

RÉPARATION D'UN PONT EN ACIER À VALEUR PATRIMONIALE ÉLEVÉE

Christian Mercier, ing.
Ministère des Transports du Québec

Résumé :

Le vieux pont Lachapelle reliant les villes de Laval et Montréal a fait l'objet de travaux de réparation importants au cours de l'automne 2004. Ce pont construit en 1930 s'inscrit, selon la nouvelle orientation ministérielle, au sein des structures d'intérêt patrimonial devant être protégées. La valeur patrimoniale élevée de cet ouvrage justifiait des méthodes de réparation et de renforcement particulières au niveau de la charpente métallique.

Cette communication portera sur la conception du projet de réparation et sur la réalisation en chantier. La méthodologie de l'entrepreneur sera décrite de même que les contraintes inhérentes à ce type de chantier en milieu urbanisé. Les évaluations patrimoniales et structurales seront aussi présentées afin de justifier les interventions qui ont été réalisées.

INTRODUCTION

Les ponts historiques, construits il y a plus de 75 ans, ayant conservé leur intégrité structurale et patrimoniale se font de plus en plus rare au Québec; ces ouvrages d'une autre époque sont parfois constitués de matériaux moins performants et moins adaptés aux conditions sévères d'entretien hivernal d'une route en région nordique. De plus, leur capacité de conception est aujourd'hui dépassée par les chargements normalisés et la technologie d'un autre temps, souvent peu connues et maîtrisées de nos jours, complique les interventions d'entretien préventif et curatif. Cependant, les coûts de réhabilitation ou de restauration d'un ouvrage ancien peuvent s'avérer beaucoup moins onéreux qu'une reconstruction neuve en autant que les gestionnaires acceptent une fonctionnalité limitée. Sur le réseau routier supérieur, plusieurs ponts de technologies obsolètes ont aujourd'hui fait place à des ouvrages modernes davantage adaptés aux conditions de circulation contemporaines. Conséquemment, la plupart des ponts historiques seront remplacés par leur propriétaire à l'intérieur d'un contexte économique qui ne cesse d'être restrictif mais les spécimens les plus distinctifs au point de vue de l'ingénierie et les plus significatifs de l'histoire au Québec seront conservés comme patrimoine scientifique et historique.

Beaucoup des ponts à poutres triangulées en acier n'échappent pas à cette problématique. Ces structures jetées au-dessus des rivières avec audace forment notre patrimoine collectif. Plusieurs d'entre elles ont atteint un âge critique au-delà duquel une intervention d'importance est requise. Le vieux pont Lachapelle reliant les îles de Montréal et Laval sur la route 117 au-dessus de la rivière des Prairies a fait l'objet d'une intervention majeure à l'automne 2004. Cet ouvrage, classé à caractère stratégique depuis 2003 par le Ministère des Transports, révèle une valeur patrimoniale élevée à la suite d'une évaluation selon la méthode en vigueur au ministère. Lors de l'élaboration du projet de réparation, les concepteurs ont considéré les caractéristiques particulières de l'ouvrage afin de préserver son intégrité patrimoniale tout en souhaitant réaliser des travaux économiques.

Plusieurs inspections ont précédé les travaux de 2004 et fait connaître le mauvais état de la charpente métallique. Les résultats de l'évaluation de la capacité portante présentés par la Direction des structures du Ministère des Transports a contraint les municipalités de Laval et Montréal, propriétaires de l'ouvrage, à interdire le passage des véhicules en surcharge sur le pont. Du même coup, cette restriction fortuite a déclenché le processus menant aux travaux de réparation et de renforcement de la structure.

