

NETTOYAGE AUX ABRASIFS ET PEINTURAGE DU PONT JACQUES-CARTIER,
UN BILAN APRÈS 15 ANNÉES DE TRAVAUX ET PLUS DE 40 M\$ D'INVESTISSEMENTS

Guy Mailhot, ing., Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée
Glen P. Carlin, ing., Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée

Exposé préparé pour
la séance sur les Innovations en matière de génie des ponts

du congrès annuel de 2004 de
l'Association des transports du Canada
à Québec (Québec)

Du 19 au 22 septembre 2004

RÉSUMÉ

Ouvert à la circulation en 1930, le pont Jacques-Cartier traverse le fleuve Saint-Laurent entre l'Île de Montréal et la Ville de Longueuil sur la Rive-Sud.

Le pont Jacques-Cartier est plus qu'un simple moyen de transport; le pont possède une valeur patrimoniale importante pour les Montréalais et sa silhouette fait partie intégrante de l'image de Montréal.

La superstructure de ce pont est constituée principalement d'une charpente en acier. L'ouvrage comporte cinq voies de circulation sur une longueur de plus de 2,7 km. La circulation annuelle sur ce pont est évaluée à environ 43 millions de passages, le classant ainsi parmi les ponts les plus achalandés au Canada et parmi les ponts les plus achalandés en Amérique du Nord au niveau de sa densité de circulation par voie.

Les effets combinés de son âge, de l'utilisation intensive des sels de déglacage depuis les années '60 et d'un système de drainage mal adapté aux conditions d'exposition de l'ouvrage, ont mené la Société, Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée, à entreprendre vers la fin des années '80, un programme exhaustif visant le nettoyage et le peinturage de l'ensemble de la structure métallique du pont. Le système de peinture retenu est un système moderne et performant à trois (3) couches, constitué de zinc-galvanique, de résine-époxydique et d'uréthane.

Ayant une superficie totale d'acier à peindre de plus de 400 000 m², l'investissement de 48M\$ (en dollars CDN 2003) requis pour réaliser un cycle complet d'entretien du système de peinture représente l'un des plus importants programmes de peinture jamais entrepris sur un pont au Canada.

Cette communication décrit, dans ses grandes lignes, le programme de nettoyage et peinturage entrepris sur cet ouvrage. La communication décrit notamment le type de système de peinture retenu et les exigences techniques pour la mise en place d'un système de peinture offrant une protection de grande durabilité dans le contexte d'un climat difficile et en présence de conditions d'exposition sévères.

Les difficultés techniques liées aux opérations de nettoyage et de peinturage de même qu'aux activités visant l'installation des dispositifs d'accès, les enceintes et les systèmes de ventilation, la préparation des surfaces et le confinement des résidus de décapage, ainsi que les travaux d'application du système de peinture sont également discutés.

Cette communication présente de plus les mesures imposées par le donneur d'ouvrage afin d'assurer en tout temps la protection de l'environnement et de la santé des ouvriers travaillant dans ce domaine d'activité particulièrement difficile et exigeant.

Des données sur les différentes interventions en matière de peinturage et de nettoyage effectuées sur ce pont depuis son inauguration, ainsi qu'un bilan à l'égard de la performance du système moderne mis en place il y a 15 ans sur les premières travées peinturées en 1989 sont également présentés.

Finalement, un résumé de l'historique des coûts associés au programme de nettoyage et de peinturage en termes de dollars par m² de surface d'acier traitée, évalués à partir de 27 contrats distincts réalisés sur ce pont depuis 1989 est fourni. Ces données peuvent être particulièrement

utiles pour les gestionnaires de grands ponts en acier dans le but d'élaborer des estimations budgétaires ou pour réaliser des analyses économiques en considérant les coûts globaux sur le cycle de vie.

HISTORIQUE DES INTERVENTIONS

La construction du pont a débuté en mai 1925 avec l'octroi d'un premier contrat pour la construction des piles en béton de l'approche sud. La construction de la superstructure en acier a débuté avec l'octroi le 25 octobre 1925 d'un contrat de 6 954 000 \$ au plus bas soumissionnaire *Dominion Bridge Company Limited*. La soumission de cette entreprise était fondée sur la base de 33 267 tonnes d'acier à peindre (Réf. 1).

Selon les documents de l'époque décrivant les travaux de construction, 38 642 litres de peinture furent requis pour couvrir, d'une couche, l'ensemble de la charpente de l'ouvrage. Le système de peinture utilisé à l'origine était une peinture à base de plomb de type « linseed / red lead paint », soit un type de peinture très commun à l'époque en Amérique du Nord et utilisé fréquemment sur les ponts jusqu'en 1950.

Le pont à trois voies fut ouvert à la circulation le 14 mai 1930 et lors de l'inauguration officielle le 24 mai 1930, on lui donna le nom de *pont du Havre* jusqu'en 1934 où il fut rebaptisé *pont Jacques-Cartier*.

Les rails de tramway installés dans les voies extérieures du pont n'ayant jamais servi, ont été graduellement remplacés par des voies de circulation. La quatrième voie de circulation fut ouverte en juin 1956, alors que la cinquième voie fut ouverte en juin 1959.

En 1958 et 1959, un exploit en terme d'ingénierie fut accompli lorsque le pont fut rehaussé de 40 à 120 pi. (36,5m) entre les piles 9 et 10, de manière à fournir un nouveau tirant d'air pour permettre le passage des navires dans la Voie Maritime du Saint-Laurent alors en construction.

La rampe aval du pont à la hauteur de l'Île Sainte-Hélène fut construite en 1961 en prévision de l'exposition internationale de Montréal (Expo 67).

En 1978, un programme de peinture fut entrepris afin d'améliorer l'état du revêtement anti-corrosion du pont à l'endroit de la travée principale et des travées des approches nord et sud du pont. À cette fin, deux contrats distincts totalisant 2,4 M\$ furent adjugés à un même entrepreneur pour effectuer des travaux de nettoyage manuel de la surface, sans enlever la peinture existante (« *hand tool scraping, wire brushing and cleaning* ») et l'application manuelle de la peinture en interdisant l'utilisation de pistolets.

Dans le cadre d'un programme d'intervention initié par L'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent, des travaux de peinture sélectifs furent initiés en 1982 afin de tenter de prolonger la vie utile du système de peinture déjà en place et de ralentir les dommages engendrés à la structure d'acier par l'action des sels de déglacage. Entre 1982 et 1988, environ huit contrats, totalisant plus de 4 M\$, furent adjugés pour effectuer divers travaux de nettoyage et de peinture sélectifs, c'est-à-dire des travaux de peinture ciblés sur des éléments spécifiques qui semblaient être les plus affectés par la corrosion du métal selon les inspections.

En 1989, ce programme de peinture à caractère sélectif, utilisant différentes méthodes de nettoyage (jets d'eau sous pression, jets de sable humide, jets de sable à sec), fut abandonné en faveur d'un programme ambitieux visant le nettoyage aux jets d'abrasifs et le peinturage au complet de travées dans des enceintes hermétiques. Ces travaux étaient devenus nécessaires afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage et de conserver sa valeur patrimoniale. Le nouveau programme, initié en 1989, avait comme objectif au départ de compléter les travaux de peinture sur un cycle de 10 ans. Toutefois, en raison de coûts beaucoup plus importants que prévus au moment du lancement du programme, les travaux ont été échelonnés sur une période de 17 ans et les dernières parties du pont seront complétées en 2006 et 2007, soit après les festivités entourant le 75^e anniversaire du pont en 2005.

