

Bureau de la sécurité des transports  
du Canada



Transportation Safety Board  
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE  
R13C0069**



**EFFONDREMENT D'UN PONT ET DÉRAILLEMENT**

**CHEMIN DE FER CANADIEN PACIFIQUE  
TRAIN DE MARCHANDISES 292-26  
POINT MILLIAIRE 172,5, SUBDIVISION BROOKS  
CALGARY (ALBERTA)  
27 JUIN 2013**

**Canada**

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

## Rapport d'enquête ferroviaire R13C0069

Effondrement d'un pont et déraillement  
Chemin de fer Canadien Pacifique  
Train de marchandises 292-26  
Point milliaire 172,5, subdivision Brooks  
Calgary (Alberta)  
Le 27 juin 2013

### *Résumé*

Le 27 juin 2013 à 3 h 20, heure avancée des Rocheuses, 6 wagons-citernes du train de marchandises 292-26 du Chemin de fer Canadien Pacifique en provenance du triage Alyth de l'entreprise à Calgary (Alberta), et se dirigeant vers l'est en direction de Medicine Hat (Alberta), dérailent sur le pont Bonnybrook qui traverse la rivière Bow au point milliaire 172,5 de la subdivision Brooks. Il n'y a eu aucun déversement de produits ni aucune blessure.

*This report is also available in English.*

## *Renseignements de base*

### *L'accident*

Dans la semaine précédant le 27 juin 2013, la rivière Bow sort de son lit à la suite des chutes de pluie records en amont. Le 21 juin, les rivières Elbow et Bow atteignent leur plus haut niveau. Pendant cette période, le volume, la vitesse du courant et la turbidité de la rivière empêchent d'effectuer des inspections sous l'eau du pont Bonnybrook. Toutes les inspections du pont pendant la crue sont alors effectuées au niveau de la voie. Outre les inspections officielles menées par des inspecteurs de ponts qualifiés, d'autres employés du Chemin de fer Canadien Pacifique (CP) (c'est-à-dire des employés des groupes Transport et Ingénierie) examinent plusieurs fois par jour l'état du pont afin de surveiller les écarts d'alignement et d'élévation des rails pour s'assurer qu'il n'y a aucun mouvement. D'après ces observations, le CP estime que l'état du pont est convenable et que les activités ferroviaires peuvent se poursuivre.

Le 27 juin 2013, peu après minuit, le train de marchandises 292-26 du CP (le train) arrive au triage Alyth à Calgary (Alberta) en provenance de Red Deer (Alberta) avec 72 wagons chargés et 57 wagons vides. À 2 h 4<sup>1</sup>, le train de marchandises 675-053 du CP qui se dirige vers l'ouest et contient 166 wagons chargés de potasse, pesant 24 266 tonnes et mesurant 8283 pieds de long, traverse le pont Bonnybrook sur la voie P1 pour entrer au triage Alyth, sans incident et sans signe de défaillance imminente.

Vers 3 h 10, après quelques manœuvres du train 292-26 et un changement d'équipe, le train quitte le triage Alyth sur la voie P2 en direction de Medicine Hat (Alberta). Le train comprend alors 2 locomotives General Motors AC4400 HP à 6 essieux, 62 wagons chargés et 23 wagons vides, pèse 9007 tonnes et mesure 5358 pieds de long.

À 3 h 14, tandis que le train circule à 9 mi/h, un freinage d'urgence provoqué par le train a lieu, et ce dernier s'immobilise 22 secondes plus tard. Après avoir diffusé le message d'urgence nécessaire et averti le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF), le chef de train mène une inspection et constate que 6 wagons-citernes (du 63e au 68e wagon) sur le pont Bonnybrook ont déraillé et se trouvent en position verticale. Le pont a cédé à l'emplacement du pilier n° 2, sous les 67e et 68e wagons (Photo 1). Il n'y a ni blessures ni déversement de produit.

---

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en heure avancée des Rocheuses (temps universel coordonné moins 6 heures).

Photo 1. Effondrement du pont et déraillement (débit de la rivière de gauche à droite)



Le pont Bonnybrook se trouve au sud-est de Calgary et enjambe la rivière Bow (Photo 2). Il est situé sur la ligne principale du CP, au point milliaire 172,5 de la subdivision Brooks, reliant celle-ci au triage Alyth. Le pont Bonnybrook est un élément clé du corridor est-ouest du CP.

Photo 2. Vue aérienne du lieu du déraillement



À proximité du pont Bonnybrook, il y a 2 autres ponts :

- Un pont du Chemin de fer Canadien National (CN) se trouve en amont du pont Bonnybrook du CP. Ce pont, qui se trouve sur la voie d'accès industrielle GTP du CN, a été construit en 1912 et comprend une culée est, une culée ouest et 2 piliers qui soutiennent 2 travées à armature prolongée en treillis et une travée à poutres, à âme pleine et à tablier supérieur. Les piliers reposent sur l'assise schisteuse dans laquelle ils

sont encastrés. Contrairement aux piliers du pont Bonnybrook du CP, qui sont alignés sur le débit de la rivière, le courant frappe les piliers du pont du CN à un angle. La superstructure du pont du CN n'a pas été touchée par les eaux de crue, mais les inspections menées par le CN le 15 juillet et le 1er août ont permis de constater que, pendant la crue, un affouillement s'était produit à l'extrémité nord de la culée ouest et que d'importantes parties du socle du pilier n° 2 et du lit de la rivière s'étaient érodées.

- Le pont Ogden Road de la ville de Calgary se trouve en aval du pont Bonnybrook du CP. Il n'a pas été touché par les eaux de crue.

## Wagons déraillés

Le tableau 1 résume les renseignements sur les wagons déraillés.

Tableau 1. Renseignements sur les wagons-citernes déraillés

N° wagon	ID wagon	Type de wagon <sup>2</sup>	Contenu	Date de construction	Essai de la citerne le plus récent	Situation
63	TILX 261251	AAR211A100W1	Éthylèneglycol (UN 3082)	Janvier 2005	2005	Chargé
64	NATX 50264	111A100W3	DURASYN 125 <sup>3</sup>	Septembre 1989	2008	Résidus
65	GATX 211363	111A100W1	Liquide inflammable, n. s. a. (UN 1993)	Octobre 2012	2012	Chargé
66	CBTX 742965	111S100W1	Liquide inflammable, n. s. a. (UN 1993)	Décembre 2012	2012	Chargé
67	CBTX 742912	111S100W1	Liquide inflammable, n. s. a. (UN 1993)	Novembre 2012	2012	Chargé
68	TILX 224072	111A100W1	Liquide inflammable, n. s. a. (UN 1993)	Février 1992	2007	Chargé

Voici certaines caractéristiques des produits transportés dans les wagons déraillés :

- Le wagon TILX 261251 était un wagon-citerne chargé d'éthylèneglycol (UN 3082), composé chimique incolore et inodore entrant dans la composition de nombreux produits ménagers, y compris les produits antigel, les produits de dégivrage, les détergents, les peintures et les cosmétiques. Il est mortel en cas d'ingestion. Il n'est pas classé comme marchandise dangereuse pour le transport en Amérique du Nord.

<sup>2</sup> Les wagons-citernes DOT-111A sont non pressurisés, de service général, avec ou sans isolation. Les wagons-citernes DOT-111S sont non pressurisés, de service général, munis de boucliers protecteurs. Les wagons-citernes AAR211A sont similaires aux wagons DOT-111A, mais ne sont pas utilisés pour le transport de marchandises réglementées.

<sup>3</sup> La fiche de données de sécurité indique que le Durasyn 125 (poly-alpha-oléfine) n'est pas classé comme marchandise dangereuse pour le transport.

- Le wagon NATX 50264 était un wagon-citerne contenant des résidus de Durasyn 125, hydrocarbure conçu pour prolonger la durée de vie utile et améliorer la performance des lubrifiants utilisés dans de larges plages de température. Il n'est pas classé comme marchandise dangereuse pour le transport en Amérique du Nord.
- Les wagons GATX 211363, CBTX 742965, CBTX 742912 et TILX 224072 étaient des wagons-citernes chargés de liquide inflammable n. s. a. (UN 1993), un liquide combustible et toxique servant à diluer le bitume (pétrole brut) dans les oléoducs, et utilisé comme solvant dans les encaustiques pour métaux, les diluants ainsi que les teintures et peintures à l'huile. Ce produit est communément appelé « essence naturelle ».

## *Pont Bonnybrook*

Le pont Bonnybrook était un pont de 465 pieds de long à 5 travées<sup>4</sup>. Comprenant 4 voies, il faisait partie de la ligne principale du CP et reliait la subdivision Brooks à l'est, au triage Alyth et à la subdivision Laggan, à l'ouest. Environ 30 trains circulaient quotidiennement sur ce pont, en plus des trains en provenance du triage Alyth qui traversaient le pont pour effectuer des manœuvres.

Le pont, orienté à un angle de 58° par rapport à la rivière et à l'alignement des piliers, comprenait les éléments suivants :

- l'infrastructure et les fondations, y compris 2 culées et 4 piliers soutenant 2 superstructures<sup>5</sup>;
- une superstructure en aval (construite en 1912) soutenant 3 voies (P1, P2 et Old Ogden) sur 4 travées en treillis pony de 100 pieds de long, et une travée à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur de 66 pieds de long;
- une superstructure en amont (construite en 1969) soutenant une voie (New Ogden) sur 4 travées ballastées à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur asymétriques de 100 pieds de long et une travée ballastée à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur asymétrique de 66 pieds de long.

Voici un résumé de l'histoire du pont Bonnybrook :

- Le pont d'origine (datant d'environ 1897) consistait en un ouvrage à une seule voie comprenant 2 travées à armature prolongée de 200 pieds de long reposant sur 2 culées et un pilier en pierre. La culée ouest en pierre se trouvait à l'emplacement du pilier n° 4. Le pilier en pierre se trouvait à l'emplacement du pilier n° 2. Ces infrastructures en pierre reposaient sur des caissons en béton enfoncés dans le fond de la rivière, dans une assise de schiste et de grès similaire à celle de la Photo 3.

---

<sup>4</sup> Le pont qui s'est effondré a été démolé puis reconstruit.

<sup>5</sup> Sur un pont, la superstructure correspond à la partie de l'ouvrage qui repose sur des culées et sur un ou plusieurs piliers et qui reçoit la surcharge (trains).