Tout dernièrement, le Ministère a adopté des objectifs et des principes de conservation avant-gardiste pour la gestion des ponts à valeur patrimoniale élevée afin de guider les propriétaires et les concepteurs. Cette nouvelle façon de faire s'engage dans trois objectifs : l'identification des ponts à valeur patrimoniale élevée, la conservation de ces ponts et la collaboration du Ministère avec les partenaires et promoteurs à leur mise en valeur. En fonction de l'indice patrimoniale d'une structure (IPP) obtenue à la suite d'une évaluation, les interventions de conservation à réaliser se traduisent par des travaux de préservation, réhabilitation et restauration. Les travaux entrepris au vieux pont Lachapelle en 2004 sont considérés comme une première phase de la restauration de l'ouvrage.



Figure 1 : Vue aérienne des ponts Lachapelle

HISTORIQUE ET ÉVALUATION PATRIMONIALE

Plusieurs ouvrages primitifs ont précédé les ponts Lachapelle actuels érigés depuis sur le site Bordeaux-Cartierville. Deux ponts se sont succédés entre 1826 et 1849, une structure en bois à poinçon à plusieurs travées et un pont couvert. Le pont couvert de type «Burr», à péage, aurait été remplacé en 1880 par un pont de fer de type «Camelback».

En 1923, le parc d'attraction Belmont voit le jour et, peu après, sa popularité commande la construction du pont de Cartierville. La *Robertson & Janin Ltd* s'est chargée des unités de fondation et la *Dominion Bridge* a conçu et érigé la charpente d'acier de type «Cantilever». Le nouveau pont sera en service le 24 mai 1930.

La longueur totale du pont est de 305 mètres et sa largeur hors tout est de moins de 10 mètres. Le vieux pont Lachapelle est constitué d'une superstructure en acier de 3 travées continues et de deux travées à poutres en béton armé de type culées évidées. La travée centrale de 126 mètres est relativement courte pour ce type d'ouvrage en comparaison au pont de Pointe-à-la-Croix sur la rivière Restigouche qui est une structure apparentée au pont Lachapelle, mais dont la triangulation est moins bien définie.

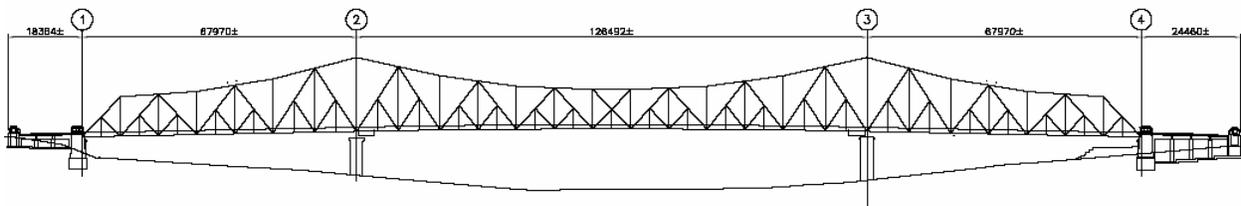


Figure 2 : Élévation du pont Lachapelle

En 1976, le pont est doublé du côté Ouest par l'érection d'une structure métallique à arcs à montants et la circulation devient unidirectionnelle sur les ponts jumelés. On doit le nom de Lachapelle en hommage à Pascal Persilier-Lachapelle constructeur de pont dans les années 1800.

Selon la méthode d'évaluation en vigueur au Ministère depuis décembre 2002, le pont Lachapelle obtient un pointage de 139 sur 150, ce qui lui confère un indice patrimonial élevé de 93. Les principales caractéristiques du vieux pont Lachapelle lui conférant ce statut sont les suivantes :

- Pont d'importance historique pour la localisation, le concepteur et le constructeur. De plus, le site de l'ouvrage a été le théâtre d'un acte de la révolte des Patriotes de 1837 ;
- Pilastres ornementaux aux entrées du pont et détails architecturaux aux culées de style néoclassique ;
- Premier pont majeur au Québec où l'on retrouve le sous-système «Waddell's A» dans la poutre triangulée et structure construite par la méthode de l'encorbellement ;
- Assemblage riveté et ancienneté de l'ouvrage.

