

**Expertise sur l'état du béton et des barres d'armature en PRFV du pont P-11591  
situé sur l'Autoroute 20 Est à Val-Alain**

**Rapport d'expertise**

Demandé par : M. Guy Tremblay, ing., M. Sc., directeur  
Direction du laboratoire des chaussées  
Ministère des transports du Québec

Relevés et essais  
réalisés par : Michaël Arsenault, t.t.p.  
Dave Brindle, t.t.p.  
Pascale Larouche, t.t.p.  
Marc-Antoine Loranger, ing. jr  
Claude Nazair, ing.  
Secteur liants hydrocarbonés et chimie

Rapport rédigé par : Marc-Antoine Loranger, ing. jr  
Claude Nazair, ing.  
Secteur béton  
Service des matériaux d'infrastructure  
Direction du laboratoire des chaussées  
Ministère des Transports du Québec

**N/Dossier SMI : MC-15-008/BC-15-095**

Québec, le 18 janvier 2016

## Table des matières

Table des matières.....	2
Table des figures.....	3
Liste des tableaux.....	4
1. Mandat .....	5
2. Mise en contexte .....	5
3. Localisation de la structure .....	6
4. Échantillons.....	7
4.1 Béton.....	7
4.2 PRFV.....	8
5. Protocoles d'essais .....	9
5.1 Protocole d'essais sur le béton.....	9
5.2 Protocole d'essais physico-chimiques sur PRFV .....	10
6. Résultats des essais et discussions .....	11
6.1 Essais sur le béton.....	11
6.1.1 Résistance à la compression.....	12
6.1.2 Teneur en ions chlorure .....	12
6.1.3 Absorption et vides d'air.....	13
6.1.4 Détermination des paramètres des vides dans le béton de ciment (L-Barre)...	13
6.1.5 Perméabilité aux ions chlorure.....	14
6.1.6 Observations pétrographiques.....	14
6.2 Essais physico-chimiques sur PRFV .....	14
6.2.1 Surface effective .....	15
6.2.2 Densité .....	15
6.2.3 Absorption d'eau.....	15
6.2.4 Taux de cure.....	17
6.2.5 Température de transition vitreuse ( $T_g$ ) .....	17
6.2.6 Taux de fibres .....	18
6.2.7 Porosité .....	19
6.2.8 Spectrométrie par fluorescence X (FRX) .....	20
6.2.9 FTIR.....	21
6.2.10 Spectroscopie RMN à l'état solide .....	23
6.2.11 Microscopie électronique à balayage (MEB/EDS).....	25
6.2.11.1 Échantillon MC-15-008-6 (barre courbe).....	25
6.2.11.2 Échantillon MC-15-008-7 (barre droite).....	30
7. Conclusion .....	33
Références.....	35

## Table des figures

Figure 1 : Plan de localisation de la structure P-11591 .....	7
Figure 2 : Localisation des carottes .....	8
Figure 3 : Échantillons de barres d'armature en PRFV provenant de la carotte de béton C1 et C3 .....	9
Figure 4 : Mécanisme de dégradation de barres d'armature en PRFV en solution alcaline .....	16
Figure 5 : Photos avant et après les essais de porosité des barres MC-15-008-1, MC-15-008-3 et MC-15-005-5 .....	20
Figure 6 : FTIR de la barre droite MC-15-008-2 .....	22
Figure 7 : FTIR de la barre courbe MC-15-008-4 .....	23
Figure 8 : Spectres RMN <sup>13</sup> C en phase solide des échantillons de barres en PRFV de la structure P-11591 .....	24
Figure 9 : Image au MEB d'une vue générale de la coupe transversale de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe).....	26
Figure 10 : Fort grossissement au MEB des fibres de verre et de la matrice de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe) et spectre EDS des fibres de verre et de la matrice.....	27
Figure 11 : Interface béton-composite de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe) .....	29
Figure 12 : Vue générale au MEB de la barre MC-15-008-7 (barre droite).....	30
Figure 13 : Fort grossissement au MEB des fibres de verre et de la matrice de l'échantillon MC-15-008-7 (barre droite) et spectre EDS des fibres de verre et de la matrice.....	31
Figure 14 : Interface béton-composite de l'échantillon MC-15-008-7 (barre droite).....	32

## Liste des tableaux

Tableau 1: Essais à réaliser sur les carottes de béton.....	10
Tableau 2: Essais à réaliser sur les barres d'armatures en PRFV .....	11
Tableau 3: Caractéristiques du béton des glissières coulées en place .....	11
Tableau 4: Résultats des essais d'absorption d'eau .....	16
Tableau 5: Résultats des essais de taux de cure .....	17
Tableau 6: Résultats des essais de température de transition vitreuse.....	18
Tableau 7: Résultats des essais de taux de fibres.....	19
Tableau 8: Composition chimique des fibres de verre (par FRX) .....	21

## Annexes

**ANNEXE A – PLANS DE CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE P-11591**

**ANNEXE B – DESCRIPTION VISUELLE DES CAROTTES**

**ANNEXE C – SCHÉMA DE LOCALISATION DES CAROTTES**

**ANNEXE D – CERTIFICAT DE CONFORMITÉ DES BARRES D'ARMATURE  
EN PRFV**

**ANNEXE E – FORMULE DE MÉLANGE ET CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON**

**ANNEXE F – RAPPORT EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE**

**ANNEXE G – RÉSULTATS DES ESSAIS**

**ANNEXE H – RAPPORT D'ANALYSE PAR SPECTROSCOPIE DE  
RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE DU <sup>13</sup>C EN PHASE  
SOLIDE**

**ANNEXE I – PHOTOGRAPHIES MEB**

### PROPRIÉTÉ ET CONFIDENTIALITÉ

« Les résultats provenant de cette recherche et figurant dans ce rapport ne peuvent pas être utilisés par des tiers sans le consentement écrit du Ministère des Transports du Québec, que ce soit pour des recherches ultérieures, des présentations ou des publications. »

## 1. Mandat

Une expertise sur l'état des barres d'armature en polymères renforcés de fibres de verre (PRFV) du pont P-11591, situé sur l'autoroute 20 Est dans la municipalité de Val-Alain, a été réalisée par l'équipe technique du Secteur béton du Service des matériaux d'infrastructures (SMI) à la demande de M. Guy Tremblay, Directeur, à la Direction du laboratoire des chaussées. Cette structure a été construite en 2004.

Ce mandat consiste à évaluer les propriétés physico-chimiques des barres d'armature en PRFV contenue au sein de la glissière de sécurité orientée du côté sud-est du pont P-11591 (plans de la structure disponibles à l'annexe A). Le béton en place dans cette partie de l'ouvrage a également été caractérisé afin d'en évaluer sa durabilité. Pour ce faire, l'équipe technique du SMI a réalisé le 13 juillet 2015 une inspection sommaire de l'état de surface de la glissière de sécurité, en plus de prélever trois carottes de béton, soit deux carottes contenant des barres d'armature en PRFV de même qu'une carotte de béton sain. Cette expertise a été réalisée en collaboration avec la Direction des structures (DS). À cet effet, M. Sébastien Galipeau, ing. à la DS, était présent lors du prélèvement des carottes de béton.

## 2. Mise en contexte

L'utilisation de matériaux composites au sein d'ouvrages d'art est encore relativement récente au MTQ. Selon l'information disponible, il appert que le premier projet du MTQ incorporant de l'armature composite en PRFV a eu lieu en 1992 au niveau de la portion médiane (côté aval) des glissières de sécurité du pont Médéric-Martin (P-15641).

À cet effet, l'équipe technique du secteur béton du SMI a procédé, le 31 octobre 2013, à une inspection sommaire de l'état de surface des glissières sécurité du pont Médéric-Martin en plus de prélever quelques carottes de béton contenant des échantillons de barres d'armature en PRFV. Une étude exhaustive sur l'état de vieillissement des barres d'armature en PRFV a par la suite été effectuée par le SMI. L'étude conclut que les échantillons prélevés présentaient plusieurs signes de détérioration tels que la présence de fissurations, de décollement au niveau de l'interface fibres-matrice et des fibres de verre endommagées. Toutefois, il faut noter que les procédés de fabrication de même que les constituants des PRFV ont considérablement évolué depuis 1992, notamment au niveau de la résine polymère. Des analyses réalisées par spectroscopie RMN au début de l'année de 2015 ont permis de déterminer que la matrice polymère des armatures composites du pont Médéric-Martin était à base de polyester. À notre connaissance, le MTQ spécifie depuis le début des années 2000 l'utilisation d'une résine à base de vinylester pour des raisons de durabilité. En effet, plusieurs études ont démontré que les PRFV à base de résine polyester sont nettement moins durables que les PRFV à base de résine vinylester.

Suite aux conclusions de l'étude réalisée par le SMI sur les armatures en PRFV du pont Médéric-Martin (N/Dossier SMI : MC-14-013/BC-13-118), la Direction du laboratoire des chaussées et la Direction des structures ont jugé opportun de reconduire une nouvelle étude, mais cette fois-ci sur des armatures en PRFV à base de vinylester. À cet effet, la structure P-11591 située sur l'autoroute 20 Est, à Val-Alain, représentait un cas idéal pour les raisons suivantes :

- 1) premier tablier de pont en béton au Canada entièrement renforcé de barres d'armatures en PRFV (Benmokrane, El-Salakawy, El-Gamal, & Goulet, 2007);
- 2) glissières de sécurité du pont également entièrement renforcé de barres d'armatures en PRFV;
- 3) matrice polymère à base de vinylester pour l'ensemble des barres d'armature en PRFV de la structure;
- 4) structure très bien documentée et réalisation du projet en collaboration avec le milieu de recherche universitaire (Université de Sherbrooke);
- 5) projet le plus ancien dont les échantillons d'origine sont toujours disponibles pour analyses en laboratoire;
- 6) opportunité intéressante d'étudier l'état des barres d'armature en PRFV après 11 ans de mis en service et d'en comparer les résultats avec des échantillons « référence » prélevés en 2004 par le SMI lors de la construction de la structure.

### **3. Localisation de la structure**

Le pont P-11591 est situé sur l'Autoroute 20 Est au-dessus de la Rivière Henri dans la municipalité de Val-Alain (voir figure 1). Il s'agit d'un pont à poutres en acier construit en 2004 et muni de deux voies de circulation. La structure possède une longueur totale de 57,6 m et une largeur totale de 12,6 m. Le débit de circulation journalier moyen annuel (DJMA) est de 24 200 véhicules, dont près de 25 % sont des camions (Transports Québec, 2014).

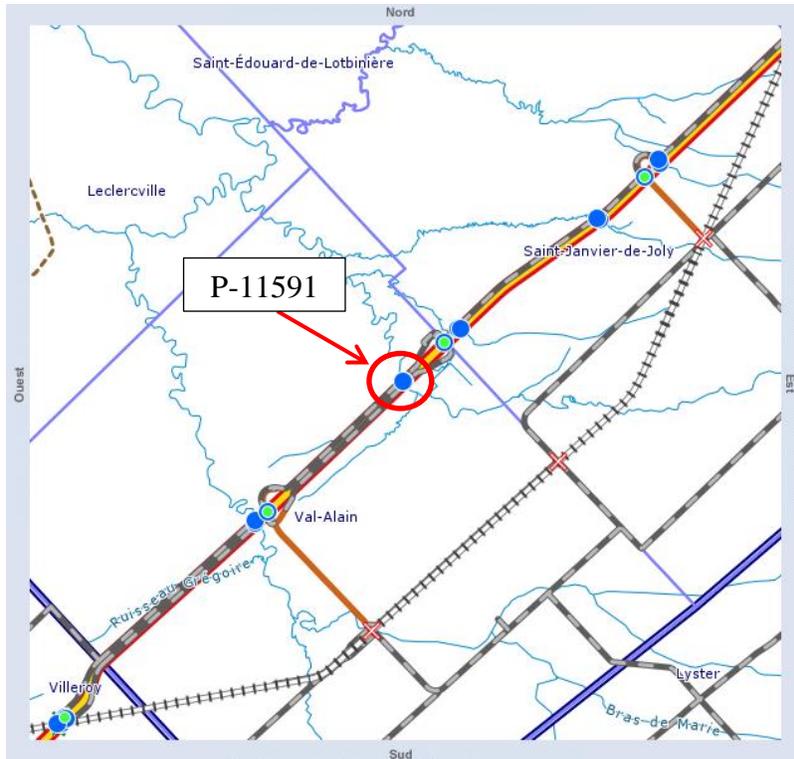


Figure 1 : Plan de localisation de la structure P-11591

## 4. Échantillons

### 4.1 Béton

Au total, 3 carottes (C1, C2 et C3) furent prélevées au niveau de la glissière du côté sud-est du pont P-11591 et les fiches de description visuelle de celles-ci se retrouvent à l'annexe B. Le plan de localisation des carottes se retrouve quant à lui à l'annexe C.

À noter que les carottes C1 et C3 avaient un diamètre de 150 mm tandis que la carotte C2 avait un diamètre de 100 mm. Les carottes C1 et C3 furent volontairement prélevées à des endroits où des fissures verticales étaient visibles à la surface de la glissière et où des barres d'armature en PRFV avaient été localisées initialement à l'aide d'un géoradar de modèle Hilti PS 1000 (voir figure 2).



**Figure 2 : Localisation des carottes**

La carotte C1 contenait 5 barres d'armature en PRFV tandis que la carotte C3 en contenait 3.

## **4.2 PRFV**

Les barres d'armatures en PRFV ont été fabriquées par l'entreprise Pultrall inc., localisée à Thetford Mines. Le certificat de conformité des barres d'armature se retrouve à l'annexe D. On retrouve dans cet ouvrage deux types de barres, soit les barres droites (longitudinales #5) et les barres courbes (verticales #5 et #6). Les recouvrements théoriques des barres d'armature en PRFV sont de 75 mm. Les recouvrements mesurés à partir des carottes de béton furent de 65 mm pour la carotte C1 et de 70 mm pour la carotte C3.

Des essais physico-chimiques ont été réalisés sur les échantillons MC-15-008-1 à MC-15-008-7 (voir figure 3). Les échantillons MC-15-008-1 à MC-15-008-5 provenaient de la carotte de béton C1. Les échantillons MC-15-008-6 et MC-15-008-7 provenaient quant à eux de la carotte de béton C3. Un échantillon supplémentaire (MC-15-008-8) contenu dans la carotte de béton C3 a été conservé pour référence future. Le détail des armatures prélevées (types de barres et diamètres) est disponible à l'annexe B.

La figure 3 permet de constater visuellement une différence de couleur entre les barres droites (grisâtre) et les barres courbes (verdâtre). De plus, la quantité de grains de sable constatée sur les barres courbes au niveau de l'enrobage est nettement inférieure à celle des barres droites.



Figure 3 : Échantillons de barres d'armature en PRFV provenant de la carotte de béton C1 et C3

## 5. Protocoles d'essais

### 5.1 Protocole d'essais sur le béton

Au niveau des carottes de béton prélevées, les essais ont été réalisés selon les normes suivantes :

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

Le tableau 1 ci-contre résume les essais effectués sur chacune des trois carottes prélevées.

**Tableau 1: Essais à réaliser sur les carottes de béton**

	C1	C2	C3
<b>Résistance à la compression</b>		✓	
<b>Absorption et vides d'air</b>	✓		✓
<b>Perméabilité aux ions chlorure</b>	✓	✓	✓
<b>Teneur en ions chlorure</b>	✓	✓	✓
<b>L-Barre</b>	✓		
<b>Analyse pétrographique</b>	✓		

## **5.2 Protocole d'essais physico-chimiques sur PRFV**

Le tableau 2 résume les essais physico-chimiques réalisés sur les barres d'armature en PRFV contenues dans les carottes de béton prélevées.

Les essais physico-chimiques ont été réalisés selon les normes suivantes :

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

\* L'observation d'échantillons sous microscopie électronique à balayage (MEB) couplé à un système « energy dispersive X-ray spectrometry » (EDX ou EDS) ne fait référence à aucune norme. Les observations ont été réalisées au Laboratoire de microanalyse du département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval.

**Tableau 2: Essais à réaliser sur les barres d'armatures en PRFV**

	Types de barres	φ	Carotte de béton	Densité	Absorp. eau	Tg	Taux de cure	Taux de fibres	Taux de vides	FTIR	RMN	FRX	MEB
MC-15-008-1	Courbe	#6	C1			✓	✓	✓	✓			✓	
MC-15-008-2	Droite	#5	C1	✓	✓			✓		✓		✓	
MC-15-008-3	Droite	#5	C1			✓	✓		✓				
MC-15-008-4	Courbe	#5	C1	✓	✓			✓		✓		✓	
MC-15-008-5	Courbe	#5	C1			✓	✓		✓				
MC-15-008-6	Courbe	#6	C3	✓	✓						✓		✓
MC-15-008-7	Droite	#5	C3			✓	✓	✓			✓	✓	✓
MC-15-008-8	Droite	#5	C3	<i>Échantillon supplémentaire pour référence future</i>									

## 6. Résultats des essais et discussions

### 6.1 Essais sur le béton

Un mélange typique de béton pour ouvrages d'art a été utilisé pour les glissières coulées en place de la structure P-11591. Ce mélange répondait aux caractéristiques d'un béton à haute performance de type XIII tel que spécifié par la norme 3101 du *Tome VII – Matériaux* du Ministère des Transports du Québec. Le tableau 3 présente les principales caractéristiques de ce mélange. De plus, la formule de mélange et les caractéristiques du béton d'origine sont disponibles pour référence à l'annexe E.

**Tableau 3: Caractéristiques du béton des glissières coulées en place**

Résistance @ 28 jours (MPa)	Calibre des granulats (mm)	Dosage en liant Gub-SF (kg/m <sup>3</sup> )	Ratio eau/liant	Affaissement (mm)	Teneur en air (%)
50	5-14	410	0,38	170 ± 30	5-8

### **6.1.1 Résistance à la compression**

Cet essai est une caractéristique fondamentale du béton. Un essai de résistance à la compression a été réalisé sur la carotte C2. Préalablement à l'essai, l'échantillon fut conditionné par immersion pendant 40 à 48 heures tel qu'exigé par la norme CAN/CSA A23.2-14C puisque les glissières de béton de la structure P-11591 sont exposées à l'humidité.

La résistance à la compression obtenue sur la carotte C2 est de 59,9 MPa. Ainsi, la résistance à la compression du béton des glissières de sécurité de la structure P-11591 est conforme aux caractéristiques prévues et est comparable aux valeurs mesurées en 2004 (voir annexe E). En effet, la valeur dépasse largement la résistance minimale de 50 MPa exigée à l'époque du bétonnage de la structure en 2004.

### **6.1.2 Teneur en ions chlorure**

Les glissières de sécurité d'ouvrages d'art sont des éléments particulièrement exposés aux ions chlorure, et ce pour plusieurs raisons. D'une part, elles sont constamment soumises aux chlorures provenant des éclaboussures de sels de déglçage à la suite de passages répétés de véhicules routiers et des opérations de déneigement. D'autre part, les glissières ne sont généralement pas hydrofugées à l'aide d'enduits ou de membranes imperméabilisantes, laissant donc la voie libre à la migration d'ions chlorure au sein du béton.

Il est reconnu que les ions chlorures favorisent la corrosion des barres d'armature en acier. Toutefois, dans le cas des barres d'armatures en PRFV il est admis par le milieu scientifique et industriel que celles-ci ne sont pas affectées par les chlorures provenant des sels de déglçage en raison de leur nature non métallique. Malgré tout, des teneurs en ions chlorure ont été réalisées sur les trois carottes prélevées dans le cadre de cette expertise afin de documenter les caractéristiques du béton. Le prélèvement de la poudre de béton pour ces essais s'est effectué dans le sens longitudinal des carottes. Pour les carottes C1 et C3, celles-ci ont été prélevées dans des plans de fissuration verticale apparents à la surface des glissières exposées au trafic (voir annexe B). Pour la carotte C2, les teneurs en ions chlorure ont été mesurées du côté non exposé des glissières à titre comparatif.

Pour la carotte C1, la teneur en ions chlorure varie de 0,60 % (dans les premiers 12,5 mm) à 0,039 % (entre 25 et 50 mm). Dans le cas de la carotte C2, la teneur en ions chlorure varie de 0,33 % (dans les premiers 12,5 mm) à 0,028 % (entre 25 et 38 mm). Quant à la carotte C3, la teneur en ions chlorure varie de 0,38 % (dans les premiers 12,5 mm) à 0,021 % (entre 25 et 50 mm). Les analyses effectuées permettent de constater que les teneurs en ions chlorure sont légèrement plus élevées dans la carotte C1 ce qui pourrait s'expliquer par la présence d'un plan de fissuration plus important à cet endroit.

### 6.1.3 Absorption et vides d'air

L'essai d'absorption est un indicateur de l'absorption et de la perméabilité du béton. Les valeurs obtenues sont, entre autres choses, des indicateurs du rapport eau/liant du mélange de béton, et par le fait même de la qualité de celui-ci. L'essai est réalisé selon les normes CAN/CSA A23.2-11C et ASTM C 642. L'article 11 de la norme CAN/CSA A23.2-11C évoque une précision de 0,5 % pour l'absorption, de 1 % pour les vides perméables ainsi que de 20 kg/m<sup>3</sup> pour la masse volumique.

Les résultats d'absorption après immersion des carottes C1 et C3 sont respectivement de 5,0 % et de 4,0 %. Selon le Manuel d'entretien des structures, un béton ayant un taux inférieur à 6,5 % est jugé de « qualité acceptable ». Le béton utilisé dans le cadre des glissières du pont de Val-Alain est bien en deçà de la limite acceptable et est par conséquent de qualité adéquate du point de vue de ce critère. Quant au volume des vides perméables, il est de 12,1 % pour la carotte C1 et de 9,7 % pour la carotte C3. Par expérience, ces valeurs peuvent être considérées comme étant satisfaisantes.

Via la méthode d'essai CSA A23.2-11C, il a aussi été possible d'évaluer la masse volumique du béton à surface saturée sèche (SSS). À noter que les masses volumiques SSS obtenues sur les carottes C1 et C3 permettent d'approximer la masse volumique du béton frais. La masse volumique SSS obtenue pour la carotte C1 fut de 2348 kg/m<sup>3</sup> comparativement à 2459 kg/m<sup>3</sup> pour la carotte C3. Ces valeurs sont conformes aux types de béton recherché pour les ouvrages d'art du MTQ et indiquent un respect des dosages théoriques minimaux des différents ingrédients lors de la mise en place du béton (voir annexe E).

### 6.1.4 Détermination des paramètres des vides dans le béton de ciment (L-Barre)

Une distribution du réseau de bulles d'air adéquate est une caractéristique essentielle pour assurer une bonne durabilité d'un béton. Les exigences actuelles du CCDG, du Tome VII et de la norme CSA A23.1 spécifient qu'aucun résultat individuel ne doit être supérieure à 260 µm et que la moyenne du facteur d'espacement ne doit pas être supérieure à 230 µm. Toutefois, le Tome VII du MTQ mentionne que dans le cas d'un béton de type XIII, le facteur d'espacement peut être supérieure à 230 µm à la sortie de la pompe pour autant qu'il soit inférieur ou égal à 325 µm. De plus, la teneur en air du béton durci doit être supérieure ou égale à 3,0 %.

L'essai a été réalisé sur une plaquette rectangulaire prélevée dans le sens transversal de la carotte C1 donc selon le sens de la mise en place du béton lors de la coulée. Le facteur d'espacement obtenu est de 307 µm, tandis que la teneur en air du béton durci est 5,9 %. À partir de l'information obtenue, les glissières du pont ont été coulées avec un mélange de béton de type XIII pompé. Par conséquent, le facteur d'espacement est conforme aux exigences actuelles du Tome VII du MTQ puisqu'il est en deçà de 325 µm.

### **6.1.5 Perméabilité aux ions chlorure**

La perméabilité aux ions chlorure est un essai qui permet de quantifier la performance d'un béton en terme de résistance à la pénétration des ions chlorure. Des essais de perméabilité aux ions chlorure ont été réalisés sur les carottes de béton C1, C2 et C3. Les résultats des essais varient de 266 à 664 Coulombs, ce qui équivaut à un indice de perméabilité très faible selon la classification en vigueur dans la norme d'essai ASTM C 1202. Le béton des glissières de la structure P-11591 se conforme donc à l'exigence actuelle de 1000 Coulombs de la norme 3101 du tome VII.

### **6.1.6 Observations pétrographiques**

Une expertise a été réalisée par Englobe pour le compte du ministère des Transports du Québec afin de déterminer la nature pétrographique des granulats présents dans la carotte de béton C1. Le rapport détaillé des observations pétrographiques se retrouve à l'annexe F. Les conclusions suivantes ont été obtenues :

- Les granulats grossiers de la carotte de béton C1 se composent de particules concassées de basalte vert et rouge.
- Le granulats fin de la carotte de béton C1 se compose d'un sable de nature quartzofeldspathique.
- Le béton de la carotte C1 ne présente aucun indice de détérioration.

Selon les informations obtenues par la Direction territoriale de Chaudière-Appalaches la source de gros granulats provenait de la carrière Ray-Car et le sable de la gravière de Beauce (voir annexe E).

## **6.2 Essais physico-chimiques sur PRFV**

Les résultats des sections 6.2.1 à 6.2.9 sont présentés de façon synthétisée au sein des rapports CI-028-15, CI-115-15, CI-116-15 et CI-115-17 se retrouvant à l'annexe G.

Pour les barres d'armature droites des glissières de la structure P-11591, les résultats sont comparés à ceux obtenus sur les barres droites dites de « référence ». Les barres droites « référence » ont été entreposées au SMI depuis 2004, mais aucun essai physico-chimique n'avait été réalisé sur celles-ci avant 2015. Ces barres ont le même diamètre que les barres prélevées de la structure P-11591 et sont issues du même lot de fabrication. Les résultats complets des essais physico-chimiques des barres droites « référence » sont disponibles à l'annexe G au sein du rapport CI-028-15 (numéro des échantillons : MC-15-001). Il est important de noter qu'aucun cadre normatif n'existait au moment de la fabrication des barres d'armature en PRFV utilisées dans la structure, bien que des guides sur ce type de matériau étaient disponibles (ACI 440.3R-04 et ISIS Canada Research

Network). Conséquemment, la comparaison des résultats avec les exigences de la norme CSA S807-10 *Specification for fibre-reinforced polymers* n'est qu'à titre indicatif. En ce qui concerne les résultats des barres d'armature courbes des glissières de la structure P-11591, ceux-ci n'ont pu être comparés à des barres courbes «référence», faute d'échantillons disponibles.

### **6.2.1 Surface effective**

La surface effective des barres droites «référence» est de 201,51 mm<sup>2</sup>. Ce résultat correspond à la moyenne obtenue sur trois échantillons de 200 mm de longueur. En comparaison, la surface effective nominale des barres droites «référence» est de 197,93 mm<sup>2</sup>.

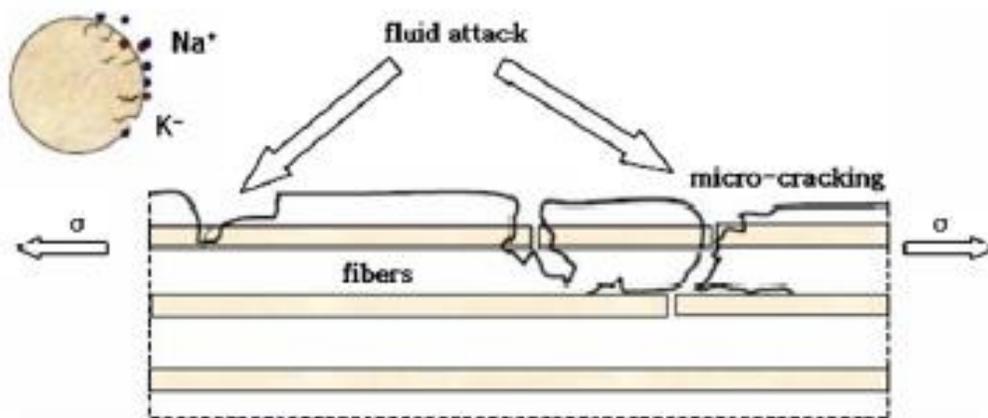
Aucun résultat de surface effective n'est disponible pour les barres d'armature droites et courbes de la structure P-11591 puisque les longueurs des échantillons prélevés n'étaient pas suffisantes.

### **6.2.2 Densité**

La masse volumique moyenne des échantillons de barres droites de la structure P-11591 de même que des barres droites «référence» est de 2,05 g/mL. La masse volumique moyenne des échantillons de barres courbes de la structure P-11591 est de 1,86 g/mL. La masse volumique des barres droites est donc supérieure aux barres courbes, ce qui s'explique par la teneur en fibre plus élevée dans le cas des barres droites (densité des fibres de verre plus grande que la densité de la matrice polymère).

### **6.2.3 Absorption d'eau**

Le béton est un matériau relativement perméable à l'eau et est constitué d'une matrice interstitielle poreuse fortement alcaline. Le réseau poreux du béton influence le taux de diffusion des ions alcalins. Il est bien connu que l'exposition de barres d'armature en PRFV à l'eau et à une solution alcaline engendre une détérioration à long terme du matériau (Nishizaki & Meiarashi, 2002). Conséquemment, une barre de PRFV avec une absorption d'eau élevée risque d'avoir une dégradation accélérée dans le temps par rapport à une barre avec une plus faible absorption d'eau. Le mécanisme de dégradation typique des barres en PRFV en présence d'un milieu alcalin est illustré à la figure 4 (Won & coll., 2008).



**Figure 4 : Mécanisme de dégradation de barres d'armature en PRFV en solution alcaline**

Essentiellement, lorsqu'une barre de PRFV est immergée en solution aqueuse et/ou alcaline, les ions alcalins et les molécules d'eau attaquent la matrice polymère lorsqu'ils sont absorbés par celle-ci, engendrant de la délamination et de la fissuration dans la matrice du composite. Par la suite, une réaction en chaîne s'ensuit. Il se crée alors un réseau poreux au sein du composite laissant la voie libre à l'eau et aux agents chimiques ce qui accélère de surcroît la dégradation du composite. Les pores ainsi créés permettent à l'eau et aux agents chimiques d'atteindre les fibres de verre. À partir de ce moment, les fibres de verre sont lessivées (par hydrolyse) ou endommagées (fissuration). Il s'en suit une forme de « corrosion » des fibres de verre non pas par un processus électrochimique comme pour l'acier, mais plutôt par une réaction d'hydrolyse des fibres causant alors des pertes au niveau de leur section transversale (Nishizaki & Meiarashi, 2002). Les performances mécaniques s'en trouvent donc affectés.

Les résultats d'absorption d'eau des échantillons provenant de la structure P-11591 de même que ceux des échantillons « référence » sont présentés au tableau 4. Les résultats correspondent à la moyenne d'un triplicata d'échantillons pour chaque barre.

