

STRATÉGIES D'INTERVENTION POUR LE REMPLACEMENT ET LA RÉFECTION DU TABLIER DU PONT LAVIOLETTE DE TROIS-RIVIÈRES

Bernard Breault ing., SNC-Lavalin
Jean Douville ing., ministère des Transports du Québec
Richard Fay ing., BPR

Résumé

Le pont Laviolette est l'une des structures routières les plus importantes du Canada. L'ouvrage mesure un peu plus de 2 700 m de longueur et comporte une travée centrale suspendue avec poutres triangulées en arc. Ce pont permet d'enjamber le fleuve Saint-Laurent entre Trois-Rivières et Bécancour. Par le fait même, il constitue le seul lien terrestre pour traverser le fleuve entre Montréal et Québec, deux villes situées à plus de 175 km du pont.

En 2001, un relevé de potentiel de corrosion de la dalle a permis de constater qu'une corrosion avancée des aciers d'armature affectait plus de 20 % du tablier du pont. Des travaux de réfection et de remplacement de tablier s'avéraient donc nécessaires. Les exigences de maintien de la circulation sont déterminantes dans ce projet pour le développement de techniques appropriées pour la réfection de la dalle ainsi que la conception des panneaux du nouveau tablier. Les solutions retenues et décrites dans cet article permettent de réaliser les travaux en minimisant à la fois les coûts et la durée d'interruption de service sur les voies de circulation du pont.

Les travaux réalisés sur le pont Laviolette au coût prévu de 97 M \$ ont été répartis sur quatre ans (2004 à 2007). La phase 1 du projet a permis de réaliser la réfection de la dalle sur la partie centrale du pont. La phase 2 a permis d'effectuer le remplacement complet de la dalle à l'aide de panneaux préfabriqués sur les travées d'approche *nord* et la phase 3 permettra également d'effectuer le remplacement complet du tablier mais cette fois sur les travées d'approche *sud*. Les plans et devis ont été réalisés par le Consortium SNC-Lavalin, BPR et Pluritec avec la collaboration du ministère des Transports du Québec.

1. Description du pont Laviolette

Le pont Laviolette traverse le fleuve Saint-Laurent entre les villes de Trois-Rivières et Bécancour. Sa construction a débuté en avril 1964 et le pont fut ouvert à la circulation un peu moins de quatre années plus tard, en décembre 1967 [1, 2]. Sa valeur de remplacement serait aujourd'hui d'environ un milliard de dollars.

Le pont d'une longueur totale d'un peu plus de 2 700 m se compose de 37 travées disposées en sept types de structures différentes [3] :

- 1 travée suspendue avec poutres triangulées en arc;
- 8 travées avec poutres métalliques triangulées et tablier inférieur;
- 2 travées en béton armé au-dessus des piles principales;
- 15 travées avec trois poutres maîtresses d'acier à âme pleine;
- 11 travées avec poutres préfabriquées de béton précontraint.

La figure 1 montrée ci-contre, représente une vue en élévation du pont Laviolette.

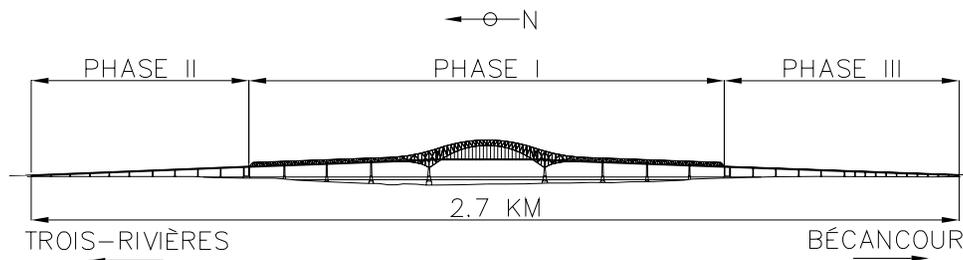


Figure 1 : Vue d'ensemble du pont Laviolette

La travée centrale offre un dégagement horizontal de 304,8 m et un dégagement vertical de 49,4 m pour le chenal de navigation [2].