Actuellement, on dénombre au Québec 13 ponts à poutres triangulées en acier conçus pour être construits en encorbellement ou par la méthode dite «Cantilever». Selon les experts en ponts patrimoniaux, le «Cantilever» est davantage une méthode de construction qu'un type particulier de pont. Par contre, l'ingénierie actuelle apporte une nuance importante en qualifiant les ponts de «Cantilever» selon leur comportement structural en service.

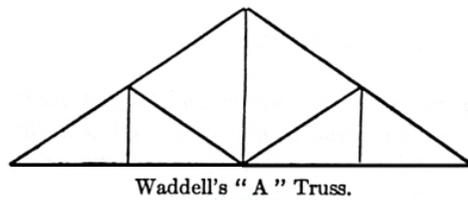


Figure 3 : Poutre «Waddel's A»

PRÉPARATION DU PROJET

En décembre 2003, la Direction Laval–Milles-Îles, gestionnaire de la partie structurale de l'ouvrage, confie à la Direction des structures le mandat de préparer les plans et devis de réparation de la charpente métallique du vieux pont Lachapelle. L'échéancier de conception et de réalisation en chantier est serré, les travaux d'une durée estimée à 4 mois devant se terminer en novembre 2004 afin de profiter des températures favorables au peinturage localisé de la charpente métallique et à la reconstruction des joints de tablier.

Les travaux recommandés à la Direction territoriale lors de la préparation du projet sont les suivants :

- La réparation et le peinturage de la charpente métallique aux nœuds inférieurs des poutres triangulées;
- La réparation des membrures inférieures;
- Le remplacement des diagonales d'extrémité (End Posts);
- Le remplacement des glissières et du trottoir amont et la démolition du trottoir aval;
- Le remplacement des appareils d'appui mobiles;
- Le renforcement de diagonales;
- Le remplacement de montants et diagonales;
- Le remplacement de joints de tablier et la réparation des garde-grèves aux culées.

Ces travaux ont été inclus à l'intérieur de l'appel d'offres à l'exception des interventions aux glissières et aux trottoirs qui ont été reportées à une phase ultérieure.

Contraintes liées au projet

Comme tout projet d'entretien, plusieurs contraintes limitaient les méthodes d'intervention des réparations à réaliser (circulation, horaire de travail, environnement, éléments existants, etc.). À cela s'ajoute le caractère patrimonial de l'ouvrage devant être respecté. Il fut donc convenu au début du projet d'éviter les renforcements disgracieux et de limiter les joints boulonnés à l'extérieur des nœuds de triangulation existants.

Les deux ponts Lachapelle permettent de traverser la rivière des Prairies sur la route 117 avec six voies de circulation. Le vieux pont est à sens unique en direction Nord. Plus de 38 000 véhicules empruntent l'ouvrage chaque jour en moyenne. Le fort débit de circulation a donc forcé les autorités à limiter le nombre de fermetures de voies lors des travaux. Les trois voies pouvaient être fermées temporairement sur le pont entre les heures de pointes du matin et du soir, soit de 10h30 à 14h00. Lors des heures de pointes, au moins une voie de circulation devait être ouverte sur le pont. Par contre, 20 journées de fermeture complète du pont étaient accordées à l'entrepreneur.

La rivière des Prairies est utilisée par plusieurs plaisanciers et la voie navigable est réglementée par la loi sur la protection des eaux navigables canadienne. Afin de conserver le gabarit sous le pont et de laisser un passage sécuritaire, aucun travail ne devait être exécuté au-dessus d'une section de voie navigable réduite. Les travaux à exécuter sous le tablier devaient donc être réalisés en deux phases distinctes selon les exigences de Transport Canada.

Les travaux étant réalisés en zone urbaine, des mesures particulières devaient être mises en place afin de limiter les impacts aux citoyens. La piste cyclable passant sous le pont et située sur la berge de Montréal devait demeurer ouverte en tout temps et des mesures devaient être prises afin d'assurer la sécurité des cyclistes entrant dans l'aire de travail.

