

Expertise sur l'état des barres d'armature en PRFV des glissières du pont P-11591 situé sur l'A20 Est à Val-Alain

Point de mire sur les travaux de la DLC

Par : Marc-Antoine Loranger, ing. jr
et Claude Nazair, ing.

13 décembre 2016

Plan de la présentation

1^{ère} partie

- Mise en contexte
- Description, localisation et particularités
- Exigences
- Photos (2004 et 2015)
- Expertise et résultats (béton)

2^{ème} partie

- Expertise et résultats (armature composite)
- Conclusions et recommandations

1^{ère} partie

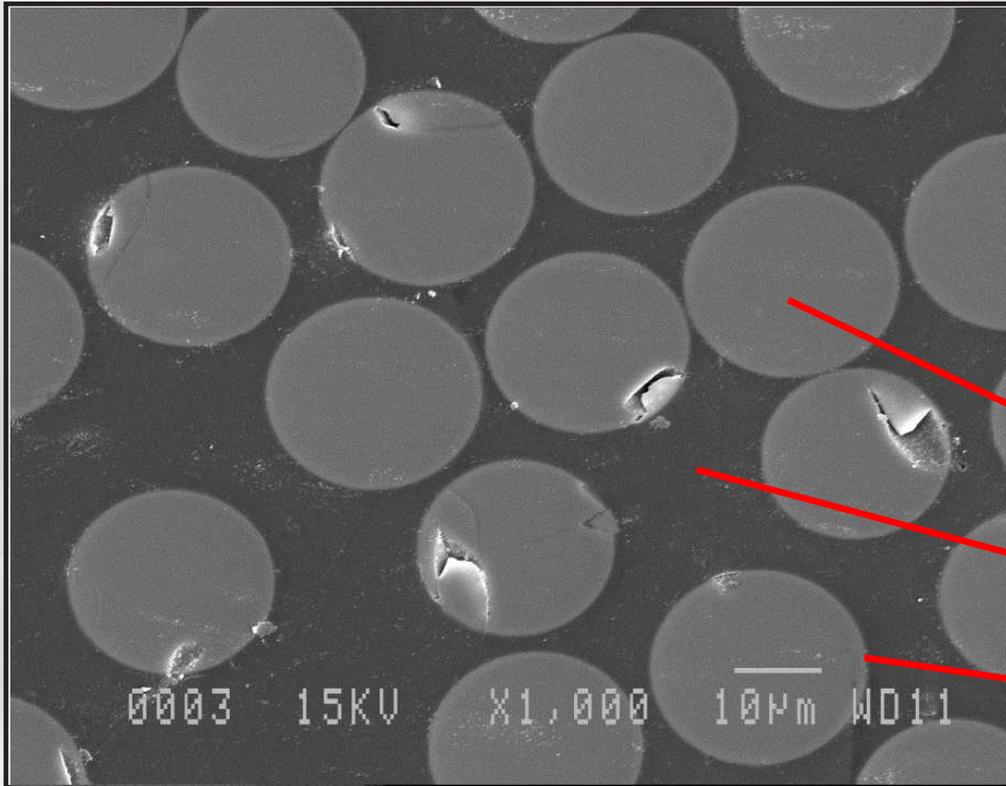
Mise en contexte

Historique de l'armature composite en PRFV au MTMDET :

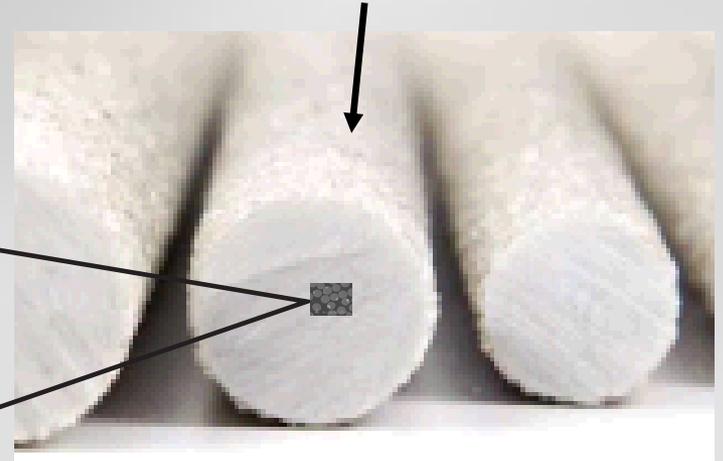
- ❑ 1993 : réalisation du 1^{er} projet pilote (glissière médiane pont Médéric-Martin) Expertisé en 2013
- ❑ 1997 à 2004 : réalisation de 6 projets pilotes (dont celui de Val-Alain en 2004) Expertisé en 2015
- ❑ 2004 : intégration de l'armature composite au manuel de conception des structures pour certains types de glissières
- ❑ 2006 : 1^{ère} dalle de chaussée (BAC A40 Kirkland)
- ❑ 2008 : intégration de l'armature composite au manuel de conception pour les dalles de tablier
- ❑ 2008 à aujourd'hui : réalisation de plus d'une cinquantaine de projets

Description armature composite

- Armature en PRFV (pultrusion)
(PRFV = Polymère renforcé de fibre de verre)



Enrobage (adhérence)



- Renfort (fibres de verre)
- Matrice (résine vinylester)
- Interface fibre-résine

Description armature composite

❑ Principaux avantages du PRFV :

- ne corrode pas
- très léger (4 x + que l'acier)
- valeur élevée en traction
- module d'élasticité similaire au béton

❑ Principaux inconvénients du PRFV :

- technologie récente (peu de données à long terme)
- pas de plateau plastique (i.e. rupture subite ou fragile)
- sensible aux alcalis du béton, à l'eau et aux rayons UV

Localisation du pont de Val-Alain



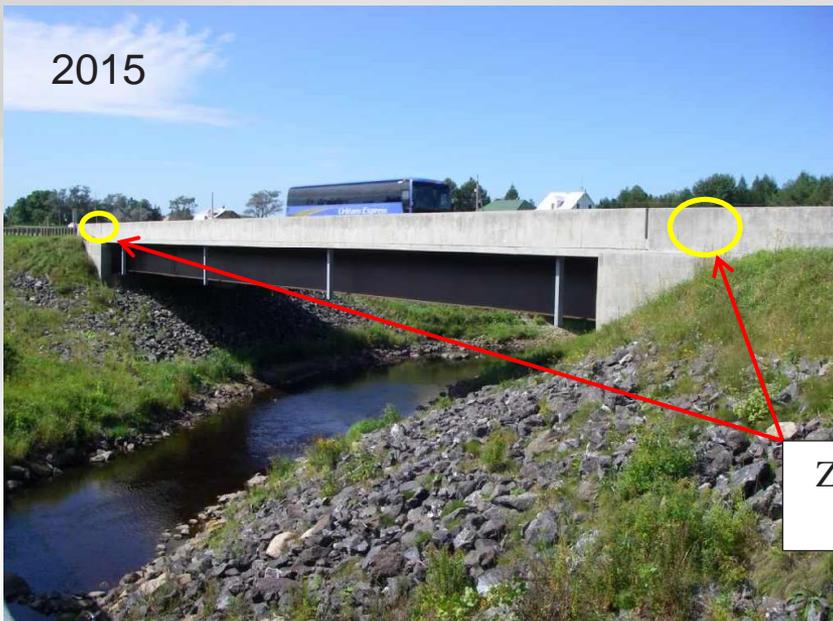
Particularités

2004



Type : Pont à poutres en acier avec travée unique (biais de 20°)
Route : Autoroute 20 Est
Municipalité : Val-Alain
Obstacle : Rivière Henri
Construction : juillet à octobre 2004

