

# **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident survenu le 14 avril 2016,  
sur un chantier de l'entreprise  
Roxboro Excavation inc.,  
lors de l'érection du pont sur l'autoroute 40 Est,  
au-dessus de la rivière Bayonne, à Berthierville**

## **VERSION DÉPERSONNALISÉE**

**Direction régionale de Lanaudière**

**Inspecteurs :**

**Labbé,**

**Michel**

**Dubé, Sylvain**

**Date du rapport : 1<sup>er</sup> novembre 2016**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur [A], [...], Roxboro Excavation inc.
- Monsieur [B], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée
- Dre Muriel Lafarge, directrice de la santé publique du Centre intégré de santé et de services sociaux de Lanaudière
- Centrale des syndicats démocratiques (CSD-Construction)
- Confédération des syndicats nationaux (CSN-Construction)
- Fédération des travailleurs et des travailleuses du Québec (FTQ-Construction)
- Conseil provincial du Québec des métiers de la construction (International) (CPQMCI)
- Syndicat Québécois de la Construction (SQC)

## TABLE DES MATIÈRES

|                       |                                                                                                                                                                                                       |                  |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>1</u></b>       | <b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>                                                                                                                                                                       | <b><u>1</u></b>  |
| <b><u>2</u></b>       | <b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>                                                                                                                                                                 | <b><u>3</u></b>  |
| 2.1                   | STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER                                                                                                                                                                        | 3                |
| 2.2                   | ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL                                                                                                                                                 | 5                |
| 2.2.1                 | MÉCANISMES DE PARTICIPATION                                                                                                                                                                           | 5                |
| 2.2.2                 | GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ                                                                                                                                                                 | 5                |
| <b><u>3</u></b>       | <b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>                                                                                                                                                                  | <b><u>6</u></b>  |
| 3.1                   | DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL                                                                                                                                                                        | 6                |
| 3.2                   | DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER                                                                                                                                                                    | 8                |
| <b><u>4</u></b>       | <b><u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u></b>                                                                                                                                                              | <b><u>11</u></b> |
| 4.1                   | CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT                                                                                                                                                                             | 11               |
| 4.2                   | CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES                                                                                                                                                             | 14               |
| 4.3                   | ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES                                                                                                                                                                         | 32               |
| 4.3.1                 | LE DÉVERSEMENT DE LA POUTRE P4 A ÉTÉ PROVOQUÉ PAR LA PRÉSENCE DES CÂBLES D'ACIER ET DES PALANS À CROCHET QUI ENTRAVAIENT LA MOBILITÉ DES SUPPORTS LATÉRAUX TEMPORAIRES AUXQUELS ELLE ÉTAIT SOLIDAIRE. | 32               |
| 4.3.2                 | LA PLANIFICATION, LA SUPERVISION ET LES MOYENS DE CONTRÔLE DES TRAVAUX D'INSTALLATION DE LA PREMIÈRE POUTRE SONT DÉFICIENTS QUANT À LA MISE EN ŒUVRE D'UN PROCÉDÉ DE MONTAGE SÉCURITAIRE.             | 34               |
| <b><u>5</u></b>       | <b><u>CONCLUSION</u></b>                                                                                                                                                                              | <b><u>36</u></b> |
| 5.1                   | CAUSES DE L'ACCIDENT                                                                                                                                                                                  | 36               |
| 5.2                   | RECOMMANDATIONS                                                                                                                                                                                       | 37               |
| <b><u>ANNEXES</u></b> |                                                                                                                                                                                                       |                  |
| ANNEXE A :            | Liste des témoins et des autres personnes rencontrées                                                                                                                                                 | 38               |
| ANNEXE B :            | Rapport d'expertise – Déversement d'une poutre de pont dans la Rivière Bayonne à Berthierville                                                                                                        | 39               |
| ANNEXE C :            | Rapport d'expertise soudage                                                                                                                                                                           | 97               |
| ANNEXE D :            | Références bibliographiques                                                                                                                                                                           | 111              |

**SECTION 1****1 RÉSUMÉ DU RAPPORT****Description de l'accident**

Le 14 avril 2016, vers 18 h 10, une poutre principale du pont en construction sur l'autoroute 40 en direction est, à Berthierville, déverse et s'effondre dans la rivière Bayonne.

**Conséquences**

*Photo 1 : La poutre P4 effondrée.*

*Source : CNESST (3303)*

On ne déplore aucune victime, l'accident survient environ une heure après le départ des derniers travailleurs. Les dommages causés par l'évènement s'élèvent à plus de 500 000 \$.



**Abrégé des causes**

L'enquête permet de retenir les causes suivantes :

- Le déversement de la poutre P4 a été provoqué par la présence des câbles d'acier et des palans à crochet qui entravaient la mobilité des supports latéraux temporaires auxquels elle était solidaire.
- La planification, la supervision et les moyens de contrôle des travaux d'installation de la première poutre sont déficients quant à la mise en œuvre d'un procédé de montage sécuritaire.

**Mesures correctives**

- Le 18 avril 2016, une ordonnance d'arrêt des travaux de montage des poutres en acier du pont sud est émise au maître d'œuvre et à l'employeur dans le rapport d'intervention RAP1037103;
- Le 19 avril 2016, une ordonnance de saisie aux fins d'expertise des supports latéraux temporaires fixés sous le tablier du pont nord est émise au maître d'œuvre et à l'employeur dans le rapport d'intervention RAP1037592;
- Le 28 avril 2016, le rapport d'intervention RAP1037593 est produit dans le cadre d'une autorisation de reprise partielle des travaux accordée au maître d'œuvre pour le retrait de la poutre P4 dans la rivière Bayonne. Des éléments se trouvant au chantier ont également été saisis aux fins d'expertise (outillage, ancrages, etc.);
- Le 3 mai 2016, le maître d'œuvre est autorisé à retirer les supports latéraux temporaires sous le pont nord dans le rapport d'intervention RAP1037766;
- Le 2 juin 2016, le maître d'œuvre est autorisé à poursuivre le montage des poutres en acier du pont sud dans le rapport d'intervention RAP1039677.

*Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête, ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.*

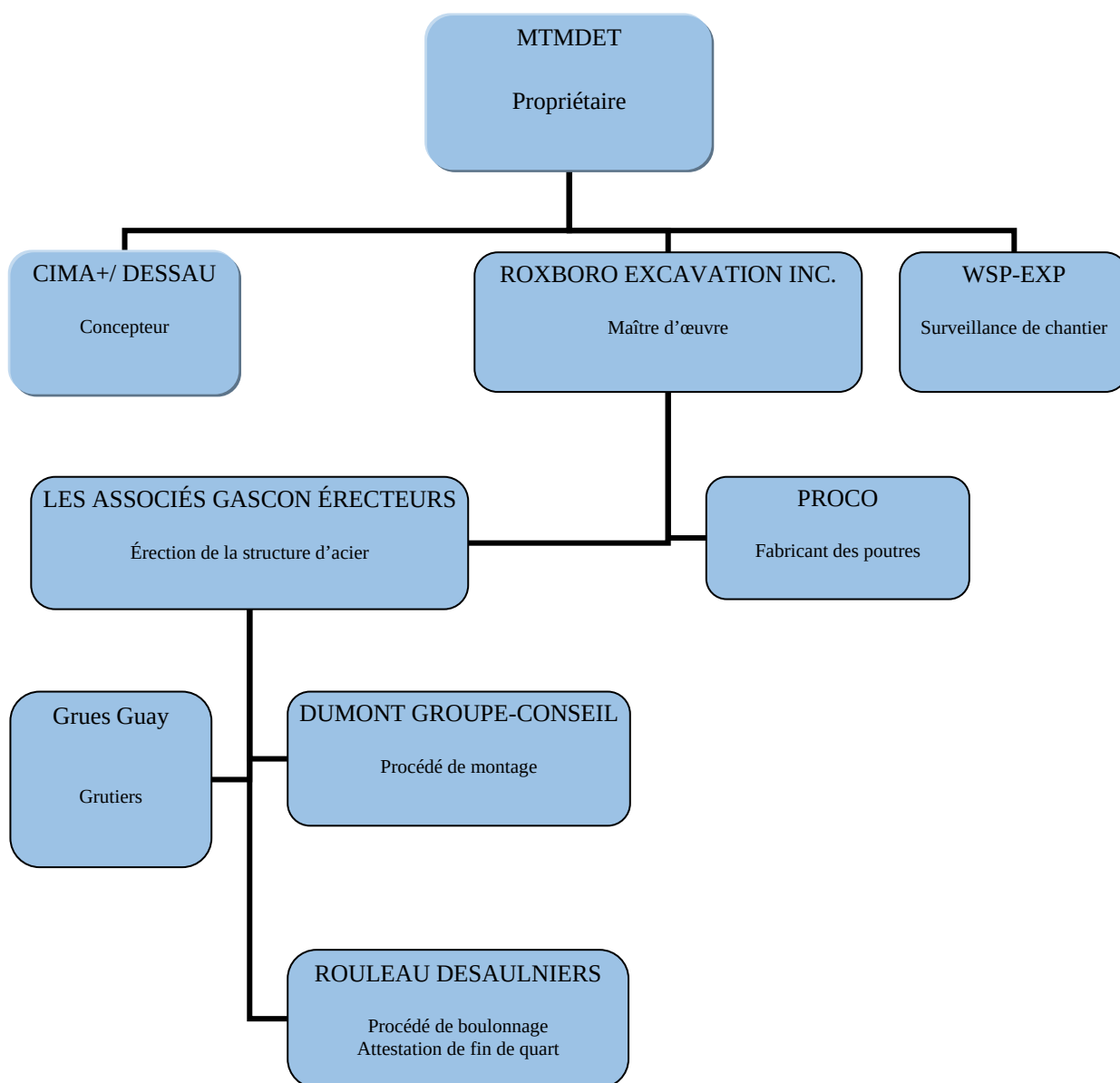
**SECTION 2****2 ORGANISATION DU TRAVAIL****2.1 Structure générale du chantier**

**Roxboro Excavation inc.**, entrepreneur général, est spécialisé dans les travaux d'infrastructures : routes, égouts, aqueducs ainsi que dans la réalisation d'ouvrages d'art. L'entreprise obtient en 2014 le contrat de reconstruction des ponts (nord et sud) sur l'autoroute 40 au-dessus de la rivière Bayonne et du rang de la rivière Bayonne Nord à Berthierville. À titre de maître d'œuvre, il planifie et coordonne les ressources nécessaires à la réalisation de l'ensemble des travaux sur le chantier. Il voit à l'aménagement du site, pourvoit à l'acquisition des matériaux et à la supervision des travaux. Il octroie des travaux en sous-traitance, dont celui pour l'érection de la structure d'acier des ponts, à l'entreprise 8183589 Canada inc.

L'entreprise 8183589 Canada inc., faisant affaire sous la raison sociale **Les Associés Gascon Érecteurs ltée**, se spécialise dans les travaux d'érection de charpente d'acier. Deux [...] supervisent directement les six monteurs-assembleurs qui sont recrutés pour ce contrat. L'entreprise fait appel à des firmes de génie-conseil pour les plans d'ouvrages temporaires, pour l'élaboration des procédés de montage et de boulonnage ainsi que pour les attestations de fin de quart de travail exigées au *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG).

Le propriétaire et donneur d'ouvrage est le **ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports** (MTMDET). La conception des plans est octroyée à Cima+/Dessau. Un contrat de surveillance de chantier est accordé au consortium WSP-EXP dont le mandat est de s'assurer que les travaux et les matériaux respectent les plans et devis, les échéanciers ainsi que les coûts.

La figure 1 présente la structure organisationnelle du projet. À noter que certains sous-traitants du maître d'œuvre ne sont pas identifiés n'ayant pas de lien avec les travaux de charpente d'acier en cause dans l'accident.



*Figure 1 : Structure organisationnelle*

## 2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

### 2.2.1 Mécanismes de participation

**Roxboro Excavation inc.** prépare, en 2014, un programme de prévention pour le projet en cours. Le programme présente les rôles et les responsabilités des intervenants. Des tableaux recensent les dangers potentiels et les mesures correctives inhérents au projet. Les informations générales sont données aux sous-traitants et aux travailleurs à l'entrée au chantier (accueil).

Un comité de chantier est constitué des représentants du maître d'œuvre, du surveillant et des sous-traitants. Il se réunit toutes les deux semaines. Il a pour mandat de voir à la coordination des mesures de prévention, à l'application du programme de prévention et du *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC). Des comptes rendus de réunion sont rédigés.

Des pauses sécurité sont tenues pour informer le personnel des questions soulevées par le comité de chantier. Elles permettent de recevoir les commentaires et les suggestions des employés et constituent un outil de sensibilisation.

### 2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Un avis d'ouverture de chantier est transmis à la Commission par le maître d'œuvre. Les coûts de réalisation du projet sont estimés à 38 M\$ et le nombre maximal de travailleurs prévu selon l'avis d'ouverture est de 50. Les travaux de démolition et les travaux effectués au-dessus ou à proximité de l'eau constituent un chantier qui présente des risques élevés au sens du CSTC.

Les activités spécifiques à la santé et à la sécurité sur le chantier sont coordonnées et surveillées quotidiennement par un agent de sécurité, comme prévu au CSTC. Il accueille tous les nouveaux travailleurs au chantier. Il transmet les informations relatives à la sécurité et voit au respect des méthodes et des procédures de travail sécuritaires.

Les sous-traitants et les travailleurs doivent respecter le programme de prévention du maître d'œuvre. Le représentant des **Associés Gascon Érecteurs Itée** signe un engagement à cet effet. Cette entreprise est aussi membre de la mutuelle de prévention MUT054. Un programme type, préparé par la mutuelle pour l'entreprise, est disponible.

## SECTION 3

### 3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

#### 3.1 Description du lieu de travail

L'accident survient sur le chantier de démolition et de reconstruction des ponts enjambant la rivière Bayonne, sur l'autoroute 40, à Berthierville.

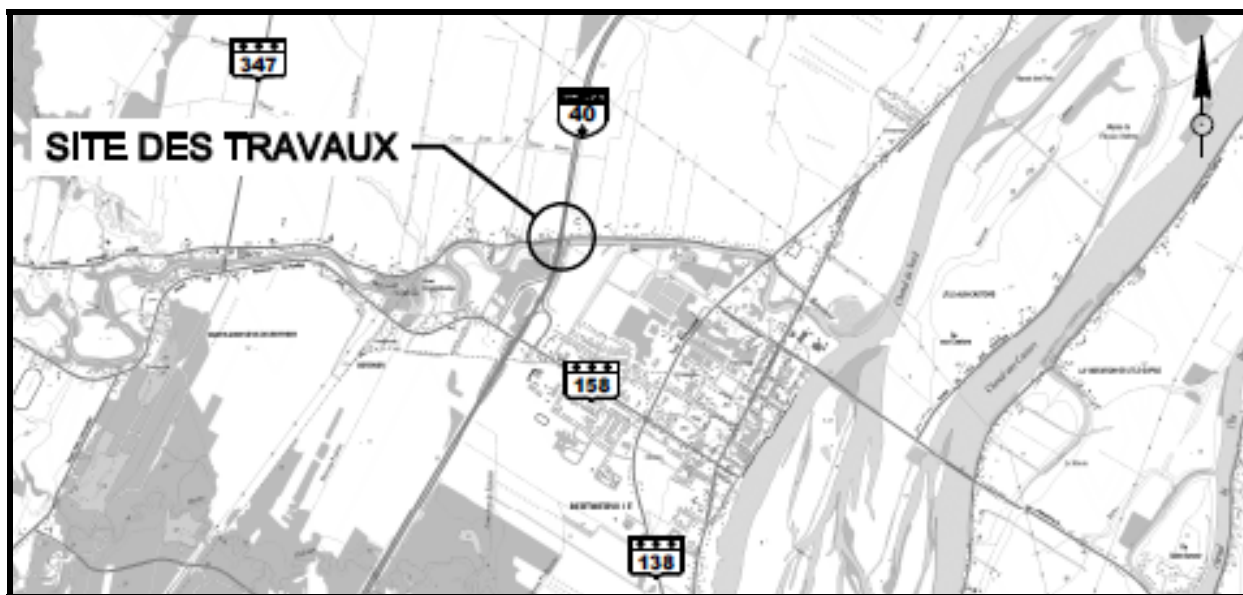


Figure 2 : Localisation des ponts.

Source : Plans Transports Québec, P-2013-1-18531S, p. 1/27

La structure du pont prévu est composée d'une ossature métallique supportant un tablier en béton recouvert d'une surface d'usure. Le pont, en direction est, est situé en aval du 1<sup>er</sup> pont terminé en 2015. (Voir figures 3 et 4)

Chaque travée du pont comporte quatre poutres principales en acier supportées aux extrémités par des appareils d'appuis. Ces pièces de charpente longitudinale, de près de 70 mètres de longueur, comprennent une partie verticale, l'âme, placée entre deux membrures horizontales, les semelles. Elles ont une portée de 68,2 mètres. Leur hauteur est de 1780 mm aux extrémités et de 2580 mm au centre. Leur masse est de 68 tonnes métriques. La semelle supérieure des poutres a une largeur de 500 mm. La largeur de la semelle inférieure est de 500 mm aux extrémités et de 700 mm au centre.

La distance, de centre à centre, entre la poutre adjacente du pont nord et la première poutre (P4) installée sur le pont sud est de 4800 mm.

Au moment de l'accident, le pont nord est ouvert à la circulation.

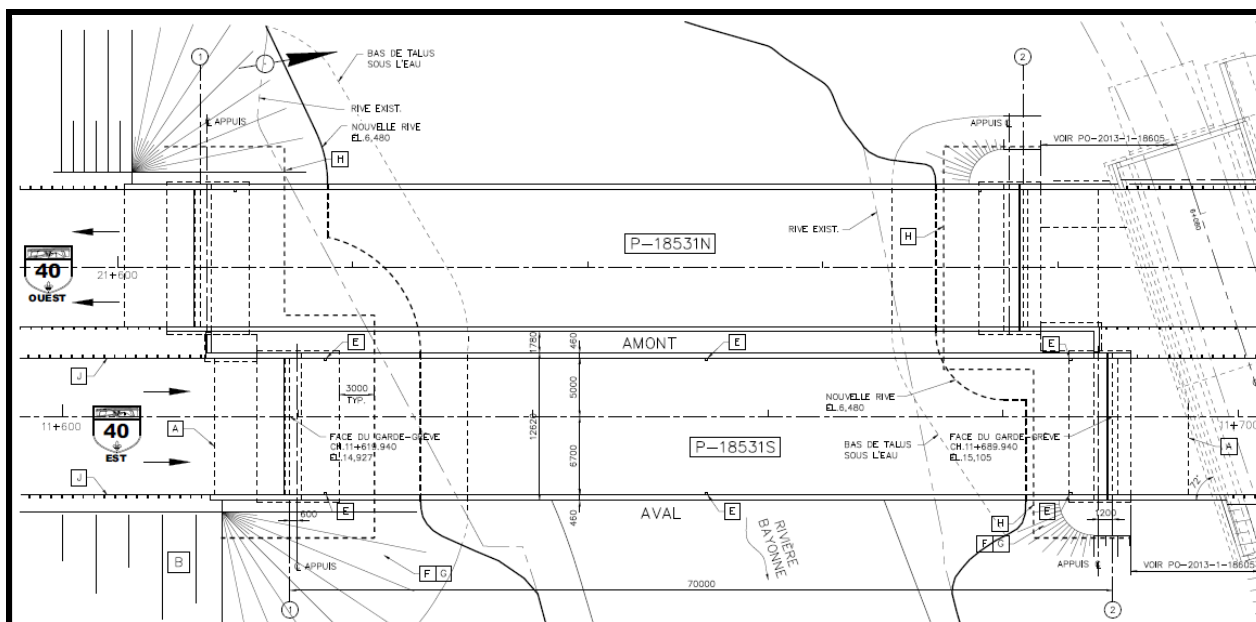


Figure 3 : Vue en plan.

Source : Plans Transports Québec, P-2013-1-18531S, extrait p. 3/27

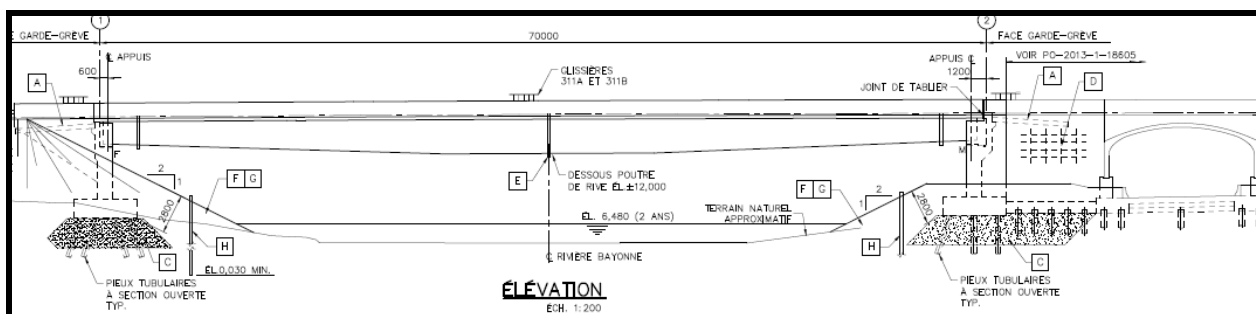


Figure 4 : Vue en élévation.

Source : Plans Transports Québec, P-2013-1-18531S, extrait p. 3/27

Les grues # 1 et # 2 sont placées à proximité des culées ouest et est. Une troisième grue sur la berge est soulevée la plateforme de travail.

Le 14 avril 2016, le ciel est dégagé, la température extérieure maximale est d'environ 9 °C et les vents sont calmes.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Source : Rapport de données quotidiennes pour avril 2016 – Climat – Environnement Canada

### 3.2 Description du travail à effectuer

La procédure de montage des poutres s'établit en deux phases. La première consiste à assembler une section d'extrémité et une section centrale des poutres P1, P2, P3 et P4 sur un banc d'assemblage sur la berge ouest. Ce travail et la préparation des contreventements en « K » débutent dans la semaine du 4 avril 2016.

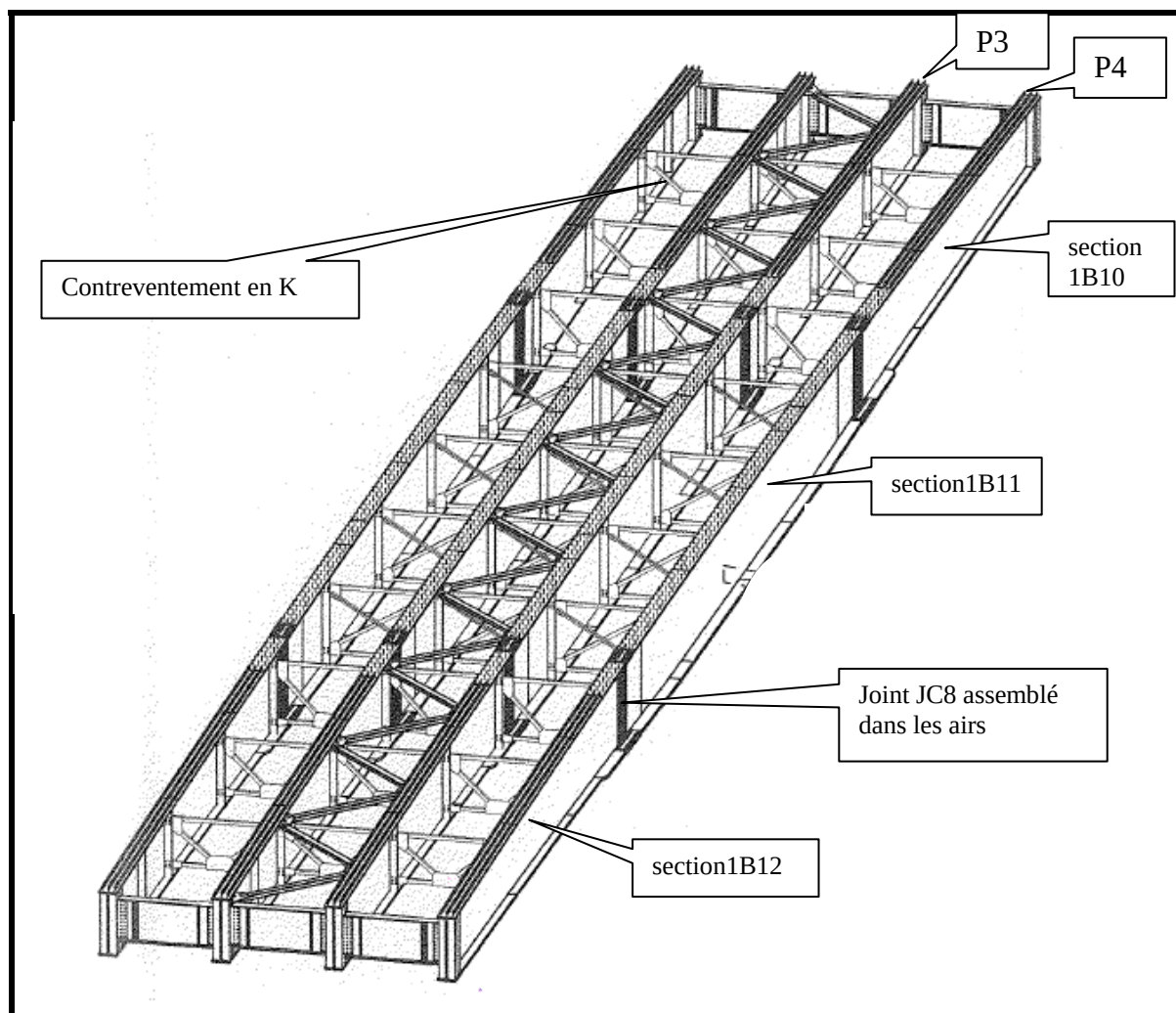


Figure 5 : Vue de la structure d'acier. Extrait du plan d'atelier Proco inc., M001. Annotations par la CNESST.





*Photo 2 : Deux sections de la poutre P3 assemblées par boulonnage sur la berge ouest.  
Source : CNESST (4318)*

Le 14 avril 2016, on entreprend la seconde phase de la procédure de montage. On prévoit installer les poutres P4 et P3 au-dessus de la rivière et installer quelques contreventements en « K » pour les stabiliser.