Le bruit engendré par les ciseaux pneumatiques et autres équipements utilisés lors des opérations de remplacement de rivets par des boulons est très important et son intensité atteint près de 100 dBA à 15 mètres de la source. Les règlements municipaux interdisant le travail entre 22 h et 7 h les jours de semaine s'appliquaient donc à la réalisation des travaux et ont été inclus aux documents d'appel d'offres.

Relevés des dommages

Malgré diverses interventions déjà réalisées à la charpente métallique de l'ouvrage, celui-ci a été jugé en mauvais état lors des relevés de dommages de 1998 et 2003 et des dernières inspections générales. Les contreventements verticaux supérieurs ont été rehaussés et modifiés en 1955 afin de permettre le passage de véhicules à gabarit supérieur. Lors du remplacement de la dalle mince du tablier en 1965, quelques rivets ont été remplacés par des boulons et des pièces de renfort ont été installées afin de palier à des perforations localisées. Dans les années 1990, le peinturage complet de l'ouvrage a été réalisé, mais aucune pièce n'a été remplacée.

Comme la plupart des structures à tablier inférieur, les principales pertes de sections et perforations observées à la charpente métallique se situaient au niveau des nœuds inférieurs des poutres. Les pièces assemblées à ces nœuds sont illustrées à la figure 4. Les sels de déglçage accèdent à ces pièces par les ouvertures localisées de la dalle du trottoir au-dessus des nœuds. De plus, la géométrie des différents goussets d'assemblage accentue le dépôt d'abrasifs chargés de fondants et ne permet pas l'assèchement par le vent des pièces d'acier. Ces nœuds sont aussi difficiles d'accès pour le nettoyage préventif étant donné la position des trottoirs, en porte-à-faux.

