

---

## **PONT SUR LA RIVIÈRE CHURCHILL, LABRADOR**

### **Défi de conception et de construction**

**François Jutras, ing.**

Directeur, Division Structure  
Roche ltée, Groupe-conseil

**Christophe Rigert, ing.**

Chargé de projet, Division Structure  
Roche ltée, Groupe-conseil

**Roche ltée, Groupe-conseil**

3075 Quatre-Bourgeois, bureau 300  
Québec (Québec)  
G1W 4Y4

---

### **RÉSUMÉ**

Ce pont conçu par les ingénieurs du Groupe Roche et construit sur la rivière Churchill a permis de franchir un des derniers obstacles afin de parachever l'extrémité Est de la Transcanadienne en reliant le Labrador à la Province de Québec. Réalisé en 2006 en cédule accélérée, ce pont de 360 mètres de longueur composé de trois travées de 120 mètres est le résultat d'une approche innovatrice du concept structural et du mode d'érection sur le chantier. Également responsable de concevoir la méthode et de superviser l'opération de lancement, Roche a apporté des solutions ingénieuses et efficaces aux défis particuliers posés à l'entrepreneur responsable de sa construction. Réalisé en étroite collaboration avec le fournisseur et fabricant de l'acier de structure, dans le cadre d'un contrat clé en main, ce projet se démarque également par l'intégration des ressources et de l'expertise respective des participants.

---

### **CONTEXTE DU PROJET**

La réalisation du dernier tronçon de l'autoroute Transcanadienne devant relier le Labrador au reste du Canada via le Québec nécessite la construction d'un pont pour traverser la rivière Churchill. Mandatée par la division Structal du Groupe Canam, fournisseur de la structure d'acier dans le cadre d'un contrat clé-en-main, la firme Roche fut chargée de concevoir la structure de l'ouvrage, ainsi que d'établir son mode de construction et d'en superviser la mise en place.



### **PHOTO AÉRIENNE DU PONT TERMINÉ**

Le ministère des Transports de Terre-Neuve-et-Labrador souhaite depuis plusieurs années poursuivre le parachèvement de la « Trans-Labrador Highway 500 », une route devant faire le lien entre la région du détroit du Labrador, le sud Labrador, Upper Lake Melville, l'ouest du Labrador et la province de Québec. Elle représente aussi une composante majeure du *Plan stratégique nordique pour le Labrador* préparé par la Province (« A Northern Strategic Plan for Labrador »), à l'égard des infrastructures de développement. Le Ministère décide, en 2004, d'aller de l'avant et de procéder à des appels d'offres pour réaliser les travaux. C'est ainsi que l'entrepreneur général terre-neuvien Penny Paving invita la compagnie québécoise Structal, une filiale du Groupe Canam, à lui soumettre une proposition pour fabriquer et installer le pont de 360 m de longueur requis pour enjamber la rivière Churchill. Suite à une entente, Structal est chargée de la conception de la structure, des dessins et de la fabrication des composantes, ainsi que de l'érection et de l'installation de ce pont au-dessus de la rivière Churchill. Structal retient alors les services de Roche ltée, Groupe-conseil, pour la fourniture des services d'ingénierie requis et la supervision des travaux au chantier.

Il est important de préciser que ce mandat devait s'effectuer dans le cadre d'un contrat clé en main, ne laissant aucune flexibilité par rapport au prix et à l'échéancier d'exécution, exigeant notamment un exercice de conception en cédule accélérée (« fast track »), afin de permettre la commande d'acier à l'intérieur d'un délai de 2 mois (octobre à décembre 2004).

### **DESCRIPTION DE L'OUVRAGE**

La conception de cet ouvrage est marquée par l'évolution des circonstances et des exigences, à l'intérieur des contraintes particulières imposées par les termes du contrat clé en main. Nous en énumérons plusieurs des éléments principaux ci-dessous.



