

Chaire de recherche du CRSNG sur les renforcements de PRF pour les infrastructures en béton

Essais statiques et dynamiques sur glissières de types 210 et 311 renforcées avec de l'armature de PRFV

Rapport final



Préparé par:

Ehab Ahmed, Christian Dulude, and Brahim Benmokrane

Département de génie civil, Faculté de génie
Université de Sherbrooke
Sherbrooke, (Québec), J1K 2R1
Tél. : (819) 821-7758 Fax. : (819) 821-7974
Courriel: Brahim.Benmokrane@USherbrooke.ca

Février 2011

© Benmokrane et coll.

(Contrat : 850 736 794; Dossier : 4502-08-RC02; Activité : R616.2)

Essais statiques et dynamiques sur glissières de types 210 et 311 renforcées avec de l'armature de PRFV

Rapport final

Préparé par:

Ehab Ahmed, Christian Dulude, and Brahim Benmokrane

**Département de génie civil
Faculté de génie
Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, J1K 2R1
Tél. : (819) 821-7758
Fax. : (819) 821-7974
Courriel: Brahim.Benmokrane@USherbrooke.ca**

Soumis à:

S. Goulet, ing.

Direction des structures
Ministère des Transports du Québec
(Québec), Québec

Février 2011

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
1 DESCRIPTION DU PROJET	1
1.1 Introduction	1
1.2 Objectifs du projet de recherche.....	2
1.3 Méthodologie.....	4
2 FABRICATION ET ESSAIS DYNAMIQUES DES GLISSIÈRES DE TYPE 210 ET 311 RENFORCÉES DE PRFV	8
2.1 Introduction	8
2.2 Spécimens.....	8
2.3 Fabrication des spécimens.....	22
2.4 Instrumentation.....	43
2.5 Montage d'essai et procédure.....	55
3 RÉSULTATS ET DISCUSSION	74
3.1 Introduction	74
3.1.1 Résumé des essais d'impact	74
3.2 Résultats des spécimens de type 210 et 311.....	76
3.2.1 Fissuration et comportement général	80
3.2.1.1 Spécimens de type 210	80
3.2.1.2 Spécimens de type 311	109
3.2.2 Déformation dans les armatures	118
4 CONCLUSIONS AND RECOMMANDATIONS	123

4.1	Conclusions	123
4.2	Recommandations	125
5	REMERCIEMENTS	127
6	RÉFÉRENCES	129
	ANNEXE A	A-1
	ANNEXE B	B-1
	ANNEXE C	C-1
	ANNEXE D	D-1
	ANNEXE E	E-1

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Les quatre phases du présent projet de recherche	6
Figure 2.1: Dimensions des spécimens de type 210.....	13
Figure 2.2: Détails du garde-corps des spécimens de type 210.....	14
Figure 2.3: Dimensions des spécimens de type 311	15
Figure 2.4: Détails du garde-corps des spécimens de type 311	16
Figure 2.5: Renforcement type des spécimens de type 210 armés d'acier (210-Acier).....	17
Figure 2.6: Renforcement type des spécimens de type 210 armés de PRFV (210-PRFV)	17
Figure 2.7: Étrier fermé en PRFV des spécimens de type 210 (type G1)	18
Figure 2.8: Étrier ouvert en PRFV des spécimens de type 210 (type G2)	18
Figure 2.9: Renforcement type des spécimens de type 311 armés d'acier (311-Acier).....	19
Figure 2.10: Renforcement type des spécimens de type 311 armés de PRFV (311-PRFV)	20
Figure 2.11: Barres courbes en PRFV des spécimens de type 311	21
Figure 2.12: Plate-forme de travail pour la fabrication des spécimens	24
Figure 2.13: Cage d'armature des spécimens 210-Acier-5m	25
Figure 2.14: Cage d'armature des spécimens 210-Acier-11m	26
Figure 2.15: Cage d'armature des spécimens 210-PRFV-11m	27
Figure 2.16: Coulée de béton des dalles des spécimens 210-Acier.....	28
Figure 2.17: Coulée de béton des dalles des spécimens 210-PRFV.....	30
Figure 2.18: Préparation du chasse-roue des spécimens de type 210 pour une coulée de béton	31
Figure 2.19: Coulée de béton du chasse-roue des spécimens de type 210	32
Figure 2.20: Spécimens de type 210 après la coulée de béton	34
Figure 2.21: Coulée de béton de la dalle des spécimens 311-PRFV	35
Figure 2.22: Préparation du muret des spécimens 311-PRFV	36
Figure 2.23: Préparation du muret des spécimens de type 311	37
Figure 2.24: Coulée de béton des murets des spécimens de type 311.....	38
Figure 2.25: Spécimens de type 311 après la coulée de béton	39
Figure 2.26: Déplacement d'un spécimen de la plate-forme de travail.....	40

Figure 2.27: Entreposage des spécimens de type 210 et 311	41
Figure 2.28: Position des jauges de déformation installées sur les étriers des spécimens de type 210	45
Figure 2.29: Disposition des jauges de déformation des spécimens 210-Acier	46
Figure 2.30: Disposition des jauges de déformation des spécimens 210-PRFV	48
Figure 2.31: Position des jauges de déformation installées sur les barres courbes des spécimens de type 311	49
Figure 2.32: Disposition des jauges de déformation des spécimens de type 311.....	50
Figure 2.33: Étrier instrumenté d'un spécimen de type 210 armé de PRFV	51
Figure 2.34: Barres courbes instrumentées d'un spécimen de type 311 armé de PRFV.....	52
Figure 2.35: Barres courbes instrumentées d'un spécimen de type 311 armé d'acier	53
Figure 2.36: Système d'acquisition de donnée du MTQ	54
Figure 2.37: Schéma des essais d'impact par pendule	58
Figure 2.38: Position du point d'impact et détails du banc d'essai	59
Figure 2.39: Installation des spécimens sur le banc d'essai	60
Figure 2.40: Ancrage du spécimen au banc d'essai.....	61
Figure 2.41: Spécimen de type 210 ancré au banc d'essai	62
Figure 2.42: Plaque d'acier fixée à un spécimen de type 210	63
Figure 2.43: Pièces de bois distribuant uniformément la charge d'impact de la plaque d'acier au spécimen de type 311.....	65
Figure 2.44: Plaque d'acier fixée et ancrage du spécimen 311 au banc d'essai.....	66
Figure 2.45: Détails du système de poulie utilisé pour retenir et relâcher la boule d'acier	68
Figure 2.46: Ajustement de la hauteur de chute de la boule d'acier	69
Figure 2.47: Vue générale des essais dynamiques par pendule.....	72
Figure 3.1: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-Acier-11m-I (section du milieu).....	77
Figure 3.2: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-Acier-11m-II (section du milieu).....	78
Figure 3.3: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-PRFV-11m-I (section du milieu).....	79

Figure 3.4: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-PRFV-11m-II (section du milieu).....	79
Figure 3.5: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-I après un premier essai à h=3,0 m.....	83
Figure 3.6: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-I après un deuxième essai à h=2,06 m.....	84
Figure 3.7: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-I après un premier essai à h=3,0 m.....	85
Figure 3.8: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-II après un essai à h=3,0 m	86
Figure 3.9: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-II après un essai à h=3,0 m	88
Figure 3.10: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-III après un premier essai à h=2,0 m et un second essai à h=2,42 m.....	89
Figure 3.11: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-III après un premier essai à h=2,0 m.....	91
Figure 3.12: Largeurs des fissures du spécimen 210-Acier-5m-III un second essai à h=2,42 m	91
Figure 3.13: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-I après un essai à h=2,42 m	92
Figure 3.14: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-11m-I après un essai à h=2,42 m..	94
Figure 3.15: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-II après un essai à h=3,0 m	95
Figure 3.16: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-11m-II après un essai à h=3,0 m ..	97
Figure 3.17: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un premier essai à h=3,0 m (G2 : Côté étrier ouvert).....	98
Figure 3.18: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-I après un premier essai à h=3,0 m (G2 : Côté étrier ouvert).....	99
Figure 3.19: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un deuxième essai à h=2,06 m (G2 : Côté étrier ouvert).....	100
Figure 3.20: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à h=2,42 m (G2 : Côté étrier ouvert)	102
Figure 3.21: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à h=2,42 m (G2 : Côté étrier ouvert)	103

Figure 3.22: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un essai à $h=2,42$ m (G1 : Côté étrier fermé)	104
Figure 3.23: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-I après un essai à $h=2,42$ m (G1 : Côté étrier fermé)	105
Figure 3.24: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,47$ m (G1 : Côté étrier fermé)	106
Figure 3.25: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,47$ m (G1 : Côté étrier fermé)	108
Figure 3.26: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-I après un premier essai à $h=3,07$ m (Côté droit du spécimen)	110
Figure 3.27: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-I après un deuxième essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen)	111
Figure 3.28: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-II après un essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen).....	112
Figure 3.29: Réseau de fissuration du spécimen 311-PRFV-11m-I après un essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen).....	113
Figure 3.30: Réseau de fissuration du spécimen 311-PRFV-11m-II après un essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen).....	114
Figure 3.31: Comparaison des réseaux de fissuration des spécimens 311-Acier-11m-I et 311-PRFV-11m-II	116

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Matrice d'essai.....	11
Tableau 2.2: Mélange d'un mètre cube de béton (1 m ³)	23
Tableau 2.3: Date de coulée et résistance en compression du béton des spécimens de type 210 et 311	42
Tableau 2.4: Détails des essais d'impact des spécimens de type 210 et 311	57
Tableau 3.1: Résumé des essais d'impact effectués sur les glissières de type 210 et 311	75
Tableau 3.2: Forces d'impact et accélérations des spécimens de type 311	80
Tableau 3.3: Largeur maximale des fissures mesurées des spécimens de type 210.....	82
Tableau 3.4: Largeur maximale des fissures mesurées des spécimens de type 311.....	116
Tableau 3.5: Déformations de pointe maximales mesurées dans les spécimens de type 210	119
Tableau 3.6: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 311	120
Tableau 3.7: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 210.....	120
Tableau 3.8: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 311	121

Chapitre 1

DESCRIPTION DU PROJET

1 DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Introduction

Mondialement, la corrosion des armatures d'acier est une des principales problématiques des structures en béton armé. En Amérique du Nord et plus particulièrement au Québec, la corrosion occasionnée par l'épandage de sel de déglacage est le premier facteur réduisant la durée de vie des ouvrages d'art engendrant ainsi des coûts de réparation ou de remplacement très onéreux. Les dalles de tablier et les dispositifs de retenue de ponts en béton armé (parapets, chasse-roue, glissières) sont parmi les éléments les plus exposés aux conditions environnementales très dures. De plus, les dispositifs de retenue de ponts routiers constituent des éléments de sécurité importants qui, non seulement doivent être durables, mais aussi doivent résister aux forces d'impact de véhicules. L'utilisation de barres en matériaux composites de polymère renforcé de fibres (PRF) sans corrosion est maintenant considérée comme une solution efficace au problème persistant de corrosion.

Ce projet de recherche portant sur des glissières de type 210 et 311 comprend quatre phases distinctes. Les différentes phases du projet sont résumées à la figure 1.1. Ce projet de recherche a été réalisé en collaboration entre le Ministère des Transports du Québec et l'Université de Sherbrooke (Prof. Brahim Benmokrane, ing.; Département de génie civil). Le contrat de recherche s'intitule : Essais statiques et dynamiques sur glissières de types 210 et 311 renforcées avec de l'armature de PRFV (contrat: 850 736 794; Dossier: 4502-08-RC02; activité: R616.2). La première phase de ce projet (Phase I) comprenait la réalisation d'essais statiques en laboratoire sur des glissières de type 210 et 311. Les spécimens testés étaient renforcés uniquement avec des armatures de PRFV. Pour des fins de comparaison, des spécimens armés d'acier ont également été testés. Les essais ont été réalisés dans le laboratoire de structures du département de génie civil de l'Université de Sherbrooke. Les glissières ont été testées sous chargement statique jusqu'à la rupture. Un rapport technique a été rédigé à la fin de cette première phase et a été soumis au Ministère des Transports du Québec (MTQ) en septembre 2009 et février 2010 (Benmokrane et coll. 2009; Ahmed et Benmokrane 2010). La deuxième phase (Phase II) de ce projet consiste en des essais

dynamiques par pendule sur des glissières de type 210 et 311 afin d'évaluer le comportement de ces glissières sous charge d'impact. Dans cette phase, les spécimens étaient renforcés uniquement avec des armatures de PRFV tout comme ceux de la phase précédente. Durant cette phase, des spécimens renforcés d'acier ont également été testés pour des fins de comparaison. Les essais par pendule réalisés lors de cette phase sont similaires aux essais réalisés en 2001 et 2007 sur des glissières de type 201 et 301 (El-Salakawy et coll. 2001; Benmokrane et coll. 2008). La troisième phase (Phase II) de ce projet de recherche consiste en des essais comparatifs de démolition sur des spécimens de type 210 et 311 armés de PRFV ou d'acier. Les essais de démolition ont été réalisés à l'aide de marteaux-piqueurs pneumatiques. Le temps requis ainsi que le niveau de dommage sur les armatures de PRFV et d'acier ont été chiffrés afin de comparer et d'évaluer la possibilité de réparer les glissières armées de PRFV à l'aide de marteaux-piqueurs. Finalement, la phase IV comprend des essais de caractérisation de barres courbes en PRFV afin de déterminer leur résistance en traction. Des échantillons sur les deux différents lots de production des barres courbes ont été prélevés. Ces essais avaient pour but de déterminer la résistance minimale des barres courbes en PRFV (No. 15 et No. 20 [diamètre 15,9 mm et 19,1 mm]) lorsque celles-ci sont utilisées dans des glissières de type 210 et 311 sur les ponts du Québec.

Ce rapport technique inclut les phases II à IV de ce projet de recherche à travers le présent document incluant cinq annexes. La phase II, comprenant les essais dynamiques sur des glissières de grandeur réelle de type 210 et 311, est présentée dans le document principal du rapport. L'annexe A présente des détails supplémentaires sur le mode de rupture des spécimens de type 210 et de l'état des étriers de PRFV suite aux essais dynamiques. L'annexe B traite des essais comparatifs de démolition à l'aide de marteaux-piqueurs sur les glissières de type 210 et 311. Les essais de traction effectués sur des barres courbes de PRFV sont présentés à l'annexe C. De plus, des recommandations pour de futurs essais sur des glissières de type 210 sont présentées à l'annexe D. Finalement, l'annexe E présente les déformations enregistrées lors des essais d'impact des glissières de type 210 et 311.

1.2 Objectifs du projet de recherche

L'objectif général de ce projet de recherche vise le développement de dispositifs de retenue à durabilité accrue, sécuritaires et performants sur le plan économique. Dans ce projet,

les glissières de type 210 et 311 renforcées uniquement avec des armatures de PRFV ont été testées sous charges statiques et dynamiques. Le comportement des glissières armées de PRFV a également été comparé à celles armées d'acier conventionnel. Les principaux objectifs des quatre phases de ce projet de recherche sont :

- Phase I: Évaluer le comportement structural et la résistance ultime des glissières de type 210 et 311 renforcées uniquement avec des armatures de PRFV sous charge statique. Le comportement des glissières armées de PRFV a été comparé aux glissières homologues renforcées d'acier. La charge statique était appliquée sur le garde-corps dans le cas des glissières de type 210 et sur le muret dans le cas des glissières de type 311.
- Phase II: Évaluer le comportement structural des glissières de type 210 et 311 renforcées uniquement avec des armatures de PRFV sous charge d'impact par pendule. Le comportement des glissières armées de PRFV a été également comparé aux glissières homologues renforcées d'acier. Afin de distribuer la charge d'impact, une plaque d'acier rigide a été utilisée lors des essais sur les glissières de type 210 et 311. Cette distribution de la charge permettait d'éviter des dommages locaux sur le garde-corps ou sur la surface du béton.
- Phase III: Évaluer le temps nécessaire pour la démolition des glissières de type 210 et 311 armées de PRFV à l'aide de marteaux-piqueurs. De plus, le niveau de dommage aux armatures de PRFV a également été évalué. Les résultats des essais sur les glissières armées de PRFV ont été comparés à ceux des glissières homologues armées d'acier. Les essais ainsi que la méthode employée ont été réalisés selon les spécifications du Ministère des Transports du Québec.
- Phase IV: Évaluer la résistance en traction des barres courbes en PRFV employées lors de ce projet de recherche (No. 15 et No. 20 [diamètre 15,9 mm et 19,1 mm]). L'objectif principal de cette phase était d'évaluer la résistance des barres courbes de PRFV afin de spécifier les résistances minimales des armatures courbes de PRFV lorsque celles-ci sont utilisées comme renforcement dans les glissières de type 210 et 311. Ainsi, ces essais permettront de déterminer des critères de performance à respecter lorsque des armatures de PRFV seront utilisées comme renforcement dans les ponts du Québec.

1.3 Méthodologie

Le présent projet de recherche visant le développement des glissières de type 210 et 311 à durabilité accrue, sécuritaires et économique a été divisé selon les quatre phases suivantes :

1. Phase I: Fabrication et essais statiques des glissières de grandeur réelle de type 210 et 311 armées de PRFV et d'acier. Un total de six spécimens de type 210 armés de PRFV et d'acier ont été fabriqués et testés. Ainsi, deux spécimens étaient renforcés avec chaque type d'étrier (Acier, PRFV type G1 et PRFV type G2). Un des spécimens de type 210 a été construit avec des étriers de PFRV de type G1 conditionnés. Les étriers de PRFV ont été conditionnés durant trois mois selon les spécifications de la norme CAN/CSA S807 (2010). En ce qui concerne les glissières de type 311, un total de quatre spécimens armés de PRFV et d'acier ont été construits et testés. Les spécimens de type 311 ont été testés selon deux différents montages d'essai. En résumé, la phase I inclut des essais statiques en laboratoire sur un total de dix spécimens (six spécimens de type 210 et quatre spécimens de type 311). Cette phase a été complétée en 2009 et deux rapports techniques ont été soumis au MTQ en septembre 2009 et février 2010 (Benmokrane et coll. 2009; Ahmed et Benmokrane 2010).

2. Phase II: Fabrication des glissières de grandeur réelle de type 210 et 311 armées de PRFV et d'acier et essais dynamiques par pendule. Les essais d'impact ont été réalisés sur des spécimens armés de PRFV et d'acier de 11 m de longueur. Un total de huit spécimens ont été construits et testés : quatre spécimens de type 210 et quatre spécimens de type 311. Cette phase inclut également trois spécimens de type 210 renforcés d'acier d'une longueur de 5 m. Ces derniers ont servi à déterminer la hauteur de chute du pendule. Cette phase a été entièrement réalisée au centre de services du MTQ, 125 Chemin Georges-Vallières, Sherbrooke (près de l'intersection des autoroutes 10 et 410) tout comme les essais antérieurs de 2001 et 2007 (El-Salakawy et coll. 2001; Benmokrane et coll. 2008). Les résultats de cette phase sont présentés dans le présent rapport technique. Toutefois, plus de détails concernant le mode de rupture et l'état des étriers des glissières de type 210 sont présentés à l'annexe A.

3. Phase III: Essais comparatifs de démolition à l'aide de marteaux-piqueurs sur glissières de type 210 et 311 armées d'acier et de PRFV (chasse-roue des spécimens de type 210, muret des spécimens de type 311 et dalles des spécimens de type 210 et 311). Les spécimens utilisés lors

des essais d'impact du présent projet de recherche (R616.2: spécimens de type 210 et 311 gardés au centre de services, Sherbrooke) ont servi aux essais comparatifs de démolition. L'objectif de ces essais était de valider l'applicabilité d'une méthode de démolition utilisant des marteaux-piqueurs en vue d'une réparation des glissières de type 210 et 311 ou de la dalle. Les essais ainsi que la méthode employée ont été réalisés selon les spécifications du Ministère des Transports du Québec. Les résultats de cette phase sont présentés à l'annexe B.

4. Phase IV: Essais de traction sur barres courbes en PRFV (No. 15 et No. 20 [diamètre 15,9 mm et 19,1 mm]). Cette phase a été réalisée afin de déterminer la résistance en traction des barres courbes en PRFV utilisées lors de ce projet de recherche. Les barres courbes en PRFV ont été testées selon la méthode B.5 conformément aux spécifications de la norme ACI 440.3R-03 (2003), de l'annexe E de la norme CAN/CSA S806-02 (2002) ainsi que des essais effectués précédemment à l'Université de Sherbrooke (Ahmed et coll. 2008). La résistance en traction des barres courbes de PRFV de type D1 (No. 15), type P1 (No. 20) et des étriers en PRFV (No. 15) a été déterminée. Toutefois, la résistance des barres courbes en PRFV de type D2 (No.20) n'a pas été déterminée puisque la géométrie de ces barres ne le permettait pas. L'objectif principal de cette phase était d'évaluer la résistance des barres courbes et étrier de PRFV afin de spécifier des résistances minimales lorsque ceux-ci sont utilisés comme renforcement dans les glissières de type 210 et 311. Ainsi, ces essais permettront de spécifier des critères de performance à respecter lorsque des armatures de PRFV seront utilisées comme renforcement dans les ponts du Québec. Les résultats de cette phase sont présentés à l'annexe C.

Essais statiques et dynamiques sur glissières de types 210 et 311 renforcées avec de l'armature de PRFV

Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV
Essais statiques en laboratoire sur des spécimens de type 210 et 311 armés de barres en PRFV	Essais dynamiques par pendule sur des spécimens de type 210 et 311 armés de barres en PRFV	Essais comparatif de démolition sur des spécimens de type 210 et 311 armés de barres en PRFV	Essais sur barres courbes et étriers en PRFV afin d'évaluer la résistance en traction
 		 	 

Figure 1.1: Les quatre phases du présent projet de recherche

Chapitre 2

FABRICATION ET ESSAIS DYNAMIQUES DES GLISSIÈRES DE TYPE 210 ET 311 RENFORCÉES DE PRFV

2 FABRICATION ET ESSAIS DYNAMIQUES DES GLISSIÈRES DE TYPE 210 ET 311 RENFORCÉES DE PRFV

2.1 Introduction

La seconde phase de ce projet comprend une série d'essais dynamiques par pendule sur des glissières de pont de type 210 et 311 en béton armé de barres de polymère renforcé de fibres de verre (PRFV) et d'acier. La totalité des armatures de PRFV (barres droites et courbes) a été produite par la compagnie Pultrall inc. (Thetford Mines, Québec) et livré au centre de services du Ministère des Transports du Québec (MTQ), 125 Chemin Georges-Vallières, Sherbrooke, Québec où les spécimens ont été fabriqués et testés.

Cette section présente une description détaillée des spécimens de type 210 et 311 soumis aux essais dynamiques. De plus, les détails du renforcement, de l'instrumentation, de la fabrication des spécimens et du montage d'essai sont présentés.

2.2 Spécimens

Le tableau 2.1 présente la matrice des essais comprenant tous les spécimens de la présente phase (Phase II). Quatre spécimens de type 210 de 11 m de longueur ont été fabriqués et testés. Deux spécimens de chaque type de renforcement (acier ou PRFV) ont été fabriqués et testés afin de vérifier et de valider les résultats. La dalle du tablier des spécimens mesurait 11,0 m de longueur \times 1,5 m de largeur \times 0,225 m de hauteur. Les dimensions du chasse-roue étaient de 11,0 m de longueur \times 0,45 m de largeur \times 0,28 m de hauteur au dessus de la dalle. Deux spécimens étaient renforcés avec des armatures d'acier conventionnelles et deux spécimens étaient renforcés avec des armatures de PRFV. Deux types d'étrier ont été utilisés lors de la fabrication des chasse-roues des spécimens armés de PRFV, soit des étriers en PRFV fermés et ouverts (respectivement, type G1 et G2). La moitié de chaque spécimen de type 210 armé de PRFV était renforcée avec des étriers fermés (G1) tandis que l'autre moitié était renforcée d'étrier ouvert (G2). Puisqu'aucun essai sur des glissières de type 210 n'avait

été effectué jusqu'à présent, trois spécimens armés d'acier d'une longueur de 5 m ont été ajoutés au programme d'essai. Ces trois spécimens ont été utilisés afin de déterminer la hauteur de chute appropriée du pendule. La géométrie et les dimensions des spécimens de type 210 sont présentées à la figure 2.1. De plus, le détail du garde-corps de ces glissières est présenté à la figure 2.2.

La phase II de ce projet inclut également quatre spécimens de grandeur réelle de type 311. Deux spécimens de chaque type de renforcement (acier ou PRFV) ont été fabriqués et testés afin de vérifier et de valider les résultats. La dalle du tablier avait les mêmes dimensions que celle des spécimens de type 210 soit 11,0 m de longueur \times 1,5 m de largeur \times 0,225 m de hauteur. Les dimensions de la glissière étaient de 11,0 m de longueur \times 0,46 m de largeur à la base et 0,275 m de largeur au sommet \times 0,88 m de hauteur au dessus de la dalle. La géométrie et les dimensions des spécimens de type 311 sont présentées à la figure 2.3. De plus, le détail du garde-corps de ces glissières est présenté à la figure 2.4.

Les dalles de tous les spécimens de type 210 et 311 armés d'acier ont été renforcées avec des armatures No.20M. Le côté en tension du muret des spécimens de type 311 a également été armé de barres No.20M. En ce qui concerne le côté en compression du muret des spécimens de type 311, des armatures d'acier No.15M ont été utilisées. Le renforcement du chasse-roue des spécimens de type 210 a été effectué à l'aide de barres No.15M. Finalement, le renforcement longitudinal des spécimens de type 210 et 311 a été effectué avec des armatures No.15M. En ce qui concerne les spécimens renforcés de PRFV, la dalle de tous les spécimens de type 210 et 311 a été renforcée avec des armatures en PRFV No. 20 (19,1 mm de diamètre). Le côté en tension du muret des spécimens de type 311 a également été armé de barres No. 20. En ce qui concerne le côté en compression du muret des spécimens de type 311, des armatures de PRFV No. 15 (15,9 mm de diamètre) ont été utilisées. Le renforcement du chasse-roue des spécimens de type 210 a été réalisé à l'aide de barres No. 15. Finalement, le renforcement longitudinal des spécimens de type 210 et 311 a été effectué avec des armatures No. 15. Il est important de mentionner que la désignation des barres de PRFV est effectuée selon les spécifications de la norme CSA S807 (CAN/CSA S807-10, 2010).

Tout comme les spécimens de la phase I (Benmokrane et coll. 2009, Ahmed et Benmokrane 2010), les détails du renforcement des spécimens armés de PRFV et d'acier (210 et 311) a été fournis par le Ministère des Transports du Québec. Ceux-ci correspondent aux renforcements les plus couramment utilisés sur les ponts du Québec. Les renforcements du chasse-roue des spécimens de type 210 et du muret des spécimens de type 311 sont les mêmes que ceux de la phase I. Toutefois, le renforcement de la dalle des spécimens de type 210 et 311 de la phase II a été augmenté. Ce changement a été apporté afin d'éviter une rupture locale dans la dalle lors des essais d'impact. De plus, ces taux de renforcement de la dalle sont les mêmes que ceux utilisés lors des essais de 2001 et 2007 (El-Salakawy et coll. 2001; Benmokrane et coll. 2008) sur des spécimens semblables. La figure 2.5 présente le renforcement type des spécimens armés d'acier de type 210. Les figures 2.6 à 2.8 présentent les détails du renforcement des spécimens armés de PRFV et une vue des étriers en PRFV de type fermé (G1) et ouvert (G2). La figure 2.9 présente le renforcement des spécimens de type 311 armés d'acier. Finalement, les figures 2.10 et 2.11 présentent le renforcement des spécimens de type 311 armés de PRFV et une vue des barres courbes de PRFV.

À la demande de Sylvain Goulet (MTQ), les barres droites et courbes en PRFV proviennent de deux lots de fabrication distincts. Des essais de traction sur les barres droites en PRFV des deux lots de production ont été effectués selon les spécifications de la méthode B.2 de la norme ACI 440.3R.04 (ACI 2004). Les étriers en PRFV des deux lots de production ont été testés selon la méthode B.5 de la norme ACI 440.3R.04 (ACI 2004). Finalement, les barres en forme de L et J (type D1 et P1) en PRFV des deux lots de production ont été testés conformément aux essais effectués antérieurement à l'Université de Sherbrooke par Ahmed et coll. (2008). Les résultats des barres courbes en PRFV utilisées lors de ce projet sont présentés à l'annexe C.

Tableau 2.1: Matrice des essais

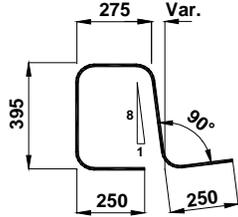
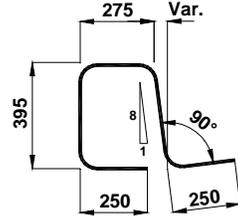
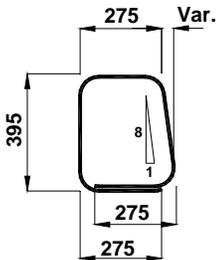
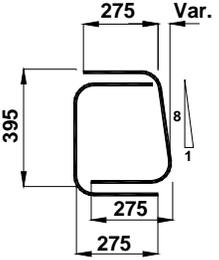
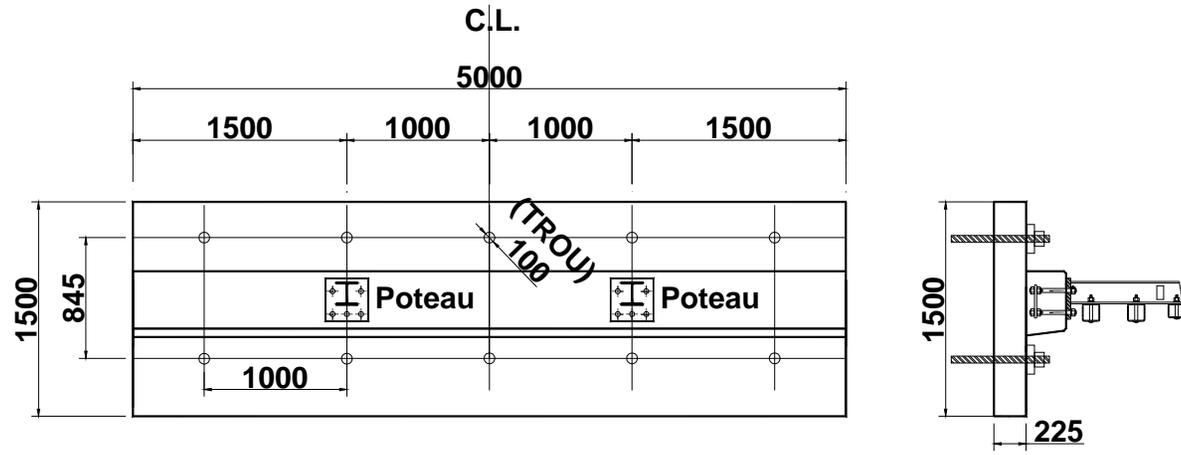
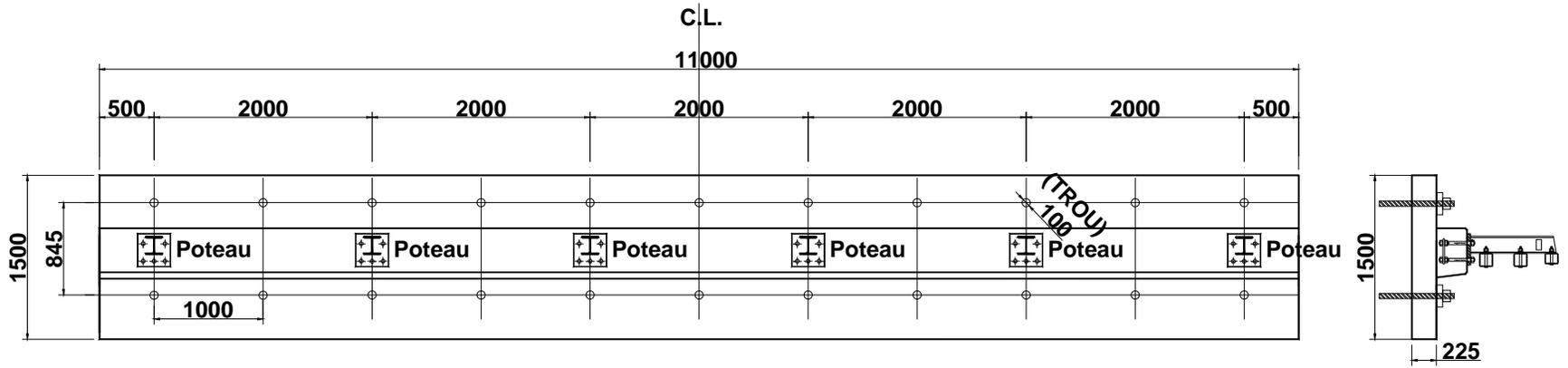
Spécimens		Configuration des étriers/barres courbes	Notes
210	210-Acier-5m-I	 <p style="text-align: center;">TYPE G1 ACIER 15M</p>	Trois spécimens identiques armés d'acier (dalle et chasse-roue) ont servi à déterminer la hauteur de chute optimale du pendule.
	210-Acier-5m-II		
	210-Acier-5m-II		
	210-Acier-11m-I	 <p style="text-align: center;">TYPE G1 ACIER 15M</p>	Deux spécimens identiques armés de barres d'acier (dalle et chasse-roue).
	210-Acier-11m-II		
	210-PRFV-11m-I	 <p style="text-align: center;">TYPE G1 PRFV No. 15</p>  <p style="text-align: center;">TYPE G2 PRFV No. 15</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deux spécimens identiques armés de barres en PRFV (dalle et chasse-roue). Le chasse-roue est armé d'étrier en PRFV de type G1 et G2. 2. La moitié de la longueur du chasse-roue est renforcée d'étrier en PRFV de type G1 (fermé) tandis que l'autre moitié est renforcée d'étrier en PRFV de type G2 (ouvert)
210- PRFV -11m-II			

Tableau 2.1 (suite): Matrice d'essai

Spécimens		Configuration des étriers/barres courbes	Notes
311	311-Acier-11m-I		
	311-Acier-11m-II		
	311- PRFV -11m-I		
	311- PRFV -11m-II		

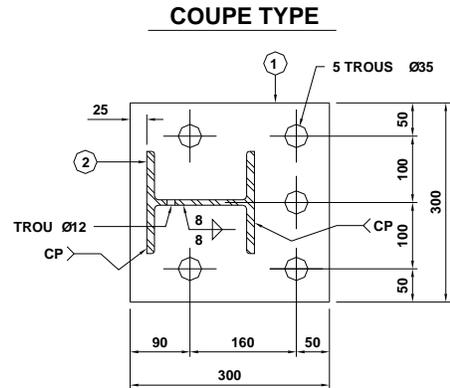
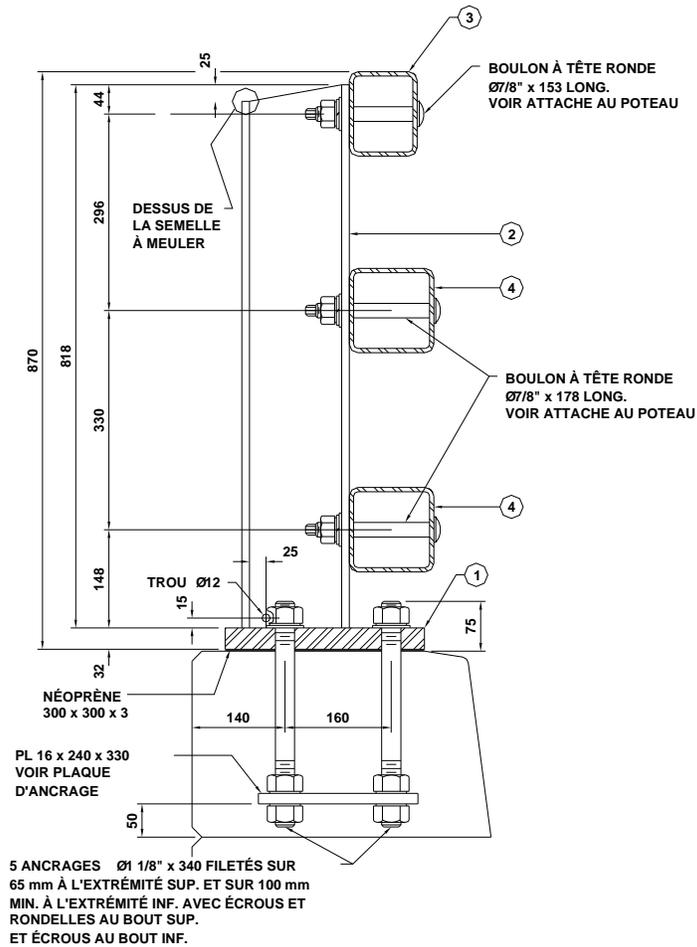


(a) Spécimen de 5 m de longueur

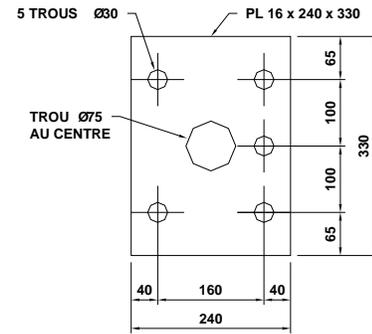


(a) Spécimen de 11 m de longueur

Figure 2.1: Dimensions des spécimens de type 210



PIÈCES ① ②



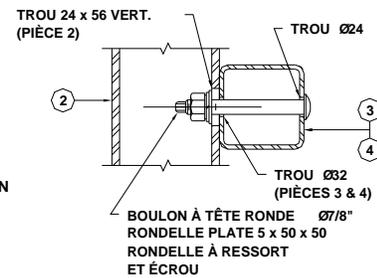
PLAQUE D'ANCRAGE

NOTES

- ACIER DE CONSTRUCTION : NORME CAN/CSA-G40.21M NUANCE 350W GALVANISÉ, PROFILÉ HSS NUANCE 350W CATÉGORIE H OU C GALVANISÉ, PLAQUES D'ANCRAGES NUANCE 300W.
- BOULONS À TÊTE RONDE : ASTM F1852 GALVANISÉ. (SERRAGE À BLOC).
- AUTRES BOULONS : ASTM-A307 GALVANISÉ.
- TIGES D'ANCRAGES : ASTM-A449 GALVANISÉ, OU ASTM-A434 GRADE BB OU BC GALVANISÉ. (F = 725 MPa).
- LES SOUDURES À PÉNÉTRATION COMPLÈTE DOIVENT ÊTRE VÉRIFIÉES À 100% PAR ULTRASON SUR 10% DES POTEAUX AVEC UN MINIMUM DE 2 POTEAUX.

NOMENCLATURE

- ① PLAQUE 32 x 300 x 300
- ② W150 x 37 x 818
- ③ HSS 127 x 102 x 6.4 x VAR.
- ④ HSS 127 x 127 x 6.4 x VAR.
- ⑤ PLAQUES SOUDÉES 10 x 85 x 110 x 700



ATTACHE AU POTEAU

Figure 2.2: Détails du garde-corps des spécimens de type 210

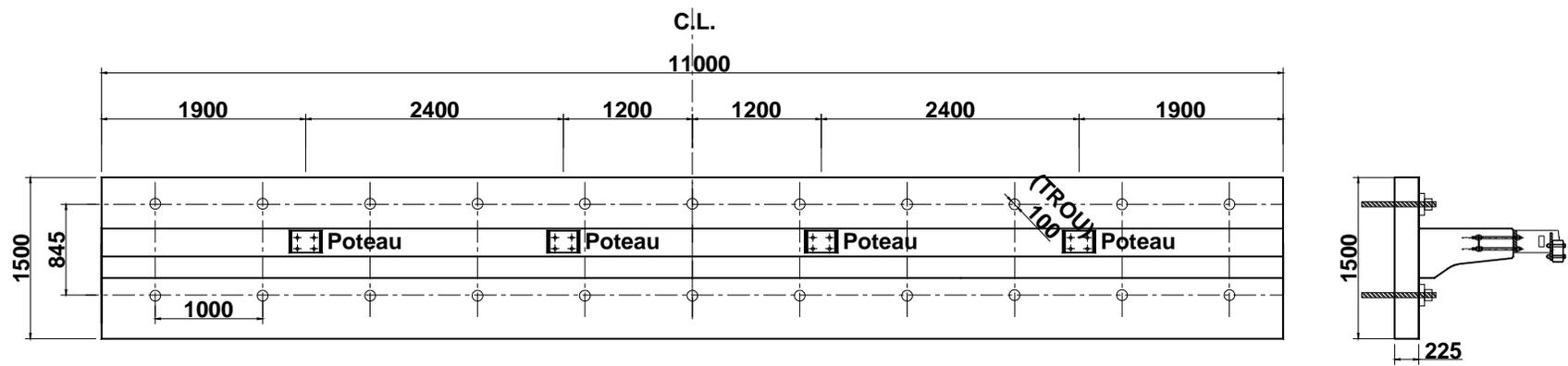


Figure 2.3: Dimensions des spécimens de type 311

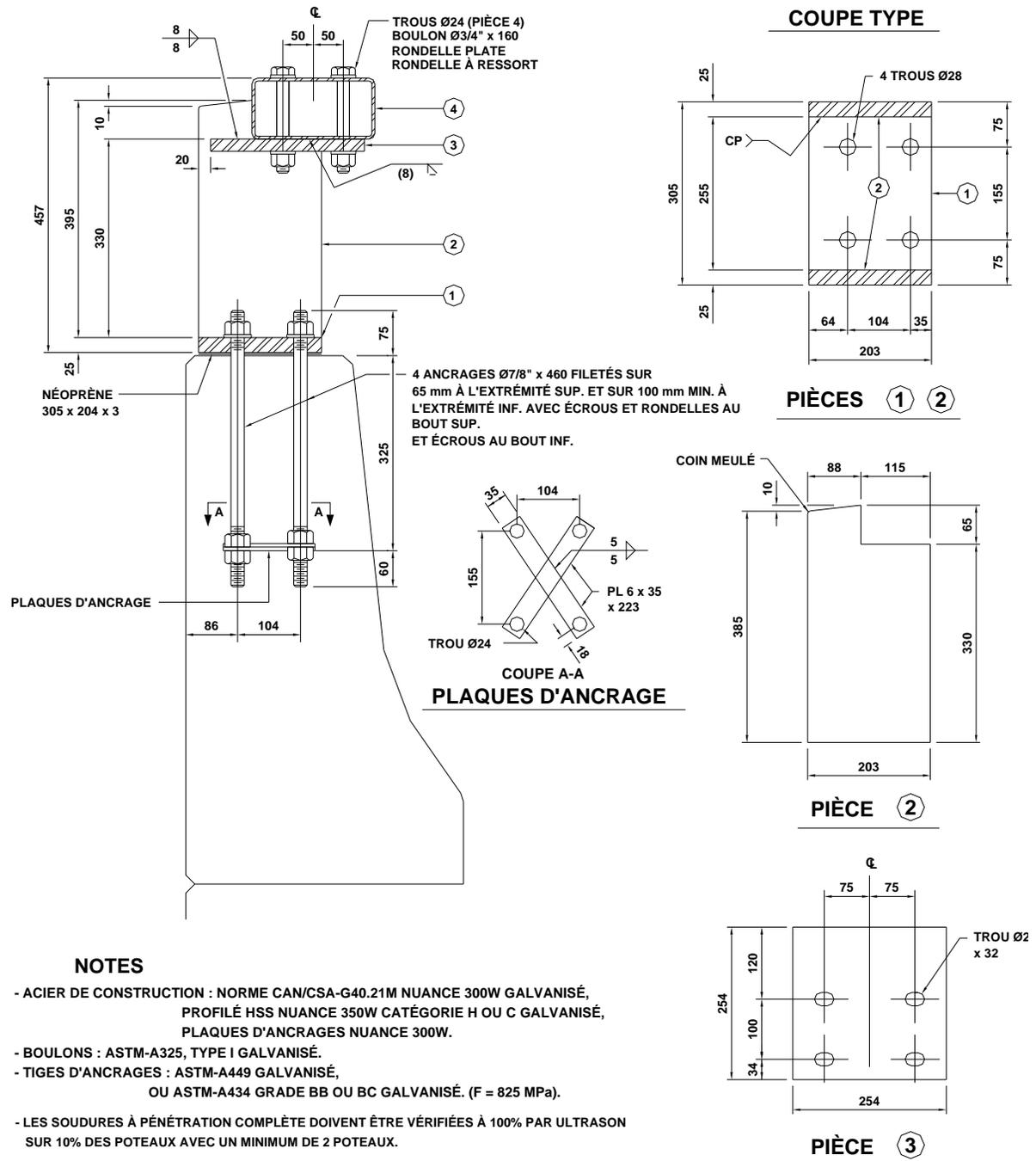


Figure 2.4: Détails du garde-corps des spécimens de type 311

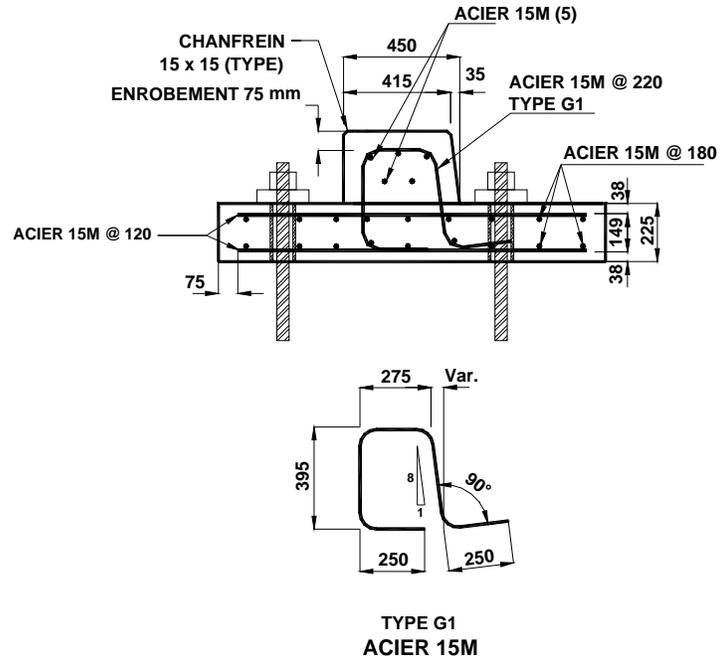


Figure 2.5: Renforcement type des spécimens de type 210 armés d'acier (210-Acier)

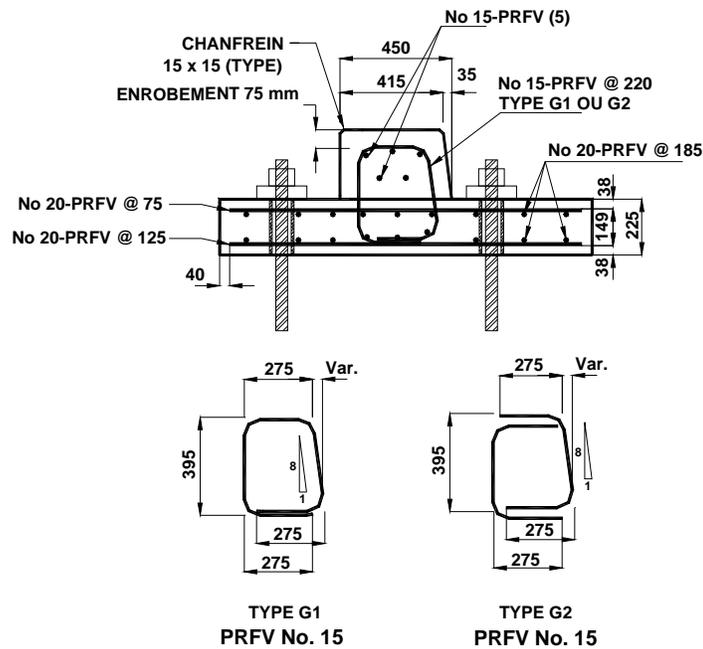


Figure 2.6: Renforcement type des spécimens de type 210 armés de PRFV (210-PRFV)



Figure 2.7: Étrier fermé en PRFV des spécimens de type 210 (type G1)

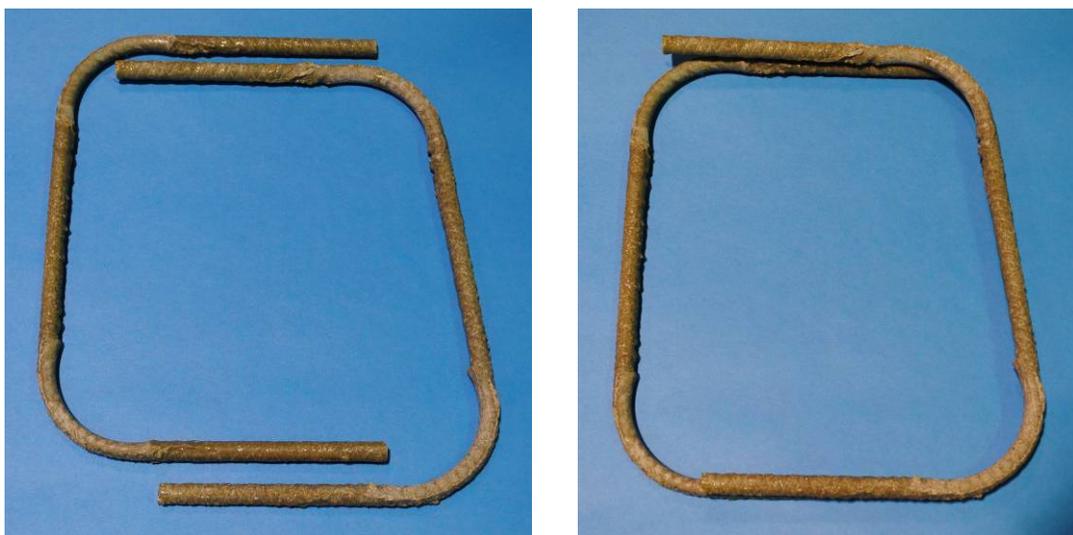


Figure 2.8: Étrier ouvert en PRFV des spécimens de type 210 (type G2)

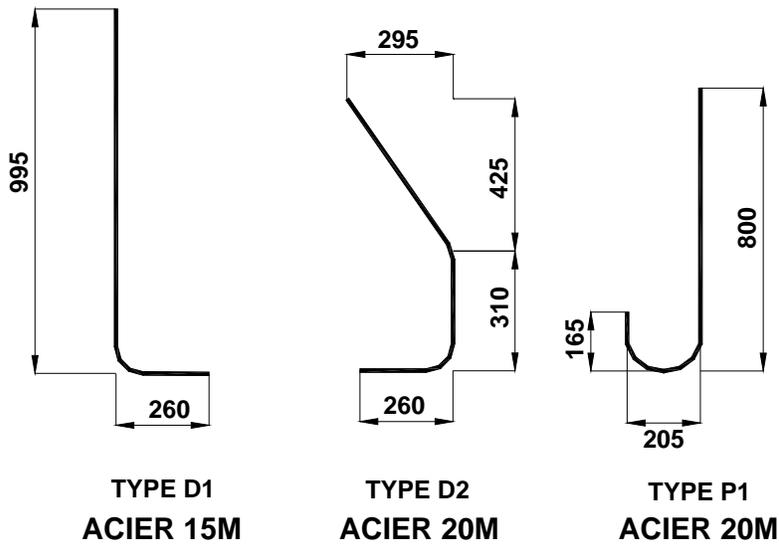
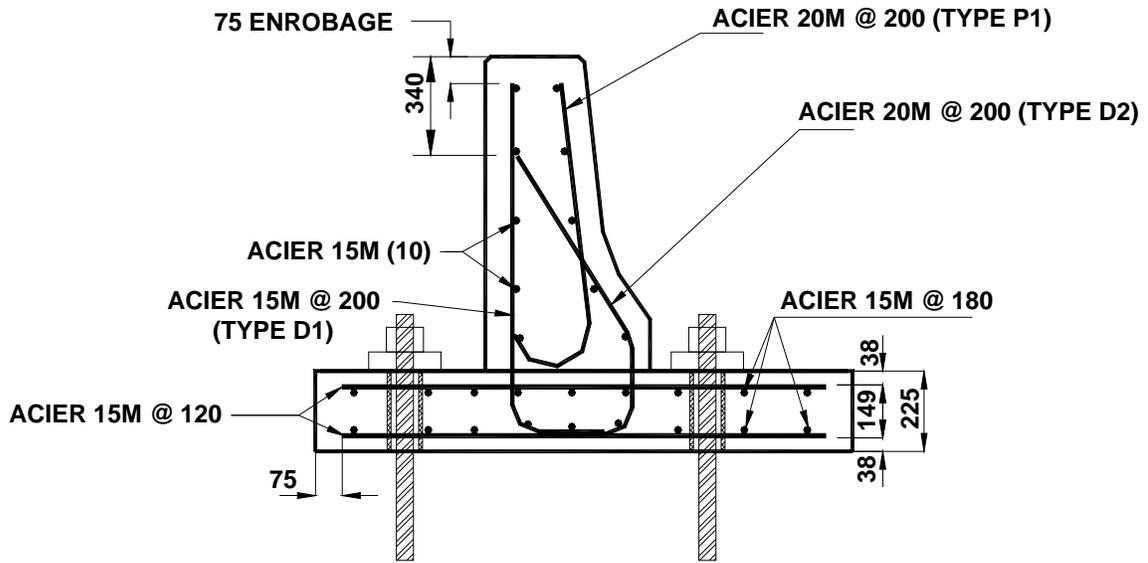


Figure 2.9: Renforcement type des spécimens de type 311 armés d'acier (311-Acier)

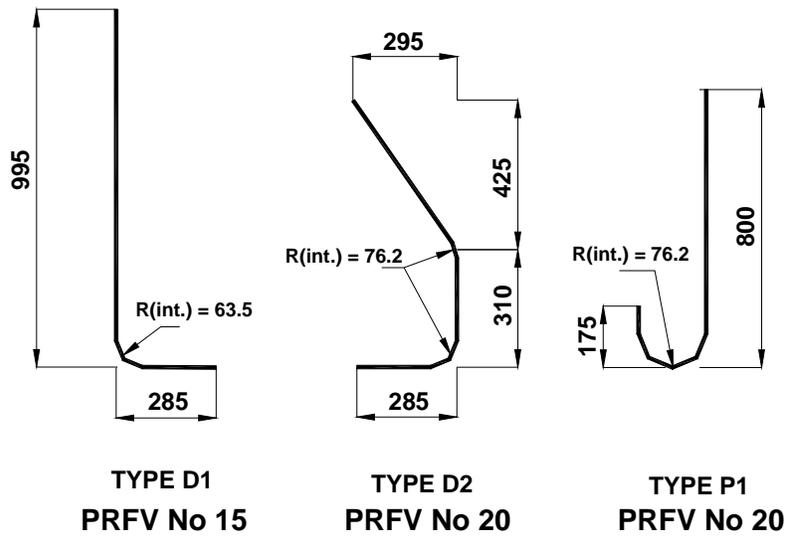
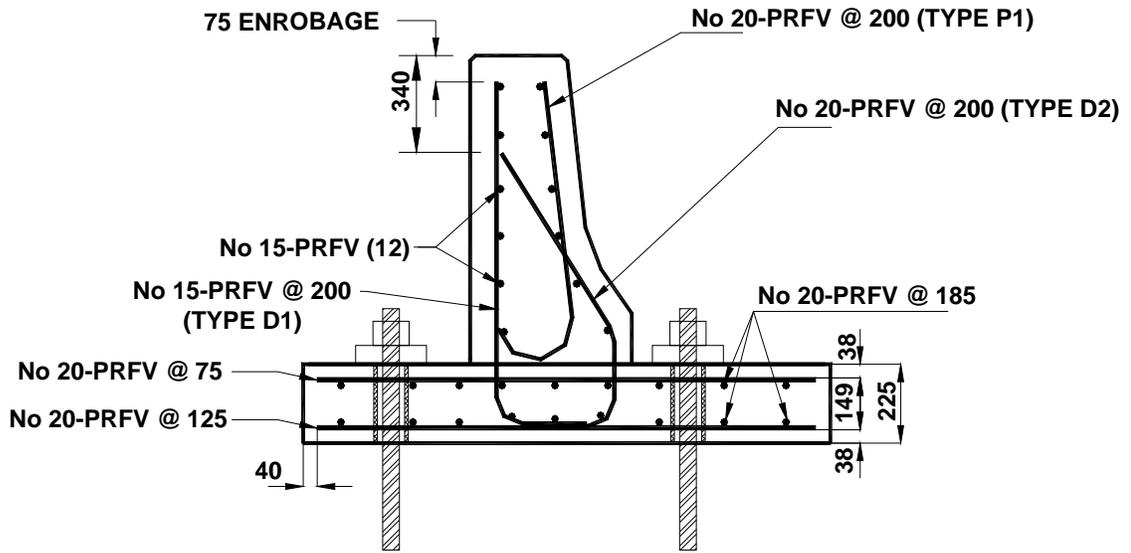
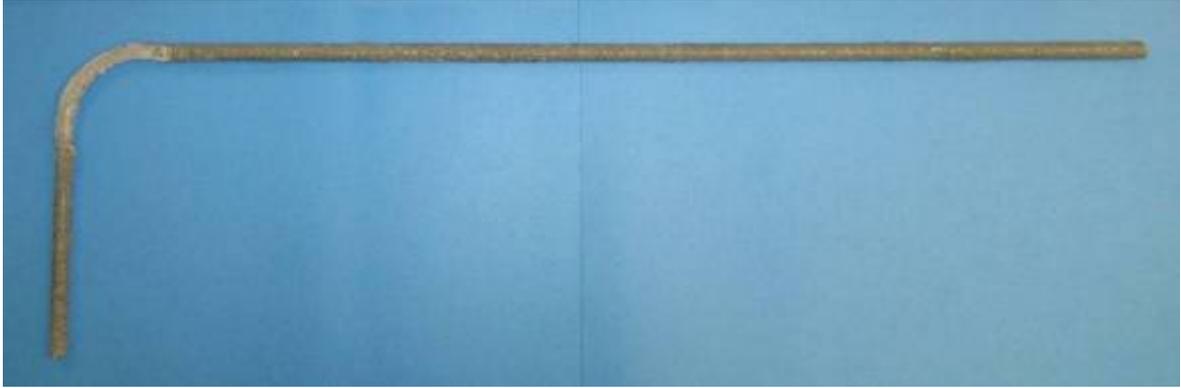


Figure 2.10: Renforcement type des spécimens de type 311 armés de PRFV (311-PRFV)



Type D1



Type D2



Type P1

Figure 2.11: Barres courbes en PRFV des spécimens de type 311

2.3 Fabrication des spécimens

Afin de fabriquer les spécimens, six coffrages ont été construits : deux pour les spécimens de type 210 de 5 m de longueur, deux pour les spécimens de type 210 de 11 m de longueur et deux pour les spécimens de type 311 de 11 m de longueur. En plus, un total de trois plates-formes de travail de 11,5 m de longueur a été préparé pour faciliter la fabrication des spécimens. Ainsi, deux ou trois spécimens étaient préparés et fabriqués en même temps. La fabrication des coffrages, des cages d'armature et la mise en place du béton ont été faites au centre de services du MTQ (Sherbrooke, Québec, Canada) par l'entreprise Les Coffrages Carmel inc. (Magog, Québec, Canada).

