

21^e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les Ouvrages d'art

Les éléments novateurs du pont au-dessus de la Petite Rivière Natashquan

Stéphane Thérooux, ing., M. Ing., Hanson Tuyaux et préfabriqués Québec

Elias Chehine, ing., Axor Experts-Conseils

Avril 2014

Résumé

Natahsquan est un village pittoresque de la côte Nord du Québec. Village natal du célèbre chanteur Gilles Vigneault, le pont sur la petite rivière Natashquan traversant le village devait être remplacé. Le nouveau pont se devait d'être parfaitement intégré au paysage bucolique et patrimonial de la région. Le choix s'est porté sur un pont voûté à dix travées. Le coup d'oeil est magnifique. Les villageois roulent désormais sur un pont esthétique, fonctionnel et durable.

La Direction de la Côte-Nord du ministère des Transports du Québec a mandaté la société de génie-conseil Axor Experts-Conseils pour concevoir ce projet. La solution retenue par Axor Experts-Conseils est un pont à voûtes de 10 travées unique au Québec et conçu pour une durée de vie d'un minimum de 75 ans.

Les arches Con/Span, les murs de tête, murs de fermeture et murs d'aile sont fabriqués en usine par Hanson ce qui permet un contrôle optimal de la qualité du matériau. Les aciers d'armature des arches possèdent un recouvrement de béton important afin d'augmenter la durabilité de la structure qui est en contact avec les sels de mer et les sels déglaçants. Les murs de tête, murs de fermeture et murs d'aile ont été réalisés avec de l'acier d'armature galvanisé.

Les éléments préfabriqués sont livrés et assemblés au chantier. Les arches s'appuient sur des piles brise-glaces en béton prêt-à-l'emploi. Les travées ont toutes des hauteurs de dégagement différentes et sont soumises à des hauteurs de remblai variables ajoutant à la singularité du projet. Le pont présente également un devers horizontal variable et une pente longitudinale. La portée des arches est de 10,975 mètres de longueur pour une longueur totale de 110 mètres.

Ce pont est donc un ouvrage hybride qui incorpore des éléments en béton préfabriqué et des parties en béton prêt-à-l'emploi. La combinaison de ces éléments fait du pont de la petite Rivière Natashquan un pont unique au Québec et au Canada.

La fabrication en usine permet également d'appliquer avec précision un moulage sur les parois des murs exposés pour ajouter à l'esthétisme du projet. Le motif choisi reproduit à merveille l'effet de murs de pierres utilisées en maçonnerie pour les ponts antiques. Le nouveau pont prend ainsi racine dans l'histoire de ce coin de pays.

Le vieux pont en acier et bois avait une seule voie de passage. Le nouveau pont possède maintenant une voie pour chaque direction, ce qui améliore la fluidité de la circulation. Un autre élément particulier de ce pont est son tracé non linéaire. Un alignement courbe est intégré au tracé et les éléments préfabriqués ont été conçus en conséquence.

La qualité des matériaux, de l'exécution en chantier et la sélection du concept architectural produisent des résultats spectaculaires où le pont s'inscrit parfaitement dans le paysage de Natashquan. La présentation aura pour objectif de présenter les éléments techniques du projet, quant à l'analyse structurale, la préfabrication du béton, la mise en œuvre et la construction du projet. La conception générale de l'ouvrage, les exigences de la norme CSA S6-06, de même que

les exigences contenues dans les documents du ministère des Transports seront incluses dans la conférence.



1.0 Mise en contexte

Natahsquan est un village pittoresque de la côte Nord du Québec. Village natal du célèbre chanteur Gilles Vigneault, le pont sur la petite rivière Natashquan traversant le village devait être remplacé. Le nouveau pont se devait d'être parfaitement intégré au paysage bucolique et patrimonial de la région. Le choix s'est porté sur un pont voûté à dix travées. Le coup d'oeil est magnifique. Les villageois roulent désormais sur un pont esthétique, fonctionnel et durable.

La Direction de la Côte-Nord du ministère a mandaté la société de génie-conseil Axor Experts-Conseils pour concevoir le pont. La solution retenue est un pont à voûtes de 10 travées unique au Québec et conçu pour une durée de vie d'un minimum de 75 ans, en conformité avec la norme CSA S6-06. Situé à quelque 1270 km de Montréal, l'éloignement du projet a exigé une logistique précise quant au transport des pièces au chantier.

