par l'arrière. Les positions où elles se sont immobilisées ont été mesurées par rapport à l'axe longitudinal du pont et sont illustrées dans le diagramme (voir la figure 5). L'avant de la locomotive de tête était à 72 pieds du mur de soutènement est et l'arrière de la locomotive menée se trouvait à 210 pieds du mur de soutènement est. La locomotive de tête avait pivoté de 131 degrés par rapport à la verticale, s'immobilisant sur la berge du ravin. La locomotive menée avait pivoté de 58 degrés par rapport à la verticale.

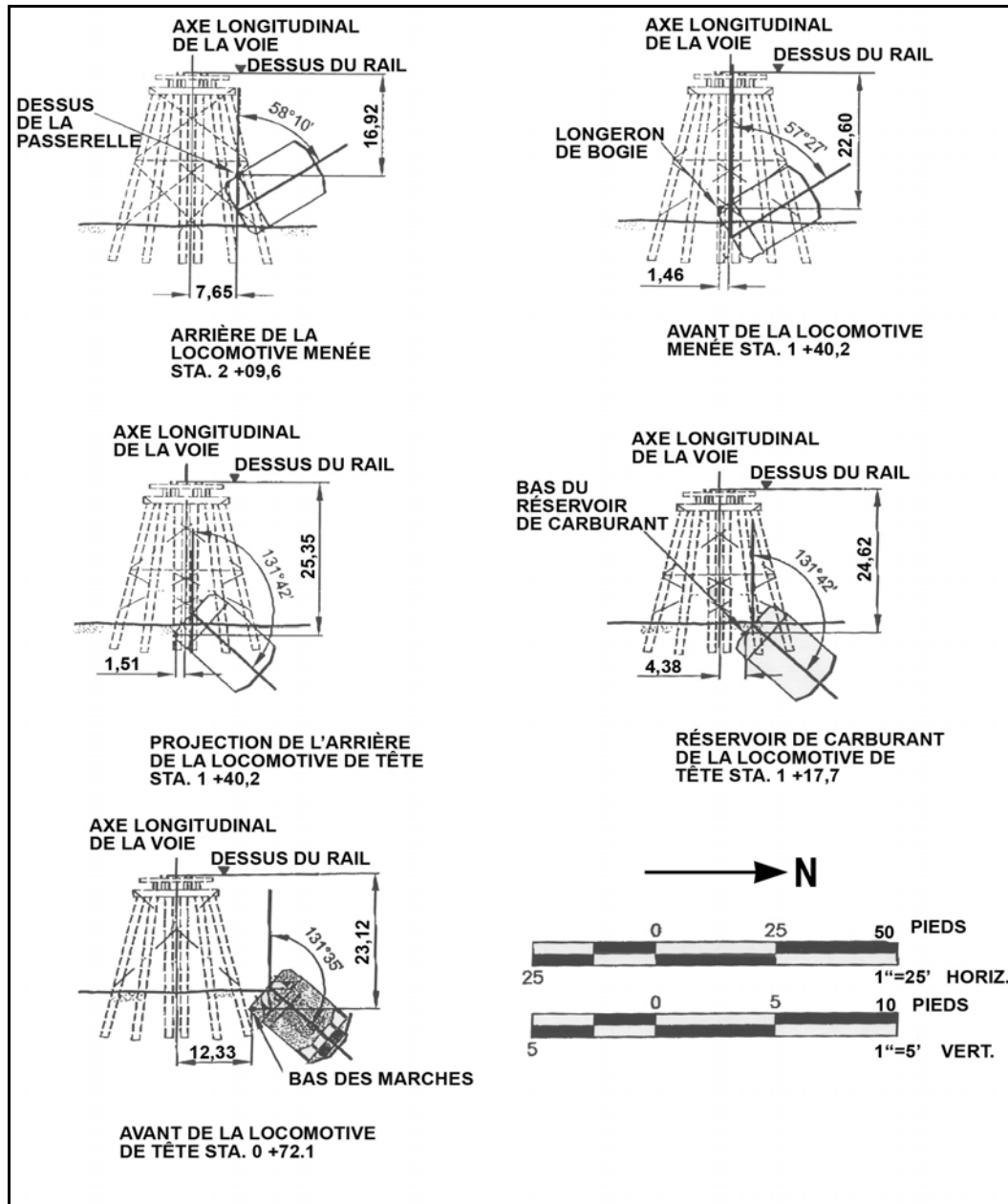


Figure 5. Positions où les locomotives se sont immobilisées

Des marques relevées sur le côté gauche du bogie avant de la locomotive de tête montraient l’empreinte d’un champignon de rail. On a relevé au bas du chasse-pierres de la locomotive des marques qui sont probablement dues au contact avec le patin du rail de roulement nord. Il y avait aussi des marques de champignon de rail à l’avant du réservoir de carburant et sur les déflecteurs du réservoir de carburant avant (voir la photo 2). Il y avait des marques d’abrasion sur les carters d’engrenage de trois moteurs de traction du bogie avant. On a aussi relevé des marques légères sur le carter d’engrenage du moteur de traction arrière, du côté sud du bogie

arrière de la locomotive de tête. Pour les locomotives de ce modèle, il y a un dégagement minimal de 6,25 pouces entre le dessus du rail et le bas des réservoirs de carburant et les carters d'engrenage des moteurs de traction.



Photo 2. Marques laissées par un champignon de rail sur le déflecteur du réservoir de carburant

Un pieu extérieur de la palée 15 du pont a percé le côté des volets d'admission d'air de refroidissement de la locomotive menée. Le pieu s'était avancé d'environ huit pieds par rapport à sa position verticale d'origine. On n'a pas trouvé de marques sous la locomotive menée, ni de marques d'impact sur les roues de l'une ou l'autre des locomotives.

On a retrouvé des bouts du rail de roulement et du contre-rail suspendus à la partie restante du pont, tordus et emmêlés au matériel roulant déraillé. Les rails étaient brisés en plusieurs morceaux à l'extrémité ouest du pont. Des écorchures et des marques d'impact (voir la photo 3) relevées sur le côté du contre-rail sud et sur le champignon du contre-rail nord indiquent que la locomotive de tête a touché les contre-rails à un endroit situé à environ 145 pieds du mur de soutènement est.



Photo 3. Marque d'impact sur le boulon de l'éclisse du contre-rail

Même s'ils ont été atteints par la chaleur de l'incendie, le rail et les attaches étaient en bon état. Des recherches minutieuses n'ont pas permis de récupérer un bout d'environ 5,5 pieds du rail sud et un bout d'environ 13,7 pieds du rail nord. Il a été déterminé que le bout manquant du rail sud faisait partie d'un tronçon qui se trouvait à 19,7 pieds à l'est du mur de soutènement ouest (travée 25). Le bout manquant du rail nord faisait partie d'un tronçon qui se trouvait à 59 pieds à l'est du mur de soutènement ouest (travée 21).

1.12 Examen du matériel roulant

Sur les approches du pont, on n'a pas trouvé de sable ni de marques de dérapage qui auraient démontré qu'un serrage d'urgence des freins se serait produit avant l'arrivée des locomotives sur le pont. L'inspection de la partie immobilisée du train a révélé que les freins du train étaient en position de serrage d'urgence, le serrage ayant vraisemblablement été causé par la rupture de la conduite générale consécutive au déraillement. L'examen des commandes de la locomotive de tête et l'analyse des organes de commande, faits par le Laboratoire technique du BST (rapport LP 047/03²), ont révélé que l'inverseur était en position de marche avant et que la manette des gaz était à la position 7 au moment du déraillement. En raison des dommages subis par les locomotives et les consignateurs d'événements, il a été impossible de faire une vérification plus poussée de la position exacte de toutes les commandes des locomotives. Les organes de roulement des deux locomotives ne montraient aucun signe de défectuosité des roues ou des essieux.

² On peut obtenir ce rapport et le rapport LP 046/03 en s'adressant au BST.

Aucune anomalie n'a été relevée lors du passage du train au-dessus du système de détection en voie du point milliaire 12,27, vers 12 h 1, et il n'y avait aucun indice de pièces traînantes aux alentours du pont. L'examen du matériel déraillé n'a pas révélé la présence de défauts antérieurs qui auraient pu contribuer à l'accident.

1.13 *Examen du rail brisé*

Le Laboratoire technique du BST a examiné plusieurs échantillons de rail brisé et cisailé qui ont été retrouvés à l'extrémité ouest du pont (rapport LP 046/03). Les résultats de l'examen ont indiqué que les morceaux de rail s'étaient brisés à la suite des efforts excessifs et instantanés qu'ils ont supportés au moment du déraillement. L'examen n'a pas révélé de défauts du rail ni de signes d'un mécanisme de rupture progressive.

1.14 *Inspection et entretien du pont*

1.14.1 *Transition entre les tâches*

Au début des années 1990, le superviseur des ponts et ouvrages de Prince George était responsable de l'inspection et de l'entretien des ponts en bois de la ligne nord du CN. Au milieu des années 1990, la responsabilité de l'inspection des ponts en bois a été transférée du superviseur des ponts et ouvrages à l'ingénieur de la planification et des inspections, posté à Edmonton. À la suite de ce transfert, les rapports d'inspection n'étaient plus présentés directement au superviseur des ponts et ouvrages, mais étaient adressés à l'ingénieur de la planification et des inspections, lequel se chargeait d'évaluer les travaux d'entretien nécessaires et d'en établir le calendrier d'exécution. En outre, en 1999, le CN a nommé pour la région du Pacifique (Alberta et Colombie-Britannique) un nouveau gestionnaire chargé d'assumer toute la responsabilité relative aux ponts et aux ouvrages.

À la suite de la réorganisation et du réaménagement des effectifs de juillet 1999, la responsabilité des ponts et ouvrages de la ligne nord du CN a été transférée au superviseur des ponts et ouvrages posté à Kamloops. Au cours de la période de transition, le titulaire du poste de superviseur des ponts et ouvrages a accepté un nouveau poste de superviseur de la voie en janvier 2000, et il a donc assumé aussi les fonctions de superviseur des ponts et ouvrages jusqu'en mars 2000. Le superviseur des ponts et ouvrages a remis à son remplaçant une liste des travaux en attente, dans laquelle figuraient notamment les travaux à réaliser au pont du point milliaire 7,9. Cette liste ne précisait pas le degré de priorité des travaux à faire.

En outre, des changements de personnel ont touché les postes d'ingénieur de la planification et des inspections et de superviseur des ponts et ouvrages. Au cours de la réorganisation et du réaménagement des effectifs de juillet 1999, le titulaire du poste d'ingénieur de la planification

et des inspections devait être remplacé. Cependant, il a conservé son emploi jusqu'en mars 2000 et a continué d'examiner les rapports d'inspection. Au cours de cette période de transition, l'ingénieur de la planification et des inspections remplaçant s'acquittait d'autres fonctions.

En plus des changements de superviseurs exposés ci-dessus, il y a eu jusqu'à cinq contremaîtres différents qui se sont occupés du pont du point milliaire 7,9, entre le moment de l'inspection détaillée du pont du point milliaire 7,9, en 1999, et le moment où des réparations ont été faites au pont, entre 2001 et 2002.

1.14.2 Directives d'inspection et d'entretien

Les exigences relatives à l'inspection des ponts sont exposées en détail dans la Circulaire sur les méthodes normalisées (CMN) 4000 du CN, intitulée *Inspection des ponts métalliques, en bois et en béton* et datée du 15 décembre 1997 (des extraits figurent à l'annexe B). Ces exigences ont été détaillées dans les commentaires datés du 19 octobre 1998, et utilisés dans le cadre des séances de formation. Les exigences concernant l'entretien des ponts en bois et des tabliers sont exposées dans la CMN 4001, *Standards of Maintenance for Timber Bridge Decks* et dans la CMN 4300, *Standards of Maintenance for Timber Bridges* (voir les extraits à l'annexe C).

En règle générale, la fréquence des inspections des ponts dépend du tonnage transporté et de l'importance du tronçon dont les ponts font partie. Les intervalles d'inspection indiqués dans la CMN peuvent être raccourcis, compte tenu des conditions locales. Comme la subdivision Fraser assure chaque année l'acheminement de plus de 10 millions de tonnes brutes-milles, la CMN exige qu'on fasse une inspection détaillée de tous les ponts de la subdivision au moins une fois tous les cinq ans. De plus, chaque pont doit faire l'objet d'une inspection visuelle complète au moins une fois par année.

L'inspection détaillée d'un ouvrage vise à vérifier son intégrité structurale et à fournir des renseignements précis pour déterminer la capacité portante des éléments et les besoins de réparation ou de remplacement. Une inspection détaillée doit inclure des mesurages et des détails précis concernant les défauts et détériorations constatés sur tous les éléments de l'ouvrage, ainsi qu'une observation du terrain environnant.

Une inspection visuelle complète est une inspection périodique qui a lieu entre deux inspections détaillées pour vérifier la résistance structurale d'un ouvrage et pour noter toute anomalie et tout changement d'état exigeant une intervention ou un plus ample examen. Dans ce type d'inspection, on doit notamment observer l'état de tous les éléments critiques de l'ouvrage et comparer leur état présent à celui qui avait été noté dans le rapport de l'inspection précédente. L'inspecteur doit s'approcher assez près de chaque élément et des attaches de la structure pour les voir clairement.

Pendant les inspections détaillées et visuelles des ponts en bois, on doit notamment sonder les éléments du pont à l'aide d'un marteau et faire des forages de vérification si l'on soupçonne que le bois est pourri. Les inspecteurs de ponts procèdent à des inspections détaillées et visuelles des ponts conformément aux CMN pertinentes du CN et préparent des rapports sur l'état des ponts. Les inspecteurs de ponts doivent bien comprendre les ouvrages et doivent être informés des changements et des modifications qui leur sont faits. Lors de l'accident, il y avait trois équipes d'inspection pour couvrir le territoire de la région du Pacifique du CN. Par le passé, ces équipes ont déjà été au nombre de cinq.

Pour des raisons de sécurité, chaque rapport d'inspection, qu'il s'agisse d'une inspection détaillée ou visuelle, doit renfermer suffisamment d'information sur l'état du pont, pour qu'on puisse :

- déterminer le degré de sécurité de l'ouvrage;
- établir les besoins en vue des programmes futurs d'entretien et de remplacement;
- recueillir et tenir à jour les données historiques relatives à l'ouvrage;
- fournir l'information nécessaire à l'exécution des réparations.