La chaussée comprend 4 voies de circulation et la largeur hors-tout du tablier est de 16,7 m [2]. Actuellement, plus de 35 000 véhicules empruntent chaque jour le pont Laviolette dont 8 % de véhicules lourds.

Depuis son ouverture à la circulation, divers travaux ont été réalisés sur ce pont. De 1982 à 2002, il y a eu : la réparation de la dalle en 1982, la construction d'îlots de protection des piles en 1987, l'installation de feux de gestion des voies en 1989, la réparation de la dalle en 1994, le remplacement de 36 appuis de type « chaise » en 1998 et l'installation de panneaux de la limite de vitesse à 80 km/h en 2002.

Les bretelles d'accès à l'autoroute 55 et à la route 138 ont dû ensuite être réaménagées. L'implantation d'un système de surveillance, de sécurité et de gestion de la circulation était aussi nécessaire pour détecter les anomalies de la circulation lors des travaux et en situation normale ou d'urgence. Une amélioration de la sécurité du pont s'imposait afin d'éliminer les collisions frontales et de réduire le nombre de fermetures du pont par la construction d'un muret central.

Diverses études, plans et devis ont été réalisés de 2001 à 2003. Entre autres, il y a eu la préparation de devis de services professionnels pour l'implantation du système de surveillance en 2001, des études préparatoires (2001-2002), des concepts d'électricité, des choix technologiques d'équipements et des plans et devis du système de surveillance (2002-2003).

En 2004, le réaménagement des bretelles d'accès et de sortie entre la route 138 et l'autoroute 55 en direction *sud* a été réalisé. Le système de gestion de la circulation a été implanté en 2004 alors que le centre de gestion de la circulation, situé sur le boulevard des Récollets, au Centre de services de Trois-Rivières, était inauguré en mai 2005. Le système de gestion comprend 24 caméras de circulation, 290 feux de voies dans les deux directions, 28 portiques et 14 panneaux à messages variables.

2. Problématique

2.1 Conditions existantes

L'inspection de la dalle réalisée par des relevés de potentiel de corrosion en 2001 a conduit aux constatations qui suivent [4]. La corrosion des aciers d'armature du tablier du pont a été qualifiée de :

- Très avancée sur 1 %;
- Avancée sur 19 %;
- Initiée sur 43 %.

Il a été établi qu'environ 13 % de la dalle de la partie centrale nécessitait des réparations de surface et 2 % de la dalle requérait des réparations en profondeur. L'inspection du tablier a permis de déterminer que le tablier était dans un meilleur état dans la partie centrale du pont et qu'il était possible de faire des réparations de la dalle et remplacer les glissières afin de repousser le remplacement de la dalle d'environ 20 années pour cette partie du pont. Quant à lui, le tablier des travées d'approche *nord* et *sud* était très détérioré et nécessitait un remplacement complet.

2.2 Exigences de maintien de la circulation

Par rapport au pont Laviolette, le lien terrestre le plus près pour traverser le fleuve se situe à plus de 175 km. Les travaux ne doivent en aucun cas fermer plus de deux voies de circulation la nuit et les jours de fin de semaine, tandis que les quatre voies doivent être ouvertes à la circulation les jours de semaine.

3. Stratégies d'intervention

Les travaux sur le tablier du pont doivent s'effectuer la nuit et les fins de semaine alors que deux voies de circulation sont fermées. Par conséquent, les exigences de maintien de la circulation dictent les étapes de construction et les dimensions des panneaux du nouveau tablier. Dans le but de permettre la gestion efficace de la circulation, les travaux doivent être planifiés pour que la réparation ou le remplacement de tablier se déroule selon les principales étapes qui suivent [3] :