Les étapes 9 et 10 du procédé de montage décrivent l'installation de la poutre P4 :

*Étape # 9 – Poutre 1B10/1B11 – Axes P4:*

- a) Installer les câbles de sécurité sur la poutre...;*
- b) Grue #1 : Positionner la grue selon le plan de montage (voir plan PM2);*
- c) Grue #1 : Lever la poutre et la positionner sur l'appareil d'appui;*
- d) Grue #1 : Maintenir en position.*

*Étape # 10 - Poutre 1B12 – Axes P4 :*

- a) Installer les câbles de sécurité sur la poutre...;*
- b) Grue # 2 : Positionner la grue selon le plan de montage (voir plan PM2);*
- c) Installer la plateforme de travail...;*
- d) Grue # 2 : Lever la poutre et la positionner sur l'appareil d'appui;*

- e) Boulonner 50 % du joint de chantier JC8. Mettre en place selon la procédure de boulonnage;
- f) Relier la poutre P4 au pont existant avec 2 supports latéraux... (voir plan PM4);
- g) Relier la semelle inférieure de la poutre P4 au pont existant à l'aide des supports latéraux. (Voir plan PM4);
- h) Installer support de verticalité temporaire à l'axe 1 (voir plan PM4);
- i) Installer support de verticalité temporaire à l'axe 2 (voir plan PM4);
- j) Aucun hauban requis;
- k) Grue #2 : relâcher la poutre;
- l) Grue # 1 : relâcher la poutre;
- m) Grue # 1 ou # 2 : installer les contreventements en K des diagonales 2, 4, 7 et 9 entre P4 et P3. Prévoir 8 boulons d'érection minimums par contreventement. 4 boulons en haut et 4 boulons en bas.

La dernière sous-étape, le point m), ainsi que l'installation de la poutre P3 sont reportées au lendemain. L'accident survient environ une heure après le relâchement de la poutre P4 par les grues # 1 et # 2.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

En août 2015, l'entreprise **Les Associés Gascon Érecteurs ltée** érige la structure d'acier du pont nord. Un procédé de montage et une procédure de boulonnage sont attestés par des ingénieurs. Des plans associés au procédé de montage (PM1 à PM4) sont émis pour construction. Les vérifications de conformité en cours de travaux sont réalisées conformément aux exigences du CCDG.

À l'automne 2015, en vue de l'érection du pont sud, l'entreprise **Les Associés Gascon Érecteurs ltée** fait deux propositions quant à la façon de relier temporairement la première poutre au pont existant. La première proposition est rejetée par le surveillant. La seconde proposition est soumise au concepteur, CIMA+/DESSAU, qui refuse que l'ancrage soit fixé sur le côté du pont nord. Il donne la directive de fixer les ancrages en dessous du tablier. Cette directive vise à protéger l'intégrité du pont.

À l'hiver 2016, les ancrages et les supports latéraux temporaires sont modifiés en atelier. Une rotule sous le pont existant est prévue pour faciliter l'élévation des supports latéraux temporaires et leur permettre de suivre la poutre dans son fléchissement. Un croquis, réalisé par un représentant de l'entreprise, fournit les instructions de travail (Figure 9).

Le 22 mars 2016, le procédé de montage - révision 2 est produit.

Le 4 avril 2016, le préassemblage des poutres du pont sud commence. Les plans de montage PM1 à PM3 sont visés, le plan PM4 est commenté et visé. Ces plans ne sont pas émis pour construction.

Le 11 avril 2016, les contremaîtres installent les ancrages sous le tablier du pont nord et les supports latéraux temporaires. On constate la difficulté d'élever celui du côté ouest. Une coupe en biseau sur la face supérieure du second support latéral temporaire est alors réalisée avant de le raccorder à son ancrage. Des palans à crochet et des câbles d'acier attachés aux glissières temporaires sur le pont existant soutiennent les supports latéraux temporaires.

Le 12 avril, le plan PM2 est réémis pour approbation, l'emplacement des grues est montré. La disposition des supports latéraux temporaires est présentée.

Le 13 avril 2016, les grues sont positionnées sur les rives est et ouest.

Le 14 avril 2016, vers 6 h 15, la section de poutre 1B12 est livrée au chantier sur un fardier. Entre 6 h 30 et 7 h, les représentants du maître d'œuvre et du sous-traitant en structure, les grutiers et les monteurs-assembleurs révisent le procédé de montage.

Vers 7 h 10, les monteurs-assembleurs préparent le matériel, installent des lignes de vie, procèdent à l'élingage des sections de poutre, etc.

Vers 8 h, la grue # 1 entame le levage de la section préassemblée 1B10-1B11. Les stabilisateurs de la grue s'enfoncent dans le sol. La section est ramenée sur le banc d'assemblage, sur la rive ouest. La correction de la situation requiert entre 90 minutes et 2 heures.

Vers 9 h 50, on reprend le levage de la section 1B10-1B11. Quelques minutes plus tard, la poutre est de nouveau ramenée sur le banc d'assemblage. Des contrepoids sont ajoutés à la grue.

Vers 11 h, la grue # 1 est prête. Le travail est interrompu pour la pause du dîner.

Vers 12 h 15, on réinstalle les élingues sur la section 1B10-1B11. La section est conduite au-dessus de la rivière.

Vers 12 h 30, la grue # 2 soulève la section 1B12. À mi-chemin du parcours, la grue vient près de s'appuyer contre la culée de béton, la section est ramenée sur la rive est.

Vers 13 h 15, le problème de compaction de sol est résolu. La section est conduite en position. Les travailleurs élèvent les supports latéraux temporaires au-dessus de la semelle supérieure en se servant des palans à crochet et de barres d'acier.

Vers 13 h 30, on commence l'assemblage de l'épissure (joint JC8) entre 1B12 et 1B11. Des tiges d'enlignement et quelques boulons de préassemblage sont placés dans les trous.

Vers 13 h 45, les travailleurs grimpent sur la semelle supérieure et se dirigent au premier support latéral temporaire, du côté est. La tension du câble qui retient le support latéral temporaire est relâchée pour rejoindre la semelle supérieure. Les attaches, main et pouce, ne coïncident pas avec la semelle. Un monteur assemble un nouveau pouce et une nouvelle main avec des cornières pour agripper la semelle. Ces opérations sont répétées pour le support latéral temporaire du côté ouest. Les travailleurs placent les autres supports sur la semelle inférieure.

Pendant les modifications aux supports latéraux temporaires, M. [C], contremaître, se dirige à l'axe 1 (du côté ouest) pour placer la poutre sur l'appareil d'appui. Il constate que les connecteurs aux appareils d'appuis adjacents ont été inversés. Il fait débarrer les assises. La poutre est tirée d'environ 38 mm (1 ½ po) vers l'ouest avant d'installer le contreventement latéral de verticalité. En dernier lieu, la semelle inférieure est immobilisée aux appareils d'appui avec des cordons de soudure.

Vers 15 h, la décision est prise de reporter l'installation de la poutre P3 au lendemain.

Vers 16 h, la cage pour le boulonnage de l'épissure est en place. Il ne reste que 2 monteurs au chantier. Le temps prévu pour installer 50 % des boulons est de 45 minutes. Les boulons sont serrés à la main, sans outil.

Vers 16 h 15, l'ingénieur de la firme Rouleau Desaulniers arrive au chantier. Il rencontre M. [C], sur le pont nord, et prend note des modifications aux supports latéraux temporaires. L'ingénieur se déplace à l'axe 2 (du côté est) pour vérifier le contreventement latéral. Il exige que le

connecteur retenu par un seul boulon à l'appareil d'appui adjacent soit modifié. Il se déplace à l'axe 1 (du côté ouest), le contreventement latéral lui semble conforme au plan de montage. Il ne vérifie pas si le connecteur est boulonné solidement à l'appareil d'appui adjacent.

Vers 16 h 45, le connecteur modifié à l'axe 2 ne permet pas d'y boulonner le contreventement latéral. La plaque au bout du contreventement latéral est alors soudée au connecteur. L'ingénieur revient et inspecte les modifications. Ici aussi, il ne vérifie pas si le connecteur est immobilisé fermement à l'appareil d'appui adjacent.

Vers 17 h, les monteurs grimpent sur la semelle supérieure. Les grues relâchent graduellement la charge. L'ingénieur constate que la poutre glisse d'environ 10 mm (3/8 po) sur l'appui mobile, du côté est. Les monteurs détachent les crochets de levage et sortent du côté ouest tout en vérifiant l'équilibre et le niveau de la poutre visuellement.

Vers 17 h 15, tout le monde quitte le chantier. L'attestation de conformité portant sur les étapes 9 et 10 du procédé de montage est signée par l'ingénieur.

Vers 18 h 10, la poutre déverse et s'effondre dans la rivière.

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### Le phénomène de déversement

Les nouveaux ponts de Berthierville sont composés chacun de 4 poutres en « H » à inertie variable d'une longueur d'environ 70 m. Elles sont reliées entre elles par des contreventements qui forment avec la dalle une structure stable lorsque la construction est complétée. Ces poutres constituent des membrures élancées qui sont sujettes à un phénomène de déversement particulièrement lors de leur mise en place.

Le phénomène de déversement de poutre est connu des ingénieurs et largement décrit dans la littérature. Lorsqu'une poutre en « H », appuyée simplement à ses deux extrémités, fléchit sous son propre poids ou sous une charge verticale, la semelle inférieure est tendue tandis que la semelle supérieure est comprimée. Cet effort de compression peut, selon les conditions de chargement et d'appui, et les caractéristiques de la poutre, provoquer le voilement de la semelle supérieure à la manière d'une colonne comprimée qui plie. Il s'agit d'un phénomène d'instabilité appelé **déversement** qui peut être contrecarré en assurant un support latéral adéquat à la semelle en compression.

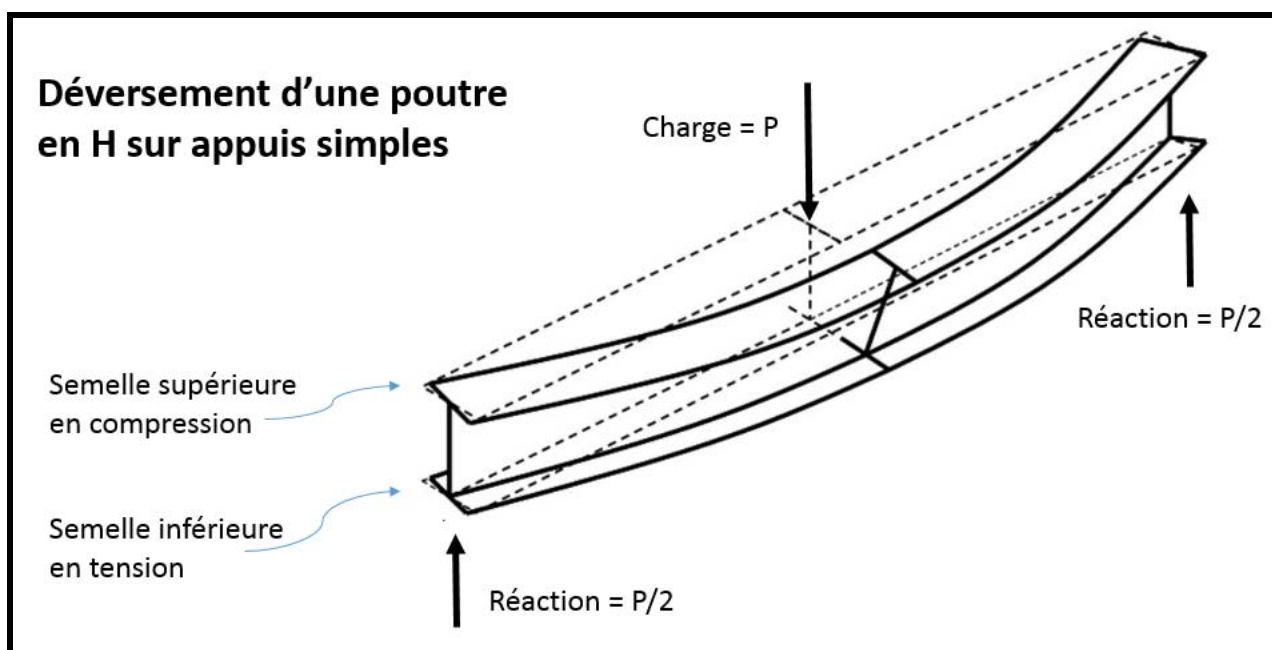


Figure 6 : Illustration du déversement

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour assurer le support latéral et éviter la ruine par déversement (forme de la section, degré de maintien latéral, type de chargement, imperfections initiales, etc.).

Afin d'identifier la ou les causes techniques ayant mené au déversement de la poutre le 14 avril 2016, la CNESST a mandaté un expert, M. Denis Beaulieu, Ph. D., Ing., pour vérifier si le système de retenue latérale mis en place lors de l'installation de la poutre P4 avait la résistance nécessaire pour stabiliser la poutre pendant son érection et si les modifications effectuées à pied d'œuvre au procédé de montage ont pu contribuer à son déversement.

La CNESST, avec l'accord du MTMDET, a aussi fait appel à la firme CIMA+/DESSAU pour des vérifications de stabilité à l'aide du modèle de conception utilisé pour le dimensionnement de la structure. Les calculs ont été réalisés selon les scénarios et les directives de l'expert de la CNESST. Ils ont servi à l'analyse de la stabilité de la poutre en fonction des conditions de retenues présentes au chantier avant le déversement.

Finalement, une analyse des soudures, effectuées sur les dispositifs de retenue, a été réalisée par un représentant de Mistras, Division Montréal, à la demande de la CNESST.

### **Le procédé de montage**

- Les calculs réalisés par l'ingénieur de Dumont Groupe-Conseil ont démontré que le système de retenue latéral, installé aux endroits déterminés, permet de retenir latéralement la poutre fléchie sous son propre poids. Tel qu'indiqué au rapport d'expertise (annexe B), il a été utilisé avec succès en 2015 sur le pont nord. Il était en mesure de résister à la charge latérale, incluant un facteur de sécurité, pourvu que les attaches à chacune des extrémités des supports latéraux temporaires soient correctement fabriquées et installées;
- Les calculs de résistance de la poutre réalisée par CIMA+/DESSAU, inclus au rapport d'expertise, confirment que des contreventements et des supports latéraux installés à 0 m, 22,1 m, 41,1 m et 68,2 m assurent la stabilité de la poutre. La flèche verticale théorique de la poutre sous son propre poids est de 110 mm au niveau des attaches des supports latéraux temporaires et de 120 mm au centre;
- En 2016, les ancrages des supports latéraux temporaires sont installés aux diagonales 5 et 8 du pont existant, ce qui correspond approximativement aux diagonales 4 et 7 de la poutre P4 (Figure 7);
- Le dispositif de retenue temporaire comprend également des contreventements latéraux de verticalité aux extrémités de la poutre. Il s'agit d'une diagonale boulonnée à un raidisseur de la poutre et qui relie l'appareil d'appui adjacent;



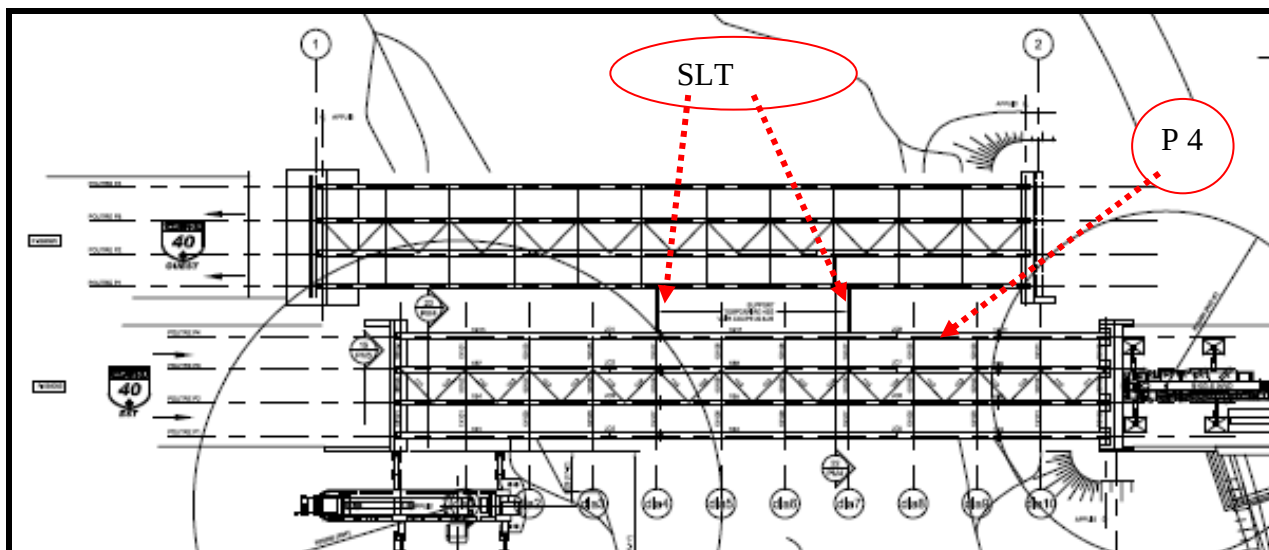


Figure 7 : Position des supports latéraux temporaires reliant la poutre P4 au pont existant, extrait du Plan PM2, émis pour approbation – 12 avril 2016.  
Source : Dumont Groupe-Conseil.

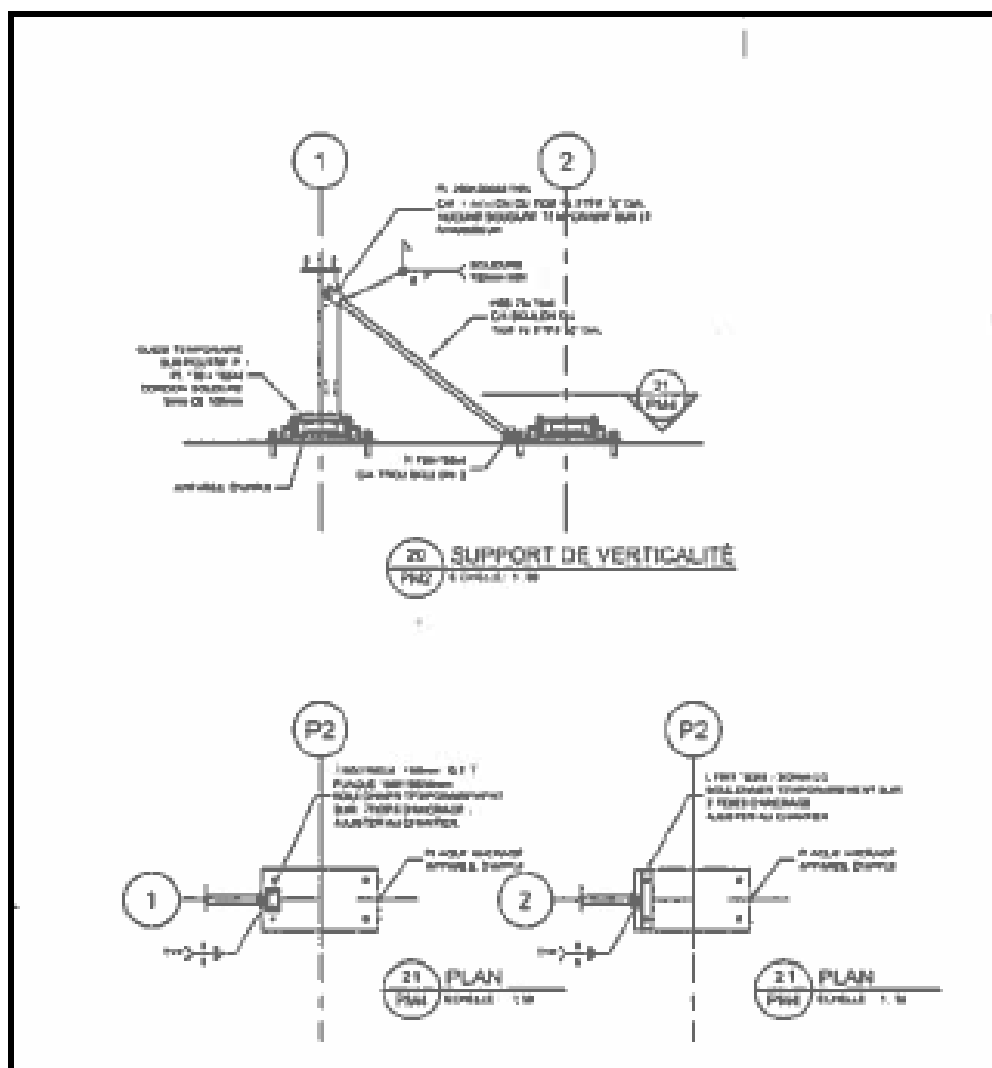


Figure 8 : Installation des contreventements latéraux de verticalité. Extrait du plan PM4, émis pour approbation - 22 mars 2016.

Source : Dumont Groupe-Conseil

- Les modifications (figure 9) au système d'ancrage et aux supports latéraux temporaires, réalisées en atelier, n'ont pas fait l'objet d'une attestation dûment signée par un ingénieur;
- L'attache à la semelle prévue est constituée d'un pouce boulonné (ajustable) et d'une main soudée;
- Les détails associés au plan PM4 (figure 10) ne prévoient pas de modification au niveau du pouce et de la main des supports latéraux temporaires pour agripper la semelle. Le plan PM4 ne montre pas non plus de câble d'acier et de palan à crochet pour élever les supports.

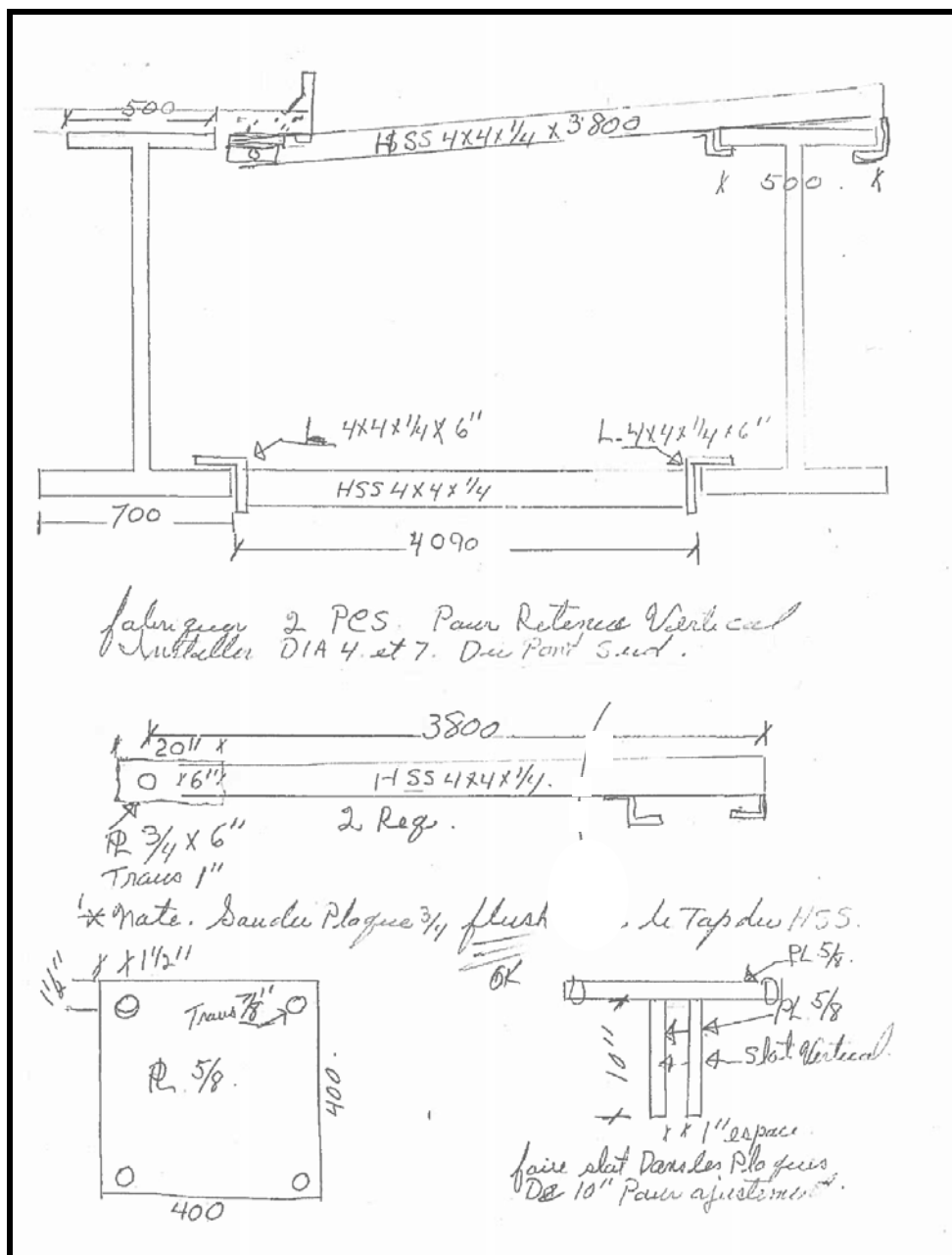


Figure 9 : Croquis des ancrages et des modifications aux supports latéraux temporaires, hiver 2016.

Source : Les Associés Gascon Itée

- La hauteur (cambrure) de la poutre P4 étant inconnue lorsqu'elle est soulevée par les grues, un trou ovalisé (figure 9, slot vertical) est prévu dans les plaques verticales des ancrages pour l'ajustement des supports latéraux temporaires.