2015



Longueur totale : 57,6 m
Portée : 47,5 m
Largeur totale : 12,57 m

DJMA : 24 200 véhicules (camions 25 %)

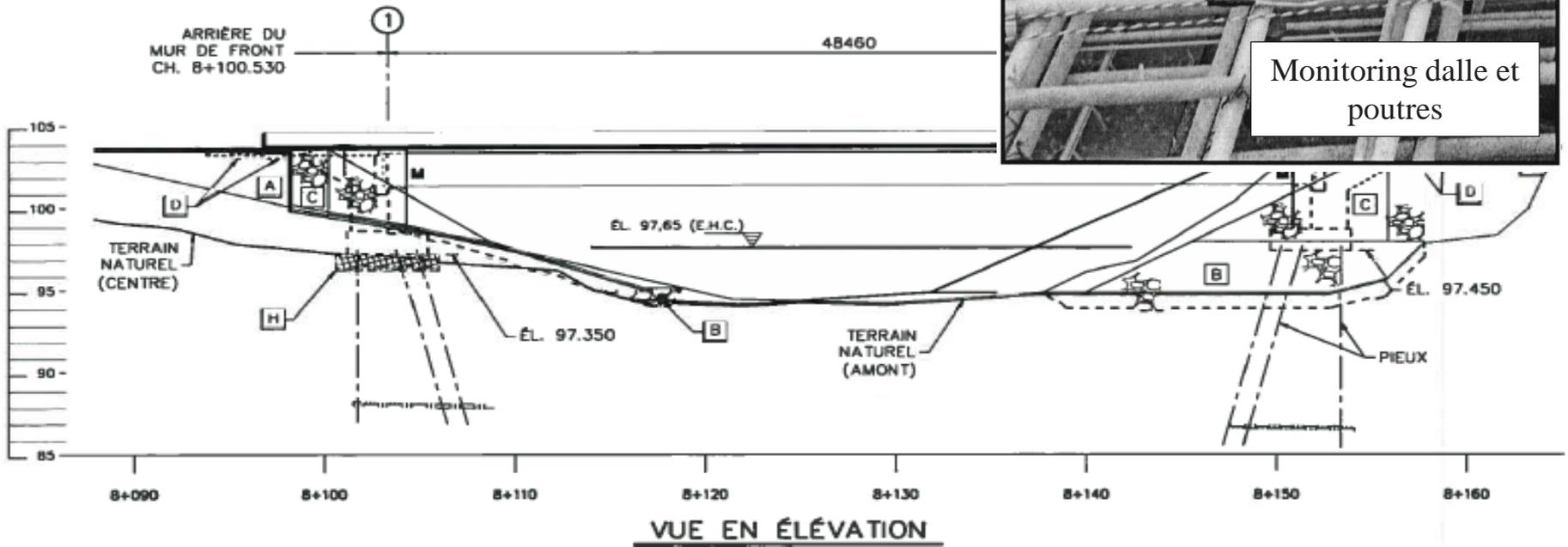
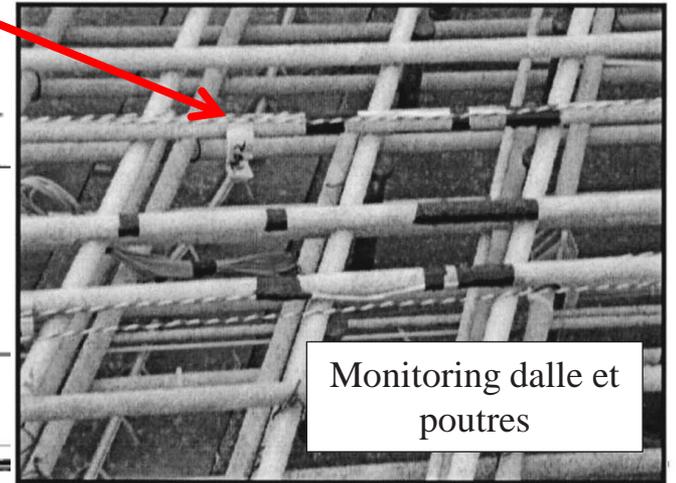
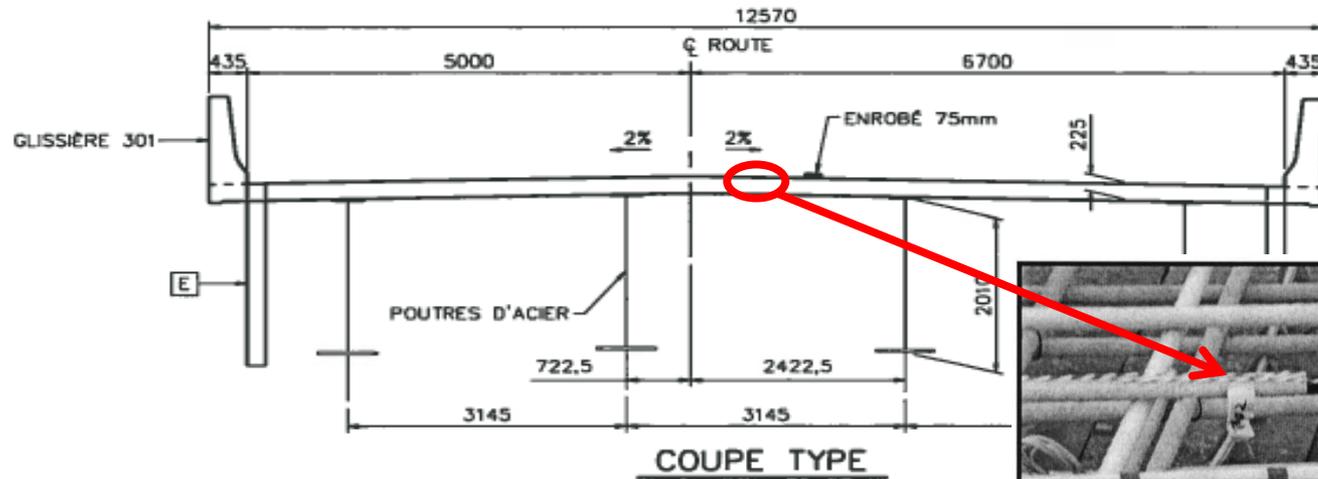
Durée de vie anticipée : > 75 ans (sans interventions majeures)

Zones expertisées en 2015

Particularités

- Dalle mince (225 mm) sur 4 poutres en acier ($h = 2,010$ m)
- Culées, dalle et glissières en béton haute performance (BHP)
- 605 m³ de béton dont 369 m³ en BHP (soit plus de 60 %)
- Culées semi-intégrales renforcées avec armatures en acier galvanisé
- **Premier tablier de pont avec dalle et glissières en béton entièrement renforcé de barres d'armatures en PRFV au Canada**
- Projet en collaboration avec l'Université de Sherbrooke (monitorage de la dalle avec essais de chargement)

Particularités



Exigences - béton

- ❑ BHP type XIII conforme à la norme *3101 du tome VII – Matériaux* du MTMDET

Résistance à 28 jours (MPa) (Type XIII)	Calibre des granulats (mm)	Dosage en liant GUb-SF (kg/m³)	Ratio eau/liant	Affaissement (mm)	Teneur en air (%)
50	5-14	410	0,34 à 0,38	170 ± 30	5-8

Exigences – armature en PRFV

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET GÉOMÉTRIQUES DES ARMATURES EN POLYMÈRE RENFORCÉ DE FIBRES DE VERRE

Armatures en matériaux composites de type V-Rod fabriquées par la compagnie Pultrall

Composition : ± 75 % Fibres de verre
 ± 25 % Matrice constituée d'une résine vinylester modifiée

Désignation de la barre	Diamètre (mm)	Aire (mm ²)	Poids linéaires (kg/m)	Module d'élasticité (MPa)	Résistance spécifiée en traction garantie * (MPa)
# 5	15,9	200	0,398	46 000 min.	683 min.
# 6	19,1	285	0,602	46 000 min.	656 min.