D'après la CMN 4000 du CN et des commentaires connexes pour la formation, l'inspecteur doit inclure à son rapport une évaluation qualitative de l'état des éléments de l'ouvrage en tenant compte des normes d'entretien applicables. Les éléments sont cotés par ordre de priorité d'après un système de classement qualifiant l'état comme étant bon, passable, médiocre ou mauvais (voir la section 4.0 de l'annexe B). Pour ce qui est du degré de priorité, on va de « priorité 1 » à « priorité 9 ». Une cote de priorité 1 indique que des travaux sont urgents et devraient être exécutés le plus tôt possible (dans un délai de six mois ou moins), alors qu'une cote de priorité 9 indique qu'il n'est pas nécessaire d'exécuter des travaux pour le moment. La cote de priorité tient compte de tous les facteurs pertinents, y compris la catégorie de la voie, le niveau de trafic (le nombre de tonnes brutes-milles) et le statut de la subdivision.

Les CMN et le *Bridge Inspection Workshop Manual* (manuel d'atelier sur l'inspection des ponts) du CN énoncent des instructions sur la façon de procéder aux inspections, et contiennent notamment des détails sur les éléments qu'il importe d'inspecter et les critères servant à évaluer le degré de sécurité des divers éléments d'un pont en bois. Les éléments qui sont détériorés au-delà des normes acceptables et qui ne sont plus capables de supporter la charge voulue sont considérés comme étant « à remplacer ».

Un longeron est considéré comme étant « à remplacer » s'il satisfait à l'un des critères suivants :

- brisé;
- montre une fissure horizontale dans l'axe horizontal ou près de celui-ci;
- renflé sur les côtés ou écrasé à la surface de contact avec les chapeaux;
- pourrissement interne laissant des cavités de trois pouces ou plus;

- pourrissement superficiel sur le dessus du longeron qui atteint une profondeur de plus de un pouce;
- moins de trois pouces portent sur un chapeau.

Un chapeau est considéré comme étant « à remplacer » s'il satisfait à l'un des critères suivants :

- fissure horizontale s'étendant sur toute sa largeur et ayant plus de deux pieds de longueur;
- fissures verticales s'étendant sur toute sa hauteur et mesurant plus de deux pieds de longueur;
- écrasé par des pieux, des poteaux ou des longerons ou renflé sur les côtés;
- pourrissement interne qui laisse une partie saine de moins de quatre pouces;
- brisé.

Les résultats de l'inspection sont consignés sur les imprimés Timvis1A et Timvis2A. Quand on fait un forage de vérification dans une pièce de bois d'oeuvre, on doit le consigner dans les rapports d'inspection de l'élément en question. La CMN exige qu'on transmette les anciens et les nouveaux rapports d'inspection, de même qu'une copie des photographies pertinentes, le cas échéant, au bureau de l'ingénieur de la planification et des inspections. De plus, si un inspecteur décèle des conditions dangereuses au cours d'une inspection, il doit en aviser l'ingénieur de la planification et des inspections et prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité.

L'ingénieur de la planification et des inspections examine les rapports d'inspection et évalue l'état des ponts, des ponceaux et des autres ouvrages. Il élabore et prépare les programmes d'entretien et de remplacement à court et à long terme. Au moment de l'événement, l'ingénieur de la planification et des inspections du district du Pacifique était chargé d'inspecter quelque 600 ponts en acier et en béton, 550 ponts en bois, et plus de 10 000 ponceaux, et de planifier les travaux d'entretien nécessaires.

1.14.3 Formation en matière d'inspection

Les inspecteurs de ponts doivent bien comprendre les structures des ponts et leurs modes de défaillance potentiels. À cette fin, ils doivent avoir des connaissances pratiques exhaustives des principes d'ingénierie des ouvrages, des pratiques acceptables en matière d'entretien et d'inspection, et des techniques d'essai approuvées. Ils doivent aussi être bien au fait des règles d'exploitation et de sécurité et des opérations ferroviaires. C'est pourquoi la CMN 4000 du CN exige qu'on procède à l'occasion à des vérifications de la qualité du travail des inspecteurs et de leurs superviseurs immédiats.

Au moment de l'événement, la compagnie nommait les inspecteurs parmi les employés de son service des ponts et ouvrages. La formation des inspecteurs consistait principalement en un apprentissage en cours d'emploi et en des cours qu'ils suivaient dans le cadre d'ateliers. Les inspecteurs de ponts en bois ne devaient répondre à aucune exigence officielle en matière de certification.

Le dernier atelier présenté avant l'événement a eu lieu en mars 1999. Cet atelier de quatre jours, portant sur les méthodes d'inspection et d'assurance de la qualité et intitulé « Inspection Procedures and Quality Practices », visait à permettre aux inspecteurs de tout le réseau du CN de perfectionner leurs connaissances, et à uniformiser le processus d'inspection et de présentation de rapports dans l'ensemble du réseau. L'atelier était conçu de façon à donner aux inspecteurs une meilleure compréhension du comportement des structures, des éléments à inspecter en priorité pendant l'inspection de chaque ouvrage (savoir où, comment et quoi regarder quand on cherche les défaillances éventuelles d'un pont), et de l'uniformisation de la documentation sur les rapports. L'information transmise lors de l'atelier a été préparée à partir de la version la plus récente de la CMN 4000 et des commentaires connexes pour la formation, et tenait compte des cours antérieurs sur les inspections et de l'expérience et des connaissances du personnel du service des ponts et ouvrages.

L'atelier s'adressait aux inspecteurs et aux ingénieurs de la planification et des inspections du CN, et les employés du district du Pacifique y ont assisté. Au moins un membre de chaque équipe d'inspection qui a visité le pont du point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser entre 1998 et 2002 a assisté à l'atelier de 1999.

1.14.4 *Inspection du pont*

Les rapports d'inspection des cinq années qui ont précédé l'événement ont révélé que le pont du point milliaire 7,9 avait fait l'objet d'une inspection visuelle en 1998, 1999, 2000 et 2002, mais pas en 2001. Le superviseur des ponts et ouvrages a aussi procédé à des inspections superficielles, mais ces inspections n'ont pas été consignées. À la suite de l'inspection visuelle de 1999 (23 juillet), une inspection détaillée a été recommandée et a été réalisée entre le 31 juillet 1999 et le 2 août 1999.

On trouvera ci-après un résumé des résultats des inspections annuelles dont le pont a fait l'objet entre 1999 et 2002. Pour plus de détails, voir l'annexe D.

1.14.4.1 *Inspection visuelle de 1998 (21 octobre)*

Les résultats de l'inspection ont été consignés sur des imprimés Timbvis1 et Timbvis2. Ces imprimés sont similaires aux Timbvis1A et Timbvis2A, sauf que l'état de chaque élément du pont est indiqué d'après une échelle de cotation en trois points (bon état, non dangereux, à

inscrire au programme de réparation), tandis que l'échelle de cotation générale des ouvrages était fondée sur le système de cotation selon les priorités énoncé dans le guide de formation de la CMN 4000.

La superstructure, l'infrastructure et le tablier du pont ont reçu la cote F5 (état passable assorti d'une priorité 5). Chaque élément du pont a reçu la cote bon ou non dangereux. On a indiqué que le contre-rail était d'un modèle non standard. L'ingénieur de la planification et des inspections a paraphé le formulaire d'inspection visuelle le 10 novembre 1998 pour signifier qu'il en avait pris connaissance.

1.14.4.2 Inspection visuelle de 1999 (23 juillet)

En juin 1999, le superviseur des ponts et ouvrages a relevé un chapeau renflé et un longeron fissuré. Après cette inspection, on a procédé le 22 juin 1999 à une évaluation de la capacité³ des longerons, à la suite de quoi le pont a fait l'objet d'un ordre de marche au ralenti de 10 mi/h. L'ordre de marche au ralenti a été levé peu de temps après, à la suite du remplacement de trois chapeaux et de l'installation d'un longeron auxiliaire. Le superviseur des ponts et ouvrages a aussi demandé qu'on fasse des inspections additionnelles du pont.

L'ingénieur de la planification et des inspections a effectué une inspection visuelle le 23 juillet 1999. Les renseignements relatifs à l'inspection ont été consignés dans des imprimés Timbvis1A et Timbvis2A. L'état de chaque élément a été classé comme étant bon ou passable. On a noté que le contre-rail était d'un modèle non standard. Ce rapport ne précisait pas l'état général des éléments, les inspecteurs de ponts ayant appris lors du cours de formation de 1999 que les mentions relatives à l'état général et au degré de priorité n'étaient plus exigées. Le formulaire d'inspection visuelle a été paraphé par l'ingénieur de la planification et des inspections partant le 10 septembre 1999.

1.14.4.3 Inspection détaillée de 1999 (du 31 juillet au 2 août)

Une inspection détaillée, y compris un forage de vérification des principaux éléments du pont (tablier, longerons, chapeaux et pieux), a été faite entre le 31 juillet et le 2 août 1999. Les détails du forage ont été inscrits sur des formulaires séparés, conformément au guide de formation de la CMN 4000.

³ L'évaluation de la capacité vise à déterminer la capacité portante du pont afin de déterminer s'il peut assurer sans danger l'acheminement du trafic.

Les inspecteurs ont rédigé un rapport sommaire qui indiquait ce qui suit :

[Traduction]

Tablier – L'état général du tablier a reçu la cote P5 (état médiocre). On pourrait améliorer cette cote à G5 (bon état) grâce à l'installation de 20 traverses et au cramponnage double du tablier.

Longerons – On a jugé que les longerons suivants étaient à remplacer :

Numéro de la travée	Numéro du longeron	Pourrissement interne (pouces)
1	5	10
6	6	12
11	3	14
14	6	14
15	2	11
15	4	11
15	5	12
26	5	12
26	8	11

État général – L'état général de la superstructure était P3 (état médiocre). On pourrait améliorer l'état à F5 (état passable) grâce à l'ajout de longerons auxiliaires⁴.

Palées – Les chapeaux des palées 2 et 3 (chapeaux 2 et 3) ont été considérés comme étant « à remplacer »; ils montraient un pourrissement interne, des fissures horizontales et des signes d'écrasement. Le chapeau 15 a été considéré comme étant « possiblement à remplacer », du fait de la présence de pourrissement interne du côté

⁴ Généralement, on ajoute des longerons auxiliaires temporaires à l'extérieur d'une membrure afin d'en accroître la solidité lorsqu'on a déterminé qu'un longeron d'une membrure s'est détérioré à un tel point qu'il a perdu une partie de sa capacité de supporter la charge prévue.

nord (neuf pouces) du chapeau. Il y avait un pieu à remplacer à la palée 10. L'état général de l'infrastructure a reçu la cote P5 (état médiocre). On pouvait améliorer cette cote jusqu'à F5 (état passable) si l'on remplaçait les deux ou trois chapeaux.

Les inspecteurs ont transmis le rapport complet de forage de vérification et le résumé du rapport d'inspection à l'ingénieur de la planification et des inspections le 19 août 1999. Le 23 août 1999, l'ingénieur de la planification et des inspections a adressé les conclusions de l'inspection aux autres membres de l'équipe de gestion des ponts et ouvrages, laquelle comprenait le gestionnaire des ponts et ouvrages, l'ingénieur en structures, l'ingénieur de la planification et des inspections et les superviseurs des ponts et ouvrages.

Les longerons suivants, qui étaient considérés comme étant « à remplacer » aux termes de la CMN, n'ont pas été inclus dans le résumé préparé par les inspecteurs :

Numéro de la travée	Numéro du longeron	Pourrissement interne (pouces)
1	2	6
3	2	3
5	2	5
6	5	7
8	8	3
12	6	6
26	4	11

Les inspecteurs ont déterminé que le chapeau 15 était « possiblement à remplacer » plutôt que « à remplacer » même s'il ne satisfaisait pas aux exigences de la CMN, car il montrait une cavité interne de neuf pouces dans sa portion nord. La cavité interne était située entre les pieux 4 et 5 et sous les longerons 5 et 6. Le forage de vérification n'a pas permis de déterminer l'étendue exacte du pourrissement interne, mais celui-ci aurait pu aller du pieu 3 au pieu 5, soit une distance de près de 3 pieds ½.

On n'a pas procédé à une évaluation de la capacité du pont à ce moment, ni appliqué de mesures correctives.

1.14.4.4 Inspection visuelle de 2000 (1^{er} août)

On a utilisé des photocopies des formulaires d'inspection remplis de 1998 (Timbvis1 et Timbvis2) pour consigner les résultats de l'inspection de 2000, plutôt que des exemplaires vierges des formulaires d'inspection révisés Timbvis1A et Timbvis2A. L'inspection a révélé que tous les éléments majeurs du pont avaient reçu la cote bon ou non dangereux. On a noté que le contre-rail était d'un modèle non standard. La cote du pont est restée à F5 (état passable). Ce rapport n'indiquait pas l'état des éléments détériorés qui avaient été signalés lors de l'inspection détaillée de 1999.

En plus de l'inspection visuelle, et même si l'on avait effectué des forages de vérification dans le tablier lors de l'inspection détaillée de 1999, on a fait d'autres forages de vérification dans le tablier du pont le 1^{er} août 2000; le contrôle a donné les résultats suivants : 35 % des traverses étaient en bon état, 33 % avaient des gerces, 24 % montraient du pourrissement, des signes d'écrasement ou des fissures, et 8 % étaient « à remplacer ».

Personne n'a paraphé ces formulaires d'inspection pour signifier qu'on en avait pris connaissance.

1.14.4.5 Inspection en 2001

Rien n'indique qu'une inspection visuelle complète ait été faite en 2001. Le 31 octobre 2001, on a demandé à une équipe d'inspection de vérifier des pièces de bois qui n'avaient pas encore été remplacées. L'équipe a consigné ses observations le 3 novembre, précisant que rien ne semblait avoir changé et que les échafaudages étaient encore en place.

1.14.4.6 Inspection visuelle de 2002 (25 septembre)

Encore une fois, on a utilisé des photocopies des formulaires d'inspection remplis de 1998 (Timbvis1 et Timbvis2) pour consigner les résultats, plutôt que des exemplaires vierges des formulaires d'inspection révisés Timbvis1A et Timbvis2A. L'état de tous les éléments majeurs était inchangé et il était identique aux données des rapports de 1998 et de 2000.

