

Conception et construction d'un pont à Chibougamau

VICTOR EGOROV, LOUIS-PHILIPPE POIRIER, MARIO LÉVESQUE,
SNC-Lavalin, Montréal, QC

Mots-clés : Conception en bois, lamellé-collé, panneau CLT modélisation informatique, assemblage des structures de bois

Résumé :

Ce document décrit la conception et la construction d'un pont en bois à Chibougamau, Québec, Canada. Le pont a une longueur de 67,5 m et se compose d'un système de deux poutres-caissons courbes, d'un tablier et de diaphragmes transversaux. La longueur de la travée du pont et l'importance des charges des camions forestiers sont des caractéristiques uniques de ce projet. Les défis que posent la conception et la construction sont présentés ci-dessous.

INTRODUCTION

Ce projet est unique quant aux solutions techniques adoptées pour surmonter les défis que posent les exigences relatives à la capacité portante de la structure, ses dimensions, son emplacement et les contraintes de temps pour l'exécution du projet. Le but du projet était de répondre aux besoins du client, un exploitant commercial dans le secteur de l'industrie forestière dans la province de Québec au Canada. Le client, Chantier Chibougamau, s'affaire à l'heure actuelle, à élargir son territoire d'exploitation. Ce faisant, l'entreprise a conclu qu'elle devait construire un pont sur la rivière Maicasagi dans les environs de la ville de Chibougamau, au Québec (figure 1).

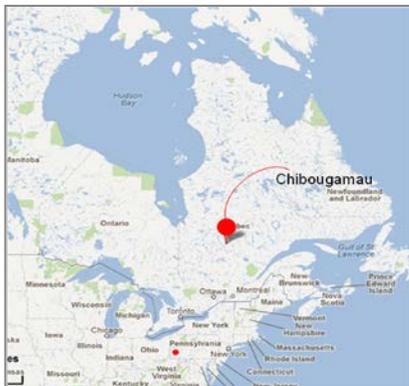


Figure 1 - Province de Québec, Canada
CONCEPTION

Au stade préliminaire de la conception, plusieurs options concernant le système structural devant être utilisé pour le pont ont été évaluées. Au terme de cette étude, il a été déterminé qu'un pont en bois à travée unique serait construit. Cette décision découlait des nombreuses caractéristiques uniques que présentait le projet compte tenu de la longueur de la travée et de la charge à laquelle serait soumis le pont en raison de la nature des véhicules y circulant. La conception et la construction d'une telle structure présentaient des défis dont les principaux sont décrits ci-dessous.

La structure du pont comprend les éléments suivants (figure 2) :

- Deux poutres-caissons courbes dont les membrures supérieures et inférieures sont en bois lamellé-collé (2),
- Des panneaux de bois lamellé croisé (CLT) reliant les membrures supérieure et inférieure (1),
- Des panneaux de bois lamellé croisé (CLT) utilisés pour la construction des diaphragmes et du tablier (3), (4), (6),
- Des panneaux de contreplaqué utilisés pour la construction du tablier (non structural) (5),
- Des traverses de bois d'épinette pour recouvrir le tablier (4),
- Garde-roue (7).

La section transversale du pont mesure 5 m de largeur par 4 m de profondeur.