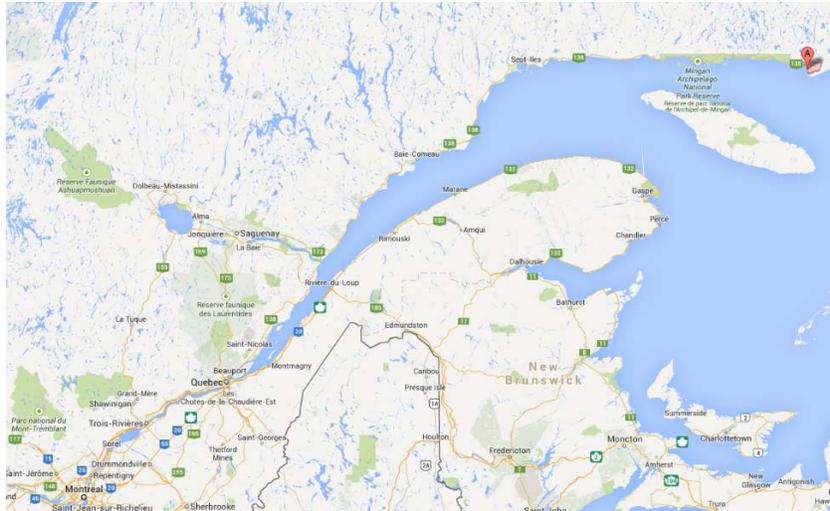


Figure 1. Localisation des travaux

2.0 Le pont existant

Le pont à remplacer était un pont acier-bois sur piles en caisson de bois. Le pont offrait une seule voie de circulation. Les figures 2, 3 et 4 montrent l'emplacement et le pont existant. La figure 5 montre un panneau placé à l'entrée du pont précisant certaines conditions de circulation. De plus, le pont offrait une limitation au niveau des charges mobiles permises.

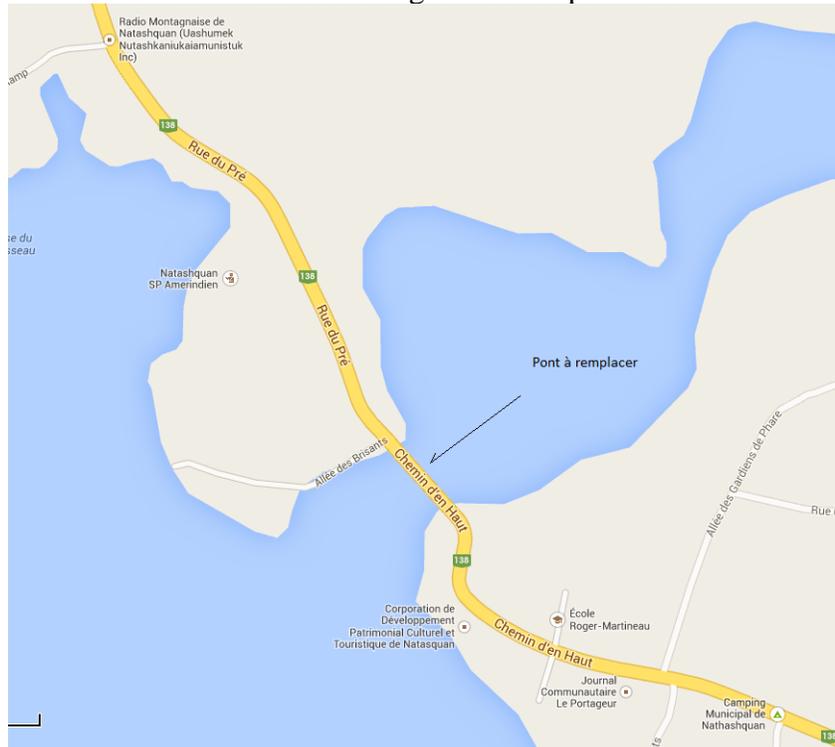


Figure 2. Localisation du pont à remplacer



Figure 3. Le pont acier-bois existant



Figure 4. Le tablier en bois du pont existant



Figure 5. Affichage à l'entrée du pont existant

3.0 Particularités - Conception

La firme Axor Experts-Conseils a été mandatée pour les volets ouvrage d'art et voirie. Plus particulièrement la conception structurale du pont, la géométrie routière et la construction des approches. Plusieurs particularités ont dû être considérées par Axor Experts-Conseils pour la conception de cet ouvrage, notamment pour les contraintes suivantes :