### **PHOTO AÉRIENNE DU PONT EN CONSTRUCTION**

- Le concept initial retenu par nos ingénieurs et souhaité par le MTPWNL est une superstructure triangulée à tablier inférieur nécessitant 1 300 tonnes (impériales) d'acier ainsi que l'installation d'un caillebotis de roulement, pour un pont de 360 mètres de longueur conçu en trois travées de 120 m chacune.
- Il est prévu d'effectuer l'installation de la superstructure par lancement, le concept structural prévoyant l'utilisation de piliers temporaires de façon à réduire la longueur des porte-à-faux.
- Dès le mois de mars 2005, une contrainte du site du projet nouvellement identifiée nous oblige à modifier ce scénario: en effet, les conditions du sol ne permettent pas de compter sur des appuis intermédiaires, comme prévu initialement.
- En conséquence, en plus des facteurs influant sur la conception structurale, l'installation même de la superstructure doit alors être réalisée sans pouvoir compter sur des supports temporaires. Ceci amène alors une soudaine tournure d'évènement plutôt dramatique, considérant que les matériaux composant la superstructure sont alors déjà livrés à l'usine et que les dessins d'atelier sont très avancés.
- Le nouveau scénario d'érection doit dès lors tenir compte des porte-à-faux de 120 mètres de longueur. Des analyses plus poussées révèlent alors des faiblesses potentielles d'importance dans la structure triangulée si aucune modification ou renfort n'est apporté.
- Ces circonstances inattendues exigent donc le développement d'une solution de lancement du tablier du pont qui réponde aux nouvelles contraintes, ainsi que l'identification des éléments sollicités au-delà de leur capacité.
- Nous réussissons d'abord à imaginer un mode de renforcement temporaire n'affectant pas la structure permanente. Ceci nous permet alors de limiter au strict minimum les incidences sur le budget étant donné que 1 300 tonnes d'acier de structure étaient déjà pratiquement fabriquées.

- Nous concevons également un mode innovateur de construction de l'ouvrage qui surmonte les sérieuses difficultés occasionnées par l'absence de supports intermédiaires.
- La superstructure est érigée au chantier dans les délais alloués, permettant le début des opérations de lancement dès juillet 2006. L'installation est complétée trois mois plus tard, en octobre, conformément à l'échéancier contractuel.
- Le coût de construction pour notre client ultime, l'entrepreneur général, est demeuré à l'intérieur des disponibilités budgétaires.



**PHOTO AÉRIENNE DU PONT EN CONSTRUCTION**

## **CONCEPTION**

Notre client compte dès le départ sur nos services non seulement pour concevoir un ouvrage répondant aux exigences structurales et fonctionnelles du document d'appel d'offres, mais aussi pour répondre à des objectifs d'optimisation des concepts de manière à réduire les coûts en matériel, les coûts de fabrication et les coûts de construction. Nous développons ainsi plusieurs variantes de design, ce qui permet à Structural et à l'entrepreneur de considérer les avantages et les défauts de toute une gamme de possibilités. De plus, nous appuyons les options conceptuelles par une analyse d'ingénierie des valeurs. Nous accordons toute l'attention nécessaire à l'implication de chacun des concepts par rapport à l'érection des structures sur le chantier. Une analyse comparative méthodique permet enfin de dégager une option préférée répondant de manière optimale et bien équilibrée à l'ensemble des considérations.

La structure triangulée présente un niveau de complexité, touchant tant sa conception et sa mise en place, qui ne se rencontre pas normalement dans le cas de concepts structuraux plus conventionnels. Ce type de structure exige une conception beaucoup plus minutieuse, puisque chaque cas de chargement produit des contraintes distinctes à chacun des joints et membrures, lesquelles doivent être vérifiées individuellement. Dans le présent cas, les analyses structurales

plus détaillées effectuées suite au changement du mode de lancement mettent en lumière des faiblesses dans certaines sections de la structure triangulée. Comme la structure doit de plus recevoir une protection galvanisée telle que prévu au contrat, la longueur des pièces est limitée à cause des dimensions des bassins de galvanisation.



**PHOTO DU PONT AVEC BEC SUR RIVE OPPOSÉE**

Les principaux paramètres de conception utilisés sont résumés ci-après.