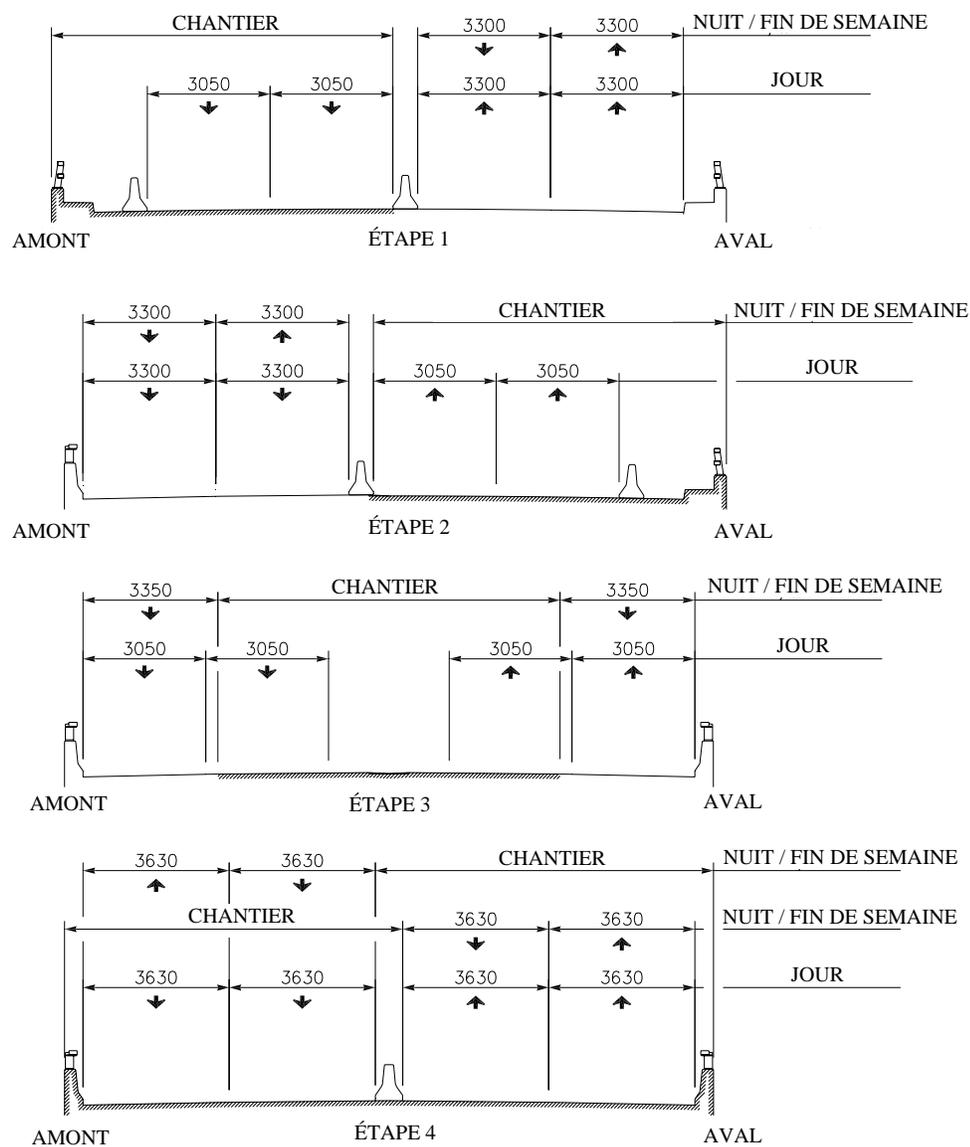


Figure 2 : Marquage des voies pour les différentes étapes des travaux

- Étape 1 : Installation d'une glissière centrale rigide amovible
Réparation ou remplacement de la dalle
Installation des joints de tablier
Pose de la membrane et du pavage
- Étape 2 : Relocaliser la glissière centrale rigide amovible
Mêmes activités qu'à l'étape 1 mais sur l'autre demi-largeur du tablier
- Étape 3 : Enlever la glissière centrale rigide amovible
Réparation ou remplacement de la dalle dans la partie centrale
Installation de la glissière centrale rigide permanente
Installation de la partie centrale des joints de tablier
Pose de la membrane et du pavage de la partie centrale

Étape 4 : Marquage final des voies

Les travaux de réhabilitation proposés ont été divisés selon trois phases réparties sur trois années consécutives. La figure 1 montre une vue d'ensemble du pont Laviolette ainsi que l'emplacement des travaux pour chacune des phases.