Photo 3. Morceau de schiste ou de grès similaire à l'assise du pont

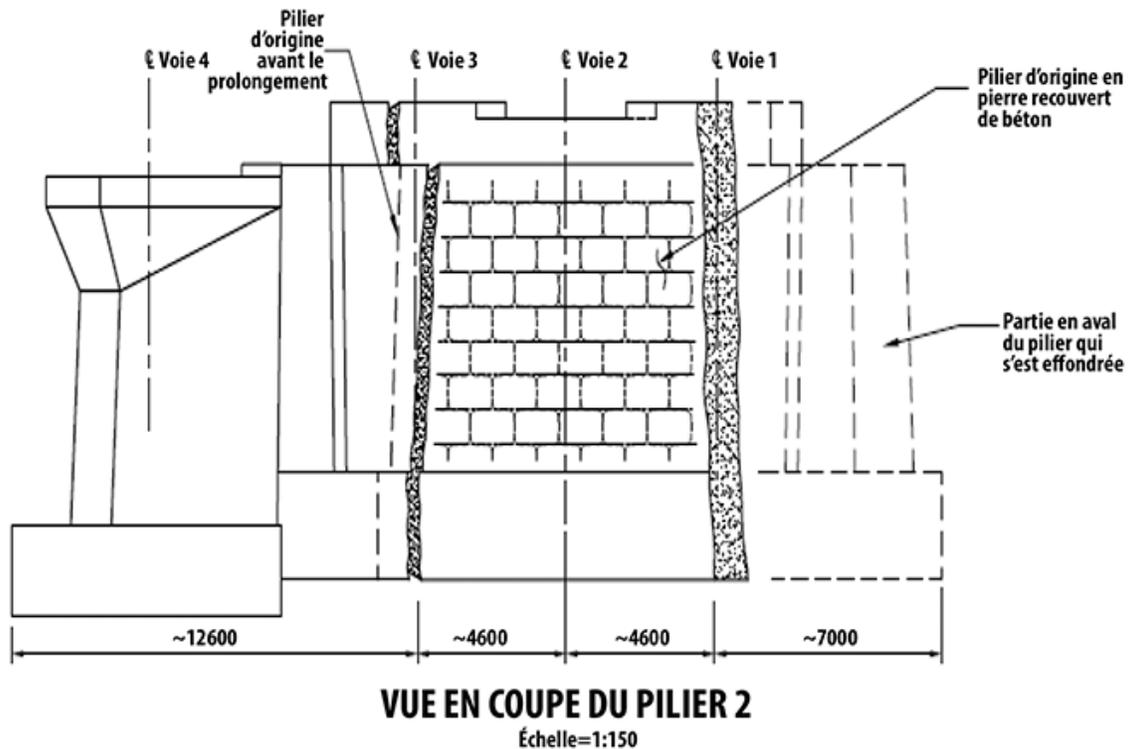


- En 1912, on a élargi les culées et le pilier en pierre vers le nord (en amont) et vers le sud (en aval) afin d'installer 2 voies supplémentaires (Figure 1). On a alors coulé des prolongements de pilier en béton contre les piliers existants sans les fixer aux piliers en pierre à l'aide de clavettes ou de dispositifs d'ancrage. Les fondations des prolongements en béton aux piliers numéros 2 et 4 étaient des semelles<sup>6</sup> reposant sur l'assise schisteuse, au même niveau que les supports de caisson en pierre d'origine. D'autres piliers (les piliers numéros 1 et 3) et une nouvelle culée ouest ont été construits en béton sur des semelles de fondation en béton armé qui reposaient sur l'assise schisteuse. On a alors relié la semelle du prolongement en béton du pilier numéro 2 par des barres de renfort à une fausse semelle autour du pied du pilier d'origine pour protéger ce dernier des coups et de l'affouillement.
- En 1969, le pont a de nouveau été élargi vers le nord (en amont) pour accueillir une quatrième voie. Ce prolongement comprenait 5 travées ballastées à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur reposant sur des culées et des piliers en béton. Les nouveaux prolongements ballastés à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur ont alors été fixés par des goujons aux prolongements des piliers en béton du côté nord construits en 1912. Les prolongements de l'infrastructure s'appuyaient sur des semelles de fondation encastrées dans l'assise schisteuse à une profondeur comprise entre 1,2 et 1,8 m. Des travaux de forage ont révélé que l'assise rocheuse était composée de schiste et de grès interstratifiés.

---

<sup>6</sup> Les semelles de fondation sont des semelles qui s'appuient directement sur l'assise schisteuse qui se trouve sous le sédiment alluvionnaire du fond de la rivière, sans pieu ni dispositif d'emboîtement.

Figure 1. Diagramme du pilier numéro 2 montrant l'emplacement des ruptures (zones ombrées) (Source : Chemin de fer Canadien Pacifique, traduction du BST)



### Renseignements sur la voie

Les 4 voies traversant le pont étaient tangentes sur une pente ascendante de 0,217 % vers l'est. Du sud au nord, les voies étaient les suivantes :

- voie d'enclenchement signalisée P1 (soumise aux règles d'enclenchement) où la vitesse maximale autorisée était de 25 mi/h et qui était la voie principale en provenance et en direction du triage Alyth;
- voie non principale P2 (sur laquelle s'appliquait la règle 105 du *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* [REF]) où la vitesse maximale était de 10 mi/h;
- voie de triage « Old Ogden », voie non principale (soumise à la règle 105) où la vitesse maximale était de 10 mi/h;
- voie de triage « New Ogden », voie non principale (soumise à la règle 105 du REF) où la vitesse maximale était de 10 mi/h.

Les 4 voies étaient composées de rails de 136 livres posés sur des selles à double épaulement fixées à l'aide de crampons. Les rails de la voie P2 et de la voie Old Ogden reposaient sur la structure en bois d'œuvre du pont et n'étaient pas ancrés. Les rails de la voie New Ogden reposaient sur le prolongement à tablier ballasté de 1969 et étaient ancrés sur des traverses traitées. La voie P1 était formée de longs rails soudés (LRS), et les autres voies étaient composées de rails éclissés.

## *Dommmages au pont*

L'examen des lieux a permis de constater ce qui suit :

- À l'extrémité en amont du pilier numéro 2 (côté nord), il y avait une rupture relativement nette entre le pilier d'origine en pierre et le prolongement de 1912 en béton.
- L'extrémité en aval du pilier numéro 2, un prolongement de pilier en béton, s'était détachée à l'emplacement du raccordement avec le pilier d'origine en pierre et était tombée dans la rivière.
- L'extrémité ouest de la travée à armature prolongée en treillis numéro 2 et l'extrémité est de la travée à armature prolongée en treillis numéro 3 n'étaient plus soutenues et avaient subi des dommages importants.
- La membrure inférieure nord de la travée à armature prolongée en treillis numéro 2 était courbée.
- Les longerons, les pièces de pont, les raccords et les contreventements du platelage des travées à armature prolongée en treillis numéros 2 et 3 étaient courbés et tordus et s'étaient rompus à de nombreux endroits.
- Les éléments de l'appareil d'appui de la travée et les boulons d'ancrage sous le treillis sud, au pilier numéro 2, étaient absents.
- Les boulons d'ancrage de la travée sous le treillis nord, au pilier numéro 2, étaient courbés.
- Les rails qui se trouvaient sur la superstructure du pont étaient courbés et tordus, mais la plupart des traverses et autres éléments de la voie étaient récupérables (Photo 4).
- Hormis un déplacement latéral mineur de 10 à 20 mm entre les travées numéros 2 et 3 au-dessus du pilier numéro 2, le pont ballasté à poutres, à âme pleine et à tablier inférieur à 5 travées datant de 1969, en amont de l'ouvrage de 1912, n'avait pas été touché.

Photo 4. Tablier du pont au pilier numéro 2 : voies P1 et P2 après le retrait des wagons-citernes et pont Ogden Road en aval (en arrière-plan)



### *Chute de pluie et crue avant l'accident*

Au cours de la matinée du 20 juin, il était tombé 150 mm de pluie en 48 heures, à l'ouest de Calgary, près de Canmore (Alberta) et d'Exshaw (Alberta). De fortes averses sporadiques allant jusqu'à 20 mm/h avaient également été enregistrées. Des crues subites et des coulées de boue s'étaient produites dans plusieurs sections en amont du bassin de la rivière Bow.

Voici quelques-unes des stratégies d'atténuation des crues et des dommages subséquents adoptées par le CP et d'autres organismes :

- La subdivision Laggan du CP entre Calgary et le lac Louise (Alberta) a été la plus touchée par la pluie et la crue fluviale. Le 18 juin, le tablier du pont a été inondé à Exshaw (point milliaire 57,1). Le 19 juin, la voie a été emportée par les eaux à Cougar Creek près de Canmore (point milliaire 68,7).
- Les eaux ont recouvert la voie et les tabliers de pont, et les ponceaux ont été emportés par les eaux à de nombreux endroits entre le lac Louise et la ville de Calgary. On a dû dégager des arbres et des débris des ponceaux et des ponts.
- Près de Banff (Alberta), un ponceau plus large a été installé au point milliaire 78,3 pour évacuer l'eau afin de diminuer le niveau du réservoir de la centrale électrique du lac Minnewanka. C'était la première fois depuis sa construction en 1941 que de l'eau avait été évacuée du réservoir.
- Les eaux ont recouvert la Transcanadienne et ont provoqué sa fermeture, et inondé un transformateur à la centrale électrique Cascade, entraînant une coupure de l'alimentation à Banff et au lac Louise.
- De l'eau a été évacuée des réservoirs<sup>7</sup> derrière les barrages de Ghost Lake et de Bearspaw et aux centrales électriques, accélérant ainsi l'élévation du niveau de la rivière Bow.

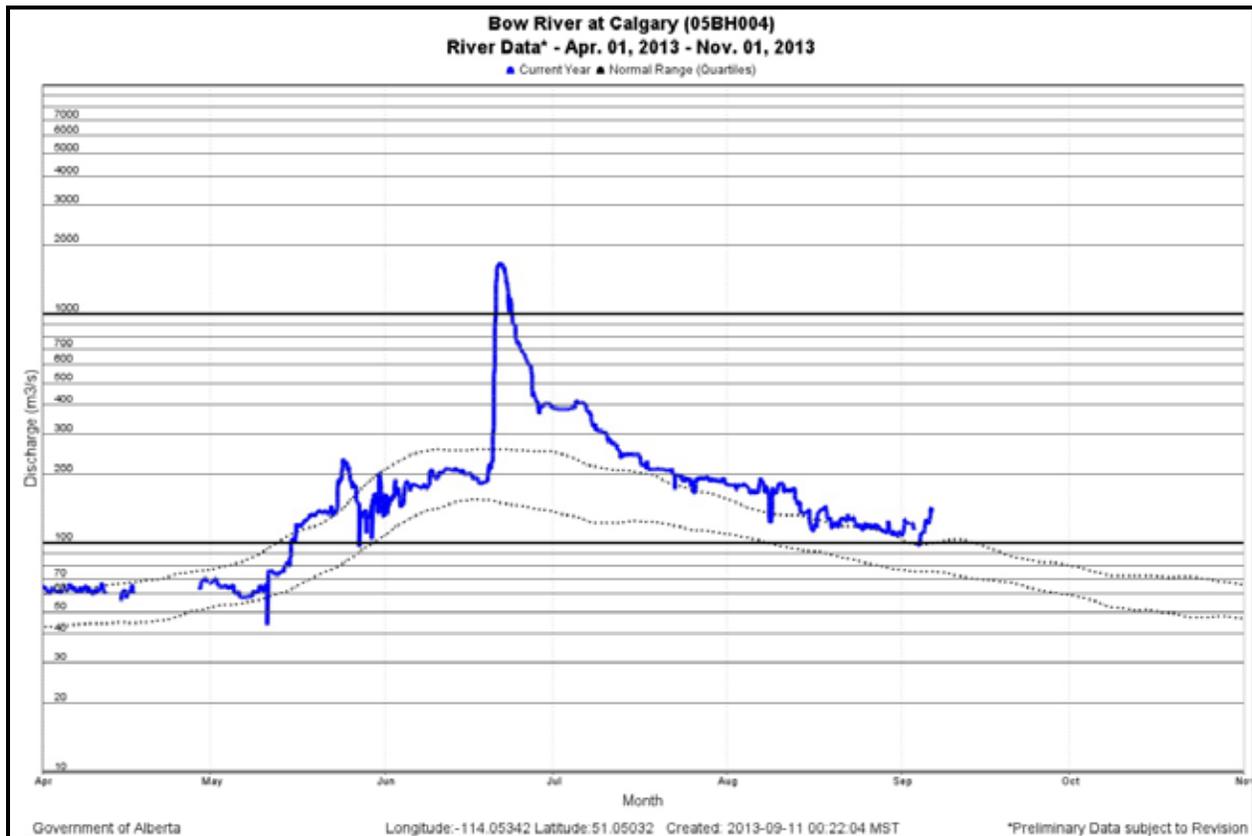
<sup>7</sup> Le cours supérieur de la rivière Bow se trouve dans les Rocheuses, en amont du lac Louise. Bien qu'il y ait un certain nombre de réservoirs de stockage dans le bassin en amont de Calgary, leur objet

- À Calgary, le CP surveillait le niveau d'eau sous ses ponts. La voie a été réparée à Edworthy Park (point milliaire 3,5) à la suite de l'emportement de la voie par les eaux. Tandis que le niveau d'eau montait, on a garé, par mesure de précaution, des wagons chargés sur plusieurs ponts pour éviter le soulèvement de la travée au cas où les eaux continueraient de monter. Comme les routes étaient fermées, la circulation était chaotique, ce qui compliquait davantage le transport des matériaux, des équipements et des employés.
- Le service a été interrompu dans la subdivision Laggan du 20 au 25 juin. La subdivision Crowsnest du CP a aussi été touchée au cours de cette période.