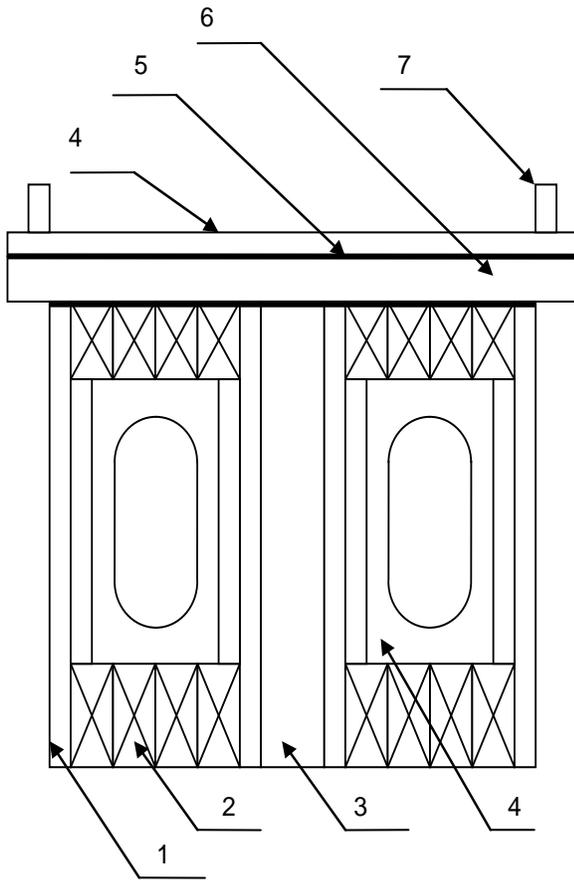


Figure 2 - Éléments structuraux du pont

La conception du pont respecte les normes canadiennes suivantes :

- CAN/CSA-S6-06 Code canadien sur le calcul des ponts routiers
- CAN/CSA O86-10 Règles de calcul des charpentes en bois
- CAN/CSA S16-01 Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier.

Les assemblages ont été conçus selon la norme CAN / CSA O86-10 Règles de calcul des charpentes en bois. La conception d'un certain groupe d'assemblages a été effectuée selon les procédures établies par l'Eurocode 5 et la norme suisse SIA 265 sur les constructions en bois.

Compte tenu de la longueur de la travée, l'installation de joints de transport a été nécessaire comme le montre la figure 4.

CHARGES DE GRAVITÉ

Les charges prévues selon la norme CAN/CSA-S6-06 ont été revues et ont été augmentées pour répondre aux besoins de l'utilisation prévue (figure 3).

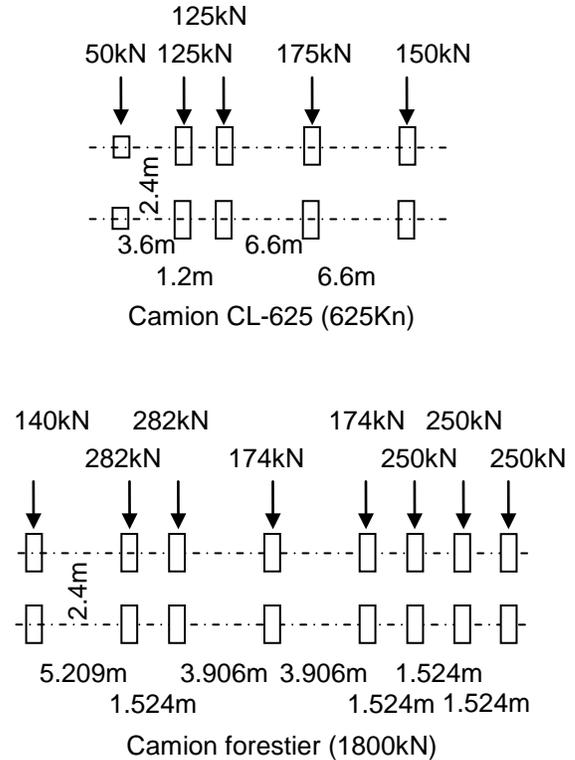


Figure 3 - Efforts dus au roulage

Un modèle de poutre-caisson a été créé au moyen du logiciel SAFI; il est illustré, en deux dimensions, à la figure 5. La poutre-caisson modélisée est une poutre plane en treillis dont les membrures supérieures et inférieures sont inclinées. Les membrures supérieures et inférieures sont des pièces continues en bois lamellé-collé. Les traits diagonaux représentent les panneaux en CLT. Les joints entre les diagonales et les membrures supérieures et inférieures sont rigides en raison du fait que les panneaux sont fixés aux membrures sur toute leur largeur.

La position du camion peut être décalée par rapport à l'axe central de la section transversale (la force résultante R est illustrée à la figure 7) ce qui entraîne un effet de torsion sur le pont. En raison de cette excentricité, la composante verticale de la charge appliquée à la poutre en treillis augmente de 33 %. L'effet de torsion soumet également les panneaux de CLT à d'autres contraintes de cisaillement (voir la flèche à l'intérieur du panneau de CLT sur la figure 8)

dans le plan vertical; ces contraintes ont été prises en considération dans la conception des panneaux et de leur assemblage.

