

Analyse critique et suivi de la performance des réparations de surface réalisées sur des éléments en béton du pont Champlain

Stéphanie C. Blanchard,¹ Richard Gagné,¹ Benoit Bissonnette² et Patrice Rivard¹

¹Université de Sherbrooke (CRIB-Sherbrooke) {Département de génie civil et de génie du bâtiment}
2500, boul. de l'Université Sherbrooke, Sherbrooke (Québec) J1K 2R1, Canada

²Université Laval (CRIB-Laval) {Département de génie civil et de génie des eaux}
Pavillon Adrien-Pouliot, 1065, av. de la Médecine, Université Laval, Québec (Québec) G1V 0A6, Canada

RÉSUMÉ

Le pont Champlain était un ouvrage d'art important qui reliait, jusqu'en 2019, l'Île de Montréal à la rive sud de la zone métropolitaine en franchissant le fleuve Saint-Laurent et sa voie maritime. Traversé quotidiennement par plus de 150 000 véhicules, c'était l'un des ponts ayant le plus grand nombre de passages de véhicules quotidiens au Canada. Actuellement en phase de démolition, le pont Champlain, inauguré en 1962, a fait l'objet de diverses réparations et renforcements au fil du temps pour allonger sa vie utile. Dans le cadre du démantèlement, les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI) ont mis sur pied un programme de recherche et développement à l'intention des entités de recherche canadienne dans le but d'améliorer la performance et la durabilité des infrastructures similaires. Des corps d'épreuve pleine grandeur ayant été sollicités, vieillis, endommagés et réparés en conditions réelles seront ainsi mis à la disposition des équipes de recherche. Un projet de recherche en cours sur l'analyse critique et le suivi de la performance des réparations de surface des éléments de béton est présenté dans cet article. Les travaux de recherche comportent trois volets, soit la cartographie des dommages, des relevés non destructifs et des essais en laboratoire afin d'évaluer la performance des réparations de surface des éléments de béton. Les résultats de cette recherche permettront d'améliorer le suivi des ouvrages et aider les gestionnaires comme PJCCI dans la prise de décision lors de la maintenance des ouvrages.

Mots-clés: pont Champlain, performance des réparations de surface, durabilité, relevé non destructif.

La déconstruction du pont Champlain

Gestionnaire d'ouvrages majeurs, PJCCI est une société d'État fédérale établie en 1978 qui assure l'entretien de sept structures majeures du réseau de transport de la région métropolitaine, dont le pont Champlain. Inauguré en 1962, ce dernier a fait l'objet de diverses réparations et de renforcements au fil du temps pour en allonger la vie utile, avant d'être mis hors service le 1^{er} juillet 2019, 57 ans après son inauguration. Dans le cadre de la déconstruction du pont Champlain, PJCCI a mis sur pied un programme de recherche et de développement visant l'amélioration de la durabilité des structures existantes et à construire. Le programme consiste à prélever des éléments réels de la structure et de les mettre à la disposition d'équipes de recherche. La déconstruction du pont Champlain a été amorcée à l'été 2020 et les premières pièces devraient être entreposées dans un site extérieur dès l'automne 2020.

Ce programme de recherche unique, mis de l'avant par PJCCI, va permettre à 10 groupes de recherche canadiens d'obtenir des éprouvettes pleine grandeur endommagées par des conditions de service réelles et dont les réparations ont été utilisées sur des substrats parfaitement représentatifs. L'objectif de ce

programme de recherche est de générer des connaissances pour la mise en œuvre de techniques novatrices d'entretien et de réparation et d'améliorer la durabilité des infrastructures similaires. Parmi les dix projets de recherche sélectionnés [3], six impliquent directement le béton :

- Techniques avancées d'évaluation de l'état du pont Champlain après 57 ans de service (Leonardo F.M. Sanchez, Beatriz Martin-Perez – Université d'Ottawa) ;
- Évaluation de la condition réelle et de la performance mécanique et de la durabilité d'éléments en béton du pont (Benoit Fournier, David Conciatori – Université Laval) ;
- Analyse critique et suivi de la performance des réparations de surface des éléments de béton (Richard Gagné, Benoit Bissonnette Université de Sherbrooke et Université Laval) ;
- Évaluation de la performance des renforcements par PRFC et développement d'un modèle de prédiction de leur durée de vie (Radhouane Masmoudi – Université de Sherbrooke) ;
- Évaluation de la corrosion et évaluation du degré et de la répartition de la corrosion sur le comportement des poutres (Denis Mitchell – Université McGill) ;
- Évaluation de la capacité portante résiduelle des dalles intercalaires et renforcement à l'aide de BFUP (Jean-Philippe Charron, Mahdi Ben Ftima – École Polytechnique de Montréal).