4. Phase 1 : Partie centrale

Pour la partie du pont concernée par la Phase 1 des travaux, une étude économique a permis de mettre en évidence que, pour parvenir à une durée de vie utile du pont de 50 années supplémentaire, la réfection de la dalle suivie d'un remplacement complet du tablier dans 20 ans serait plus économique que de réaliser le remplacement complet et revenir 35 ans plus tard pour effectuer une réfection majeure.

Voici la liste des travaux prévus pour la Phase 1 des travaux :

- Renforcement de la superstructure :
 - renforcement de membrures principales du treillis par des plaques soudées;
 - remplacement d'éléments fissurés;
 - scellement d'ancrages;
 - ajout de contreventements pour la passerelle d'inspection sous le tablier;
 - ajout d'attaches de secours.
- Réfection de la dalle;
- Remplacement de joints de tablier à plaques par des joints modulaires et réparation des joints intermédiaires dans la partie centrale;
- Remplacement des glissières extérieures et ajout d'une glissière médiane en béton;
- Réfection de piles :
 - réparation des surfaces endommagées;
 - injection de fissures;
 - drainage du dessus des chevêtres;
 - réfection des parements de maçonnerie.
- Installation d'un nouveau système d'éclairage.

4.1 Phase 1 : Réparation de la dalle

Les travaux de réfection de la dalle consistaient à enlever l'asphalte, démolir le béton endommagé, mettre en place un béton à prise rapide, préparer la surface de la dalle, poser la membrane d'étanchéité et finalement l'enrobé bitumineux. La figure qui suit montre une coupe du tablier avant et après les travaux de réfection de la dalle.

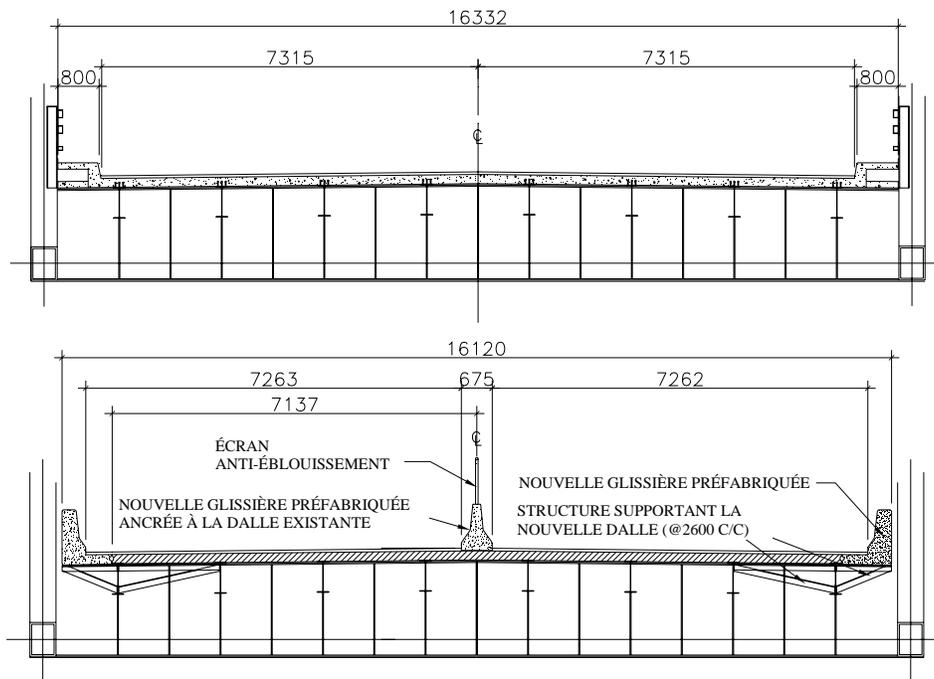


Figure 3 : Phase 1 - Coupe du tablier avant et après les travaux

Les glissières extérieures en acier sont remplacées par des structures en béton. L'option des glissières préfabriquées a été privilégiée par rapport à des glissières coulées en place à cause de la rapidité d'exécution. La glissière médiane est aussi préfabriquée et est ancrée dans la dalle à l'aide de boulons d'ancrage.

