



Inspection du pont de Québec

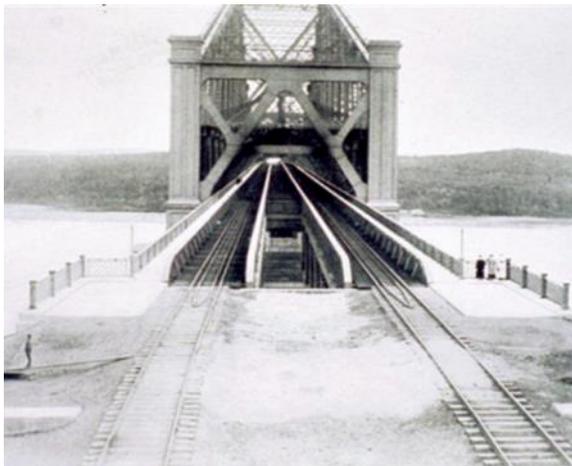
Jean-Pierre Blondin, ing., M.ing.

Roche Itée, Groupe-conseil
33, rue Saint-Jacques, 2e étage
Montréal (Québec) Canada H2Y 1K9

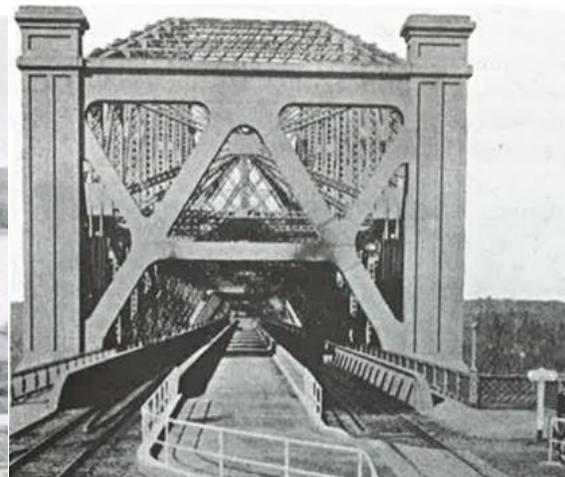
Introduction et historique

Pour de nombreuses personnes, le pont de Québec représente un emblème important du génie québécois. Cet ouvrage rempli d'histoire est un chef-d'œuvre mondial d'ingénierie, que ce soit par son titre de pont cantilever à portée libre la plus longue au monde ou par les moyens de construction de l'époque.

Construit entre 1910 et 1917, le pont était à l'origine strictement utilisé pour le transport ferroviaire et il comportait deux voies ferrées. Le CN est, depuis sa formation en 1923, responsable du pont.



**Configuration initiale
Photo de 1917**

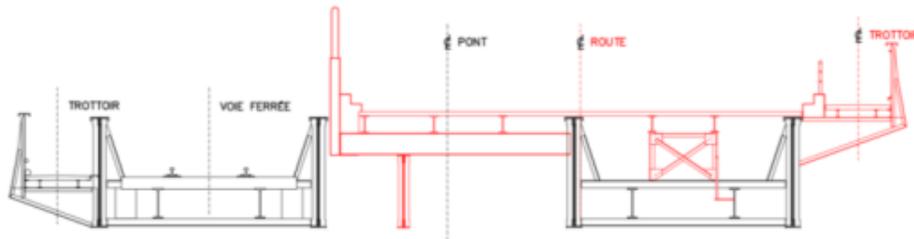


**Ajout d'une voie routière
Photo de 1929**

C'est en 1929 qu'on a pu voir la première voie carrossable sur le pont. Celle-ci était située au centre des deux voies ferrées et elle était à péage jusqu'en 1942. En 1949, l'achalandage et le nombre de véhicules deviennent trop importants pour le pont. De l'acier et une dalle en béton sont donc installés afin d'ajouter une voie supplémentaire sur le pont. Il faudra attendre en 1993 pour connaître la configuration actuelle d'une voie ferrée et de trois voies routières avec celle du centre réversible.