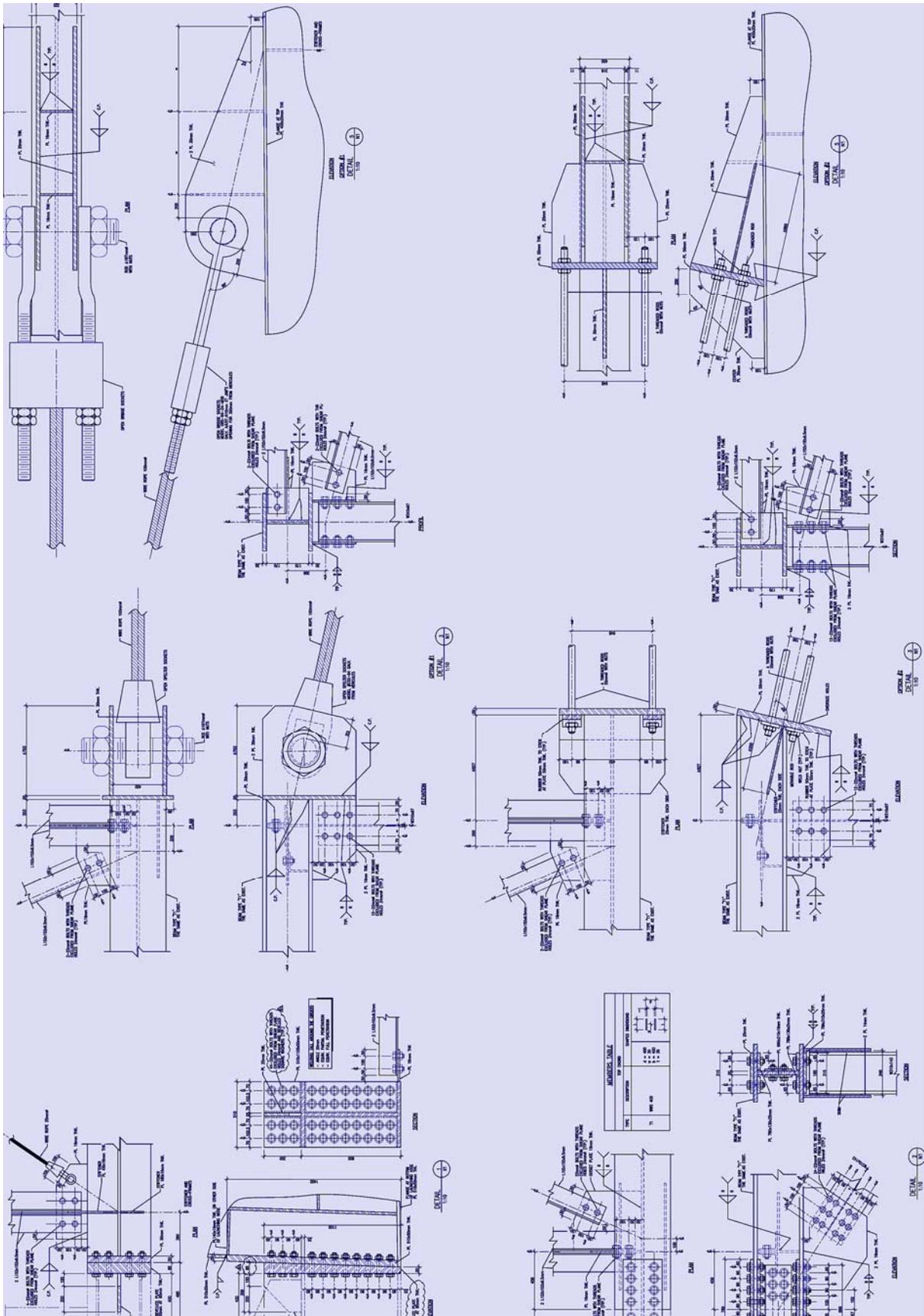
- Norme Acnor S6-00
- DJMC : 250
- Acier 350 W galvanisé
- Chargement CL 625 incluant surcharge de voie
- Type de structure : triangulée
- Surface de roulement : caillebotis boulonné
- Longueur de l'ouvrage : 360 mètres
- Voie carrossable : 7.3 mètres
- Dégagement vertical libre de la voie : minimum 5 mètres
- Mise en place de la superstructure : par lancement
- $Z_a : 0 ; Z_v : 0$
- Longueur du bain de galvanisation : 48 pieds