Il est à noter qu'un aménagement spécifique de l'horaire des travaux a dû être fait à cause de la présence d'une famille de faucons pèlerins, une espèce menacée.

5. Phase 2 : Approche rive nord

Les principales activités prévues pour cette phase des travaux sont les suivantes [4, 5] :

- Remplacement du tablier sur les travées avec poutres maîtresses;
- Réfection de la dalle sur la travée en béton armé à la pile N5;
- Poursuite des travaux de :
 - remplacement de joints de tablier;
 - réfection de piles;
 - installation d'un nouveau système d'éclairage.

5.1 Description du système structural existant

La dalle est portée par des longerons d'acier qui s'appuient sur des poutres d'acier transversales, lesquelles sont reliées aux poutres principales. Les trois poutres d'acier principales s'appuient sur les piles. La dalle est reliée à la semelle supérieure des poutres principales à l'aide de goujons de cisaillement (voir la figure ci-bas), ce qui procure une action composite entre la dalle et les poutres principales. Dans le sens longitudinal, les poutres principales sont disposées en portées simples avec des travées suspendues et des travées en porte-à-faux (système Gerber).

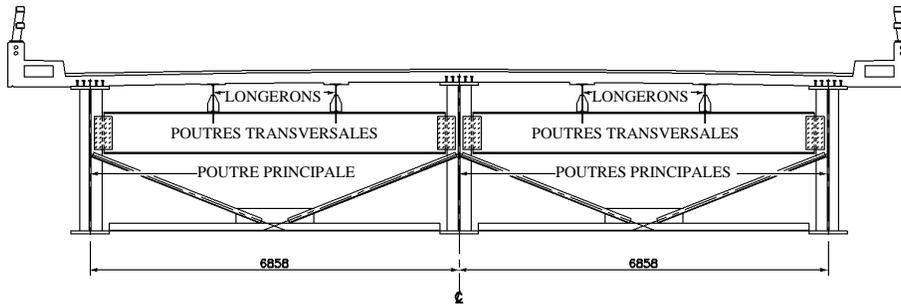


Figure 4 : Coupe du tablier existant

5.2 Description du nouveau tablier

Le nouveau tablier est constitué de panneaux de béton préfabriqués comportant des nervures à profondeur variable (voir la figure ci-bas). Quatre panneaux préfabriqués sont nécessaires pour couvrir la largeur du tablier. Les panneaux sont livrés au chantier et reliés ensuite deux à deux par une bande de béton armé coulée sur un banc d'assemblage. Une fois reliés, les panneaux à ériger ont une largeur de 7,57 m et une longueur de 6,70 m, pour un poids de 45 tonnes. Leur installation requiert l'utilisation d'une grue d'une capacité de 300 tonnes positionnée au sol.

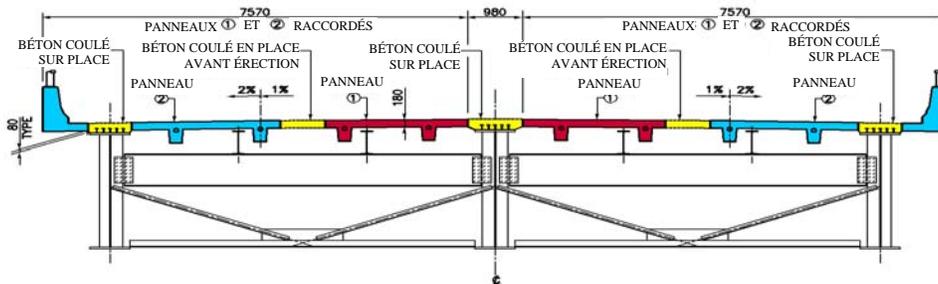


Figure 5 : Disposition des panneaux préfabriqués

5.3 Post-tension longitudinale des panneaux

Après l'installation des 8 à 12 jeux de panneaux requis entre deux joints de tablier consécutifs, l'espace de 50 mm entre chacun des panneaux est rempli d'un mortier à prise rapide et une post-tension longitudinale est appliquée afin de solidariser les panneaux. L'emplacement des joints de tablier, disposés au droit des rotules du système Gerber des poutres principales, dicte la localisation des ancrages pour la post-tension (voir figure ci-bas).