**Tableau 4: Résultats des essais d'absorption d'eau**

Échantillons	Types de barres	Absorption d'eau (%)
MC-15-008-2	Droite	0,14
MC-15-008-4	Courbe	0,08
MC-15-008-6	Courbe	0,14
MC-15-001	Droite « référence »	0,06

Les résultats d'absorption d'eau obtenus sur les échantillons de barres droites (MC-15-008-2) sont légèrement plus élevés que les résultats des échantillons de barres droites « référence » (MC-15-001).

À titre indicatif, les résultats d'absorption d'eau des barres droites (MC-15-008-2) et des barres courbes (MC-15-008-6) sont en deçà de la limite acceptable fixée par la norme CSA S807-10, soit  $\leq 0,25$  % pour des barres classées D1 (haute durabilité).

En résumé, les résultats d'absorption d'eau obtenus sur les barres droites et courbes de la structure P-11591 sont faibles.

### 6.2.4 Taux de cure

Les résultats de taux de cure des échantillons provenant de la structure P-11591 ainsi que ceux des échantillons « référence » sont présentés au tableau 5.

**Tableau 5: Résultats des essais de taux de cure**

Échantillons	Types de barres	Taux de cure* (%)
MC-15-008-1	Courbe	95,1
MC-15-008-3	Droite	97,8
MC-15-008-5	Courbe	Entre 91,5 et 97,0
MC-15-008-7	Droite	95,7
MC-15-001	Droite « référence »	96,8

\* Les valeurs de taux de cure obtenues par DSC (Differential scanning calorimetry) sont calculées à partir d'une enthalpie de polymérisation de la résine pure de 239 J/g pour les barres courbes et de 257 J/g pour les barres droites, soit les valeurs correspondantes aux résines utilisées par Pultrall de nos jours. Ces valeurs sont utilisées pour les calculs faute de connaître les enthalpies de polymérisation des barres fabriquées pour la structure P-11591.

Au niveau des échantillons de barres droites MC-15-008-3 et MC-15-008-7, aucune différence notable des valeurs de taux de cure n'est observable comparativement aux valeurs obtenues sur les échantillons de barres droites « référence » (MC-15-001).

Pour les échantillons de barres courbes MC-15-008-1 et MC-15-008-5, des courbes irrégulières ont été obtenues au DSC (Differential scanning calorimetry) pour des raisons qui n'ont pu être expliquées. Les essais ont été répétés plus d'une fois, mais ils se sont avérés peu concluants. Conséquemment, les valeurs de taux de cure présentent des variabilités importantes.

Trois échantillons sur quatre respecteraient l'exigence actuelle de la norme CSA S807-10, soit un taux de cure minimal de 95 % pour des barres classées D1 (haute durabilité).

### 6.2.5 Température de transition vitreuse ( $T_g$ )

Une baisse notable de la température de transition vitreuse d'un matériau composite est généralement attribuable à une dégradation chimique du matériau ou à une certaine

plastification (ramollissement) de la résine causée par la présence d’humidité dans la matrice (les atomes des molécules d’eau rompent des liens moléculaires du polymère) (Benmokrane, Ali, Mohamed, Robert, & ElSafty, 2015) (Mufti, Onefrei, & et coll., 2007).

Les résultats des températures de transition vitreuse des échantillons provenant de la structure P-11591 ainsi que ceux des échantillons « référence » sont présentés au tableau 6.

**Tableau 6: Résultats des essais de température de transition vitreuse**

Échantillons	Types de barres	T <sub>g</sub> * (°C)
MC-15-008-1	Courbe	91
MC-15-008-3	Droite	120
MC-15-008-5	Courbe	Entre 84 et 106
MC-15-008-7	Droite	111
MC-15-001	Droite « référence »	117

\* Les températures de transition vitreuse sont obtenues par DSC (Differential scanning calorimetry) et sont calculées à mi-hauteur.

Les courbes de calorimétrie utilisées pour déterminer le taux de cure servent également à déterminer la température de transition vitreuse. Ainsi, les températures de transition vitreuse des échantillons de barres courbes MC-15-008-3 et MC-15-008-5 présentent des variabilités importantes dues encore une fois aux courbes irrégulières obtenues par DSC. Les faibles valeurs de température de transition vitreuse obtenues sur les barres courbes sont probablement attribuables aux procédés de fabrication de ce type de barres.

Au niveau des échantillons de barres droites MC-15-008-3 et MC-15-008-7, aucune baisse substantielle des températures de transition vitreuse n’est observable par rapport aux températures de transition vitreuse obtenues pour les échantillons de barres droites « référence » (MC-15-001).

La norme CSA S807-10 exige une température de transition vitreuse minimale de 100°C pour des barres classées D1 (haute durabilité). En ce sens, seules les barres droites satisferaient les exigences actuelles.

## 6.2.6 Taux de fibres

Les performances mécaniques des barres d’armature en PRFV sont largement imputables aux fibres de verre qui jouent un rôle de renfort au sein du composite, la matrice polymère jouant quant à elle un rôle plus marqué au niveau de la cohésion du composite et de la protection des fibres de verre face aux agents agressifs.

Les résultats de teneur en fibres des échantillons provenant de la structure P-11591 ainsi que ceux des échantillons « référence » sont présentés au tableau 7.

**Tableau 7: Résultats des essais de taux de fibres**

<b>Échantillons</b>	<b>Types de barres</b>	<b>Taux de fibres (%)</b>
MC-15-008-1	Courbe	68,8
MC-15-008-2	Droite	77,8
MC-15-008-4	Courbe	70,8
MC-15-008-7	Droite	77,7
MC-15-001	Droite « référence »	78,6

Aucune différence notable n'est observable entre la teneur en fibres des échantillons barres droites de la structure P-11591 et les échantillons de barres droites « référence ». Le taux de fibres est plus important dans le cas des barres droites ( $\approx 78\%$ ) que dans le cas des barres courbes ( $\approx 71\%$ ), ce qui est cohérent avec le fait que la densité des barres courbes est plus faible que celle des barres droites.

À titre indicatif, la norme CSA S807-10 exige une teneur en fibres minimale de 70 %.

### **6.2.7 Porosité**

La présence de porosités dans un PRFV facilite le transport d'agents agressifs au cœur du composite et affaiblit la cohésion du matériau.

Des séries d'essais ont été réalisées sur les échantillons MC-15-008-1 (barre courbe), MC-15-008-3 (barre droite), MC-15-008-5 (barre courbe). Pour chaque série d'essais, 3 échantillons consécutifs de 25 mm de long provenant d'une seule et même barre furent trempés dans une solution de méthanol à 1 % de Fuchsine pendant une période de 15 min. Les porosités des échantillons sont ensuite révélées par la montée de la solution (par capillarité) au sein de l'échantillon. La figure 5 montre les échantillons avant et après 15 minutes de trempage dans la solution.

La présence de cavités sur toute la longueur des échantillons MC-15-008-1 a été observée visuellement (voir première rangée figure 5). En raison du diamètre important de ces cavités ( $> 0,90$  mm), la solution de trempage n'a pas traversé l'échantillon par capillarité malgré la présence de porosités évidente.



**Figure 5 : Photos avant et après les essais de porosité des barres MC-15-008-1, MC-15-008-3 et MC-15-005-5**

Pour l'échantillon MC-15-008-3 (voir deuxième rangée figure 5), aucune porosité n'a été observée. Comparativement, au moins un point a été observé après 15 minutes de trempage dans la solution sur au moins un des triplicatas des échantillons de barres droites « référence » (MC-15-001).

Pour les échantillons MC-15-008-5, au moins un point a également été observé après 15 minutes de trempage dans la solution sur au moins un des triplicatas des échantillons (voir troisième rangée figure 5).

En conclusion, des vides plus importants sont observables sur les échantillons de barres courbes en comparaison aux échantillons de barres droites. Étant donné l'absence de fissuration dans les échantillons et la géométrie des vides observés, les porosités des barres droites et courbes ont probablement été générées lors de la fabrication de celles-ci et non pas en raison d'une dégradation dans le temps du matériau.

### **6.2.8 Spectrométrie par fluorescence X (FRX)**

Les compositions chimiques des fibres de verre des barres composites de la structure P-11591 de même que des barres « référence » ont été obtenues par spectrométrie par fluorescence X (FRX) et sont présentées au tableau 8.

**Tableau 8: Composition chimique des fibres de verre (par FRX)**

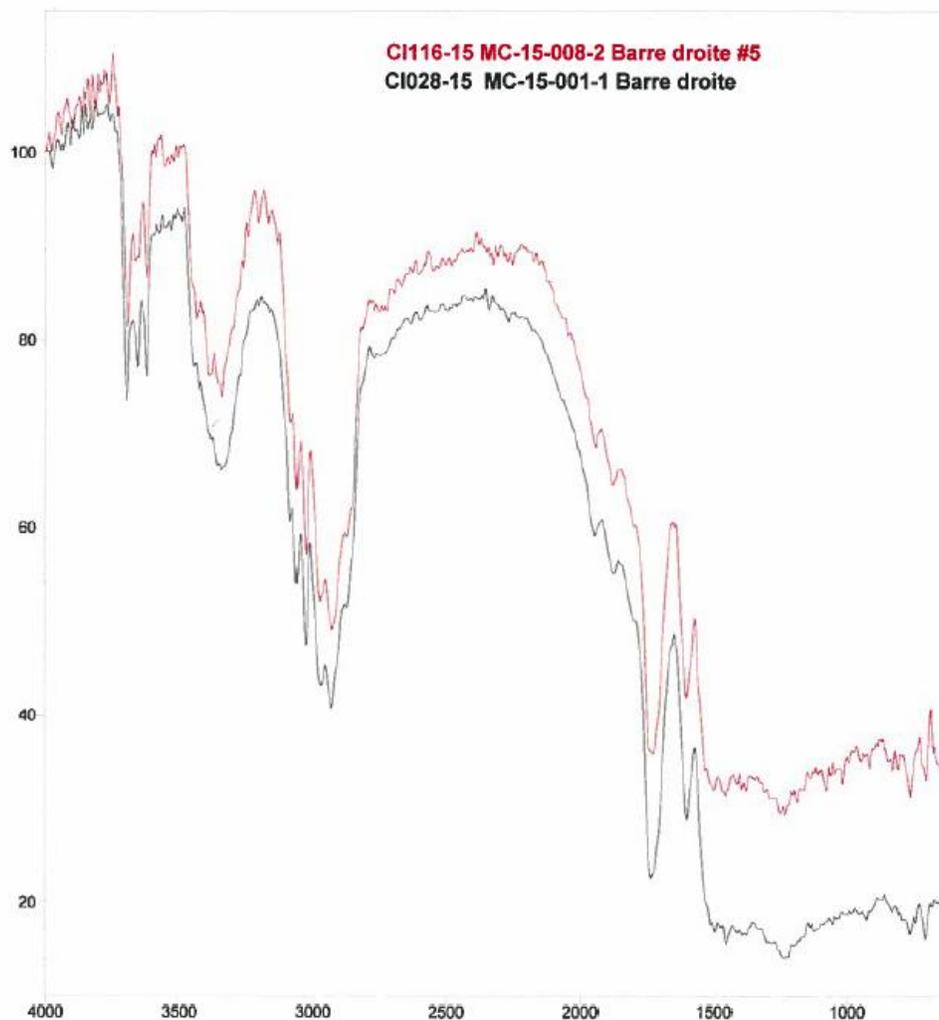
Échantillons	Types de barres	SiO <sub>2</sub> %	CaO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	ZnO %	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
MC-15-008-1	Courbe	54,0	22,8	13,7	0,32	0,89	0,07	0,53	0,27	< 0,01	7,3
MC-15-008-2	Droite	54,3	22,9	13,7	0,38	0,89	0,08	0,54	0,30	< 0,01	6,8
MC-15-008-4	Courbe	53,6	22,8	13,8	0,34	0,88	0,07	0,53	0,28	< 0,01	7,6
MC-15-008-7	Droite	53,8	22,9	13,8	0,39	0,91	0,10	0,54	0,31	< 0,01	7,1
MC-15-001	Droite « réf. »	54,5	22,9	13,7	0,39	0,89	0,09	0,54	0,30	< 0,01	6,7

Les compositions chimiques obtenues pour les barres droites ainsi que pour les barres courbes sont similaires et s'apparentent à de la fibre de verre borosilicate de type E. Cette classe de fibre de verre est couramment utilisée pour la fabrication de PRFV en raison de leur applicabilité universelle et de leur faible coût comparativement à d'autres types de fibres de renforcement (ex. : carbone et aramide).

### 6.2.9 FTIR

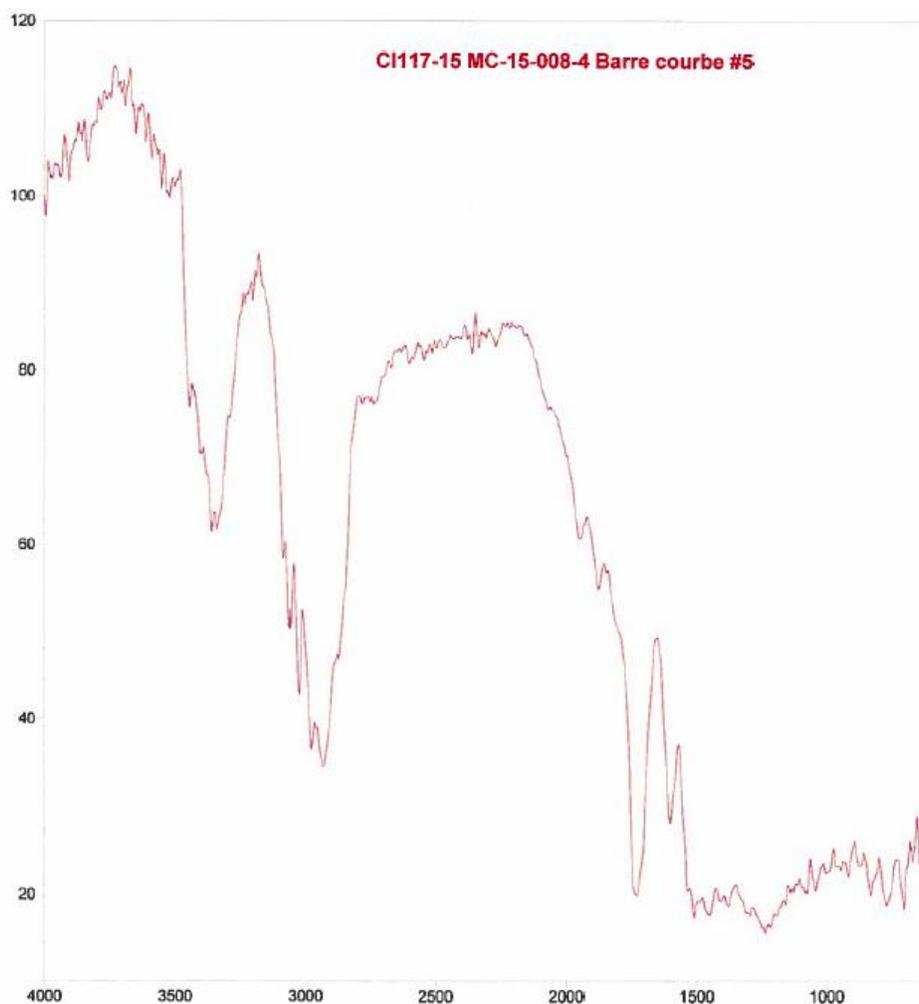
La spectroscopie FTIR est une technique d'analyse permettant d'obtenir une empreinte chimique de la résine polymère d'un PRFV.

La durabilité de la matrice d'un PRFV est majoritairement fonction de la nature chimique de la structure de sa chaîne polymère (Mufti, Onofrei, & et coll., 2007). Dans le cas d'une résine polyester ou encore vinylester, les liaisons les plus faibles de leur chaîne polymère sont les fonctions ester. L'environnement alcalin du béton favorise l'apparition de réactions d'hydrolyse des liaisons ester de la matrice polymère, causant alors des bris dans la chaîne polymère (Mufti, Onofrei, & et coll., 2007). Cette réaction d'hydrolyse endommage la résine et les propriétés mécaniques du PRFV (voir mécanisme de dégradation de la figure 4). À l'échelle macroscopique, l'apparition de fines fissures est également possible.



**Figure 6 : FTIR de la barre droite MC-15-008-2**

Le spectre FTIR de la barre droite identifiée MC-15-008-2 a été comparé au spectre FTIR d'une barre droite référence (MC-15-001-1) issue du même lot de fabrication (voir figure 6). Les deux spectres ne présentent aucune différence notable. Par conséquent, l'échantillon ne semble pas avoir subi de dégradation. En effet, les deux spectres ne présentent pas de différence au niveau de la plage de longueur d'onde s'étendant de 3000  $\text{cm}^{-1}$  à 3500  $\text{cm}^{-1}$ , c'est-à-dire dans la région principalement associée à des bandes d'absorption infrarouge (IR) correspondantes aux groupements hydroxyles (-OH). Un changement au niveau du contenu en groupements hydroxyles est un indicateur de la présence de possibles réactions d'hydrolyse des liaisons ester de la chaîne polymère (Mufti, Onefrei, & et coll., 2007).



**Figure 7 : FTIR de la barre courbe MC-15-008-4**

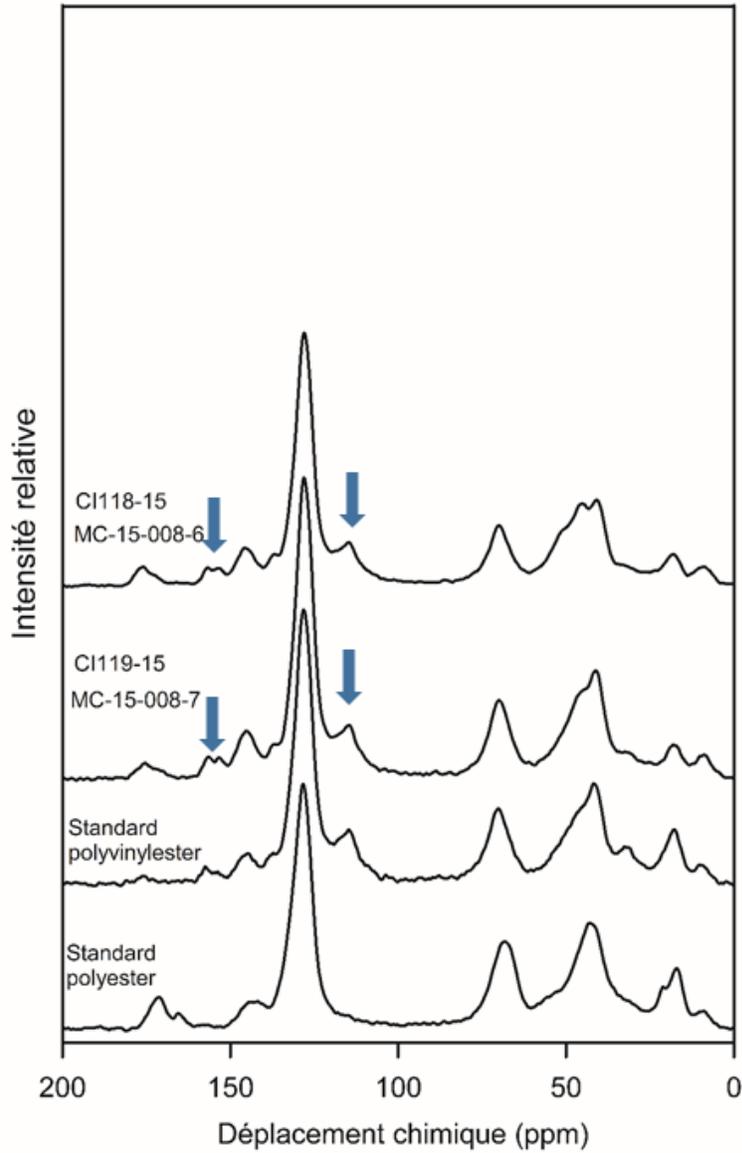
Quant au spectre FTIR de la barre courbe identifié MC-15-008-4, celui-ci n'a pu être comparé au spectre FTIR d'une barre courbe référence (MC-15-001-1) faute d'échantillons (voir figure 7). Aucune conclusion ne peut en être retirée. Toutefois, le spectre FTIR obtenu servira à titre de référence future.

### **6.2.10 Spectroscopie RMN à l'état solide**

Un mandat a été octroyé en septembre 2015 au département de chimie de l'Université Laval pour confirmer que les barres d'armatures en PRFV de la structure P-11591 étaient composées d'une résine vinylester. L'analyse a été effectuée par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN) du  $^{13}\text{C}$  en phase solide. Le rapport d'analyse transmis par l'Université Laval est inclus à l'annexe H. Ce dernier présente les résultats obtenus et la démarche scientifique utilisée aux fins de l'analyse.

L'étude a bel et bien permis de confirmer que la résine des barres d'armatures en PRFV de la structure P-11591 était de type vinylester.

À noter que les flèches bleues de la figure 8 représentent les pics caractéristiques d'une résine de type vinylester.



**Figure 8 : Spectres RMN  $^{13}\text{C}$  en phase solide des échantillons de barres en PRFV de la structure P-11591**

## 6.2.11 Microscopie électronique à balayage (MEB/EDS)

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique d'analyse permettant d'examiner en détail la microstructure d'une surface d'un échantillon. Dans le cas de barres d'armature en PRFV, l'observation au MEB permet de :

- 1) vérifier l'état des fibres de verre;
- 2) vérifier l'état de la matrice de polymère;
- 3) vérifier l'interface fibres-matrice;
- 4) vérifier l'interface béton-composite.

Préalablement aux observations effectuées au MEB, des sections transversales d'un échantillon d'une barre courbe (MC-15-008-6) et d'un échantillon d'une barre droite (MC-15-008-7) ont subi un traitement de surface à la suite d'un moulage dans une pastille d'époxy selon le protocole suivant :

- 1) prépolissage à l'eau à une pression de 30 N avec un papier abrasif fait de SiC (carbure de silicium) #220 à 300 tours/min pendant 1 min;
- 2) prépolissage à l'eau à une pression de 30 N avec un papier abrasif fait de SiC (carbure de silicium) #500 à 300 tours/min pendant 1 min;
- 3) polissage avec un disque MD-Largo et une suspension diamantée DiaPro Allegro/Largo avec grains de 9  $\mu\text{m}$  à une pression de 30 N à 150 tours/min pendant 5 min;
- 4) rinçage à l'eau à 150 tours/min;
- 5) polissage avec un disque MD-Dur et une suspension diamantée DiaPro Allegro/Dur avec grains de 3  $\mu\text{m}$  à une pression de 25 N à 150 tours/min pendant 5 min;
- 6) rinçage à l'eau à 150 tours/min;
- 7) polissage final avec un disque MD-Chem et une solution OP-U à une pression de 10 N à 150 tours/min pendant 1 min 30 s;
- 8) rinçage à l'eau à 150 tours/min.

La qualité des images obtenues au MEB de même que l'analyse en découplant est tributaire de la préparation de surface. La technique d'analyse EDS (spectromètre couplé au MEB) a également été utilisée dans le cadre de cette étude pour des fins d'analyses élémentaires et de caractérisation chimique des échantillons. À noter que sur chacun des spectres EDS obtenus, des pics correspondant à de l'or (Au) et du palladium (Pd) sont observables. La présence de ces éléments est attribuable à la couche de métallisation d'Au/Pd résultant de la préparation des échantillons. Ce dépôt d'Au/Pd à la surface des échantillons a pour but de rendre la surface à analyser conductrice. Cette étape est primordiale pour réaliser les observations avec la microsonde électronique du MEB.

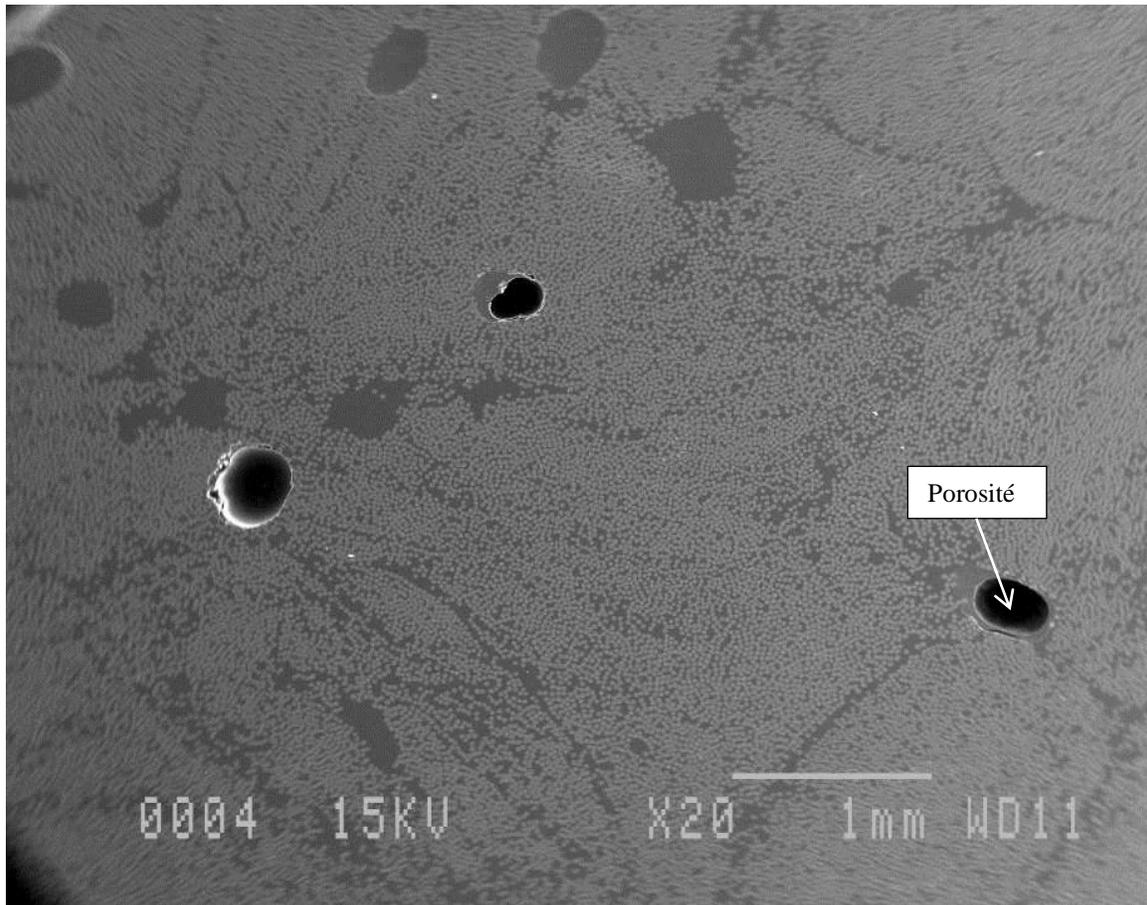
### 6.2.11.1 Échantillon MC-15-008-6 (barre courbe)

La figure 9 est une vue générale de l'échantillon MC-15-008-6. Trois porosités sont observables sur l'image. Ces porosités couvrent des sections variant d'environ  $0,04 \text{ mm}^2$

à  $0,14 \text{ mm}^2$  (porosités mesurées à l'aide du logiciel ImageJ). Une image MEB à fort grossissement (150X) d'une porosité de  $0,14 \text{ mm}^2$  se retrouve à l'annexe I. Celles-ci sont probablement issues de la fabrication de la barre et ne sont pas à proprement parler des signes de détériorations de la barre.

La présence de porosité dans un échantillon a des conséquences au niveau des performances mécaniques (cohésion des fibres et de la matrice) et pourrait impacter la durabilité à long terme du matériau.

De plus, la répartition des fibres n'est pas uniforme comme en témoigne l'image 9.



**Figure 9 : Image au MEB d'une vue générale de la coupe transversale de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe)**

La figure 10 montre une image de l'échantillon MC-15-008-6 à fort grossissement (1000X). L'image a été obtenue avec le mode d'imagerie en électrons secondaires du MEB. Aucun signe de détérioration (fissuration, pertes de section des fibres de verre) n'est visible au niveau de la matrice et des fibres de verre. De même, l'interface fibres-matrice ne présente aucun décollement.