* Valeur correspondant à la valeur moyenne des résultats des essais effectués sur un échantillonnage donné, de laquelle on soustrait la valeur de l'écart type obtenue multipliée par trois.

Photos - armature en PRFV (2004)

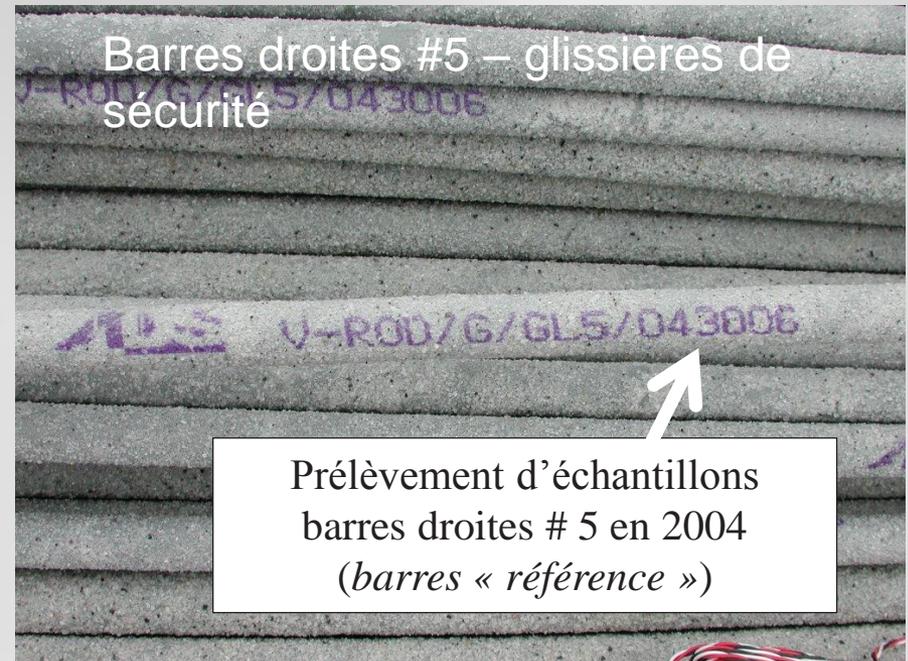


Photo - pose armature dalle (2004)

Espacement plus rapproché
+
attaches à tous les 300 mm max



Photo - pose armature glissières (2004)

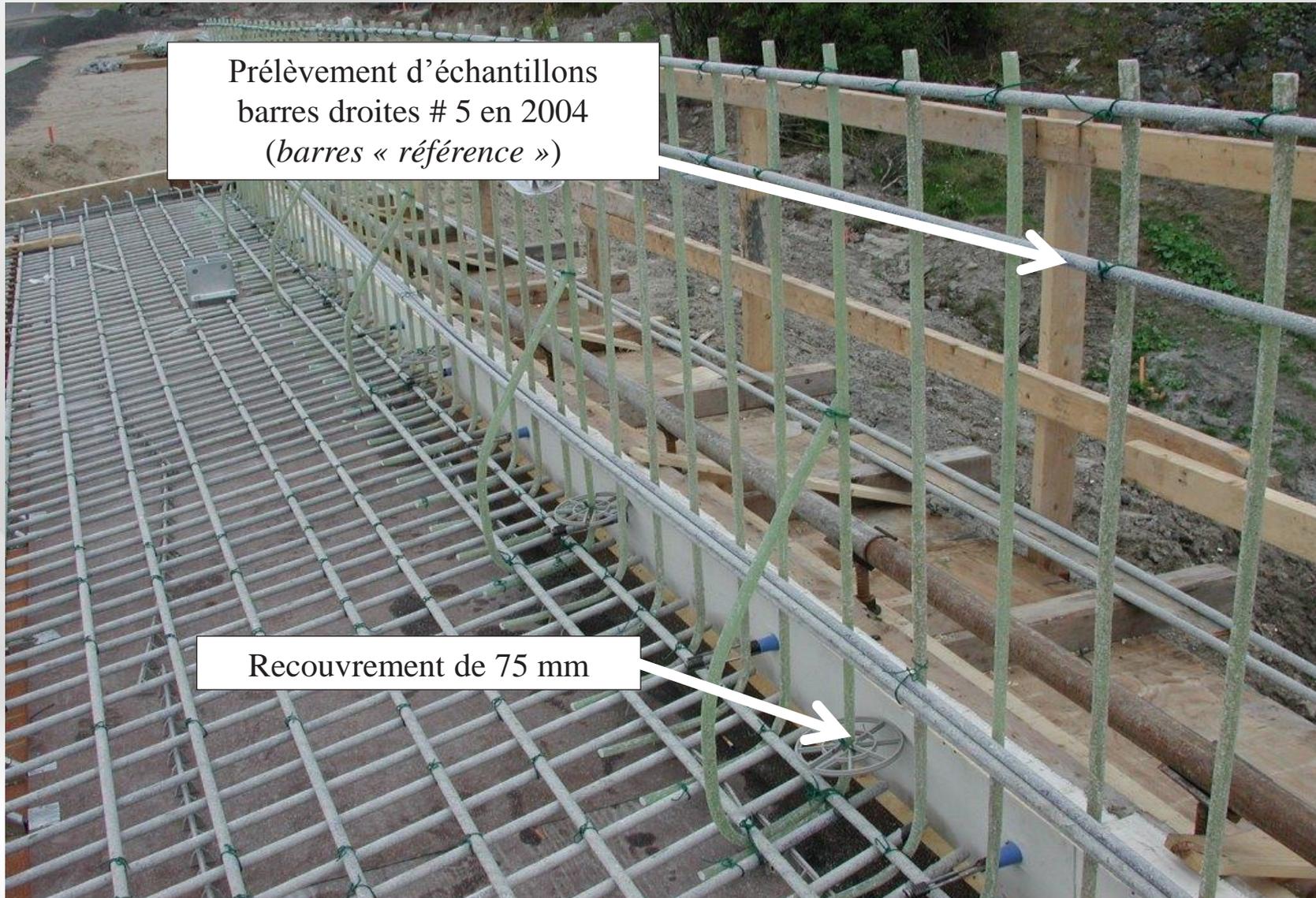
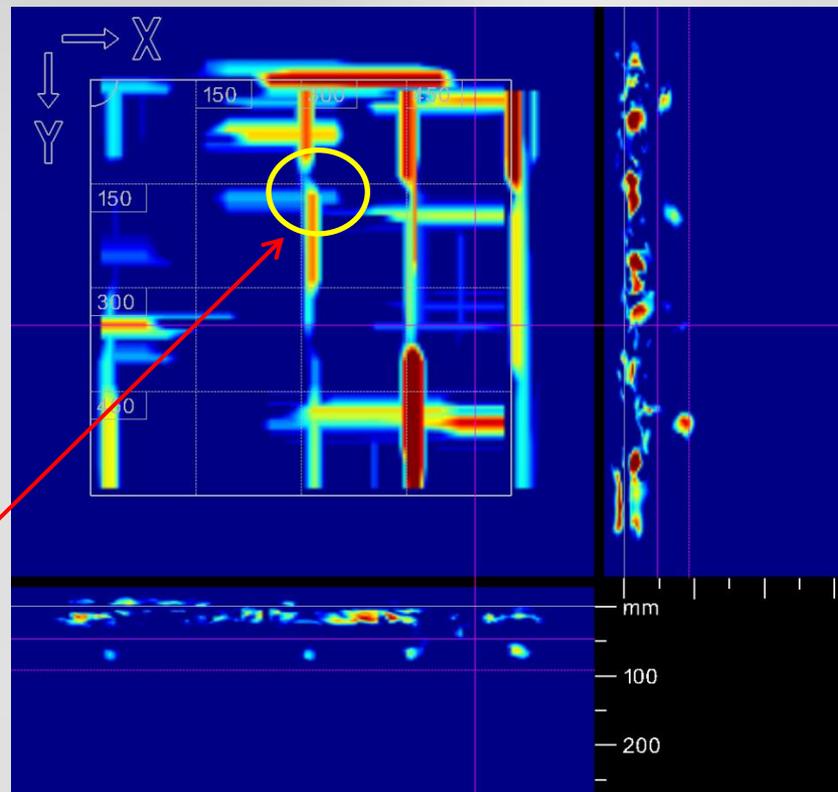


