

Renforcement en cisaillement des ponts de type dalle épaisse

Bernard Pilon, ing. M.Sc.

Résumé

À la suite de l'alerte lancée à l'été de 2007 concernant la faiblesse possible des ponts de type dalle épaisse sans armature de cisaillement, le Ministère des Transports du Québec a procédé au carottage et à l'évaluation de nombreux ponts de ce type. Parmi ces ponts, quelques-uns ont nécessité une intervention visant à les stabiliser ou à les renforcer. Un renfort au moyen de tiges forées de part et d'autre des dalles et ancrées à leurs extrémités a été conçu à cette fin.

Cet article présente les cas de deux chantiers réalisés récemment dans la région de Québec où cette technique de renfort a été employée avec succès, ce qui a permis de prolonger la durée de vie des structures et maintenir leur usage sécuritaire pour les usagers.

Introduction

Suite à l'effondrement du pont du boulevard de la Concorde et à l'enquête qui a suivi, une campagne d'investigation sans précédent des ponts de type dalle épaisse sans armature de cisaillement a été entreprise au Québec. Cette campagne d'analyse, de même que le regard plus attentifs de tous les intervenants du domaine, ont abouti à l'affichage préventif de nombreux ponts, à la restriction des charges sur certains et même à la fermeture de quelques-uns.

La question s'est alors posée : que faire avec les ponts affichés? Si dans certains cas, cet affichage ne causait pas de problèmes de mobilité des marchandises, dans d'autres, une action immédiate de renforcement s'avérait nécessaire. Cet article traite donc de l'expérience du Ministère des Transports dans le renforcement des ponts de type dalle épaisse au cours des récents mois en présentant deux projets de renforcement : ceux des viaducs de l'autoroute Félix-Leclerc au-dessus de la rue Labelle et de l'autoroute Charest au-dessus de l'autoroute Robert-Bourassa, tous situés sur le territoire de la ville de Québec.

Autoroute Félix-Leclerc au-dessus de la rue Labelle

Situés dans l'arrondissement de Beauport à Québec, ces deux viaducs jumeaux permettent aux voies Nord et Sud de l'autoroute 40 d'enjamber la rue Labelle. Ces deux viaducs, de type dalle épaisse en béton armé sans armature de cisaillement, comportent chacun un total de trois travées. Avec une travée principale d'un peu plus de 24 mètres et une largeur variant de 15 à 20 mètres, ces ponts constituent des cas typiques de ce type de pont. La figure 1 présente une vue générale des structures.



Figure 1 – Vue générale des structures

Au même moment où la commission d'enquête sur l'effondrement du viaduc de la Concorde entend ses témoignages, une fissure est observée sur la face extérieure d'un de ces ponts par le personnel du Ministère. Cette fissure s'avère finalement assez préoccupante pour mener à une inspection spéciale de la part du personnel du Ministère.

L'inspection spéciale, réalisée dans les heures suivantes, viendra confirmer les inquiétudes : la fissure, qui n'était pas notée lors des inspections précédentes, semble fraîche et présente une ouverture importante, de l'ordre de quelques millimètres. Devant ces constatations, une mesure exceptionnelle s'impose : l'affichage à trois tonnes de ces ponts situés sur une artère importante de Québec, principale voie d'accès aux régions de Charlevoix et de la Côte-Nord.

Immédiatement, des mesures s'imposaient. En toute hâte, des étaiments sont disposées sous la structure et un programme de carottage et d'évaluation des structures est entrepris, afin de vérifier l'ampleur de la fissuration et la résistance des structures. Le carottage révélera que la fissure inquiétante était finalement très localisée mais démontrera également un autre aspect surprenant : même si les structures étaient relativement jeunes, de l'ordre de 35 ans, le béton qui les constituait était relativement pauvre en résistance mécanique.

Comme la résistance en cisaillement des structures de type dalle épaisse sans étriers est totalement dépendante de la qualité du béton, l'évaluation de la capacité portante des structures avec les valeurs de résistance tirées des carottages s'est révélée insuffisante. Deux zones de faiblesse, de part et d'autre des piles, ont ainsi été identifiées.

L'état général des deux ponts étant très bon, une démolition et une reconstruction s'avéraient très pénalisantes financièrement. Qui plus est, un remplacement de ces deux structures aurait nécessairement entraîné de sérieux problèmes de circulation dans le secteur. Face à ces constats, l'option de renforcement a été étudiée par le Ministère.