Le 20 juin, un certain nombre de précautions d'urgence ont été prises par la ville de Calgary, notamment :

- À 8 h 2, en raison du débit élevé de la rivière, la ville a amorcé le plan d'urgence municipal et ouvert un centre des opérations d'urgence servant de centre de commandement multi-agences de la ville pour les urgences à grande échelle. Les employés clés des services municipaux (comme le service d'incendie, le service ambulancier, les services de police et les services d'assainissement), de groupes externes (comme les services publics d'électricité et de gaz) et d'industries majeures (y compris le CP, les Alberta Health Services et d'autres organismes provinciaux) ont apporté leur soutien aux intervenants d'urgence de première ligne.
- À 10 h 16, la ville a déclaré un état d'urgence local et a commencé à distribuer des sacs de sable et à construire des bermes à des endroits clés, conformément aux directives de la Calgary Emergency Management Agency (CEMA).
- À 14 h 17, la ville a ordonné l'évacuation de 6 collectivités de Calgary le long de la rivière Elbow. Des points d'accueil ont été mis en place dans des centres de loisirs et récréatifs.
- À 18 h 43, on a donné un ordre d'évacuation pour les zones de faible altitude des districts de Bowness et de Sunnyside à Calgary. Des ordres d'évacuation ont été donnés pour d'autres zones de la ville, portant à 32 le nombre total de collectivités évacuées. Jusqu'à 80 000 habitants de Calgary ont été évacués.
- Le 21 juin, les rivières Elbow et Bow ont atteint leur plus haut niveau. On a enregistré un débit de 1740 mètres cubes par seconde ( $m^3/s$ ) pour la rivière Bow (Figure 2). On a fermé au moins 20 routes principales et aucun transport en commun ne desservait le centre-ville. Plusieurs bâtiments du centre-ville ont été fermés, y compris l'hôtel de ville de Calgary. Au total, 17 ponts enjambant les rivières Elbow et Bow ont été fermés.

Figure 2. Crue de la rivière Bow le 21 juin 2013 (Source : Gouvernement de l'Alberta, disponible en anglais seulement)



Remarque : Les données ont été relevées à partir d'un fluviomètre situé à environ 0,8 km en amont du confluent des rivières Bow et Elbow et à 7 km en amont du pont Bonnybrook. Ces données ne tiennent pas compte du débit provenant de la rivière Elbow. Les rivières Elbow et Bow ont atteint leur plus haut niveau le 21 juin.

Légende :

Bow River at Calgary (05BH004)	Rivière Bow à Calgary (05BH004)
River Data – Apr. 01, 2013 – Nov. 01, 2013	Données sur la rivière du 1er avril au 1er novembre 2013
Current year	Année en cours
Normal Range (Quartiles)	Amplitude normale (en quartile)
Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Débit (m <sup>3</sup> /s)
Apr	Avril
May	Mai
Jun	Juin
Jul	Juillet
Aug	Août
Sep	Septembre
Oct	Octobre
Nov	Novembre
Month	Mois
Government of Alberta	Gouvernement de l'Alberta
Longitude:-114.05342 Latitude: 51.05032	Longitude :-114.05342 Latitude : 51.05032
Created: 2013-09-11 00:22:04 MST	Créé : 2013-09-11 0h 22min 4s HNR
*Preliminary Data subject to Revision	*Données préliminaires pouvant être modifiées

Le 22 juin, les restrictions d'accès et les pannes d'électricité ont continué de toucher une grande partie du centre-ville.

Le 23 juin, les ordres d'évacuation ont été levés dans toutes les zones, sauf le centre-ville. Le débit des rivières Bow et Elbow avait énormément diminué.

Le 24 juin, certaines parties du centre-ville sont restées fermées et sans électricité. Environ 80 % du C-Train (système léger sur rail public) a été remis en service. Plusieurs routes sont restées fermées. La plupart des collectivités ont été partiellement ou totalement rouvertes, et le 28 juin, l'électricité avait été rétablie dans toutes les zones touchées.

### *Inspection du pont Bonnybrook pendant l'inondation à Calgary*

Pendant l'inondation à Calgary, il était impossible de mener une inspection sous l'eau du pont Bonnybrook à cause du volume d'eau, de la vitesse du courant et de la turbidité de la rivière. On a inspecté le pont au niveau de la voie. Outre les inspections officielles menées par des inspecteurs de ponts qualifiés, des employés des groupes Transport et Ingénierie du CP examinaient plusieurs fois par jour l'état du pont afin de surveiller les écarts d'alignement et d'élévation des rails et s'assurer qu'il n'y avait aucun mouvement.

Du 20 au 24 juin, les superviseurs en ingénierie du CP ont mené 18 inspections du pont (et ont mesuré la montée des eaux). Au plus fort de la crue (le 21 juin), le niveau d'eau avait monté à environ 8 pouces sous les poutres de pont (Photo 5 et Photo 6).

Photo 5. Pont Bonnybrook (vu de l'amont) le 21 juin, au plus fort de la crue (source : CP)

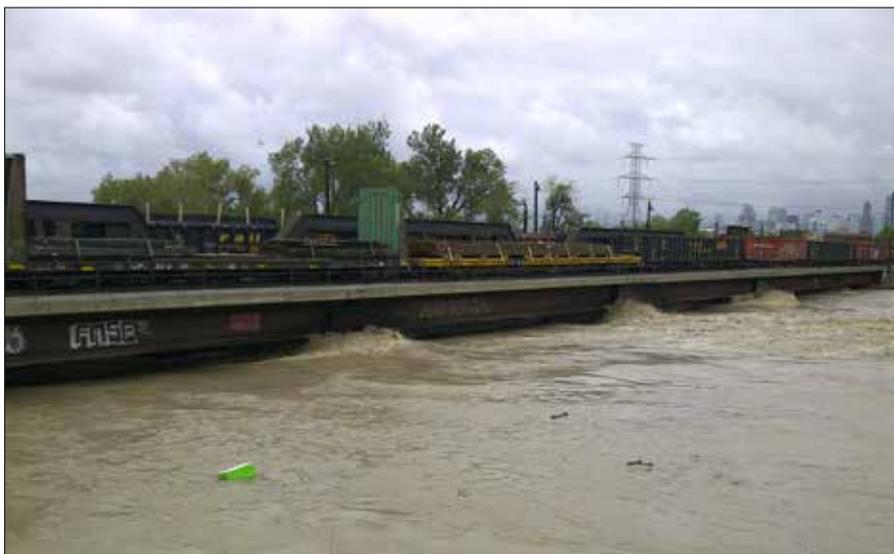


Photo 6. Pont Bonnybrook (vu de l'aval) le 21 juin. La flèche indique les eaux turbulentes en aval du pilier numéro 2.



Voici d'autres mesures prises à proximité des ponts du CP pendant la crue :

- rassembler l'équipement près des ponts pour retirer les débris qui s'accumulaient aux piliers des ponts;
- monter des enrochements<sup>8</sup> à l'emplacement des culées et de la rive;
- garer des wagons chargés sur les ponts pour éviter leur déplacement au cas où ils seraient heurtés par des débris ou le débit d'eau.

### *Inspection d'autres ponts pendant l'inondation à Calgary*

Pendant la crue, la ville de Calgary a mené les inspections suivantes :

- Tous les ponts de la ville enjambant les rivières Elbow et Bow ont été inspectés quotidiennement (et dans certains cas plusieurs fois par jour) pendant les premiers jours de l'événement. Les inspections visuelles consistaient à observer les signes de tassement des fondations<sup>9</sup> (désalignement vertical et horizontal le long des éléments du pont).
- Comme aucun mouvement n'avait été détecté, les dernières inspections quotidiennes des ponts de la ville ont été menées le 28 juin. La ville estimait alors que le niveau des eaux avait suffisamment baissé pour qu'aucun autre dommage ne se produise. On a alors rouvert tous les ponts de la ville.

---

<sup>8</sup> Les enrochements sont de grosses pierres utilisées pour éviter l'érosion hydrique.

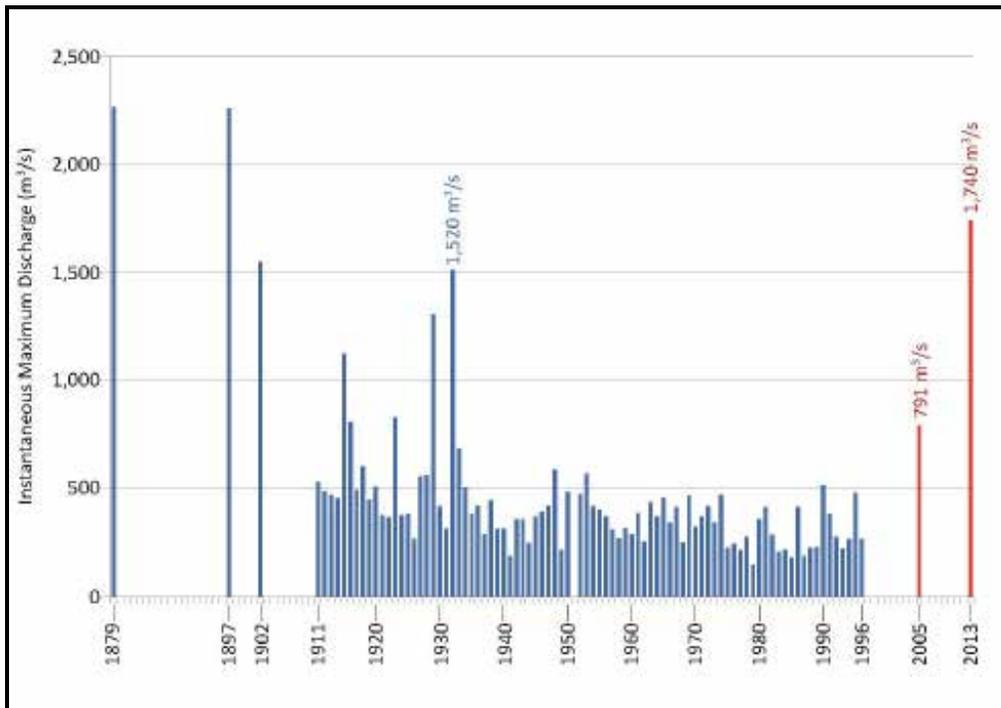
<sup>9</sup> Tous les ponts de la ville reposent sur (ou sont encastrés dans) l'assise rocheuse ou des pieux ou caissons enfoncés dans l'assise. La ville n'a pas de pont muni de semelles de fondation s'appuyant directement sur l'assise schisteuse, sous le sédiment alluvionnaire du fond de la rivière, comme le pont Bonnybrook du CP. On a jugé nécessaire de vérifier l'affouillement du lit pour effectuer une évaluation complète de l'état des ponts, et la ville a entrepris une inspection sous l'eau qui a eu lieu à l'été 2013.