Photo - dalle après bétonnage (2004)



Photos - prélèvement 2015



- Localisation des armatures par géoradar

Photos - prélèvement 2015

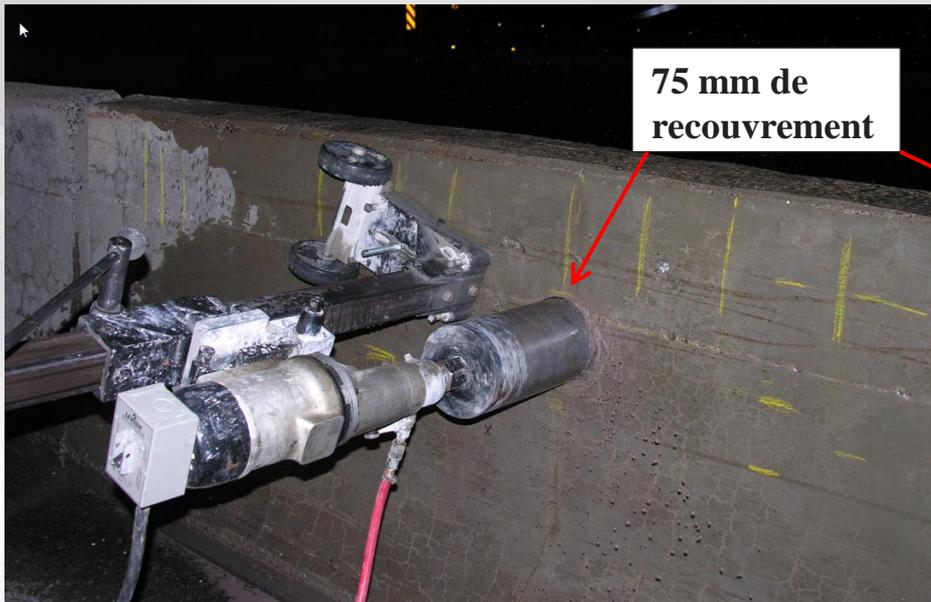
- 3 carottes prélevées au niveau de la glissière de sécurité côté sud-est du pont, soit :
 - 2 carottes de 150 mm de diamètre avec armatures en PRFV;
 - une carotte de 100 mm de diamètre sans armature en PRFV.



Barre courbe

Barre droite

75 mm de recouvrement



Expertise béton - essais

- | | |
|--|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> Résistance à la compression de carottes de béton | CSA A23.2-14C |
| <input type="checkbox"/> Absorption et vides perméables dans le béton durci | ASTM C 642 |
| <input type="checkbox"/> Perméabilité aux ions chlorure | ASTM C 1202 |
| <input type="checkbox"/> Teneur en ions chlorure solubles à l'acide (totaux) | AASHTO T-260 |
| <input type="checkbox"/> Distribution du réseau de bulles d'air (L-Barre) | ASTM C457 |
| <input type="checkbox"/> Analyse pétrographique | CSA A23.2-15A
ASTM C295 |

Expertise béton - résultats

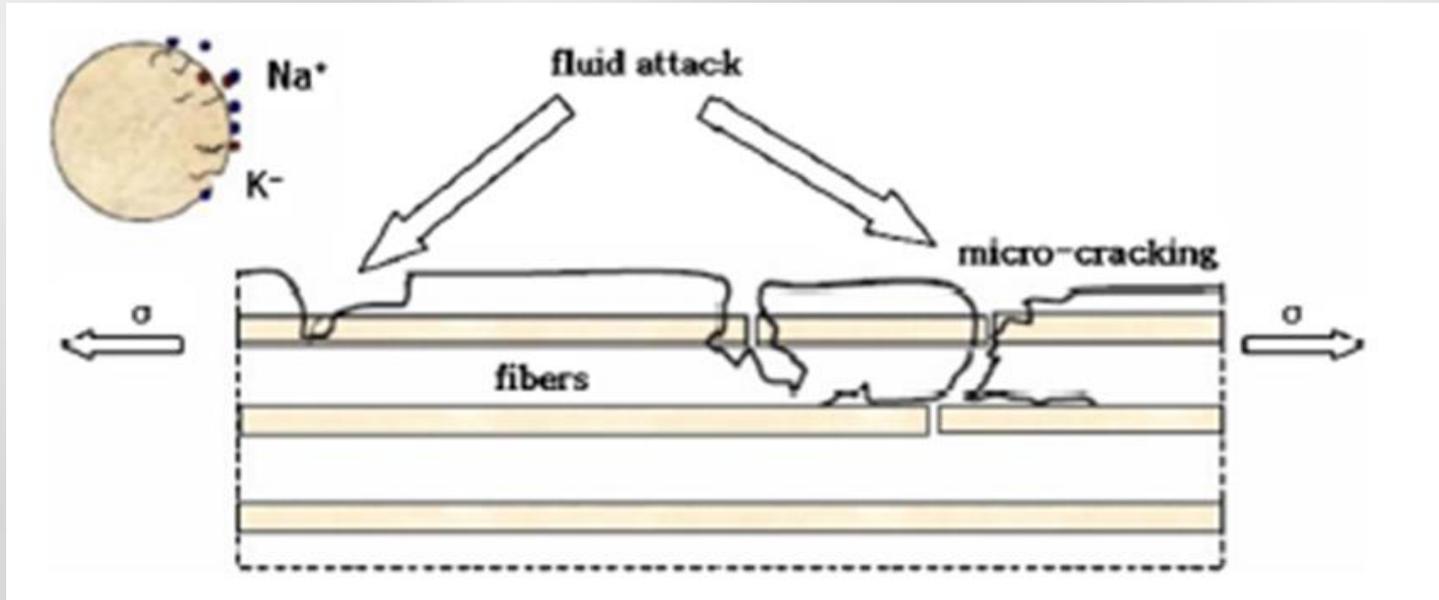
Résistance à la compression (Type XIII)	Teneur en ions chlorure (masse de béton)	Absorption et vides d'air	Perméabilité aux ions chlorure	L-Barre
59,9 MPa	0-12,5 mm : 0,60 % 12,5-25 mm : 0,15 % 25-50 mm : 0,039 % (Note : initiation de la corrosion à ~ 0,06 %)	Absorption : 4,5 % Volume des vides perméables : 10,9 %	Indice de perméabilité très faible (<1000 Coulombs)	307 µm (5,9 %)

Observations pétrographiques :

- Les granulats grossiers se composent de particules concassées de basalte vert et rouge.
- Le granulats fin se compose d'un sable de nature quartzo-feldspathique.
- Le béton ne présente aucun indice de détérioration.