Tel que démontré au Tableau I et à la Figure 1, le programme de nettoyage et de peinturage du pont est complété à 94% et les coûts associés au programme sont présentement de l'ordre de 46 M\$ (en dollars 2003). Le coût total du programme d'intervention est évalué à plus de 48 M\$.

Les deux principaux facteurs qui expliquent l'augmentation des coûts reliés aux travaux de peinture depuis le milieu des années 80 sont les coûts reliés à la protection de l'environnement, en obligeant l'entrepreneur à confiner les travaux et à traiter adéquatement les résidus, ainsi que les coûts associés à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'OUVRAGE

La partie métallique de l'ouvrage mesure 2,7 km entre la culée de béton située sur l'île de Montréal et la culée située sur la Rive-Sud à Longueuil (Fig. 1).

La travée principale (Fig. 2), la partie la plus imposante de l'ouvrage, mesure 590,4 m centre à centre des piles d'ancrage. La travée principale est constituée d'une structure en acier de type cantilever et comprend deux fermes à tablier inférieur « *through truss* » composées d'éléments triangulés en forme de K et regroupe deux travées d'ancrage de 128 m, deux travées cantilever de 108 m et une travée centrale suspendue de 115,4 m.

Les travées des approches nord et sud du pont sont des travées à poutres triangulées (fermes) en acier à tablier supérieur « *deck truss system* ». Ces travées représentent environ 67% de la longueur totale de l'ouvrage. De façon générale, les travées de l'approche nord sont supportées par des tours en acier (Fig. 3), alors que les travées de l'approche sud sont supportées par des piles en béton.

Le tablier du pont fut remplacé au complet en 2001 et 2002 par un système de tablier intégral composé d'éléments préfabriqués en béton haute performance (60MPa), dont les panneaux furent post-tensionnés dans les deux sens longitudinaux après leur installation sur le pont (Réf. 2 et 3). Le remplacement du tablier original, composé d'une dalle de béton (non composite) sur des longerons d'acier, a permis, en raison de l'élimination des longerons d'acier originaux, de réduire la superficie totale d'acier à peindre d'environ 70 000 m², soit 18 % de la superficie totale de l'acier.

À l'emplacement de la travée principale, le tablier se trouve à environ 49,4 m au-dessus du niveau du fleuve alors que le sommet du pont, marqué par la présence de quatre tourelles, se trouve à environ 54,6 m au-dessus du tablier, soit 104 m au-dessus du niveau du fleuve.

PERTINENCE D'INTERVENIR

En 1990, une inspection détaillée de l'ensemble de l'ouvrage indiquait que le système de protection d'acier était déjà dans un état médiocre ou déficient sur la majorité des composantes de l'ouvrage.

Qui plus est, plusieurs composantes de l'ouvrage avaient déjà subi une perte significative de métal due à la corrosion, incluant des perforations de l'acier notamment aux endroits où se trouvent les éléments de contreventement, les poutres transversales et les consoles. Selon les informations disponibles en 1990 relatives à l'état de l'ouvrage, la Société accusait un retard de plusieurs années à l'égard de l'entretien du système de revêtement anti-corrosion et un investissement important s'imposait pour redresser la situation.

Quelques exemples des dommages à l'acier dus à la corrosion, témoignant de l'importance d'intervenir sur cet ouvrage, sont présentés aux Figures 4a, 4b et 4c. Afin de corriger la situation et dans le but de préserver l'intégrité structurale de l'ouvrage, la Société a orienté son programme d'intervention sur la base des principaux critères et objectifs suivants :

- instaurer un programme soutenu et bien planifié dans le temps;
- ajuster/adapter le programme d'intervention en fonction de la main-d'œuvre qualifiée et disponible dans le domaine spécialisé des travaux de nettoyage et de peinture;
- recourir à un système de peinture pouvant offrir un rendement supérieur en termes de performance et de durée de vie du système, compte tenu des coûts importants associés à l'installation des dispositifs d'accès et des enceintes;
- cibler les zones à peindre en fonction de leur niveau d'exposition et du degré de détérioration de l'acier et du revêtement, tout en suivant une programmation efficace en termes de progression des travaux. À titre d'exemple, les parties supérieures de la travée principale furent planifiées à la fin du programme car ces parties sont peu ou pas exposées aux sels de déglçage;
- favoriser les travaux de peinture dans un premier temps, quitte à devoir repasser derrière dans une phase subséquente afin d'entreprendre des travaux de réparations de l'acier;
- jumeler les travaux de peinture avec un programme exhaustif et détaillé visant à relever les détériorations de l'acier;
- maintenir un programme d'inspections annuelles du pont consistant en une inspection complète de l'ouvrage à chaque année et à des inspections détaillées de sections spécifiques sur un cycle de quatre ans.

SYSTÈME DE PEINTURE RETENU

Une revue des pratiques et des tendances nord américaines en matière de nettoyage et de peinture des ponts au milieu des années 1980 a amené la Société à retenir le système de peinture suivant :

- système à trois (3) couches, constitué d'un revêtement zinc-galvanique / résine époxydique / uréthane;
- nettoyage au préalable de l'acier par jets de sable de façon à ce que les surfaces nettoyées soient conformes à la norme « *Surface Preparation Specification N° 5 (SSPC-*

SP5) » du « *Steel Structures Painting Council, White Metal Blast Cleaning, Visual Standards SSPC-VIS-1-89* » (Réf. 4);

- exécution des travaux à l'intérieur d'enceintes hermétiques afin de récupérer la presque totalité des résidus découlant des travaux de nettoyage.

Le système de peinture utilisé aujourd'hui est essentiellement le même que celui utilisé pour peindre les premières travées en 1989, à l'exception de certaines modifications et améliorations qui furent apportées au système, telles que :

- l'identification d'un poste de paiement spécifique au Tableau des prix visant l'application d'une couche de renfort au pourtour des plaques et autour de la tête des rivets et des têtes des boulons et des écrous;
- la permission de remplacer le nettoyage par jets de sable par un nettoyage aux jets d'abrasifs, afin de favoriser l'utilisation d'abrasifs autres que le sable, de manière à réduire l'exposition des ouvriers à la silice libre.

Le système de peinture exigé par la Société en 2003 et 2004 ainsi que les exigences relatives à l'exécution des travaux et aux matériaux utilisés par les entrepreneurs, sans possibilité de substitution, sont décrits ci-après. Dans l'application du système, la couleur de chaque couche est différente de manière à faciliter l'inspection.

MATÉRIAUX ET ÉQUIPEMENT

L'apprêt du système est un zinc inorganique (Type I) conforme aux spécifications *SSPC-Paint 20 Zinc-Rich Coating, Type I – Inorganic and Type II – Organic* ou un zinc inorganique de type I, Niveau 2, conforme aux spécifications *SSPC-Paint 29 Zinc Dust Sacrificial Primer, Performance – Based* du « *Steel Structures Painting Council* ». Les apprêts des fournisseurs suivants répondent à ces exigences :

- Carbozinc 11, fourni par Stoncor Group.
- Interzinc 22, fourni par Peinture Internationale.
- Catha-Coat 304, fourni par Devoe Coatings.
- Zinc Clad II ETHYL SILICATE Inorganic Zinc-Rich, fourni par Sherwin-Williams.
- Dimetcote 9, fourni par Ameron Canada Incorporée.