- Catégorie de fatigue : E1
- Fondations : culées et piliers en béton fondés sur pieux (par MTPWNL)
- Durée de vie de l'ouvrage : 75 ans
- Tassement différentiel de la culée Nord ou de la pile Nord : 75 mm



**PHOTOS DES DÉTAILS DE LA STRUCTURE**





**DÉTAILS DU NEZ DE LANCEMENT**

## CONSTRUCTIBILITÉ

Comme le scénario original de lancement de la superstructure sur des supports intermédiaires à mi-travée n'est plus possible (Mars 2005), alors que l'acier est commandé et que les dessins d'acier sont pratiquement tous terminés, cela amène forcément des changements majeurs au processus de lancement. Le nouveau scénario d'installation au chantier doit désormais tenir compte de trois porte-à-faux de 120 m chacun. Les effets de cambrure sur les déplacements verticaux de la superstructure, les réactions ainsi que les moments de flexion locaux à chaque mètre d'avancement gouvernent la conception. Il va sans dire qu'une telle situation sort de l'ordinaire et présente un degré de complexité peu commun.

Il devient alors essentiel d'optimiser un nez de lancement permettant de réduire les contraintes dans la superstructure fabriquée, en plus de diminuer le nombre d'interventions et de renforts temporaires requis.

Une simulation des étapes successives de lancement fait ressortir la précarité de la structure (déjà fabriquée) en raison du changement majeur apporté au mode d'érection. En effet, nos calculs montrent qu'en l'absence d'un nez de lancement approprié et sans les renforts nécessaires, la structure peut littéralement éclater au cours de sa mise en place au chantier.

Le nouveau scénario génère également des problèmes de soulagement, voire de soulèvement aux appuis, étant donné, premièrement, la continuité structurale de l'ensemble et, deuxièmement, la cambrure sous charges permanentes qui accentue singulièrement la flèche de la structure en porte-à-faux. Un examen détaillé de chaque poussée est requis pour identifier les points de soulèvement et l'augmentation des réactions sous différents appuis causées par ce phénomène.



### PHOTOS DU SOULÈVEMENT ET DE LA CAMBRURE

Nous concluons que des renforcements spéciaux sont requis temporairement aux diverses étapes de lancement du pont. Le mode d'assemblage de ces renforts doit en outre être exécuté de manière à ne pas abîmer la protection galvanisée appliquée aux membrures de la structure permanente.



### PHOTOS DES RENFORTS

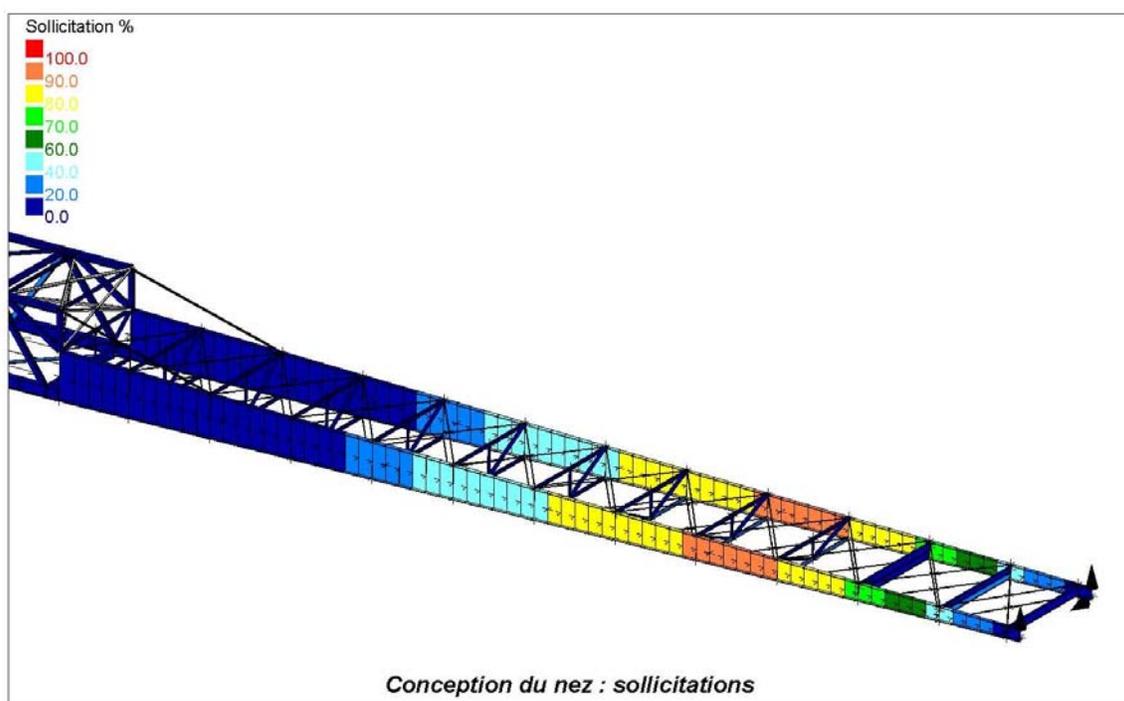
Finalement, les calculs effectués indiquent des flèches de l'ordre de trois mètres. Un mécanisme de relèvement du nez est dès lors choisi et doit être adaptable pour toute situation. Un système de retenue du bec composé de tirants est également mis en place afin de réduire les flèches et les efforts. En résumé, le nez de lancement est construit avec un angle permettant d'en réduire son poids, de permettre d'obtenir un niveau de relèvement raisonnable et de limiter les efforts à l'amont dans la structure permanente.



