



Innovations en structures avec systèmes de détection intégrés

Intelligent Sensing for Innovative Structures

Rapport final - inspections après les travaux
Ponts de la rue Halpern et de l'autoroute Chomedey (A-13)

ISIS Sherbrooke

CHEMISAGE DE POUTRES EN BÉTON PRÉCONTRAINT AU MOYEN DE MATÉRIAUX COMPOSITES

Marc Demers, M.Sc.A., ing.
Pierre Labossière, Ph.D., ing.

ISIS Sherbrooke
Département de génie civil
Université de Sherbrooke
Sherbrooke (Québec) Canada J1K 2R1

12 janvier 2010
Projet 10-101-301

Réseau de Centres d'excellence

Network of Centres of Excellence

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. RÉSUMÉ DE LA PHASE 1 : PROGRAMME EXPÉRIMENTAL EN LABORATOIRE	4
2.1 Les essais au laboratoire	4
2.2 Les résultats et les conclusions	5
2.2.1 <i>Étude des paramètres</i>	5
2.2.2 <i>Étude de la durabilité</i>	7
3. TRANSFERT TECHNOLOGIQUE PAR LES PROJETS DE DÉMONSTRATION EN CHANTIER	10
3.1 Devis type	10
3.2 Initiation des professionnels à l'utilisation des PRFV	12
4. SUIVI DES TRAVAUX DE CHEMISAGE	14
4.1 Inspections durant les travaux de chemisage	14
4.1.1 <i>Réparations du béton</i>	14
4.1.2 <i>Mise en place du chemisage en PRFV – rue Halpern</i>	20
4.1.3 <i>Mise en place du chemisage en PRFV – autoroute Chomedey (A-13)</i>	24
4.2 Inspections périodiques du chemisage en PRFV	30
4.2.1 <i>Pont de la rue Halpern</i>	31
4.2.2 <i>Pont de l'autoroute Chomedey (A-13)</i>	44
4.3 Monitoring du potentiel des armatures	54
4.3.1 <i>Relevés de potentiels</i>	54
4.3.2 <i>Suivi mensuel des potentiels</i>	56
5. CONCLUSIONS	60
6. RÉFÉRENCES	62
ANNEXE 1 DEVIS TECHNIQUE SPÉCIAL TYPE	63

1. INTRODUCTION

Le gouvernement du Québec, comme la majorité des gouvernements occidentaux, doit résoudre les problèmes causés par le vieillissement des structures dont il est propriétaire et il est avantageux pour lui d'envisager des méthodes innovatrices pour un certain nombre d'ouvrages. Lorsque le maintien en service des ponts, viaducs et autoroutes a une incidence économique très importante, l'utilisation de matériaux composites peut être prise en considération car cette solution peut, dans certains cas, permettre la réalisation de travaux de réparation d'une manière plus rapide et efficace que les méthodes conventionnelles.

La problématique abordée dans ce projet a été identifiée à l'origine par le Ministère des Transports du Québec qui possède des centaines de ponts à poutres précontraintes fabriquées en usine. Ces poutres, tout particulièrement celles des ponts d'étagement, sont soumises à une exposition intense aux embruns chargés de fondants et au monoxyde de carbone, ce qui entraîne une détérioration accélérée des poutres. Compte tenu du vieillissement normal observé, d'un environnement immédiat agressif et de la chute possible de fragments de béton délaminé sur les voies de circulation, le Ministère remplace des poutres en béton précontraint et ce, sans considération de leur résistance structurale.

Malgré des dommages apparents, dans plusieurs cas l'intégrité générale des poutres en béton précontraint est bien préservée et il n'apparaît pas nécessaire d'augmenter leur capacité portante. C'est généralement la corrosion des étriers des poutres qui a provoqué le délaminage localisé du béton. Dans ce cas, la zone affectée consiste en une couche superficielle d'environ 25 mm d'épaisseur, de longueur limitée, généralement à la semelle inférieure des poutres. Bien que le problème soit plus souvent observé sous le lit d'armature inférieur de la poutre, les parties verticales et les surfaces inclinées des semelles inférieures des poutres en sont également affectées, en particulier si elles sont soumises à des impacts occasionnels. Comme la chute occasionnelle de petits morceaux de béton a des incidences sur la circulation routière sous ces ponts d'étagement, la résolution de ce problème a une grande importance.

La première phase du projet consistait à déterminer, par des essais en laboratoire, les bénéfices pouvant être obtenus par l'installation d'un chemisage préventif en polymère renforcé de fibres de verre (PRFV). Les échantillons ayant servi à ces essais ont été découpés dans des poutres en béton précontraint préfabriquées prélevées d'un pont d'étagement de Montréal dont le tablier a été remplacé à l'été 2001. Des segments de la semelle inférieure de 1,8 m ont servi pour les essais à court terme, tandis que des segments de 0,6 m ont été utilisés pour les essais de durabilité. Les essais consistaient à mesurer la force requise pour arracher ou briser le chemisage en PRFV. À terme, ces travaux en laboratoire ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les fibres de verre du chemisage doivent être orientées perpendiculairement à l'axe principal de la poutre afin d'obtenir une résistance et une ductilité adéquates;
- Le chemisage en PRFV soutient des charges très largement supérieures au poids du béton des éventuelles zones de délaminage;
- Les surfaces en béton doivent être préparées en respectant les pratiques normalement recommandées pour les renforcements externes PRF; et

- Les résultats des essais de durabilité n'indiquent aucune perte de résistance après 300 cycles de gel/dégel.

La seconde phase de ce projet de recherche vise à transmettre l'expertise relative à cette technologie de chemisage préventif aux utilisateurs par des réalisations, dites de démonstration, sur des ponts d'étagement en service. Des poutres de rive de deux ponts d'étagement qui enjambent l'autoroute Félix-Leclerc à Montréal (A-40) ont été chemisées de PRFV. Les ponts choisis sont celui de la rue Halpern qui a été chemisé en septembre 2004 (figure 1) et celui de l'autoroute Chomedey (A-13) chemisé en juin 2006 (figure 2). Dans le cadre de ce projet de recherche, les devis et la surveillance ont été effectués conjointement par le MTQ et l'Université de Sherbrooke tandis que les travaux de chemisage proprement dits ont été réalisés par des entrepreneurs généraux. Les objectifs spécifiques de la seconde phase sont de :

- Déterminer dans quelle mesure les PRFV testés peuvent servir à effectuer des chemisages préventifs de manière économique;
- Rédiger un devis type pour le chemisage au moyen de PRFV;
- Former certaines personnes du MTQ à la surveillance des travaux de ce genre; et
- Faire le suivi des travaux du chemisage sur les ouvrages de démonstration.



Figure 1 : Poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern chemisée de PRFV (2004-09-17)



Figure 2 : Poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) chemisée de PRFV
(2009-06-24)

Ce rapport présente d'abord un résumé de la phase expérimentale du projet de recherche. Par la suite, le transfert technologique effectué au cours de la deuxième phase du projet de recherche par le biais des projets de démonstration est discuté. Finalement, les observations relevées au cours des premières années suivant la mise en place du chemisage pour les deux ponts sont présentées. Les observations proviennent des cinq inspections effectuées conjointement par le MTQ et l'Université de Sherbrooke et des mesures de potentiels obtenus à partir d'électrodes de référence. La présentation et l'interprétation de ces observations constituent l'objectif principal du présent rapport. Le suivi des deux projets de démonstration sur une période initiale de quatre années montre que le chemisage en PRFV se comporte très bien. Les sondages au marteau indiquent que le nombre et l'étendue des zones de délaminage du béton sous le PRFV augmente, ce qui indique la nécessité d'un chemisage préventif. Parallèlement, les mesures de potentiel indiquent que le chemisage en PRFV offre une certaine capacité à réduire la corrosion des armatures internes.

Figure 4 : Dimensions des segments de 0,6 mètres destinées à l'étude de la durabilité

Le principal test effectué sur les échantillons consistait à mesurer la force d'arrachement, appliquée sous la semelle inférieure de la poutre, que peut supporter le chemisage en PRF de verre. Afin d'exercer une charge à l'intérieur de l'enveloppe en PRF, une plaque d'acier a été ajoutée entre le béton et l'enveloppe en PRF (figure 3), dont les fibres de verre étaient orientées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la poutre. Les charges qui devront éventuellement être reprises par les enveloppes en PRFV, et qui correspondent au poids de 25 mm de béton de recouvrement sur les ouvrages affectés, sont de 0,5 et 0,06 kN pour les poutrelles et les mini-poutrelles, respectivement.

La validation des systèmes de PRFV constituait le premier paramètre expérimenté. Les essais en laboratoire ont été réalisés avec les trois systèmes de PRFV suivants, en respectant les procédures d'installation propres à chacun.

- Le système Fibrwrap, constitué du tissu de fibres de verre SEH51 (925 g/m²) et de la résine époxy Tyfo S de texture légèrement visqueuse, fabriqué par Fyfe Co. LLC. Pour fins de commodité dans ce rapport, ce système est nommé Tyfo 925-visqueux.
- Le système SikaWrap original, constitué du tissu de fibres de verre SikaWrap 100G (915 g/m²) et de la résine époxy Sikadur Hex 300 de texture très liquide, fabriqué par Sika Canada inc. Afin de le distinguer du suivant, ce système est nommé Sika 915-liquide.
- Le nouveau système SikaWrap, constitué du tissu de fibres de verre SikaWrap 430G (430 g/m²) et de la résine époxy Sikadur 330 en pâte, fabriqué par Sika Canada inc. Ce système est nommé Sika 430-pâte dans ce rapport.