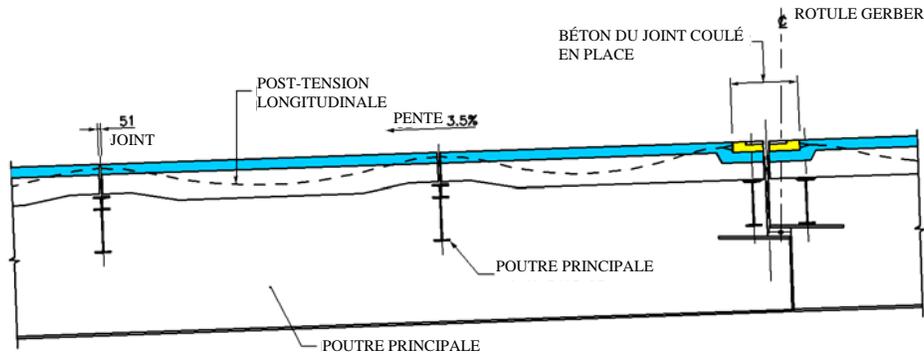


Figure 6 : Post-tension longitudinale

La post-tension longitudinale consiste en 9 torons ($1\,260\text{ mm}^2$) disposés dans chaque nervure des panneaux préfabriqués. Le critère de conception pour déterminer la quantité de post-tension longitudinale requise est de conserver de façon permanente un état de compression à la fibre supérieure des joints de mortier de 50 mm entre les panneaux.

La quantité de post-tension utilisée prend en compte les effets de tension des moments fléchissants négatifs causés par les charges vives dans les nervures devenues continues ainsi que dans les poutres principales.

Le calcul de la quantité de post-tension requise prend également en considération les effets du fluage du béton de la dalle qui entraîne une diminution d'environ 35 % de la contrainte de compression à la fibre supérieure de la dalle. Cette décompression du béton se traduit, en retour, en l'apparition d'une compression axiale dans les poutres principales.

Les premiers panneaux près des joints de tablier sont installés sur des appuis mobiles afin de minimiser cette migration dans le temps de la compression induite dans les panneaux par la post-tension vers les poutres principales sous l'effet du fluage. Cette disposition prend avantage du moment fléchissant négatif réduit dans les poutres principales présentant des porte-à-faux (voir figure 7).

L'action composite des panneaux avec les poutres principales est rétablie par la bande de béton coulée en place au-dessus des semelles supérieures des poutres principales munies de goujons de cisaillement. Cette étape est réalisée une fois la post-tension longitudinale appliquée.

