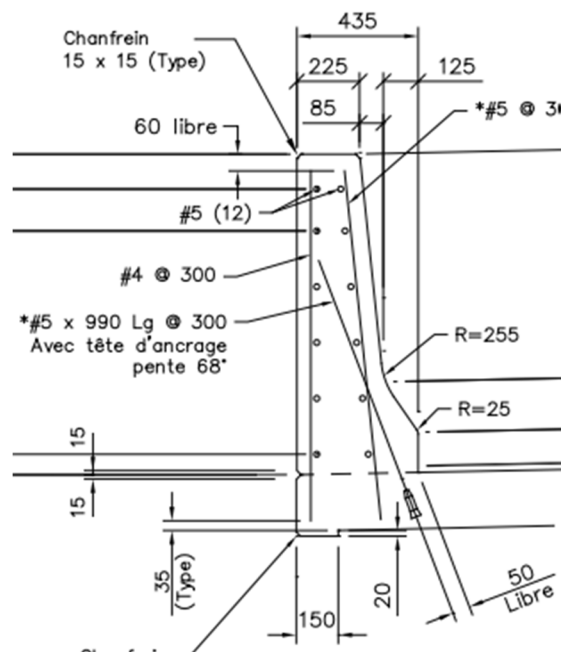


UTILISATION DE BARRES COMPOSITES EN PRFV AVEC TÊTE D'ANCRAGE :  
UNE 1<sup>re</sup> AU QUÉBEC

Sébastien Galipeau, ing. et Marc-Antoine Loranger, ing.

Le besoin d'une glissière en béton durable et économique de niveau d'essai TL-5 a mené à une révision du patron d'armature des glissières 301, 301M et 311 du ministère des Transports du Québec (MTQ). Les glissières actuelles avec armature en acier galvanisé sont économiques, mais elles pourraient présenter des problèmes de durabilité. Le MTQ a donc développé des glissières avec patron d'armature en polymère renforcé de fibres de verre (PRFV), pour répondre aux besoins en durabilité. Toutefois, ce patron, essentiellement identique à celui en acier galvanisé, présente également des problématiques, notamment en raison des barres courbes en PRFV. Ces barres, plus difficiles à produire, sont plus dispendieuses que des barres droites en PRFV et ont des faiblesses dans leur zone courbe, en raison de leur méthode de production. Au final, bien que durables, les glissières avec patron d'armature composite ne permettent pas le gain économique souhaité.

Le besoin du Ministère a donc poussé l'industrie à développer une barre en PRFV avec tête d'ancrage. Cette barre, positionnée au-devant de la glissière, pourrait reprendre les efforts de traction lors d'impacts. Suivant des essais mécaniques, physico-chimiques et de durabilité par un laboratoire indépendant, cette barre a permis le développement d'un nouveau patron d'armature, incluant uniquement des barres droites, apportant potentiellement le gain économique souhaité.



## Volet matériaux

Le MTQ a mandaté l'Université de Sherbrooke en 2013, afin d'obtenir un avis technique sur la durabilité (durée de service de 75 ans minimum) des têtes d'ancrage en thermoplastique et la compatibilité de celles-ci avec les armatures droites en PRFV. Pour ce faire, diverses analyses physico-chimiques (taux de charge, composition chimique, température de transition vitreuse, absorption d'eau, coefficient d'expansion thermique) ont été réalisées. De plus, des essais d'arrachement sur des barres avec têtes d'ancrage noyées dans des blocs de béton ont eu lieu, afin d'évaluer leurs performances après conditionnement dans une chambre de gel-dégel et en solution alcaline. Sur la base de cette étude et des résultats obtenus, il a été recommandé au MTQ d'utiliser ce produit pour les glissières.

La barre PRFV est composée de fibres de verre et d'une résine polymère à base de vinylester. Ces barres doivent répondre aux normes CAN/CSA S6 et CAN/CSA S807. La tête d'ancrage doit être composée d'un matériel thermoplastique ayant une durabilité éprouvée selon la norme CAN/CSA S6 et doit être moulée à l'extrémité d'une barre. À noter qu'au moment du Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art de mai 2019, la norme CAN/CSA S807-10 en vigueur ne traite pas ces têtes d'ancrage, mais qu'elles seront ajoutées à la version S807-19 qui doit sortir à l'été 2019.

Le devis type « Construction et réparation » du MTQ inclut également des exigences supplémentaires pour les propriétés des barres PRFV, ainsi qu'une résistance minimale à l'arrachement de 100 kN pour les têtes d'ancrage.

Suivant ces exigences, les barres prélevées lors du premier projet utilisant ces barres et le nouveau patron d'armature ont été testées selon plusieurs essais mécaniques et physico-chimiques (voir annexe 1 pour les détails). Les essais ont tous été concluants, allant bien au-delà des exigences dans certains cas.

De plus, pour valider nos modèles de durabilité, des sondes de température et d'humidité ont été insérées dans le béton des glissières du premier projet.

## Volet structure

Puisque cette nouvelle barre ainsi que le nouveau patron d'armature pouvaient modifier le comportement de la glissière, des essais d'impact ont été réalisés et ont démontré le bon comportement de l'ouvrage. Avec un faible déplacement prévisible ainsi qu'un endommagement minime, la glissière répond aux exigences de l'essai.