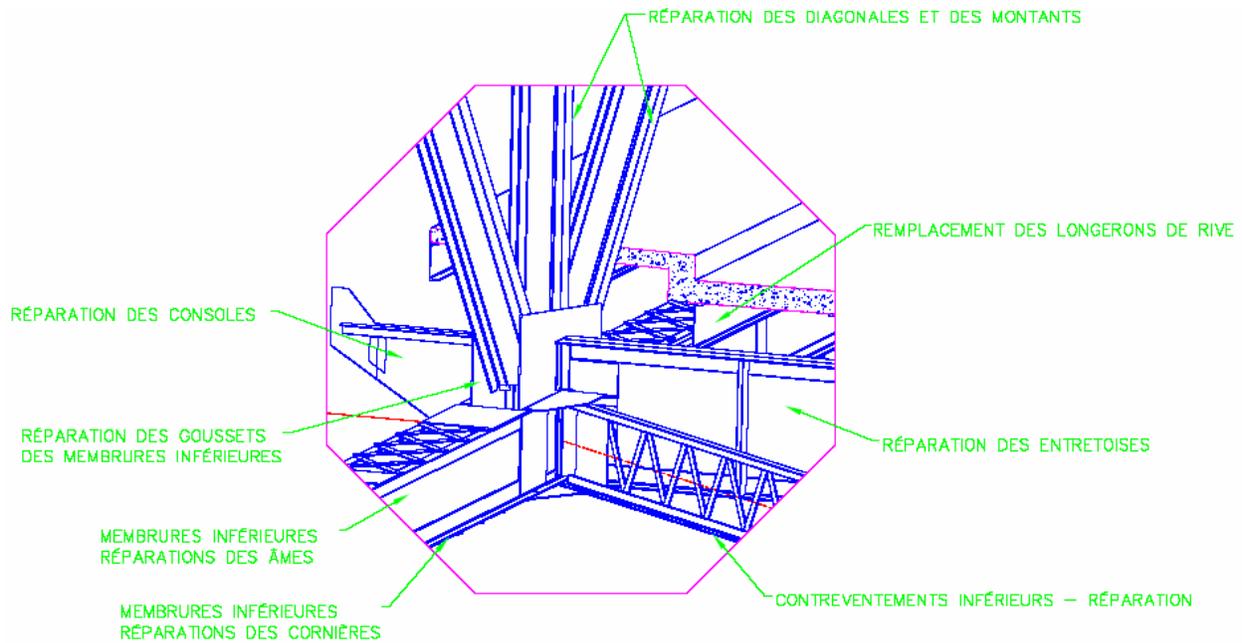


Figure 4 : Nœuds d'assemblage inférieure

Un autre type de défaut caractérisant ce type de structure est la formation de strates de rouille à la jonction de différentes pièces entraînant la déformation plastique de l'acier. Ce défaut est appelé communément «Pack Rust» peut être observé à la jonction de plaques et de cornières. Pour les membrures inférieures, la corrosion a entraîné la déchirure de certaines plaques d'âme tandis que pour les diagonales ou montants, ce sont les cornières qui ont voilé. Les déformations maximales mesurées étaient d'environ 25 mm. En fonction de l'espacement des rivets, les déformations unitaires calculées « ϵ » étaient de 10 à 25 fois supérieur à la déformation unitaire élastique de l'acier « ϵ_y ».

Ces contraintes additionnelles permanentes très localisées peuvent être comparées aux contraintes résiduelles après soudage. Elles ne diminuent pas la résistance des pièces en fatigue car les écarts de contraintes dans les pièces au passage des surcharges routières sont inchangés. Par contre, ces contraintes peuvent provoquer rapidement la rupture d'une pièce après le début de la fissuration. Ils ont aussi une très faible incidence sur la capacité portante de l'ouvrage. Par contre, plusieurs de ces pièces ont été remplacées afin de permettre l'assemblage étanche des joints boulonnés de nouveaux éléments.

Les rouleaux des appareils d'appui existants devaient être remplacés afin de permettre au pont d'avoir un meilleur comportement aux effets thermiques. Une conséquence du blocage des appuis a été la fissuration complète de certains raidisseurs d'attache des longerons aux entretoises. Des travaux immédiats en 1998 ont suivi l'observation de ces défauts et consistaient à installer de nouvelles consoles d'appui.



Figure 5 : Dessous du tablier

Types d'acier

Deux types d'acier ont été utilisés lors de la fabrication originale des poutres triangulées. Un acier de type A7 «Carbon Steel» et un acier de type A94 «Silicon Steel», communément combinés lors de la fabrication d'ouvrages d'art d'envergure. L'acier de type A7 est un acier soudable à faible teneur en carbone et à résistance élevée qui fut normalisée la première fois en 1901. La norme d'origine spécifiait une limite élastique minimale de 228 MPa (33 ksi). L'acier de type A94 fait partie du groupe d'acier spécialisé où la résistance très élevée était obtenue au profit d'une diminution de la soudabilité. La norme d'origine de 1925 indiquait une limite élastique minimale de 300 MPa (45 ksi). Différentes pastilles d'acier ont été prélevées avant et pendant les travaux afin de statuer sur la soudabilité et la résistance. Les résultats moyens obtenus en laboratoire sont présentés au tableau 1.

Tableau 1 : Résultats des essais effectués selon les spécifications de CAN/CSA-G40.21

Analyse		Carbon steel A7	Silicon steel A94
Limite d'élasticité (MPa)		275	355
Contrainte à la rupture (MPa)		490	650
Allongement à la rupture (%)		27	27
Résilience à -20 °C (Joules)		3	3
Analyse chimique	Carbone (%)	0,12	0,37
	Manganèse (%)	0,36	0,88
	Silicium (%)	0,01	0,31
Équivalent carbone		0,20	0,53

Un acier de nuance 300 W a été exigé aux plans et devis. Par contre, des aciers de nuance 350W et A-588 ont été utilisés par les fournisseurs étant donné leur plus grande disponibilité. Ils ont des caractéristiques équivalentes et même supérieures à ceux présents sur l'ouvrage et analysés.

