

INFRASTRUCTURES ET BÂTIMENTS

18 | 04 | 2013

1 ACCUSÉ DE RÉCEPTION





INFRASTRUCTURES ET BÂTIMENTS

PRIX CANADIENS DU GÉNIE-CONSEIL 2013

2 FORMULAIRE DE CONSENTEMENT





INFRASTRUCTURES ET BÂTIMENTS

PRIX CANADIENS DU GÉNIE-CONSEIL 2013

3 CAHIER DU PROJET





INFRASTRUCTURES ET BÂTIMENTS

PRIX CANADIENS DU GÉNIE-CONSEIL 2013

TABLE DES MATIÈRES

1	Nouvelle application de techniques existantes, originalité, innovation	2
	1.1 Percée technologique	
	1.2 Combinaison unique de techniques, de matériaux et d'équipements	
	1.3 Avancement de l'ingénierie	6
2	Complexité	7
	2.1 Critères ou problèmes complexes	7
	2.2 Problèmes d'emplacement ou conditions dangereuses	8
3	Impacts sur l'environnement	9
4	Retombées sociales et économique	10
5	Satisfaction ou dépassement des besoins du client	11

1 NOUVELLE APPLICATION DE TECHNIQUES EXISTANTES, ORIGINALITÉ, INNOVATION

1.1 Percée technologique

Au Canada, le recours au pont de bois est une façon de faire relativement commune. La combinaison exceptionnelle de la portée libre du pont Maicasagi, qui est de 67,5 mètres, avec sa capacité portante qui s'élève à 180 tonnes constitue une percée technologique en soi.

Le choix d'une structure en bois pour construire ce pont relève du fait que le propriétaire de celui-ci, la compagnie Chantier Chibougamau Ltée, est une compagnie forestière qui fabrique et commercialise des produits forestiers, donc le choix d'une structure en bois fut évidant.

De plus, les contraintes liées à ce secteur très éloigné reliées à cette zone géographique isolée nécessitaient une conception rapide due à la rigueur hivernale et à la difficulté de mobiliser de la main-d'œuvre spécialisée. Face à ce contexte restrictif, le bois devenait un choix judicieux. En effet, celui-ci ne nécessite pas de précautions particulières pour son assemblage contrairement à l'acier et au béton qui, eux, requièrent d'avantage de protections particulières contre les intempéries durant leur mise en œuvre. Il permet également de construire un ouvrage complexe et ce, même dans un environnement éloigné, voir hostile comme nous l'avons vécu sur ce chantier.

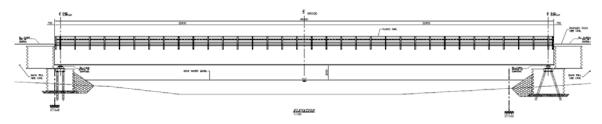


Le système structural préconisé ouvre la porte à une nouvelle alternative en terme de ponts de bois de longue portée. En plus d'être construit avec un matériau reconnu comme étant une ressource renouvelable, une approche de développement durable a guidé la conception et la construction du pont. En effet, le centre de production et de fabrication des matériaux est à proximité; le bois provient d'une forêt aménagée et exploitée selon les normes reconnues FSC et sa construction, sans pilier dans la rivière, n'a pas d'impact sur l'environnement grâce à la forte capacité et de la grande portée de ce pont. Nous sommes d'avis que ce type de système hybride entre bois lamellé-collé et le bois lamellé-croisé peut être utilisé dans le cadre de plusieurs autres projets, ce dont nous allons traiter au point suivant.

1.2 Combinaison unique de techniques, de matériaux et d'équipements

MODÈLE DE RÉFÉRENCE

Dès le départ nous avons opté pour récupérer un modèle récent qui nous avait permis de concevoir un pont en acier au Nunavut pour les activités de transport d'une société minière. Les similitudes en termes de portée et de configuration géométrique nous permettaient de comparer notre approche de design en bois pour le pont projeté sur la rivière Maicasagi. Cet ouvrage de référence nous a permis de valider et comparer nos hypothèses, mais surtout d'évaluer le coût d'une conception de pont en bois versus un ouvrage conçu en acier. La conception du pont en bois s'est avérée plus complexe qu'un ouvrage en acier ou en béton. La validation du concept de caissons formés par l'assemblage de poutres et de panneaux de bois d'ingénierie reliés par un savant vissage a nécessité une rigoureuse modélisation prédictive. Sommes toutes, nous sommes d'avis que nous avons gagné beaucoup en efficacité, et ce, malgré la complexité du pont.

