

ÉTUDE DIAGNOSTIQUE DE L'ÉTAT d'UNE STRUCTURE PRÉCONTRAINTÉ PAR POST-TENSION

Josée Bastien
Professeur titulaire

Guillaume Arsenault
Étudiant

Jacques Marchand
Professeur titulaire

CRIB - Université Laval, Département de génie civil, Québec, Canada

RÉSUMÉ: L'étude du vieillissement et de la dégradation des ouvrages en béton, et plus particulièrement des ouvrages précontraints à l'aide de la post-tension, présente un intérêt certain pour apprécier la progression des dommages et leur influence sur le comportement de ce type d'ouvrages. Le démantèlement de certaines structures de l'ensemble autoroutier Dufferin-Montmorency présentait donc une occasion unique de procéder à la réalisation d'une étude approfondie de la condition des matériaux des différents éléments structuraux après à peu près 40 ans de service. L'information générée par les essais de caractérisation a été complétée par une étude détaillée de l'état de la précontrainte à l'aide de fenêtres d'investigation ou encore, par des découpes de segments de poutres. L'étude de deux bretelles de l'ensemble autoroutier Dufferin-Montmorency a démontré que ces structures, au moment de leur démolition, ne présentaient pas de signes majeurs de détérioration structurale et que, des structures précontraintes à l'aide de la post-tension peuvent présenter une très bonne durabilité dans le temps.

INTRODUCTION

L'étude du vieillissement et de la dégradation des ouvrages en béton, et plus particulièrement des ouvrages précontraints à l'aide de la post-tension, présente un intérêt certain pour apprécier la progression des dommages et leur influence sur le comportement de ces mêmes ouvrages. C'est dans ce contexte que le ministère des Transports du Québec (MTQ) conjointement avec l'Université Laval, a reconnu dans le démantèlement de certaines bretelles de l'autoroute Dufferin-Montmorency une opportunité d'avancement des connaissances sur le vieillissement et la dégradation des structures précontraintes. Le système autoroutier Dufferin-Montmorency présente la particularité d'avoir certaines portions (ou bretelles) qui n'ont jamais été en service suite à une modification aux plans d'urbanisme pendant la construction. Ces portions, bien qu'exposées aux conditions climatiques, n'ont donc pas été directement soumises à l'effet des sollicitations des chargements routiers ni directement exposées à l'action des sels fondants.

Le démantèlement des certaines portions de l'ensemble autoroutier Dufferin-Montmorency fournissait donc une occasion unique d'examiner d'une part, l'état global de certains éléments structuraux (bretelles) et, d'autre part, de procéder à une évaluation détaillée de l'état de la précontrainte (torons, gaines, coulis).

Le présent article présente sommairement l'étude ayant conduit à l'appréciation globale de l'état des bretelles examinées. L'exposé oral présentera de façon plus complète l'état de la précontrainte elle-même.

MÉTHODOLOGIE

Structures à l'étude

La figure 1 présente une portion du plan d'ensemble de l'autoroute Dufferin –Montmorency sur lequel sont identifiées les bretelles faisant l'objet d'une démolition, soient les bretelles notées B2, B4 et B6. Le présent article s'intéressera davantage aux bretelles B2 et B4.

La bretelle B4, d'une largeur de 10,82 m n'a jamais été en service. Elle n'a donc pas été soumise à l'épandage de sels fondants ni à l'effet des charges de circulation. Elle a cependant pu recevoir des éclaboussures salines, propulsées par le trafic autoroutier circulant sur la bretelle adjacente. Quant à la bretelle B2, elle possède une largeur variant progressivement de 14,25 m à 28,35 m sur 10 portées. Conséquemment à cet élargissement, le nombre de poutres de la bretelle B2 passe de 4 à 6. Cette bretelle a été en service dès sa construction et elle a donc été exposée à l'action combinée des charges de service et des sels fondants. Selon toute probabilité, cette bretelle a également été sujette aux éclaboussures salines provenant de la circulation sur la bretelle B1 ainsi que celles provenant d'une bretelle supérieure (B6).

Méthodologie expérimentale

Lors du démantèlement des bretelles, le Centre de recherche sur les infrastructures en béton (CRIB) a pu bénéficier de la collaboration des divers intervenants sur le site de manière à faciliter la cueillette d'information permettant l'analyse détaillée de la condition des différents éléments structuraux (parapets, dalles et poutres) de l'ouvrage.