Pont Champlain et son système structural

Avec ses 150 000 véhicules par jour, ce pont était un axe routier majeur au-dessus de la voie maritime du St-Laurent, d'une longueur de 3 700 km. Le tronçon au-dessus du fleuve Saint-Laurent, entre l'Île-des-Sœurs et la ville de Brossard, sur la Rive-Sud de Montréal, comporte trois sections, numérotées de 5 à 7 (Fig. 1).

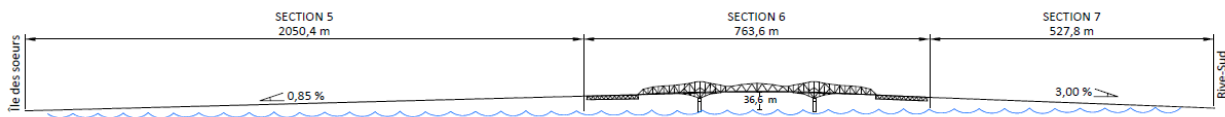


FIGURE 1 Profil longitudinal du Pont Champlain [1]

Section 5 : Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP)

D'une longueur de 2 050 m, la section 5 reliait l'Île-des-Sœurs et la voie maritime et comportait 40 travées. Dans chacune des travées, le tablier était composé de 7 poutres de béton préfabriquées et précontraintes par post-tension séparées par 216 dalles intercalaires en béton. Les poutres, reliées par des diaphragmes, reposaient sur des chevêtres de 8 077 mm de longueur et 1 930 de largeur. Les chevêtres étaient tous identiques, à l'exception de détails de renforcement (aciers d'armature) et reposaient sur des piles et des semelles au roc.

L'avantage de ce système structural (VIPP) est sa rapidité de réalisation et son faible poids. Cependant, la précontrainte transversale des dalles et des diaphragmes, combinée à la précontrainte longitudinale appliquée aux poutres, en faisaient une structure fortement sollicitée dans les deux axes. Ceci rendait impossible le sectionnement d'un câble pour réaliser des travaux de réparation en phase.

Section 6 : Superstructure

Les sections 6 et 7 étaient situées au-dessus de la voie maritime. La section 6, d'une longueur de 763,4 m, permettait le libre passage des cargos. Elle était composée de trois charpentes d'acier, soit les approches et une superstructure en section principale. Les travées d'approche de part et d'autre de la section centrale étaient constituées de quatre poutres triangulées en acier à tablier supérieur tandis que la superstructure,

de type cantilever, était composée de trois poutres triangulées continues dont les trois travées centrales étaient suspendues. Le tablier, remplacé entre les années 1990 et 1993, était de type orthotrope, c'est-à-dire qu'il était composé de plaques portantes en acier raidi. La section de structure en acier reposait sur des piliers en béton armé reliés par des arches reposant sur des semelles au roc.

Section 7 : Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes

La section 7, d'une longueur de 528 m, comportait 10 travées indépendantes à poutres précontraintes séparées par 216 dalles intercalaires en béton. Cette section était similaire à celle de la section 5.

Enjeux de durabilité

Une partie importante des enjeux de durabilité était reliée à l'étanchéité de la structure et au système de drainage. L'usage de sels de déglacage, imprévu lors de la conception, et l'absence de membrane d'étanchéité et de continuité des chasse-roues sur le pont sont à l'origine de nombreuses réparations qui ont été précipitées au début des années 1990. Les poutres de rive, les chevêtres et les câbles de précontraintes au-dessus des hourdis supérieurs ont été surexposés à l'eau et aux sels de déglacage. Les joints dentelés, installés à l'origine, ont également favorisé le ruissellement d'eau sous la structure.

L'optimisation du poids de la structure lors de la conception a également contribué aux déficiences prématurées de celle-ci, puisque le recouvrement de béton des barres d'armature et des gaines de précontrainte était trop faible (25 à 60 mm) pour assurer la protection des éléments en acier contre la corrosion. Des défauts de consolidation (nid de cailloux) sous les gaines de précontraintes ont également contribué à accélérer la corrosion des éléments en acier.

Un dernier point important lié aux enjeux de durabilité de la structure est le manque d'exigences liées aux matériaux dans les devis de conception. La spécification de divers critères tels que les caractéristiques du réseau de bulles d'air, la perméabilité du béton, etc. auraient pu améliorer la performance et la durée de vie de la structure.

