

CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU PONT-LEVANT SIR AMBROSE SHEA

PLAISANCE, TERRE-NEUVE-ET-LABRADOR

Jack Ajrab, P.Eng., Ingénieur principal, Parsons

Joanne McCall, P.Eng. ing., Vice-présidente sénior, Parsons

Sylvain Montminy, P.Eng., ing., Vice-président, Parsons

Article préparé pour présentation

au 24e Colloque sur la progression
de la recherche québécoise concernant les ouvrages d'art
Québec, Québec

RÉSUMÉ

Le 23 septembre 2016, le nouveau pont-levant Sir Ambrose Shea situé dans la province de Terre-Neuve-et-Labrador sur la côte est du Canada fut ouvert à la circulation. Il a été construit en remplacement d'une structure existante construite en 1961 qui avait atteint la fin de sa vie utile. Il est composé de trois travées, avec une travée centrale mobile (levant) entourée de deux travées composites fixes simples. Les tours de ce pont levant consistent en des treillis en profilés tubulaires évoquant la voilure d'un navire. Les composants de chaque tour sont liés par un exosquelette tridimensionnel qui accueille l'équipement mécanique pour opérer la travée mobile.

En plus d'être esthétiquement agréable avec une architecture reflétant la culture locale et le potentiel touristique de la région, le nouveau pont est conçu pour être durable, efficace et fiable. Le nouveau pont a été construit à côté du pont existant afin de minimiser les perturbations de la circulation maritime et routière.

Cet article traite de la conception et de la construction du pont en commençant par les aspects de conception du pont tels que les types de ponts mobiles considérés, les systèmes alternatifs de levage, les options de fondation, l'architecture du pont, les composants mécaniques, la durabilité et les aspects de la constructibilité de la conception.

Les fondations du pont, les travées d'approche et les tours ont été construites à l'aide de tréteaux et de grues temporaires. La travée mobile a été assemblée sur une barge puis placée par levage à sa position finale. La construction s'est étendue sur trois ans et a dû tenir compte des conditions environnementales difficiles, y compris les vents forts, les marées et les courants rapides.

INTRODUCTION

Le pont levant Sir Ambrose Shea est situé dans la péninsule d'Avalon, dans la ville de Plaisance (Placentia), approximativement à 100 km à l'ouest de la capitale St-John's. Construit à l'origine en 1961, il demeurait le seul pont mobile de la province. Plus tôt, dans les années 1940, un ponton a été construit pour traverser le détroit de Plaisance, section étroite entre l'océan Atlantique et le système fluvial. Dans les années 1950, un traversier pouvant accueillir plusieurs véhicules et passagers a été utilisé. Ces deux solutions n'ont pu perdurer car il y a dans la région de très fortes marées et beaucoup de d'iceberg qui rendent la traversée difficile.

Le pont fournit le lien vital entre les agglomérations de Plaisance, Jerseyville, Dunville et Freshwater et fait partie de la route 100, une importante route régionale. Le pont a une hauteur permettant le passage des bateaux de pêche commerciale, environ 2 400 bateaux par an entrent et sortent du détroit de Plaisance. Bien que le pont soit opérationnel toute l'année, la fréquence du passage des navires est saisonnière, fonction des activités de pêche.

L'objectif du projet était de créer un pont répondant aux exigences fonctionnelles du pont existant, assurant la circulation routière et maritime, et de minimiser les restrictions à la navigation, ce qui aurait pu avoir une incidence négative sur les activités locales de pêche commerciale. En outre, en raison de la grande visibilité du pont dans la communauté historique de Plaisance et de l'importance du tourisme pour l'économie locale, la conception a nécessité l'incorporation de caractéristiques architecturales pour améliorer l'esthétisme du pont, en accord avec le patrimoine culturel de la ville et son environnement local. La figure 1 montre les ponts nouveaux et existants traversant le détroit de Plaisance.



Figure 1 – Ponts levant Sir Ambrose Shea traversant le détroit de Plaisance

Cet article traite de la conception du pont, ce qui comprend les types de ponts mobiles considérés, les systèmes alternatifs de levage, les options de fondation, l'architecture du pont, les composants mécaniques, la durabilité et les aspects de la constructibilité de la conception. Les fondations du pont, les travées d'approche et les tours ont été construites à l'aide de tréteaux et de grues temporaires. La travée mobile a été assemblée sur une barge puis placée par levage à sa position finale. La construction s'est étendue sur trois ans et a dû tenir compte des conditions environnementales difficiles, y compris les vents forts, les marées et les courants rapides.

CRITÈRES DE CONCEPTION

La conception et l'alignement du nouveau pont a été établie pour satisfaire les exigences fonctionnelles en matière de circulation routière et maritime tout en minimisant les effets négatifs sur la communauté de Plaisance. Similaire au pont existant dans sa conception, le nouveau pont levant est composé de trois travées dont la travée levante centrale a une portée de 34 m et les travées d'approche ont une portée de 32 m. La largeur minimale requise du canal de navigation sous la travée levante est de 25 m et son dégagement vertical minimal est de 3,05 m lorsqu'elle est abaissée et de 21,34 m lorsqu'elle est levée. Deux voies de circulation et un trottoir de chaque côté ont été prévu lors de la conception. Il accueille également les systèmes d'alimentation électrique et de communication relogés à partir du pont existant.