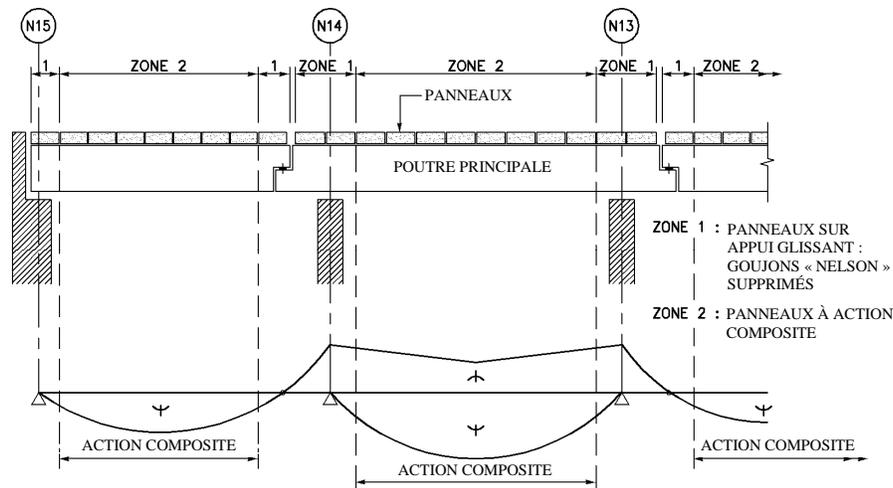


Figure 7 : Diagramme des moments fléchissants dans les poutres principales

5.4 Perte temporaire de l'action composite avec les poutres principales

Du début de la démolition du tablier existant, jusqu'au remplacement effectif de ce dernier par le nouveau tablier, les poutres principales ont perdu leur action composite et par le fait même, leur capacité originale. Des analyses numériques 3D de la superstructure ont permis de simuler les phases de construction où seulement une poutre principale à la fois perdait son action composite. Les résultats ont démontré que l'addition de contreventements métalliques entre les poutres principales permettait d'offrir une capacité suffisante pour réaliser la construction.

6. Phase 3 : Approche rive sud

Les principales activités prévues pour cette phase des travaux sont les suivantes [4, 5] :

- Remplacement du tablier sur les travées avec poutres maîtresses métalliques (voir la description donnée à la Phase 2 des travaux);
- Réfection de la dalle sur la travée en béton armé à la pile S5 (voir la description donnée à la phase 2 des travaux);
- Remplacement du tablier constitué de poutres préfabriquées en béton précontraint;
- Poursuite des travaux de :
 - remplacement de joints de tablier;
 - réfection de piles;
 - installation d'un nouveau système d'éclairage.

6.1 Phase 3 : Remplacement du tablier constitué de poutres préfabriquées en béton précontraint

Le système structural existant est composé d'une dalle participante en béton armé sur des poutres préfabriquées de béton précontraint (AASHTO, Type IV). Des joints de tablier sont présents à toutes les piles de cette section du pont.

Le concept élaboré pour cette partie des travaux consiste à remplacer le tablier existant par des panneaux préfabriqués qui se composent d'une dalle et de trois poutres d'acier [4, 5]. Les poutres d'acier sont de longueur égale à la longueur des poutres de béton préfabriqué existantes (30,5 m).

Chaque travée comprend deux panneaux préfabriqués reliés par un joint longitudinal fait de béton coulé en place. Lorsque les deux panneaux sont installés et que le mûrissement du béton du joint longitudinal est complété, de la post-tension transversale est appliquée afin de solidariser les trois segments.

Il est à noter que le remplacement des appareils d'appui est également à prévoir pour cette partie des travaux. La figure qui suit illustre une coupe du tablier existant et du nouveau tablier.

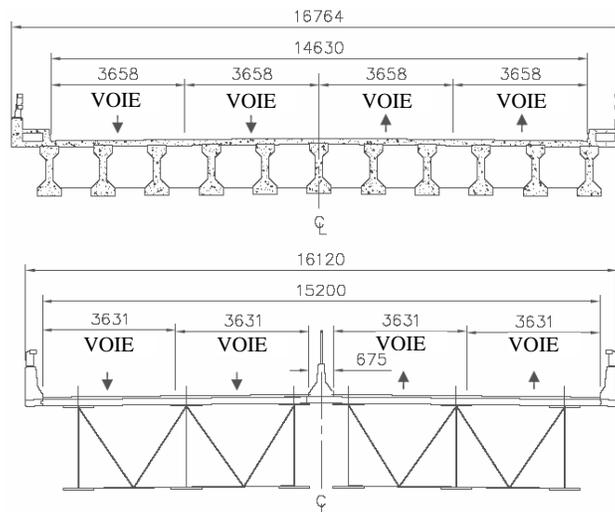


Figure 8 : Phase 3 - Coupe du tablier avant et après les travaux

Au cours de la phase 3 des travaux, une nouvelle rampe de mise à l'eau sera construite sur la rivière Marguerite et un fossé piscicole sera aménagé du côté aval du pont. Une étude d'impacts sur l'environnement a dû être réalisée pour cette phase à cause des travaux effectués dans le lit du fleuve et des perturbations faites à l'habitat des poissons.