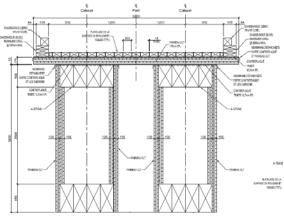


Pont de référence (66,3 mètres)

COMBINAISON LAMELLÉ-COLLÉ ET LAMELLÉ-CROISÉ

Nous avons élaboré un système innovateur de poutre caisson via la combinaison de bois lamellé-collé et de bois lamellé croisé. Ces deux produits de bois d'ingénierie ont des propriétés et avantages distincts qui ont été combinés pour en tirer le maximum afin d'assurer la capacité portante projetée. Par exemple, l'avantage du lamellé-croisé provient du croisement perpendiculaire alterné des panneaux qui donne un élément stable contre les changements de température et le retrait du bois. Tandis que les profilés lamellés-collés ont une plus grande capacité en effort axial (tension et compression).

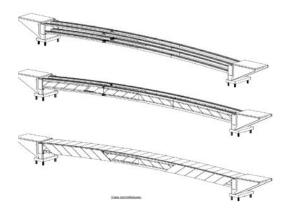
Ce croisement des deux méthodes s'est reflété dans toutes les parties du pont. En effet, si nous regardons de plus près la composition des deux caissons de bois qui forment l'ossature du pont, nous dénotons l'optimisation de l'effort de conception pour tirer



Plan de coupe du pont Maicasagi

le meilleur de l'amalgame de ces deux méthodes d'assemblage de bois d'ingénierie. Le pont est formé de deux caissons de 3,6 mètres de haut par 1,5 mètre de large (schéma ci-contre). Les poutres supérieures et inférieures du caisson sont composées de bois lamellé-collé. Ce sont quatre pièces collées ensemble en usine pour créer une pièce unie. Par la suite, nous avons installé des panneaux lamellés-croisé (CLT trois plis ou *cross-laminated timber*) de 105mm de large chacun. Il y a un panneau interne et un panneau externe. Les panneaux intérieurs étaient placés à l'opposé de l'autre caisson et à mi-portée, nous avons inversé la position. Les panneaux extérieurs ont été placés dans l'autre sens. La position des panneaux était stratégique pour résister aux

efforts qui se développent dans les parois verticales des caissons. Donc, les panneaux intérieurs étaient en compression et les panneaux extérieurs étaient en traction. Les panneaux CLT ne sont pas reliés entre eux c'est-à-dire qu'ils ne sont pas interconnectés les uns aux autres. Il y a d'ailleurs un espace libre entre les panneaux. Nous pouvons parler davantage d'une ferme avec des panneaux de lamellé-croisé très larges, ce qui donne l'apparence d'un caisson fermé.



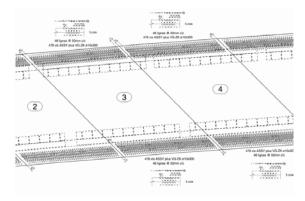
Plan du tablier du pont

Le tablier du pont est en lamellé-croisé d'une épaisseur de 175mm. Nous avons installé une membrane d'étanchéité sur le dessus des caissons et une deuxième membrane au-dessus du tablier. Sur cette dernière membrane, il y a un contre-plaqué et un chemin de roulement. Pour clarifier, le chemin de roulement est une surface d'usure. L'objectif derrière cette composition est de protéger les éléments structuraux principaux du contact direct avec l'eau. Finalement, nous avons installé un chasse-roue aux extrémités, ce qui donne un pont relativement étroit pour les usagers, qui sont la plupart du temps des camions à très grand chargement de bois.