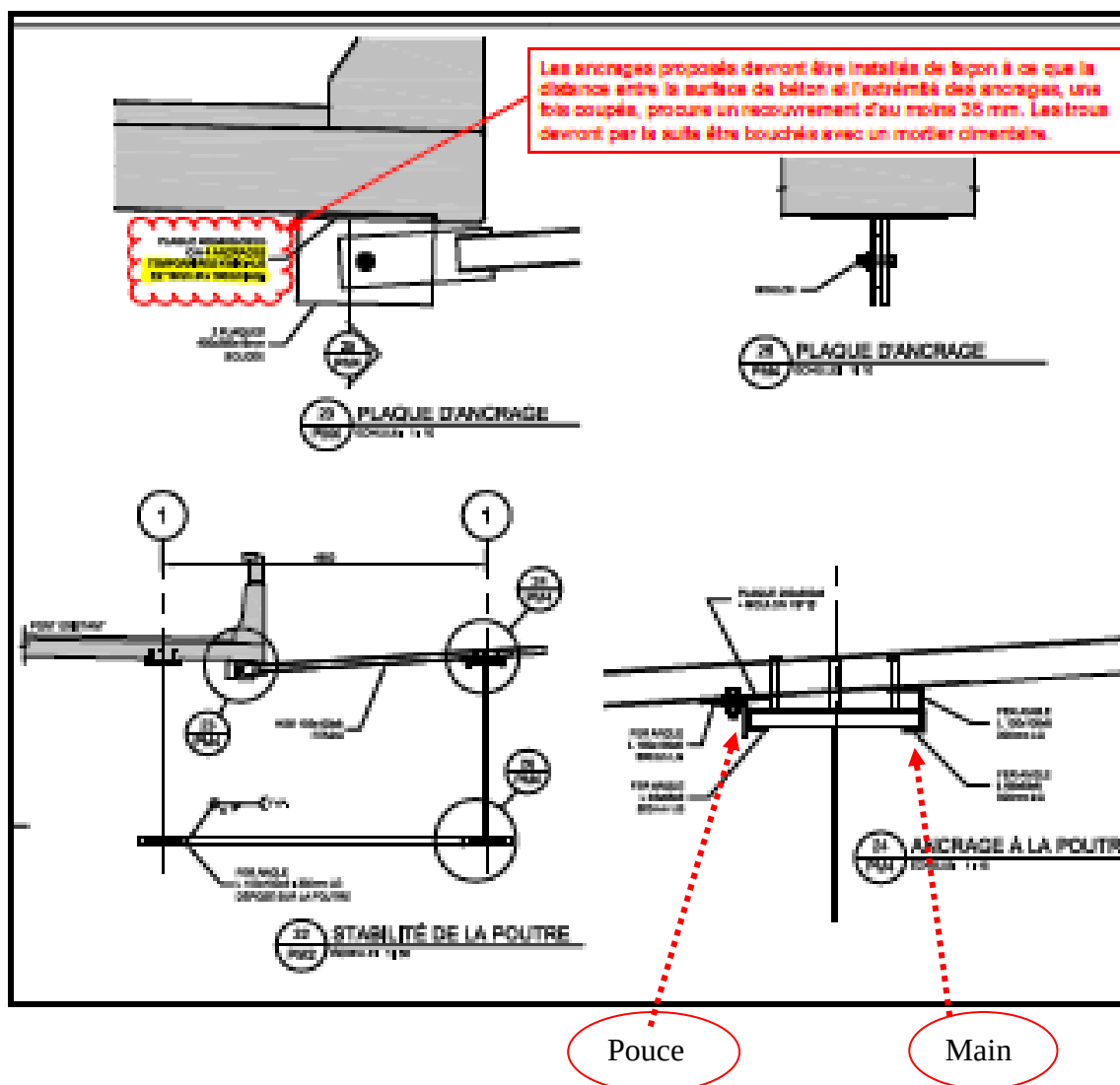
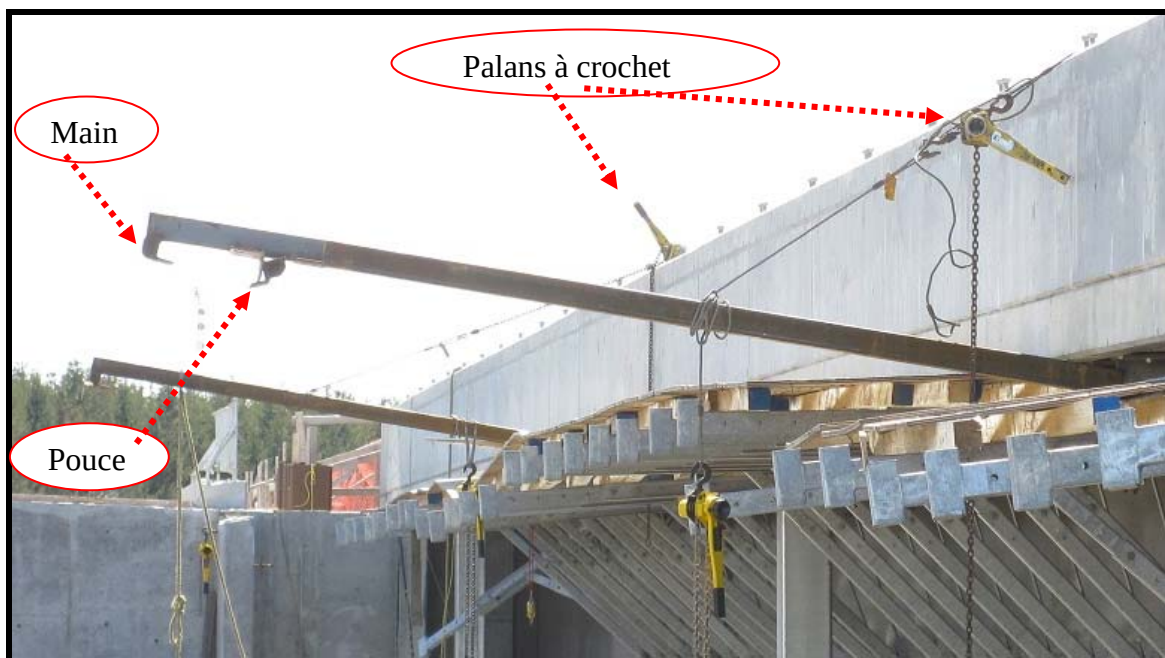


Figure 10 : Installation des supports latéraux temporaires. Extrait du plan de montage PM4, émis pour approbation - 22 mars 2016.

Source : Dumont Groupe-Conseil

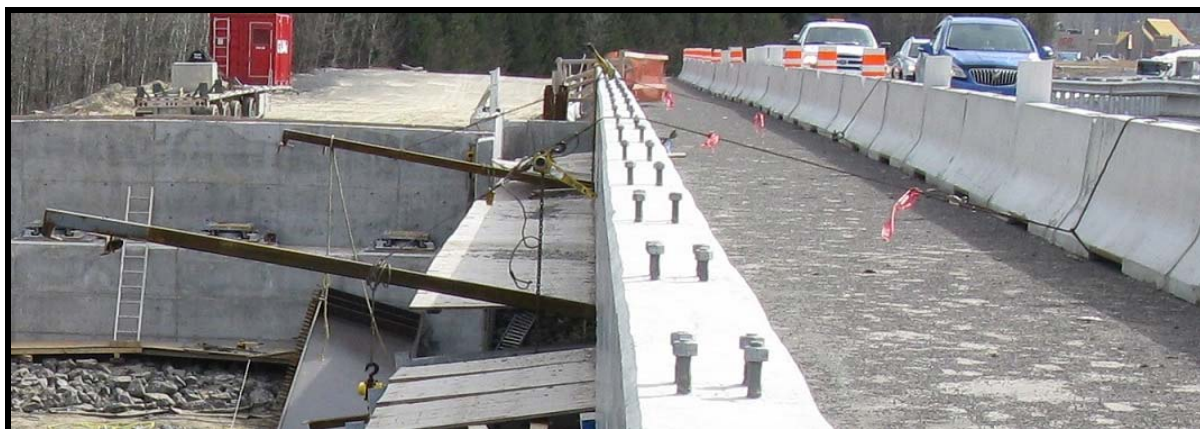
### Réalisation des travaux et les modifications au chantier

- À l'approche de la poutre P4 à sa position finale, les travailleurs constatent que les supports latéraux temporaires ne sont pas suffisamment soulevés. La poutre P4, soutenue par les grues, présente une cambrure importante. Les travailleurs parviennent à élever les supports latéraux temporaires au-dessus de la semelle à l'aide des palans à crochet, de barres d'acier et de beaucoup d'efforts;



*Photo 3 : Vue des deux supports latéraux temporaires soulevés par les câbles d'acier et les palans à crochet*

*Source : CNESST (3948)*



*Photo 4 : Vue des deux supports latéraux temporaires retenus par les câbles d'acier aux glissières temporaires sur le pont nord*

*Source : CNESST (4068)*

- Le rattachement des supports latéraux temporaires aux glissières temporaires ne figure pas aux plans de montage. À noter la possibilité d'un déplacement accidentel des glissières par un véhicule qui expose les travailleurs à un risque, particulièrement pendant l'installation des supports latéraux temporaires;
- En élevant le support latéral temporaire du côté ouest, la paroi supérieure du tube s'est enfoncée dans les parois verticales de l'ancrage. Il a été plus difficile de l'élever au-dessus de la poutre;

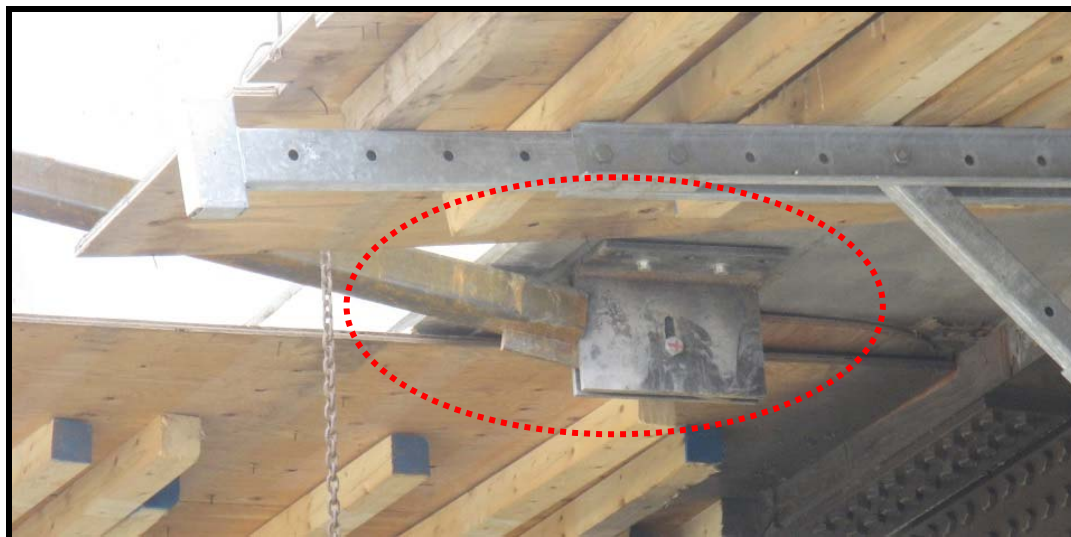




*Photo 5 : Enfoncement des parois verticales de l'ancrage dans la paroi du support latéral temporaire côté ouest.*

*Source : CNESST (4385)*

- On constate également que le tube d'acier vient s'appuyer sur le rebord inférieur du tablier en béton du nouveau pont. Le maximum d'élévation est atteint lorsque le boulon de la rotule se trouve au bas du trou ovalisé et du coup l'articulation de la rotule est bloquée. Les supports latéraux temporaires sont toujours immobilisés dans cette position après le déversement de la poutre;
- Le blocage de la rotule et le contact ferme du support latéral temporaire avec le tablier sont favorables à la transmission des vibrations engendrées par la circulation sur le pont;



*Photo 6 : Tube du support latéral temporaire, du côté est, appuyé contre le rebord du tablier en béton.*

*Source : CNESST (4077)*

- Sur la photo 6, on peut aussi voir que le tube d'acier est encastré dans les parois verticales de l'ancrage;
- La photo 7 montre la coupe en biseau qui a été pratiquée dans le tube pour faciliter l'élévation du support latéral temporaire du côté est;



*Photo 7 : Coupe en biseau facilitant le soulèvement du support latéral temporaire du côté est.  
Source : CNESST (4366)*

- La position du câble de soulèvement à 1803 mm de la rotule rend plus difficile l'élévation du support latéral temporaire du côté est comparativement à la position du câble, à 2565 mm de la rotule, du côté ouest;



*Photo 8 : Position des câbles qui soutiennent les supports latéraux temporaires.  
Source : CNESST (3948)*



- Les supports inférieurs, montrés sur la photo 8, s'appuyaient sur les semelles inférieures et devaient servir uniquement à maintenir la verticalité de la poutre P4 au moment d'installer les contreventements en « K »;
- En relâchant la tension dans les câbles retenus par les palans à crochet, les supports latéraux temporaires échoient en angle, assez prononcé, sur la semelle supérieure de la poutre P4. La poutre est toujours soutenue par les grues;
- La main et le pouce au bout de chaque support latéral temporaire ne rejoignent pas les rebords de la semelle;
- Le système d'ajustement du pouce à l'aide de boulons (les oreilles) est abandonné. Les modifications au système d'attache des supports latéraux temporaires sont décidées et élaborées verbalement par le contremaître. Deux cornières sont assemblées pour former un nouveau pouce et deux autres pour former la main;
- La photo 9 montre le support latéral temporaire du côté ouest après le déversement. Le pouce est déplacé et assemblé avec des points de soudure. Une main est reconstruite sous la main d'origine. Une cornière du pouce et une cornière de la main pour agripper le dessous de la semelle sont arrachées lorsque la poutre relâchée a fléchi;



*Photo 9 : Pouce et main du support latéral temporaire du côté ouest reconstruits et partiellement arrachés lorsque les grues relâchent la poutre.*

*Source : CNESST (3978)*

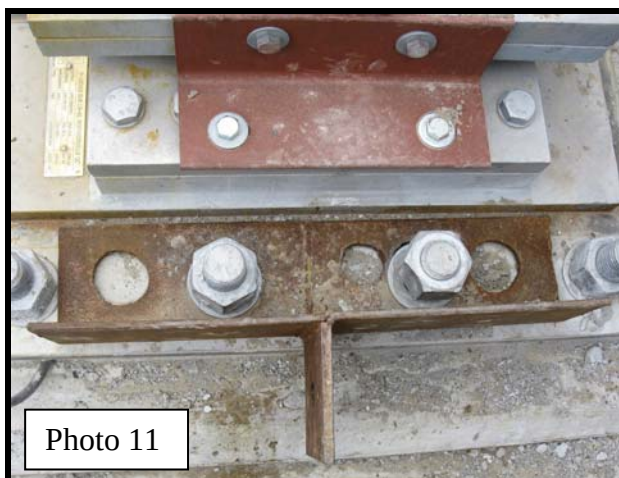
- La photo 10 montre le support latéral temporaire du côté est. Le pouce est déplacé et assemblé avec des points de soudure. La cornière qui refermait le pouce sous la semelle supérieure s'est ouverte comme une penture. La nouvelle main construite sous la main d'origine est disparue, elle a été complètement arrachée;



*Photo 10 : Poutre et main du support latéral temporaire, côté est.*

*Source : CNESST (3974)*

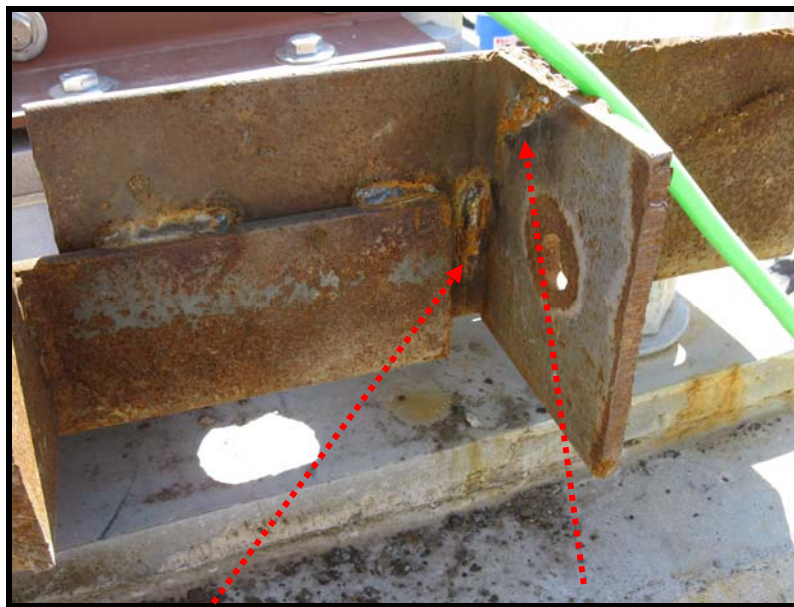
- Les connecteurs des deux contreventements latéraux ne sont pas boulonnés solidement aux appareils d'appui adjacents. Il est possible de les déplacer de quelques centimètres;



*Photos 11 et 12 : Connecteur à l'appareil d'appui, du côté ouest.*

*Source : CNESST (4091, 4092)*

- Suite à l'inversion des connecteurs, celui boulonné à l'appareil d'appui mobile du côté est a dû être modifié. Il n'est plus possible d'y boulonner le contreventement latéral. Les soudures ayant permis de fixer le contreventement latéral au connecteur n'ont pas résisté au déversement de la poutre;



*Photo 13 : Manque de fusion, partie de la soudure demeurée sur le profilé, dimension et profil irrégulier.*

*Source : CNESST (4085)*



*Photo 14 : Contreventement latéral du côté est arraché lors du déversement*

*Source : CNESST (3953)*



- Le contreventement latéral du côté ouest n'a pas plus résisté au déversement de la poutre. Il n'a jamais été retrouvé;
- Une expertise des travaux de soudage (annexe C) démontre qu'aucune des soudures réalisées au chantier sur les éléments du système de retenue latéral n'est conforme aux règles de l'art. Des manques de fusion sont observés, la longueur, les dimensions et le profil sont inadéquats et ne répondent pas aux exigences de la norme CSA W59;
- Le monteur-assembleur qui a soudé les attaches au bout des supports latéraux temporaires, à la demande du contremaître, ne détient pas de carte de compétence en soudage.

### **Des supports latéraux temporaires installés différemment en 2015**

Le rapport d'expertise (annexe B) fait ressortir les différences entre l'installation des supports latéraux temporaires en 2015 avec ceux de 2016. Les supports latéraux temporaires, rattachés à la poutre d'acier du vieux pont, sont à l'horizontale. Les attaches, mains et pouces, sont conformes au plan de montage. Le pouce est ajustable et boulonné. Il n'y a pas de câbles ou de palans à crochet les reliant au vieux pont. Tout est stable même si des contreventements en « K » sont installés sur la poutre.

Les deux premières poutres sont installées dans la même journée en 2015.



*Photo 15 : Supports latéraux temporaires installés sur la 1<sup>re</sup> poutre du pont nord en 2015*  
Source : WSP / EXP

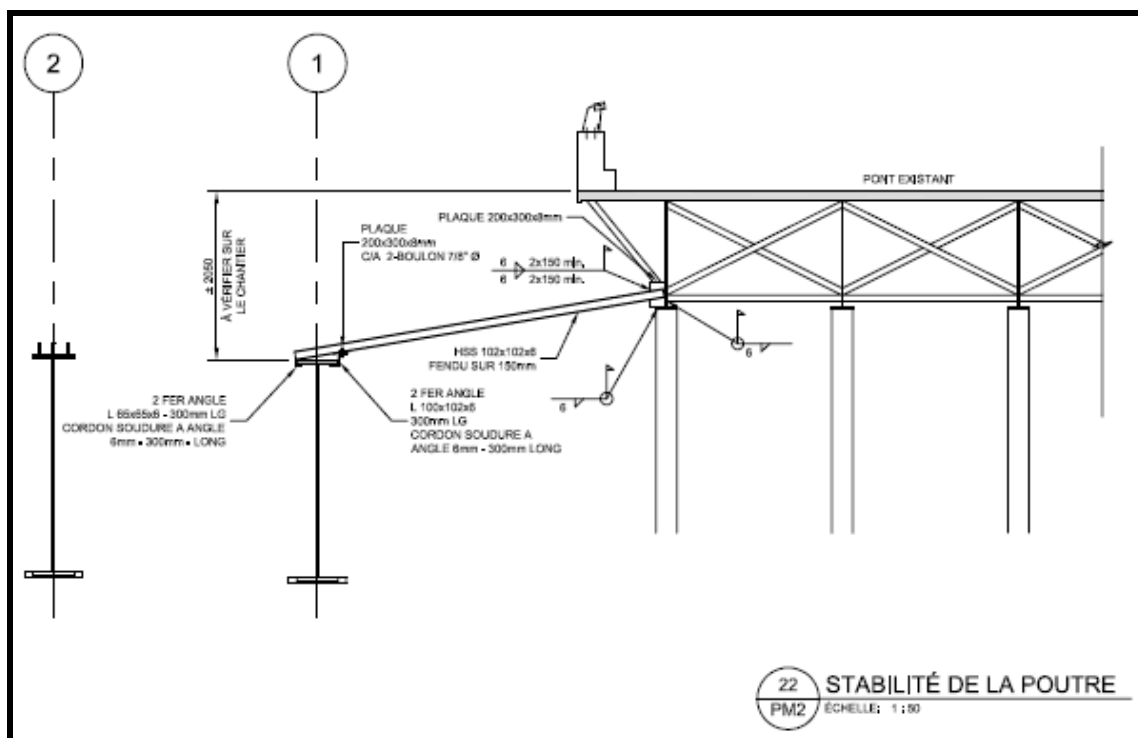


Figure 11: Installation des supports latéraux temporaires. Extrait du plan de montage PM4, réémis pour construction - 9 août 2015

Source : Dumont Groupe-Conseil

### Le boulonnage de l'épissure au-dessus de la rivière

- D'après les témoignages recueillis et nos observations, il appert que la presque totalité des boulons sur l'âme et les semelles du joint assemblé au-dessus de la rivière (à l'exception d'un nombre limité) est serrée à la main, sans l'usage d'un outil;
- Le rapport d'expertise souligne : « ... en jouant avec chacun des boulons, on se rend compte qu'ils tournent très librement dans leurs trous, à l'exception d'un petit nombre qui était apparemment serré à bloc tant sur l'âme que sur les ailes... Les boulons de l'aile supérieure en compression étaient particulièrement peu serrés, laissant les plaques libres de s'écarter de façon significative. »;
- Selon le rapport d'expertise, l'assemblage était apte uniquement à travailler par contact des boulons sur le bord des trous et non par friction entre les plaques. Les déformations observées sur les composantes de la semelle en compression, de l'ordre de quelques millimètres, ont certainement augmenté la flèche verticale de la poutre et ont pu contribuer à affecter son équilibre. Des boulons d'assemblage et des chevilles d'assemblage ont également été déformés. Ces observations démontrent que l'assemblage était moins rigide et moins efficace que celui complété sur le banc d'assemblage.



*Photo 16 : Écartement des plaques sur la semelle supérieure en compression*  
Source : CNESST (4128)



*Photo 17 : Écartement des plaques sur la semelle supérieure en compression*  
Source : CNESST (4236)



**Gestion des travaux, supervision et contrôle**

- Le procédé de boulonnage a fait l'objet, en 2015, d'une revue des exigences conformément au CCDG. La réunion s'est tenue au chantier, préalablement à l'érection du premier pont. Cette étape n'est pas reprise en 2016 étant donné que le procédé de boulonnage est inchangé et que la charpente est similaire;
- Le procédé de boulonnage ne fait pas mention du type de serrage des boulons avant de relâcher l'équipement de levage. La plupart des boulons sont serrés manuellement, sans l'usage d'un outil;
- La compaction du sol ne permettait pas de supporter les appareils de levage. Les sections de poutre ont dû être ramenées sur les berges à deux reprises occasionnant des retards;
- En raison des modifications (restriction) des points d'ancrage des supports latéraux temporaires, le procédé de montage est révisé avant les travaux, en 2016. Le plan PM4 qui a été soumis une seconde fois au surveillant est retourné au sous-traitant commenté et visé le 4 avril 2016. Il n'est pas revenu à l'ingénieur qui l'a produit. Les plans modifiés du procédé de montage commentés et visés, utilisés en 2016 par l'entreprise Les Associés Gascon ltée, ne sont pas émis pour construction;
- Le procédé de montage n'est pas suivi intégralement. Les modifications au chantier au niveau des mains et pouces des attaches au bout des supports latéraux temporaires ne sont pas soumises à l'ingénieur qui a élaboré le procédé de montage et produit les plans associés au procédé. L'utilisation des palans à crochet et des câbles d'acier pour soulever les supports latéraux temporaires n'est pas présentée sur les plans associés au procédé de montage;
- Le contremaître, qui décide des modifications aux attaches et qui commande de former une nouvelle main et un nouveau pouce pour agripper la semelle, ne s'assure pas que ses directives sont comprises (longueur des cordons de soudure). Il ne contrôle pas plus la qualité des soudures;
- L'embauche des monteurs-assembleurs ne fait pas l'objet de contrôle des qualifications en soudage de la part de l'employeur. Les monteurs-assembleurs qui ont modifié les attaches au bout des supports latéraux temporaires n'ont pas les qualifications requises en soudage;
- Les monteurs-assembleurs déclarent qu'une certaine tension subsiste dans les câbles retenant les supports latéraux temporaires lorsque la poutre est relâchée. Les travailleurs nous indiquent que des vibrations sont transmises à la poutre P4;
- L'ingénieur de Rouleau Desaulniers stipule que son attestation de fin de quart porte uniquement sur les étapes 9 et 10 du procédé de montage. Il vérifie et accepte les modifications réalisées au chantier par le sous-traitant en structure. L'ingénieur s'en remet aux informations qui lui sont transmises concernant les soudures aux attaches des supports latéraux temporaires sans les vérifier lui-même. Il n'y a aucune mention sur la présence des palans à crochet et des câbles retenant les supports latéraux temporaires.

## La réglementation, les normes et le CCDG

- La section 3.24 du CSTC présente les conditions et normes à respecter pour assurer la sécurité des travailleurs pendant les travaux de montage ou de démontage d'une charpente métallique, entre autres les articles suivants traitant des plans et procédures et de la préparation de l'aire de travail.

*CSTC, § 3.24. — Travaux de montage ou de démontage d'une charpente métallique  
D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.1. Champ d'application :** *La présente sous-section s'applique aux travaux de montage ou de démontage d'une charpente métallique incluant, le cas échéant, un tablier métallique, à l'exception des travaux de montage ou de démontage d'un poste de transformation d'énergie électrique, d'une tour de télécommunication ou d'un pylône servant au transport ou à la distribution d'énergie électrique.*

*D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.7. Plans et procédures :** *Les plans et les procédures prévus dans la présente sous-section doivent être conservés sur les lieux de travail et être accessibles.*

*D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.8. Préparation de l'aire de travail :** *Avant le début des travaux de montage d'une charpente métallique, le maître d'œuvre doit voir à ce que :*

*1° ...;*

*2° la résistance du sol sous l'aire de travail permet de supporter les appareils de levage, les camions et les charges pendant les travaux.*

*D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.9. Plan de montage :** *Les travaux doivent être effectués selon le plan du fabricant de la charpente métallique. Ce plan doit contenir notamment les indications suivantes :*

*1° l'emplacement des différents éléments de la charpente et leurs marques de montage;*

*2° les principales cotes et leurs niveaux respectifs;*

*3° le type de boulons utilisés et leur diamètre;*

*4° les soudures qui seront effectuées à pied d'œuvre;*

*5° les éléments structuraux temporaires;*

*6° le nombre de rangs d'entretoises et leur position, le cas échéant.*

*D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.10. Procédure de montage :** *En plus d'être effectués conformément au plan de montage prévu à l'article 3.24.9, les travaux doivent être exécutés selon une procédure élaborée par l'employeur. Cette procédure doit contenir notamment les renseignements suivants :*

*1° la méthode d'installation et les étapes du montage de la charpente;*

*2° les mesures à prendre pour assurer la stabilité des éléments de la charpente;*

*3° les mesures de protection des travailleurs contre les chutes.*

*Outre les exigences prévues au premier alinéa, la procédure de montage doit contenir la procédure de levage prévue à l'article 3.24.15.*

*D. 391-2011, a. 2.*

**3.24.15. Procédure de levage :** *Une procédure de levage doit être élaborée lorsque la manutention d'une charge est effectuée de l'une des façons suivantes :*

*1° par plus d'un appareil de levage;*

2° par un appareil de levage autre qu'une grue;

3° sur palette par un appareil de levage autre qu'un chariot élévateur à fourche.

