



**État des bretelles de l'autoroute  
Dufferin-Montmorency**

**Rapport final  
GCT-2012-02  
Département de génie civil**

**Présenté à  
Sylvain Goulet ing.  
Chargé de projet  
Ministère des transports du Québec**

**Par  
Josée Bastien, ing. PhD, responsable**

**Février 2012**

# Table des matières

Table des matières .....	ii
1 Contexte .....	3
2 Études.....	4
2.1 Étude de la contamination aux ions chlorure.....	4
2.2 Étude sur le coulis de précontrainte.....	5
2.3 Méthodes d’investigation non-destructives .....	6
3 Conclusion .....	8

# 1 Contexte

L'investissement en recherche et développement de nouvelles techniques et de matériaux plus performants pour le domaine de la construction routière est plus que jamais un domaine d'actualité. C'est dans ce contexte que le ministère des Transports du Québec (MTQ) conjointement avec l'Université Laval, a reconnu dans le démantèlement des bretelles de l'autoroute Dufferin-Montmorency une opportunité d'avancement des connaissances sur le vieillissement et la dégradation des structures existantes. Ces bretelles ont la particularité d'avoir certaines portions qui n'ont jamais été en service suite à une modification aux plans d'urbanisme pendant la construction. Ces sections, bien qu'exposées aux conditions climatiques, n'ont donc pas été directement exposées aux sels fondants.

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. Pour ce faire, le groupe de l'Université Laval a procédé en trois étapes. La première a consisté à une inspection sur le site de l'état de la structure en utilisant différentes techniques d'investigation. Cette première étape a également permis d'échantillonner les différents éléments structuraux des bretelles d'autoroutes de manière à fournir des éprouvettes représentatives des diverses conditions de la structure. Lors de la deuxième étape, des essais de caractérisation ont été effectués en laboratoire.

En troisième lieu, des portions de poutres de tailles plus significatives ont également été recueillies afin d'examiner plus en détails l'état de la précontrainte elle-même. Ces éléments ont été entreposés à un centre de service du Ministère des Transports et leur état à fait l'objet d'un document spécifique qui est présenté en annexe.

Le présent document fait suite à trois rapports d'étape antérieurs présentés au Ministère des transports du Québec dans le contexte de l'étude diagnostique de l'autoroute Dufferin Montmorency.

Le présent document résume les conclusions générales des rapports antérieurs liés à cette étude ainsi que celles que l'on retrouve dans le document annexé. Il est conseillé au lecteur de se familiariser avec les rapports et annexe précédents afin de bien saisir la portée du présent document.

## **2 Études**

### **2.1 Étude de la contamination aux ions chlorure**

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 salée (B2) alors qu'elle était absente sur la bretelle non-salée (B4). Des essais de caractérisation de ses propriétés mécaniques et de transports 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 salée présentait une activité de corrosion plus importante que sa consœur non-salée. On a également pu constater que la qualité du revêtement sur la bretelle salée a favorisée un ruissellement des eaux contaminées en chlorures. La stagnation des eaux au point bas du dévers d'un tablier a deux effets néfastes sur la dégradation de l'ouvrage. Premièrement, elle favorise l'infiltration d'eau au travers du revêtement ce qui contamine le dessus du tablier. Deuxièmement, elle favorise l'exposition aux éclaboussures salines des parapets, augmentant ainsi la concentration en chlorures dans les premiers centimètres du béton de recouvrement. Le brouillard salin soulevé par le trafic circulant sur le boulevard Charest a légèrement contribué à la pénétration des ions chlorures sous les poutres de l'échangeur chevauchant le boulevard. En plus de l'utilisation d'une bretelle, on a pu constater que le trafic circulant à l'extérieur de celle-ci peut influencer le processus de dégradation de son enveloppe, en l'exposant à des éclaboussures salines par exemple. Finalement, 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 majeur.

## **2.2 Étude sur le coulis de précontrainte**

L'étude du coulis de précontrainte a consisté principalement en l'examen de la porosité du coulis afin de déceler toute sédimentation potentielle et à l'examen de la qualité d'enrobage du coulis des torons de précontrainte (détection des vides de coulis dans les gaines).

Les résultats obtenus témoignent de la bonne qualité du coulis prélevé dans les gaines, ce qui est cohérent avec le peu de traces de corrosion observées sur les torons. Bien que l'on observe une densité légèrement supérieure dans les coulis de points bas, on ne peut affirmer qu'il réside un gradient de densité significatif entre les points haut et les points bas.