L'alignement horizontal du nouveau pont est parallèle à l'alignement du pont existant, mais est décalé de 22 m vers l'est. L'alignement décalé de la chaussée a permis la construction du nouveau pont sans affecter la circulation routière tout en améliorant l'alignement existant comme le montre la figure 1. Le détour le plus court pour passer d'un côté à l'autre est d'environ 35 minutes et nécessite de conduire sur une route de gravier.

Le pont a été conçu conformément au *Code canadien sur le calcul des ponts routiers* CAN/CSA S6-06, en prenant en compte les exigences de la section 13 relatives aux ponts mobiles et aux différentes étapes d'exploitation. La conception s'adaptait aux conditions météorologiques difficiles et au chargement associé, incluant l'accumulation de glace de 66 mm, des bourrasques de vent élevées et une pression du vent de référence de 900 Pa et une pression du vent horizontale de 3,60 kPa ainsi que les forces de collision des navires pour des navires d'un tonnage de poids mort de 200 tonnes. La figure 2 présente l'élévation du pont.

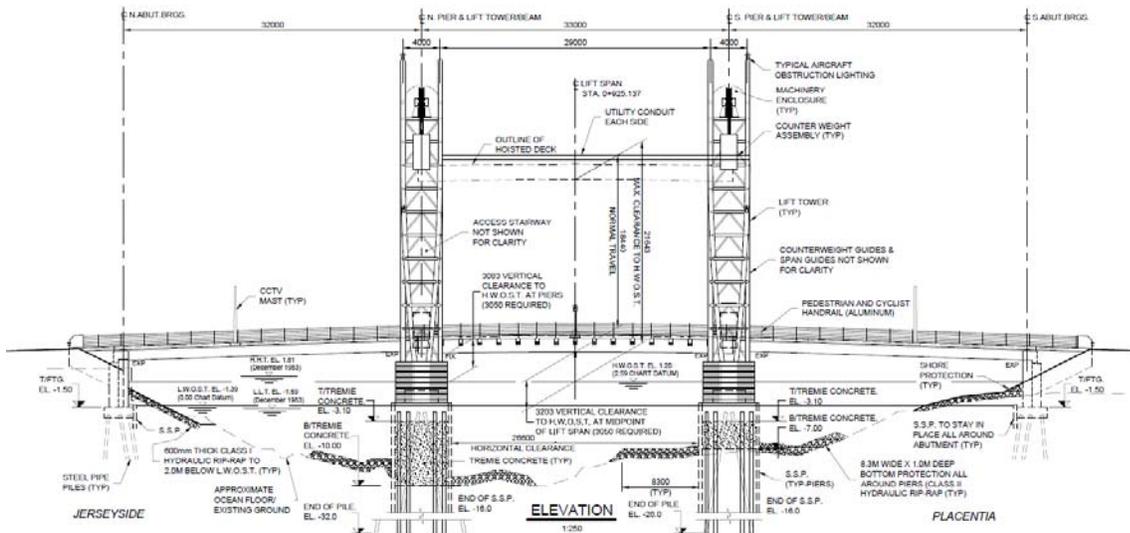


Figure 2 – Élévation du pont

ARCHITECTURE

Le ministère des Transports et Travaux publics de Terre-Neuve-et-Labrador, par le biais des termes de référence du projet, a reconnu que, compte tenu de la grande visibilité du nouveau pont dans le paysage culturel, il devrait contribuer de manière significative au caractère pittoresque de Plaisance et ajouter à l'attractivité de la ville comme destination touristique et centre de développement économique. Un nouveau pont levant, conçu pour être un point de repère mémorable et esthétique, peut positionner Plaisance comme l'une des destinations à visiter à Terre-Neuve et contribuerait au renversement du déclin économique de la ville en améliorant le tourisme, la confiance de la communauté et l'investissement local. L'emplacement du pont sert de point focal dominant dans le paysage pittoresque et peut être vu à partir de différents de points de vue, par exemple, la première arrivée d'un visiteur à la ville se faisant par la terre comme par la mer, les sentiers pédestres récréatifs riverains, le point culminant de Fort Royal au lieu historique national de Castle Hill (figure 3) et le port.