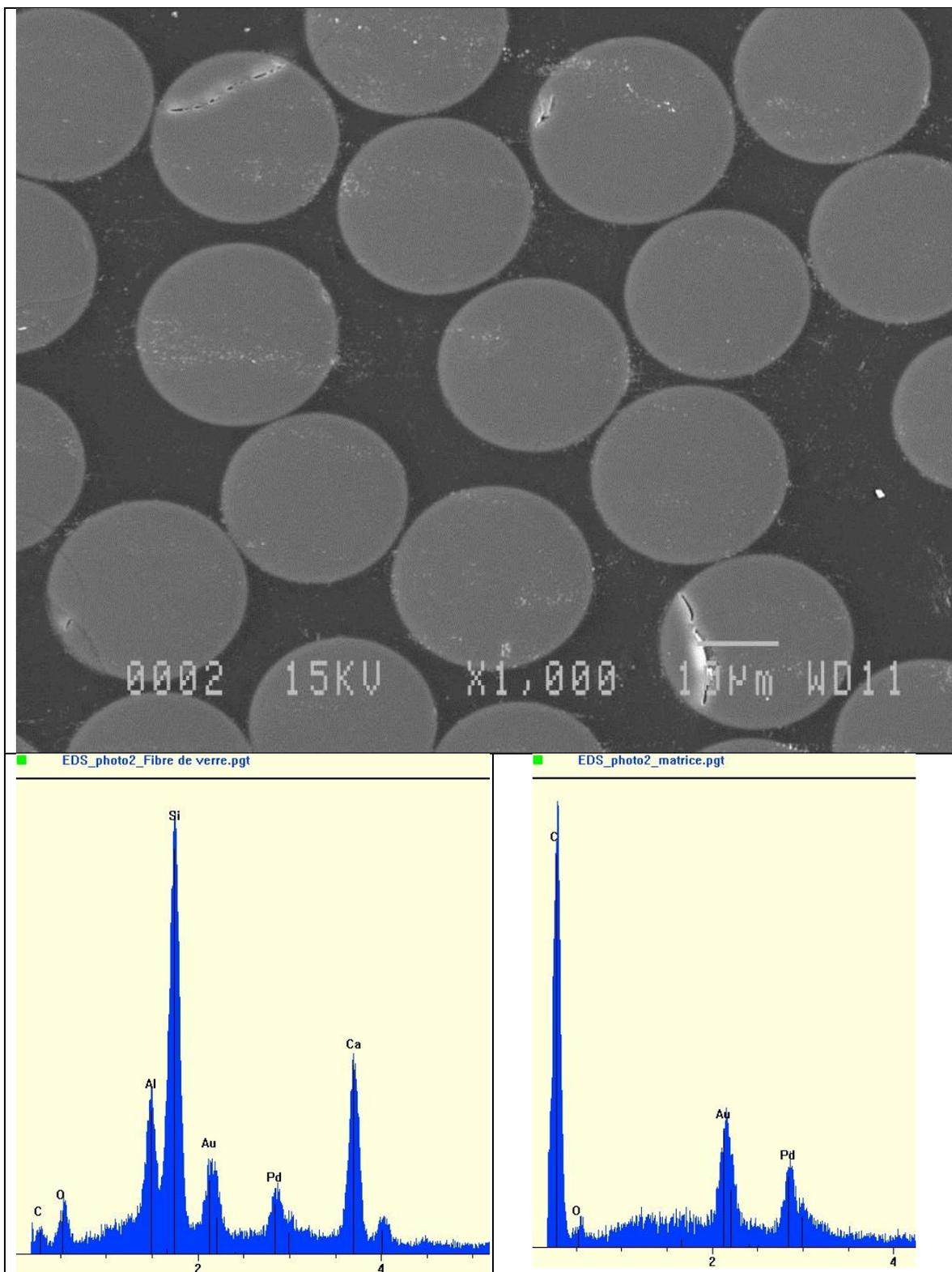


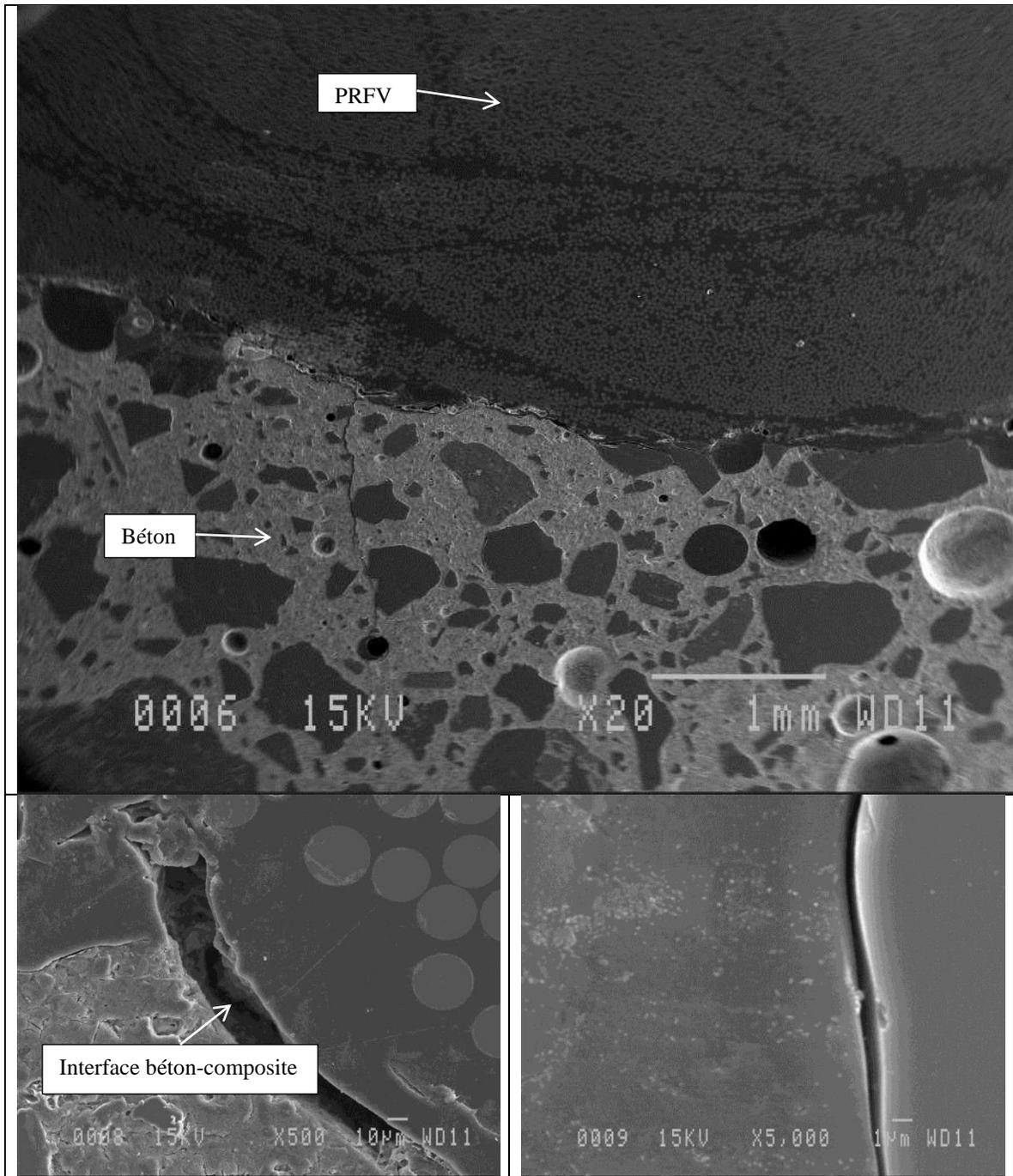
Figure 10 : Fort grossissement au MEB des fibres de verre et de la matrice de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe) et spectre EDS des fibres de verre et de la matrice

Des analyses EDS ont été effectuées sur les fibres de verre et sur la matrice polymère de l'échantillon MC-15-008-6 (voir figure 10). Le spectre obtenu pour les fibres de verre est typique de celles-ci et présente des pics caractéristiques de Si, de Ca, d'Al et d'O conforme à ce qui est attendu (voir section 6.2.8). Le spectre EDS de la matrice polymère présente quant à lui un pic caractéristique de C typique de ce que l'on retrouve dans le cas d'un polymère (squelette d'un polymère formé majoritairement de carbone).

La solution interstitielle du béton est fortement alcaline et est constitué principalement d'ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{OH}^-$  (Mufti, Onefrei, & et coll., 2007). Il est bien connu que les fibres de verre se dissolvent en présence d'une solution alcaline. Par conséquent, il est intéressant de vérifier à l'aide de spectrométrie EDS la présence d'ions alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) dans la matrice, principalement au pourtour des fibres de verre. La spectrométrie EDS ne permet toutefois pas de détecter des éléments ou des ions plus légers que le sodium (Na) (Mufti, Onefrei, & et coll., 2007). Il est donc impossible de détecter l'anion hydroxyde,  $\text{OH}^-$ .

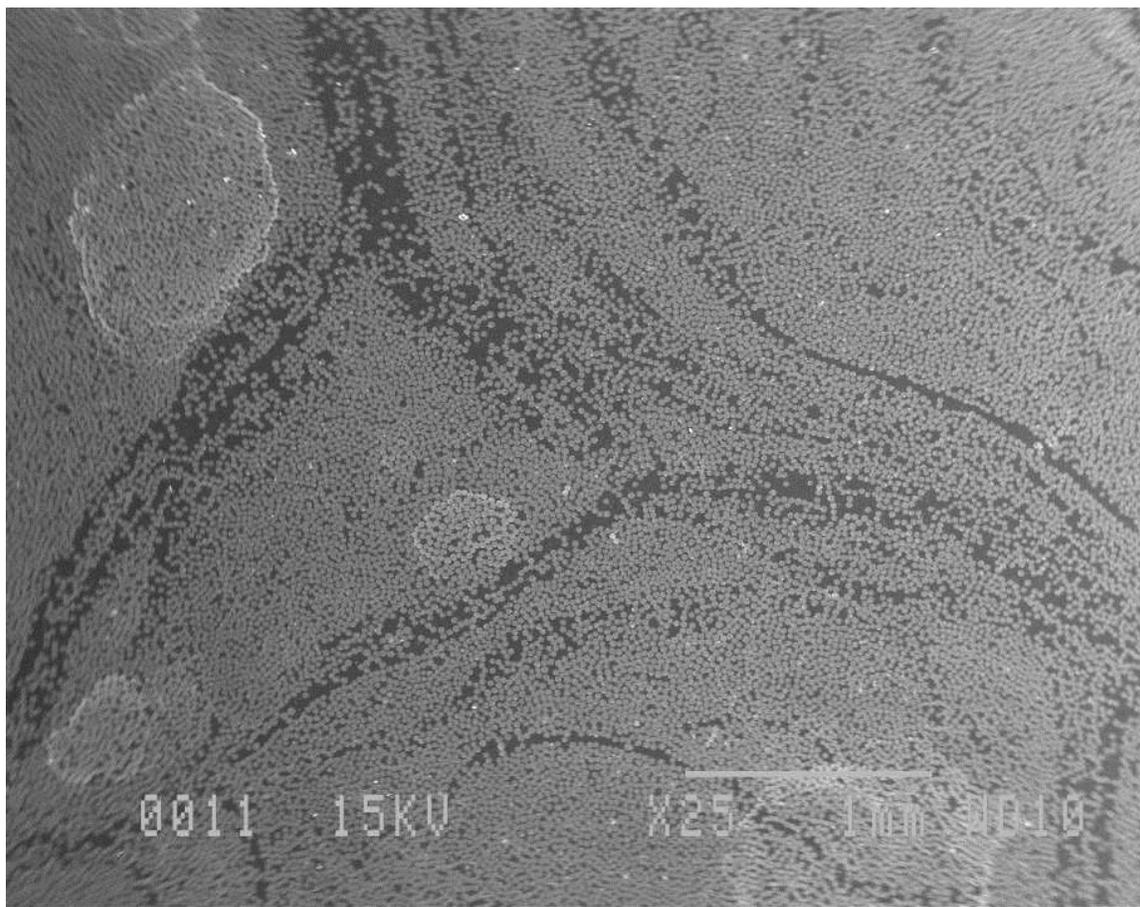
Aucun pic de potassium (K) ou de sodium (Na) n'a été détecté à la suite des différentes analyses de spectrométrie EDS sur l'échantillon MC-15-008-6, et ce tant au niveau de la matrice que du pourtour des fibres de verre. L'échantillon ne présente donc pas d'ions alcalins potentiellement nuisibles pour le matériau. De plus, aucun pic de Si n'a été détecté dans la matrice aux environs immédiats des fibres de verre. La présence de Si indiquerait le cas échéant, une certaine dissolution des fibres de verre.

Au niveau de l'interface béton-composite, un léger décollement variant entre  $0,5 \mu\text{m}$  et  $25 \mu\text{m}$  a été mesuré à l'aide du logiciel ImageJ (voir figure 11). Il est toutefois impossible de déterminer si ce décollement découle des conditions d'exposition de la barre (humidité et alcalinité du béton, cycles de gel-dégel, efforts mécaniques, etc.) ou s'il résulte plutôt de la coupe transversale de l'échantillon.



**Figure 11 : Interface béton-composite de l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe)**

### 6.2.11.2 Échantillon MC-15-008-7 (barre droite)



**Figure 12 : Vue générale au MEB de la barre MC-15-008-7 (barre droite)**

La figure 12 est une vue générale de l'échantillon MC-15-008-7. Contrairement à l'échantillon MC-15-008-6, l'échantillon MC-15-008-7 ne présentait aucune porosité visible.

Il est également possible d'observer une concentration de fibres de verre plus importante dans l'échantillon de barre droite comparativement à l'échantillon de barre courbe. Cette observation concorde avec les résultats obtenus à la section 6.2.6 (Taux de fibres).

La figure 13 montre une image à fort grossissement (1000X) de l'échantillon MC-15-008-7. L'image a été obtenue avec le mode d'imagerie en électrons secondaires du MEB. Aucun signe de détérioration (fissuration, pertes de section des fibres de verre) n'est visible au niveau de la matrice et des fibres de verre. De même, l'interface fibres-matrice ne présente aucun décollement. Certains éclats sont visibles sur les fibres de verre, mais ces derniers sont probablement issus de la découpe de l'échantillon et/ou de son polissage étant donné la nature fragile du matériau. De légers artefacts de polissage sont également visibles.

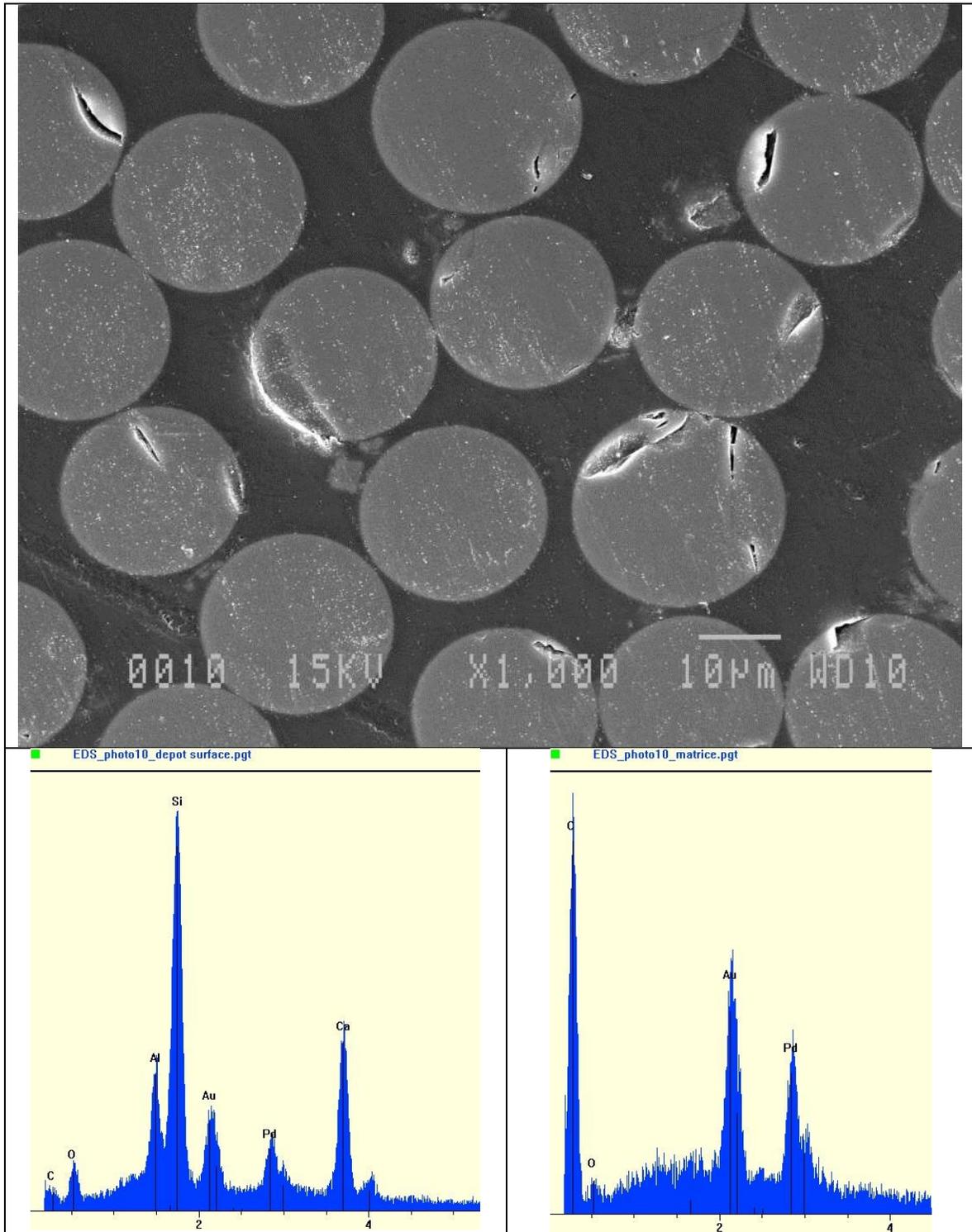


Figure 13 : Fort grossissement au MEB des fibres de verre et de la matrice de l'échantillon MC-15-008-7 (barre droite) et spectre EDS des fibres de verre et de la matrice

Les spectres EDS des fibres de verre (pics de Si, de Ca, d'Al et d'O) et de la matrice (pic de C) sont conventionnels et présente encore une fois des pics caractéristiques conformes à ce qui est attendu pour ces matériaux. Aucun ion alcalin ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) n'a été détecté sur les spectres EDS de la matrice. En ce qui concerne l'anion hydroxyde  $\text{OH}^-$ , ce dernier n'est pas détectable par EDS pour les raisons mentionnées précédemment.

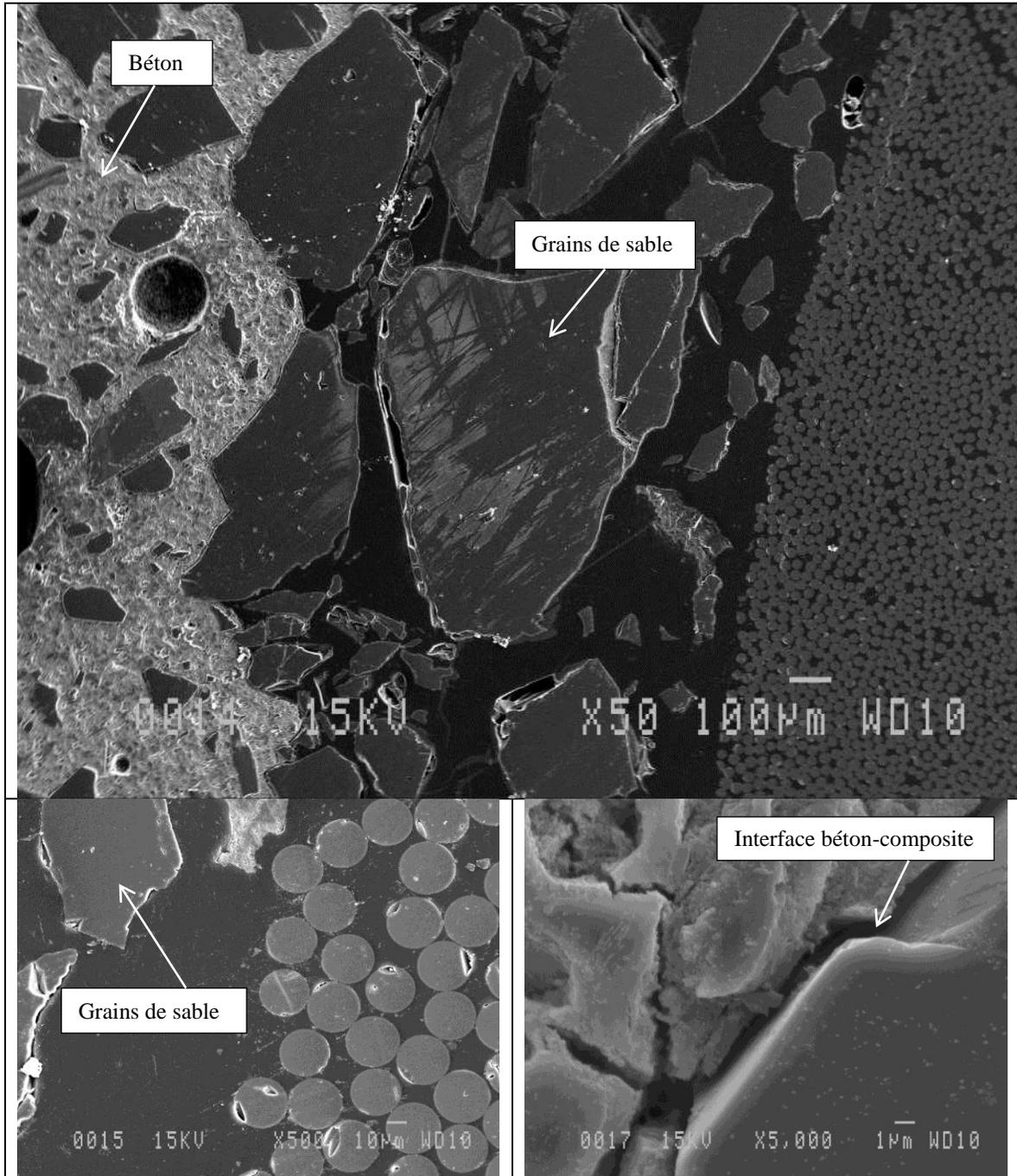


Figure 14 : Interface béton-composite de l'échantillon MC-15-008-7 (barre droite)

Comparativement à l'échantillon MC-15-008-6 (barre courbe) où un décollement allant jusqu'à 25  $\mu\text{m}$  a été constaté, un décollement minime d'au plus 2  $\mu\text{m}$  est observable à certains endroits au niveau de l'interface béton-composite de l'échantillon de barre droite MC-15-008-7 (voir figure 14). De plus, l'enrobage de grains de sable en périphérie de la barre droite ne présente aucun décollement avec le composite. Cet enrobage est essentiel afin d'assurer une adhérence adéquate de la barre dans le béton.

Comme décrit à la section 4.2, l'enrobage de la barre droite semble avoir nettement plus de grains de sable que celle de la barre courbe. À cet effet, il est possible de présumer que l'adhérence des barres droites au béton devrait être supérieure à celle des barres courbes.

À noter que des images MEB supplémentaires des échantillons MC-15-008-6 et MC-15-008-7 sont disponibles à l'annexe I.

## 7. Conclusion

L'expertise portant sur les barres d'armature en PRFV du pont P-11591, situé sur l'autoroute 20 Est à Val-Alain, a permis de faire ressortir les conclusions suivantes :

- Le béton des glissières ne présente aucun indice de détérioration.
- Les barres d'armature en PRFV droites et courbes ne présentaient aucun signe de détérioration après 11 ans de mise en service. Toutefois, les barres courbes montraient des porosités importantes probablement causées par leur mode de fabrication.
- Les propriétés physico-chimiques de barres droites en PRFV prélevées dans la structure ont été comparées à celles de barres droites «référence» de 2004 provenant du même lot de fabrication et entreposé au SMI depuis la réalisation du projet. Il en est ressorti qu'aucun changement notable n'a été constaté. Quant aux propriétés physico-chimiques des barres courbes en PRFV prélevées dans la structure, celles-ci n'ont pu être comparées à des barres «référence» faute d'échantillon disponible. Toutefois, à partir des analyses réalisées il n'y a pas lieu de croire que celles-ci ont subi une diminution de ces propriétés physico-chimiques.
- Des analyses réalisées par spectroscopie RMN au département de chimie de l'Université Laval ont permis de confirmer que les barres d'armature en PRFV de la structure étaient constituées d'une matrice à base de vinylester.
- Actuellement, il est impossible de corréler la dégradation au niveau physico-chimique à la perte de performance mécanique des barres en PRFV. Cependant, puisque la structure a été instrumentée au moment de sa construction et que des essais de chargements statiques et dynamiques ont été réalisés avant sa

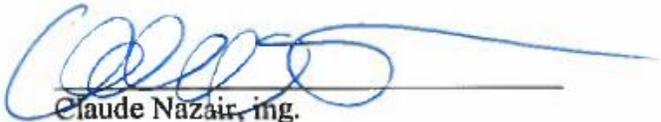
mise en service (Benmokrane, El-Salakawy, El-Gamal, & Goulet, 2007), de nouveaux essais de chargement et de nouvelles collectes de données à partir de l'instrumentation déjà en place pourraient être envisagées afin d'étudier l'évolution du comportement structural de l'ouvrage.

En terminant, il n'y a pas lieu de croire sur la base de cette étude que les barres d'armature en PRFV à base d'une matrice de vinylester et de fibres de verre de la structure P-11591 présentent des risques de dégradation à court et moyen terme. À cet effet, il serait toutefois pertinent de reconduire une expertise similaire pour évaluer l'état de la structure et de ses constituants après 25 ans de mise en service, de manière à mieux prédire son comportement à long terme.

Tout en espérant que ces renseignements répondent à vos besoins, nous demeurons à votre entière disposition pour toutes informations ou toutes interrogations suscitées à la lecture de ce document.



Marc-Antoine Loranger ing. jr



Claude Nazair, ing.

Secteur béton  
Service des matériaux d'infrastructures

#### **PROPRIÉTÉ ET CONFIDENTIALITÉ**

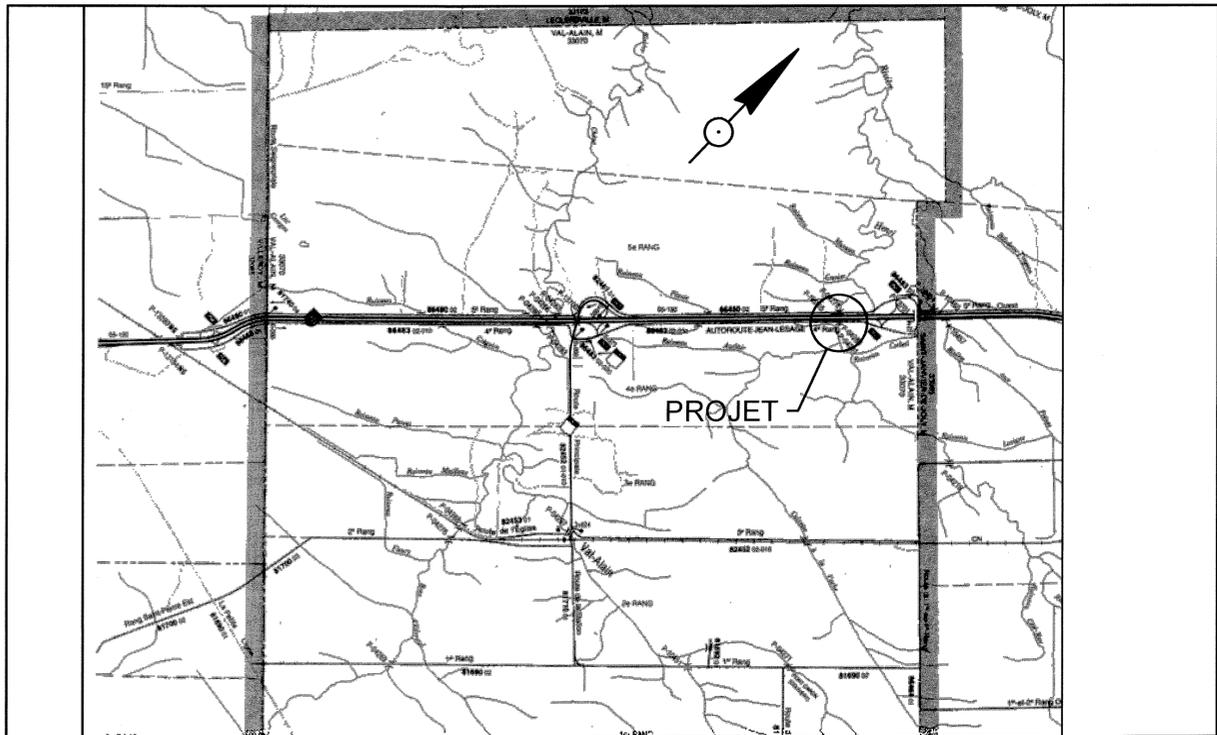
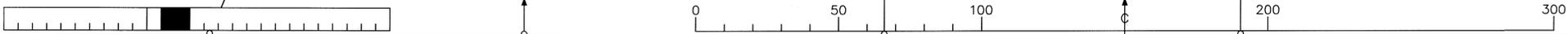
« Les résultats provenant de cette recherche et figurant dans ce rapport ne peuvent pas être utilisés par des tiers sans le consentement écrit du Ministère des Transports du Québec, que ce soit pour des recherches ultérieures, des présentations ou des publications. »

## Références

- Benmokrane, B., Ali, A. H., Mohamed, H. M., Robert, M., & ElSafty, A. (2015, Août 5). Durability performance and service life of CFCC tendons exposed to elevated temperature and alkaline environment. *Journal of Composites for Construction*.
- Benmokrane, B., El-Salakawy, E., El-Gamal, S., & Goulet, S. (2007). Construction and testing of an innovative concrete bridge deck totally reinforced with glass FRP bars : Val-Alain bridge on highway 20 east. *Journal of Bridge Engineering*, 632-645.
- Mufti, A., Onefrei, M., & et coll. (2007). Field study of glass-fibre-reinforced polymer durability in concrete. *Canadian Journal of Civil Engineering* , 355-366.
- Nishizaki, S., & Meiarashi, I. (2002). Long-term deterioration of GFRP in water and moist environment. *Journal of composites for construction*, 21-27.
- Transports Québec. (2014). *Identification du pont*. Retrieved from Transports Québec: [https://www.diffusion.mtq.gouv.qc.ca/ords/pes/f?p=122:53:0::NO:53:P53\\_IDE\\_S TRCT\\_0001:201212](https://www.diffusion.mtq.gouv.qc.ca/ords/pes/f?p=122:53:0::NO:53:P53_IDE_S TRCT_0001:201212)
- Won, J.-P., & et coll. (2008). The effect of exposure to alkaline solution and water on the strength-porosity relationship of GFRP rebar. *Composites Part B: engineering*, 764-772.