En plus des trois systèmes de PRFV, les paramètres principaux étudiés à partir des poutrelles étaient le niveau de réparation de la surface du béton avant le collage du chemisage, le type de jet abrasif pour la préparation des surfaces de béton, et l'effet des vibrations durant le durcissement de la résine du chemisage. D'autre part, l'imposition de cycles de gel-dégel a été le type de vieillissement accéléré retenu pour étudier la durabilité en laboratoire. Les trois systèmes de PRFV, appliqués sur des mini-poutrelles, ont subi jusqu'à 300 cycles de gel-dégel. Un cycle type consistait en une période de 16 heures dans l'air d'un congélateur réglé à -20°C suivi d'une période de 8 heures d'immersion dans un bassin d'eau laissé à la température ambiante du laboratoire. Finalement, l'effet d'un enduit de surface a été inclus à l'étude de la durabilité car un tel produit doit être appliqué sur les chemisages en chantier afin de protéger le PRFV des rayons ultraviolets.

2.2 Les résultats et les conclusions

2.2.1 Étude des paramètres

La description des poutrelles utilisées dans le cadre de ce projet de recherche est synthétisée au tableau 1. Les résultats des essais de chargements sont aussi présentés dans ce tableau. Le groupe 1 réunit les quatre premières poutrelles chemisées et avait pour buts d'obtenir des valeurs de référence et d'effectuer une sélection du matériau pour la suite des essais. Cependant, les résultats ont été insatisfaisants et ont conduit à une révision du projet de recherche. Le groupe 2

comprend les trois essais nécessaires à l'obtention d'une nouvelle base de référence pour le nouveau système de Sika (Sika 430-pâte) et ont permis une comparaison avec les essais du groupe 1. Le groupe 3 a comparé l'effet du type de préparation de la surface de béton en employant un jet d'eau haute pression de 48 MPa en remplacement du jet de sable. Finalement, le groupe 4 a permis d'étudier l'effet des vibrations durant le durcissement de la résine du chemisage.

Tableau 1 – Étude des paramètres principaux sur les poutrelles

Réparation du béton	Préparation de surface	Système de PRFV	Surface collée (%)	Charge rupture (kN)	Déplacement (mm)	Type de rupture *
Groupe 1 : Première série d'essais de référence						
aucune	jet de sable	Sika 915-liquide	≅ 50	155	39 ⁺	décollement et rupture
aucune	jet de sable	Sika 915-liquide	≅ 30	39	15,5	décollement et rupture
aucune	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	> 95	312	80 ⁺	rupture
aucune	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	≅ 80	172	42	décollement et rupture
Groupe 2 : Deuxième série d'essais de référence						
mortier	jet de sable	Sika 430-pâte	100	81	11	rupture
mortier	jet de sable	Sika 430-pâte	100	85	11	rupture
mortier	jet de sable	Sika 915-liquide ^o	100	190	16 ⁺	rupture
Groupe 3 : Type de jet abrasif pour la préparation des surfaces de béton						
mortier	eau pression	Sika 430-pâte	100	125	17	rupture
mortier	eau pression	Sika 430-pâte	100	113	19	rupture
Groupe 4 : Vibration pendant la cure du PRFV						
mortier	jet de sable	Sika 430-pâte	100	112	15 ⁺	rupture
mortier	jet de sable	Sika 430-pâte	100	155	22	rupture

* *décollement* du chemisage en PRFV sur les surfaces de béton verticale et inclinée
rupture des fibres de verre sur l'arête vive de la plaque d'acier

+ valeur estimée par extrapolation

o époxy en pâte appliquée sur le béton et saturation des fibres à l'époxy très liquide

La charge de rupture indiquée au tableau 1 est la force totale appliquée à la plaque d'acier placée entre le chemisage et le béton, tandis que le déplacement était mesuré au centre de la semelle inférieure près du bord du PRFV. Cependant, pour plusieurs poutrelles, les instruments de mesure du déplacement ont été enlevés avant la rupture du chemisage afin de les protéger du contrecoup. En conséquence, le déplacement final a été obtenu par extrapolation pour ces cas.

Les poutrelles du groupe 1 ont clairement démontré qu'un chemisage en PRFV convenablement installé offre une résistance plus que suffisante pour retenir des fragments de béton (tableau 1). De plus, le gonflement du chemisage, qui peut excéder 50 mm, permet aux inspecteurs de déceler la présence de problèmes longtemps avant la rupture du chemisage. Les résultats du groupe 1 ont aussi montré que même avec une mise en place déficiente, où moins de 80% de la surface du PRFV était collée au béton, le chemisage offre une résistance et une ductilité suffisantes pour retenir des fragments de béton délaminé et survivre à l'expansion que pourrait provoquer la corrosion des armatures internes en acier. Toutefois, la présence de vides entre l'enveloppe en PRFV et le béton ayant soulevé un questionnement au sujet de la durabilité du chemisage, il a été décidé de poursuivre les essais en corrigeant le profil de surface du béton de manière à obtenir un contact continu du chemisage au béton.

Les essais du groupe 2 ont démontré qu'un chemisage en PRFV convenablement installé permet d'éviter tout décollement lors des essais d'arrachement. Ils ont aussi démontré qu'une correction du profil de surface du béton permet d'éliminer les vides en dessous du chemisage. Ces essais ont aussi confirmé qu'un tissu de fibres plus léger est moins résistant. Par contre, on a constaté que la plaque d'acier servant à appliquer la charge lors des essais initiait systématiquement la rupture par ses arêtes vives, qui agissent comme des couteaux pour couper les fibres de verre. Conséquemment, il est recommandé d'arrondir les angles des chanfreins des poutres à chemiser lors des travaux en chantier afin d'atténuer le risque de ce type de rupture.

Les performances des poutrelles du groupe 3 ont été supérieures, avec un gain avoisinant 45 %, à celles du groupe 2 pour des raisons qui n'ont pas été établies. Compte tenu du mode de rupture, initié par l'arête vive de la plaque d'acier pour toutes les poutrelles des groupes 2 et 3, on a considéré que le paramètre qui a été modifié, la préparation des surfaces de béton au jet d'eau sous pression, n'était pas la cause du gain de résistance. Il convient de mentionner que les deux types de préparation produisent des résultats satisfaisants, soit une surface de béton propre et solide au profil régulier mais légèrement rugueuse.

Pour répondre à un objectif du projet consistant à déterminer la possibilité de coller ce chemisage sans interrompre le trafic routier, le groupe 4 comprenait deux poutrelles dédiées à l'étude de l'effet des vibrations lors de la mise en place et la cure du chemisage en PRFV. À cette fin, un spectre de chargement, générant des déformations supérieures à $100\text{ }\mu\text{e}$ à la surface du béton, a été appliqué en boucle continue durant la pose et la cure du chemisage. De ces essais on a pu conclure que les vibrations imposées au cours de la mise en place et de la cure du chemisage en PRFV ne réduisaient pas la résistance de ce dernier puisque les performances des poutrelles du groupe 4 ont même été supérieures à celles groupe 2 (tableau 1).

2.2.2 Étude de la durabilité

La description des mini-poutrelles utilisées pour le volet durabilité de ce projet de recherche est présentée au tableau 2, accompagnée des résultats des essais de chargement. La charge de rupture indiquée est la force totale appliquée au centre de la plaque d'acier, tandis que le déplacement était mesuré au centre de la semelle de la mini-poutrelle près du bord du PRFV. Similairement aux poutrelles, les instruments de mesure du déplacement ont parfois été enlevés

peu de temps avant la rupture du chemisage et, le déplacement est obtenu par extrapolation pour ces cas.

Les quatre mini-poutrelles du groupe V1 n'ont subi aucun vieillissement par gel-dégel afin de servir de référence parce que la géométrie des mini-poutrelles était trop différente de celle des poutrelles pour une comparaison directe. On a cependant observé que la résistance y est encore très largement supérieure au poids de 25 mm de béton de recouvrement qu'il faudrait éventuellement retenir. Pour ces mini-poutrelles n'ayant pas eu de correction du profil du béton, le décollement du chemisage a été le mode de rupture dominant.

Tableau 2 – Étude de la durabilité sur les mini-poutrelles

Réparation du béton	Préparation de surface	Système de PRFV	Cycles gel/dégel	Charge rupture (kN)	Déplacement (mm)	Type de rupture *
Groupe V1 : Essais de référence pour les mini-poutrelles						
aucune	jet de sable	Sika 915-liquide	0	58	32 ⁺	décollement et rupture
aucune	jet de sable	Sika 915-liquide	0	65	24 ⁺	décollement
aucune	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	0	64	19 ⁺	décollement
aucune	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	0	67	37 ⁺	décollement
Groupe V2 : Vieillissement court terme						
aucune	jet de sable	Sika 915-liquide	100	66	35 ⁺	décollement et rupture
aucune	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	100	74	29 ⁺	décollement
aucune	eau pression	Sika 915-liquide	100	70	28 ⁺	rupture
aucune	eau pression	Tyfo 925-visqueux	100	80	29 ⁺	rupture
Groupe V3 : Vieillissement long terme						
gel époxy	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	300	78	24 ⁺	rupture
gel époxy	jet de sable	Tyfo 925-visqueux	300°	76	28 ⁺	décollement
Groupe V4 : Essais pour le nouveau système de Sika						
gel époxy	jet de sable	Sika 430-pâte	0	68	5.2	rupture
gel époxy	jet de sable	Sika 430-pâte	0	45	3.3	rupture
gel époxy	jet de sable	Sika 430-pâte	300°	41	4.0	rupture
gel époxy	jet de sable	Sika 430-pâte	300	50	4.1	rupture

* *décollement* du chemisage en PRFV de la surface de béton sciée
rupture des fibres de verre sur l'arête vive de la plaque d'acier

+ valeur estimée par extrapolation

° enduit de surface (Tex-Cote XL-70 Bridge-cote) appliqué sur le chemisage en PRFV

Les mini-poutrelles du groupe V2 avaient pour objectif de fournir rapidement des indications préliminaires sur la durabilité. À cet effet, elles ont reçu différentes préparations de surfaces (jet de sable et jet d'eau haute pression de 62 MPa de pression) et les systèmes de chemisage prévus initialement (Tyfo 925-visqueux et Sika 915-liquide), et elles n'ont subi que 100 cycles de gel-dégel. Les résultats du groupe V2 ont démontré qu'après 100 cycles de gel-dégel, le chemisage demeure aussi résistant que pour les mini-poutrelles du groupe 1. Ils ont aussi démontré qu'une préparation au jet d'eau est plus efficace sur une surface de béton extrêmement lisse puisqu'il n'y a pas eu de décollement pour ces deux mini-poutrelles.