Chaque spécimen était coulé en deux étapes. La première étape incluait l'installation des armatures de la dalle et des étriers dans le cas des spécimens de type 210 et des barres de type D1 et D2 dans le cas des spécimens de type 311. Lors de cette étape, des tubes de PVC d'un diamètre de 100 mm étaient installés dans la dalle afin de créer des trous pour l'ancrage du spécimen au banc d'essai. Ensuite, la dalle du spécimen était coulée. Dans la deuxième étape, le coffrage du chasse-roue ou du muret du spécimen ainsi que l'installation des armatures dans celui-ci étaient complétés. Les plaques d'ancrage servant à l'installation des garde-corps étaient également installées lors de cette étape. Par la suite, le chasse-roue ou le muret du spécimen était coulé. Cette deuxième étape était complétée entre un et six jours après la première coulée de béton des spécimens. Les figures 2.12 à 2.25 présentent différentes étapes de construction des spécimens de type 210 et 311 armés de PRFV et d'acier.

Après chaque coulée de béton, le béton était muri pendant cinq jours. Une semaine après la fin de la fabrication des spécimens, ceux-ci étaient déplacés des plates-formes de travail à l'aide d'une grue tel qu'illustré à la figure 2.26. Cette étape permettait de libérer les plates-formes de travail afin de fabriquer une autre série de spécimens. Les spécimens de type 210 et 311 étaient placés sur des supports de bois afin de prévenir des fissures locales qui pourraient survenir sous le poids propre des spécimens (figure 2.27).

Tous les spécimens ont été fabriqués avec du béton prêt à l'emploi de densité normale avec une résistance en compression spécifiée de 35 MPa (béton MTQ Type V). Le mélange de béton est présenté au tableau 2.2. Six cylindres de béton témoins étaient fabriqués pour chaque coulée de béton. Les cylindres de béton témoins étaient testés le même jour où les spécimens de type 210 et 311 étaient testés. Le tableau 2.3 présente la résistance en compression du béton des spécimens de type 210 et 311 ainsi que les dates de fabrication ce ceux-ci.

Tableau 2.2: Mélange d'un mètre cube de béton (1 m³)

Ingrédients		Quantité	
		(kg)	(L)
Agrégat 2 (Graymont - 20 mm)		327	120,415
Agrégat 3 (Graymont 2 - 20 mm)		337	124,178
Agrégat 2 (Graymont - 10 mm)		350	131,704
Agrégat 1 (Sable DJL #2)		785	296,338
Ciment - GUb-SF (HSF)		365	120,462
Eau		160	160,000
Additifs	Eucon 727	30 ml/100 kg	0,110
	Air - Extra	125 ml/100 kg	0,456
	Eucon Dx	200 ml/100 kg	0,730



Figure 2.12: Plate-forme de travail pour la fabrication des spécimens



Figure 2.13: Cage d'armature des spécimens 210-Acier-5m



Figure 2.14: Cage d'armature des spécimens 210-Acier-11m



Figure 2.15: Cage d'armature des spécimens 210-PRFV-11m



Figure 2.16: Coulée de béton des dalles des spécimens 210-Acier



Figure 2.15 (suite): Coulée de béton des dalles des spécimens 210-Acier



Figure 2.17: Coulée de béton des dalles des spécimens 210-PRFV



Figure 2.18: Préparation du chasse-roue des spécimens de type 210 pour une coulée de béton



Figure 2.19: Coulée de béton du chasse-roue des spécimens de type 210



Figure 2.19 (suite): Coulée de béton du chasse-roue des spécimens de type 210



Figure 2.20: Spécimens de type 210 après la coulée de béton



Figure 2.21: Coulée de béton de la dalle des spécimens 311-PRFV



Figure 2.22: Préparation du muret des spécimens 311-PRFV



Figure 2.23: Préparation du muret des spécimens de type 311



Figure 2.24: Coulée de béton des murets des spécimens de type 311



Figure 2.25: Spécimens de type 311 après la coulée de béton



Figure 2.26: Déplacement d'un spécimen de la plate-forme de travail



Figure 2.27: Entreposage des spécimens de type 210 et 311

Tableau 2.3: Date de coulée et résistance en compression du béton des spécimens de type 210 et 311

Spécimen		Date de coulée	Résistance en compression (MPa)
210-Acier-5m-I	Dalle	25 mai 2010	Entre 28,8 et 38,2 MPa. Moyenne = 33,4 MPa Écart type = 4,4 MPa
	Chasse-roue	27 mai 2010	
210- Acier -5m-II	Dalle	25 mai 2010	
	Chasse-roue	27 mai 2010	
210- Acier -5m-III	Dalle	2 juin 2010	
	Chasse-roue	8 juin 2010	
210- Acier -11m-I	Dalle	2 juin 2010	
	Chasse-roue	8 juin 2010	
210- Acier -11m-II	Dalle	2 juin 2010	
	Chasse-roue	8 juin 2010	
210-PRFV-11m-I	Dalle	18 juin 2010	
	Chasse-roue	21 juin 2010	
210- PRFV -11m-II	Dalle	30 juin 2010	
	Chasse-roue	1 ^{er} juillet 2010	
311- Acier -11m-I	Dalle	18 juin 2010	
	Muret	21 juin 2010	
311- Acier -11m-II	Dalle	30 juin 2010	
	Muret	1 ^{er} juillet 2010	
311- PRFV -11m-I	Dalle	18 juin 2010	
	Muret	21 juin 2010	
311- PRFV -11m-II	Dalle	30 juin 2010	
	Muret	1 ^{er} juillet 2010	

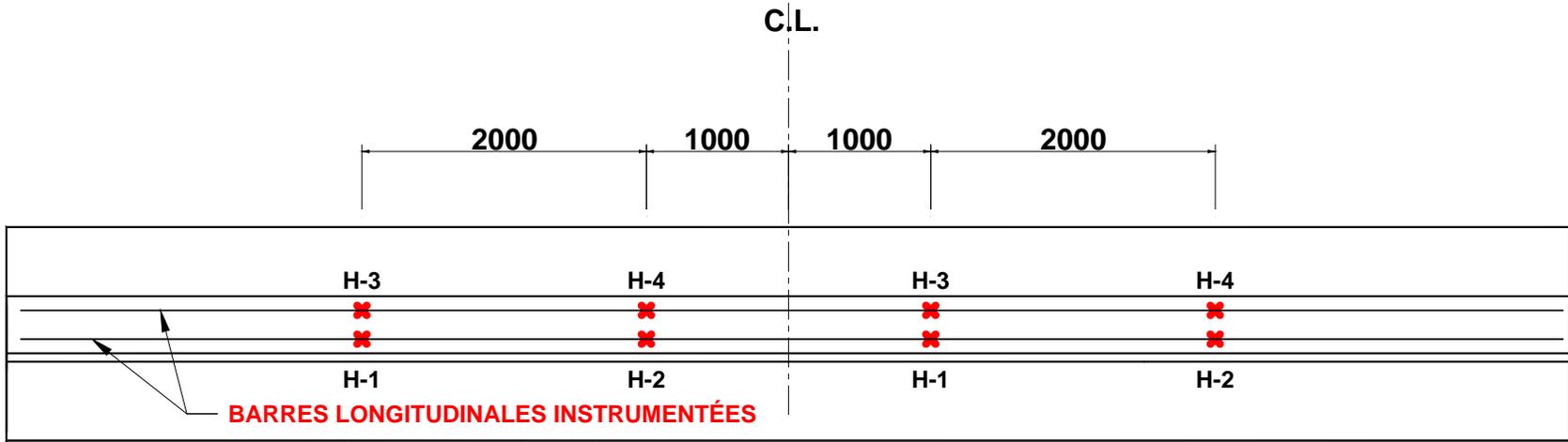
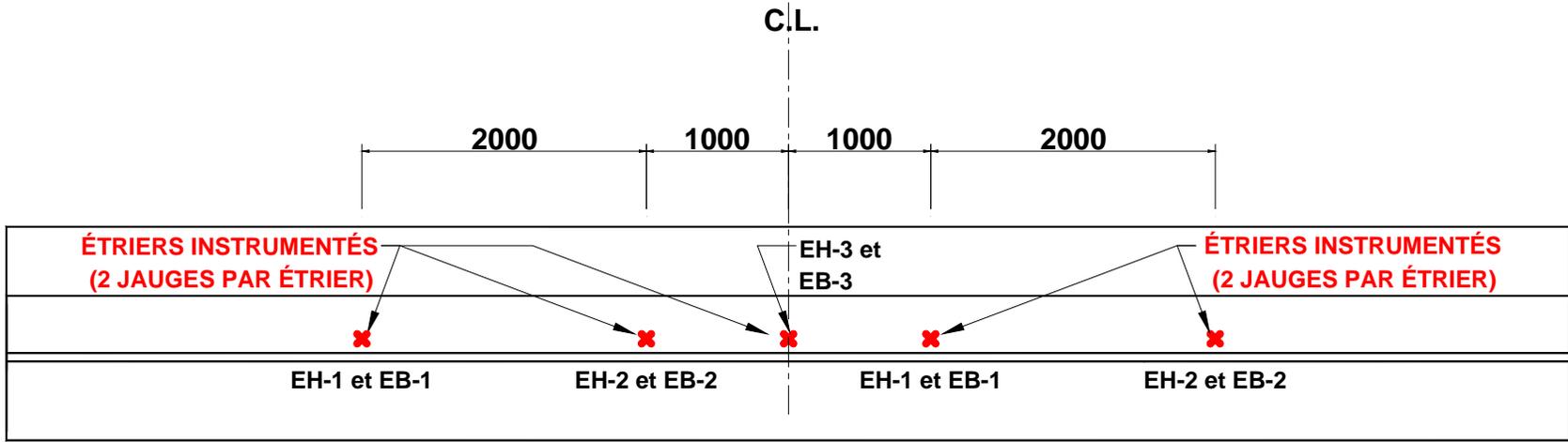
2.4 Instrumentation

Chacun des spécimens de type 210 et 311 était instrumenté avec des jauges de déformation à résistance électrique afin de mesurer les déformations dans les armatures à certains points clefs. Les spécimens de type 210 de 11 m de longueur étaient instrumentés avec 16 jauges à résistance électrique de type KFG-10-120-C1-11L3M3R installées sur les étriers et les barres longitudinales du chasse-roue. Ces jauges étaient positionnées dans une section au centre des poteaux du garde-corps. Chaque spécimen de type 210 de 5 m de longueur était instrumenté avec huit jauges de déformation à résistance électrique de type KFG-10-120-C1-11L3M3R installées sur les étriers et barres longitudinales du chasse-roue. En ce qui concerne les spécimens de type 311, ceux-ci étaient instrumentés avec 13 jauges à résistance électrique de type KFG-10-120-C1-11L3M3R installées sur les barres courbes et les barres longitudinales du muret.

Les jauges de déformation des spécimens de type 210 de 11 m de longueur étaient localisées à quatre sections différentes. Celles-ci étaient situées sous les poteaux des garde-corps. Un étrier (type G1 ou G2) dans chaque section était instrumenté avec deux jauges de déformation sur la face en tension de l'étrier. En plus, deux barres longitudinales aux coins supérieurs des étriers étaient instrumentées avec huit jauges (4 jauges par barre) installées au différentes sections (situé sous un poteau). La configuration de l'instrumentation a été conçue afin d'effectuer deux essais sur chaque spécimen si requis. Une disposition de l'instrumentation similaire a été faite pour les spécimens de type 210 de 5 m de longueur. À l'exception que seulement deux sections sous les poteaux ont été instrumentées. En ce qui concerne les spécimens de type 311, les jauges de déformation ont été installées sur les barres courbes situées au centre du spécimen à trois sections différentes. À chaque section, les jauges ont été collées sur les barres courbes de type D1, D2 et P1 avec un total de trois jauges. Les deux barres longitudinales instrumentées étaient situées dans le muret sur la face avant et arrière du spécimen. Les deux barres longitudinales étaient instrumentées sur deux sections au centre du spécimen. Les figures 2.28 à 2.30 ainsi que les figures 2.31 et 2.32 présentent la position des jauges de déformation respectivement pour les spécimens de type 210 et 311. Les figures 2.33 à 2.35 présentent des photos des jauges de déformation à résistance électrique installées sur des barres (acier et PRFV) avant la coulée de béton.

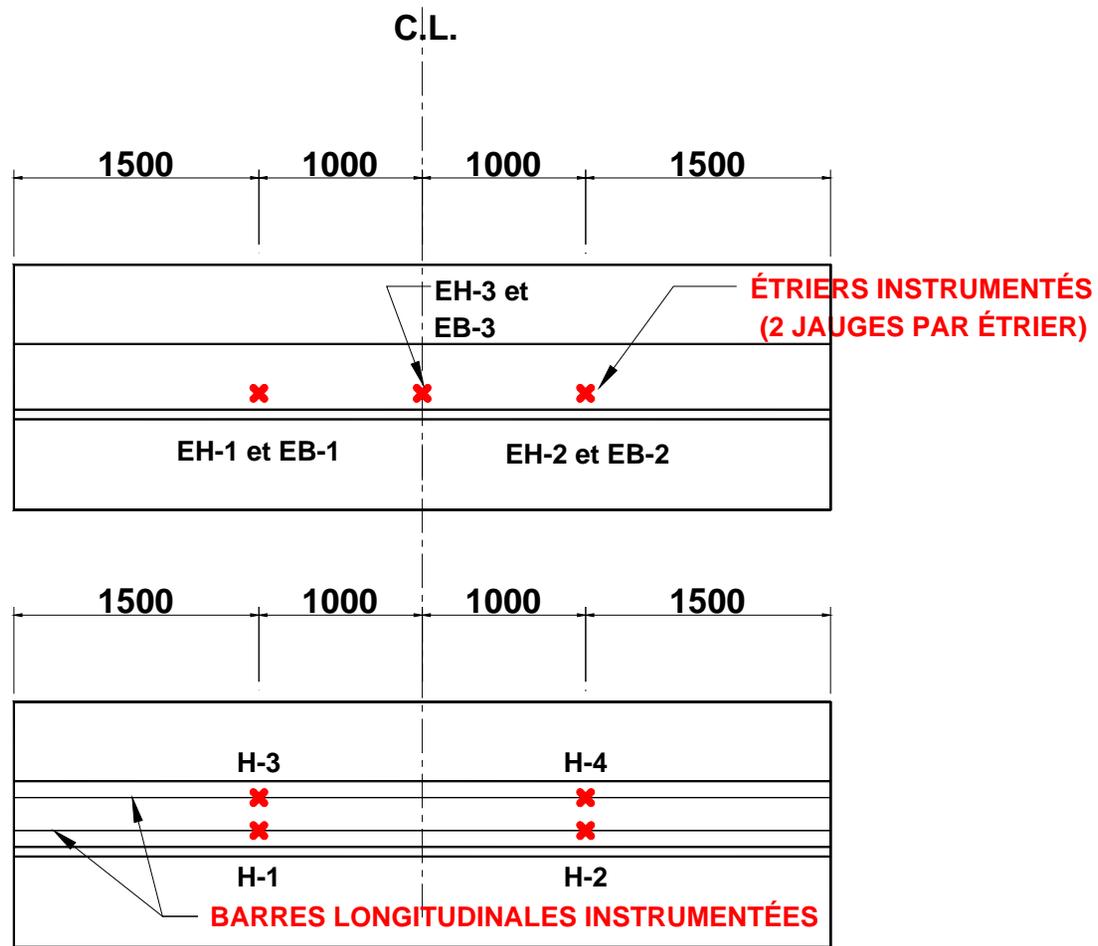
En plus des jauges de déformation installées sur les armatures des spécimens de type 210 et 311, un accéléromètre était installé sur les spécimens de type 311. L'accéléromètre était installé sur la face arrière du muret (face en compression) directement derrière le point d'impact. Cet appareil permet de mesurer l'accélération maximale durant l'essai et la durée de l'essai. Toutefois, afin de ne pas briser l'accéléromètre, ce dernier n'a pas été utilisé lors des essais des spécimens de type 210.

La largeur des fissures sur le chasse-roue des spécimens de type 210 était mesurée et marquée après chaque essai d'impact. Tout comme les spécimens de type 210, la largeur des fissures sur le muret des spécimens de type 311 était mesurée et marquée. Un système d'acquisition de donnée à haute vitesse (10 000 lectures/s) fourni par le Ministère des Transports du Québec a été utilisé pour recueillir et enregistrer les données de l'accéléromètre et des jauges (figure 2.36).



(a) Spécimens de 11 m de longueur

Figure 2.29: Disposition des jauges de déformation des spécimens 210-Acier



(b) Spécimens de 5 m de longueur

Figure 2.29 (suite): Disposition des jauges de déformation des spécimens 210-Acier

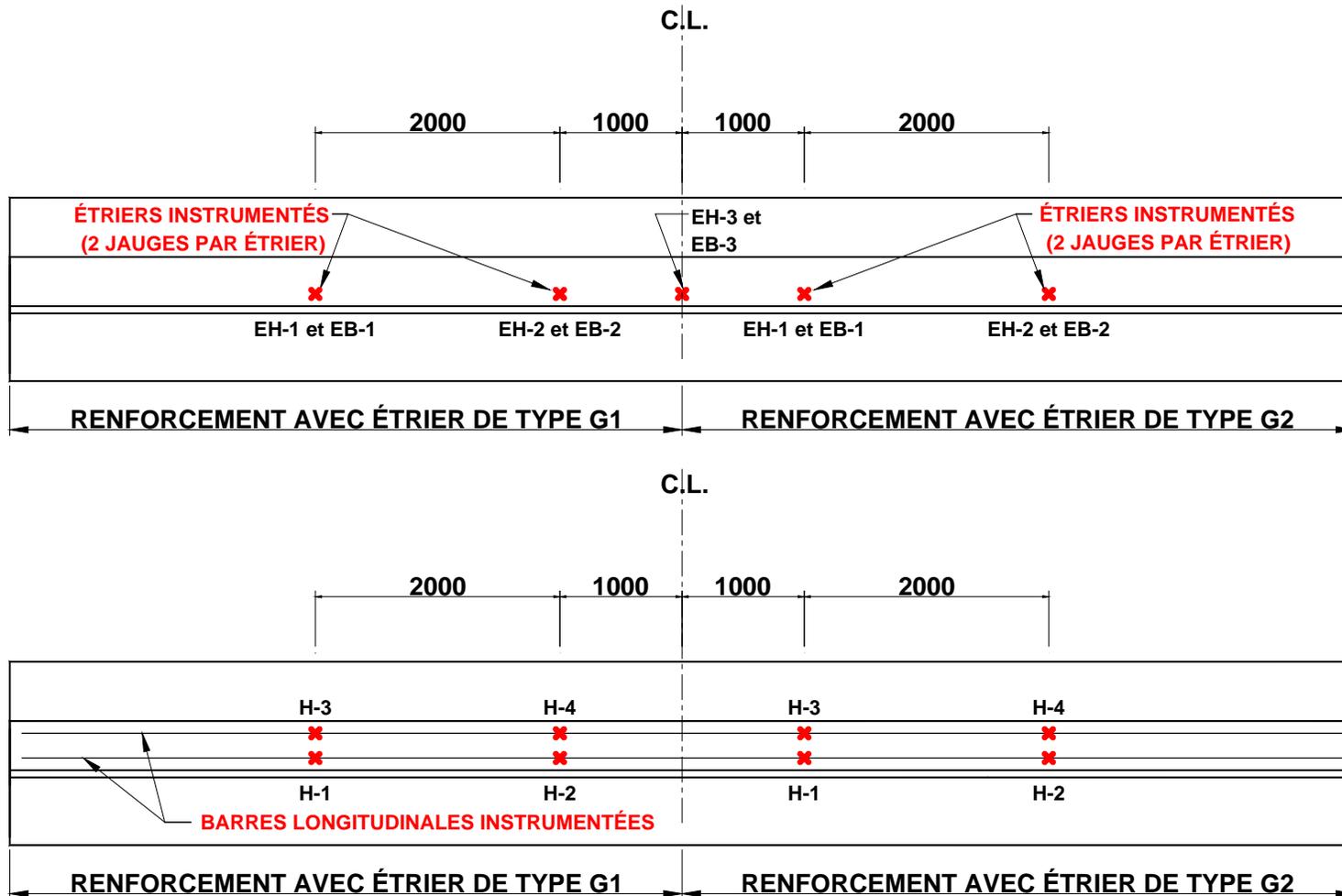


Figure 2.30: Disposition des jauges de déformation des spécimens 210-PRFV

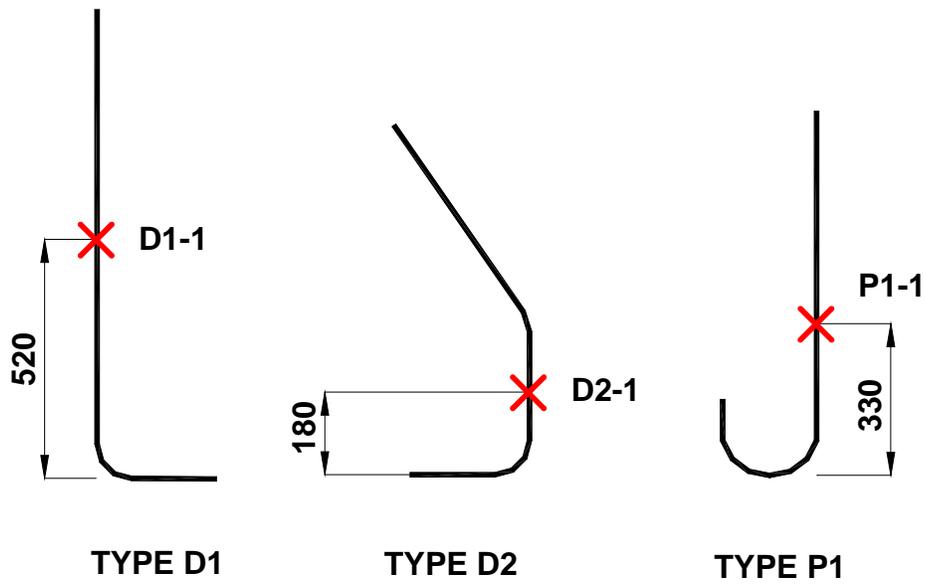
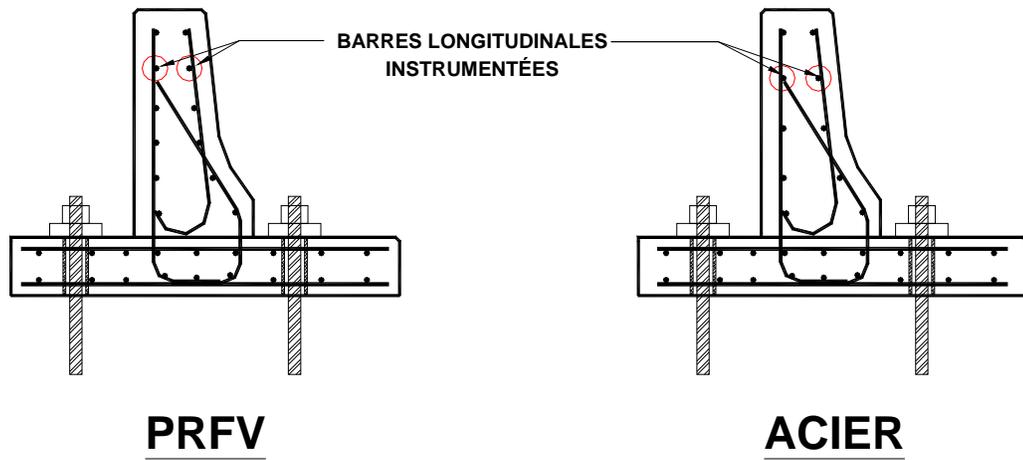


Figure 2.31: Position des jauges de déformation installées sur les barres courbes des spécimens de type 311

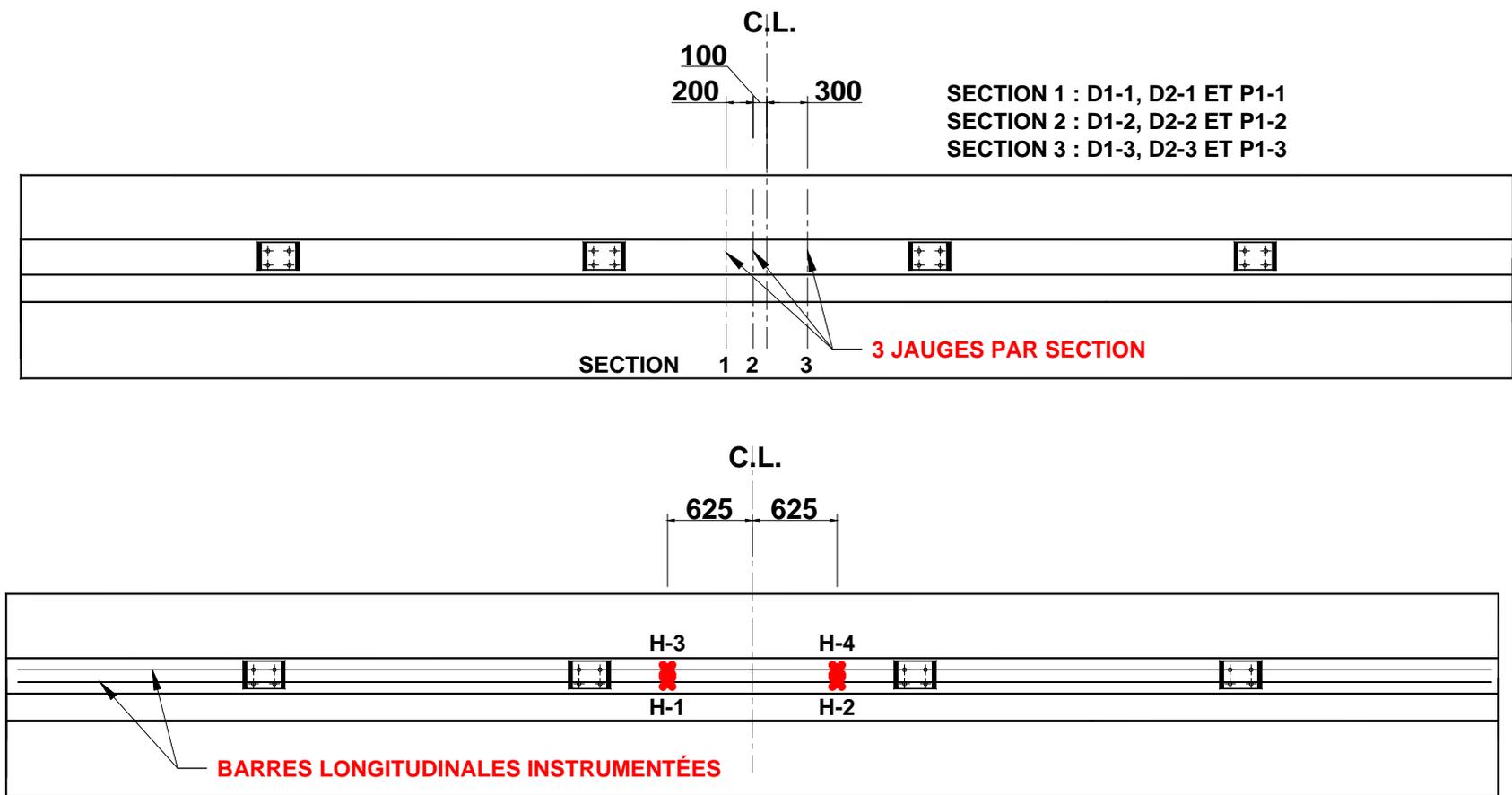


Figure 2.32: Disposition des jauges de déformation des spécimens de type 311



Figure 2.33: Étrier instrumenté d'un spécimen de type 210 armé de PRFV



Figure 2.34: Barres courbes instrumentées d'un spécimen de type 311 armé de PRFV



Figure 2.35: Barres courbes instrumentées d'un spécimen de type 311 armé d'acier



Figure 2.36: Système d'acquisition de donnée du MTQ

2.5 Montage d'essai et procédure

Le montage d'essai et la procédure utilisés sont similaires aux essais effectués en 2001 et 2007 (El-Salakawy et coll. 2001; Benmokrane et coll. 2008). Des modifications ont été apportées afin de tenir en compte de la présence des garde-corps des glissières de type 210 et 311. La figure 2.37 illustre un schéma des essais d'impact. La figure 2.38 présente la position du point d'impact ainsi que le détail du banc d'essai. Le même banc d'essai (12,0 m de longueur, 2,0 m de largeur et 1,0 m de profondeur) utilisé en 2001 et 2007 a été utilisé lors du présent projet. 24 barres Dywidag (36 mm de diamètre) aboutées ont servi à ancrer les spécimens au banc d'essai. Les spécimens de type 210 et 311 étaient installés sur le banc d'essai utilisant une grue mobile de 50 tonnes. La grue levait les spécimens par quatre crochets qui avaient été positionnés afin qu'il n'ait pas de fissuration lors de la manipulation des spécimens. La position du spécimen était ajustée en alignant les trous de la dalle des spécimens avec les barres Dywidag du banc d'essai. La figure 2.39 présente l'installation d'un spécimen sur le banc d'essai. Ensuite, le spécimen était ancré au banc d'essai en serrant les écrous tels qu'illustré à la figure 2.40. Des plaques d'acier carrées (200 × 200 mm) de 45 mm d'épaisseur ont été utilisées comme plaque d'appui entre les écrous et la dalle du spécimen.

Une plaque d'acier de 50 mm d'épaisseur a été utilisée pour distribuer la charge d'impact et pour prévenir toutes ruptures prématurées des spécimens. Dans le cas des spécimens de type 210, la plaque d'acier était placée au dessus du chasse-roue et maintenue en place utilisant des chaînes et des courroies. Les figures 2.41 et 2.42 illustrent l'ancrage des spécimens de type 210 au banc d'essai ainsi que la plaque d'acier fixée au garde-corps. Dans le cas des spécimens de type 311, des pièces de bois ont été utilisées entre la plaque d'acier et le muret de béton afin d'assurer un contact parfait entre ceux-ci. Cette méthode permettait de transférer de façon uniforme et efficace la charge d'impact du pendule au spécimen. La plaque d'acier était maintenue en place grâce à une chaîne et deux courroies. La figure 2.43 montre les pièces de bois utilisées pour les essais des spécimens de type 311. La figure 2.44 illustre la plaque d'acier fixée au spécimen ainsi qu'une vue du spécimen ancré au banc d'essai.

Les détails du montage tout comme le détail des pièces de bois utilisées durant les essais des spécimens de type 311 ont été déterminés durant la réunion du 27 juillet 2010 avec Sylvain Goulet au centre de services du MTQ, Sherbrooke, Québec.

Les essais d'impact par pendule ont été effectués utilisant une boule de démolition en forme de poire ayant une masse de 1.746 tonnes (3850 lb). La boule d'acier était suspendue au bout du mât d'une seconde grue mobile d'une capacité de 80 tonnes. La hauteur du mât était d'environ 38 m au-dessus du spécimen. Lorsque la boule de démolition était relâchée, celle-ci frappait le spécimen en son centre à une hauteur de 0,75 m et 0,90 m au dessus de la dalle du spécimen respectivement pour les spécimens de type 210 et 311. La boule d'acier était tirée latéralement vers la grue à la hauteur désirée utilisant le treuil de la grue. De plus, un système de déclenchement sans friction a été utilisé pour le relâchement de la boule de démolition. La figure 2.45 illustre le système de déclenchement utilisé. Le mât, le câble supportant la boule d'acier ainsi que le câble retenant celle-ci en position étaient alignés et perpendiculaires à la face des spécimens. La hauteur de la boule de démolition était établie avec un appareil d'arpentage. La différence de hauteur entre la boule de démolition avant le déclenchement de l'essai et le point d'impact sur le spécimen pouvait ainsi être mesurée de façon précise. La hauteur de chute était d'environ 2,42 m et 3,07 respectivement pour les spécimens de type 210 et 311. La figure 2.46 illustre l'ajustement de la hauteur d'impact ainsi que la vérification de la hauteur de chute avant l'essai. Finalement, la figure 3.47 illustre une vue générale du montage d'essai. Les essais d'impact ont été effectués le 10 et 11 août 2010.

Lors des essais des spécimens de type 210 et 311, la boule d'acier était hissée à la hauteur désirée avant d'être relâchée sur le spécimen. Sur certains spécimens, un second essai a été répété utilisant une même hauteur de chute ou une différente. Après chaque essai, les fissures sur la face avant et arrière étaient mesurées et marquées. Le tableau 2.4 résume les essais réalisés sur chaque spécimen de type 210 et 311.

Tableau 2.4: Détails des essais d'impact des spécimens de type 210 et 311

Spécimen	Nombre d'essais effectués	Emplacement	Hauteur de chute
210-Acier-5m-I	2	Milieu	3,0 m (Répété à 2,06 m)
210- Acier-5m-II	1	Milieu	3,0 m
210- Acier-5m-III	2	Milieu	2,0 m (Répété à 2,42 m)
210- Acier-11m-I	1	Côté droit	2,42 m
210- Acier-11m-II	1	Côté droit	3,0 m
210-PRFV-11m-I	3	Côté: Étrier fermé (G1)	2,42 m
		Côté: Étrier ouvert (G2)	3,0 m (Répété à 2,06 m)
210- PRFV-11m-II	2	Côté: Étrier fermé (G1)	2,47 m
		Côté: Étrier ouvert (G2)	2,42 m
311- Acier-11m-I	2	Côté droit; Milieu	3,07 m
311- Acier-11m-II	1	Milieu	3,07 m
311- PRFV-11m-I	1	Milieu	3,07 m
311- PRFV-11m-II	1	Milieu	3,07 m

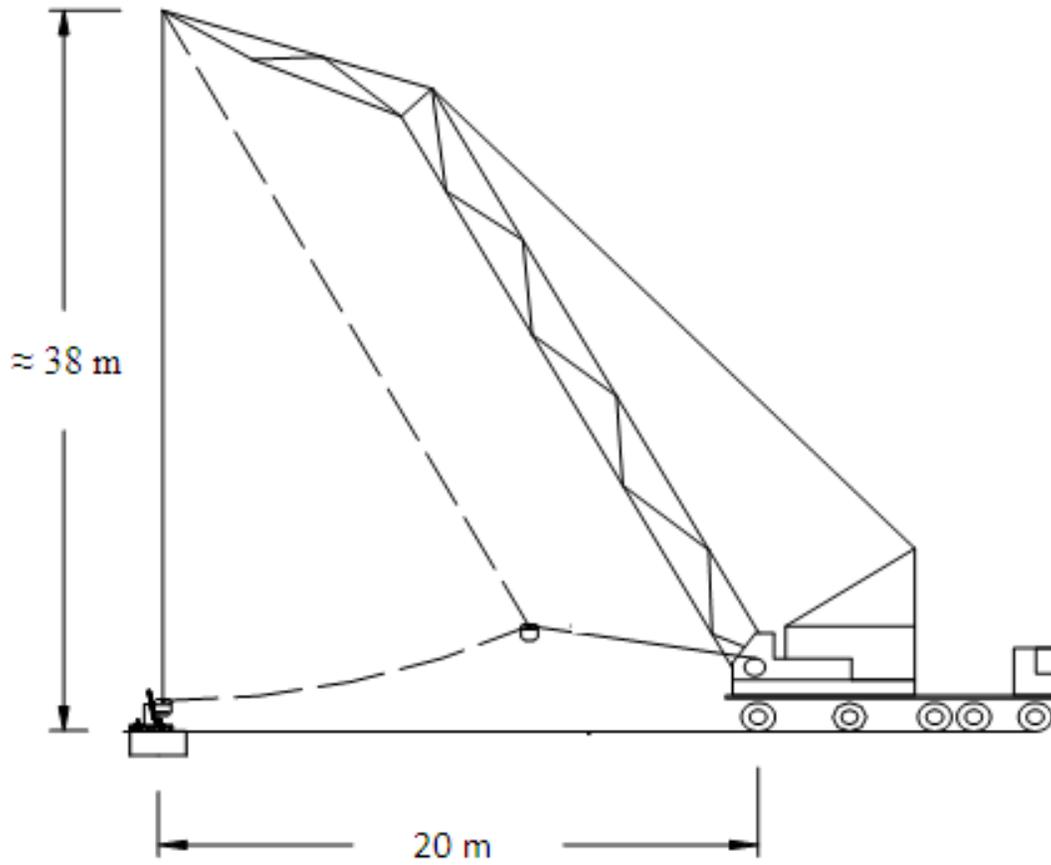


Figure 2.37: Schéma des essais d'impact par pendule

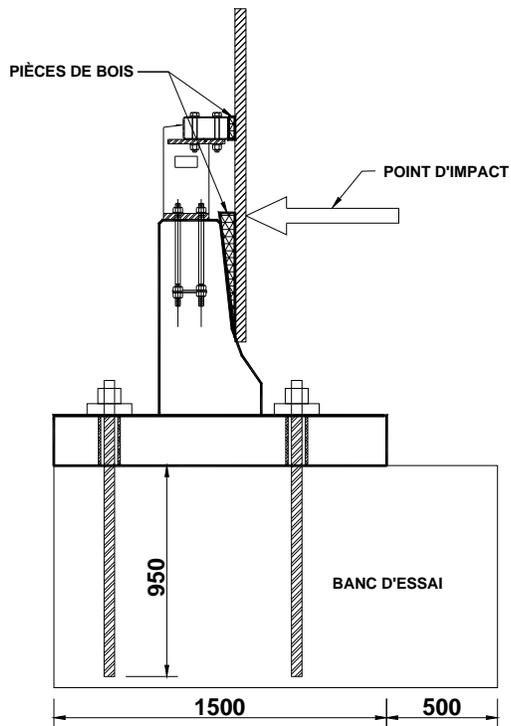
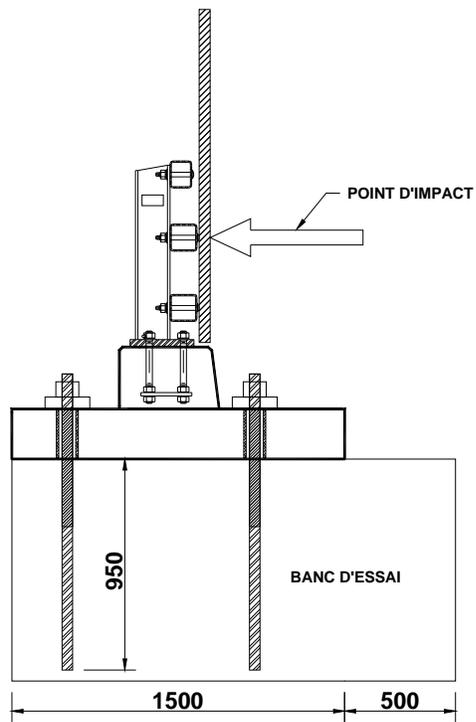


Figure 2.38: Position du point d'impact et détails du banc d'essai



Figure 2.39: Installation des spécimens sur le banc d'essai



Figure 2.40: Ancrage du spécimen au banc d'essai



Figure 2.41: Spécimen de type 210 ancré au banc d'essai



Figure 2.42: Plaque d'acier fixée à un spécimen de type 210



Figure 2.42 (suite): Plaque d'acier fixée à un spécimen de type 210



Figure 2.43: Pièces de bois distribuant uniformément la charge d'impact de la plaque d'acier au spécimen de type 311



Figure 2.44: Plaque d'acier fixée et ancrage du spécimen 311 au banc d'essai



Figure 2.44 (suite): Plaque d'acier fixée et ancrage du spécimen 311 au banc d'essai



Figure 2.45: Détails du système de poulie utilisé pour retenir et relâcher la boule d'acier



Figure 2.46: Ajustement de la hauteur de chute de la boule d'acier



Figure 2.46 (suite): Ajustement de la hauteur de chute de la boule d'acier



Figure 2.46 (suite): Ajustement de la hauteur de chute de la boule d'acier



Figure 2.47: Vue générale des essais dynamiques par pendule

Chapitre 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Introduction

Cette section présente les résultats des essais sous charge d'impact par pendule des spécimens de type 210 et 311 de la phase II de ce projet de recherche. Les résultats comprennent le comportement à la fissuration et les déformations dans les armatures dues aux essais d'impact. De plus, les lectures de l'accéléromètre sont présentées et ce uniquement pour les spécimens de type 311 puisque l'accéléromètre n'a pas été utilisé lors des essais des spécimens de type 210.

3.1.1 Résumé des essais d'impact

Une hauteur de chute de 3,00 m a initialement été choisie pour les essais des spécimens de type 210. Cette hauteur était suffisante pour produire des dommages perceptibles (fissures) sur les deux premiers spécimens de 5 m de longueur (210-Acier-5m-I et 210-Acier-5m-II). Toutefois, cette hauteur de chute était relativement trop élevée pour les spécimens renforcés de PRFV qui étaient renforcés avec le même nombre d'armatures que les spécimens renforcés d'acier. Conséquemment, le troisième spécimen de 5 m de longueur (210-Acier-5m-III) a été testé avec une hauteur de chute de 2,00 m qui s'est avérée insuffisante. Ainsi donc, un deuxième essai d'impact a été réalisé sur ce même spécimen (210-Acier-5m-III) à une hauteur de chute de 2,42 m. Par la suite, cette hauteur a été conservée pour les spécimens armés d'acier et de PRFV de 11,0 m de longueur restants. En ce qui concerne les spécimens de type 311, la hauteur de chute initiale a été fixée à 3,07 m. Un premier essai a été réalisé sur le côté extérieur du spécimen 311-Acier-11m-I et suivi d'un second au centre du spécimen. Suite à ces essais, il a été convenu de garder cette hauteur de chute pour les spécimens de type 311 restants. Le tableau 3.1 résume les essais d'impact effectués lors de la présente phase (phase II) du projet de recherche. Ce tableau inclut la hauteur de chute de la boule de démolition ainsi que la date de l'essai de chaque spécimen.

Tableau 3.1: Résumé des essais d'impact effectués sur les glissières de type 210 et 311

Spécimen	Hauteur de chute (m)		Date d'essai
	1 ^{er} essai	2 ^e essai	
210-Acier-5m-I	3,00	2,06	10 août 2010
210-Acier-5m-II	3,00	---	10 août 2010
210-Acier-5m-III	2,00	2,42	10 août 2010
210-Acier-11m-I	2,42	---	11 août 2010
210-Acier-11m-II	3,00	---	10 août 2010
210-PRFV-11m-I-G1 (Côté étrier fermé)	2,42	---	11 août 2010
210-PRFV-11m-I-G2 (Côté étrier ouvert)	3,00	2,06	10 août 2010
210-PRFV-11m-II-G1 (Côté étrier fermé)	2,47	---	11 août 2010
210-PRFV-11m-II-G2 (Côté étrier ouvert)	2,42	---	11 août 2010
311-Acier-11m-I	3,07	---	11 août 2010
311-Acier-11m-II	3,07 ¹	---	11 août 2010
311-PRFV-11m-I	3,07	---	11 août 2010
311-PRFV-11m-II	3,07	---	11 août 2010

¹ Ce spécimen a bougé durant l'essai dû à un ancrage du spécimen insuffisant.

3.2 Résultats des spécimens de type 210 et 311

L'énergie initiale déployée par la boule de démolition au chasse-roue ou muret était de 41 450 J et 52 584 J respectivement pour des hauteurs de 2,42 m (spécimens de type 210) et 3,07 m (spécimens de type 311). Cette énergie potentielle est égale à l'énergie cinétique au moment de l'impact et la relation est donnée par l'équation suivante :

$$m \cdot g \cdot h = 0.5 m \cdot v^2 \quad (3.1)$$

où m est la masse de la de la boule d'acier (1746 kg), g est l'accélération gravitationnelle ($9,81 \text{ m/s}^2$), h est la hauteur de chute de la boule d'acier et v est la vitesse de la boule d'acier (m/s). Lors de l'impact, la vitesse devient nulle et toute l'énergie cinétique est utilisée pour déformer le chasse-roue des spécimens de type 210 ou le muret des spécimens de type 311. Il est considéré dans cette analyse que les pertes d'énergie due à la déformation de la boule de démolition et des barres d'ancrage Dywidag sont négligeables. Le chasse-roue et le muret des glissières de type 210 et 311 armées de PRFV ont été renforcés avec la même quantité armatures que les spécimens homologues armés d'acier. Ainsi, un plus grand nombre de fissures et des fissures plus larges sont attendus sur les spécimens de PFRV lors des essais d'impact dus au module d'élasticité plus faible des barres de PRFV (40 GPa) que celui de l'acier (200 GPa).

Les accélérations mesurées lors des essais d'impact au moment où la boule d'acier frappe les spécimens ont été utilisées pour calculer la force d'impact des spécimens de type 311. Dans le cas des spécimens de type 210, les spécimens n'étaient pas instrumentés d'accéléromètre puisque le risque d'endommagement de l'accéléromètre était trop important. Ainsi, aucune force d'impact n'a été calculée pour les spécimens de type 210. Les accélérations maximales enregistrées pour les spécimens de type 311 armés d'acier étaient de 163 et 199 m/s^2 respectivement pour les spécimens 311-Acier-11m-I et 311-Acier-11m-II. Les accélérations maximales enregistrées des spécimens 311-PRFV étaient de 183 et 193 m/s^2 respectivement pour les spécimens 311-PRFV-11m-I et 311-PRFV-11m-II. Les figures 3.1 à 3.4 montrent la relation entre l'accélération mesurée et le temps respectivement pour les spécimens de type 311 armés d'acier et de PRFV. Le tableau 3.2 liste les valeurs des forces d'impact calculées des spécimens de type 311. La plus petite accélération enregistrée provient du deuxième essai effectué sur le spécimen 311-Acier-11m-I au centre du spécimen. Cette

accélération plus petite résulte en une force d'impact et une énergie plus faible comparées aux autres essais avec une même hauteur de chute. Cette différence est peut-être attribuable à un serrage inégal des écrous pour l'ancrage du spécimen. Ce serrage n'était pas calibré ni mesuré. Conséquemment, une quantité d'énergie différente pouvait servir au déplacement du spécimen lors des essais impact. Les valeurs proches des accélérations mesurées entre les trois autres spécimens peuvent être expliquées de façon similaire. De plus, la section du milieu du spécimen 311-Acier-11m-I peut avoir été affectée par le premier essai effectué sur le côté de ce même spécimen. Il est important de mentionner que le spécimen 311-Acier-11m-II a bougé durant l'essai d'impact ce qui a affecté la largeur des fissures du spécimen. Ce mouvement peut-être attribuable à l'ancrage du spécimen au banc d'essai. De plus, le mouvement du spécimen 311-Acier-11m-II peut être remarqué sur le graphique qui présente la relation entre l'accélération et le temps de la figure 3.2(b). Sur cette figure, la courbe de l'accélération prend environ une seconde avant de revenir à zéro contrairement 0,02 seconde lors des autres essais.

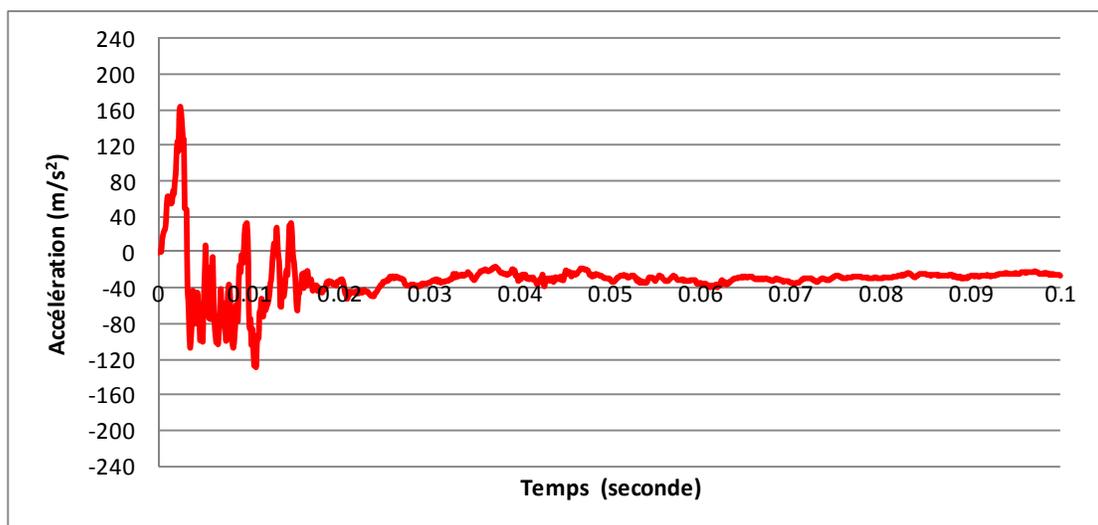
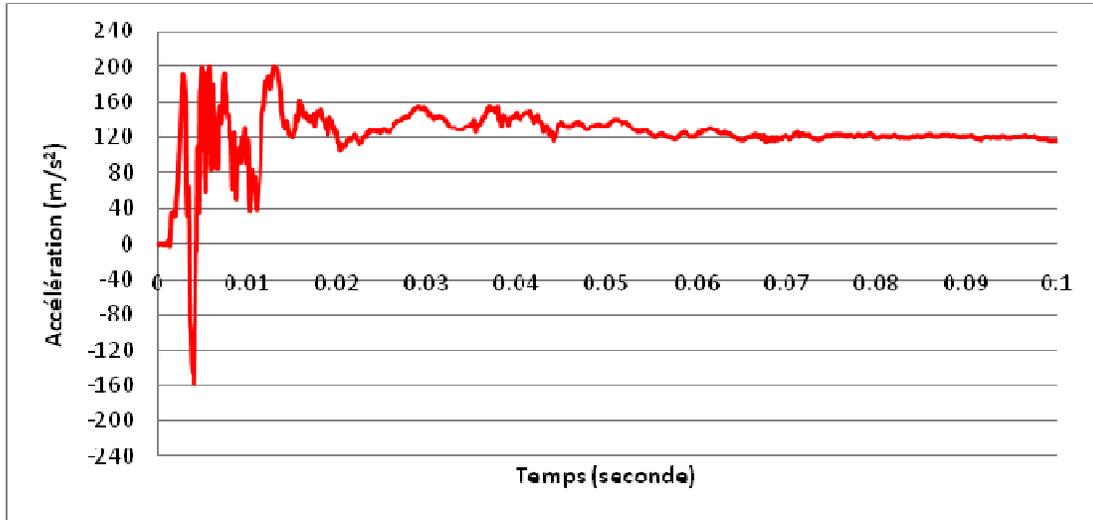
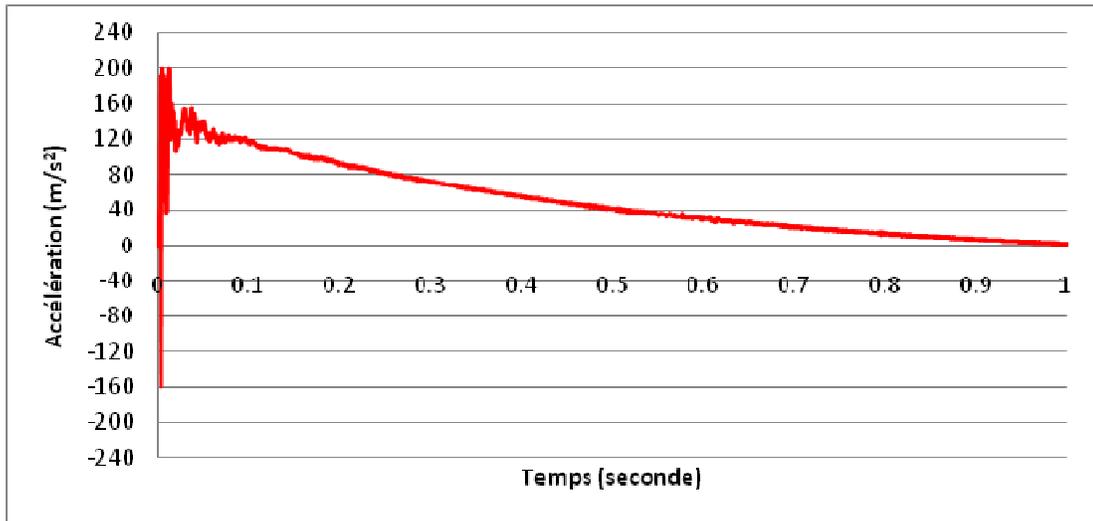


Figure 3.1: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-Acier-11m-I (section du milieu)



(a) Jusqu'à 0.1 seconde

Figure 3.2: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-Acier-11m-II (section du milieu)



(b) Jusqu'à 1.0 seconde

Figure 3.2 (suite): Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-Acier-11m-II (section du milieu)

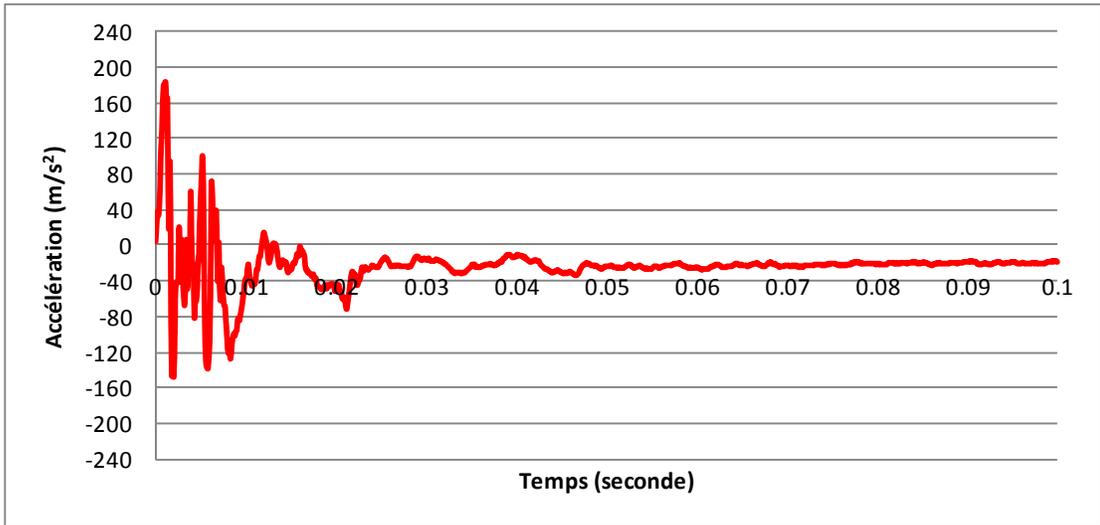


Figure 3.3: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-PRFV-11m-I (section du milieu)

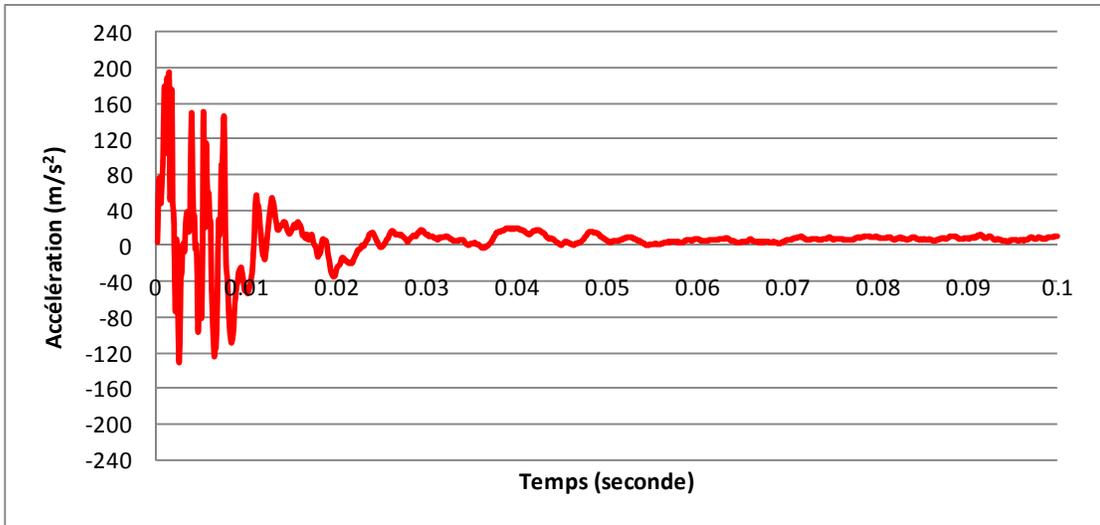


Figure 3.4: Relation entre l'accélération et le temps du spécimen 311-PRFV-11m-II (section du milieu)

Tableau 3.2: Forces d'impact et accélérations des spécimens de type 311

Spécimen	Hauteur de chute (m)	Accélération (m/s ²)	Charge d'impact (kN) ¹
311-Acier-11m-I	3,07	163	285
311-Acier-11m-II	3,07	199	347
311-PRFV-11m-I	3,07	183	320
311-PRFV-11m-II	3,07	193	337

¹ Charge d'impact = masse × accélération, où la masse de la boule d'acier est de 1746 kg.