On a signalé un longeron brisé dans la travée 2 le 26 septembre 2002. Le 27 septembre, une évaluation de la capacité de la travée 2 a démontré qu'avec 7 longerons, le pont était capable de supporter une charge de 286 000 livres à une vitesse autorisée de 25 mi/h.

La cote du pont était maintenue à F5 (état passable). Ce rapport d'inspection n'indiquait pas l'état des éléments détériorés qui avaient été signalés lors de l'inspection détaillée de 1999. Personne n'a paraphé ces formulaires d'inspection pour signifier qu'on en avait pris connaissance.

1.15 *Entretien du pont*

L'équipe de gestion des ponts et ouvrages finalise le programme annuel d'entretien et de remplacement des ponts. Pour chaque ouvrage en acier visé par le programme, l'ingénieur en structures prépare des plans spécifiques dans lesquels sont énoncés le travail qu'on doit réaliser et les matériaux requis. Ces plans sont transmis aux superviseurs des ponts et ouvrages et à ceux qui exécutent le travail. Une fois les travaux terminés, les plans reviennent au bureau et tout le travail effectué, y compris les modifications ou les additions, est indiqué clairement sur les plans. Les plans sont classés et sont ajoutés aux dossiers des ponts.

Dans le cas des ponts en bois, on ne prépare pas de plans, étant donné que les ponts sont basés sur un plan-norme. Le programme est communiqué aux superviseurs des ponts et ouvrages de vive voix, par envoi d'un rapport d'inspection, ou par courriel. Le superviseur des ponts et ouvrages commande ensuite les matériaux nécessaires et affecte les ressources humaines nécessaires à l'exécution du travail. Les travaux d'entretien à réaliser sont communiqués directement aux équipes. Il n'y a aucun échange de plans montrant les détails du travail nécessaire, et il n'y a aucun système officiel d'enregistrement qui permette d'aviser le bureau régional ou l'Administration centrale de la nature et de la portée des travaux réalisés. La seule information dont on dispose au sujet des travaux réalisés sur les ponts en bois est constituée par les mises à jour consignées par les inspecteurs pendant leurs inspections annuelles.

Les rapports d'inspection et l'information transmise par les équipes de réparation montrent que le pont du point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser a fait l'objet des travaux d'entretien suivants :

- Avant l'inspection détaillée de 1999, on a remplacé les chapeaux 6, 10, 19, 20, 21 et 26 ainsi qu'un longeron court et un longeron long de la membrure sud de la travée 26. Des longerons auxiliaires ont été installés entre les travées 18 et 19.
- Le programme d'immobilisations proposé pour 2000 comprenait le remplacement de pieux, de chapeaux et de longerons détériorés sur quatre ponts de la subdivision Fraser, dont le pont du point milliaire 7,9; cependant, aucun détail précis n'a été consigné quant aux travaux qui ont été effectivement réalisés. Rien n'indique que des travaux aient été entrepris au point milliaire 7,9 en 2000.
- Dans le cadre du programme d'immobilisations proposé pour 2001, on comptait ajouter des longerons auxiliaires aux travées 1, 6, 11, 14, 15 et 26, remplacer les chapeaux 2, 3, 5, 11, 15, 17, 23 et 24, et renouveler 20 traverses. Une équipe d'entretien a entrepris les travaux de réparation en juin 2001. L'équipe a remplacé les chapeaux 2, 3 et 5. Les travaux ont été interrompus lorsque la grue de l'équipe a subi des dommages. Par la suite, l'équipe a reçu d'autres affectations en raison d'incendies et d'autres situations d'urgence. L'équipe d'entretien est revenue en septembre 2001 et a

installé de nouveaux chapeaux aux palées 11, 17, 23 et 24. Le 31 octobre 2001, l'ingénieur de la planification et des inspections a demandé aux inspecteurs de ponts de vérifier, le cas échéant, si des pièces de bois n'avaient pas été remplacées. On l'a informé que le travail semblait ne pas avoir été terminé et que les échafaudages étaient toujours en place. Rien n'indique que des longerons auxiliaires aient été installés en 2001.

- Le programme d'immobilisations proposé pour 2002 ne prévoyait pas de travaux au point milliaire 7,9, si ce n'est des travaux d'entretien général de la subdivision. Toutefois, en avril 2002, une équipe d'entretien a posé des longerons auxiliaires entre les palées 14 et 16, à l'extérieur des deux membrures, et a démonté les échafaudages.
- Rien n'indique que le chapeau 15, lequel avait été marqué comme étant « possiblement à remplacer » dans le rapport sommaire de forage de vérification de 1999, ait été remplacé.

1.16 *Évaluation de la capacité du pont et du matériel roulant*

L'évaluation de la capacité vise à déterminer la capacité portante du pont afin de déterminer s'il peut assurer sans danger l'acheminement du trafic. La capacité portante d'un pont est tributaire de la capacité de son élément le plus faible. Elle est dérivée à partir du calcul des efforts basé sur les plans du pont, des matériaux dont le pont est fait et de l'état réel du pont, lequel est indiqué dans le rapport d'inspection le plus récent. En règle générale, la capacité portante des ponts en bois est déterminée par la résistance au cisaillement des longerons. L'état des pieux et des chapeaux peut aussi limiter la capacité portante de l'ouvrage, mais leur capacité est rarement calculée.

La capacité portante est exprimée en fonction de la charge normalisée Cooper E. La charge normalisée Cooper E, concernant la conception des ponts ferroviaires, a été introduite en 1894 par Theodore E. Cooper. La norme en question représentait la charge par essieu et l'écartement entre les essieux d'une locomotive à vapeur de cette époque suivie de son tender. On utilise encore la configuration originale aux fins de la conception des ponts modernes, sauf que l'on a accru la charge par essieu de façon qu'elle tienne compte du poids réel du matériel roulant. À l'heure actuelle, on utilise la charge normalisée Cooper E80 pour concevoir les nouveaux ponts. Cette charge correspond à des charges par essieu de 80 000 livres réparties selon la même configuration que la locomotive à vapeur de Cooper (voir l'annexe E).

Étant donné que la configuration du matériel roulant varie, et que l'écartement entre les essieux diffère de celui (cinq pieds) qui a servi à l'élaboration de la charge normalisée Cooper E, on attribue à chaque locomotive et à chaque wagon une cote Cooper E équivalente pour pouvoir évaluer les effets (essentiellement des contraintes de flexion et de cisaillement) qu'ils

exerceront sur un pont. La cote attribuée au matériel roulant représente la charge normalisée Cooper E qui produirait sur le pont des effets de la même magnitude que le matériel roulant à l'étude.

1.16.1 Capacité portante des longerons

La contrainte admissible de cisaillement horizontal dont on se sert pour déterminer la capacité portante est précisée dans les normes de l'AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association) concernant la conception des ponts en bois. On obtient cette valeur en augmentant la contrainte unitaire de cisaillement de 10 % pour le matériel roulant régulier, et en l'augmentant jusqu'à 30 % pour le matériel roulant moins fréquent. Il est possible d'accroître la contrainte admissible de 15 % de plus si la vitesse sur le pont n'excède pas 10 mi/h.

En 1969, la contrainte unitaire de cisaillement pour le Douglas taxifolié (mélèze) était de 90 livres au pouce carré (lb/po²) et la contrainte admissible de cisaillement horizontal était de 100 lb/po². En 1983, on a réduit la contrainte unitaire de cisaillement à 75 lb/po², de façon à tenir compte de la résistance moindre du bois de seconde venue. Par conséquent, on a réduit la contrainte admissible de cisaillement horizontal à 83 lb/po².

D'après les normes de l'AREMA, si les contraintes anticipées sont supérieures aux valeurs permises en vertu des règles en question, il faut limiter la charge pour que les contraintes admissibles ne soient pas dépassées, et ce tant que des travaux de réparation n'ont pas été exécutés. Les travaux en question consistent habituellement à remplacer les éléments défectueux ou à ajouter des longerons supplémentaires. Quand les contraintes s'approchent des valeurs limites admissibles, ou quand l'état des éléments principaux de l'ouvrage se dégrade, le pont doit être inspecté fréquemment, et ce tant qu'il reste en service.

Après l'événement, le CN a évalué la capacité portante de la travée 15, laquelle comptait deux longerons détériorés dans la membrure sud et un longeron détérioré dans la membrure nord. Le calcul d'évaluation a tenu compte de « l'état lors de la construction » (quatre longerons sains par membrure) et de « l'état réel » (deux longerons intérieurs sains et un longeron auxiliaire par membrure). La charge d'essieu a été répartie également sur les deux longerons intérieurs sains et les longerons auxiliaires; le calcul n'a pas tenu compte de la contribution des longerons détériorés. Comme le pont a été construit en 1969, on a tenu compte d'une contrainte admissible de cisaillement horizontal de 100 lb/po². La capacité portante est tributaire de la résistance au cisaillement des longerons; elle est présentée dans le tableau 1.

	Nombre de longerons sains (8' x 16" x 11' 9" chacun)	Charge Cooper E (à la vitesse de zone)
État lors de la construction	4	E80.2
État réel	3	E59.4

Tableau 1. Capacité portante de la travée 15, membrure sud

À partir des critères du CN, le BST a déterminé que la capacité portante de la travée 15 aurait été de Cooper E38 avant l'installation des longerons auxiliaires.

La capacité portante de la travée 26, qui comptait deux longerons détériorés et n'avait aucun longeron auxiliaire dans la membrure nord, est présentée dans le tableau 2.

	Nombre de longerons sains (8' x 16" x 11' 9" chacun)	Charge Cooper E (à la vitesse de zone)
État lors de la construction	4	E87.0
État réel	2	E42.0

Tableau 2. Capacité portante de la travée 26, membrure nord

La liste suivante présente la charge Cooper E équivalente des locomotives (CN 5448 et CN 5512) en cause dans le déraillement, des wagons réguliers (263 000 livres), et des wagons les plus lourds (286 000 livres) qui roulent dans la subdivision Fraser.

Matériel roulant	Charge Cooper E équivalente
Wagons les plus lourds (286 000 livres)	E61.3
Wagons réguliers (263 000 livres)	E56.4
Locomotives (CN 5448 et CN 5512)	E53.1

1.16.1.1 Évaluation technique indépendante

On a réalisé une analyse technique indépendante afin d'évaluer la distribution des charges par roue entre les longerons. L'analyse a fait appel à un modèle tridimensionnel pour déterminer la répartition du poids, du rail aux traverses et des traverses aux longerons, et ce pour différentes charges par roue. Par exemple, le tableau 3 présente la répartition obtenue dans le cas de la travée 15.

	Longeron	Tous les longerons sains	Moment d'inertie des longerons 2, 4 et 5 réduit de 25 %	Moment d'inertie des longerons 2, 4 et 5 réduit à 0 %
	Longeron auxiliaire 1	10,7	11,6	26,2
Membrure sud	1	22,6	24,5	33
	2	18	14,2	0
	3	30,4	34,7	40,8
	4	18,4	15	0
	5	18,4	14,9	0
	6	30,4	34,5	35
Membrure nord	7	18	14,7	22,6
	8	22,5	24,4	27,1
	Longeron auxiliaire 2	10,7	11,5	15,3

Tableau 3. Répartition des charges par roue entre les longerons en pourcentage, travée 15

Remarque : L'écart mineur dans le total des pourcentages est dû au logiciel.

Dans le cas de la membrure sud, l'analyse a indiqué que le longeron auxiliaire supporterait environ 12 % de la charge par roue, en supposant que les longerons détériorés 2 et 4 supportent leur part de la charge sans s'écraser et que le longeron 3 supporte environ 35 % de la charge. S'il s'avérait que les longerons 2 et 4 ne peuvent supporter aucune charge, la part de la charge supportée par le longeron auxiliaire passerait à 26,2 % de la charge, tandis que le longeron 3 supporterait 40,8 % de la charge. On observe une répartition similaire du côté de la membrure nord, où la part de la charge supportée par le longeron 6 augmente pour atteindre 35 %.

Quand on applique la répartition de la charge exposée précédemment et les critères du CN de détermination de la capacité portante, à « l'état réel » de la travée 15, la capacité portante diminue, passant de Cooper E59.4 à Cooper E49 dans le cas de la membrure sud (deux longerons intérieurs sains et un longeron auxiliaire). Dans le cas de la membrure nord (trois longerons intérieurs sains et un longeron auxiliaire), elle est de Cooper E57.

1.16.1.2 *Contrainte admissible de cisaillement horizontal*

Plusieurs études ont démontré que, si un longeron n'a pas subi de fissures horizontales ou de gerces qui apparaissent souvent pendant le séchage des pièces de bois, la contrainte admissible de cisaillement horizontal peut être multipliée par 2. Si un longeron de huit pouces de profondeur montre une fissure horizontale atteignant quatre pouces, le facteur est de 1,67.

1.16.2 *Évaluation de la capacité du chapeau 15*

Aucune capacité portante n'a été établie pour le chapeau 15. En pratique, on détermine l'état des chapeaux en vérifiant le degré d'écrasement ou de renflement et le pourrissement interne ou la fissuration horizontale, conformément aux CMN. En règle générale, un chapeau sur le point de subir une défaillance montre des signes avant-coureurs, mais il arrive que des chapeaux dont l'extérieur est sain mais dont l'intérieur est pourri se brisent soudainement.

1.17 *Aperçu de la réglementation*

Transports Canada est responsable de l'application et de l'exécution des dispositions de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*.

Les rôles et responsabilités de l'Administration centrale et des régions de Transports Canada en matière d'inspection des ponts se fondent sur le modèle fonctionnel de sécurité ferroviaire qui est énoncé dans la proposition de changement organisationnel relative à la sécurité ferroviaire de mars 2000. L'Administration centrale de Transports Canada veille à la conception et à la mise à jour de programmes nationaux de vérification, d'inspection et d'application de la réglementation. Cette tâche consiste notamment à élaborer et à tenir à jour des systèmes nationaux et, à cette fin, à recueillir et analyser les données nécessaires, et à communiquer les résultats.

Les régions participent à l'élaboration et aux travaux de conception et de modification des programmes nationaux de vérification, d'inspection et d'application de la réglementation. Elles conçoivent et exécutent des activités de surveillance et d'application de la réglementation (p. ex. audits et inspections) et gèrent le processus régional de traitement des plaintes.