# ANNEXE A

## PLANS DE CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE P-11591



CARTE: 21L 4-5  
ÉCHELLE = 1 : 50 000

**TABLE DES MATIÈRES**

FEUILLE	DESCRIPTION
1	LOCALISATION ET DESCRIPTION GÉNÉRALE
2	PLAN D'ENSEMBLE
3	PONT EXISTANT - DÉMOLITION
4	SEMELLES-DIMENSIONS-ARMATURE - LOCALISATION DES PIEUX
5	CULÉE 1 - DIMENSIONS
6	CULÉE 1 - ARMATURE
7	CULÉE 2 - DIMENSIONS
8	CULÉE 2 - ARMATURE
9	CULÉES DRAINAGE DÉTAILS
10	CHARPENTE MÉTALLIQUE
11	CHARPENTE MÉTALLIQUE - CONTREVENTEMENTS
12	CHARPENTE MÉTALLIQUE - CONTREVENTEMENTS HORIZONTAUX
13	CHARPENTE MÉTALLIQUE - DÉTAILS
14	DALLE DIMENSIONS & ARMATURE
15	DALLE DIMENSIONS & ARMATURE (SUITE)
16	JOINT DIAPHRAGME D'EXTRÉMITÉ - MUR DE FRONT ET DRAINS
17	RECONNAISSANCE DES SOLS
18	RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE
19	RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE

UNITÉ ADMINISTRATIVE  
**DIRECTION GÉNÉRALE  
DES INFRASTRUCTURES  
ET DES TECHNOLOGIES**  
**DIRECTION DES STRUCTURES**

LOCALISATION DU PROJET		
ROUTE	TRONÇON	SECTION
0 0 0 2 0	0 5	1 3 0
ROUTE	TRONÇON	SECTION

MUNICIPALITÉ  
VAL-ALAIN

MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ  
LOTBINIÈRE

CIRCONSCRIPTION ÉLECTORALE  
LOTBINIÈRE

DT	CS	CODE GÉOGRAPHIQUE
34	75	33070

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES  
LAT:  
LONG:  
CADASTRE

A	M	J	NATURE DE MODIFICATION	PAR
04	03	16	DATE D'ÉMISSION DU PLAN	

PRÉPARÉ PAR:  
ingénieur : SYLVAIN GOULET ing.  
techniciens : G. BERGERON  
G. CHAMBERLAND  
Y. DUBUC

RECOMMANDÉ

PONT  
SUR L'AUTOROUTE 20 DIRECTION EST  
AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE HENRI

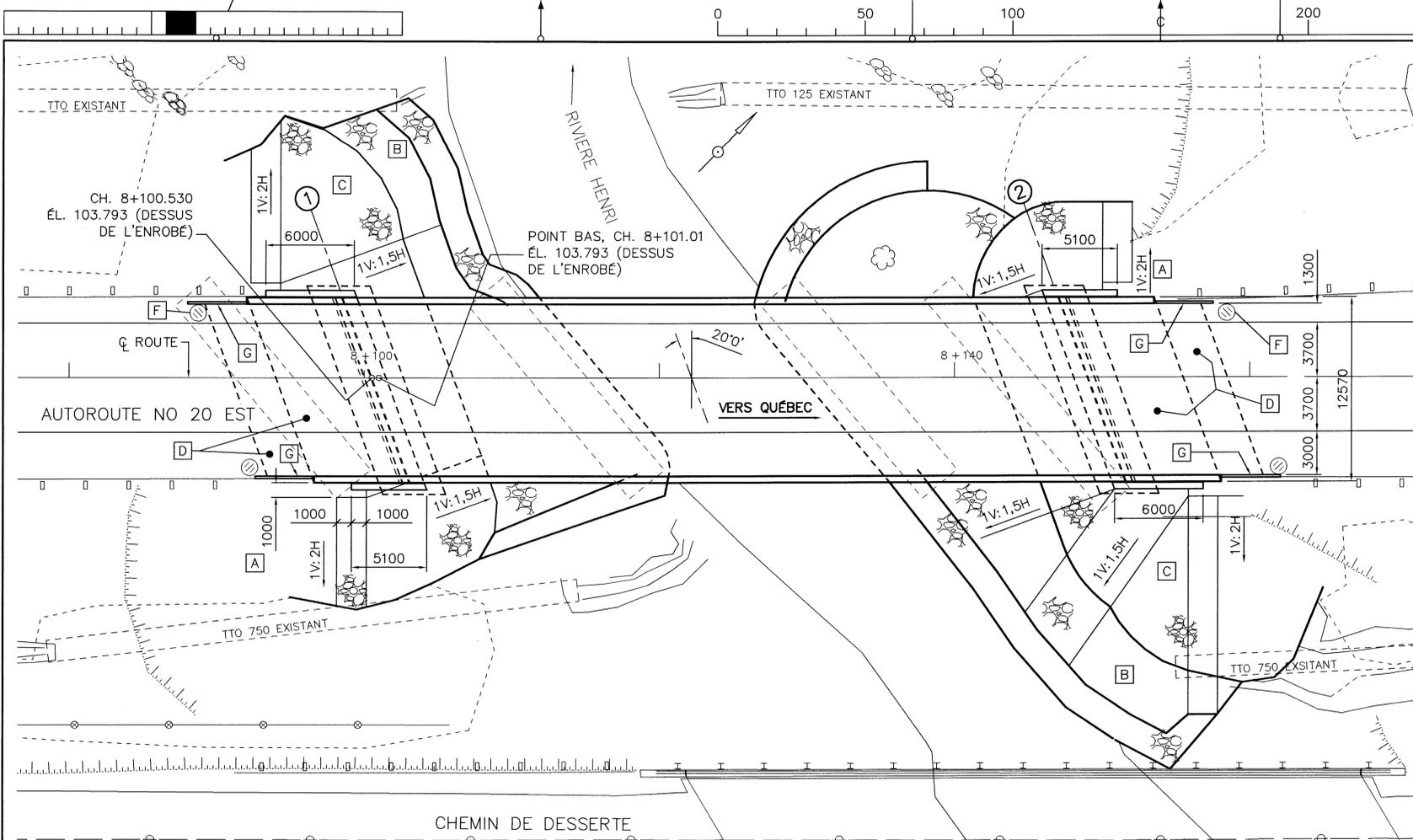


Direction des structures

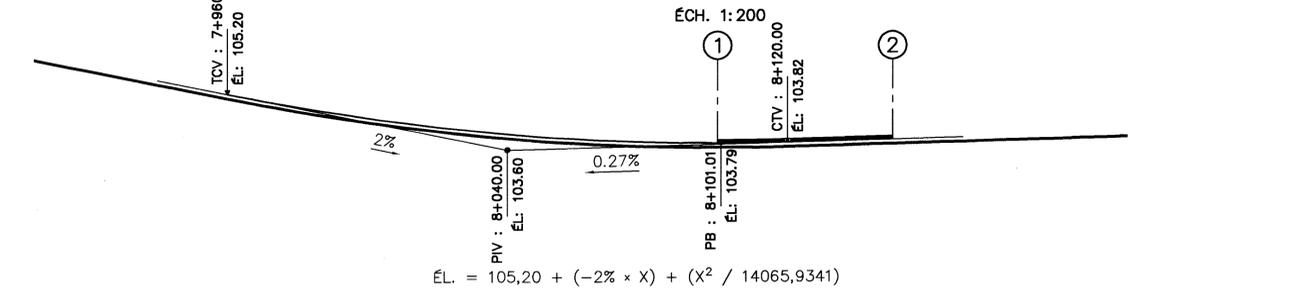
LOCALISATION  
ET  
DESCRIPTION GÉNÉRALE

No PROJET 20-3475-0007  
No CONTRAT 3475-04-0203

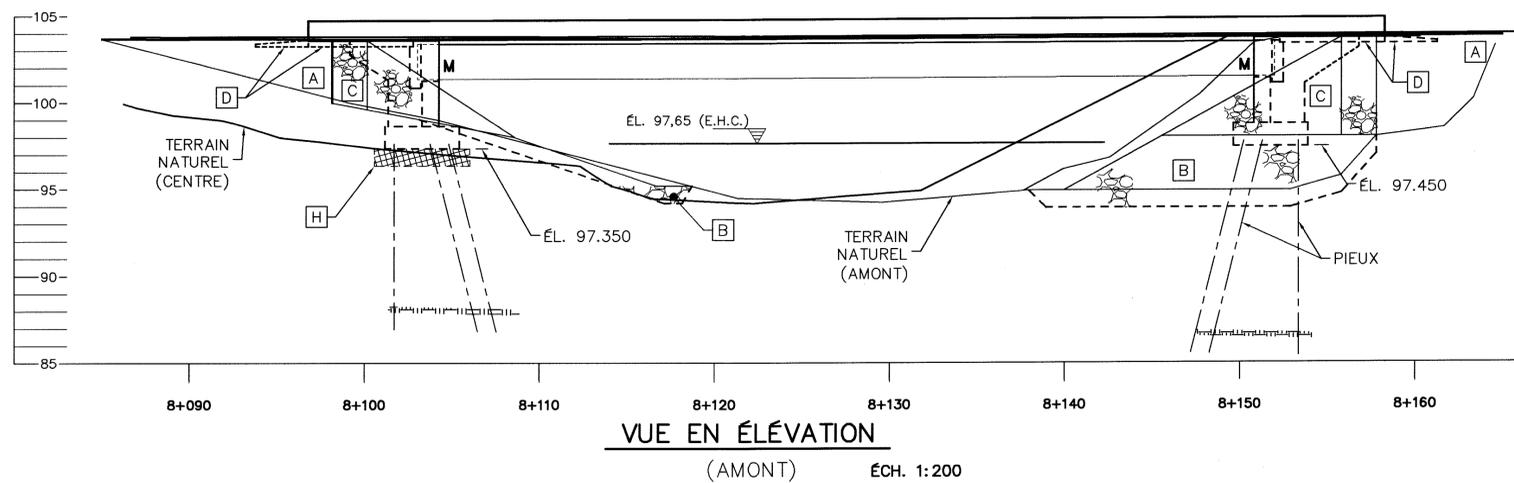
IDENTIFICATION TECHNIQUE	1
P.O.-04-11591	19
IDENTIFICATION REGROUPEMENT	



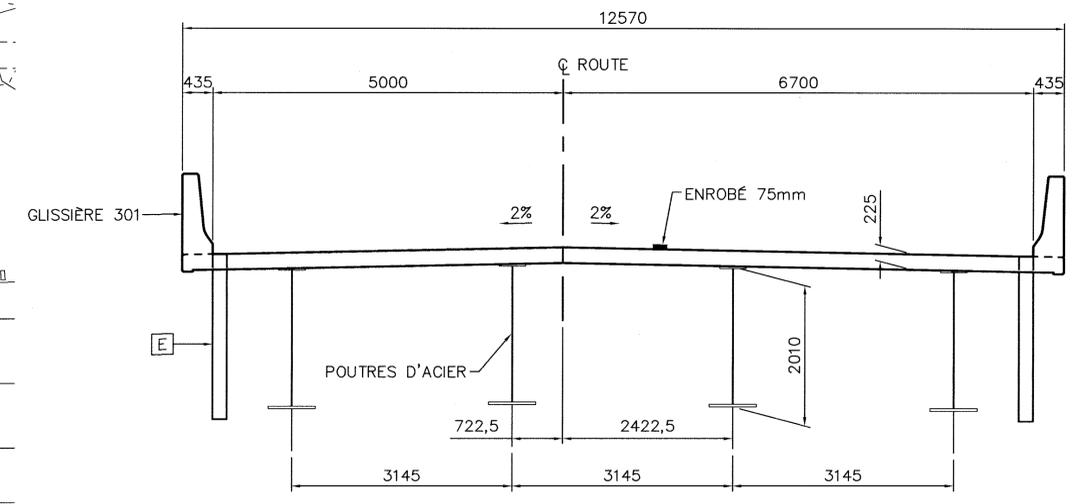
VUE EN PLAN



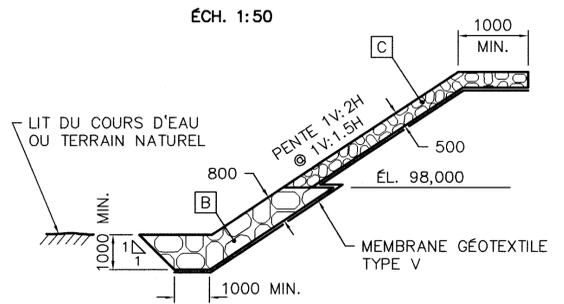
PROFIL DE LA ROUTE



VUE EN ÉLÉVATION



COUPE TYPE



COUPE TYPE DU REVÊTEMENT

NORME CAN/CSA-S6-00  
 COEFFICIENT D'ESSIEU (ÉLUL ET ÉLUT 1) :  
 - FLEXION : 0,803  
 - CISAILLEMENT : 0,928

SURCHARGE: CL625

LÉGENDE

- [A] REMBLAI (HORS PROJET PO-04-11591), VOIR DEVIS DE TERRASSEMENT
- [B] REVÊTEMENT EN PIERRES DE CALIBRE 300-500 mm, (800 mm D'ÉPAISSEUR)
- [C] REVÊTEMENT EN PIERRES DE CALIBRE 200-300 mm, (500 mm D'ÉPAISSEUR)
- [D] DALLES DE TRANSITION
- [E] DRAINS, VOIR FEUILLE 16
- [F] PUISARDS, HORS PROJET PO-04-11591, VOIR DEVIS DE TERRASSEMENT
- [G] BORDURES PRÉFABRIQUÉES EN BÉTON DE CIMENT, HORS PROJET PO-04-11591, VOIR DEVIS DE TERRASSEMENT
- [H] COUSSIN DE SUPPORT, VOIR FEUILLE 4

NOTES

- LES DIMENSIONS SONT EN MILLIMÈTRES.
- LES CHÂINAGES ET LES ÉLÉVATIONS SONT EN MÈTRES.
- LES DIMENSIONS ET ÉLÉVATIONS INDIQUÉES SUR CHACUNE DES FEUILLES DES PLANS DOIVENT ÊTRE CORRIGÉES SI LES DIMENSIONS DES OUVRAGES EXISTANTS L'EXIGENT.
- LÉGENDE:
  - EXISTANT VU
  - - - EXISTANT CACHÉ
  - /// DÉMOLITION
  - PROJETÉ VU
  - - - PROJETÉ CACHÉ

**TEL QUE CONSTRUIT**  
 DATE: 2006-10-04 PAR: G. CHAMBERLAND

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

PARTIES DE L'OUVRAGE	RÉSISTANCE @ 28 JOURS-MPa	TYPE DE BÉTON DE CIMENT
SEMELLES	30	II
CULÉES	50	XIII
DALLE, DIAPHRAGMES D'EXTREMITÉ	50	XIII
MURS EN RETOUR	50	XIII
GLISSIÈRES	50	XIII
DALLES DE TRANSITION	50	XIII

ÉLÉVATIONS DES NIVEAUX D'EAU

PÉRIODE DE RETOUR (années)	ANNUELLE	10	25	50	100 CONCEPTION
ÉLÉVATION DU NIVEAU D'EAU (m)	96.60	97.10	97.35	97.50	97.65

LES ÉLÉVATIONS D'EAU DE CE TABLEAU CORRESPONDENT À L'ÉCOULEMENT NORMAL LORSQUE L'OUVRAGE SERA EN SERVICE. LA PRÉSENCE D'OUVRAGES TEMPORAIRES TELS QUE DIGUES, BATARDEAUX, ÉTAIEMENTS, ETC., PEUT CAUSER UN REHAUSSEMENT DE CES ÉLÉVATIONS QU'IL FAUT ÉVALUER SELON LE CAS.

A	M	J	NATURE DE MODIFICATION	PAR
04	03	16	DATE D'ÉMISSION DU PLAN	

TECHNICIEN : G. CHAMBERLAND

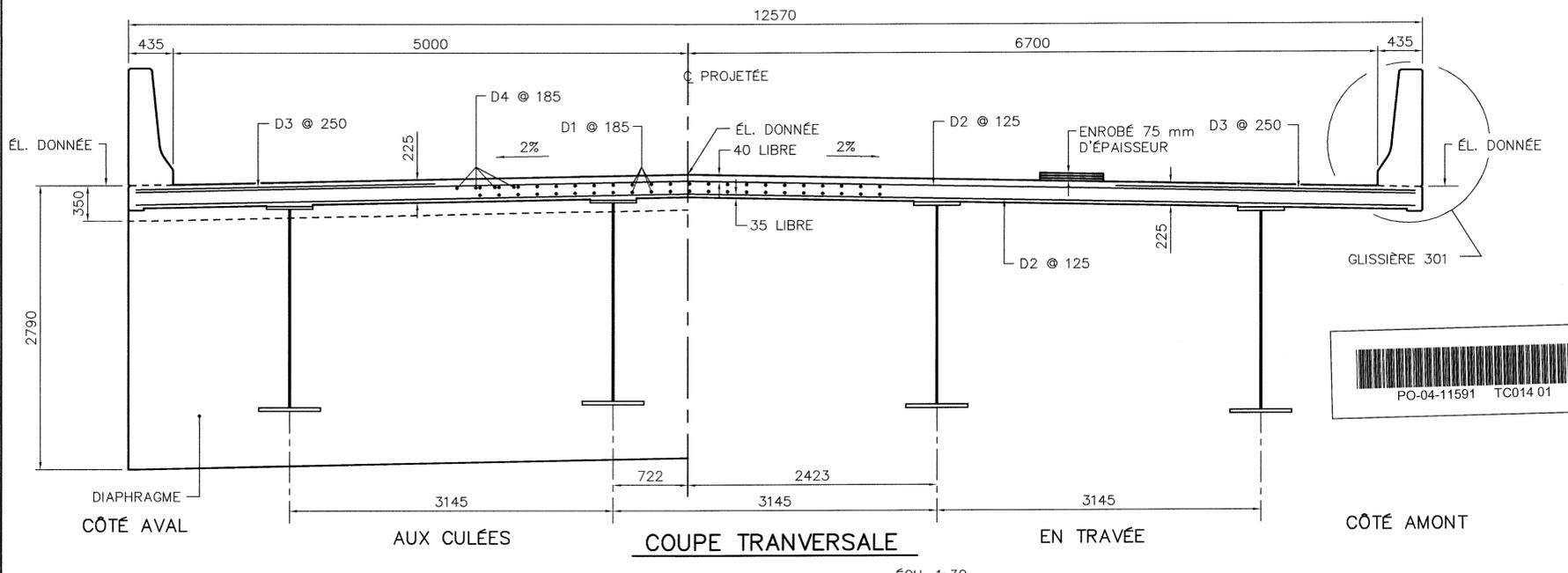
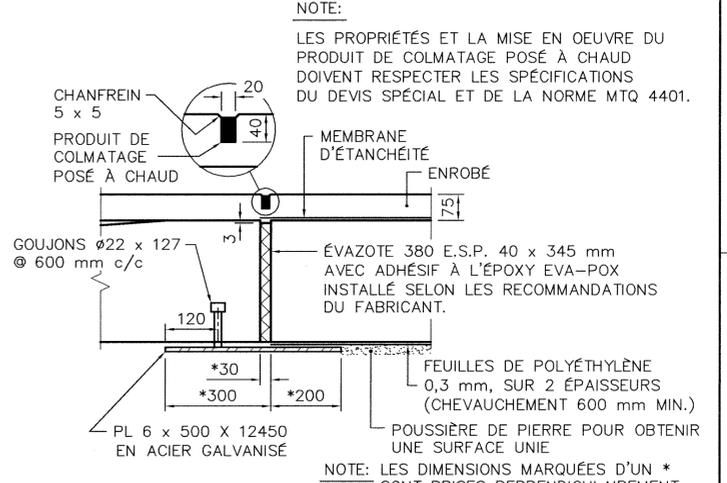
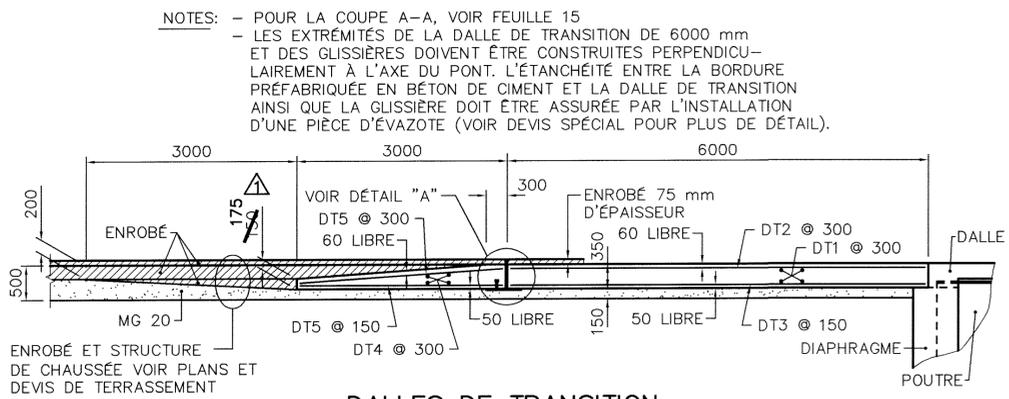
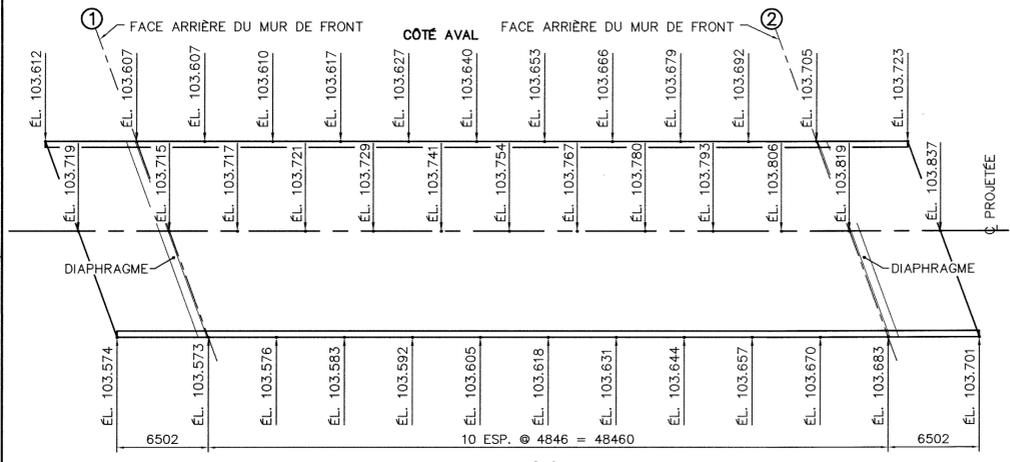
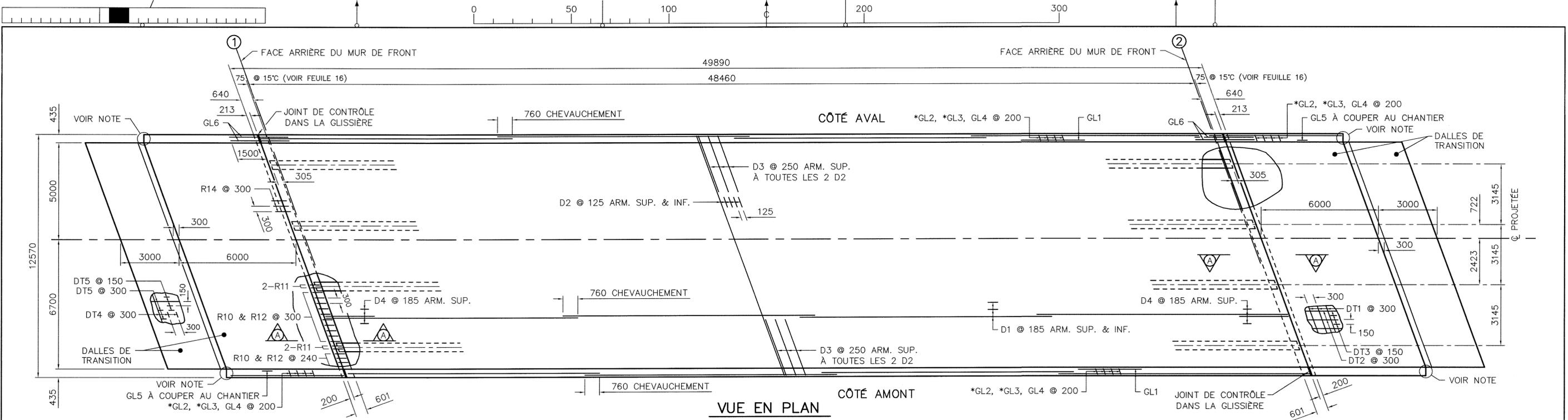
PRÉPARÉ PAR : SYLVAIN GOULET ing.  
 VÉRIFIÉ PAR : ing.

**Transports Québec**

DIRECTION DES STRUCTURES

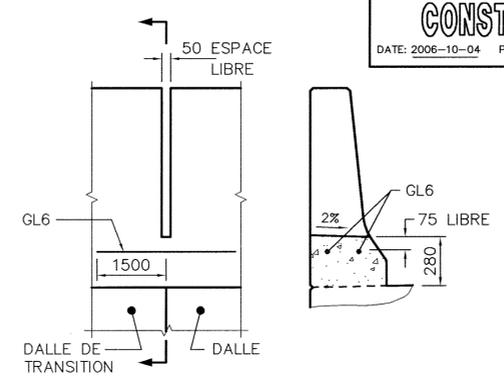
PLAN D'ENSEMBLE

IDENTIFICATION TECHNIQUE	2
PO-04-11591	19
IDENTIFICATION RÉGROUPEMENT	



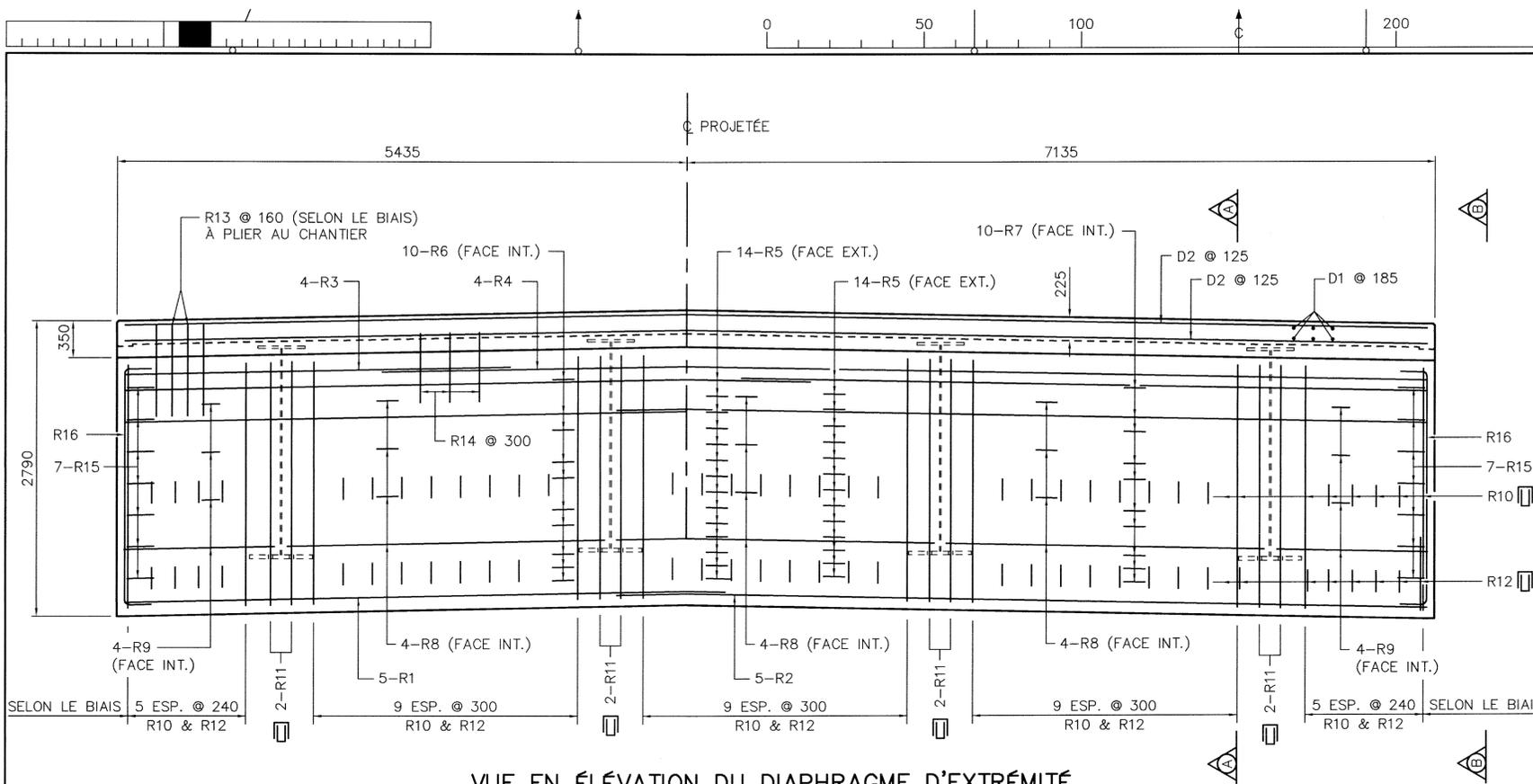
NATURE DES MODIFICATIONS
▲ ÉPAISSEUR REQUISE POUR RECouvreMENT D'ARMATURE

**TEL QUE CONSTRUIT**  
DATE: 2006-10-04      PAR: G. CHAMBERLAND



**JOINT DANS LA GLISSIÈRE**  
NON À L'ÉCHELLE

A	M	J	NATURE DE MODIFICATION	PAR
04	03	16	DATE D'ÉMISSION DU PLAN	
TECHNICIEN : YVES DUBUC				
PRÉPARÉ PAR : SYLVAIN GOULET      ing.				
VÉRIFIÉ PAR :				
<b>Transports Québec</b>				
DIRECTION DES STRUCTURES				
DALLE DIMENSIONS & ARMATURE				
IDENTIFICATION TECHNIQUE				14
PO-04-11591				19
IDENTIFICATION REGROUPEMENT				

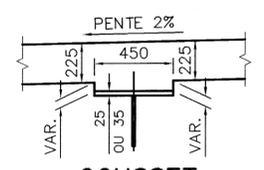
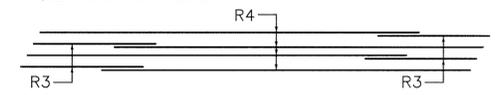


VUE EN ÉLEVATION DU DIAPHRAGME D'EXTREMITÉ

ÉCH. 1:30

NOTES : - LES BARRES R11 DOIVENT ÊTRE INSÉRÉES DANS LES TROUS Ø40 DE LA SEMELLE INFÉRIEURE DES POUTRES APRÈS LA MISE EN PLACE DE CELLES-CI.  
 - POUR LES BARRES R3 ET R4, FAIRE ALTERNER LES CHEVAUCEMENTS DE CHAQUE CÔTÉ DU TABLIER.

- LONGUEUR DE CHEVAUCEMENT :  
 - BARRES No 20 = 700 mm  
 - BARRES No 25 = 1100 mm  
 - BARRES No 30 = 1300 mm



GOUSSET

ÉCH. 1:20

PRÉVOIR UN COFFRAGE AJUSTABLE POUR LE PROFIL LONGITUDINAL DE LA DALLE (VOIR DEVIS).

BORDEREAU D'ARMATURE COMPOSITE

IDENTIF.	TYPE	A	B	C	LONGUEUR (mm)	NO	NOMBRE	LONGUEUR (m)
D1	1				12900	#6	545	7031
D2	1				13290	#6	793	10539
D3	1				3080	#6	395	1217
D4	50	2500			2800	#6	137	384
GL1	1				12900	#5	113	1458
GL2	50	1060			1360	#6	679	923
GL3	51	285	275	495	1055	#6	679	716
GL4	52	320	1255		1575	#5	679	1069
GL5	1				5940	#5	57	339

ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE TOTAL = 23676 m. lin.  
 ARMATURE DROITE "V-Rod" FIBRES DE VERRE #5 TOTAL = 1797 m. lin.  
 ARMATURE DROITE "V-Rod" FIBRES DE VERRE #6 TOTAL = 18787 m. lin.  
 ARMATURE COURBÉE "V-Rod" FIBRES DE VERRE #5 TOTAL = 1069 m. lin.  
 ARMATURE COURBÉE "V-Rod" FIBRES DE VERRE #6 TOTAL = 2023 m. lin.

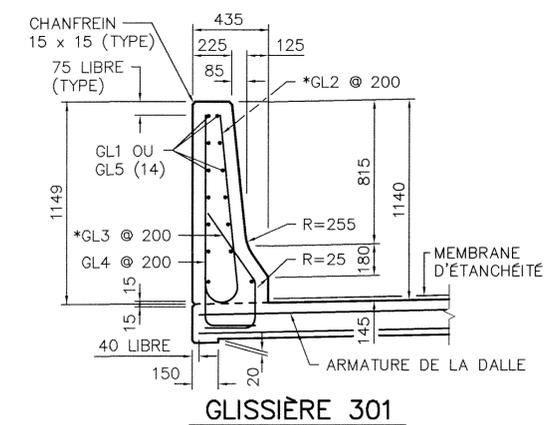
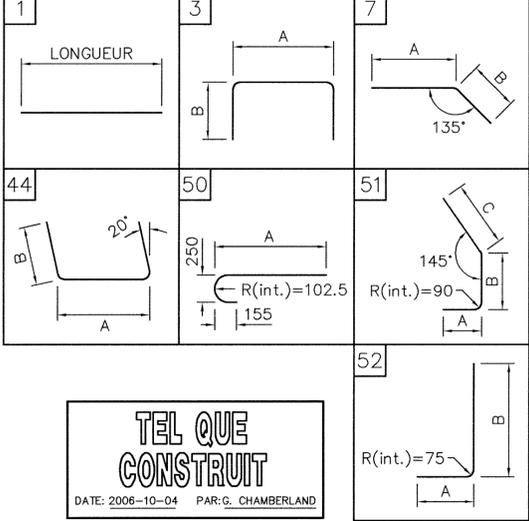
NOTES :  
 - LA NUMÉROTATION (#) DES BARRES D'ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE CORRESPOND AU SYSTÈME IMPÉRIAL (#5 = Ø5/8", #6 = Ø6/8")  
 - TROIS BARRES SUPPLÉMENTAIRES POUR CHAQUE IDENTIFICATION DE BARRES COURBÉES ET UNE BARRE SUPPLÉMENTAIRE POUR CHAQUE IDENTIFICATION DE BARRE DROITE ONT ÉTÉ AJOUTÉES POUR FIN D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ESSAIS.