L'entrepreneur est tenu d'appliquer une peinture époxydique à 2 composants pour la couche intermédiaire et la couche de renfort. Cette peinture doit provenir du même fabricant qui a fourni la couche d'apprêt.

Lorsque les températures sont au-dessus de 10°C (degrés Celsius), l'un des produits suivants doit être utilisé pour l'application et le durcissement de la couche intermédiaire et de la couche de renfort.

- Carboline 893, tel que fourni par Stoncor Group.
- Intergard 264 Series/FPA 327, tel que fourni par Peinture Internationale.
- Devran 224 HS, tel que fourni par Devoe Coatings.
- Macropoxy 646 Fast Cure Epoxy, tel que fourni par Sherwin-Williams.
- Amercoat 385, tel que fourni par Ameron Canada Incorporée.

La couche de finition doit être un acrylique-uréthane aliphatique à 2 composants et doit également provenir du même fabricant qui a fourni la couche d'apprêt et la couche intermédiaire. Les surfaces à peindre et l'intérieur des enceintes doivent être maintenus simultanément à une température minimale de 5°C (Celsius) durant l'application de la couche de finition. Un des produits suivants doit être utilisé pour la couche de finition :

- Carboline 134, tel que fourni par Stoncor Group.
- Interthane 990HS, tel que fourni par Peinture Internationale.
- Devthane 369, tel que fourni par Devco Coatings.
- Sherthane 2K, tel que fourni par Sherwin-Williams.
- Amercoat 450HS, tel que fourni par Ameron Canada Incorporée.

La couleur de la couche de finition doit être la même que celle de la peinture existante sur le pont.

Tous les matériaux doivent être livrés au chantier dans leur contenant d'origine, fermé hermétiquement et portant sur l'étiquette le nom du fabricant et le numéro de lot, la marque, le type, la couleur et le numéro de la couleur, la date de remplissage du contenant, la quantité de peinture dans le contenant ainsi que la quantité et le type de solvants de dilution.

L'abrasif utilisé pour le décapage au jet doit être du sable de silice de Calibre 24 ou du « *Barshot 50* » de « *Barnes Environmental Inc.* » ou du « *Jetmag 30-60* » de « *Les Sables Olimag inc.* » ou un équivalent. L'entrepreneur doit alors faire approuver son choix par l'Ingénieur du projet. L'abrasif doit produire en moyenne une surface d'acier ne présentant pas d'irrégularités supérieures à 65 µm (micromètres) (2,5 mils).

Les diluants et les solvants utilisés doivent être conformes aux exigences du fabricant de peinture. Tout l'équipement doit être conforme aux exigences minimales prescrites à la norme « *SSPC-PA-1, Shop, Field, and Maintenance Painting of Steel* » et à la norme « *SSPC-SP-5 / NACE N° 1, White Metal Blast Cleaning du Steel Structures Painting Council* ».

NETTOYAGE ET PEINTURAGE

Tous les éléments en acier à peindre doivent être nettoyés par décapage au jet d'abrasifs, de manière à enlever entièrement le sel, l'huile, la graisse, les poussières, la rouille non adhérente, les écailles de rouille, la rouille et la peinture existante et ce, de façon à ce que les surfaces nettoyées soient conformes à la norme « *Surface Preparation Specification N° 5 (SSPC-SP5/NACE No 1) White Metal Blast Cleaning, du Steel Structures Painting Council* », à la norme « *SSPC-VIS 1 Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning* ».

Immédiatement avant de peindre, l'entrepreneur doit faire disparaître des surfaces décapées toute particule non adhérente au moyen d'un jet d'air comprimé sec. Des outils mécaniques, tels que des marteaux à aiguille, ciseaux ou autre équipement doivent être utilisés de façon à enlever la rouille des crevasses ainsi que tout débris accumulé. Les conditions ambiantes à l'intérieur des enceintes, en ce qui a trait à la chaleur, l'éclairage, l'humidité et la ventilation, doivent être conformes aux exigences prescrites et aux recommandations du fabricant de peinture.

L'entrepreneur est tenu de peindre toutes les zones d'acier prescrites avec une couche d'apprêt de zinc inorganique de manière à produire une épaisseur minimale de feuillet sec de 65 µm (2,5 mils). La peinture doit être appliquée au pistolet par de multiples passes entrecroisées afin d'obtenir une épaisseur de film uniforme.

Suite à l'application de l'apprêt, l'entrepreneur doit appliquer au pinceau et/ou au fusil une couche de renfort de peinture époxydique à 2 composants sur les arêtes des membrures, rivets, boulons, écrous, rondelles et les zones de corrosion dans les crevasses qui sont situées entre les surfaces en contact sur les membrures renforcées par superposition. La couche de renfort doit être d'une largeur minimale de 40 mm. La Figure 5 illustre les exigences visées par la couche de renfort. Un poste de paiement spécifique est prévu au Tableau des prix de manière à assurer la réalisation de ces travaux.

La couche intermédiaire de peinture époxydique à deux composants est appliquée par la suite sur toutes les surfaces y compris les crevasses, rivets, boulons, écrous et rondelles ayant déjà reçu une couche époxydique appliquée au pinceau et/ou au fusil. La couche intermédiaire époxydique à deux composants doit avoir une épaisseur de feuillet sec d'au moins 150 µm (6 mils).

La couche de finition d'acrylique-uréthane aliphatique à 2 composants est appliquée en dernier lieu lorsque la peinture époxydique a durci. Cette couche doit avoir une épaisseur de feuillet sec d'au moins 50 µm (2 mils). L'entrepreneur est tenu d'appliquer la couche d'apprêt sur les surfaces à peindre dans les 6 heures qui suivront le nettoyage.

Immédiatement après l'application de chaque couche, l'entrepreneur doit prendre toutes les précautions nécessaires pour empêcher que de la poussière, des abrasifs ou toute autre substance étrangère ne tombent sur les surfaces fraîchement peintes.

La peinture doit être mélangée à fond et passée au tamis au moment de la transvaser dans les contenants de pistolets ou dans les pots de peinture. De plus, le zinc minéral doit être agité doucement et constamment au cours de l'application de manière à prévenir la sédimentation du pigment de zinc.

CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Les contraintes environnementales, notamment en ce qui a trait au confinement des abrasifs, l'accumulation et l'évacuation des rebuts et résidus découlant du processus de nettoyage des surfaces d'acier ont pour effet d'augmenter de façon considérable le coût des travaux de peinture de l'ouvrage.

Selon les termes et conditions des contrats encadrant les travaux, les matériaux de rebuts résultant des travaux de nettoyage sont classés comme dangereux. Par conséquent, les entrepreneurs sont tenus d'évacuer tous les matériaux hors de la propriété de la Société conformément aux lois et règlements en vigueur en matière de protection de l'environnement.

Pour le pont Jacques-Cartier, chaque 100m² de surface d'acier devant être décapé aux jets d'abrasifs génère environ 3,4 tonnes métriques de rebuts (mélange de peinture à base de plomb et de sable ou abrasif). Le transport et le traitement de ces rebuts dans un site de

traitement conforme aux normes applicables représentent à eux seuls des coûts d'environ 12 \$/m².