1.17.1 Programme de surveillance des ponts

Actuellement, les instructions relatives au programme de surveillance des ponts de Transports Canada (1994) sont incluses dans le manuel d'ingénierie de Transports Canada. Les lignes directrices provisoires concernant la surveillance des ponts ont été mises à jour en 1996 et en 1997.

Les activités de Transports Canada consistent à mener des vérifications superficielles, des inspections spécifiques et un examen et une vérification des dossiers relatifs aux programmes de surveillance de la conformité des compagnies ferroviaires.

- La *vérification superficielle* consiste à faire un contrôle rapide pour trouver des dommages éventuels ou des signes évidents de détérioration ou de mauvais état; l'agent de l'infrastructure ferroviaire fait habituellement ces vérifications dans le cadre de son travail d'inspection des voies ferrées.
- L'*inspection spécifique* consiste en un examen visuel systématique de l'ouvrage; elle suppose que l'on fasse une tournée à pied de l'ouvrage, qu'on observe les différentes particularités et qu'on recherche d'éventuels signes de détérioration ou de mauvais état manifeste. L'inspection s'accompagne d'un « rapport sur l'état des ponts » (Bridge Condition Report).
- La *vérification des dossiers d'inspection des compagnies* consiste en un examen et une vérification auxquels on procède après avoir reçu des renseignements relatifs à des situations suspectes, ou quand on juge qu'une telle vérification est nécessaire.

Le programme d'ingénierie fonctionnelle actuellement en vigueur est fondé principalement sur des vérifications superficielles. Un agent de l'infrastructure mène des vérifications superficielles des ponts pendant ses activités d'inspection de la voie. Ces vérifications ne comprennent aucun examen des procédures, des pratiques ou de la documentation connexe. Les éventuelles dérogations sont signalées dans un formulaire intitulé « Rapport d'inspection de la voie - Défectuosités » qui est transmis aux compagnies ferroviaires auxquelles on demande de prendre des mesures correctives.

Les agents régionaux de l'infrastructure de Transports Canada ont suivi en 2001 une formation sur l'inspection des ponts qui leur a été dispensée par du personnel de la FRA. Toutefois, au moment de l'événement, aucun ingénieur des ponts de l'Administration centrale de Transports Canada ne fournissait une assistance aux régions comme cela se fait dans le cas des autres activités ferroviaires.

Des vérifications superficielles se faisaient régulièrement partout au Canada. Toutefois, les inspections spécifiques et les vérifications des dossiers d'inspection des compagnies ferroviaires n'étaient pas réalisées dans toutes les régions. Dans plusieurs régions, on procédait à des inspections spécifiques seulement quand on avait reçu des plaintes ou lorsque les problèmes affectaient des routes passant sous la structure d'un pont. Les méthodes et pratiques de travail n'ont fait l'objet d'aucune vérification.

La région du Pacifique avait mis sur pied un programme d'inspection spécifique des ponts. Entre 1999 et 2003, on a procédé à 38 inspections spécifiques de ponts dans le réseau du Chemin de fer Canadien Pacifique. Huit de ces inspections ont été documentées dans un rapport sur l'état des ponts. Un grand nombre de ces inspections spécifiques ont été suivies par une vérification des dossiers d'inspection des compagnies. Au cours de la même période, aucune des subdivisions du CN n'a été visée par une inspection spécifique ou une vérification des dossiers de la compagnie.

L'agent de l'infrastructure de la région du Pacifique a mené des inspections régulières de l'infrastructure ferroviaire de la subdivision Fraser en 2000 et en 2002, et a procédé par la même occasion à des vérifications superficielles des ouvrages. Lors d'une vérification superficielle du pont du point milliaire 7,9 qu'il a faite en juin 2000, l'agent de l'infrastructure a noté un défaut de la surface et du tracé sur les approches du pont, et a demandé qu'une évaluation de la sécurité du pont soit effectuée. Le défaut de la surface et du tracé a été corrigé. Le CN a répondu en novembre 2000, indiquant que :

- le pont a fait l'objet d'une inspection détaillée comprenant des forages de vérification dans les principaux éléments, en août 1999;
- une inspection visuelle complète du pont a été faite en août 2000;
- à la suite de l'inspection de 1999, des travaux de charpente ont été exécutés et des travaux additionnels ont été planifiés pour 2001.

Considérant que la réponse était satisfaisante, Transports Canada n'a fait aucun autre suivi dans ce dossier.

1.18 Système de gestion de la sécurité

En 2000, Transports Canada et l'industrie ferroviaire ont adopté un protocole en vue de l'instauration d'un Système de gestion de la sécurité (SGS). Le système constitue une approche ciblée de la sécurité. Le SGS est un « protocole visant la mise en oeuvre de la sécurité ferroviaire dans l'exploitation courante des chemins de fer et intégrant les responsabilités et les pouvoirs au sein d'une compagnie de chemin de fer, les règles, les procédures, les processus de surveillance et d'évaluation auxquels elle est assujettie ainsi que les objectifs en matière de sécurité, de

rendement, de mécanismes de contrôle d'application et d'évaluation des risques. » Les objectifs du SGS consistent à faire en sorte que les intéressés consacrent les ressources et le temps voulus à la sécurité et accordent autant d'importance aux activités de mesure du rendement et de surveillance relatives à la sécurité qu'ils en accordent à l'atteinte des objectifs financiers et des objectifs de production. Le SGS vise essentiellement à réduire le nombre de morts et de blessés (public et employés), les dommages matériels résultant d'accidents de transport, ainsi que l'impact des accidents sur l'environnement.

En vertu des obligations qui lui incombaient de par le *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire* qui est entré en vigueur le 31 mars 2001, le CN a mis au point un SGS et l'a présenté à Transports Canada. En 2003, Transports Canada a procédé à une vérification du SGS du CN et, à cette fin, a examiné le mémoire accompagnant le SGS et les documents de référence pertinents. À la suite de cet examen, Transports Canada a préparé des questions d'entrevue et les a posées à des gens de six paliers différents de la compagnie (cadres de direction, gestionnaires, superviseurs de premier niveau, employés, et représentants de la direction et des employés au sein du comité de santé et de sécurité au travail). On a aussi contrôlé les documents pertinents pour vérifier s'ils étaient conformes au *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*. La vérification a porté sur un vaste échantillonnage des opérations du CN, tant à l'Administration centrale que dans les régions.

À Transports Canada, la fonction relative au SGS relève du groupe du SGS, en l'occurrence une entité distincte des groupes fonctionnels (ingénierie, matériel roulant et opérations). À l'équipe de vérification du SGS s'ajoutent des inspecteurs fonctionnels sélectionnés parmi ceux de différents bureaux régionaux. Quand il mène une vérification, le groupe du SGS demande aux groupes fonctionnels de déterminer s'il y a des domaines qu'on devrait examiner. Il peut ressortir des questions sur des sujets précis. Par exemple, dans le domaine de l'ingénierie, la vérification des activités du CN faite par Transports Canada a donné lieu à un grand nombre de questions portant sur le drainage et les ponceaux, car ces éléments se sont avérés préoccupants à la suite d'un certain nombre de déraillements dus à des défaillances de la plate-forme. Dans d'autres domaines qui n'ont pas été signalés comme présentant des risques élevés, comme les ponts, il est arrivé qu'on pose peu ou pas de questions. Par exemple, lors de la vérification, on s'est demandé seulement si le superviseur sur place disposait de la CMN 4000, alors qu'on ne s'est pas interrogé à savoir si le personnel se conformait aux dispositions de la CMN ou si les procédures et pratiques existantes étaient adéquates.

1.19 *Autres renseignements*

1.19.1 *Défectuosité du module radar*

La locomotive de tête, CN 5512, avait posé des problèmes en cours de route. Il a été déterminé qu'une pièce appelée « module radar » ne fonctionnait que par intermittence. Quand le module radar fonctionne mal, la capacité de la locomotive de générer de la puissance est réduite, ce qui

fait que la locomotive ne peut pas rouler à plus de 25 mi/h environ. Le CCF et le service de la mécanique savaient que l'équipe éprouvait des problèmes avec la locomotive de tête. Avant l'événement, l'équipe a reçu des instructions de court-circuiter ce module de façon à rétablir la puissance de la locomotive. À cause de ce problème, l'équipe a perdu environ deux heures pendant son trajet dans la subdivision Fraser.

1.19.2 *Communications*

Les équipes des trains qui circulent dans la subdivision Fraser étaient équipées d'émetteurs-récepteurs portatifs dont la portée est de deux à trois milles. Les équipes des dortoirs n'avaient aucune possibilité de communiquer directement avec les trains qui étaient à l'extérieur de la zone de deux ou trois milles de ces radios; toutefois, on disposait d'un téléphone pour communiquer plus facilement avec le CCF posté à Edmonton.

Contrairement au système de commande centralisée de la circulation, qui fournit continuellement la position approximative des trains au CCF, la régulation de l'occupation de la voie n'indique pas la position des trains automatiquement à un poste central. Par conséquent, le CCF doit obtenir un rapport sur la position des trains et faire lui-même la saisie de cette information dans le système. Les équipes des trains ne sont tenues de communiquer leur position au CCF que si leur train est retardé en cours de route ou si leur train a dépassé des points particuliers que la compagnie a identifiés au préalable.

1.19.3 *Information sur l'état des lieux après l'accident*

La compagnie a décidé de ne pas reconstruire le pont du point milliaire 7,9. Elle a construit une voie permanente de contournement (déviation) qui passe à côté de l'emplacement du pont. Le sol étant instable dans le secteur, le CN a installé un système de détection de glissements de terrain afin de surveiller la stabilité de la pente. Le système de détection fonctionne à l'énergie solaire et il est muni d'un automate vocal qui émet un message dans un rayon de 10 milles en cas d'affaissement de la plate-forme. Le message est émis à des intervalles de deux minutes.

2.0 *Analyse*

2.1 *Le déraillement*

La conduite du train n'est pas considérée comme ayant été un facteur déterminant de l'accident. L'examen des commandes a révélé que l'inverseur était en position de marche avant et que la manette des gaz était à la position 7 au moment du déraillement. Il a été impossible de déterminer la position de la poignée du robinet de mécanicien. Comme il n'y avait pas de marques laissées par du sable aux approches du pont pour indiquer qu'un freinage d'urgence avait eu lieu avant l'arrivée des locomotives sur le pont, il est peu probable que l'équipe ait remarqué des anomalies sur le pont. Étant donné que le pont était clairement visible d'une distance de quelque 2 100 pieds, l'équipe aurait eu suffisamment de temps pour réduire les gaz et serrer les freins ou commander un freinage d'urgence, s'il y avait eu le moindre signe d'incendie ou de mauvais alignement de la voie sur le pont. Cependant, vu l'absence de données des consignateurs d'événements et du fait que les commandes des locomotives ont subi des dommages considérables, il a été impossible de déterminer si le freinage d'urgence a été commandé par l'opérateur à partir de la locomotive pendant que le train était sur le pont, ou s'il a été dû au déraillement.

L'examen de l'épave du train n'a fait ressortir aucune preuve d'une défectuosité mécanique qui aurait contribué à l'accident. Le dernier poste de système de détection en voie devant lequel le train est passé n'avait relevé aucune anomalie, et on n'a trouvé aucune indication de pièces traînantes aux abords du pont.

2.1.1 *Scénarios possibles de l'accident*

Le BST a examiné tous les indices matériels disponibles dans le contexte de deux scénarios de déraillement possibles. Le premier scénario porte sur la rupture d'un rail qui aurait entraîné le déraillement et l'affaissement ultérieur du pont; le second scénario porte sur la défaillance d'un élément du pont qui aurait entraîné le déraillement.

2.1.1.1 *Premier scénario*

Ce scénario suppose la possibilité d'une rupture du rail à l'ouest de la palée 15. Près de la palée 15, soit à l'endroit où les locomotives ont basculé dans le vide, on n'a relevé aucun défaut de la voie lors de la dernière inspection, et les trains précédents n'avaient signalé aucune anomalie. Les rails de roulement et les contre-rails n'étaient pas brisés à cet endroit. Par conséquent, on peut conclure que l'état du rail et de la surface de la voie près de la palée 15 n'a pas fait en sorte que la locomotive dévie de sa course et tombe du haut du pont. De même, les résultats de l'analyse faite par le Laboratoire technique du BST ont démontré que les morceaux de rail récupérés au cours de l'enquête s'étaient brisés du fait de contraintes instantanées excessives qui se sont exercées pendant le déraillement.

Un segment du rail nord de la travée 21 et un segment du rail sud de la travée 25 n'ont pas été retrouvés. Il est peu probable que les locomotives aient déraillé sur le segment manquant du rail sud de la travée 25, puisqu'elles ont basculé dans le vide du côté nord du pont. Le Bureau s'est demandé si les locomotives ont pu dérailler lors de leur passage sur le segment manquant du rail nord de la travée 21. Si les locomotives avaient déraillé sur le rail nord, les contre-rails les auraient empêchées de s'écarter du pont jusqu'à ce qu'elles aient atteint la travée 15. Comme la capacité portante des longerons de la travée 15 et du chapeau 15 était réduite en raison d'une détérioration interne, les longerons et le chapeau en question n'auraient pas été capables de supporter le poids des locomotives et le martèlement des roues.

Cependant, il faut considérer les indices matériels suivants :

- Les premières marques relevées sur les rails de roulement et les contre-rails, et la marque d'impact sur le boulon de l'éclisse du contre-rail se trouvaient à l'est de la palée 15, ce qui indique que la locomotive de tête n'était pas déraillée à l'ouest de la palée 15.
- L'absence de marques sous la locomotive menée indique qu'elle n'avait pas déraillé avant de tomber dans le vide.
- Il n'y avait pas de marques d'impact sur les roues du bogie arrière de la locomotive de tête, et il n'y en avait pas non plus sur aucune des roues de la locomotive menée, qui auraient toutes dû passer sur le rail brisé.
- Le rail était en bon état et montrait une usure minimale, et l'inspecteur de la voie ainsi que les trains précédents n'avaient signalé aucun défaut du rail.
- Les conditions propices à une rupture fragile n'étaient pas présentes puisque le trafic cumulatif ayant circulé sur le rail depuis son installation était faible et que la température douce devait réduire au minimum les contraintes thermiques exercées sur le rail et la susceptibilité du rail de se rompre.
- Les ruptures du rail qui se sont produites près du mur de soutènement ouest ont résulté d'un effort excessif qui s'est produit rapidement, ce qui donne à penser que le long rail soudé était toujours continu et qu'il a été soumis à une tension et s'est brisé sous le poids du train.