Figure 3 – Vue du pont à partir de Castle Hill

Le nouveau pont a permis d'améliorer l'architecture du passage existant. Le concept architectural a été développé pour rendre la traversée plus agréable, complétant les caractéristiques et l'architecture environnantes et fournissant une structure légère et une esthétique ayant de fortes lignes verticales en accord avec le caractère nautique de la communauté (Figure 4). C'est une infrastructure très visible et distinctive située au centre de la communauté (Figure 5) et la conception du nouveau pont a apporté des formes architecturales et des fonctionnalités qui ont amélioré la traversée, tout en conservant le souhait d'une structure pratique, fonctionnelle et durable avec des caractéristiques d'exploitation conventionnelles. Les principales caractéristiques architecturales du nouveau pont sont les suivantes :

- Verticalité : les deux tours de chaque côté de la zone de levage sont les éléments visuels dominants de la composition esthétique, soulignant la verticalité. Elles s'élancent vers le ciel et sont formées pour représenter les mâts et les antennes de bateaux.
- Transparence et silhouette : les éléments tubulaires des tours du pont et l'enceinte transparente de la salle des machines offrent une certaine transparence et une silhouette originale.
- Couleur : les principaux éléments de la superstructure du pont ont été peints en blanc afin d'accroître sa visibilité et lui permettre de se distinguer par contraste avec les collines environnantes sombres et la mer et le ciel souvent gris.
- Un environnement sûr et invitant les piétons à vivre l'expérience de la traversée puisque le trottoir est plus large (1,8 m) que l'allée étroite de 1,2 m du pont existant.

Quelques éléments architecturaux sont inspirés du pont levant Salford Quays à Manchester en Angleterre. Les tours du pont affichent leur verticalité comme un groupe de mâts de navires. Elles ont été construites à l'aide d'éléments tubulaires en acier et le pont a été peint en blanc.



Figure 4 – Caractère nautique de Plaisance



Figure 5 – Pont visible et distinctif situé au centre de la communauté Plaisance

CHOIX DU TYPE DE PONT MOBILE

Pont tournant, à bascule ou levant, toutes les variantes de pont mobile ont été considérées. Pour ce site, un pont levant semblable à celui du pont existant, avec une plateforme mécanique soutenue en hauteur, est idéal puisque la durabilité pouvait être améliorée en éloignant les éléments vulnérables du pont le plus possible du niveau de la chaussée et de l'eau. Le concept du pont tournant n'a pas été retenu puisque la pile centrale aurait été placée au centre du canal ce qui aurait réduit sa largeur. Le pont à bascule n'a pas non plus été retenu pour ce site car il nécessite un système de contrepoids dont les pièces mobiles auraient été installées sous les travées latérales fixes qui auraient ainsi nécessité un dégagement plus grand au-dessus de l'eau et leur approche plus élevée. De plus, il y aurait eu beaucoup d'éléments mécaniques exposés aux produits chimiques de dégivrage et à l'eau salée, créant un problème de durabilité à long terme.

La durabilité de l'exploitation du pont était une exigence primordiale durant la conception. Le système d'exploitation simple et conventionnel élève sa durabilité et minimise son entretien. La conception du pont s'appuie sur l'utilisation de systèmes conventionnels tant pour le système mécanique et que pour le système électrique. Des générateurs de secours ont été installés afin de fournir un service continu en cas de panne électrique. En outre, la technologie de contrôle des systèmes reposant sur un contrôleur logique programmable (*Programmable Logic Controller*, PLC) a été utilisée pour les systèmes de contrôle et de monitoring incluant la capacité d'exécuter des monitorages et des diagnostics à distance. L'avantage des contrôles à distance a été démontré lors de la mise en service du pont.

Les systèmes mécaniques et électriques du pont levant ont été intégrés à la structure ce qui a minimisé l'impact visuel et les impératifs d'entretien et augmenter l'efficacité globale du système. La conception mécanique est caractérisée par deux tours indépendantes qui contiennent les systèmes et les éléments mobiles des contrepoids principaux supportés par des poulies qui réduisent la friction et permettent un système mécanique compact. Des moteurs à vitesse variable à commande numérique ont été utilisés pour le système de levage de la travée.

FONDATIIONS DU PONT

Les types de sol relevés sur le site étaient du sable limoneux et du sable de petit calibre qui disparaissait en profondeur. Aucun substrat rocheux n'a été découvert lors des forages qui ont été exécutés jusqu'à 70 m de profondeur.

Les piles ont approximativement une longueur de 26,7 m et une largeur de 5,7 m. Leur taille était fonction des tours et du mécanisme de levage. La conception de la fondation de piles devait s'appuyer sur le concept de pieux à friction ou sur le concept de fondation peu profonde reposant sur un substrat adéquat ayant une capacité de support limitée. Les deux options de fondation ont été prévues afin de laisser la possibilité aux entrepreneurs de soumissionner sur la technique qu'ils maîtrisaient le mieux selon leur expérience, l'équipement disponible et le coût. Ces options comprenaient un système de fondation peu profonde composée de piles creuses en béton armé et une option de fondation profonde composée de pieux à friction. Pour des raisons économiques, l'entrepreneur sélectionné a retenu la technique des fondations profondes. Cette technique de construction de fondation impliquait l'installation de coffrages, l'installation de pieux-tubulaires d'un diamètre de 136 à 324 mm et à l'extrémité fermée enfoncés à environ 30 m dans le fond océanique, l'excavation sous-marine, le remplissage à ras-bord du coffrage jusqu'au substrat adéquat pour y couler du béton par trémie. Les pieux tubulaires ont été choisis car ils offrent un plus grand frottement du fût des pieux et capacité de

pointe par rapport aux pieux en H. La technique de fondation profonde est illustrée aux Figures 6 et 7.