7. Coût des travaux

Voici les résultats de l'estimation des coûts de construction pour chacune des phases de travaux:

Phase préparatoire : 16 M \$ comprenant la gestion de la circulation et le réaménagement de la bretelle

Phase 1 : 21 M \$ dont 12 M \$ pour la réfection de la dalle
donc 550 \$/m² tablier

Phase 2 : 25 M \$ dont 20 M \$ pour le remplacement du tablier entre N5 et N15
donc 1 950 \$/m² tablier

Phase 3 : 35 M \$ dont 13 M \$ pour le remplacement du tablier entre S10 et S21 et 12 M \$ pour le remplacement du tablier entre S5 et S10
donc entre 2 200 et 2 400 \$/m² tablier

Le coût total prévu des travaux de construction est de 97 M \$ dont 81 M \$ sont dédiés à des travaux sur la structure du pont Laviolette.

La phase préparatoire a débuté en juillet 2004 et s'est terminée en mars 2005.

La phase 1 des travaux a commencé en mai 2005 et s'est terminée en décembre 2006.

La phase 2 a commencé en avril 2006 et était pratiquement complétée en décembre 2006.

La phase 3 a débuté en janvier 2007 et la fin des travaux est prévue pour novembre 2007.

8. Conclusion

Les travaux réalisés sur le pont Laviolette au coût prévu de 97 M \$ ont été répartis en quatre phases distinctes et sur quatre ans, en incluant la phase préparatoire. Ces activités de réfection et de remplacement se concentrent principalement sur le tablier de la structure. Pour le ministère des Transports du Québec, il s'agit du premier projet du genre car la circulation doit être maintenue en tout temps.

Les exigences de maintien de la circulation ont été déterminantes dans ce projet pour le développement de techniques appropriées pour la réfection de la dalle ainsi que la conception des panneaux du nouveau tablier. Pour ce défi inégalé au Québec, les solutions retenues permettent de réaliser les travaux en minimisant à la fois les coûts et la durée d'interruption de service sur les voies de circulation du pont.

La phase 1 du projet a permis de réaliser la réfection de la dalle sur la partie centrale du pont, entre les axes N5 et S5. Pour cette partie du pont, une étude économique a mis en évidence que la réfection de la dalle suivie d'un remplacement complet du tablier dans 20 ans serait plus économique que l'inverse pour parvenir à une durée de vie utile du tablier de 50 années supplémentaires. Quant à elles, les phases 2 et 3 du projet permettent d'effectuer le remplacement complet du tablier sur les travées d'approche des axes N5 à N15 et S5 à S21.

Finalement, l'utilisation de matériaux de haute performance, jumelée avec la fabrication de panneaux et de glissières préfabriqués, permettront d'assurer la pérennité du tablier du pont Laviolette pour une durée approximative de 50 années supplémentaires.

Références

1. Transports Québec, Trois-Rivières, « Le pont Laviolette : un peu d'histoire » (Mai 1996) 5 pages.
2. L'Institut Canadien des Ingénieurs, « Pont de Trois-Rivières : conception et construction » (Mai 1968) 46 pages et annexes.
3. Consortium SNC-Lavalin / BPR / Pluritec, « Rapport d'avant-projet définitif, réfection des piliers et remplacement complet du tablier entre N15 et N5 (Phase II) et entre S5 et S21 (Phase III) » (Avril 2005) 26 pages et annexes.

4. Consortium SNC-Lavalin / BPR / Pluritec, « Rapport d'avant-projet définitif, réfection des piliers, renforcement de la superstructure, réfection du tablier de la superstructure et remplacement des joints de dilatation incluant l'étude du remplacement complet du tablier entre N5 et S5 (Phase I) » (Mars 2005) 23 pages et annexes.
5. Consortium SNC-Lavalin / BPR / Pluritec, « Complément au rapport d'avant-projet définitif du 15 avril 2005 pour la phase III » (7 Avril 2006) 7 pages et annexes.