La procédure expérimentale utilisée a comporté trois étapes distinctes. La première étape a consisté à une inspection, sur site, de l'état des structures en utilisant différentes techniques d'investigation. C'est notamment à ce moment qu'ont été conduites des relevés de potentiel de corrosion et des mesures d'humidité relative du béton et du coulis des gaines de précontrainte. En effet, c'est à ce moment que quelques fenêtres d'exploration ont été réalisées afin d'examiner l'état de l'armature de précontrainte et la qualité d'injection au coulis cimentaire des gaines. Cette première étape a également permis d'échantillonner différents éléments structuraux des bretelles d'autoroutes de manière à fournir des éprouvettes (carottes) représentatives de l'état du béton en place.

Lors de la deuxième étape de la procédure expérimentale, des essais de caractérisation ont été effectués en laboratoire. C'est à cette étape qu'ont été conduites les études de caractérisation des éprouvettes de béton et des échantillons de coulis (par exemple des essais de résistance à la compression du béton, de mesures de la porosité du matériau et de son niveau de contamination par les ions chlore, etc.).

Des portions de poutres de tailles plus significatives (d'environ 8m de longueur), provenant des bretelles B2 et B4, ont également été recueillies afin de les examiner plus en détails. Ces éléments ont d'abord été entreposés à un centre de service du ministère des Transports puis, une étude plus approfondie à l'aide de découpes a permis de faire un examen de la qualité de la précontrainte (notamment de la qualité d'injection et de l'état de l'armature de précontrainte).

Les figures 2 et 3 résument l'emplacement géographique des différents prélèvements et essais in-situ sur les bretelles B4 et B2. Les zones délimitées en bleu identifient les endroits où une étude de potentiel de corrosion a été effectuée, les zones en rouge indiquent l'emplacement des carottages (réalisés principalement dans les parapets), les zones en vert correspondent aux endroits où des fenêtres d'exploration ont été pratiquées et finalement les zones en noir, les zones où des sections de poutres ont été prélevées pour étude ultérieure. L'emplacement des mesures d'humidité relative n'est pas indiqué sur les figures 2 et 3.