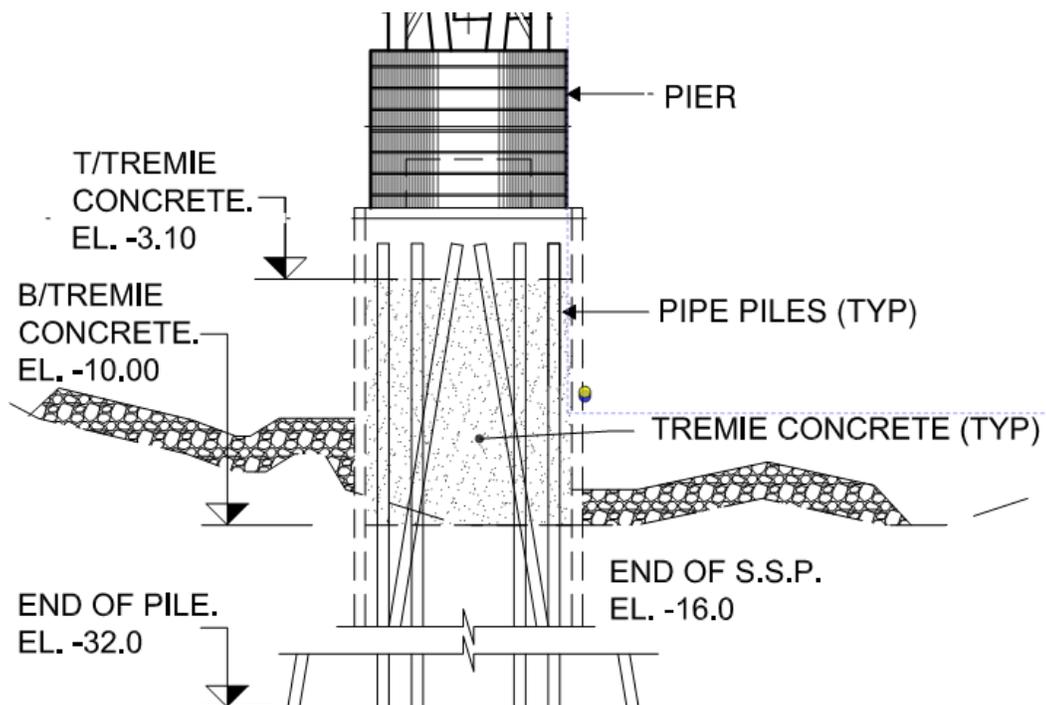


Figure 6 – Option de fondation profonde d'une pile



Figure 7 – Fondation d'une pile avec pieux tubulaires

La technique des fondations peu profondes aurait requis d'installer des coffrages sous-marins et d'excaver sous l'eau jusqu'à un substrat adéquat, d'installer une trémie pour ensuite couler le béton de fondation au sec à l'intérieur du coffrage. Cette technique aurait requis de construire des renforts importants pour les coffrages et d'excaver environ 6,5 m sous le fond océanique pour la pile nord et 16 m pour la pile sud.

Les fondations des culées sont supportées sur des pieux en friction de 30 à 324 mm de diamètre, enfoncés à environ 16,5 m dans le sol à la culée nord et 20 m à la culée sud.

Les pieux des culées et des piles sont fermés et remplis de béton pour une rigidité accrue. Pour les piles, plusieurs pieux tubulaires devaient être guidés par l'extrémité ouverte pour assurer la rigidité du sol dans le coffrage lors des opérations de mise en place des pieux. L'accès à la zone de construction des piles a été facilité par la construction d'un pont temporaire depuis la rive.

SUPERSTRUCTURE

Travées d'approche

Deux conceptions ont été fournies pour les travées d'approche, ce qui a permis à l'entrepreneur de choisir l'option qui correspond le mieux à ses moyens et méthodes et qui a offert le meilleur coût au propriétaire. Les options considérées sont présentées ci-dessous et comprennent des poutres caissons en béton précontraint placées côte à côte (Figure 8) et une option de poutre à âme pleine en acier avec un tablier coulé en place (Figure 9). Pour les deux options, une membrane imperméable et une couche d'usure d'asphalte ont été utilisées pour protéger le tablier de béton. L'option en poutre en acier a été choisie par l'entrepreneur pour des raisons économiques.