BORDEREAU D'ARMATURE

IDENTIF.	TYPE	A	B	C	LONGUEUR (mm)	NO	NOMBRE	MASSE (kg)
DT1	1				6935	15	168	1829
DT2	1				5900	20	86	1195
DT3	1				5900	25	168	3890
DT4	1				6470	15	88	894
DT5	1				2870	20	236	1595
GL6	1				3000	25	8	94
R1	1				6100	25	10	239
R2	1				8220	25	10	323
R3	1				3910	30	8	172
R4	1				10610	30	8	466
R5	1				6960	20	56	918
R6	1				5700	20	20	268
R7	1				8220	20	20	387
R8	1				3280	20	24	185
R9	1				1530	20	16	58
R10	3	480	1550		3580	15	168	944
R11	3	480	1550		3580	20	32	270
R12	3	480	675		1830	15	168	483
R13	1				1000	10	336	264
R14	7	800	300		1100	20	90	233
R15	44	440	600		1640	15	28	72
R16	3	2250	600		3450	15	4	22

ARMATURE GALVANISÉE TOTAL = 14801 kg  
 ACIER D'ARMATURE NUANCE 400W, NORME CAN/CSA-G30.18M

TYPES

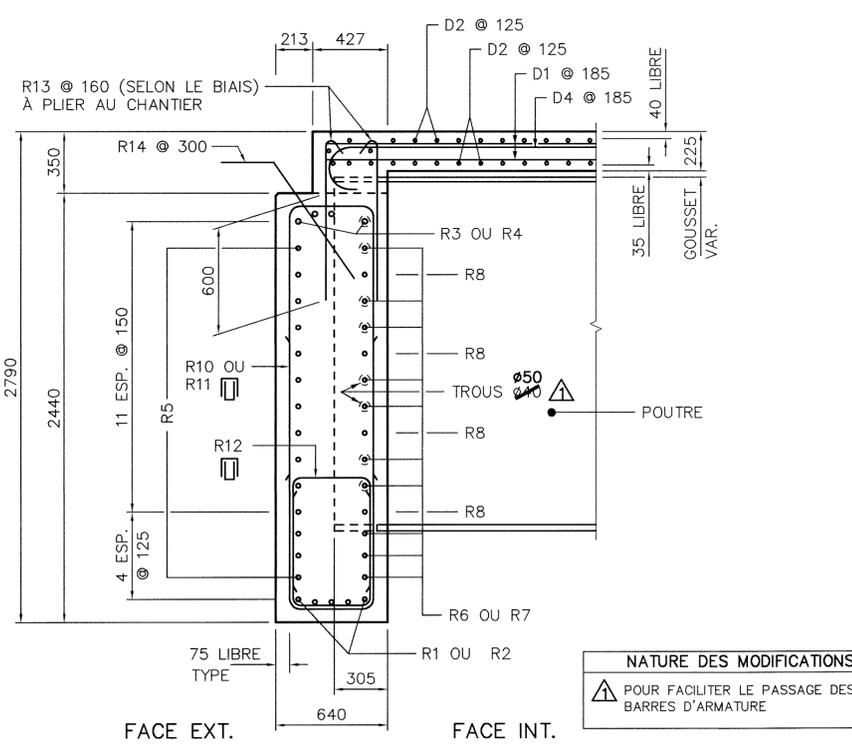


GLISSIÈRE 301

ÉCH. 1:20

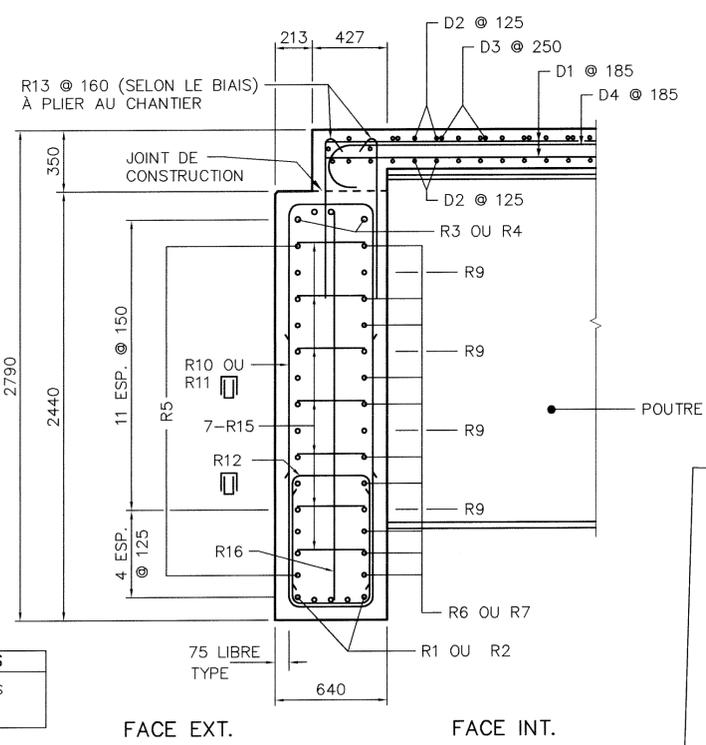
\* L'ESPACEMENT DES GL2 ET GL3 EST RÉDUIT À 100 mm SUR UN MÈTRE DE PART ET D'AUTRE D'UN JOINT DE CONTRÔLE ET ÉGALEMENT SUR UN MÈTRE AUX EXTRÉMITÉS.

TEL QUE CONSTRUIT  
 DATE: 2006-10-04 PAR: G. CHAMBERLAND



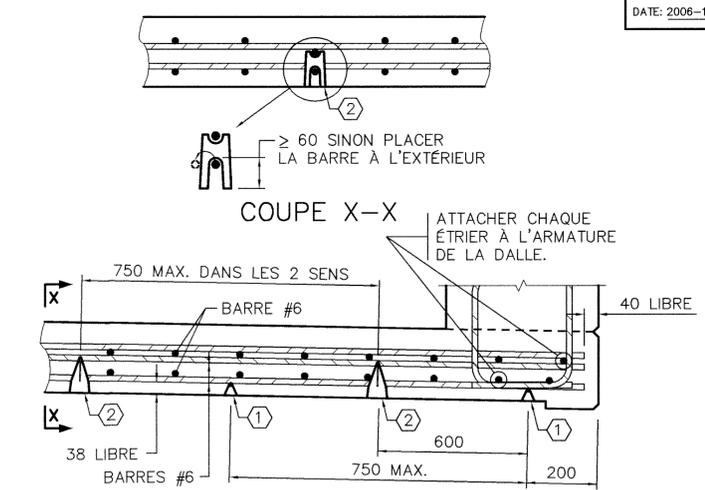
COUPE A-A

ÉCH. 1:20



VUE B-B

ÉCH. 1:20



COUPE X-X

NOTE: LES CALES ① ET ② NE DOIVENT PAS ÊTRE LOCALISÉES AU DESSUS DES POUTRES.

SUPPORTS DE L'ARMATURE DE LA DALLE

NON À L'ÉCHELLE

NATURE DES MODIFICATIONS  
 ▲ POUR FACILITER LE PASSAGE DES BARRES D'ARMATURE



A	M	J	NATURE DE MODIFICATION	PAR
04	03	16	DATE D'ÉMISSION DU PLAN	
TECHNICIEN : YVES DUBUC				
PRÉPARÉ PAR : SYLVAIN GOULET ing.				
VÉRIFIÉ PAR : ing.				
<b>Transports Québec</b>				
DIRECTION DES STRUCTURES				
DALLE DIMENSIONS & ARMATURE (SUITE)				
IDENTIFICATION TECHNIQUE				15
PO-04-11591				19
IDENTIFICATION REGROUPEMENT				

## ANNEXE B

# DESCRIPTION VISUELLE DES CAROTTES

**Description visuelle (prélèvement de béton durci)**

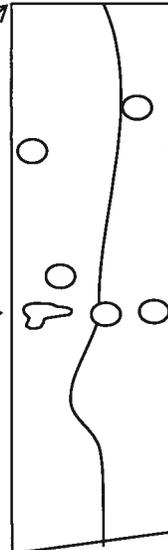
Localisation : Pont de Val-Alain (autoroute 20 est) N° au laboratoire : BC-15-095  
 Obstacle : Rivière Henri N° de l'échantillon : C1  
 N° de structure : P-11591 Date d'échantillonnage : 13 juil. 2015

Échantillon (φ = 150 mm)



Côté exposé  
au trafic

Vide de  
compaction  
10 mm de  
profondeur



Croquis et notes générales

0 mm	Teneur ions Cl & absorption et vides perméables	0 mm
65 mm	Récupération armature	50 mm
80 mm	Perméabilité ions chlorure	90 mm
155 mm	Récupération armature	140 mm
170 mm	L-Barre	180 mm
	Péetrographie	200 mm
265 mm		265 mm
280 mm		

**Description du forage**

Matériaux	Épaisseur
Enrobé bitumineux :	N/A
Membrane :	N/A
Glissière :	265-280 mm
Béton de réfection :	N/A
Poutre :	N/A
Profondeur totale :	265-280 mm

**Béton**

Description générale :	Saine
Adhérence B.B. / B.C. :	N/A
État de surface :	Saine avec présence d'une fissure verticale ≤ 0,3 mm sur tout le diamètre de la carotte
Fissure / Délaminage :	Longue fissure longitudinal d'environ 0,1 mm sur pleine épaisseur
État des armatures : (PRFV)	20Ø courbe à 65 mm (porosité visible) 15Ø droite à 80 et 155 mm 15Ø courbe à 170 mm (porosité visible)
Réaction alcalis-granulats :	Aucune visuellement

**Description des essais**

Essais :
Teneur en ions chlorure
Absorption et vides perméables
Perméabilité aux ions chlorure
L-Barre
Péetrographie
Résultats :
Teneur en ions chlorure : 0-12,5: 0,60 %; 12,5-25: 0,15 % et 25-50: 0,039%
Absorption et vides perméables : abs. : 5,0% et vides perméables : 12,1%
Perméabilité aux ions chlorure : 664 C
L-Barre : 307 µm
Commentaires :
Présence de petites tâches blanches sur la surface sciée de plusieurs granulats.
Forage total (horizontal) et une dizaine de vides de compaction apparents au pourtour de certaines armatures et au sein de la carotte de béton (photos BC-15-095)

Préparé par : Marc-Antoine Loranger, ing. jr  
 Approuvé par : Claude Nazair, ing.

Date : 22 sept. 2015  
 Date : 17 déc. 2015

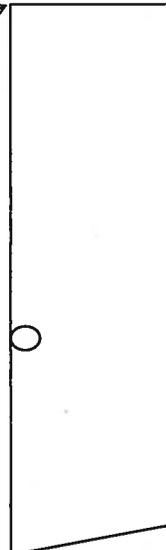
**Description visuelle (prélèvement de béton durci)**

Localisation : Pont de Val-Alain (autoroute 20 est) N° au laboratoire : BC-15-095  
 Obstacle : Rivière Henri N° de l'échantillon : C2  
 N° de structure : P-11591 Date d'échantillonnage : 13 juil. 2015

Échantillon ( $\phi = 100$  mm)



Côté exposé  
au trafic



Croquis et notes générales

0 mm

0 mm  
10 mm

Compression

190 mm

180 mm

Perméabilité  
ions chlorure

200 mm

250 mm

295 mm  
305 mm

Teneur en  
ions Cl

**Description du forage**

Matériaux	Épaisseur
Enrobé bitumineux :	N/A
Membrane :	N/A
Glissière :	295-305 mm
Béton de réfection :	N/A
Poutre :	N/A
Profondeur totale :	295-305 mm

**Béton**

Description générale :	Saine
Adhérence B.B. / B.C. :	N/A
État de surface :	Saine
Fissure / Délaminage :	Aucune
État des armatures :	partiel 15 $\emptyset$ droite à 190 mm (PRFV)
Réaction alcalis-granulats :	Aucune visuellement

**Description des essais**

Essais :
Résistance à la compression
Perméabilité aux ions chlorure
Teneur en ions chlorure
Résultats :
Résistance à la compression : 59,9 Mpa
Perméabilité aux ions chlorure : 435 C
Teneur en ions chlorure :
0-12,5: 0,33%
12,5-25: 0,075%
25-38: 0,028%
Commentaires :
Forage total (horizontal)
Carotte de 100 mm de diamètre
Vides de compaction apparents
Photos additionnelles dans BC-15-095
Présence de petites tâches blanches sur la surface sciée de plusieurs granulats.

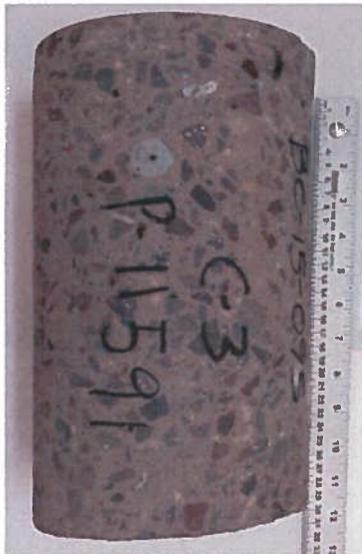
Préparé par : Marc-Antoine Loranger, Ing. jr  
 Approuvé par : Claude Nazair, ing.

Date : 22 sept. 2015  
 Date : 17 déc. 2015

**Description visuelle (prélèvement de béton durci)**

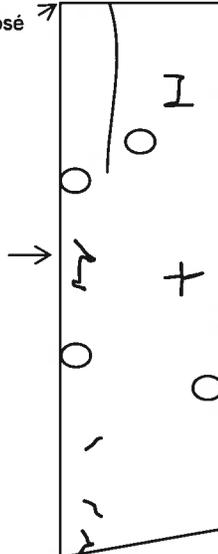
Localisation : Pont de Val-Alain (autoroute 20 est) N° au laboratoire : BC-15-095  
 Obstacle : Rivière Henri N° de l'échantillon : C3  
 N° de structure : P-11591 Date d'échantillonnage : 13 juil. 2015

Échantillon ( $\phi = 150$  mm)



Côté exposé  
au trafic

Cale en  
plastique



Croquis et notes générales

0 mm	Teneur ions Cl & absorption et vides perméables	0 mm
70 mm	Récupération armature	60 mm
90 mm		110 mm
	Perméabilité ions chlorure	160 mm
185 mm	Récupération armature	210 mm
200 mm		260 mm
	Perméabilité ions chlorure	260 mm
260 mm		
280 mm		

**Description du forage**

Matériaux	Épaisseur
Enrobé bitumineux :	N/A
Membrane :	N/A
Glissière :	260-280 mm
Béton de réfection :	N/A
Poutre :	N/A
Profondeur totale :	260-280 mm

**Béton**

Description générale :	Saine
Adhérence B.B. / B.C. :	N/A
État de surface :	Saine, fissure apparente $\leq 0,1$ mm
Fissure / Délaminage :	Fissure longitudinale $\leq 0,1$ mm sur la moitié supérieure de l'échantillon
État des armatures :	20 $\emptyset$ courbe à 70 mm
(PRFV)	15 $\emptyset$ droite à 90 et 185 mm
	15 $\emptyset$ courbe à 200 mm
Réaction alcalis-granulats :	Aucune visuellement

**Description des essais**

Essais :	
Teneur en ions chlorure	
Absorption et vides perméables	
Perméabilité aux ions chlorure	
Résultats :	
Teneur en ions chlorure :	0-12,5: 0,38%; 12,5-25: 0,14%; 25-50: 0,021% et 50-56: 0,017%
Absorption et vides perméables :	
abs. :	4,0% et vides perméables : 9,7%
Perméabilité aux ions chlorure :	266 C
Commentaires :	
Présence de petites tâches blanches sur la surface sciée de plusieurs granulats.	
Forage total (horizontal)	
Présence de cales en plastique à 14 endroits	
Dizaine de vides de compaction apparents au poutour de certaines armatures, cales et dans la carotte de béton	
Voir photos dans BC-15-095	

Préparé par : Marc-Antoine Loranger, ing. jr  
 Approuvé par : Claude Nazair, ing.

Date : 22 sept. 2015  
 Date : 17 déc. 2015

## ANNEXE C

# SCHÉMA DE LOCALISATION DES CAROTTES

FAIT PAR:

DAVE BRINDLE ET  
MICHAËL  
ARSENAULT LE  
13 JUILLET 2015

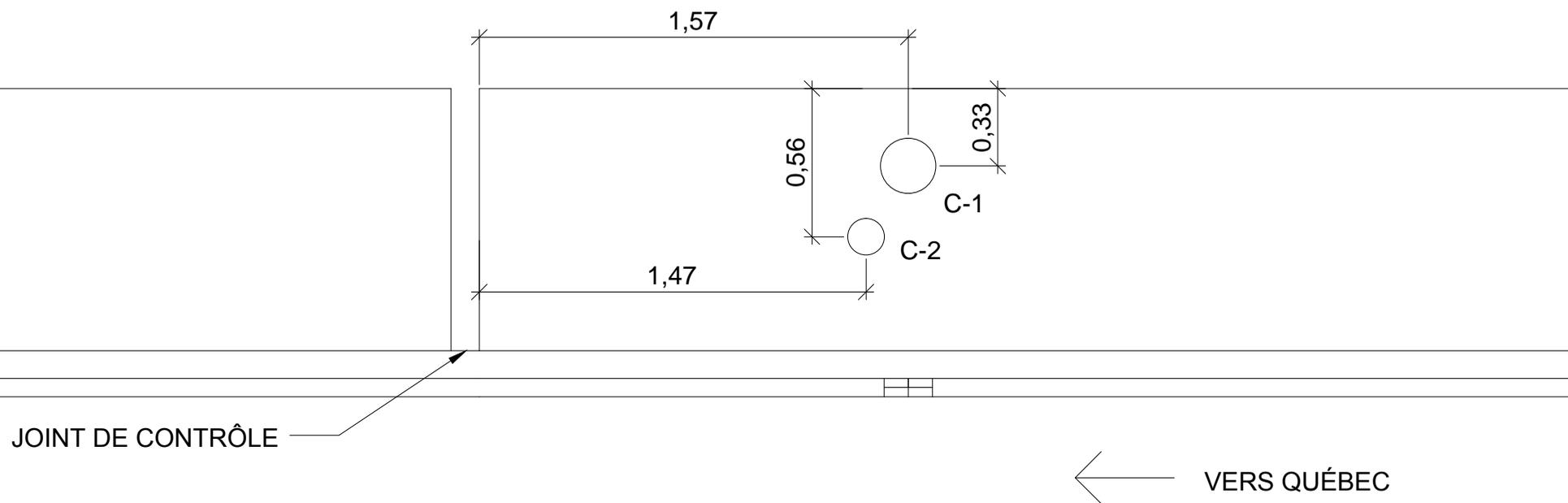
VALIDÉ PAR:

CLAUDE NAZAIR,  
ING.

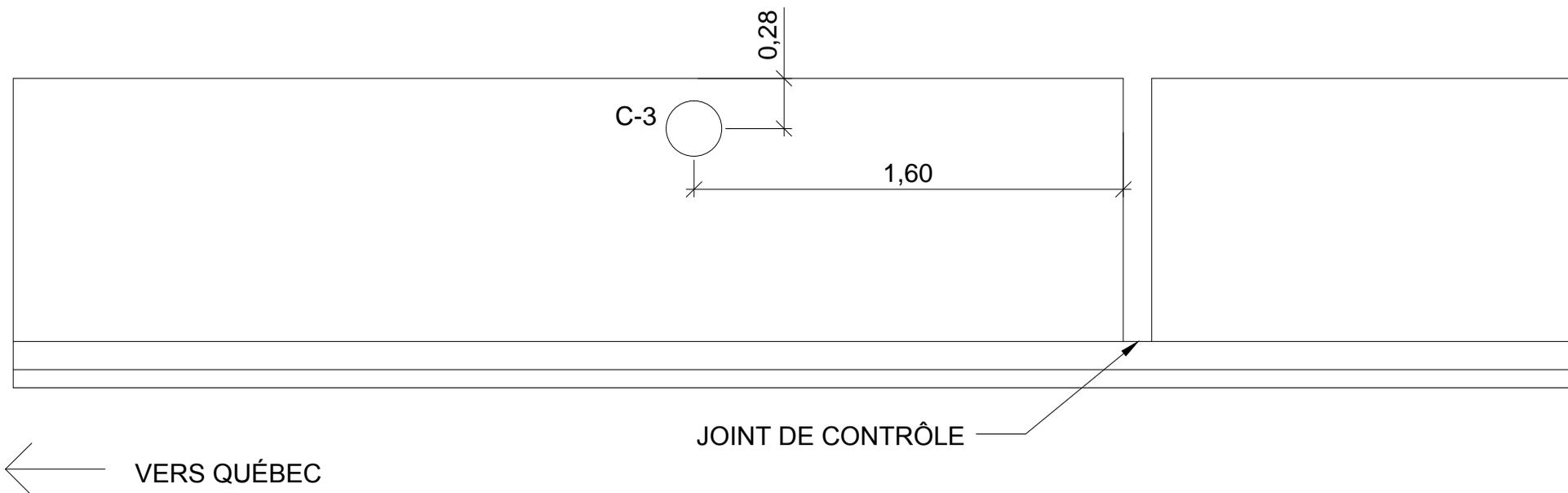
ÉCHELLE :

AUCUNE

PAGE 1 DE 1



ÉLÉVATION EXTRÉMITÉ OUEST



ÉLÉVATION EXTRÉMITÉ EST

JOINT DE CONTRÔLE

VERS QUÉBEC

VERS QUÉBEC

JOINT DE CONTRÔLE

NOTE : COTE EN MÈTRE

## ANNEXE D

# CERTIFICAT DE CONFORMITÉ DES BARRES D'ARMATURE EN PRFV

# Certificat de conformité

**Pultrall**

23-09-2004

Identification du renfort	Propriétés	Résultats 1	Résultats 2	Résultats 3	Résultats 4	Résultats 5	Moyenne	Écart Type (s)	Valeur garantie	Requis MTQ	
Armature droite V-Rod #5 (lot 043006)	Résistance en traction (Mpa):	746	751	764	816	784	<b>772</b>	29	706	<b>755</b>	
	Module d'young (Gpa):	44	44	44	48	49	<b>46</b>	2,3	41	<b>46</b>	
	Dosage en fibre (% massique):	78,6	78,7	78,2			<b>79</b>	0,3	78		
	Tg (°C):	120	117	114	116	106	<b>115</b>	5,0	103		
	Absorption d'eau (%):	0,19	0,25	0,21	0,26	0,24	<b>0,23</b>	0,03	0,17		
	Diamètre effectif (mm):	16,0					<b>16,0</b>	n.a.	n.a.		
	Aire transversal (mm <sup>2</sup> ):	201,6					<b>201,6</b>	n.a.	n.a.		
	Circonférence effective (mm):	50,3					<b>50,3</b>	n.a.	n.a.		
Armature droite V-Rod #6 (lot 042022)	Résistance en traction (Mpa):	646	657	703	679	663	<b>670</b>	22,2	618	<b>612</b>	
	Module d'young (Gpa):	42	43	47	47	49	<b>46</b>	3,1	39	<b>42</b>	
	Dosage en fibre (% massique):	78,4	78,5	78,5			<b>78</b>	0,1	78		
	Tg (°C):	118	116	113	112	117	<b>115</b>	2,5	109		
	Absorption d'eau (%):	0,3	0,29	0,28	0,29	0,26	<b>0,28</b>	0,02	0,25		
	Diamètre effectif (mm):	20,4					<b>20,4</b>	n.a.	n.a.		
	Aire transversal (mm <sup>2</sup> ):	325,7					<b>325,7</b>	n.a.	n.a.		
Armature courbe V-Rod #5 section courbe	Résistance en traction (Mpa):	488	478	479	474	474	<b>479</b>	5,7	465	<b>400</b>	
	Dosage en fibre (% massique):	67,2	71,6	69,1			<b>69,3</b>	2,2	64		
	Tg (°C):	127	127	129	124	127	<b>127</b>	1,6	123		
	Absorption d'eau (%):	0,61	0,46	0,41	0,58	-0,04	<b>0,40</b>	0,26	0		
	Diamètre effectif (mm):	16,2					<b>16,2</b>	n.a.	n.a.		
	Aire transversal (mm <sup>2</sup> ):	206,6					<b>206,6</b>	n.a.	n.a.		
Armature courbe V-Rod #6 section courbe	Résistance en traction (Mpa):	400	414	404	380	413	<b>402</b>	13,8	370	<b>400</b>	
	Dosage en fibre (% massique):	67,1	67,4	70,0			<b>68</b>	1,6	64		
	Tg (°C):	127	132	129	131	125	<b>129</b>	3,0	121		
	Absorption d'eau (%):	Idem armature courbe V-Rod #5 section courbe						<b>n.a.</b>	n.a.	n.a.	
	Diamètre effectif (mm):	19,4					<b>19,4</b>	n.a.	n.a.		
	Aire transversal (mm <sup>2</sup> ):	296,9					<b>296,9</b>	n.a.	n.a.		
	Circonférence effective (mm):	61,1					<b>61,1</b>	n.a.	n.a.		
Armature courbe V-Rod #5 section droite	Résistance en traction (Mpa):	896	861	895	881	762	<b>859</b>	56,0	732	<b>540</b>	
	Module d'young (Gpa):	42	33	31			<b>36</b>	5,8	23	<b>42</b>	
Armature courbe V-Rod #6 section droite	Résistance en traction (Mpa):	846	882	883	865	879	<b>871</b>	15,7	834	<b>530</b>	
	Module d'young (Gpa):	32	36	32	37		<b>34</b>	2,8	28	<b>39</b>	

Il est à noter que le coefficient d'adhérence,  $k_b$ , est le même pour tous les types de renfort de Pultrall et qu'il respecte le requis du MTQ en maintenant une valeur de 0.8 max. En annexe, un document issu de recherche universitaire conduite à l'université de Sherbrooke atteste de cette affirmation.

Bernard Drouin  
Directeur développement et procédé

Brahim Benmokrane  
Professeur en génie civil, Université de Sherbrooke

## ANNEXE E

# FORMULE DE MÉLANGE ET CARACTÉRISTIQUE DU BÉTON

Contrat 3475-04-0203

FORMULE

BETON DE CIMENT-USINE  
BETON CHEVALIER ST-NICOLAS

TYPE DE BETON	I	II	IV	V	VII	X	XI	XIII
TYPE DE CIMENT		Type 10E-SF		Type 10E-SF				Type 10E-SF
RESISTANCE EN COMPRESSION (MPA)		30		35				50
AFFAISSEMENT (MM)		80		80				170
TENEUR EN AIR (%)		5 à 8		5 à 8				5 à 8
RAPPORT E/C		0,45		0,44				0,38
CALIBRE GRANULAT		BC 5-20		BC 5-20				BC 5-14
RESEAU BULLES D'AIR (MICRONS)		185		185				112
ANNEE		2003		2003				2004
MASSE VOLUMIQUE (KG/M3)		2320		2295				2485
MASSE CIMENT (KG)		330		350				410
MASSE AJOUTS CIMENTAIRES (KG)								
MASSE EAU (KG)		150		150				155
MASSE GROS GRANULATS (KG)		1000		1000				1050
MASSE GRANULATS FINS (KG)		840		790				870
IDENTIFICATION ADJUVANT 1								Ret. 100XR
QUANTITE 1								500ml
IDENTIFICATION ADJUVANT 2		200-N		200-N				SPN
QUANTITE 2		550ml		750 ml				6000ml
IDENTIFICATION ADJUVANT 3		Micro-air		Micro-Air				Micro-air
QUANTITE 3		150ml		125 ml				145ml
ANNEE		2004		2004				2004

**BETON DE CIMENT-USINE  
BETON CHEVALIER ST-NICOLAS**

TYPE DE BETON	I	II	IV	V	VI	VII	VIII	X	XIII
TYPE DE CIMENT		10E-SF		10E-SF					Type 10E-SF
PROVENANCE		St-Basile		St-Basile					St-Basile
IDENTIFICATION DE LA CIMENTERIE		Ciment Québec		Ciment Québec					Ciment Québec
TYPE D'AJOUT CIMENTAIRE									
CLASSE									
PROVENANCE									
EFFETS PREVUS									
ANNEE		2004		2004					2004

**BETON DE CIMENT-USINE  
BETON CHEVALIER ST-NICOLAS**

CALIBRE	BC 5-20	BC 5-14	BC 5-14	BC 2,5-10			exigences
PROVENANCE	Carrière Sartigan						
GRANULOMETRIE	C						
TAMIS 28 MM (% PASSANT)	100						
TAMIS 20 MM (% PASSANT)	99						
TAMIS 14 MM (% PASSANT)	21						
TAMIS 5 MM (% PASSANT)	2						
TAMIS 2,5 MM (% PASSANT)	1						
TAMIS 1,25 MM (% PASSANT)							
REACTIVITE-ALCALIS	NR 2003						MAX: C
LOS ANGELES	10,8						MAX: 50
MICRO DEVAL	10,2						MAX: 25
FRAGMENTATION (%)	100						MIN: 60
PARTICULES PLATES (%)	9,9						MAX: 25
PARTICULES ALLONGEES (%)	29,8						MAX: 45
PROPRETE (%)	0,69						MAX: 1,5
PARTICULES LEGERES (%)	0						MAX: 0,5
TENEUR MOTTES D'ARGILE (%)							MAX: 0,25
MgSO4 (%)	0,3						MAX: 12
MASSE VOLUMIQUE PILONNEE A SEC (KG/M3)	1612						
DENSITE RELATIVE BRUTE (SSS)	2,822						
ABSORPTION (%)	0,49						
ANNEE	2003						

**BETON DE CIMENT-USINE  
BETON CHEVALIER ST-NICOLAS**

CALIBRE	BC 80microns-5	BC 80microns-5		EXIGENCES GRANULO.
PROVENANCE	Grav. De Beauce			
GRANULOMETRIE (C/NC)	C			
TAMIS 10 MM (% PASSANT)	100			100
TAMIS 5 MM (% PASSANT)	99			95-100
TAMIS 2,5 MM (% PASSANT)	83			80-100
TAMIS 1,25 MM (% PASSANT)	66			50-90
TAMIS 630 MICRONS (% PASSANT)	48			25-65
TAMIS 315 MICRONS (% PASSANT)	25			10-35
TAMIS 160 MICRONS (% PASSANT)	7			2,0-10
MICRO DEVAL	20,7			MAX: 35
PARTICULES LEGERES (%)	0			MAX: 0,5
INDICE COLORIMETRIQUE	0			MAX: 3
PROPRETE (%)	2,7			MAX: 3
MODULE DE FINESSE	2,7			2,3 à 3,1
TENEUR EN MOTTES D'ARGILE (%)	0,7			MAX: 1
MgSO4 (%)	13,4			MAX: 12
MASSE VOLUMIQUE PILONNEE A SEC (KG/M3)				
DENSITE RELATIVE BRUTE (SSS)	2,623			
ABSORPTION (%)	1,1			
ANNEE	2004			



*DOSSIER  
ASS, a u u  
71*  
1054, boul. Saint-Joseph,  
Québec (Québec) G2K 1E6  
Tél. : (418) 634-1807  
Télé. : (418) 628-3768



TRANSMISSION PAR TÉLÉCOPIEUR

Date : 26-08-2004

Destinataire : NTQ

Fax no. : (418) 839-7768

A l'attention de : *Yvan Bilodeau  
cc Pierre Roy*

Objet : Pont autoroute 20 et riv. Henri Val-Alain (3475-04-0203)

Nombre de page(s), incluant celle-ci : 3

Bonjour,

*Vous trouverez ci-joint les résultats du  
réseau de bulle d'air et des résultats en  
compression pour le béton BHP*

*Je vous advise que nous prévoyons retourner  
la culée axe 1 demain matin @ 7h30  
27-08-2004*

Bien à vous  
CONSTRUCTION GÉNIX INC

*[Signature]*  
Sylvain Roy  
Gérant de chantier



**F-11-7 PRÉLEVEMENT D'ÉCHANTILLON, ESSAIS EN COMPRESSION, CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE**

? 1<sup>m</sup> sur air 7.5/4.6

révision 0

USINE: <u>ST-Nicolas</u>	DATE: <u>04-08-19</u>
PROJET: <u>Ouvr. de Conscience</u>	N/Réf.:
ENDROIT:	N/Prélèvement: <u>BC204-G-3</u>

Date du bétonnage: <u>04-08-19</u>	EXIGENCES
Entrepreneur:	No recette: <u>BC50ASF</u>
Partie(s) bétonnée(s):	Classe de béton: <u>50</u>
	Affaissement exigé: <u>180±20</u>
Prélèvement effectué par: <u>M.V.</u>	Air entraîné exigé: <u>5à8</u>
Dimension des éprouvettes: <u>100mm x 200mm</u>	Agrégat max. (mm): <u>14-5</u>
Éprouvettes reçues au lab.:	Chauffage à l'usine:

Camion no	Facture no	Chauffage	Hrs de départ	Hrs du prélév.	Classe de béton	Agrégats max.
			<u>8:35</u>	<u>9:05</u>	<u>50</u>	<u>14.5</u>
Affaissement	Air entraîné %	Temp. béton	Temp. amb.	Temp. ext.	A.e.a./dispensé	Autres adjuvants
<u>180</u>	<u>9<sup>o</sup> / 77</u>	<u>25.6</u>	<u>22</u>			

Éprouvettes no	Date	Age de l'essai	Masse volumique	Charge (kg)	Rés. en compression	Moyenne (MPa)
	<u>20/8</u>	<u>1</u>				<u>21.25</u>
	<u>22/8</u>	<u>3</u>				<u>30.1</u>
	<u>24/8</u>	<u>5</u>				<u>35.6</u>
	<u>26/8</u>	<u>7</u>				<u>40.6</u>
	<u>2/9</u>	<u>14</u>				

**CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE**

Masse de la mesure avec béton: \_\_\_\_\_ kg

Masse de la mesure: \_\_\_\_\_ kg

Masse du béton: \_\_\_\_\_ kg

Coefficient de la mesure: 21 = Masse volumique de béton: \_\_\_\_\_ kg/m

9/9

21

Masse volumique théorique: \_\_\_\_\_ kg/m

16/9

28

± 40 kg

Rédigé par: <u>16/9</u>	Approuvé par:	Date de mise en vigueur:
-------------------------	---------------	--------------------------



Laboratoire de matériaux de Québec (1987) Inc.

**CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU DE VIDES D'AIR  
ASTM C-487  
MÉTHODE DE COMPTAGE PAR POINT 1 (méthode B)**

<b>Client:</b> Béton Chevalier Inc 575, chemin de la Grande-Ligne Stoneham (Québec) G0A 1P0 À l'attention de monsieur Bernard Chevalier	<b>Dossier no:</b> 74-3186 503  <b>Rapport no:</b> R04-224  <b>Date:</b> 2004-08-26
---	---

CARACTÉRISTIQUES	
Identification	Échantillon
<b>Laboratoire no:</b> 801  <b>Projet:</b> Essai de convenance Béton: 50 MPa SF Ech: 204-833, pré: 2004-8-18 Usine: St-Nicolas Réception: 2004-08-23	<b>Type:</b> cylindre: 100 x 200  <b>Dimension maximale du granulat:</b> 14mm  <b>Dimensions des plaques:</b> 100 mm X 100 mm

RÉSULTATS		
Caractéristiques des éprouvettes	Valeurs calculées	Facteur d'espacement (E)
Longueur de traverses (T)	2448 mm	<b>Exigences:</b> 325 µm max. et BHP  Valeur mesurée: 212 µm
Surface couverte	8180 mm <sup>2</sup>	
Nombre d'arrêt (S)	1920	
Teneur en air (A)	5.5%	
Vides (n)	0.33	
Surface volumique (α)	23.84 mm <sup>-1</sup>	
Rapport pâte/air (P/A)	6.03	

REMARQUES
Les deux plaques sont polies et sciées perpendiculairement à la surface.

<b>Préparé par:</b> Patrick Plamondon	<b>Approuvé par:</b>  Patrick Plamondon, tech. princ.	<b>Date:</b> 2004-08-26
--	---	-------------------------

0111E  
P11. Q 11  
H.



575, de la Grande Ligne, C.P. 219  
Stoneham (Québec) G0A 4P0

Usine Québec : (418) 848-1866  
Usine St-Nicolas : (418) 831-0004  
Usine Princeville : (819) 364-8010  
Usine Beauville : (418) 774-4747  
Usine Thetford Mines : (418) 332-2177  
Télécopieur : (418) 848-4431

# Télécopie

3475-04-0203

Destinataire: Pierre Roy Expéditeur: Michel

Télécopie: 1-418-839-7768 Page(s): 1

Téléphone: Date: 04-09-20

Objet: Projet pont Val-Alain

Soumission  Liste de prix  Ouverture de compte  Réponse  Confidentiel

● Commentaires:

- Essai de teneur en air effectués sur un béton 50MPa sans ajout d'air = 2.9%

- Air entrappé qui se perdrait lors du pompage.

( Augmentation de l'air à 10% avant la pompe. )

En cas de problème de transmission, veuillez nous en informer par téléphone au (418) 848-1866.

*V. van Bilo deau.*

*Refusé. P. Lévesque  
04/09/20*

*3475-04-0203*



576, de la Grande Ligne, C.P. 219  
Stoneham (Québec) G0A 4P0

Usine Québec : (418) 848-1988  
 Usine St-Nicolas : (418) 831-0004  
 Usine Princeville : (819) 364-6010  
 Usine Beauceville : (418) 774-4747  
 Télécopieur : (418) 848-4431

Le 27 sept 2004

CONTRAT : Const. Génix inc.  
 PROJET : Val-Alain

Madame, Monsieur,

Voici tel que demandé, la formule de mélange de béton préparé devant servir pour le projet mentionné en titre.

**Béton: prise rapide**

- résistance en compression à 28 jours	50 Mpa type 13
- rapport E/c	0.37
- affaissement	170 mm ± 30
- pourcentage d'air entraîné	5 à 8 %
- calibre du granulat	5-14 mm

**Mélange :**

1 mètre cube :	- ciment type 10 sf	410 kg
	- sable	870 kg
	- pierre	1 050 kg
	- 100 xr	500 ml
	- micro-air	165 ml
	- SPN	6000 ml
	-Eau	155 l
	- pozzotech 20	1500ml

**Fournisseurs :**

- ciment type 10 sf portland	Ciment Québec
- adjuvants	Master Builders
- agrégats	Graviere de Beauce et Carrière Ray-Car

Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et vous prions d'agréer, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Par :

*Benoit Lemelin*

Benoit Lemelin, directeur de la production et des ventes



Dossier  
A15-2002  
JA

Saint-Romuald, le 17 décembre 2004

Monsieur Yvan Bilodeau, ing.  
Service des projets  
Direction Chaudière-Appalaches  
1156, boul. de la Rive-Sud  
Saint-Romuald (Québec)  
G6W 5M6

OBJET : Rapport final – Lots en béton de ciment pour construction d'une structure  
Contrat no : 3475-04-0203  
Route : 20  
Municipalité : Val-Alain  
MRC : Lotbinière  
Entrepreneur : Construction Génix inc.  
Fournisseur : Béton Chevalier, St-Nicolas

---

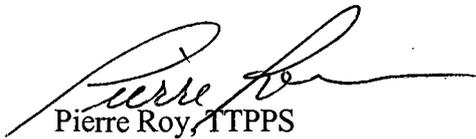
Monsieur,

Vous trouverez ci-jointe la compilation sous forme de lots des essais en résistance en compression en béton de ciment concernant la construction de la structure.

- Béton de type II (30 MPa) Lot 1 : PR = 1,00 PU
- Béton de type V (35 MPa) Lot 1 : PR = 1,00 PU
- Béton de type XIII (50 MPa) Lot 1 : PR = 1,00 PU  
Lot 2 : PR = 1,00 PU

Espérant le tout à votre entière satisfaction, nous demeurons disponible pour de plus amples informations.

Salutations distinguées.

  
Pierre Roy, TTPPS  
Secteur Assurance de la qualité

/dc

c.c. : M. Robert Brochu, ing., chef du Service des projets  
M. Gilles Dussault, ing.  
Dossier contrat

p.j.

Contrat 3475-04-0203	Projet	Route 20	Municipalité Val-Alain	Circonscription électorale Lotbinière	<b>Spécifications</b>			
Entrepreneur Construction Génix inc.		Sous-traitant	Fournisseur Béton Chevalier		Résistance spécifiée 30 MPa	Cal. granulat BC 5-20	% d'air 5 à 8	Appauvrissement 80

Echantillons N°	Date d'échantillonnage			Essais sur béton frais			Résistance en compression				*	Quantité représentée par l'échantillon (m³)	Identification et localisation des parties bétonnées
	An	Mois	Jour	% d'air	Affaïsement mm	Température C°	7 jrs	28 jrs	28 jrs	Moyenne à 28 jrs			
885-03	04	08	13	6.6	100	24	22.39	36.42	36.16	36.29		36.0	Semelle culée # 1 (ouest)
885-04	04	08	13	6.6	100	25	19.12	32.77	32.83	32.80		72.0	Semelle culée # 1 (ouest)
885-05	04	08	20	6.2	110	23.4	22.67	38.19	38.58	38.39		40.0	Semelle culée # 2 (est)
885-06	04	08	20	6.2	90	24.1	24.76	41.15	41.66	41.41		65.5	Semelle culée # 2 (est)

R = 37.22  
d = 3.621  
Quantité totale du lot = 213.5 m³

R = Résistance moyenne mesurée du lot  
d = Indice de dispersion des échantillons du lot

<b>F<sub>r</sub> : Facteur d'ajustement pour résistance</b>					
F <sub>r</sub> = R	=	37.22			
R <sub>t</sub>	=	30.36			
F <sub>r</sub> =		1,000			

**R<sub>t</sub> : Résistance moyenne tolérable**

$$R_t = f_c + \left( \frac{kd}{100} \right) R_t = \frac{30}{100} + \left( \frac{10 \times 3.621}{100} \right) = 30.36$$

Transmis à		
Surveillant	Service des projets Unité administrative	Yvan Bilodeau, ing. Représentant
Entrepreneur	Construction Génix inc. Nom	Harold Giasson, ing. Représentant
Fournisseur	Béton Chevalier inc. Nom	Michel Vallée Représentant

- \* Note
- La résistance de cet échantillon est supérieure à 1,5 f<sub>c</sub>. Pour le calcul de la moyenne du lot, nous avons utilisé 1,5 f<sub>c</sub>.
  - La résistance de cet échantillon est inférieure à 0,76 f<sub>c</sub>. Le béton représenté par cet échantillon ne devrait pas être payé. Ce résultat n'a pas été considéré pour le calcul de la moyenne du lot.
  - La résistance moyenne du lot est inférieure à la résistance critique (0,80 f<sub>c</sub>). Le béton est refusé et les travaux devraient être repris.
  - L'écart entre les résultats de deux (2) spécimens de cet échantillon est supérieur à 5 MPa, l'échantillon est jugé défectueux et sa valeur est rejetée. La quantité de béton représentée par cet échantillon est payée au prix unitaire.

Facteur d'acceptation (k)		Nombre d'échantillons (n)					
n	k	n	k	n	k	n	k
2	-88	7	31	13	47	19	55
3	-9	8	34	14	49	20	56
4	10	9	38	15	50	21	57
5	19	10	41	16	52	22	58
6	26	11	43	17	53	23	59
		12	45	18	54	24	60

Remarques	Préparé par			An	Mois	Jour
	Assurance de la qualité		Dominique Laprise	04	11	10
	Unité administrative		Représentant			
	Approuvé par			An	Mois	Jour
Assurance de la qualité		Pierre Roy, ttps	04	11	29	
Unité administrative		Représentant				

Fiche descriptive N°	Type de béton V	N° de lot 1
-------------------------	--------------------	----------------

Contrat 3475-04-0203	Projet	Route 20	Municipalité Val-Alain	Circonscription électorale Lotbinière	<b>Spécifications</b>				
Entrepreneur Construction Génix inc.		Sous-traitant		Fournisseur Béton Chevalier		Résistance spécifiée 35 MPa	Cal. granulat BC 5à20	% d'air 5 à 8	Affaissement 80 mm

Echantillons				Essais sur béton frais			Résistance en compression				*	Quantité représentée par l'échantillon (m³)	Identification et localisation des parties bétonnées
N°	Date d'échantillonnage			% d'air	Affaissement mm	Température C°	7 jrs	28 jrs	28 jrs	Moyenne à 28 jrs			
885-01	An 04	Mois 07	Jour 10	5.6	80/150	24	35.70	45.60	----	45.60		5.5	Drain côté nord et élévation joint pile unité # 3
885-02	04	07	12	7.6	90	24.8	26.55	34.95	38.38	36.67		17.0	Consolidation des culées # 1 et # 4, 4 <sup>e</sup> Rang

R = 41.14  
d = 6.315  
Quantité totale du lot = 22.5 m³  
R = Résistance moyenne mesurée du lot  
d = Indice de dispersion des échantillons du lot

Transmis à		
Surveillant	Service des projets Unité administrative	Yvan Bilodeau, ing. Représentant
Entrepreneur	Construction Génix inc. Nom	Harold Giasson, ing. Représentant
Fournisseur	Béton Chevalier inc. Nom	Michel Vallée Représentant

Facteur d'acceptation (k)		Nombre d'échantillons (n)			
n	k	n	k	n	k
7	31	13	47	19	55
2	-88	8	34	14	49
3	-9	9	38	15	50
4	10	10	41	16	52
5	19	11	43	17	53
6	26	12	45	18	54

**F<sub>r</sub> : Facteur d'ajustement pour résistance**

$F_r = \frac{R}{R_t} = \frac{41.14}{29.44}$

$F_r = 1,000$

**R<sub>t</sub> : Résistance moyenne tolérable**

$$R_t = f_c + \left( \frac{kd}{100} \right) R_t = 35 + \left( \frac{-88 \times 6.315}{100} \right) = 29.44$$

- \* Note
- 1- La résistance de cet échantillon est supérieure à 1,5 f<sub>c</sub>. Pour le calcul de la moyenne du lot, nous avons utilisé 1,5 f<sub>c</sub>.
  - 2- La résistance de cet échantillon est inférieure à 0,76 f<sub>c</sub>. Le béton représenté par cet échantillon ne devrait pas être payé. Ce résultat n'a pas été considéré pour le calcul de la moyenne du lot.
  - 3- La résistance moyenne du lot est inférieure à la résistance critique (0,80 f<sub>c</sub>). Le béton est refusé et les travaux devraient être repris.
  - 4- L'écart entre les résultats de deux (2) spécimens de cet échantillon est supérieur à 5 MPa, l'échantillon est jugé défectueux et sa valeur est rejetée. La quantité de béton représentée par cet échantillon est payée au prix unitaire.

Remarques	Préparé par	Assurance de la qualité	Dominique Laprise	An	Mois	Jour
		Unité administrative	Représentant	04	11	10
	Approuvé par	Assurance de la qualité	Pierre Roy, ttps	An	Mois	Jour
		Unité administrative	Représentant	04	11	29

Fiché descriptive N°	Type de béton XIII	N° de lot 1
-------------------------	-----------------------	----------------

Contrat 3475-04-0203	Projet	Route 20	Municipalité Val-Alain	Circonscription électorale Lotbinière	<b>Spécifications</b>			
Entrepreneur Construction Génix inc.		Sous-traitant Béton Chevalier		Résistance spécifiée 50 MPa	Cal. granulat Bc 5 à 14	% d'air 5 à 8	Affaissement 170 mm	

Echantillons N°	Date d'échantillonnage			Essais sur béton frais			Résistance en compression				*	Quantité représentée par l'échantillon (m³)	Identification et localisation des parties bétonnées
	An	Mois	Jour	% d'air	Affaissement mm	Température C°	7 jrs	28 jrs	28 jrs	Moyenne à 28 jrs			
885-07	04	08	27	5,0	210	21	45,47	55,58	54,73	55,16		33	Murs Phase 1; axe 1
885-08	04	08	31	6,2	190	19,3	26,59	41,03	41,81	41,42		1,0	Bloc d'assise # 1
885-09	04	09	01	6,0	190	18	40,08	54,99	55,37	55,18		27	Mur de culée # 2
885-10	04	09	02	5,6	160	20,2	51,01	87,90	70,24	79,07		1,0	Assise culée # 2
885-11	04	09	08	5,0	190	20,1	45,16	81,39	82,12	81,76		13	Mur en aile
885-12	04	09	14	5,5	200	16,6	54,57	72,56	72,11	72,34		7	Mur en aile 2
885-13	04	09	25	6,4	190	19,6	48,57	63,02	61,27	62,15		28,5	Diaphragme d'extrémité

R	63,87	Quantité totale du lot 110,5 m²
d	14,61	

R= Résistance moyenne mesurée du lot  
d= Indice de dispersion des échantillons du lot

**F<sub>r</sub> : Facteur d'ajustement pour résistance**

$$F_r = \frac{R}{R_t} = \frac{63,87}{54,53}$$

**F<sub>r</sub> = 1,000**

**R<sub>t</sub> : Résistance moyenne tolérable**

$$R_t = f_c + \left( \frac{kd}{100} \right) R_t = \frac{50}{100} + \left( \frac{31 \times 14,61}{100} \right) = 54,53$$

**Transmis à**

Surveillant	Service des projets Unité administrative	Yvan Bilodeau, ing. Représentant
Entrepreneur	Construction Génix inc. Nom	Harold Giasson, ing. Représentant
Fournisseur	Béton Chevalier inc. Nom	Michel Vallée Représentant

- \* Note
- 1- La résistance de cet échantillon est supérieure à 1,5 f.c. Pour le calcul de la moyenne du lot, nous avons utilisé 1,5 f.c.
  - 2- La résistance de cet échantillon est inférieure à 0,76 f.c. Le béton représenté par cet échantillon ne devrait pas être payé. Ce résultat n'a pas été considéré pour le calcul de la moyenne du lot.
  - 3- La résistance moyenne du lot est inférieure à la résistance critique (0,80 f.c). Le béton est refusé et les travaux devraient être repris.
  - 4- L'écart entre les résultats de deux (2) spécimens de cet échantillon est supérieur à 5 MPa, l'échantillon est jugé défectueux et sa valeur est rejetée. La quantité de béton représentée par cet échantillon est payée au prix unitaire.

Facteur d'acceptation (k)		Nombre d'échantillons (n)			
n	k	n	k	n	K
2	-88	7	31	13	47
3	-9	8	34	14	49
4	10	9	38	15	50
5	19	10	41	16	52
6	26	11	43	17	53
		12	45	18	54
		13	47	19	55
		14	49	20	56
		15	50	21	57
		16	52	22	58
		17	53	23	59
		18	54	24	60

Remarques	Préparé par	An	Mois	Jour	
	Assurance de la qualité	Dominique Laprise, tech	04	11	10
	Unité administrative	Représentant			
	Approuvé par	An	Mois	Jour	
Assurance de la qualité	Pierre Roy, ttps	04	11	29	
Unité administrative	Représentant				

Fiche descriptive N°	Type de béton XIII	N° de lot 2
-------------------------	-----------------------	----------------

Contrat 3475-04-0203	Projet	Route 20	Municipalité Val-Alain	Circonscription électorale Lotbinière	<b>Spécifications</b>			
Entrepreneur Construction Génix inc.		Sous-traitant	Fournisseur Béton Chevalier		Résistance spécifiée 35 MPa	Cal. granulat BC 5à14	% d'air 5 à 8	Affaissement 170 mm

Echantillons				Essais sur béton frais			Résistance en compression				*	Quantité représentée par l'échantillon (m³)	Identification et localisation des parties bétonnées
N°	Date d'échantillonnage			% d'air	Affaissement mm	Température C°	7 jrs	28 jrs	28 jrs	Moyenne à 28 jrs	Note		
	An	Mois	Jour										
885-14	04	10	08	5.6	200	19	54.19	69.89	70.77	70.33		35	Dalle
885-15	04	10	08	5.3	200	19.6	52.20	68.55	64.10	66.32		119	Dalle
885-16	04	10	18	5.2	200	15.8	47.80	63.18	61.84	62.51		22	Dalle de transition et glissière sur le pont
885-17	04	10	18	5.8	180	16.2	52.28	61.11	64.05	62.58		67	Dalle de transition et glissière sur le pont
885-18	04	10	21	6.2	200	18.6	44.25	61.48	61.47	61.48		15.5	Dalle de 3 m et glissière sur dalle de 6 m

R	64.64	Quantité totale du lot
d	3.673	258.5 m³

R= Résistance moyenne mesurée du lot  
d= Indice de dispersion des échantillons du lot

Transmis à		
Surveillant	Service des projets Unité administrative	Yvan Bilodeau, ing. Représentant
Entrepreneur	Construction Génix inc. Nom	Harold Giasson, ing. Représentant
Fournisseur	Béton Chevalier inc. Nom	Michel Vallée Représentant

Facteur d'acceptation (k)		Nombre d'échantillons (n)			
n	k	n	k	n	k
2	-88	7	31	13	47
3	-9	8	34	14	49
4	10	9	38	15	50
5	19	10	41	16	52
6	26	11	43	17	53
		12	45	18	54
		19	55	20	56
		21	57	22	58
		23	59	24	60

$F_r$ : Facteur d'ajustement pour résistance
$F_r = \frac{R}{R_t} = \frac{64.64}{50.70}$
$F_r = 1,000$

**Rt : Résistance moyenne tolérable**

$$R_t = f_c + \left( \frac{kd}{100} \right) R_t = \frac{50}{100} + \left( \frac{19 \times 3.673}{100} \right) = 50.70$$

- \* Note
- 1- La résistance de cet échantillon est supérieure à 1,5 fc. Pour le calcul de la moyenne du lot, nous avons utilisé 1,5 fc.
  - 2- La résistance de cet échantillon est inférieure à 0,76 fc. Le béton représenté par cet échantillon ne devrait pas être payé. Ce résultat n'a pas été considéré pour le calcul de la moyenne du lot.
  - 3- La résistance moyenne du lot est inférieure à la résistance critique (0,80 fc). Le béton est refusé et les travaux devraient être repris.
  - 4- L'écart entre les résultats de deux (2) spécimens de cet échantillon est supérieur à 5MPa, l'échantillon est jugé défectueux et sa valeur est rejetée. La quantité de béton représentée par cet échantillon est payée au prix unitaire.

Remarques	Préparé par	Assurance de la qualité	Dominique Laprise	An	Mois	Jour
		Unité administrative	Représentant	04	11	10
	Approuvé par	Assurance de la qualité	Pierre Roy, ttps	An	Mois	Jour
		Unité administrative	Représentant	04	12	14

## ANNEXE F

# RAPPORT EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE



# Englobe

Sols Matériaux Environnement



**MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC**

## **Examen pétrographique sur carotte de béton Structure P-11591 – Val-Alain**

**Rapport final**

Date : Septembre 2015

N/Réf. : 072-P-0008136-0-01-501-IM-R-0003-00

Le 28 septembre 2015

Monsieur Marc-Antoine Loranger, ing. jr  
**Ministère des Transports du Québec**  
Secteur béton  
Service des matériaux d'infrastructure

Objet : **Examen pétrographique sur carotte de béton  
Structure P-11591 –Val-Alain  
Rapport final  
N/Réf.: 072-P-0008136-0-01-501-IM-R-0003-00**

---

Monsieur,

Nous avons le plaisir de vous transmettre ci-joint le rapport final de l'examen pétrographique sur les carottes de béton de la structure P-11591 située à Val-Alain.

Nous espérons que les informations contenues dans ce rapport sauront vous être utiles. N'hésitez pas à communiquer avec nous pour toute question concernant cette étude.

Veillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

**EnGlobe**



**Sofie Tremblay, géo. M. Sc**  
*Pétrographe et chargée de projet*

ST/AM/vb

p.j.

**Transports**

**Québec**



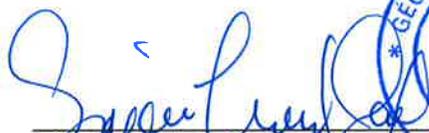
**MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC**

**Examen pétrographique sur carotte de béton  
Structure P-11591  
Val-Alain**

**Rapport final**

**072-P-0008136-1-01-501-IM-R-0003-00**

Préparé par :



Sofie Tremblay, géo. M. Sc.  
Chargée de projet - Pétrographe  
N° de membre OGQ : 1776

Approuvé par :



Alexis Mailloux, ing.  
Chef d'équipe - Expertise  
N° de membre OIQ : 143768

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>MANDAT.....</b>	<b>1</b>
1.1	Limites de la caractérisation .....	1
<b>2</b>	<b>OBSERVATIONS PÉTROGRAPHIQUES .....</b>	<b>2</b>
2.1	Description générale du béton.....	2
<b>3</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>5</b>

### FIGURES

Figure 1 :	Plaque polie de la carotte C1.....	2
Figure 2 :	Microphotographies des granulats du béton .....	4

## Propriété et confidentialité

---

« Ce document d'ingénierie est la propriété d'EnGlobe Corp. et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants d'Englobe qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés selon la procédure relative à l'approvisionnement de notre manuel qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
N° de révision	Date	Description de la modification et/ou de l'émission
0A	2015-09-25	Rapport pour commentaires
00	2015-09-28	Rapport final

## 1 MANDAT

Les services d'Englobe ont été retenus par le Ministère des Transports du Québec afin de réaliser un examen pétrographique sur une carotte de béton provenant de la structure P-11591 située à Val-Alain.

L'objectif de l'expertise est de déterminer la nature pétrographique des granulats présents dans le béton de la structure.

### 1.1 LIMITES DE LA CARACTÉRISATION

Les commentaires et observations de ce rapport sont basés sur l'analyse pétrographique effectuée selon les normes CSA A23.2-15A et ASTM C295. Toutes les identifications ont été faites au moyen de techniques de diagnostic visuelles normalisées et géologiques de base. Les conclusions sont donc une opinion professionnelle tenant compte des résultats d'un examen visuel, de l'expérience acquise par histoires de cas ainsi que de l'état actuel de la pratique. Il est à noter qu'aucune lame mince n'a été réalisée.

## 2 OBSERVATIONS PÉTROGRAPHIQUES

### 2.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BÉTON

Les observations pétrographiques ont été réalisées sur la carotte C1. Pour réaliser les observations, l'échantillon a été taillé à l'aide d'une scie diamantée. Ensuite, la surface de la section obtenue a été graduellement polie à l'aide d'une polisseuse portative utilisant des disques dont les particules abrasives sont de plus en plus fines.

La section polie provenant de la carotte de béton prélevée sur la structure est présentée à la Figure 1.



Figure 1 : Plaque polie de la carotte C1

Les granulats grossiers présents dans le béton se composent de particules concassées de roche de nature basaltique. La forme des particules est angulaire à subangulaire. Le diamètre maximal du gros granulat est de 14 mm. La couleur des particules est verte et rouge selon le niveau d'altération de l'hématite présente dans les granulats. La pierre contient fréquemment des amygdales remplis de calcite cristalline. La dureté des granulats est moyenne ( $\approx 4$  à  $5^*$ ) et l'agencement des grains est cohésif (bonne ténacité). L'enrobage et la distribution des granulats dans le béton sont bons. La Figure 2 présente des microphotographies des granulats présents dans le béton.

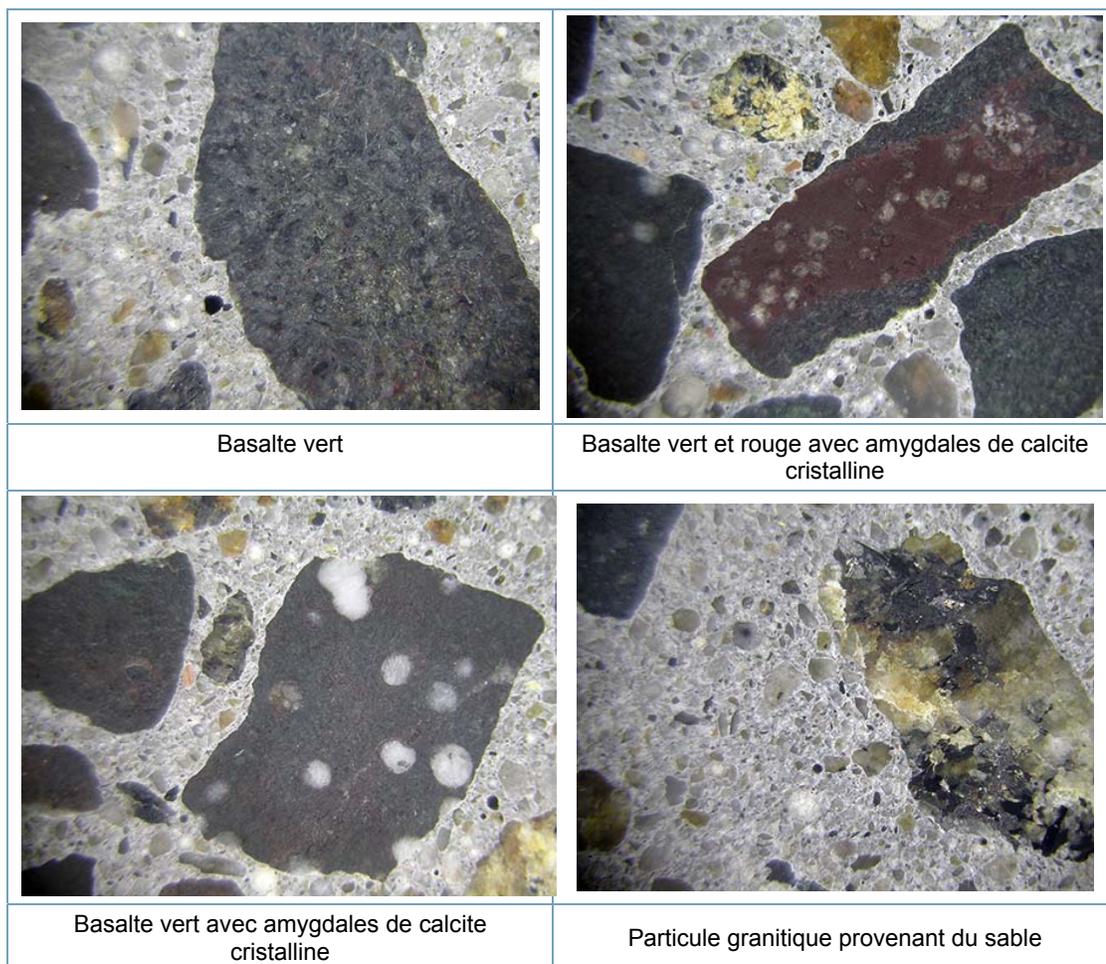
Le granulat fin se compose d'un sable de nature quartzo-feldspathique. La forme des particules de sable est subarrondie à arrondie. Le diamètre maximal du sable est d'environ 5 mm. On retrouve parfois des particules de dimension supérieure.