Le groupe V3 a permis de compléter l'étude de durabilité du système Tyfo 925-visqueux (Fibrwrap) au terme de 300 cycles de gel-dégel. Les résultats des essais d'arrachement (tableau 2) ainsi que les observations visuelles ont confirmé que le chemisage en PRFV n'est pas affecté par ce vieillissement accéléré. Ces résultats positifs s'ajoutent à la reconnaissance de la durabilité exemplaire des PRF. De plus, un enduit de surface, le Tex-Cote XL-70 Bridge-cote de Solhydroc, a été appliqué sur le chemisage d'une mini-poutrelle afin d'examiner si l'emploi d'un tel produit a un effet sur la durabilité des systèmes de renforcement. L'enduit de surface qui n'a pas résisté aux 300 cycles de gel/dégel, n'a pas eu d'effet observable sur le comportement du chemisage en PRFV.

Le groupe V4 a été ajouté en cours de réalisation du projet afin d'étudier la durabilité du nouveau système de Sika (Sika 430-pâte). Il comprenait deux mini-poutrelles qui ont subi 300 cycles de gel-dégel et deux autres mini-poutrelles de référence non soumises à un vieillissement par gel-dégel. Les résultats des essais d'arrachement n'ont indiqué aucune perte de résistance attribuable au vieillissement. L'enduit de surface appliqué sur une mini-poutrelle de ce groupe n'a pas résisté aux 300 cycles de gel-dégel et n'a pas eu d'influence sur la performance du chemisage.

3. TRANSFERT TECHNOLOGIQUE PAR LES PROJETS DE DÉMONSTRATION EN CHANTIER

La seconde phase de ce projet de recherche, dites de démonstration en chantier, a été réalisée sur deux ponts d'étagement en service à Montréal. Un des principaux objectifs visés par ces réalisations consiste à transmettre l'expertise relative à cette technologie de chemisage préventif aux utilisateurs. Les deux principales activités de transfert technologique sont la rédaction d'un devis type et l'initiation des professionnels du MTQ et de ses mandataires à l'utilisation des PRF.

3.1 Devis type

Les équipes du MTQ et de l'Université de Sherbrooke ont travaillé conjointement à la préparation des plans et devis nécessaires à la réalisation des deux projets de démonstration, constituant ainsi le fondement du devis technique spécial typique pour le chemisage au moyen de PRFV. Les devis techniques spéciaux rédigés pour chacun des deux ponts sont identiques, hormis les détails relatifs à leurs géométries propres. Ils peuvent être considérés comme un devis type si l'on exclut les sections traitant des zones instrumentées et de la pose d'appareils de mesure.

Les échanges effectués au cours de la préparation des devis ont permis de transférer les connaissances techniques de l'équipe des chercheurs vers les utilisateurs. À l'étape finale de rédaction des devis, les questions sur le but visé par chacun des articles ont été discutées afin que les ingénieurs participant de la Direction des structures du MTQ acquièrent les connaissances utiles à cette technologie.

Les objectifs et les motivations à l'origine des dispositions du devis type sont détaillés dans le rapport des travaux de la rue Halpern remis au MTQ (DEMERS et LABOSSIÈRE, 2005) et ont aussi été présentés lors d'une conférence (DEMERS *et al.*, 2006). Le rapport de la rue Halpern souligne les ajustements nécessaires pour que le devis puisse être utilisé sur une base courante et présente en annexe le devis technique de chemisage au moyen de PRFV.

Une version légèrement remaniée du devis est fournie en annexe 1 du présent rapport. Les principaux éléments d'un devis de chemisage en PRFV peuvent être résumés ainsi :

Localisation des surfaces : Identifier les poutres et localiser les surfaces à couvrir de PRFV. Le chemisage préventif doit couvrir les zones potentielles de délaminage de toutes les poutres, peu importe leur localisation. De plus, l'extérieur des poutres de rive doit être complètement couvert par le chemisage lorsqu'elles sont exposées aux embruns chargés de fondants soulevés par la circulation.

Préparation des surfaces de béton : Spécifier le mode de réparation des zones endommagées et de correction des profils longitudinal et transversal, notamment le rayon des angles. Spécifier le mode de préparation des surfaces de béton au jet d'abrasif avant la mise en place du chemisage en PRFV. La surface finale doit être régulière et propre au profil légèrement rugueux, conformément aux exigences du manufacturier du PRFV à installer. Dans le contexte du chemisage en PRF avec les fibres placées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la poutre, l'article XX.2 du

devis en annexe 1 est moins exigeant que les prescriptions de la norme CAN/CSA-S6-06 en ce qui concerne la planéité des surfaces.

Mise en œuvre du chemisage en PRFV : Spécifier les matériaux à employer en identifiant les divers composants (fibres, résine, apprêt, etc.). Indiquer la localisation et l'orientation des PRFV. Les fibres doivent être placées transversalement à l'axe longitudinal de la poutre. Les bandes de PRFV doivent être continues, c'est à dire, sans joint ni coupure dans la direction des fibres, et placées côte à côte sans chevauchement ni espace.

Définir la méthodologie d'approbation de la procédure d'installation du chemisage en PRFV qui doit être soumise par l'entrepreneur. La procédure d'installation doit préciser les durées où les résines fraîches peuvent être utilisées, les températures d'installation, les conditions de cure et les mesures de protection. La procédure d'installation doit être accompagnée d'un plan de pose indiquant les dimensions et l'ordre d'installation des bandes. Le devis doit exiger que la procédure d'installation respecte les directives du manufacturier.

Peinture et protection esthétique : Identifier les zones à couvrir, spécifier la couleur et définir la méthodologie d'approbation de la peinture et de sa procédure d'installation. La peinture doit être durable et compatible avec le système de PRFV. Les connaissances sur la durabilité des revêtements appliqués sur les PRF étant limitées, il est de la responsabilité des fournisseurs d'attester de la compatibilité de ces produits.

Inspection et contrôle de la qualité : Indiquer les inspections effectuées par le surveillant avant d'autoriser la poursuite des travaux à une étape subséquente. Ces inspections sont notamment requises aux étapes de la démolition du béton, de la réparation du béton, de la préparation des surfaces au jet d'abrasif, de la pose du chemisage en PRFV et de l'application de la peinture protectrice.

Mode de paiement : Indiquer l'unité de mesure de référence des biens livrables figurant au devis (réparation du béton des poutres, préparation des surfaces au jet d'abrasif, chemisage au moyen de feuilles de PRF et peinture des surfaces).

Les six principales modifications intégrées au devis type de l'annexe 1, par rapport aux textes des devis des projets de démonstration, sont :

- Un article a été ajouté afin de permettre à un soumissionnaire de proposer un système de PRF alternatif qui n'est pas inclus dans la liste acceptée par le MTQ. Dans une telle situation, il incombe au MTQ de spécifier le type et le nombre des essais à imposer au fournisseur, les valeurs minimales à obtenir, ainsi que le niveau d'indépendance des laboratoires réalisant ces essais. Nous recommandons minimalement que : (i) les propriétés en tension parallèlement aux fibres soient mesurées; (ii) la déformation à la rupture soit supérieure à 1%; et (iii) l'adhérence au béton sain soit supérieure à 1,5 MPa. Nous suggérons que les recommandations de la norme CAN/CSA-S806 concernant les méthodes d'essai soient prises en considération. La durabilité peut être établie à partir de rapports officiels rédigés par des organisations dont l'indépendance et la compétence sont reconnues par le MTQ. L'établissement d'un ensemble complet de critères d'approbation des systèmes de PRF pour le chemisage dépasse le mandat de ce projet de recherche.

- Un article a été ajouté à la section traitant de la localisation des surfaces afin d'inclure le chemisage des poutres intérieures. Dans ce cas, le critère de couvrir au moins 150 mm de l'âme adjacent à la semelle inférieure doit être utilisé pour les deux côtés de la poutre.
- L'article portant sur la préparation des surface qui traite des angles longitudinaux, tels les arrêtes des chanfreins, a été modifié afin de le rendre conforme à la norme CAN/CSA-S6. Ainsi, un rayon minimal de 35 mm est exigé pour tous les angles longitudinaux.
- La procédure de mise en oeuvre du chemisage en PRF a été détaillée de manière à exiger la présentation d'un plan d'installation qui indique les dimensions et la position prévues pour chacune des bandes de PRF. Cette modification fait suite aux observations effectuées lors des travaux où il est apparu qu'il serait avantageux de planifier la séquence de pose des bandes de PRF afin d'anticiper les zones plus difficiles et de limiter les pertes.
- Les mentions spécifiques aux sites des projets de démonstration ont été remplacées par des champs génériques. Dans cette optique, aucun plan de localisation des surfaces n'est présenté avec le devis de l'annexe 1. Il faut cependant inclure un plan de localisation des surfaces à chemiser spécifique à chaque site.
- Finalement, toutes les mentions relatives à l'installation des équipements pour le monitoring et aux prises de mesures ont été enlevées.