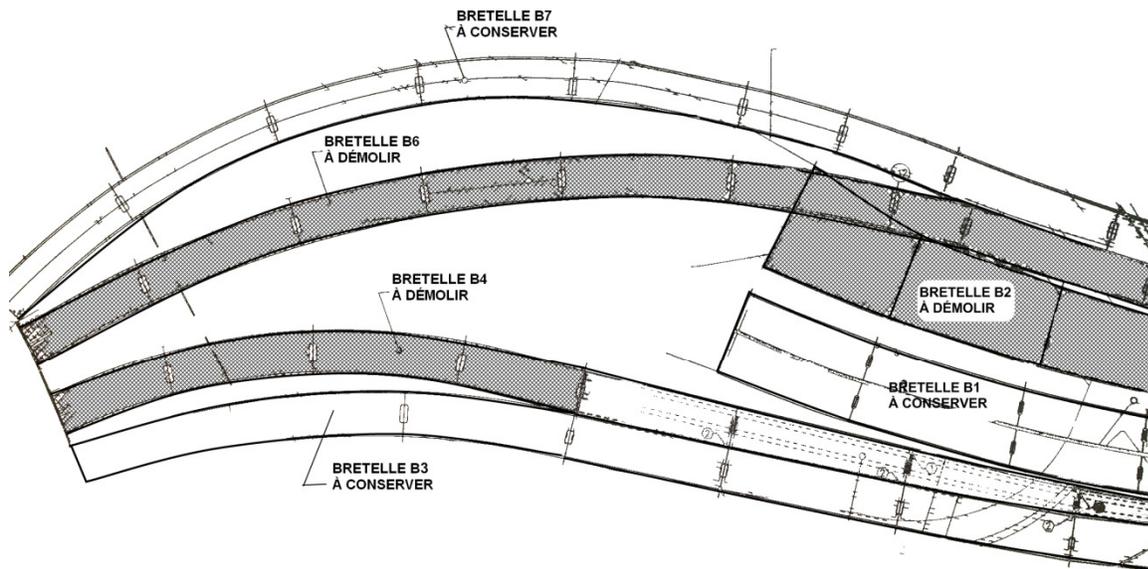


Figure 1 Plan de démolition des bretelles de l'autoroute Dufferin-Montmorency

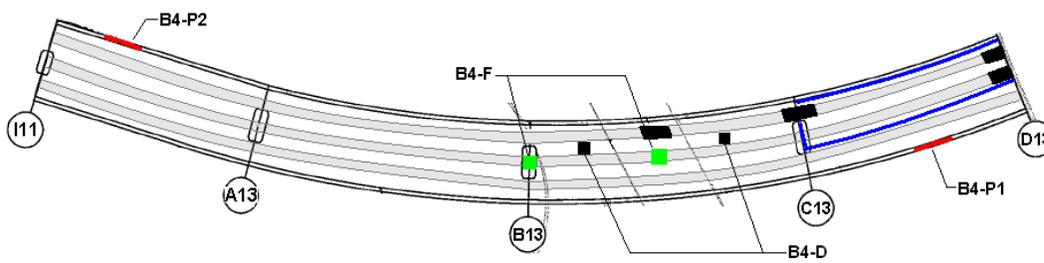


Figure 2 Résumé des interventions sur la bretelle B4

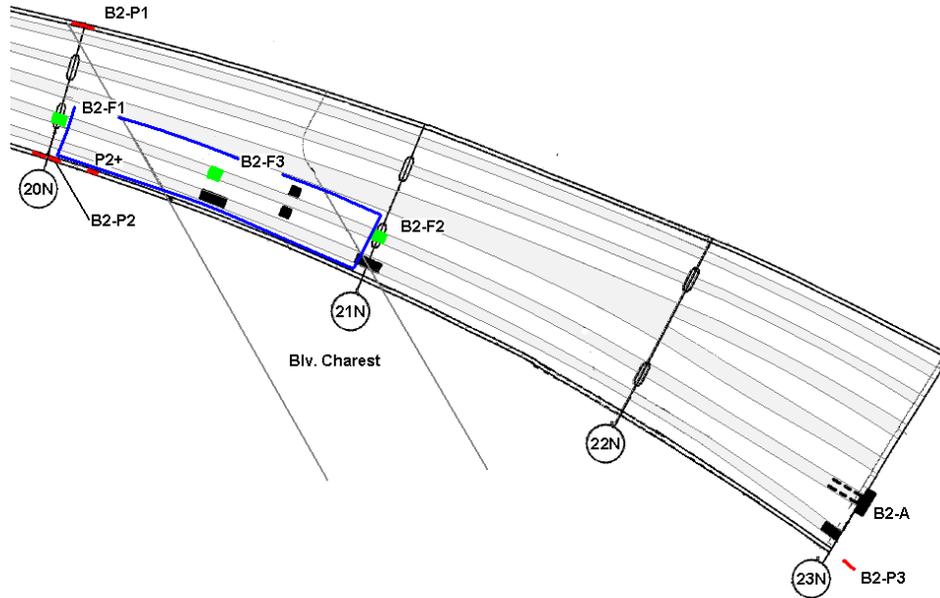


Figure 3 Résumé des interventions sur la B2

RÉSULTATS

Dans un objectif de synthèse, seuls quelques résultats associés à la contamination aux ions chlore sont présentés afin d'apprécier l'état de l'enveloppe globale des structures (bretelles).

La figure 4 présente un exemple de résultats des relevés de potentiel de corrosion sur le tablier de la bretelle B2 entre les axes 20N et 21N. De façon générale, on associe aux zones dont le potentiel est inférieur à -350mV une probabilité de 90% qu'il y ait une activité de corrosion. Dans le cas présent, ces zones sont représentées par les couleurs orangé et rouge.

La figure 5 et le tableau 1 présentent des exemples de la concentration en ions chlore à différentes profondeurs dans les éléments de parapets (figure 5) et à différents endroits (dalles, parapet) sur les bretelles (tableau 1). Dans la documentation technique, on considère généralement que la réaction de corrosion des armatures est initiée lorsque la contamination en chlorures du béton atteint une concentration critique correspondant à un rapport (exprimé en pourcentage) entre la masse de chlorures à un point donné et la masse de béton sec. Dans l'étude, nous avons considéré que cette concentration critique était égale à 0,05%. Cette valeur correspond à celle recommandée par le Federal Highway Administration (FHWA) des États-Unis. Dans le Manuel d'entretien des structures, le MTQ recommande d'utiliser un seuil légèrement inférieur, c'est-à-dire 0,03%.