Les moments de flexion auxquels sont soumises les membrures sont à leur maximum au milieu de la travée du pont en raison de sa cambrure (figure 9). Les forces internes exercées sur les éléments en treillis ont été analysées en déplaçant les charges au moyen du logiciel. Plusieurs éléments essentiels ont été vérifiés manuellement en utilisant leur ligne d'influence.



Figure 6 - Vue d'ensemble du pont

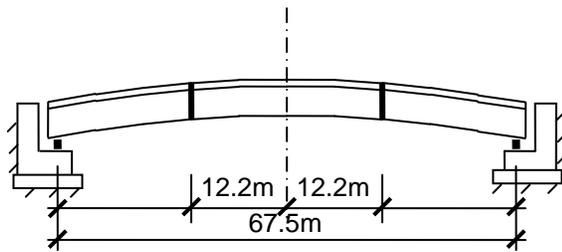


Figure 4 - Emplacement des joints de transport

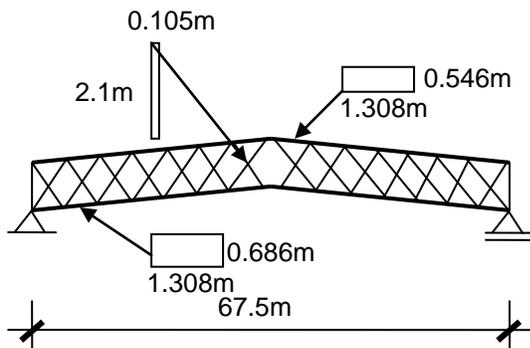


Figure 5 - Modèle de poutre-caisson créé au moyen de SAFI

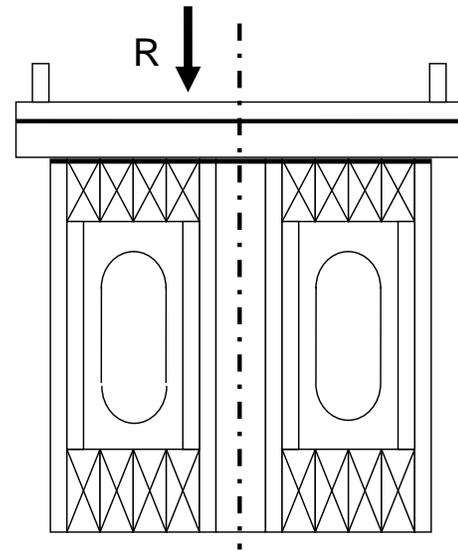


Figure 7 - Excentricité de la charge

Nous pouvons remarquer qu'en plus des moments de flexion auxquels sont soumises les membrures supérieures et inférieures, d'autres sont exercés sur les diagonales; ceux-ci sont à leur amplitude maximale au milieu de la travée et diminuent progressivement pour devenir presque nuls aux extrémités du pont. Cet effet a beaucoup influencé la conception des assemblages entre les diagonales et les membrures supérieures et inférieures.