- Milieu marin et présence de glaces :

Le pont est soumis aux marées et aux glaces. L'ouverture entre les arches doit permettre le déplacement des glaces et éviter la formation d'embâcles. Étant donné l'influence des marées dans cette zone, le mouvement des glaces se fait des deux côtés, ainsi des brise-glaces avec du blindage en acier galvanisé ont été implantés du côté amont de même que du côté aval des piles du pont.

-Tracé et maintien de la circulation :

Le projet est limité principalement au remplacement du pont existant. La portée des travaux est restreinte et le milieu avoisinant est contraignant (présence d'un cimetière, d'église et de commerces). Pour assurer la circulation, le pont existant doit demeurer fonctionnel tout le long des travaux. À cela s'ajoute la configuration particulière du cours d'eau qui rendait beaucoup plus grande la portée d'un pont projeté avec un déplacement vers l'amont ou vers l'aval du cours d'eau. L'optimisation du tracé en plan de ce pont se traduisait par une portion en courbe et une autre rectiligne.

-Terrain existant et activité dans le secteur :

Le niveau de l'approche ouest-est de 3.0m tandis que de celui de l'est est de 5.5m. L'emprise étant restreinte et bordée par des édifices patrimoniaux et des commerces, cette situation éliminait toute possibilité de rehaussement significatif du profil. De plus, le concepteur devait composer avec une demande d'un dégagement minimal sur trois travées pour permettre la circulation maritime de petites embarcations. La combinaison de ces éléments a fait en sorte qu'une pente longitudinale variable a été implantée sur le pont.

-Fondation et sol en place :

Le profil du roc plonge du côté est et il est visible à marée basse du côté ouest. Ainsi, à l'ouest on a excavé dans le roc pour y asseoir les semelles. Tandis qu'à l'est, on a fait des excavations de deuxième classe pour bâtir sur le roc. D'autres piles intermédiaires ne nécessitaient pas d'excavations et ont été coulées et ancrées directement au roc.

-Environnement

Des demandes spécifiques concernant l'empiétement des ouvrages ou le gain sous la ligne de marée en haute mer (grande marée) LMHM(GM) et sous la ligne de marée en haute mer (marée moyenne) LMHM(MM) ont été formulées. Des calculs de ces surfaces ont été faits par Axor Experts-Conseils, pour les culées, les piliers et l'enrochement et une optimisation s'en est suivie. Les données bathymétriques ont été suivies tout au long du projet. Et ce dernier a été complété en respect des exigences du ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et du ministère Pêches et Océans Canada (MPO).

4.0 Particularités – Fabrication

Le concept retenu implique des arches préfabriquées homologuées par le MTQ. Les avis techniques des produits homologués se retrouvent sur le site web du MTQ

(https://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/centre_affaire/contrats/documents_contractuels/P-002.pdf). L'avis technique, rédigé par le MTQ, décrit les caractéristiques et particularités de chaque système. Le fournisseur doit préalablement présenter au MTQ un document qui démontre que son produit rencontre toutes les exigences du ministère au niveau de la conception, des matériaux, de la durabilité, ou autres éléments identifiés par le donneur d'ouvrage. Le système des arches Con/Span est homologué depuis environ une quinzaine d'années. Le principe d'homologation implique que le fournisseur est responsable de la conception des produits qu'il fournit. Le défi de ce projet pour Hanson était de fournir une solution préfabriquée complète au client. Hanson a donc produit les arches Con/Span, les murs de tête, les murs de fermeture et les murs d'aile pour le projet.

4.1 Les étapes de conception pour la préfabrication

La première étape de conception du projet consiste à évaluer les charges en conformité avec la norme CSA S6-06.