Considérés dans leur ensemble, ces indices matériels amènent à conclure que le premier scénario est très improbable.

2.1.1.2 *Second scénario*

Le second scénario suppose qu'une défaillance d'un élément du pont ait entraîné le déraillement. Le pieu extérieur de la palée 15 a pénétré dans le côté nord des volets d'admission d'air de refroidissement de la locomotive menée (seconde locomotive) et s'était avancé d'environ huit pieds par rapport à sa position verticale d'origine, ce qui indiquerait peu de mouvement vers l'avant lors du renversement de la locomotive. De plus, la locomotive menée s'est immobilisée sur le côté près de l'axe longitudinal du pont, ce qui indique qu'elle n'a pas dévié pour tomber du côté du pont, mais plutôt qu'elle est tombée après que le pont s'est effondré.

Les marques d'abrasion qu'on a relevées sous l'avant du réservoir de carburant, sur les déflecteurs du réservoir avant et sur les carters d'engrenage des moteurs de traction sur le bogie avant de la locomotive de tête indiquent que le bogie arrière n'a pas déraillé. Ces éléments indiquent plutôt que le pont s'est effondré sous la locomotive de tête et que la locomotive a brièvement touché le rail de roulement nord et le contre-rail pendant qu'elle tombait dans le ravin.

Il est plus vraisemblable que certains des éléments de la charpente du pont ont subi une défaillance dans le secteur de la palée 15, que ce soit lors du passage de la locomotive ou de celui d'un train précédent. Cette partie du pont était affaiblie en raison du pourrissement interne présent dans les longerons de la travée 15 et dans le chapeau 15. Même si la membrure sud de la travée 15 avait une capacité portante peu élevée, il est peu probable qu'elle ait cédé sous le poids de la locomotive de tête, étant donné que les locomotives sont tombées du côté nord du pont. Toutefois, le longeron 6 était surchargé et le chapeau 15 était affecté par une cavité interne dans sa portion nord, cavité qui a pu s'étendre jusqu'à un point situé directement sous les longerons 5 et 6. Comme ces derniers longerons devaient porter une charge accrue du fait du pourrissement interne présent dans les longerons adjacents, la surcharge qui s'est transférée au chapeau 15 s'est concentrée sur une surface moins grande, exerçant alors sur la cavité existante des contraintes qui ont dû excéder la capacité portante du chapeau.

En règle générale, les défaillances des chapeaux sont dues à un écrasement progressif, à un renflement ou à des fissures horizontales, et les chapeaux doivent être remplacés lorsque ces caractéristiques sont présentes; toutefois, le chapeau 15 renfermait une cavité interne entourée par une enveloppe solide qui aurait semblé saine vue de l'extérieur. Puisque la cavité interne avait été détectée près de quatre avant l'événement, il est fort probable que la détérioration interne a progressé considérablement dans l'intervalle, réduisant d'autant l'épaisseur de l'enveloppe externe et faisant augmenter le risque d'une rupture soudaine.

Vu que certains bouts de rail étaient manquants et que tous les éléments du pont ont brûlé, il n'a pas été possible d'éliminer complètement l'hypothèse d'une rupture du rail de la travée 21, ni de confirmer de façon irréfutable qu'un élément du pont a subi une défaillance. Toutefois, compte tenu de l'information recueillie au sujet du rail, de la dynamique du déraillement, et de l'état des

longerons de la travée 15 et du chapeau 15 dont il est question dans le rapport de 1999, il est très vraisemblable que le chapeau 15 a subi une défaillance sous les charges de trafic lorsque sa capacité portante a été excédée.

2.2 *Inspection et entretien du pont*

En 1999, le rapport d'inspection détaillée a été présenté à l'ingénieur de la planification et des inspections 17 jours après qu'on a percé des trous de vérification, et il a été diffusé auprès des superviseurs des ponts et ouvrages. Les longerons 2, 4 et 5 de la travée 15, et les longerons 4, 5 et 8 de la travée 26 étaient affectés par un pourrissement interne qui excédait les limites de la CMN et ont donc été déclarés « à remplacer ». Le pourrissement interne qui affectait certains de ces longerons touchait les trois-quarts de la profondeur de la membrure, ce qui donne à penser que la capacité portante de ces éléments à remplacer était fortement réduite et, par conséquent, la capacité portante du pont également. La détérioration des chapeaux 2, 3 et 15, qui étaient écrasés, montraient des fissures horizontales ou étaient pourris, exigeait aussi des mesures immédiates.

Selon que les signes d'usure soient externes ou qu'il y ait un pourrissement interne invisible, il semble qu'il y ait un manque d'homogénéité quant aux méthodes et critères d'évaluation de la sécurité des ponts en bois dont les éléments ont une usure supérieure aux limites des CMN du CN et dont on a jugé qu'ils étaient « à remplacer ». Par exemple, à deux autres occasions lorsqu'un longeron de ce pont a été identifié comme étant fissuré ou brisé, on a immédiatement procédé à une évaluation de la capacité du pont et appliqué des mesures de prévention. Il semble qu'un longeron brisé ou un chapeau renflé suscite une intervention immédiate parce qu'il est évident qu'il a perdu la totalité de sa capacité portante. Cependant, il ne semble pas qu'un longeron ou un chapeau affecté par le pourrissement interne suscite une intervention immédiate, peut-être parce que la dégradation est progressive et qu'on en déduit que l'élément a conservé une capacité portante résiduelle. Par conséquent, il se peut que l'on surestime la capacité portante résiduelle des éléments et qu'on ne reconnaisse pas la gravité réelle de la situation.

Les chapeaux sont des éléments de charpente critiques qui ne bénéficient d'aucun élément redondant, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun élément pour prendre la relève en cas de défaillance d'un chapeau. C'est pourquoi les chapeaux sont remplacés dès qu'ils ne répondent plus aux critères des CMN et qu'ils sont considérés comme étant « à remplacer ». En règle générale, on ne calcule pas la capacité portante des chapeaux, en raison de la complexité de la modélisation du comportement, de la distribution des contraintes et de la quantification de la résistance résiduelle du bois détérioré.

Dans le cas des longerons des travées 15 et 26, leur capacité portante a été affectée par la détérioration interne du bois. D'après les calculs faits par le CN après l'événement, la capacité portante était de Cooper E59.4, soit un peu en deçà de la capacité portante équivalente établie pour les wagons de 286 000 livres. Toutefois, avant l'installation des longerons auxiliaires entre 1999 et 2002, la capacité portante de la travée 15 aurait été de Cooper E38, ce qui est très inférieur à la capacité portante équivalente des locomotives, des wagons réguliers et des wagons les plus lourds qui circulaient dans la subdivision. D'après les estimations, la capacité de la travée 26 était réduite à Cooper E42.

Même si la capacité portante calculée de l'ouvrage était inférieure à la capacité portante équivalente établie pour le matériel roulant, il n'y a eu aucune défaillance entre 1999 et le jour de l'événement car la marge de sécurité associée aux contraintes unitaires de cisaillement du bois d'oeuvre était grande. La résistance au cisaillement d'éléments de charpente rectangulaires, comme des longerons, dépend de leur capacité à résister à un effort de cisaillement horizontal. Le mode de rupture associé au cisaillement horizontal entraîne une fissuration horizontale qui s'étend dans le sens longitudinal jusqu'au centre de la pièce, et la fend en deux. Comme le bois n'est pas un matériau manufacturé et n'est pas homogène, sa résistance au cisaillement est très variable, ce qui fait qu'on prévoit des marges de sécurité généreuses.

Généralement, les compagnies ferroviaires d'Amérique du Nord utilisent une contrainte admissible de cisaillement de 100 lb/po^2 pour déterminer la capacité portante des longerons. Cette valeur est une limite admissible très inférieure à la charge de rupture du bois d'oeuvre. En fait, des études ont démontré qu'on peut facilement multiplier cette valeur par deux quand un examen attentif des éléments de charpente ne révèle aucun indice visible de fissuration horizontale. Par conséquent, on ne peut déterminer la cote de capacité exacte des longerons que si l'on connaît l'état réel des longerons, faute de quoi on estime leur capacité en tenant compte du scénario de la pire éventualité lorsqu'on est en présence de fissures horizontales.

D'après les normes de l'industrie, quand on relève des défauts tels que ceux qui ont été signalés lors de l'inspection détaillée de 1999, il faudrait normalement limiter la vitesse ou le chargement de façon à ne pas dépasser les contraintes admissibles tant que les travaux de correction ne sont pas réalisés, et faire faire des inspections fréquentes du pont. Toutefois, à la suite de l'inspection détaillée, on n'a pas reconnu toute l'urgence et la gravité de l'état du pont. Il s'en est suivi qu'on n'a pas évalué la capacité portante, qu'on n'a pas pris de mesures immédiates et que les travaux d'entretien dont le pont avait besoin n'ont pas été jugés prioritaires.

Comme le montre la liste ci-après, laquelle a été élaborée à partir des renseignements énoncés à la section 1.14.4.3, il y a des écarts entre les travaux de réparations recommandés dans le rapport de forage de vérification, les travaux de réparation planifiés et les travaux de réparation qui ont été réellement réalisés.

Rapport de forage de vérification de 1999	Entretien planifié	Travaux de réparation réalisés réellement
Travée 1, longerons 2 et 5	Addition de longerons auxiliaires	Aucun
Travée 3, longeron 2	Aucun	Aucun
Travée 5, longeron 2	Aucun	Aucun
Travée 6, longerons 5 et 6	Addition de longerons auxiliaires	Aucun
Travée 8, longeron 8	Aucun	Aucun
Travée 11, longeron 3	Addition de longerons auxiliaires	Aucun
Travée 12, longeron 6	Aucun	Aucun
Travée 14, longeron 6	Addition de longerons auxiliaires	Ajouté des longerons auxiliaires (2002)
Travée 15, longerons 2, 4 et 5	Addition de longerons auxiliaires	Ajouté des longerons auxiliaires (2002)
Travée 26, longerons 4, 5 et 8	Addition de longerons auxiliaires	Aucun
Chapeaux 2, 3 et 15	Remplacement des chapeaux 2, 3, 5, 11, 15, 17, 23 et 24	Remplacé les chapeaux 2, 3, 5, 11, 17, 23 et 24 (2001)

Les facteurs suivants donnent à penser que les intéressés n'ont pas saisi toute l'urgence et la gravité des défauts signalés lors de l'inspection détaillée et n'ont pas accordé une priorité élevée aux travaux d'entretien dont le pont avait besoin :

- La planification entreprise en 2000 et en 2001 ne reflétait pas exactement les défauts relevés dans le rapport de forage de vérification de 1999.

- En 2000, les travaux planifiés n'ont pas été réalisés et on n'a pas non plus pris des précautions pour assurer la sécurité du pont.
- Les travaux planifiés pour 2001 n'ont été réalisés que partiellement.
- On n'a pas pris de mesures pour faire une nouvelle planification des travaux non terminés.
- Le chapeau 15, dont le remplacement était prévu en 2001, n'a pas été remplacé au cours de cette année-là, ni lors du retour de l'équipe en 2002.

Même lors des inspections ultérieures, le caractère urgent et la gravité de la détérioration du pont n'ont pas été relevés, et ce en raison des lacunes du processus d'inspection, d'évaluation, de planification et d'entretien. Le processus en question repose sur des normes et des procédures de sécurité adéquates et sur le respect de ces normes et procédures. Quand on ne met pas en oeuvre les moyens de défense intégrés à ce processus, des conditions dangereuses peuvent se développer. L'enquête a permis de relever plusieurs lacunes associées à l'exécution des inspections et à l'assurance de la qualité, et aux pressions dues à la charge de travail et à la transition entre les tâches.

2.2.1 *Inspections*

2.2.1.1 *Inspections visuelles*

Les inspecteurs doivent non seulement être informés des éléments de charpente défectueux qui sont signalés, mais ils doivent aussi reconnaître les changements qui affectent cet élément de charpente. Ils doivent avoir une compréhension élémentaire de l'importance du changement qu'ils observent pour être en mesure de le signaler de façon appropriée et de prendre les mesures voulues quand le changement devient critique. Par conséquent, ils doivent être au courant des défauts qui ont été signalés précédemment.

Les inspections visuelles consécutives à l'inspection détaillée de 1999 n'étaient pas des inspections visuelles complètes conformes aux exigences de la CMN 4000 du CN. Une inspection visuelle complète devrait inclure un examen de tous les éléments critiques de l'ouvrage et les comparer avec les résultats de l'inspection détaillée précédente. Toutefois, ces inspections visuelles ne renvoyaient pas à l'inspection détaillée de 1999, mais elles étaient plutôt basées sur des photocopies des formulaires d'inspection utilisés lors d'inspections visuelles qui remontaient à 1998. Il s'en est suivi que l'état des éléments critiques de l'ouvrage qui avaient été désignés comme étant à remplacer dans le rapport détaillé de 1999 n'a pas été signalé lors des inspections ultérieures; par conséquent, il était impossible de faire une surveillance adéquate de l'état de ces éléments, ou de prendre des mesures en conséquence.

L'utilisation de photocopies de rapports d'inspection antérieurs offre l'avantage de permettre aux inspecteurs d'accéder facilement à l'information recueillie pendant des inspections antérieures. La pratique en vigueur consistait à utiliser le formulaire d'inspection de l'année précédente, à noter les changements en raturant l'information relative aux travaux exécutés et à ajouter de nouveaux renseignements recueillis pendant l'inspection. En 1999, on a rempli un rapport d'inspection visuelle sur un formulaire séparé, alors qu'on a utilisé une photocopie du formulaire de 1998 en y raturant les renseignements superflus pour indiquer les résultats des inspections de 2000 et de 2002.

La CMN 4000 indique que chaque rapport d'inspection devrait renfermer suffisamment d'information pour qu'on puisse notamment déterminer la charge que l'ouvrage peut supporter sans danger et établir les programmes d'entretien futurs. Si l'on ne fait pas une mise à jour sur l'état des pièces défectueuses dans chaque rapport d'inspection, il est impossible d'atteindre les objectifs visés par les rapports.