Suite à quelques analyses et scénarios, le renforcement par ajout de barres forées et ancrées au béton s'est très vite imposé. Utilisant les espacements minimaux d'armatures stipulés dans les codes des ponts, un patron de mise en place des ancrages est conçu. Afin d'assurer une participation des ancrages à la résistance, des ancrages forés de part et d'autre des dalles de béton, avec plaques et boulons vissés aux extrémités des tiges métalliques, sont employés. La mise en place des ancrages est complétée par une injection de résine époxydique dans l'espace annulaire compris entre la barre d'ancrage et le trou foré dans le béton. La figure 2 présente les ancrages utilisés.



Figure 2 – Ancrages de renfort

Suite au choix de l'entrepreneur, les travaux ont été entrepris sur une première moitié du pont Nord tard à l'automne 2007. Sachant que les travaux allaient se dérouler par températures froides, les résines et mortiers devant être employés étaient utilisables par temps froid. C'est finalement la neige abondante de cet hiver qui aura raison des efforts de l'entrepreneur, forçant le maintien en place des étalements et la suspension des travaux pour l'hiver, après la mise en place des ancrages sur une seule moitié de pont.

La réalisation de ces travaux a par contre permis de constater la facilité avec laquelle les travaux pouvaient être réalisés. Des difficultés comme l'impossibilité de percer les armatures longitudinales supérieures de la dalle et l'éclatement possible du béton à la surface inférieure ont finalement été réglés avec un choix judicieux de mèches pour le forage des trous et quelques précautions élémentaires de la part de l'entrepreneur. L'utilisation d'armatures régulières pour les tiges d'ancrage a permis la réalisation très rapide des travaux; ce type de matériaux étant facilement et rapidement disponible. Au total, quelques 300 ancrages ont pu ainsi être disposés sur une période d'environ quatre semaines, en plus de réparations du béton sur environ un tiers de la surface de la dalle.

Au mois d'avril 2008, les travaux de mise en place des ancrages ont pu reprendre sur la seconde moitié du pont Nord, confirmant la rapidité de mise en place des renforts. Réalisés dans des conditions climatiques plus clémentes, les ancrages ont cette fois pu être placés sur une période d'environ trois semaines.

Une fois mis en place, les ancrages se révèlent finalement très discrets, ne paraissant presque pas contre la face inférieure de la dalle. La figure 3 présente les ancrages mis en place. La présence des plaques vissées aux deux extrémités des ancrages assure leur efficacité à reprendre les charges, permettant ainsi de retirer les étaielements et rétablissant une capacité portante suffisante.



Figure 3 – Ancrages en place au-dessous de la dalle

Autoroute Charest au-dessus de l'autoroute Robert-Bourassa

Les deux ponts de l'autoroute Charest au-dessus de l'autoroute Robert-Bourassa sont du type dalle épaisse sans armature de cisaillement. Ces deux ponts enjambent également, en plus de l'autoroute, une rue locale et une voie ferrée. D'une longueur totale de 91 m, ces ponts sont en fait constitués de deux sections aboutées, chacune de ces sections présentant un système structural de type cadre rigide avec travées d'extrémités en porte-à-faux. Un joint de tablier unit les deux portions de structure au centre de la longueur totale du pont. La figure 4 présente une vue générale des ponts.



Figure 4 – Vue générale des structures

Des problèmes de réaction alcali-granulats à ces ponts sont connus depuis de nombreuses années, causant une détérioration facilement visible en surface. Il n'est donc pas surprenant que ces structures aient été visées dans le cadre de l'investigation des ponts de type dalle épaisse en mauvais état. Comme pour tous les autres ponts investigués, un affichage de restriction aux camions en surcharge a immédiatement été mis en place par mesure préventive. Un programme de carottage et d'évaluation a également été prévu.

Le carottage de ces structures a été réalisé à la fin du mois d'octobre 2007. Comme les ponts étaient fortement affectés par des réactions alcali-granulats, la qualité attendue des propriétés mécaniques du béton était plutôt faible. Une évaluation rapide de la capacité portante de la structure démontrait toutefois que malgré cette faible qualité du béton, le pont possédait toujours une capacité suffisante pour reprendre les charges routières.