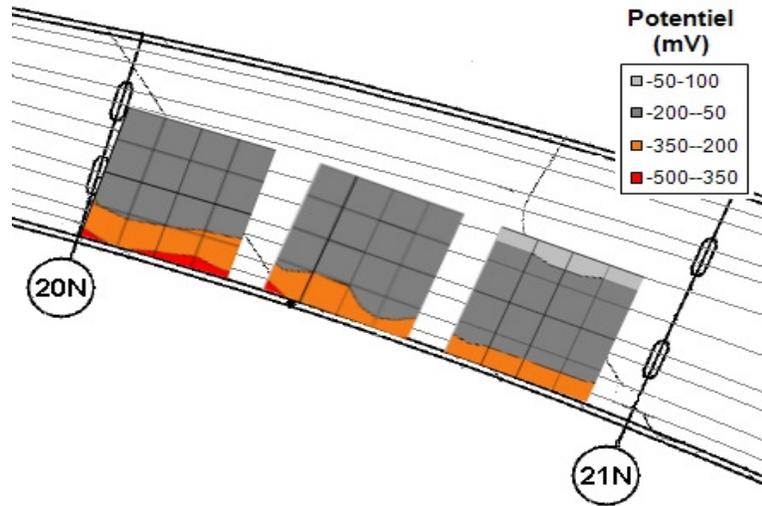


Figure 4 Résultats de relevés de potentiel sur la bretelle B2

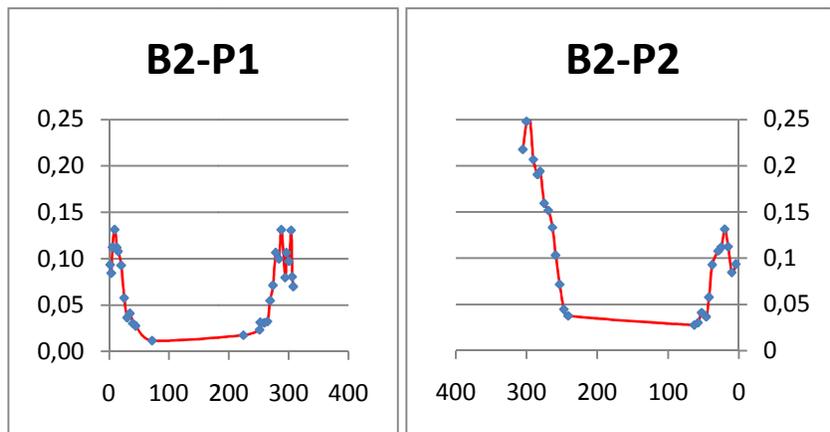


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. Profils de chlorures dans les parapets de la bretelle B2

TABLEAU 1 Teneurs en ions chlore

Zone	[Cl-] aux armatures (% en masse de béton)	[Cl-]max (% en masse de béton)
B2-P1-Dint	0,0324	0,1312
B2-P1-Dext	0,0411	0,1314
B2-P2-Dint	0,1941	0,2548
B2-P2-Dext	0,1025	0,2728
B2-F1-J	0,0102	0,0206
B2-F2 D	0,0187	0,0187

B2-F3 A6	0,0606	0,0606
B2D A1	0,0375	0,1438
B2D B2	0,0259	0,0259
B4-P1 Bint	0,0146	0,0343
B4-P2 Kint	0,0579	0,1145
B4-P2 Kext	0,0863	0,2299
B4-F1 A	0,0087	0,0109
B4-F2 A	0,0110	0,0163

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'inspection visuelle de l'enveloppe de cette structure d'une quarantaine d'années n'a montré aucune dégradation généralisée. La couche d'usure était adéquate sur la bretelle B2 alors qu'elle était absente sur la bretelle B4. Des essais de caractérisation des propriétés mécaniques et de transports de ces structures ont montré que le béton du tablier est différent de celui des parapets mais rien ne laisse croire que les spécifications variaient d'une bretelle à l'autre.