2.2.1.2 Évaluation de l'état des éléments du pont

L'évaluation qualitative de l'état d'un pont (évaluation de l'état) faite par les inspecteurs sur place indique l'état général des éléments du pont, mais elle ne précise pas l'état de chacun des éléments. Cela représente un contraste par rapport aux pratiques généralement acceptées dans le cadre des systèmes de sécurité et de la CMN 4000 du CN, laquelle précise que les critères du système d'évaluation de l'état considèrent non seulement l'état de l'ensemble de l'ouvrage, mais aussi l'état de chacun de ses éléments. Il peut être opportun de se fier à une évaluation d'ensemble d'un système lorsqu'il s'agit d'un système à redondance intégrée, comme dans le cas des longerons ou des pieux, ce qui signifie que, si l'un de ces éléments se brise, d'autres éléments pourront supporter la charge qu'il supportait. Toutefois, si la sécurité du système repose sur un seul élément, en l'occurrence un chapeau, une évaluation globale ne permettra pas à l'inspecteur de relever une situation dangereuse et donnera plutôt à penser que le système est plus sûr qu'il ne l'est en réalité.

Par exemple, dans le résumé des rapports d'inspection détaillée, on a donné la cote P3 (état médiocre, priorité 3) à la superstructure, et la cote P5 (état médiocre, priorité 5) à l'infrastructure, et ce même si la détérioration de plusieurs chapeaux et longerons excédait les limites fixées par la CMN et que les éléments étaient considérés comme étant « à remplacer ». D'après les lignes directrices du CN, la cote aurait dû être P1 (état médiocre, priorité 1), parce que les éléments en question étaient détériorés au-delà des limites acceptables et que des travaux s'avéraient nécessaires pour qu'ils redeviennent conformes à la norme acceptable.

À la suite de l'inspection détaillée et avant le début d'éventuels travaux de réparation, les rapports d'inspection visuelle ont indiqué que certains chapeaux montraient des signes d'écrasement, mais l'état général des chapeaux a reçu la cote F (passable), un état qui exige des

travaux visant à faire cesser la détérioration ou à remettre l'ouvrage dans l'état où il était « lors de la construction », mais qui représente une détérioration bien en deçà des limites autorisées par la norme d'entretien.

2.2.1.3 *Fréquence des inspections*

Rien n'indique que le pont du point milliaire 7,9 ait fait l'objet d'une inspection visuelle complète en 2001. Quand des inspections ne se font pas régulièrement, il est impossible de faire une surveillance opportune de la progression de la détérioration, si bien que des situations potentiellement dangereuses pourraient passer inaperçues et représenter des risques pour les employés des chemins de fer et le public.

2.2.2 *Assurance de la qualité*

La pertinence des normes et des procédures existantes et la conformité avec celles-ci, l'approbation des rapports d'inspection et la documentation des activités sont des éléments clés des programmes d'assurance de la qualité ou de vérification. Quand ils sont robustes, ces programmes aident les personnes à s'assurer que le processus voulu a été mis en oeuvre et appliqué de façon cohérente.

Bien que les CMN du CN reconnaissent qu'il faut mener à l'occasion des vérifications afin de contrôler la qualité du travail des inspecteurs et de leurs superviseurs immédiats, les vérifications qui ont été faites n'ont pas été efficaces. Par conséquent, le non-respect de procédures essentielles à la sécurité n'a pas été relevé ni corrigé. Dans un environnement où la charge de travail est considérable et où l'on fait confiance aux capacités des inspecteurs et à la qualité de leurs rapports, il est essentiel que les vérifications soient efficaces pour qu'on puisse s'assurer que les pratiques sont adéquates et évaluer les déviations par rapport aux méthodes approuvées par la compagnie.

Même si les rapports d'inspection ont été examinés, après 1999, ils n'ont pas été paraphés par les responsables des fonctions d'inspection, d'évaluation et de planification. Faute de signature d'approbation, il est impossible de s'assurer que les situations dangereuses potentielles relatives à un pont ont fait l'objet d'une évaluation et d'un examen exhaustifs.

Par le passé, on avait mis en place un répertoire des travaux qui permettait de faire le suivi des travaux exécutés; toutefois, lors de l'événement, il n'existait aucun système d'enregistrement indiquant la nature et la portée des travaux terminés. Il s'en est suivi qu'il y avait une certaine confusion quant aux travaux qui devaient être faits sur le pont. Les travaux sur le pont ont été interrompus en 2001 et, à la reprise des travaux en 2002, certains éléments défectueux, notamment le chapeau 15, n'ont pas été réparés.

2.2.3 *Formation*

Les écarts observés entre les méthodes préconisées par la compagnie (CMN) et les pratiques en vigueur sur le terrain en ce qui concerne la réalisation des inspections, en utilisant les cotes relatives à l'état des ouvrages, et le fait qu'on ait sous-estimé la gravité de l'état des éléments de charpente affectés par le pourrissement interne, donnent à penser que les employés avaient une connaissance inadéquate des CMN. Cela indique aussi que la formation sur l'inspection des ponts que les employés reçoivent, soit en cours d'emploi ou dans le cadre d'ateliers, n'a pas atteint ses objectifs, consistant à accroître les connaissances de tous les inspecteurs du réseau du CN et à uniformiser le processus d'inspection et de présentation de rapports dans l'ensemble du réseau.

2.2.4 *Répercussions de la transition entre les tâches et de la charge de travail*

D'autres facteurs ont contribué au fait qu'on n'ait appliqué qu'en 2002 les mesures correctives nécessaires; notamment, la charge de travail et le chevauchement des tâches au cours de la transition.

L'ingénieur de la planification et des inspections ayant continué de s'acquitter d'autres fonctions pendant neuf mois, il a pu penser que les réparations étaient en cours ou qu'elles étaient terminées. Comme il n'y avait pas de dossiers officiels pour confirmer que les travaux de réparation avaient été entrepris entre la date de l'inspection détaillée de 1999 et 2001, on ne disposait d'aucun mécanisme pour s'assurer que toutes les réparations nécessaires avaient été exécutées. Certes, il aurait été possible de comparer les travaux exécutés réellement par rapport au programme d'entretien, mais l'ingénieur de la planification et des inspections s'en est remis au résultat des inspections visuelles annuelles pour savoir quels étaient les travaux qu'on avait faits sur le pont.

À la suite de l'inspection détaillée, le superviseur des ponts et ouvrages a pris connaissance des défaillances du pont, mais aucune mesure immédiate n'a été prise. Par le passé, le superviseur des ponts et ouvrages avait réagi immédiatement pour corriger les conditions dangereuses. Il est vraisemblable que, comme il était dans une période de transition entre deux emplois et comme il s'est acquitté des deux rôles pendant une partie de cette période, le caractère urgent des mesures nécessaires a pu passer inaperçu. Quoi qu'il en soit, il a bel et bien fourni une liste des travaux à faire au nouveau superviseur des ponts et ouvrages, mais la liste ne donnait pas de précisions sur le degré d'urgence ou la priorité des travaux nécessaires au point milliaire 7,9. Même si ces transitions entre des emplois faisaient partie d'une réorganisation planifiée, il semble que les nouveaux superviseurs n'aient pas été informés de l'urgence des travaux qu'on devait faire au point milliaire 7,9.

À cause du grand nombre d'ouvrages dont il devait s'occuper, de la charge de travail liée aux fonctions d'inspection, d'évaluation et de planification et des perturbations dues à la transition entre deux postes, l'ingénieur de la planification et des inspections s'en est remis aux évaluations globales des inspecteurs et aux rapports d'inspection visuelle les plus récents pour fixer les priorités des programmes d'entretien. Or, comme ces rapports n'indiquaient aucun défaut sur le pont, la gravité et l'urgence des conditions signalées en 1999 n'ont été ni reconnues ni corrigées.

2.3 *Pertinence des réparations*

Dans l'industrie, une pratique en vigueur consiste à ajouter des longerons auxiliaires afin de renforcer temporairement une travée ou de maintenir la capacité portante d'une travée, en attendant sa remise en état. Comme les longerons auxiliaires ne sont pas reliés à la membrure existante et sont placés à l'extérieur de la membrure, près des extrémités des traverses, la flexibilité des traverses n'assure pas une répartition uniforme des charges d'essieux, comme le démontre le modèle tridimensionnel qui a servi à l'évaluation indépendante de la répartition du poids entre les longerons. Par conséquent, les longerons auxiliaires ne sont pas aussi sollicités que les longerons internes et ne compensent pas complètement la perte de la capacité portante attribuable à la détérioration des longerons internes. Quand on envisage d'utiliser des longerons auxiliaires pour leur faire supporter la même charge que les longerons internes, il faut considérer que la capacité portante réelle de la travée sera moindre que la capacité calculée.

Cette pratique, qui surestime la contribution des longerons auxiliaires, peut donner lieu à une surestimation de la capacité portante du pont et entraîner un risque accru de surcharge et de défaillance des longerons internes. Par exemple, la capacité portante calculée par le CN pour la travée 15 est de Cooper E59.4, alors que celle qu'on a calculée à partir du modèle tridimensionnel de répartition du poids est de Cooper E49.

2.4 *Programme de surveillance des ponts de Transports Canada*

Bien que Transports Canada ait mis au point un programme de surveillance des ponts qui faisait appel à des inspections sur le terrain et à la vérification des dossiers de la compagnie, la mise en oeuvre du programme n'a pas été la même dans toutes les régions. Les agents de l'infrastructure ferroviaire ont procédé uniformément à des inspections superficielles des ponts, mais les régions n'ont pas toutes exécuté les inspections spécifiques des ponts ou les vérifications des dossiers de la compagnie ferroviaire. Même dans les régions qui ont entrepris des vérifications des dossiers, on n'a pas fait de vérification des méthodes et des pratiques de travail afin de s'assurer de la conformité avec les exigences des CMN. Par conséquent, les groupes fonctionnels n'ont pas été en mesure de détecter les problèmes découlant de l'application des méthodes de travail.

Lors de cet événement, Transports Canada aurait peut-être pu déceler les lacunes relatives aux procédures d'inspection et d'entretien des ponts si les responsables du programme d'ingénierie fonctionnelle avaient procédé à une vérification des méthodes et des pratiques de travail. La vérification dans le cadre du SGS a le potentiel de déceler les lacunes dues au non-respect des procédures dans les domaines visés par l'échantillonnage; toutefois, il y a peu de chances que la vérification porte sur des sujets ou des domaines particuliers, étant donné le grand nombre de questions au sujet desquelles l'équipe de vérification doit faire un échantillonnage. C'est pourquoi il importe de s'assurer que les groupes fonctionnels peuvent déceler les lacunes dues au non-respect des procédures et de les porter à l'attention du groupe du SGS à des fins de vérification.

2.5 *Communications*

Le CCF ignorait la position du train car les communications entre le CCF et l'équipe étaient limitées. Si le territoire avait disposé d'un système permettant de communiquer fréquemment la position du train, ou si le CCF et le train avaient communiqué fréquemment entre eux, il aurait été possible de connaître la position et l'état du train plus tôt, et d'intervenir plus rapidement. Plus le signalement d'un événement est rapide, plus les intervenants d'urgence peuvent se rendre rapidement sur les lieux pour prêter assistance, et plus on a de chances de préserver les indices.

3.0 *Conclusions*

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

1. Les deux membres de l'équipe du train 356-51-14 ont été mortellement blessés quand la locomotive de tête a basculé du haut du pont et a été détruite dans l'incendie qui a suivi.
2. Il est fort vraisemblable que le chapeau 15 s'est écrasé sous le poids de la locomotive de tête quand sa capacité portante a été excédée, causant l'effondrement du pont et le déraillement.
3. Comme les longerons 5 et 6 de la travée 15 devaient supporter une charge accrue du fait du pourrissement interne des longerons adjacents, la charge d'appui transférée au chapeau 15 s'est concentrée sur une surface moindre, exerçant alors une contrainte accrue sur la cavité existante du chapeau 15.
4. L'état du chapeau 15, qui avait été identifié comme étant à remplacer dans le rapport détaillé de 1999, n'a pas été indiqué dans les rapports d'inspection ultérieurs. Par conséquent, sa détérioration additionnelle n'a pas été réévaluée.
5. Lors des inspections ultérieures, le caractère urgent et la gravité de la détérioration du pont n'ont pas été relevés, et ce en raison des lacunes du processus d'inspection, d'évaluation, de planification et d'entretien.
6. À cause de la charge de travail considérable et du chevauchement des tâches au cours de la transition entre deux postes, l'ingénieur de la planification et des inspections s'en est remis aux évaluations globales des inspecteurs et aux rapports d'inspection visuelle les plus récents, lesquels n'indiquaient aucun défaut sur le pont. Par conséquent, la gravité et l'urgence des conditions signalées en 1999 n'ont pas été reconnues.
7. Bien que les circulaires sur les méthodes normalisées (CMN) du Canadien National (CN) reconnaissent qu'il faut mener à l'occasion des vérifications afin de contrôler la qualité du travail des inspecteurs et de leurs superviseurs immédiats, les vérifications qui ont été faites n'ont pas été efficaces.
8. Comme Transports Canada n'a pas fait de vérification des méthodes de travail, on n'a pas eu la possibilité de relever les lacunes relatives aux procédures d'inspection et d'entretien des ponts.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Il peut être opportun de se fier à une évaluation d'ensemble d'un système lorsqu'il s'agit d'un système à redondance intégrée, comme dans le cas des longerons ou des pieux. Toutefois, si la sécurité du système repose sur un seul élément, en l'occurrence un chapeau, une évaluation globale ne permettra pas de relever une situation dangereuse et donnera plutôt à penser que le système est plus sûr qu'il ne l'est en réalité.
2. Si l'on ne fait pas une mise à jour sur l'état des pièces défectueuses dans chaque rapport d'inspection, le rapport ne reflétera plus fidèlement l'état réel de l'ouvrage, ce qui peut entraîner un calcul erroné de la capacité portante d'un pont.
3. La pratique consistant à attribuer une charge égale à tous les longerons, y compris les longerons auxiliaires, peut donner lieu à une surestimation de la capacité portante d'un pont, d'où un risque accru de surcharge et de défaillance des longerons internes.
4. À moins de procéder couramment à une analyse minutieuse des rapports d'inspection détaillée et à une évaluation de la capacité portante basée sur les sections de bois encore saines, il se peut qu'on ne puisse pas apprécier toute la gravité de l'état d'un pont.
5. Dans un environnement où la charge de travail est considérable et où l'on fait confiance aux capacités des inspecteurs et à la qualité de leurs rapports, il est essentiel que les vérifications soient efficaces pour qu'on puisse s'assurer que les pratiques sont adéquates et évaluer les déviations par rapport aux méthodes approuvées par la compagnie.
6. Si le territoire avait disposé d'un système permettant de communiquer fréquemment la position du train, comme le système mondial de localisation, ou s'il y avait eu des appels fréquents entre le contrôleur de la circulation ferroviaire et le train, il aurait été possible de connaître la position et l'état du train plus tôt, et d'intervenir plus rapidement.