2^{ème} partie

Mécanisme de dégradation des armatures en PRFV en milieu alcalin



- ❑ Solution interstitielle du béton est fortement alcaline et est constitué principalement d'ions Na⁺, K⁺ et OH⁻.
- ❑ Les fibres de verre se dégradent en présence d'un milieu humide et alcalin.
- ❑ La matrice polymère se dégrade en présence d'humidité.

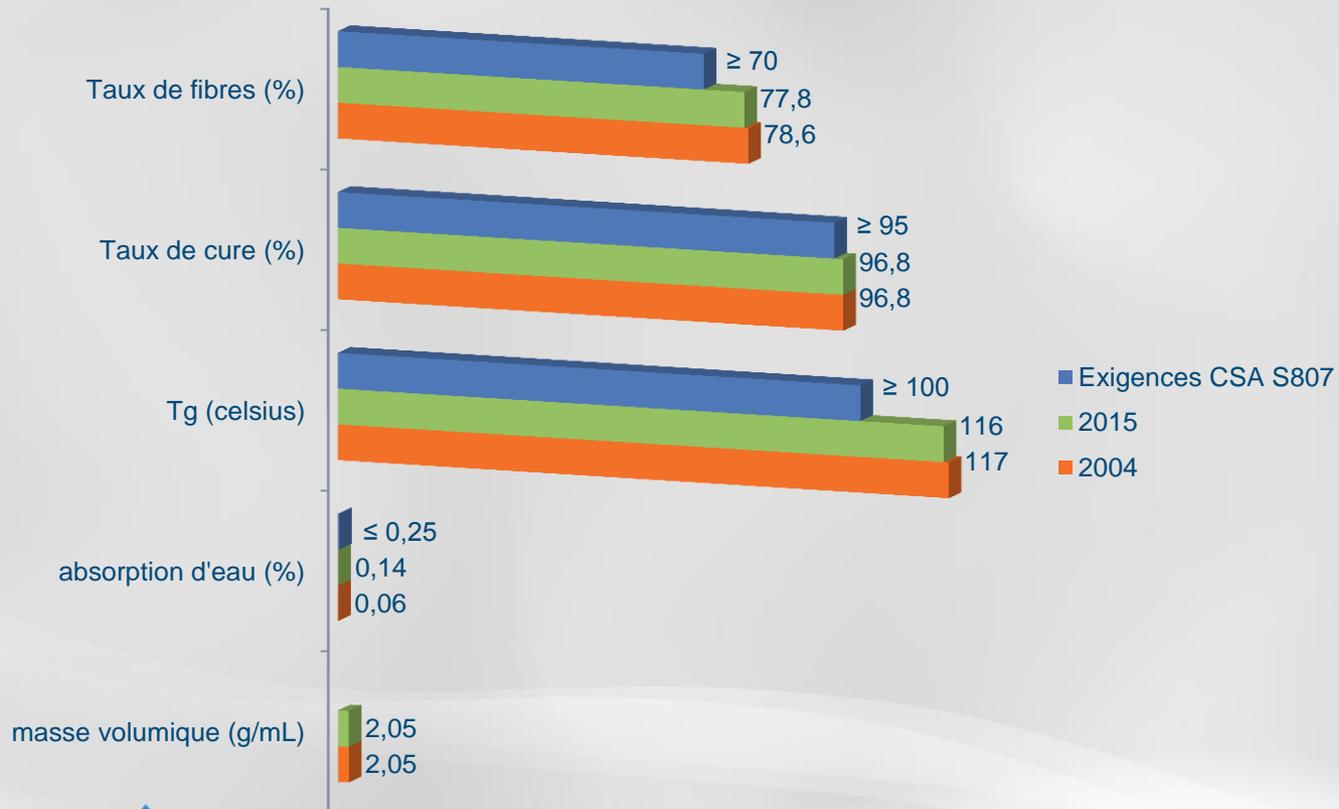
Protocole d'essais physico-chimiques sur les barres en PRFV prélevées

<input type="checkbox"/> Surface effective	ACI 440.3R, méthode B.1
<input type="checkbox"/> Densité	ASTM D792
<input type="checkbox"/> Absorption d'eau	ASTM D570
<input type="checkbox"/> Température de transition vitreuse	ASTM D3418
<input type="checkbox"/> Taux de cure	CSA S807-10
<input type="checkbox"/> Taux de fibres	ASTM D2584
<input type="checkbox"/> Porosité	ASTM D5117
<input type="checkbox"/> Spectroscopie FTIR	méthode SMI
<input type="checkbox"/> Spectrométrie FRX	LC 31-305
<input type="checkbox"/> MEB/EDS*	

* Les observations ont été réalisées au Laboratoire de microanalyse du département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval.

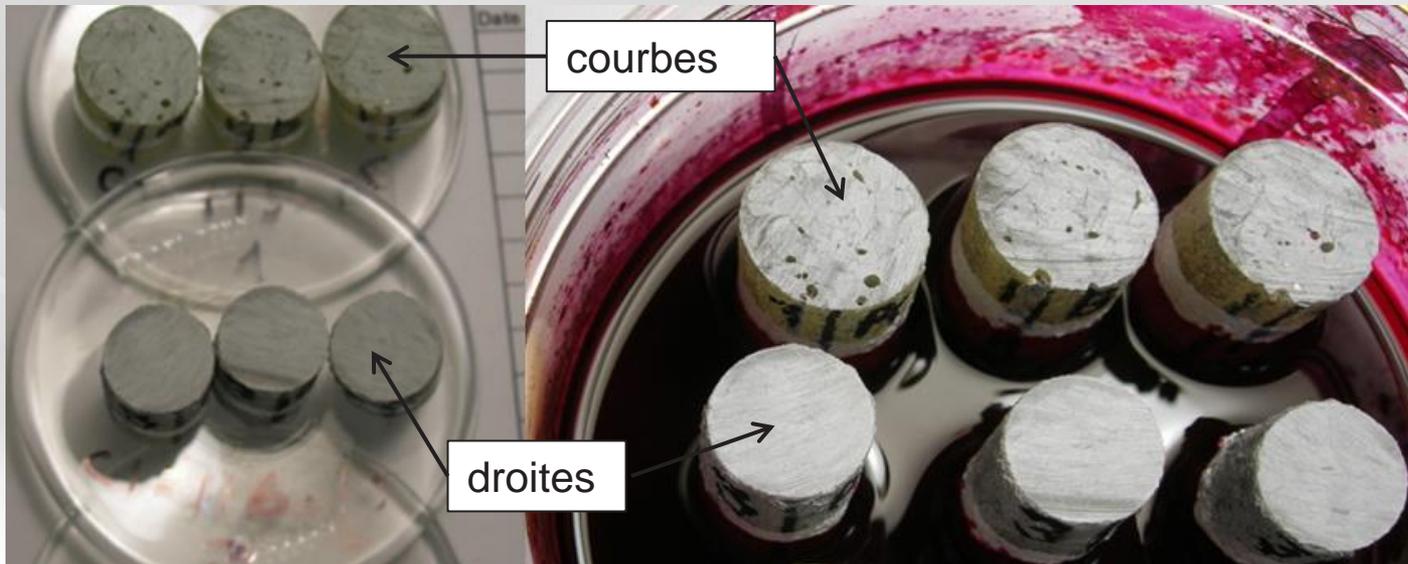
Résultats physico-chimiques

- ❑ Comparaison des propriétés physico-chimiques entre barres «référence» de 2004 et celles extraites de la structure en 2015.