### PHOTOS DU BEC

## ANALYSE DU MODE D'ÉRECTION

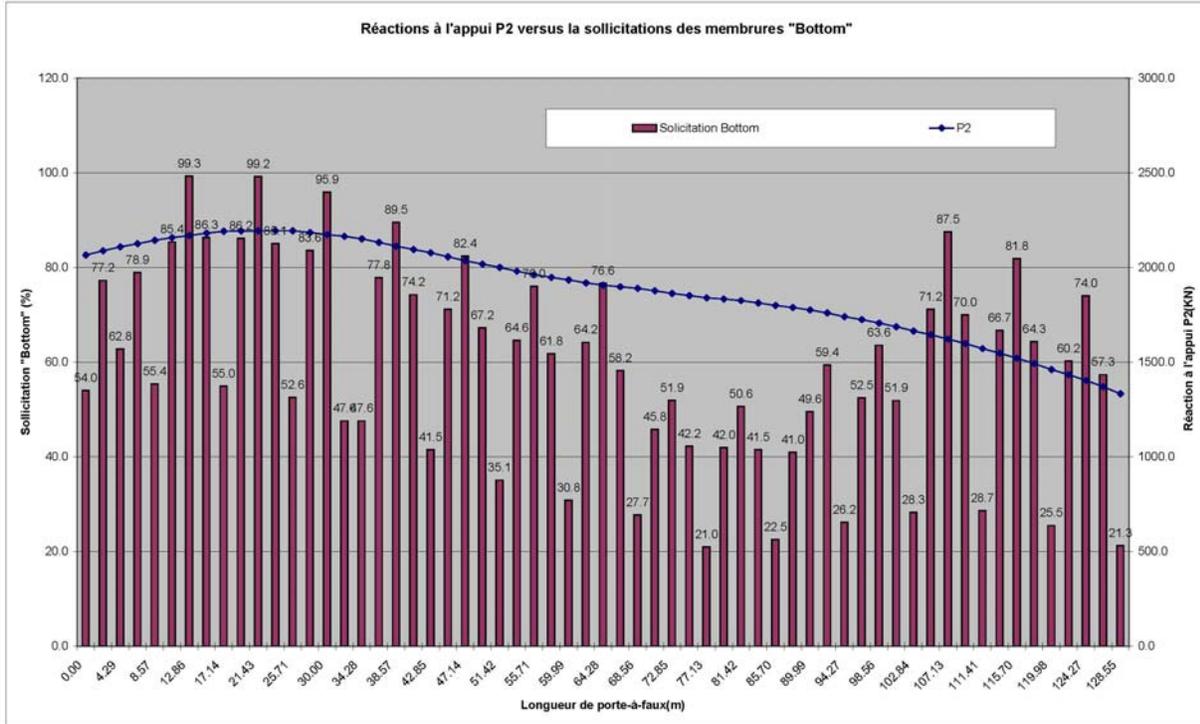
Dès le départ, nos calculs préliminaires révèlent que la longueur du nez doit se situer entre un minimum de 60 mètres et un maximum de 100 mètres. L'analyse finale nous amène à conclure qu'une longueur de 77 mètres est optimale, tenant compte simultanément des impératifs de sécurité, d'efficacité et de coût. La longueur étant établie, trois(3) types de configuration sont étudiés, soit une structure triangulée, une structure à poutres à âmes pleines et une structure à âmes pleines ajourées. Une analyse comparative indique en bout de ligne que la structure à poutres à âmes pleines est la plus appropriée.