Les potentiels de corrosion réalisés sur la partie supérieure du tablier des deux bretelles investiguées ont montré que la bretelle B2 présentait une activité de corrosion plus importante que la bretelle B4. On a également pu constater que la qualité du revêtement sur la bretelle B2 a favorisé un ruissellement des eaux contaminées en chlorures. La stagnation des eaux au point bas du dévers d'un tablier a deux effets sur la dégradation de l'ouvrage. Dans un premier temps, elle favorise l'infiltration d'eau au travers du revêtement ce qui contamine le dessus du tablier. Dans un second temps, elle favorise l'exposition aux éclaboussures salines des parapets, augmentant ainsi la concentration en chlorures dans les premiers centimètres du béton de recouvrement.

De plus, l'étude a démontré que le brouillard salin provenant de la circulation routière sur la structure étudiée tout comme celui engendré par le trafic à proximité (bretelle voisine ou trafic sous la structure d'étagement) influençaient grandement la contamination aux ions chlore de l'enveloppe de la structure sous étude. C'est pourquoi la bretelle B4 présentait une contamination aux ions chlore plus intensive sur les parois extérieures des parapets comparativement aux parois intérieures de ses mêmes parapets. Les conditions d'exposition des éléments en béton conditionnent donc leur éventuelle contamination en chlorures.

Outre l'état des parapets, les concentrations en chlorures mesurées sur le complexe autoroutier de Dufferin-Montmorency laissent croire que l'enveloppe de la structure était en excellent état et ne présentait aucun signe de dégradation majeure. Ce constat corroborait d'ailleurs les résultats de l'examen visuel des structures sous étude.

Considérant le bon état de l'enveloppe extérieure de l'ensemble autoroutier Dufferin-Montmorency, il était probable d'anticiper de bonnes conditions de préservation de l'armature de précontrainte. Bien que l'étude ait effectivement démontré, dans l'ensemble, une bonne qualité d'injection et d'enrobage au coulis cimentaire des torons entraînant, par conséquent, une bonne protection de l'armature de précontrainte, un certain nombre de défauts typiques ont néanmoins été constatés. La présentation orale fera un rapide tour d'horizon de ces défauts.

En conclusion, l'étude de deux bretelles de l'ensemble autoroutier Dufferin-Montmorency a démontré que ces structures, au moment de leur démolition, ne présentaient pas de signes majeurs de détérioration structurale suite à près de 40 ans de service et que, des structures précontraintes à l'aide de la post-tension peuvent faire preuve d'une très bonne durabilité dans le temps.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le ministère des Transports du Québec (MTQ), et tout particulièrement Sylvain Goulet ing., pour sa collaboration à la réalisation de ce projet. Les auteurs remercient également le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et le Fond québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) pour leur support financier.

BIBLIOGRAPHIE

- ACI-Committee-222, *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*. 2001.
- Conciatori, D., *Effet du Microclimat sur l'initiation de la corrosion des aciers d'armature dans les ouvrages en béton armé*. 2005, EPFL: Lausanne.
- Matt, P., *Non-destructive Evaluation and Monitoring of Post-tensioning Tendons*, in *Durability of post-tensioning tendons*, Fib, Editor. 2001: Ghent. p. 103.
- Samson, É., J. Marchand, and K.A. Snyder, *Calculation of ionic diffusion coefficients on the basis of migration test results*. *Materials and Structures*, 2003. 36: p. 9.
- Lay, S., et al., *New method to measure the rapid chloride migration coefficient of chloride-contaminated concrete*. *Cement and Concrete Research*, 2004. 34: p. 7.
- Samson, E., et al., *Determination of the Water Diffusivity of Concrete Using Drying/Absorption Test Result*. ASTM International, 2008. 5(7): p. 12.
- Pereira, R.M.S., *Accelerated Corrosion Testing, Evaluation and Durability Design of Bonded Post-Tensioned Concrete Tendons*, in *Civil Engineering*. 2004, Austin, Texas: Austin. p. 717.
- Weiher, H. and K. Zilch, *Condition of post-tensioned concrete bridges - Assessment of the german stock by a spot survey of damages*. First International Conference on Advances in Bridge Engineering, 2006.