La Figure 7 illustre l'ampleur des enceintes qui ont du être installées en 2003 à l'endroit de la travée principale du pont afin de confiner les opérations de nettoyage et de peinture. En plus de fournir un confinement aux particules projetées durant les opérations de nettoyage, de telles enceintes assurent un confinement des gouttelettes de peinture dispersées lors des travaux de peinture. Par ailleurs, un système de ventilation des enceintes est requis. Ce système doit permettre de créer une pression négative à l'intérieur des enceintes de manière à réduire les concentrations des contaminants se trouvant à l'intérieur et à minimiser les émissions des contaminants dans l'atmosphère extérieure.

Selon Reina et al. (Réf.5) et en fonction des catégories de confinement visés par le « *Steel Structures Painting Council, SSPC - Guide 6 - Guide for Containing Debris Generated during Paint Removal Operations* » (Réf. 6), les mesures prises pour assurer un contrôle optimal des émissions générées durant les opérations de nettoyage afin de minimiser les impacts sur l'environnement ont un impact très significatif sur les coûts totaux d'un projet. À titre d'exemple, dans le cadre d'une structure complexe et d'une grande hauteur comme le pont Jacques-Cartier, les coûts peuvent être majorés jusqu'à un facteur de 4 pour un contrôle optimal des émissions, par rapport aux mêmes travaux exécutés sans aucune protection. Dans le contexte d'un contrôle minimal des émissions, le facteur de majoration serait de 2,25.

SANTÉ ET SÉCURITÉ DES OUVRIERS / INSPECTEURS

Pour les donneurs d'ouvrages, les gérants de projets et la grande majorité des entrepreneurs, la santé et sécurité des ouvriers et celle des autres intervenants sur les lieux de travail demeurent une préoccupation constante. Malgré les responsabilités incombant aux entrepreneurs en vertu des clauses contractuelles ou des lois et règlements en vigueur, tels que le Code Canadien du travail (sécurité), la Loi sur la santé et sécurité du travail du Québec, la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), les donneurs d'ouvrages ont en tout temps un devoir d'assurer un environnement de travail sécuritaire à tous les ouvriers et personnes travaillant ou fournissant des services sur leurs propriétés.

Dans le but de répondre à cette obligation et aussi dans le but d'identifier toutes les activités pouvant faire l'objet d'une amélioration quelconque au niveau de la protection de la santé et de la sécurité des ouvriers, employés et autres intervenants affectés aux travaux de nettoyage et de peinture, la Société a mandaté en 1996 une firme spécialisée dans l'hygiène industrielle (Réf. 7) afin d'effectuer un audit spécial des travaux de nettoyage et de peinture en cours à ce moment sur ces structures, soit sur le pont Jacques-Cartier et le pont Champlain.

Le mandat confié à cette firme avait pour objectif d'évaluer les risques pour la santé des travailleurs lors de travaux de réfection des surfaces métalliques et de proposer des mesures visant à réduire les risques le cas échéant. Le mandat comportait entre autres :

- une visite des chantiers de peinture;
- une analyse des fiches signalétiques fournies pour les produits, l'identification des constituants et la sélection des contaminants devant faire l'objet d'échantillonnages;
- l'évaluation des niveaux d'exposition aux contaminants dans la zone respiratoire des travailleurs et des inspecteurs;

- l'évaluation des concentrations d'ambiance pour les mêmes contaminants par des échantillonnages fixes;
- l'évaluation des mesures préventives autant collectives que personnelles dont principalement la pertinence des équipements de protection respiratoire.

OBSERVATIONS DÉCOULANT DE L'AUDIT

Poussières totales :

Les activités de nettoyage des surfaces métalliques, à l'aide de jets de sable, génèrent inévitablement des quantités importantes de poussières totales et de silice libre respirable à des concentrations très supérieures aux niveaux moyens permis et pour lesquelles une protection respiratoire est obligatoire.

Poussières respirables :

L'utilisation de sable de silice pour les activités de nettoyage des surfaces par jet d'abrasifs génère dans l'air de la silice libre (quartz) présentant un risque majeur pour les poumons des travailleurs, considérant l'importance des concentrations retrouvées (de 6,0 à 46,5 mg/m³) par rapport à la concentration moyenne permise (0,1 mg/m³).

Poussières métalliques :

Le nettoyage par jets décape les surfaces métalliques de la vieille peinture et libère dans l'air ambiant des métaux tels que du fer, du zinc, du plomb et du chrome. Les concentrations retrouvées pour le fer, le zinc et le plomb dépassent considérablement les niveaux permis par la réglementation.

Une évaluation de l'exposition au zinc effectuée lors de l'application de la peinture d'apprêt (Zinc inorganique) a démontré cependant que les niveaux d'exposition sont demeurés inférieurs aux niveaux permis.

Solvants :

L'application de la couche d'apprêt et de la couche intermédiaire libère dans l'air ambiant les constituants volatils de la peinture, dont notamment du N-butanol, du toluène, du xylène et de l'éthylbenzène. Les concentrations mesurées, autant dans la zone respiratoire que dans l'air ambiant, sont demeurées inférieures aux niveaux moyens permis par la réglementation.

Isocyanates :

Les niveaux d'exposition des travailleurs lors de la pose de la couche de finition, contenant le diisocyanate d'hexaméthylène, sont de beaucoup supérieurs aux niveaux permis. L'interprétation des résultats par le spécialiste en hygiène industrielle a été effectuée en considérant les niveaux d'exposition permis pour les contaminants rencontrés dans le milieu de travail, selon le « *Règlement sur la qualité du milieu de travail* », le « *Règlement canadien sur la sécurité et la santé au travail* » et « *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Threshold Limit Volumes 95-96)* ». Ces normes réfèrent à des concentrations permises pour

lesquelles la majorité des travailleurs peuvent être exposés 8 heures par jour, 40 heures par semaine, sans présenter d'effets néfastes sur leur santé.

RECOMMANDATIONS DÉCOULANT DE L'AUDIT

À la lumière des observations effectuées sur les chantiers, les recommandations suivantes ont été formulées et intégrées au devis de la Société :

- voir à substituer le sable de silice par un abrasif exempt de silice libre (quartz), comme par exemple l'olivine synthétique;
- requérir le port de la cagoule à adduction d'air pour les travailleurs lors de l'opération de sablage procurant ainsi un facteur de protection de 1000 (Fig. 6);
- exiger un respirateur facial complet (facteur de protection de 100) et une protection vestimentaire appropriée lors de l'application de la couche d'apprêt, la couche intermédiaire et la couche de finition;
- prévoir une ventilation de l'espace clos à un taux minimum de 1 changement d'air à l'heure;
- prévoir une analyse, à tous les mois, de la qualité de l'air comprimé en raison des sources de contamination par les gaz de combustion des moteurs;
- prévoir un programme de surveillance médicale élaborée pour les travailleurs et inspecteurs (en pré-emploi et en cours d'emploi), notamment pour le silice, le plomb et l'isocyanate (HDI);
- interdire toute consommation d'aliments ou de fumer dans l'aire de travail;
- fournir des vêtements à être utilisés exclusivement sur les lieux de travail, considérant la présence de plomb et de silice libre.