Lorsqu'un appareil de levage est ancré à une structure existante, le point d'ancrage et sa charge d'utilisation doivent être indiqués à la procédure de levage.

D. 391-2011, a. 2.

- La norme CSA S6-14, *Code canadien sur le calcul des ponts routiers*, établit les exigences s'appliquant aux éléments en acier de construction notamment en termes de procédé de montage. Selon l'annexe A de la norme (A10.1.2.1 à A10.1.2.5) « *Les plans de montage, les dessins d'atelier, les modes opératoires de soudage ainsi que les dessins et calculs de montage doivent être soumis au propriétaire... Les dessins et les calculs du procédé de montage doivent indiquer clairement la méthode de travail proposée, notamment la séquence de montage, les poids et les points de levage des membrures, ainsi que l'emplacement et les capacités de levage des grues utilisées. Ils doivent présenter des vues détaillées des contreventements et des portiques temporaires qui doivent servir au cours de la construction. On doit produire des calculs démontrant que les membrures et les appuis ne subiront pas de surcharge au cours du montage* »;
- Le CCDG, à la section 6.6.3 mentionne au sujet des plans d'ouvrage temporaires « *Les plans d'ouvrage temporaires décrivent la méthode préconisée pour permettre la construction ou la réparation d'un ouvrage permanent. De façon non limitative, ce sont les plans des ouvrages suivants :... montage y compris les contreventements temporaires et les ouvrages temporaires... Les plans d'ouvrages temporaires sont remis au Ministère pour information...* »;
- Le CCDG, à la section 15.7.6 stipule qu'à moins d'indications contraires, le montage, **la mise en place des boulons** et l'inspection des assemblages doivent être réalisés conformément à la norme CAN/CSA S6. De même, à la fin de chaque quart de travail où des poutres ont été mises en place, et après inspection de ces poutres par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, l'entrepreneur doit remettre au surveillant un avis écrit et signé par cet ingénieur indiquant que les contreventements et les ouvrages temporaires sont installés conformément aux dessins et aux calculs du procédé de montage. Cet avis doit aussi mentionner la date et l'heure de l'inspection;
- Selon la norme CSA-S16-09, *Règles de calcul des charpentes en acier*, la définition du serrage à main est : « *Le degré de serrage obtenu habituellement par quelques percussions exercées au moyen d'une clé à percussion, ou que le monteur de charpentes métalliques obtient à l'aide d'une clé à fourche ordinaire afin de forcer le contact ferme entre les pièces assemblées* »;
- La procédure de boulonnage, exigée au CCDG, doit décrire la méthode utilisée au chantier pour la mise en place des boulons. Elle doit préciser la méthode d'ajustement des sections de poutre, ainsi que la séquence de mise en place et de serrage des boulons.

## 4.3 Énoncés et analyse des causes

### 4.3.1 Le déversement de la poutre P4 a été provoqué par la présence des câbles d'acier et des palans à crochet qui entravaient la mobilité des supports latéraux temporaires auxquels elle était solidaire.

Les dangers associés à l'exécution des travaux de construction d'ouvrage de grande portée sont nombreux. Les principaux sont l'écrasement à la suite d'un effondrement, l'ensevelissement lors de travaux de fondation, les chutes de hauteur, la noyade lors des travaux au-dessus de l'eau, les heurts avec des engins en évolution et tous ceux propres à l'utilisation du matériel nécessaire à l'exécution.

Assurer la sécurité du personnel et des biens dans l'emprise du chantier en empêchant l'effondrement de l'ouvrage, ou le renversement d'un de ses éléments en construction, exige des méthodes de montages particulières et détaillées. Ainsi, la mise en place des poutres doit être exécutée selon un **plan de montage** fournissant des précisions en regard des éléments structuraux temporaires **et** une procédure élaborée par l'employeur. La procédure doit contenir notamment, les renseignements suivants :

- 1° la méthode d'installation et les étapes du montage de la charpente;
- 2° les mesures à prendre pour assurer la stabilité des éléments de la charpente;
- 3° les mesures de protection des travailleurs contre les chutes...

L'expert mandaté par la CNESST a démontré l'importance du dispositif de retenue latérale et plus particulièrement des supports intermédiaires sur la poutre d'une telle portée (68,2 mètres) et les conséquences de leur absence. Il a décrit la chronologie du déversement de la poutre et son effondrement dans la rivière :

- En libérant les grues vers 17 h, la poutre a fléchi sous son propre poids, soit une flèche de près de 110 mm. Selon l'avis de l'expert, la flèche verticale était potentiellement plus élevée que prévu en raison d'un serrage non complété des boulons;
- Les supports latéraux temporaires n'ont pas suivi pleinement la poutre dans son déplacement vertical, car ils étaient retenus au pont existant par des palans à crochet et des câbles qui ont été laissés en place. Ce fait a été déterminant;
- Les attaches fabriquées avec des cornières (mains et pouces) qui renaient latéralement la semelle de la poutre aux supports latéraux temporaires ont été successivement arrachées (complètement ou partiellement selon le cas). Le lien central entre la poutre et le pont existant, assurant la stabilité latérale, est sérieusement diminué, ultimement rompu. L'expert mentionne : « Des conditions de stabilité (ou d'instabilité) intermédiaires sont présentes lorsqu'un seul « SLT » (support latéral temporaire) stabilise la poutre. La poutre est alors en équilibre très instable et une légère perturbation, telle une poussée latérale ou un déséquilibre au niveau d'un des trois supports latéraux restants ou du joint de montage, peut facilement la déstabiliser. »

Parmi les facteurs ayant pu affecter l'équilibre de la poutre et une légère perturbation, notons :

- Un joint de montage souple et présentant des déformations asymétriques qui peut affecter la verticalité. Il ne peut cependant à lui seul être responsable du déversement;
- Des supports latéraux temporaires appuyés sous le coin du tablier du pont existant qui ont éliminé l'effet de la rotule et permis la transmission des vibrations (le nouveau pont étant en service). Ces supports qui échoient en angle sur la semelle supérieure engendrent également une poussée latérale;
- Des assemblages de connexion à la base des contreventements latéraux qui pouvaient se déplacer de plusieurs millimètres et affecter la verticalité;
- La faible qualité des soudures pour l'assemblage des attaches au bout des supports latéraux n'a pas aidé;
- *Le vent qui, même s'il était très faible, aurait pu souffler en rafale sur la poutre.*

Dès que la poutre de longue portée n'est plus maintenue latéralement par les supports temporaires au centre, un flambement de la semelle supérieure comprimée s'est produit, hors du plan de flexion. Les extrémités de la poutre ont pivoté avec torsion sur les appareils d'appui. Les contreventements latéraux et les cordons de soudure de la semelle inférieure sur les appareils d'appui ont cédé tour à tour. Sans appui intermédiaire, ces derniers éléments ne pouvaient empêcher le déversement. La poutre a glissé de ses appuis et ultimement s'est effondrée dans la rivière.

Ce déversement, s'il s'était produit au moment de relâcher la poutre P4 ou pendant l'installation de la seconde poutre, P3, aurait pu avoir des conséquences beaucoup plus graves pour la sécurité des travailleurs.

Cette cause est retenue.



## 4.3.2 La planification, la supervision et les moyens de contrôle des travaux d'installation de la première poutre sont déficients quant à la mise en œuvre d'un procédé de montage sécuritaire.

Sur un chantier de construction, les ouvrages temporaires sont parfois perçus comme une tâche secondaire alors qu'en réalité leur mise en œuvre est fondamentale. Le comportement de la structure et l'évaluation des risques associés dans chacune des phases de la construction reposent sur une connaissance exhaustive de l'ouvrage. La planification des ouvrages temporaires commande des calculs complexes et élaborés et son exécution requiert des moyens matériels particuliers, exigeant une certaine expertise de la part des ingénieurs et des entrepreneurs.

Selon la norme CAN/CSA-S6, *Code canadien sur le calcul des ponts routiers*, l'ordre d'exécution des étapes de construction et tous les systèmes de supports temporaires doivent être indiqués dans les plans lorsque la méthode de construction cause des charges critiques pendant la construction. « **Les plans doivent exiger qu'au moment d'une proposition visant à modifier les méthodes de construction indiquées, l'entrepreneur présente au propriétaire pour approbation de nouveaux plans signés et scellés conformément aux exigences de l'autorité responsable qui contiennent toutes les méthodes de construction proposées, l'ordre d'exécution des travaux, ainsi que les systèmes de supports temporaires.** »

L'entrepreneur en structure fabrique des ancrages et modifie les supports latéraux temporaires en atelier sans que ces ouvrages ne fassent l'objet de plans certifiés. En raison des restrictions imposées, les ancrages seront fixés en dessous du tablier du pont nord.

Les plans de montage ne précisent pas la façon de soutenir les supports latéraux temporaires. L'entrepreneur les relie, avec des câbles d'acier et des palans à crochet, aux glissières temporaires sur le pont nord en service. Il y a un risque de heurt associé à la circulation automobile. Un déplacement accidentel des glissières est sujet à des conséquences pour la sécurité des travailleurs particulièrement pendant la phase d'installation des supports latéraux.

L'entrepreneur rencontre des difficultés pour élever les supports latéraux temporaires. Il ne tient pas compte par la suite qu'ils sont immobilisés contre le rebord inférieur du tablier en béton. Les palans à crochet et les câbles d'acier sont subséquemment laissés en place sans tenir compte de la flèche de la poutre. Les vibrations transmises par les supports latéraux temporaires, appuyés sur le rebord de la semelle supérieure de la poutre et dont le déplacement vertical est bloqué, ne sont pas prises en considération.

Les supports latéraux temporaires arrivent avec un angle prononcé sur la semelle de la poutre, les attaches ne coïncident pas avec la semelle. Les attaches sont modifiées à pied d'œuvre. Des soudures inadéquates et incomplètes rendent ces connexions d'autant plus vulnérables. Les soudures sont réalisées par du personnel n'ayant pas les qualifications requises. L'employeur ne vérifie pas les compétences en soudage à l'embauche.

Les connecteurs des contreventements latéraux aux appuis mobiles et fixes sont inversés. Le connecteur du côté est est boulonné à l'appareil d'appui adjacent avec un seul boulon. L'ingénieur appelé pour l'attestation de fin de quart exige une modification. Les soudures

réalisées pour fixer le contreventement latéral au connecteur présentent ensuite un manque de fusion et un profil irrégulier.

Les connecteurs pour les contreventements latéraux ne sont pas boulonnés solidement aux appareils d'appuis. Ils peuvent se déplacer latéralement et affecter la verticalité de la poutre.

Le type de serrage des boulons qui doit précéder le détachement des équipements de levage est questionné par l'expert mandaté par la CNESST. Le serrage manuel est défini ainsi : « *Le degré de serrage obtenu habituellement par quelques percussions exercées au moyen d'une clé à percussion, ou que le monteur de charpentes métalliques obtient à l'aide d'une clé à fourche ordinaire afin de forcer le contact ferme entre les pièces assemblées.* » Le serrage du joint assemblé au-dessus de la rivière ne correspond pas à cette définition.

C'est pendant la phase de construction de l'ouvrage que celui-ci est le plus vulnérable. Selon le manuel de construction et de réparation des structures publié par Transports Québec, en 2010 : « *Cette vulnérabilité est encore plus grande dans le cas de la première poutre mise en place tant qu'une deuxième poutre n'est pas à sa position finale.* » Ce guide mentionne également que l'attestation de fin de quart de travail ne peut être émise que lorsque tous les contreventements temporaires sont en place. L'ingénieur doit lui-même inspecter, sans délégation possible, les poutres mises en place avant de signer son avis. L'ingénieur exerce le contrôle ultime à la fin du quart de travail, il est le plus apte à détecter toute anomalie.

L'entrepreneur responsable de l'érection n'a pas d'ingénieur à son service sur les lieux de travail, pendant le montage de la structure. Il fait appel, selon ses besoins, à des ressources externes d'ingénierie notamment, pour le procédé de boulonnage, le procédé de montage et les attestations de fin de quart.

Le 14 avril 2016, l'ingénieur qui produit l'attestation de fin de quart s'en remet à la description des modifications aux attaches qui lui est faite. Les soudures ne sont pas inspectées afin d'en détecter toutes anomalies pouvant compromettre leur résistance. L'ingénieur ne vérifie pas le degré de serrage des boulons. L'attestation de fin de quart ne fait pas mention de la présence des palans à crochet et des câbles d'acier bien que ces équipements ne figuraient pas au procédé de montage. Le fait que les supports latéraux temporaires ne suivent pas pleinement la poutre dans son déplacement vertical et que la fonction essentielle des rotules est bloquée n'est pas détecté.

Plusieurs problèmes rencontrés au chantier découlent d'une planification déficiente. Des modifications à pied d'œuvre, l'absence de vérification des soudures, des attaches aux connecteurs des contreventements latéraux aux extrémités de la poutre et surtout de ne pas s'être assuré du libre mouvement vertical des supports latéraux temporaires font état d'une supervision et de moyens de contrôle déficients.

Cette cause est retenue.

**SECTION 5****5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

Le 14 avril 2016, vers 18 h 10, une poutre principale du pont en construction sur l'autoroute 40 en direction est, à Berthierville, déverse et s'effondre dans la rivière Bayonne.

L'enquête permet de retenir les causes suivantes :

- Le déversement de la poutre P4 a été provoqué par la présence des câbles d'acier et des palans à crochet qui entravaient la mobilité des supports latéraux temporaires auxquels elle était solidaire.
- La planification, la supervision et les moyens de contrôle des travaux d'installation de la première poutre sont déficients quant à la mise en œuvre d'un procédé de montage sécuritaire.

**5.2 Autres documents émis lors de l'enquête**

- Le 18 avril 2016, une ordonnance d'arrêt des travaux de montage des poutres en acier du pont sud est émise au maître d'œuvre et à l'employeur dans le rapport d'intervention RAP1037103;
- Le 19 avril 2016, une ordonnance de saisie aux fins d'expertise des supports latéraux temporaires (SLT) fixés sous le tablier du pont nord est émise au maître d'œuvre et à l'employeur dans le rapport d'intervention RAP1037592;
- Le 28 avril 2016, le rapport d'intervention RAP1037593 est produit dans le cadre d'une autorisation de reprise partielle des travaux accordée au maître d'œuvre pour le retrait de la poutre P4 dans la rivière Bayonne. Des éléments se trouvant au chantier ont également été saisis aux fins d'expertise (outillage, ancrages, etc.);
- Le 3 mai 2016, le maître d'œuvre est autorisé à retirer les SLT sous le pont nord dans le rapport d'intervention RAP1037766;
- Le 2 juin 2016, le maître d'œuvre est autorisé à poursuivre le montage des poutres en acier du pont sud dans le rapport d'intervention RAP1039677.

## 5.2 Recommandations

Plusieurs enquêtes réalisées par la Commission ont fait ressortir l'importance des ouvrages temporaires qui doivent assurer la stabilité d'une structure pendant la phase de construction et les conséquences graves sur la sécurité des travailleurs lorsqu'ils sont négligés.

La conception, la fabrication et l'installation de ces ouvrages temporaires doivent faire l'objet d'autant de rigueur que celle appliquée à un ouvrage permanent. Au même titre que les modifications aux ouvrages permanents sont approuvées par l'ingénieur concepteur, toute modification à un ouvrage temporaire devrait être approuvée par l'ingénieur concepteur de la procédure de montage. De même que le suivi et l'inspection au chantier d'un ouvrage temporaire devraient être réalisés par l'ingénieur concepteur ou en concertation avec ce dernier.

Afin d'éviter qu'un tel accident se reproduise, la CNESST informera les associations patronales de la construction (ACQ, APCHQ, ACRGTQ) des conclusions de son rapport d'enquête afin qu'elles informent les maîtres d'œuvre et employeurs responsables du montage de s'assurer que la procédure de montage de l'ouvrage temporaire soit complète et émise pour construction par l'ingénieur concepteur de l'ouvrage temporaire, et que toute modification concernant l'ouvrage temporaire soit approuvée par ce dernier.

**ANNEXE A**

## Liste des personnes et témoins rencontrés

M. Florin Pauna, ing., Service des projets, MTMDET  
M. [D], [...], WSP – EXP  
M. [E], [...], WSP – EXP  
M. [F], [...], Roxboro Excavation inc.  
M. [G], [...], Roxboro Excavation inc.  
Mme [H], [...], Roxboro Excavation inc.  
M. [I], [...], Roxboro Excavation inc.  
M. [B], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [J], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [K], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [C], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [L], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [M], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [N], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [O], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [P], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [Q], [...], Les Associés Gascon Érecteurs ltée  
M. [R], Dumont Groupe-Conseil  
M. [S], Rouleau-Desaulniers Services d'ingénierie en structure



**ANNEXE B**

Rapport d'expertise  
Déversement d'une poutre de pont dans la rivière Bayonne à Berthierville

# **RAPPORT D'EXPERTISE**

**Déversement d'une poutre de pont dans la Rivière  
Bayonne à Berthierville**

**par**

**Denis Beaulieu, Ph.D., Ing.**

**30 Août 2016**

# **RAPPORT D'EXPERTISE**

## **Déversement d'une poutre de pont dans la Rivière Bayonne à Berthierville**

par

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Denis Beaulieu', with a stylized, cursive script.

**Denis Beaulieu, Ph.D., Ing.**

**30 Août 2016**

## Mandat

Selon le contrat abrégé de services professionnels :

Identifier les facteurs techniques ayant entraîné le déversement d'une poutre en acier après son installation sur les appareils d'appui au chantier de construction du pont sud de l'autoroute 40, au-dessus de la rivière Bayonne à Berthierville.

De façon plus spécifique, selon un premier échange avec la CNESST :

- 1- Vérifier si le système de retenue latérale établi dans le procédé de montage du Groupe Dumont (# projet 205-008-15, révision #2, 22 mars 2016) avait la résistance suffisante pour stabiliser la poutre (nombre de supports, positions, assemblage entre ailes et supports).
- 2- Le nouveau pont, en-dessous duquel étaient fixés les 2 supports latéraux, étant ouvert à la circulation, vérifier si les vibrations ou le fléchissement du pont ont provoqué le relâchement du joint entre le bout des supports et l'aile supérieure de la poutre. Le recueil de l'information sur les vibrations et les flèches n'est pas inclus dans le mandat. Il faudrait voir si l'information pourrait provenir de l'ingénieur concepteur ou du MTQ.
- 3- Lors de l'installation, les monteurs ont eu des difficultés et ils ont modifié quelques détails de la procédure, notamment le support de verticalité à l'extrémité ouest, et l'assemblage entre les bouts des supports latéraux et l'aile supérieure de la poutre. Vérifier si ces modifications ont eu un impact sur la résistance des assemblages présentés dans le procédé.

## Notes concernant le rapport

- 1- Les informations concernant le déroulement et la chronologie de l'événement proviennent des témoignages recueillis par l'inspecteur de la CNESST.
- 2- Les photos et les figures proviennent de l'auteur sauf où autrement indiqué.
- 3- Les calculs de vérification considèrent les charges et résistances **non pondérées**, puisque la rupture de la poutre est survenue. Les calculs réalisés par la firme CIMA+ ont été effectués selon les directives de l'auteur.

## Les documents soumis

- 1- Cahier des charges et devis généraux, infrastructures routières, construction et réparations, édition 2014, *Transports Québec*.
- 2- Plans *Transports Québec* Reconstruction des ponts P-09806 (N et S) sur l'autoroute 40 au-dessus de la rivière Bayonne, Ponts P-18531S, PO-2013-1-18531S, page 1/27 à 27/27 émis le 20 juin 2014 pour construction.

- 3- Plans d'atelier de *PROCO* signés par l'ingénieur le 15 juin 2015 et revus par *CIMA* en date du 10 juillet 2015 : M001, M002, PRE-ASS, NOTE 1, B1 à B12, AM8 à AM10, B101 à B105, X1 à X4, XS1, X101 à X109.
- 4- Plans d'atelier de *PROCO* signés par l'ingénieur le 12 août 2015 et revus par *CIMA* en date du 27 août 2015 : B4, B5, B7, B10, B103, B104
- 5- Procédé de montage *Dumont Groupe-Conseil*, # projet 205-008-15 révision 2, 22 mars 2016, visé par EXP le 04-04-2016.
- 6- Plans de référence au procédé de montage de *Dumont Groupe Conseil*; PM1, PM3 et PM4 émis le 22 mars 2016 pour approbation, et les plans PM2 et PM5 émis le 6 avril pour approbation.
- 7- Trois documents de notes de calcul, du # projet 205-004-15 en référence au procédé de montage de *Dumont Groupe Conseil*; « Conception du système de retenu latéral temporaire », « Vérification du déversement de la poutre lors du montage » et « Analyse des plaques de la poutre »
- 8- Procédure de boulonnage de *Rouleau-Desaulniers Services d'Ingénierie en Structure*, datée du 6 juillet 2015, recommandé tel qu'annoté par WSP en date du 10 juillet 2015.
- 9- Attestation de conformité émise par *Gascon Associates Erectors Ltd.* le 14 avril 2016.
- 10- Rapport M16-32051A-001 – Inspection de stabilisateurs temporaires (inspection des soudures) par *MISTRAS Division Montréal*, 20 mai 2016.
- 11- Données climatiques d'Environnement Canada; données horaires pour le 14 avril 2016.

## Déroulement des principales activités de travail le 14 avril 2016

Le 14 avril 2016, il était prévu d'assembler les poutres P4 et P3 avec un nombre suffisant de contreventements verticaux entre les poutres afin d'assurer leur stabilité. Pour chacune des quatre poutres de 68,2 m de travée du pont, deux des trois segments ont été préassemblés de façon finale par boulonnage sur la berge de la rivière, du côté de Montréal. Les troisièmes segments attendaient sur l'autre berge, du côté de Québec, d'être boulonnés aux deux premiers au-dessus de la rivière. La plus grosse des trois grues était en position sur la berge ouest et les deux autres étaient sur l'autre berge.

Les travaux ont débuté vers 6h30, mais assez tôt, on a expérimenté des problèmes de stabilité avec la grue de 650t qui devait soulever les segments B10+B11, ainsi qu'avec la grue de 120t qui devait mettre le segment B12 de la poutre P4 en position. Les travaux devant être effectués le 14 avril ont ainsi accusé un sérieux retard, puisqu'ils n'ont pu être repris que peu après 13h00.

En compte final, seule la poutre P4 a pu être installée sur ses appareils d'appui avant la fermeture du chantier à 17h15. En après-midi, donc, 50% des boulons du joint de montage ont été insérés dans les trous de l'âme et des ailes du côté de Québec, des **supports de verticalité temporaires** ont été installés aux deux extrémités de la poutre et des **supports latéraux temporaires** ont été mis en place en deux points intermédiaires le long de la poutre, comme le prévoyait le procédé de montage de la poutre P4. À 18h10, toutefois, la poutre s'est renversée dans la rivière (Figure 1), sans témoin, puisque le chantier était déserté.



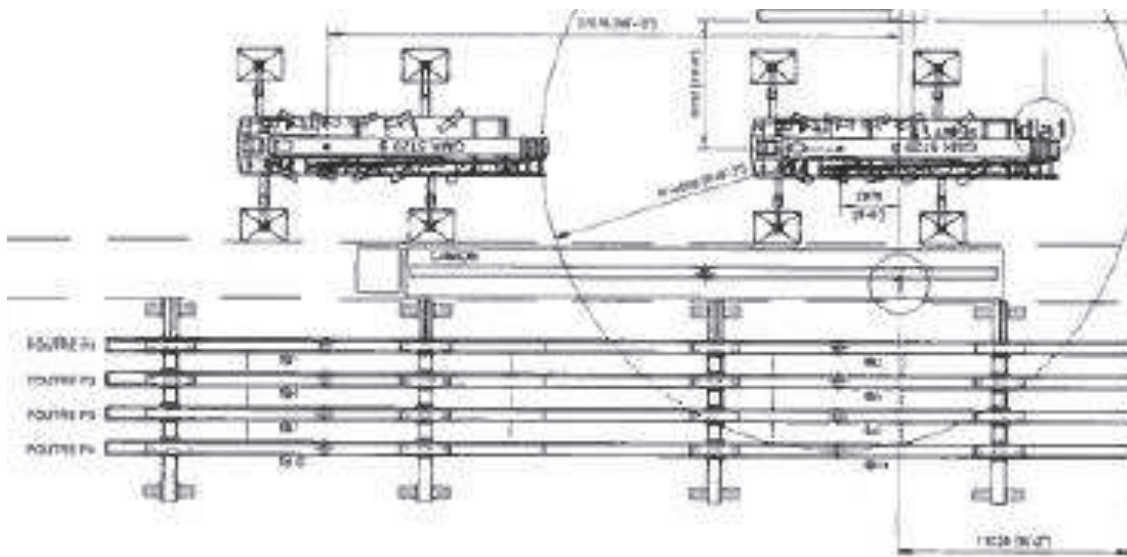
**Figure 1 – La poutre P4 dans la Rivière Bayonne**

### **Procédé de montage**

Le procédé de montage préparé par Dumont Groupe-Conseil (document de 28 pages et Plans PM1 à PM5) est, à toutes fins pratiques, convenable, puisqu'il a été utilisé avec succès pour la construction du pont nord sur la Rivière Bayonne. Il a dû subir quelques modifications pour être adapté à la construction du pont sud, qui nous concerne. Par extension, on peut supposer que le design des poutres et du pont dans son ensemble sont adéquats, puisque le pont nord a été construit sans problème majeur et se comporte convenablement depuis son entrée en service.