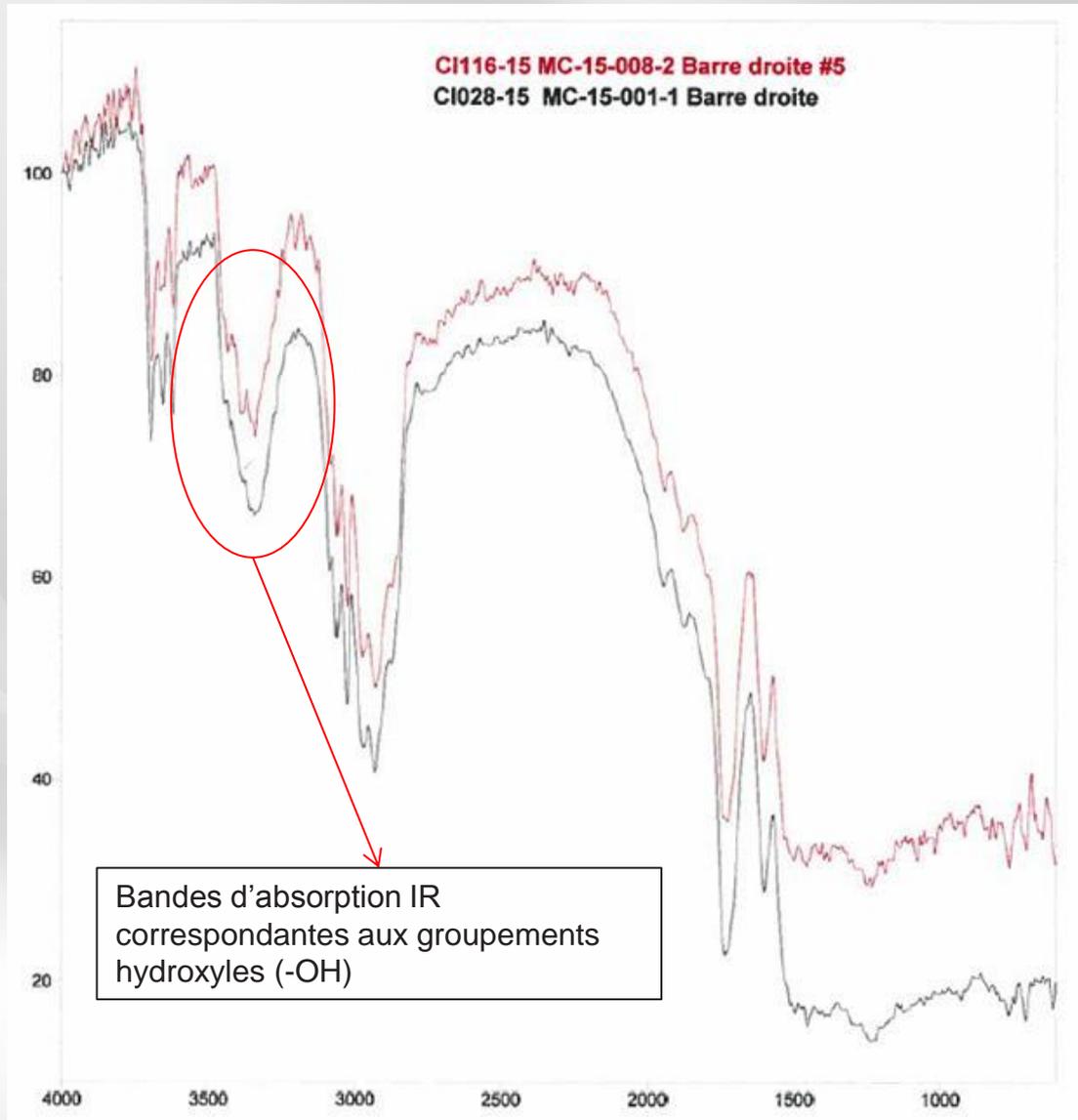


Résultats physico-chimiques (suite)

- ❑ Présence de porosité plus importante au niveau des barres courbes que des barres droites.
- ❑ Compositions chimiques des fibres s'apparentent à de la fibre de verre borosilicate de type E.