3.2.1 Fissuration et comportement général

3.2.1.1 Spécimens de type 210

Les figures 3.5 à 3.25 présentent le réseau de fissuration et la largeur des fissures sur les faces avant, du dessus et arrière du chasse-roue des spécimens de type 210. Il peut-être remarqué sur ces figures que le réseau de fissuration des spécimens 210-PRFV sont similaire aux spécimens homologues renforcés d'acier. Toutefois, la largeur des fissures des spécimens 210-PRFV est plus importante que ceux renforcés d'acier. Cela est dû au fait que la même quantité d'armatures de PRFV et d'acier a été utilisée pour renforcer les spécimens 210-PRFV et 210-Acier. La rupture des spécimens de type 210 est survenue à la connexion entre le poteau du garde-corps et le chasse-roue. La charge d'impact était transmise de la plaque d'acier (utilisé pour distribuer la charge) aux lisses du garde-corps et finalement aux poteaux du garde-corps. Ainsi, la fissure principale pour tous les spécimens de type 210 était une fissure horizontale partant du chasse-roue au niveau de la plaque d'ancrage coulée dans celui-ci. Cette fissure se répandait avec un angle approximatif de 45 degrés jusqu'à la surface du dessus du chasse-roue traversant toute l'épaisseur de celui-ci (figures 3.5 à 3.25). De plus, une rupture du béton à la base des poteaux du côté en compression (face arrière) des spécimens a été remarquée résultant des forces de compression dans le chasse-roue.

Tel que spécifié par le MTQ et selon les spécifications de ce dernier, le recouvrement de béton des spécimens a été enlevé utilisant un marteau-piqueur. Il a été remarqué que les

deux étriers situés sous chacun des deux poteaux du spécimen 210-PRFV-11m-I ont rupturé suite aux deux essais d'impact effectués au même endroit. Cela est dû au fait que les quatre étriers (deux sous chaque poteau) reprennent la totalité de la charge d'impact après la fissuration du béton. Ainsi, une augmentation du nombre d'étriers situés sous chacun des poteaux des glissières améliorerait les performances structurales de ces dernières. Plus de détails concernant le mode de rupture des spécimens de type 210 et la rupture des étriers sont présentés à l'annexe A.

Les largeurs maximales des fissures mesurées des spécimens de type 210 sont présentées au tableau 3.3. De ce tableau, il peut être remarqué que la largeur des fissures des spécimens 210-Acier-5m-I, 210-Acier-5m-II et 210-Acier-11m-II était relativement élevée dû à la hauteur de chute plus élevée (3,0 m). Après la diminution de la hauteur de chute à 2,00 et 2,42 m, les largeurs des fissures étaient moindres. Toutefois, les largeurs des fissures des spécimens 210-PRFV (avec étriers fermés (G1) et ouverts (G2)) étaient plus élevées que celles des spécimens renforcés d'acier testés à une même hauteur de chute (2,42 m). Ces résultats s'expliquent par l'utilisation du même nombre d'étriers en PRFV et en acier dans le chasseur (PRFV No.15@220 mm et acier 15M@220mm). Les largeurs des fissures mesurées sur la face en tension des spécimens armés de PRFV varient entre 0,8 et 6,0 mm. Par ailleurs, il n'y avait aucune différence importante entre les spécimens de type 210 armés avec des étriers en PRFV ouverts et fermés (G1 et G2).

Tableau 3.3: Largeur maximale des fissures mesurées des spécimens de type 210

Spécimen	Largeur maximale des fissures (mm)		Hauteur de chute, h, (m)
	Face avant	Face arrière	
210-Acier-5m-I	0,4	0,8	3,00
210-Acier-5m-II	0,5	1,5	3,00
210-Acier-5m-III	0,1	0,8	2,00 (Essai 1)
	0,6	1,25	2,42 (Essai 2)
210-Acier-11m-I	0,3	0,9	2,42
210-Acier-11m-II	0,9	1,5	3,0
210-PRFV-11m-I-G1 (Côté étrier fermé)	2,0	0,8	2,42
210-PRFV-11m-I-G2 (Côté étrier ouvert)	5,0	---	3,0
210-PRFV-11m-II-G1 (Côté étrier fermé)	6,0	1,25	2,47
210-PRFV-11m-II-G2 (Côté étrier ouvert)	0,8	0,6	2,42



Figure 3.5: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-I après un premier essai à $h=3,0$ m



Figure 3.6: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-I après un deuxième essai à $h=2,06$ m

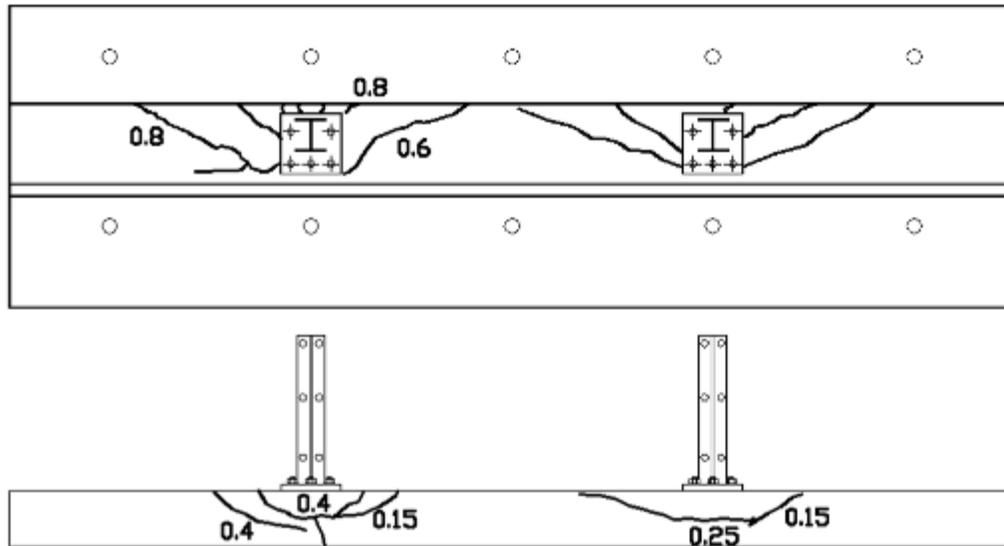


Figure 3.7: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-I après un premier essai à $h=3,0$ m



Figure 3.8: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-II après un essai à $h=3,0$ m



Figure 3.8 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-II après un essai à $h=3,0$ m

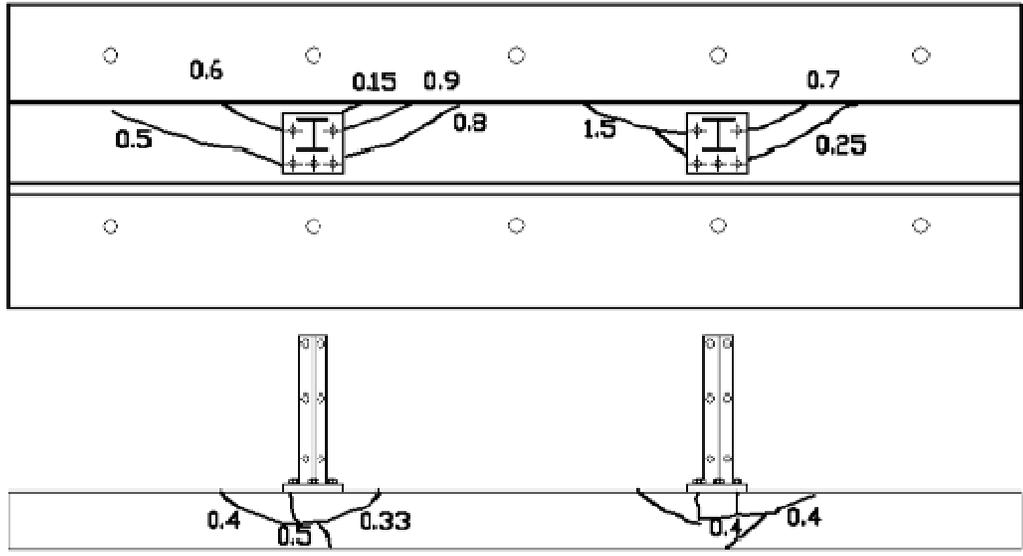


Figure 3.9: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-II après un essai à $h=3,0$ m



Figure 3.10: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-III après un premier essai à $h=2,0$ m et un second essai à $h=2,42$ m



Figure 3.10 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-5m-III après un premier essai à $h=2,0$ m et un second essai à $h=2,42$ m

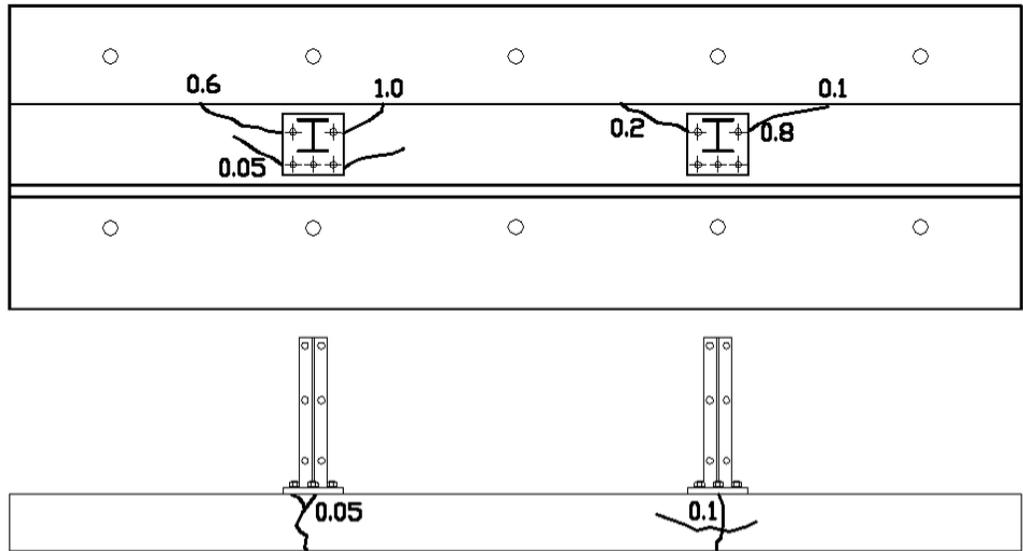


Figure 3.11: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-III après un premier essai à $h=2,0$ m

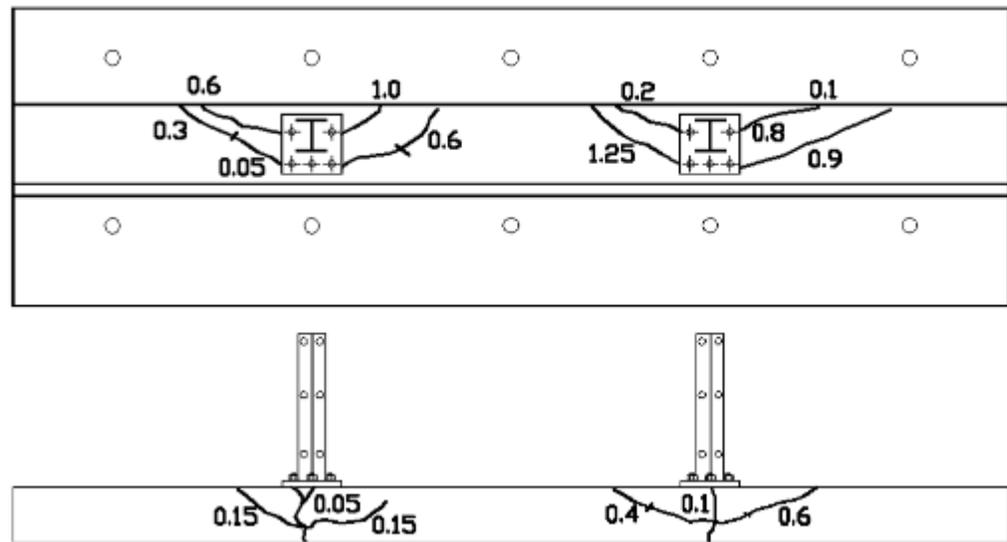


Figure 3.12: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-5m-III un second essai à $h=2,42$ m

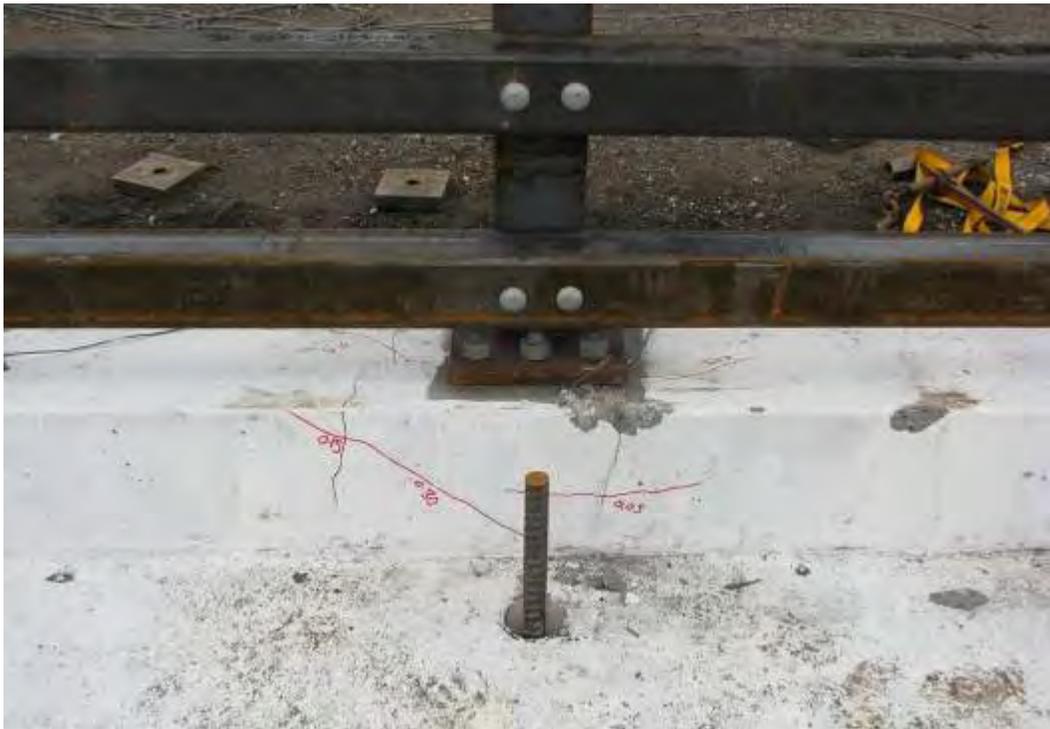


Figure 3.13: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-I après un essai à $h=2,42$ m

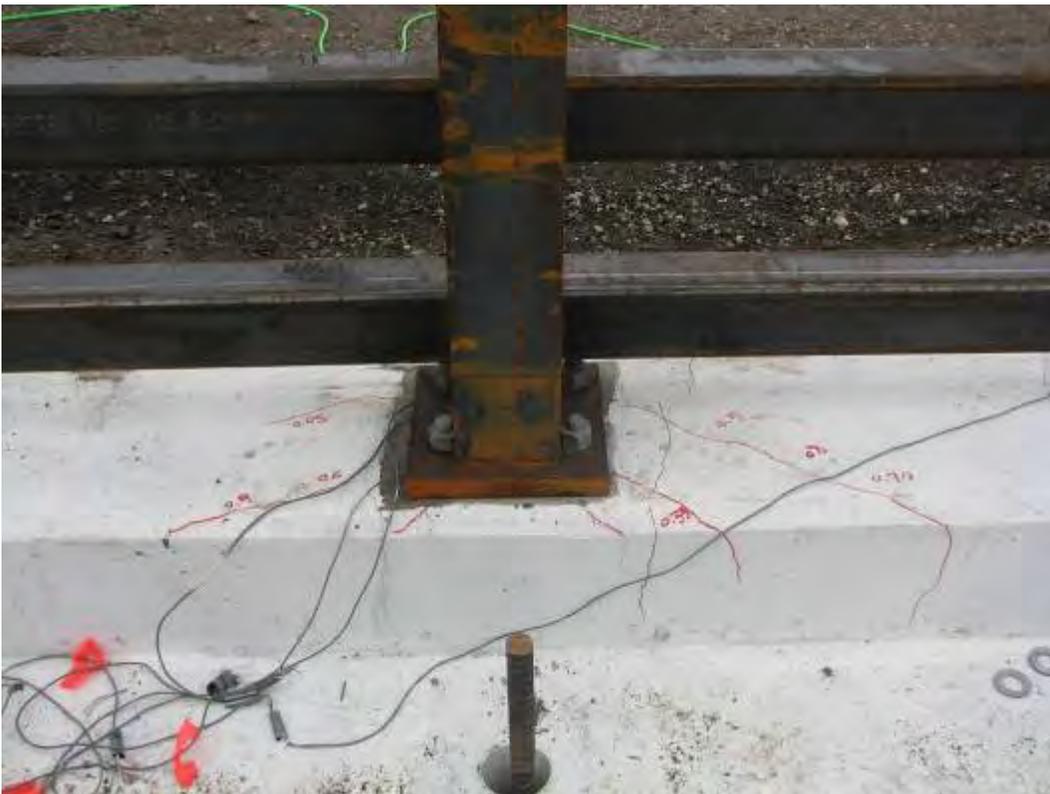


Figure 3.13 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-I après un essai à $h=2,42$ m

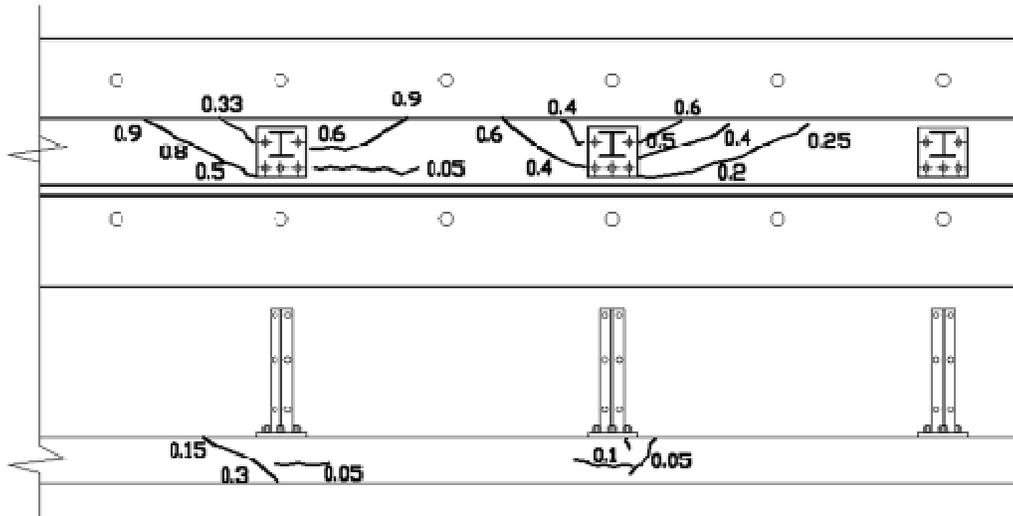


Figure 3.14: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-11m-I après un essai à $h=2,42$ m



Figure 3.15: Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-II après un essai à $h=3,0$ m



Figure 3.15 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-Acier-11m-II après un essai à $h=3,0$ m

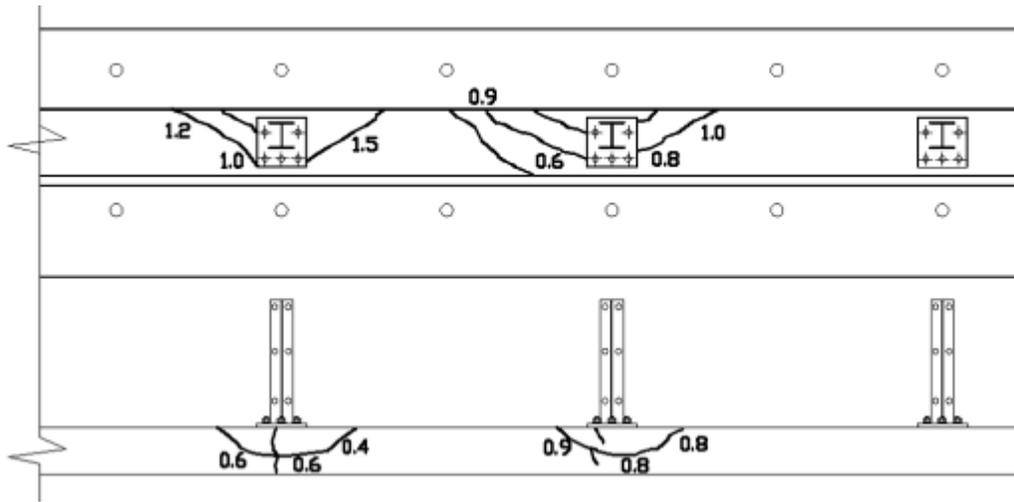


Figure 3.16: Largeur des fissures du spécimen 210-Acier-11m-II après un essai à $h=3,0$ m

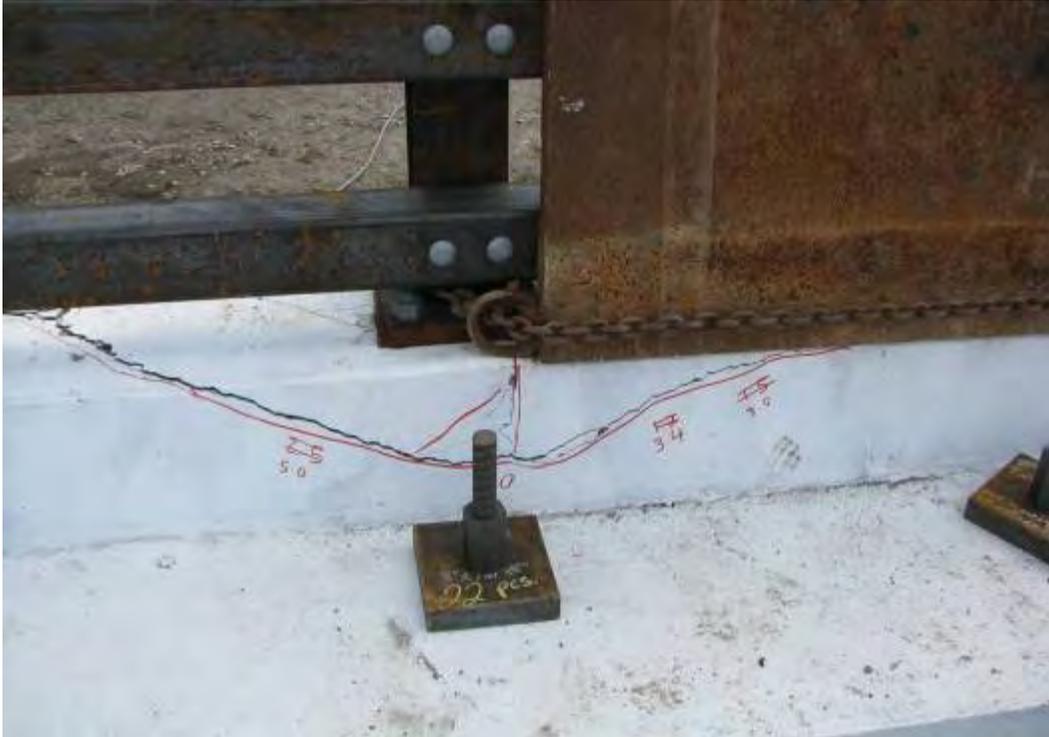


Figure 3.17: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un premier essai à $h=3,0$ m (G2 : Côté étrier ouvert)



Figure 3.17 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un premier essai à $h=3,0$ m (G2 : Côté étrier ouvert)

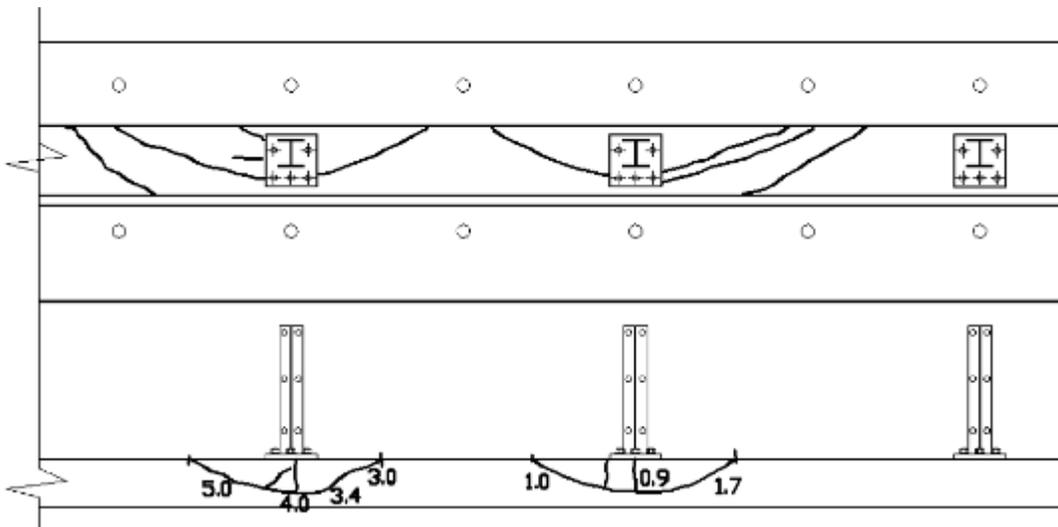


Figure 3.18: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-I après un premier essai à $h=3,0$ m (G2 : Côté étrier ouvert)



Figure 3.19: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un deuxième essai à $h=2,06$ m (G2 : Côté étrier ouvert)



Figure 3.19 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un deuxième essai à $h=2,06$ m (G2 : Côté étrier ouvert)



Figure 3.19 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un deuxième essai à $h=2,06$ m (G2 : Côté étrier ouvert)

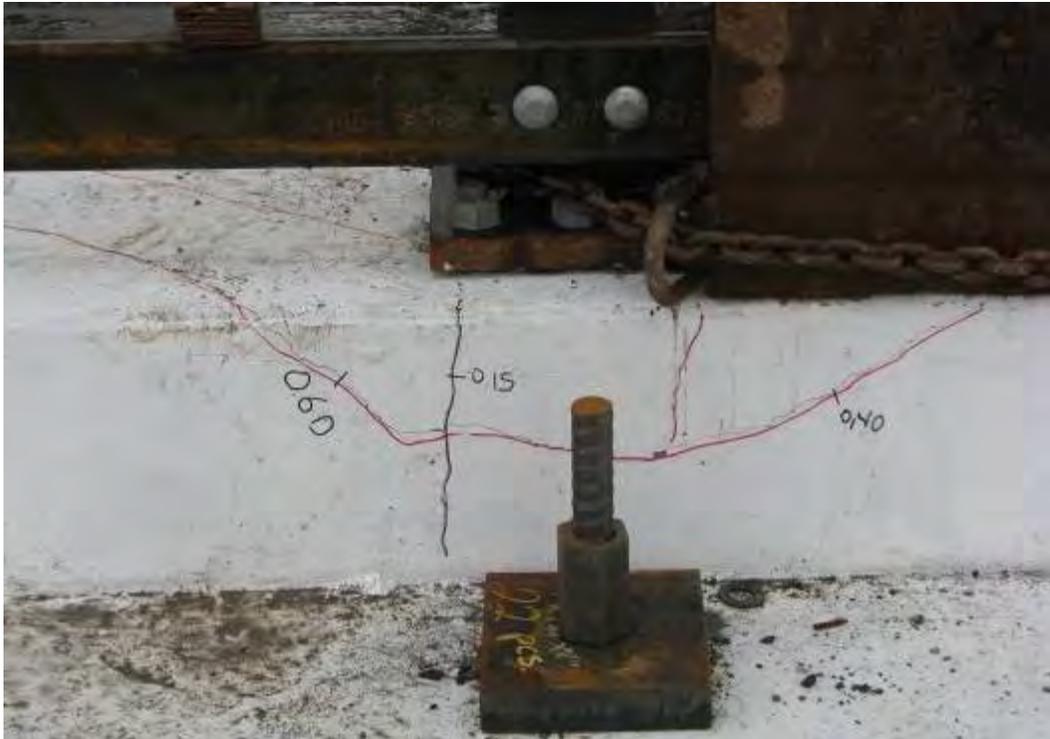


Figure 3.20: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,42$ m
(G2 : Côté étrier ouvert)



Figure 3.20 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,42$ m (G2 : Côté étrier ouvert)

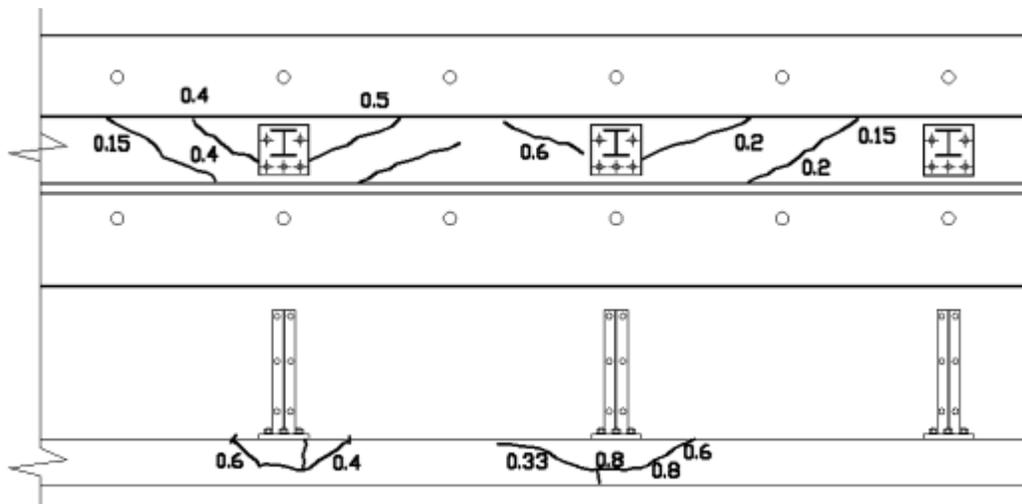


Figure 3.21: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,42$ m (G2 : Côté étrier ouvert)

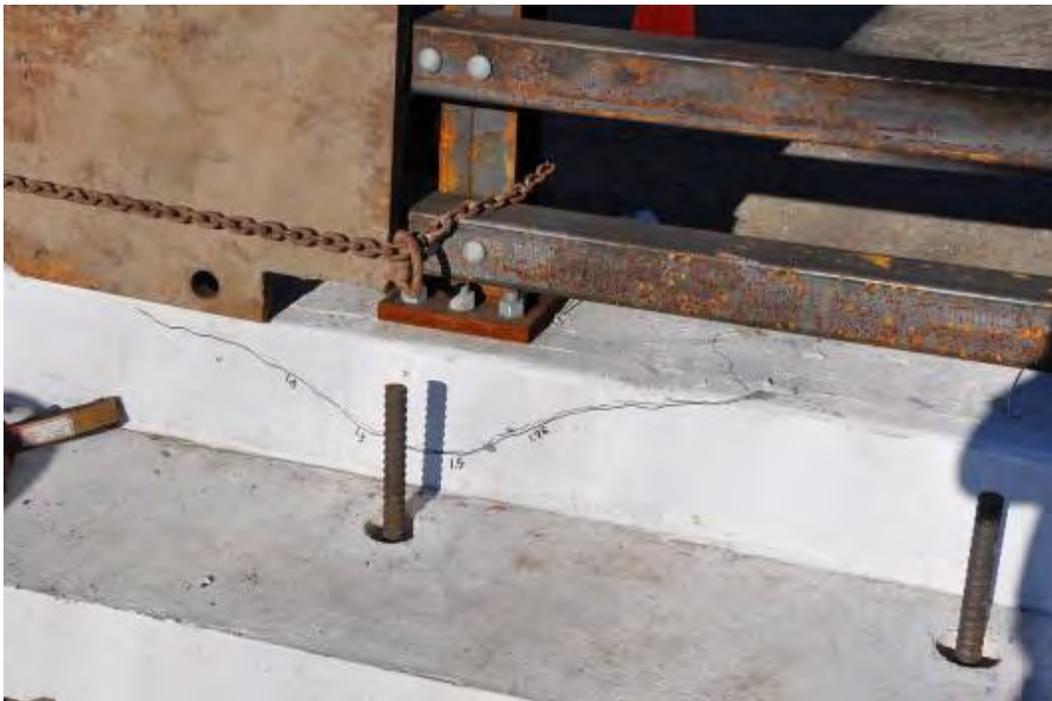


Figure 3.22: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un essai à $h=2,42$ m
(G1 : Côté étrier fermé)



Figure 3.22 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-I après un essai à $h=2,42$ m (G1 : Côté étrier fermé)

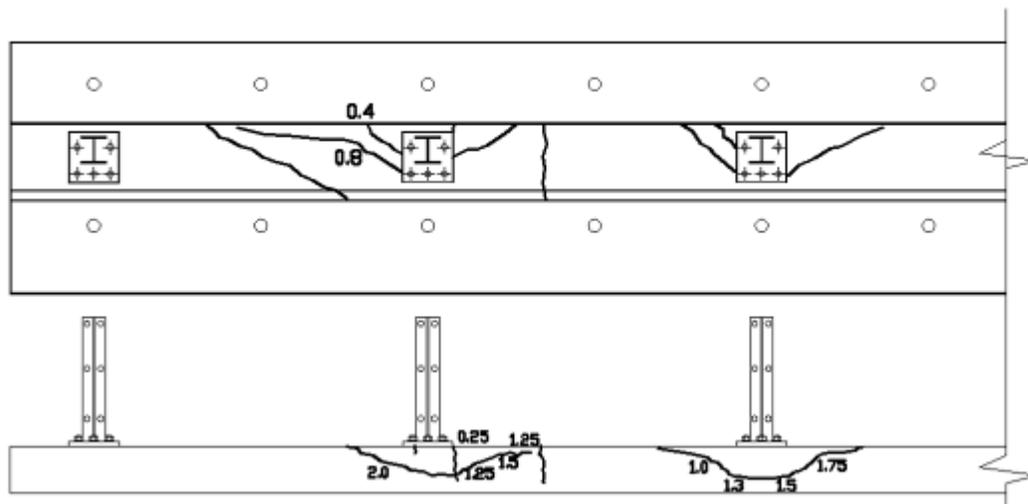


Figure 3.23: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-I après un essai à $h=2,42$ m (G1 : Côté étrier fermé)



Figure 3.24: Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,47$ m
(G1 : Côté étrier fermé)



Figure 3.24 (suite): Réseau de fissuration du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,47$ m (G1 : Côté étrier fermé)

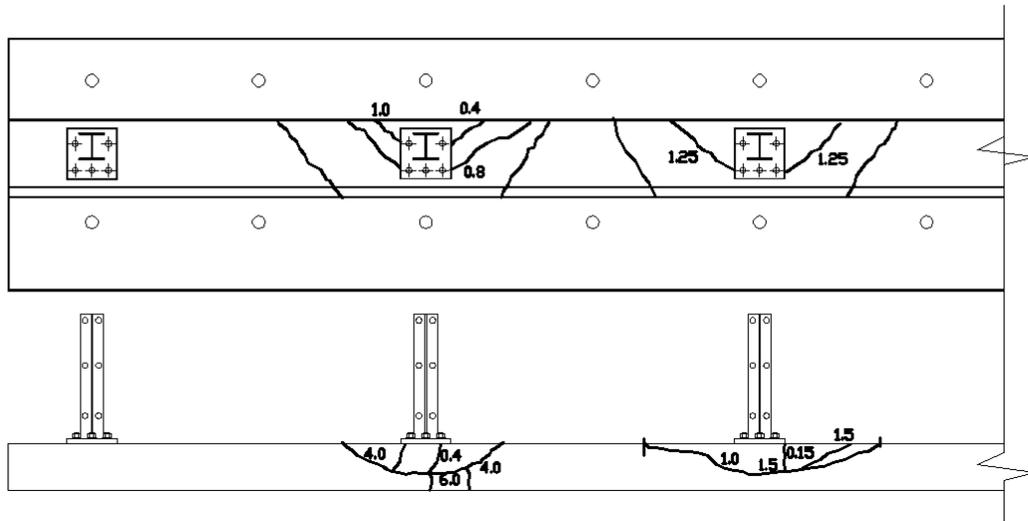


Figure 3.25: Largeur des fissures du spécimen 210-PRFV-11m-II après un essai à $h=2,47$ m
(G1 : Côté étrier fermé)

3.2.1.2 *Spécimens de type 311*

Les figures 3.26 à 3.30 présentent les réseaux de fissuration des spécimens de type 311. La largeur des fissures est également présentée sur ces figures. Tout comme les spécimens de type 210, les spécimens de type 311 armés de PRFV ont présenté un réseau de fissuration comparable aux spécimens homologues armés d'acier. De plus, il est possible de constater sur la figure 3.31 la grande similarité entre les réseaux de fissuration des spécimens armés de PRFV et d'acier. Les spécimens de type 311 ont présenté des fissures obliques distribuées symétriquement autour de l'axe vertical passant par le point d'impact. Les fissures se sont propagées sur une distance d'environ 2,8 à 3,0 m au sommet du muret et entre 1,2 à 1,5 m à la base de celui-ci.

Le tableau 3.4 présente les largeurs maximales des fissures mesurées des spécimens de type 311. La largeur maximale des fissures mesurées sur la face avant des spécimens 311-PRFV-11m-I et 311-PRFV-11m-II sont respectivement de 0,7 et 0,55 mm. La largeur maximale des fissures mesurées sur la face arrière des spécimens 311-PRFV-11m-I et 311-PRFV-11m-II sont respectivement de 0,8 et 0,6 mm. Le spécimen 311-Acier-11m-II a présenté des largeurs de fissures très petites en comparaison avec le spécimen 311-Acier-11m-I. Cela est expliqué par le déplacement du spécimen 311-Acier-11m-II observé durant l'essai. Excluant le spécimen 311-Acier-11m-II de la comparaison, il peut être remarqué que les largeurs des fissures des spécimens de type 311 armés de PRFV est près de celles du spécimen homologue armé d'acier (311-Acier-11m-I). La largeur maximale moyenne des fissures de la face avant des spécimens armés de PRFV était de 0,625 mm comparativement à 0,5 mm du spécimen 311-Acier-11m-I. Il est important de mentionner que le même nombre d'armatures (PRFV et acier) ont été utilisé dans les spécimens renforcés de PRFV et d'acier.



Figure 3.26: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-I après un premier essai à $h=3,07$ m (Côté droit du spécimen)

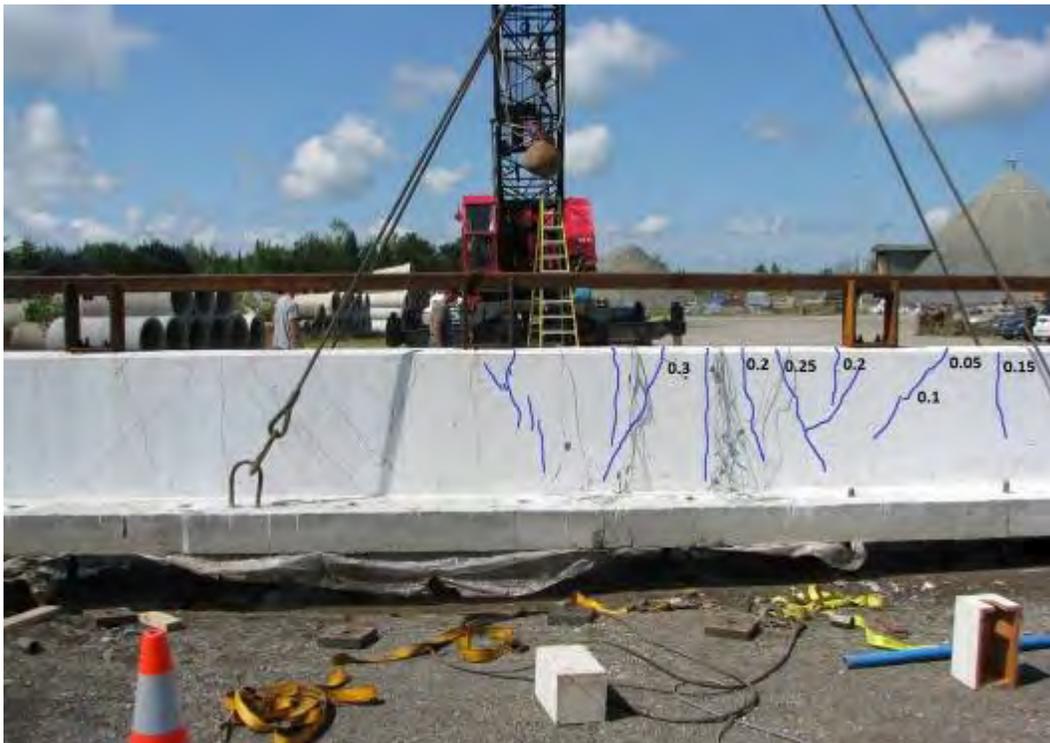
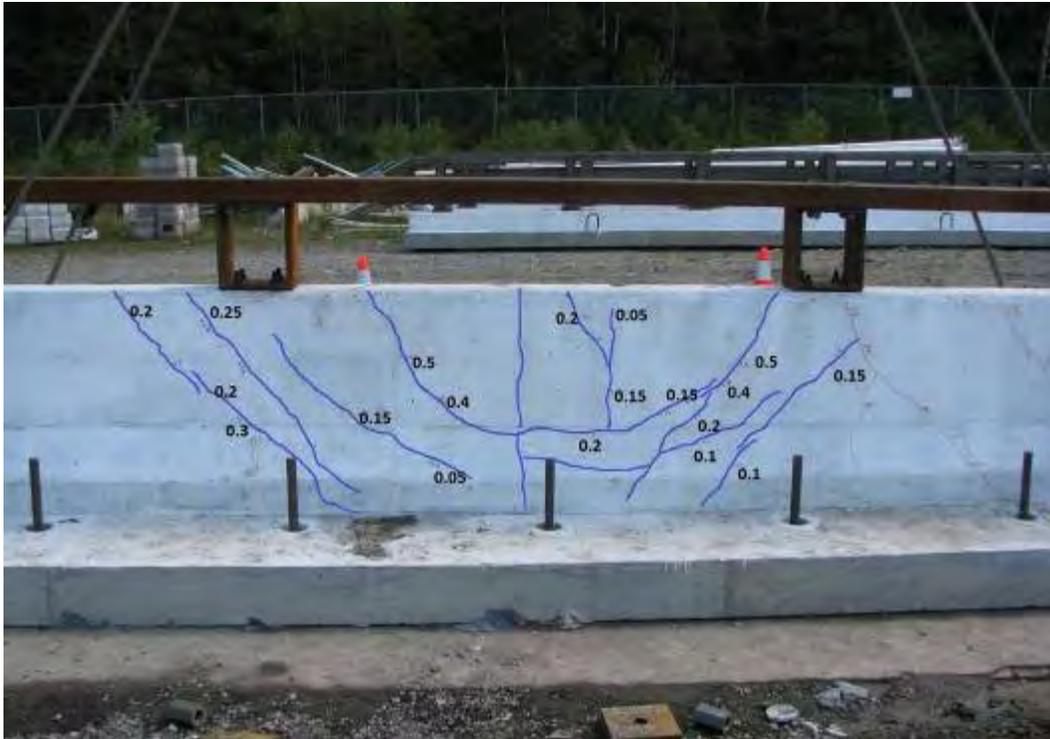


Figure 3.27: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-I après un deuxième essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen)

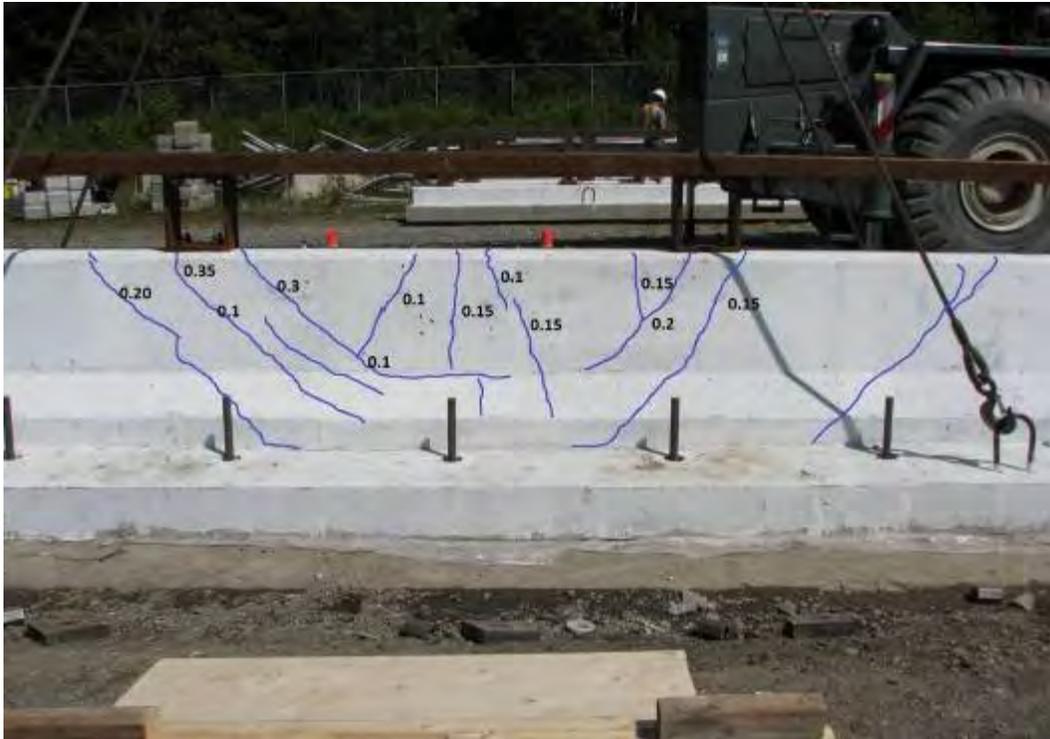


Figure 3.28: Réseau de fissuration du spécimen 311-Acier-11m-II après un essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen)

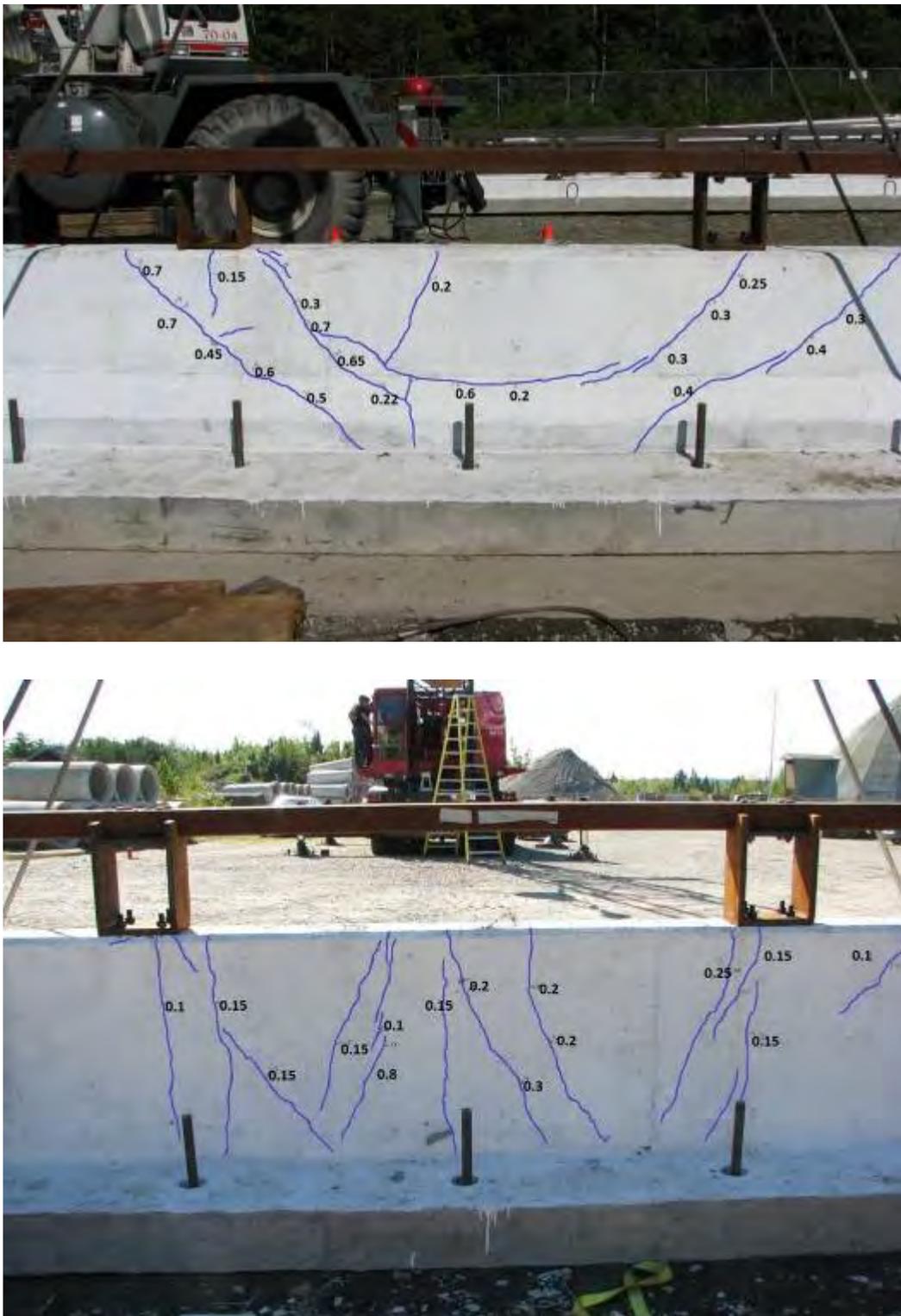


Figure 3.29: Réseau de fissuration du spécimen 311-PRFV-11m-I après un essai à $h=3,07$ m
(centre du spécimen)

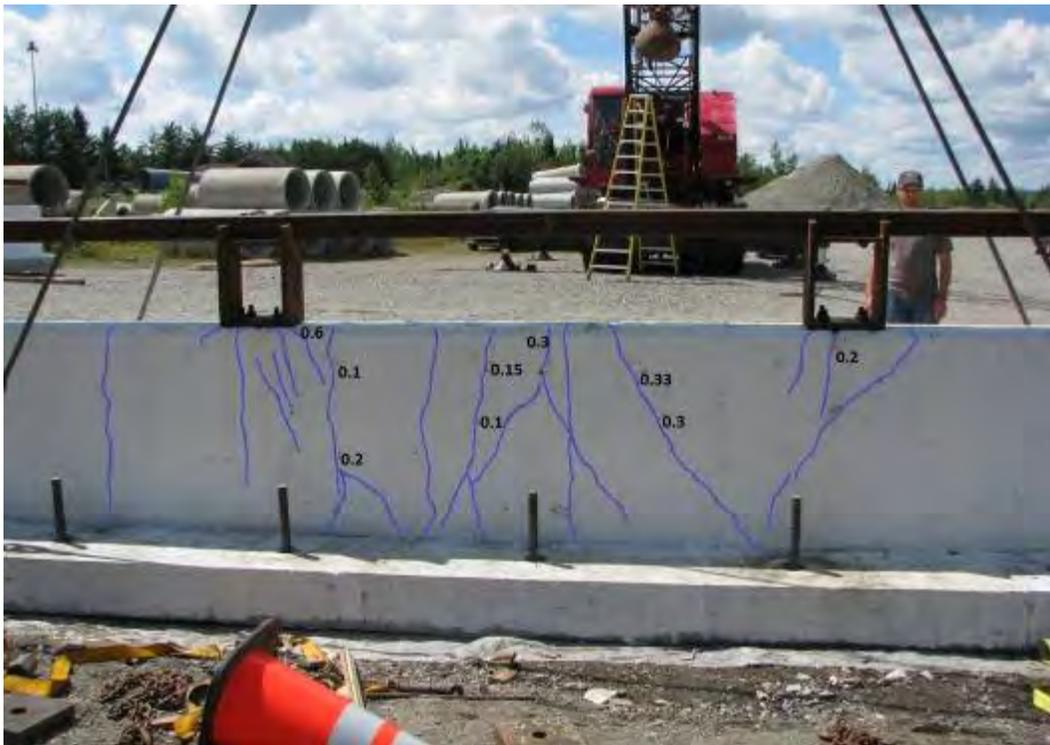
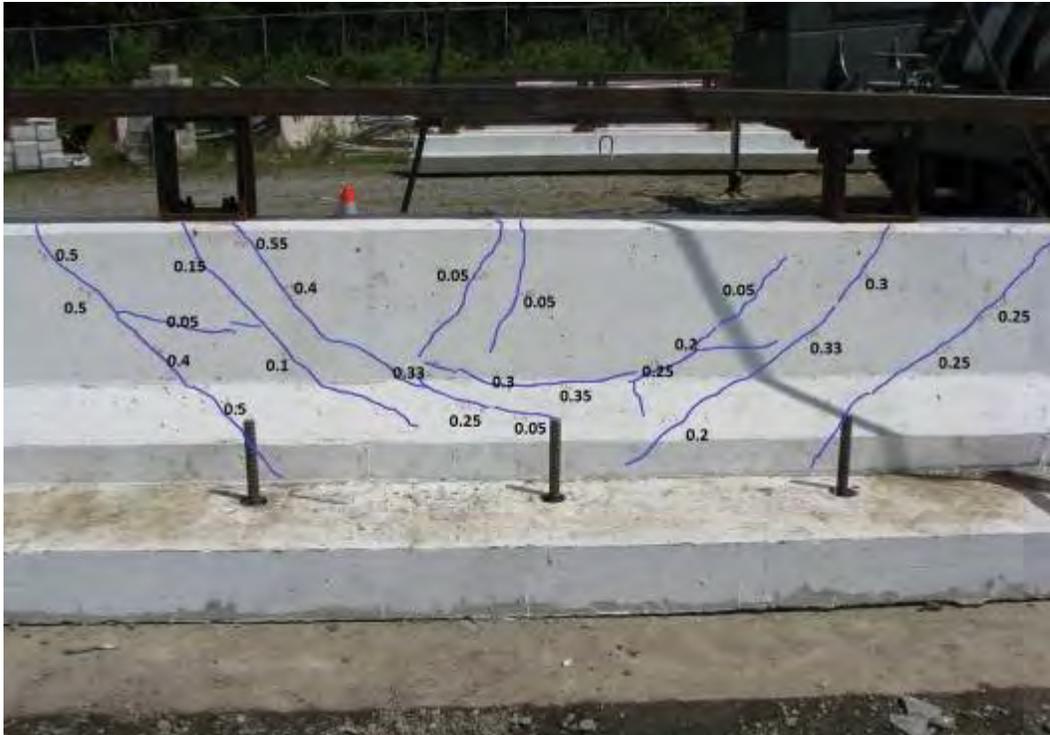
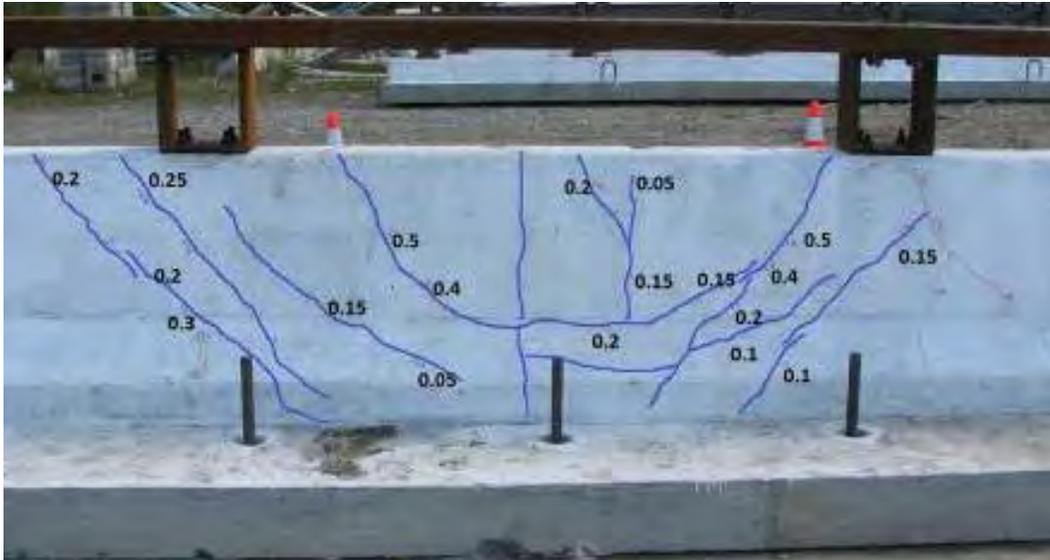
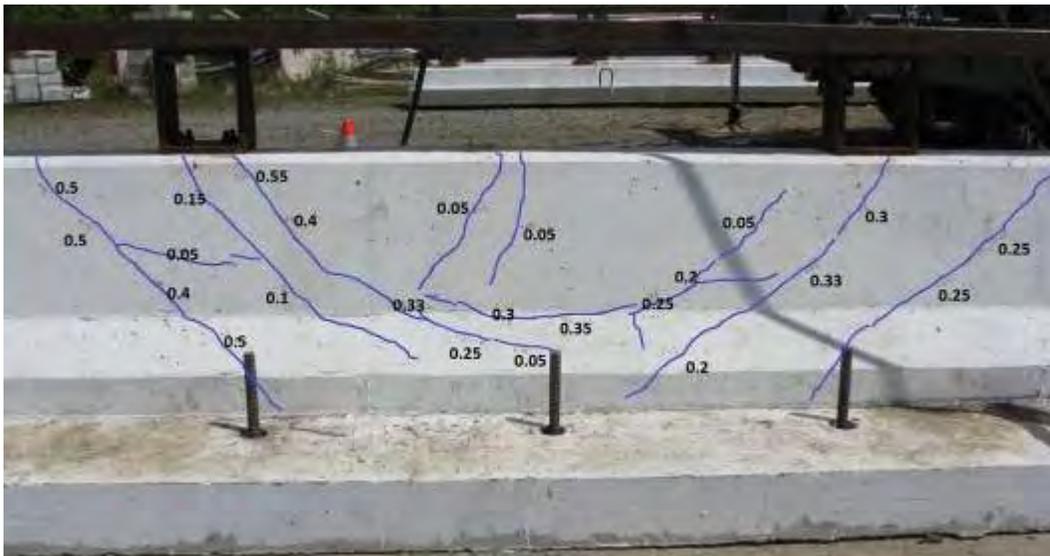


Figure 3.30: Réseau de fissuration du spécimen 311-PRFV-11m-II après un essai à $h=3,07$ m (centre du spécimen)



(a) 311-Acier-11m-I



(b) 311-PRFV-11m-II

Figure 3.31: Comparaison des réseaux de fissuration des spécimens 311-Acier-11m-I et 311-PRFV-11m-II

Tableau 3.4: Largeur maximale des fissures mesurées des spécimens de type 311

Spécimen	Largeur maximale des fissures (mm)		Hauteur de chute, h, (m)
	Face avant	Face arrière	
311-Acier-11m-I	0,5 0,5	0,4 0,3	3,07 (Côté droit du spécimen) 3,07 (Centre du spécimen)
311-Acier-11m-II ¹	0,35	0,25	3,07
311-PRFV-11m-I	0,7	0,8	3,07
311-PRFV-11m-II	0,55	0,6	3,07

¹ Le spécimen a bougé durant l'essai dû à un manque d'ancrage.