Dans le cas du pont de la Petite rivière Natashquan, les charges à considérer étaient les suivantes :

- Charge centrifuge pour pont courbe : $v^2/127r$ appliquée horizontalement au pont et ajout du débalancement de la charge de roues (figure 6)
- Charge mobile sur les arches CL-625
- Charge de remblai
- Poussée horizontale du remblai
- Charge provenant de l'approche d'un camion
- Charge de glace
- Charge d'impact sur les murs de tête
- Charge sismique (zone=0,05)
- Conduite de refoulement et aqueduc en fonte d'un côté du pont.

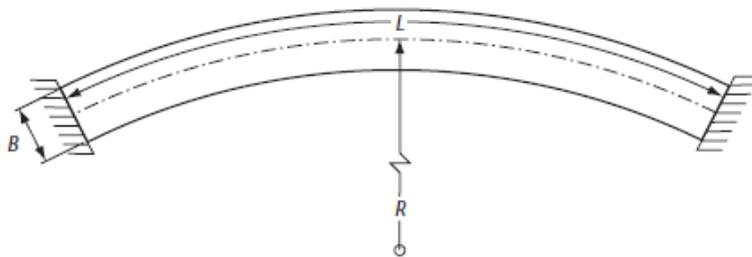


Figure A5.1.2
Bridges curved in plan
(See Clause A5.1.3.2.)

Figure 6. Force centrifuge causée par la courbure du pont

Les combinaisons de charges à considérer sont celles du chapitre 7 de la norme CSA S6-06, Structure sous remblai.

En tant que fabricant, on doit tenter d'optimiser les pièces à produire afin d'avoir le plus de pièces identiques à fabriquer.

Les autres étapes de conception sont:

- Conception des arches (figure 7)

- Conception des murs de tête (figure 8)
- Conception des murs de fermeture (figure 9)
- Conception des murs d'aile