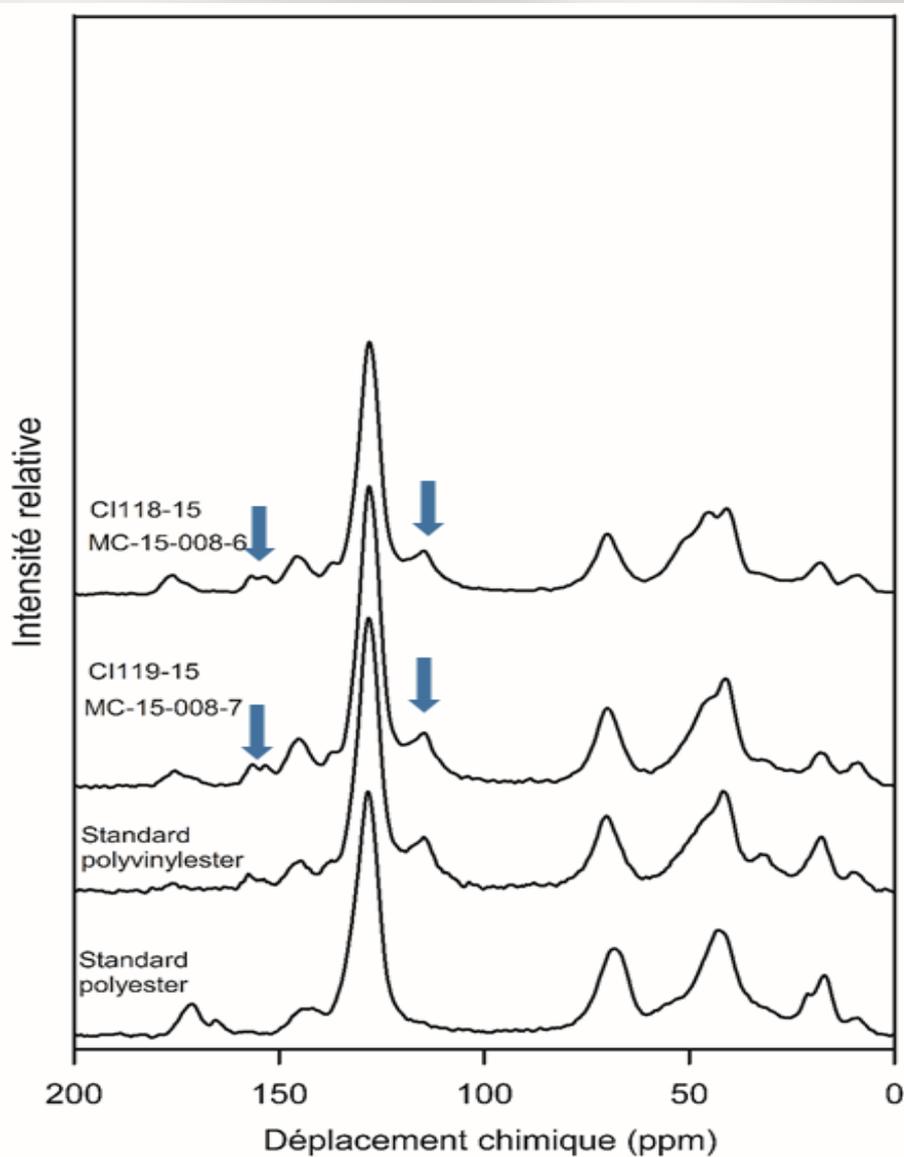


Spectroscopie FTIR

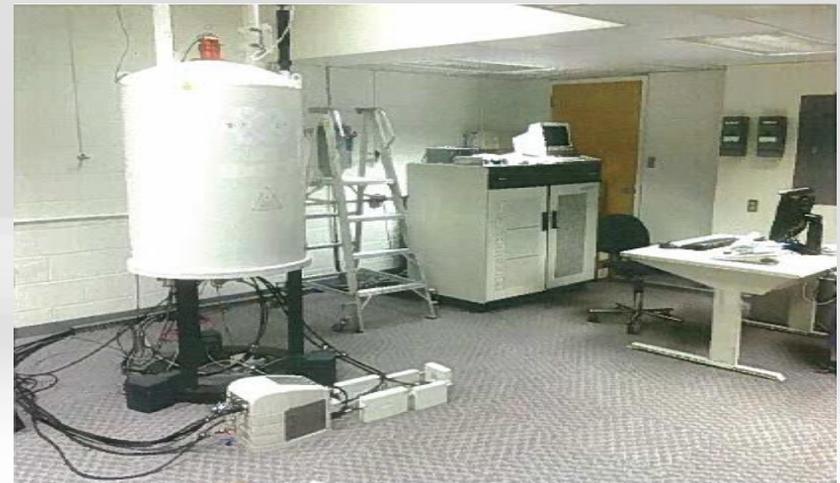


- Un changement au niveau du contenu en groupements (-OH) est un indicateur de possibles réactions d'hydrolyse des liaisons ester de la chaîne polymère.
- Aucune différence notable entre barre droite «référence» de 2004 et celle extraite en 2015.

Spectroscopie RMN du ^{13}C en phase solide

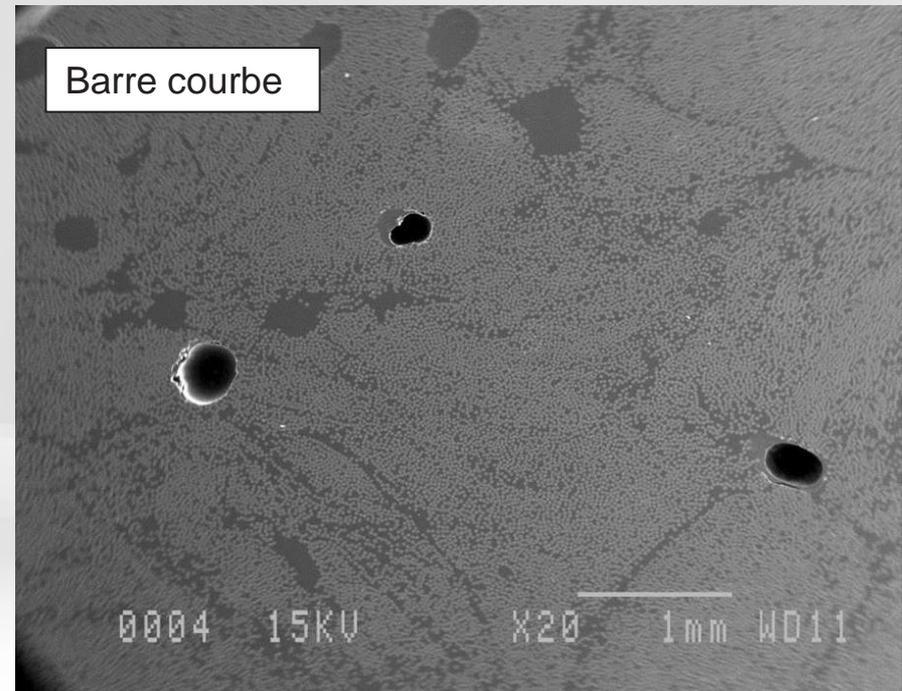
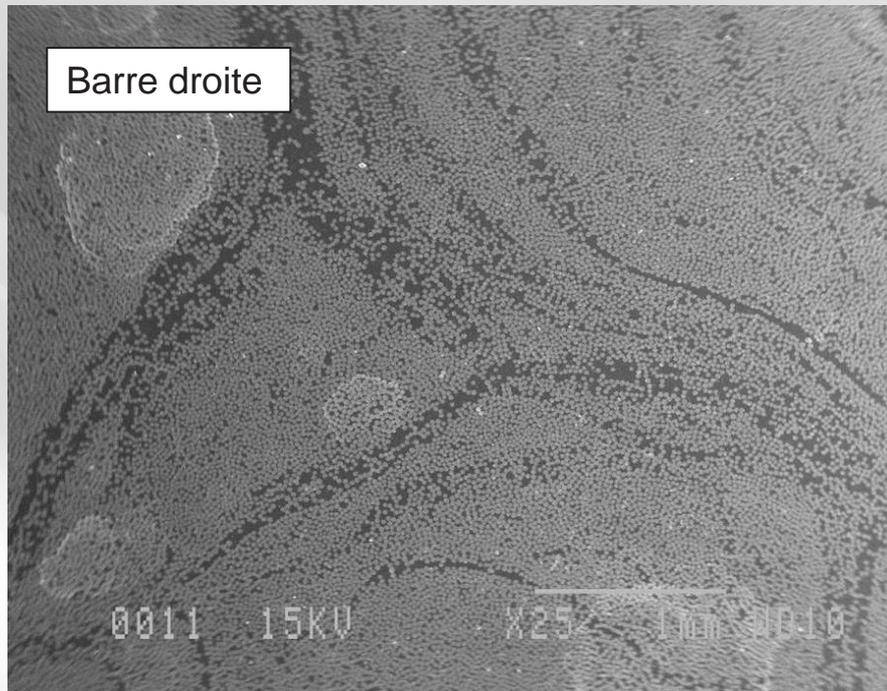


- Confirmation que la résine est de type vinylester.