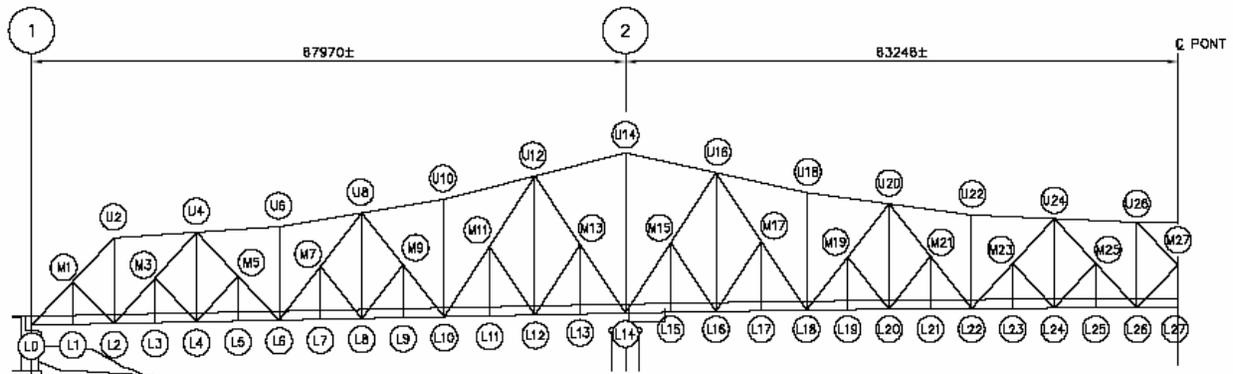


Figure 6 : Numérotation des nœuds

Évaluation de la capacité portante

L'évaluation de la capacité portante de l'ouvrage a été réalisée conformément aux procédures établies à la Direction des structures. L'inspection d'évaluation a permis de valider les dimensions des éléments structuraux indiqués aux plans de construction de la Dominion Bridge et de relever les dommages pouvant affecter leur capacité. La modélisation des poutres triangulées et les calculs de capacité portante ont suivi les exigences du chapitre 14 de la norme S6-00.

Les résultats de l'évaluation ont démontré des faiblesses au niveau de certaines diagonales (L0-M1, L10-U8 et L6-M5). L'affichage du pont pour les véhicules en surcharge a donc été recommandé à la Direction territoriale. Les facteurs moyens de capacité de surcharge «F» pour les différents types de membrures sont présentés au tableau 2.

Tableau 2 : Facteurs « F » en fonction du type de membrures principales

Type de membrure	F moyen
Membrure inférieure	1,60
Membrure supérieure	2,00
Diagonales	1,80
Verticales	3,20

Comme on peut le constater par les valeurs élevées de capacité, la méthode de calculs aux contraintes admissibles d'origine demeure très sécuritaire pour ce type d'ouvrage même si les charges de calcul utilisées à l'époque étaient inférieures à celles normalisées dans le code S6-00. Les contraintes limites indiquées aux plans d'origine et utilisées pour le dimensionnement sont de $0,45 f_y$ pour les pièces en compression et de $0,55 f_y$ pour les pièces en traction.

La capacité portante élevée de cet ouvrage a permis de limiter d'une part les membrures à réparer et l'utilisation de membrures temporaires lors des travaux de modification de la charpente métallique. Pour l'ensemble du projet, les séquences de remplacement ont été spécifiées aux plans et devis de même que les fermetures de voies correspondantes. Cette approche a permis de faciliter l'organisation et la surveillance du chantier.

PARTICULARITÉS DES TRAVAUX

Les travaux de près de 3,5 millions de dollars ont été réalisés par l'entrepreneur général Construction Interlag. Tous les travaux à la charpente métallique ont été réalisés par le sous-traitant Euler Construction tandis que le fabricant de la charpente était Charpentes d'acier Sofab de Boucherville.