3.2.2 Déformation dans les armatures

Les tableaux 3.5 et 3.6 présentent les déformations de pointe maximales enregistrées selon chaque types d'armature durant les essais ainsi que l'identification de la jauge où la mesure a été enregistrée respectivement pour les spécimens de type 210 et 311. De plus, les tableaux 3.7 et 3.8 présentent les déformations maximales enregistrées (toute armature confondue) respectivement pour les spécimens de type 210 et 311. En ce qui concerne les spécimens de type 210 renforcés d'acier testés à une hauteur de chute de 2,42 m, les déformations dans les étriers d'acier étaient très élevées et dépassaient les 15 000 microdéformations. Les déformations dans les étriers de PRFV des spécimens 210-PRFV variaient entre 10 255 et 18 892 microdéformations. Par ailleurs, les valeurs des déformations enregistrées lors des essais sur le côté ouvert (G2) et fermé (G1) étaient proches à l'exception du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 qui a montré la valeur la plus faible (10 255 microdéformations). De plus, les déformations dans les barres horizontales des spécimens de type 210 armés d'acier étaient plus importantes que celles enregistrées dans les spécimens renforcés de PRFV à l'exception du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 avec 16 800 microdéformations.

En ce qui concerne les spécimens de type 311, le spécimen 311-Acier-11m-II a montré de très petites déformations dans les armatures dues au fait que le spécimen a bougé durant l'essai. Les déformations enregistrées lors des essais des spécimens armés de PRFV étaient plus élevées que ceux des spécimens armés d'acier.

Durant les essais, les mesures des déformations changeaient en variant de la tension à la compression et vice versa. Toutefois, aucune tendance n'a été observée concernant le profil des déformations. Les relation déformation en fonction du temps des spécimens de type 210 et 311 renforcés d'acier et de PRFV sont présentées à l'annexe E (figures E.1 à E.22).

Tableau 3.5: Déformations de pointe maximales mesurées dans les spécimens de type 210

Spécimen	Déformations maximales (microdéformation)					
	Jauges H		Jauges EH		Jauges EB	
	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite
210-Acier-5m-I	3479/-12368 (H-3)		16134/-2043 (EH-1) 6052/-15439 (EH-2)		16602 (EB-2) 3290/-8210 (EB-1)	
210-Acier-5m-II	1325 (H-4)		13616/-14355 (EH-2)		13762 (EB-1) 2690/-7413 (EB-3) ¹	
210-Acier-5m-III (premier essai)	2639/-4430 (H-1)		2733/-2235 (EH-2)		15926/-15484 (EB-2)	
210-Acier-11m-I (essai sur le côté droit du spécimen)	2479/-462 (H-2)	7524/-1687 (H-3)	2488/-731 (EH-2)	9763/-3949 (EH-2) 1307/-15497 (EH-1)	1693 (EB-1) 7703/-3782 (EB-3) ¹	5163/-8851 (EB-1) 7703/-3782 (EB-3) ¹
210-Acier-11m-II (essai sur le côté droit du spécimen)	91 (H-4)	15980 (H-3) 6613/-6431 (H-1)	56 (EH-2)	15891 (EH-1)	95 (EB-1)	15956 (EB-1) 4257/-4091 (EB-2)
210-PRFV-11m-I G1 (Étrier fermé) (essai sur le côté gauche du spécimen)	2251 (H-1)	3606 (H-2)	2002 (EH-1)	2421 (EH-2)	10255/-1489 (EB-1)	10238 (EB-2)
210-PRFV-11m-I G2 (Étrier ouvert) (essai sur le côté droit du spécimen; premier essai)	41 (H-4)	4394 (H-1)	2681 (EH-2)	15579/- 15351 (EH-1)	-	15974 (EB-1)
210-PRFV-11m-II G1 (Étrier fermé) (essai sur le côté gauche du spécimen)	2995 (H-1)	329 (H-2)	10973 (EH-2)	1144/-16035 (EH-2)	16024 (EB-1)	2646 (EB-3)
210-PRFV-11m-II G2 (Étrier ouvert) (essai sur le côté droit du spécimen)	16800/- 16407 (H-3)	2624 (H-1)	3114/-2519 (EH-2)	18892/-7470 (EH-2)	3114/-2519 (EH-2)	8607 (EB-2)

¹ Jauge au milieu du spécimen (pas sous un poteau).

Tableau 3.6: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 311

Spécimen	Déformations maximales (microdéformation)			
	Jauges H	Jauges P1	Jauges D1	Jauges D2
311-Acier-11m-I (essai au centre)	2049 (H-3) 58/-7085 (H-2)	1295/-15099 (P1-2)	-19250 (D1-1) 16052 (D1-2)	2044 (D2-3)
311-Acier-11m-II ¹	666 (H-1)	1218 (P1-2)	-2862 (D1-1)	2182 (D2-1)
311-PRFV-11m-I	13730 (H-1)	3567 (P1-3)	368 (D1-2)	14872 (D2-3)
311-PRFV-11m-II	3562 (H-1)	3063 (P1-3)	2777 (D1-3)	3014/-11246 (D2-3) 931/-14360 (D2-2)

¹ Le spécimen a bougé durant l'essai dû à un manque d'ancrage.

Tableau 3.7: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 210

Spécimen	Hauteur de chute, h, (m)	Déformation maximale dans les étriers (microdéformations)	Déformation maximale dans les barres longitudinales (microdéformations)
210-Acier-5m-I	3,00	16602/-15439	3479/-12368
210-Acier-5m-II	3,00	13762/-14355	1325
210-Acier-5m-III	2,42	15926/-15484	2639/-4430
210-Acier-11m-I	2,42	9763/-15497	7524/-1687
210-Acier-11m-II	3,00	15956/-4091	15980/-6431
210-PRFV-11m-I-G1	2,42	10255/-1489	3606
210-PRFV-11m-I-G2	3,00	15974/-15351	4394
210-PRFV-11m-II-G1	2,47	16024/-16035	2995
210-PRFV-11m-II-G2	2,42	18892/-7470	16800/-16407

Tableau 3.8: Déformations maximales mesurées dans les spécimens de type 311

Spécimen	Hauteur de chute, h, (m)	Déformation maximale dans les barres de type D1 (microdéformation)	Déformation maximale dans les barres de type D2 (microdéformation)	Déformation maximale dans les barres de type P1 (microdéformation)	Déformation maximale dans les barres horizontales (microdéformation)
311-Acier-11m-I	3,07	16052/-19250	2044	1295/-15099	2049/-7085
311-Acier-11m-II ¹	3,07	-2862	2182	1218	666
311-PRFV-11m-I	3,07	368	14872	3567	13730
311-PRFV-11m-II	3,07	2777	3014/-14360	3063	3562

¹ Le spécimen a bougé durant l'essai dû à un manque d'ancrage.

Chapitre 4

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

4 CONCLUSIONS AND RECOMMANDATIONS

4.1 Conclusions

Suite aux résultats des essais dynamiques sur les glissières de type 210 et 311 présentés dans le présent rapport, les conclusions suivantes peuvent être énoncées :

Glissières de type 311 :

1. Le montage d'essai utilisé pour distribuer la charge d'impact sur le garde-corps et le muret des spécimens de type 311 à fonctionner correctement. Les spécimens de type 311 ont présenté des fissures obliques distribuées symétriquement autour de l'axe vertical passant par le point d'impact.
2. La connexion entre la dalle et le muret n'a montré aucun signe de rupture, ce qui a permis de transférer la charge d'impact avec succès.
3. Concernant les spécimens de type 311 armés de barres en PFRV, le réseau de fissuration ainsi que les largeurs des fissures de ces spécimens à la suite des essais d'impact étaient très semblables aux spécimens homologues armés d'acier. La largeur maximale moyenne des fissures mesurée sur la face avant des deux spécimens armés de PRFV était de 0,625 mm (moyenne de 0,7 et 0,55 mm), ce qui est 1,26 fois plus large que celle mesurée sur les spécimens homologues renforcés d'acier.
4. Concernant les spécimens de type 311 armés de barres en PFRV, les déformations enregistrées ont démontré que les armatures horizontales ont contribué à distribuer de façon plus importante la charge d'impact que dans les spécimens armés d'acier. Cela est peut-être dû au module d'élasticité plus élevé de l'acier, qui permettrait une absorption de l'énergie d'impact plus importante par les armatures verticales près du point d'impact.
5. Considérant les résultats et discussions présentés précédemment, il peut être conclu que le comportement des glissières de type 311 armées d'armature de PRFV sujet à une charge d'impact est très similaire à celui des glissières homologues armées d'acier.

Glissières de type 210 :

6. Le montage d'essai utilisé pour distribuer la charge d'impact sur le garde-corps dont celle-ci est transférée vers les poteaux d'acier des spécimens de type 210 à fonctionner correctement.
7. Le mode de rupture des spécimens renforcés de PRFV était le même que celui observé sur les spécimens armés d'acier. La rupture des spécimens de type 210 avait lieu à la connexion entre le poteau du garde-corps et le chasse-roue. Sur tous les spécimens de type 210, une importante fissure partant au niveau de la plaque d'ancrage coulée dans le chasse-roue se répandait avec un angle approximatif de 45 degrés. De plus, celle-ci se répandait jusqu'à la surface du dessus du chasse-roue traversant toute l'épaisseur du chasse-roue. La rupture du béton à la base des poteaux du côté en compression (face arrière) des spécimens a été remarquée résultant des forces de compression dans le chasse-roue.
8. Le réseau de fissuration des spécimens armés de PRFV était similaire à celui des spécimens armés d'acier. Toutefois, puisque le même nombre d'armatures de PRFV (Module élastique égal au cinquième de celui de l'acier) a été utilisé, de très larges fissures ont été observées sur la face avant des spécimens de type 210 armés de PRFV. Les fissures étaient concentrées sous les deux poteaux situés près de la charge d'impact.
9. En raison de la configuration des armatures du chasse-roue, la force d'impact transmise au poteau était résistée principalement par seulement deux étriers situés directement sous le poteau. Dans les spécimens de PRFV, ces deux étriers de PRFV n'étaient pas suffisants pour procurer une résistance comparable au spécimens armés d'acier. De plus, deux étriers de PRFV ont rompu lors d'un essai d'impact lorsqu'un deuxième essai a été effectué.
10. Augmenter le nombre d'étriers de PRFV situés sous chaque poteau du garde-corps contribuerait à améliorer le comportement des glissières de type 210 armées de PRFV.
11. Le comportement des spécimens de type 210 armés avec des étriers de PFRV de type ouvert (type G2) était similaire aux spécimens armés avec des étriers de PFRV de type fermé (type G1).

4.2 Recommandations

Suite aux résultats des essais dynamiques sur les glissières de type 210 et 311 présentés dans le présent rapport, les recommandations suivantes peuvent être faites :

1. Les glissières de pont de type 311 armées de barres en PRFV selon la conception telle que présentée à la figure 2.10 du présent rapport peut-être utilisées de façon sécuritaire sur le réseau routier du Québec. Les propriétés mécaniques des barres de PRFV utilisées (No. 15 et No.20) devraient être égales ou supérieures à celles rapportées à l'annexe B.
2. Des résultats d'essais obtenus, le comportement des spécimens de type 210 armés d'étrier en PRFV de type ouvert (type G2) était similaire aux spécimens de type 210 armés d'étrier en PRFV de type fermé (type G1). Toutefois, pour des applications sur le terrain, il est recommandé d'utiliser des étriers en PRFV de type fermé (type G1) afin de faciliter la construction. De plus, cela permettra également de prévenir tout problème lors des coulées de béton lorsque une quantité d'armature transversale plus élevée est utilisée.
3. Les glissières de pont de type 210 armées de barres de PRFV selon la conception telle que présentée à la figure 2.6 n'ont pas montré un même niveau de performance que les glissières armées d'acier. L'augmentation du taux d'armature transversale (nombre d'étriers) dans le chasse-roue sous les poteaux devrait augmenter la capacité des glissières de type 210 armées de barres en PRFV. Afin d'atteindre un même niveau de performance que les glissières armées d'acier, des essais supplémentaires sont requis comme proposé à l'annexe D.

Chapitre 5

REMERCIEMENTS

5 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère des Transports du Québec (MTQ) pour son support financier au projet de recherche et son assistance technique par la fourniture d'un système d'acquisition de données ainsi que l'aide fourni par M Jean-François Laflamme. De plus, l'aide procuré par M Marc Bouchard (MTQ, centre de services, Sherbrooke, Québec) a été fortement apprécié. Les auteurs remercient également Pultrall inc. (Thetford Mines, Québec), fabricant de barres en PRFV; Béton Démix, fournisseur du béton; Aciers Orford inc., fournisseur des armatures d'acier; et Les Coffrages Carmel inc., entrepreneur. Finalement, les auteurs remercient l'équipe technique du laboratoire de structures de l'Université de Sherbrooke et plus particulièrement M Simon Kelly et M François Ntacorigira ainsi que M Jean-François Claude, étudiant à la maîtrise, pour leur aide pour l'instrumentation et la réalisation des essais.

Chapitre 6

RÉFÉRENCES

6 RÉFÉRENCES

- ACI 440.3R-04, (2004), "Guide Test Methods for Fibre-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 40p.
- Ahmed, E.A. and Benmokrane, B., (2010), "Static and Dynamic Testing of 210 and 311 Bridge Barriers Reinforced with GFRP Bars," Second Progress Report: Test Results of 210 Prototype using Conditioned GFRP Stirrups, submitted to the Ministry of Transportation of Quebec, February, 27p.
- Ahmed, E.A., El-Salakawy, E.F., and Benmokrane, B., (2008), "Tensile Properties of GFRP Bent Bars for RC Bridge Barriers: Test Results," Technical Report submitted to the Ministry of Transportation of Quebec, August, 17p.
- Ahmed, E.A., El-Salakawy, E.F., and Benmokrane, B., (2008), "Tensile Properties of GFRP Bent Bars for RC Bridge Barriers (Test Results)," Rapport technique, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), mars, 17 p.
- Benmokrane, B., Dulude, C., Ahmed, E., and El-Gamal, S., (2009), "Essais statiques et dynamiques sur glissières de type 210 et 311 Renforcée avec de l'Armature de PRFV," Premier rapport technique, soumis au ministère des transports du Québec (Direction des structures), septembre, 120p.
- Benmokrane, B., El-Gamal, S., Tobbi, H., and El-Sayed, A. (2008), "Essais dynamiques sur glissières de types 201 et 301 renforcées avec de l'armature de PRFV," Rapport final, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), mars, 91 p.
- Canadian Standard Association (CSA), (2006), "Canadian Highway Bridge Design Code," CAN/CSA S6-06, Rexdale, Ontario, Canada.
- Canadian Standard Association (CSA), (2010), "Specification for Fibre-Reinforced Polymers," CAN/CSA S807-10, Rexdale, Ontario, Canada, 27p.

El-Salakawy, E., Brière, F., Masmoudi, R., Tighiouart, B. and Benmokrane, B., (2001),
“Impact Tests on Concrete Bridge Barriers Reinforced with Composite Bars,” Final
Technical Report, Submitted to the MTQ, August, 75p.



Static and Dynamic Testing of 210 and 311 Bridge Barriers Reinforced with GFRP Bars

Annexe A

Auscultation des étriers des glissières
de type 210 armées de PFRV suite aux
essais dynamiques



TABLE DES MATIÈRES

TABLEAU DES ILLUSTRATIONS.....	II
A.1. CONTEXTE.....	1
A.2. INSPECTION VISUELLE AVANT TRAVAUX.....	1
A.3. TRAVAUX EFFECTUÉS	2
A.4. CONCLUSION.....	3

TABLEAU DES ILLUSTRATIONS

Figure A.1 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1	4
Figure A.2 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2.....	4
Figure A.3 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2.....	5
Figure A.4 : Deuxième plan de rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1	5
Figure A.5: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) avant l’auscultation des étriers	6
Figure A.6: Auscultation du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) à l’aide d’un marteau- piqueur-électrique de 16 kg	6
Figure A.7: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) ; aucun endommagement des étriers	7
Figure A.8: Spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 (étrier ouvert) avant l’auscultation des étriers.....	7
Figure A.9: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 (étrier ouvert) ; aucun endommagement des étriers	8
Figure A.10: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 1), après deux essais d’impact.....	8
Figure A.11: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) (Poteau 1) ; endommagement des deux étriers dans la zone de la plaque d’ancrage du poteau sur le côté en tension	9
Figure A.12: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 1) ; glissement d’un étrier sous le poteau	9
Figure A.13 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) (Poteau 1) ; glissement d’un étrier sous le poteau	10
Figure A.14: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) avant l’auscultation des étriers.....	10
Figure A.15 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) ; endommagement d’un étrier au centre du poteau 2	11
Figure A.16 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) ; endommagement d’un deuxième étrier au centre du poteau 2.....	11
Figure A.17 : Vue d’ensemble du poteau 2 du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) ; les deux étriers du centre sont rupturés et aucun dommage aux étriers extérieurs	12

Figure A.18 : Vue du deuxième plan de rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G212

A.1. CONTEXTE

Des essais d'impact ont été réalisés le 10 et 11 août 2010 sur des glissières de type 210 et 311 renforcées d'armature de polymère renforcé de fibres de verre (PRFV) sur le site du centre de service du Ministère des Transports à Sherbrooke. Les résultats ont démontré que les glissières de type 311 renforcées de PRFV ont eu un comportement et des dommages similaires aux glissières homologues renforcées d'acier. Dans le cas des glissières de type 210 armées de PRFV, les dommages suite aux essais d'impact se sont avérés plus importants que ceux des glissières homologues en acier. Les travaux présentés dans ce rapport consistent à des travaux d'auscultation des étriers des glissières de type 210 armées de PRFV. Les travaux avaient pour but de vérifier l'état des étriers de PRFV dans le chasse-roue aux plans de rupture de la glissière, c'est-à-dire, au niveau des poteaux.

A.2. INSPECTION VISUELLE AVANT TRAVAUX

Par inspection visuelle, deux plans de rupture ont été remarqués suite aux essais d'impact. Le premier plan de rupture se situe aux abords du poteau et se propage à un angle d'environ 45 degrés vers l'arrière du chasse-roue. Cette surface représente un plan de cisaillement et est principalement due à la composante horizontale de la force appliquée au poteau (cisaillement sans moment). Le second plan de rupture, plus large et plus important dans le cas des essais effectués, débute au niveau de la plaque d'ancrage (position verticale) et s'étend de chaque côté du poteau. Cette surface de rupture est principalement due au moment créé par la force appliquée au poteau créant de la traction au centre du chasse-roue fissurant ainsi le béton. Les figures A.1 à A.3 présentent les deux plans de rupture, les chiffres un et deux sur les figures indiquent respectivement le premier et le deuxième plan de rupture énoncés précédemment. Toutefois, même si le deuxième plan de rupture a une surface plus étendue, il est possible de constater sur la figure A.4 que seuls les étriers situés dans la zone immédiate du poteau interceptent le plan de rupture.

A.3. TRAVAUX EFFECTUÉS

Le béton des glissières de type 210 a été démoli à l'aide d'un marteau-piqueur électrique de 16 kg ce qui représente environ l'équivalent d'un marteau-piqueur pneumatique de 7 kg en puissance. La grosseur du marteau-piqueur a été sélectionnée dans le but de déloger les étriers du chasseur sans aucunement les endommager. De plus, un marteau de même puissance a été prescrit pour de futurs essais de démolition sur ces mêmes glissières. Le temps pour la démolition du béton a été d'environ 4 heures avec une équipe de deux personnes avec un seul marteau-piqueur.

Lors de ces travaux d'auscultation, un spécimen avec étrier de PRFV de type G1 (fermé) et deux spécimens avec étrier de PRFV de type G2 (ouvert) ont été investigués. Suite au délogement du béton, il a été constaté que les étriers de PRFV du spécimen avec étrier fermé (210-PRFV-11m-I-G1) n'ont montré aucun signe d'endommagement subi lors des essais dynamiques (figures A.5 à A.7). Tout comme le spécimen précédent, le spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 avec étrier ouvert n'a montré aucun signe d'endommagement suite aux essais d'impact (figures A.8 et A.9). Lors des travaux d'auscultation des deux spécimens précédemment, un seul poteau présenté a été investigué. Toutefois, les deux poteaux du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 ont été investigués suite aux importants dommages subis par ce spécimen. Il est important de préciser que les importants dommages du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 sont dus à l'application de deux charges dynamiques contrairement aux deux spécimens précédents où un seul impact a été performé. Au niveau du premier poteau étudié, la rupture des étriers étaient apparente sans à avoir à démolir le béton (figures A.10 et A.11). Les deux étriers au centre du poteau ont rupturé par délaminage et par rupture des fibres des étriers de PRFV. De plus, il a été possible de constater une perte d'adhérence donc un glissement des étriers ouverts (figures A.12 et A.13). Après la démolition du béton autour du deuxième poteau, les deux étriers directement sous le poteau ont rupturé tout comme ceux sous le premier poteau. Toutefois, les étriers de chaque côté des deux étriers rupturé sont demeurés intacts (figures A.14 à A.17). Tel que montré sur la figure A.18, le deuxième plan de rupture comme mentionné précédemment est principalement intercepté par les étriers du centre.

A.4. CONCLUSION

En résumé, les présents travaux d'auscultation ont permis d'évaluer l'état des étriers du chasse-roue des glissières de type 210 armées de PRFV ayant subi des essais d'impact en août 2010. Les spécimens étudiés lors des présents travaux ayant subi qu'un seul essai d'impact n'ont subi aucun endommagement au niveau des étriers de PRFV dans le chasse-roue. Cette absence de dommage a été remarquée autant pour le spécimen avec étrier de PRFV de type G1 (fermé) que pour le spécimen avec étrier de type G2 (ouvert). Quant au spécimen avec étrier de type G2 (ouvert) ayant subi deux essais d'impact, deux étriers au centre des deux poteaux ont rupturé lors de ces essais. Les dommages à ces étriers consistent en des ruptures des fibres de verre, délaminage et perte d'adhérence. Toutefois, les étriers à l'extérieur des étriers rupturés au centre n'ont subi aucun endommagement. Ces étriers étant faiblement interceptés par le plan de rupture.

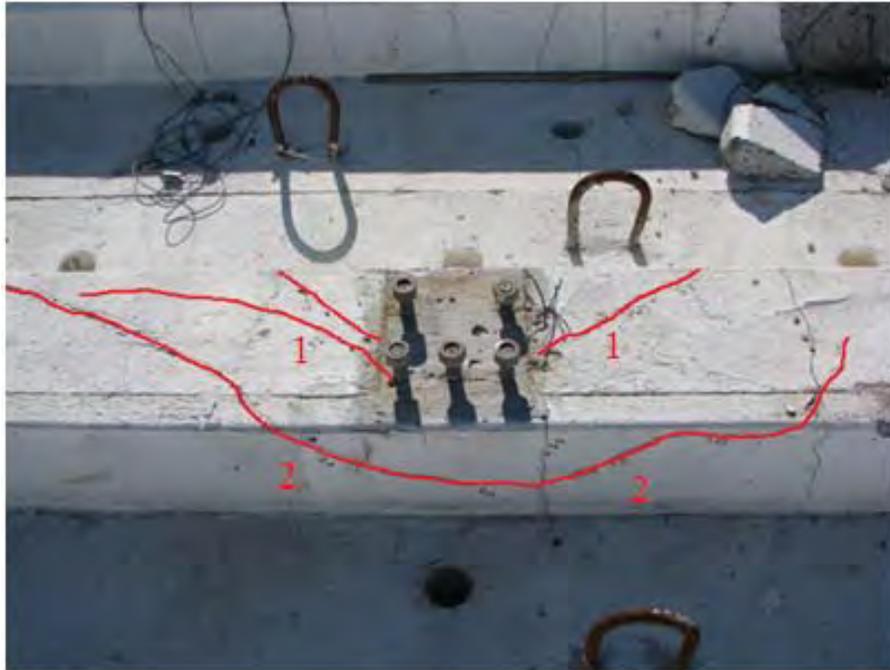


Figure A.1 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1



Figure A.2 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2

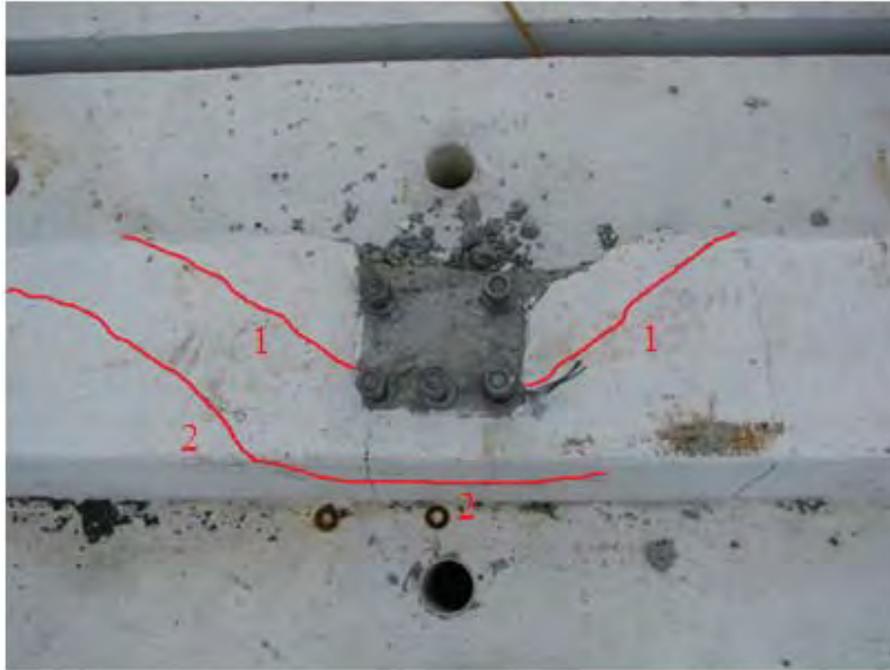


Figure A.3 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2

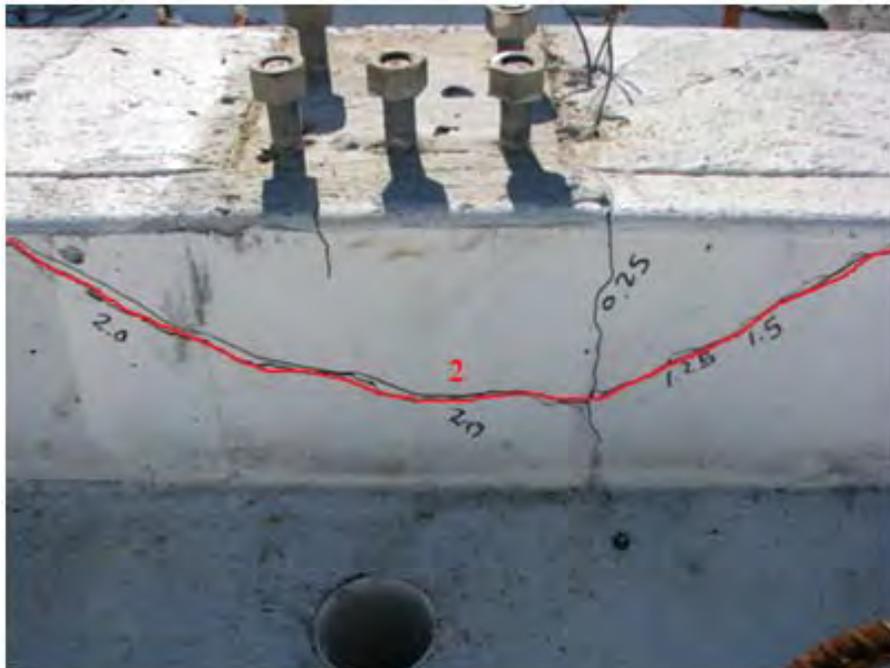


Figure A.4 : Deuxième plan de rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1



Figure A.5: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) avant l'auscultation des étriers



Figure A.6: Auscultation du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) à l'aide d'un marteau-piqueur-électrique de 16 kg



Figure A.7: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1 (étrier fermé) ; aucun endommagement des étriers



Figure A.8: Spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 (étrier ouvert) avant l'auscultation des étriers



Figure A.9: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2 (étrier ouvert) ; aucun endommagement des étriers



Figure A.10: Vue des étriers du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 1), après deux essais d'impact



Figure A.11: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) (Poteau 1) ; endommagement des deux étriers dans la zone de la plaque d'ancrage du poteau sur le côté en tension



Figure A.12: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 1) ; glissement d'un étrier sous le poteau



Figure A.13 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) (Poteau 1) ; glissement d'un étrier sous le poteau



Figure A.14: Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) avant l'auscultation des étriers



Figure A.15 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) ; endommagement d'un étrier au centre du poteau 2



Figure A.16 : Spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert)(Poteau 2) ; endommagement d'un deuxième étrier au centre du poteau 2



Figure A.17 : Vue d'ensemble du poteau 2 du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2 (étrier ouvert) ; les deux étriers du centre sont rupturés et aucun dommage aux étriers extérieurs



Figure A.18 : Vue du deuxième plan de rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

NSERC Research Chair in Innovative FRP Composite Materials for Infrastructures

Static and Dynamic Testing of 210 and 311 Bridge Barriers Reinforced with GFRP Bars

Annexe B (Phase III)
Essais comparatives de démolition sur
glissières de type 210 et 311 armées de
PRFV



TABLE DES MATIÈRES

TABLEAU DES ILLUSTRATIONS.....	II
B.1. CONTEXTE.....	1
B.2. OBJECTIFS.....	1
B.3. MÉTHODOLOGIE.....	2
ÉQUIPEMENT UTILISÉ.....	2
B.4. RÉSULTATS	3
NIVEAU D'ENDOMMAGEMENT	3
GLISSIÈRE DE TYPE 210	3
GLISSIÈRE DE TYPE 311	4
DALLE	4
TEMPS REQUIS	5
B.5. CONCLUSION.....	6

TABLEAU DES ILLUSTRATIONS

Figure B.1 : Compresseur utilisé lors des essais de démolition	7
Figure B.2 : Marteau-piqueur pneumatique de 15 kg	8
Figure B.3 : Scie à béton	8
Figure B.4 : Prélèvement des barres d'armature en PRFV	9
Figure B.5 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres droites en PRFV	10
Figure B.6 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres courbes en PRFV	11
Figure B.7 : Différents types d'endommagement de niveau moyen sur barres droites en PRFV	12
Figure B.8 : Endommagement de niveau moyen sur une barre courbe en PRFV	13
Figure B.9 : Différents types d'endommagement de niveau sévère sur barres droites en PRFV	14
Figure B.10 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres en acier	15
Figure B.11 : Endommagement de niveau moyen sur une barre en acier	16
Figure B.12 : Démolition d'une partie du chasse-roue d'une glissière de type 210	16
Figure B.13: Démolition du béton d'un chasse-roue	17
Figure B.14 : Vue après la démolition du béton d'un chasse-roue armé de PRFV	17
Figure 15 : Vue après la démolition du béton d'un chasse-roue armé d'acier	18
Figure B.16 : Démolition d'une partie du muret d'une glissière de type 311	18
Figure B.17: Démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée de PRFV	19
Figure B.18 : Vue après la démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée de PRFV	20
Figure B.19 : Vue après la démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée d'acier	20
Figure B.20 : Relevé de dommage d'une glissière armée d'acier	21
Figure B.21: Endommagement des barres de type D1, D2 et P1 d'une glissière de type 311 armé de PRFV après la démolition du béton	22
Figure B.22 : Endommagement des barres de type D1, D2 et P1 d'une glissière de type 311 armé d'acier après la démolition du béton	23
Figure B.23: Endommagement des barres longitudinales d'une glissière de type 311 armé d'acier après la démolition du béton	24
Figure B.24 : Démolition du béton d'une dalle armée de PRFV	25
Figure B.25 : Vue après la démolition du béton d'une dalle armée de PRFV	26

Figure B.26 : Vue après la démolition du béton d'une dalle armée d'acier.....	26
Figure B.27: Endommagement des barres longitudinales et transversales d'une dalle armée d'acier après la démolition du béton	27
Figure B.28: Endommagement des barres longitudinales et transversales d'une dalle armée de PRFV après la démolition du béton	27

B.1. CONTEXTE

Dans la vie utile d'un ouvrage d'art, il est courant d'effectuer des travaux de réparation afin de maintenir un bon niveau de fonctionnement. Différents types de dommage peuvent nécessiter des travaux de réparation tels que des dégradations dus à l'endommagement des armatures, gel/dégel, écaillage du béton, réaction alcali-granulat, collision de véhicule et autres. De plus, certains travaux peuvent être de l'ordre correctif par exemple le remplacement des joints de dilatation défectueux ou l'augmentation de la capacité de la structure. Dans bien des cas, ces réparations impliquent la démolition du béton et la conservation des armatures. Bien que les structures renforcées de polymère renforcé de fibres (PRF) soient des structures à très longue durée de vie, celles-ci sont toutefois sujettes à ces divers types de travaux. L'importance de ces travaux de réparation ou correctif est essentielle, toutefois, peu de travaux concernant la réparation de ces structures ont été réalisés.

B.2. OBJECTIFS

Dans le cas présent, des glissières de type 210 et 311 ayant subi des essais d'impact lors des travaux de recherche effectués en août 2010. Les essais simulaient une collision d'un véhicule avec une glissière de sécurité. Suite à ces essais, les glissières présentaient des dommages modérés où des travaux de réparation auraient pu s'avérer nécessaires. Les objectifs de ce projet de recherche consistent à :

- Comparer le temps nécessaire afin de démolir une partie des glissières de type 210 et 311 armées de PRFV comparativement aux glissières homologues armées d'acier;
- Vérifier le niveau d'endommagement des armatures de PRFV suite à la démolition du béton;
- Valider la puissance et l'équipement utilisés afin d'élaborer des recommandations pour de futurs travaux sur le terrain.

B.3. MÉTHODOLOGIE

Une conférence téléphonique tenu le 14 octobre 2010 entre les membres de l'Université de Sherbrooke et M Sylvain Goulet , ingénieur au Ministère des Transports du Québec, a permis de planifier les travaux de démolition à effectuer. De plus, les travaux on été effectué selon les spécifications présenté à la fin de ce document. Les essais de démolition consistaient à la démolition par marteau-piqueur pneumatique d'un mètre linéaire d'une glissière de type 210 armée de PRFV et d'un mètre linéaire d'une glissière de type 311 armée de PRFV. Afin de comparer le temps requis pour démolir ces glissières armées de PRFV avec des glissières armées d'acier, un mètre linéaire d'une glissière de type 210 armée d'acier et d'un mètre linéaire d'une glissière de type 311 armée d'acier ont été démoli au moyen des mêmes équipements. De plus, une dalle armée de PRFV d'une surface de 1,5 m x 0,55 m a été démoli. Tout comme précédemment, une dalle armée d'acier de même superficie a servi de comparatif. Les essais de démolition ont été effectués par un entrepreneur général de la région de Sherbrooke, Les coffrages Carmel inc..

Équipement utilisé

Les essais de démolition ont été effectués selon les documents *Réparation de glissière ou de chasse-roue en béton armé de matériaux composites* (MTQ, 2010) et *Réparation de dalle sur poutres avec armature en matériaux composites* (MTQ, 2010) présenté à la fin de ce document. Les équipements utilisés lors des essais de démolition consistent à un marteau-piqueur pneumatique de 7 et 15 kg et d'une scie à béton (figures B.1 à B.3). Tout d'abord, un trait de scie de 20 mm est effectué dans l'élément à démolir afin d'en délimiter les limites. Ensuite, un marteau-piqueur de 15 kg a servi à démolir le recouvrement de béton des glissières de type 210, 311 et des dalles. Il est à noter que le recouvrement de la glissière de type 311 armé d'acier a été effectué avec un marteau-piqueur de 7 kg. Cette glissière était le premier élément du projet à être démolie. À la suite de la démolition de cet élément, il a été convenu d'utiliser un marteau-piqueur de 15 kg pour enlever le recouvrement de béton des autres éléments étant donné le faible risque d'endommagement des armatures à ce stade. Lorsque le béton était démolie jusqu'au niveau des armatures, un marteau-piqueur de 7 kg a été utilisé afin de minimiser l'endommagement des armatures à conserver. En ce qui concerne les armatures longitudinales des glissières de type 210 et 311 armé de PRFV, celles-ci ont été coupées afin de faciliter la démolition du béton. Pour des

fins de réparation, de nouvelles barres longitudinales doivent être installées. La réparation s'effectue en installant de nouvelles barres longitudinales dans des trous perforés dans le béton sain du chasse-roue. L'adhérence de ces barres est réalisée à l'aide de produit à base d'époxy. Cependant, dans le cours de ce projet, la réparation était exclue du projet de recherche.

B.4. RÉSULTATS

Niveau d'endommagement

Lorsque la démolition du béton fut terminée, un relevé des dommages des glissières et dalles a été réalisé. De plus, les barres d'armature en PRFV endommagé ont été coupées afin de mieux caractériser le niveau de dommage (figure B.4). Les barres prélevées pourront également servir à d'éventuelles études portant sur l'endommagement des barres en PRFV. Les niveaux d'endommagement ont été déterminés selon la superficie de la barre affectée et la profondeur de l'endommagement. Toutefois, la profondeur de l'endommagement a été le critère le plus utilisé pour caractériser l'endommagement puisque celle-ci diminue la section nette de l'armature donc les propriétés mécaniques de la barre. À l'opposé, les surfaces endommagées plus étendues affectent la durabilité des armatures de PRFV en laissant les fibres exposées. Les niveaux d'endommagement des barres en PRFV ont été classés sous trois niveaux; léger, moyen et sévère. Les figures B.5 à B.9 présentent différents niveaux d'endommagement sur des barres droites ou courbes en PRFV. Mis à part l'endommagement ponctuel, il a été remarqué que les barres en PRFV avaient perdu une certaine rugosité sans toutefois sembler être une problématique. Quant aux éléments armés d'acier, le niveau de dommages relevé variait entre léger et moyen. Les figures B.10 et B.11 présentent respectivement des dommages de niveau léger et moyen sur des barres d'acier.

Glissière de type 210

La figure B.12 présente un schéma des travaux effectués sur les glissières de type 210. Un mètre linéaire de chasse-roue a été démoli sur la glissière armée de PRFV et d'acier (figure B.13). L'ancrage du poteau de la glissière était situé au centre de la zone à démolir. Les figures B.14 et B.15 présentent respectivement le chasse-roue armé de PRFV et d'acier une fois la démolition

terminée. Les étriers ont été très peu endommagés suite à ces essais de démolition. Un seul des quatre étriers de PRFV a subi des dommages. L'étrier endommagé a subi quatre endommagements de niveau léger et un endommagement de niveau moyen. Quant au chasse-roue armé d'acier, un seul endommagement de niveau léger a été relevé sur les étriers et deux endommagements de niveau léger sur les barres longitudinales.

Glissière de type 311

La figure B.16 présente un schéma des travaux réalisés sur les glissières de type 311. La figure B.17 présente les opérations de démolition d'une glissière de type 311. Tout comme les glissières de type 210, un mètre linéaire a été démoli pour chacune des glissières de type 311. Les glissières de béton de type 311 armées de PRFV et d'acier après les essais de démolition sont présentées aux figures B.18 et B.19. Un relevé des dommages a été effectué afin d'évaluer le degré de dégradation des armatures (figure B.20). Des figures B.21 à B.23, il est possible de constater que les dommages aux armatures verticales (D1, D2 et P1) des glissières 311 sont très faibles en nombre et en importance. Au total, la glissière armée de PRFV n'a subi que cinq endommagements de niveau léger. Quant à la glissière armée d'acier, un endommagement de niveau léger et un endommagement de niveau moyen ont été prélevés au niveau des armatures verticales. Comparativement aux dommages des armatures verticales, un nombre plus important d'endommagements a été relevé sur les armatures longitudinales de la glissière armée d'acier. Comme mentionné précédemment, les armatures longitudinales de la glissière armée de PRFV ont été coupées afin de faciliter la démolition du béton.

Dalle

En ce qui concerne les essais sur les dalles, 1,5 m x 0,55 m a été démoli pour les dalles armées de PRFV et d'acier. Le béton a été démoli jusqu'à 25 mm sous le deuxième rang d'armature du lit supérieur. L'espacement des barres longitudinales des deux dalles était identique, toutefois, l'espacement des barres transversales de la dalle de PRFV était moindre que celle d'acier. Puisque les essais d'impact réalisés antérieurement voulant refléter le plus fidèlement possible les conditions terrains, un espacement moindre des armatures avait été retenu pour les dalles de PRFV. Ainsi, l'espacement des armatures transversales est de 75 mm et 120 mm centre en centre

respectivement pour les dalles armées de PRFV et d'acier. La figure B.24 présente les opérations de démolition de la dalle de PRFV. Il est possible de visualiser les dalles après les travaux de démolition sur les figures B.25 et B.26. De plus, les figures B.27 et B.28 présentent respectivement les relevés de dommage effectué sur les dalles armées de PRFV et d'acier. De ces figures, il est possible de constater que la dalle armée de PRFV a subi beaucoup plus de dommage en nombre et en importance que la dalle armée d'acier. Cet endommagement plus élevé dans la dalle armée de PRFV est dû à deux faits. Le premier est dû à la faible ténacité des armatures de PRFV, ainsi, un même impact du marteau-piqueur sur une armature de PRFV crée un dommage beaucoup plus élevé que sur une armature d'acier. Deuxièmement, dans ce cas-ci, l'armature de PRFV était beaucoup plus rapprochée, ce qui rendait le travail de démolition très difficile. Il est à noter que pour une dalle avec un espacement plus grand, la quantité de dommage et l'importance des dommages devraient être moindres.

Temps requis

Le temps nécessaire à la démolition de chaque type d'élément est présenté au tableau 1. Il est important de noter que les temps requis à la démolition de chaque type d'élément doivent être utilisés avec prudence. C'est-à-dire, la première journée des travaux de démolition, l'équipement pneumatique fonctionnait de façon intermittente, ce qui a créé d'importantes incertitudes quant au temps réel de démolition. De plus, un marteau-piqueur de 15 kg a été utilisé pour la démolition du recouvrement de béton de la glissière de type 311 armée de PRFV contrairement à un marteau-piqueur de 7 kg pour la glissière armée d'acier. Toutefois, du tableau 1, il est possible de constater que la glissière de type 311 a requis environ un tiers de plus de temps que la glissière homologue armée d'acier. En ce qui concerne la dalle armée de PRFV, un temps d'environ un tiers a également été requis afin de démolir le béton comparativement à la dalle armée d'acier. De ce qui est de la glissière de type 210, la glissière armée de PRFV a exigé environ 60 % moins de temps que la dalle armée d'acier. Ce temps requis plus faible pour la glissière de type 210 armée de PRFV est dû au fait que les armatures longitudinales du chasse-roue ont été coupées afin de faciliter la démolition du béton.

B.5. CONCLUSION

Suite aux essais de démolition réalisés sur des glissières de type 210 et 311 armées de PRFV et d'une dalle armée de PRFV, les conclusions suivantes peuvent être tirées;

- Les étriers en PRFV dans le chasse-roue de la glissière de type 210 ont subi que très peu de dommages suite à la démolition du béton. Couper les armatures longitudinales dans le chasse-roue à permis de réduire le temps de démolition d'environ 60 % comparativement à au chasse-roue armé d'acier;
- Les armatures verticales (D1, D2 et P1) de la glissière de type 311 armée de PRFV ont subi que de léger dommages suite à la démolition du béton. Le temps requis pour la démolition de la glissière armée de PRFV a requis environ un tiers plus de temps que la glissière homologue armée d'acier;
- La dalle armée de PRFV a subi beaucoup plus de dommages et terme de quantité et d'importance que la dalle armée d'acier. L'espacement plus rapproché des armatures transversales a rendu le travail de démolition beaucoup plus difficile. Dans le cas où l'espacement des armatures de la dalle serait plus espacé, un endommagement moindre devrait en résulter. Le temps requis pour la démolition de la dalle armée de PRFV est d'environ un tiers plus élevé que la dalle armée d'acier;
- L'utilisation de marteau-piqueur de 15 kg peut-être utilisé sans aucun problème afin de démolir le recouvrement de béton. De plus, lorsque l'espacement des armatures le permet, ce même marteau pourrait être utilisé afin de démolir le béton entre les rangs d'armature. Le marteau-piqueur de 7 kg devrait être utilisé pour démolir le béton près des armatures de PRFV.

Tableau B.1 : Temps nécessaire pour la démolition du béton de chaque élément

Jour	311-PRFV	210-PRFV	Dalle-PRFV	311-Acier	210-Acier	Dalle-Acier
2 décembre	5 min	-	15 min	165 min	-	85 min
3 décembre	195 min	105 min	130 min	-	105 min	90 min
6 décembre	25 min	-	80 min	-	80 min	-
Total	225 min	105 min	225 min	165 min	185 min	175 min



Figure B.1 : Compresseur utilisé lors des essais de démolition



Figure B.2 : Marteau-piqueur pneumatique de 15 kg



Figure B.3 : Scie à béton



Figure B.4 : Prélèvement des barres d'armature en PRFV

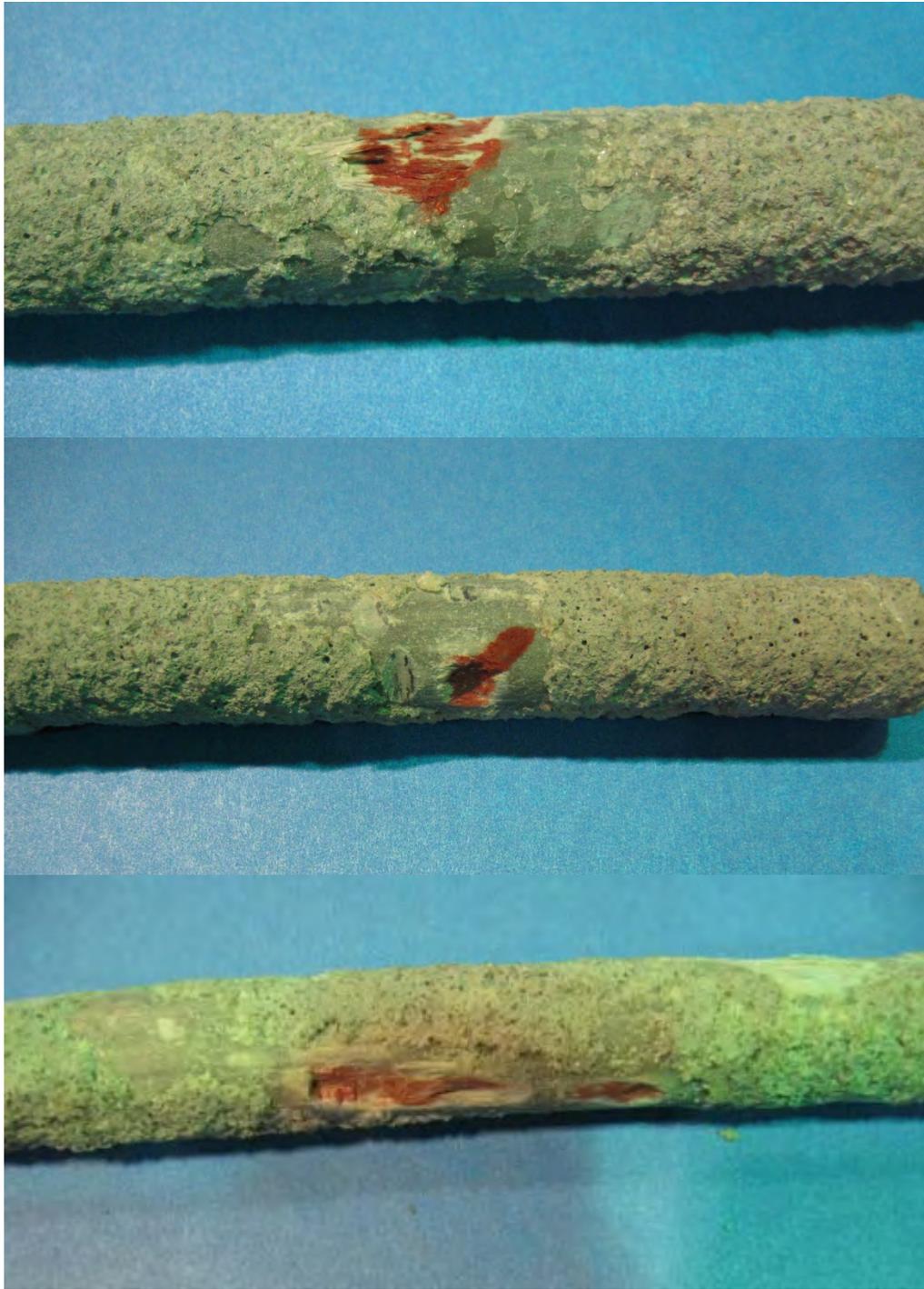


Figure B.5 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres droites en PRFV



Figure B.6 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres courbes en PRFV

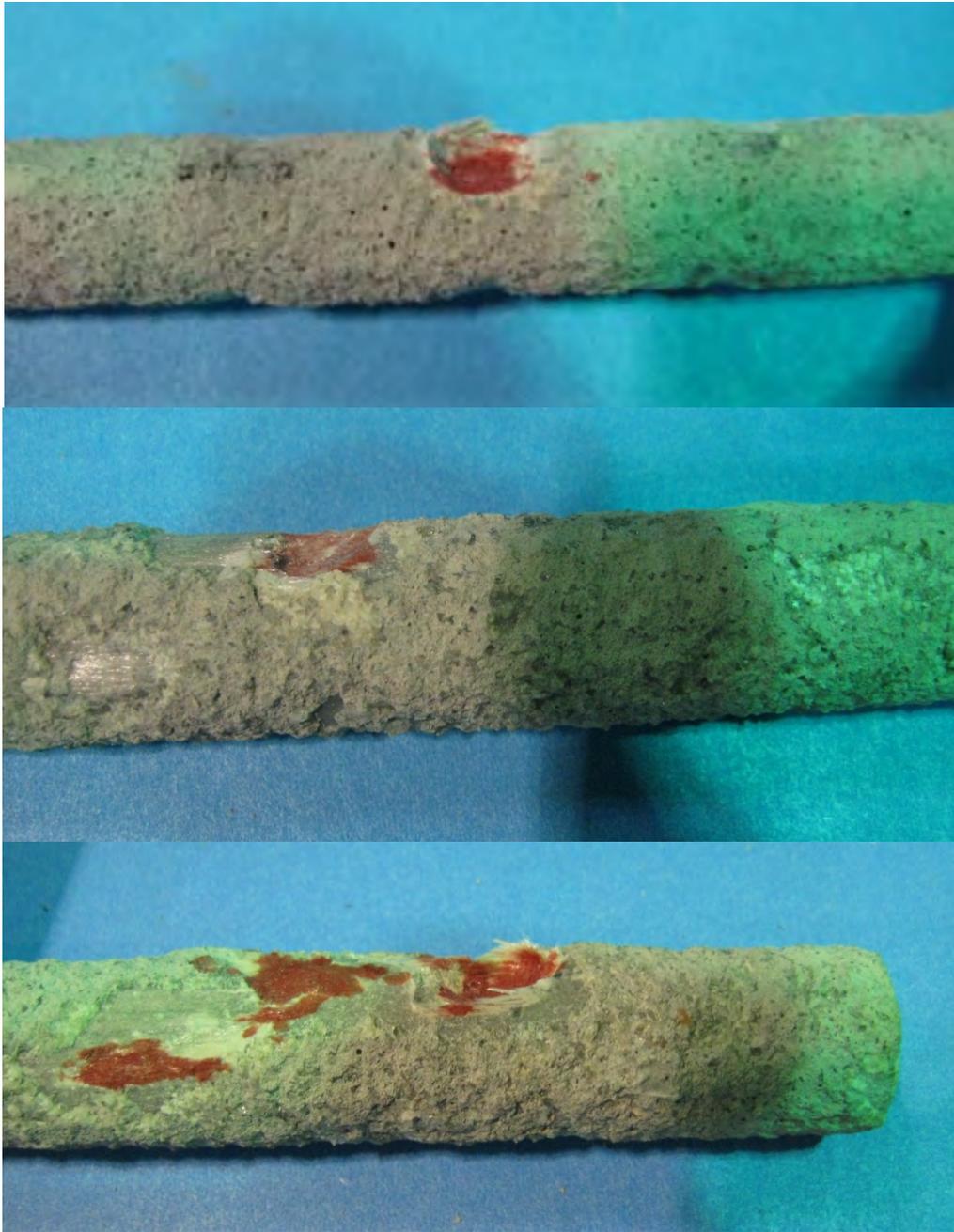


Figure B.7 : Différents types d'endommagement de niveau moyen sur barres droites en PRFV