3.3 *Autres faits établis*

1. À partir des indices disponibles et de l'analyse consécutive à l'accident, on en vient à la conclusion que ni la conduite du train ni son état mécanique n'ont contribué à l'événement, et qu'il est peu probable qu'une défaillance de la voie ait joué un rôle.

2. L'enquête a été rendue difficile en raison de la destruction complète du pont et de toutes les pièces connexes, de la perte des données des consignateurs d'événements et de l'absence de dossiers complets et exhaustifs sur l'entretien et l'inspection du pont.
3. Même si la capacité portante calculée de l'ouvrage était inférieure à la capacité portante équivalente de certains des matériels roulants qui circulaient sur le pont, aucune défaillance ne s'est produite entre 1999 et le jour de l'accident, car la marge de sécurité associée aux contraintes unitaires de cisaillement du bois d'oeuvre était adéquate.
4. Les écarts observés entre les méthodes préconisées par la compagnie (CMN) et les pratiques en vigueur sur le terrain en ce qui concerne la réalisation des inspections, en utilisant les cotes relatives à l'état des ouvrages, et le fait qu'on ait sous-estimé la gravité de l'état des éléments de charpente affectés par le pourrissement interne, donnent à penser que la formation sur l'inspection des ponts que les employés reçoivent (soit en cours d'emploi ou dans le cadre d'ateliers) n'a pas atteint ses objectifs, consistant à accroître les connaissances de tous les inspecteurs du réseau du CN et à uniformiser le processus d'inspection et de présentation de rapports dans l'ensemble du réseau.

4.0 *Mesures de sécurité*

4.1 *Mesures prises*

4.1.1 *Inspection et entretien des ponts en bois*

Un grand nombre des éléments du pont qui avaient été signalés comme étant défectueux n'ont pas été réparés par le Canadien National (CN) en raison de lacunes dans les pratiques d'inspection et d'entretien. Les lacunes concernant l'inspection et l'entretien des ponts en bois ont été mises en évidence au cours de l'enquête du BST.

Pour cette raison, craignant que les pratiques d'inspection et d'entretien du CN n'assurent pas une ligne de défense primaire adéquate pour les ponts en bois du réseau du CN, le Bureau a recommandé que :

Le Canadien National vérifie la condition de ses ponts de bois et garantisse leur sécurité au moyen de programmes efficaces d'inspection et d'entretien.
(R03-04, émise en décembre 2003)

Par la suite, le CN a répondu qu'il avait terminé la révision de ses pratiques d'inspection des ponts en bois ainsi que l'examen de l'état de ses ponts en bois. Le CN a ajouté qu'en date d'avril 2004, tous les ponts en bois avaient été inspectés conformément à la Circulaire sur les méthodes normalisées 4000 du CN, intitulée *Inspection des ponts métalliques, en bois et en béton*, et que les rapports sommaires sur l'état des ponts (plans quinquennaux), dans lesquels sont énoncées les activités nécessaires de réparation et d'entretien, étaient à jour.

Le CN a fait savoir qu'en date de juin 2004, il a mis en place un vaste système informatisé de contrôle de l'état des ponts et des ponceaux qui saisit sur le terrain les données électroniques concernant l'état des ponts et des ponceaux et les stocke dans une base de données centrale. L'état des éléments des ponts est coté sur une échelle de 1 (état médiocre) à 9 (nouveau pont), qui est censée faciliter la détermination et la priorisation des réparations à faire. Le CN signale que le processus d'inspection est automatisé, de l'étape de la planification et de l'établissement du calendrier d'inspection jusqu'à celle de l'approbation (signature) par l'inspecteur et par l'ingénieur de la planification et des inspections. Les signatures d'approbation de l'inspecteur et de l'ingénieur de la planification et des inspections sont consignées dans la base de données. Le CN indique que, grâce au nouveau système de contrôle de l'état des ponts et des ponceaux, toutes les cotes et tous les commentaires relatifs aux inspections précédentes seront rappelés au moment où les inspections suivantes seront générées par le système.

Le CN précise qu'en date de juillet 2004, tous les inspecteurs ont suivi une formation sur l'emploi du système de contrôle de l'état des ponts et des ponceaux. En janvier 2005, un cours de perfectionnement d'une semaine sur l'inspection des ponts et des ponceaux a été donné à tous les inspecteurs. Le CN entend instaurer tous les quatre ans un programme de perfectionnement exhaustif d'une durée de quatre jours.

Le CN indique que le système de contrôle de l'état des ponts et des ponceaux fait partie du système global de gestion des ponts, dont la mise au point se poursuit. Il a aussi précisé que la compilation du répertoire des ponts et des ponceaux s'est terminée en 2002 et que le système de contrôle de l'état des ponts et des ponceaux a été mis en oeuvre en 2004. Le CN s'attend à ce que le module de planification, qui facilitera l'automatisation de l'établissement des priorités et des calendriers en matière de réparation et d'entretien des ponts, ainsi que le suivi des travaux terminés, soit prêt en 2005. Il fait savoir qu'en attendant la mise en oeuvre du système global de gestion des ponts, les régions continueront de se servir des rapports sommaires sur les ponts. Il a précisé que, depuis décembre 2003, les superviseurs régionaux des ponts communiquent par courriel avec les ingénieurs des ponts et ouvrages pour leur soumettre les rapports d'achèvement des travaux d'entretien et de réparation des ponts en bois.

En juillet 2003, la région du Pacifique de Transports Canada a rencontré des représentants du CN pour discuter du programme relatif aux ponts. À la suite de la rencontre, Transports Canada a procédé à un examen des dossiers d'inspection et d'entretien du CN afin de s'assurer que le CN contrôlait bien l'état de ses ponts.

4.1.2 *Programme de surveillance de Transports Canada*

Puisqu'il était préoccupé par le fait que le programme de contrôle de la conformité de Transports Canada n'utilise pas toutes les données disponibles relatives à l'inspection des ponts, le Bureau a recommandé que :

Transports Canada incorpore à ses vérifications de la conformité une comparaison des pratiques et procédures de travail des chemins de fer avec les dossiers d'inspection et d'entretien des chemins de fer. (R03-05, émise en décembre 2003)

Transports Canada a indiqué qu'il révisé ses programmes existants d'inspection et de surveillance en vue d'intégrer au Système de gestion de la sécurité (SGS) les activités de surveillance et d'inspection de l'infrastructure, des opérations ferroviaires et du matériel roulant.

Transports Canada a précisé que l'intégration des données au SGS l'obligera à examiner les normes et les pratiques de chaque compagnie ferroviaire en matière de gestion de la sécurité de son infrastructure, et à faire une vérification des dossiers d'inspection et d'entretien de chaque compagnie.

Transports Canada a déclaré que, grâce à l'intégration des activités de contrôle de la conformité et de comparaison des méthodes et des pratiques de travail et à l'examen des dossiers des chemins de fer, il sera davantage en mesure de découvrir les lacunes éventuelles dans la façon dont les compagnies gèrent l'évaluation de l'état des ponts et l'exécution des réparations nécessaires. Transports Canada a indiqué qu'il prend des mesures énergiques en vue de l'élaboration d'un programme de vérification axé sur tous les ouvrages ferroviaires.

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 9 novembre 2004.

Annexe A – Caractéristiques des ponts à chevalets en bois

Les ponts à chevalets en bois sont constitués d'une infrastructure faite de palées en bois qui supportent la superstructure faite de longerons (poutres horizontales) et du tablier. La portion située entre deux palées est appelée travée. Les charges d'essieux du train sont transférées au sol par l'intermédiaire des rails, du tablier, des longerons, des chapeaux et des palées.

Une palée est une charpente contreventée faite de poteaux ou de pieux. Les palées sont appelées palées de pieux quand les pieux en bois qui sont enfoncés dans le sol montent jusqu'à la superstructure. Les palées de poteaux sont faites de pièces de bois de sciage et peuvent être placées sur des pieux enfoncés dans le sol qu'on a coupés au niveau du sol, pour pouvoir construire des ponts plus élevés ou réparer des pieux détériorés.

La palée est surmontée d'un chapeau, en l'occurrence une poutre horizontale, qui assujettit les membrures de la palée, fournit une assise pour les longerons et répartit sur les pieux la charge qui repose sur la superstructure.

Les longerons sont des pièces de bois longitudinales qui relient les palées. Ils servent à transférer les charges d'essieux du tablier aux palées. Les longerons sont centrés sous chaque rail. Ils peuvent être espacés ou attachés ensemble pour former une membrure.

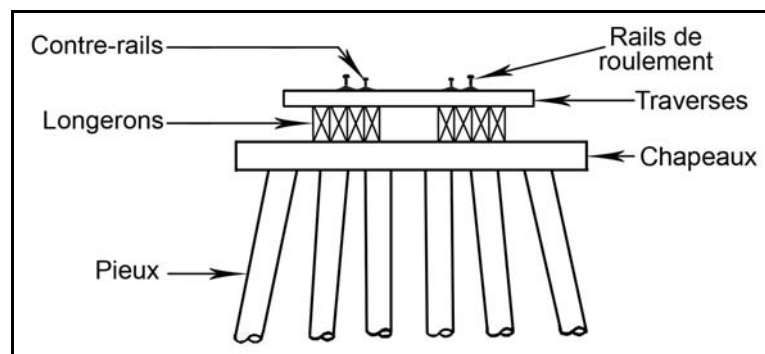


Figure 6. Vue en coupe d'un pont typique à chevalets en bois et à tablier ajouré

Le tablier est constitué des traverses, des selles de rail, des rails de roulement et des contre-rails. Sur un tablier ajouré, comme celui du pont du point milliaire 7,9, les traverses reposent directement sur les longerons, alors que sur un tablier ballasté, un cuvelage de ballast est installé au-dessus des longerons, et on utilise une structure de voie standard.

Des contre-rails sont installés sur les ponts mesurant plus de 100 pieds (30 m); ils sont placés entre les rails de roulement et sont parallèles à ceux-ci. Ils servent à guider le matériel roulant déraillé et à l'empêcher de tomber du pont.

À chaque extrémité du pont se trouve un mur en bois (mur de soutènement) perpendiculaire à l'axe longitudinal du pont, qui sert à retenir le talus de la voie et le ballast.

Les travées sont numérotées d'après la numérotation ascendante des points milliaires, la travée 1 étant à l'extrémité est du pont. Les pieux et les longerons sont numérotés de gauche à droite, lorsqu'on est face à l'ordre ascendant des points milliaires.

Annexe B – Extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées 4000 du Canadien National

On trouvera ci-après des extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées (CMN) 4000 du Canadien National (CN) qui pourraient s'avérer pertinents à l'événement qui est survenu le 14 mai 2003 au pont du point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser près de McBride (Colombie-Britannique).

1.0 OBJECTIF

Ce document a pour but d'obtenir, compte tenu du contexte économique actuel et des outils et techniques disponibles, des rapports d'inspection précis relativement à tous les ponts que le CN possède et exploite, afin d'assurer, sous réserve du respect des limites de charge autorisées, la sécurité des trains et du public admis à les franchir.

Les inspecteurs (cadre ou ingénieur autorisé à inspecter les ponts) doivent inspecter les ponts en se conformant à la présente CMN et aux autres méthodes optimales approuvées par l'organisme de réglementation compétent, et ils doivent noter l'état physique de l'ouvrage et la présence dans les environs d'éléments susceptibles de compromettre la sécurité des trains et du public.

Les principaux objectifs des inspections sont les suivants :

- déterminer la limite de charge que l'ouvrage peut supporter;
- définir les programmes futurs d'entretien et d'investissement;
- déterminer les besoins futurs d'encaisse;
- rassembler et tenir à jour l'historique de chaque ouvrage;
- fournir des renseignements pour l'exécution des réparations;
- fournir les données nécessaires à la mise à jour du répertoire des installations fixes (*PINS - plant inventory system*);
- vérifier la précision des renseignements contenus dans le répertoire des installations fixes (*PINS - plant inventory system*).

Chaque rapport d'inspection devrait contenir assez de renseignements pour permettre de réaliser les objectifs susmentionnés.

2.0 TYPES D'INSPECTIONS

2.1 Inspection détaillée

L'inspection détaillée d'un ouvrage vise à vérifier sa résistance structurale et à fournir des renseignements précis pour déterminer la capacité portante des composants et les besoins de réparation ou de remplacement. Une inspection détaillée doit inclure des mesurages et détails précis concernant les défauts et détériorations constatés sur tous les composants de l'ouvrage, ainsi qu'une observation des environs.

2.2 Inspection visuelle

2.2.1 Inspection visuelle complète

Une inspection visuelle complète est une inspection périodique qui a lieu entre deux inspections détaillées pour vérifier la résistance structurale d'un ouvrage et pour noter toute anomalie et tout changement d'état exigeant une intervention ou un plus ample examen. Dans une inspection complète, on doit notamment observer l'état de tous les composants critiques de l'ouvrage et comparer leur état présent à celui qui avait été noté dans le rapport de l'inspection précédente. L'inspecteur doit s'approcher assez près de chaque composant et de ses raccordements à la structure pour les voir clairement.

2.2.2 Inspection visuelle superficielle

Une inspection superficielle est la vérification occasionnelle que fait un ingénieur ou un cadre désigné par l'ingénieur chargé des ponts, pour vérifier l'intégrité structurale du pont et s'assurer que le tablier, la superstructure et l'infrastructure ne présentent aucune avarie visible.

2.3 Inspection d'urgence

Une inspection d'urgence est une inspection visuelle complète qui vise à vérifier la résistance structurale de l'ouvrage après un incident grave tel qu'un déraillement, un accident ou une rupture d'élément, et elle comprend une inspection détaillée des composants endommagés par l'incident. Cela permet d'évaluer le degré de gravité des avaries, et de déterminer s'il faut effectuer des réparations ou des remplacements d'urgence pour assurer la sécurité de l'ouvrage et un niveau de service acceptable.