La pâte de ciment a une couleur gris moyen laissant présager l'utilisation d'ajouts cimentaires dans le béton. Celle-ci présente quelques vides d'air uniformément répartis dont le diamètre maximal est d'environ 3 mm. Quelques vides de compaction d'une dimension maximale de 9 mm ont également été observés.

Aucun indice de détérioration n'a été observé dans le béton.

---

\* Sur l'échelle de Mohs qui compte dix niveaux de dureté de 1=faible dureté (talc) à 10=grande dureté (diamant)



**Figure 2 : Microphotographies des granulats du béton**

### 3 CONCLUSION

Les services d'Englobe ont été retenus par le Ministère des Transports du Québec afin de réaliser un examen pétrographique sur une carotte de béton provenant de la structure P-11591 située à Val-Alain.

L'objectif de l'expertise était de déterminer la nature pétrographique des granulats présents dans le béton de la structure.

Les granulats grossiers présents dans le béton se composent de particules concassées de basalte vert et rouge.

Le granulat fin se compose d'un sable de nature quartzo-feldspathique.

Aucun indice de détérioration n'a été observé dans le béton.

**FIN DU RAPPORT**



## ANNEXE G

# RÉSULTATS DES ESSAIS

**Essais de résistance à la compression (carottes)**  
**CSA A23.2-14C**

**BC-15-095**

Date : 10 sept. 2015

**Détails**

Client :  
# client :  
Projet :  
Produit et résistance spécifiée :

**Échantillons**

Type d'échantillons :          Cylindre           Carotte

Date et heure de coulée :  
Date et heure de prélèvement :  
Date de réception :  
Lieu de prélèvement :  
Cure :

**Résultats**

Identification	Date de l'essai	Âge	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Type de rupture
C-2	2015-09-10	nd	100,85	177,92	59,9	2372	3

**Résistance moyenne : 59,9 MPa**

Remarques :

Préparé par : Pascale Larouche t.t.p.  
Date : 2015-09-10

Approuvé par : Nadia Pouliot, ing.  
Date : 10/09/2015.

<b>Transports Québec</b> <small>Service des Matériaux d'Infrastructures Secteur Liants hydrocarbonés et Chimie</small>	<b>Rapport d'essais</b> <b>Chlorure dans le béton de ciment</b>	FS-35-S3-201 Révision : 2 Page 1 de 1 2015-03-23
---	--	---

Type d'échantillon :	Béton	Numéro du rapport :	CI109-15
Client :		Provenance :	Val-Alain
Bon de commande :		Numéro d'échantillon :	BC-15-095
Échantillonneur :	Pascale Larouche	Date de réception :	2015-09-02
Date d'échantillonnage :	2015-09-02	Analyste (s) :	Nadia Verret

Teneur en ions chlorure solubles à l'acide (%)		
AASHTO T 260		
Échantillon	Profondeur (mm)	Chlorure (%)
BC-15-095 Carotte C-1	0-12,5	0,60
BC-15-095 Carotte C-1	12,5-25	0,15
BC-15-095 Carotte C-1	25-50	0,039
BC-15-095 Carotte C-2	0-12,5	0,33
BC-15-095 Carotte C-2	12,5-25	0,075
BC-15-095 Carotte C-2	25-38	0,028
BC-15-095 Carotte C-3	0-12,5	0,38
BC-15-095 Carotte C-3	12,5-25	0,14
BC-15-095 Carotte C-3	25-50	0,021
BC-15-095 Carotte C-3	50-56	0,017

Copie à : Pascale Larouche	Préparé par : Claudine Rousseau Approuvé par :  Date : 2015-09-11 M.Sc., chimiste
----------------------------	--

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.  
 Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du Laboratoire des chaussées



2700, rue Einstein  
 Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8  
 Téléphone : (418) 844-0101  
 Télécopieur : (418) 648-8092  
 www.mtq.gouv.qc.ca



**Détermination de la teneur en eau, de la masse volumique, de l'absorption et des vides  
d'air dans le béton, le coulis ou le mortier  
CSA A23.2-11C**

**BC-15-095**

Date : 8 sept. 2015

**Détails**

Client : Carottage P-11591 Val-Alain

# client :

Projet :

Produit :

**Échantillons**

Date de coulée :

Date de prélèvement : 2015-07-13

Âge de l'échantillon :

Lieu de prélèvement : P-11591 Val-Alain

**Résultats**

		A	B	C	
		C1	C3		
<b># Laboratoire</b>					
<b>Masses (g)</b>	I -	Mo (Masse initiale)	1246,1	1140,4	
	A -	Masse sèche	1193,6	1101,0	
	B -	Masse humide / immersion	1253,3	1144,8	
	C -	Masse (SSS) après ébullition	1258,4	1146,3	
	D -	Masse dans l'eau après ébullition	724,6	680,8	
<b>Calculs</b>	Teneur en eau (%)		4,4	3,6	
	Absorption après immersion (%)		5,0	4,0	
	Absorption après immersion et ébullition (%)		5,4	4,1	
	Masse volumique à sec (kg/m³)		2236	2365	
	Masse volumique après immersion (kg/m³)		2348	2459	
	Masse volumique après imm. et ébullition (kg/m³)		2357	2463	
<b>Volume des vides perméables (%)</b>		<b>12,1</b>	<b>9,7</b>		

Remarque :

Préparé par : Idir Benamara

Date : 2015-09-18

Approuvé par :

Date :

*Nadia Pouliot, ing.*

**Client :** Ministère des Transports du Québec  
**Projet :** Laboratoire des chaussées 2015 à 2018; Essais en laboratoire  
**Endroit :** Québec

**Dossier :** P-0008136-0-01-500  
**Réf. client :**  
**Rapport n° :** 21      Rév. 0  
 Page 1 de 1

### ÉCHANTILLONNAGE

**N° d'éch. LVM :** 21      **Date / heure de prélèvement :** 2015-07-13 à :  
**N° d'éch. client :** BC-15-095 (1)      **Prélevé par :** le client  
**Type d'échantillon :** Carotte de béton      **Âge à l'essai :** 49 jours  
**Plaque sciées et polies - Dimensions :** 150 mm diam.      **Endroit de prélèvement :** P-11591; Val-Alain  
**Position :**

### CARACTÉRISTIQUES DU MÉLANGE

N° de formule	Fournisseur	Usine
Résistance à 28 jours	MPa	Type ou classe de béton :
Dimension maximale des granulats	mm	
Liant (type, marque et provenance)		
Granulat(s) fin(s) (provenance)		
Adjuvants chimiques (types et sources)		
Latex (source)	Aucun	

### PARAMÈTRES D'ESSAI

	Exigences	Utilisés
Surface (mm <sup>2</sup> )	7100 min.	11850
Longueur totale traversée (mm)	2286 min.	2398
Nombre d'arrêts	1350 min.	3200
Grossissement du microscope	50X min. - 125X max.	120 X

### RÉSULTATS

Caractéristiques	Valeurs calculées
Pâte	29,4 %
Granulats	64,7 %
Teneur en air (A)	5,9 %
Surface volumique (α)	15,1 mm <sup>-1</sup>
Facteur d'espacement (i)	307 μm

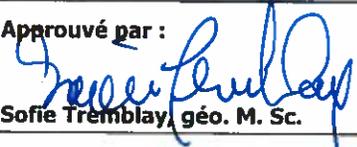
### EXIGENCES

Norme CSA A23.1	
Individuelle : ≤ 260 μm	Moyenne : ≤ 230 μm
Tome VII du MTQ	
Tous les types : ≤ 230 μm	
<b>Exceptions :</b>	
Type XIV-S et XVI-15 : ≤ 300 μm	
Type XIII à la sortie de la pompe : ≤ 325 μm	
Type XIV-C et XIV-R à la sortie de la pompe : ≤ 260 μm	

### REMARQUES

Le prélèvement et le transport de l'échantillon ont été effectués par un représentant du client. La plaque a été prélevée horizontalement sur la carotte.

**Préparé par :**   
 Asmae El Aychi, tech.      **Date :** 2015-08-31

**Approuvé par :**   
 Sofie Tremblay, géo. M. Sc.      **Date :** 1/09/2015

Perméabilité aux ions chlorure  
ASTM C 1202

BC-15-095

Date : 9 sept. 2015

Détails

Client :  
# client :  
Projet : Carottage P-11591 Val-Alain

Échantillons

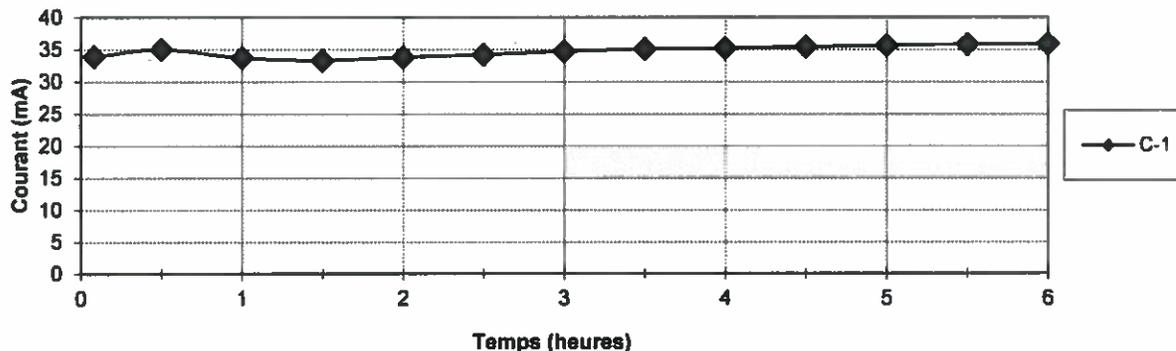
Type d'échantillons : Carottes :  Cylindre :   
Date de coulée : Type de cure :  
Date de prélèvement : 13 juil. 2015 Lieu de prélèvement : P-11591 Val-Alain  
Date de réception : Produit :

Résultats d'essais (11 ans)

Section testée	Échantillon	
	C-1	
Diamètre moy (mm)	101,0	
Hauteur moy (mm)	48,7	
Temp. maximale (°C)	24	
Charge non corr. (C.)	751	
Charge corrigée (C.)	664	
Charge moyenne (C.)	664	
Indice de perméabilité	Très faible	

Classification ASTM C 1202	
Charge (Coulombs)	Indice de perméabilité
> 4 000	Élevée
2 000 - 4 000	Modérée
1 000 - 2 000	Faible
100 - 1 000	Très faible
< 100	Négligeable

Courbe de l'évolution du courant



Remarque :

Préparé par : Dave Brindle, t.t.p.  
Date : 14 septembre 2015

Approuvé par : Nadic Pouliot, ing.  
Date : 16/09/2015

Perméabilité aux ions chlorure  
ASTM C 1202

BC-15-095

Date : 9 sept. 2015

Détails

Client :  
# client :  
Projet : Carottage P-11591 Val-Alain

Échantillons

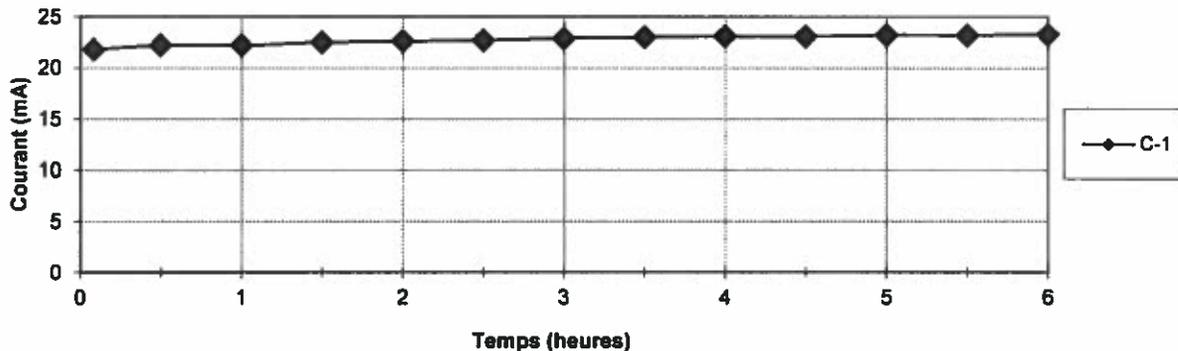
Type d'échantillons : Carottes :  Cylindre :   
Date de coulée : Type de cure :  
Date de prélèvement : 13 juil. 2015 Lieu de prélèvement : P-11591 Val-Alain  
Date de réception : Produit :

Résultats d'essais (11 ans)

Section testée	Échantillon	
	C-2	
Diamètre moy (mm)	Milieu	
Diamètre moy (mm)	101,0	
Hauteur moy (mm)	52,0	
Temp. maximale (°C)	23	
Charge non corr. (C.)	492	
Charge corrigée (C.)	435	
Charge moyenne (C.)	435	
Indice de perméabilité	Très faible	

Classification ASTM C 1202	
Charge (Coulombs)	Indice de perméabilité
> 4 000	Élevée
2 000 - 4 000	Modérée
1 000 - 2 000	Faible
100 - 1 000	Très faible
< 100	Négligeable

Courbe de l'évolution du courant



Remarque :

Préparé par : Dave Brindle, t.t.p.  
Date : 14 septembre 2015

Approuvé par : Nadia Poul...  
Date : 16/09/2015

Perméabilité aux ions chlorure  
ASTM C 1202

BC-15-095

Date : 9 sept. 2015

Détails

Client :  
# client :  
Projet : Carottage P-11591 Val-Alain

Échantillons

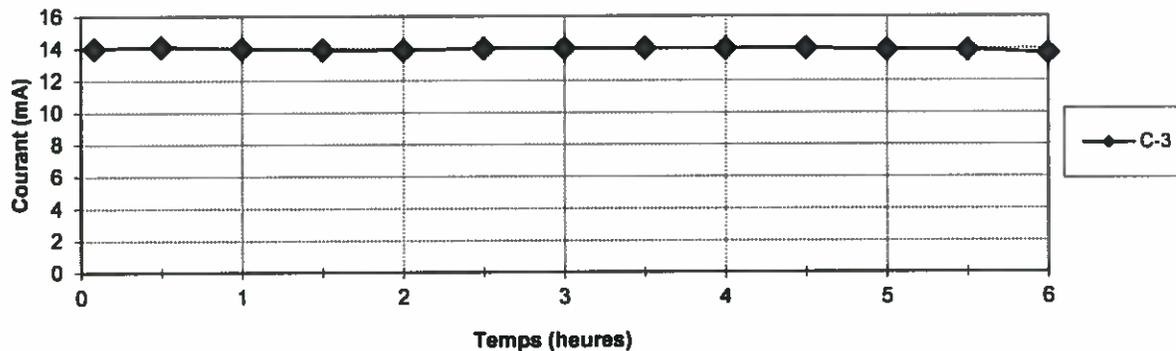
Type d'échantillons : Carottes :  Cylindre :   
Date de coulée : Type de cure :  
Date de prélèvement : 13 juil. 2015 Lieu de prélèvement : P-11591 Val-Alain  
Date de réception : Produit :

Résultats d'essais (11 ans)

Section testée	Échantillon	
	C-3	
Milieu		
Diamètre moy (mm)	101,0	
Hauteur moy (mm)	51,6	
Temp. maximale (°C)	22	
Charge non corr. (C.)	301	
Charge corrigée (C.)	266	
Charge moyenne (C.)	266	
Indice de perméabilité	Très faible	

Classification ASTM C 1202	
Charge (Coulombs)	Indice de perméabilité
> 4 000	Élevée
2 000 - 4 000	Modérée
1 000 - 2 000	Faible
100 - 1 000	Très faible
< 100	Négligeable

Courbe de l'évolution du courant



Remarque :

Préparé par : Dave Brindle, t.t.p.  
Date : 14 septembre 2015

Approuvé par : Nadia Pouliot, Ing.  
Date : 16/09/2015.

**ANALYSES PHYSICO-CHEMIIQUES DES BARRES D'ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE**

**Type d'échantillon :** Barre d'armature en matériau composite  
**Échantillonneur :** Dave Brindle  
**Envoyé par :** Secteur béton de ciment  
**Analyste(s) :** Maria Neira, Christine Duchesne, Nadia Verret

**Numéro de rapport :** C1028-15  
**Numéro de l'échantillon :** MC-15-001 Barre droite  
**Date d'échantillonnage :** 2015-02-20  
**Date de réception :** 2015-02-20  
**Fournisseur :** Pultrall

Identification	Masse volumique <sup>1)</sup> ASTM D792 (g / mL)	Absorption d'eau <sup>2)</sup> ASTM D570 (%)	Porosité <sup>3)</sup> (Présence / Absence)	Tg <sup>4)</sup> ASTM D3418 (°C)	Cure <sup>5)</sup> CSA S807 (%)	Composition par calcination (% p/p) ASTM D2584		Composition chimique FRX (%) LC 31-305									
						Fibre <sup>6)</sup>	Résine <sup>6)</sup>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>7)</sup>
MC-15-001-1	2,06	0,05	P	116	96,4	78,4	21,6	54,5	22,9	13,7	0,39	0,89	0,09	0,54	0,30	< 0,01	6,7
MC-15-001-2	2,05	0,06	A	120	97,6	78,6	21,4										
MC-15-001-3	2,05	0,06	A	115	96,5	78,8	21,2										
Moyenne	2,05	0,06		117	96,8	78,6	21,4										

**Remarques :** 1) Masse volumique mesurée avec recouvrement de sable. 2) Moyenne d'un triplicata. 3) La mention P signifie qu'au moins un point a été observé sur au moins un des triplicatas après 15 minutes dans une solution 1% de fuchsine basique dans le méthanol. 4) Tg : température de transition vitreuse calculée à mi-hauteur. 5) Valeur calculée à partir d'une enthalpie de polymérisation de la résine pure de 257 J/g. 6) % rapporté sans tenir compte du sable, sur les fibres non-lavées. 7) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : teneur maximale estimée.

**Copie à :** Marc-Antoine Loranger  
**Préparé par :** Claudine Rousseau  
**Approuvé par :**  Christine Duchesne  
 M.Sc., chimiste  
 Date : 2015-03-24

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du Laboratoire des chaussées. Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.

C1-028-14  
#1



ANALYSES PHYSICO-CHEMIQUES DES BARRES D'ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

Type d'échantillon : Barre d'armature en matériau composite  
 Échantillonneur : Marc-Antoine Loranger  
 Envoyé par : Secteur béton de ciment  
 Analyste(s) : Maria Neira, Christine Duchesne, Nadia Verret

Numéro de rapport : C1115-15  
 Numéro de l'échantillon : MC-15-008-1, -6 Barre courbe  
 Date d'échantillonnage : 2015-09-25  
 Date de réception : 2015-09-25  
 Fournisseur : Pultrali

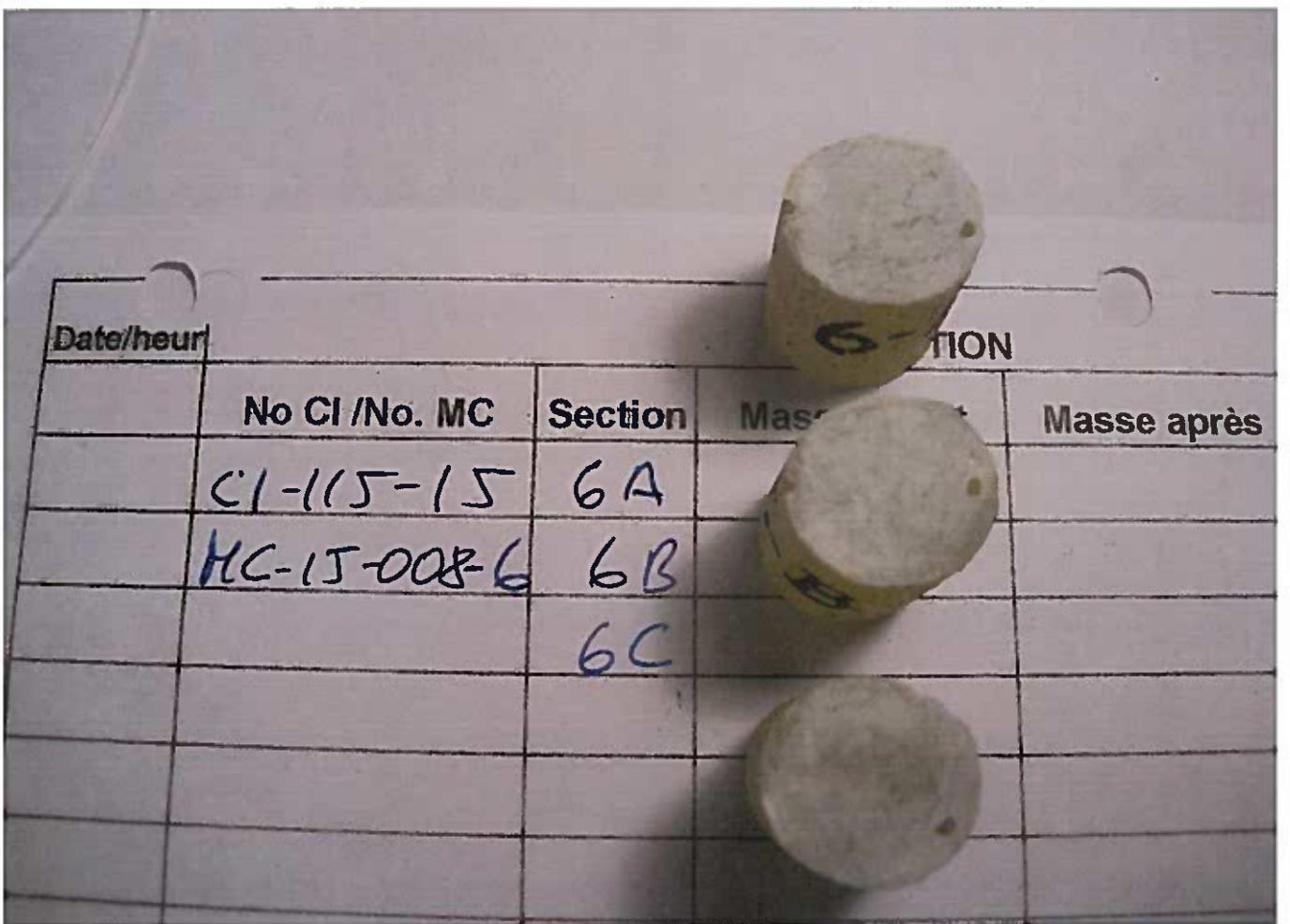
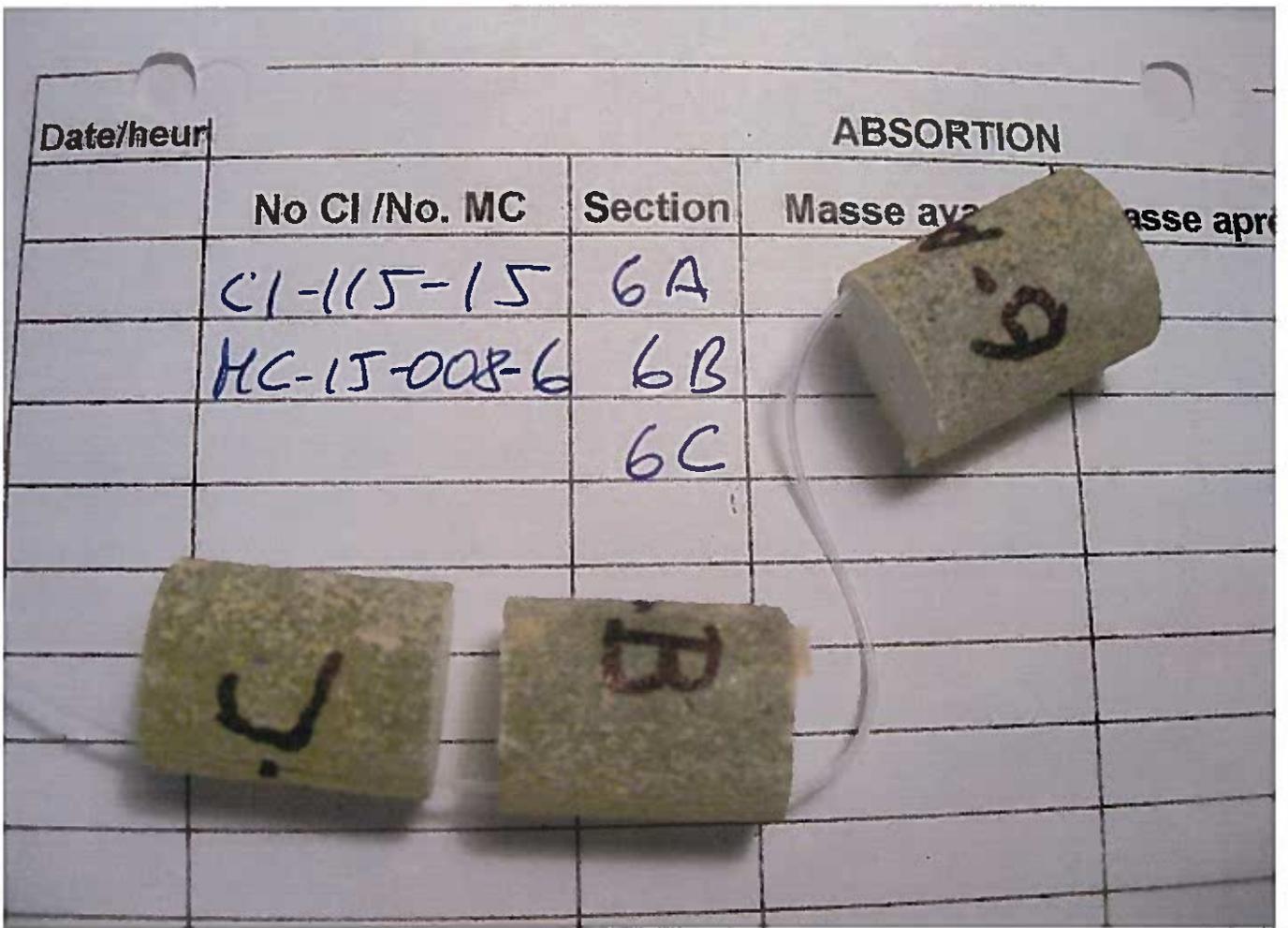
Identification	Masse volumique <sup>1)</sup> ASTM D792 (g/mL)	Absorption d'eau <sup>2)</sup> ASTM D570 (%)	Porosité <sup>3)</sup> (Présence / Absence)	Tg <sup>4)</sup> ASTM D3418 (°C)	Cure <sup>5)</sup> CSA S807 (%)	Composition par calcination (% p/p) ASTM D2584		Composition chimique FRX (%) LC 31-305									
						Fibre <sup>6)</sup>	Résine <sup>6)</sup>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>7)</sup>
MC-15-008-1			Voir remarque 8)	91	95,1	68,8	31,2	54,0	22,8	13,7	0,32	0,89	0,07	0,53	0,27	< 0,01	7,3
MC-15-008-6	1,84	0,14															
Moyenne	1,84	0,14		91	95,1	68,8	31,2										

Remarques : 1) Masse volumique mesurée avec recouvrement de sable. 2) Moyenne d'un triplicata. 3) La mention P signifie qu'au moins un point a été observé sur au moins un des triplicatas après 15 minutes dans une solution 1% de fuchsine basique dans le méthanol. 4) Tg : température de transition vitreuse calculée à mi-hauteur. 5) Valeur calculée à partir d'une enthalpie de polymérisation de la résine pure de 239 J/g. 6) % rapporté sans tenir compte du sable, sur les fibres non-lavées. 7) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : teneur maximale estimée. 8) La présence de trous a été observée visuellement sur ces échantillons (voir photos ci-jointes). Bien que des cavités soient présentes sur toute la longueur de ces échantillons, le colorant n'a pas traversé l'échantillon par capillarité lors de l'essai de porosité en raison du diamètre important de ces cavités (> 0,90 mm).

Copie à : Marc-Antoine Loranger  
 Préparé par : Claudine Rousseau  
 Approuvé par : Christine Duchesne  
 Date : 2015-10-13  
 M.Sc., chimiste

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du Laboratoire des chaussées. Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.