Figure B.8 : Endommagement de niveau moyen sur une barre courbe en PRFV

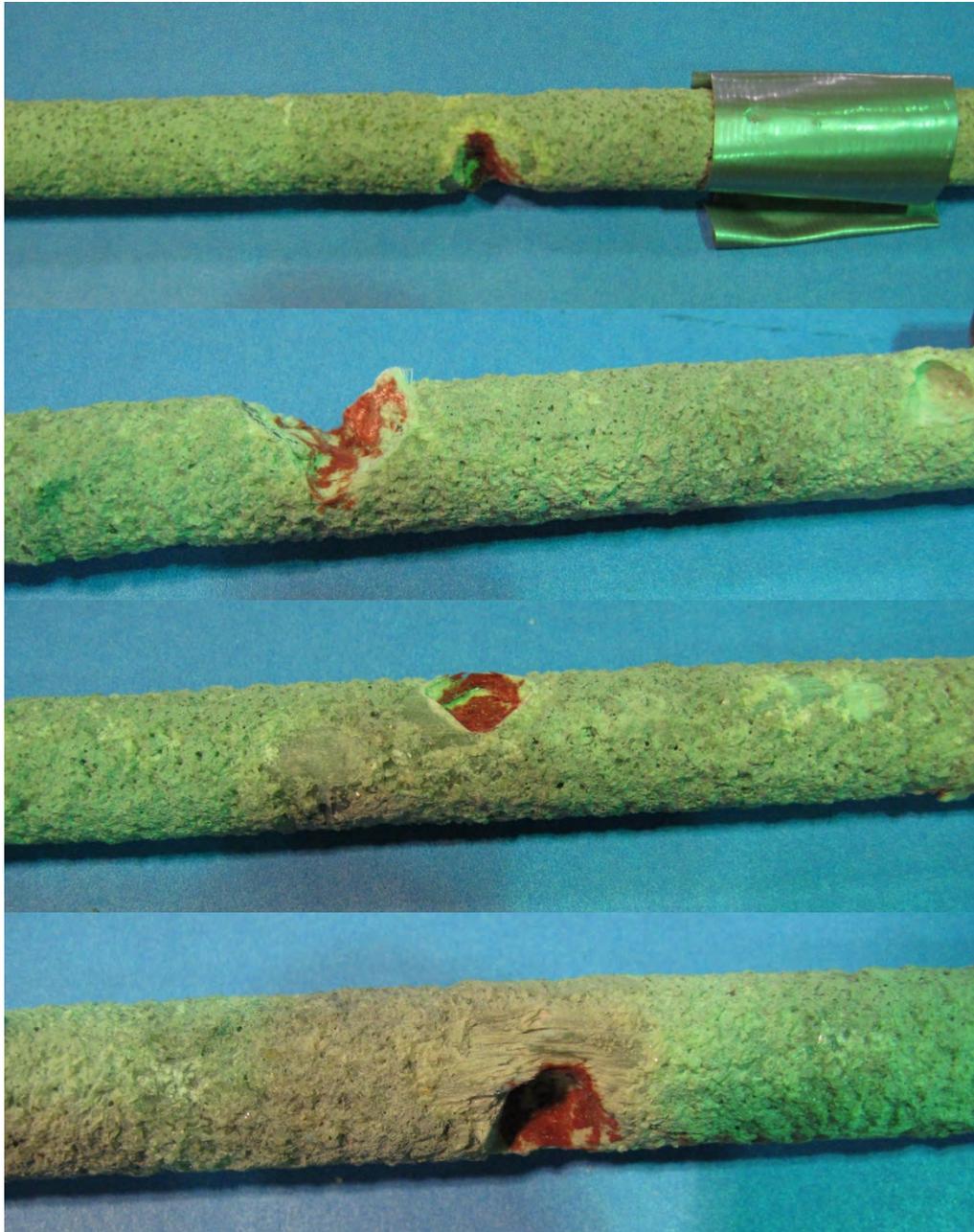


Figure B.9 : Différents types d'endommagement de niveau sévère sur barres droites en PRFV



Figure B.10 : Différents types d'endommagement de niveau léger sur barres en acier



Figure B.11 : Endommagement de niveau moyen sur une barre en acier

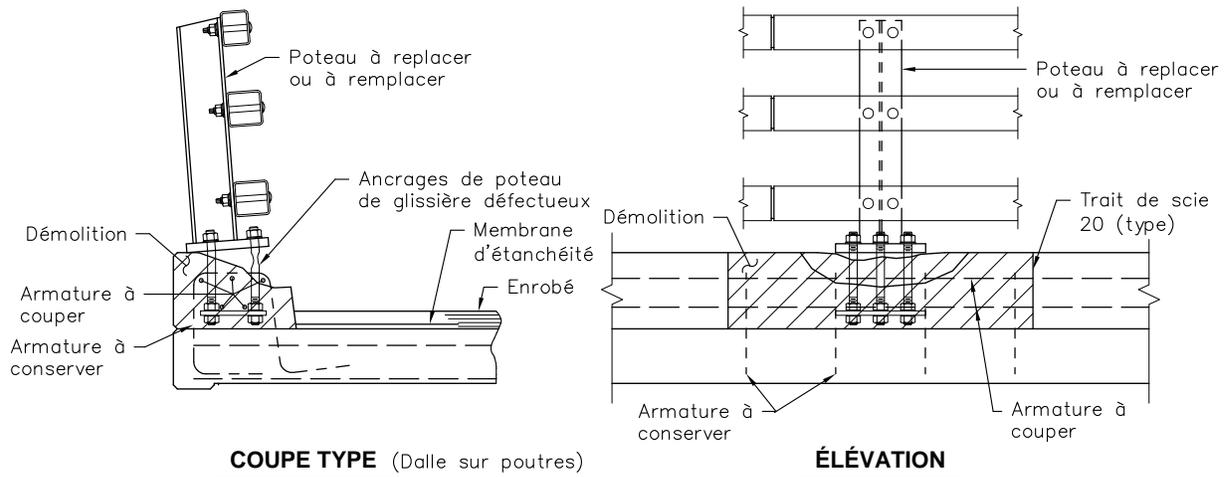


Figure B.12 : Démolition d'une partie du chasse-roue d'une glissière de type 210



Figure B.13: Démolition du béton d'un chasse-roue



Figure B.14 : Vue après la démolition du béton d'un chasse-roue armé de PRFV



Figure 15 : Vue après la démolition du béton d'un chasse-roue armé d'acier

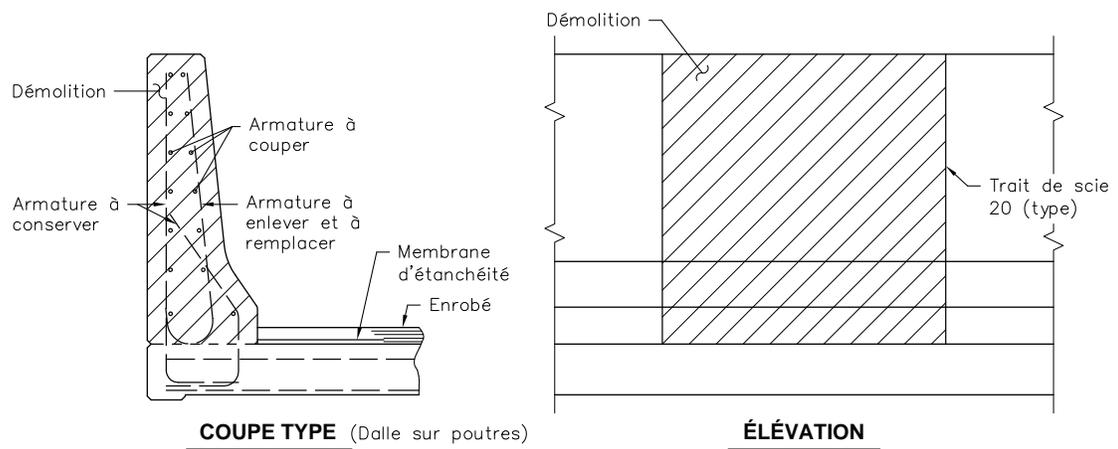


Figure B.16 : Démolition d'une partie du muret d'une glissière de type 311



Figure B.17: Démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée de PRFV



Figure B.18 : Vue après la démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée de PRFV



Figure B.19 : Vue après la démolition du béton d'un muret de glissière de type 311 armée d'acier



Figure B.20 : Relevé de dommage d'une glissière armée d'acier

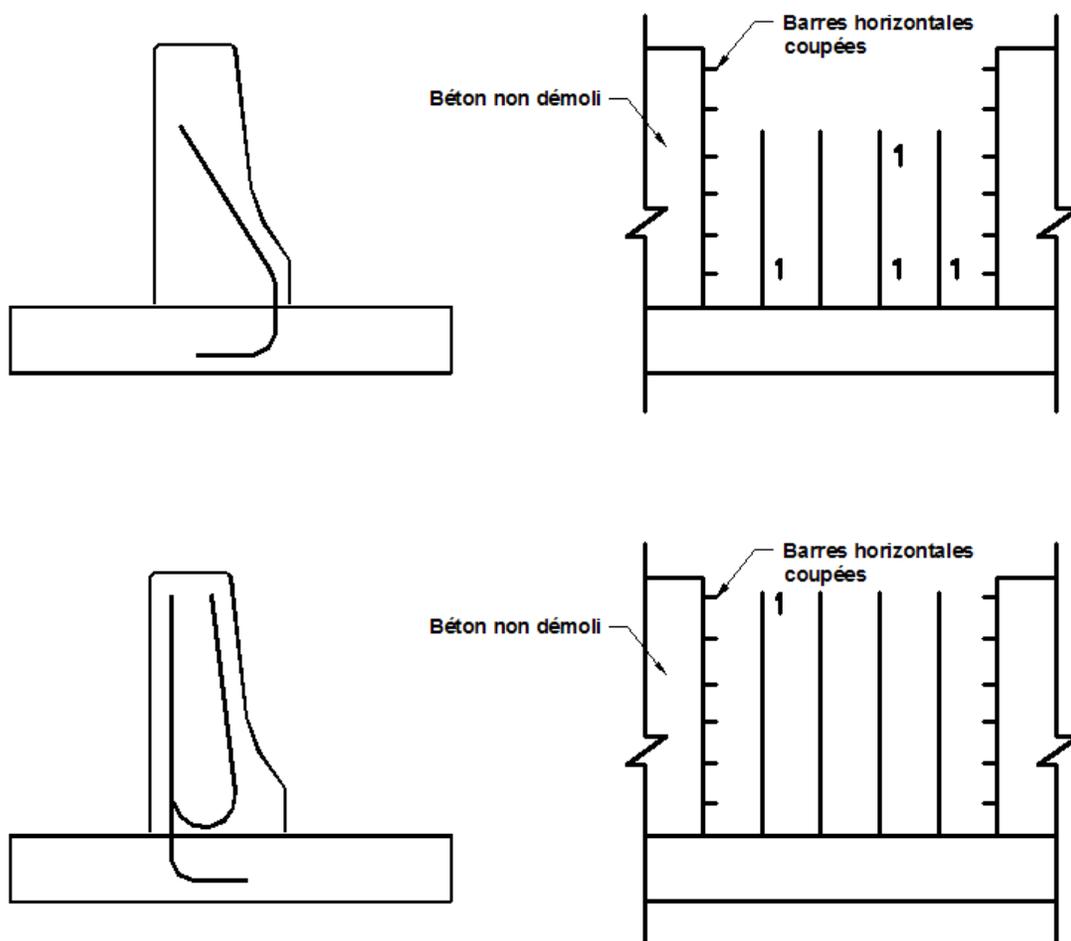


Figure B.21: Endommagement des barres de type D1, D2 et P1 d'une glissière de type 311 armé de PRFV après la démolition du béton¹

¹ Les chiffres 1, 2 et 3 représentent respectivement des endommagements de niveau léger, moyen et sévère.

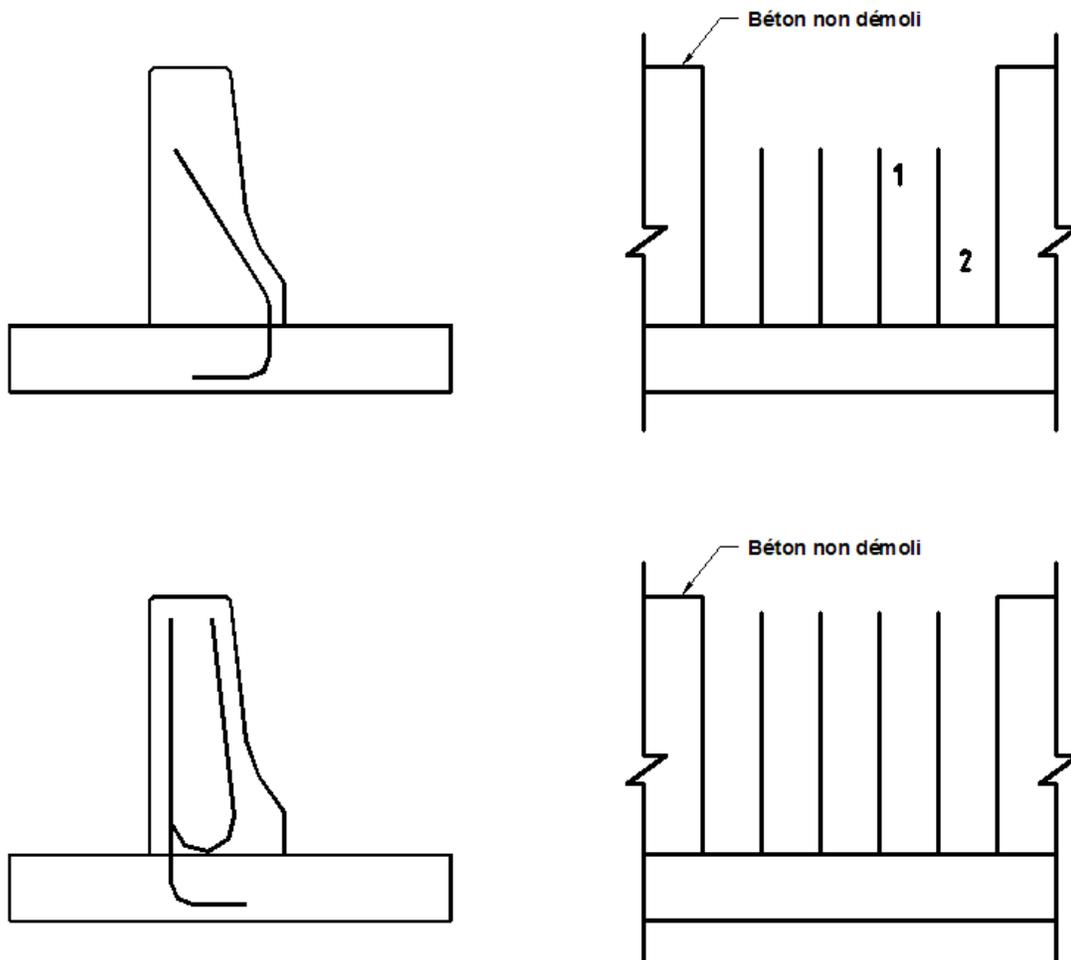


Figure B.22 : Endommagement des barres de type D1, D2 et P1 d'une glissière de type 311 armé d'acier après la démolition du béton²

² Les chiffres 1, 2 et 3 représentent respectivement des endommagements de niveau léger, moyen et sévère.

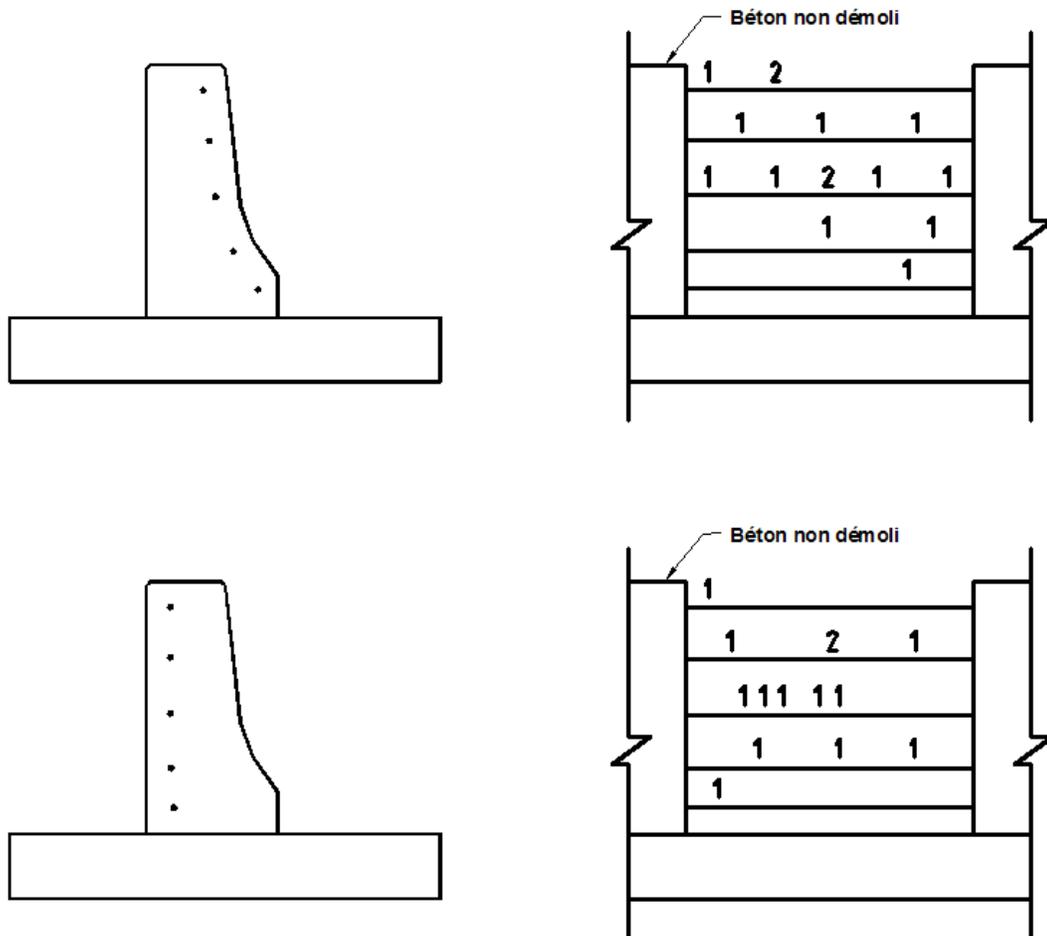


Figure B.23: Endommagement des barres longitudinales d'une glissière de type 311 armé d'acier après la démolition du béton³

³ Les chiffres 1, 2 et 3 représentent respectivement des endommagements de niveau léger, moyen et sévère.



Figure B.24 : Démolition du béton d'une dalle armée de PRFV



Figure B.25 : Vue après la démolition du béton d'une dalle armée de PRFV



Figure B.26 : Vue après la démolition du béton d'une dalle armée d'acier

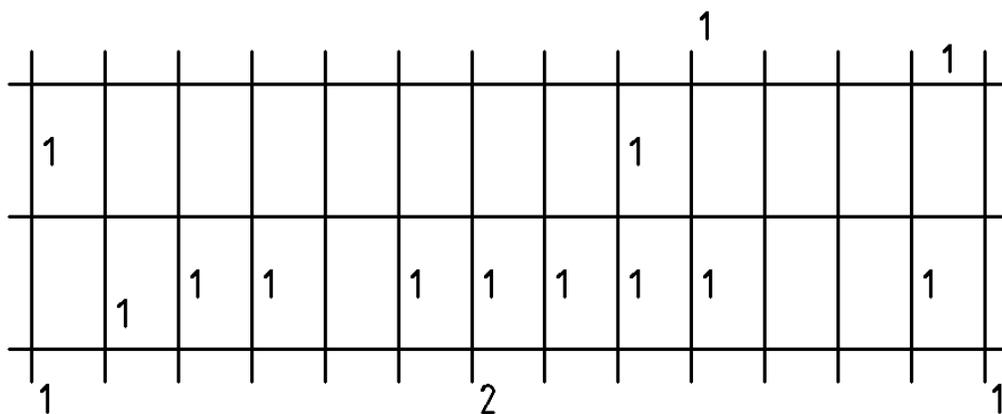
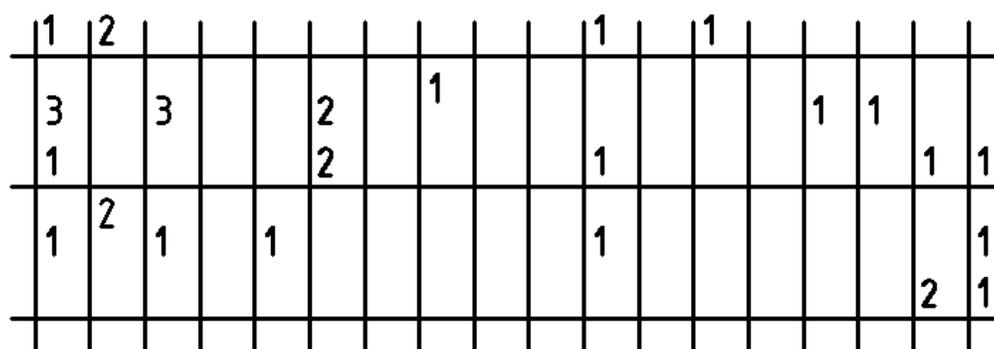
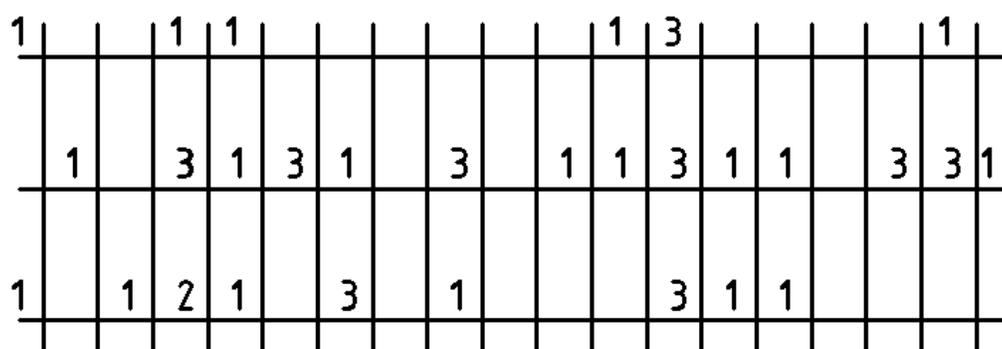


Figure B.27: Endommagement des barres longitudinales et transversales d'une dalle armée d'acier après la démolition du béton⁴



Endommagement sur barres transversales



Endommagement sur barres longitudinales

Figure B.28: Endommagement des barres longitudinales et transversales d'une dalle armée de PRFV après la démolition du béton

⁴ Les chiffres 1, 2 et 3 représentent respectivement des endommagements de niveau léger, moyen et sévère.

RÉFÉRENCES

Ministère des Transports du Québec, (2010). " Réparation de dalle sur poutres avec armature en matériaux composites" Activité 3131-PRF, Février, 13 p.

Ministère des Transports du Québec, (2010). " Réparation de glissière ou de chasse-roue en béton armé de matériaux composites " Activité PRF-3071, Février, 10 p.

**TRAVAUX DE DÉMOLITION/GLISSIÈRES 311 ET 210/SITE CENTRE DE SERVICE
DE SHERBROOKE DU MTQ/DATE DES ESSAIS : JEUDI 2 DÉCEMBRE 2010 À
PARTIR DE 8h30**

PARTENAIRES : Ministère des Transports du Québec (Direction des Structures, Québec),
L'entreprise Les Coffrages Carmel Inc. et l'Université de Sherbrooke

Activités PRF 3071

1. Les essais de démolition serviront à comparer le temps d'exécution pour la démolition de glissière armée d'acier et de PRF. De plus, ces essais permettront de vérifier l'état des armatures de PRF après démolition.
2. Une glissière armée de PRFV de type 311 ainsi qu'une glissière armée d'acier de type 311, seront démolies selon **l'option 2 (page 9)** du document *PRF 3071 Réparation de glissière ou de chasse-roue en béton armé de matériaux composites daté de Février 2010 10 pages*.
3. La démolition comme indiquée sur le schéma comprend la hauteur totale de la glissière. La démolition devra être faite sur la partie endommagée par les essais d'impact.
4. Un mètre linéaire de glissière est à démolir pour chacune des glissières.
5. Les surfaces à démolir doivent être délimitées par un trait de scie de 20 mm de profondeur.
6. Un marteau pneumatique de 7 kg maximum devra être utilisé afin de minimiser l'endommagement des armatures verticales. Les armatures longitudinales ne sont pas à conserver.
7. De la même façon que les glissières de type 311, un chasse-roue armé d'acier ainsi qu'un chasse-roue armé de PRFV (glissière de type 210) seront démolis sur une distance d'un mètre chacun (0.5 m de chaque côté du poteau) (**pages 5 à 7, 10**).
8. Ces essais comprennent seulement la démolition. Il n'est pas nécessaire de percer des trous pour l'installation de nouvelles barres d'armature, ni de réparer la partie démolie.

Activités PRF 3131

1. Une dalle armée d'acier ainsi qu'une armée de PRF seront démolies pour fin de comparaison. Les surfaces de chacune des dalles à démolir sont d'environ 1,0 m par 2,0 m.
2. Les surfaces à démolir doivent être délimitées par un trait de scie de 20 mm de profondeur.
3. La profondeur de la démolition est établie à 25 mm sous le deuxième rang des armatures supérieures de la dalle.
4. Les équipements autorisés sont le marteau piqueur de 15 kg (max) pour le béton au dessus de l'armature et le marteau piqueur de 7 kg (max) pour le béton au niveau et en dessous de l'armature.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
31 de 10

RÉFÉRENCES

Normes du MTQ

. Tome V – Signalisation routière.

Manuel de conception des structures

. Chapitre 16 « Ouvrages renforcés de fibres »

DESCRIPTION

Réparation localisée d'une glissière ou d'un chasse-roue en béton armé de matériaux composites.

NIVEAU DE QUALITÉ

Le seuil d'intervention est basé sur les critères suivants :

Défauts de glissière ou de chasse-roue présentant un danger potentiel important pour les usagers.

- Défauts importants sur une glissière rigide en béton : désagrégation, délaminage ou éclatement du béton.
- Défauts importants sur un chasse-roue en béton : désagrégation, délaminage ou éclatement du béton.

Il est recommandé de réparer une glissière (ou un chasse-roue) si elle offre dans son ensemble un niveau de protection acceptable aux usagers et si les défauts sont localisés.

Si une glissière (ou un chasse-roue) n'offre plus son rôle de protection sur plus de 30 % de sa longueur totale, il est recommandé d'envisager un remplacement.

MÉTHODE DE TRAVAIL

1. Prévoir des dispositions de signalisation routière pour assurer la sécurité des usagers et des ouvriers pendant les travaux, en conformité avec les dispositions appropriées des Normes du MTQ – Tome V – Signalisation routière.
2. Délimiter les surfaces de béton à démolir de la glissière ou du chasse-roue par un trait de scie de 20 mm.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIaux COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
32 de 10

Les traits de scie ne doivent pas se croiser aux angles d'une réparation; la délimitation est finalisée à l'aide d'un marteau pneumatique manuel de 7 kg.

Diminuer au besoin la profondeur du trait de scie pour éviter d'endommager les barres d'armature.

A) Glissière rigide en béton (option 1)

3. Démolir le béton existant à l'aide d'un marteau pneumatique manuel (masse de 7kg max.) pour enlever les armatures à remplacer et atteindre le béton sain ou la limite requise de la zone à réparer.
4. Prendre les précautions nécessaires pour conserver les armatures verticales existantes de la glissière. Il faut éviter de frapper ou de s'appuyer, pour faciliter la démolition, avec le marteau pneumatique sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.
5. Couper les armatures horizontales existantes de la glissière aux limites de la démolition.
6. Décaper la surface de béton démolit à l'aide d'un jet d'eau haute pression pour enlever les particules et granulats du béton qui sont détachables. Il faut éviter de diriger le jet d'eau haute pression sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.
7. Tous les dommages sur les armatures à conserver doivent être badigeonnés de deux couches d'une résine vinyl-ester pour rétablir l'intégrité de la couche superficielle de protection des armatures. Les extrémités des barres d'armature qui ont été coupées doivent aussi être protégées de la même façon.
8. Forer à l'aide d'une mèche les trous du diamètre et de la profondeur requis, selon les recommandations du fabricant de l'adhésif époxy, pour développer les armatures à ajouter pour la réparation.
9. Injecter l'adhésif époxy à l'intérieur des trous préalablement forés, puis insérer les nouvelles armatures à l'intérieur des trous (selon les recommandations du fabricant). Les armatures ne doivent pas être bougées ou sollicitées avant la prise de l'adhésif.
10. Nettoyer la surface de béton démolit à l'aide d'un jet d'eau sous pression (pression 15 MPa, débit 20 L/min, buse à jet circulaire concentré et distance buse-surface de béton 150 à 200 mm). Il faut éviter de diriger le jet d'eau sous pression sur les armatures en matériaux composites pour éviter d'endommager ces armatures. Ce nettoyage ne doit être effectué qu'après la prise de l'adhésif époxy.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
33 de 10

11. Ajouter toute autre armature requise selon les plans de réparation.
12. Installer les coffrages.
13. Nettoyer l'intérieur des coffrages de tout débris à l'aide d'un jet d'air ou d'un jet d'eau sous pression ou bien d'un aspirateur.
14. Humidifier les surfaces de contact avant la mise en place du nouveau béton.

L'eau libre en surface et au fond des coffrages doit toutefois être enlevée avant le bétonnage.

Le fait d'humidifier les surfaces de béton jusqu'à saturation et de les laisser s'assécher favorise la liaison entre le béton conservé et le nouveau béton.
15. Procéder à la mise en place du béton.
16. Effectuer la cure du béton.
17. Procéder à l'enlèvement des coffrages.
18. Faire la correction des surfaces et enlever les bavures du béton sur le pourtour de la surface réparée.
19. Remplir les trous laissés par les attaches des coffrages avec un mortier cimentaire en sac (norme MTQ 3801).

B) Glissière rigide en béton (option 2)

3. Démolir le béton existant à l'aide d'un marteau pneumatique manuel (masse de 7kg max.) pour enlever les armatures à remplacer et atteindre le béton sain ou la limite requise de la zone à réparer.
4. Prendre les précautions nécessaires pour conserver les armatures verticales existantes ancrant la glissière dans la dalle. Il faut éviter de frapper ou de s'appuyer, pour faciliter la démolition, avec le marteau pneumatique sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.
5. Couper les armatures horizontales existantes de la glissière aux limites de la démolition.
6. Décaper la surface de béton démolit à l'aide d'un jet d'eau haute pression pour enlever les particules et granulats du béton qui sont détachables. Il faut éviter de diriger le jet d'eau haute pression sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
34 de 10

7. Tous les dommages sur les armatures à conserver doivent être badigeonnés de deux couches d'une résine vinyl-ester pour rétablir l'intégrité de la couche superficielle de protection des armatures. Les extrémités des barres d'armature qui ont été coupées doivent aussi être protégées de la même façon.
8. Forer à l'aide d'une mèche les trous du diamètre et de la profondeur requis, selon les recommandations du fabricant de l'adhésif époxy, pour développer les armatures à ajouter pour la réparation.
9. Forer, à l'aide d'une mèche les trous du diamètre requis, sur la profondeur complète de la dalle pour accueillir les nouveaux ancrages de la glissière dans la dalle.
10. Positionner les nouveaux ancrages de la glissière dans la dalle et injecter une résine époxy suffisamment fluide pour combler l'espace entre l'ancrage et la dalle afin d'assurer l'étanchéité. Maintenir en place à leur position finale les ancrages à l'aide de l'écrou d'ajustement avant la prise de la résine.
11. Injecter l'adhésif époxy à l'intérieur des trous préalablement forés, puis insérer les nouvelles armatures à l'intérieur des trous (selon les recommandations du fabricant).

Les armatures et les ancrages ne doivent pas être bougés ou sollicités avant la prise de la résine et de l'adhésif époxy.

12. Nettoyer la surface de béton démolie à l'aide d'un jet d'eau sous pression (pression 15 MPa, débit 20 L/min, buse à jet circulaire concentré et distance buse-surface de béton 150 à 200 mm). Il faut éviter de diriger le jet d'eau sous pression sur les armatures en matériaux composites pour éviter d'endommager ces armatures. Ce nettoyage ne doit être effectué qu'après la prise de la résine et de l'adhésif époxy.
13. Ajouter toute autre armature requise selon les plans de réparation.
14. Installer les coffrages.
15. Nettoyer l'intérieur des coffrages de tout débris à l'aide d'un jet d'air ou d'un jet d'eau sous pression ou bien d'un aspirateur.
16. Humidifier les surfaces de contact avant la mise en place du nouveau béton.

L'eau libre en surface et au fond des coffrages doit toutefois être enlevée avant le bétonnage.

Le fait d'humidifier les surfaces de béton jusqu'à saturation et de les laisser s'assécher favorise la liaison entre le béton conservé et le nouveau béton.
17. Procéder à la mise en place du béton.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
35 de 10

18. Effectuer la cure du béton.
19. Procéder à l'enlèvement des coffrages.
20. Faire la correction des surfaces et enlever les bavures du béton sur le pourtour de la surface réparée.
21. Remplir les trous laissés par les attaches des coffrages avec un mortier cimentaire en sac (norme MTQ 3801).

C) Glissière avec poteaux en acier sur chasse-roue

3. Enlever les poteaux et les sections de glissière endommagés en coupant au besoin certaines parties au chalumeau.
4. Pour les parties de glissière à conserver, resserrer les boulons qui ancrent les poteaux et ceux qui attachent les lisses ou les panneaux aux poteaux.
5. Démolir le béton existant à l'aide d'un marteau pneumatique manuel (masse de 7kg max.) pour enlever les armatures à remplacer et atteindre le béton sain ou la limite requise de la zone à réparer.
6. Prendre les précautions nécessaires pour conserver les armatures verticales existantes ancrant le chasse-roue dans la dalle. Il faut éviter de frapper ou de s'appuyer, pour faciliter la démolition, avec le marteau pneumatique sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.
7. Couper les armatures horizontales existantes du chasse-roue aux limites de la démolition.
8. Décaper la surface de béton démolit à l'aide d'un jet d'eau haute pression pour enlever les particules et granulats du béton qui sont détachables. Il faut éviter de diriger le jet d'eau haute pression sur les armatures à conserver pour réduire au minimum l'endommagement de ces armatures.
9. Tous les dommages sur les armatures à conserver doivent être badigeonnés de deux couches d'une résine vinyl-ester pour rétablir l'intégrité de la couche superficielle de protection des armatures. Les extrémités des barres d'armature qui ont été coupées doivent aussi être protégées de la même façon.
10. Forer à l'aide d'une mèche les trous du diamètre et de la profondeur requis, selon les recommandations du fabricant de l'adhésif époxy, pour développer les armatures à ajouter pour la réparation.

RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES

ACTIVITÉ
PRF 3071

DATE
Février 2010

PAGE
36 de 10

11. Forer à l'aide d'une mèche les trous du diamètre requis, sur la profondeur complète de la dalle, pour accueillir les nouveaux ancrages du chasse-roue dans la dalle.
12. Installer les nouveaux systèmes d'ancrage des poteaux de glissière dans le chasse-roue et les positionner correctement à l'aide d'un gabarit.
13. Positionner les nouveaux ancrages du chasse-roue dans la dalle et injecter une résine époxy suffisamment fluide pour combler l'espace entre l'ancrage et la dalle afin d'assurer l'étanchéité. Maintenir en place à leur position finale les ancrages à l'aide de l'écrou d'ajustement avant la prise de la résine.
14. Injecter l'adhésif époxy à l'intérieur des trous préalablement forés, puis insérer les nouvelles armatures à l'intérieur des trous (selon les recommandations du fabricant).

Les armatures et les ancrages ne doivent pas être bougés ou sollicités avant la prise de la résine et de l'adhésif époxy.

15. Nettoyer la surface de béton démolie à l'aide d'un jet d'eau sous pression (pression 15 MPa, débit 20 L/min, buse à jet circulaire concentré et distance buse-surface de béton 150 à 200 mm). Il faut éviter de diriger le jet d'eau sous pression sur les armatures en matériaux composites pour éviter d'endommager ces armatures. Ce nettoyage ne doit être effectué qu'après la prise de la résine et de l'adhésif époxy.
16. Ajouter toute autre armature requise selon les plans de réparation.
17. Installer les coffrages.
18. Nettoyer l'intérieur des coffrages de tout débris à l'aide d'un jet d'air ou d'un jet d'eau sous pression ou bien d'un aspirateur.
19. Humidifier les surfaces de contact avant la mise en place du nouveau béton.

L'eau libre en surface et au fond des coffrages doit toutefois être enlevée avant le bétonnage.

Le fait d'humidifier les surfaces de béton jusqu'à saturation et de les laisser s'assécher favorise la liaison entre le béton conservé et le nouveau béton.

20. Procéder à la mise en place du béton.
21. Effectuer la cure du béton.
22. Procéder à l'enlèvement des coffrages.

**RÉPARATION DE GLISSIÈRE OU DE CHASSE-ROUE EN
BÉTON ARMÉ DE MATÉRIAUX COMPOSITES**

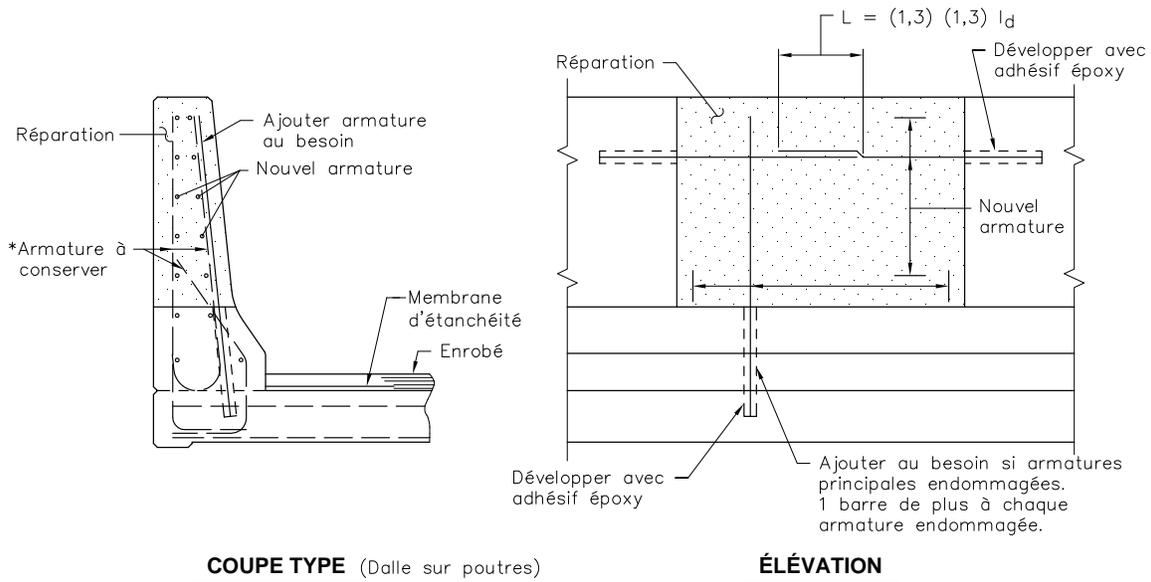
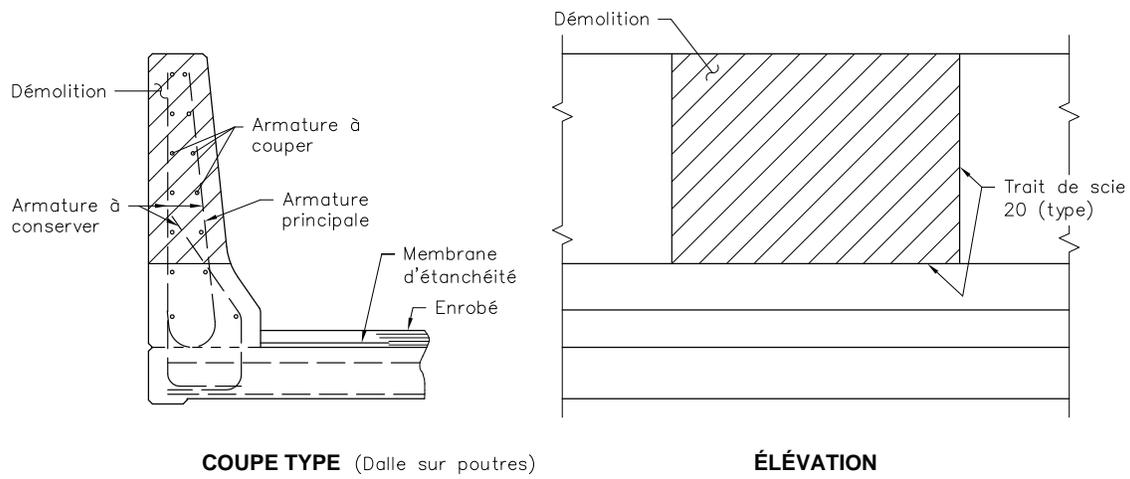
**ACTIVITÉ
PRF 3071**

**DATE
Février 2010**

**PAGE
37 de 10**

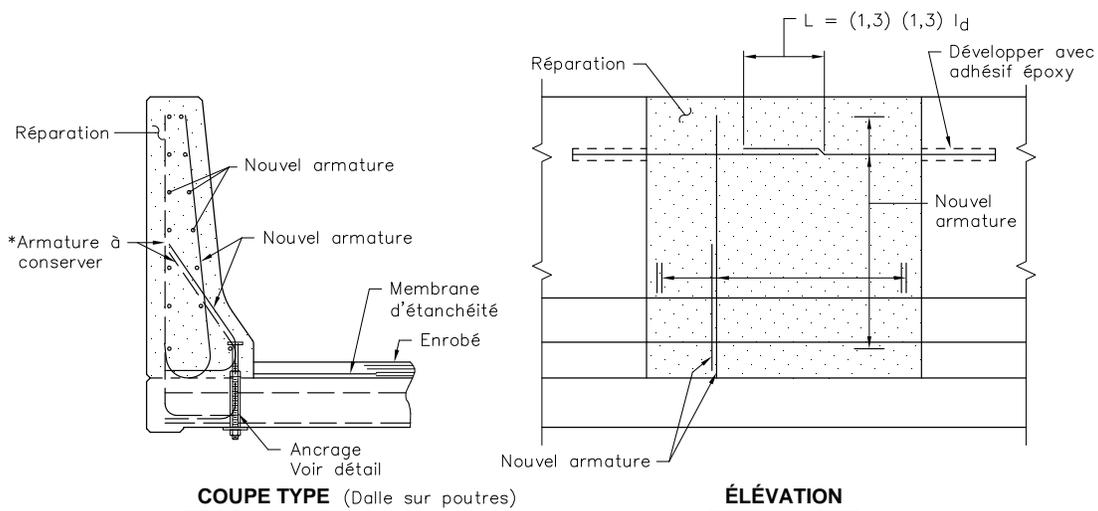
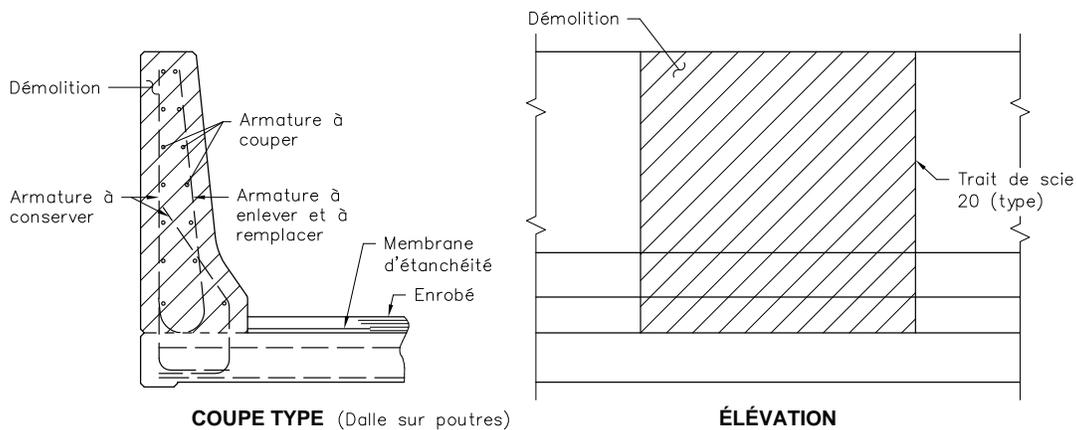
23. Faire la correction des surfaces et enlever les bavures du béton sur le pourtour de la surface réparée.
24. Remplir les trous laissés par les attaches des coffrages avec un mortier cimentaire en sac (norme MTQ 3801).
25. Mettre un matériau isolant entre la base des poteaux et la surface de béton sous-jacente.
26. Après la cure du béton, installer de nouveaux poteaux et de nouvelles sections de glissière en acier galvanisé et les aligner avec les sections existantes.

Préliminaire

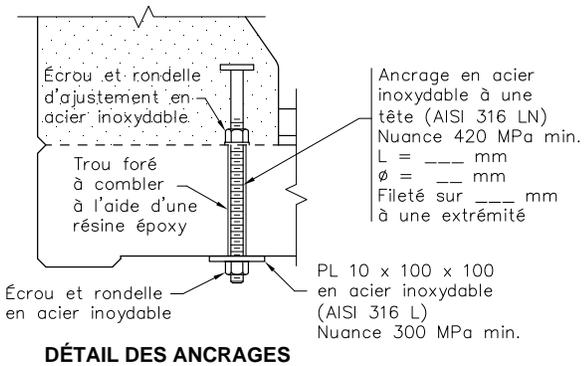


*Badigeonner les endommagements sur les armatures endommagées avec 2 couches de résine vinyl-ester.

RÉPARATION LOCALISÉE D'UNE GLISSIÈRE RIGIDE EN BÉTON (OPTION 1)

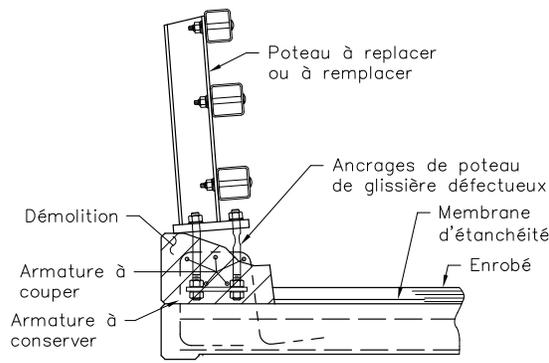


*Badigeonner les endommagements sur les armatures endommagées avec 2 couches de résine vinyl-ester.

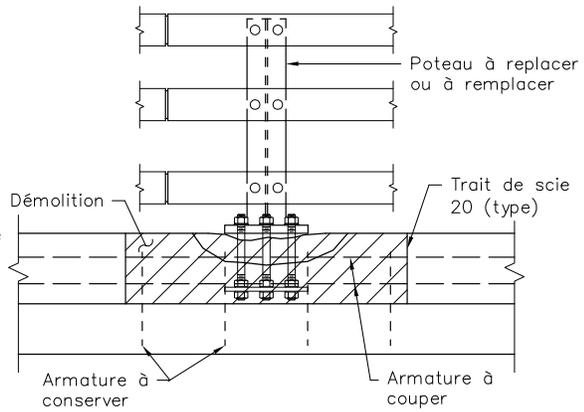


Note: La résistance des ancrages doit être équivalente à celle des armatures originales ancrant la glissière dans la dalle.

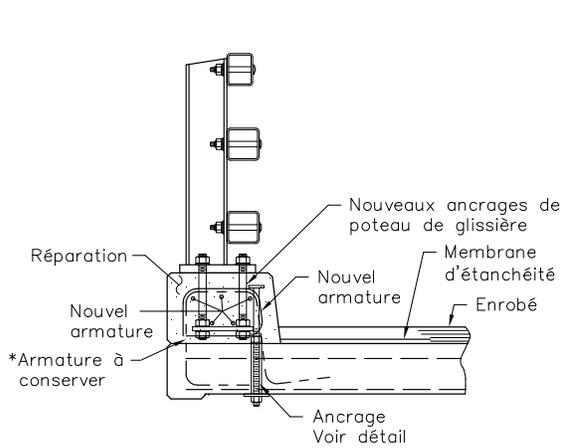
RÉPARATION LOCALISÉE D'UNE GLISSIÈRE RIGIDE EN BÉTON (OPTION 2)



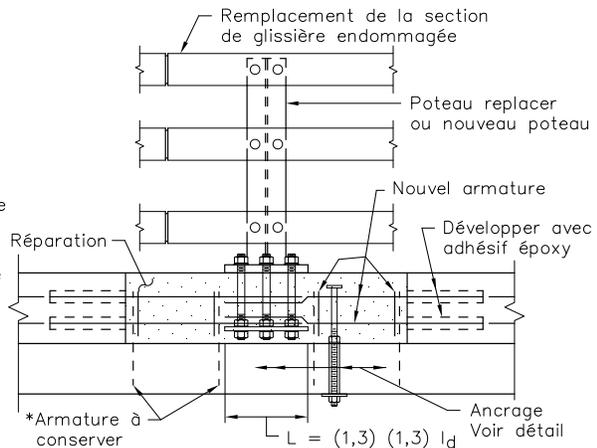
COUPE TYPE (Dalle sur poutres)



ÉLÉVATION

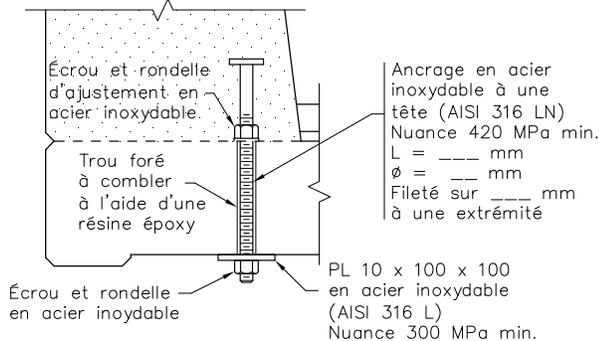


COUPE TYPE (Dalle sur poutres)



ÉLÉVATION

*Badigeonner les endommagements sur les armatures endommagées avec 2 couches de résine vinyl-ester.



DÉTAIL DES ANCRAGES

Note: La résistance des ancrages doit être équivalente à celle des armatures originales ancrant la glissière dans la dalle.

RÉPARATION LOCALISÉE D'UNE GLISSIÈRE AVEC POTEAUX EN ACIER SUR CHASSE-ROUE

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
41 de 12

RÉFÉRENCES

Manuel d'entretien des structures

- Relevés de dommages, chapitre 4;
- Études d'opportunité, chapitre 5.

Manuel de conception des structures

- Ouvrages renforcés de fibres, chap. 16.

ACI 440.2R-08; Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structure

DESCRIPTION

Réparation en surface ou en profondeur d'une dalle sur poutres dont seulement les nappes d'armature supérieures transversales et longitudinales sont en matériaux composites (PRF). Les nappes d'armature inférieures doivent être en acier galvanisé.

NIVEAU DE QUALITÉ

Le seuil d'intervention est basé sur les critères suivants :

Dalle sur poutres

- Défaut de la dalle de l'ensemble des travées (désagrégation, délaminage ou éclatement du béton) :
 - sur 20 % ou moins de la surface du tablier pour un pont à fort débit de circulation;
 - sur 30 % ou moins de la surface du tablier pour un pont à faible débit de circulation.
- Lorsque les défauts observés lors de l'inspection générale sont supérieurs aux critères mentionnés ci-dessus, des informations supplémentaires (expertise de la dalle) et des analyses détaillées (étude d'opportunité) sont requises pour déterminer l'intervention la plus appropriée à réaliser pour remettre en état la dalle. Voir Notes – Choix d'intervention sur la dalle.
 - Se référer à l'activité 3131 « Réparation de dalle sur poutres et de dalle épaisse » pour la réparation de dessous de dalle.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
42 de 12

MÉTHODE DE TRAVAIL

La réparation de la dalle sur poutres comprend quatre étapes :

- La démolition du béton (en surface ou en profondeur);
- La préparation des surfaces;
- La reconstruction de la surface de béton;
- La cure du béton et la correction des surfaces.

A) Démolition du béton

1. Enlever l'enrobé et la membrane d'étanchéité sur toute la surface de la dalle, ainsi que sur les approches s'il est nécessaire de corriger le profil de la route.

En surface

2. Délimiter la surface à réparer par un trait de scie de 20 mm de profondeur.
 - Les surfaces de béton endommagées à réparer doivent d'abord être détectées. Contrairement à l'armature en acier, l'armature en matériaux composites ne rouille pas et le béton de la dalle n'est pas délaminé mais plutôt endommagé en surface par des agents extérieurs ou par une mauvaise mise en place du béton d'origine. Le béton non-adhérent en surface peut être détecté en traînant une chaîne ou un assemblage de chaînes à la surface de la dalle. Le contour des surfaces détectées doit ensuite être précisé en utilisant un marteau de géologue ou de maçon ou une tige d'acier.
 - Les surfaces à réparer doivent avoir une forme carrée ou rectangulaire et dépasser d'au moins 150 mm le pourtour de la surface endommagée. Celles qui se trouvent à moins de 600 mm (? à corriger selon la longueur de développement nécessaire des barres de réparation installées selon le système NSM ?) l'une de l'autre doivent être intégrées en une seule surface.
 - Les traits de scie ne doivent pas se croiser aux angles des surfaces à réparer; la démolition du béton près du point de rencontre des traits de scie est finalisée à l'aide d'un marteau pneumatique manuel de 7 kg.
 - Diminuer au besoin la profondeur du trait de scie pour éviter d'endommager les barres d'armature.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
43 de 12

3. Démolir le béton jusqu'à une profondeur minimale de 60 mm et jusqu'au béton sain.
 - Est considéré comme sain un béton non délaminé dont le lien entre les constituants n'est pas détruit par l'impact d'un marteau de maçon ou de géologue.
4. Prendre les précautions nécessaires pour conserver les armatures existantes de la dalle. Il faut éviter de frapper ou de s'appuyer, pour faciliter la démolition, avec le marteau pneumatique sur les armatures à conserver afin de réduire au minimum l'endommagement de ces barres en matériaux composites.
5. Dégager d'au moins 25 mm les armatures rendues apparentes par la démolition.

En profondeur

6. Lorsque la profondeur de démolition nécessaire pour atteindre le béton sain ou pour dégager les armatures dépasse 125 mm, démolir le béton sur la pleine épaisseur de la dalle.
7. Prendre des dispositions pour empêcher la chute de débris provenant de la démolition sur la route ou dans le cours d'eau.
8. Délimiter par un trait de scie de 20 mm de profondeur la surface du dessous de la dalle à réparer.
9. Démolir le béton de la partie inférieure de la dalle en évitant que les marteaux de démolition ne fassent éclater le béton adjacent à la surface à réparer.
10. Installer les coffrages pour obtenir une surface dans le même plan que les surfaces environnantes et de façon à éviter les fuites de béton sur le pourtour de la réparation.
 - Lorsque la surface de béton à réparer est petite, les coffrages peuvent être fixés sous la dalle avec des ancrages, sinon ils doivent être fixés aux poutres.
 - Les coffrages ne doivent pas être fixés à des supports appuyés sur le dessus de la dalle, car l'eau peut, avec le temps, s'infiltrer autour des tiges utilisées pour relier les coffrages aux supports et ainsi entraîner la détérioration du béton.

Notes relatives à la démolition

- L'utilisation de marteau pneumatique manuel est le seul équipement recommandé pour démolir le béton armé de barres en matériaux composites. Bien que les précautions suivantes doivent être considérées lors des travaux, il advient que l'endommagement des barres en matériaux composites est inévitable étant donné la faible dureté des matériaux composites et du module d'élasticité similaire à celui du béton autour des barres.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
44 de 12

- 1^{re} étape : Localiser une barre dans chacune des directions des nappes d'armature supérieures de la dalle (? percer des trous ou localiser au radar ?). Démolir le béton par couche mince jusqu'à l'apparition des deux barres localisées.
- 2^e étape : Utiliser les barres devenues apparentes comme point de repères afin de marquer au contour de la réparation la position des barres théorique selon les plans d'origine de construction de dalle.
- 3^e étape : Démolir le béton au-dessus et autour des barres en évitant ces dernières. Les barres ne doivent pas servir de guide pour le marteau de démolition afin de ne pas enlever son revêtement adhérent.
- Les équipements de démolition à utiliser sont les suivants :
 - pour le béton situé au-dessus de la première nappe d'armature; un marteau pneumatique manuel d'un poids maximal de 15 kg est exigé;
 - pour le béton situé vis-à-vis et sous la première nappe qui se trouve à proximité ou au-dessus des poutres et des diaphragmes, un marteau pneumatique de 7 kg est exigé.
- Il est particulièrement important de limiter l'endommagement des barres en matériaux composites au périmètre de la réparation à l'intérieur de la longueur de chevauchement calculé (? 600 mm ?). Cette précaution provient de l'impossibilité de forer des barres d'ancrage dans la dalle existante armée de matériau composite sans endommager les barres dans le béton au périmètre de l'axe de forage horizontal.
- La démolition du béton de la dalle à l'aide de marteaux pneumatiques à moins de 30 m d'une surface fraîchement bétonnée est interdite tant que le nouveau béton n'a pas atteint une résistance à la compression de 25 MPa; les vibrations transmises aux armatures par les marteaux peuvent affecter l'enrobage des armatures. Cette contrainte n'est pas valide quand les armatures entre ces surfaces et celles à démolir sont discontinues.
- Les équipements de démolition doivent être manipulés de façon à respecter l'intégrité de l'élément et du béton à conserver.
- L'hydrodémolition endommage de façon importante les barres d'armature en matériaux composites. Elle ne doit pas être utilisée pour démolir le béton de dalle avec armature en matériaux composites.
- Pour une dalle sur poutres, la profondeur de démolition pour la réparation en surface est limitée à 125 mm, parce qu'une épaisseur minimale de béton doit être conservée comme partie inférieure de la dalle réparée et comme support (coffrage) du béton de réparation.
- L'épaisseur de béton conservé peut varier entre 65 et 100 mm; 65 mm étant le minimum

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
45 de 12

acceptable et 100 mm l'épaisseur souhaitable.