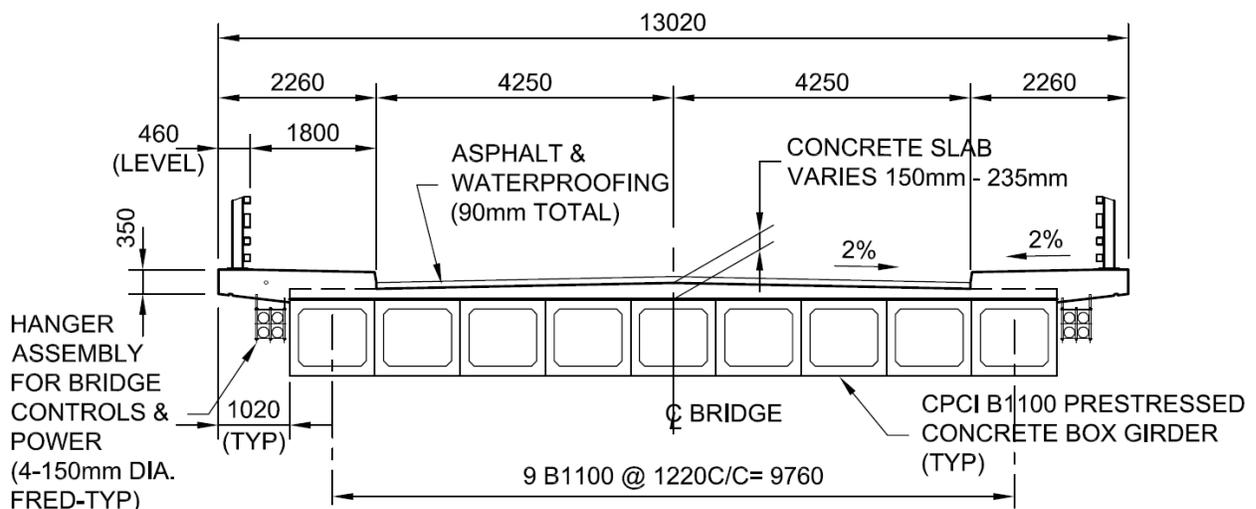


Figure 8 – Option d'une travée d'approche avec poutres caissons préfabriquées placées côte à côte

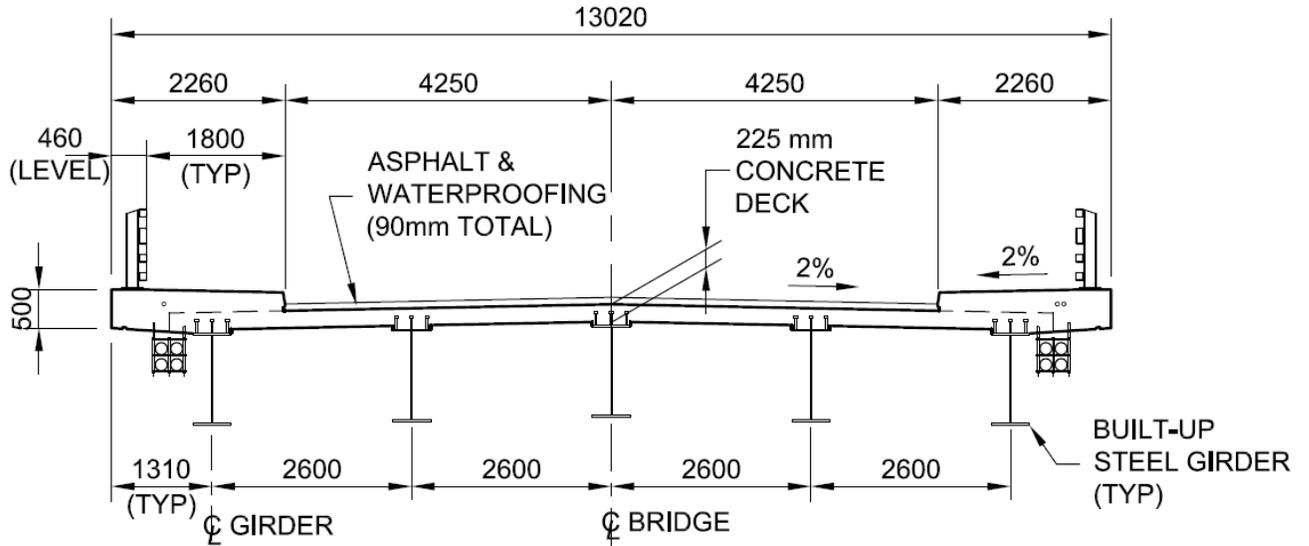


Figure 9 – Option d’une travée d’approche avec poutre à âme pleine en acier

Les poutres de la travée d’approche ont été érigées à l’aide d’une grue sur chenilles à partir du pont temporaire préassemblé en paires de poutres incluant les diaphragmes intermédiaires et d’extrémités.

Travée levante

Un tablier orthotrope en acier tel que présenté à la Figure 10 a été recommandé pour la travée levante. Cependant, pour des raisons économiques, un caillebotis en acier riveté, tel que présenté à la Figure 11 a été retenu par le propriétaire.