ANALYSES PHYSICO-CHEMIQUES DES BARRES D'ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

Type d'échantillon : Barre d'armature en matériau composite  
 Numéro de rapport : CI116-15  
 Échantillonneur : Marc-Antoine Loranger  
 Numéro de l'échantillon : MC-15-008-2, 3, 7 Barre droite  
 Envoyé par : Secteur béton de ciment  
 Date d'échantillonnage : 2015-09-25  
 Analyste(s) : Maria Neira, Christine Duchesne, Nadia Verret  
 Date de réception : 2015-09-25  
 Fournisseur : Pultrall

Identification	Masse volumique <sup>1)</sup> ASTM D792 (g / mL)	Absorption d'eau <sup>2)</sup> ASTM D570 (%)	Porosité <sup>3)</sup> (Présence / Absence)	Tg <sup>4)</sup> ASTM D3418 (°C)	Cure <sup>5)</sup> CSA S807 (%)	Composition par calcination (% p/p) ASTM D2584		Composition chimique FRX (%) LC 31-305									
						Fibre <sup>6)</sup>	Résine <sup>6)</sup>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>7)</sup>
MC-15-008-2	2,05	0,14				77,8	22,2	54,3	22,9	13,7	0,38	0,89	0,08	0,54	0,30	< 0,01	6,8
MC-15-008-3			A	120	97,8												
MC-15-008-7				111	95,7	77,7	22,3	53,8	22,9	13,8	0,39	0,91	0,10	0,54	0,31	< 0,01	7,1
Moyenne	2,05	0,14		116	96,8	77,8	22,2										

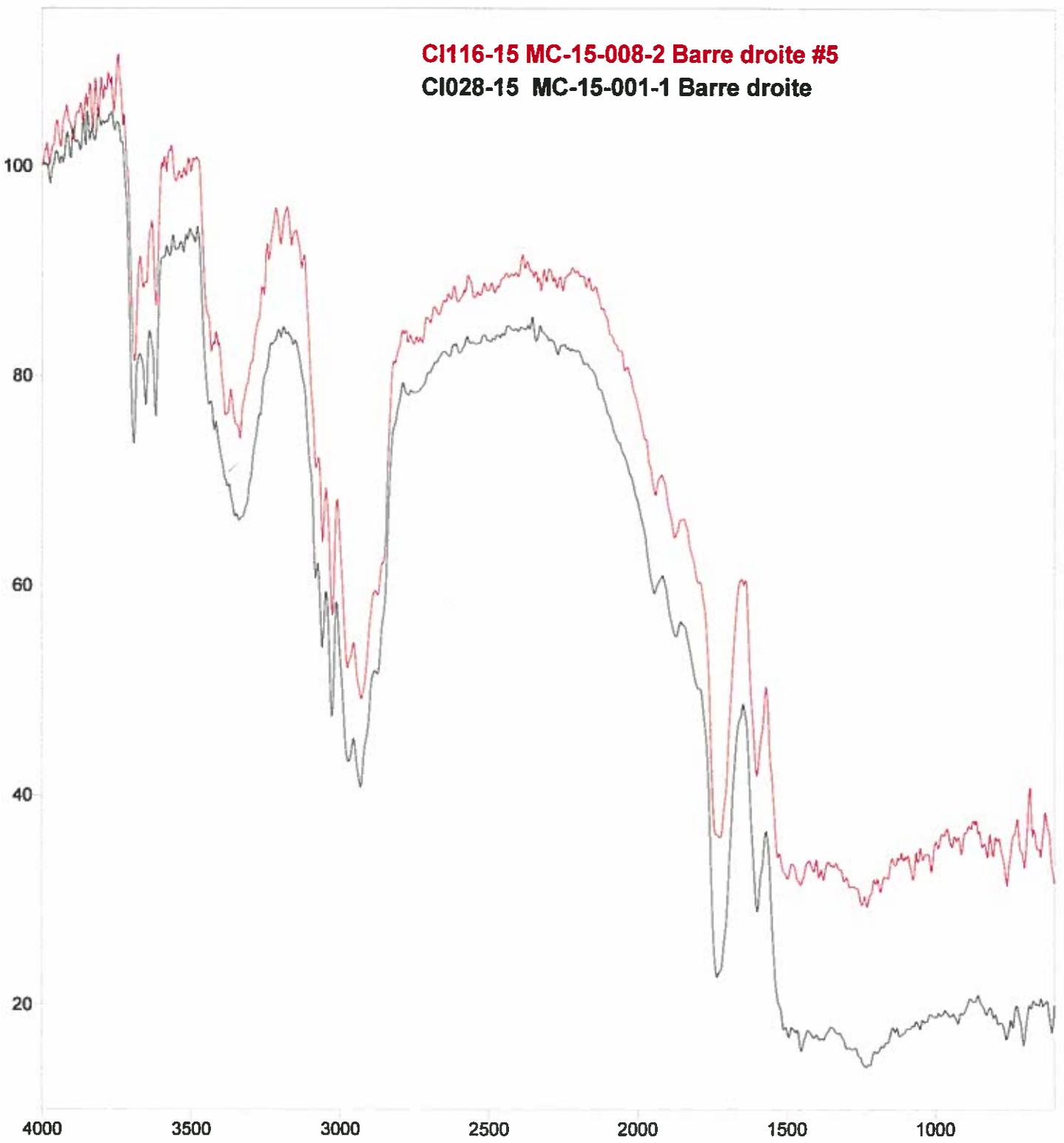
Remarques : 1) Masse volumique mesurée avec recouvrement de sable. 2) Moyenne d'un triplicata. 3) La mention P signifie qu'au moins un point a été observé sur au moins un des triplicatas après 15 minutes dans une solution 1% de fuchsine basique dans le méthanol. 4) Tg : température de transition vitreuse calculée à mi-hauteur. 5) Valeur calculée à partir d'une enthalpie de polymérisation de la résine pure de 257 J/g. 6) % rapporté sans tenir compte du sable, sur les fibres non-lavées. 7) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : teneur maximale estimée.

Copie à : Marc-Antoine Loranger  
 Préparé par : Claudine Rousseau  
 Approuvé par :   
 Date : 2015-10-13  
 M.Sc., chimiste



Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du Laboratoire des chaussées. Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.

**CI116-15 MC-15-008-2 Barre droite #5**  
**CI028-15 MC-15-001-1 Barre droite**



Préparé par : Nadia Verret

Date : 2015-09-28

Approuvé par *Christine Delave*

Transmission / Wavenumber (cm-1)

Overlay Z-Zoom CURSOR

File # 1 : CI116-15.TRSMITTANCE

2015-09-28 10:03 Res=8

**ANALYSES PHYSICO-CHEMIQUES DES BARRES D'ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE**

Type d'échantillon : Barre d'armature en matériau composite  
 Échantillonneur : Marc-Antoine Loranger  
 Envoyé par : Secteur béton de ciment  
 Analyste(s) : Maria Neira, Christine Duchesne, Nadia Verret

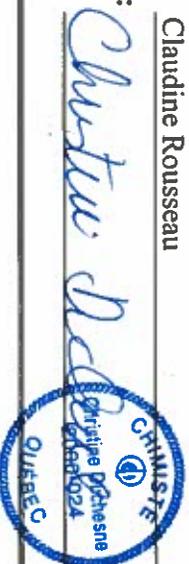
Numéro de rapport : CI117-15  
 Numéro de l'échantillon : MC-15-008-4, 5 Barre courbe  
 Date d'échantillonnage : 2015-09-25  
 Date de réception : 2015-09-25  
 Fournisseur : Pultrall

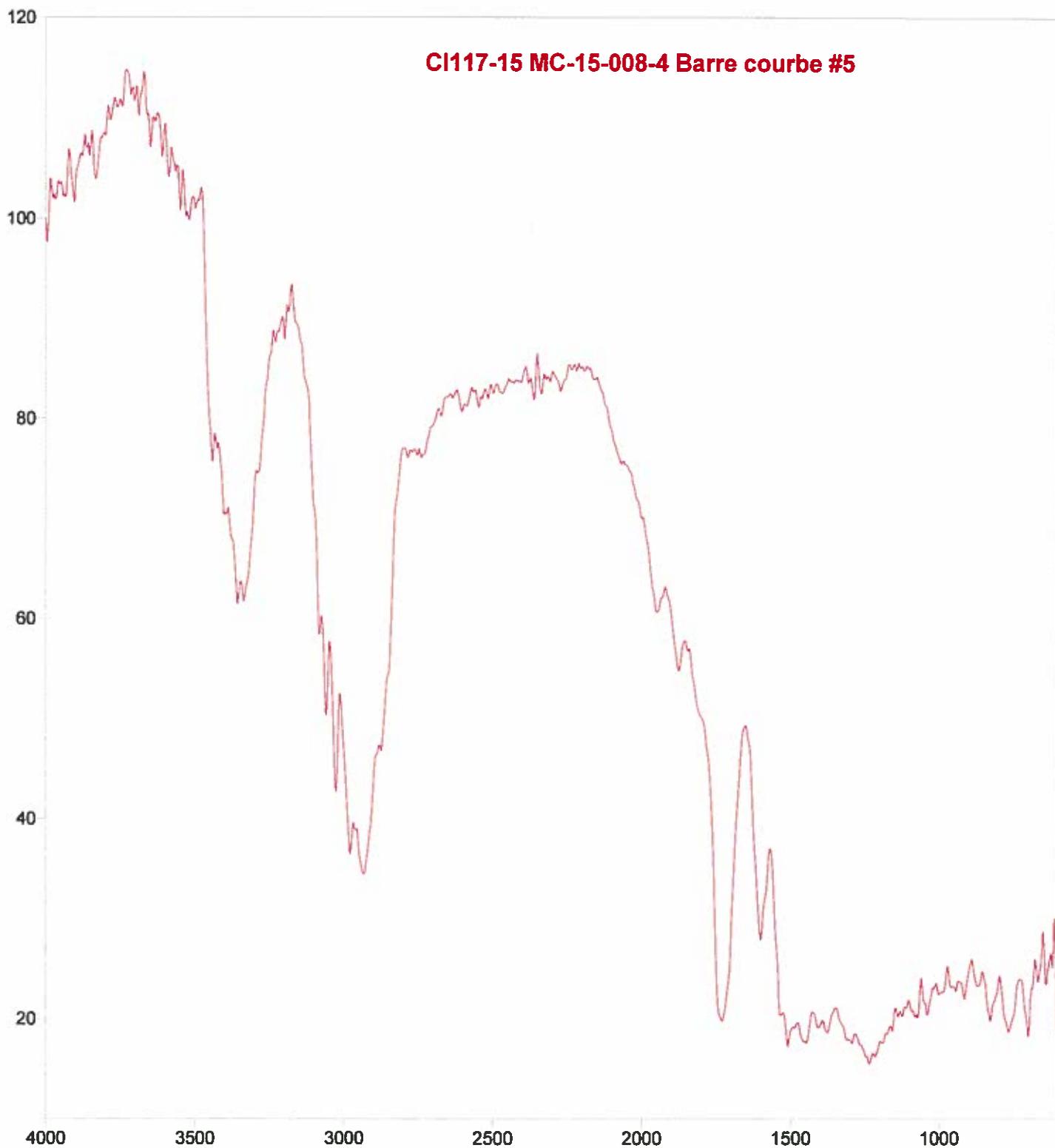
Identification	Masse volumique <sup>1)</sup> ASTM D792 (g / mL)	Absorption d'eau <sup>2)</sup> ASTM D570 (%)	Porosité <sup>3)</sup> (Présence / Absence)	Tg <sup>4)</sup> ASTM D3418 (°C)	Cure <sup>5)</sup> CSA S807 (%)	Composition par calcination (% p/p) ASTM D2584		Composition chimique FRX (%) LC 31-305									
						Fibre <sup>6)</sup>	Résine <sup>6)</sup>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>7)</sup>
MC-15-008-4	1,88	0,08		Entre 84 et 106	Entre 91,5 et 97,0	70,8	29,2	53,6	22,8	13,8	0,34	0,88	0,07	0,53	0,28	< 0,01	7,6
MC-15-008-5																	
Moyenne	1,88	0,08				70,8	29,2										

Remarques : 1) Masse volumique mesurée avec recouvrement de sable. 2) Moyenne d'un triplicata. 3) La mention P signifie qu'au moins un point a été observé sur au moins un des triplicatas après 15 minutes dans une solution 1% de fuchsine basique dans le méthanol. 4) Tg : température de transition vitreuse calculée à mi-hauteur. 5) Valeur calculée à partir d'une enthalpie de polymérisation de la résine pure de 239 J.g.  
 6) % rapporté sans tenir compte du sable, sur les fibres non-lavées. 7) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : teneur maximale estimée.

Copie à : Marc-Antoine Loranger Préparé par : Claudine Rousseau  
 Date : 2015-10-13 Approuvé par : Christine Duchesne  
 M.Sc., chimiste

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du Laboratoire des chaussées. Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.





CI117-15 MC-15-008-4 Barre courbe #5

Préparé par : Nadia Verret

Date : 2015-09-28

Approuvé par : *Christine D'Amico*

Transmission / Wavenumber (cm-1)

Overlay Z-Zoom CURSOR

File # 1 : CI117-15.TRANSMITTANCE

2015-09-28 10:05 Res=8

## ANNEXE H

# RAPPORT D'ANALYSE PAR SPECTROSCOPIE DE RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE DU $^{13}\text{C}$ EN PHASE SOLIDE

Université Laval, le 16 octobre 2015

**Rapport d'analyse RMN solide du  $^{13}\text{C}$  de  
deux échantillons de résine**

Remis à Madame Christine Duchesne  
Ministère des Transports du Québec  
Service des matériaux d'infrastructures  
Secteur liants hydrocarbonés et chimie

### Problématique :

Identification de la résine polymère de deux échantillons en poudre par comparaison avec deux échantillons standards, un de type polyester et un de type polyvinyle (ceux-ci ayant été enregistrés dans un contrat précédent, rapport du 27 mai 2015.)

Échantillons numéro : CI118-15 MC-15-008-6  
CI119-15 MC 15-008-7

### Méthode utilisée :

Spectroscopie RMN  $^{13}\text{C}$  en phase solide

### Détails expérimentaux :

Échantillon en poudre, tassé dans un rotor de 4 mm de diamètre. Les spectres  $^{13}\text{C}$  en CP-MAS ont été enregistrés sur un spectromètre Bruker Avance 400 à une fréquence de 100 MHz, avec 10000 scans, à une vitesse de rotation de l'échantillon de 12 kHz, un délai de recyclage de 4 secondes, et un temps de contact de 2 ms.

### Résultats et discussion:

Les spectres des deux nouveaux échantillons sont présentés à la figure 1, de même que les spectres de références précédemment enregistrés. Le tableau 1, donne les positions et l'attribution des pics principaux des nouveaux échantillons et la comparaison avec les standards précédemment enregistrés.

Trois pics sont caractéristiques des polyvinyles : le pic vers 115-120 ppm et les deux petits pics vers 153 et 157 ppm, qui étaient faibles, mais présents dans le standard polyvinyle et absents du standard polyester, sont nettement présents. Les pics vers 170-176 ppm étaient aussi présents pour le standard polyester, mais on remarque qu'ils sont légèrement, mais systématiquement à plus haut déplacement chimique pour les polyvinyles. Ils pourraient donc provenir de groupements chimiques différents selon la résine, en accord avec l'attribution proposée.

### Conclusion :

Les deux nouveaux échantillons inconnus sont, d'après les caractéristiques observées en spectroscopie RMN, de la classe des polyvinyles.



Josée Brisson, chimiste et Pierre Audet, chimiste

Département de chimie, Université Laval

1045 avenue de la Médecine

Québec, Québec G1V 0A6

Tél. : (418) 656-2131 poste 3536

Courriels : [josee.brisson@chm.ulaval.ca](mailto:josee.brisson@chm.ulaval.ca), [pierre.audet@chm.ulaval.ca](mailto:pierre.audet@chm.ulaval.ca)

Tableau 1 : Positions principales des pics observés pour les échantillons inconnus et attribution chimique

Position de pics des inconnus (ppm)	Intensité relative	Attribution	Standard comprenant ce pic
9 et 18	+	C aliphatique (CH, CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> )	Les deux
40-49	++	CH <sub>2</sub> en bêta d'un groupe ester C en alpha de Cl, N ou F	Les deux
70	++	C-O de fonction éthers ou esters	Les deux
115-120	+	CF <sub>2</sub>	Standard polyvinyle
128-130	+++	C=C	Les deux
140-145	+	C=C	Les deux
153 et 157	+	C=C	Standard polyvinyle
170-176		Carbone de fonction ester ou acide	Les deux

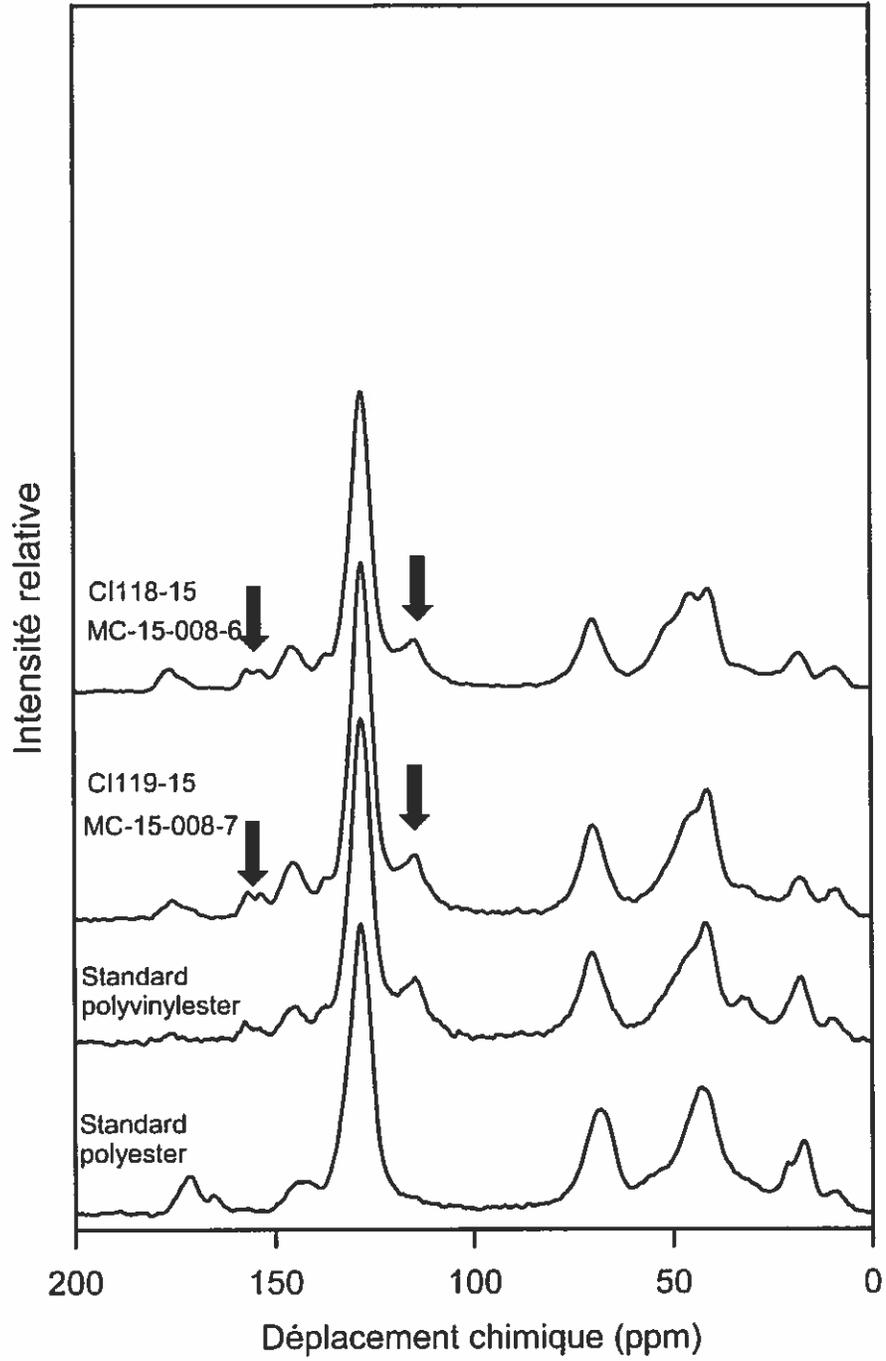
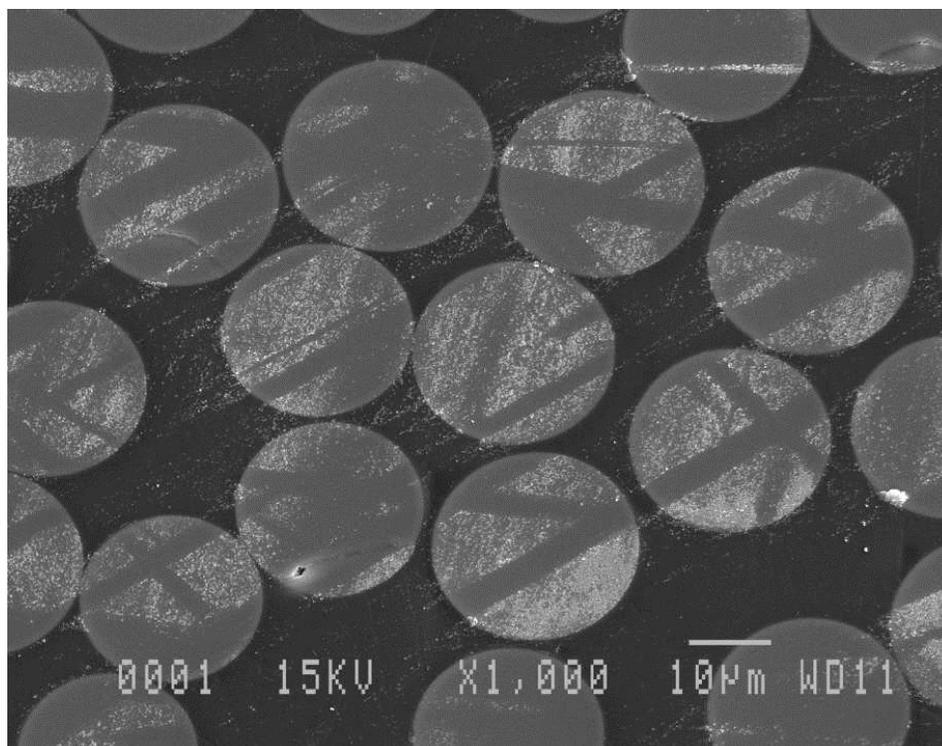


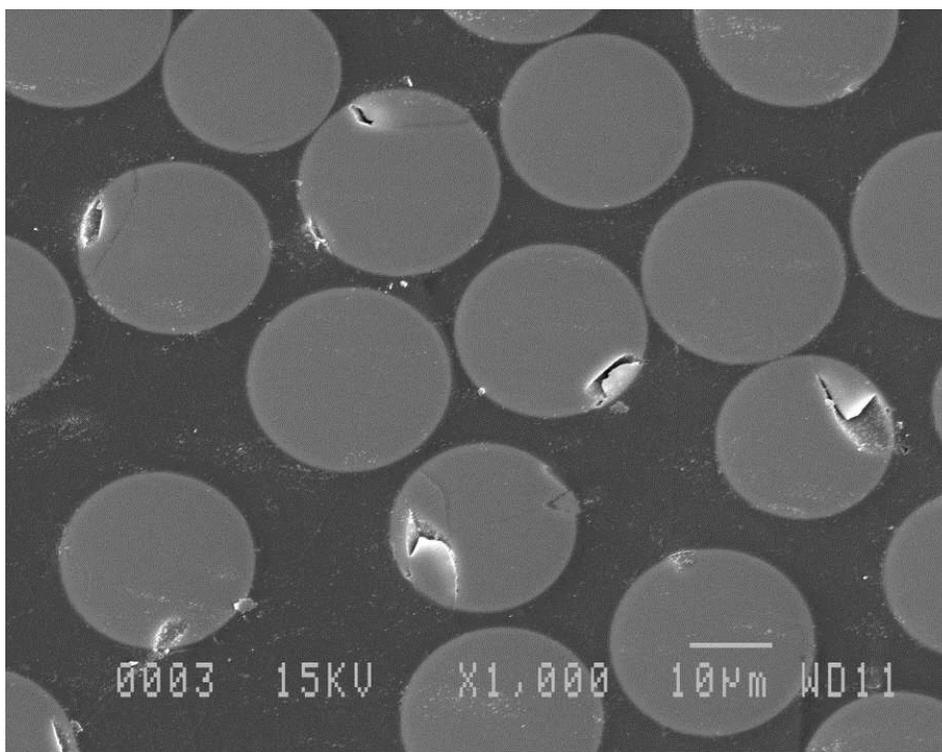
Figure 1 : Spectres RMN  $^{13}\text{C}$  en phase solide des échantillons de résine. Les flèches bleues indiquent les pics caractéristiques des polyvinylyles

**ANNEXE I**

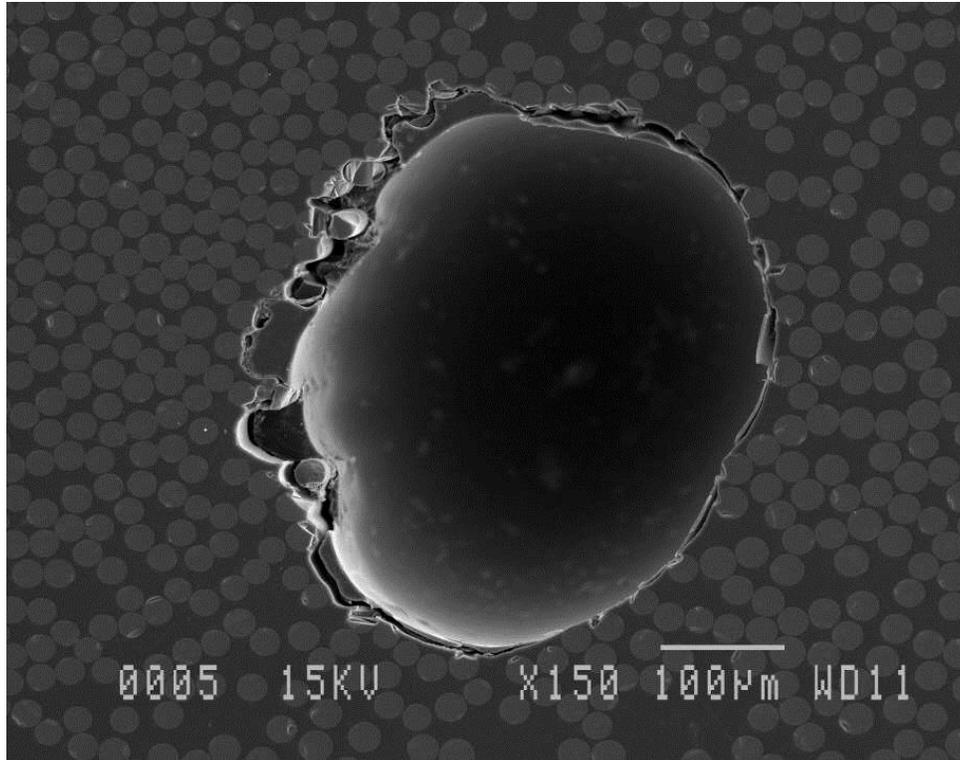
**PHOTOGRAPHIES MEB**



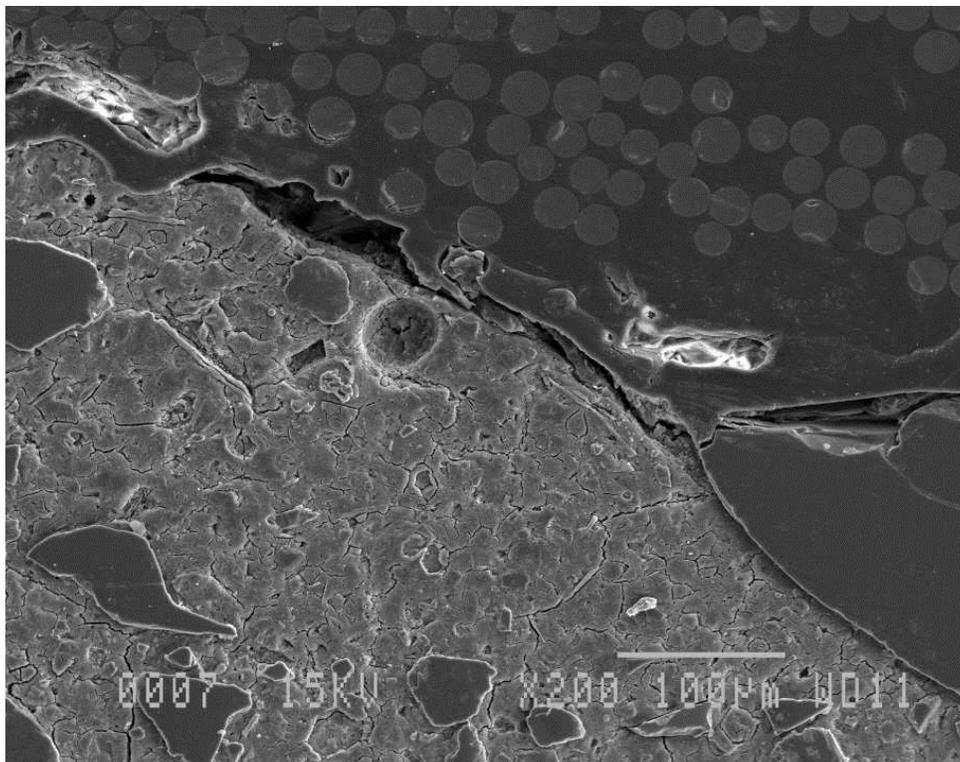
**Barre courbe MC-15-008-6 (artefacts de polissage visibles)**



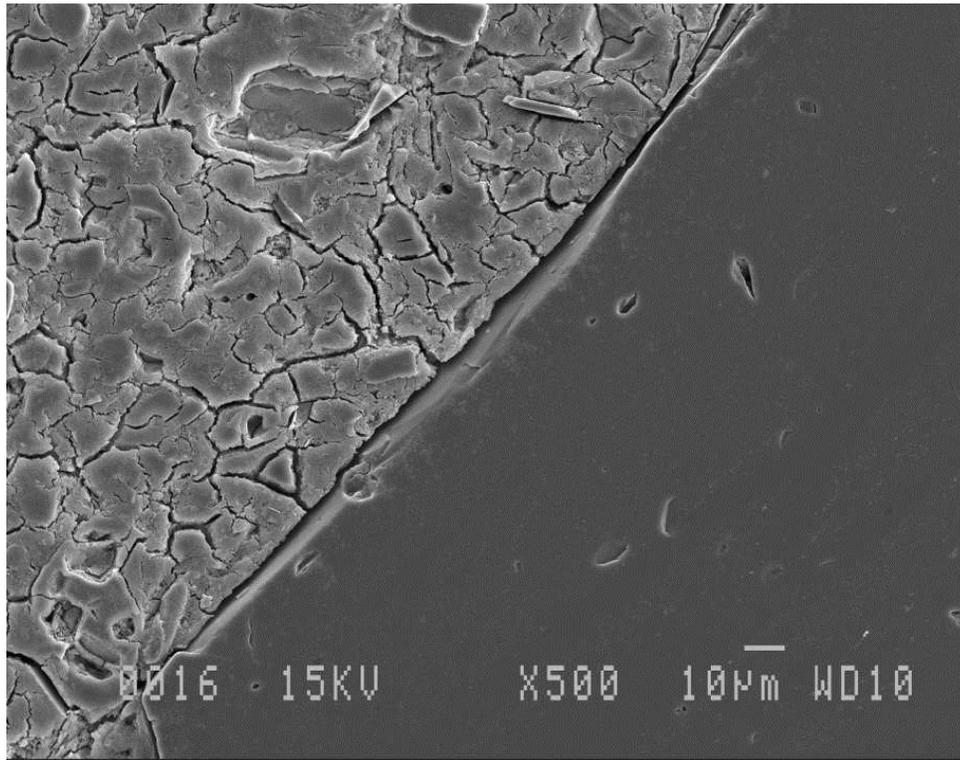
**Barre courbe MC-15-008-6**



**Porosité de la barre courbe MC-15-008-6**



**Interface composite-béton de la barre courbe MC-15-008-6**



**Interface composite-béton de la barre droite MC-15-008-7**