Configuration initiale (1917)



Configuration depuis 1993



Configuration des voies de transport depuis 1910

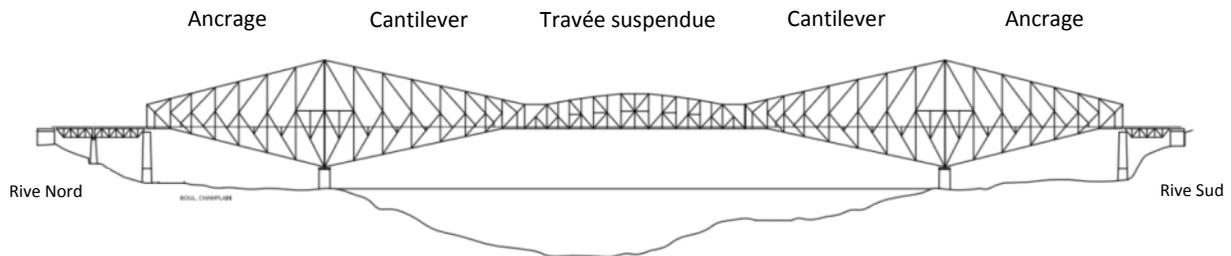


Configuration actuelle

Caractéristiques

Le pont de Québec traverse le fleuve St-Laurent pour relier la ville de Québec (Rive-Nord) à celle de Lévis (Rive-Sud). Le pont est de type cantilever avec des contreventements en « K », ce qui était une première à l'époque. Il détient toujours le record du pont cantilever ayant la plus longue portée libre au monde, soit de 549 m (1 800 pieds). La distance entre son tablier et le niveau de l'eau maximal est de 46 m (150 pieds).

Le pont est composé de cinq sections : deux travées d'ancrage, deux travées cantilever ou à porte-à-faux et une travée centrale suspendue. À ces sections viennent s'ajouter des travées d'approche à poutres triangulées à tablier supérieur (Deck Truss ou DT); deux du côté nord et une du côté sud. Le tablier est composé à la base de deux systèmes de poutres à âme pleine à tablier inférieur, appelés TPG (de l'anglais « through plate girder »), couramment utilisé dans le domaine ferroviaire. Depuis 1952, une dalle de béton recouvre les TPG est (ou aval) du pont pour permettre aux automobilistes d'utiliser le pont. Le poids de l'acier utilisé pour construire le pont de Québec est évalué à 60 000 tonnes (133 000 000 lb), soit six fois la tour Eiffel.



Le CN dispose de tous les plans d'origine du pont, c'est-à-dire au-delà de 3 000 plans, ainsi que de tous les plans des interventions faites au cours de toute sa vie.

Inspection du pont de Québec

Selon les standards du CN, il existe quatre types d'inspection : inspection détaillée, visuelle, sommaire et spéciale. L'inspection détaillée ou « doigt-sur-la-pièce » implique de noter toutes réductions ou tous dommages trouvés sur la totalité des membrures du pont. Cette inspection est souvent longue et coûteuse, mais essentielle à la collecte d'informations précises sur l'ouvrage. L'inspection visuelle découle de l'utilisation des rapports de l'inspection détaillée, permet de vérifier si toutes les indications du rapport sont encore présentes et de faire les ajouts s'il y a lieu. L'inspection sommaire ou de type « visite » implique seulement la vérification par l'inspecteur qu'il n'y a pas d'anomalie majeure de la membrure. Finalement, il y a l'inspection spéciale qui requiert souvent des

équipements spécialisés. Par exemple, l'inspection aux ultrasons nécessite des firmes spécialisées dans ce type d'analyse.

Conformément au « Manuel de référence sur la gestion de la sécurité des ponts » de Transport Canada, le CN a déterminé des fréquences d'inspection du pont de Québec dans le cadre de son « Système de gestion de la sécurité ». La fréquence de ces inspections dépend du rôle de la membrure et de sa condition. Le pont est inspecté dans son ensemble au moins une fois par année. En général, les inspections détaillées sont effectuées tous les 5 ans.