## Historique des crues de la rivière Bow

Les rivières Red Deer, Bow, Oldman et Saskatchewan Sud font partie du bassin de la rivière Saskatchewan Sud, l'un des 7 principaux bassins fluviaux en Alberta. D'importantes crues de la rivière Bow se sont produites plusieurs fois depuis la fin des années 1800 (Figure 3), et les événements suivants ont eu lieu au cours de cette période :

- La plus grande inondation enregistrée à Calgary est survenue en 1879, mais il y avait alors peu d'infrastructures, et peu de gens ont été touchés.
- Une autre inondation importante s'est produite en juin 1897, lorsque la rivière Bow est sortie de son lit après plusieurs jours de pluie diluvienne. Des ponts ont été détruits et des bâtiments ont été inondés.
- D'autres inondations ont eu lieu en juin 1902, avec un débit de 1530 m<sup>3</sup>/s, et en juin 1929, avec un débit de 1320 m<sup>3</sup>/s.
- De fortes pluies en juin 1932 ont entraîné un débit de pointe de la rivière Bow de 1520 m<sup>3</sup>/s qui a inondé certaines parties de Calgary. La ville a eu de la chance cette année-là, car le barrage du réservoir de Glenmore, récemment construit, avait retenu la plupart des eaux de crue de la rivière Elbow.
- Une autre inondation majeure (791 m<sup>3</sup>/s) a eu lieu en juin 2005. Elle a fait 4 morts, et les pertes liées aux assurances et aux infrastructures se sont élevées à 400 millions de dollars. Selon Environnement Canada, l'année 2005 a été l'année la plus pluvieuse au Canada en 6 décennies.

Figure 3. Historique des crues de la rivière Bow (modifié d'après C.R. Neill et W.E. Watt, *Report on Six Case Studies of Flood Frequency Analysis* [2001], disponible en anglais seulement)



Légende :

Instantaneous Maximum Discharge (m<sup>3</sup>/s)

Débit maximal instantané (m<sup>3</sup>/s)

Le volume d'eau des rivières du sud de l'Alberta n'avait, dans la plupart des cas, jamais atteint le débit enregistré en 2013. L'annexe A montre les débits de pointe estimés.

### *Conditions météorologiques*

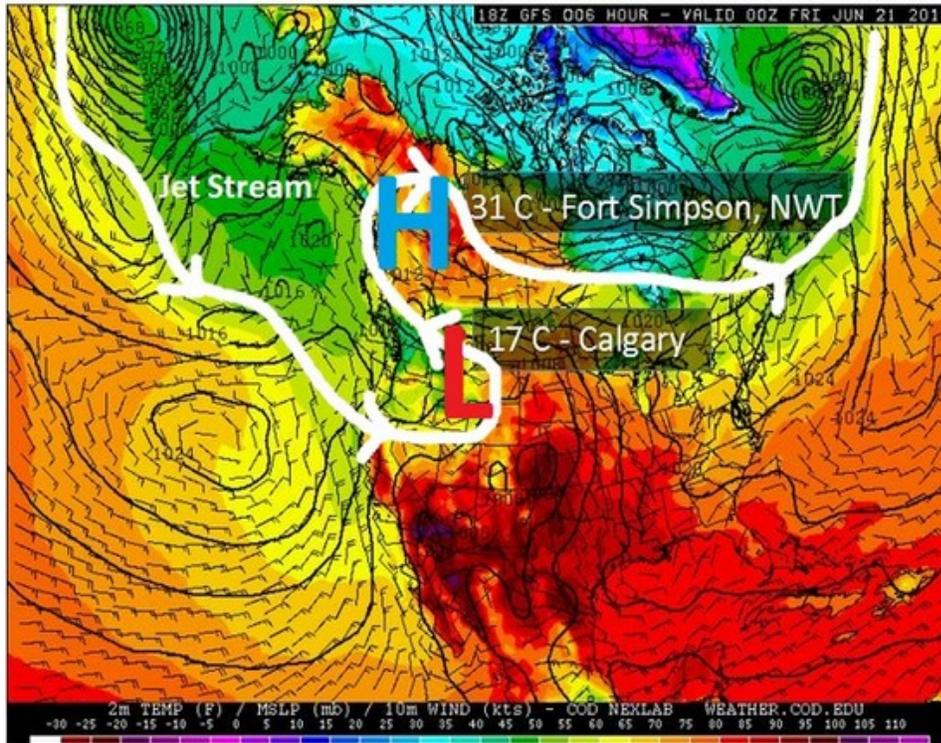
Au cours de la semaine précédant la crue, les météorologistes savaient que de gros orages et des pluies abondantes pouvaient survenir en Alberta. Les modèles informatiques suggéraient un régime climatique unique pouvant entraîner des crues.

Plus tôt au cours de la semaine, une situation météorologique inversée était apparue dans l'ouest de l'Amérique du Nord. Le mot « inversé » renvoie à un courant-jet dans lequel les températures sont plus élevées au nord qu'au sud.

Le courant-jet correspond au couloir plus ou moins continu de vents violents de haute altitude (à l'altitude de croisière d'un avion de passagers) qui se déplace d'ouest en est à latitude moyenne. Le courant-jet qui dicte les variations météorologiques hebdomadaires connaît d'importantes variations (ce que les météorologistes nomment des « dorsales barométriques » et des « creux barométriques »).

Quelquefois, le courant-jet est coincé ou « bloqué ». C'est ce qui s'est passé dans l'ouest de l'Amérique du Nord au cours de la semaine du 16 juin. La « crête » importante, ou dorsale barométrique, du courant-jet a entraîné une chaleur record en Alaska et un temps chaud dans certaines parties du nord du Canada. Elle a empêché une forte dépression dans le courant-jet de se déplacer rapidement d'ouest en est. Dans la figure 4, le « H » (en bleu) correspond à la haute pression ou à la « crête » du courant-jet, tandis que le « L » (en rouge) correspond à la basse pression, soit le « creux » du courant-jet.

Figure 4. Systèmes météorologiques au-dessus de Calgary le 21 juin (source : The Weather Network, disponible en anglais seulement)



Légende :

Jet Stream	Courant-jet
31 C – Fort Simpson, NWT	31° C – Fort Simpson, T.N.-O.
17 C - Calgary	17° C - Calgary

Comme les vents soufflaient dans le sens antihoraire autour de ce système de basse pression, un canal d'air très humide est parti du golfe du Mexique pour arriver en Alberta. Ce flux de vapeur d'eau atmosphérique s'est déplacé vers le nord puis vers l'est au-dessus des contreforts et des Rocheuses, s'élevant, se refroidissant, se condensant et déversant de grandes quantités de pluie.

En outre, une fonte des neiges tardive mais rapide à haute altitude des Rocheuses a contribué à la crue.

### *Prévisions météorologiques du Chemin de fer Canadien Pacifique*

Le système RailWIS (Rail Weather Information System) a été créé pour le CP. Il s'agit de son système de surveillance des dangers météorologiques et d'alerte. Le système sert depuis des années d'outil d'aide à la décision du chemin de fer en cas d'événement hydrométéorologique extrême. Ses éléments sont les suivants<sup>10</sup> :

- surveillance en temps réel et appels concernant les variables météorologiques critiques dans le corridor;

<sup>10</sup> Description adaptée du site de RadHyPS (en ligne), RailWIS (2008), disponible à l'adresse <http://www.radhyyps.com/RailWIS.htm> (dernier accès le 14 novembre 2014).

- alertes de temps violent automatisées pour les seuils opérationnels clés, y compris les températures extrêmes, les vents violents et les gros orages;
- mises en garde automatisées à qualité contrôlée émises par Environnement Canada et le National Weather Service des États-Unis;
- courriels et appels sur les possibilités de glissements de terrain et les crues éclair;
- rapports hydrométéorologiques spécialisés sur les conditions majeures, locales et pour l'ensemble du réseau, y compris les rapports sur les conditions météorologiques en cours et prévues, les crues et les possibilités d'avalanche;
- diffusion ciblée des alertes de temps violent, des avertissements météorologiques et des rapports hydrométéorologiques (y compris la gestion continue des listes de distribution par courriel utilisées pour l'envoi d'avis) d'après la topologie des voies et du réseau (régions, divisions et subdivisions) et la structure de gestion opérationnelle;
- accès par le Web à un portail de données exhaustives contenant de l'information géospatiale ainsi que des renseignements sur les menaces relatives aux voies et au réseau, comme les alertes de temps violent et les mises en garde en vigueur;
- services de soutien hydrométéorologique 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 pour obtenir des conseils spécialisés sur les conditions météorologiques, le climat et l'hydrologie.

Avant l'événement à l'étude (du 18 au 21 juin), le CP avait été averti par RailWIS qu'il y aurait des chutes de pluie et des orages violents. Aucune alerte de temps violent n'avait été émise.

### *Surveillance réglementaire de la sécurité des ponts ferroviaires*

Afin de gérer la sécurité des ponts conformément au *Règlement sur le système de gestion de la sécurité ferroviaire*, les compagnies ferroviaires adoptent un programme de gestion de la sécurité des ponts (PGSP) qui prévoit, au minimum, une inspection annuelle des ponts, l'établissement de leur capacité de chargement sécuritaire et la tenue d'inspections particulières si les conditions météorologiques (comme la crue des eaux) ou d'autres conditions l'exigent.

Transports Canada (TC) a élaboré le *Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts* en consultation avec l'industrie ferroviaire. Ce manuel de référence a été publié pour la première fois en février 2011, et la version la plus récente date de février 2012. Le manuel expose les attentes de TC et les pratiques exemplaires de l'industrie en ce qui a trait au PGSP. Peu après la publication de ce document, les chemins de fer ont été priés de présenter un calendrier de mise en place progressive pour leur PGSP.

TC a créé un outil d'évaluation pour aider ses inspecteurs à évaluer le PGSP d'un chemin de fer, intitulé *Analyse de l'écart : Mise en œuvre du programme de gestion de la sécurité des ponts*.

Le programme de gestion des ponts de TC prévoit des activités de surveillance de la conformité portant sur les 4 volets suivants :

1. Création du PGSP,
2. Volet A : Programme d'inspection fonctionnelle,
3. Volet B : Gestion de la sécurité et du programme,
4. Volet C : Inspections commandées par les nouveaux enjeux et les occasions de le faire.