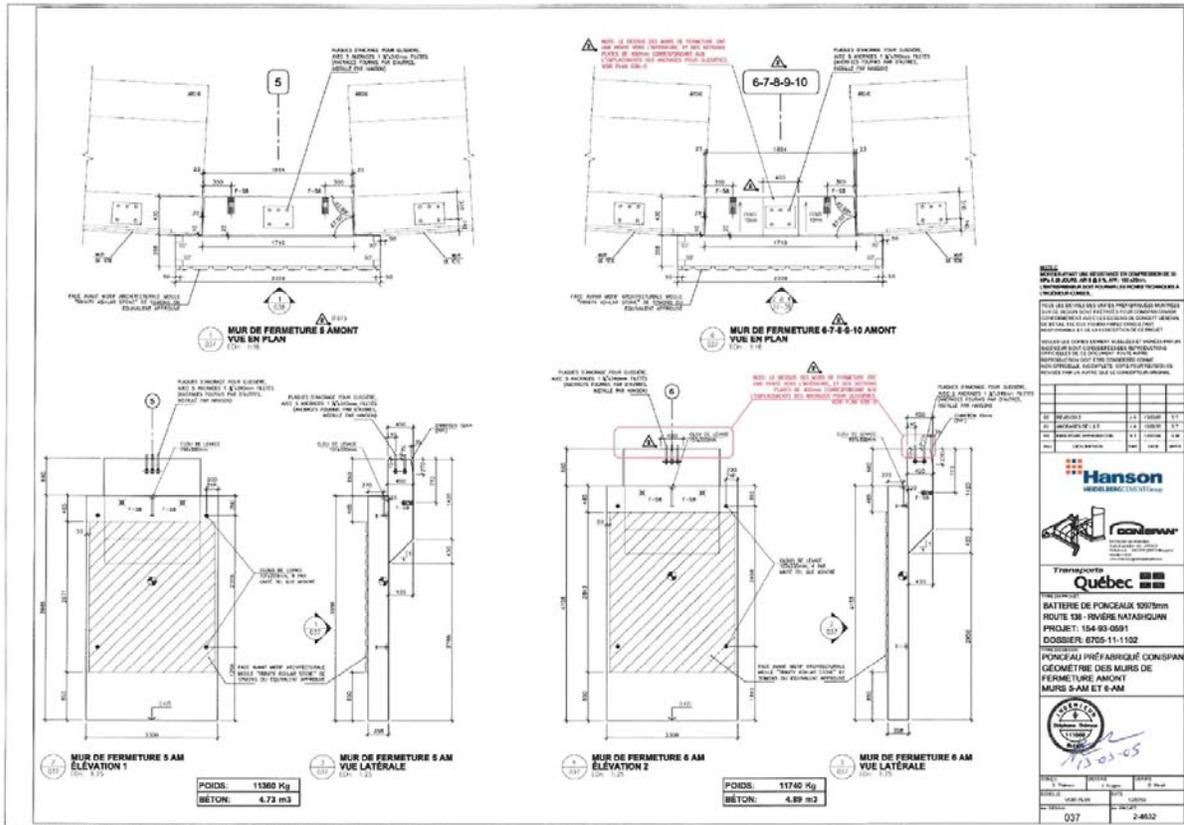


Figure 9. Dessin d'atelier des murs de fermeture

4.2 Particularité de la conception

Le pont étant dans un environnement marin des précautions supplémentaires doivent être prises pour assurer la durabilité de l'ouvrage. Deux documents stipulent les exigences pour la préfabrication en usine : la norme CSA A23.4- Béton préfabriqué Constituants et exécution ainsi que le CCDG du ministère des Transports. La norme CSA A23.4 exige que l'usine soit certifiée et qu'un ingénieur valide les procédures utilisées pour la préfabrication. Hanson détient cette certification depuis une dizaine d'années.

Pour le mélange de béton, le type V-P, de la norme 3101 du MTQ a été utilisé. Ce béton rencontre les exigences requises pour le béton soumis à un environnement marin. L'avis technique rédigé par le MTQ ainsi que d'autres normes recommandent d'augmenter le recouvrement des armatures à 75mm. C'est ce qui a été retenu pour les arches. Dans le cadre du projet, de l'armature galvanisée fut employée dans les murs de tête et murs de fermeture en supplément du recouvrement.