- Le fait de s'en tenir généralement à une profondeur de démolition de 125 mm permet de s'assurer de conserver le maximum d'épaisseur de béton. Cependant, il est possible d'augmenter la profondeur de démolition pourvu que l'épaisseur de béton conservé soit d'au moins 65 mm.
- En plus d'enlever du béton contaminé au pourtour des barres, le dégagement des armatures permet en outre d'intégrer les armatures existantes au nouveau béton et assure ainsi un meilleur ancrage avec le béton conservé.

B) Préparation des surfaces

1. Dans le cas où les armatures sont endommagées au périmètre de la zone réparée à l'intérieur de la zone de chevauchement minimale de 600 mm, un renforcement en composite sera nécessaire. Le système utilisé est de type NSM « Near Surface Mounted » et consiste à insérer à l'intérieur de trait de scie à la surface du béton existant et nouveau des barres ou plaques laminées en matériaux composites.

Réaliser les travaux reliés à la mise en place des armatures encastrés près de la surface. La sélection, les calculs de dimensionnement et la mise en œuvre du système d'armatures encastrées près de la surface sont couverts à l'intérieur du guide ACI 440.2R-08. Le concepteur doit se référer à ce document pour plus d'informations au sujet de cette technique.

Les armatures ne doivent pas être déplacées pendant la période de prise de l'adhésif époxy ou du coulis cimentaire (?température lors de la pose du pavage?).

2. Nettoyer les armatures et la surface de béton à l'aide d'un jet d'eau haute pression ou par projection d'abrasif humide pour enlever les particules et granulats du béton qui sont détachables (? effectuer des essais à ce sujet, la pression de notre jet d'eau haute pression est de 4 500 psi à 6500 psi ?).
3. Nettoyer la surface de béton à l'aide d'un jet d'eau sous pression (pression 15 MPa, débit 20 L/min, buse à jet circulaire concentré et distance buse-surface de béton 150 à 200 mm).
4. Tous les dommages sur les armatures à conserver doivent être badigeonnés de deux couches d'une résine vinyl-ester pour rétablir l'intégrité de la couche superficielle de protection des armatures.

C) Reconstruction de la surface de béton

1. Si nécessaire, supporter ou fixer les armatures existantes.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
46 de 12

- Lorsque les surfaces à réparer sont importantes, les barres d'armature doivent être supportées par des cales d'espacement en plastique disposées de façon à ne pas être déplacées par la mise en place du béton.
2. Au besoin, ajouter des armatures en matériaux composites de même diamètre que celles existantes et avec des propriétés mécaniques similaires (module, déformation et résistance) pour compenser la perte des barres dont la section est diminuée de plus de 30 % par les travaux de démolition (?caractérisation des défauts en chantier?).
- En général, la perte de section sur des barres d'armature peut être compensée globalement. Ainsi, dans le cas où plusieurs barres auraient une perte de section de l'ordre de 30 %, il serait possible de n'ajouter qu'une barre supplémentaire pour trois barres détériorées.
 - Pour établir la continuité, la longueur de chevauchement nécessaire de part et d'autre de la section endommagée doit être d'au moins 600 mm.
3. Nettoyer les coffrages de tout débris à l'aide d'un jet d'air ou d'un jet d'eau sous pression ou d'un aspirateur.
4. Humidifier les surfaces de contact avant la mise en place du nouveau béton.
- L'eau libre en surface et au fond des coffrages doit toutefois être enlevée avant le bétonnage.
 - Un béton saturé d'eau, mais dont la surface est asséchée, favorise la liaison entre le béton conservé et le nouveau béton.
5. Faire la mise en place du béton.
- Le béton utilisé doit avoir des caractéristiques compatibles avec celles du béton de l'élément à réparer.
 - Le béton recommandé est le béton de type V conforme à la norme MTQ 3101 (35 MPa avec fumée de silice). Les caractéristiques de ce béton, plus particulièrement sa résistance en compression, le rendent compatible avec le béton généralement utilisé auparavant pour la construction de dalles sur poutres.
 - L'ajout d'un superplastifiant est recommandé pour la réparation d'une dalle.
 - On exige généralement que la résistance du béton ait atteint 25 MPa avant de permettre la circulation sur les surfaces réparées.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
47 de 12

- Dans le cas d'une remise en service rapide d'une route à fort débit de circulation lorsque la température extérieure est inférieure à 15 °C, un béton de type V avec accélérateur de prise sans chlorure peut être utilisé pour obtenir une résistance initiale plus élevée; cependant, les mesures appropriées de bétonnage par temps froid doivent être prévues pour assurer une cure adéquate, et par conséquent un produit durable.
- La surface du dessus de la réparation doit être dans le même plan que les surfaces environnantes.

D) Cure du béton et correction des surfaces

1. Faire la cure du béton.
2. Vérifier l'adhérence du béton de réparation au béton conservé en frappant la surface avec un marteau de maçon ou de géologue, ou bien une tige en acier. Un son creux indique un manque d'adhérence et exige la reprise de la réparation.
3. Enlever les coffrages sous la dalle s'il y a lieu.
 - Au besoin, des cylindres supplémentaires peuvent être échantillonnés lors du contrôle de réception du béton pour vérifier son gain de résistance.
4. Enlever les bavures de béton sous la dalle, sur le pourtour de la surface réparée, s'il y a lieu.
5. Poser une membrane d'étanchéité et de l'enrobé à chaud (activité 3067).

Notes

Choix d'intervention sur la dalle

- Les défauts de la dalle à considérer pour le choix d'une intervention sont des dommages réels du béton relevés sur le dessous de la dalle lors d'une inspection générale, ou bien sur le dessus du tablier lors d'une expertise de dalle. Il faut prendre soin de ne pas cumuler le même dommage, identifié sur le dessus et sur le dessous de la dalle.
- Lorsque l'étendue des dommages sur une dalle sur poutres représente une proportion entre 20 et 30 % pour un pont à fort débit de circulation, ou entre 30 et 40 % pour un pont à faible débit de circulation, une réparation de dalle peut encore être un scénario à considérer à la suite d'une analyse détaillée de l'état des matériaux et de la structure dans son ensemble.
- La décision de procéder à une réparation plutôt qu'à un remplacement, ou bien à une autre intervention (ex. : chape) doit être basée sur une expertise de la dalle (voir chapitre 4, section

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
48 de 12

4.2.3) et une étude d'opportunité (voir chapitre 5).

L'expertise de la dalle permet de mieux définir le type et l'ampleur des dommages et de déterminer si les caractéristiques du béton permettent d'effectuer une réparation efficace.

- Pour l'expertise d'une dalle de pont d'une certaine envergure, il peut être approprié de procéder à une évaluation des dommages en faisant des fenêtres d'observation. Ces fenêtres permettent de voir l'état du dessus de la dalle à certains endroits stratégiques en procédant à un enlèvement localisé de l'enrobé.
- Le béton de la dalle doit être de bonne qualité (résistance en compression supérieure à 25 MPa, taux d'absorption inférieur à 6,5 %, réseau d'air adéquat) et l'épaisseur de la dalle supérieure à 165 mm.

L'étude d'opportunité a pour but notamment d'analyser toutes les solutions possibles (réparation, réfection, etc.) et de déterminer la plus avantageuse tant du point de vue technique que financier.

- Les défauts potentiels du béton identifiés sur le dessus du tablier lors d'une expertise de dalle par une méthode plus sophistiquée comme le relevé de potentiels de corrosion, doivent être considérés selon une autre grille d'analyse.
- L'état de la dalle et la manière d'y intervenir peuvent être analysés travée par travée pour un pont à plusieurs travées, entre autres dans certains cas particuliers où la détérioration du béton s'est développée d'une façon très différente d'une travée à l'autre.

Chape de béton

- Une dalle sur poutres ayant une détérioration généralisée sur le dessus tout en présentant une portion inférieure en bonne condition peut être remise en état à l'aide d'une chape de béton. Cette option doit être justifiée par une analyse financière à long terme. La méthode de travail suggérée consiste à réaliser une hydrodémolition (ou une scarification si le recouvrement de béton par-dessus l'armature le permet) suivie de la mise en place d'une chape au béton latex, complétée par une membrane d'étanchéité et un enrobé.
- L'option d'une chape de béton peut être envisagée également dans le cas où les quantités de réparation de dalle sont beaucoup plus importantes que prévu. La durée de vie anticipée d'une chape de béton est certainement plus longue qu'un grand nombre de réparations réparties sur toute la surface de la dalle.

PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
49 de 12

Impact dû au passage des véhicules

- Il est souvent nécessaire de conserver une partie de la chaussée ouverte à la circulation pendant les travaux de réparation. Or, l'impact produit par le passage des camions, spécialement sur une surface de roulement cahoteuse, peut affecter la qualité de la réparation, surtout lors de la prise initiale du béton. Des dispositions doivent donc être prises pour réduire au minimum l'impact produit par le passage des véhicules.
 - Les trous et les bosses, principalement aux extrémités du pont, doivent si possible être corrigés avec de l'enrobé afin d'uniformiser la surface de roulement.
 - Si c'est possible, le passage des véhicules lourds doit être interdit pendant le bétonnage et la période immédiate suivant le bétonnage.
 - Sur les routes à faible débit de circulation, la vitesse des véhicules doit être réduite à 20 km/h sur les ponts à poutres en acier et à 50 km/h sur ceux à poutres en béton.

Membrane d'étanchéité et enrobé

- Il est recommandé de recouvrir d'une membrane d'étanchéité toute la surface de la dalle ayant fait l'objet d'une réparation pour ralentir l'activité de corrosion, diminuant ainsi les risques de propagation de la détérioration autour des surfaces réparées et empêchant la détérioration prématurée de la réparation.
- Pour les travaux relatifs à la pose de la membrane d'étanchéité ainsi qu'à l'enlèvement et la pose de l'enrobé, voir l'activité 3067 – Réfection de l'enrobé.

Dalle précontrainte transversalement

- Certains ponts ont une dalle précontrainte transversalement par des torons espacés à environ 1200 mm et enfouis dans la dalle sous le premier rang d'armatures, à une profondeur d'environ 75 mm. Il faut donc consulter les plans avant de procéder à la réparation d'une telle dalle et prendre les précautions nécessaires pour ne pas endommager les câbles.

Drains et joints de tablier

- La réparation de la dalle fournit l'occasion d'améliorer le drainage du pont (voir l'activité 3062 – Modification de drains) et de remettre en cause la présence de certains joints de tablier (voir les activités 3051, 3052 et 3053 – Remplacement, Modification (Joint dalle sur culée) et Élimination d'un joint de tablier). [Les armatures de dalle à proximité des joints de tablier sont en acier galvanisé. Conséquemment, les activités d'entretien régulier à ces joints peuvent être utilisé directement.](#)

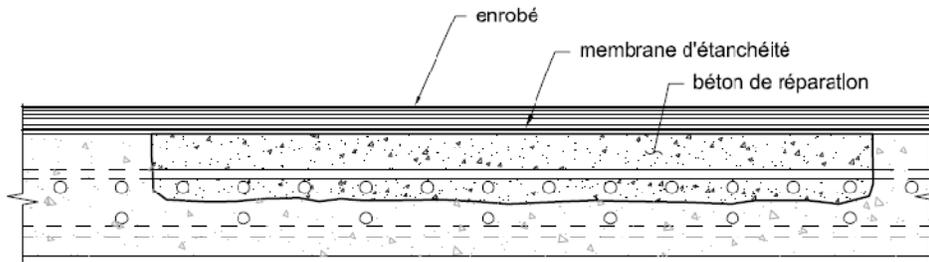
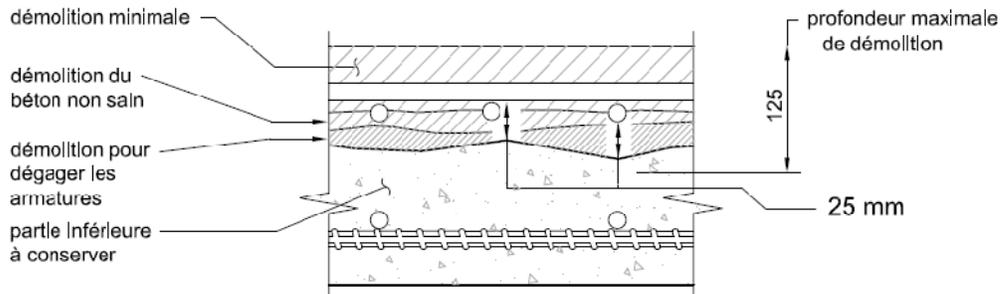
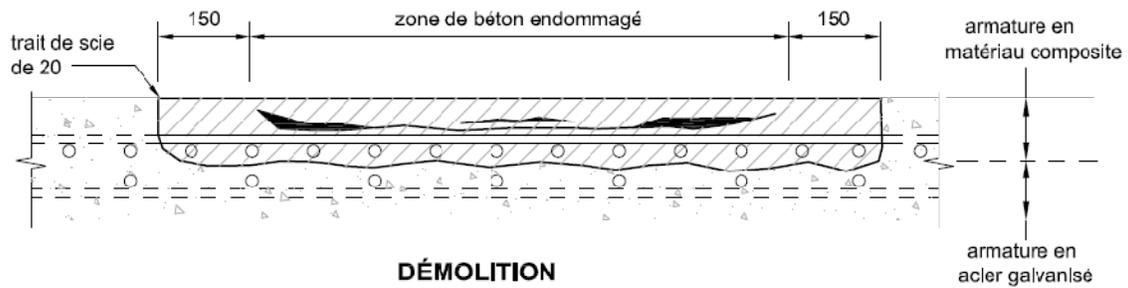
PRÉLIMINAIRE

RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE

ACTIVITÉ
3131 - PRF

DATE
Fév. 2010

PAGE
50 de 12



RÉPARATION EN SURFACE DE DALLE SUR POUTRES

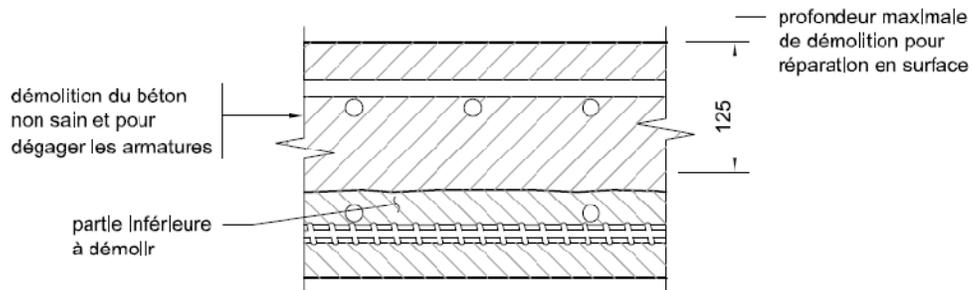
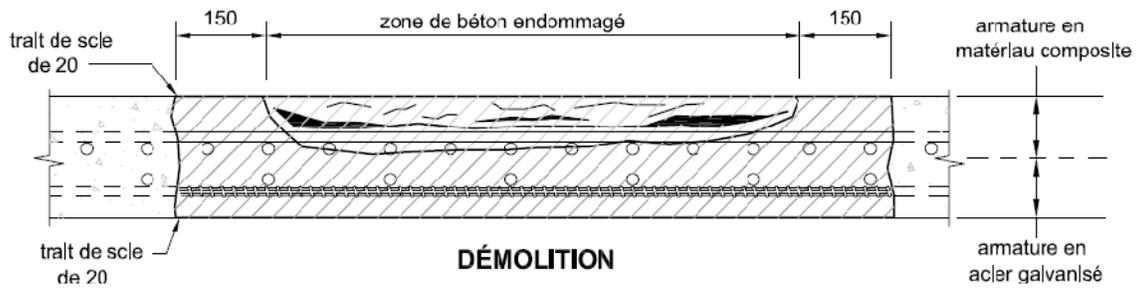
PRÉLIMINAIRE

**RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES
AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE**

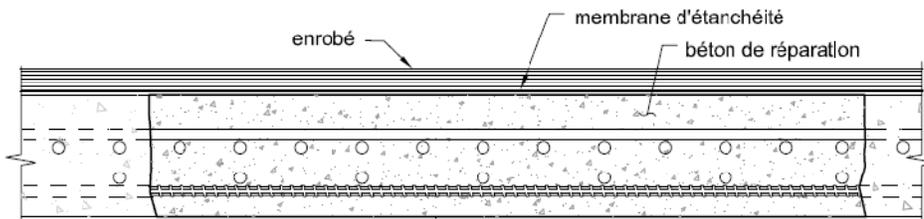
**ACTIVITÉ
3131 - PRF**

**DATE
Fév. 2010**

**PAGE
51 de 12**



DÉTAIL TYPE DÉMOLITION



RECONSTRUCTION

RÉPARATION EN PROFONDEUR DE DALLE SUR POUTRES

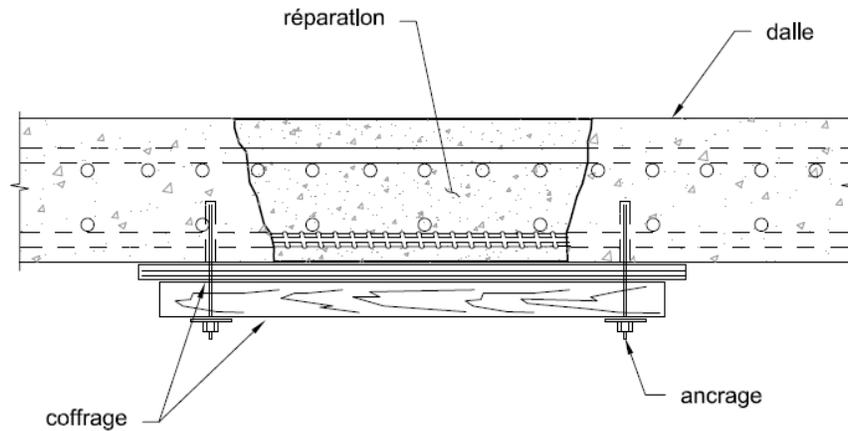
PRÉLIMINAIRE

**RÉPARATION DE DALLE SUR POUTRES
AVEC ARMATURE EN MATÉRIAU COMPOSITE**

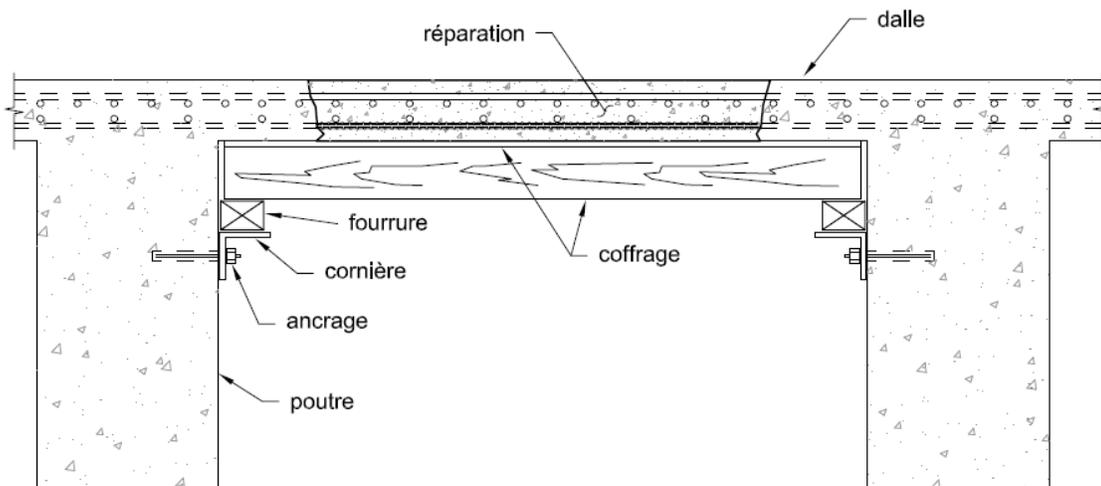
**ACTIVITÉ
3131 - PRF**

**DATE
Fév. 2010**

**PAGE
52 de 12**



LARGEUR INFÉRIEURE À 450 mm



LARGEUR SUPÉRIEURE À 450 mm

COFFRAGE POUR RÉPARATION EN PROFONDEUR

Static and Dynamic Testing of 210 and
311 Bridge Barriers Reinforced with
GFRP Bars

Appendix C (Phase IV)
Tensile Testing of GFRP Bent Bars

Test Results of GFRP Bent Bars No. 15 and No. 20



TABLE OF CONTENTS

TABLE OF CONTENTS.....	i
LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iii
C.1. INTRODUCTION.....	1
C.2. GFRP SPECIMENS.....	1
C.3. CROSS-SECTIONAL AREA OF THE GFRP BARS.....	2
C.4. TENSILE PROPERTIES OF STRAIGHT PORTIONS	3
C.5. TENSILE STRENGTH OF GFRP STIRRUPS (ACI B.5 METHOD)	7
C.6. TENSILE STRENGTH CAPACITY OF GFRP BENT BARS TYPE P1 AND D1.....	13
C.7. SUMMARY OF THE TEST RESULTS	21
C.8. REFFERENCES.....	21

LIST OF FIGURES

Figure C. 1: The test pieces of GFRP bars No. 15 and No. 20	2
Figure C. 1: Typical tensile test of GFRP straight portions	4
Figure C. 2: Schematic drawing (a) Configuration of test specimen; and (b) Test setup	8
Figure C. 3: Details of test B.5 concrete blocks	9
Figure C. 4: Test setup (B.5 test method)	10
Figure C. 5: Details of concrete blocks	13
Figure C. 6: Fabrication of the test specimens	14
Figure C. 7: Details of the test setup (Ahmed et al. 2008)	16
Figure C. 8: Test setup for the GFRP bent bars Type P1 and D1	17
Figure C. 9: Mode of failure of the tested GFRP bent bars Type D1 No. 15	17
Figure C. 10: Mode of failure of the tested GFRP bent bars Type P1 No. 20	18

LIST OF TABLES

Table C. 1: Measured diameters and cross-sectional area of GFRP bent bars No. 15 and No. 20..3	
Table C. 1: Test results of GFRP No. 15 straight portions of production lot # 1 (Area = 199 mm ²)	5
Table C. 2: Test results of GFRP No. 15 straight portions of production lot # 2 (Area = 199 mm ²)	5
Table C. 3: Test results of GFRP No. 20 straight portions of production lot # 1 (Area = 284 mm ²)	6
Table C. 4: Test results of GFRP No. 20 straight portions of production lot # 2 (Area = 284 mm ²)	6
Table C. 5: Test results of GFRP stirrups No. 15 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 199 mm ²)	11
Table C. 6: Test results of GFRP stirrups No. 15 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 199 mm ²)	11
Table C. 7: Test results of GFRP stirrups No. 20 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 284 mm ²)	12
Table C. 8: Test results of GFRP stirrups No. 20 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 284 mm ²)	12
Table C. 9: Test results of GFRP bent bars No. 20 Type P1 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 284 mm ²)	19
Table C. 10: Test results of GFRP bent bars No. 20 Type P1 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 284 mm ²)	19
Table C. 11: Test results of GFRP bent bars No. 15 Type D1 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 199 mm ²)	20
Table C. 12: Test results of GFRP bent bars No. 15 Type D1 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 199 mm ²)	20

C.1. INTRODUCTION

This appendix presents the tensile properties of the FRP bent bars and stirrups (Phase IV) that were employed in the fabricating the full-scale 210 and 311 barrier prototypes for the impact test which have been conducted in August 2010. The entire GFRP materials used in this project were produced by Pultrall Inc. (Thetford Mines, Québec, Canada). The tests were carried at the University of Sherbrooke to determine the tensile properties Glass FRP bent bars and stirrups. The main objective of these tests (Phase IV) was to determine the lower limit for the strengths of the GFRP bent bars and stirrups that should be achieved when implementing the 210 and 311 barrier prototypes in field applications. The GFRP reinforcing bars were provided in two different production lots based on the recommendations of Eng. S. Goulet to simulate a real case of construction when the GFRP bars are provided in different production lots. Besides, testing representative specimens for the two production lots helps in determining the lower strength limit for the GFRP bent bars and stirrups. The tests were conducted on GFRP bars No. 15 and No. 20 designated according to the CAN/CSA S807-10 (2010). The tests were conducted to determine:

- (1) The tensile properties of straight portions cut from the GFRP bent bars (No. 15 and No. 20) using the B.2 test method of ACI 440.3R-04 (2004) guide;
- (2) The bend strength of the GFRP stirrups No. 15 and No. 20 using the B.5 test method of ACI 440.3R-04 (2004) guide (C-shaped stirrups employed in concrete blocks);
- (3) The tensile strength of the GFRP bent bars (No. 20 Type P1 and No. 15 Type D1) in accordance with ACI 440.3R-04 and the previous tests conducted by Ahmed et al. (2008).

C.2. GFRP SPECIMENS

Representative specimens for the GFRP bent bars and stirrups No. 15 and No. 20 were provided with the original bars which were used in fabricating the 210 and 311 barrier prototypes for the impact test. As the GFRP bars were provided in two production lots, representative specimens for each production lot were tested. Thus, the test specimens included the following:

1. 16 Straight portions of GFRP bars No. 15 in two production lots (8 from each lot)
2. 16 Straight portions of GFRP bars No. 20 in two production lots (8 from each lot)
3. 12 GFRP stirrups No. 15 (6 from each lot)

4. 12 GFRP stirrups No. 20 (6 from each lot)
5. 12 GFRP bent bars No. 20 Type P1 in two production lots (6 from each lot)
6. 12 GFRP bent bars No. 15 Type D1 in two production lots (6 from each lot)

C.3. CROSS-SECTIONAL AREA OF THE GFRP BARS

Three specimens of each type of GFRP bar used in this project have been cut as shown in Figure C.1. Their length, L , and weight were then determined to calculate the linear mass. Their density has been measured by water displacement using a glass cylinder filled with water to the top, taking care that no air bubbles were entrapped. The cylinder was filled with water and weighted. Knowing the weight of the cylinder without water, the volume of water added, V_0 , was calculated. Then the water was removed and the specimen placed into the cylinder which was filled with water to the same level as previously. The weight of the cylinder was measured and the volume of added water, V_1 , determined. The average cross-sectional area, A , was then calculated as follows:

$$A = 1000 \times (V_0 - V_1) / L \quad (\text{C.1})$$

Table C.1 provides the measured cross-sectional area of the tested GFRP bent bars. The nominal cross-sectional areas for FRP bar No. 15 and No. 20 defined by the CSA S807-10 are 199 and 284 mm², respectively.



(a) GFRP No. 15



(b) GFRP No. 20

Figure C. 1: The test pieces of GFRP bars No. 15 and No. 20

Table C. 1: Measured diameters and cross-sectional area of GFRP bent bars No. 15 and No. 20

Designated bar No.	Measured cross-sectional area (mm ²)	Measured diameter (mm)	Average Diameter (mm)	COV (%)	Average Area (mm)	COV (%)	Nominal area (mm) CSA-S807
No. 15	193.67	15.70	15.71±0.02	0.14%	193.94±0.56	0.29%	199
	194.59	15.74					
	193.57	15.70					
No. 20	260.49	18.21	18.40±0.45	2.45%	266.15±13.13	4.93%	284
	281.16	18.92					
	256.79	18.08					

It can be noticed that at measured cross-sectional areas of both GFRP No. 15 and No. 20 bars were lower than the nominal cross-sectional area specified by the CSA S807-10 (2010). However, the nominal cross-sectional area is used in the calculation of the strengths of the GFRP bent bars and stirrups tested herein.

C.4. TENSILE PROPERTIES OF STRAIGHT PORTIONS

A total of 8 straight portions of each GFRP production lot (No. 15 and No. 20), directly cut from the GFRP bent bars, were prepared and tested according to the CSA-S806-02 (Appendix C) and the B.2 test method of ACI 440.3R-04 guide. This method determines the tensile properties of FRP reinforcing bars. The specimens were anchored at each end using steel tubes filled with an expansive cement grout commercially known as Bristar 10. The test specimens were instrumented with LVDT to capture the specimen elongation during testing. The tests were carried out using a Baldwin testing machine in the structures laboratory of the Civil Engineering Department at the University of Sherbrooke. The load was increased until about 80% of the expected failure load then the LVDT is removed. After this the load is continuously increased till the tensile failure of the GFRP bar. The applied load and GFRP bar elongation were electronically recorded during the test using a computerized data acquisition system. Figure C.2 shows a typical tensile test. Through this test the ultimate tensile strength (f_u) and tensile modulus (E_L) of GFRP straight portions are determined.

Tables C.2 and C.3 present the test results of the straight portions of GFRP bars No. 15 while Tables C.4 and C.5 present the test results of the straight portions of GFRP bars No. 20.



Figure C. 2: Typical tensile test of GFRP straight portions

Table C. 2: Test results of GFRP No. 15 straight portions of production lot # 1 (Area = 199 mm²)

Specimen	Tensile strength, f_u , (MPa)	Modulus of elasticity, E_L , (GPa)	Ultimate deformation (%)
1	560.69	37.23	1.51
2	571.63	38.56	1.48
3	584.55	38.86	1.50
4	541.80	39.60	1.37
5	557.71	37.86	1.47
6	605.43	37.03	1.63
7	565.66	37.98	1.49
8	573.61	36.38	1.58
Mean	570.13	37.94	1.50
Standard deviation	19.03	1.05	0.08
Coefficient of variation (%)	3.34	2.77	5.18

Table C. 3: Test results of GFRP No. 15 straight portions of production lot # 2 (Area = 199 mm²)

Specimen	Tensile strength, f_u , (MPa)	Modulus of elasticity, E_L , (GPa)	Ultimate deformation (%)
1	613.38	42.92	1.43
2	605.43	42.58	1.42
3	636.24	41.98	1.52
4	613.38	42.32	1.45
5	649.17	42.53	1.53
6	568.64	41.92	1.36
7	643.20	42.57	1.51
8	509.00	42.35	1.20
Mean	604.81	42.40	1.43
Standard deviation	46.39	0.33	0.11
Coefficient of variation (%)	7.67	0.78	7.54

Table C. 4: Test results of GFRP No. 20 straight portions of production lot # 1 (Area = 284 mm²)

Specimen	Tensile strength, f_u , (MPa)	Modulus of elasticity, E_L , (GPa)	Ultimate deformation (%)
1	-	-	-
2	497.53	40.36	1.23
3	406.25	37.45	1.08
4	363.12	40.90	0.89
5	384.18	37.71	1.02
6	499.54	38.81	1.29
7	375.16	41.23	0.91
8	353.09	38.69	0.91
Mean	411.27	39.31	1.05
Standard deviation	61.91	1.53	0.16
Coefficient of variation (%)	15.05	3.89	15.43

Table C. 5: Test results of GFRP No. 20 straight portions of production lot # 2 (Area = 284 mm²)

Specimen	Tensile strength, f_u , (MPa)	Modulus of elasticity, E_L , (GPa)	Ultimate deformation (%)
1	393.21	38.73	1.02
2	502.55	41.01	1.23
3	331.02	41.15	0.80
4	490.51	43.54	1.13
5	374.15	38.33	0.98
6	402.24	41.08	0.98
7	468.44	42.21	1.11
8	491.52	41.50	1.18
Mean	431.71	40.94	1.05
Standard deviation	64.59	1.71	0.14
Coefficient of variation (%)	14.96	4.18	12.95

C.5. TENSILE STRENGTH OF GFRP STIRRUPS (ACI B.5 METHOD)

A total of six specimens for each production lot of GFRP stirrups No. 15 and No. 20 with a bend radius equals 4 times the bar diameter ($r_b = 4.0 d_b$) were prepared and cast. The entire specimens were prepared and tested according to B.5 test method of ACI 440.3R-04 guide (2004). This method determines the strength of the bent portion through embedding a single FRP in two concrete blocks and applies the tensile force in the direction of the stirrup by pushing the two concrete blocks apart. Figure C.3 shows a schematic for the specimen's details.

The test specimens were prepared keeping one side of the stirrup as continuous end in the concrete block. Whereas, the second end was provided with a de-bonding tubes keeping a constant embedment length (l_d) corresponding to an embedment length-to-bar diameter, $l_d/d_b = 5.0$. These de-bonding tubes were secured into the desired position with silicone and duct tape. Each concrete block was reinforced transversally with 10 mm-diameter steel stirrups with spacing of 75 mm to prevent any premature splitting of the concrete block prior to the rupture of the FRP stirrup. Figure C.4 shows the preparation of the test specimens. The test specimens were cast using ready-mixed normal weight concrete (Type V, MTQ) with a target compressive strength of 35 MPa after 28 days.

The test setup consists of a 500 kN manual hydraulic jack to apply the relative displacement between the two blocks and a load cell to measure the applied load. Two steel plates were placed on the concrete surfaces (one at each side) in front of the hydraulic jack in order to distribute the applied load on the concrete surface. The moving end (one side of the blocks) block was placed on rollers to minimize the friction between the block and testing bed. The dimensions of the concrete blocks were 500×300×200 mm. The free length of the stirrup between the two blocks was kept constant as 400 mm. Figure C.5 shows the details of the test setup.

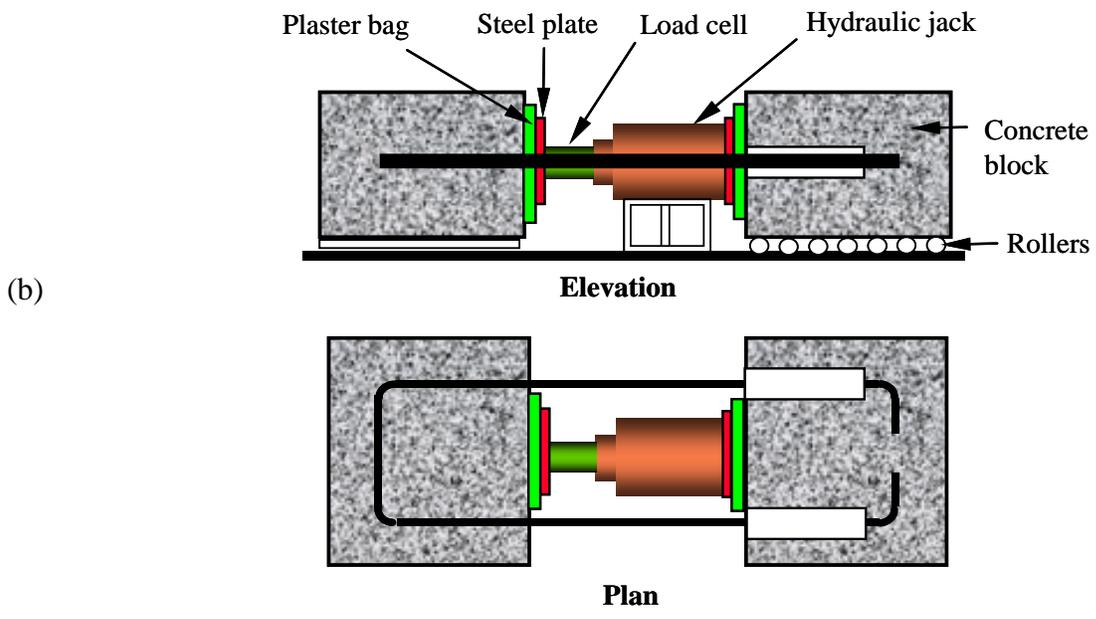
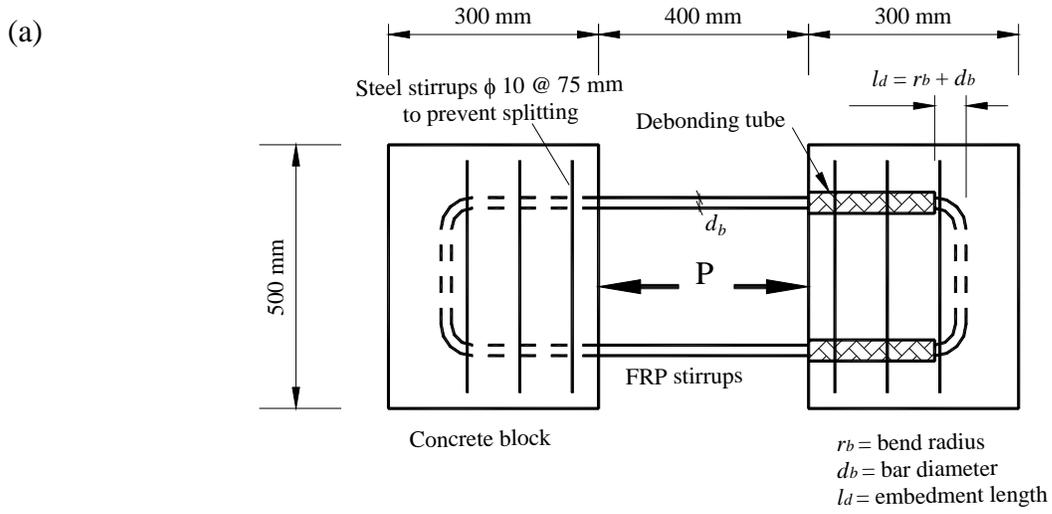


Figure C. 3: Schematic drawing (a) Configuration of test specimen; and (b) Test setup



Figure C. 4: Details of test B.5 concrete blocks

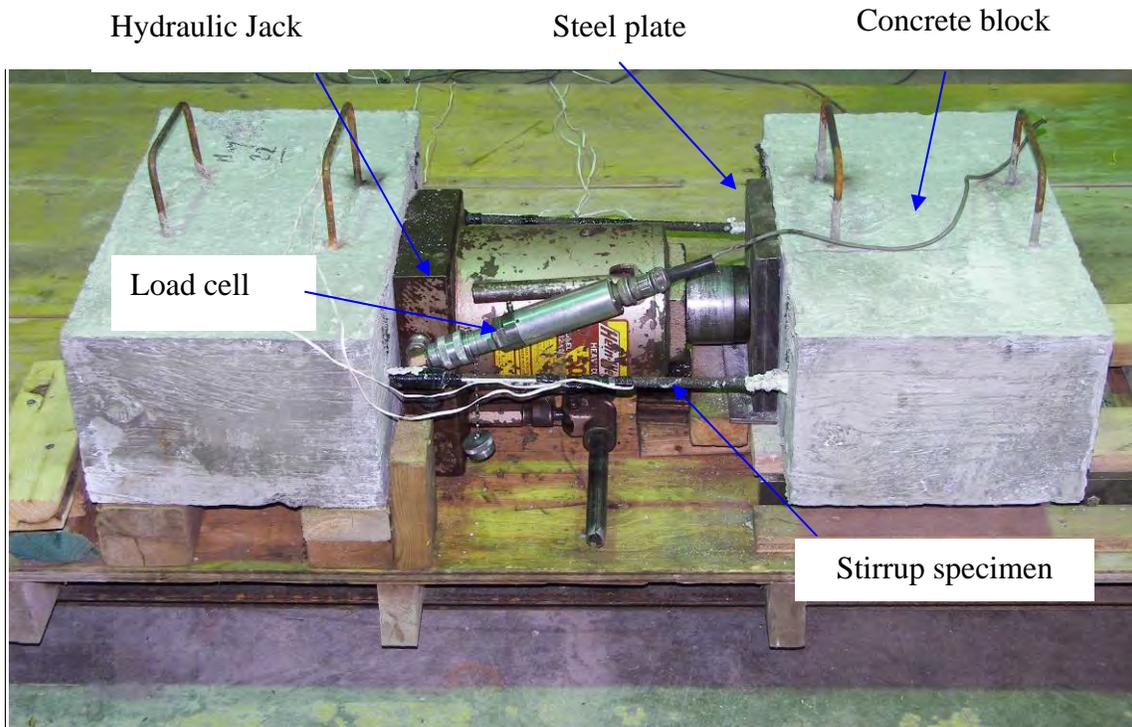


Figure C. 5: Test setup (B.5 test method)

The test results of the two production lots of GFRP bent bars No. 15 are given in Tables C.6 and C.7 while that of No. 20 are presented in Tables C.8 and C.9. The bend strength is calculated from the following equation:

$$f_{ubend} = \frac{F_{ub}}{2A} \quad (C.2)$$

where: f_{ubend} is the bend strength (MPa),

F_{ub} is the failure load (N), and

A is the FRP bar cross-sectional area (mm^2).

Table C. 6: Test results of GFRP stirrups No. 15 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 199 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	138.6	348.2794	$f_{ubend}/f_u=0.55$
2	135.2	339.7462	
3	116.4	292.4452	
4	145.6	365.8392	
5	118.3	297.2435	
6	90.7	227.9771	
Mean		311.92	
Standard deviation		50.29	
Coefficient of variation (%)		16.12	

Table C. 7: Test results of GFRP stirrups No. 15 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 199 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	167.1	419.8593	$f_{ubend}/f_u=0.56$
2	150.5	378.0176	
3	133.6	335.7405	
4	137.0	344.191	
5	109.9	276.1286	
6	103.5	260.0889	
Mean		335.67	
Standard deviation		60.35	
Coefficient of variation (%)		17.98	

Table C. 8: Test results of GFRP stirrups No. 20 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 284 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	127.6	224.67	$f_{ubend}/f_u=0.56$
2	139.8	246.12	
3	120.1	211.42	
4	135.5	238.56	
5	128.9	226.97	
6	129.7	228.37	
Mean		229.35	
Standard deviation		11.97	
Coefficient of variation (%)		5.22	

Table C. 9: Test results of GFRP stirrups No. 20 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 284 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	161.8	284.89	$f_{ubend}/f_u=0.60$
2	130.3	229.40	
3	172.0	302.82	
4	139.8	246.15	
5	154.0	271.15	
6	117.7	207.25	
Mean		256.94	
Standard deviation		35.87	
Coefficient of variation (%)		13.96	

C.6. TENSILE STRENGTH CAPACITY OF GFRP BENT BARS TYPE P1 AND D1

A total of six specimens for each production lot of GFRP bent bars No. 15 Type D1 and No. 20 Type P1 were prepared and cast. As the main purpose of the test is to evaluate the strength at the bend location or at the connection between the straight and bent portions, the preparation of the specimens aimed to get them failed at this connecting point. To achieve this, the GFRP bars were embedded in concrete blocks with 500 mm length, 300 mm width, and 300 mm depth. A de-bonding tube was attached to the GFRP bar starting from the connecting point to the concrete block surface to prevent any transmission of the force by the bond between the bar and the surrounding concrete through this length. Figure C.6 shows the dimensions and details of the concrete blocks. Figure C.7 shows the fabrication of the test specimens.

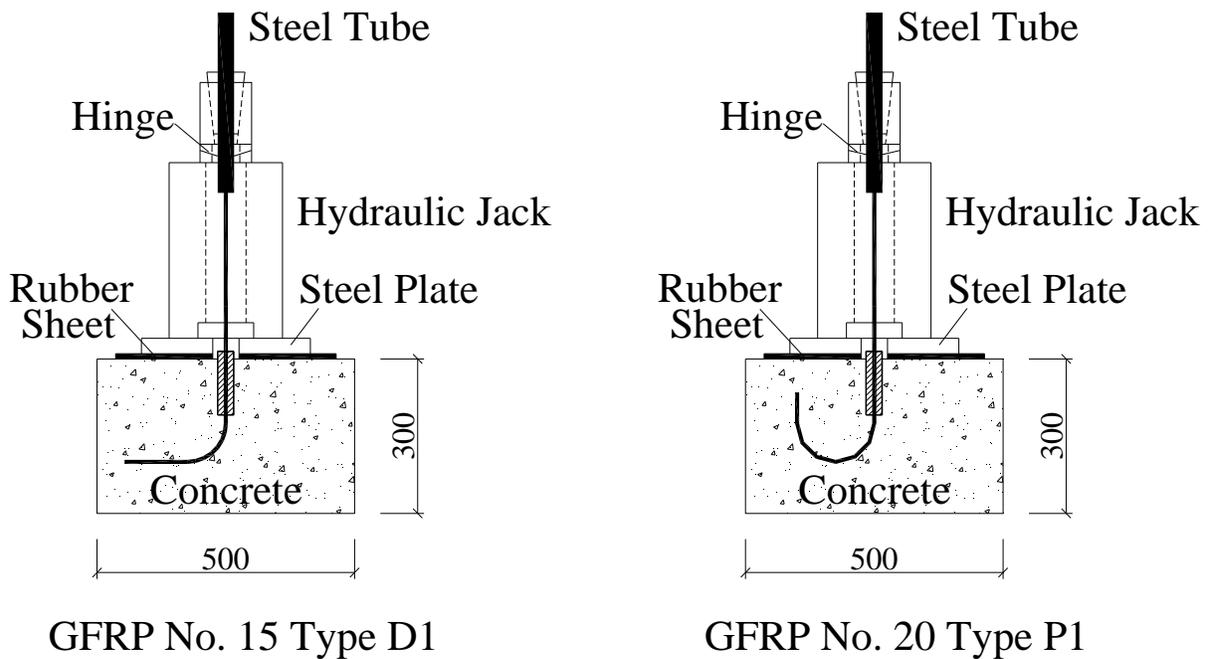


Figure C. 6: Details of concrete blocks



Figure C. 7: Fabrication of the test specimens



Figure C.6 (Cont'd): Fabrication of the test specimens

Similar to Ahmed et al. (2008) tests, a manual hydraulic jack of 1000 kN capacity with hollow stem cylinder was used for loading of test specimens. The hydraulic jack was placed on the top surface of the concrete block over a steel plate of 20 mm thickness with a 50 mm eccentric hole. To assure the load is uniformly distributed loading over the concrete surface a thick rubber sheet was used under the steel plate. The load was transmitted from the jack to the attached steel tube on the GFRP bar that have been previously installed using expansive cement grout commercially known as Pristar 10. The load was gradually increased till the failure of the specimens. Figure C.8 show the details of the test setup that was used in the 2008 (Ahmed et al. 2008). However, Figures C.9 through C.11 show the test setup used herein as well as the mode of failure of the tested bars.

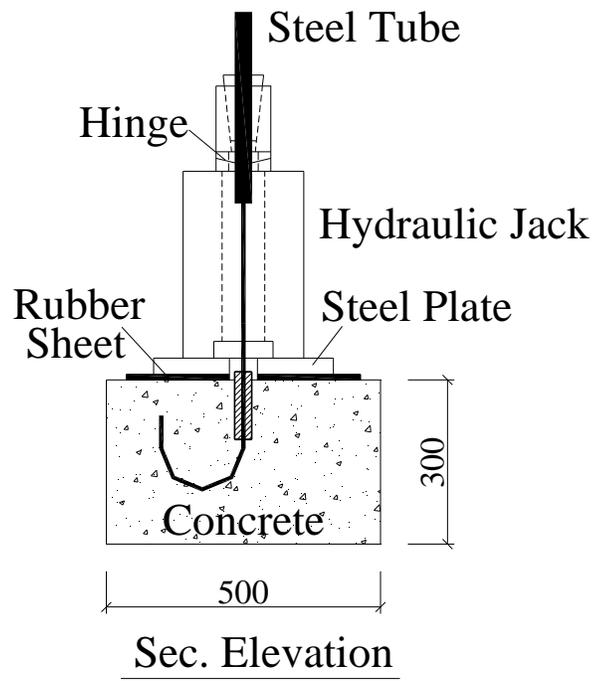


Figure C. 8: Details of the test setup (Ahmed et al. 2008)



Figure C. 9: Test setup for the GFRP bent bars Type P1 and D1



Figure C. 10: Mode of failure of the tested GFRP bent bars Type D1 No. 15



Figure C. 11: Mode of failure of the tested GFRP bent bars Type P1 No. 20

The test results of the two production lots of the GFRP bent bars Type P1 and D1 are listed in Tables C.10 through C.13. The bend strength is calculated from the following equation:

$$f_{ubend} = \frac{F_{ub}}{A} \quad (C.2)$$

where: f_{ubend} is the bend strength (MPa),

F_{ub} is the failure load (N), and

A is the FRP bar cross-sectional area (mm²).

Table C. 10: Test results of GFRP bent bars No. 20 Type P1 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 284 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	98.4	346.40	$f_{ubend}/f_u=0.66$
2	70.0	246.58	
3	75.2	264.71	
4	70.0	246.58	
5	66.3	233.39	
6	84.1	296.06	
Mean		272.30	
Standard deviation		42.31	
Coefficient of variation (%)		15.54	

Table C. 11: Test results of GFRP bent bars No. 20 Type P1 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 284 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	98.6	347.19	$f_{ubend}/f_u=0.74$
2	81.5	286.98	
3	100.7	354.46	
4	82.7	291.12	
5	111.4	392.26	
6	70.1	246.67	
Mean		319.80	
Standard deviation		53.76	
Coefficient of variation (%)		16.81	

Table C. 12: Test results of GFRP bent bars No. 15 Type D1 of production lot #1 in concrete blocks (Area = 199 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	55.7	280.12	$f_{ubend}/f_u=0.57$
2	72.4	363.66	
3	72.6	364.84	
4	59.3	297.77	
5	67.0	336.57	
6	59.0	296.45	
Mean		323.20	
Standard deviation		36.79	
Coefficient of variation (%)		11.38	

Table C. 13: Test results of GFRP bent bars No. 15 Type D1 of production lot #2 in concrete blocks (Area = 199 mm²)

Specimen	Load at failure F_{ub} (kN)	Stress at failure f_{ubend} (MPa)	Remarks
1	58.6	294.27	$f_{ubend}/f_u=0.56$
2	70.5	354.30	
3	65.8	330.70	
4	75.9	381.33	
5	67.0	336.58	
6	66.8	335.45	
Mean		338.80	
Standard deviation		28.68	
Coefficient of variation (%)		8.47	

C.7. SUMMARY OF THE TEST RESULTS

The tensile strengths of the straight portions for the two production lots of GFRP No. 15 were 570.13 ± 19.03 and 604.81 ± 46.39 MPa while the moduli of elasticity were 37.94 ± 1.05 and 42.40 ± 0.33 GPa, respectively. The tensile strengths of the straight portions for the two production lots of GFRP No. 20 were 411.27 ± 61.91 and 431.71 ± 64.59 MPa while the moduli of elasticity were 39.31 ± 1.53 and 40.94 ± 1.71 GPa, respectively.

The bend strengths of the GFRP stirrups No. 15 for the two production lots were 311.92 ± 50.29 and 335.67 ± 60.35 MPa. Those values represent 55 and 56%, respectively, of the tensile strength of the straight portions. The bend strengths of the GFRP stirrups No. 20 for the two production lots were 229.35 ± 11.97 and 256.94 ± 35.87 MPa. Those values represent 56 and 60%, respectively, of the tensile strength of the straight portions.

The strengths of the GFRP bent bar No. 20 Type P1 for the two production lots were 272.30 ± 42.31 and 319.80 ± 53.76 MPa. Those values represent 66 and 74%, respectively, of the tensile strength of the straight portions.

The strengths of the GFRP bent bar No. 15 Type D1 for the two production lots were 323.20 ± 36.79 and 338.80 ± 28.68 MPa. Those values represent 57 and 56%, respectively, of the tensile strength of the straight portions.

C.8. REFERENCES

- ACI 440.3R-04, (2004), "Guide Test Methods for Fibre-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 40p.
- Ahmed, E.A., El-Salakawy, E.F., and Benmokrane, B., (2008), "Tensile Properties of GFRP Bent Bars for RC Bridge Barriers (Test Results)," Rapport technique, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), mars, 17 p.
- CAN/CSA-S806-02, (2002), "Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers," Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002.
- Canadian Standard Association (CSA), (2010), "Specification for Fibre-Reinforced Polymers," CAN/CSA S807-10, Rexdale, Ontario, Canada, 27p.



Static and Dynamic Testing of 210 and 311 Bridge Barriers Reinforced with GFRP Bars

Annexe D

Essais complémentaires sur glissières
de type 210 renforcées avec de
l'armature de PRFV ayant une nouvelle
configuration de l'espacement des
étriers

ANNEXE D

ESSAIS COMPLÉMENTAIRES SUR GLISSIÈRES DE TYPE 210 RENFORCÉES AVEC DE L'ARMATURE DE PRFV AYANT UNE NOUVELLE CONFIGURATION DE L'ESPACEMENT DES ÉTRIERS

D.1 CONTEXTE

Des essais d'impact ont été réalisés le 10 et 11 août dernier sur des glissières de type 210 et 311 renforcées d'armature de polymère renforcé de fibres de verre (PRFV) au site du centre de service du Ministère des Transports à Sherbrooke. Les résultats ont démontré que les glissières de type 311 renforcées de PRFV ont eu un comportement et des dommages similaires aux glissières homologues renforcées d'acier. Dans le cas des glissières de type 210 armées de PRFV, les dommages suite aux essais d'impact se sont avérés plus importants que ceux des glissières homologues en acier. La présente proposition de recherche consiste en des essais statiques en laboratoire sur des glissières de type 210 renforcées d'armature de PRFV avec une nouvelle configuration des espacements des étriers dans le chasse-roue. L'espacement réduit des étriers a pour but d'augmenter la résistance de la glissière et de diminuer les dommages à celle-ci suite à un impact. Les essais consistent à des essais comparatifs entre des glissières armées d'acier et de PRFV.

D.2 APERÇU DU PROJET DE RECHERCHE

Suite aux essais d'impact décrits plus haut, des travaux d'auscultation ont été effectués afin de vérifier l'état des étriers en PRFV dans les glissières de type 210. Lors de ces travaux, deux plans de rupture ont été remarqués. Le premier plan de rupture se situe aux extrémités du poteau et se propage à un angle d'environ 45 degrés. Cette surface représente un plan de cisaillement et est principalement due à la composante horizontale de la force appliquée au poteau (cisaillement sans moment). Le second plan de rupture, plus large et plus important dans le cas des essais effectués, débute au niveau de la plaque d'ancrage et s'étend de chaque côté du poteau. Les figures D.1 à D.3 présentent les deux plans de rupture. Toutefois, il est possible de constater sur la figure D.4 que seuls les étriers situés dans la zone immédiate du poteau interceptent le deuxième plan de rupture. Cette surface de rupture est principalement due au moment créé par la force appliquée au poteau. Ensuite, l'auscultation des glissières a révélé que certains étriers ont rupturé suite aux essais d'impact. Ces étriers rupturés se situaient dans la zone immédiate du poteau. La nouvelle

configuration de l'espacement des étriers pour les glissières de type 210 armées de PRFV consiste à diminuer l'espacement des étriers près du poteau. Ainsi, la résistance de la glissière sera augmentée selon les deux plans de rupture. Les figures D.5 et D.6 illustrent respectivement la configuration actuelle et la configuration proposée de l'espacement des étriers. La position des étriers dans la configuration proposée a été déterminée afin d'augmenter le nombre d'étriers interceptant le plan de rupture. De plus, les dimensions de la plaque d'ancrage ainsi que des boulons ont été considérées afin de faciliter l'installation et l'ajustement de la plaque d'ancrage lors de la construction des glissières.

D. 2.1 Objectifs du projet et essais proposés

Le projet de recherche proposé permet de valider une nouvelle configuration de l'espacement des étriers dans le but d'augmenter la résistance des glissières de type 210 armées de PRFV. De plus, la proposition de recherche s'intègre à un vaste projet d'étude qui cadre très bien avec un des objectifs du ministère visant le développement de dispositifs de retenu à durabilité accrue, sécuritaires et performants sur le plan économique.

Afin d'évaluer la performance de la configuration proposée, la proposition de recherche comprend 4 spécimens de glissière de type 210. De ce nombre, deux spécimens seront armés de PRFV et deux spécimens seront armés d'acier pour des fins de comparaison. Les dimensions des spécimens sont présentées à la figure D.7. Les matériaux, l'armature et l'espacement des armatures des spécimens de cette étude sont analogues aux essais réalisés précédemment (Benmokrane et coll. 2009). Deux types d'essai seront réalisés sur ces spécimens. Le premier type d'essai consiste à appliquer la charge de façon statique avec chargement monotone jusqu'à la rupture. Le deuxième type d'essai consiste à appliquer une charge dynamique (charge rapide) sur le spécimen dans le but de simuler un impact. Lors de cet essai, un vérin de chargement MTS muni d'un piston hydraulique assisté par ordinateur (contrôleur MTS) sera utilisé. Chaque type d'essai inclut un spécimen armé de PRFV et un armé d'acier.

D.3 ÉCHÉANCIER

La durée prévue pour la réalisation de ce projet de recherche est de 4 mois.