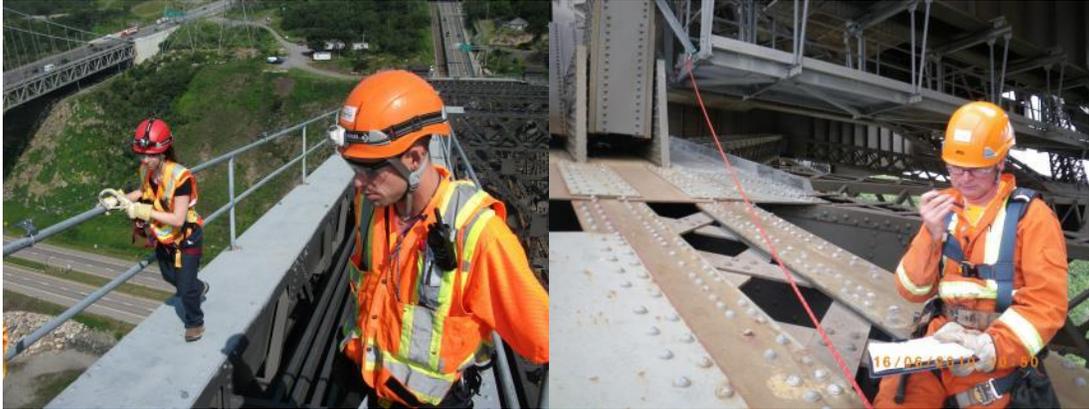
Avant 2010, le CN effectuait lui-même les inspections avec l'utilisation de firmes spécialisées au besoin. Depuis 2010, Roche effectue toutes les inspections du pont de Québec chaque année. Pour la réalisation de ces mandats d'inspection, Roche a consulté les rapports d'inspection antérieure, soit ceux de 1994 à 2009.

Selon les conditions énumérées ci-haut, le programme d'inspection détaillée complet du pont de Québec mis en place par le CN et Roche est échelonné sur 5 ans. Chaque année, un cinquième du pont est vu en inspection détaillée, tandis que le reste du pont est vu en inspection visuelle ou sommaire, tout dépendant du rôle des membrures. De cette façon, le pont est vu au complet chaque année. Ce programme permet non seulement de suivre l'évolution de la corrosion partout sur le pont, mais aussi de mettre à jour les diverses études de capacité portante et le programme de réparations.

L'ampleur du pont de Québec amène à utiliser plusieurs techniques d'inspection. En général, la majorité du pont peut être vue par progression en double longe, à partir du tablier ou sur le dessus des piliers. Cependant, d'autres types de membrures, telles que les grandes verticales et grandes diagonales nécessitent des techniques en accès sur cordes (techniques d'escalades ou hommes-araignées).

Les services d'inspection, d'analyse et de préparation des rapports impliquent une trentaine de personnes chaque année. Les inspections nécessitent environ trois mois d'inspection sur le pont. Ces inspections doivent avoir lieu seulement en été, car les conditions climatiques sont très difficiles à l'arrivée de l'hiver.

En somme, l'inspection du pont de Québec amène la production annuelle d'un rapport bilan d'inspection. Ce rapport est accompagné des quelque 3 000 fiches d'inspection, sur lesquelles se trouvent toutes les réductions et tous les dommages retrouvés sur le pont. Des milliers de photos des membrures du pont sont également prises, puis analysées et classées.



Inspection spéciale

L'inspection spéciale effectuée sur le pont de Québec dans le programme 5 ans se résume à l'inspection des goujons à l'aide d'ultrasons. Au total, on retrouve 1 800 goujons qui servent de jonctions entre les différentes membrures du pont. Le diamètre des goujons composés d'acier varie de 200 mm (8 po) à 775 mm (30 po). Ils sont protégés à l'aide de couvercles d'acier qui les abritent des intempéries.