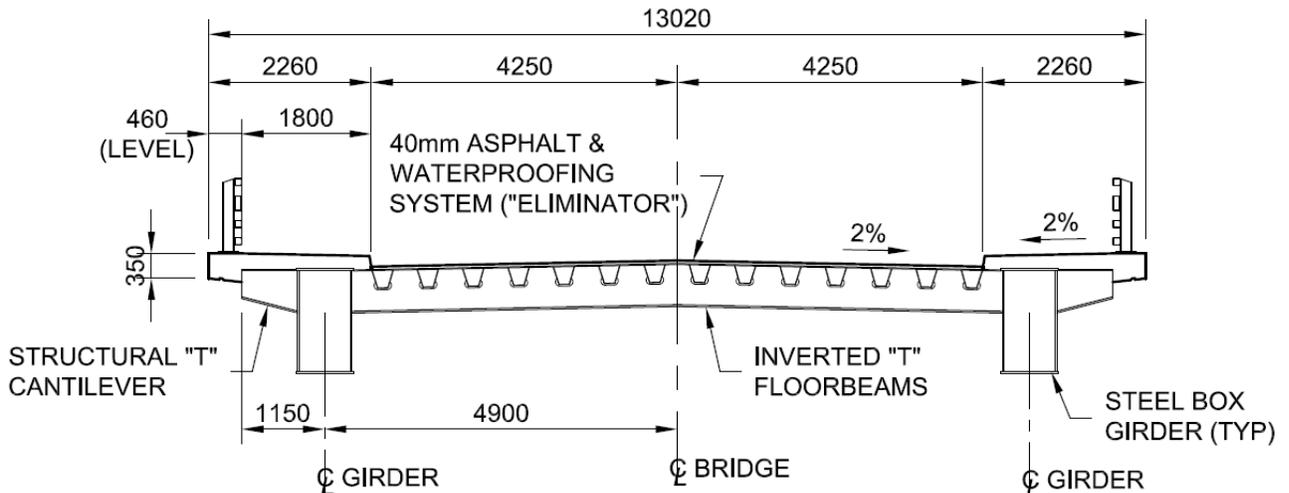


Figure 10 – Coupe transversale de la travée levante – option tablier orthotrope en acier

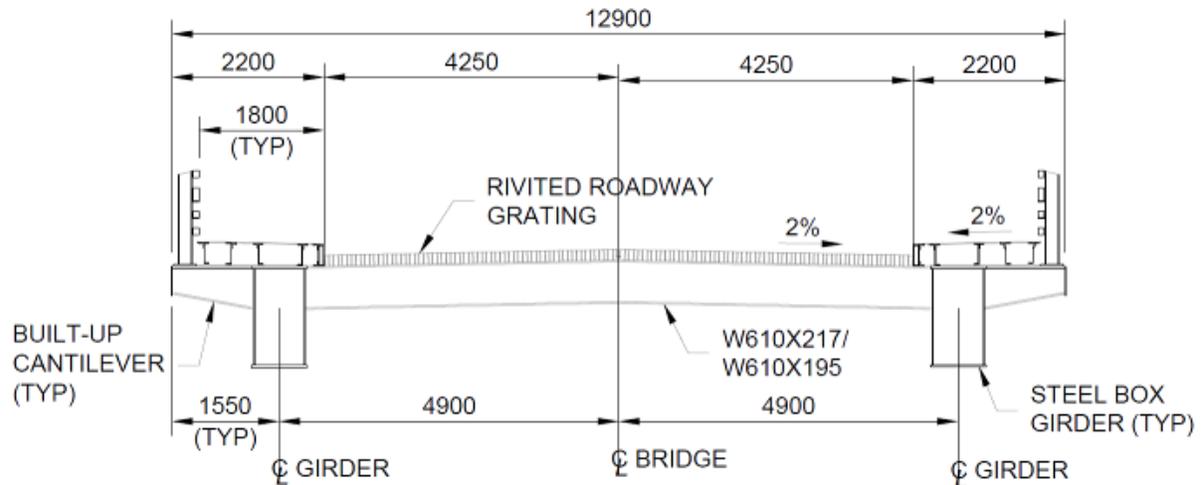


Figure 11 – Coupe transversale de la travée levante – option caillebotis en acier riveté

Le charpente est présenté à la Figure 12 et se compose de deux poutres caissons principales longitudinales avec des entretoises transversales qui supportent le tablier. Les deux poutres de levage supportent les poutres caissons longitudinales à l'extrémité de la travée levante et sont utilisée pour lever la travée pendant l'exploitation à l'aide de câbles métalliques d'un diamètre de 32 à 38 mm. Les câbles sont soutenus par des poulies d'un diamètre de 3,0 m et sont reliées au contrepoids à l'intérieur des tours. Au total, quatre contrepoids, d'un poids d'environ 50 tonnes, sont requis pour déplacer la travée levante. La travée levante a été conçue pour se déplacer verticalement de 18,44 m.