Les inspections de la Sécurité ferroviaire de TC sont normalement menées par les bureaux régionaux. Une inspection type d'un pont consiste en un examen des registres d'inspection et d'entretien du pont en question suivi d'une visite sur place.

Les activités de surveillance réglementaire de TC comprennent les volets A, B et C qui sont définis comme suit [traduction] :

Les activités de surveillance du volet A sont des inspections et des vérifications par échantillonnage menées pour appuyer les programmes d'inspection et de vérification des disciplines fonctionnelles. Élaborés tous les ans conformément à des modèles ou critères de planification spécifiques et fonctionnels, les plans d'inspection du volet A s'appuient sur des méthodes d'échantillonnage statistiques qui tiennent compte du risque environnemental. Le volet A est un programme national géré par l'administration centrale et mis en œuvre par les 5 bureaux régionaux. Pour la surveillance des ponts ferroviaires, l'administration centrale de Transports Canada (TC) sélectionnera 5 subdivisions par région par an et établira pour celles-ci un point milliaire de départ. Les bureaux régionaux de TC choisiront 7 ponts ferroviaires consécutifs à partir des subdivisions sélectionnées et des points milliaires de départ pour un total de 35 ponts, y compris tous les ouvrages supérieurs situés dans la zone d'inspection en question.

Les activités de surveillance du volet B correspondent aux inspections et aux vérifications établies pendant le cycle annuel de planification des activités fondée sur les risques (prévues avant le début de l'exercice). Elles visent à régler les conditions, les activités ou les questions qui représentent, ou pourraient représenter un risque pour la sécurité ou encore, un embarras ou une de perte de temps, d'argent, de respect ou de confiance pour le ministre, le ministère, ou le programme de Sécurité ferroviaire.

Les activités de surveillance du volet C correspondent aux inspections et aux vérifications menées par suite de problèmes survenus après le 1er avril (imprévues au début de l'année). Elles visent à résoudre les nouveaux problèmes et à prescrire des inspections lorsque les occasions de le faire se présentent<sup>11</sup>.

Normalement, les inspections du volet C sont établies par les bureaux régionaux et déclenchées par

- des plaintes et des enquêtes,
- le suivi de l'application des lois,
- une inspection à la suite d'un danger naturel,
- une inspection à la suite d'un déraillement ou d'un accident,

---

<sup>11</sup> Description de la surveillance réglementaire de la sécurité des ponts ferroviaires, tel qu'indiqué dans une lettre de Luc Bourdon, directeur général, Sécurité ferroviaire de Transports Canada à Wendy Tadros, présidente du BST (25 juillet 2014).

- une inspection à la suite d'une demande de la direction ou du ministère,
- une inspection liée à une demande d'exemption, à l'approbation de travaux ferroviaires, etc.

### *Programme de gestion de la sécurité des ponts ferroviaires*

Les protocoles d'inspection des ponts du CP s'appuyaient sur le programme de gestion de la sécurité des ponts ferroviaires (PGSP) de l'entreprise, entré en vigueur le 14 mars 2011. Le CP a élaboré son PGSP conformément au *Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts* de TC.

Le CP tient à jour un répertoire de ses ponts dans une base de données électronique. La base de données comprend tous les ponts comportant un tablier qui, peu importe sa longueur, soutient une ou plusieurs voies ferrées. Les autres ouvrages souterrains (comme les tunnels) d'une longueur d'au moins 3 m (10 pieds) sont aussi inclus dans la base de données. Les données sur les ponts sont les suivantes : subdivision, point milliaire, type de pont, nombre de travées, longueur du pont, type de tablier et matériau; numéro de travée, longueur, type et composants et année de construction; type de culée et matériau; et numéro de pilier, type et matériau.

Le PGSP du CP comprend les éléments suivants :

- L'inspection annuelle des ponts vise à garantir l'intégrité structurelle et la sécurité de l'exploitation, et à établir les exigences d'entretien et de réparation ainsi que les inspections périodiques ou détaillées nécessaires. Elles doivent avoir lieu au moins une fois par année civile, et il ne doit pas s'écouler plus de 540 jours entre 2 inspections consécutives. Toutes les inspections annuelles de ponts doivent être menées ou supervisées directement par un inspecteur de ponts qualifié.
- L'inspection périodique des ponts vise à surveiller l'état matériel et la dégradation des ponts qui doivent faire l'objet d'un examen périodique en plus des inspections annuelles prévues.
- Les employés du Service de l'ingénierie mènent des inspections brèves au cours de l'exécution de leurs tâches normales. Ces inspections ne sont normalement pas consignées dans la base de données sur l'inspection des ponts.
- L'ingénieur ou le surintendant de la division effectue chaque année une vérification de l'inspection des ponts. Pour cela, il examine un échantillon représentatif des rapports d'inspection des ponts pour vérifier le répertoire et l'état matériel enregistré. Il consigne ensuite cette vérification dans la base de données sur l'inspection des ponts.
- On surveille et évalue à des intervalles d'au plus 3 ans les vérifications de l'efficacité des dispositions du PGSP quant à la tenue du répertoire des ponts, aux qualifications du personnel participant à l'évaluation des ponts et aux pratiques d'inspection.

### *Inspection des ponts sous l'eau*

La section 3.2.2.1.3.1 du PGSP du CP indique la fréquence requise des inspections sous l'eau des ponts. Plus particulièrement, il faut inspecter les infrastructures de pont dans le cours d'eau ainsi que l'état du lit du cours d'eau comme il suit :

- Après un régime de crue, et lorsqu'un pont peut avoir subi des dommages après une crue ou d'autres régimes de débit extrêmes, il faut procéder à une inspection ponctuelle des fondations du pont et du lit du cours d'eau.
- Une inspection annuelle est requise pour les ponts critiques (ponts qui enjambent des cours d'eau au débit extrêmement rapide, ponts qui ont déjà connu un affouillement ou une crue, ponts munis de semelles de fondation posées sur un lit érodable et ponts où s'accumulent de la glace et des débris).
- Une inspection est requise tous les 2 ans pour les ponts dont les semelles sont détériorées ou exposées, les ponts dont les ouvrages de protection contre les affouillements sont détériorés ou les ponts dont les infrastructures se trouvent dans des chenaux instables présentant un potentiel d'affouillement connu (affouillement dû à la direction et à la rapidité du débit, à l'accumulation de débris et de sédiments, au souffle des hélices, à la formation de glace ou aux débits de crue récents).
- Tous les ponts comportant des infrastructures dans des cours d'eau doivent être inspectés tous les 5 ans.

La section 3.2.2.1.3.2 du PGSP du CP indique les types d'inspections sous l'eau. Les inspections sous l'eau sont visuelles (elles se font à l'œil nu, à l'aide d'un appareil-photo ou d'une caméra vidéo) ou tactiles (utilisation d'une sonde ou d'un sonar). Elles ont lieu à des intervalles appropriés et visent à évaluer l'état structurel des infrastructures et l'état d'affouillement du lit du cours d'eau. Selon l'état du cours d'eau et de l'ouvrage, les inspections visuelles ou tactiles peuvent être des inspections de routine ou détaillées. Voici les types d'inspections sous l'eau établis dans cette section du PGSP :

- Une inspection visuelle de routine consiste à inspecter l'état des éléments de l'infrastructure sous l'eau et du cours d'eau en période d'étiage. Elle est souvent menée à partir de la rive ou à partir du pont.
- Une inspection visuelle détaillée est une inspection visuelle sous l'eau des éléments de l'infrastructure et de l'état du lit du cours d'eau près des infrastructures. Dans les eaux profondes, il peut être nécessaire de recourir à des plongeurs qualifiés munis de caméras sous-marines.
- Une inspection tactile de routine sous l'eau a pour but d'examiner l'état de l'infrastructure sous l'eau et de l'affouillement du cours d'eau en réalisant un sondage à partir de la surface.
- Pour mener une inspection tactile détaillée des infrastructures sous l'eau, on utilise le toucher, des outils de mesure et des techniques d'essai non destructif, comme l'imagerie par sonar ou l'échantillonnage. Pour effectuer une inspection tactile détaillée de l'état du lit du cours d'eau, on utilise des sondeurs à ultrasons (échosondeurs). Dans les eaux profondes, il peut être nécessaire de recourir à des plongeurs qualifiés.

La section 3.2.2.1.3.3 du PGSP du CP précise la fréquence des inspections sous l'eau en fonction du débit du cours d'eau, de la possibilité d'affouillement et de crue, et de l'incidence des navires. D'après la matrice factorielle, la fréquence d'inspection du pont Bonnybrook était la suivante :

- L'infrastructure doit faire l'objet d'une inspection visuelle de routine sous l'eau tous les 5 ans.

- Les inspections tactiles détaillées et de routine sont discrétionnaires.

Le pont Bonnybrook était classifié ainsi pour 3 raisons : le débit de la rivière Bow n'est élevé qu'au printemps; les semelles des piliers sont clairement visibles pendant les périodes d'étiage; le pont n'avait jamais connu d'affouillement.

La section 3.2.2.2.2 du PGSP du CP indique que si un pont a subi des dommages à cause d'un contact avec du matériel ferroviaire ou des chargements, des véhicules routiers, des navires, des débris entraînés par le courant ou à cause d'un déraillement, d'une crue ou d'un incendie, il faut entreprendre une inspection ponctuelle. En ce qui concerne le pont Bonnybrook, une inspection a eu lieu après la crue de 2005.

### *Affouillement des ponts*

L'affouillement des ponts correspond à l'érosion du sol ou d'un autre matériau d'appui autour du pied d'un pilier ou d'une culée de pont. Il est ordinairement causé par un débit d'eau ou un écoulement glaciaire excessif. Il existe 2 types d'affouillement local de pont :

- Affouillement en eau claire, au cours duquel aucun sédiment du lit de la rivière n'est transporté de l'amont jusqu'à la traversée<sup>12</sup>. Il forme une fosse d'affouillement que l'on peut voir lors d'une inspection après la crue.
- Affouillement de lit à fond mobile, au cours duquel les sédiments du lit de la rivière provenant de l'amont sont transportés vers la traversée. Il se peut que la fosse formée par l'affouillement de lit à fond mobile ne soit pas visible lors d'une inspection après la crue. Dans ce type d'affouillement de pont, la fosse atteint sa profondeur maximale au plus fort de la crue. Elle se remplit partiellement ou complètement tandis que la crue diminue.

Le mécanisme de base qui cause l'affouillement local du pont est la formation de tourbillons (phénomène connu sous le nom de « vorticité ») au pied d'une obstruction (comme un pilier ou une culée). Cette vorticité est due à l'accumulation d'eau sur la surface en amont de l'obstruction et de l'accélération subséquente du débit autour de l'obstruction. Sous l'effet du tourbillon, le lit de la rivière s'érode autour du pied de l'obstruction. Lorsque le sédiment disparaît autour de la base à un rythme plus rapide que le dépôt des sédiments dans la même zone, une fosse d'affouillement se crée.

### *Inspections du pont Bonnybrook*

L'inspecteur de ponts affecté à la division de Calgary du CP était chargé d'inspecter tous les ans le pont Bonnybrook et de mener au moins 3 inspections brèves par mois de ce pont. Des inspections étaient aussi menées chaque fois que des travaux d'entretien et de réparation avaient lieu sur le pont. Le superviseur des ponts dans cette division était également un inspecteur de ponts pleinement qualifié qui avait suivi une formation et possédait une grande expérience.