CALCUL DES EFFORTS

Pour calculer les efforts du pont, nous avons utilisé un modèle d'éléments finis. Nous avons effectué des modélisations en 2D et en 3D pour comparer les résultats. Nous avons considéré que les panneaux de CLT sur les parois verticales des caissons étaient encastrés en haut et en bas. Dans le montage, nous avons créé cet encastrement avec des patrons de vissage développés en conséquence. Des vis en biais croisé ont été utilisées parce que celles-ci travaillent mieux en traction qu'en cisaillement. Il y avait 476 vis par section de panneau en haut et en bas (voir diagramme cicontre)

Tel que mentionnée, le pont a une portée de 67,5 mètres et l'usine de production Chantier Chibougamau Itée, responsable de la production

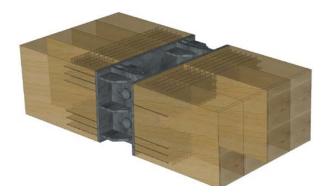


Patron de vissage – 476 vis par côté de section

des pièces en bois n'en produisait que des pièces de 24 mètres de longueur. Il a donc fallu repenser le concept structural en conséquence. Nous savions donc dès le départ qu'il y aurait trois sections à transporter au site de construction, ce qui signifie qu'une fois assemblés les caissons du pont comportent deux joints de construction. Il a donc fallu créer un détail spécial pour ces joints de transport.

Pour transférer les efforts en traction de l'acier au bois, nous avons développé une connexion avec des clous autoforeuses qui ne nécessitent aucun percement avant l'insertion. Nous avons inséré trois plaques d'acier de 5 mm dans le bois.

Ces vis perçant à la fois dans le bois et dans l'acier. Dans le graphique en 3D (schéma ci-bas, à gauche) de la connexion, nous pouvons constater les guelque 1200 vis nécessaires pour connecter une seule section dans le bas du pont.





Modélisation 3D des joints de transport

Joint de transport à l'usine

MONTAGE

Pour le montage de la structure, l'entrepreneur a proposé d'aménager un îlot temporaire au centre de la rivière formé d'un remblai de gravier. Cet aménagement devait être aménagé en respectant les conditions de faunes existantes. En effet, l'îlot était permis pour une très courte période de temps s'échelonnant de novembre à février seulement (qui est une période où l'affluence de poissons est au plus bas dans l'année). L'îlot temporaire devait être retiré en février obligatoirement. Nous avons donc construit deux ponts de chaque côté de l'îlot temporaire pour permettre l'assemblage du pont de bois à l'aide d'une grue placée au centre de l'îlot.

Pour le montage, la première étape était d'installer les deux parties centrales sur des appuis temporaires. Ensuite, une grue venait aider à l'installation d'un côté et puis l'autre pour compléter le pont.

Plusieurs modélisations ont été réalisées afin de reproduire les conditions finales de fabrication et de montage au chantier. Par exemple, avec les contraintes de montage, la partie centrale du pont travaillait en porte-à-faux lorsqu'une autre section y était posée, ce qui change la répartition et le flux des efforts. Ensuite, les poutres des caissons agissaient en flexion durant le montage, car les panneaux de CLT (*cross laminated timber* ou lamellé-croisé) n'étaient pas encore installés. Plusieurs vérifications ont été nécessaires pour valider le bon comportement de la structure tout au long du montage. Nous avons aussi dû valider les efforts de vent lors du montage, car le tablier n'était pas encore installé, donc l'effet diaphragme horizontal n'était pas encore présent pour mitiger les forces de vent. Ces forces étaient directement transférées sur les joints de transport que nous avons conçus spécialement pour cette situation.

Les panneaux de CLT ont été assemblés par un vissage effectué à bras d'homme. Les conditions étaient difficiles avec le froid du Nord québécois. Une fois les pièces en place, leur stabilité latérale a été étudiée ainsi qu'un renfort temporaire a été installé entre deux parties médianes. Après l'installation de la partie centrale du pont, les parties latérales de la poutre-caisson y ont été





Schéma des forces de cisaillement sur le pont en montage

fixées. Il a été nécessaire de retirer la grue des parties latérales afin d'installer les panneaux de CLT manquants autour des joints de transport. Par conséquent, les joints de transport allaient être soumis à une force de cisaillement (figure ci-heut). Afin de pallier cette situation, des pièces en acier ont été installées temporairement de manière à ce que seul le joint supérieur, qui offrait une résistance suffisante, soit soumis à cette force locale de cisaillement.