Figure 12 – La charpente de la travée levante

Tours

Les tours consistent en une armature tridimensionnelle qui rappelle le design nautique tel que l'illustre la Figure 13. Les composantes de chaque tour sont reliées par un exosquelette tridimensionnel qui accueille l'équipement mécanique. Les éléments structuraux des tours sont formés de profilés tubulaires fermés de 508 mm de diamètre pour les éléments verticaux principaux de la tour et variant de 168 à 273 mm de diamètre pour les éléments en diagonal. La conception de la tour devait prendre en compte les contrepoids, les guides de contrepoids et de la travée autant que des escaliers d'accès

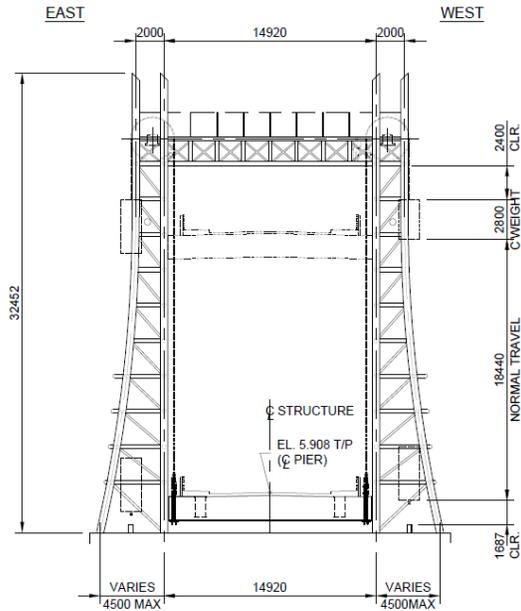


Figure 13 – Tours tubulaires en acier

Les contrepoids de la travée levante sont installés à l'intérieur des tours et se composent de boîtes d'acier remplies de plaques d'acier. La salle des machines est accessible par des escaliers localisés dans les tours. Une vue aérienne d'une des tours présente la salle des machines à la Figure 14.



Figure 14 – Vue aérienne d'une tour

CARACTÉRISTIQUES CENTRALES DE CONCEPTION

La complexité de la conception du pont levant Sir Ambrose Shea provient de la volonté de créer une structure esthétique mettant en valeur l'héritage culturel local de la communauté tout en étant sûre, fiable et robuste dans un environnement relativement hostile.

Les caractéristiques clés de la conception sont les suivantes :

Conception en acier : La conception des assemblages tubulaires de la tour ne se retrouve pas dans les écrits scientifiques ni les codes traditionnels ce qui a nécessité des modèles exhaustifs d'éléments finis pour vérifier la capacité de ces assemblages. La tâche était ardue puisque de nombreuses conditions de chargement ont dû être considérées pour un pont mobile en position ouverte et fermée. La Figure 15 présente une section du modèle structurel utilisé pour analyser les assemblages tubulaires de la tour. En outre, courber les éléments verticaux et horizontaux de la tour aux rayons requis n'est pas conventionnel et a exigé des spécifications et des essais détaillés pour s'assurer que les propriétés des éléments tubulaires en acier n'étaient pas négativement affectées par le processus de courbure.

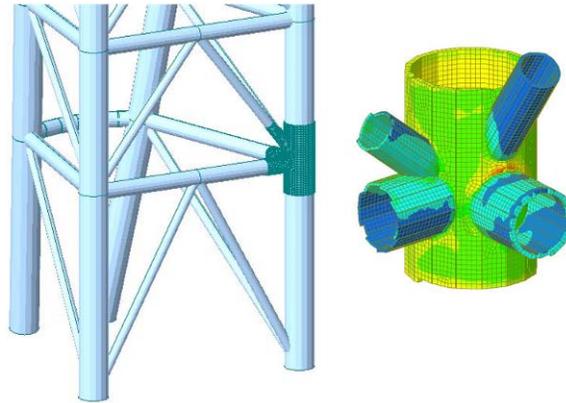


Figure 15 - Modèle d'élément fini de la tour

Durabilité : En se basant sur l'observation des performances du pont existant, il apparaît évident que le nouveau pont se trouve dans des conditions environnementales hostiles. C'est pourquoi des mesures spéciales ont été prises pour sélectionner les éléments, les détails et les systèmes qui seraient durables et amélioreraient la durabilité de la structure. Ces détails comprenaient :

- sections structurelles tubulaires scellées;
- boîtiers pour l'équipement et les composants mécaniques;
- positionnement des composants mécaniques et électriques dans les salles des machines à 25 m au-dessus du niveau de l'eau, minimisant l'exposition à l'embrun marin et à l'eau salée;
- l'utilisation d'armatures galvanisées dans les éléments en béton;
- minimiser les joints de dilatation en utilisant des détails de culée semi-intégrée à l'approche; et
- tous les composants structurels en acier sont métallisés et ont reçu un système de peinture à deux couches sur le dessus pour une protection prolongée contre la corrosion par rapport à des structures similaires.

Services publics :

Les lignes électriques et de communication existantes sur l'ancien pont ont été transférées vers le nouveau pont à l'aide de conduits suspendus sur le côté des travées d'approche passant à travers la tour puis dans des conduits spécialement conçus entre les tours.