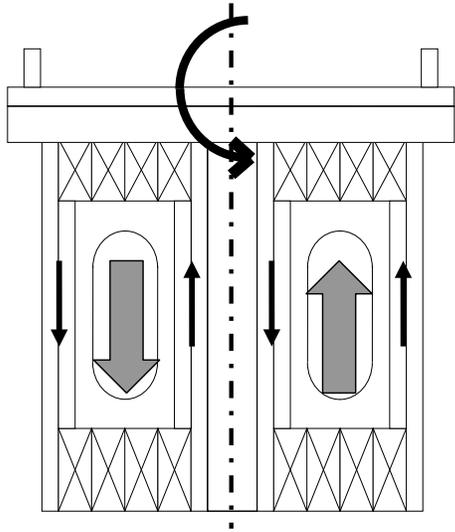


Figure 8 - Effet de l'excentricité

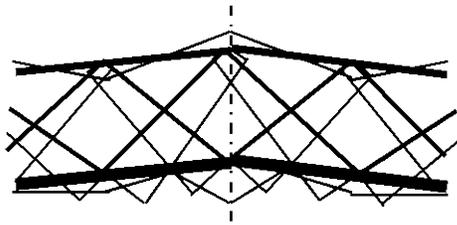


Figure 9 - Moments de flexion

L'assemblage rigide entre les diagonales et les membrures supérieurs et inférieurs a posé certaines difficultés lors de la conception. Les deux approches suivantes ont été adoptées pour l'assemblage des panneaux de CLT : pour le panneau interne, un support en acier (1) et un certain nombre de clous annelés ont été utilisés (2) (figure 10). Le support en acier est doté de raidisseurs espacés de 600 mm (figure 14). Les panneaux internes agissent principalement en compression. Les forces appliquées au point de liaison sont illustrées à la figure 11. Le panneau est fixé aux membrures en bois lamellé-collé qui agissent comme des supports rigides. Ainsi, la conception de l'assemblage tient compte du point du moment de renversement (O). Pour, les panneaux extérieurs, ceux-ci ont été assemblés à l'aide du vis ASSY plus VG (3) (figure 12). Ces panneaux agissent en tension, flexion et cisaillement. Les efforts de l'assemblage est illustrée à la figure 13. La figure précise le moment de flexion (M), la force axiale (N) et la force de cisaillement (S).

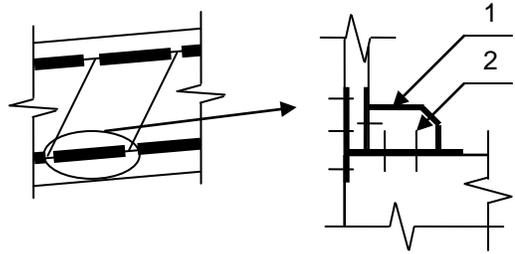


Figure 10 - Assemblage des panneaux de CLT internes

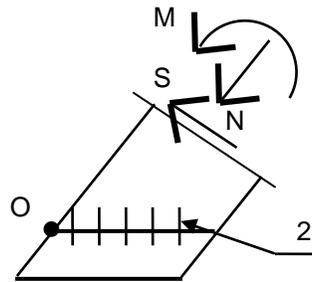


Figure 11 - Schéma de conception pour l'assemblage des panneaux de CLT internes

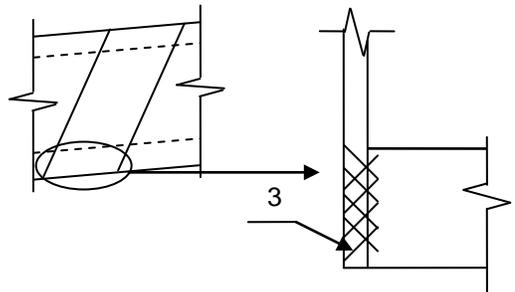


Figure 12 - Assemblage des panneaux de CLT externes

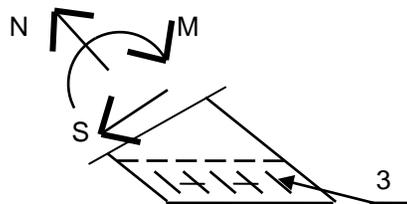


Figure 13 - Schéma de conception pour l'assemblage des panneaux de CLT externes



Figure 14 – Panneaux de CLT internes



Figure 15 – Panneaux de CLT externes

CHARGES LATÉRALES

Un modèle du pont en trois dimensions a été analysé afin de déterminer les charges dues au vent (figure 16). Les intensités des composantes latérales et verticales de la charge ont été déterminées et appliquées sur le pont, conformément à la norme S6-06 qui a été utilisée durant la conception. Le modèle est composé de deux poutres planes en treillis, comme illustré à la figure 5, reliées entre elles par les éléments du tablier et les diaphragmes. On a examiné la déformation du pont, les forces internes exercées sur ses éléments et les effets se manifestant dans les supports.