L'inspection de ces goujons s'effectue en cinq étapes : l'enlèvement des couvercles, le nettoyage de la surface de l'acier, le balayage du goujon à l'ultrason, l'application de graisse de protection et la remise en place des couvercles. Tel que mentionné précédemment, ce type d'inspection est effectué par une firme spécialisée en ultrasons. La firme Mistra/Métaltec inc. de Québec a effectué ces inspections en 2012 et 2013. Dans le contexte du pont de Québec, le technicien spécialiste est accompagné par des travailleurs en accès sur corde qui lui donnent accès à tous les goujons.



Le principe du test non destructif permet d'identifier toute anomalie présente dans l'acier du goujon, et ce, sans le retirer de sa position ou l'abîmer. Cette inspection peut détecter

le début d'apparition de fissure, défaut majeur pour ces composantes très importantes du pont.

Étant donné le coût de ce type d'inspection, un échantillonnage de goujons préalablement identifiés est effectué et mis au programme; 136 goujons ont été inspectés en 2010, 30 en 2012 et 30 en 2013.

Nettoyage

En 2011, Roche a participé, en collaboration avec le CN, à une campagne de nettoyage des cordes inférieures du pont. L'accès nécessite des travailleurs en accès sur cordes afin d'effectuer tout ce travail en hauteur de façon sécuritaire. Une unité de décontamination a également dû être installée à des fins de santé et de sécurité. Les eaux de l'unité ont été décontaminées par un système de filtration intégré à l'unité. Finalement, aucun débris ne pouvait se retrouver dans l'environnement. C'est 1 069 sacs totalisant un volume de 35 m³ qui ont dû être utilisés pour remonter tous les débris contenus dans les cordes inférieures.



Avant le nettoyage



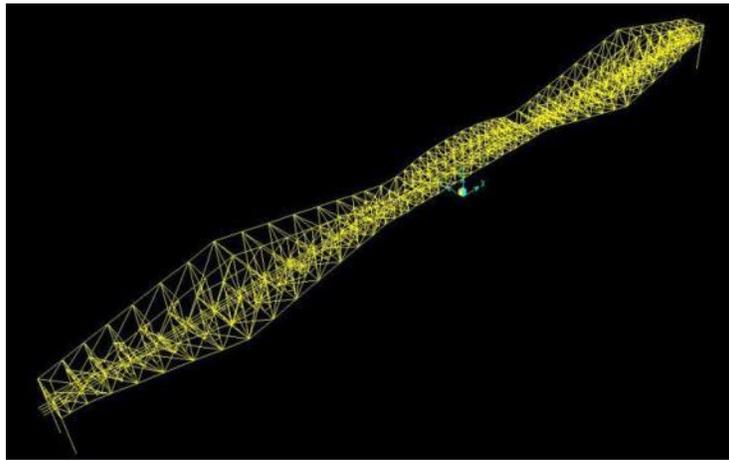
Après le nettoyage



Récupération des sacs de débris

Études du CN sur la capacité du pont

À l'aide des rapports d'inspection détaillée fournis par Roche, le CN procède régulièrement à des études de capacité portante du pont. Ces études permettent d'évaluer la capacité des membrures à supporter les charges selon leur condition actuelle. De plus, le CN détient un modèle 3D du pont de Québec avec lequel les contraintes peuvent être déterminées en prenant en considération le poids du pont, le vent, la température, le trafic routier et le trafic ferroviaire. Dans les années 90, le CN a procédé à une instrumentation sur le pont afin de pouvoir comparer les valeurs théoriques avec les valeurs réelles terrains. Les contraintes terrains s'avérèrent moindres que celles théoriques.



**Modèle 3D du pont de Québec, soit 1 800 nœuds,
3 100 membrures et 259 propriétés de sections différentes**

Programme de réparation

Le programme de réparation du pont de Québec est actif depuis plusieurs années. En effet, plusieurs tonnes d'acier sont remplacées chaque année selon l'avancement de la corrosion et les priorités de remplacement. Les inspections produites par Roche entre 2010 et 2013 ont permis d'observer la réalisation de ces travaux dont notamment des travaux promptement réalisés à la suite de l'identification de dommages lors de nos inspections.