Nous avons commencé à retirer les supports temporaires avant d'achever l'installation des panneaux de BSC constituant le tablier. Pour ce faire, il a fallu analyser les effets des charges latérales sur le pont alors qu'un nombre minimal de panneaux étaient installés. Sept panneaux ont été installés de chaque côté du pont. En construisant le tablier de cette manière, les forces internes exercées sur les panneaux n'ont pas dépassé les valeurs calculées durant la conception. Les déformations auxquelles a été soumis le pont ont été en deçà des limites établies. Une fois la construction terminée, nous avons procédé au chargement progressif du pont afin de confirmer son intégrité structurale et sa tenue en service. Un camion, dont la charge a été graduellement augmentée, a circulé sur l'ouvrage, de plus, un relevé d'arpentage a été réalisé à chacune des positions des roues où le camion s'immobilisait. Ce travail de validation, réalisé dans les deux directions, a confirmé les résultats de fléchissement obtenus via nos modélisations.



1.3 Avancement de l'ingénierie

Avec cette combinaison de matériaux (bois; acier et béton pour les ancrages et les culées) et du mariage de méthodes de fabrication de produits usinés en bois (lamellé-collé et lamellé-croisé) nous pouvons donc affirmer que cette conception multi-matériaux est unique. Ce type de projet ne peut pas être pleinement réussi sans la participation dès le départ du fabricant, car il dicte des contraintes qui ont un impact direct sur la conception. Le fait que l'usine de production ne pouvait que produire des pièces de 24 mètres a été un des vecteurs importants de la conception. Tous les détails de fabrication et de conception ont été faits en fonction de la capacité de fabrication du fournisseur. Cette coopération fait aussi partie de l'avancement de l'ingénierie, c'est-à-dire une synergie nécessaire à l'accomplissement de ce type de projet.

Prix canadiens du génie-conseil 2013

2 COMPLEXITÉ

2.1 Critères ou problèmes complexes

Le but de ce projet était de permettre au client d'avoir accès à un plus vaste territoire pour exploiter les ressources en bois. Évidemment, qui dit forêt non exploitée dit aussi absence d'infrastructures existantes. Nous devions composer avec une foule de contraintes liées à ce terrain inexploité où nous devions avoir un accès pour construire ce pont, tout en préservant sa nature ainsi que de réduire au minimum les impacts sur une communauté Cris qui y réside depuis très longtemps. À cet effet, nous devions composer avec des contraintes liées au milieu naturel, à l'approvisionnement, au transport, et ce, dans le respect de l'environnement et de la communauté présente ainsi que dans les délais restreints.

MILIEU NATUREL

La faune avoisinante constituait un défi en soi, car le secteur dans lequel nous avons décidé de construire le pont est une zone de reproduction pour l'esturgeon jaune. La vitesse de l'eau ne devait pas être perturbée et aucun pilier en eau n'était permis, car cela aurait altéré le débit et la turbidité du cours d'eau. Cela nous nécessitait un concept sans pilier et sans réduire la largeur de la rivière.

PROXIMITÉ D'UNE COMMUNAUTÉ CRIS

Le pont est situé près d'une communauté Cris. Il ne fallait pas que ce pont perturbe les habitudes de pêche de ces derniers. Le critère principal était donc de concevoir un pont avec un dégagement vertical pour laisser passer une personne debout sur un canot.

CONTRAINTES DE PRODUCTION ET DE TRANSPORT

Notre partenaire pour ce projet, Chantier Chibougamau (Nordic), possède une usine de production à une distance d'heure (1h) de route du site de construction et il n'y avait aucune route qui menait directement au chantier. De plus, l'usine avait une capacité de production de pièces de 24 mètres au maximum, ce qui nous a obligés de réfléchir au concept en fonction de ces contraintes de fabrication. De ce fait, nous avons eu recours à des joints de transport pour le montage du pont une fois les trois parties du pont acheminé sur place. Il fallait donc prévoir l'installation des panneaux au chantier en conséquence pour la fabrication des joints de transport.