2.4 Inspection spéciale

Une inspection spéciale a lieu en cas de circonstances spéciales. Il peut s'agir d'inspections visant à permettre le passage de convois exceptionnels, à vérifier sur place les données disponibles, ou à mettre au point un programme détaillé de travaux. Les inspections spéciales peuvent être nécessaires après qu'un tremblement de terre ou un autre événement exceptionnel a été signalé.

2.5 Inspection de contrôle

Une inspection de contrôle a lieu à certains intervalles dépendant de chaque situation (suivant les instructions de l'ingénieur) pour voir comment évoluent certains défauts dont on connaît déjà l'existence.

3.0 FRÉQUENCE DES INSPECTIONS

La fréquence des inspections dépend généralement du tonnage et de l'importance de la ligne, mais cette fréquence peut être resserrée à la discrétion de l'ingénieur.

3.1 Sur les lignes essentielles à l'exploitation - Trafic > 50 MGTM (millions de tonnes-milles brutes)

Chaque pont doit être inspecté en détail au moins tous les deux ans, ou plus souvent si les circonstances le justifient.

Chaque pont doit subir une inspection visuelle complète au moins une fois par année.

3.2 Sur les lignes essentielles à l'exploitation - Trafic > 30 MGTM (millions de tonnes-milles brutes)+ Capacité portante < 110 % de la limite de charge autorisée

Le pont doit être inspecté en détail au moins tous les deux ans, ou plus souvent si les circonstances le justifient.

Le pont doit subir une inspection visuelle complète au moins une fois par année.

3.3 Sur toutes les autres lignes essentielles à l'exploitation

Les ponts qui, au temps considéré, possèdent une capacité portante inférieure ou égale à 100 % de leur limite de charge autorisée doivent être inspectés en détail au moins tous les deux ans, ou plus souvent si les circonstances le justifient.

Tous les autres ponts de lignes essentielles à l'exploitation doivent être inspectés en détail au moins tous les cinq ans, ou plus souvent si les circonstances le justifient.

Chaque pont doit subir une inspection visuelle complète au moins une fois par année.

3.4 Sur les lignes non essentielles à l'exploitation

Lorsqu'une ligne reçoit un trafic supérieur à 10 MGTM (millions de tonnes-milles brutes), on doit la traiter comme une ligne essentielle à l'exploitation aux fins d'inspection.

Voici des extraits des commentaires de la CMN 4000 du CN servant à la formation :

[Traduction]

4.0 RAPPORTS D'INSPECTION

Dans le rapport d'inspection, l'inspecteur doit évaluer l'état de chaque structure. En faisant cette évaluation, il doit juger l'état de la structure par référence aux normes d'entretien applicables.

Mots clés pour décrire l'état d'une structure : BON, PASSABLE, MÉDIOCRE ou MAUVAIS (*GOOD, FAIR, POOR, BAD*). Voici les descriptions correspondant à ces cotes :

BON : L'ouvrage ou ses éléments ne sont pas détériorés comparativement à l'état dans lequel ils étaient « lors de la construction ». Aucun travail d'entretien n'est nécessaire, mais dans certains cas, on pourra réaliser des travaux afin de prévenir la détérioration de l'ouvrage ou d'améliorer son apparence ou son image, compte tenu des circonstances.

PASSABLE : L'ouvrage ou certains de ses éléments commencent à se détériorer. Des travaux s'avèrent nécessaires pour faire cesser la détérioration ou pour remettre l'ouvrage dans l'état dans lequel il était « lors de la construction ». L'état de l'ouvrage est bien en deçà des limites établies dans la norme d'entretien.

MÉDIOCRE : L'ouvrage ou certains de ses éléments se sont détériorés au point que leur état approche des limites énoncées dans les normes d'entretien. Des travaux sont nécessaires pour que l'ouvrage puisse satisfaire aux normes acceptables.

MAUVAIS : L'ouvrage ou certains de ses éléments se sont détériorés au point que leur état ne satisfait plus aux normes acceptables d'entretien. Des travaux sont nécessaires pour que l'ouvrage se conforme de nouveau aux normes acceptables.

7.0 PONTS EN BOIS

Longerons

Examiner tous les longerons pour s'assurer qu'ils sont sains et qu'ils ne montrent pas de défauts superficiels. Noter la taille et le nombre des longerons de chaque travée lorsque des longerons de tailles différentes ou des longerons de renfort ont été ajoutés. Vérifier si la longueur sur laquelle les longerons s'appuient sur les chapeaux est adéquate, et si tous les longerons s'appuient sur des chapeaux, s'ils sont bien posés et s'ils sont bien ancrés. Noter la taille et l'état des cales (le cas échéant) placées entre les longerons et les chapeaux.

Chercher des signes de pourrissement, d'écrasement ou de renflement des côtés des chapeaux. Chercher aussi la présence éventuelle de fissures horizontales ou de gerces, surtout quand un fil diagonal ou des noeuds sont présents.

Chapeaux

Inspecter les chapeaux et les semelles pour déterminer s'ils sont sains, surtout au-dessus des pieux ou des poteaux.

Vérifier la présence éventuelle de signes d'écrasement, de renflement des côtés, de fentes et de gerces. Noter aussi l'état et la taille des cales (s'il y a lieu) entre les chapeaux et les pieux/poteaux et entre les poteaux et les semelles.

Annexe C – Extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées 4300 du Canadien National

On trouvera ci-après des extraits de la Circulaire sur les méthodes normalisées 4300 du Canadien National qui pourraient s'avérer pertinents à l'événement qui est survenu le 14 mai 2003 au pont du point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser près de McBride (Colombie-Britannique).

[Traduction]

6. Limites concernant les chapeaux et les semelles

Les chapeaux et les semelles sont à remplacer s'ils montrent :

- (a) des fissures horizontales touchant toute la largeur du chapeau ou de la semelle sur une longueur de plus de deux pieds;
- (b) des fissures verticales touchant toute l'épaisseur du chapeau ou de la semelle sur une longueur de plus de deux pieds;
- (c) un écrasement du chapeau ou de la semelle causé par les pieux, les poteaux ou les longerons ou un renflement des côtés des chapeaux ou des semelles;
- (d) un pourrissement interne qui laisse une enveloppe de bois sain de moins de quatre pouces d'épaisseur.

7. Limites concernant les longerons

Les longerons sont à remplacer s'ils montrent :

- (a) des fissures horizontales dans l'axe horizontal ou le long de celui-ci;
- (b) un renflement des côtés ou un écrasement de la surface de portée du chapeau;
- (c) un pourrissement interne laissant des cavités de trois pouces ou plus;
- (d) un pourrissement superficiel sur le sommet du longeron qui atteint une profondeur de plus de un pouce;
- (e) une surface d'appui du longeron sur le chapeau qui mesure moins de trois pouces.

Annexe D – Détails supplémentaires des inspections

Voici des détails supplémentaires sur les inspections faites par le Canadien National au pont du point milliaire 7,9 de la subdivision Fraser près de McBride (Colombie-Britannique).

Inspection visuelle de 1998 (21 octobre)

Les renseignements additionnels ci-après, concernant l'état des principaux éléments du pont, ont été consignés dans l'imprimé Timbvis2 :

[Traduction]

- Voie : Les traverses de la voie d'accès est sont affaissées de 2 pouces $\frac{1}{4}$ par rapport au patin du rail.
- Longerons : Travée 24 – fissure horizontale dans le longeron 4. Les longerons ne portent pas uniformément sur les chapeaux.
- Chapeaux : Écrasement mineur du chapeau de la palée 6. Le chapeau de la palée 10 montre une fissure verticale de $\frac{1}{2}$ pouce sur 8 pieds au centre. Chapeau de la palée 26 – pièce neuve de 14 pouces sur 14 pouces.

Inspection visuelle de 1999 (23 juillet)

Les renseignements additionnels ci-après, concernant l'état des principaux éléments du pont, ont été consignés dans l'imprimé Timbvis2A :

[Traduction]

- Voie : Les traverses de la voie d'accès est sont affaissées de 2 pouces, les traverses de la voie d'accès ouest sont affaissées de 1 pouce.
- Longerons : État passable. Longerons auxiliaire entre les travées 18 et 19.

Chapeaux : Les chapeaux 6, 10, 19, 20, 21 et 26 sont des chapeaux neufs mesurant 14 pouces sur 14 pouces sur 14 pieds.
Tous les autres chapeaux mesurent 12 pouces sur 14 pouces sur 14 pieds.

Inspection visuelle de 2000 (1^{er} août)

Les renseignements additionnels ci-après, concernant l'état des principaux éléments du pont, ont été consignés dans l'imprimé Timbvis2 :

[Traduction]

Voie : Les traverses de la voie d'accès est sont affaissées de 2 pouces $\frac{1}{4}$ par rapport au patin du rail.
Du côté est, la voie d'accès est encore très basse, de 2 à 3 pouces, et le pont est dans une dépression.
La voie d'accès ouest est affaissée et le rail est suspendu de $\frac{1}{4}$ de pouce au-dessus de 4 traverses.

Longerons : Travée 24 – fissure horizontale dans le longeron 4.
Les longerons ne portent pas uniformément sur les chapeaux.
Palée 7 – les longerons 1 à 4 ont besoin de cales de $\frac{1}{8}$ de pouce à $\frac{1}{4}$ de pouce.
Cales de 1 pouce $\frac{1}{2}$ à la palée 11.
Longeron auxiliaire aux travées 18 et 19.

Chapeaux : Écrasement mineur du chapeau de la palée 6.
Fissure verticale de $\frac{1}{2}$ pouce sur 8 pieds au centre du chapeau de la palée 10.
Palée 26 – chapeau neuf de 14 pouces sur 14 pouces.
Signes d'écrasement sur les 5 derniers chapeaux de l'extrémité ouest.
La présence de pièces de bois neuves sur place laisse supposer qu'il y a eu remplacement.

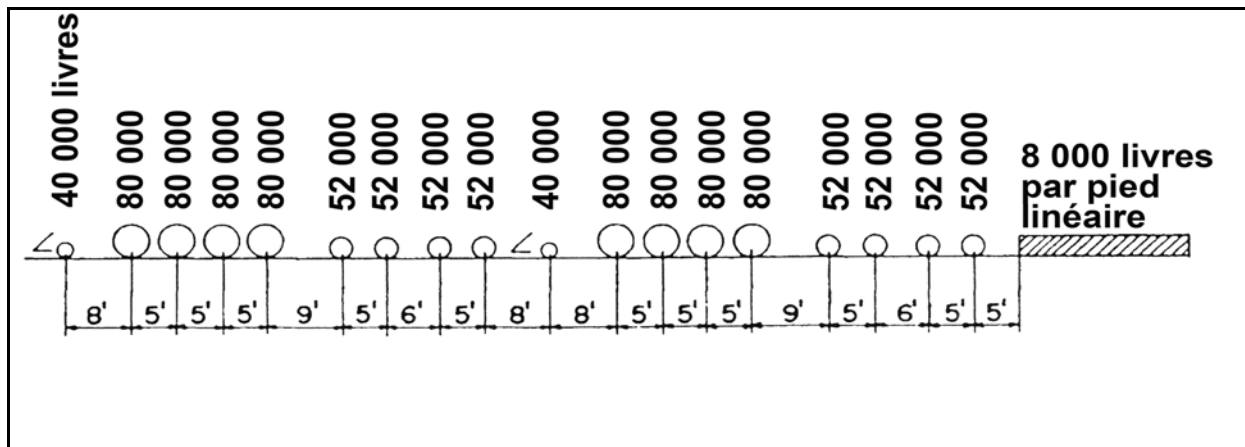
Inspection visuelle de 2002 (25 septembre)

Les renseignements additionnels ci-après, concernant l'état des principaux éléments du pont, ont été consignés dans l'imprimé Timbvis2 :

- Voie : Les traverses de la voie d'accès est sont affaissées de 2 pouces $\frac{1}{4}$ par rapport au patin du rail.
Du côté est, la voie d'accès est encore très basse, de 2 à 3 pouces, et le pont est dans une dépression.
La voie d'accès ouest est affaissée et le rail est suspendu de $\frac{1}{4}$ de pouce au-dessus de 4 traverses (mêmes).
- Longerons: Les longerons ne portent pas uniformément sur les chapeaux.
Palée 7 – les longerons 1 à 4 ont besoin de cales de $\frac{1}{8}$ de pouce à $\frac{1}{4}$ de pouce.
Pompage de $\frac{1}{2}$ pouce sous une charge.
Cale de 1 pouce $\frac{1}{2}$ à la palée 11.
Cale de $\frac{1}{2}$ pouce à la palée 12.
Cale de $\frac{1}{2}$ pouce à la palée 13.
Longeron auxiliaire aux travées 18 et 19, côté droit.
Longeron auxiliaire aux travées 14, 15 et 16, des deux côtés.
Travée 2, longeron 2 – fissure diagonale de 44 pouces de longueur à partir du chapeau – rupture.
- Chapeaux : Fissure verticale de $\frac{1}{2}$ pouce sur 8 pieds au centre du chapeau 10.
Chapeau neuf de 14 pouces sur 14 pouces à la palée 26.
Chapeaux neufs aux palées 2, 3, 5, 6, 10, 11, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 26 (14 pouces sur 14 pouces).

Annexe E – Charge normalisée Cooper E

Le schéma suivant montre la répartition des essieux, telle que présentée à l'origine par Theodore E. Cooper en 1894 en utilisant l'écartement entre les roues des locomotives à vapeur de cette époque. Les poids par essieu montrés sur le schéma sont ceux requis par la norme actuelle de l'AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association).



Annexe F – Sigles et abréviations

AREMA	American Railway Engineering and Maintenance of Way Association
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
C	Celsius
CCF	contrôleur de la circulation ferroviaire
CMN	Circulaire sur les méthodes normalisées
CN	Canadien National
FRA	Federal Railroad Administration
km	kilomètre(s)
lb/po ²	livre(s) au pouce carré
m	mètre(s)
mi/h	mille(s) à l'heure
SGS	Système de gestion de la sécurité
°	degré(s)
'	pied(s)
"	pouce(s)
%	pour cent