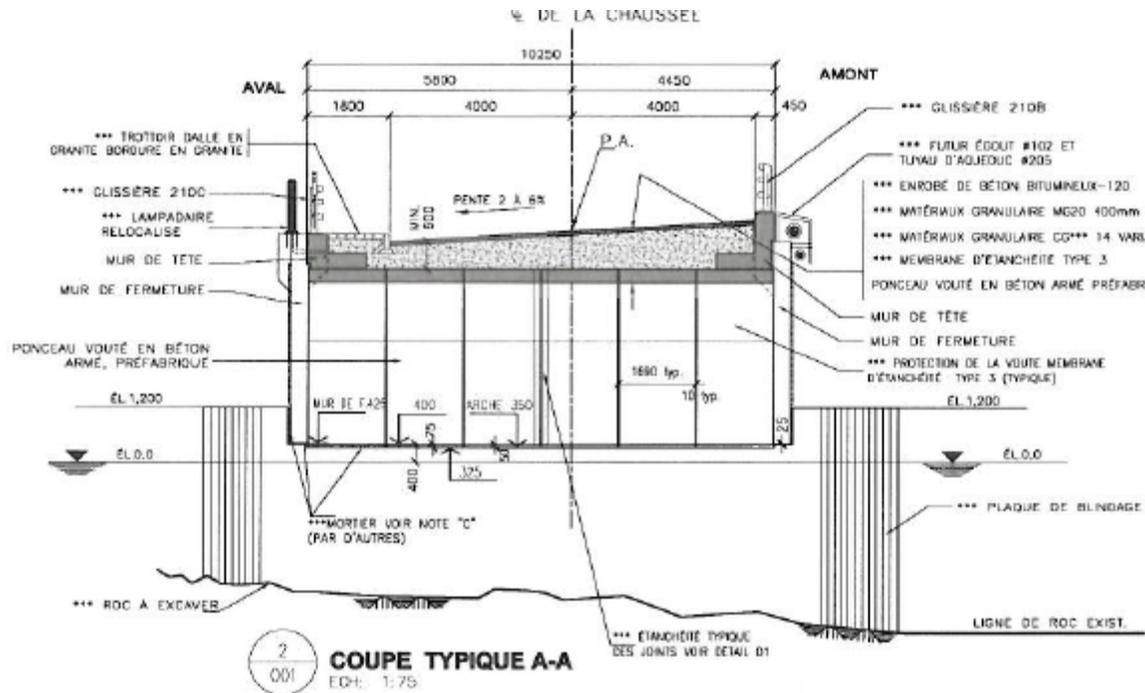


Figure 11 Coupe type du pont

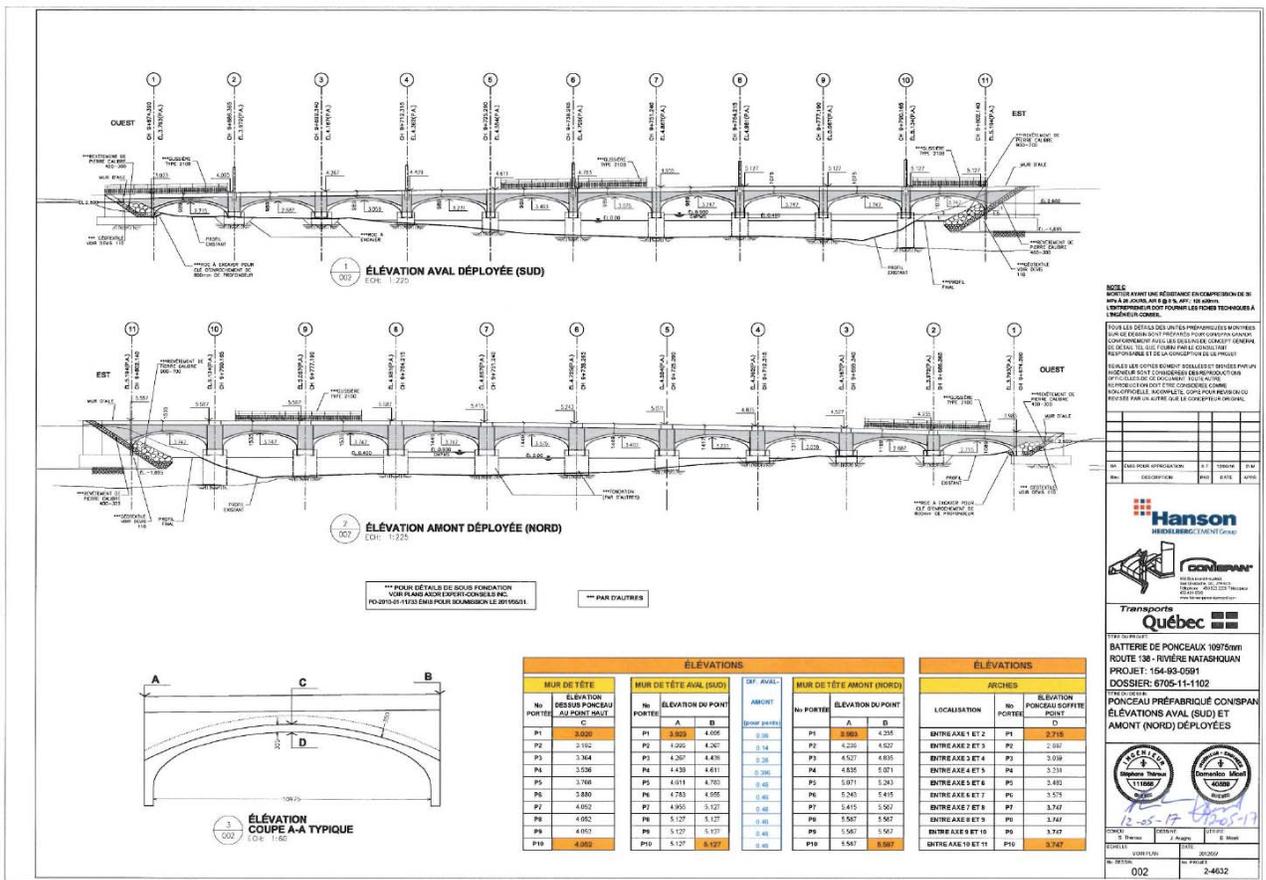


Figure 12. Vue en élévation du pont proposé

5.0 Le nouveau pont : étapes de réalisation de la préfabrication

Ce projet comportait la fabrication de plusieurs éléments :

- 60 arches de type Con/Span de 10975mm de portée. Hauteur de dégagement minimum variant de 2300mm à 3400 mm.
- 20 murs de tête variant de 600mm à 2700mm de haut
- 18 murs de fermeture
- 4 murs d'aile de type Con/Span

Les cages d'armature sont pré-montées et vérifiées avant d'être mise en place dans le moule d'acier. L'utilisation de treillis structural, dont la limite élastique est de $f_y=485\text{Mpa}$ permet de réduire les aires d'acier requises par rapport à l'utilisation de barres d'armature standard dont le $f_y=400\text{MPa}$ (figure 13).