Les étapes 1 à 8 consistaient à installer les huit segments de poutre sur le banc d'assemblage du côté de Montréal (Figure 2). Le boulonnage des quatre joints de montage a été complété avec succès (Figure 3).





Source : Plan PM1 de Dumont Groupe Conseil



Figure 2 – Assemblage des segments de poutre sur le banc de montage du côté de Montréal



**Figure 3 – Joint de montage préassemblé sur le banc de montage**

Les étapes 9 et 10 du procédé de montage décrivent la procédure à suivre pour l'installation de la poutre P4, c'est-à-dire des segments 1B10 + 1B11 et 1B12 sur les appareils d'appui au-dessus de la Rivière Bayonne. Ce sont ces étapes qui ont été réalisées partiellement le 14 avril 2016 et qui ont fait l'objet d'une attestation de conformité au plan de montage signée à 17h15 par l'ingénieur de *Rouleau-Desaulniers Services d'Ingénierie en Structure*, mandaté par *Les Associés Gascon Érecteurs Ltée*.

### **Boulonnage du joint de montage entre les segments de poutre 1B10 + 1B11 et 1B12**

Alors que la grue #1 maintenait les segments 1B10 + 1B11 en place au-dessus de la rivière et que la grue #2 remplissait le même rôle avec le segment 1B12, deux monteurs s'affairaient à aligner les plaques de recouvrement des ailes et de l'âme de la poutre à l'aide de chevilles d'assemblage

et à installer 50% des boulons répartis uniformément dans le joint, selon la *Procédure de boulonnage pour les ponts du MTQ* émise par Rouleau-Desaulniers Services d'Ingénierie en Structure le 6 juillet 2015. Les boulons, écrous et rondelles ont simplement été mis en place **sans serrage à bloc**, à l'exception d'un nombre très limité de boulons de pré-assemblage sur l'âme et les ailes.

Il est possible que ce soit par manque de temps, à cause du retard que le chantier a accusé cette journée-là, que l'assemblage n'a pas été davantage complété. Il aurait été préférable de serrer davantage ou de serrer à bloc tous les boulons en place avant la fin de quart. Il en a résulté un assemblage apte uniquement à travailler par contact des boulons sur le bord des trous et non par friction entre les plaques, comme cela aurait peut-être dû être le cas. Il convient toutefois de noter que le nombre de boulons en place à la fermeture du chantier était plus que suffisant pour résister aux efforts de flexion et de cisaillement induits par le poids propre de la poutre. L'assemblage était quand même partiellement complété pour les fins de stabilité puisque les différentes composantes du joint pouvaient assez librement subir des déplacements susceptibles d'induire des déformations **non désirées** de la poutre : une flèche verticale plus élevée que prévue, puisque le diamètre des trous est 2 mm plus grand que le diamètre des boulons, mais, surtout, des déformations non symétriques de la section au droit de l'assemblage **pouvant contribuer à déstabiliser la poutre**.

Il convient de souligner que le Procédé de Montage de Dumont Groupe Conseil, qui se réfère au Procédé de Boulonnage de Rouleau-Desaulniers, ne donne aucune indication sur **le type de serrage des boulons** qui doit précéder le détachement des équipements de levage : « ...*installer 50% des boulons dans les joints, répartis uniformément, avant que la section de poutre soit détachée de l'équipement de levage* ». Le *Cahier des Charges et Devis Généraux, Infrastructures Routières, Construction et Réparations*, édition 2014, de Transports Québec jette, pour sa part, un peu plus de confusion sur le sujet à l'article 15.7.6.1 portant sur les *Joints Boulonnés*. En 15.7.6.1.1 – *Mise en place des boulons*, premier paragraphe : « Les trous doivent être alignés au moyen de chevilles d'assemblage et les pièces doivent être maintenues assemblées par un nombre suffisant de boulons de pré-assemblage **serrés à bloc**. » Au troisième paragraphe : « Une section de poutre doit être retenue par des boulons et des chevilles d'assemblage en remplissant au moins 50% des trous des joints de chantier avant qu'elle soit détachée de l'équipement de levage. Les boulons avec leurs écrous (**serrés manuellement**) et les chevilles d'assemblage (concentrées en rive des plaques d'assemblage) doivent être répartis uniformément dans le joint (semelles et âme). » En 15.7.6.1.1 (a) – *Serrage des boulons*, quatrième paragraphe : « **Le serrage à bloc** est défini comme étant le serrage permettant de mettre les surfaces des plaques en contact parfait, ce qui correspond à une tension initiale dans les boulons de 15% + ou – 3% de la valeur minimale indiquée à l'article 10.24.6.3 de la norme CAN/CSA S6 – Code canadien sur le calcul des ponts routiers. L'entrepreneur doit utiliser une des méthodes suivantes pour procéder au **serrage à bloc** des boulons : (1) **serrage manuel** à l'aide d'une clé à mâchoires; (2) serrage avec une clé ajustable réglée de manière à obtenir la tension

*initiale exigée dans le boulon ou ayant une capacité maximale ne dépassant pas cette tension ».* Quelle est la véritable définition de serrage manuel? Le serrage manuel est-il un type de serrage à bloc?

Plus loin, en 15.7.6.1.1 (b) –*Serrage des boulons des joints de chantier des poutres principales*, quatrième paragraphe : « ... pour **les trois étapes principales** de la procédure de boulonnage (le **serrage à bloc**, le marquage et le serrage final) ». Le type de serrage manuel observé sur la poutre qui nous concerne n'est donc pas considéré comme une étape principale de la procédure de boulonnage.

Il a été possible de constater les nombreux défauts du joint de montage non complété en l'examinant de près quelques jours après le déversement de la poutre ainsi que dans les jours qui ont suivi sa sortie de l'eau, et en le comparant à l'assemblage qui avait été complété entre les segments 1B10 et 1B11. Les nombreuses photos qui suivent en témoignent :

Figure 4 - Le joint en construction était heureusement accessible à partir de la berge est de la rivière (côté Québec). On peut voir les équipements de construction qui avaient été laissés en place pour terminer le montage du joint le lendemain.

Figures 5 et 6 – On constate que c'est bien 50% des boulons qui sont en place, mais en jouant avec chacun des boulons, on se rend compte qu'ils tournent très librement dans leurs trous, à l'exception d'un petit nombre qui était apparemment serrés à bloc tant sur l'âme que sur les ailes. Cette opération a été partiellement filmée. On constate, de plus, que quatre chevilles d'assemblage ont été laissées sur l'âme de la poutre et que huit et six chevilles ont été respectivement laissées sur l'aile en traction (Figure 13) et l'aile en compression (Figure 14).

Figures 7 à 11 – Les boulons de l'aile supérieure en compression étaient particulièrement **peu serrés**, laissant les plaques libres de s'écarter de façon significative. Les déformations observées sur la Figure 9, de l'ordre de quelques millimètres, ont certainement augmenté la flèche verticale de la poutre et ont pu contribuer à la déstabiliser. On constate sur la même figure que les parois de l'aile sont en contact ferme du côté nord (côté visible), alors qu'il existe un bon écart entre ces mêmes plaques du côté sud (Figure 10). L'aile en traction présente les mêmes caractéristiques, tel qu'observé sur la Figure 11.





Figure 4 – Le joint en construction était accessible à partir de la berge est de la rivière

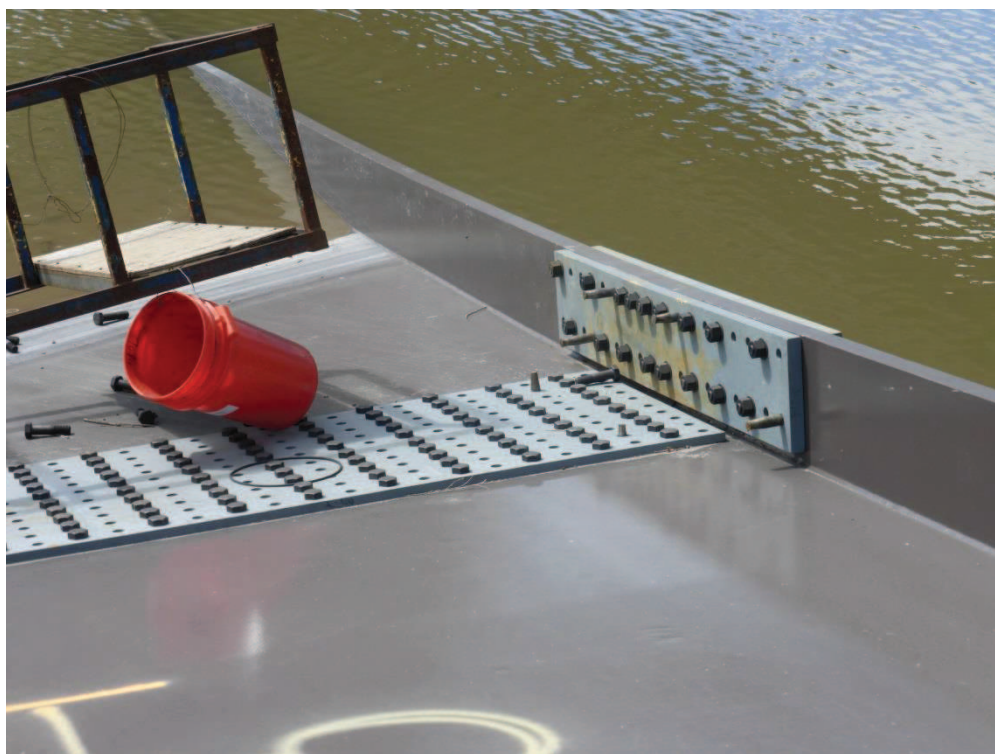


Figure 5 – Vue du côté nord de l'âme et de l'aile inférieure en traction



Figure 6 – Vue du côté nord de l'aile supérieure en compression

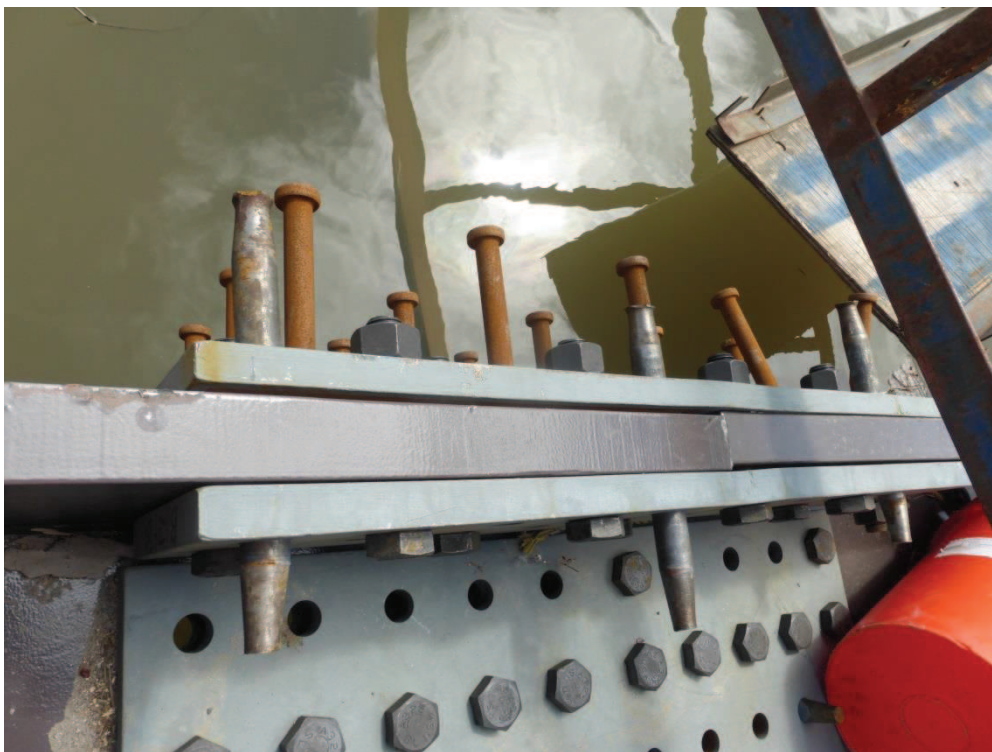


Figure 7 – Écartement des plaques sur l'aile supérieure en compression





**Figure 8 – Vue rapprochée de l'écart entre la plaque de recouvrement et l'aile en compression**



**Figure 9 – Jeu très marqué entre les composantes de l'aile en compression**



**Figure 10 – Vue de l'écart important entre le bout des plaques principales à l'extrémité sud de l'aile en compression (tout juste au-dessus de l'eau)**



**Figure 11 – Vue de l'écart très important entre le bout des plaques principales à l'extrémité sud l'aile en traction (tout juste au-dessus de l'eau)**

Figure 12 – On pourrait argumenter que les déformations mesurées sur le joint sont principalement imputable à l’effondrement de la poutre. Il est, en effet, difficile de faire le partage entre ce qui s’est produit au niveau de cet assemblage dans les minutes qui ont précédé l’effondrement et ce qui a pu être mesuré par la suite. Cela a plus ou moins d’importance et n’enlève rien au fait que l’assemblage était beaucoup moins rigide et efficace que celui qui avait été complété préalablement sur le banc d’assemblage. Ce dernier, montré sur la figure 12, est en parfait état, malgré la chute de la poutre.

Figures 13 et 14 – Ces figures montrent la disposition plus ou moins symétrique des boulons et des chevilles d’assemblage sur l’aile inférieure en traction et l’aile supérieure en compression, respectivement. On constate qu’un peu moins de 50% des boulons sont en place, mais les chevilles peuvent compenser.

Figures 15 à 17 – Un certain nombre de boulons et la plupart des chevilles retirés de l’assemblage sous investigation montraient des déformations prononcées en flexion ou en cisaillement. Plusieurs trous dans les plaques étaient légèrement ovalisés (non montré).

Figure 18 – Même certaines plaques composant l’assemblage montraient des déformations plastiques résultant de l’impact de la poutre lors de sa chute.



**Figure 12 – Le joint de montage préalablement assemblé était en parfait état après la chute de la poutre**





**Figure 13 – Vue de l’aile en traction montrant huit chevilles**



**Figure 14– Vue de l’aile en compression montrant six chevilles**





Figure 15 – Déformation prononcée caractéristique d'un des boulons de l'assemblage



Figure 16 – Déformation en flexion caractéristique d'une des chevilles de l'assemblage





**Figure 17 – Déformation en cisaillement d'une des chevilles de l'assemblage**

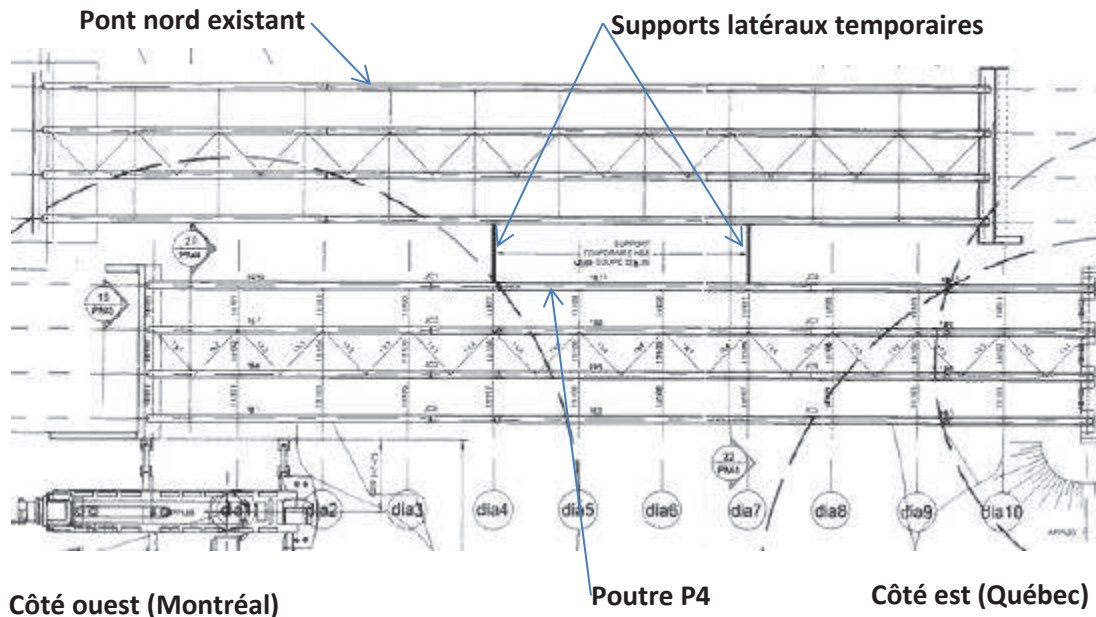


**Figure 18 – Déformation plastique d'une des plaques de recouvrement sous l'aile en compression**

En compte final, la procédure de boulonnage a plus ou moins été suivie, mais n'a certes pas été complétée le 14 avril par l'équipe de monteurs. Les étapes 5 et 6 concernant les chevilles d'assemblage et 50% des boulons devant être répartis uniformément sur l'âme et les semelles ont plus ou moins été réalisées. L'étape 7, concernant le relâchement de l'équipement de levage, a aussi été réalisée, mais l'installation des boulons manquants (étape 8) a été reportée au lendemain. Selon l'étape 9, un avis devait être donné au surveillant de chantier avant le quart de travail pour le **serrage à bloc** des boulons. Un tel avis n'a pas été porté à notre attention et le serrage à bloc n'a, de toute évidence, pas été fait avant la fin du quart. Les autres étapes de la procédure de boulonnage ont été reportées au lendemain.

## **Supports latéraux temporaires (SLTs)**

Pour développer la pleine capacité flexionnelle de la poutre, des supports latéraux (contreventements en K ou diaphragmes) doivent être installés à tous les 6,2 m le long de la poutre. Toutefois, pour le montage de la première poutre, soit la poutre P4, il a été démontré (No Projet 205-004-15, *Conception du système de retenue latérale temporaire* de Dumont Ingénieur Conseil et *Vérification du déversement de la poutre lors du montage de Graitec*, 8 juillet 2015) que des supports latéraux temporaires disposés au droit des contreventements en K # 4 et 7 sont suffisants pour assurer la stabilité de la poutre fléchie uniquement sous son propre poids (Figure 19). Une analyse de stabilité de la poutre en fera la démonstration plus loin dans le rapport. Un relevé effectué par un arpenteur dans les jours qui ont suivi le renversement de la poutre a démontré que les SLTs (Figure 1) étaient, en fait, situés à 23 et 28 m de la face du mur de grève du côté ouest et est du pont, respectivement, et que la distance entre les SLTs était de 19 m, pour un total de 70 m. La portée de la poutre entre ses deux appuis est toutefois de 68,2 m.



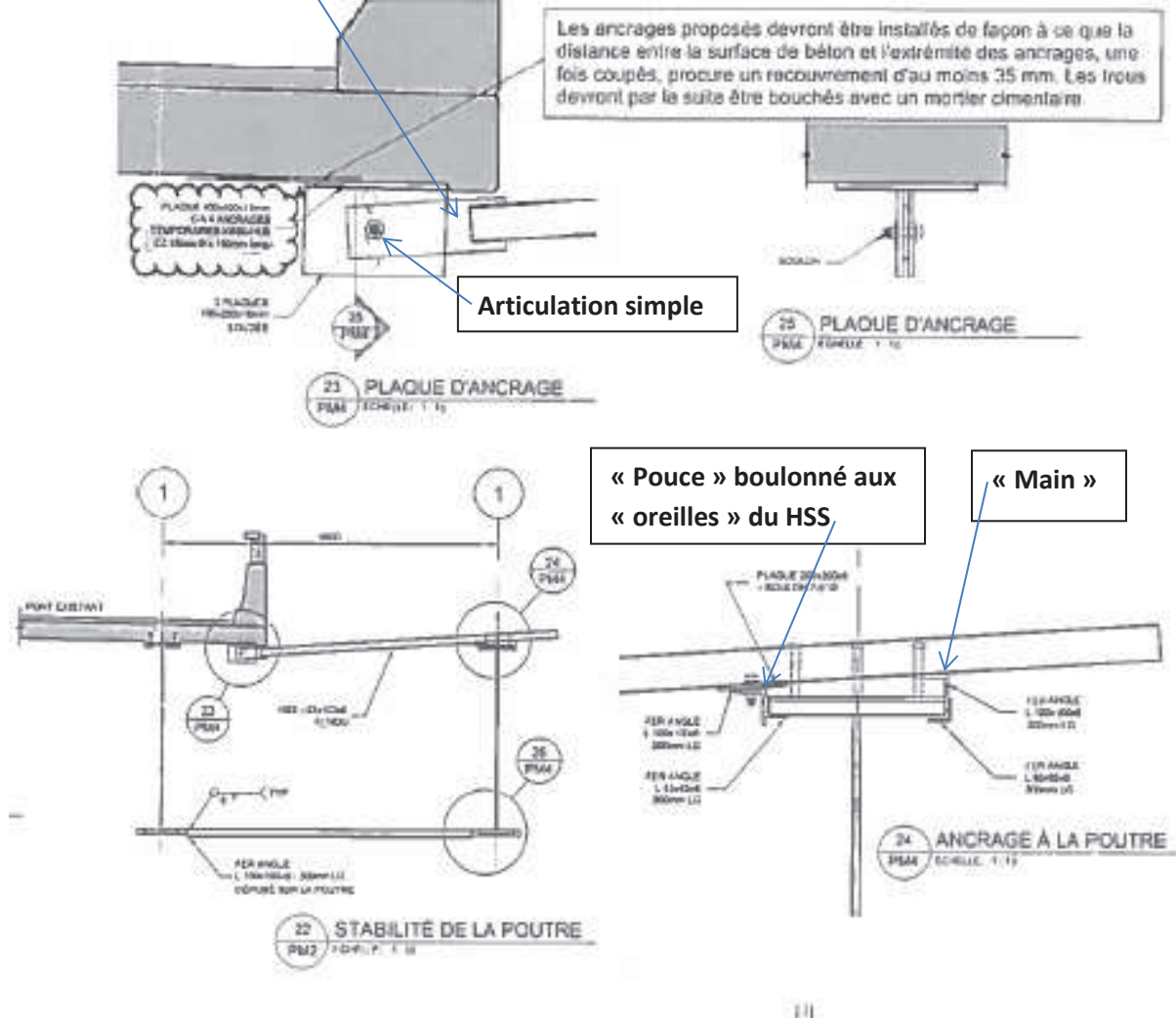
Source : Plan PM2 de Dumont Groupe Conseil; date 6 avril 2016; annotations en gras par l'auteur.

**Figure 19 – Position des supports latéraux temporaires devant stabiliser la poutre P4**

Les détails de montage des SLTs, extraits du plan PM4 (**non émis pour construction!**), sont reproduits sur la figure 20.

*Dumont Groupe Conseil* a démontré que des HSS 102x102x9.5 de 4,4m de longueur, utilisés comme SLTs, étaient en mesure de résister à la charge calculée de 312 kN en traction et en compression. Cette charge comprend une charge de déversement non pondérée de 81 kN, une charge de vent non pondérée de 75 kN et un facteur de sécurité de 2,0. La charge de déversement a été obtenue en considérant 5% de l'effort de compression dans l'aile supérieure de la poutre, alors que pour **un point de retenue latérale**, 2% aurait été suffisant, selon la norme. D'après les relevés météorologiques obtenus pour le 14 avril, aux alentours de 18h00, dans les régions avoisinantes, le vent était inférieur à 10 km/h, largement inférieur à la valeur correspondante proposée par la norme pour une période de retour de 1/10. Si on néglige le vent, que l'on considère 2% de la charge de compression dans l'aile et un facteur de sécurité de 2,0, on obtient une charge de l'ordre de 70 kN. Les HSS 102x102x6 recommandés sur le plan PM4 devaient donc être suffisants pour stabiliser latéralement la poutre qui nous concerne, à condition que les attaches à chacune des extrémités des membrures soient correctement fabriquées et que les SLTs soient installés conformément aux plans.

Espace suffisant pour permettre une rotation facile du SLT



Source : Plan PM4 de Dumont Groupe Conseil; date 22 mars 2016; annotations en gras par l'auteur.

**Figure 20 – Détails du montage des deux supports latéraux temporaires**

Plusieurs modifications aux plans ont été apportées lors de l'installation des supports latéraux temporaires le 14 avril, sans qu'elles aient apparemment toutes été approuvées **dans les détails**. Une attestation de conformité (fin de quart) a été émise le 14 avril 2016 par *Gascon Associates Erectors Ltd.*

Les trous de l'articulation dans les plaques d'ancrage ont été ovalisés verticalement quelques jours avant le 14 avril sur une longueur de 76 mm (3 pouces) avant leur installation sous le tablier de béton du pont nord pour faciliter le positionnement anticipé des SLTs sur l'aile supérieure de la poutre (Figures 21 et 23). Le dessus de la poutre P4, en raison de sa forte cambrure, était à un niveau nettement supérieur à celui de la poutre du pont nord. Il fallait donc

soulever les SLTs à l'aide de câbles et de palans à crochet en prévision de les fixer à la semelle supérieure de la poutre P4 (Figure 22). Les ouvriers ont eu beaucoup de difficulté à effectuer cette opération sur le premier SLT installé, soit celui du côté de Montréal, puisque la plaque soudée au bout du HSS ne laissait malheureusement aucun jeu entre le bout du tube et la face verticale des plaques d'ancrage permettant à l'articulation de tourner librement (détail 23 de la Figure 20 et Figures 23 et 24). Pour éviter ce problème avec le SLT du côté de Québec, on décide de couper en biseau la paroi supérieure du tube (Figure 25). On effectue ce travail sur la rive et on procède ensuite à l'installation du SLT.

Le 14 avril, les monteurs sont parvenus avec grande difficulté à installer les SLTs sur la paroi supérieure de la poutre, principalement celui du côté de Montréal. Il a fallu le frapper avec force pour faire descendre le boulon de la rotule dans le bas du trou ovalisé. Ils sont parvenus à le déposer sur la poutre, principalement parce que les parois verticales de l'appareil d'ancrage se sont enfoncées dans la paroi supérieure du SLT sur une longueur de près de 15 mm (Figure 26). On notera sur la Figure 21 que les SLTs étaient toujours en contact avec le tablier de béton du pont nord après le renversement de la poutre. Ce point sera repris un peu plus loin.