La présence de vides de ressuages dans les points hauts des gaines semble être généralisée à l'ensemble de la structure. Dans la plupart des cas, ces vides sont de taille suffisamment petite pour que le coulis enrobe bien les torons. Aucune étude statistique quantitative sur la dimension et la répartition de ce type de vide n'a été réalisée. On peut cependant affirmer que dans le pire des cas de vide partiel observé, le vide descendait jusqu'à la mi-hauteur de la gaine, et exposait ainsi les torons supérieurs. La dimension moyenne des vides observés représentait environ 15% de la surface de la gaine dans le point haut.

Dans bien des cas, l'injection du coulis n'a pas permis de remplir convenablement les interstices entre les fils des torons si bien que l'eau peut y circuler librement. Ceci peut avoir un impact sur le volume des vides laissés par l'eau de ressuage dans les points hauts. Dans un seul cas, une gaine n'a pas été injectée. Les torons de cette gaine semblaient être atteints de corrosion superficielle. Une étude allemande récente sur les défauts observés sur des ponts en béton précontraint par post-tension stipule qu'environ une gaine sur vingt serait mal injectée.

## 2.3 Méthodes d'investigation non-destructives

Lors du démantèlement de certaines structures de l'échangeur autoroutier Dufferin-Montmorency plusieurs segments de poutres ont été transférés au Centre de service du ministère des transports du Québec. Ces segments de poutres ont été soumis à une investigation non destructive à l'aide de la méthode Impact-écho et de l'endoscopie. Toutefois avant de s'attarder à l'investigation d'éléments complexes réels, des échantillons de taille plus modeste ont été fabriqués en laboratoire sous forme de plaques et de blocs plus massifs en béton. Ces éléments fabriqués en laboratoire ont fait l'objet d'un rapport antérieur de même que la description des méthodes impact-écho et de l'investigation par endoscopie.

### *Retour sur les mesures par Impact-Écho (IE)*

Les études antérieures (voir bibliographie) portant sur l'application de la méthode impact-écho décrivaient les capacités de la méthode ainsi que ses limites. Or, dans la littérature abordant la méthode IE, les limites mises de l'avant étaient que l'écart des dimensions des échantillons étudiés, par rapport à un corps d'épreuve dont les dimensions peuvent être jugées semi infinies dans deux directions, faisait croître le nombre de fréquences excitées et donc le nombre de pic de fréquences obtenues sur les diagrammes des résultats (spectre de fréquences). Cela a été remarqué lors des essais IE au fur et à mesure de l'augmentation de la section des échantillons étudiés (passage des plaques vers les blocs puis vers les segments de poutres en béton). D'ailleurs, la complexité croissante des corps d'épreuve fabriqués en laboratoire avait été choisie afin de se rapprocher des conditions d'étude des segments de poutres.

L'augmentation du nombre de pics de fréquence lors du dépouillement des résultats IE a fait ressortir le fait qu'en plus d'obtenir un plus grand nombre de pic de fréquences, une superposition des fréquences excitées est apparue rendant impossible l'identification des pics caractéristiques recherchés ( $f_{\text{acier}}$  et  $f_{\text{vide}}$ ). De plus, certaines fréquences ayant de grandes amplitudes ont masqué les signaux des deux fréquences d'intérêt citées précédemment. Cela a aussi été remarqué pour les plus petits échantillons étudiés (les plaques Pl*i*) en raison des dimensions en cause (165mmx 360mm x400mm)) ayant entraîné

des effets de bords importants. En effet, tels que mentionné, aucun des corps d'épreuve étudiés (plaque : 165mmx360mm x400mm, bloc :500mm x500mm x1500mm) n'a pu être associés à un échantillon de dimensions « semi-infini », échantillon à la base de la méthode IE énoncée par Mary J. Sansalone [31].