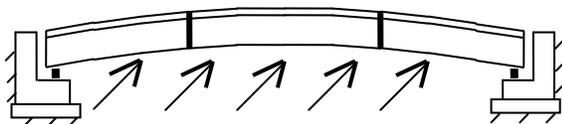


Figure 16 - Charges latérales

Le modèle a été utilisé pour déterminer les forces internes agissant dans le système du tablier. Comme le

montre la figure 17, les panneaux du tablier agissent comme des liens discrets entre les poutres-caissons et distribuent les moments de flexion et les forces de cisaillement dans leurs sections. La distribution des forces internes (moment de flexion M et force de cisaillement V) est symétrique de part et d'autre du centre de la travée du pont et ces forces augmentent progressivement en s'approchant des extrémités du pont.

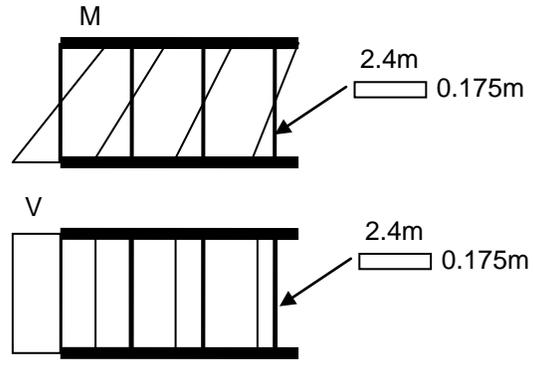


Figure 17 - Forces internes dans les panneaux du tablier

Les forces internes calculées en analysant les charges latérales ont été utilisées durant la conception de l'assemblage des panneaux du tablier aux poutres-caissons. Sur la moitié de la travée, deux patrons d'assemblage ont été utilisés (figure 18). Le principe est identique pour les deux. La différence réside dans le nombre d'éléments de fixation utilisés. Deux types de vis ont été utilisés : ASSY PLUS VG et BLUE MAX. Le nombre et l'emplacement des éléments de fixation ont été établis afin d'offrir une résistance aux forces illustrées à la figure 17. Il convient de souligner que les vis ASSY ont été installées selon un plan incliné par paires croisées, ce qui assure la résistance nécessaire et qui est essentiel pour résister aux charges qui exercent une force dans la direction opposée.

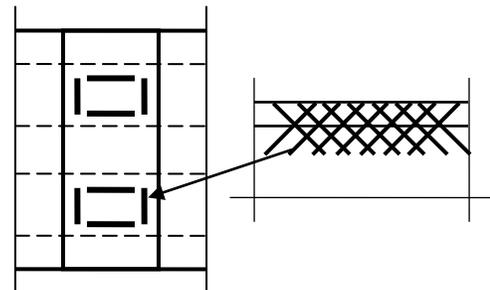


Figure 18 - Modèle d'assemblage des panneaux de tablier

JOINTS DE TRANSPORT

L'analyse de la gravité et des charges latérales auxquelles est soumis le pont a également permis de déterminer les forces devant être prises en considération durant la conception des joints de transport.

Les structures des joints supérieurs et inférieurs sont illustrées aux figures 19 et 20 respectivement. La nature des principales forces axiales exercées dans les membrures (compression et tension auxquels sont soumis les joints supérieurs et inférieurs respectivement) a influencé le choix des éléments de fixation à utiliser.

Quinze boulons de chaque côté du joint supérieur offrent une résistance suffisante (figure 19); cependant, 259 vis SFS (figure 20) ont été nécessaires de chaque côté du joint inférieur.



Figure 19 - Joint de transport supérieur

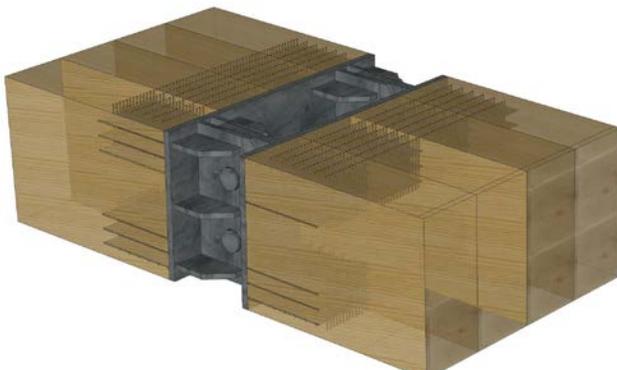


Figure 20 - Joint de transport inférieur

La connexion finale faite au chantier est l'insertion de 2 pines cylindriques de 4 pouces de diamètre en acier.