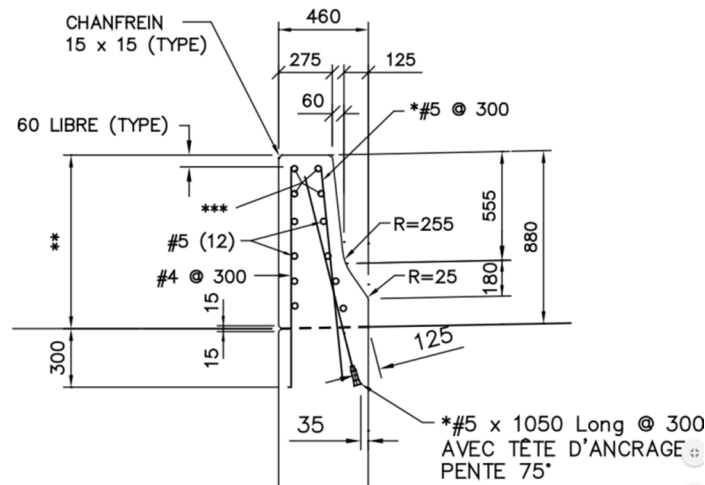
Toutefois, de légères différences au niveau de la profondeur d'ancrage et du recouvrement entre la glissière testée et celle se trouvant sur le réseau québécois ont soulevé des questions. Des essais statiques en laboratoire avec des glissières répondant aux dimensions demandées par le MTQ ont été réalisés. Les résultats ont démontré que le nouveau patron et la tête d'ancrage répondent adéquatement au comportement attendu défini dans la norme CAN/CSA S6-06, ainsi qu'aux efforts dénotés par un modèle à éléments finis. À noter que ce dernier modèle atteint des efforts supérieurs à ceux définis dans la norme S6-06.

## UTILISATION DE BARRES COMPOSITES EN PRFV AVEC TÊTE D'ANCRAGE : UNE 1<sup>re</sup> AU QUÉBEC

Des essais statiques avec glissières sur base non déformable ont également été réalisés, afin de vérifier le comportement d'une glissière sur un mur, par exemple. Une base non déformable ne permet pas la redistribution du moment dans la dalle comme pour une glissière sur dalle, ce qui induit beaucoup plus d'effort dans l'ancrage. Les résultats ont démontré une rupture de l'ouvrage par éclatement du béton de l'ancrage. En augmentant la profondeur d'ancrage, maintenant possible avec la glissière sur un mur, la glissière démontrait un comportement satisfaisant (voir annexe 2 pour facteurs de sécurité).

Suivant ces essais, deux nouveaux patrons ont été développés et acceptés par le MTQ : celui sur dalle et celui sur base plus rigide (comme un portique ou un mur).

Enfin, des essais statiques avec des barres ancrées par ancrage chimique (époxy) ont été réalisés afin de déterminer le comportement des ancrages suivant une réparation. En gardant une faible profondeur de scellement, la glissière a démontré un comportement satisfaisant, autant sur les dalles que sur des bases rigides.



### Premier projet

Un nouveau portique pour l'élargissement de l'autoroute 73 Sud à Québec se prêtait à l'installation de ces nouvelles glissières. Étant donné que la dalle du portique était beaucoup plus rigide que la glissière (épaisseur minimale de 700 mm), il a été déterminé que le patron devait être celui pour une base non déformable. La mise en œuvre a été rapide et facile, nonobstant un léger ajustement en chantier pour les barres verticales au dos des glissières.

D'un point de vue économique, la glissière avec armature en PRFV représente une infime augmentation de 0,18 % du projet, par rapport à une glissière en armature en acier galvanisé conventionnelle. Supposant que la glissière avec PRFV atteindra la pleine durée de vie de l'ouvrage, cela représente un gain économique appréciable.

**ANNEXE 1**

**Essais mécaniques**

Type de barre	Résistance en traction garantie effective (MPa)	Module d'élasticité moyen effectif (GPa)	R <sub>Tg</sub> (MPa)	Résistance à l'arrachement des têtes d'ancrage (kN)	Élongation (%) (1,2 % min.)	Adhérence (MPa) (8 MPa min.)
Droite n° 5 (avec tête d'ancrage)	n.a. [1090]	n.a. [53,2]	n.a. [1180]	160 [100]	n.a.	15,0
Droite n° 4	n.d. [1100]	n.d. [54,5]	1469 [1300]	n.a.	2,4	24,0
Droite n° 5	n.d. [1090]	n.d. [53,2]	1432 [1180]	n.a.	2,3	26,3

**Essais physico-chimiques**

Type de barre	Absorption d'eau (%) (≤ 0,25 %)	Tg (°C) (≥ 100 °C)	Taux de cure (%) (≥ 95 %)	Teneur en fibre (%) (≥ 70 %)	Section effective (mm <sup>2</sup> )
Droite n° 5 (avec tête d'ancrage)	0,11	111	97,7	82,4	211
Droite n° 4	0,11	104	100	82,9	152
Droite n° 5	0,10	104	99,9	82,5	242

ANNEXE 2

Facteurs de sécurité

Type d'essai →	Partie intérieure sur dalle – barres @ 300 mm	Extrémité sur dalle – barres @ 150 mm	Partie intérieure non-déformable – barres @ 300 mm	Partie intérieure non-déformable <u>réparée</u> – barres @ 300 mm
Charge ↓				
Moment de résistance expérimental (kN*m/m)	110,46	145,02	128,72	142,17
S6-06 (kN*m/m)	83	102	83	83
<i>Facteur de sécurité vs S6-06</i>	<i>1,33</i>	<i>1,42</i>	<i>1,55</i>	<i>1,71</i>
Modèle éléments finis (kN*m/m)	86,3	126,4	132	132
<i>Facteur de sécurité vs éléments finis</i>	<i>1,28</i>	<i>1,15</i>	<i>0,98*</i>	<i>1,07</i>

\* Facteur de sécurité évalué avant augmentation de la profondeur d'ancrage de la barre avec tête d'ancrage. Par ailleurs, la glissière répond à l'essai d'impact avec une profondeur d'ancrage de 195 mm alors que le nouveau patron propose 300 mm d'ancrage.