La CSST publie un document particulièrement détaillé exposant la problématique entourant les travaux de décapage aux jets d'abrasifs et les mesures de prévention qui peuvent ou doivent être prises afin de réduire les risques pour la santé et la sécurité inhérentes à ces procédés (dont plusieurs sont compatibles avec celles formulées ci-dessous) (Réf. 8).

COÛTS DES TRAVAUX

A) HISTORIQUE DES COÛTS ET DONNÉES DE BASE

Tel que décrit précédemment, la Société a utilisé pour l'entretien de ses ponts essentiellement le même type de système de peinture depuis environ 15 ans.

Le Tableau I présente les données relatives aux coûts totaux des 27 différents contrats de nettoyage et de peinture effectués sur le pont Jacques-Cartier depuis 1989. L'emplacement des contrats est illustré à la Fig. 1. Sauf indication contraire, les sommes identifiées dans ce tableau représentent le montant final de chacun des contrats (montant de la soumission plus avenants au contrat, le cas échéant), incluant les taxes, soit la TPS (7% de janvier 1991 jusqu'à présent) et la TVQ (4% de juillet 1992 à mai 1994; 6,5% de mai 1994 à janvier 1998; et 7,5% depuis janvier 1998). Ces coûts comprennent l'ensemble des frais liés au contrat, incluant le coût des matériaux, les coûts visant la conception et l'installation des dispositifs d'accès et les

plateformes de travail, les enceintes, le nettoyage et l'application de la peinture, le contrôle de la circulation lors de l'installation des plateformes, les frais généraux, l'administration et les profits.

Les valeurs des contrats sont également exprimées en dollars indexés pour tenir compte de l'inflation (à partir de facteurs d'indexation appropriés au secteur de la construction dans la région de Montréal pour la période de 1989 à 2003). Finalement, le Tableau I présente une approximation des surfaces totales peinturées dans le cadre de chaque contrat et un prix unitaire correspondant au m² de surface traitée.

Le Tableau II présente des informations similaires pour les travées à fermes (poutres triangulées) du pont Champlain et du pont Honoré-Mercier (ouvrages appartenant à la Société et situés également dans la grande région de Montréal).

B) ESTIMATION DES COÛTS (DOCUMENTS DE RÉFÉRENCES)

Un traitement particulièrement exhaustif est fait au sujet de l'estimation des coûts des travaux de peinture par l'expert Clive H. Hare, dans un chapitre de son livre intitulé « *Painting of Steel Bridges & Other Structures* » (Réf. 9). Cette référence, quoiqu'un peu hors d'actualité en ce qui concerne les coûts (publiée en 1990), aborde le sujet aussi bien du point de vue de l'entrepreneur que du point de vue de l'ingénieur concepteur.

Le lecteur peut retrouver dans cette référence des données et des renseignements visant le coût de base des matériaux pour une multitude de systèmes de peinture, les rendements envisageables selon le type de peinture utilisée, les taux de production et les coûts associés à la main-d'œuvre pour les activités de nettoyage et de peinture ajustés en fonction du degré de nettoyage exigé, le type d'ouvrage et sa configuration.

Cette référence fournit également des prix unitaires pour l'ingénieur concepteur. À titre d'exemple, on retrouve des données spécifiques visant une structure complexe composée d'éléments en treillis devant être peinturés sur place.

On retrouve l'information suivante (en \$ US - prix de 1990), pour un système de peinture du type identique à celui employé sur le pont Jacques-Cartier :

A) Prix de base pour un nettoyage SSPC-5 :	1,90 \$ à 2,10 \$/pi ²
B) Prix de base du nettoyage majoré par un facteur de quatre pour tenir compte du degré de confinement des émissions ⁽¹⁾	7,60 \$ à 8,40 \$/pi ²
C) Prix pour le peinturage (système à trois couches)	
• zinc inorganique :	0,31 \$ à 0,37 \$/pi ²
• résine époxydique :	0,24 \$ à 0,30 \$/pi ²
• uréthane :	0,22 \$ à 0,28 \$/pi ²
D) Coût total (B+C) du système (\$ US-1990)	8,37 \$ à 9,35 \$/pi ²
E) Coût total (B+C) du système (\$ CA-2003) ⁽²⁾	13,36 \$ à 14,92 \$/pi ²
F) Coût total (\$/m ²) du système (\$ CA-2003)	143,80 \$ à 160,59 \$/m ²
G) Coût total (\$/m ²) selon la note 1 (\$ CA-2003)	114,14 \$ à 196,70 \$/m ²

(1) La référence mentionne un facteur de 3, 4 ou 5, selon le type de confinement exigé. Ce multiplicateur est applicable aux coûts visant le nettoyage. En considérant les deux extrêmes (facteurs de 3 et 5), nous obtenons pour B un prix majoré pour le nettoyage de 5,70 \$ à 10,50 \$/pi²; pour D un prix total de 6,47 \$ à 11,45 \$/pi² et pour G un prix total de 111,14 \$ à 196,70 \$/m².

(2) Un facteur de 1,12 est utilisé pour conversion de \$ US en \$ CA (incluant la TPS et la TVQ). Les facteurs d'indexation utilisés sont de 1,425 (\$ CA-1990 à 2003) et de 1,188 (\$ CA-1998 à 2003).

Reina et al., dans une communication intitulée « *Costing Considerations for Maintenance and Construction Coating Work* » (Réf. 5) présente des données complètes et une méthodologie d'évaluation des coûts destinées aux ingénieurs concepteurs ainsi qu'aux ingénieurs responsables de la sélection des systèmes de protection désirant effectuer des analyses des coûts globaux sur le cycle de vie.

L'approche retenue par ces auteurs consiste à utiliser des prix unitaires de base provenant d'entrepreneurs spécialisés dans le domaine visant des travaux de nettoyage et de peinture sur le site au niveau du sol, auxquels viennent s'appliquer des facteurs de majoration pour tenir compte des conditions particulières du projet, telles que le niveau de confinement et la hauteur de l'ouvrage. Outre les coûts, les auteurs présentent également des données sur la durée de vie utile d'une multitude de systèmes de peinture élaborés en fonction du type d'exposition.

Selon la méthodologie proposée, pour un ouvrage complexe de 50 à 100 pi (15,2 à 30,5 m) de hauteur, nous retrouvons :

A) Prix de base pour un nettoyage SSPC-5, Côte Est des États-Unis (1,27 \$/pi ²) majoré de 1,7 pour la récupération des abrasifs :	2,16 \$/pi ²
B) Application de la peinture (total des trois couches), matériaux exclus :	
• 1 ^{ère} couche : Zinc inorganique :	0,32 \$/pi ²
• 2 ^e couche : Époxy, H.B. Intermédiaire :	0,28 \$/pi ²
• 3 ^e couche : Uréthane (Aliphatique, Acrylique) :	0,31 \$/pi ²
C) Total (A+B) :	3,07 \$/pi ²
D) Total (A+B) majoré de 1,45 pour un ouvrage complexe de 50 à 100 pi de hauteur (1,45 X 3,07 \$/pi ²) :	4,45 \$/pi ²
E) Coût des matériaux (total des trois couches) :	
• 1 ^{ère} couche : Zinc inorganique :	0,19 \$/pi ²
• 2 ^e couche : Époxy, H.B. Intermédiaire :	0,16 \$/pi ²
• 3 ^e couche : Uréthane (Aliphatique, Acrylique) :	0,16 \$/pi ²
F) Total (D+E) :	4,96 \$/pi ²
G) Total (D+E) majoré de 1,3 pour les conditions existantes de la peinture, considérant « <i>Heavy paint breakdown, severe rusting</i> » (1,3 X 4,96 \$/pi ²) :	6,45 \$/pi ²
H) Total G, majoré de 2,0 pour un confinement classe IV, ouvrage complexe 50 à 100 pi de hauteur (2,0 X 6,45 \$/pi ²) :	12,90 \$/pi ²