Les SLTs arrivaient donc avec un angle **assez prononcé** sur la paroi supérieure de la poutre, comme on le prévoyait, dans une certaine mesure, sur le plan PM4 (Figure 20). Il a toutefois fallu refaire le système d'attache au complet puisque le positionnement des « mains » et des « pouces », permettant d'agripper la semelle supérieure de la poutre en la contournant sur son épaisseur sur les deux côtés, ne s'alignait plus avec la poutre. Il a fallu laisser de côté le système d'ajustement du pouce à l'aide de boulons (« les oreilles »; détail 24 de la Figure 20) et prévoir autre chose. En raison de l'angle que faisait le tube par rapport à la poutre, seul le côté intérieur (le pouce) à l'extrémité du SLT était en contact avec l'aile de la poutre. Une cornière a donc été soudée au SLT du côté de la main de façon à ce que l'aile horizontale de la cornière repose sur la paroi supérieure de la semelle. Deux autres cornières soudées à la première permettaient de contourner l'aile de la poutre.





Source : CNESST

**Figure 21 – Vue de la plaque d’ancrage sous le tablier du pont nord et du SLT en position levée, du côté de Québec (idem pour le côté Montréal)**



**Figure 22 - Système de levage du SLT du côté de Montréal**



**Figure 23 – Démonstration du peu de jeu existant entre l'extrémité du tube et les faces verticales des plaques d'ancrage (côté Montréal)**



**Figure 24 – Vue rapprochée du détail de la Figure 23**





**Figure 25 – Coupe en biseau de la paroi supérieure du SLT du côté de Québec**



**Figure 26 – Enfoncement des parois verticales de l'appareil d'ancrage dans la paroi supérieure du SLT du côté de Montréal (voir aussi la Figure 24)**

Ces détails, du moins ce qu'il en reste, peuvent être visualisés sur les figures qui suivent. L'extrémité sud du SLT de la Figure 22 est montrée sur les Figures 27 et 28. On voit clairement la cornière qui reposait sur la paroi supérieure de la semelle du côté de la main (côté extérieur), ainsi qu'une deuxième cornière qui retenait la poutre transversalement. Il manque la troisième cornière qui contournait l'aile de la poutre et **qui est tombée à l'eau** avec cette dernière.

Il convient de souligner dès à présent qu'**aucune des soudures de ces éléments du système de retenue latérale n'était conforme aux normes**, tel que démontré dans le rapport de *Mistras* remis à la CNESST en date du 20 mai 2016. « La norme CSA W59 n'est jamais rencontrée en tout point de vue ». L'objectif n'est pas de reprendre le contenu de ce rapport, mais il convient de souligner que « toutes les soudures sont des soudures par point de moins de 10 à 15 mm de longueur, non fusionnées, dont la longueur, les dimensions et le profile sont inadéquats ». C'est comme si le soudeur avait positionné ses pièces pour les souder pleinement plus tard, ce qui n'a jamais été fait. Il n'est pas surprenant que quelques composantes des systèmes de retenue latérale se soient détachées lors du fléchissement et/ou du déversement de la poutre.



Figure 27 – Extrémité sud du SLT situé du côté ouest (Montréal)



**Figure 28 – Autre vue de l’extrémité sud du SLT situé du côté ouest**

Du côté du pouce, il ne reste que la cornière soudée au tube. Celle qui contournait l’aile de la poutre du côté intérieur est aussi tombée à l’eau. On peut d’ailleurs apercevoir un des deux points de soudure qui la retenait à la cornière encore en place sur la Figure 27. On peut aussi voir les « oreilles » du système d’ajustement du pouce, qui n’ont pas été utilisées. On notera sur les Figures 22 et 28 que le câble d’acier qui retient le SLT du côté de Montréal est situé assez loin sur le tube (2 565 mm de la rotule), soit près du système d’attache de l’extrémité sud, de façon à en faciliter le soulèvement.

Le SLT situé du côté est (Québec) est montré sur la figure 29. On notera d’abord que le câble de soulèvement est attaché beaucoup plus près de la rotule (1 803 mm), si on le compare à l’autre SLT, probablement parce que le SLT du côté est a été plus facile à soulever sur la poutre. On remarque aussi un HSS de même section que le SLT accroché à ce dernier par un câble et un palan à crochet. Cette pièce reposait simplement sur les semelles inférieures de la poutre P4 et de la poutre externe du pont nord. Elle devait servir à maintenir la partie inférieure de la poutre P4 en place lorsque viendrait le temps d’installer les contreventements en K entre les poutres P4 et P3. Le même système se trouvait sur l’autre SLT, comme on peut le voir sur la Figure 1.





Figure 29 – Vue du support latéral temporaire situé du côté est (Québec)

L'extrémité sud du SLT situé du côté est présente les mêmes caractéristiques que le précédent, sauf que dans ce cas-ci, comme on peut le voir sur les Figures 30 et 31, deux des trois cornières de la main ont été **arrachées** lors du fléchissement et/ou de l'effondrement de la poutre. Il s'agit de celle qui retenait le SLT accroché verticalement à la semelle et celle qui supportait la poutre transversalement. On voit aussi que la cornière du pouce, qui contournait la semelle supérieure du côté nord (côté interne), a subi **une rotation** autour des faibles points de soudure qui la retenait à l'autre cornière dans sa partie supérieure. Le rapport de MISTRAS sur le soudage de ces éléments mentionne qu'il était possible de faire « bouger cette pièce à la main ».

L'état des attaches des SLTs à la semelle supérieure de la poutre P4 est **très révélateur** sur ce qui a pu se produire pour **causer le déversement de la poutre**. En libérant les grues à 17h00, la poutre a **fléchi sous son propre poids**, mais les SLT **n'ont pas pu la suivre verticalement**, puisqu'ils étaient **attachés au pont nord par des palans à crochet qui ont malheureusement été laissés en place**. Les rotules aux extrémités nord des SLTs étaient alors totalement **inefficaces**. Ces câbles **ne devaient pas être là** lors de la libération des grues, comme le prouve le Détail 22 de la Figure 20, tirée du plan PM4.



Figure 30 - Extrémité sud du SLT situé du côté est (Québec)



Figure 31 – Autre vue de l'extrémité sud du SLT situé du côté est, montrant le degré d'ouverture de la cornière qui fait partie du « pouce »

Les cornières qui retenaient verticalement la semelle de la poutre au SLT situé du côté ouest ont dû être arrachées **en premier** puisque ce SLT était beaucoup moins susceptible de se déplacer verticalement que le SLT situé du côté est, en raison de la position relative du câble qui le retenait au pont nord et qui le rendait **moins flexible**. Ce point sera repris plus loin dans le

rapport. En déversant, la poutre est passée **sous la cornière** de la main qui retenait la semelle horizontalement puisqu'elle est restée en place, comme le montre la Figure 28.

Le déplacement vertical de la poutre n'a pas complètement arraché la cornière du pouce qui retenait verticalement à la semelle le SLT situé du côté est, probablement en raison de la plus grande flexibilité du SLT. Par contre la cornière de la main qui retenait le SLT verticalement accroché à la semelle de la poutre et celle qui stabilisait la poutre transversalement ont toutes deux été arrachées lors du déversement de la poutre. Il est toutefois possible que la première ait été arrachée au moment où la poutre a fléchi verticalement. Peu importe!

Étant partiellement stabilisée par les SLTs après la libération de la charge par les grues, la poutre est demeurée dans un **état très instable** entre 17h00 et 18h10, avant de finalement déverser. Le mouvement aurait possiblement été **amorcé dans la région du SLT situé du côté de Montréal**. Ces derniers points et cette importante séquence d'événements seront repris plus loin dans ce rapport.

On a procédé à une simulation du comportement des SLTs en reproduisant le plus fidèlement possible les conditions de chantier rencontrée le 14 avril, pour se convaincre, entre autres, que les rotules étaient bien bloquées (Figures 32 et 33). Tel que prévu, la flexibilité de l'extrémité du SLT montré sur la Figure 33 est plus prononcée que celle de la Figure 32 en raison de la position du câble sur le tube, mais peut-être pas assez, toutefois, pour faire une différence significative de comportement lors du **déversement** de la poutre. Les points de soudure n'avaient pas la capacité voulue pour maintenir fermement les SLTs en contact avec la poutre fléchie.





**Figure 32 – Simulation du comportement du SLT du côté de Montréal**



**Figure 33 – Simulation du comportement du SLT du côté de Québec**



Il est intéressant de comparer les étapes de montage des premières poutres du pont nord construit en 2015 à celle du pont sud. Le pont nord et le pont sud sont exactement de même type et de mêmes dimensions. Les figures 34 à 37, qui suivent, laisse voir le travail de montage des poutres effectué vraisemblablement le premier jour. Ce qui frappe de prime abord et le fait que les SLTs, rattachés au vieux pont sur la voie en direction de Québec, sont **à l'horizontale** et que leurs attaches à la poutre en construction ont une main et un pouce conformes aux plans de montage qu'on peut supposer équivalent à ceux qui nous concernent. De plus, ils **n'ont pas de câbles ou de palans à crochet** qui les retiennent au vieux pont. On voit aussi qu'un des joints de montage est complété à 50% et que tout semble très stable même si plusieurs contreventements en K sont déjà installés sur la poutre. Cela devait aussi être le cas pour le pont sud. Les supports de verticalité aux extrémités de la poutre ne sont pas visibles sur les figures, puisqu'ils sont situés de l'autre côté de la poutre.



Source : surveillant de chantier de WSP/EXP

**Figure 34 - Montage de la première poutre du pont nord construit en 2015**



Source : surveillant de chantier de WSP/EXP

**Figure 35 – Vue rapprochée d'un des SLTs sur la poutre du pont nord**





Source : surveillant de chantier de WSP/EXP

**Figure 36 – Installation d'un contreventement en K sur la première poutre du pont nord construit en 2015**



Source : surveillant de chantier de WSP/EXP

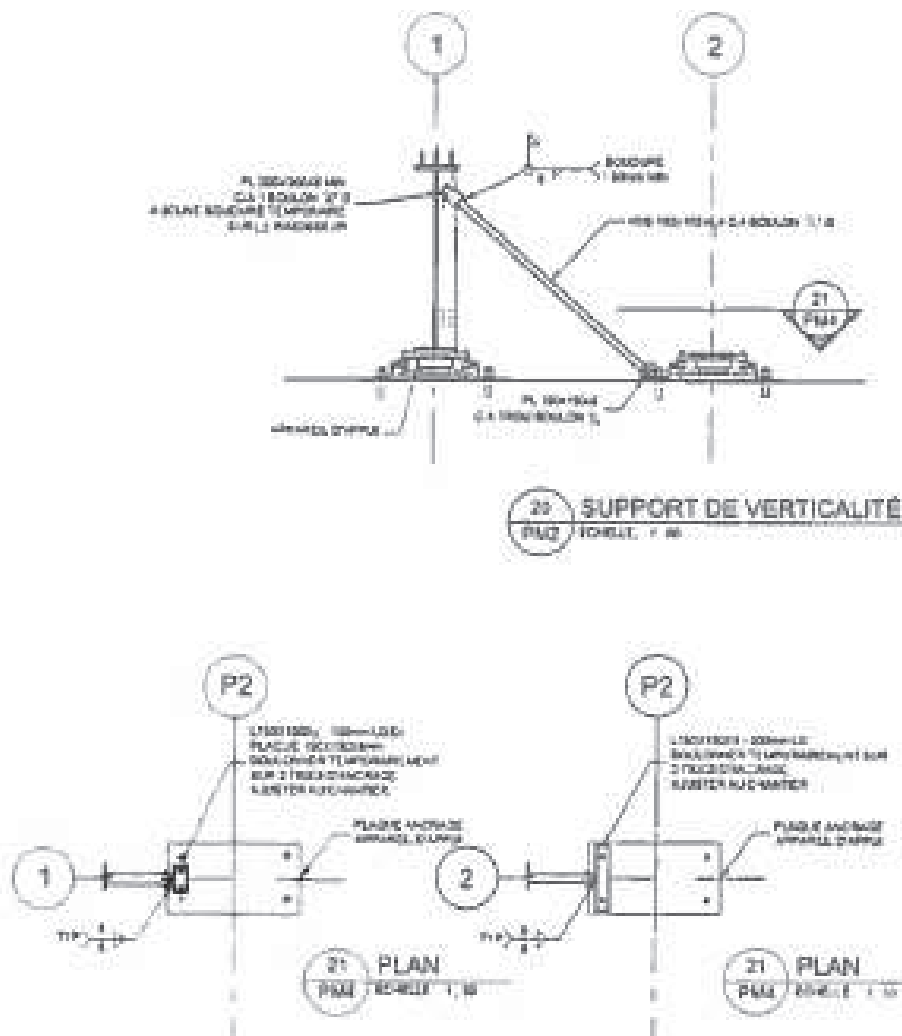
**Figure 37 – Installation de la deuxième poutre du pont nord construit en 2015**



## Supports de verticalité aux extrémités de la poutre P4

La stabilité de la poutre P4 ne serait pas pleinement assurée durant la construction sans la présence de contreventements à ses extrémités, dans l'axe des appareils d'appui. L'appareil d'appui situé à l'axe 1, soit celui du côté ouest (côté de Montréal) est fixe longitudinalement, alors que celui situé à l'axe 2 (côté est, vers Québec) est libre de se déplacer le long de l'axe de la poutre. Les détails du montage des supports de verticalité sont illustrés sur la Figure 38 tirée du plan PM4 préparé par *Dumont Groupe Conseil*.

Essentiellement, la semelle inférieure de la poutre doit être soudée temporairement par des cordons de soudure sur la plaque supérieure de chacun des appareils d'appui, bien que le plan PM4, **émis pour approbation seulement**, n'en fasse pas mention et n'en donne pas les détails.



Source : Plan PM4 de Dumont Groupe Conseil; date 22 mars 2016;

**Figure 38 – Détails du montage des supports de verticalité aux extrémités de la poutre P4**

La portion supérieure de la poutre, quant à elle, est supportée latéralement par une diagonale de contreventement boulonnée à son extrémité supérieure à un des trois raidisseurs existant sur l'âme de la poutre (raidisseur central sur la Figure 2) et à l'appareil d'appui adjacent à son extrémité inférieure. La rare photo présentée sur Figure 39, malgré sa faible résolution, montre bien qu'il y avait un support de verticalité à l'extrémité ouest de la poutre P4. On peut aussi y voir un ouvrier affairé à souder la semelle inférieure de la poutre à la plaque d'assise. **Curieusement**, cette diagonale et les boulons qui devaient la retenir **n'ont jamais été retrouvés**. Les empreintes laissées sur les éléments de connexion démontrent toutefois qu'il y avait bel et bien une diagonale en place lors de l'effondrement de la poutre.



Source : Roxboro Excavation

**Figure 39 – Support de verticalité à l'extrémité ouest (Montréal) de la poutre P4**

Le connecteur temporaire, « boulonné » à l'appareil d'appui adjacent, est montré sur la Figure 40. Il s'agit simplement d'une cornière passablement corrodée sur laquelle une plaque verticale trouée est soudée perpendiculairement. Les figures suivantes montrent l'empreinte (Figure 41) laissée dans le trou par un boulon (Figure 42) de même type que celui qui a été utilisé. Des traces évidentes d'impact sont aussi visibles dans le trou et sur la poutre au niveau de la connexion à l'extrémité supérieure de la diagonale (Figure 43).

Lors de l'inspection, il nous était possible de **déplacer de quelques centimètres**, dans l'axe de la diagonale, le connecteur montré sur la Figure 40, puisque les trous du connecteur étaient surdimensionnés et que les deux boulons visibles sur la figure **n'étaient pas serrés**. Une vidéo a été produite pour montrer ces déplacements. En pareil cas, l'efficacité du support de verticalité est **grandement compromise**. Étrangement, aussi, une empreinte ayant la forme d'un tube carré (Figure 44) était visible dans le béton tout juste sous la plaque trouée soudée à la cornière montrée sur la Figure 40. On pourrait croire que la diagonale n'avait pas été boulonnée à cette extrémité et que l'impact du déversement avait enfoncé la diagonale dans le béton.

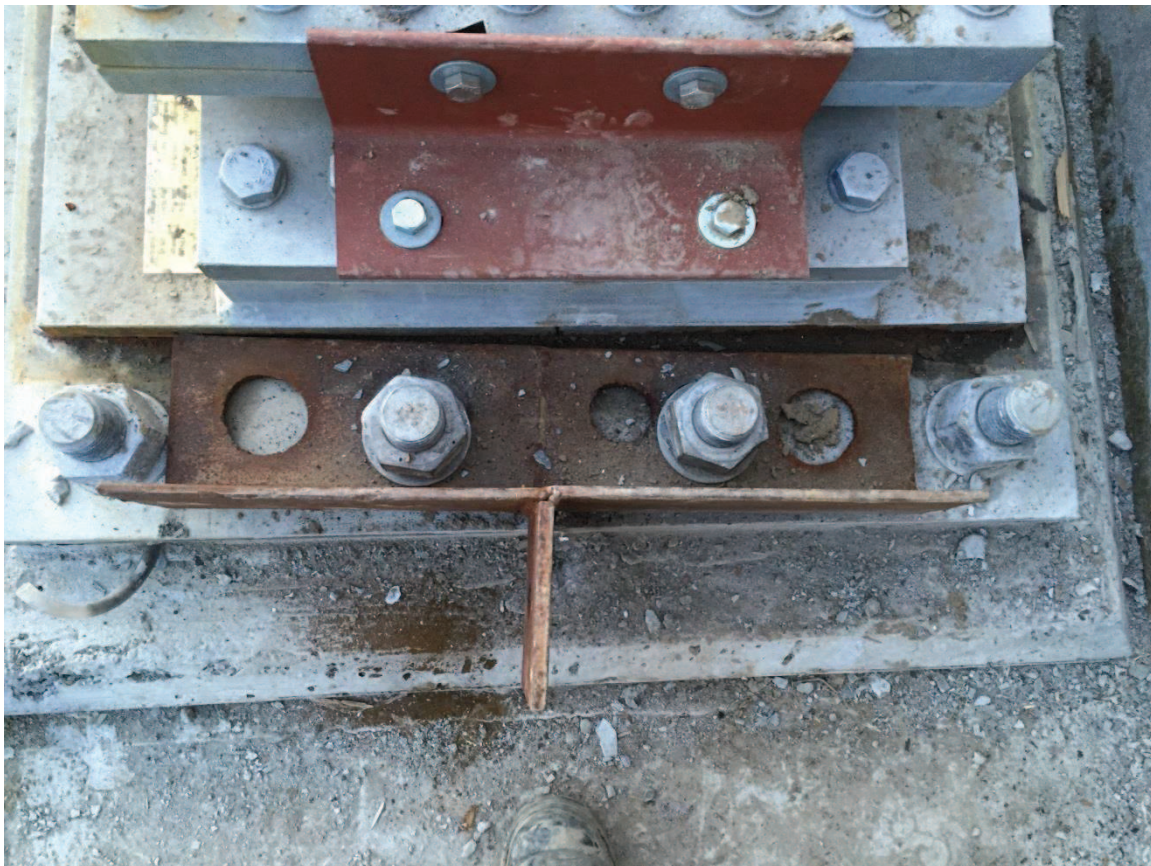


Figure 40 – Système d'attache inférieur du support de verticalité à l'extrémité ouest du pont





Source : CNESST

**Figure 41 – Empreinte de boulon laissée dans le trou de la connexion**



Source : CNESST

**Figure 42 – L’empreinte correspond bien au type de boulon utilisé pour l’attache de la diagonale**





**Figure 43 – Traces de l'impact du support de verticalité et de l'empreinte du boulon, apparentes dans la portion supérieure de la poutre**



**Figure 44 – Trace d'impact de forme carrée laissée dans le béton**

Il n'y avait pas que le support de verticalité qui avait été fourni à l'extrémité ouest de la poutre. On avait aussi retenu l'aile supérieure de la poutre à l'aide du crochet visible sur la Figure 45, qui était relié à la face nord du mur de grève par le palan à crochet montré sur la Figure 46. L'autre palan à crochet, visible sur la Figure 45, avait été utilisé pour déplacer la poutre sur son axe longitudinal avant de le fixer à la plaque d'assise de l'appareil d'appui. Le palan était accroché au goujon central à l'extrémité de la poutre et à une barre d'armature dans la partie supérieure du mur de grève. La barre d'armature retournée peut être observée sur la figure 46, alors que le goujon, arraché lors du déversement de la poutre, est visible sur la Figure 45 (voir aussi la figure 51).

La semelle inférieure de la poutre a été « temporairement » soudée à la plaque d'assise de l'appareil d'appui à l'aide de quatre cordons de soudure d'environ 38 mm de longueur, comme on peut le voir sur la Figure 47. Cette quantité de soudure aurait peut-être été suffisante si la poutre n'avait pas déversé.

Tout semble indiquer que le **déversement se serait initié au centre de la poutre**. Le haut de la poutre, en se déplaçant vers le sud à partir du centre, aurait forcé l'extrémité ouest de celle-ci à pivoter autour de son aile supérieure retenue plus ou moins efficacement à ce moment précis, à la fois par le support de verticalité et le palan à crochet visible sur la Figure 46. Les quatre cordons de soudure ont alors été fortement sollicités et se sont déchirés. Le côté sud de la semelle inférieure a violemment percuté la plaque supérieure de l'appareil d'appui, ainsi que la rangée de boulons située sur la plaque du côté nord. Des traces d'impact sont visibles sur les Figures 48 et 49. La partie supérieure de l'appareil d'appui s'est alors enfoncée dans la membrure située en dessous, y laissant une empreinte assez visible sur la Figure 49.

En poursuivant sa course folle, le bord sud de la semelle inférieure de la poutre a percuté un des gros boulons reliant l'appareil d'appui à la base de béton avec assez de force pour le casser net (Figure 49). Les traces de ces multiples impacts sont visibles sur la portion sud de la semelle inférieure de la poutre (Figure 50). La chaîne du palan à crochet a fini par casser, le support de verticalité s'est détaché (?) et la poutre a tombé finalement sur le sol au pied de la base de béton en l'endommageant quelque peu, à peu près vis-à-vis de l'appareil d'appui (Figure 51). Il n'y a pas d'autres scénarios possibles pour expliquer une telle séquence d'événements. Si le déversement s'était initié à l'extrémité ouest de la poutre, la partie supérieure de la poutre se serait déplacée en premier et les soudures auraient suivi, sans que la semelle inférieure fasse autant de ravage.



**Figure 45 – Figure montrant quelques éléments et outils de construction trouvés à l'extrémité ouest de la poutre**



**Figure 46 – Palan à crochet utilisé pour stabiliser la poutre à son extrémité ouest**





**Figure 47 – Quatre cordons de soudure visibles sur la plaque d’assise de l’appareil d’appui ouest**



**Figure 48 – Traces d’impact laissées par la poutre sur les boulons et la plaque**





**Figure 49 – Traces d'impact laissées par la poutre sur l'appareil d'appui**



**Figure 50 – Traces d'impact laissées sur la paroi sud de la semelle inférieure**



**Figure 51 – Position finale de la poutre déversée au pied de la base de béton**

Le support de verticalité situé à l'extrémité est de la poutre P4 est visible sur la Figure 52 et **a été retrouvé** après l'effondrement de la poutre. Il n'y avait pas de palan à crochet reliant la semelle supérieure de la poutre à la face nord du mur de grève, comme c'était le cas à l'autre extrémité. Toutefois, il y en avait un situé dans l'axe longitudinal de la poutre pour le positionnement de cette dernière sur les appareils d'appui. À cette extrémité, pour une raison ou pour une autre, seulement deux cordons de soudure de 38 mm de longueur reliaient le bout de la semelle inférieure de la poutre à la plaque d'assise de l'appareil d'appui. Rappelons que ce dernier était libre de se déplacer selon l'axe de la poutre.





Source : Roxboro Excavation

**Figure 52 – Support de verticalité à l’extrémité est (Québec) de la poutre P4**

L’attache reliant la base de la diagonale de contreventement à l’appareil d’appui adjacent est montrée sur la Figure 53. Les attaches ouest et est auraient apparemment été inter-changées par mégarde, avec pour conséquence que celle situé à l’est ne convenait plus. Il a fallu la modifier en soudant des pièces de façon à pouvoir la fixer à l’aide des deux gros boulons reliant la base de l’appareil d’appui au massif de béton. Le résultat est visible sur la Figure 53. Ne pouvant apparemment plus boulonner la base de la diagonale comme il était prévu, il a été décidé de la souder à la plaque verticale trouée à la toute fin du quart. Selon le rapport de *Mistras* sur la qualité du soudage, cette connexion soudée était tout à fait impropre à plusieurs égards : aucune fusion ou manque de fusion, dimensions et profils irréguliers, sans parler de

l'état corrodé des pièces (Figures 54 et 55). Comme ce fut le cas à l'extrémité ouest, il nous a été possible de **faire glisser librement système d'attache** montré sur la figure 53 sur ses boulons, ces derniers n'étant pas suffisamment serrés. Une fois de plus, le support de verticalité n'était probablement **pas entièrement efficace** à l'extrémité est de la poutre.



**Figure 53 – Système temporaire d'attache du support de verticalité au système d'appui adjacent à l'extrémité est de la poutre P4**

L'attache supérieure à la poutre de la diagonale de contreventement, du moins ce qu'il en reste, est visible sur les Figure 56 et 57. La soudure de la plaque était adéquate, mais l'effondrement de la poutre a été si violent que la plaque s'est tordue avant de déchirer et de se retrouver sous la poutre. La pièce a laissé des marques d'impact très visibles sur l'âme de la poutre (Figure 56).

Un scénario semblable à celui décrit pour l'autre extrémité de la poutre s'est produit ici. Le déversement a été initié au centre de la poutre. L'extrémité est de cette dernière a rapidement pivoté sur la diagonale qui a rempli son rôle pendant un court laps de temps. Les deux cordons de soudure à la base de la poutre se sont déchirés, laissant la poutre pivoter avant de frapper la face nord du mur de grève (Figures 58 et 59).

La Figure 60 montre la position finale de la poutre sur le sol après le déversement. Elle a entraîné avec elle l'appareil d'appui ainsi que le support de verticalité. Cette extrémité de la poutre a subi un **coup de fouet**, l'amenant à tomber beaucoup plus loin que l'autre extrémité. On aurait ainsi tendance à croire que l'extrémité est serait tombée quelques instants plus tard



que l'extrémité ouest, ou ce serait une conséquence de la présence du palan à crochet sur l'extrémité ouest, combinée à l'absence d'un tel appareil de support à l'extrémité est.