## SOLLICITATIONS EN SITUATION APPUYÉE

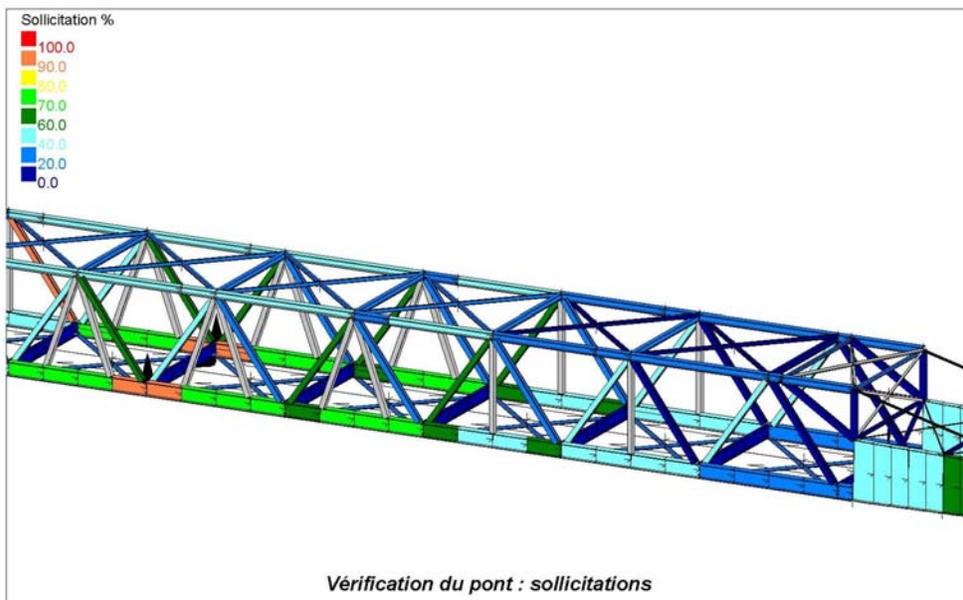
Des plans d'érection détaillés sont alors produits, en incorporant le nez de lancement selon le design préféré, de même que son assemblage avec la structure permanente du pont.

Par la suite, différentes analyses sont conduites englobant toutes les phases de lancement, afin de déterminer précisément les efforts et les contraintes dans chacune des membrures et leurs assemblages. Cette étape s'avère particulièrement longue et complexe puisqu'elle est itérative. De manière à simuler le plus justement possible les conditions réelles de chantier, les 4 appuis temporaires en rive sont inclus à notre modèle et l'effet des cambrures est pris en compte. Nous devons, à chaque cas d'avancement, porter une attention spéciale au soulagement des appuis afin de bien cerner l'accroissement des réactions et l'évolution des efforts dans les membrures et le nez de lancement.



### SOLLICITATION DE LA CORDE INFÉRIEURE

Enfin, l'exercice de conception est complété par la préparation d'un tableau des réactions converties en pression de manomètre pour tous les appuis afin d'exercer un contrôle adéquat au chantier.



### VÉRIFICATION DES CONTRAINTES DANS LA STRUCTURE RENFORCÉE

## COMPORTEMENT AU CHANTIER

Nos activités d'ingénierie de conception se sont effectuées en maintenant un dialogue régulier avec l'entrepreneur et le fabricant d'acier, ce dernier étant aussi responsable du montage de la structure au chantier. Les paragraphes suivants résument les principales considérations, étapes et moyens caractérisant la méthode de construction à laquelle nous avons eu recours.