Figure 13. Mise en place de la cage dans le moule.

Le moule est par la suite fermé et le béton coulé à l'aide d'une benne suite à l'autorisation de bétonnage donnée par le technicien qualité qui doit détenir la certification ACI niveau 1.

Une fois les arches bétonnées, on procède à la réalisation des murs de tête qui sont coulés en se servant des arches préalablement fabriquées comme moule («match cast»). Voir les figures 14 et 15. Cette méthode fait en sorte que les pièces s'imbriquent uniformément en chantier.



Figure14. Moulage des murs de tête coulés à même l'arche



Figure 15 Mur de tête lors du démoulage.

Les pièces sont soumises à une cure accélérée à la vapeur. Pendant le cycle de cure, la température est contrôlée afin qu'elle ne dépasse pas 60 degrés Celsius. Pour ce faire, on installe des thermocouples dans chacune des pièces, ce qui permet de suivre la variation de température à l'intérieure de celles-ci (figure 16). La procédure de cure accélérée est décrite en détails dans la norme CSA A23.4. La cure est effectuée jusqu'à ce que la résistance en compression du béton à 28 jours soit atteinte, soit 35 MPa, selon les exigences du ministère.

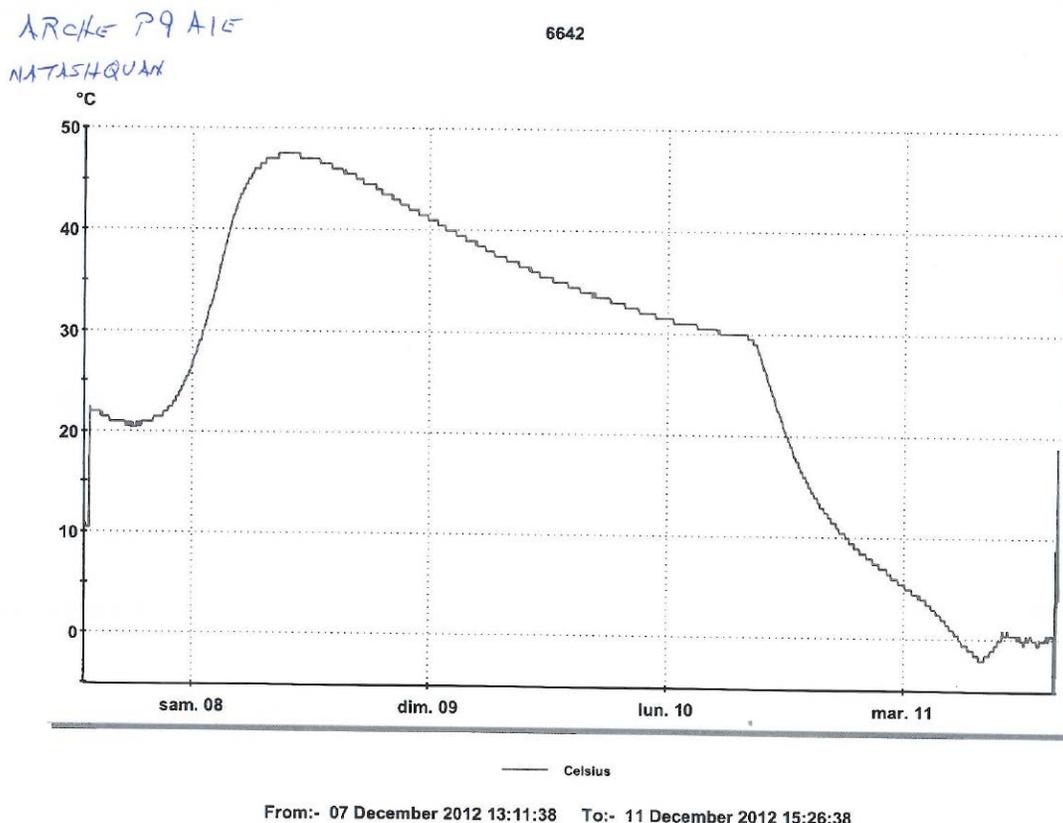


Figure 16 Maturométrie : exemple de courbe de température pour la cure d'une arche.