**Figure 54 – Cordons de soudure visibles sur le connecteur inférieur du support de verticalité**



**Figure 55 – Extrémité soudée de la diagonale de contreventement**



**Figure 56 – Déchirure de la plaque proprement soudée à la diagonale de contreventement et boulonnée au raidisseur central à l'extrémité est de la poutre P4**



**Figure 57 - Déchirure de la plaque soudée à la diagonale de contreventement**





**Figure 58 – Marque laissée dans le béton par l'impact de l'aile inférieure de la poutre lors du déversement**



**Figure 59 – Traces laissées sur la poutre par l'impact contre la façade de béton**



**Figure 60 – Position finale de la poutre sur le sol après le déversement**

## Résultats de l'analyse de stabilité

L'objectif de cette section est de démontrer par analyse que la poutre P2 est stable si les conditions de retenue latérale sont conformes aux plans de montage et à quel moment elle devient instable si on enlève certaines de ces retenues. Rappelons qu'il y a deux supports latéraux temporaires qui stabilisent la semelle en compression à peu près vis-à-vis des contreventements en K # 4 et 7 (voir les plans PM2 et PM4) et un support de verticalité à chacune des extrémités de la poutre (plan PM4).

Rappelons aussi qu'un relevé effectué par un arpenteur dans les jours qui ont suivi le renversement de la poutre a démontré que les SLTs (Figure 1) étaient, en fait, situés à 23 et 28 m de la face du mur de grève du côté ouest et est du pont, respectivement, et que la distance entre les SLTs était de 19 m, pour un total de 70 m. Étant donné que la portée de la poutre entre ses deux appuis est de 68,2 m, les supports latéraux sont donc situés à 0, 22,1, 41,1 et 68,2 m le long de la poutre.

Puisque la poutre possède une section à inertie variable, il faut procéder à des calculs par ordinateur afin d'obtenir des résultats d'analyse les plus précis possibles. À la demande de la



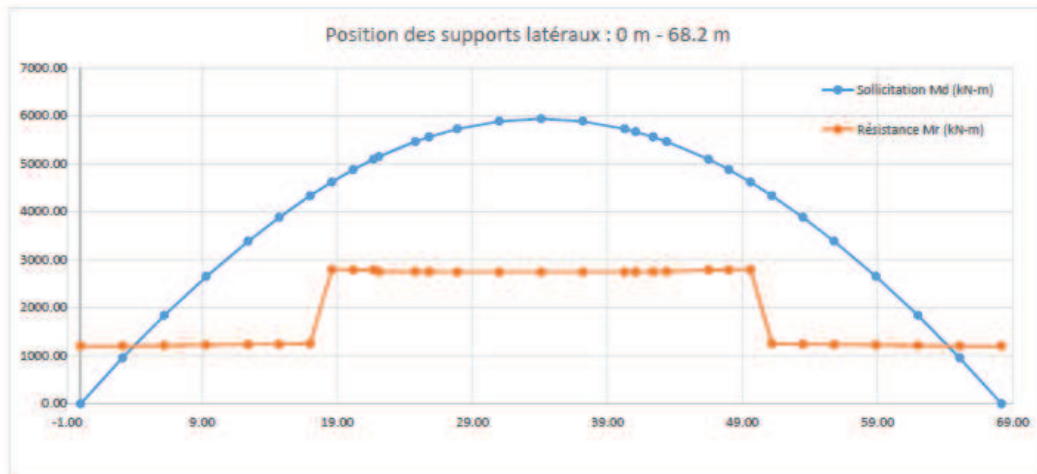
CNESST, et avec l'accord du MTMDET, CIMA+ a fourni des résultats de calcul effectués à l'aide de son modèle de conception élaboré à partir du logiciel Advance Design America selon quatre scénarios établis par l'auteur. Les valeurs considérées du poids propre de la poutre et de la résistance des matériaux sont **non pondérées** pour les fins de calcul.

Les données dont nous disposions nous ont permis de procéder à des calculs préliminaires en considérant dans un premier cas une poutre de section uniforme dont l'inertie flexionnelle était égale à l'inertie maximale mesurée au centre de la poutre et, dans un deuxième cas, une poutre de section uniforme dont l'inertie flexionnelle était égale à une valeur moyenne mesurée sur la poutre. Les résultats plus précis obtenus de la firme CIMA+ se situent entre ces deux limites et confirment ceux que nous avons obtenus de l'analyse préliminaire.

Les Figures 61 à 64 présentent les résultats de quatre analyses de la poutre effectuées par CIMA+ pour différentes conditions de retenue latérale. Les valeurs de la flèche  $\Delta_o$ , indiquées en mètres sont en fait en mm.

Cas no. 1 (Retenue lat. 0 m - 68.2 m)

| Noeuds<br>(m) | $M_0$<br>(kN-m) | $\Delta_0$<br>(m) | $L_u$<br>(m) | $M_r$<br>(kN-m) |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 0.00          | 0.00            | 0.00              | 68.20        | 1202.86         |
| 3.10          | 956.33          | 20.04             | 68.20        | 1202.86         |
| 6.20          | 1840.74         | 39.15             | 68.20        | 1212.76         |
| 9.30          | 2651.44         | 56.68             | 68.20        | 1222.90         |
| 12.40         | 3386.64         | 72.15             | 68.20        | 1233.26         |
| 14.70         | 3882.38         | 82.11             | 68.20        | 1241.10         |
| 17.00         | 4334.78         | 90.69             | 68.20        | 1253.46         |
| 18.60         | 4620.38         | 95.91             | 68.20        | 2793.43         |
| 20.20         | 4878.08         | 100.62            | 68.20        | 2788.49         |
| 21.70         | 5094.10         | 104.56            | 68.20        | 2788.49         |
| 22.10         | 5147.55         | 105.53            | 68.20        | 2752.75         |
| 24.80         | 5463.31         | 111.25            | 68.20        | 2752.75         |
| 25.80         | 5560.30         | 112.99            | 68.20        | 2749.64         |
| 27.90         | 5728.26         | 116.00            | 68.20        | 2745.60         |
| 31.00         | 5887.27         | 118.87            | 68.20        | 2745.60         |
| 34.10         | 5940.28         | 119.84            | 68.20        | 2745.60         |
| 37.20         | 5887.27         | 118.87            | 68.20        | 2745.60         |
| 40.30         | 5728.26         | 116.00            | 68.20        | 2745.60         |
| 41.10         | 5670.01         | 114.95            | 68.20        | 2745.60         |
| 42.40         | 5560.30         | 112.99            | 68.20        | 2749.64         |
| 43.40         | 5463.31         | 111.25            | 68.20        | 2752.75         |
| 46.50         | 5094.10         | 104.56            | 68.20        | 2788.49         |
| 48.00         | 4878.08         | 100.62            | 68.20        | 2788.49         |
| 49.60         | 4620.38         | 95.91             | 68.20        | 2793.43         |
| 51.20         | 4334.78         | 90.69             | 68.20        | 1253.46         |
| 53.50         | 3882.38         | 82.11             | 68.20        | 1241.10         |
| 55.80         | 3386.64         | 72.15             | 68.20        | 1233.26         |
| 58.90         | 2651.44         | 56.68             | 68.20        | 1222.90         |
| 62.00         | 1840.74         | 39.15             | 68.20        | 1212.76         |
| 65.10         | 956.33          | 20.04             | 68.20        | 1202.86         |
| 68.20         | 0.00            | 0.00              | 68.20        | 1202.86         |

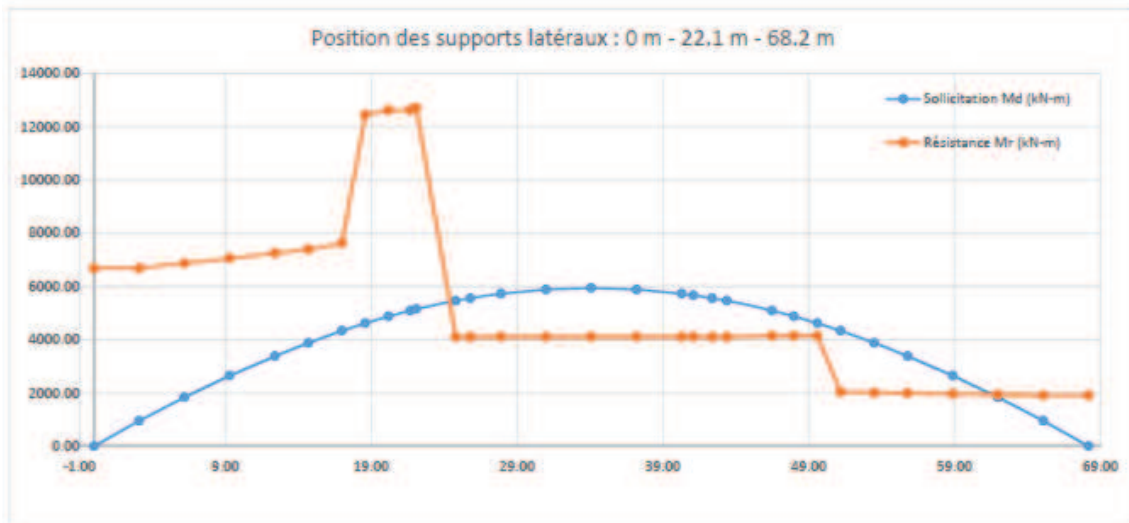


Source : CIMA+

Figure 61 – Résultats d'analyse de la poutre P4 retenue latéralement à ses extrémités seulement

Cas no. 2 (Retenue lat. 0 m - 22.1 m - 68.2 m)

| Noeuds<br>(m) | M <sub>D</sub><br>(kN-m) | Δ <sub>D</sub><br>(m) | L <sub>u</sub><br>(m) | M <sub>r</sub><br>(kN-m) |
|---------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 0.00          | 0.00                     | 0.00                  | 22.10                 | 6682.98                  |
| 3.10          | 956.33                   | 20.04                 | 22.10                 | 6682.98                  |
| 6.20          | 1840.74                  | 39.15                 | 22.10                 | 6869.44                  |
| 9.30          | 2651.44                  | 56.68                 | 22.10                 | 7059.65                  |
| 12.40         | 3386.64                  | 72.15                 | 22.10                 | 7253.31                  |
| 14.70         | 3882.38                  | 82.11                 | 22.10                 | 7399.06                  |
| 17.00         | 4334.78                  | 90.69                 | 22.10                 | 7627.68                  |
| 18.60         | 4620.38                  | 95.91                 | 22.10                 | 12448.60                 |
| 20.20         | 4878.08                  | 100.62                | 22.10                 | 12621.00                 |
| 21.70         | 5094.10                  | 104.56                | 22.10                 | 12621.00                 |
| 22.10         | 5147.55                  | 105.53                | 22.10                 | 12702.70                 |
| 24.80         | 5463.31                  | 111.25                | 46.10                 | 4104.03                  |
| 25.80         | 5560.30                  | 112.99                | 46.10                 | 4106.51                  |
| 27.90         | 5728.26                  | 116.00                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 31.00         | 5887.27                  | 118.87                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 34.10         | 5940.28                  | 119.84                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 37.20         | 5887.27                  | 118.87                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 40.30         | 5728.26                  | 116.00                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 41.10         | 5670.01                  | 114.95                | 46.10                 | 4111.52                  |
| 42.40         | 5560.30                  | 112.99                | 46.10                 | 4106.51                  |
| 43.40         | 5463.31                  | 111.25                | 46.10                 | 4104.03                  |
| 46.50         | 5094.10                  | 104.56                | 46.10                 | 4145.58                  |
| 48.00         | 4878.08                  | 100.62                | 46.10                 | 4145.58                  |
| 49.60         | 4620.38                  | 95.91                 | 46.10                 | 4143.85                  |
| 51.20         | 4334.78                  | 90.69                 | 46.10                 | 2039.33                  |
| 53.50         | 3882.38                  | 82.11                 | 46.10                 | 2008.84                  |
| 55.80         | 3386.64                  | 72.15                 | 46.10                 | 1989.55                  |
| 58.90         | 2651.44                  | 56.68                 | 46.10                 | 1964.09                  |
| 62.00         | 1840.74                  | 39.15                 | 46.10                 | 1939.29                  |
| 65.10         | 956.33                   | 20.04                 | 46.10                 | 1915.17                  |
| 68.20         | 0.00                     | 0.00                  | 46.10                 | 1915.17                  |

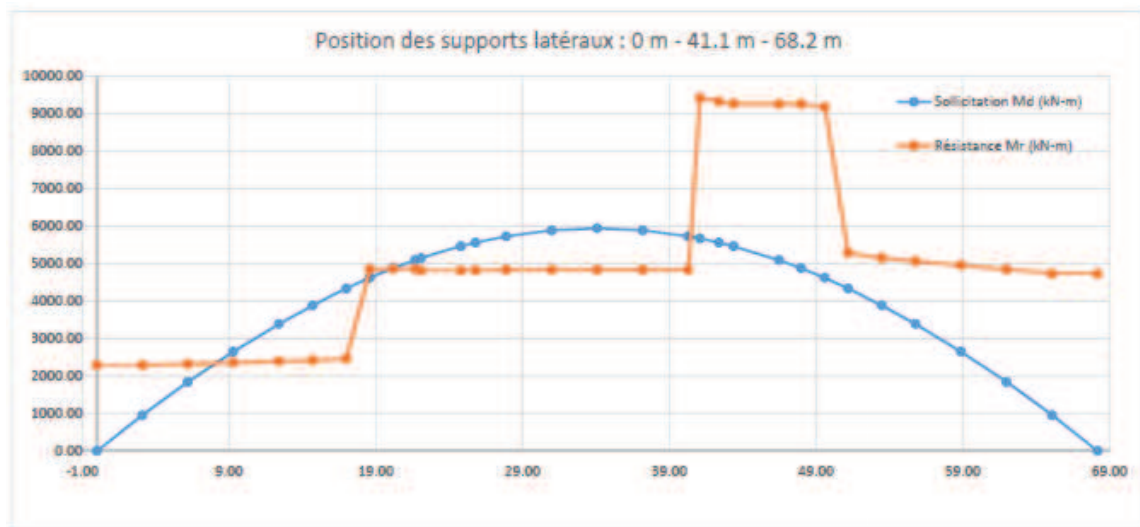


Source : CIMA+

Figure 62 – Résultats d'analyse de la poutre P4 retenue latéralement à ses extrémités et par le SLT situé du côté ouest

Cas no. 3 (Retenue lat. 0 m - 41.1 m - 68.2 m)

| Noeuds<br>(m) | $M_0$<br>(kN-m) | $\Delta_0$<br>(m) | $L_u$<br>(m) | $M_l$<br>(kN-m) |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 0.00          | 0.00            | 0.00              | 41.10        | 2292.15         |
| 3.10          | 956.33          | 20.04             | 41.10        | 2292.15         |
| 6.20          | 1840.74         | 39.15             | 41.10        | 2325.18         |
| 9.30          | 2651.44         | 56.68             | 41.10        | 2359.14         |
| 12.40         | 3386.64         | 72.15             | 41.10        | 2393.98         |
| 14.70         | 3882.38         | 82.11             | 41.10        | 2420.39         |
| 17.00         | 4334.78         | 90.69             | 41.10        | 2462.11         |
| 18.60         | 4620.38         | 95.91             | 41.10        | 4845.86         |
| 20.20         | 4878.08         | 100.62            | 41.10        | 4853.94         |
| 21.70         | 5094.10         | 104.56            | 41.10        | 4853.94         |
| 22.10         | 5147.55         | 105.53            | 41.10        | 4812.93         |
| 24.80         | 5463.31         | 111.25            | 41.10        | 4812.93         |
| 25.80         | 5560.30         | 112.99            | 41.10        | 4820.26         |
| 27.90         | 5728.26         | 116.00            | 41.10        | 4832.83         |
| 31.00         | 5887.27         | 118.87            | 41.10        | 4832.83         |
| 34.10         | 5940.28         | 119.84            | 41.10        | 4832.83         |
| 37.20         | 5887.27         | 118.87            | 41.10        | 4832.83         |
| 40.30         | 5728.26         | 116.00            | 41.10        | 4832.83         |
| 41.10         | 5670.01         | 114.95            | 27.10        | 9416.08         |
| 42.40         | 5560.30         | 112.99            | 27.10        | 9322.80         |
| 43.40         | 5463.31         | 111.25            | 27.10        | 9262.31         |
| 46.50         | 5094.10         | 104.56            | 27.10        | 9256.87         |
| 48.00         | 4878.08         | 100.62            | 27.10        | 9256.87         |
| 49.60         | 4620.38         | 95.91             | 27.10        | 9174.54         |
| 51.20         | 4334.78         | 90.69             | 27.10        | 5287.91         |
| 53.50         | 3882.38         | 82.11             | 27.10        | 5152.81         |
| 55.80         | 3386.64         | 72.15             | 27.10        | 5066.95         |
| 58.90         | 2651.44         | 56.68             | 27.10        | 4953.19         |
| 62.00         | 1840.74         | 39.15             | 27.10        | 4841.84         |
| 65.10         | 956.33          | 20.04             | 27.10        | 4733.08         |
| 68.20         | 0.00            | 0.00              | 27.10        | 4733.08         |



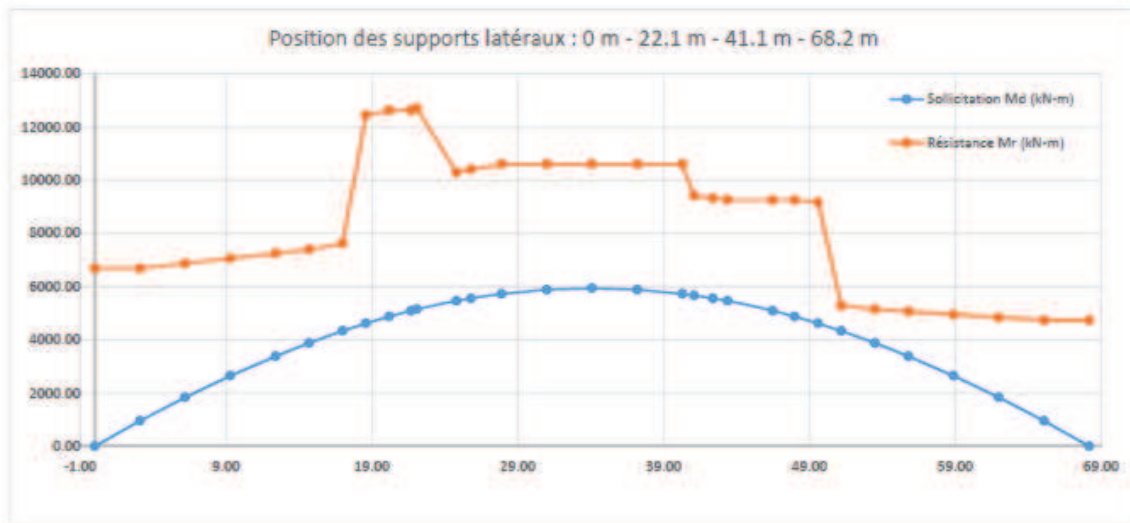
Source : CIMA+

Figure 63 – Résultats d'analyse de la poutre P4 retenue latéralement à ses extrémités et par le support latéral temporaire (SLT) situé du côté est



Cas no. 4 (Retenue lat. 0 m - 22.1 m - 41.1 m - 68.2 m)

| Nœuds<br>(m) | $M_0$<br>(kN-m) | $\Delta_0$<br>(m) | $L_u$<br>(m) | $M_r$<br>(kN-m) |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 0.00         | 0.00            | 0.00              | 22.10        | 6682.98         |
| 3.10         | 956.33          | 20.04             | 22.10        | 6682.98         |
| 6.20         | 1840.74         | 39.15             | 22.10        | 6869.44         |
| 9.30         | 2651.44         | 56.68             | 22.10        | 7059.65         |
| 12.40        | 3386.64         | 72.15             | 22.10        | 7253.31         |
| 14.70        | 3882.38         | 82.11             | 22.10        | 7399.06         |
| 17.00        | 4334.78         | 90.69             | 22.10        | 7627.68         |
| 18.60        | 4620.38         | 95.91             | 22.10        | 12448.60        |
| 20.20        | 4878.08         | 100.62            | 22.10        | 12621.00        |
| 21.70        | 5094.10         | 104.56            | 22.10        | 12621.00        |
| 22.10        | 5147.55         | 105.53            | 19.00        | 12702.70        |
| 24.80        | 5463.31         | 111.25            | 19.00        | 10291.10        |
| 25.80        | 5560.30         | 112.99            | 19.00        | 10415.00        |
| 27.90        | 5728.26         | 116.00            | 19.00        | 10601.60        |
| 31.00        | 5887.27         | 118.87            | 19.00        | 10601.60        |
| 34.10        | 5940.28         | 119.84            | 19.00        | 10601.60        |
| 37.20        | 5887.27         | 118.87            | 19.00        | 10601.60        |
| 40.30        | 5728.26         | 116.00            | 19.00        | 10601.60        |
| 41.10        | 5670.01         | 114.95            | 27.10        | 9416.08         |
| 42.40        | 5560.30         | 112.99            | 27.10        | 9322.80         |
| 43.40        | 5463.31         | 111.25            | 27.10        | 9262.31         |
| 46.50        | 5094.10         | 104.56            | 27.10        | 9256.87         |
| 48.00        | 4878.08         | 100.62            | 27.10        | 9256.87         |
| 49.60        | 4620.38         | 95.91             | 27.10        | 9174.54         |
| 51.20        | 4334.78         | 90.69             | 27.10        | 5287.91         |
| 53.50        | 3882.38         | 82.11             | 27.10        | 5152.81         |
| 55.80        | 3386.64         | 72.15             | 27.10        | 5066.95         |
| 58.90        | 2651.44         | 56.68             | 27.10        | 4953.19         |
| 62.00        | 1840.74         | 39.15             | 27.10        | 4841.84         |
| 65.10        | 956.33          | 20.04             | 27.10        | 4733.08         |
| 68.20        | 0.00            | 0.00              | 27.10        | 4733.08         |



Source : CIMA+

Figure 64 – Résultats d'analyse de la poutre P4 retenue latéralement à ses extrémités et par les deux SLTs

Ces analyses démontrent que la poutre P4 est stable (Figure 64) lorsque les quatre supports latéraux sont en place et fonctionnent correctement, mais qu'elle devient totalement instable (Figure 61) lorsque les deux appuis intermédiaires fournis par les supports latéraux temporaires (SLTs) sont inopérants. Des conditions de stabilité (ou d'instabilité) intermédiaires sont présentes lorsqu'un seul SLT stabilise la poutre (Figures 62 et 63). La poutre est alors en équilibre très instable et une **légère perturbation**, telle une poussée latérale ou un déséquilibre au niveau d'un des trois supports latéraux restants ou du joint de montage, peut facilement la déstabiliser.

Les analyses montrent, de plus, que le déplacement vertical ou la flèche de la poutre au droit des SLTs est de l'ordre de 110 mm, en moyenne, et que la flèche maximale au centre de la poutre est de 120 mm. Ce déplacement se produit dès que les grues sont libérées. Autrement dit, il ne peut être progressif dans le temps. Un déplacement vertical de cet ordre est suffisant pour arracher les cornières de retenue (mains et pouces) partiellement soudées aux SLT, principalement celles situées du côté ouest, puisque le SLT du côté de Montréal est moins sujet que l'autre à se déplacer verticalement en raison de la position plus défavorable du câble de retenue, tel que montré sur les Figures 22, 28, 29, 32 et 33.

## Conclusions

La poutre P4 a bel et bien déversé et cette catastrophe est imputable à une série de facteurs dont **les principaux** sont :

- 1- d'avoir laissé les deux supports latéraux temporaires (SLTs) retenus verticalement par des palans à crochet reliés au pont nord, empêchant ainsi les supports latéraux de suivre la poutre dans son déplacement de près de 110 mm vers le bas lorsque les grues ont libéré la charge;
- 2- de ne pas avoir complété correctement certains travaux pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Ce dernier point pourrait être imputable à l'important retard accusé dans l'exécution des travaux devant être effectués dans la journée du 14 avril 2016, puisque la capacité portante des sols a dû être améliorée pour stabiliser les grues.

De façon plus spécifique, les facteurs découlant du point 2, qui ont **contribué à déstabiliser** la poutre dans l'heure qui a suivi le relâchement de la charge par les grues sont :

- 3- les connexions soudées non complétées des SLTs à la semelle supérieure de la poutre, rendant ces assemblages très vulnérables;
- 4- le joint de montage non complété qui était trop souple et qui présentait des déformations non symétriques. Toutefois, le joint de montage à lui seul ne peut être responsable du déversement de la poutre;

- 5- les attaches à la base des supports de verticalité qui pouvaient se déplacer de plusieurs millimètres parce que les boulons qui les reliaient à l'appareil d'appui adjacent étaient desserrés.

Les autres facteurs qui ont pu **contribuer à déstabiliser** la poutre dans l'heure qui a suivi le relâchement de la charge par les grues sont :

- 6- les vibrations du pont nord à l'heure de pointe (amplitude de 2,6 mm en service, à une fréquence de vibration de 1,15 Hz), qui ont pu donner une petite poussée latérale à la poutre en supposant que les SLTs étaient encore un tant soit peu en contact avec la poutre. Le fait que les SLTs étaient inclinés, en contact ferme avec la dalle de béton du pont nord et que l'articulation était bloquée, n'a pu qu'amplifier les poussées latérales causées par les vibrations;
- 7- le vent qui, même s'il était très faible, aurait pu souffler en rafale sur la poutre.

Au même titre qu'il en faut peu pour stabiliser une poutre contre le déversement, il en faut tout aussi peu pour la déstabiliser.

**ANNEXE C**

## Rapport d'expertise soudage



**MISTRAS**

Division Montréal

Rapport / Report

M16- 32051A-001

Page

1

de/of

13

**Visuel  
VISUAL**Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé

Responsable / Responsible

N/A

Responsable / Responsible

N/A

No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

Doc. de référence / Reference Doc.Technique / Method

Norme / Code

CSA W59

Année / Year

2013

Section

Cyclique

Critères/ Criteria

chap. 12

I-TEC-07

**Détails de l'inspection / Inspection details**

La CNECSST a mandaté Mistras pour une inspection visuelle de stabilisateur temporaire suite à un incident survenu au mois d'avril 2016. À notre arrivée, nous avons rencontré M. Michel Labbé Inspecteur pour la CNECSST qui a expliqué la situation et nous a montré les stabilisateurs à inspecter.

Objet: Inspection des soudures sur des stabilisateurs temporaires utilisés pour retenir une poutre reliant les piliers de l'axe 1 à l'axe 2, travaux de remplacement d'un pont qui enjambe la rivière Bayonne sur l'autoroute 40 directions est situé à Berthierville.