Les effets de la fatigue ont été pris en considération durant la conception des joints. La tension pondérée du joint inférieur est 13 200 kN.

CULÉES

Les culées sont de type conventionnel en béton sur sol. (figure 21).

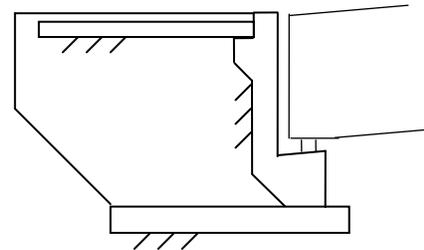


Figure 21 – Culée

APPAREILS D'APPUI

Chaque extrémité du pont repose sur un appareil d'appui de type pot. Au sommet de chaque appareil d'appui, il y a un bâtis en plaque d'acier qui permet de transférer les charges des poutres-caissons aux appuis (figure 22). Les charges, les forces de rotations et les mouvements auxquels les appareils d'appui sont soumis ont été calculés en analysant la gravité et les charges latérales. Afin de transférer la charge longitudinale exercée sur les poutres-caissons, une clavette (1) a été ajoutée à la poutre d'appui.

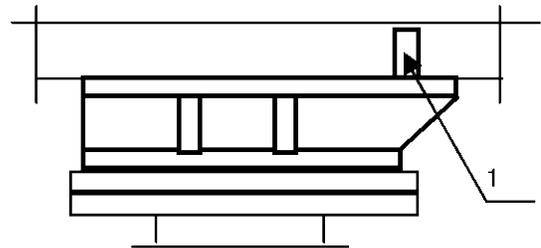


Figure 22 - Appareil d'appui et poutre

CONSTRUCTION

L'échéancier de construction était très serré. Le pont devait être entièrement construit en 4 mois. Comme la poutre-caisson du pont comporte trois parties, il a été décidé d'ériger la partie médiane en premier. Chaque partie a été pré-assemblée en reportant à plus tard l'installation des panneaux de CLT autour des joints de transport. Des supports temporaires en bois ont été assemblés comme illustré à la figure 23. Ces supports reposaient sur un îlot de terre temporaire construit au centre de la rivière



Figure 23 – Supports temporaires

La superstructure du pont a dû être validée pour toutes les étapes de construction :

- Après l'installation de deux sections de caisson (figure 24)
- Après l'installation des trois sections avant la mise en place des panneaux de CLT manquants vis-à-vis les joints de transport.
- Durant l'installation du tablier

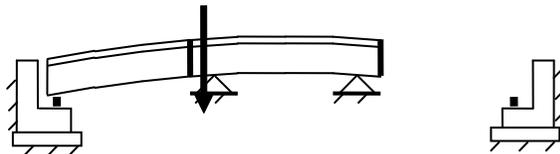


Figure 24 - Force de cisaillement

Le pont a été soumis à des essais de chargement. Plusieurs charges d'amplitude différente (15%, 40% et 90% de la charge de conception de 1800 Kn) ont été appliquées à différents endroits sur le pont. Les charges ont été appliquées à plusieurs reprises afin de garantir l'exactitude des mesures. Selon les résultats obtenus en comparaison avec nos prédictions numériques, le pont s'est comporté comme prévu.



Figure 25 – Tests de chargement

CONCLUSION

Ce projet, qui est décrit brièvement dans le présent document, a posé un certain nombre de défis pour SNC-Lavalin en ce qui a trait à la complexité, aux innovations en matière de conception et aux délais d'exécution. Ces défis ont été surmontés avec succès par SNC-Lavalin, ce qui témoigne de son savoir-faire en tant que concepteur concurrentiel dans le secteur des transports au Québec, Canada.

REMERCIEMENTS

Jean-Claude Beaudry, Nordic, Montréal (Québec), Canada
David Croteau, Nordic, Montréal (Québec), Canada
Mathias Oberholzer, Nordic, Montréal (Québec), Canada