En \$ CA (2003) :

I) Coût total du système (\$ CA-2003) :	17,16 \$/pi ²
J) Coût total (\$/m ²) du système (\$ CA-2003) :	184,70 \$/m ²

Les Tableaux I et II, ainsi que les exemples de calcul de prix budgétaire qui précèdent, permettent de constater :

- une grande variation dans le prix au m² de surface, malgré le fait qu'il s'agit d'un même type d'ouvrage, utilisant le même type de peinture et la même qualité de préparation de la surface;

- les paramètres, tels que le degré de confinement des résidus et la hauteur des travaux, ont un impact important sur les coûts;
- le coût des matériaux de peinture est très faible par rapport au coût total d'un projet, soit généralement inférieur à 10% du coût total (voir Fig. 8).

PRIX UNITAIRES PROPOSÉS

À partir des données identifiées aux Tableaux I et II et en tenant compte de l'influence des facteurs tels que la hauteur, le niveau de confinement et l'emplacement des travaux, les prix unitaires indiqués dans le Tableau III sont proposés, prix qui correspondent relativement bien avec les prix au m² obtenus sur un bon nombre de contrats.

PERFORMANCE DU SYSTÈME ET CONCLUSIONS

Tel que démontré dans les sections précédentes, les coûts associés aux travaux de nettoyage et de peinture pour un ouvrage complexe comme le pont Jacques-Cartier sont importants. En effet, pour les parties les plus hautes de l'ouvrage, le prix unitaire total peut excéder 350 \$/m². En contrepartie, le coût de base des matériaux de peinture (de l'ordre de 8\$/m²) sont très faibles par rapport au coût total des travaux.

Compte tenu du faible rapport entre le coût des matériaux et le coût total des travaux et considérant l'importance des coûts attribuables aux opérations visant l'installation des dispositifs d'accès et des enceintes, de même qu'aux opérations visant le nettoyage et le confinement des travaux, il est souhaitable de sélectionner un système de peinture performant et d'appliquer ce système sur une surface d'acier préparée de façon optimale. Ceci permet d'obtenir une durée de vie maximale du revêtement et, par conséquent, de réduire les coûts globaux sur le cycle de vie.

D'après Reina et al (Réf. 5), pour un système de peinture composé d'un zinc organique, d'une résine époxydique et d'une couche de finition à base d'uréthane, appliqué sur une surface nettoyée selon la norme « SSPC-10 – *Near White Metal* », la durée de vie d'un tel système peut atteindre 19,5 ans lorsque exposé à un milieu marin « *Seacoast Marine* », et 16,5 ans lorsque exposé à un environnement de type « *Seacoast Marine – Heavy Industrial* ».

À partir des données disponibles dans la littérature et des observations effectuées sur le système installé au pont Jacques-Cartier depuis 1989, notre Société planifie ses travaux à long terme en fonction d'une durée de vie de 25 ans du revêtement. D'ailleurs, une inspection des premières travées peinturées en 1989 effectuée par une firme de consultants en 2003, a permis de confirmer que le critère de durée de vie de 25 ans utilisé par la Société est approprié.

Finalement, compte tenu des investissements importants, il est rassurant pour la Société de constater que d'autres gestionnaires de grands ponts, tels que le *New Jersey Turnpike Authority* a récemment lancé deux appels d'offres totalisant 35 M\$ à 45 M\$ US pour le nettoyage et le peinture de 204 390 m² d'acier en faisant appel à un système zinc/époxy/uréthane appliqué sur une surface préparée « SSPC-10 *Near White Metal* ».

RÉFÉRENCES

1. Wilson, L.R., « Fabrication and Erection of the Superstructure of the Montreal South Shore Bridge », *Engineering Journal*, Dominion Bridge, Montréal, Québec, 1930.
2. Carlin, Glen P. et Mailhot, G., « Jacques-Cartier Bridge Re-decking Project », Association des transports du Canada, *Recueil des communications*, Congrès Annuel 2003.
3. Mailhot, G. et Zaki, A., « Deck Reconstruction of Jacques-Cartier Bridge Using Precast Prestressed High Performance Concrete Panels », *PCI Journal, Precast/Prestressed Concrete Institute*, Vol. 48, N° 5, September-October 2003.
4. Steel Structures Painting Council, *SSPC Painting Manual, Volume 2, Chapter 2 — Surface Preparation Standards, Guides and Specifications*, 8th Edition, Pittsburgh, Pennsylvania, 2000.
5. Reina, M.P., Shields, K.R. et Me Lampy, M.F., « Costing Considerations for Maintenance and New Construction Coating Work », *Paper No 509, Corrosion 98*, NACE International, 1998.
6. Steel Structures Painting Council, *SSPC Painting Manual, Volume 2, Chapter 9 — Technology Guides, SSPC-Guide 6, Guide for Containing Debris Generated During Paint Removal*, 8th Edition, Pittsburgh, Pennsylvania, 2000.
7. ECO-MED, « Rapport d'évaluation, Qualité du milieu de travail aux ponts Jacques-Cartier et Champlain », *Rapport interne de Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée*, janvier 1996.
8. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail, Direction de la prévention-inspection, *Guide Le décapage aux jets d'abrasifs*, Bibliothèque nationale du Québec, 1996.
9. Hare, Clive H., « Painting of Steel Bridges and other structures », *Bridge Series*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