ÉCHÉANCIER TRÈS SERRÉ

Pour répondre aux besoins du client, le pont devait être construit très rapidement. Nous devions commencer la conception en juillet 2011 et livrer le projet en février 2012. Le projet a été réalisé en mode *régime accéléré* « Fast Track » qui exige que la construction se déroule en même temps que la conception, ce qui demande une gestion optimale du projet.

2.2 Problèmes d'emplacement ou conditions dangereuses

Située dans un secteur très éloigné du Nord québécois, la localisation du projet a constitué de bons défis pour notre équipe. Nous avons eu des choix à faire quant à l'emplacement du pont pour pallier aux contraintes d'approvisionnement ainsi au fait que la construction se faisait en milieu éloigné.

Pour la localisation, il a fallu passer en hélicoptère au-dessus de la rivière Maicasagi pour trouver le meilleur site. Après avoir visité quatre sites potentiels, nous avons choisi le secteur où la rivière est le moins large, ce qui réduisait la portée du futur pont à aménager. L'autre critère était que les rives soient assez planes pour permettre d'aménager une route adéquatement sans devoir faire des changements significatifs sur une large emprise.

Au niveau de la construction, il était clair dès le départ que la fabrication ne pouvait pas se faire sur place. Dans ce cas, l'usine de production étant située à une heure du chantier, il a fallu prévoir le transport dans la conception initiale du pont tel qu'énoncé au point 1.2.



Localisation du pont près de Chibougamau, Québec

À cause du climat très froid du Nord québécois, les travailleurs de chantiers ont eu diverses difficultés lors du montage. Ces difficultés étaient reliées autant au niveau du froid à supporter durant la manutention et l'assemblage manuel des composantes (janvier-février 2012) que de la résistance des matériaux. Nous avions prévu un certain pourcentage de perte de matériaux lors de la construction, car nous anticipions qu'étant posés à main d'homme sur place, une portion des vis et des clous allaient se briser par le froid ou simplement par les manipulations.



Pont temporaire vue de la grue de montage

Prix canadiens du génie-conseil 2013

3 IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Puisque le projet prenait place dans un secteur relativement vierge du nord du Québec, nous avions à cœur la protection de l'écosystème en place. En effet, nos considérations ont eu un très grand impact sur le concept même du pont. Tel que mentionné précédemment, l'endroit où nous avons choisi de construire le pont est un secteur de la rivière qui est très dense en esturgeons jaunes. Dans le but de ne pas affecter leur habitat naturel, nous avons conçu le pont sans pilier central. De ce fait, le courant de l'eau n'est pas modifié, ce qui ne perturbe pas les habitudes de ces poissons. De plus, lors de la construction, nous avons eu recours à un îlot temporaire pour acheminer le matériel et monter les sections de pont. Nous n'avions pas beaucoup de temps pour cette étape, que de novembre à février, car nous suivions le cycle d'affluence des poissons. À ce temps de l'année, il y en a moins qui circulent dans ce secteur. Nous pouvons donc dire que cette considération environnementale a influencé tout le cours du projet tant au niveau de la conception que de la construction.



Vue sous le pont complété

Un autre critère ayant influencé la conception est la présence d'une communauté Cris. Cette communauté exploite la rivière Maicasagi pour des fins de pêche et comme moyen de transport. Nous devions donc prendre ces facteurs en considération pour la conception d'une hauteur minimale entre le bas du pont et le niveau de l'eau afin de permettre la navigation sous l'ouvrage. Le pont devait être assez haut pour laisser passer un homme debout sur un canot.

Le bois ayant servi à la construction du pont est en soi un choix durable et écologique. En effet, le bois qui a été choisi vient de la région où s'implante le projet. Les trois sections du pont ont été produites à une heure du chantier.