Analyse critique et suivi de la performance des réparations de surface des éléments de béton

Après avoir recensé, identifié et documenté précisément l'ensemble des éléments du pont rendus disponibles aux fins de l'étude, le travail expérimental débutera avec des volets sur le site d'entreposage et en laboratoire. Une sélection de techniques de mesures NDT sera exploitée dans la réalisation de mesures *in situ* pour l'auscultation des divers éléments de béton. En fonction de la durée de disponibilité du site aux chercheurs, des mesures à moyen terme (horizon de 2 à 4 ans) pourront être réalisées, ce qui pourrait permettre de caractériser le comportement des éléments quant à la fissuration, l'adhérence et la durabilité propre des matériaux de réparation.

L'objectif de cette recherche est de mesurer la performance (adhérence, fissuration, durabilité) des réparations de surface, avec et sans surépaisseur de béton, effectuées sur des poutres de rive, des chevêtres, des piles et des dalles intercalaires. Plusieurs matériaux de réparation comme le béton autoplacant, le béton avec ajout cimentaire et le béton à retrait compensé feront l'objet de l'étude. En procédant à l'autopsie d'une variété d'interventions, on espère mieux comprendre les paramètres qui influencent la durabilité à long terme des réparations mises en œuvre au fil des ans sur différents éléments structuraux en béton.

Parallèlement aux travaux *in situ*, des corps d'épreuve seront prélevés dans ces éléments pour la mise en œuvre des essais et les analyses prévues dans les laboratoires de l'Université de Sherbrooke et de l'Université Laval. Les travaux suivants seront réalisés afin d'évaluer et analyser de manière approfondie le comportement et la performance des éléments étudiés:

1. Cartographie et caractérisation détaillée de la fissuration (micro- et macro-) dans les réparations : Ouverture, profondeur, espacement, morphologie, patron et connectivité de la fissuration, suivi de l'autocicatrisation dans les éléments du site de stockage temporaire ;
2. Mesures non destructives *in situ* pour la détection des défauts d'adhérence entre le matériau de réparation et le substrat : géoradar, mesures des vitesses ultrasonores en transmission directe, impact écho, réponse impulsionnelle ;
3. Caractérisation des matériaux de réparation et du béton des substrats à partir d'éprouvettes prélevées dans les éléments sélectionnés de l'ouvrage : propriétés mécaniques et physiques (caractéristiques du réseau de bulles d'air) ;
4. Mesure de l'adhérence avec le substrat : adhérence en traction, analyse de l'interface substrat-matériau de réparation ;
5. Caractérisation de l'état de corrosion des barres d'armature ou autres composantes métalliques noyées dans les bétons de réparation : relevés de potentiel (demi-cellule), relevés géoradar, prélèvement d'échantillons.

Le Tableau 1 présente les éléments réservés au projet d'analyse critique et le suivi de la performance des réparations de surface des éléments en béton.

TABLEAU 1 Type et nombre d'éléments qui seront prélevés dans les sections 5 et 7 [2]

Élément	Nombre	Dimension	Exigences particulières
Poutre de rive	3	5 m	Avec réparation de surface à la fibre inférieure
Dalle intercalaire		2 m × 3 m	3 dalles intercalaires avec des réparations avec et sans surépaisseur
Pile		1 m	Trois sections de pile (1 m de hauteur) dans la partie non immergée et ayant été réparée avec un chemisage en béton armé. Une section ayant fait l'objet d'une réparation de surface avec un BAP et un agent d'expansion interne
Chevêtre		1 m	Trois parties en porte-à-faux (épaisseur 1 m) d'un chevêtre comportant un chemisage en béton armé avec ou sans surépaisseur

Conclusion

Le programme de recherche et développement élaboré par PJCCI à l'intention des entités de recherche canadienne est une opportunité exceptionnelle d'étudier le passé pour mieux construire l'avenir. L'analyse critique et le suivi de la performance des réparations de surface des éléments de béton du pont Champlain devraient donc permettre de mieux comprendre les paramètres qui influencent la durabilité à long terme des réparations de béton, avec ou sans surépaisseur, sur différents éléments structuraux en béton et ainsi permettre d'améliorer la durabilité des réparations sur des structures similaires dans le futur.

RÉFÉRENCES

- [1] Les Pont Jacques-Cartier et Champlain incorporée, « Sondage d'intérêt – Programme de recherche et développement pour l'amélioration de la durabilité des structures », Document d'appel à projets, 2019
- [2] R. Gagné, B. Bissonnette, P. Rivard, O. Bonneau, « Analyse critique et suivi de la performance des réparations de surface des éléments en béton – Programme de recherche et développement pour l'amélioration de la durabilité des structures », Proposition de recherche, CRIB, Université de Sherbrooke et Université Laval, 2019
- [3] Les Pont Jacques-Cartier et Champlain incorporée, « Fiche d'information – Déconstruction du pont Champlain », Document d'appel à projets, 2019