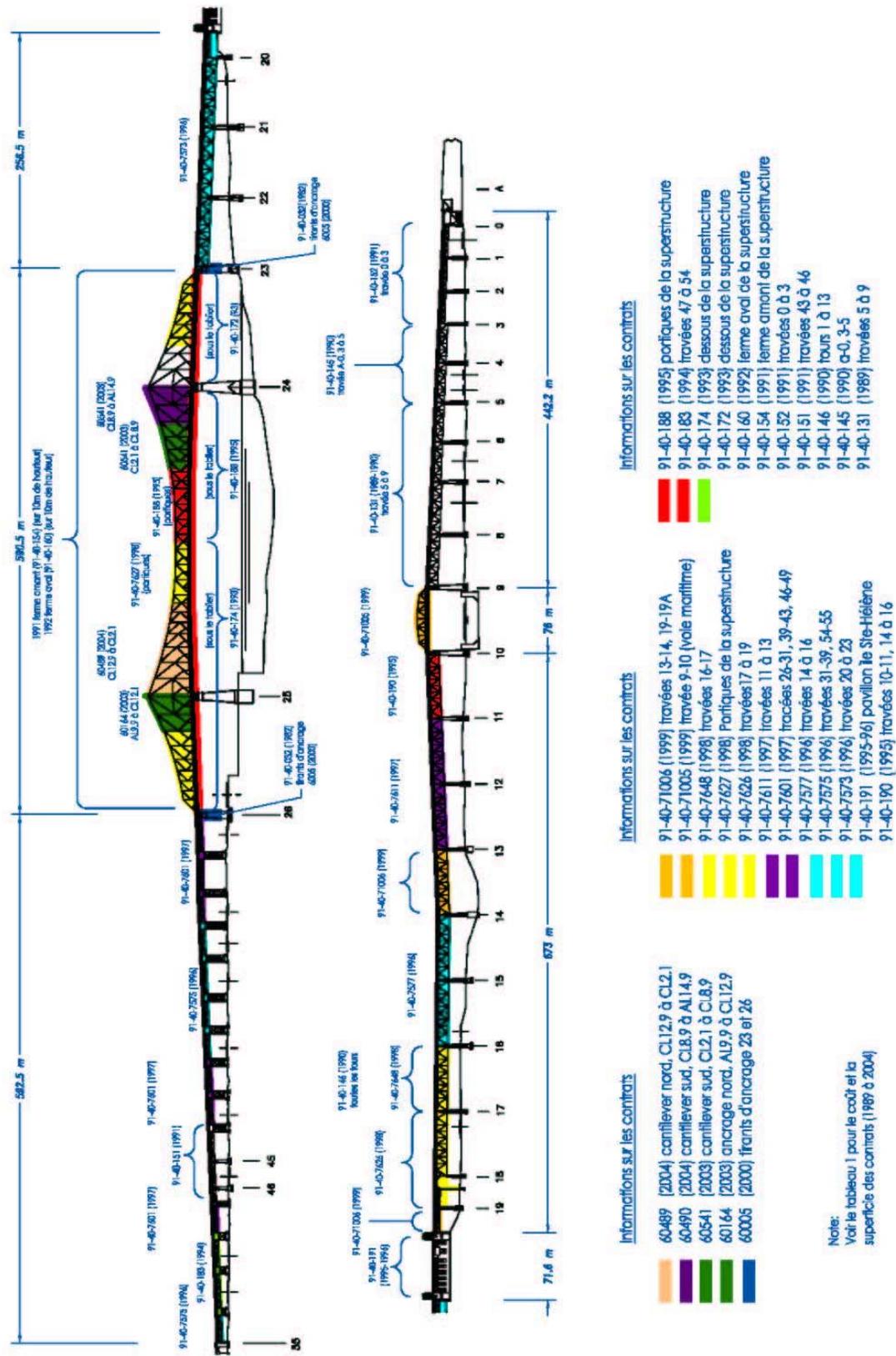




Figure 2 – Vue générale du pont incluant la travée principale



Figure 3 - Vue d'une tour en acier située à l'approche nord



Figure 4A – Écailles de rouille sur des éléments de contreventements



Figure 4B – Perte d'acier importante à l'endroit d'une console.

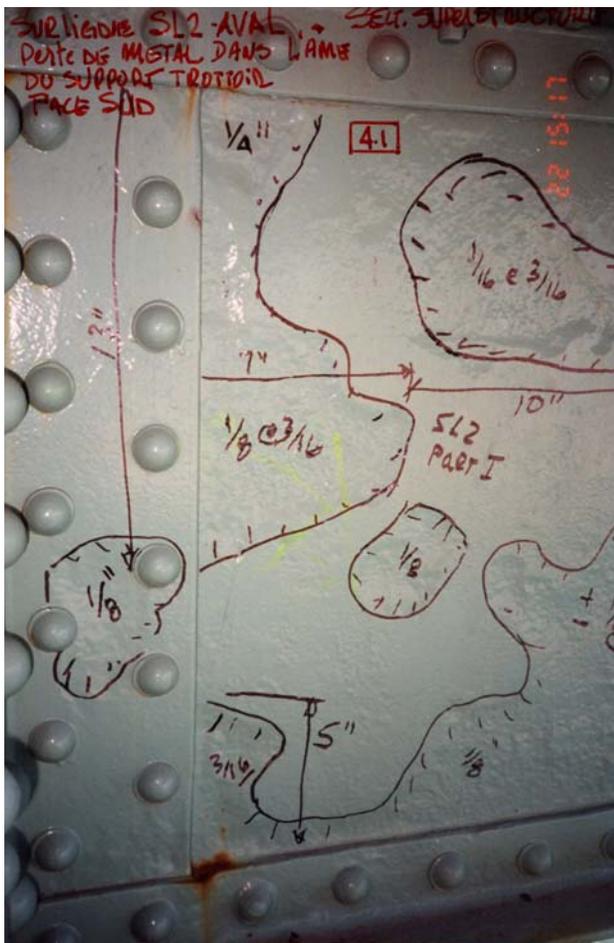


Figure 4C – Perte d'acier importante incluant un relevé in-situ des dommages

COUCHE DE RENFORT APPLIQUÉE AUTOUR ET SUR LES ARÊTES DES SEMELLES, DES ÂMES ET EXTRÉMITÉS DES PLAQUES, RIVETS, BOULONS ET ÉCROUS

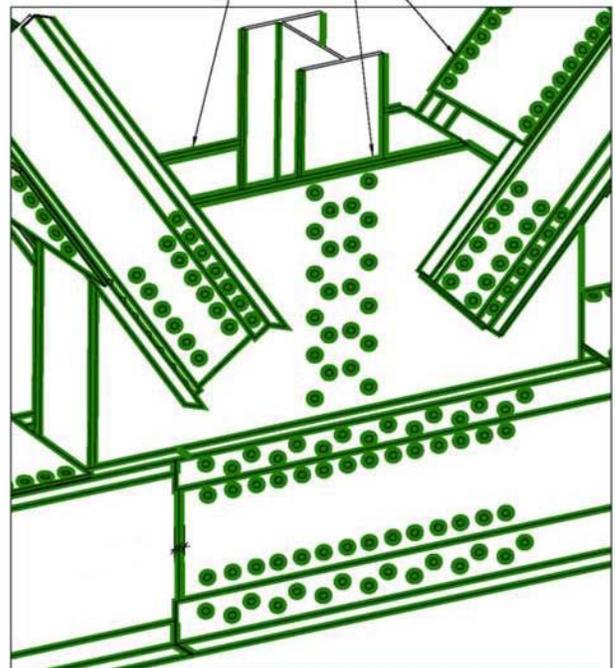


Figure 5 – Application de la couche de renfort



Figure 7 – Enceintes installées en 2003 pour des travaux de nettoyage et de peinture à l'endroit de la travée principale



Figure 6 – Cagoule à adduction d'air pour travaux de nettoyage

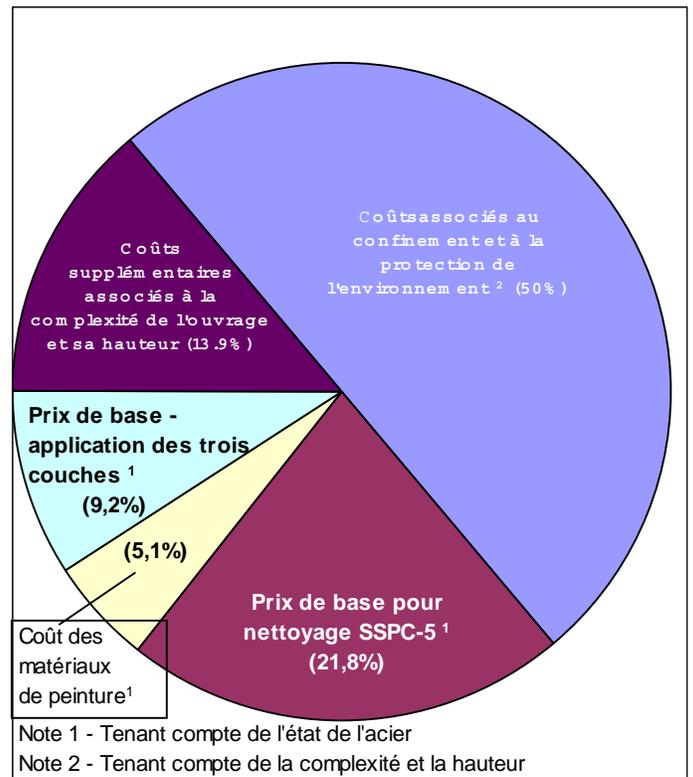


Figure 8 – Répartition des coûts des travaux

Tableau I - Résumé des coûts de nettoyage et de peinture du Pont Jacques Cartier (1989 - 2007)