La dernière inspection tactile d etaill e connue du pont Bonnybrook a eu lieu en 1987. La dernière grande crue de la rivière Bow a eu lieu en juin 2005. Conformément au PGSP du CP,

---

<sup>12</sup> Le mot « travers e » renvoie à l'endroit où le pont enjambe la rivière.

une inspection visuelle des fondations du pont Bonnybrook a été menée après la crue lors de l'inspection annuelle en période d'été. Les résultats de l'inspection menée après la crue de 2005 ont indiqué qu'aucun affouillement n'avait eu lieu.

Bien que plusieurs inspections visuelles concernant les écarts de surface et d'alignement aient été menées entre le 20 et le 24 juin, la dernière inspection annuelle du pont Bonnybrook avant l'accident avait eu lieu le 13 septembre 2012. L'état de chaque composant du répertoire des ponts a été évalué à l'aide de l'échelle des cotes illustrée au tableau 2.

Tableau 2. Échelle des cotes utilisée pour évaluer l'état des composants du pont

Cote de l'état des composants	Description de l'état
0	Sans objet
1	Très bon
2	Bon
3	Satisfaisant
4	Mauvais
5	Très mauvais
9	Nécessite une attention immédiate

Au cours de l'inspection de septembre 2012, l'affouillement du pont était coté à 2 (c'est-à-dire « bon »). On n'a relevé aucune autre anomalie. Cette cote d'affouillement a été attribuée à la suite de l'examen du lit de la rivière à proximité du pilier et des culées lorsque le niveau d'eau était bas. Aucune mesure concernant l'infrastructure n'a été recommandée par suite de l'inspection de 2012.

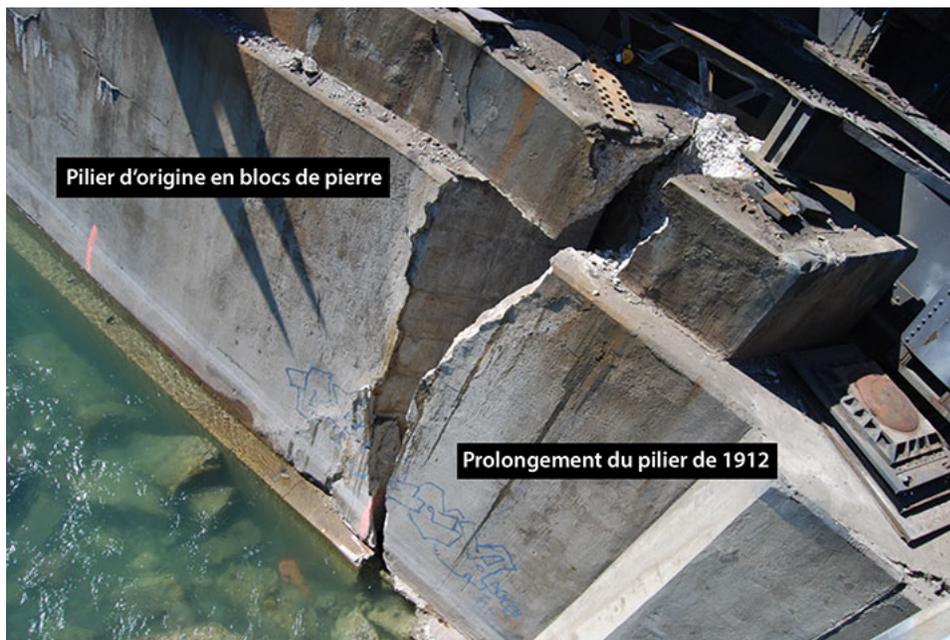
### *Examen du pont Bonnybrook effectué après l'accident*

Des photos prises après l'accident, le 4 septembre 2013, lorsque le niveau de la rivière avait baissé, montrent que le prolongement en amont de 1912 s'est détaché du pilier d'origine en pierre (Photo 7 et Photo 8). On peut également voir la plaine alluvionnaire sur ces photographies. Pendant certains mois secs (comme le mois de septembre), les fondations du pilier numéro 2 peuvent se trouver complètement hors de l'eau.

Photo 7. La flèche montre l'appareil d'appui non soutenu de la travée (débit de la rivière de droite à gauche)



Photo 8. Détachement du prolongement de pilier de 1912 du pilier d'origine en pierre



La photo 9 (prise en septembre 2013) montre une barre rocheuse qui s'est déposée en aval sous le pont Ogden Road. Certains morceaux de l'assise qui s'étaient déposés à cet endroit provenaient probablement de la partie inférieure et du pourtour du pilier numéro 2 du pont Bonnybrook.

Photo 9. Dépôt de morceaux de l'assise et de gravats sous le pont Ogden Road, en aval du pont Bonnybrook



### *Inspection sous l'eau du pont Bonnybrook après la crue*

Pendant la crue, il était impossible d'effectuer une inspection sous l'eau du pilier numéro 2 du pont Bonnybrook à cause du volume et du débit élevés des eaux de crue silteuses. Toutefois, le 28 juin 2013 (après l'accident), on a réalisé un levé bathymétrique<sup>13</sup>. Le levé a permis de détecter une fosse d'affouillement en aval du pilier numéro 2. Les images du levé ont indiqué qu'un affouillement de plus de 1 m avait eu lieu en aval du pilier numéro 2, et qu'il y avait un affouillement beaucoup moins important autour des autres piliers.

Un levé bathymétrique subséquent a eu lieu à la fin du mois d'août 2013, lorsque le niveau d'eau avait baissé et que le débit était revenu à son niveau normal. On a aussi réalisé un relevé par sonar (acoustique) du lit de la rivière et du côté ouest du pilier numéro 2 (Photo 10 et Photo 11). On a eu recours à un plongeur pour évaluer l'étendue de l'affouillement. On a établi que la crue de juin avait créé une importante fosse d'affouillement du côté ouest (c'est-à-dire à l'extrémité en aval) du pilier numéro 2 et dans le chenal de la rivière, entre les piliers numéros 2 et 3.

---

<sup>13</sup> La bathymétrie est l'étude du « lit » ou du « fond » des plans d'eau, y compris l'océan, les rivières, les ruisseaux et les lacs.

Photo 10. Image sonar du côté ouest du pilier numéro 2 montrant l'étendue de l'affouillement



Photo 11. Points de chute pour les coupes transversales par sonar du côté ouest du pilier numéro 2

### Points de chute du côté ouest du pilier n° 2



Le tableau 3 résume les résultats du relevé par sonar au pilier numéro 2. Les images sonar pour les points de chute numéros 2, 3 et 4 sont présentées à l'annexe B.

Tableau 3. Étendue de l'affouillement du côté ouest du pilier numéro 2

N° du point de chute du sonar	Profondeur jusqu'au lit de la rivière au creux de l'affouillement (m)	Profondeur de subduction* (m)	Longueur de subduction (m)
2	4,748	0,984	1,647
3	4,726	0,962	1,219
4	5,026	1,305	1,112

\* Profondeur de dégagement ou d'érosion

L'affouillement ou le dégagement du pilier numéro 2 représentait de 33 % à 49 % de la largeur du prolongement de 3,353 m du pilier.

### *Intervention d'urgence à la suite de l'effondrement du pont et du déraillement*

Après l'effondrement du pont et le déraillement, les activités d'intervention d'urgence suivantes ont été déclenchées :

- Le personnel du CP (spécialisés en ouvrages, en géotechnique et en ingénierie) a évalué les dommages des wagons déraillés, de la voie, du pont et du pilier, et installé le poste de commandement au triage Alyth.
- Le centre de communication des Services de police du CP a averti les services de police de Calgary à 3 h 43 et le service d'incendie de Calgary à 3 h 47.
- Le service d'incendie de Calgary a installé son poste de commandement près du triage Alyth. Un centre de commandement unifié en cas d'incident a été mis en place avec le CP et d'autres intervenants. Le service d'incendie de Calgary a pris le commandement et le contrôle du site, car on considérait que l'accident représentait une menace potentielle pour la santé publique et l'environnement.
- Après l'arrivée du service d'incendie de Calgary, l'accès au pont a été restreint, y compris pour le personnel du CP. Seuls le service d'incendie de Calgary et les intervenants en cas de déversement de marchandises dangereuses ont pu accéder aux lieux de l'accident.
- À 5 h, craignant que l'ouvrage ne s'effondre complètement et que les wagons-citernes ne tombent dans la rivière, la ville a ordonné une évacuation dans un rayon de 0,5 mille (800 m). Comme la zone était avant tout industrielle, l'ordre d'évacuation touchait principalement des entreprises, mais il a aussi entraîné la fermeture du Deerfoot Trail à proximité (principale autoroute nord-sud de Calgary).

Le bulletin de composition du train remis par le chef de train contenait des renseignements sur le numéro des wagons, leur position, le type de wagon d'après l'Association of American Railroads (AAR), la marchandise transportée, le numéro UN des marchandises dangereuses, l'état vide ou chargé, l'expéditeur, le destinataire et les codes unifiés des marchandises (Standard Transportation Commodity Codes). Les membres de l'équipe de train et les

Intervenants d'urgence pour les marchandises dangereuses possédaient une copie du *Guide des mesures d'urgence* publié par TC, guide destiné aux premiers intervenants au cours de la phase initiale d'un incident de transport mettant en cause des marchandises ou des matières dangereuses. Dans le bulletin de composition, le contenu des wagons 65 à 68 était désigné par le numéro de code NA 1993, liquide inflammable n. s. a. (non spécifié ailleurs). Le numéro d'identification du produit à 4 caractères, connu sous le nom de « numéro UN (Nations Unies) ou NA (nord-américain) », et la catégorie de danger indiquée sur la plaque des wagons regroupent beaucoup de produits et peuvent comprendre différents hydrocarbures ayant une composition chimique semblable mais nécessitant une intervention différente. Les feuilles de route condensées remises par l'expéditeur, Imperial Oil, indiquaient que le produit était du distillat de pétrole.

Le service d'incendie de Calgary n'a communiqué ni avec le CANUTE<sup>14</sup> ni avec le CHEMTREC<sup>15</sup> pour obtenir des renseignements sur les produits contenus dans les wagons déraillés. Le produit des wagons-citernes a rapidement été identifié dès que le CP a transmis la fiche de données de sécurité. Celle-ci confirmait que les wagons 65 à 68 contenaient du distillat intermédiaire de craquage catalytique, communément appelé « essence naturelle ». L'identification de la concentration de sulfure d'hydrogène a été un peu plus longue; on a pris connaissance de cette information lorsque l'équipe du service d'incendie de Calgary chargée des marchandises dangereuses a communiqué avec le laboratoire de raffinerie.

Dès qu'on a établi que le pont s'était stabilisé, le CP et les intervenants d'urgence de la ville se sont concertés afin de déterminer comment retirer les wagons du pont en toute sécurité. On a retiré les wagons comme suit :

- On a dételé les wagons 69 et 70 l'un de l'autre et retiré du pont l'extrémité ouest du train 292.
- On a remis le 63e wagon sur les rails et retiré du pont l'extrémité est du train. Ainsi, 6 wagons (les wagons 64 à 69) sont restés attelés (le wagon 64 se trouvait à l'extrémité est du pont, les wagons 65 à 68 étaient sur le pont, et le wagon 69 se trouvait à l'extrémité ouest du pont mais n'était pas déraillé).
- Les locomotives et les wagons d'accès<sup>16</sup> ont été attelés aux extrémités est et ouest de ce groupe de 6 wagons afin de servir de dispositif d'ancrage.
- Les wagons ont été reliés ensemble au cas où le pont s'effondrerait complètement. On a ensuite décidé de décharger les wagons-citernes avant de les retirer du pont. Le CP et les ingénieurs de la ville ont estimé que le pont de 1969 adjacent était suffisamment sécuritaire pour qu'on y place des wagons-citernes vides en vue du déchargement.