Un phénomène inquiétant est par contre ressorti à l'analyse des carottes. Un plan de fissuration interne de grande importance s'était développé dans les extrémités en porte-à-faux des structures Sud, au voisinage du joint de tablier central de ces deux porte-à-faux aboutés. Ce plan de fissuration, qui s'étirait sur toute la largeur de la structure et qui pénétrait de presque 2 mètres à l'intérieur des porte-à-faux, menaçait directement l'intégrité du pont Sud. Une réaction rapide était donc nécessaire.

Comme l'installation d'étais sous la portion endommagée était impossible en raison de la présence de la voie ferrée directement au-dessous, la décision fut prise de procéder à l'injection et au renforcement de la fissure et ce, dans les plus brefs délais. Des travaux ont par conséquent été entrepris à cette fin dès la fin du mois de novembre 2007. La figure 5 illustre les travaux proposés.

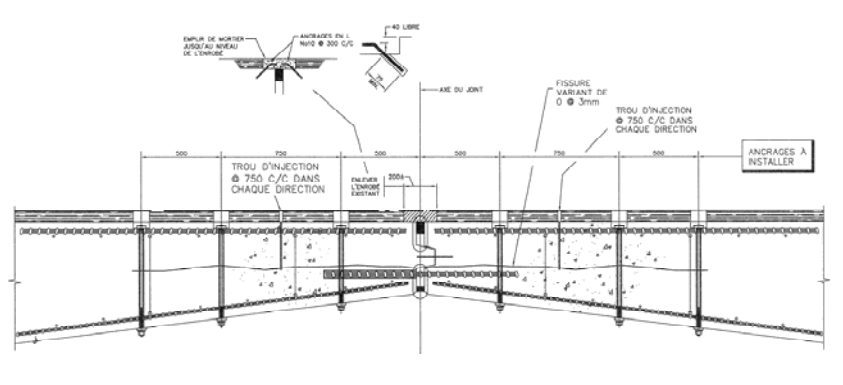


Figure 5 – Travaux d'ancrage des porte-à-faux au pont Sud

Une première étape de travaux consistait à injecter le plan de fissuration de manière à stabiliser ce dernier. Un produit d'injection à base de méthylmétacrylate, pouvant polymériser par temps froid, a été employé à cette fin.

Pour le renforcement au moyen de tiges, peu de modifications ont été apportées à la technique employée précédemment au pont du boulevard Labelle, sauf en ce qui concerne le type d'ancrages et la technique d'injection, modifications rendues nécessaires par des conditions particulières au chantier du pont de l'autoroute Robert-Bourassa. Ainsi, au lieu d'employer des barres d'armatures filetées, des tiges filetées conformes à la norme ASTM A193 de nuance B7 ont plutôt été utilisées. Ces tiges, filetées sur toute leur longueur, ont l'avantage d'être plus résistantes et ajustables plus facilement en longueur. Or, cet ajustement était nécessaire étant donné l'épaisseur variable des dalles en porte-à-faux à renforcer. La technique d'injection a quant à elle été modifiée à cause de la présence du chemin de fer sous les ancres. Le trafic ferroviaire ne pouvant être interrompu, le plus de travaux possibles devaient être réalisés à partir du dessus de la dalle. L'injection du coulis du bas de l'ancrage vers le haut à partir du dessus de la dalle a donc été spécifiée.

Encore une fois, la rapidité d'exécution des travaux de forage des ancres a pu être démontrée, l'ensemble des travaux d'injection et de forage sur deux phases de travaux se déroulant en deux semaines.

Conclusion

Le renforcement de ponts de type dalle épaisse sans armature de cisaillement est possible au moyen de tiges forées. Ces tiges sont munies de plaques d'ancrages à leurs deux extrémités et sont injectées afin d'assurer leur développement dans le béton. Les deux chantiers de renforcement entrepris par le ministère au cours des derniers mois ont permis de valider la faisabilité en chantier de ce type de renforcement.

Un projet de recherche est présentement en cours afin de valider le gain de résistance obtenu par l'ajout des tiges de renforcement. Le projet de recherche verra aussi à déterminer si les plaques d'ancrages inférieures des barres sont nécessaires au développement des barres. L'élimination de ces plaques pourrait potentiellement grandement faciliter la réalisation des travaux de forage et d'injection, en plus d'être visuellement plus attrayant au-dessous du pont.