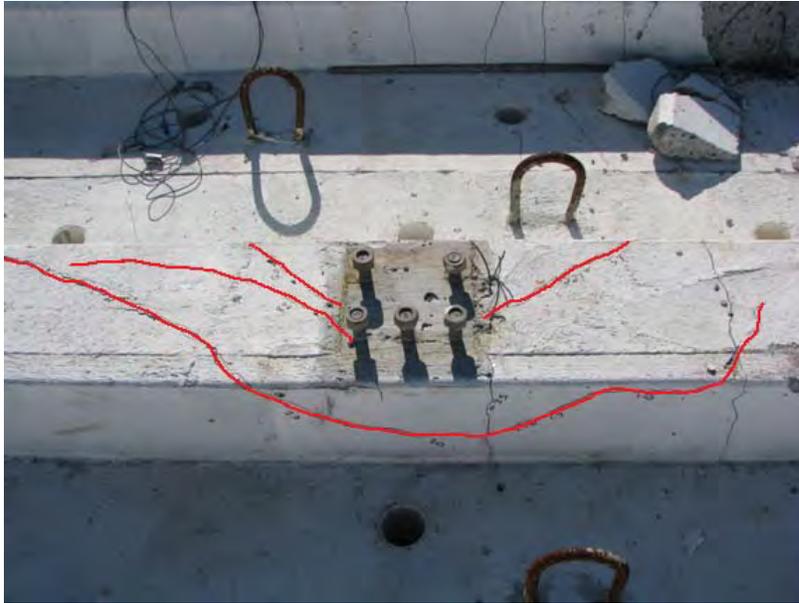


Figure D. 1 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1

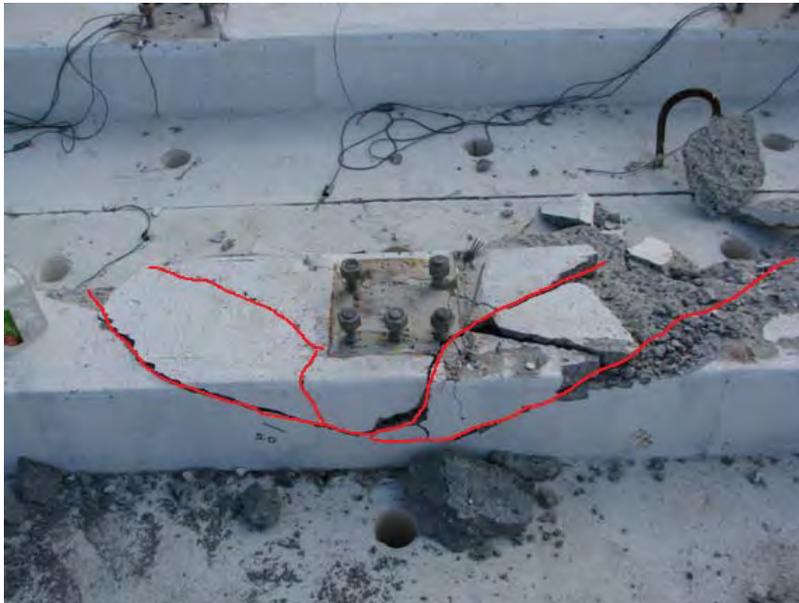


Figure D. 2 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G2

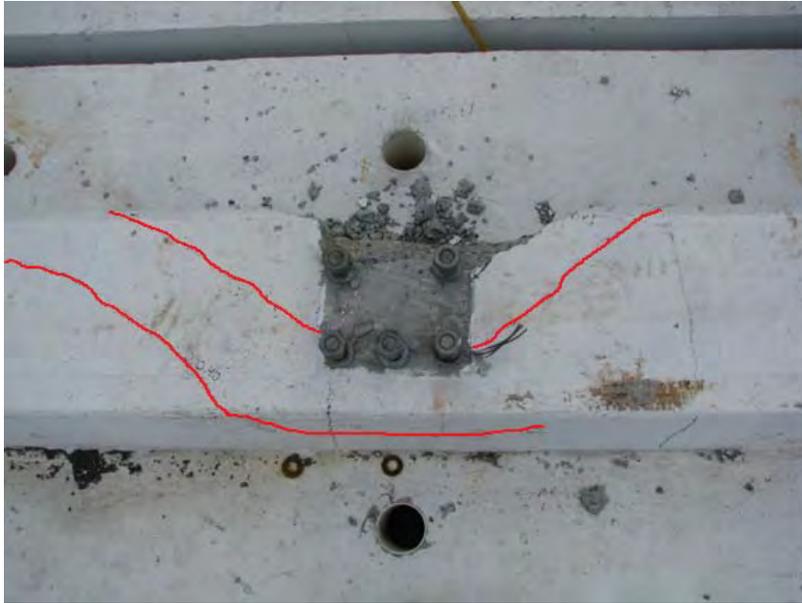


Figure D. 3 : Rupture du spécimen 210-PRFV-11m-II-G2

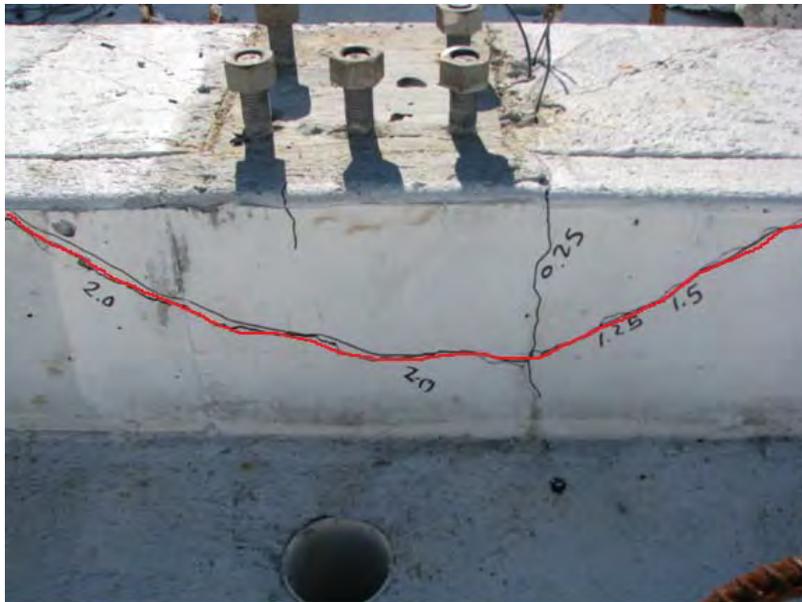
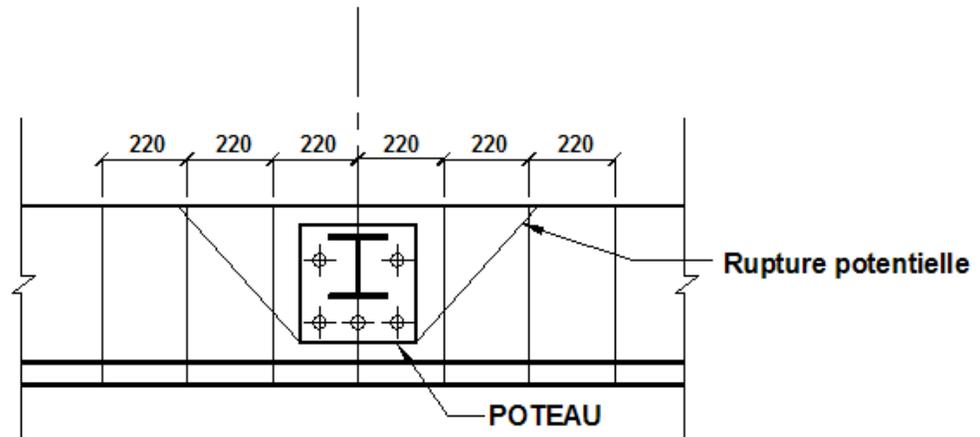


Figure D. 4 : Deuxième plan de rupture du spécimen 210-PRFV-11m-I-G1

CONFIGURATION ACTUELLE

C.L.



C.L.

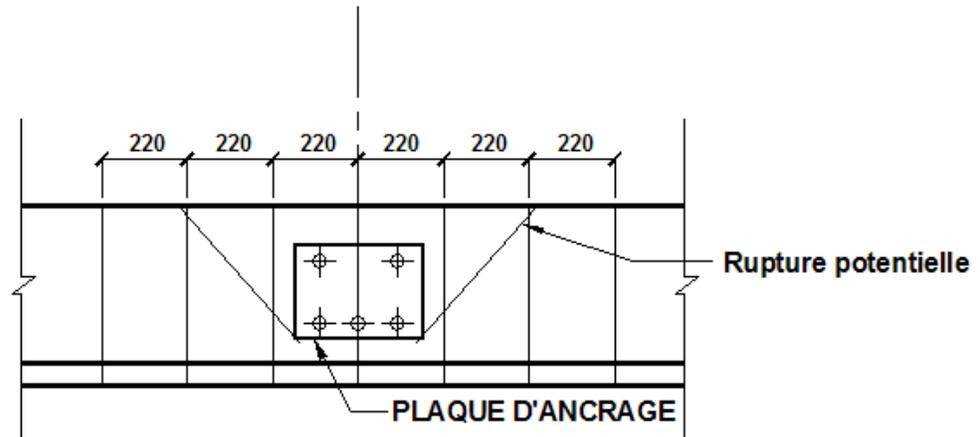
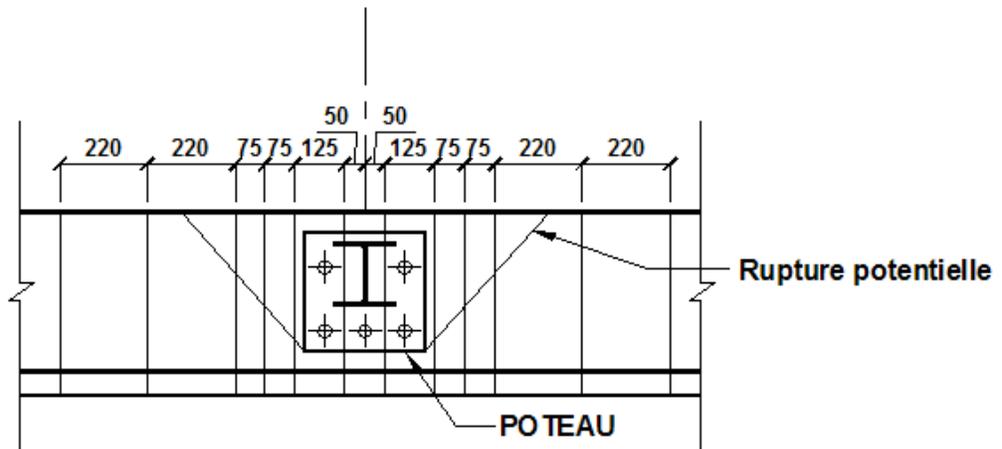


Figure D. 5 : Configuration actuelle des étriers des glissières de type 210

CONFIGURATION PROPOSÉE

C.L.



C.L.

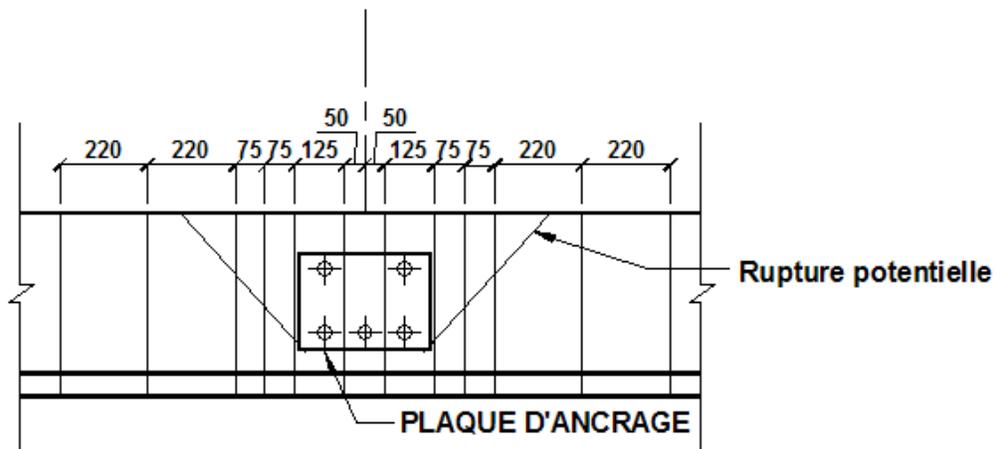


Figure D. 6 : Configuration proposée des étriers des glissières de type 210

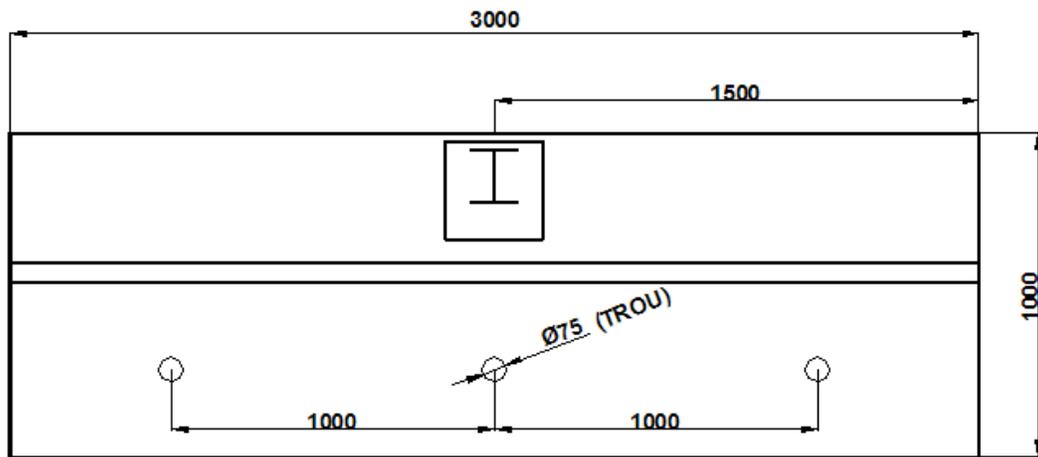
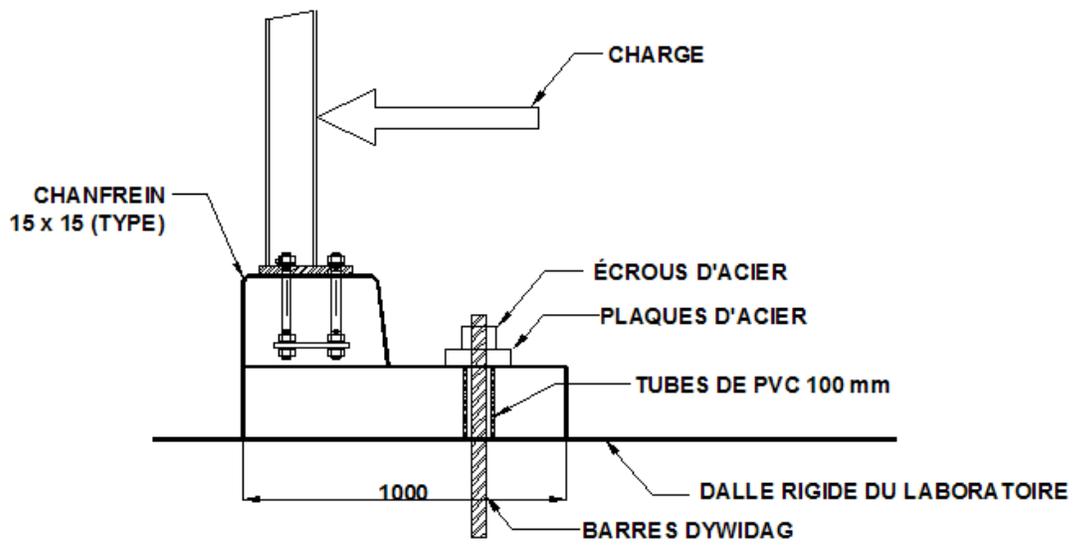


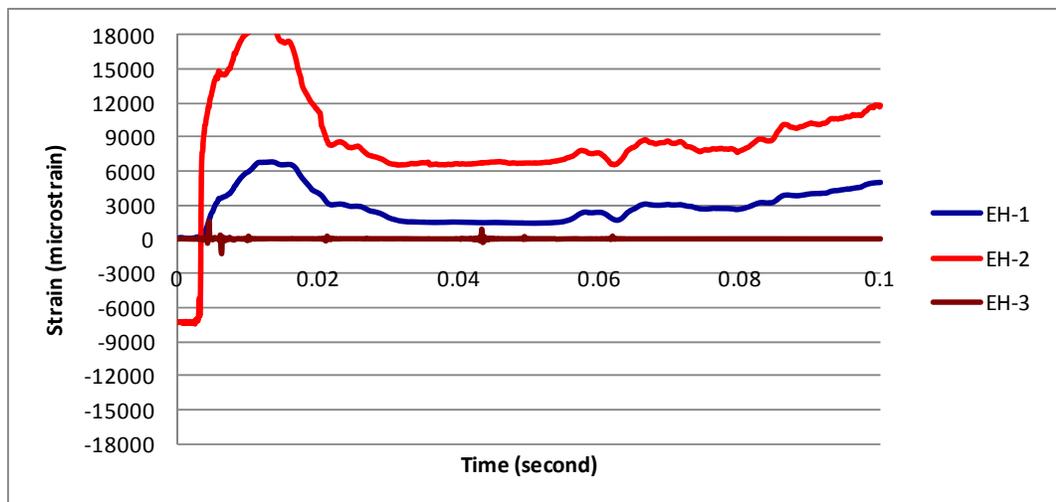
Figure D. 7 : Dimensions des spécimens et montage d'essai

RÉFÉRENCES

Benmokrane, B., Dulude, C. et Ahmed, E. (2009). "Essais statiques et dynamiques sur glissières de types 210 et 311 renforcées avec de l'armature de PRFV" Premier rapport technique, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), Septembre, 124 p.

Static and Dynamic Testing of 210 and 311 Bridge Barriers Reinforced with GFRP Bars

Appendix E Reinforcement Strain Relationships



LIST OF FIGURES

Figure E. 1: Measured strains in the 210-5m-Steel-I barrier prototype	1
Figure E. 2: Measured strains in the 210-5m-Steel-II barrier prototype	2
Figure E. 3: Measured strains in the 210-5m-Steel-III-Test 1 barrier prototype	3
Figure E. 4: Measured strains in the 210-5m-Steel-III-Test 2 barrier prototype	4
Figure E. 5: Measured strains in the 210- Steel-11m-I barrier prototype: Right side.....	5
Figure E. 6: Measured strains in the 210- Steel-11m-I barrier prototype: Left side	6
Figure E. 7: Measured strains in the 210- Steel-11m-II barrier prototype: right side.....	7
Figure E. 8: Measured strains in the 210- Steel-11m-II barrier prototype: right side.....	8
Figure E. 9: Measured strains in the 210- GPRF-11m- I-G2 barrier prototype: right side.....	9
Figure E. 10: Measured strains in the 210-GPRF-11m-I-G2 barrier prototype: Left side.....	10
Figure E. 11: Measured strains in the 210-GPRF-11m-I-G2 barrier prototype-second impact: right side.....	11
Figure E. 12: Measured strains in the 210-GPRF-11m-I-G2 barrier prototype-second impact: left side	12
Figure E. 13: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: right side.....	13
Figure E. 14: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: left side.....	14
Figure E. 15: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G2 barrier prototype: right side.....	15
Figure E. 16: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G2 barrier prototype: left side.....	16
Figure E. 17: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: right side.....	17
Figure E. 18: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: left side.....	18
Figure E. 19: Measured strains in the 311-Steel-11m-I barrier prototype	19
Figure E. 20: Measured strains in the 311-Steel-11m-II barrier prototype	21
Figure E. 21: Measured strains in the 311-GPRF-11m-I barrier prototype	23
Figure E. 22: Measured strains in the 311- GPRF-11m-II barrier prototype	25

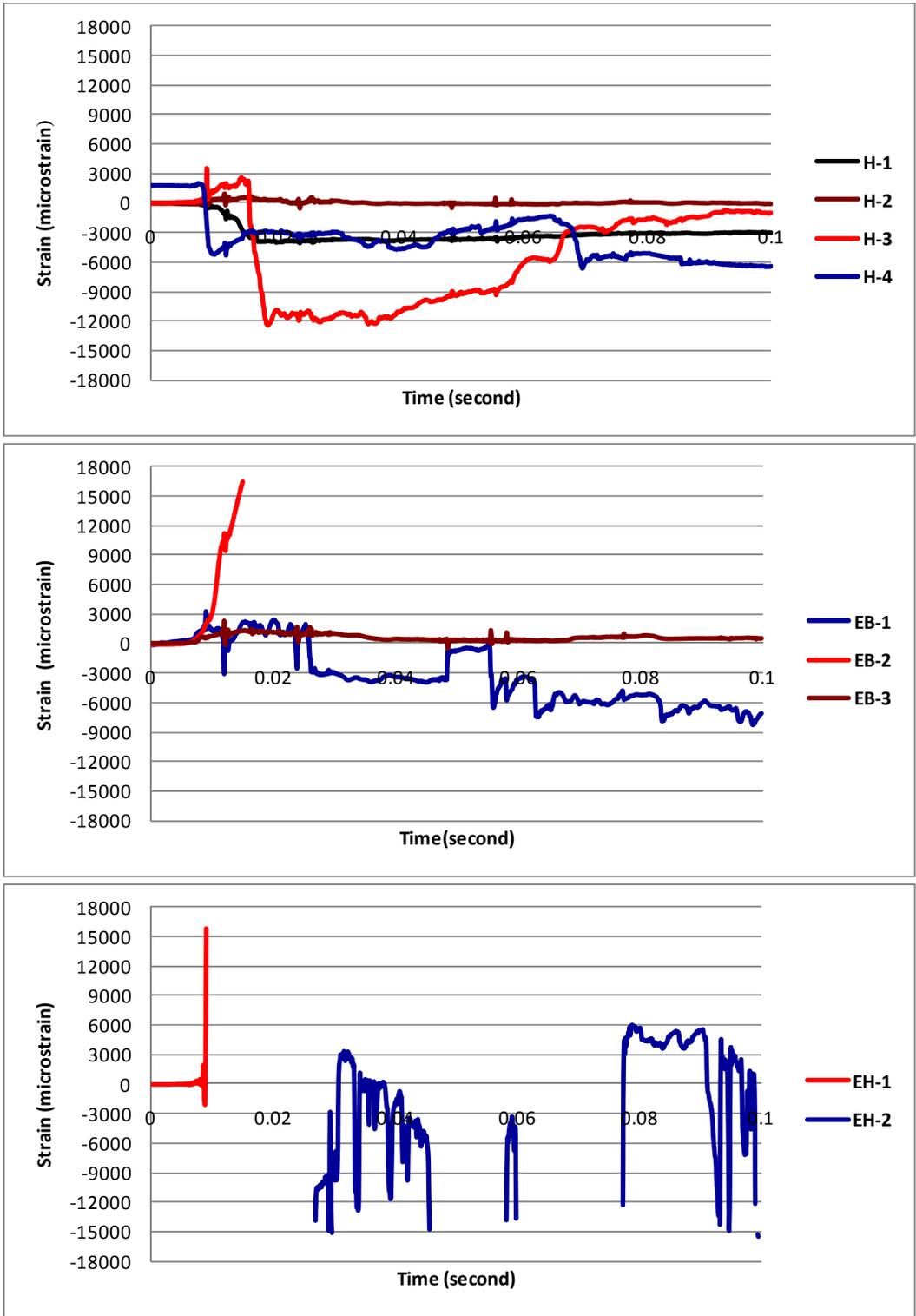


Figure E. 1: Measured strains in the 210-5m-Steel-I barrier prototype

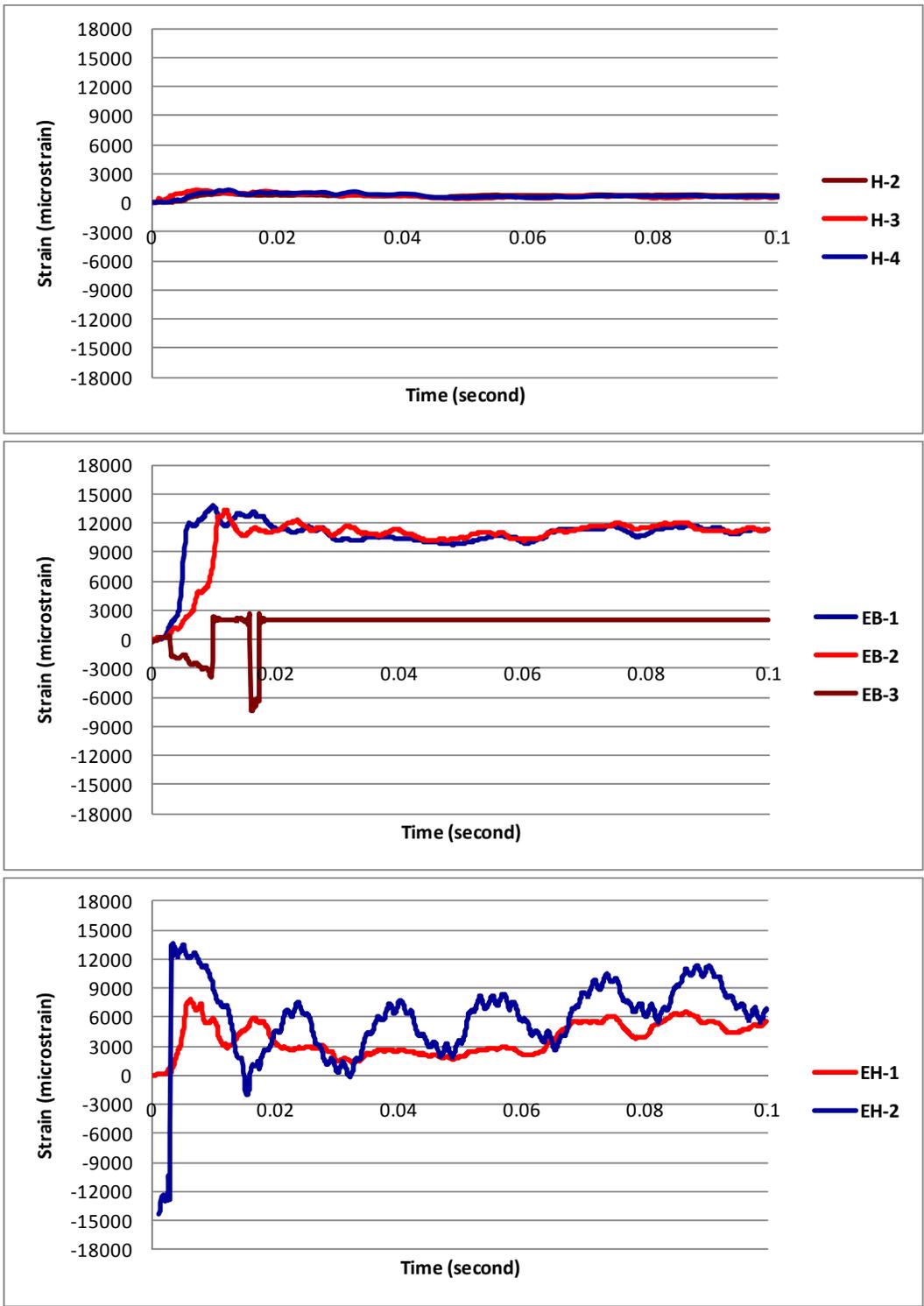


Figure E. 2: Measured strains in the 210-5m-Steel-II barrier prototype

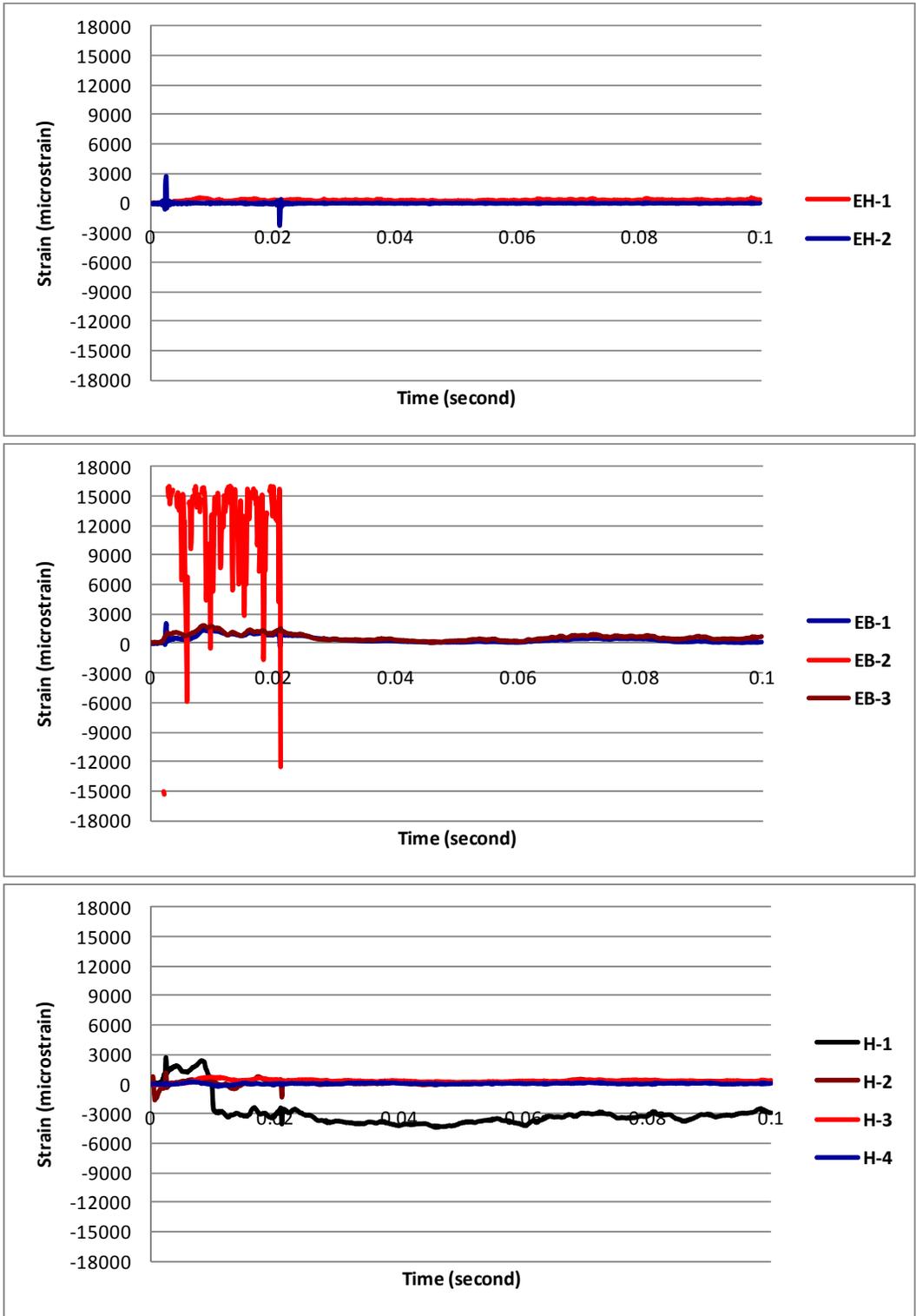


Figure E. 3: Measured strains in the 210-5m-Steel-III-Test 1 barrier prototype

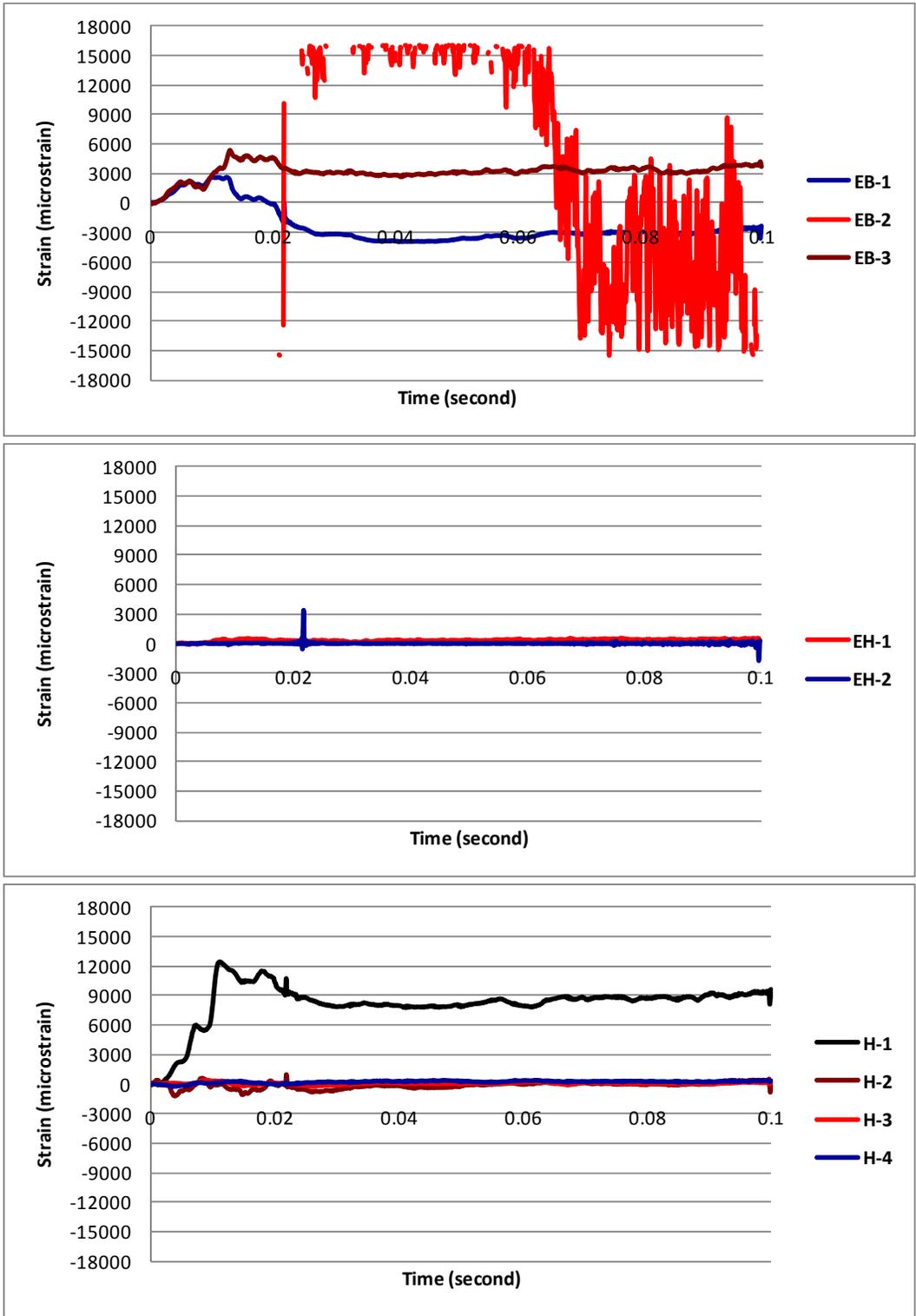


Figure E. 4: Measured strains in the 210-5m-Steel-III-Test 2 barrier prototype

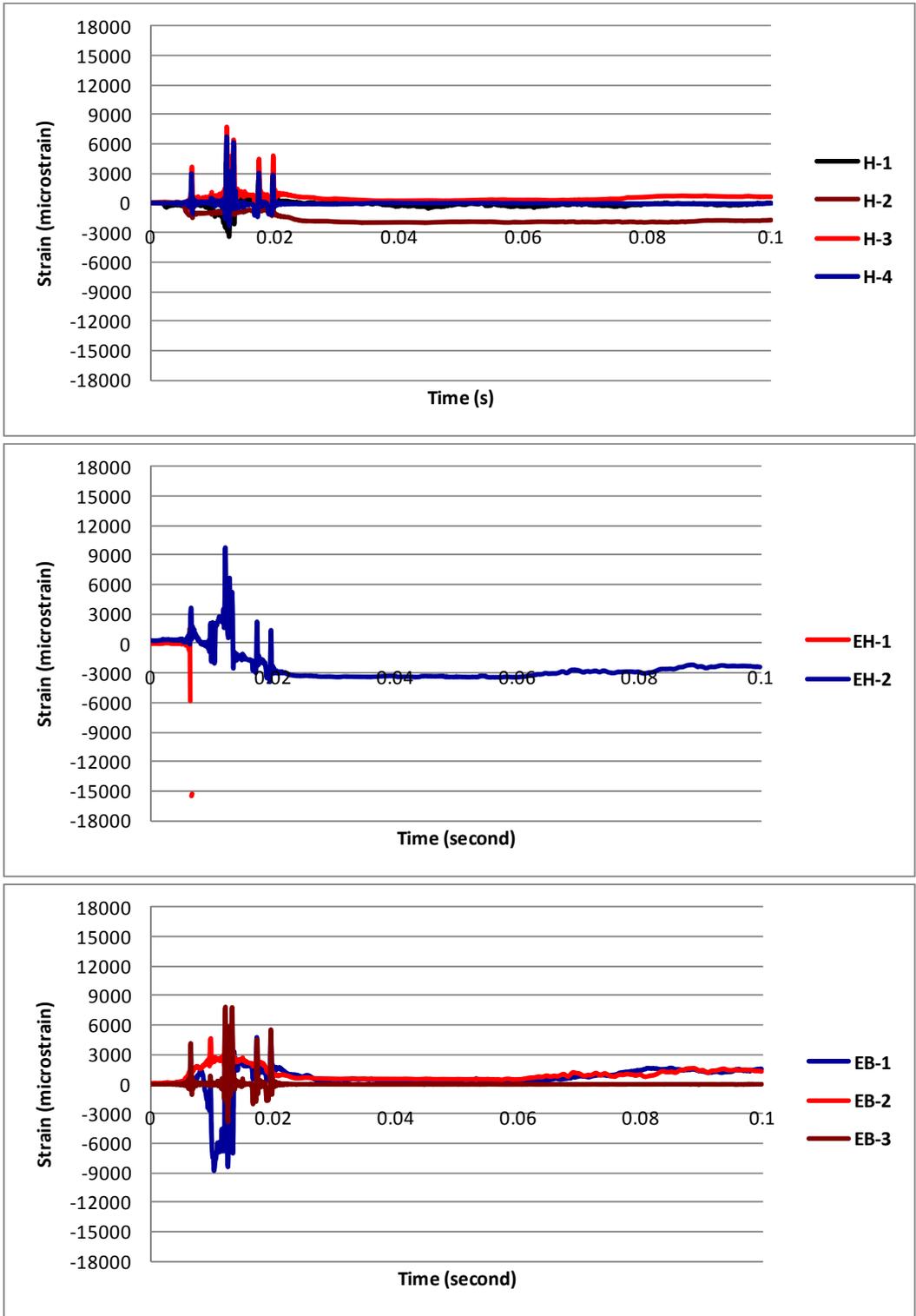


Figure E. 5: Measured strains in the 210- Steel-11m-I barrier prototype: Right side

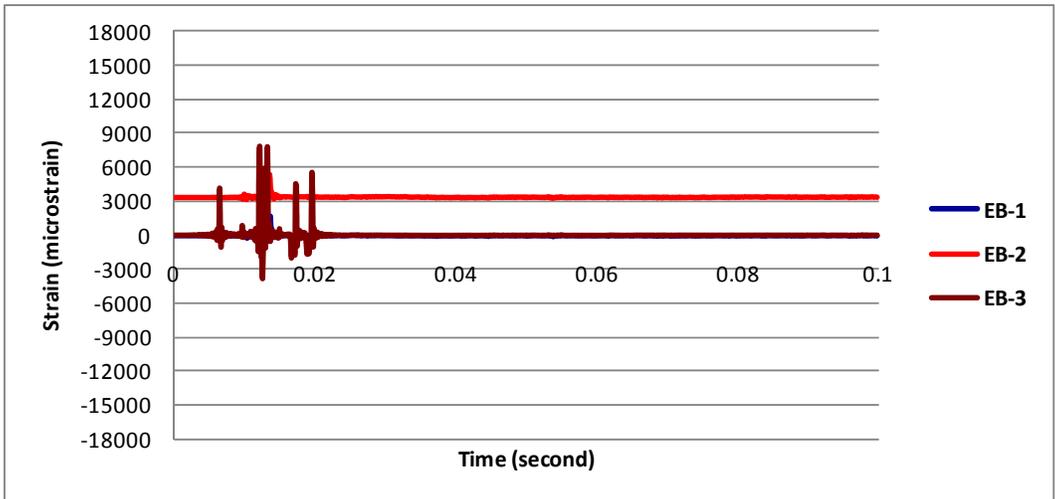
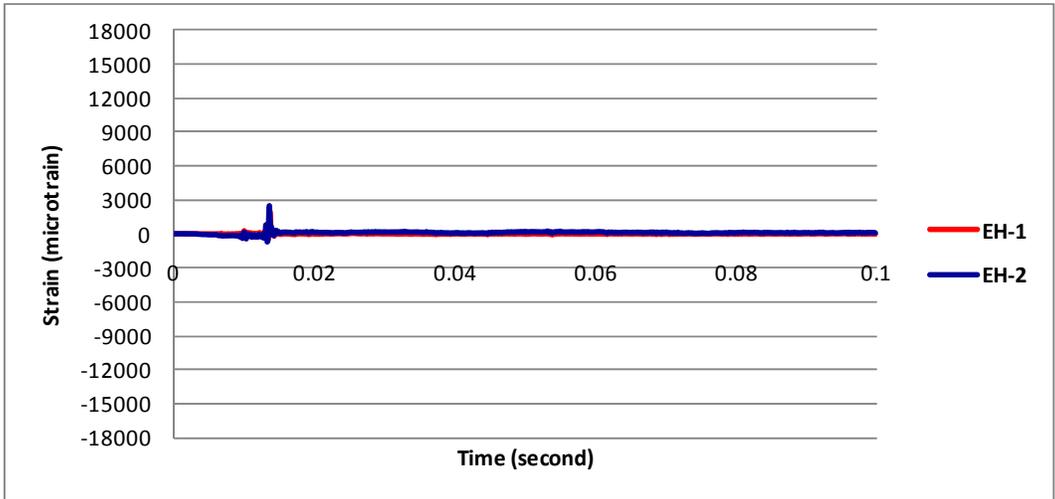
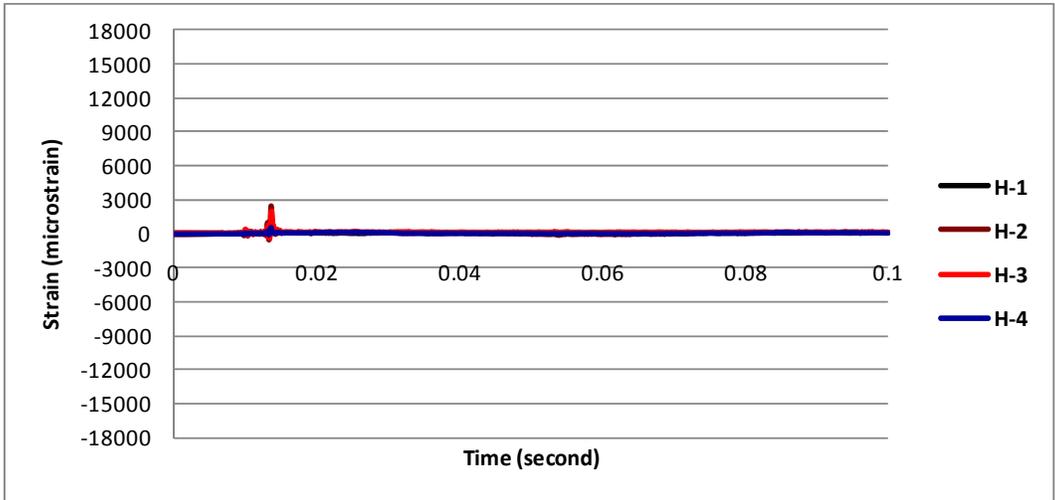


Figure E. 6: Measured strains in the 210- Steel-11m-I barrier prototype: Left side

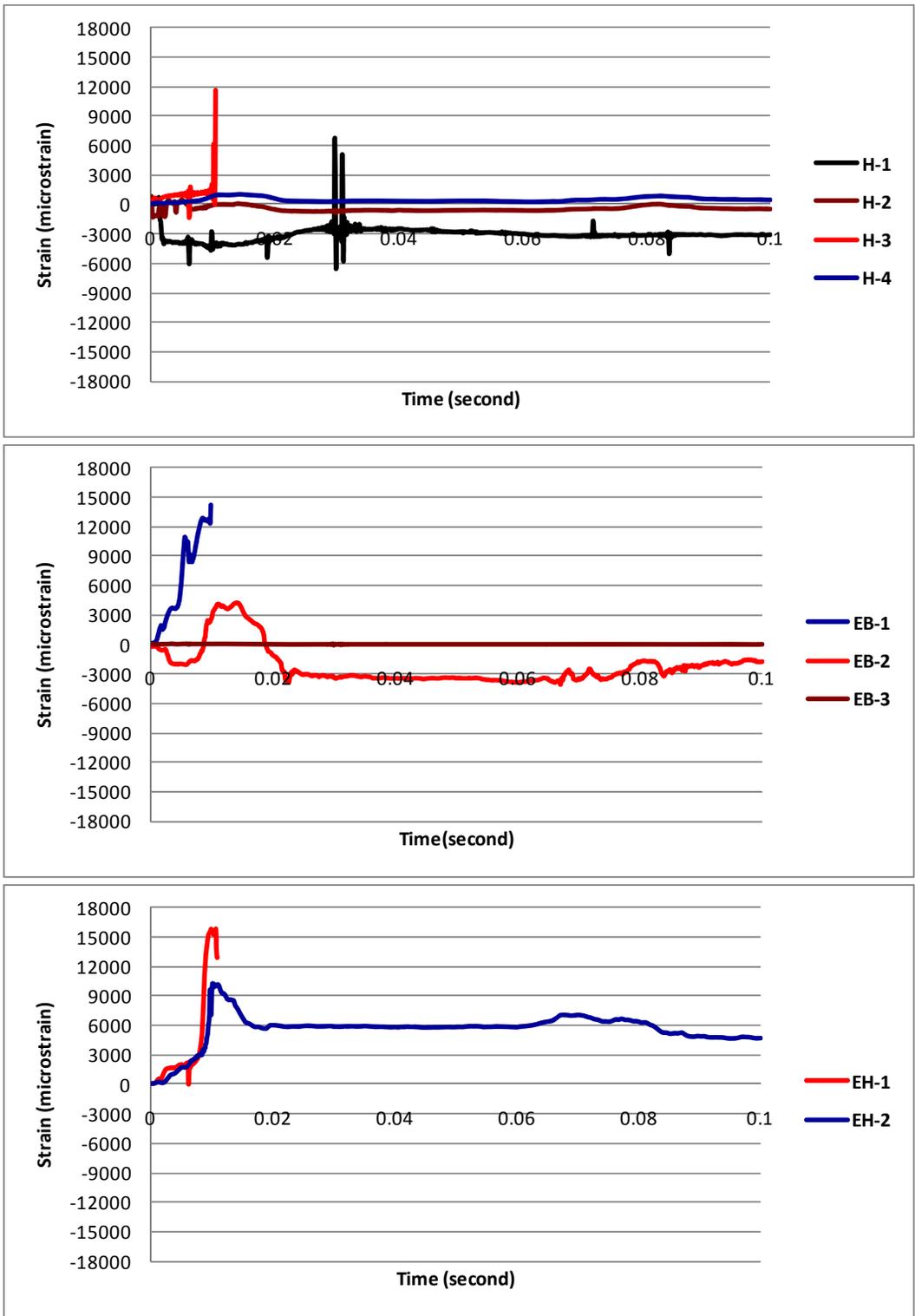


Figure E. 7: Measured strains in the 210- Steel-11m-II barrier prototype: right side

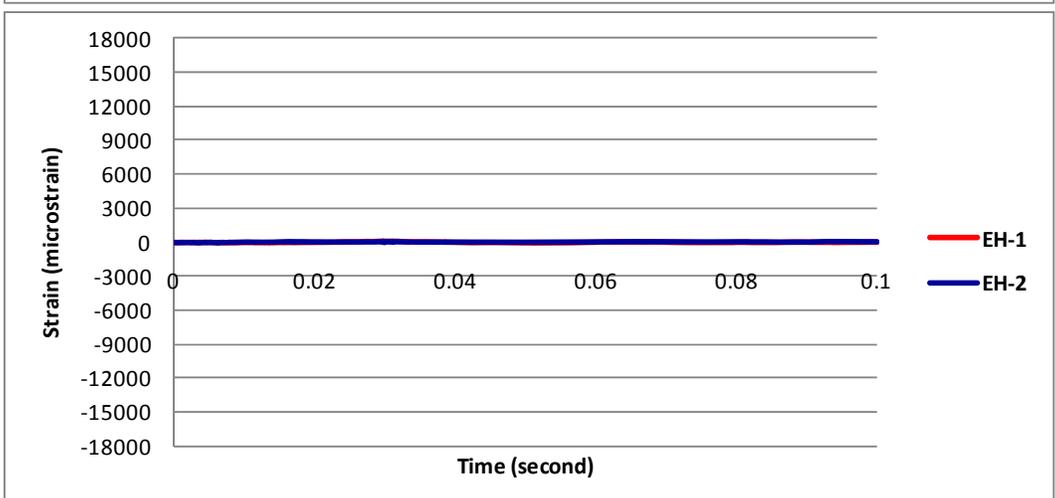
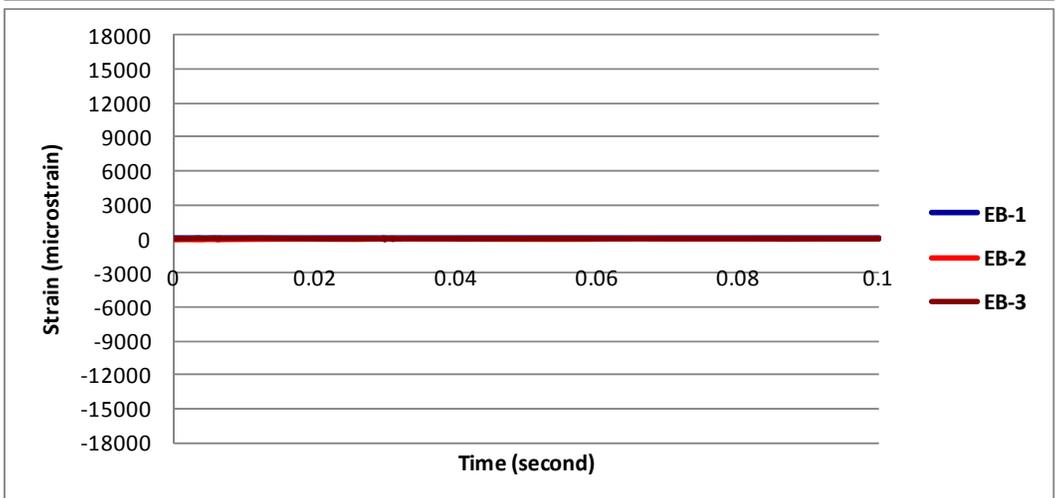
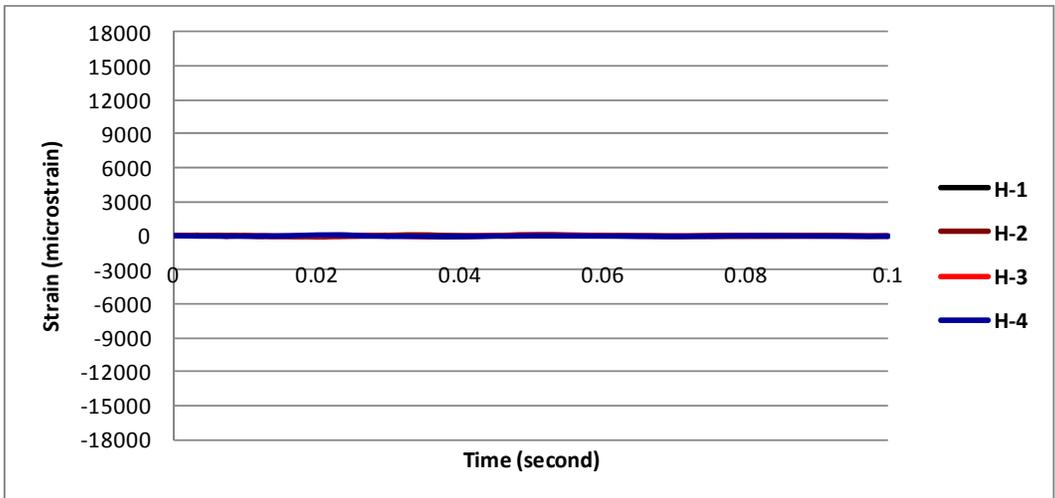


Figure E. 8: Measured strains in the 210- Steel-11m-II barrier prototype: right side

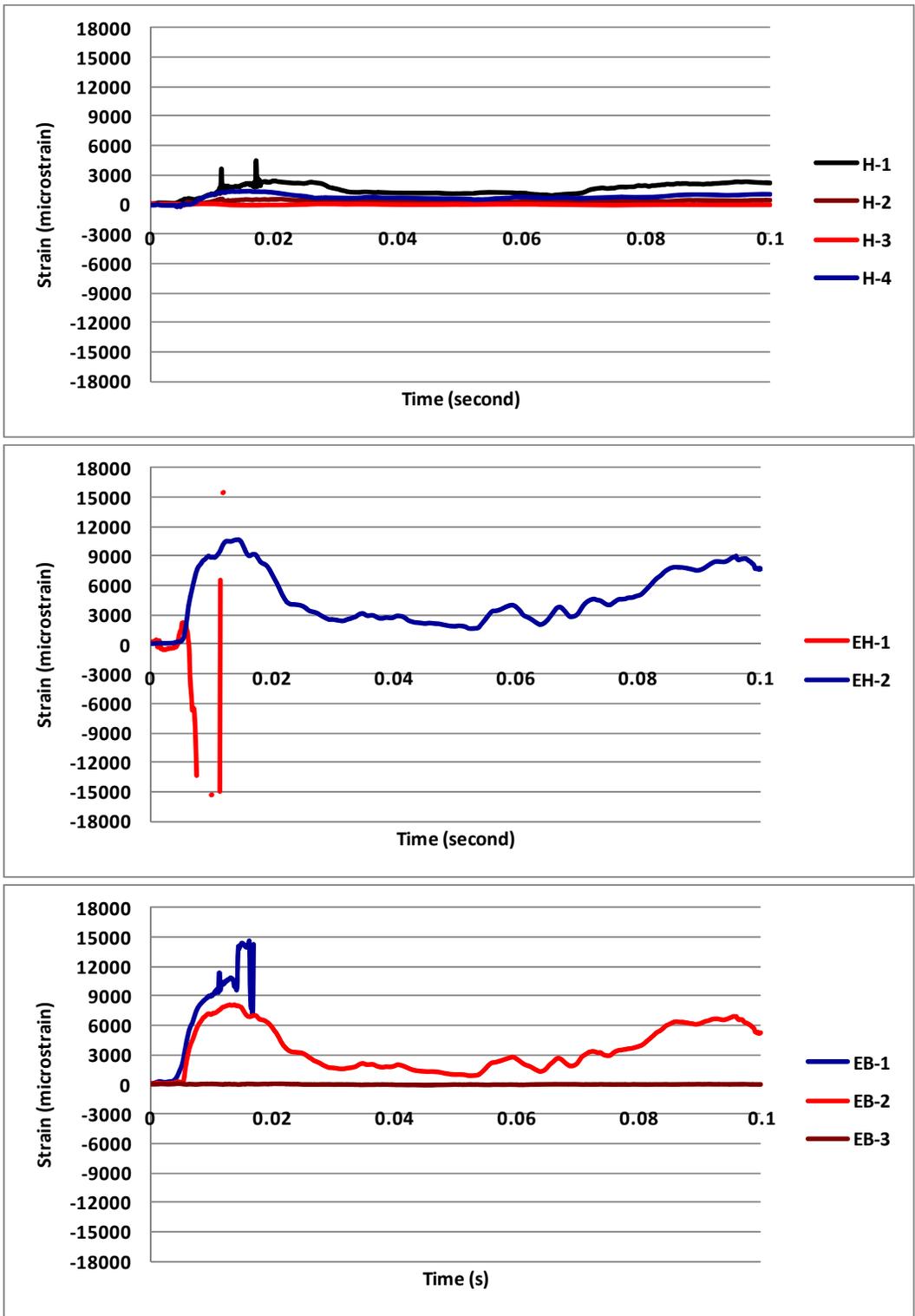


Figure E. 9: Measured strains in the 210- GPRF-11m- I-G2 barrier prototype: right side