Un bon programme de réparation débute d'abord avec une bonne inspection, car elle permet d'effectuer une étude précise de la capacité portante. Par la suite, le CN peut établir un programme de réparation sélectif par priorité. Une fois les réparations effectuées, les inspecteurs de l'inspection suivante mettent à jour les relevés d'inspection. De cette façon, le CN est au courant de l'état actuel du pont, et ce, chaque année.



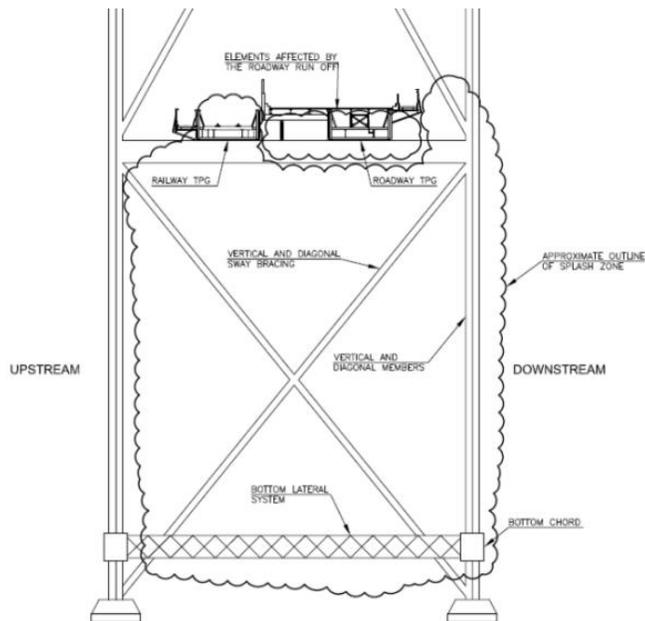
Inspection 2012



Inspection 2013

Zone d'éclaboussure

Les inspections ont permis d'observer une grande différence dans l'état de l'acier qui est sous et près de la partie routière, c'est-à-dire, dans la zone d'éclaboussure par les produits déglaçant et les abrasifs. La figure ci-dessous indique la zone d'éclaboussure qui a été identifiée à la suite des inspections. Les aciers d'origine, qui datent de 1917 et qui sont situés hors de la zone, n'indiquent aucune ou très peu de perte de matériaux due à la corrosion, et ce, même s'il n'y a pas de protection d'une peinture. De plus, des aciers mis en place il y a moins de 20 ans et exposés directement aux déglaçants et abrasifs montrent des signes de détérioration accélérés, et ce, même s'ils ont été peints. Puisque l'on remarque que la corrosion est beaucoup plus active dans la zone d'éclaboussure que hors de cette zone, ceci nous permet d'émettre que l'une des principales causes de la corrosion du pont de Québec est les déglaçants et les abrasifs.



Zone d'éclaboussure



**Acier original de 1917 (97 ans)
situé hors de la zone
d'éclaboussure**



**Acier remplacé en 1997 (17 ans) situé
dans la zone d'éclaboussure**

Recommandations de Roche

À la suite des inspections, Roche a émis les recommandations suivantes :

- Continuer le programme d'inspection;
- Continuer l'évaluation structurale des dommages identifiés dans les inspections;
- Continuer le programme d'inspection et d'entretien des 1 800 goujons;
- Continuer le programme de remplacement des éléments corrodés;
- Diminuer ou éliminer le contact des produits déglaçant et abrasifs de voirie avec la charpente;
- Établir un programme de nettoyage pour les sections exposées aux déglaçants et abrasifs.

Des sommes très importantes sont investies par le CN chaque année pour les réparations et les inspections du pont de Québec. Un remplacement du type de déglaçant utilisé par le Ministère a eu lieu à l'hiver 2013-2014. D'autres solutions pour capturer les produits déglaçant font l'objet de discussions.

En conclusion, la stratégie actuelle qui combine des inspections rigoureuses, des évaluations structurales et de promptes interventions est une stratégie valable pour assurer la viabilité à long terme du pont de Québec.