Année	No. Contrat	Coût	Facteur Indexation	Coût Indexé (\$ 2003)	Superficie Peinturée (m2)	Prix unitaire Indexé (\$/m2)
1989	91-40-131	2,295,271 \$	1.510	3,465,859 \$	22808	152
1990	91-40-145	1,665,002 \$	1.425	2,372,628 \$	11777	201
1990	91-40-146	946,000 \$	1.425	1,348,050 \$	7995	169
1991	91-40-151	588,500 \$	1.358	799,183 \$	8793	91
1991	91-40-152	782,705 \$	1.358	1,062,913 \$	11409	93
1991	91-40-154	1,237,521 \$	1.358	1,680,554 \$	21196	79
1992	91-40-160	1,405,289 \$	1.301	1,828,281 \$	21196	86
1993	91-40-172	964,103 \$	1.300	1,253,334 \$	10000	125
1993	91-40-174	2,344,270 \$	1.300	3,047,550 \$	24685	123
1994	91-40-183	496,832 \$	1.305	648,366 \$	9413	69
1995	91-40-190 ¹	345,557 \$	1.195	412,941 \$	7995	52
1995	91-40-188	1,962,353 \$	1.195	2,345,012 \$	20927	112
1996	91-40-7577	1,506,132 \$	1.177	1,772,717 \$	15990	111
1996	91-40-7573	1,746,000 \$	1.177	2,055,042 \$	24078	85
1996	91-40-7575	1,233,958 \$	1.188	1,465,942 \$	15674	94
1997	91-40-7611	1,282,358 \$	1.188	1,523,442 \$	15990	95
1997	91-40-7601	1,487,561 \$	1.188	1,767,222 \$	23996	74
1998	91-40-7648	692,051 \$	1.188	822,157 \$	7995	103
1998	91-40-7626	1,079,678 \$	1.188	1,282,657 \$	12222	105
1998	91-40-7627	2,446,902 \$	1.188	2,906,919 \$	26905	108
1999	91-40-71005	1,132,082 \$	1.154	1,306,422 \$	8006	163
1999	91-40-71006	1,207,000 \$	1.154	1,392,878 \$	11010	127
2000	60005	203,138 \$	1.106	224,670 \$	1700	132
2003	60164	2,248,881 \$	1.000	2,248,881 \$	7900	285
2003	60541	1,556,742 \$	1.000	1,556,742 \$	3850	404
2004	60489	2,949,241 \$	1.000	2,949,241 \$	8100	364
2004	60490	2,167,922 \$	1.000	2,167,922 \$	8850	245
Total 1990 - 2004		37,973,049 \$		45,707,527 \$	370461	123
2005	60521	400,000 \$	1.00	400,000 \$	N/D	N/D
2006	91584	1,660,000 \$	1.00	1,660,000 \$	N/D	N/D
2007	60521	500,000 \$	1.00	500,000 \$	N/D	N/D
Total Futur 2005 - 2007		2,560,000 \$		2,560,000 \$	N/D	N/D

Note 1 - Contrat non complété (faillite de l'entrepreneur)

Tableau II - Résumé des coûts de nettoyage et de peinture - Pont Champlain et Pont Honoré-Mercier (1994-2004)

Année	No. Contrat	Coût	Facteur Indexation	Coût Indexé (\$ 2003)	Superficie Peinturée (m ²)	Prix unitaire Indexé (\$/m ²)
Pont Champlain ⁽¹⁾						
1994	92-40-293	875,774 \$	1.305	1,142,885 \$	5,307 m ²	215 \$/m ²
1995	92-40-313	1,181,644 \$	1.195	1,412,065 \$	5,847 m ²	242 \$/m ²
1996	92-40-8604	943,604 \$	1.177	1,110,622 \$	9,390 m ²	118 \$/m ²
1997	92-40-8653	476,584 \$	1.188	566,181 \$	1,265 m ²	448 \$/m ²
1999	92-40-71017	2,330,407 \$	1.154	2,689,289 \$	10,675 m ²	252 \$/m ²
2000	92-40-71039	2,131,183 \$	1.106	2,357,089 \$	9,941 m ²	237 \$/m ²
2001	60148	1,469,780 \$	1.077	1,582,953 \$	7,486 m ²	211 \$/m ²
2003 2004	60454	1,477,956 \$	1.000	1,477,956 \$	6,732 m ²	220 \$/m ²
2003	60544	2,495,927 \$	1.000	2,495,927 \$	10,605 m ²	235 \$/m ²
2004	60557	1,200,000 \$	1.000	1,200,000 \$	4,488 m ²	267 \$/m ²
Total 1994 - 2004		14,582,859 \$		16,034,967.54 \$	71,736 m²	224 \$/m²
Pont Honoré-Mercier						
1999	93-40-78790	724,076.00 \$	1.154	835,583.70 \$	7,001 m ²	103 \$/m ²
2000	93-40-71037	1,319,601.31 \$	1.106	1,459,479.05 \$	6,256 m ²	211 \$/m ²
2001	93-40-71044	1,208,922.00 \$	1.077	1,302,008.99 \$	9,533 m ²	127 \$/m ²
2003	60332	1,105,385.65 \$	1.000	1,105,385.65 \$	6,548 m ²	169 \$/m ²
2003	60558	126,527.50 \$	1.000	126,527.50 \$	714 m ²	177 \$/m ²
Total 1999 - 2003		4,484,512 \$		4,828,985 \$	30,052 m²	161 \$/m²

Note 1 - Travée principale (pont Cantilever) et travées d'approches (poutres triangulées à tablier supérieur).
Toute la structure métallique est située au-dessus de l'eau.

Tableau III - Prix unitaire proposés pour des travaux de nettoyage et peinture en fonction de la localisation (système à trois couches - nettoyage SSPC-5)

Hauteur et emplacement des travaux pour travée à ferme (poutre triangulées)	Prix unitaire (\$ 2003 taxes incluses)
Surface accessible à partir du sol (hauteur de 0 à 15m)	90 \$ à 110 \$ / m ²
Surface accessible à partir du sol (hauteur de 15m à 35m)	110 \$ à 160 \$ / m ²
Surface accessible à partir du tablier (zone de 8m au dessus et 8m au dessous du tablier)	130 \$ à 160 \$ / m ²
Surface au dessus de voies de circulation de 8m à 15m du tablier	160 \$ à 240 \$ / m ²
Surface au dessus de voies de circulation de 15m à 40m du tablier	240 \$ à 360 \$ / m ²