La conception a accordé de l'attention à l'esthétisme, à la fois globalement et en détail. La conception a intégré les systèmes mécaniques, électriques, de ventilation, de chauffage et de climatisation dans la structure pour un impact visuel minimal tout en minimisant les impératifs d'entretien et en améliorant l'efficacité globale du système.

DÉFIS DURANT LA CONSTRUCTION

La conception devait tenir compte du transport, de l'érection et de la durabilité à long terme. Ce qui a été réalisé en concevant les éléments des tours avec des éléments tubulaires scellés et soudés. Les assemblages boulonnés aux semelles ont été conçus pour permettre à

l'entrepreneur de fabriquer les tours en segments pouvant être transportés et déplacés sur le site des travaux sans avoir à effectuer des soudures en chantier. Cette option a permis à l'entrepreneur de fabriquer chaque tour en dix segments, de les assembler sur le site et de les ériger à l'aide d'une grue à partir d'un pont temporaire. Boulonner les assemblages a permis de réduire significativement le temps d'érection des tours à quelques jours, en comparaison à de la soudure sur site qui aurait requis beaucoup plus de temps et une grande fenêtre de température clémente, condition difficile à remplir à cet endroit (Figure 16).



Figure 16 – Assemblages boulonnés des tours

De façon similaire, la travée levante a été conçue avec des épissures optionnelles permettant à l'entrepreneur d'assembler la travée levante sur une barge à partir de la rive et de la déplacer jusqu'à sa position (Figure 17). La mise en place de la travée centrale était un défi puisqu'il a fallu fermer la voie maritime pendant plusieurs jours pour permettre la mise en place de la travée de 100 tonnes à l'aide de vérins pour la placer à sa position.



Figure 17 – Déplacement de la travée levante jusqu'à sa position

Un autre défi majeur commun à tous les ponts mobiles est que les tolérances de construction des éléments mobiles sont petites et que les déflexions des éléments structuraux supportant l'équipement mécanique doivent être minime. Ceci a demandé une très grande coordination multidisciplinaire pour toutes les étapes de conception et de construction.

Vents forts, changement de marées et courant rapide sont la norme au site des travaux. Le pont est exposé aux vents forts puisqu'il est situé dans un lieu ouvert entouré par des collines. Ceci a été pris en compte dans la conception pour s'assurer que la structure soit stable durant toutes les étapes de construction, ajoutant complexité à la construction et limitant les opérations de la grue au site des travaux. En outre, la marée change de direction trois fois par jour au site des travaux et le courant peut atteindre une vitesse de 8 nœuds. Ceci a été noté durant le programme d'études géotechniques aux lieux de fondation des piles et a été une contrainte de conception des fondations des piles.

CONCLUSION

La construction du nouveau pont a commencé en mars 2013 et le pont a été ouvert à la circulation le 23 septembre 2016 (Figure 18). Les impacts sur la navigation ont été limités à quelques jours pour la construction de la travée levante et pour la mise en service du nouveau pont. Ceci découle de la conception et des détails de la structure qui permettent la construction de la substructure, des travées d'approche et des tours de la travée levante sans empiéter dans le canal de navigation.

Le nouveau pont offre une structure iconique et esthétique ayant une architecture en phase avec la culture locale ainsi qu'un potentiel touristique à la région puisqu'il sera durable et fiable en même temps. Cela dépasse les exigences de conception imposées et offre une conception durable avec un effet positif du point de vue naturel, social, économique et environnemental. Le nouveau pont signature devrait servir de point focal dans la communauté qui attire les visiteurs et les nouvelles entreprises dans la région.

Une collaboration et une coordination continues au cours de la conception et de la construction étaient importantes pour les différents composants d'interface multidisciplinaires, incluant les disciplines structurelles, électriques, mécaniques, architecturales, climatiques et géotechniques.

Le coût du nouveau pont est environ 47,7 M\$, incluant la construction, l'ingénierie, la démolition et l'enlèvement de l'ancien pont.



Figure 18 – Ouverture du pont levant Sir Ambrose Shea le 23 septembre 2016

PARTIES IMPLIQUÉES

Le propriétaire du pont est le ministère des Transports et Travaux publics de Terre-Neuve-et-Labrador. Parsons a agi à titre d'ingénieur du pont, Barry Padolsky Associates Inc. d'architecte, Stafford Bandlow Engineering Inc. de concepteur des contrôles électriques et des systèmes mécaniques, GPY Associates de concepteur des systèmes de ventilation, de chauffage et de climatisation et Golder Associates a fourni les services d'ingénierie géotechnique.

RÉFÉRENCES

1. Canadian Standards Association. 2006. CAN/CSA S6-06 Canadian Highway Bridge Design Code. Canadian Standards Association, Toronto.
2. Barry Padolsky, 2010. "A New Vertical Lift Bridge: Placentia, Newfoundland, and Labrador, Canada – Preliminary Architectural and Aesthetic Observations and recommendations".