Plus de 130 000 kg d'acier et 20 000 rivets ont été remplacés. Le tableau 3 compare les coûts reliés au remplacement de différents types de pièces sur l'ouvrage. Ces coûts incluent l'organisation de chantier, l'enlèvement et la mise au rebut des éléments remplacés et le remplacement de rivets par des boulons à l'exception des membrures inférieures.

Tableau 3 : Coûts unitaires associés au remplacement de différentes pièces

Pièces remplacées		Coût unitaire
Rivets		70 \$ / unité
Membrures inférieures	Rivets	60 \$ / unité
	Plaques et cornières	19 \$ / kg
Contreventements inférieurs		22 \$ / kg
Cornières des diagonales et montants		23 \$ / kg
Goussets des contreventements inférieurs		28 \$ / kg
Remplacement de longerons		12 \$ / kg

Méthodes de travail

Des passerelles d'accès et des plateformes de travail ont été installées à chacune des phases des travaux sous le pont. Les travaux ont été réalisés sous différents blocs de travail en fonction de la disponibilité des pièces et des restrictions imposées au devis. La plupart des éléments d'acier à remplacer devaient être inspectés par le surveillant et vérifiés au chantier par l'entrepreneur avant la fabrication. Aucun perçage n'a été réalisé en chantier et les pièces étaient livrées prêtes à être installées. Les éléments à remplacer n'étaient coupés ou enlevés qu'une fois la nouvelle pièce arrivée au chantier. Les rivets étaient par contre remplacés par des boulons temporaires, serrés à bloc, afin d'accélérer le remplacement.

La fabrication complète des pièces en usine a nécessité la production de plus de 200 plans d'atelier et une logistique technique très serrée. Les pièces situées sous le tablier du pont et, par le fait même, moins visibles par les usagers ont été galvanisées tandis que celles au-dessus de la surface de roulement ou du trottoir ont été peinturées en usine.



Figure 5 : Dessus du tablier lors des travaux

Boulons à tête ronde

Des boulons à tête ronde conforme à la norme ASTM F1852 et communément appelés boulons TC (tension contrôlée) ont été utilisés pour l'ensemble des modifications des pièces situées au-dessus des entretoises et des consoles. La tête de ces boulons s'apparente à celle d'un rivet. Des boulons galvanisés et en acier noir peints en chantier ont été utilisés.

En septembre 2002, suite à quelques mauvaises expériences en chantier, la Direction des structures a décidé de ne plus utiliser, sur les projets du Ministère, ce type de boulons. Les raisons évoquées étaient les suivantes :

- Protection difficile contre les saletés des boulons, écrous et rondelles en chantier ce qui favorisait la rupture prématurée de l'extrémité étoilée;
- Délai entre l'étape de serrage final et initial, affectant la tension finale obtenue;
- Mise en contact des plaques d'assemblage difficile lors du serrage à bloc.

Des exigences sévères sur l'entreposage des boulons, les essais de calibration et la mise en tension ont été spécifiés au devis. La pose des boulons a été calibrée selon les exigences de la norme S6-00 et les boulons ont été installés comme les boulons de type A325. Un serrage à bloc a été effectué à l'aide d'un équipement électrique standard. Par la suite, les écrous et rondelles ont été marqués et l'écrou a été serré au tiers de tour. L'extrémité étoilée a été brisée par l'outil spécialisé pour ce type de boulon une fois le serrage final réalisé.

Assemblage riveté

Ce type de pont comporte plusieurs assemblages complexes rivetés. Il importe pour le concepteur de bien connaître le type de rivets en place afin de statuer sur la faisabilité d'une méthode d'intervention. Certains rivets ont été mis en place en usine tandis que d'autres en chantier. Par exemple, des rivets peuvent aussi être à tête fraisée et, par conséquent, doivent être enlevés seulement lors du remplacement d'une pièce qui n'est pas nécessairement à remplacer.