3.2 Initiation des professionnels à l'utilisation des PRFV

L'initiation des professionnels à l'utilisation des PRF s'est principalement effectuée par le biais d'une surveillance conjointe des travaux. En effet, l'attribution des différents contrats pour ces deux projets de démonstration visait à favoriser les échanges entre les chercheurs de l'Université de Sherbrooke, les représentants des fournisseurs de matériaux composites et les professionnels de toutes les parties impliquées dans l'exécution des travaux de chemisage en PRF. La gestion des contrats étaient sous la responsabilité de la Direction territoriale de Montréal du MTQ afin que les principaux professionnels visés par cette technique aient accès à un maximum d'information. La surveillance de l'ensemble de chacun de ces projets était confiée à une firme externe mais un ingénieur de l'Université de Sherbrooke a été mandaté en complément spécifiquement pour les travaux de chemisage en PRFV. Finalement, un représentant technique du fournisseur des matériaux composite devait être présent au chantier durant l'installation des PRFV. Il y avait donc sur place les ressources pour répondre à toutes les questions qu'elles proviennent de l'entrepreneur, de la firme externe de surveillance du chantier, du MTQ ou des autres groupes intéressés par cette technologie.

À l'exception de l'ingénieur de l'Université de Sherbrooke qui assurait une présence permanente, il y a eu peu de professionnels qui se sont présentés au cours des travaux de chemisage, tant au pont de la rue Halpern en 2004 qu'au pont l'autoroute Chomedey (A-13) en octobre 2005 et en juin 2006. Du côté du MTQ, seul l'ingénieur responsable du projet à la Direction des structures s'est impliqué activement; il a visité les chantiers à plusieurs reprises et a participé à quelques inspections conjointes. Très peu de représentants la Direction territoriale de

Montréal du MTQ sont venus observer les travaux, malgré que le projet de recherche ait été réalisé spécifiquement pour répondre à un problème répandu dans cette région. Les distributeurs du système de PRFV, qui auraient dû s'assurer de la présence d'un représentant technique au chantier pour toute la durée de la mise en place du chemisage, ont délégué un gestionnaire qui n'a été présent que quelques dizaines de minutes en 2004 et un représentant technique présent quelques heures en octobre 2005. Le passage rapide d'un gestionnaire d'un entrepreneur général démontre leur intérêt très limité de pour ce type de travaux. Il faut mentionner que la collaboration des firmes de surveillance générale a été très bonne malgré une présence limitée durant les travaux de chemisage au deux ponts.

Le transfert technologique escompté au moment des travaux n'a donc pas été totalement atteint dû au manque d'implication de certains intervenants. Il aurait été souhaitable que le MTQ organise une visite des lieux pour les personnes concernées au moment du chemisage. La présentation de ces travaux lors de conférences a cependant permis la diffusion des connaissances techniques (DEMERS et al., 2004; 2006).

Les problèmes techniques rencontrés dans le cadre de ce projet se prêtent bien à la formation du personnel car ils permettent de visualiser divers défauts, en plus d'aborder les mesures correctives sur un plan pratique. Soulignons que la Direction des structures du MTQ a pu bénéficier pleinement du transfert technologique en observant régulièrement les travaux et en participant activement au contrôle de la qualité.

4. SUIVI DES TRAVAUX DE CHEMISAGE

L'un des principaux objectifs visés par la seconde phase de ce projet de recherche, dites de démonstration en chantier, consiste à étudier la durabilité de cette technologie de chemisage préventif sur des ponts d'étagement en service à Montréal. Le suivi dans le temps du comportement du chemisage en PRFV et de ses effets sur les poutres en béton précontraint est fondé sur deux méthodologies. La première consiste en des inspections régulières effectuées conjointement par des ingénieurs de l'Université de Sherbrooke et de la Direction des structures du MTQ. La seconde méthodologie, réalisée dans le cadre d'un projet de recherche parallèle (phases 3, 4 et 5 - caractérisation du béton), est basée sur la mesure du potentiel électrochimique des armatures par rapport à des électrodes de référence.

4.1 Inspections durant les travaux de chemisage

La période des travaux d'installation du chemisage en PRFV constitue le point de départ des inspections régulières. À cette fin, les résultats des inspections effectuées durant les travaux sont présentés ici, accompagnés d'un résumé des observations principales. Les renseignements détaillés de la préparation des surfaces en béton, des conditions climatiques, de la mise en oeuvre du chemisage en PRFV et de la peinture protectrice sont présentés dans les rapports des travaux de chemisage aux ponts d'étagement de la rue Halpern (DEMERS et LABOSSIERE, 2005) et de l'autoroute Chomedey (A-13) (DEMERS et LABOSSIERE, 2006).

4.1.1 Réparations du béton

Les figures 5 et 6 présentent l'état du béton au 30 août 2004, notamment l'emplacement des réparations demandées, pour le pont d'étagement de la rue Halpern. Les dommages au béton sont principalement concentrés sur les parties inclinées des semelles inférieures à cause du manque de recouvrement sur les étriers en acier. Il faut noter que le dessous des semelles inférieures, généralement en bon état, n'est pas représenté sur ces figures mais que certaines imperfections sont visibles sur les photographies. De plus, cinq zones de délaminages mineures et une fissure moyenne non réparées sont signalées sur ces figures. Le mortier préparé SikaTop® 123 Plus a été utilisé pour effectuer ces réparations superficielles (épaisseur < 30 mm) le 31 août 2004.

Les figures 7 et 8 présentent l'état du béton au 21 juillet 2005, notamment l'emplacement approximatif des réparations demandées, pour le pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13). Les dommages au béton sont majoritairement situés sous les semelles inférieures à cause du manque de recouvrement sur les étriers en acier. De plus, sept zones de délaminage mineures et dix fissures moyennes non réparées sont signalées sur ces figures. Il faut noter que le périmètre des zones à réparer n'a pas été délimité par un trait de scie. En octobre 2005, le mortier Structuroc V a été utilisé pour effectuer les réparations du béton puis, une mince couche (~ 5 mm) du même mortier a été appliquée sur toute les surfaces à chemiser de PRFV pour combler les nombreux petits trous. Suite à l'interruption des travaux durant l'hiver, quelques retouches et une nouvelle préparation au jet d'abrasif ont été effectuées en juin 2006. Des

fissures moyennes étaient visibles lors des travaux de juin 2006, dont plusieurs qui n'avaient pas été injectées intentionnellement à l'automne précédent, et elles n'ont pas été réparées.

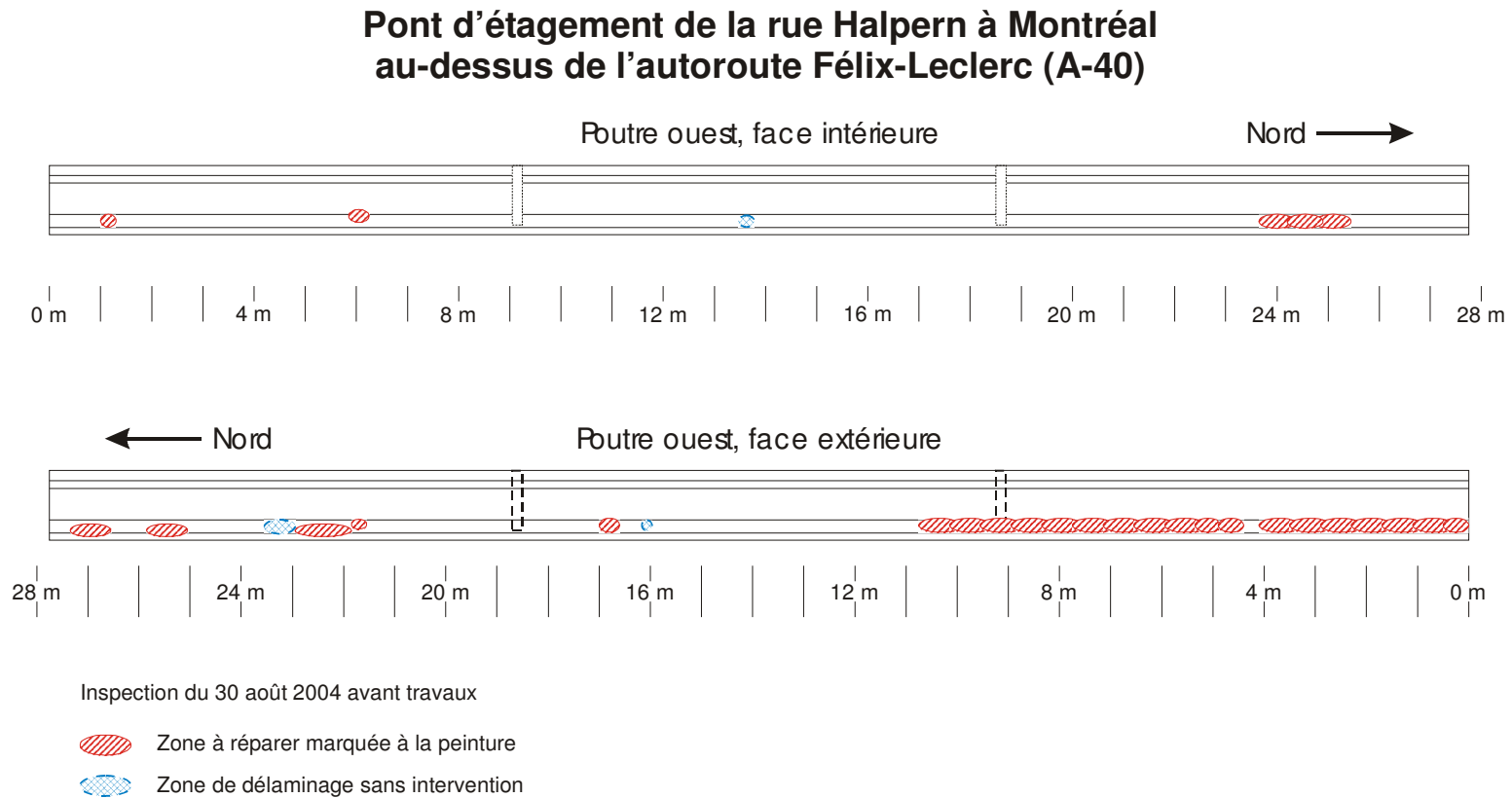


Figure 5 : Relevé des dommages du béton de la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern

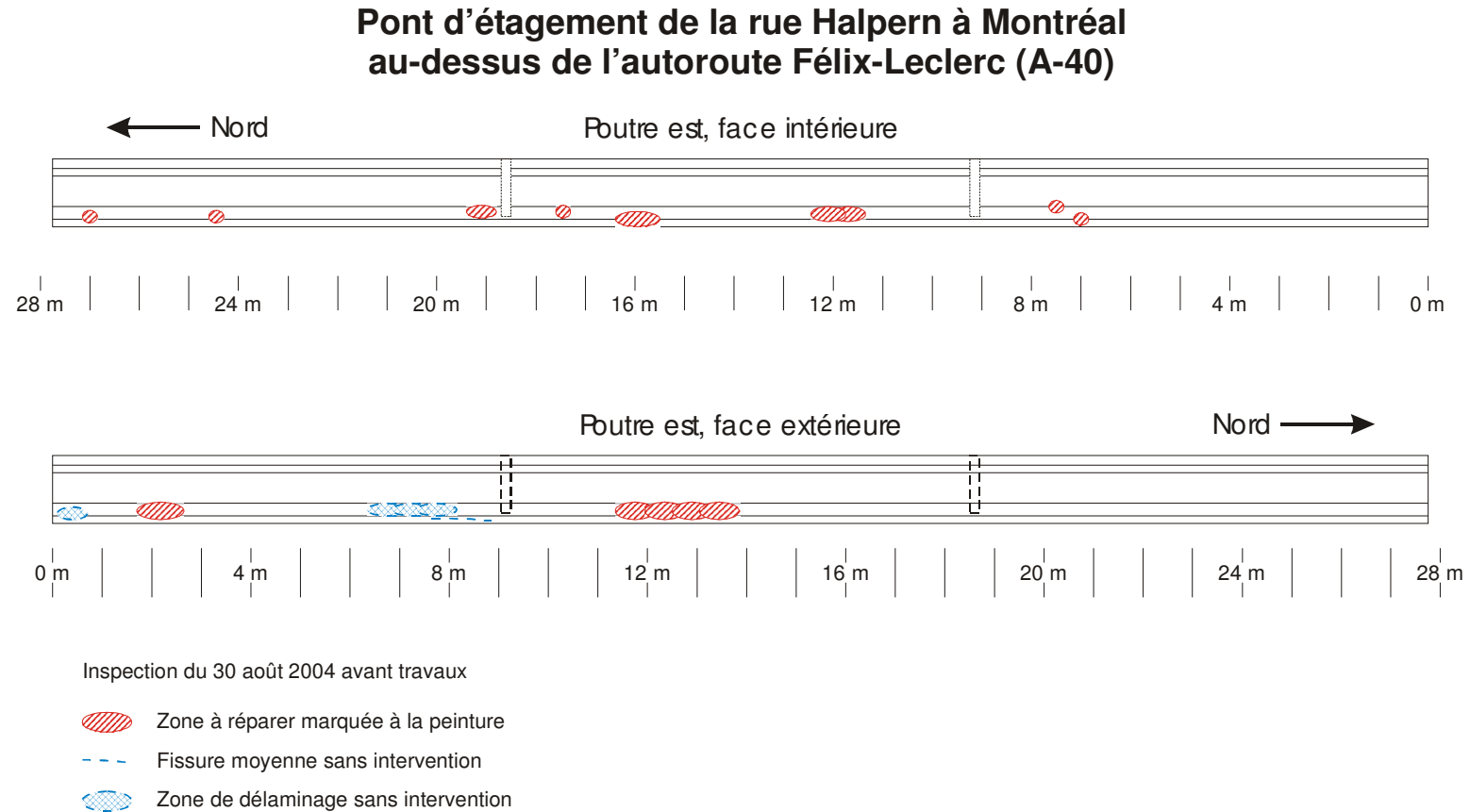


Figure 6 : Relevé des dommages du béton de la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern

**Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)
au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)**

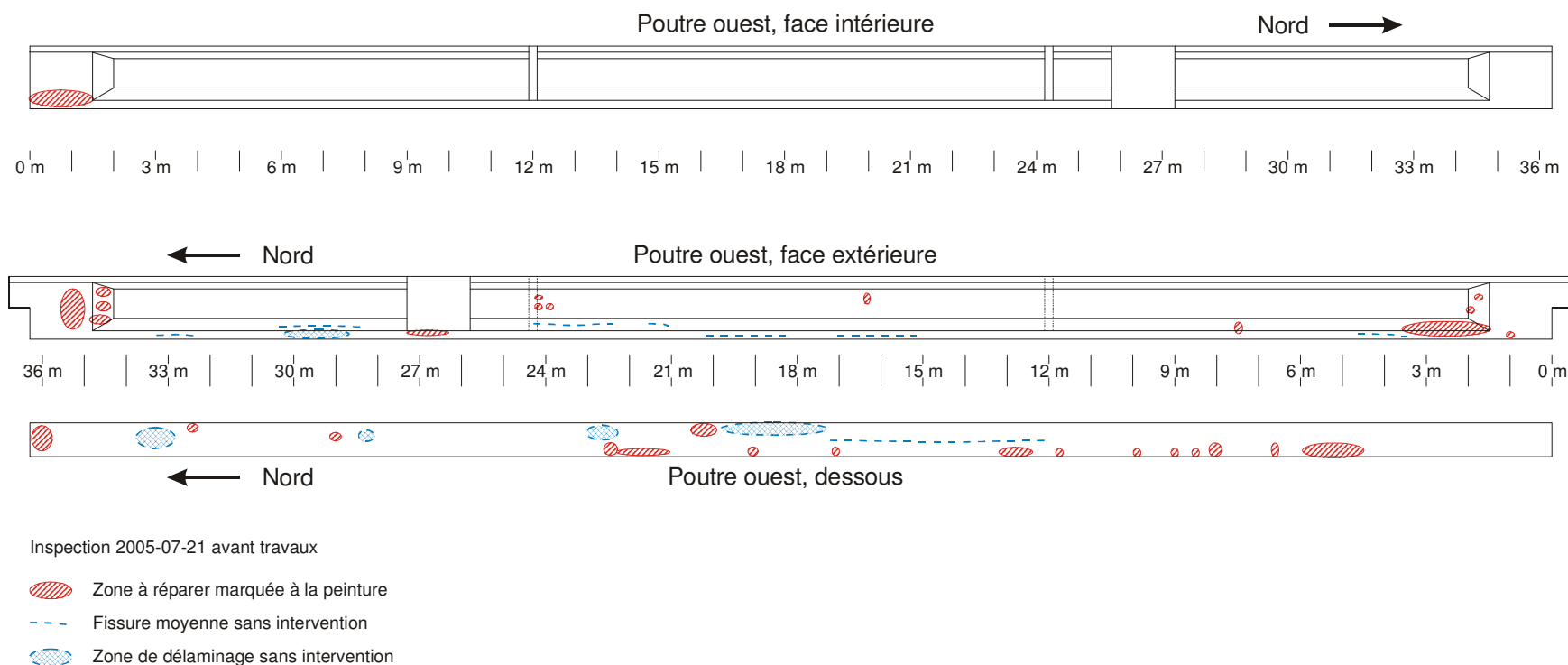


Figure 7 : Relevé des dommages du béton de la poutre ouest du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

**Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)
au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)**

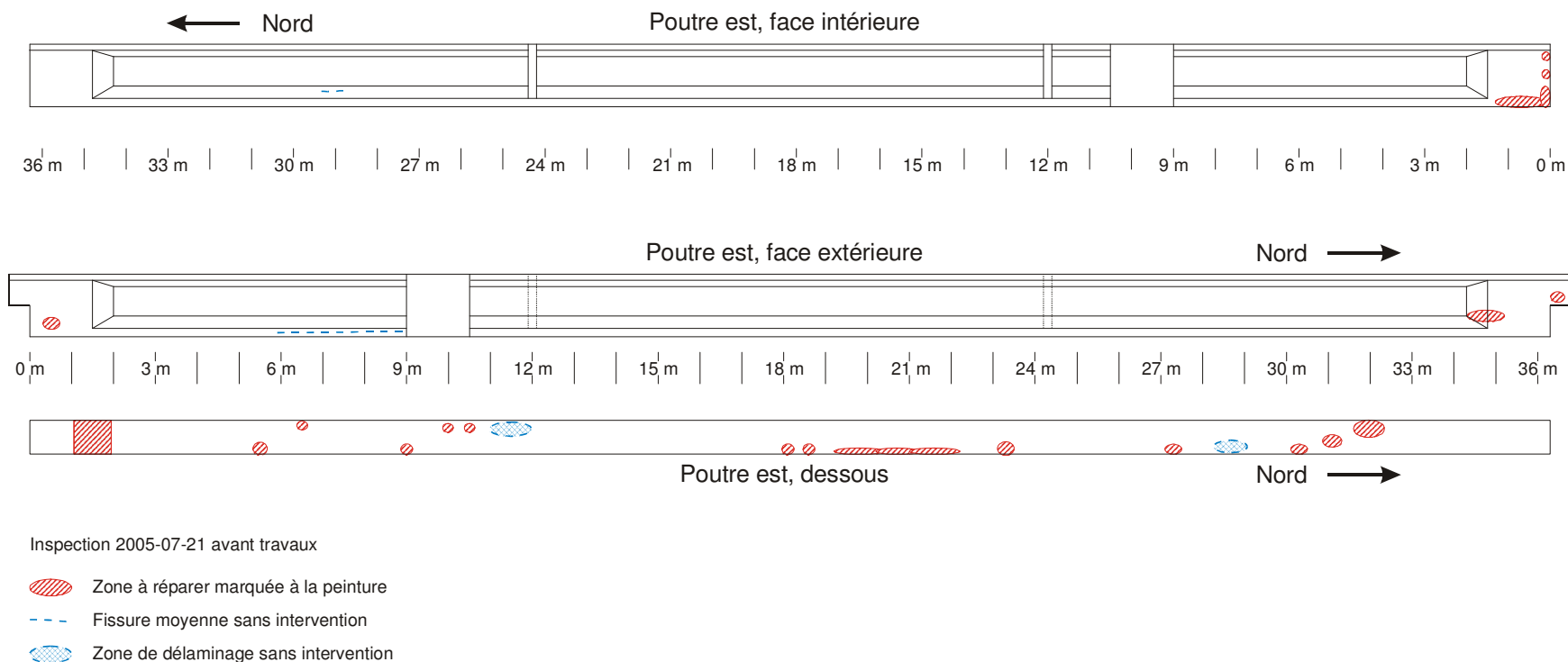


Figure 8 : Relevé des dommages du béton de la poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