Pour effectuer les travaux d'inspection des soudures, nous avons utilisé le standard CSA W59 version 2013 applicable pour le soudage sur les structures d'acier.

Trois stabilisateurs ont été inspectés. Deux stabilisateurs étaient fixés sur la semelle supérieure, un du côté de l'axe 1 et l'autre du côté de l'axe 2 et un stabilisateur était boulonné au raidisseur à l'extrémité de la poutre côté de l'axe 2.

Inspection des soudures: Nous avons noté beaucoup d'anomalies sur les soudures des stabilisateurs:

Longueur des soudures, selon l'article 4.3.4.2.2 qui mentionne que la longueur efficace minimale d'une soudure d'angle est de 38mm et la plupart des soudures mesurées n'avaient pas la longueur minimum requise.

Nous avons noté la dimension des soudures d'angle selon l'épaisseur du matériel de base, selon le tableau 4.4 qui fait mention que les soudures d'angle pour un matériel de moins de 6mm d'épaisseur, il est requis d'avoir des soudures minimums de 3mm de gros, par contre comme cet utilisé sur des structures sur charge cyclique la dimension minimale est de 5mm.

Assemblage: nous avons mesuré des écarts entre les pièces soudées, des écarts variant entre 3mm et 5mm, selon l'article 5.4.1 s'il y a un écartement jusqu'à 5mm la dimension de la soudure d'angle doit être grossie de la valeur de l'écartement mesuré, si l'écartement est plus grand que 5mm la situation doit être soumise à un ingénieur.

Qualité des soudures inspection visuelle: Nous avons détaillé les défauts de soudage notés sur les stabilisateurs. 1- Manque de fusion 2- Bourlet de soudure 3- Porosité 4- Soudure inégale (continuité) 5- Aucune soudure continue, seulement des soudures par point 6- Pièce soudée par point sur un seul côté (nous pouvons bouger les pièces avec nos mains) 7- Sous dimension des soudures d'angles selon plusieurs facteurs: espacement entre les pièces et dimension minimum requis selon le standard 8- Matériel de base écroui 9- Coup de chalumeau dans le matériel de base.

Date

Approuvé par / Approved by

Niveau / Level

Vérifié par / Verified by

Yvan Roch CSA W178.2 niv. III

2016-05-20

Sylvain Leblanc

CWB 3064

3

MA



**Visuel**  
**VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé

Responsable / Responsible

N/A

Responsable / Responsible

N/A

No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Plan et devis: nous avons demandé a M. Labbé s'il y a des plans et des procédures de soude et procédure de travaille pour exécuté les travaux de soudage. M. Labbé qui n'a pas reçu aucun plan pour les travaux de soudage effectué au chantier sur les stabilisateurs□

Observation:□

Selon le standard CSA W59 avant de modifier ou de fabriquer une structure (les stabilisateurs), les plans devraient être vu et approuvé par un ingénieur, également nous ne pouvons pas savoir quel type d'électrode et la qualité de l'entreposage des électrodes (certain type d'électrode doit être conservé dans un four), la condition de surface des pièces avant soudage (propreté, rouille, graisse, pluie, neige, glace, etc.) et de plus nous ne savons pas si les soudeurs qui on effectué les travaux ont pris soin de préchauffer la surface avant soudage ce qui élimine les chances de fissuration causée par l'hydrogène.□

Conclusion:Selon notre inspection, les soudures inspectées ne rencontrent pas le standard CSA W59 et ce a tout point de vue.□

Nous avons annexé des photos explicatives à ce rapport.

Technicien / Technician :

Date

Approuvé par / Approved by

Niveau / Level

Vérifié par / Verified by

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

2016-05-20

*Sylvain Leblanc*

CWB 3064

3

MA



**Visuel  
VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé  
Responsable / Responsible

N/A  
Responsable / Responsible

N/A  
No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

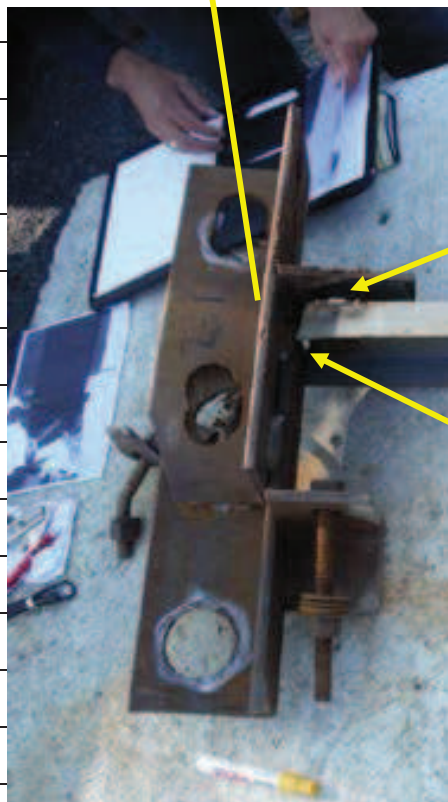
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur boulonné au raidisseur à l'axe 2 partie fixé à l'appareil d'appui



aucune fusion  
sur cette  
surface

parti de la soudure  
resté sur le profilé,  
soudure dimension  
et profile irrégulier

soudure avec manque de fusion et irrégulière



Profile inadéquat, soudure fusionné sur un côté seulement

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

*Sylvain Leblanc*

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA





**Visuel  
VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé  
Responsable / Responsible

N/A  
Responsable / Responsible

N/A  
No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

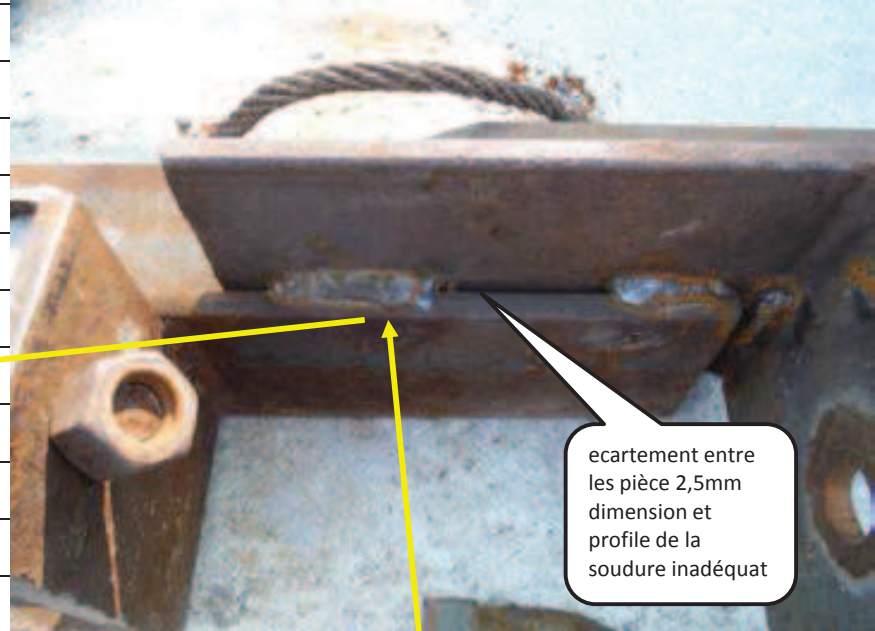
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

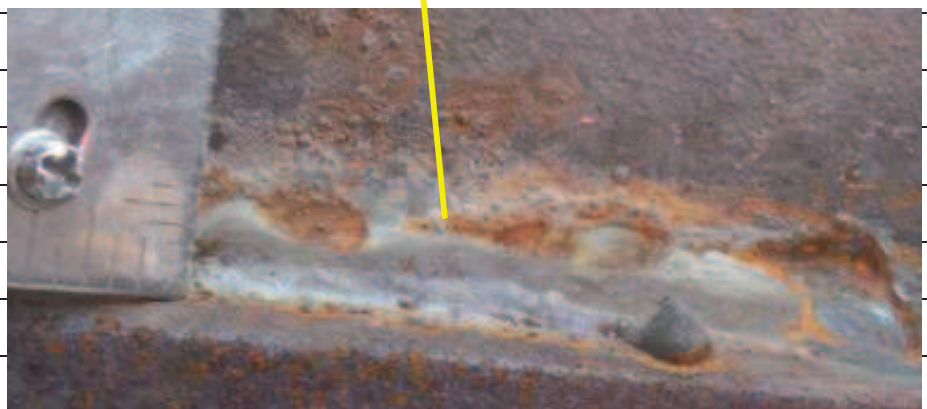
Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur boulonné au raidisseur à l'axe 2 partie fixé à l'appareil d'appui



Mesure de l'écartement



Vue rapproché de la soudure et mesure de la dimension 4mm

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA



**MISTRAS**

Division Montréal

Rapport / Report

M16- 32051A-001

Page

5

de/of

13

**Visuel  
VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé

Responsable / Responsible

N/A

Responsable / Responsible

N/A

No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur boulonné au raidisseur à l'axe 2 partie fixé au raidisseur



Rupture dans le matériel de base



Vue rapproché de la rupture

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA

Visuel  
VISUAL

Client / Customer

CNECSST

Michel Labbé

Responsable / Responsible

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

N/A

Responsable / Responsible

Commande no / P.O. Number

674418

N/A

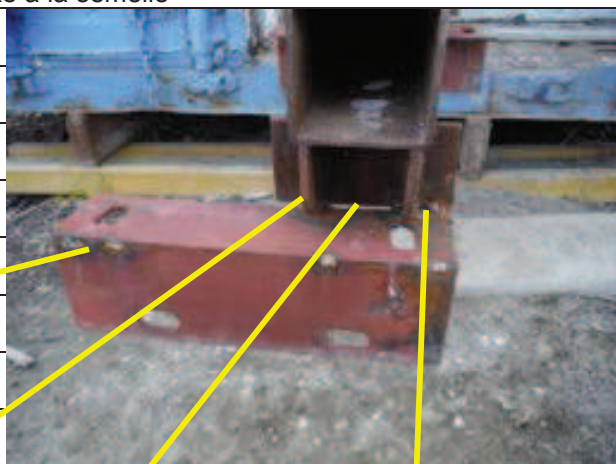
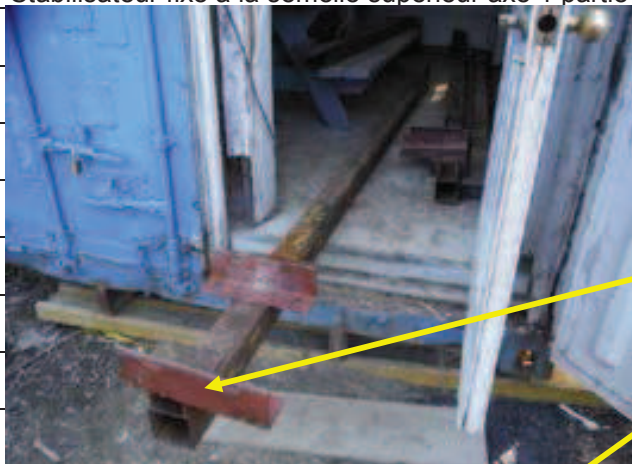
No d'ouvrage / Job no

Description

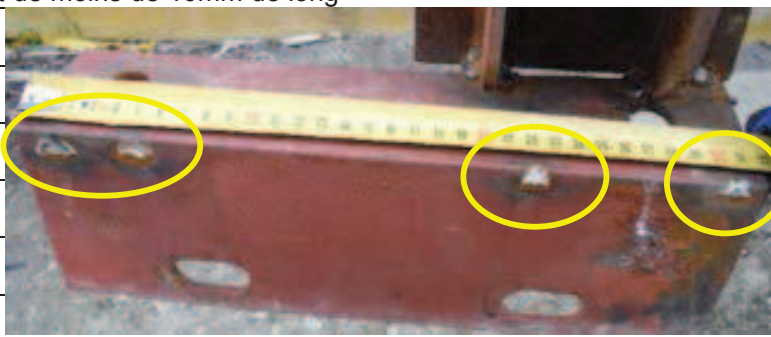
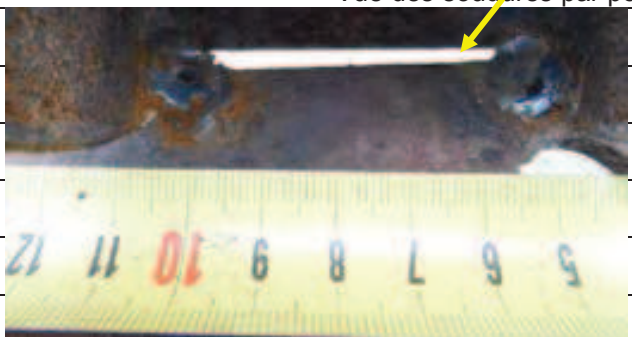
Inspection de stabilisateurs temporaire

### Détails de l'inspection / Inspection details

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 1 partie fixé à la semelle



Vue des soudures par point de moins de 10mm de long



Note: L'autre partie fixé a ces soudures n'a pas été retrouvé

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA



**MISTRAS**

Division Montréal

Rapport / Report

M16- 32051A-001

Page

7

de/of

13

**Visuel  
VISUAL**Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé  
Responsable / ResponsibleN/A  
Responsable / ResponsibleN/A  
No d'ouvrage / Job noProjet / Project

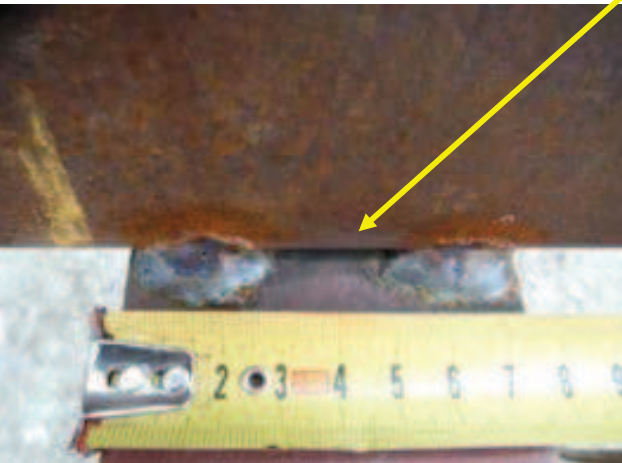
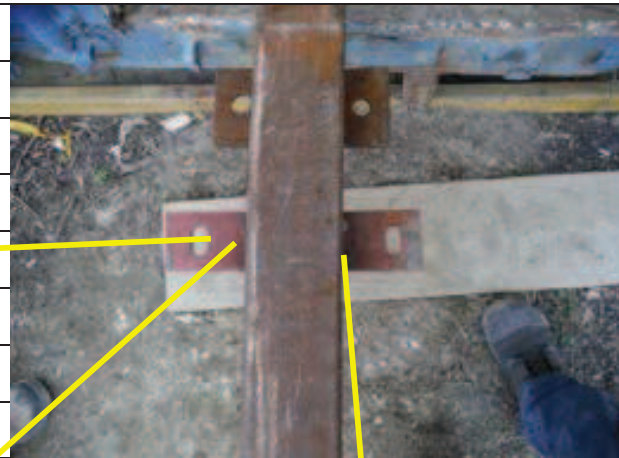
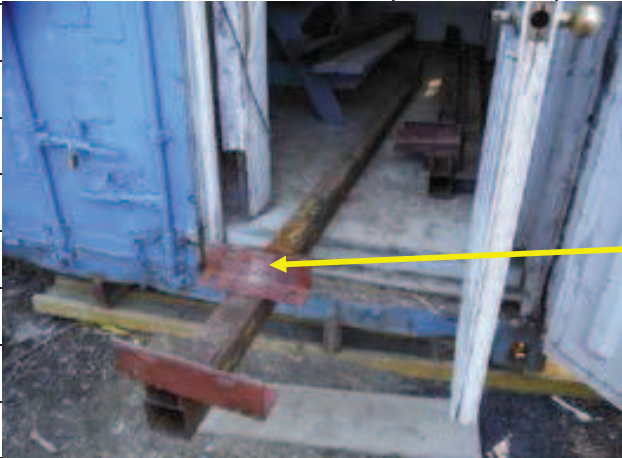
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 1 partie fixé à la semelle



Vue des soudures par point de moins de 15mm de long

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA



**Visuel  
VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Michel Labbé

Responsable / Responsible

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

N/A

Responsable / Responsible

Commande no / P.O. Number

674418

N/A

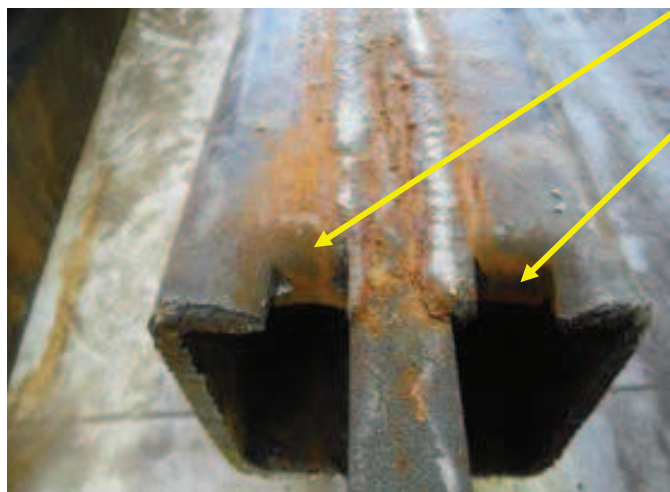
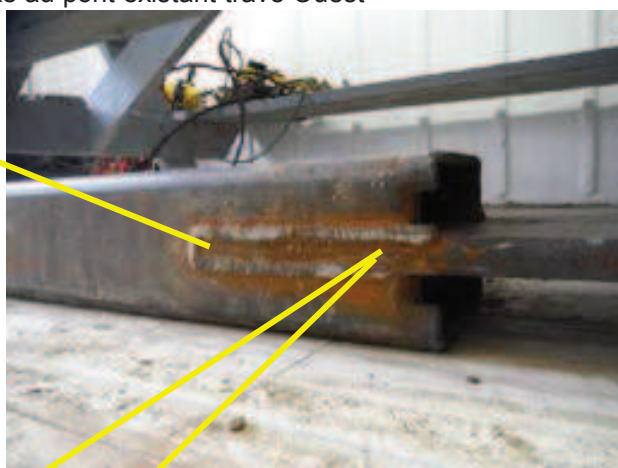
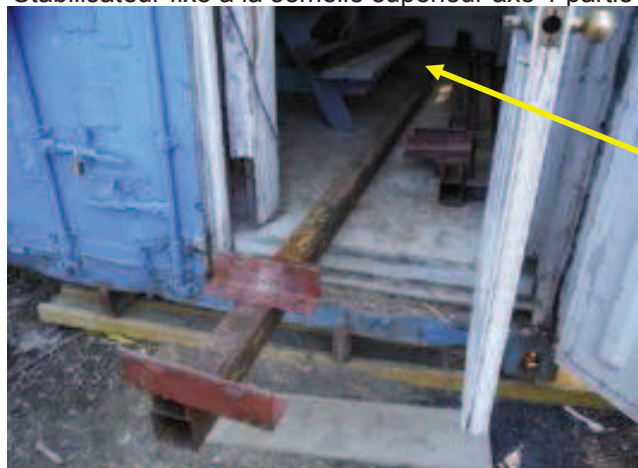
No d'ouvrage / Job no

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 1 partie fixé au pont existant travé Ouest



Écrouissage du matériel avec déchirure du profilé

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

*Sylvain Leblanc*

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA





Visuel  
VISUAL

Client / Customer

CNECSST

Michel Labbé

Responsable / Responsible

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

N/A

Responsable / Responsible

Commande no / P.O. Number

674418

N/A

No d'ouvrage / Job no

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

## Détails de l'inspection / Inspection details

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 2 partie fixé à la semelle



Soudure pas fusionné, longueur et profile inadéquat

Note: L'autre partie fixé a ces soudures n'a pas été retrouvé

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA



**Visuel  
VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé

Responsable / Responsible

N/A

Responsable / Responsible

N/A

No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

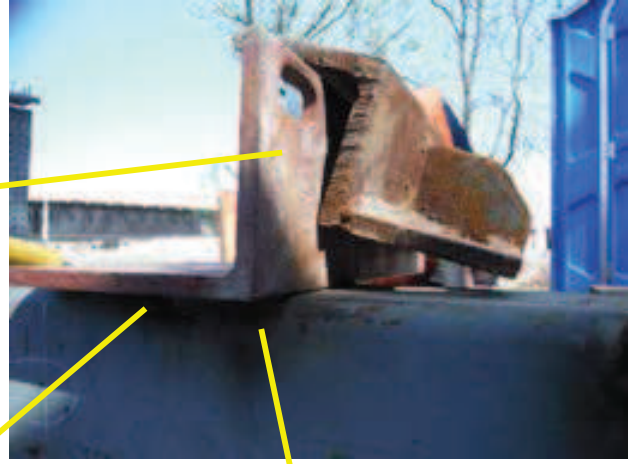
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 2 partie fixé à la semelle



Soudure longueur, dimension et profile inadéquat

Soudure longueur, dimension et profile inadéquat

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

*Sylvain Leblanc*

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA





**Visuel**  
**VISUAL**

Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé  
Responsable / Responsible

N/A  
Responsable / Responsible

N/A  
No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

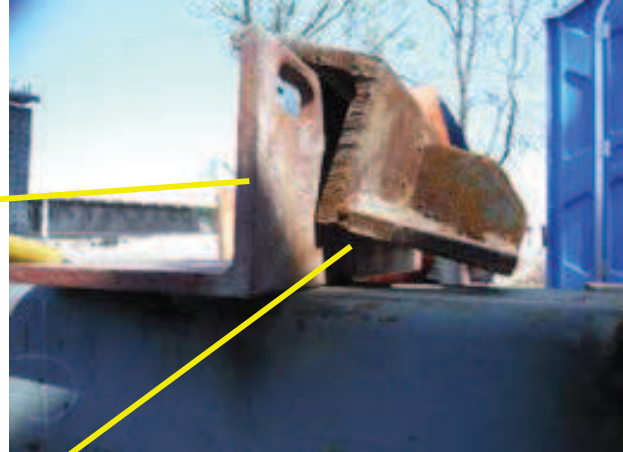
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 2 partie fixé à la semelle



Soudure fissuré

Trois soudures de  $\pm 10$ mm de long tiens la pièce  
aucune autre soudure présente sur la pièce, il est possible de bouger la pièce

Technicien / Technician :

Date

Approuvé par / Approved by

Niveau / Level

Vérifié par / Verified by

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

2016-05-20

*Sylvain Leblanc*

CWB 3064

3

MA

**Visuel  
VISUAL**
Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

Michel Labbé  
Responsable / Responsible

N/A  
Responsable / Responsible

N/A  
No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

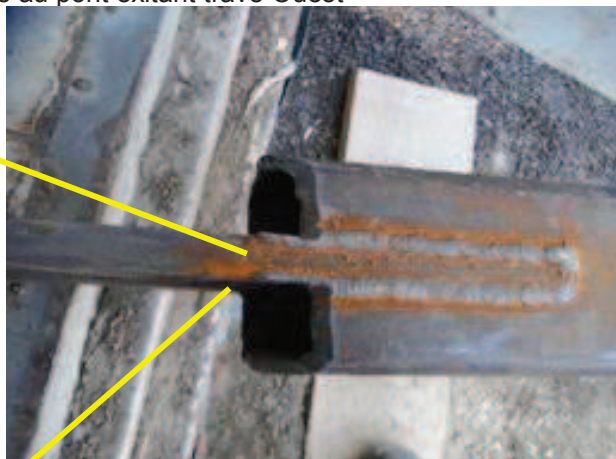
Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Stabilisateur fixé à la semelle supérieur axe 2 partie fixé au pont existant travé Ouest



Profilé coupé au chalumeau, aucun meulage n'a été exécuté pour enlever les arrête vive (amorce de fissure possible)



Coup de chalumeau dans le matériel de base

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

*Sylvain Leblanc*

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA



**Visuel  
VISUAL**
Client / Customer

CNECSST

Fabricant / Manufacturer

Roxboro

Commande no / P.O. Number

674418

 Michel Labbé  
 Responsable / Responsible

 N/A  
 Responsable / Responsible

 N/A  
 No d'ouvrage / Job no

Projet / Project

Pont Rivière Bayonne, Aut. 40, Berthierville

Description

Inspection de stabilisateurs temporaire

**Détails de l'inspection / Inspection details**

Autre photos



Écartement de 5mm



Porosité sur soudure bout à bout



Soudure d'angle a bord tombé dimension insuffisante

Technicien / Technician :

Yvan Roch CSA W178.2 niv.III

Date

2016-05-20

Approuvé par / Approved by

Sylvain Leblanc

Niveau / Level

CWB 3064

Vérifié par / Verified by

3

MA

## ANNEXE D

### Références bibliographiques

- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Code canadien sur le calcul des ponts routiers*, Ontario, CSA, 2014, lv, 885 p. (CSA-S6-14)
- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Règles de calcul des charpentes en acier*, Ontario, CSA, 2014, 226 p. (CSA-S16-09)
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. DIRECTION RÉGIONALE DE LA CÔTE-NORD. *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel et accident avec blessures survenus le 30 octobre 1984 lors de l'effondrement du pont de la rivière Sainte-Marguerite*, Québec, CSST, 1984, [118] p.
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. DIRECTION RÉGIONALE DE LAVAL. *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu le 18 juin 2000 sur le chantier de la Cie de pavage d'asphalte Beaver ltée au viaduc du Boulevard du Souvenir à Laval*, Québec, CSST, 2003, 33 p.
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. DIRECTION RÉGIONALE DE LONGUEUIL. *Rapport d'enquête. Accident survenu le 25 février 2008, durant le montage de la structure d'acier sur le chantier du Complexe sportif Brossard, situé au 8 000 boulevard Leduc, à Brossard*, Québec, CSST, 2008, 24 p.
- QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction*, RLRQ, chapitre S-2.1, r.4, à jour au 1<sup>er</sup> août 2016, [En ligne], 2016. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/S-2.1,%20r.%204>] (Consulté le 17 octobre 2016)
- QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 1<sup>er</sup> septembre 2016, [En ligne], 2016. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-2.1>] (Consulté le 17 octobre 2016)
- QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Cahier des charges et devis généraux : infrastructures routières : construction et réparation*, Québec, MTQ, 2014, [298] p.
- QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Manuel de construction et de réparation des structures CCDG*, Québec, MTQ, 2014, [732] p.
- THIÉBAUD, Raphaël. *Résistance au déversement des poutres métalliques de pont*, thèse No 6348 (2014), Suisse, École polytechnique fédérale de Lausanne, 2014, xxii, 166 p.