<sup>14</sup> Le CANUTE<sup>14</sup> est le Centre canadien d'urgence transport exploité par la direction du Transport des marchandises dangereuses (TMD) de Transports Canada. Le mandat général de cette direction est de promouvoir la sécurité publique dans le transport des marchandises dangereuses par tous les moyens de transport.

<sup>15</sup> Le CHEMTREC sert de ressource accessible à toute heure pour obtenir immédiatement des renseignements essentiels pour les interventions dans des incidents mettant en cause des marchandises et des produits dangereux. CHEMTREC est relié au plus grand réseau d'experts en produits chimiques et dangereux du monde, y compris des spécialistes en produits chimiques et en intervention, des services publics d'urgence et des entrepreneurs privés.

<sup>16</sup> On utilise les wagons d'accès pour faciliter l'attelage à d'autres wagons sur une longueur de voie où il est préférable que la voie ne subisse pas le poids d'une locomotive. Les wagons d'accès sont normalement vides ou peu chargés.

- Une fois le plan en place, le périmètre d'évacuation a été réduit, et le Deerfoot Trail a été rouvert à la circulation à 14 h. Le déchargement des 6 wagons a commencé à 17 h 55 et a pris fin à 23 h 30.
- On a dételé les wagons 67 et 68 en coupant la barre d'attelage qui les reliait et utilisé 2 tracteurs sur pneumatiques à flèche latérale pour soulever les extrémités des wagons 67 et 68 qui étaient tombés à travers le tablier du pont. On a alors retiré les wagons 64 à 67 du pont en les tirant vers l'est et éloigné les wagons 68 et 69 du pont en les tirant vers l'ouest. Cette opération a été exécutée de manière sécuritaire, sans blessures ni déversement de produit, à 2 h, le 28 juin.

L'ordre d'évacuation a été annulé à 2 h 15 le 28 juin, et la circulation ferroviaire a repris à 3 h 45 sur le pont de 1969 qui restait en place.

## *Analyse*

Lors de l'événement, la conduite du train n'a pas été considérée comme un facteur. Rien n'indiquait qu'une anomalie mécanique liée au matériel roulant aurait entraîné l'accident. L'analyse portera donc sur l'effondrement du pont, son inspection, son entretien, l'affouillement et l'intervention d'urgence.

### *L'accident*

Tandis que le train 292 se dirigeait vers l'est et traversait le pont Bonnybrook, ce dernier s'est effondré sous le train, provoquant le déraillement de 6 wagons. Cet effondrement est attribuable à l'affouillement qui a entraîné une perte du support de la fondation du pilier numéro 2. Par suite de l'effondrement de la fondation, le prolongement en béton construit en aval en 1912 s'est complètement détaché du pilier d'origine en blocs de pierre.

Les fondations du pilier d'origine en blocs de pierre et des 2 prolongements de 1912 en béton, en aval et en amont, reposaient sur des semelles de fondation placées sur le schiste et le grès du fond de la rivière. Les semelles de fondation avaient été mises en place conformément aux techniques de construction d'alors. La majeure partie des fondations du prolongement de pilier reposait sur l'assise de schiste ou de grès, et une petite partie de l'extrémité en aval des fondations du prolongement de pilier se trouvait sur un gisement d'argile. Le pont avait subi plusieurs crues majeures au cours des 100 dernières années. Cette fois, cependant, la crue intense et sans précédent a attaqué la fondation en schiste, en grès et en argile du pilier en l'érodant et en l'affouillant. L'affouillement du pont s'est poursuivi jusqu'à ce que le prolongement de pilier de 1912 en béton, en aval, perde son support, se détache du pilier d'origine en pierre sous le train 292, et tombe dans la rivière.

La semelle du prolongement en béton qui était reliée à l'aide de barres de renfort à une fausse semelle placée autour du pilier d'origine avait probablement jusque-là empêché le prolongement de pilier de 1912 en béton, en aval, de tomber. L'absence de clavettes ou de dispositifs d'ancrage entre le pilier d'origine en blocs de pierre et le prolongement de 1912 en amont a entraîné une rupture nette de ce dernier sans autre dommage au pilier de pont de 1969.

Le pilier numéro 2 reposait sur du schiste, et une petite partie de l'extrémité en aval s'appuyait sur de l'argile. Bien que le schiste et l'argile ne soient pas des matériaux de fondation idéaux, ils peuvent constituer une fondation solide ou efficace s'ils sont continus et enserrés. Le pilier numéro 2 datait d'environ 1897 et avait été prolongé en 1912. L'assise de schiste et de grès qui le soutenait est restée efficace et enserrée pendant plus d'un siècle avant de se rompre sous la force exercée par la crue.

### *Inspection et entretien du pont*

Les ponts sont des éléments essentiels de l'infrastructure ferroviaire qui nécessitent des inspections et des entretiens fréquents et complets. Les protocoles ordinaires d'inspection et d'entretien du Programme de gestion de la sécurité des ponts ferroviaires (PGSP) du Chemin de fer Canadien Pacifique (CP) correspondent fidèlement au *Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts* de Transports Canada (TC). Les inspections menées sur le pont Bonnybrook ont dépassé les exigences réglementaires pendant la crue.

Des inspections visuelles de routine des fondations du pilier au débit d'étiage avaient eu lieu dans le cadre des inspections annuelles. Lors des inspections visuelles récentes du pont Bonnybrook, il n'y avait aucun signe d'affouillement des fondations.

Le CP a pris des mesures pendant la crue pour veiller à ce que le pont soit stable en plaçant des wagons chargés sur le tablier et en augmentant les inspections visuelles à partir du niveau du sol. Les observations visuelles des écarts relatifs à l'alignement ou à la surface des rails et de la voie auraient permis de constater le tassement progressif d'un pilier de pont. Elles n'auraient cependant pas nécessairement alerté les inspecteurs d'un effondrement imminent de l'ouvrage.

Les inspections sous l'eau pendant la crue étaient impossibles en raison du volume élevé des eaux troubles au débit rapide. On n'a pu déterminer l'étendue complète de l'affouillement qu'environ 2 mois après l'effondrement du pont, lors d'inspections visuelles et de relevés par sonar. Pendant la crue, le CP croyait que l'exploitation ferroviaire sur le pont était sécuritaire, car la géométrie du pont n'avait pas changé et que ce dernier n'avait jamais connu de problème d'instabilité ou d'affouillement.

Même avant l'événement, la vitesse était limitée à 10 mi/h sur le pont, sur les 3 voies non principales, et à 25 mi/h sur la voie principale P1. Moins d'une heure et demie avant son effondrement, un train chargé de potasse avait emprunté la voie P1 sur le pont sans problème. Le pont s'est effondré à cause de l'étendue de l'affouillement et de la perte du support de fondation causées par les eaux de crue que les inspecteurs du pont ignoraient cependant.

### *Ponts munis de semelles de fondation*

La plupart des ponts du CP dans le sud de l'Alberta, y compris ceux munis de semelles de fondation, datent de plusieurs décennies et ont résisté aux grandes crues passées. La protection contre les dommages causés par les inondations et les emportements par les eaux est essentielle pour maintenir un service fiable et éviter les coûts importants de remplacement et de remise en état des ouvrages endommagés. La mise en place d'enrochements sert généralement à éviter l'affouillement local aux piliers et aux culées de pont. Si aucune mesure n'est prise pour empêcher l'affouillement local, en particulier aux ponts comportant des fondations munies de semelles, les crues risquent davantage d'entraîner l'effondrement du pont.

### *Intervention en cas d'urgence*

Lorsqu'un train transportant des marchandises dangereuses déraille dans une zone rurale, le CP prend normalement le contrôle de l'intervention d'urgence. En pareil cas, le personnel du CP a plus d'expérience et de connaissances techniques pour prendre des mesures à l'égard des marchandises dangereuses en question que les petits services d'incendie ruraux qui sont généralement dotés d'employés bénévoles.

L'événement de Bonnybrook s'est produit à Calgary, une ville importante ayant toutes les ressources nécessaires en intervention d'urgence. Pour cette raison, le service d'incendie de la ville s'est chargé du commandement général de l'intervention, même si ses ressources avaient été largement disséminées par l'état d'urgence déclaré par la ville à cause de l'inondation. Le centre de commandement unifié mis en place par le service d'incendie de Calgary s'est avéré

efficace, y compris dans son interaction avec le CP, et a permis de sécuriser le site, et d'élaborer et de mettre en œuvre le plan de retrait sécuritaire des wagons dérailés du pont.

## *Faits établis*

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

1. Tandis que le train 292 se dirigeait vers l'est et traversait le pont Bonnybrook, le pilier numéro 2 s'est effondré sous le train, provoquant le déraillement de 6 wagons.
2. Le pont Bonnybrook s'est effondré à cause de l'affouillement de l'extrémité en aval et de la perte du support de fondation du pilier numéro 2.
3. La crue intense et sans précédent avait attaqué l'assise schisteuse et en argile du pilier en l'érodant et en l'affouillant.
4. L'affouillement du pont s'est poursuivi jusqu'à ce que le prolongement de pilier de 1912 en béton, en aval, perde son support, se détache du pilier d'origine en pierre sous le train 292, et tombe dans la rivière.

### *Faits établis quant aux risques*

1. Si aucune mesure n'est prise pour empêcher l'affouillement local, en particulier aux ponts comportant des fondations munies de semelles, les crues risquent davantage d'entraîner l'effondrement du pont.

### *Autres faits établis*

1. Les protocoles ordinaires d'inspection et d'entretien du Programme de gestion de la sécurité des ponts ferroviaires du Chemin de fer Canadien Pacifique correspondent fidèlement à ceux du *Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts* de Transports Canada.
2. Les inspections menées sur le pont Bonnybrook ont dépassé les exigences réglementaires pendant la crue.
3. Les observations visuelles des écarts relatifs à l'alignement ou à la surface des rails et de la voie auraient permis de détecter les écarts et le tassement progressif d'un pilier de pont. Elles n'auraient cependant pas nécessairement alerté les inspecteurs d'un effondrement imminent de l'ouvrage.
4. L'absence de clavettes ou de dispositifs d'ancrage entre le pilier d'origine en blocs de pierre et le prolongement de 1912 en amont a entraîné une rupture nette de ce dernier sans autre dommage au pilier de pont de 1969.
5. Le centre de commandement unifié mis en place par le service d'incendie de Calgary a permis de sécuriser le site, et d'élaborer et de mettre en œuvre le plan de retrait sécuritaire des wagons déraillés du pont.