Les murs de tête et les murs de fermeture des arches du pont de la Petite rivière Natashquan, comportent un élément esthétique. Un motif est étampé sur la surface du béton. Pour ce faire, un revêtement avec le motif choisi est placé dans le moule puis le béton est coulé. L'agent de démoulage assure une finition uniforme de la surface texturée.

6.0 Le nouveau pont : étapes de réalisation chantier

La réalisation du projet s'est déroulée sur deux saisons tant pour la préfabrication que pour l'installation. Lors de la première saison, l'entrepreneur a procédé à la réalisation des piles 1 à 5. La mise en place des arches fut aussi faite pour les arches des travées 2 à 5. L'entrepreneur se devait d'être à l'extérieur de l'eau pour la fin décembre. Voir la figure 17.



Figure 17 Batardeau et empierrement pour le bétonnage de la pile 5

La mise en place des arches a débuté à l'axe deux, des travaux d'aménagement à l'axe 1 devant être réalisé préalablement (figure 18).



Figure 18 Mise en place des arches à l'axe 2

Les arches sont livrées couchées sur les fardiers. On utilise un coussin de pneus pour tourner les arches, voir la figure 19.



Figure 19 Retournement des arches sur matelas de pneus



Figure 20 Arches de la deuxième travée installées



Figure 21 Installation des murs de tête



Figure 23 Travées 2 à 4 installées



Figure 24 Installation des murs de fermeture

Un butyle et deux bandes de membranes autocollantes ont été appliqués sur les joints. Une membrane d'étanchéité recouvre complètement le pont. Voir la figure 25.



Figure 25 Imperméabilisation des joints

La figure 26 permet de bien visualiser le motif architectural des murs de tête et mur de fermeture qui a été retenu pour le projet.



Figure 26 Avancement des travaux à la fin de la première saison

La deuxième phase d'installation de l'élément préfabriqué s'est déroulée du 6 septembre au 19 novembre 2013. Un point important à souligner est que les espaces entre les arches ont été remplis avec un remblai sans retrait. Le remblayage au-dessus des arches a été réalisé en MG-20. L'entrepreneur a dû utiliser des équipements et méthode de travail ne causant pas de charges excessives lors du remblayage. Une procédure a été développée entre l'entrepreneur et le fournisseur. Les dernières étapes du projet ont consisté au pavage du pont et à la réalisation du trottoir du côté aval du pont. La figure 27 montre la courbure du pont. La vitesse affichée est maintenant de 50 km/h.



Figure 27 Vue de la courbure du pont

Les figures 28 et 29 permettent de constater l'aspect esthétique du pont. Ces dernières permettent également de constater que le pont s'intègre bien dans le milieu.



Figure 28 Pont complet



Figure 29 Pont complet

7.0 Conclusion

La conception et la réalisation du pont de la petite Rivière Natashquan comportaient plusieurs particularités et des solutions novatrices ont dû être développées afin d'atteindre les objectifs du projet.

Du point de vue ingénierie, les principales contraintes étaient :

- Milieu marin et présence de glaces
- Tracé et maintien de la circulation
- Fondation et sol en place
- Environnement
- Accommodement de la circulation maritime sous une partie du pont

Du point de vue du fabricant:

- Premier pont multitravées de cette envergure. Ce pont est unique au Québec.
- Pont réalisé en milieu éloigné, augmentation de la complexité des transports et de la logistique
- Durabilité de l'ouvrage en milieu marin assurée par l'augmentation des recouvrements, de l'emploi d'acier galvanisé et par un contrôle serré des matériaux.
- Offrir une solution complète préfabriquée à partir du dessus des piles, arches, murs de tête, murs de fermeture et murs d'aile.
- Pont courbe, avec un devers, une pente longitudinale et transversale demandant une précision supérieure aux tolérances applicables des normes.
- Esthétisme du pont, utilisation d'un motif architectural possible par la mise en place d'un revêtement texturé dans les moules.