4.1.2 Mise en place du chemisage en PRFV – rue Halpern

Le système Fibrwrap, résine époxy Tyfo S et tissu de fibres de verre SEH51, a été utilisé pour chemiser deux poutres de rive du pont d'étagement de la rue Halpern. La poutre ouest a été chemisée les 7 et 8 septembre 2004 tandis que la poutre est a été chemisée les 14 et 15 septembre 2004. La température ambiante, de 14 à 26 °C, était idéale lors de l'installation et de la polymérisation (cure) du PRFV. Les bandes de PRFV fraîchement installées ont été protégées des pluies survenues entre les périodes de travail, notamment les 67 mm de pluie tombés le 9 septembre 2004.

La division Zedco de l'entrepreneur, G.T.S. a suivi une procédure d'installation du PRFV qui correspond aux directives du manufacturier, à savoir :

- Étendre au rouleau une mince couche de résine Tyfo S sur le béton. Elle remplit la fonction d'un apprêt qui sature le béton;
- Étendre à la truelle une couche uniforme de résine transformée en pâte sur la résine d'apprêt. La résine Tyfo S est épaissie par l'ajout d'un agent thixotropique, la fumée de silice amorphe commercialisée sous le nom de Cab-O-Sil;
- Positionner le tissu de fibres de verre et y faire pénétrer la résine en pâte à l'aide d'un rouleau rainuré. Ce rouleau est aussi utilisé pour chasser les bulles d'air sous le PRFV; et
- Compléter la saturation des fibres avec la résine Tyfo S non épaissie. Toutefois, un délai avant la réalisation de cette dernière étape a été observé dans certains cas, il a duré jusqu'à six heures.

Les figures 9 et 10 indiquent la position des bandes de PRFV installées sur les deux poutres de rives. Les numéros des différentes bandes ont été attribués chronologiquement, dans l'ordre dans lequel elles ont été installées. Aux figures 9 et 10 on note que les bandes qui ont été taillées en largeur chevauchent légèrement la bande voisine. Deux anomalies au PRFV sont aussi indiquées sur ces figures; une correction du profil du béton avec la résine en pâte à la bande #7 (figure 11) et des réparations majeures aux bandes #34 et #35 (figure 12). Finalement la figure 10 indique la position de la section de référence sans chemisage en PRFV entre les bandes #22 et #34 (#43).

Deux autres événements particuliers qui dérogent de la procédure d'installation ont été observés lors de la pose du PRFV au pont Halpern. Premièrement, la résine d'apprêt appliquée le 8 septembre sous les bandes #22 à #24 qui a été mouillée par la pluie du 9 septembre a dû être dépolie mécaniquement le 14 septembre exposant ainsi une grande proportion de béton avant l'application d'une nouvelle couche de résine d'apprêt. La deuxième dérogation concerne le délai entre le mélange des unités de résine et leur utilisation qui a parfois excédé la limite de trois heures.

Plusieurs petites bulles d'air entre le béton et le PRFV et autres défauts, tels ceux montrés à la figure 13 et qui sont jugés sans effet sur le comportement du chemisage, ont été observés lors des inspections finales du PRFV avant d'autoriser l'application de la peinture. Parmi ces défauts, ceux qui sont indiqués aux figures 9 et 10 ont été répertoriés à partir des photographies de septembre 2004.

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

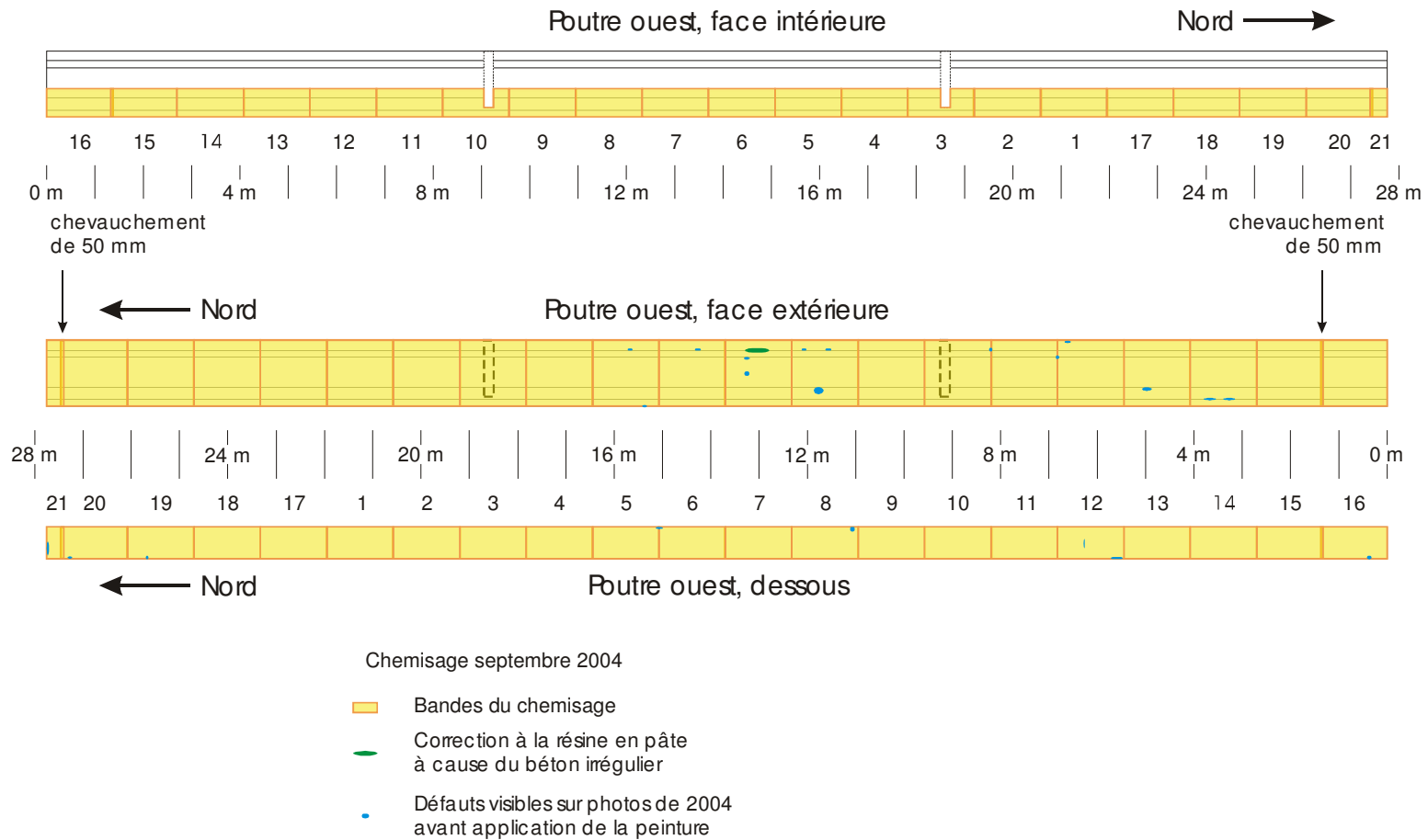


Figure 9 : Identification des bandes et conditions initiales du PRFV sur la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