Dans le cas du pont Lachapelle, plusieurs pièces ont été découpées afin de permettre l'enlèvement de certains rivets. Différents gabarits de marteau pneumatique ont été utilisés pour l'enlèvement des rivets. Certains rivets assemblant plus de 4 pièces différentes n'ont pas pu être enlevés mécaniquement et ont dû être chauffés au chalumeau sans endommager les pièces à conserver.



Figure 6 : Membrures inférieures réparées

Diagonales d'extrémité

Les quatre (4) diagonales d'extrémité du pont ont été remplacées complètement de l'appui au premier nœud de triangulation (L0 – M1). Ces travaux d'envergure ont nécessité l'installation de banc temporaire sous le premier montant afin de libérer les efforts de compression appliqués aux diagonales. Des profilés et plaques de dimensions similaires à ceux d'origine ont été utilisés et l'assemblage à la diagonale existante a été réalisé à l'intérieur du gousset d'assemblage entre les diagonales et le premier montant de façon à masquer le remplacement réalisé.



Figure 7 : Remplacement de diagonales d'extrémité

Membrures principales

Les membrures principales constituant les poutres triangulées ont été réparées en conservant la géométrie des éléments d'origine. Pour les membrures inférieures, les cornières étaient remplacées et des plaques étaient parfois boulonnées à l'âme. La découpe d'âme a aussi été nécessaire afin de remplacer des sections supérieures et inférieures perforées et déchirées par la rouille au dos des cornières. Ces travaux ont été réalisés avec minutie par l'entrepreneur et aucun endommagement en chantier n'a été observé.

Les diagonales et montants ont été réparés en remplaçant les cornières endommagées, en réparant localement les âmes perforées et en remplaçant complètement les membrures les plus endommagées.

Remplacement d'appareils d'appui

Un nouvel appareil d'appui a remplacé les rouleaux situés entre la plaque de base et le socle de rotation des appuis existants. Les socles existants sont des pièces d'acier coulé utilisées à l'époque pour les ouvrages d'envergure. À la pile 2, le diamètre du disque du nouvel appareil d'appui à élastomère confiné était de 660 mm afin de supporter des charges non pondérées de plus de 10 500 kN. Les travaux de levage ont nécessité à chaque appui quatre (4) vérins à double action de 500 tonnes de capacité chacun. Deux poutres de transfert massives étaient situées de part et d'autres de l'appareil d'appui à chacun des nœuds d'assemblage.



Figure 8 : Travaux de remplacement d'appareils d'appui

CONCLUSION

La réparation et l'entretien de ponts à valeur patrimoniale élevée en acier exigent de la part du concepteur la compréhension des matériaux et des techniques de fabrication d'origine. Des méthodes de réparation particulières et innovatrices doivent être conçues afin de conserver l'intégrité patrimoniale de la structure.

Le vieux pont Lachapelle a connu une première phase de restauration au niveau de la charpente métallique à l'automne 2004. Ces travaux de plus de 3,5 million de dollars ont été réalisés avec succès et peuvent servir de référence pour la réparation d'ouvrages similaires. Différentes interventions devront être programmées au courant des prochaines années afin que le pont conserve sa vocation routière urbaine. On parle ici de remplacement des trottoirs, de réparation des éléments de fondation et du remplacement des glissières.

Je tiens en terminant à remercier M. Jean Lefrançois de la Direction des structures pour l'évaluation patrimoniale et les informations relatives à la nouvelle orientation ministérielle, M. Yvan Boisjoly de la Direction Laval-Milles-Îles pour la fourniture des données du chantier, M. Nicolas Fauchon, de la Direction des structures pour l'évaluation de la capacité portante et M. André Godbout de la Direction des structures pour les différents relevés de dommages. Remerciements aussi à M. Jacques Prévost de la Direction des structures et à M^{me} Julie Hardy pour la révision de cet article.