## Mesures de sécurité

### Mesures de sécurité prises

Le 28 juin, Transports Canada (TC) a envoyé une injonction ministérielle au Chemin de fer Canadien Pacifique (CP) conformément à l'article 33 de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*. L'injonction ordonnait au CP de répertorier les ponts munis de semelles de fondation et situés dans le bassin des rivières Saskatchewan Sud, Oldman, Bow et Red Deer, et de limiter à 10 mi/h la vitesse des trains sur ces ponts. La vitesse des trains sur un pont ne devait être augmentée que si ce dernier avait été inspecté par un ingénieur professionnel ou un inspecteur de ponts qualifié sous la supervision d'un ingénieur professionnel et si l'on avait établi qu'il était sécuritaire pour l'exploitation ferroviaire. Dans les 48 heures suivant le retrait de la limite de vitesse, le CP a été prié de confirmer à TC par écrit que le passage des trains sur le pont était sécuritaire d'après l'évaluation de l'inspecteur de ponts qualifié et la décision de l'ingénieur professionnel. L'injonction est restée en vigueur jusqu'au 28 décembre 2013.

De plus, TC

- a envoyé à toutes les compagnies de chemins de fer fédérales une lettre dans laquelle il leur faisait part de ses préoccupations concernant les conditions dangereuses aux ponts et aux ponceaux à la suite de crues ou de débits élevés.
- a publié le bulletin pour la sécurité ferroviaire 2013-001 portant sur l'affouillement et ses effets; le bulletin donnait des exemples d'effondrements récents au Canada dus aux fortes précipitations, et recommandait des procédures et des pratiques exemplaires de l'industrie pour résoudre le problème.

TC met à jour son *Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts* et sa *Ligne directrice sur la gestion de la sécurité des ponceaux*. Il traitera des dangers liés à l'affouillement, à l'érosion et à la stabilité sous l'effet des courants, y compris ceux qui ont trait aux semelles de fondation. En juin 2014, TC a rencontré des représentants de l'industrie ferroviaire pour discuter des révisions proposées. La révision du manuel et de la ligne directrice devrait être terminée en décembre 2014.

Le CP a répertorié 56 ponts munis de semelles de fondation dans les bassins des rivières désignées. Une limite de vitesse de 10 mi/h a été imposée sur les ponts situés au point milliaire 0,30 de la subdivision Brooks en raison de l'affouillement, et au point milliaire 27,3 de la subdivision Macleod en raison de l'effondrement du mur en aile. Le CP a indiqué que les travaux de réparation avaient été réalisés au cours de l'été 2013. Des inspections sous l'eau et tactiles des ponts situés aux points milliaires 19,8 et 74,9 de la subdivision Crowsnest et au point milliaire 51,8 de la subdivision Laggan ont été menées.

De plus, le CP

- examine, dans son nouveau programme de gestion de la sécurité des ponts (PGSP) qui sera prochainement publié, les changements de politique ou de procédure qui peuvent être mis en œuvre concernant les inspections d'affouillement pendant les crues;
- prévoit mettre davantage l'accent sur les exigences, les pratiques et les méthodes d'inspection d'affouillement pendant la formation de ses inspecteurs;

- recherche des technologies et investit dans des technologies qui permettraient de détecter rapidement les cas d'affouillement et d'érosion, et pourraient être utilisées en permanence sur certains ouvrages ou de manière intermittente pendant certains événements, comme les crues.

*Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 5 novembre 2014. Il est paru officiellement le 17 décembre 2014.*

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

## Annexes

### *Annexe A – Débits de pointe estimés<sup>17</sup>*

m<sup>3</sup>/s = mètre(s) cube(s) par seconde

#### **Rivière Bow à Banff**

Débit de pointe estimé en 2013 : 439 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 2012 : 268 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1923 : 399 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Bow à Calgary**

Débit de pointe estimé en 2013 : 1740 m<sup>3</sup>/s (21 juin 2013)

Débit de pointe en 2005 : 791 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1932 : 1520 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Crowsnest à Frank**

Débit de pointe estimé en 2013 : 133 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1998 : 75 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1995 : 135 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Elbow à Bragg Creek**

Débit de pointe estimé en 2013 : 959 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1932 : 836 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1929 : 489 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Oldman à Lethbridge**

Débit de pointe estimé en 2013 : 2670 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 1995 : 4670 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Red Deer à Drumheller**

Débit de pointe estimé en 2013 : environ 1300 m<sup>3</sup>/s (vers minuit le dimanche 23 juin 2013)

#### **Rivière Sheep à Black Diamond**

Débit de pointe estimé en 2013 : 720 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 2005 : 380 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Sheep à Okotoks**

Débit de pointe estimé en 2013 : plus de 1000 m<sup>3</sup>/s

Débit de pointe en 2005 : 769 m<sup>3</sup>/s

#### **Rivière Saskatchewan Sud à Medicine Hat**

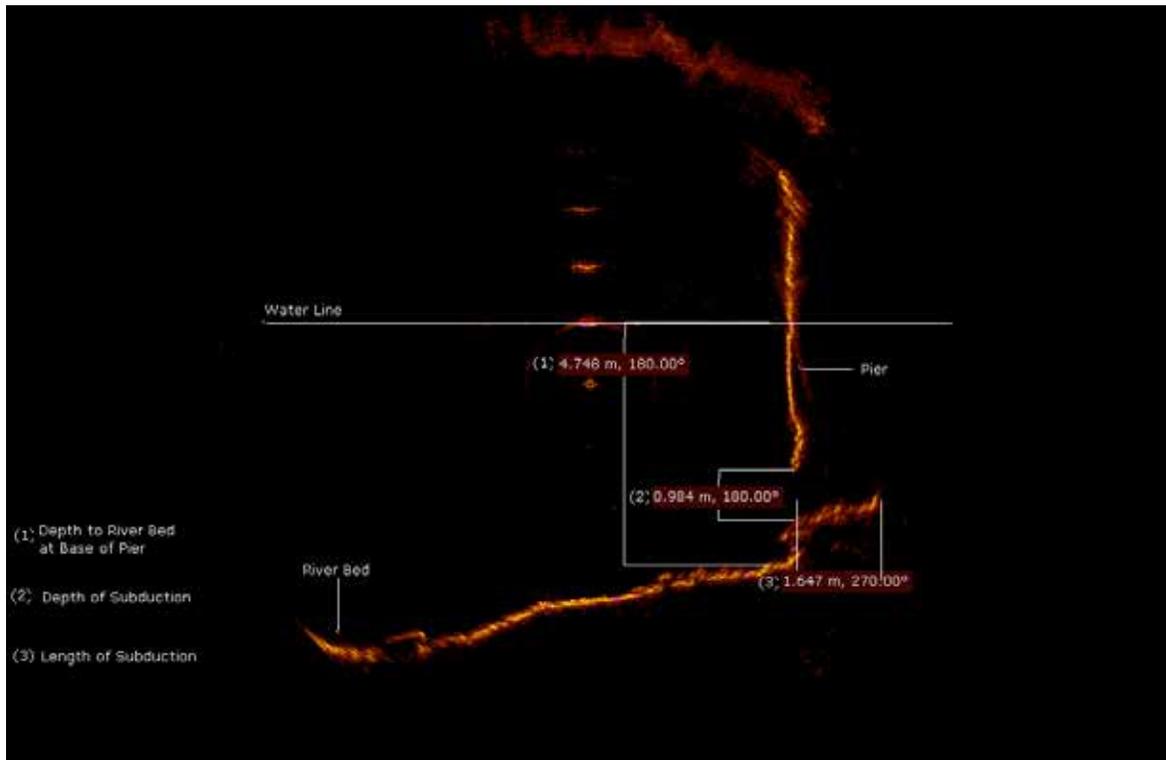
Débit de pointe estimé en 2013 : 5300 m<sup>3</sup>/s (début de matinée le lundi 24 juin 2013)

---

<sup>17</sup> Débits de pointe estimés par le gouvernement de l'Alberta : les débits prévus sont fondés sur les meilleures données disponibles. Les débits de pointe estimés sont des données préliminaires enregistrées. Les données ont été transmises par la Division des relevés hydrologiques du Canada.

## Annexe B – Images sonar de l'affouillement

Figure 5. Image sonar du point de chute n° 2 (Image disponible en anglais seulement)



Légende (Figures 5, 6 et 7):

Water Line	Ligne d'eau
Depth to River Bed at Base of Pier	Profondeur jusqu'au fond de la rivière à partir du pied du pilier
Depth of Subduction	Profondeur de la subduction
Length of Subduction	Longueur de la subduction
Pier	Pilier
Riverbed	Fond de la rivière
Water depth at base of pier	Profondeur d'eau au pied du pilier

Figure 6. Image sonar du point de chute n° 3 (Image disponible en anglais seulement)

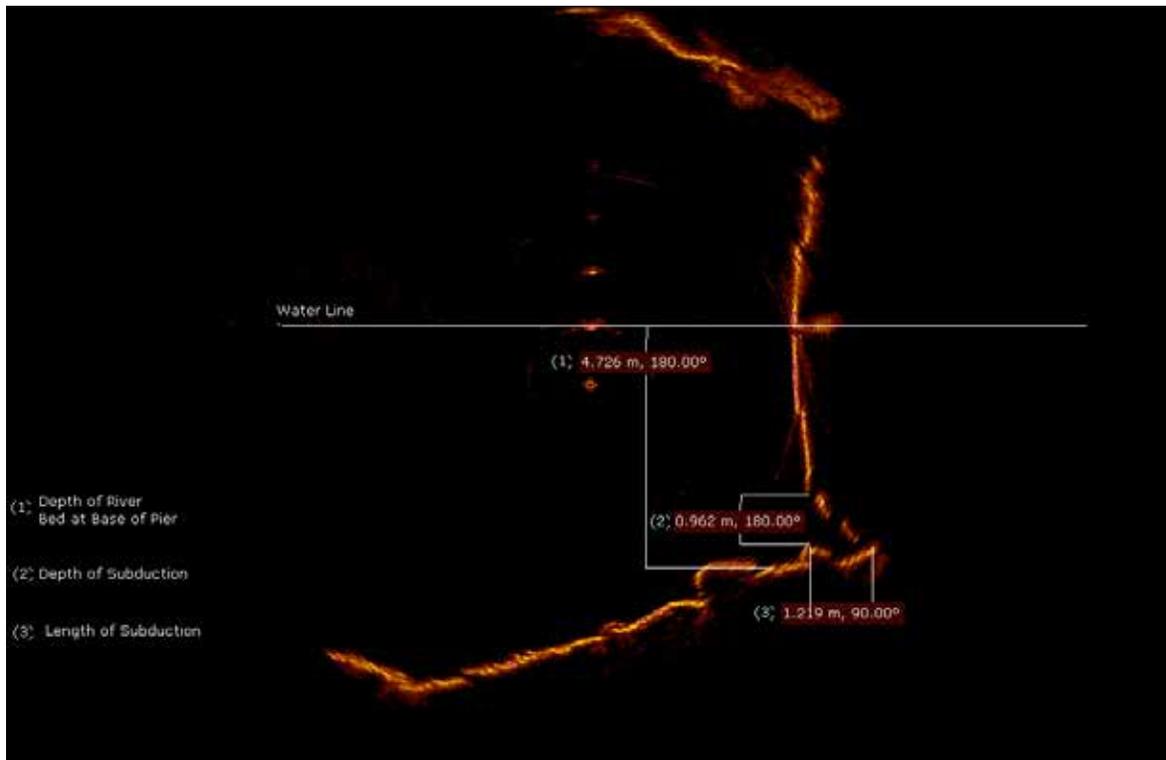


Figure 7. Image sonar du point de chute n° 4 (Image disponible en anglais seulement)