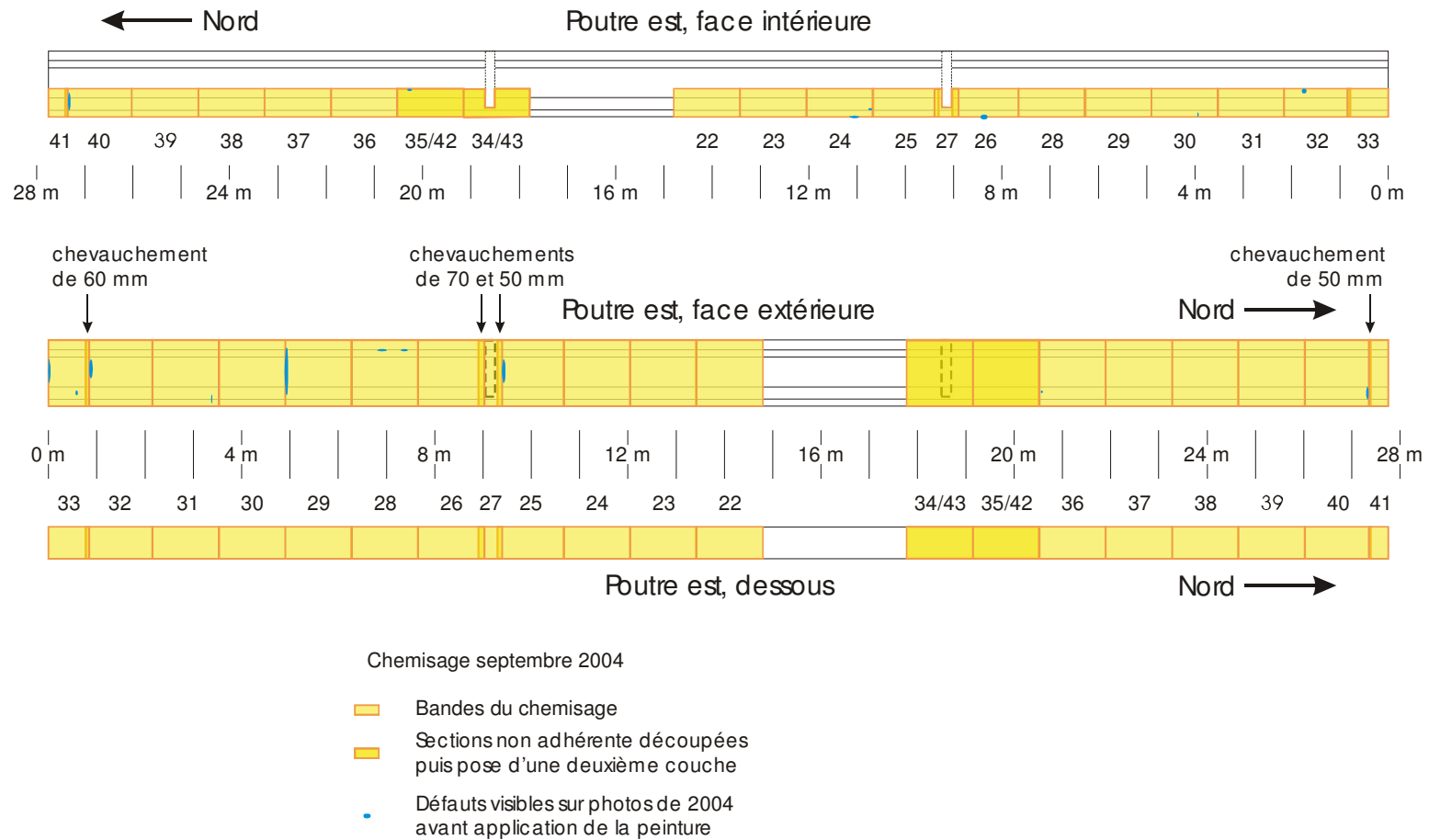
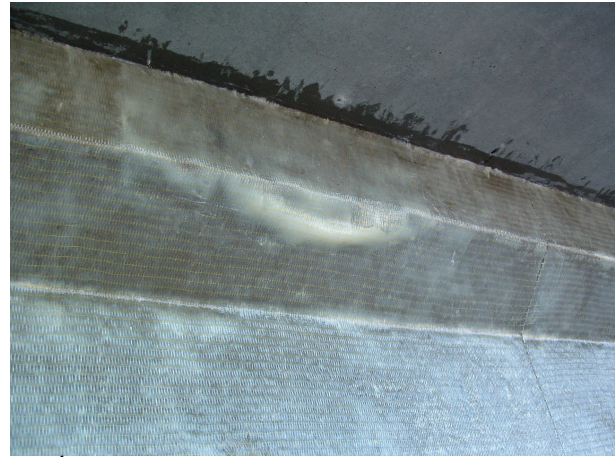


Figure 10 : Identification des bandes et conditions initiales du PRFV sur la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern



a) Vide sous le chemisage causé par un défaut dans le béton (2004-09-08)

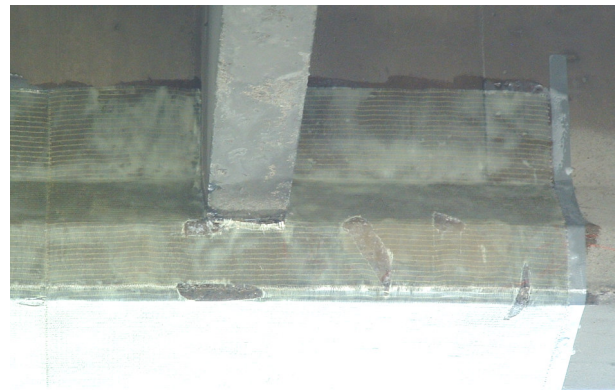


b) État de la correction après la cure, sans vide (2004-09-14)

Figure 11 : Bande #7 sur la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern – réparation d'un défaut du profil du béton

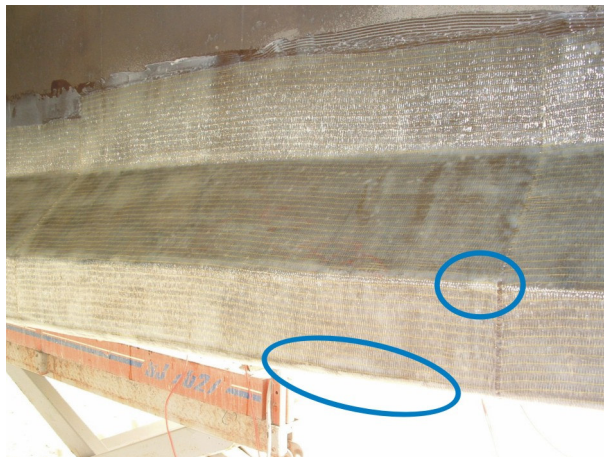


a) Nombreuses zones de vide



b) Zones de vides découpées et enlevées

Figure 12 : Bande #34 sur la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern (2004-09-15)



a) Bande #24 de la poutre est
Les zones non collées sont encerclées



b) Bande #31 de la poutre est
Pli dans le chemisage

Figure 13 : Bulles d'air inoffensives sous le chemisage du pont d'étagement de la rue Halpern
(2004-09-15)

La peinture polyuréthane aliphatique, le Carbothane 133 HB, a été appliquée selon les directives indiquées par le représentant technique qui était sur place. Les deux couches de cette peinture ont été appliquées le 14 septembre 2004 sur la poutre ouest. Le peinturage de la poutre est a été effectué à partir du 15 septembre 2004 et à été complété dans les jours suivants.

4.1.3 Mise en place du chemisage en PRFV – autoroute Chomedey (A-13)

Le système Fibrwrap, résine époxy Tyfo S et tissu de fibres de verre SEH51, a été utilisé pour chemiser deux poutres de rive du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13). À l'automne 2005, Construction Camvi inc. a été mandaté pour installer le PRFV distribué par Solhydroc inc. mais, à dû reporter la majeure partie du travail à l'été 2006 à cause des mauvaises conditions climatiques. Les figures 14 et 15 indiquent la position des bandes de PRFV installées sur les deux poutres de rives. Les lettres attribuées aux bandes indiquent la poutre (Ouest et Est) ainsi que le tiers de la portée (Sud, Centre et Nord). Il est à noter que la figure 14 indique la position de la section de référence sans chemisage en PRFV entre les bandes OC7 et OC8.

Entre le 18 octobre 2005 et le début de novembre 2005, six bandes à l'extrémité nord de la poutre ouest (bandes ON4 à ON9) ont été installées alors que les conditions climatiques étaient inappropriées puisque la température chutait sous les 5 °C avec des pluies fréquentes. La procédure d'installation pour ces six bandes, recommandée par le distributeur Solhydroc inc., se résume comme suit :

- Étendre une mince couche de résine Tyfo S liquide comme apprêt sur le béton;
- Étendre une couche d'accrochage en résine Tyfo S épaissie en liquide épais par l'ajout d'un agent thixotropique;

- Attendre que la couche d'accrochage devienne collante au toucher. Cette attente, qui devrait durer moins de trois heures à 25 °C, peut prendre plus d'une dizaine d'heures à moins de 10 °C; et
- Placer le tissu de fibres de verre SEH51 préalablement saturé de résine Tyfo S sur la couche d'accrochage encore collante.

Considérant les conditions climatiques au moment des travaux de chemisage en octobre 2005, l'ingénieur de l'Université de Sherbrooke a recommandé d'enlever cette partie du PRFV et de recommencer à partir du jet d'abrasif sur le béton. Cependant, une inspection en juin 2006 n'a pas révélé de déficiences évidentes (c'est-à-dire décoloration, décollement ou texture anormale) des six bandes du chemisage en PRFV installées en octobre 2005 et le MTQ a décidé de les conserver. Même si elles ne sont pas évidentes à court terme, des différences à la structure moléculaire du polymère causées par les conditions de polymérisation inadéquate peuvent nuire à la durabilité et aux performances du PRFV.

À la reprise des travaux, en juin 2006, toutes les autres bandes ont été installées avec des conditions climatiques acceptables. La température, constamment supérieure à 10 °C pour la période du 12 au 22 juin 2006, était excellente. Par contre, la contamination de la résine fraîche par l'eau et l'humidité est possible puisqu'il y a eu plusieurs épisodes de pluie et des périodes où il y avait de la condensation sur les véhicules. Les efforts pour protéger le PRFV durant sa polymérisation ont été vains car le polythène a été invariablement arraché par le vent. Compte tenu des difficultés rencontrées lors de l'installation des bandes de PRFV en octobre 2005, la procédure d'installation avec la résine en pâte, présentée précédemment pour le pont de la rue Halpern, a été proposée par l'ingénieur de l'Université de Sherbrooke et utilisée pour les travaux de chemisage effectués en juin 2006.