- Identification sur la structure même des points critiques pour lesquels un arrêt doit être fait, afin de contrôler la pression à l'aide des manomètres installés à chacun des appuis.



**PHOTO DE L'IDENTIFICATION**

- Contrôle de la flèche à l'extrémité du porte-à-faux afin de valider notre modèle.
- Assistance à l'érecteur de la structure tout au long du lancement, de manière à le guider sur les mesures à prendre pour réagir et modifier les appuis selon les besoins, c'est-à-dire pour diminuer ou augmenter, selon les cas, la pression de contact aux endroits appropriés.



**PHOTO D'AJUSTEMENT D'UN APPUI EN RIVE**

- Mise en place de douze renforts temporaires boulonnés de manière ingénieuse pour éviter d'abîmer la couche de protection galvanisée.
- Vitesse moyenne de lancement limitée à environ six pieds par minute; contrôlée par un système composé de poulies et de câbles reliés à des manomètres.



**PHOTO DU SYSTÈME DE POUSSAGE**

Il est intéressant de mentionner que le coefficient de frottement entre les rouleaux et le dessous de la membrure inférieure de notre structure était estimé à 5%. La friction effective s'est avérée inférieure à cette valeur, de telle sorte qu'il fût étonnamment aisé de pousser cette structure de 1300 tonnes, et qu'il fallût même arrimer deux pelles mécaniques par l'arrière pour prévenir tout emballement soudain de la vitesse d'avancement.

Notons finalement qu'au cours de la mise en place de la structure, le 19 juillet 2006, au moment où le nez est sur le point d'atteindre le premier pilier, une tempête imprévisible s'est déclenchée avec des vents de plus de 100 kilomètres à l'heure. La structure est alors entrée en résonance, un phénomène rare et fort inquiétant pour un ouvrage de cette dimension. Fort heureusement, le vent s'est calmé peu de temps après et aucun dommage n'a été relevé à la structure.



## CONCLUSION

Un autre jalon du Trans-Labrador Highway 500 a été posé par le parachèvement du pont enjambant la rivière Churchill dans le secteur de Goose-Bay – Happy-Valley. Le choix du type de pont peut surprendre à prime abord considérant la rareté du genre au cours des dernières décennies. Par contre, considérant le faible DJMC, l'importance des charges mortes puisque nous sommes en présence de longues portées, l'éloignement et la longueur de l'ouvrage et les nombreux contrôles-qualité rattachés à la coulée d'un tablier de béton armé, nous pouvons conclure que le choix d'une structure triangulée avec surface de roulement en caillebotis est justifiable et approprié.

La cambrure de l'ouvrage doit faire l'objet d'une attention particulière car elle amène :

- une relaxation des réactions sous certains appuis, voir même un soulèvement, et par conséquent une redistribution des efforts qui peut s'avérer dramatique
- une amplification des flèches au lancement puisque sous l'effet de la rotation au passage d'un appui, la flèche créée par le poids propre de l'ouvrage en porte-à-faux est amplifiée du double de la cambrure
- des pressions temporaires au sol, à la jetée de lancement, qui sont amplifiées sous certains appuis. Un ajustement des pressions au sol par vérinage des appuis est alors requis.

Le nez de lancement s'avère une pièce maîtresse de l'érection et permet de palier en tout ou en partie pour le manque de capacité temporaire qui pourrait survenir en amont dans la structure permanente

Le projet a été livré dans les délais prévus, à la grande satisfaction de Structal, notre client immédiat, mais aussi de l'entrepreneur général Penny Paving et du client ultime, le ministère des Transports et Travaux publics de Terre-Neuve et Labrador. Non seulement l'échéancier global du projet a été respecté, mais également les différentes dates-cibles intermédiaires reliées à la production des plans et devis, la fabrication, l'assemblage de la structure et sa mise en place au chantier.

L'équipe de projet n'a rien négligé pour rencontrer toutes les exigences de la norme S6; d'autre part, l'aspect financier n'a pas souffert malgré les diverses modifications qui sont apparues en cours d'exécution – à preuve, alors que le premier design et la commande d'acier correspondante était de 1 300 tonnes, le design final a nécessité un besoin total de précisément 1 308 tonnes d'acier malgré tous les changements que nous y avons apportés!