Cependant, même si les pics théoriques n'ont pas été identifiés lors de l'analyse des essais IE, l'étude du bloc C a permis de distinguer l'état de remplissage de certaines gaines. En effet, les deux gaines (CA et CB) des échantillons du Bloc C localisés les plus près de la surface d'étude (10 et 15 cm de profondeur) ont permis de faire ressortir des pics de fréquence présents uniquement pour un vide de coulis inférieur à 20% ou supérieur à 80% de la section de la gaine  pour une gaine relativement pleine (comblée de coulis entre 100% et 80% de la section de la gaine) ou presque vide (les vides représentant entre 80 et 100% de la section de la gaine) Cela démontre qu'une réponse IE sur l'étude du remplissage de coulis d'une gaine dans un élément massif peut être possible lorsque certaines conditions sont respectées. Dans le cas du bloc C, les dimensions de ce bloc sont celles qui s'apparentent le plus à un élément de dimension semi infinie (500mm x 900mm x 1600mm ) et les gaines CA et CB sont celles les plus près de la surface de mesure.

Les dimensions des pièces étudiées a donc fortement influencé la difficulté d'interprétation des résultats. En effet, la difficulté de l'IE réside dans l'analyse des résultats et il est nécessaire d'approfondir le traitement des données comme l'ont confirmé d'autres chercheurs. À ce jour, il semble donc encore difficile d'appliquer IE aux pièces massives dues à l'interprétation des résultats.

De la même façon, l'étude des segments de poutre tend à démontrer que la méthode d'étude Impact-Echo peut potentiellement être en mesure de détecter des défauts et la présence des gaines pour les éléments massifs précontraints. Toutefois l'interprétation des mesures basée sur le spectre de fréquences ne semble pas en mesure de fournir assez d'information pour une interprétation suffisamment précise. Des méthodes plus raffinées d'interprétation du signal devront être examinées et développées pour l'étude d'éléments massifs.

*Retour sur l'utilisation de l'endoscopie :*

L'endoscopie a d'abord été utilisée sur un bloc fabriqué en laboratoire (bloc B) puis sur divers segments de poutre. L'utilisation d'un endoscope pour le diagnostic de l'état interne des gaines de précontrainte, est parfaitement adapté tel que montré dans l'étude.

Les images obtenues, bien que pouvant paraître compliquées au premier abord, s'analysent très clairement. Il ne tient qu'à l'utilisateur de l'appareil de prendre un minimum de précaution lors de la prise des clichés pour obtenir une image nette avec une luminosité adéquate. Aucune formation n'est nécessaire pour l'utilisation d'un endoscope. Seule, une simple prise en main de l'appareil est primordiale avant les essais.

L'endoscope est un appareil fonctionnel, mais aussi pratique, puisque l'ensemble du matériel tient dans une simple mallette. Cependant, contrairement à l'impact-écho, la mise en œuvre d'une investigation par endoscopie demande l'utilisation d'autres appareils : une perceuse pour accéder aux gaines et un compresseur à air afin de nettoyer les ouvertures. Ces appareils nécessitent généralement une génératrice afin de les faire fonctionner sur une longue période. Ainsi, il est important de prévoir un dégagement utile à l'installation de ces appareils lors de l'étude de zones difficiles d'accès: L'obstruction des petites ouvertures est certainement un sujet d'intérêt mais qui peut être facilement abordé à l'aide de règles de bonne pratique. Quoiqu'il en soit, il s'agit d'une problématique beaucoup moins sensible que dans le cas d'ouvertures par fenêtrage.

### **3 Conclusion**

L'étude diagnostique menée sur quelques éléments de l'échangeur autoroutier Dufferin-Montmorency a montré que, de façon générale, l'enveloppe de la structure était en excellent état et ne présentait aucun signe de dégradation majeur.

Également cette étude a été en mesure de faire ressortir la pertinence de l'utilisation de membrane d'étanchéité, a souligné l'influence de la présence de l'eau de ruissellement contaminées au chlore ainsi que l'influence non négligeable de brouillards salins et d'éclaboussures sur la contamination et dégradation éventuelles d'un ouvrage.

D'autre part, l'étude a également montré la nature non hermétique des gaines de précontrainte et la présence de forts taux d'humidité. Elle a également montré que les gaines de précontrainte pouvaient présenter des défauts d'injection voire une absence totale (oubli) de coulis.

Quant aux méthodes d'investigation non destructives, l'étude a montré que la méthode Impact-écho, bien que présentant un potentiel, présentait des difficultés d'interprétation non négligeables d'autant que les pièces in situ présentent généralement des défauts influençant les résultats. D'autre part, l'endoscopie est tout à fait adaptée à l'investigation locale de pièces soumises à la post-tension et pourrait être facilement combinée à d'autres méthodes au besoin afin de dresser un bilan complet d'un ouvrage.