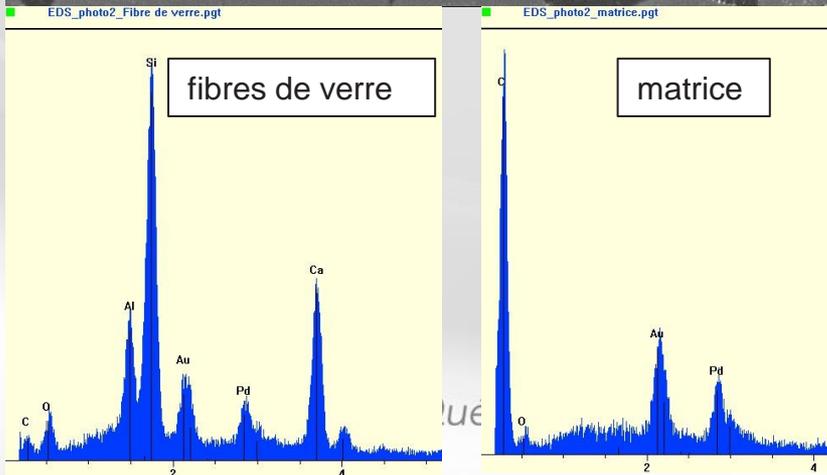
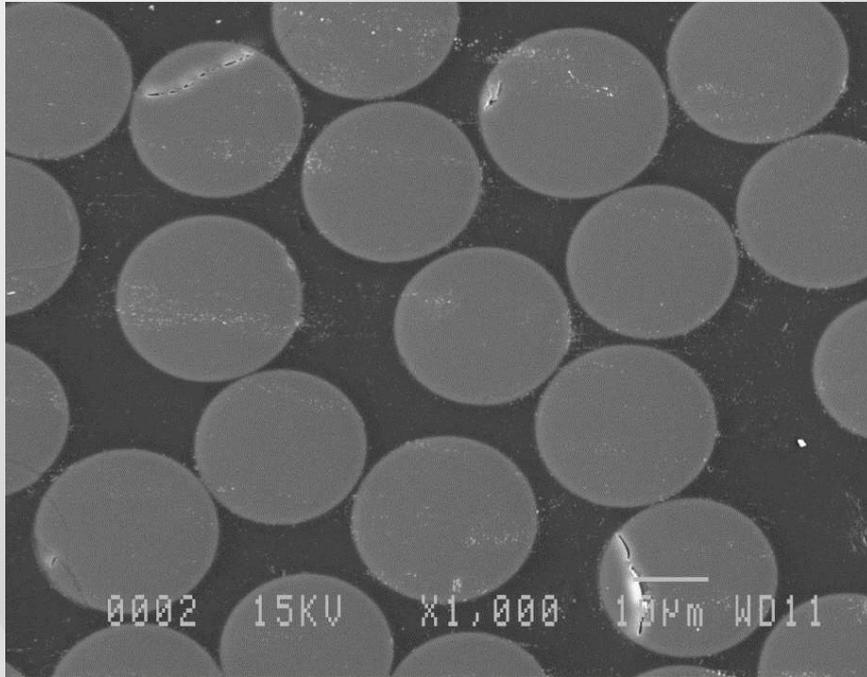


Microscopie électronique à balayage (MEB/EDS)

- Vérifier l'état des fibres de verre
- Vérifier l'état de la matrice polymère
- Vérifier l'interface fibres-matrice
- Vérifier l'interface béton-composite

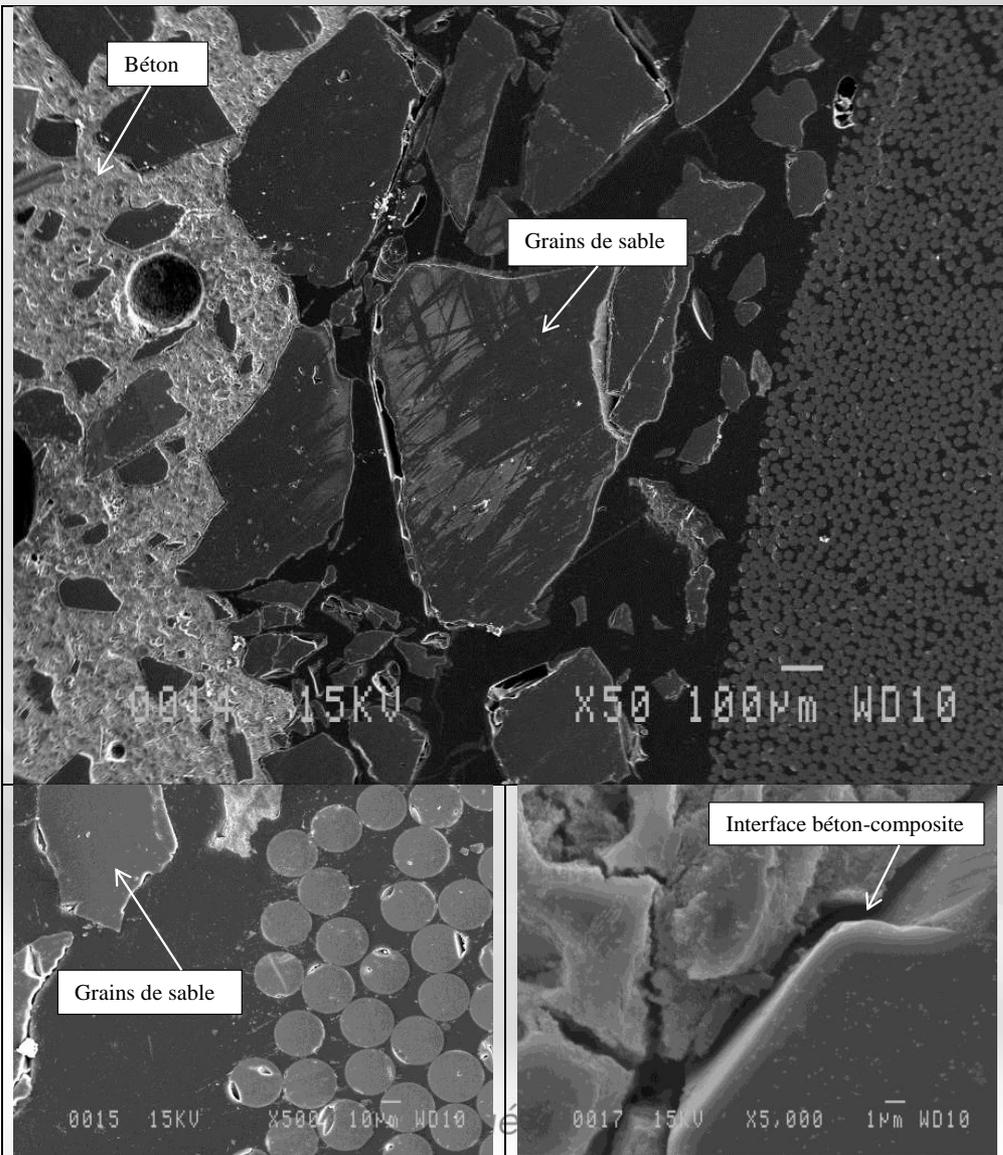


État des fibres et de la matrice



- Pour les fibres de verre, pics caractéristiques de silicium (Si), de calcium (Ca), d'aluminium (Al) et d'oxygène (O).
- Aucun pic de Si n'a été détecté dans la matrice aux environs des fibres de verre.
- Pour la matrice, pic caractéristique de carbone (C).
- Impossible de détecter l'anion hydroxyde, OH^- , par EDS.
- Aucun pic de potassium (K) ou de sodium (Na) n'a été détecté.

Interface béton-PRFV



- Aucun décollement de l'enrobage de grains de sable en périphérie des barres en PRFV.
- Léger décollement à l'interface béton-PRFV ($\leq 2 \mu\text{m}$ pour barre droite et $\leq 25 \mu\text{m}$ pour barre courbe).
- Impossible de déterminer si le décollement découle des conditions d'exposition des barres (humidité et alcalinité du béton, cycles de gel-dégel, efforts mécaniques, etc.) ou s'il résulte plutôt de la coupe transversale de l'échantillon.

Conclusions et recommandations

- Aucun changement notable au niveau des propriétés physico-chimiques des barres droites «référence» de 2004 et celles prélevées en 2015.
- Les barres d'armature en PRFV droites et courbes ne présentaient aucun signe de détérioration après 11 années de mise en service.
- Installation de capteurs de température et d'humidité dans le béton des glissières pour référence future.

Merci de votre attention !
Questions !?