4 RETOMBÉES SOCIALES ET ÉCONOMIQUES

La construction de ce pont avait pour but de donner accès à de nouvelles ressources forestières pour la compagnie Chantier Chibougamau, filiale de Nordic. La compagnie emploie plus de 600 personnes et figure comme le plus grand employeur de la région. Une augmentation de ses capacités d'exploitation garantit donc du travail pour beaucoup d'habitants de cette région. Le secteur des ressources naturelles étant vital pour la région, chaque développement du territoire contribue à son essor.

Le bois combine efficacité énergétique et renouvellement naturel comme nul autre matériau de construction. De fait, aucune autre ressource naturelle n'est aussi durable et aussi respectueuse de l'environnement que le bois. Avec les pratiques et les techniques les plus rigoureuses de récolte, le bois d'ingénierie représente une des utilisations les plus efficaces de la fibre du bois disponible aujourd'hui. Ce sont ces propriétés qui ont été mises de l'avant dans la conception de ce pont. L'idée derrière cette conception était de montrer qu'il était très efficace, économique et écologique d'utiliser un pont en bois pour des projets éloignés et d'envergure.



Pose du revêtement architectural

Au-delà des propriétés techniques de ce matériau, ce projet montre que l'on peut stimuler une économie locale autant de par la capacité de ses installations que dans la construction de nouvelles installations. À preuve, ce pont sert de modèle pour la construction d'autres ponts pour développer la région. À titre d'exemple, l'accord récent entre la province de Québec et la minière Stornoway en 2012 pour la construction de la route 167 vers les monts Otish (Nord du Québec) arrive à point. Non seulement l'entreprise Chantier Chibougamau Ltée construira une quinzaine de ponts, mais elle assurera aussi la coordination du chantier de construction. L'expertise développée par les travailleurs de Chibougamau servira donc dans le cadre de beaucoup d'autres projets. Ce maillage entre le savoir-faire en infrastructure en milieu forestier et le besoin d'accès au territoire d'une minière crée des opportunités qui ont des retombées positives tant sociales qu'économiques.

Prix canadiens du génie-conseil 2013

5 SATISFACTION OU DÉPASSEMENT DES BESOINS DU CLIENT

5.1 Solution économique et rentable

Le choix du bois était davantage une réalité qu'une contrainte imposée par le client. Nous avons utilisé le meilleur des concepts structuraux pour concevoir un pont qui était à la fois durable, solide et économique. Le client s'en est montré très satisfait. D'ailleurs, notre modèle sert maintenant de référence par le Ministère des Transports du Québec pour la construction d'autres ponts forestiers. Les objectifs techniques et financiers ont été atteints.

5.2 Rencontre des objectifs du client

Nous avons effectué plusieurs tests de chargement, jusqu'à concurrence de 180 tonnes. Nous avons fait venir un arpenteur durant ces tests pour mesurer la flèche sous charge. Plusieurs cas de chargement d'amplitude différente ont été appliqués 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, le pont s'est comporté comme prévu.

5.3 Échéancier

L'échéancier prévu pour la construction du pont était limité; plusieurs techniques de construction ont été nécessaires afin d'accélérer les travaux. La conception débutait en juillet 2011 et le projet se devait d'être terminé en février 2012. Nous avons procédé en régime accéléré (« fast track ») et avons adopté une approche de design intégré pour arriver aux délais grâce à une étroite collaboration avec le fabricant. En effet, la synergie entre l'ingénieur, le fabricant et le constructeur a été la clé de la réussite de ce projet. Les défis ont été interceptés et maîtrisés dès le début de la conception, ce qui a rendu le projet très efficace en termes de temps et de coûts. L'échéancier a été respecté et le pont a été livré à temps avec la capacité désirée qui était de 180 tonnes. La hauteur libre sous l'ouvrage est suffisante pour laisser passer des canots sous le pont et l'exécution s'est faite à temps pour ne pas perturber l'habitat naturel de poissons vivant dans la rivière. Notre équipe est très fière du fait que le projet a atteint en tout point les objectifs fixés au départ. Nous pouvons donc parler d'une réussite exemplaire.



Pont complété lors des tests de chargement

Prix canadiens du génie-conseil 2013