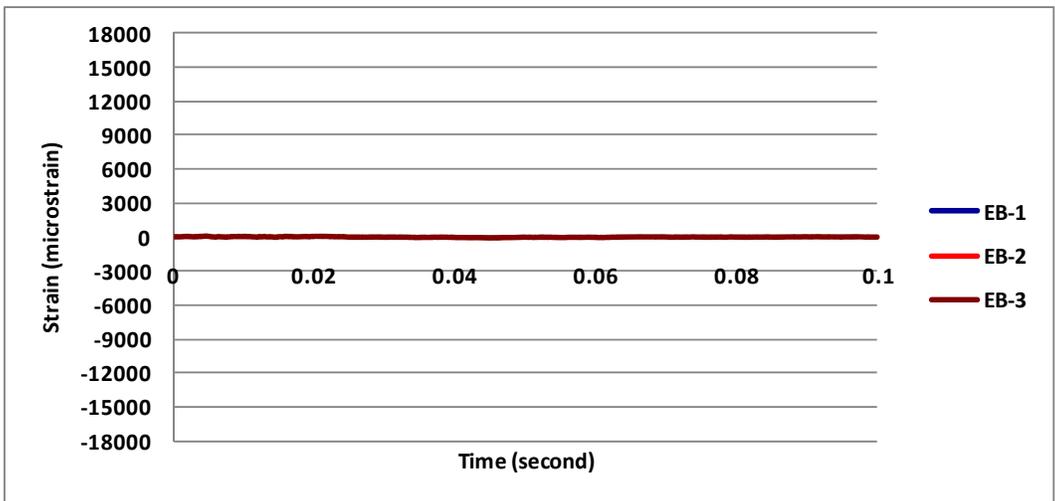
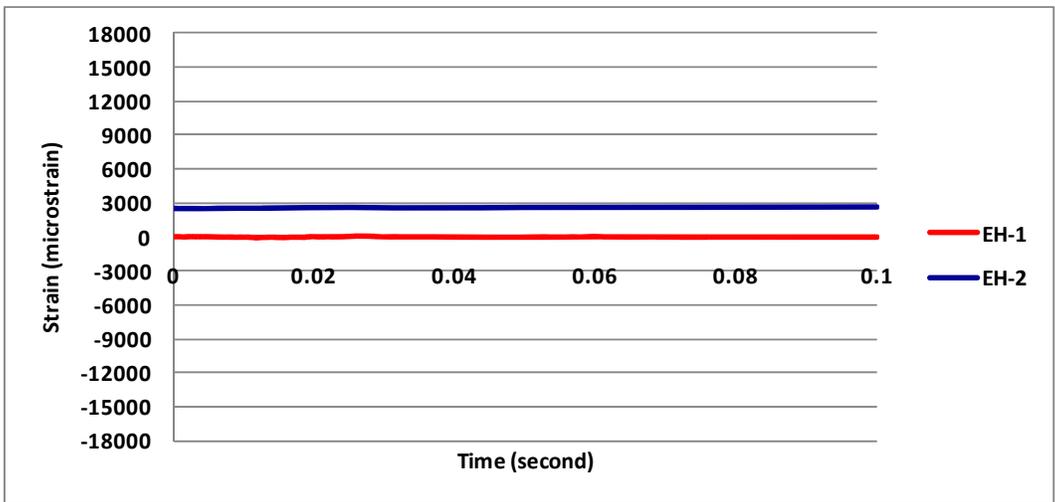
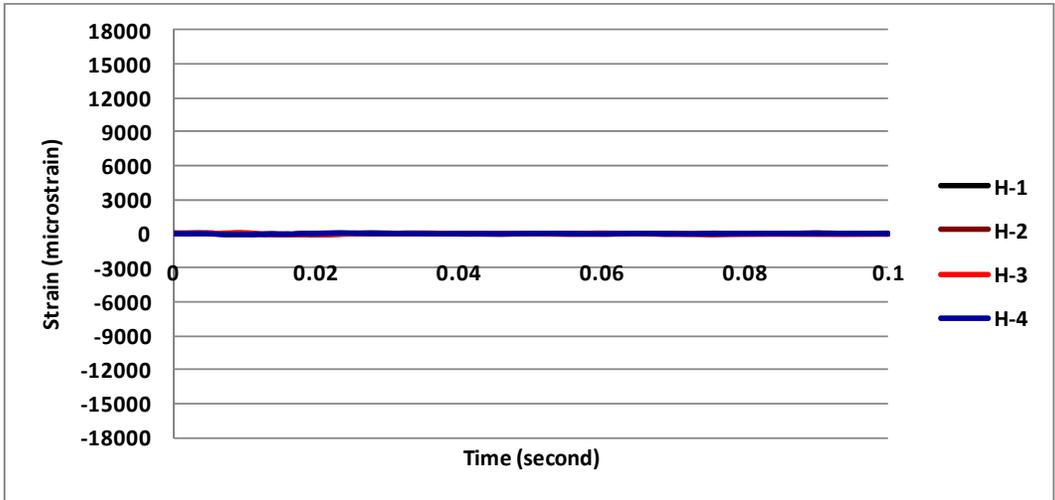


Figure E. 10: Measured strains in the 210-GPRF-11m-I-G2 barrier prototype: Left side

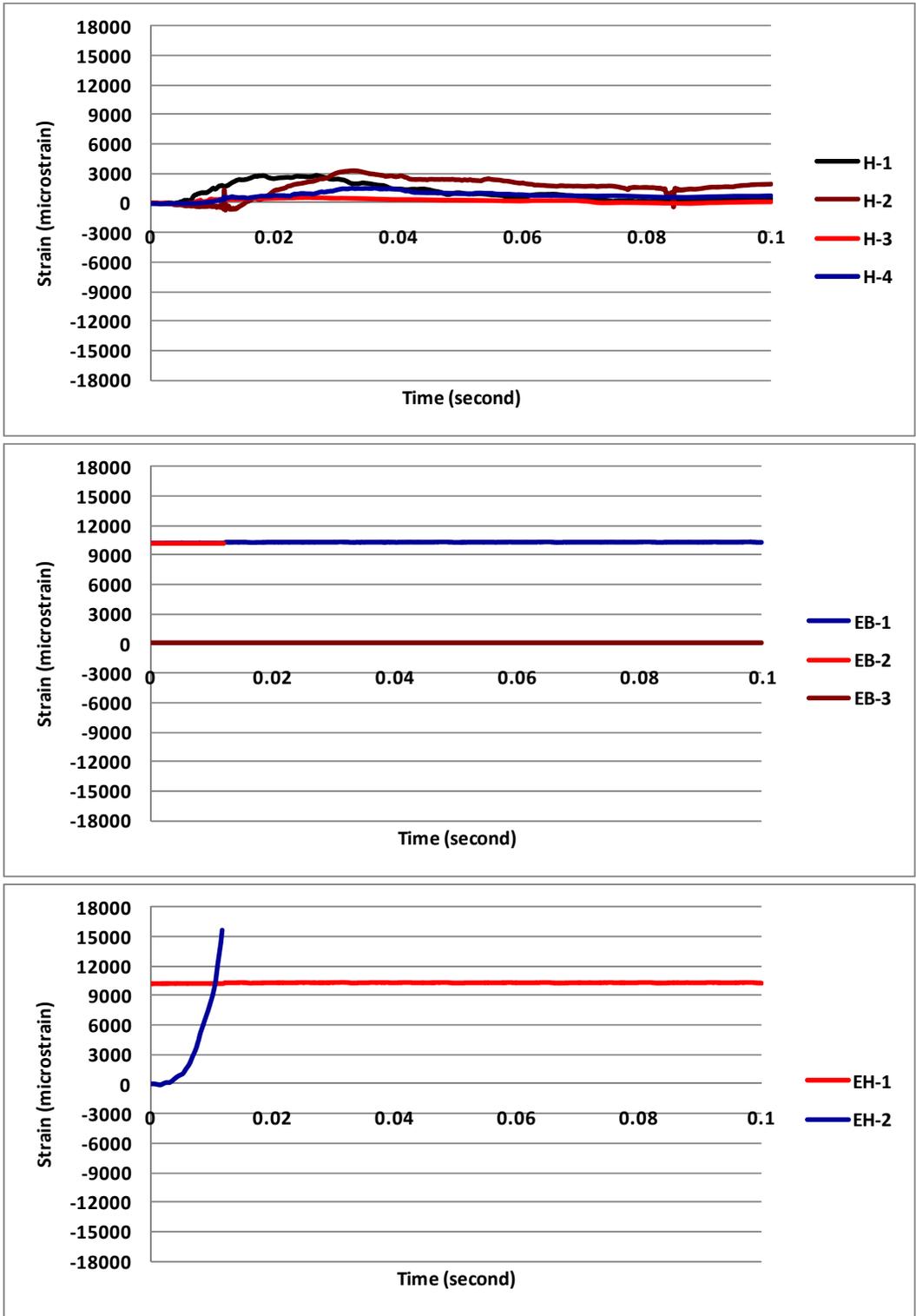


Figure E. 11: Measured strains in the 210-GPRF-11m-I-G2 barrier prototype-second impact: right side

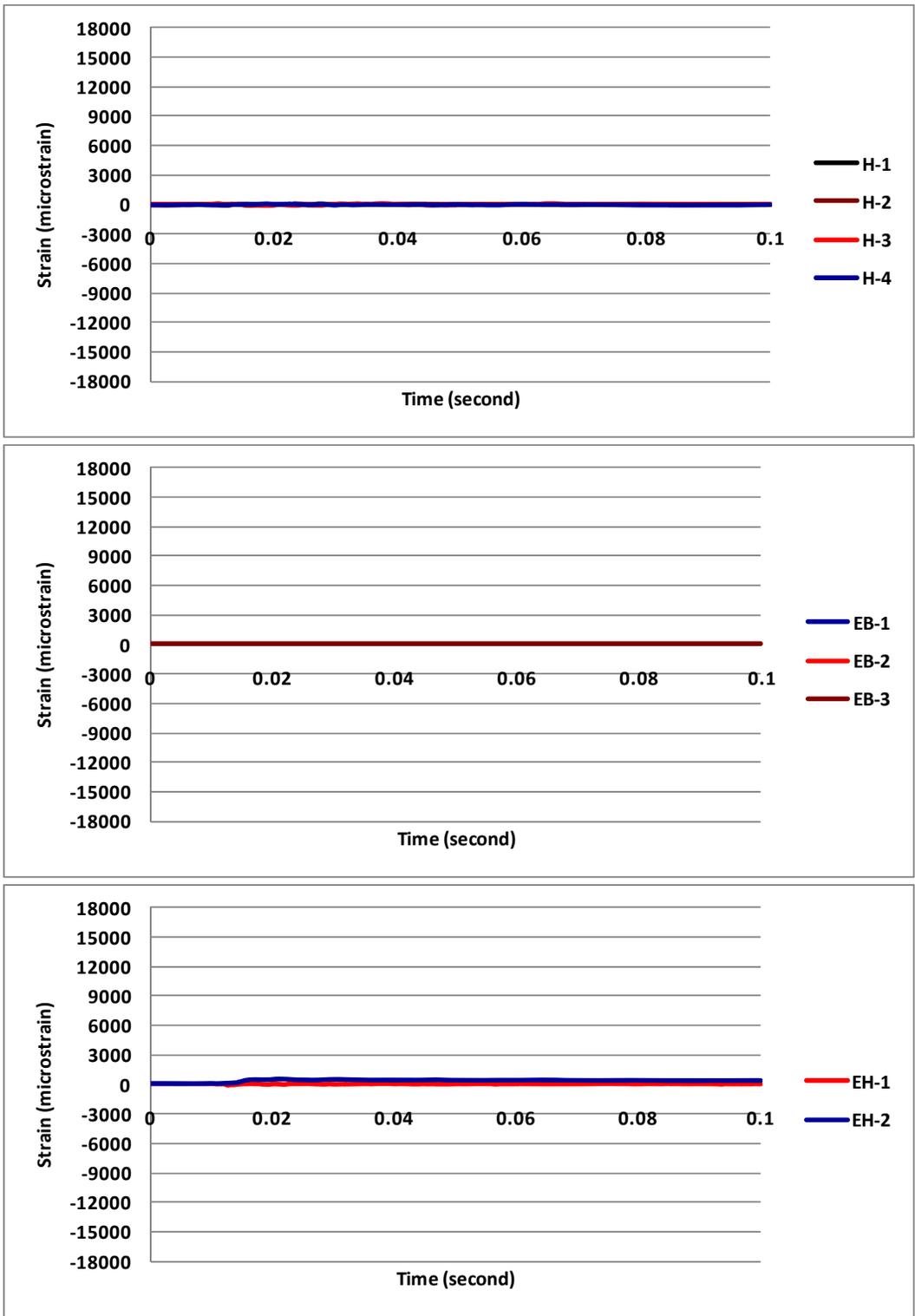


Figure E. 12: Measured strains in the 210-GPRF-1m-I-G2 barrier prototype-second impact: left side

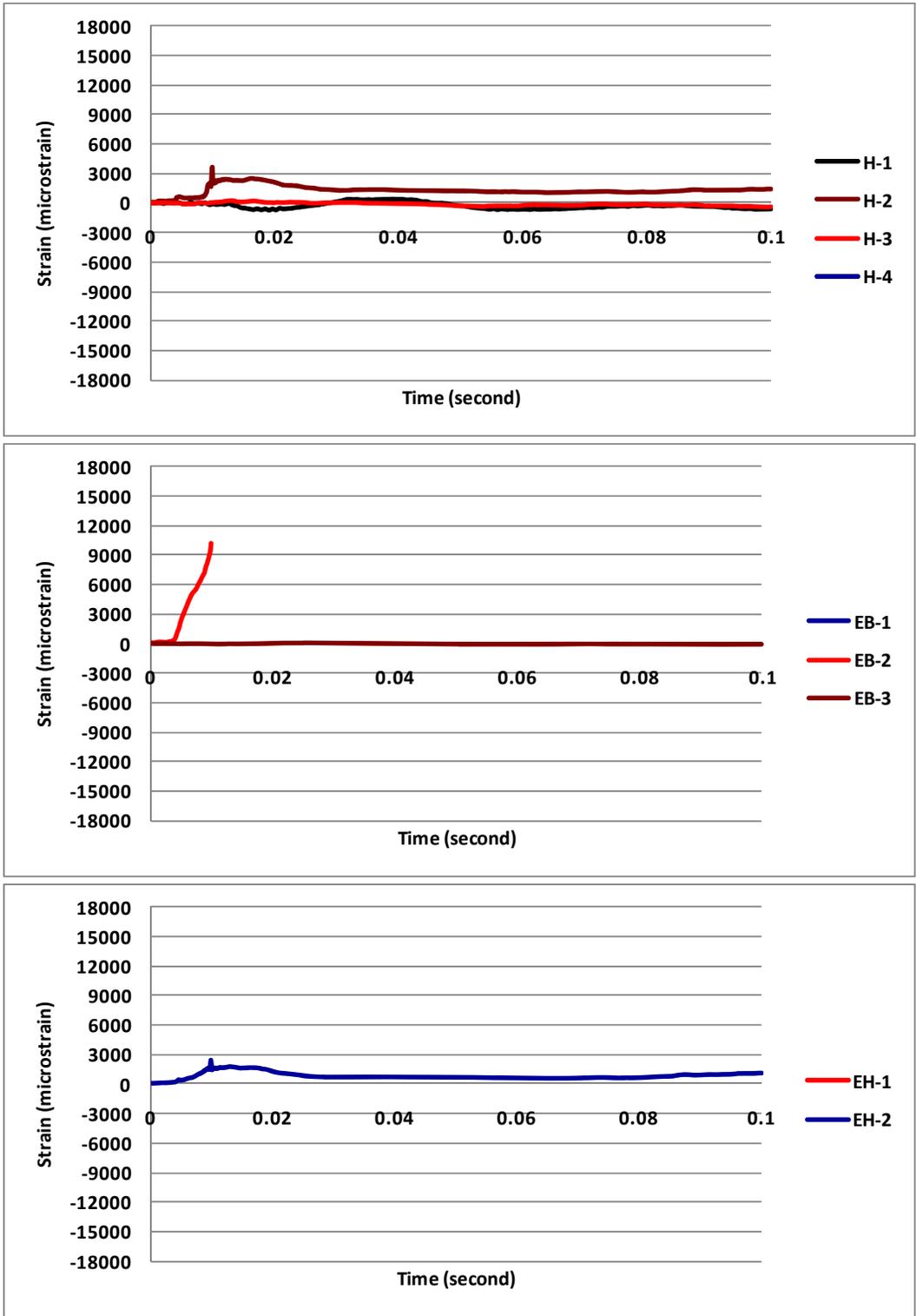


Figure E. 13: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: right side

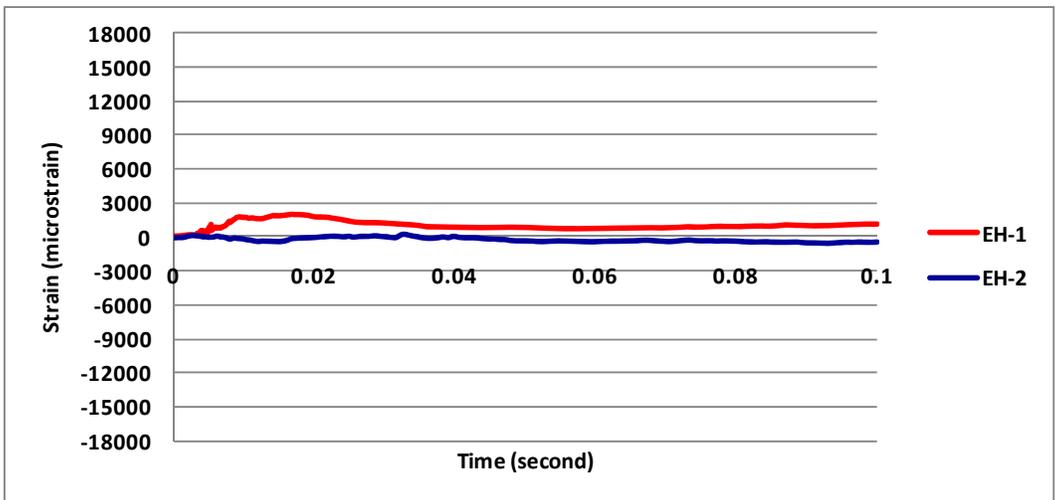
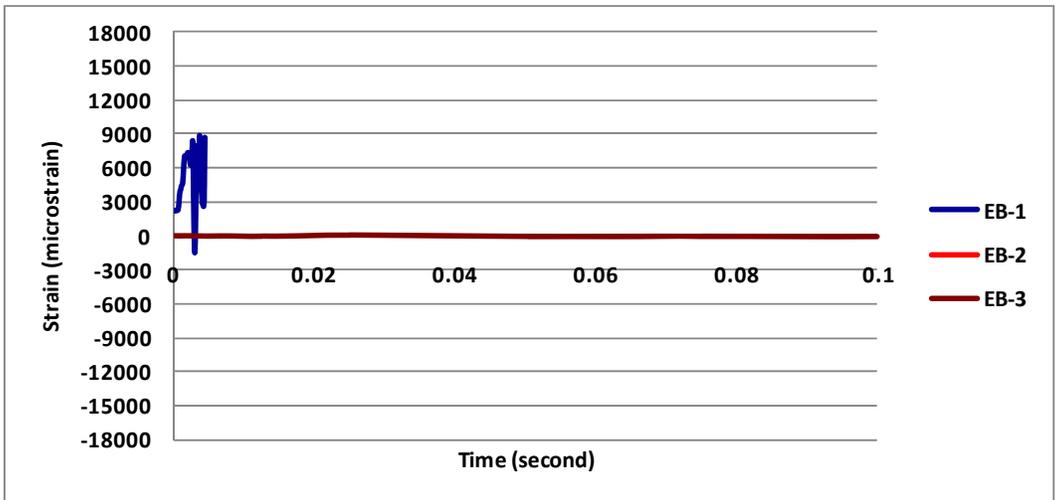
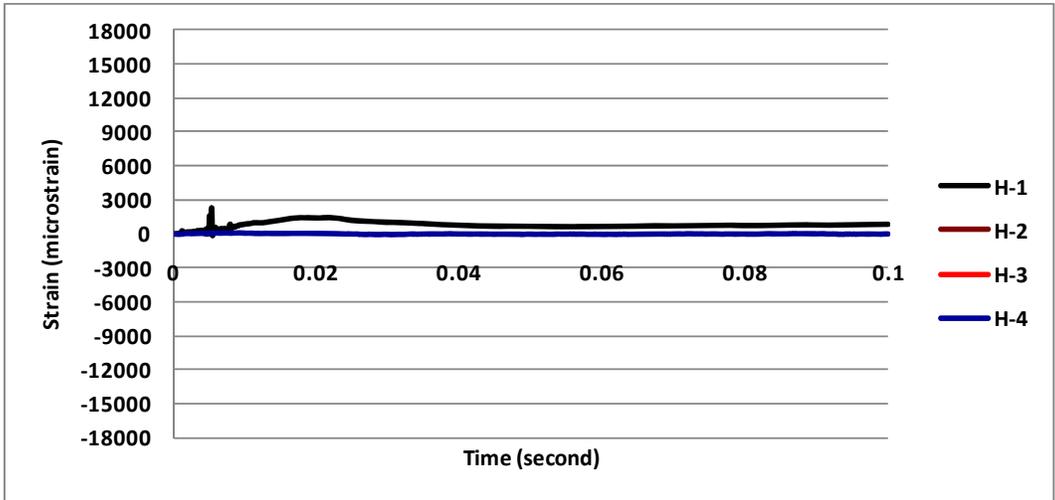


Figure E. 14: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: left side

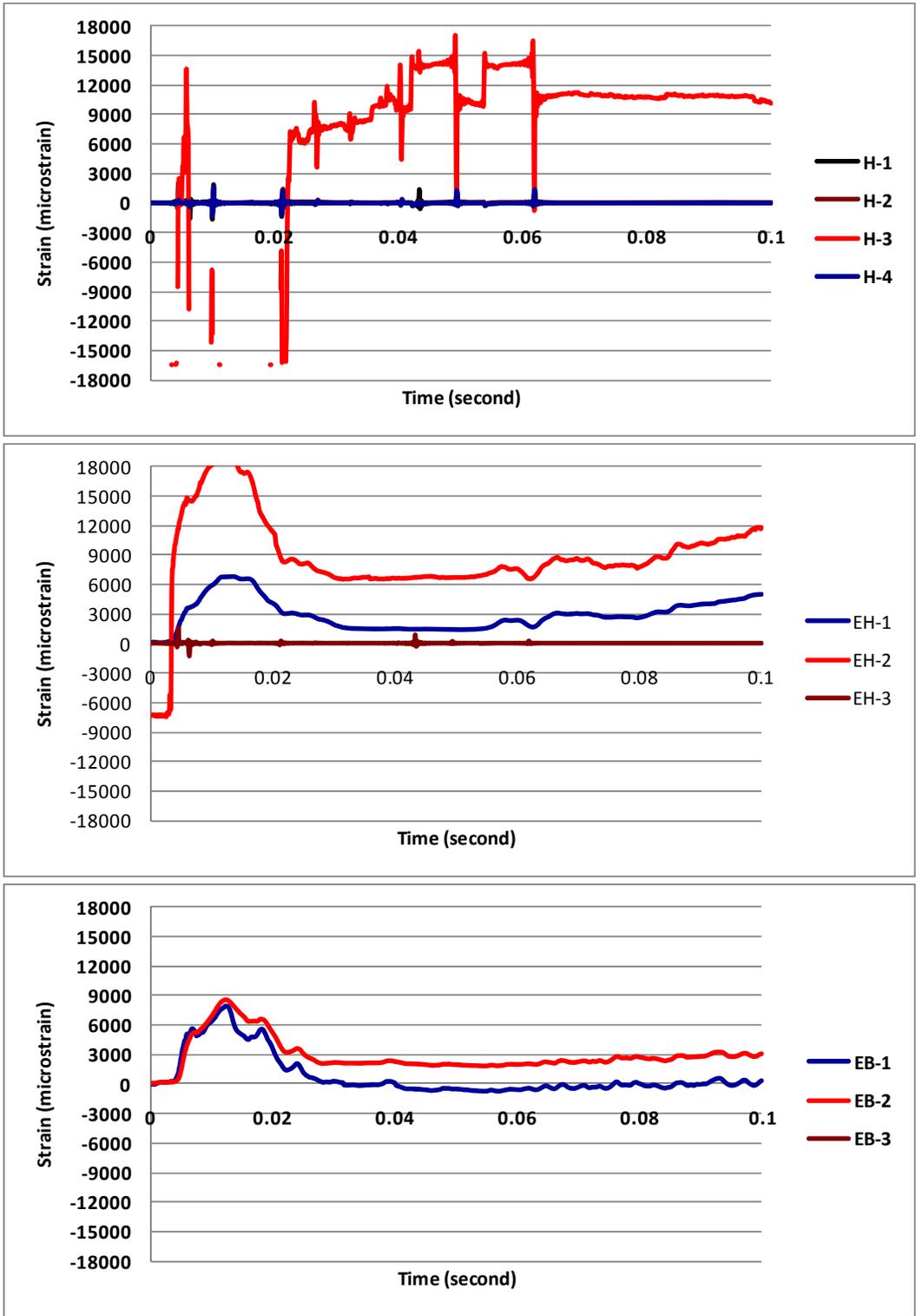


Figure E. 15: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G2 barrier prototype: right side

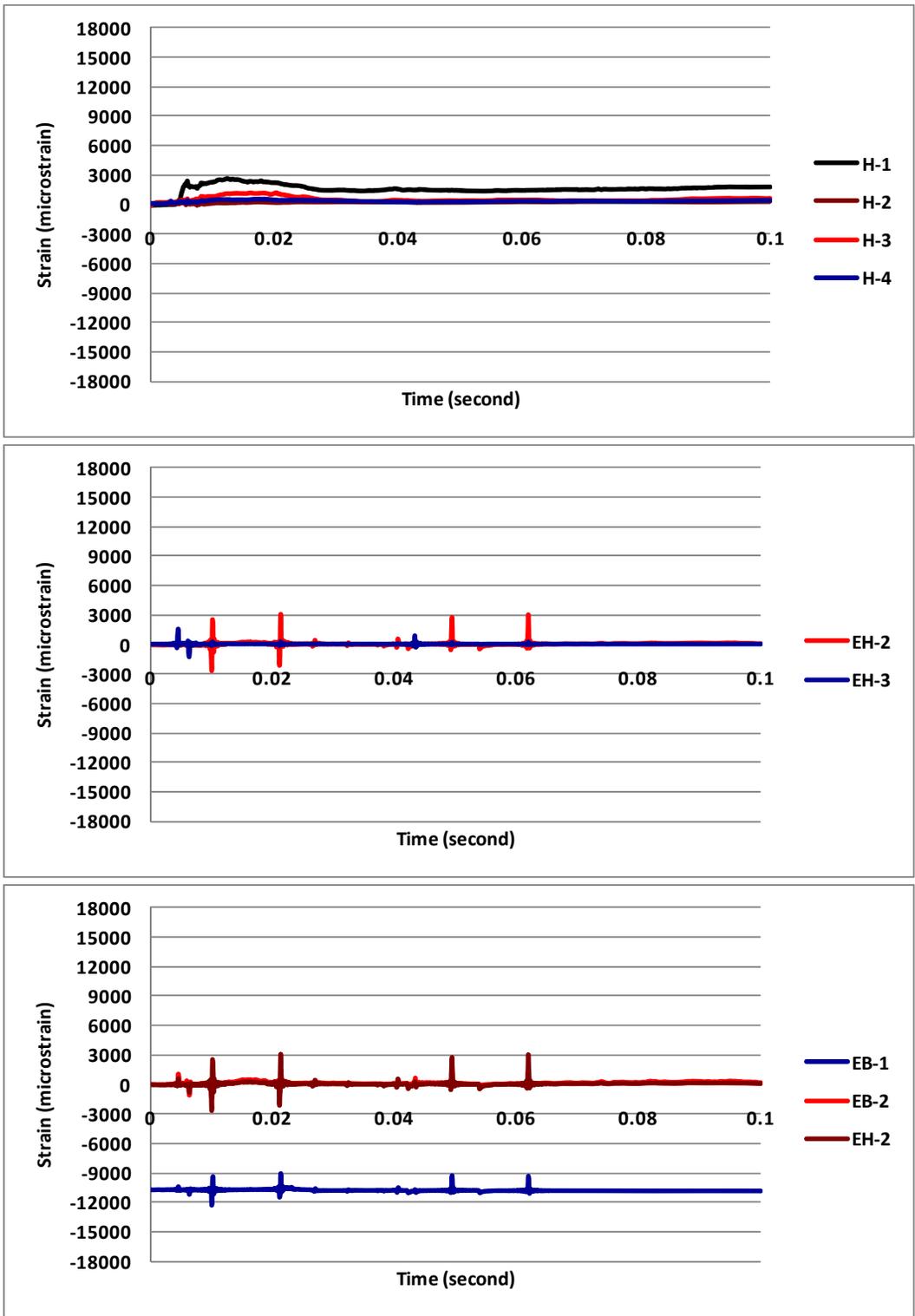


Figure E. 16: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G2 barrier prototype: left side

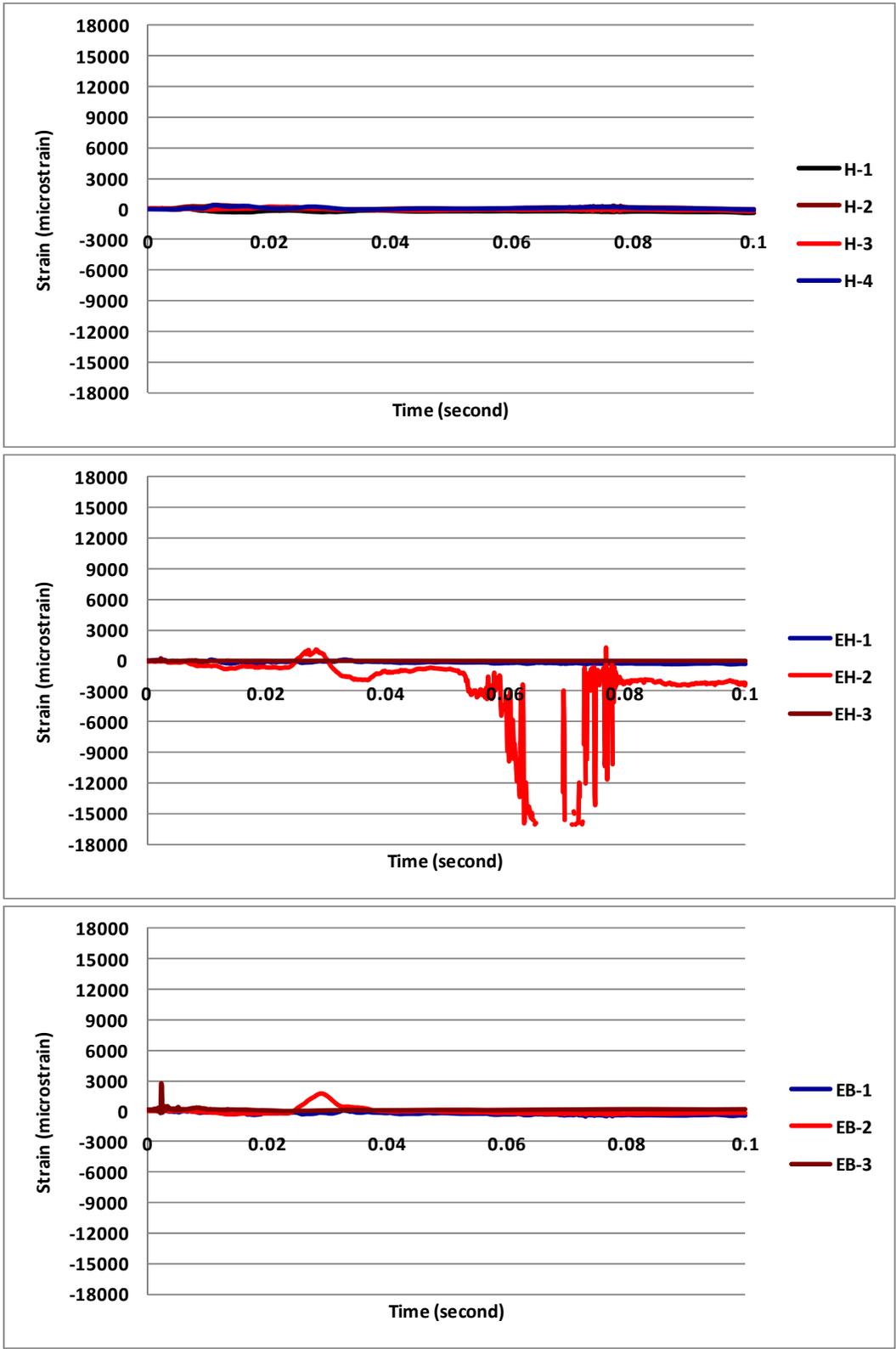


Figure E. 17: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: right side

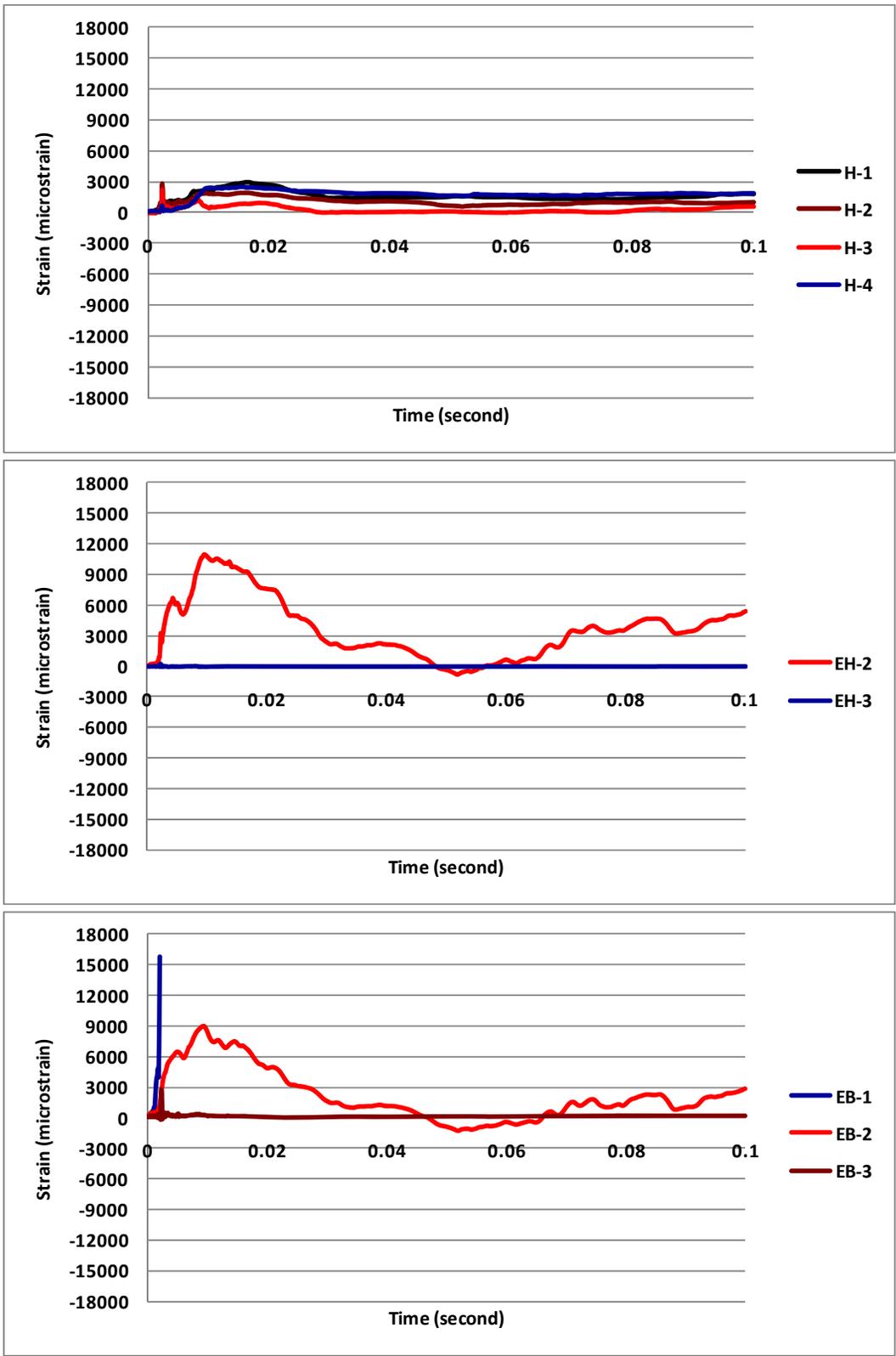


Figure E. 18: Measured strains in the 210-GPRF-11m-II-G1 barrier prototype: left side

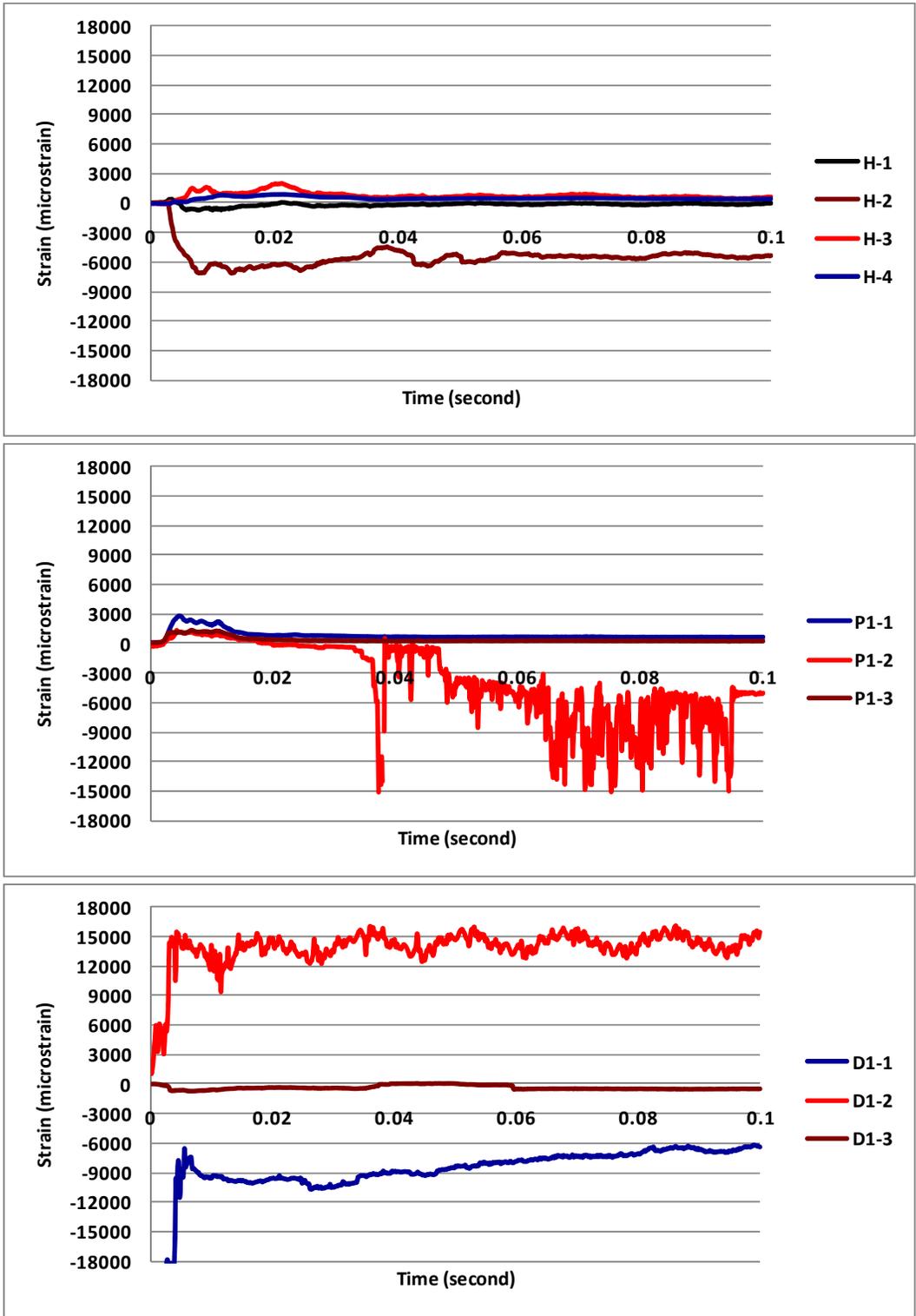


Figure E. 19: Measured strains in the 311-Steel-11m-I barrier prototype

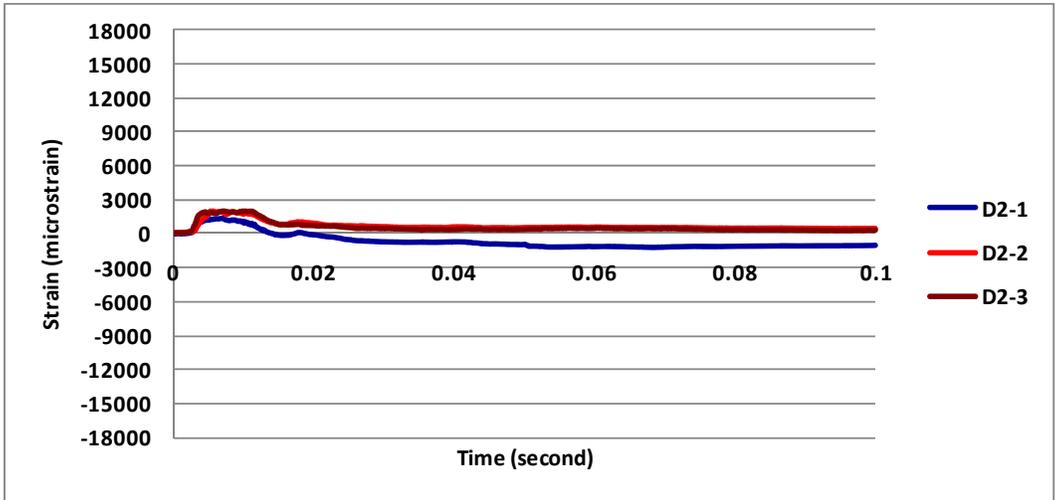


Figure E. 19 (Cont'd): Measured strains in the 311-Steel-11m-I barrier prototype

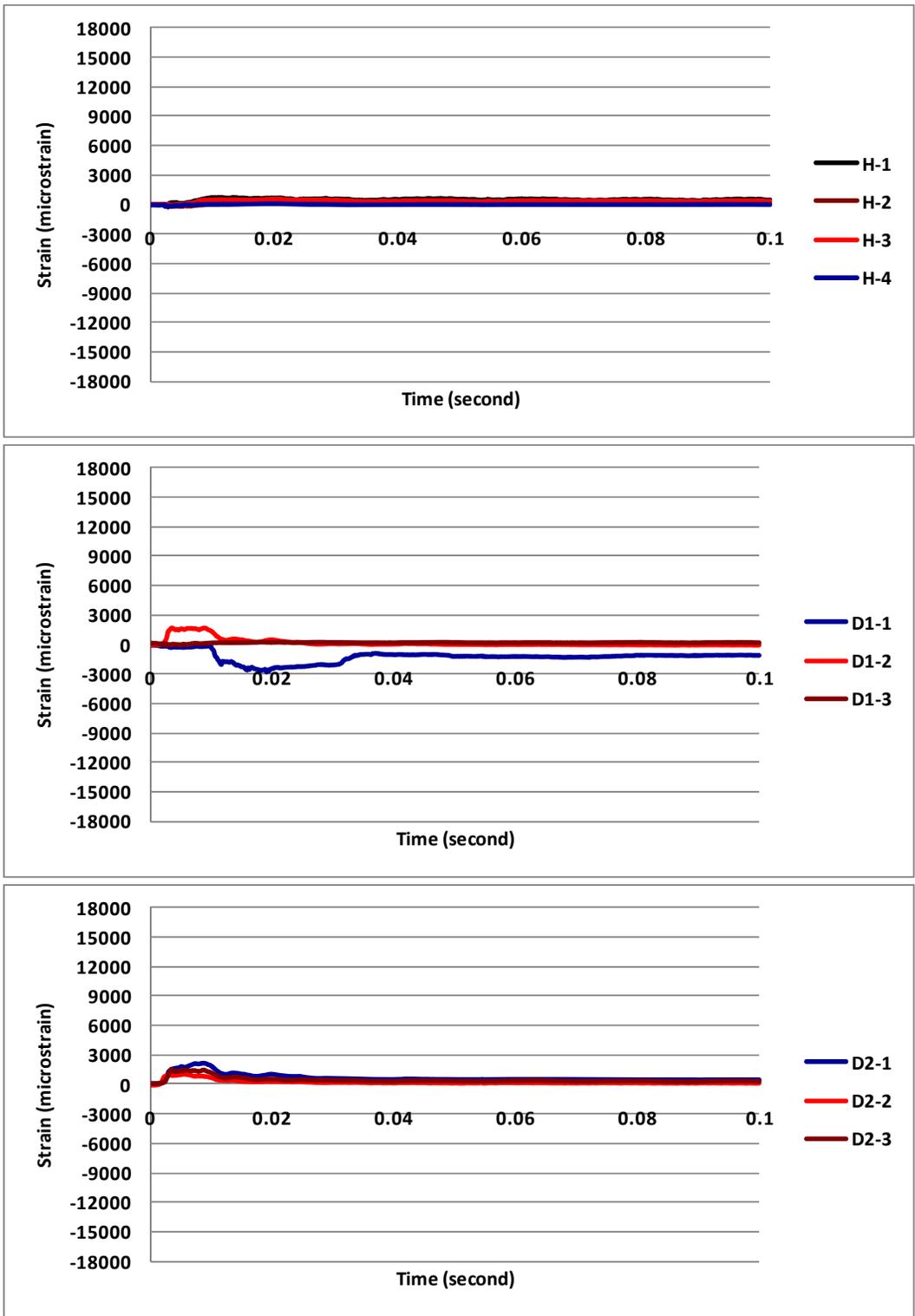


Figure E. 20: Measured strains in the 311-Steel-11m-II barrier prototype

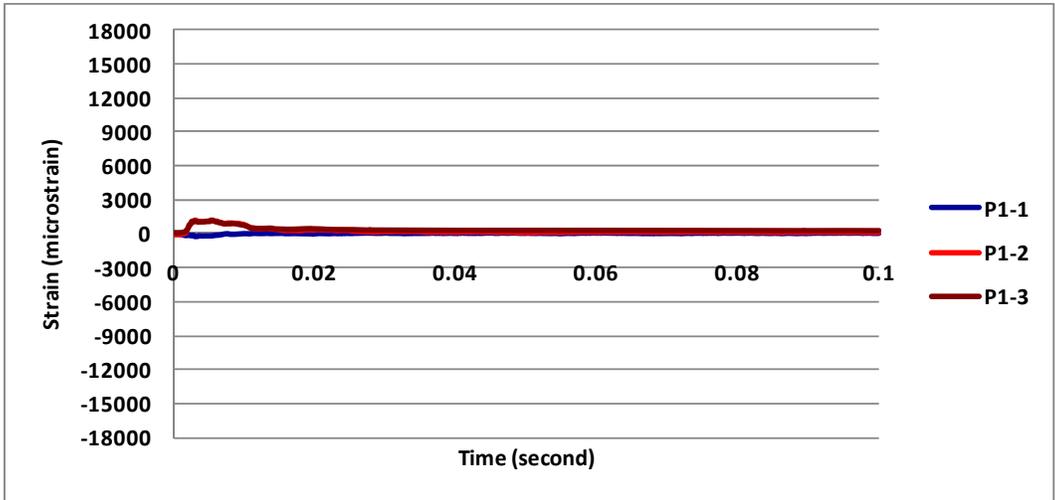


Figure E. 20 (Cont'd): Measured strains in the 311-Steel-11m-II barrier prototype

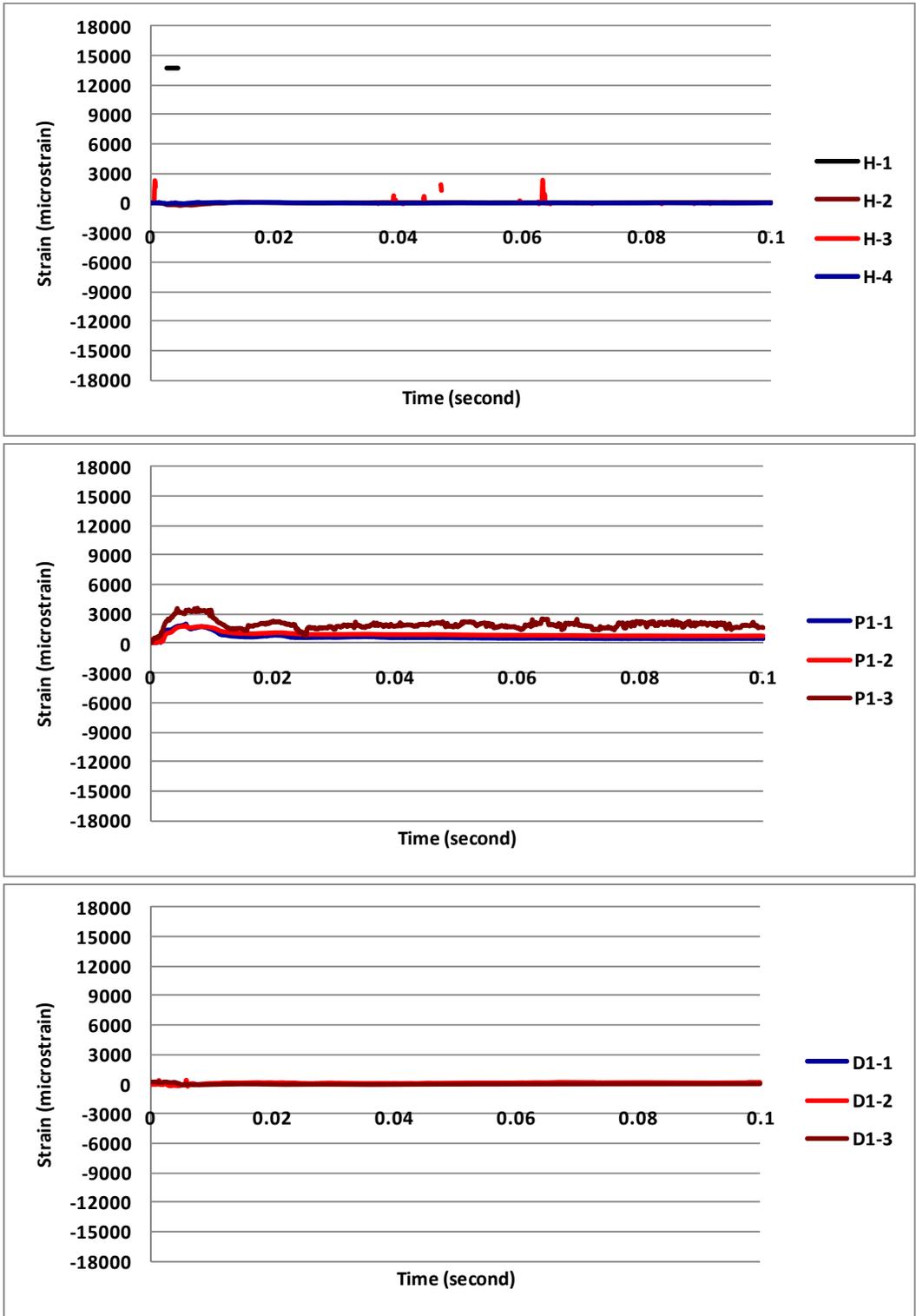


Figure E. 21: Measured strains in the 311-GPRF-11m-I barrier prototype

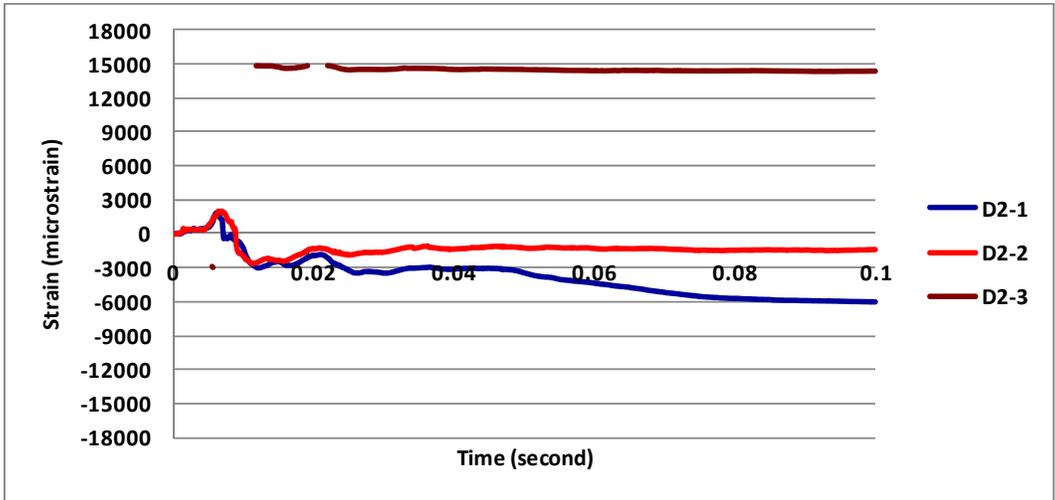


Figure E. 21 (Cont'd): Measured strains in the 311-GPRF-11m-I barrier prototype

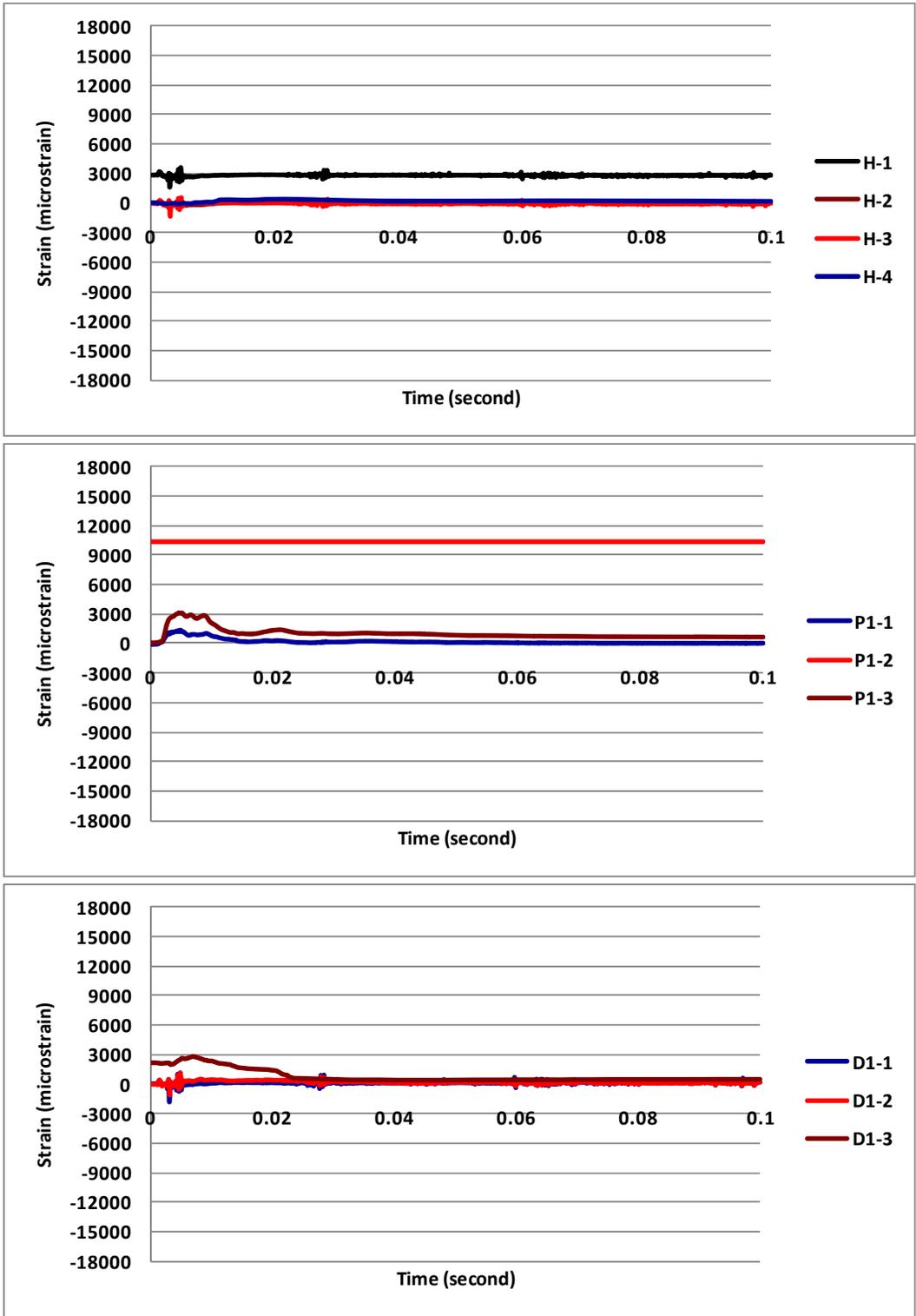


Figure E. 22: Measured strains in the 311- GPRF-11m-II barrier prototype

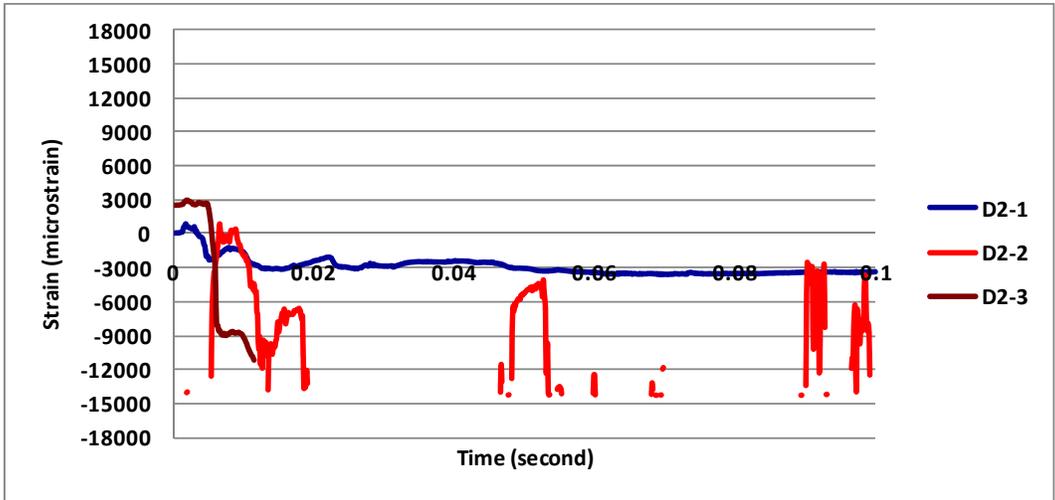


Figure E. 22 (Cont'd): Measured strains in the 311- GPRF-11m-II barrier prototype