Étant aux prises avec un échéancier serré et des périodes de travail de nuit de courtes durées, Construction Camvi inc. a tenté d'accélérer la mise en place des bandes de PRFV au maximum. Cette pression sur la rapidité d'exécution a eu des répercussions négatives sur la qualité du travail et plusieurs travaux correctifs ont dû être exigés. Les erreurs suivantes ont été observées sur de grandes portions du chemisage en PRFV :

- La résine d'apprêt a été appliquée une journée, ou plus, avant le PRFV pour 32 des 53 bandes de PRFV de ce pont. La mesure corrective employée consiste à dépolir mécaniquement la résine d'apprêt au moyen d'une meuleuse munie d'un disque abrasif.
- La saturation des fibres n'a pas été effectuée correctement lors de la mise en place des bandes de PRFV, principalement sur la face extérieure de la poutre est tel qu'illustré par les zones blanches de la figure 16. Pour corriger cette lacune, il a été demandé d'ajouter de la résine Tyfo S liquide jusqu'à saturation complète des fibres mais, étant donné la pression sur la rapidité d'exécution, la re-saturation des fibres a dû être reprise plusieurs fois en plusieurs endroits. Lors de l'inspection finale, les dernières petites zones déficientes ont été saturées de résine au fur et à mesure que le surveillant de l'Université de Sherbrooke les repérait.

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

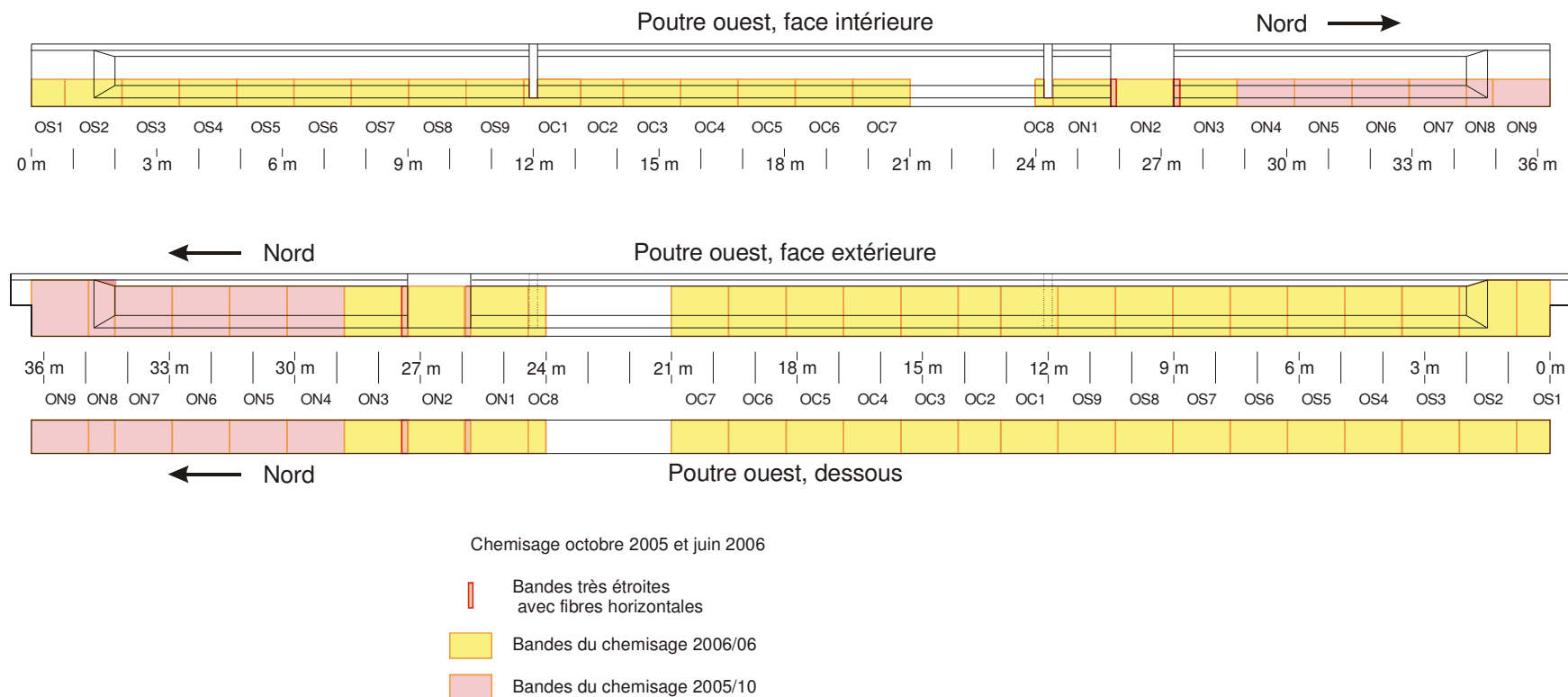


Figure 14 : Identification et position des bandes de PRFV sur la poutre ouest du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

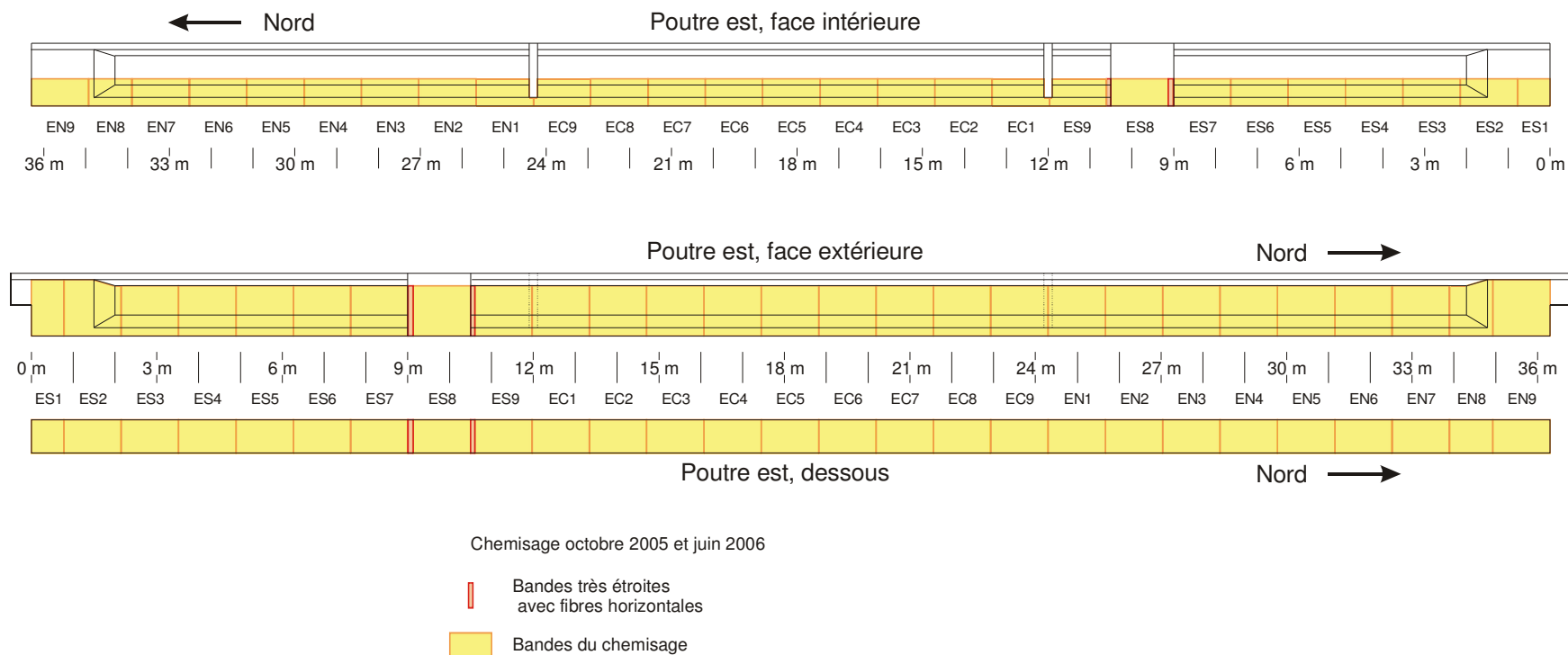


Figure 15 : Identification et position des bandes de PRFV sur la poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

- Les inspections ont révélé de nombreux vides entre le chemisage en PRFV et le béton, qui étaient plus fréquents à la semelle inférieure de la poutre est. Pour corriger cette lacune, deux mesures correctives ont été employées. Les vides de petite taille, généralement localisés près des chanfreins de la semelle inférieure, ont été injectés de résines époxy à prise rapide en tube par des trous d'environ 5 mm de diamètre percés dans le PRFV (figure 17). Les vides de grande taille, normalement plus de 100 mm de côté, ont été découpés puis rapiécés par une couche du PRFV du chemisage (figure 18). Lors de l'inspection finale, plusieurs vides de petite taille, moins de 50 mm de diamètre ou l'équivalent, ont été tolérés sans toutefois en noter l'emplacement car ils étaient trop nombreux.

D'autres événements particuliers ont fait l'objet d'une attention particulière parce qu'ils dérogent de la procédure typique d'installation. Parmi ces événements présentés en détails dans le rapport des travaux de chemisage (DEMERS et LABOSSIERE, 2006), on note que :

- Les bandes EN1 à EN3 ont été mises en place selon la procédure d'installation employée en octobre 2005.
- Quatre bandes très étroites ont été installées près des poutres chevêtres pour compléter des zones légèrement plus larges que les bandes régulières (figures 14 et 15). Bien que ces quatre bandes très étroites aient été installées en orientant les fibres à l'horizontale, cette erreur n'aura pas de conséquences dommageables car elles ne couvrent que 60 à 140 mm de béton et elles sont convenablement collées au reste du chemisage en PRFV.
- Les deux bandes de PRFV découpées afin de placer le chemisage autour des fils des électrodes de références enfouies dans le béton ont été réparées en ajoutant une pièce de PRFV ayant un chevauchement d'au moins 150 mm de chaque côté de la coupure (figure 19).



a) 13 juin 2006



b) 16 juin 2006

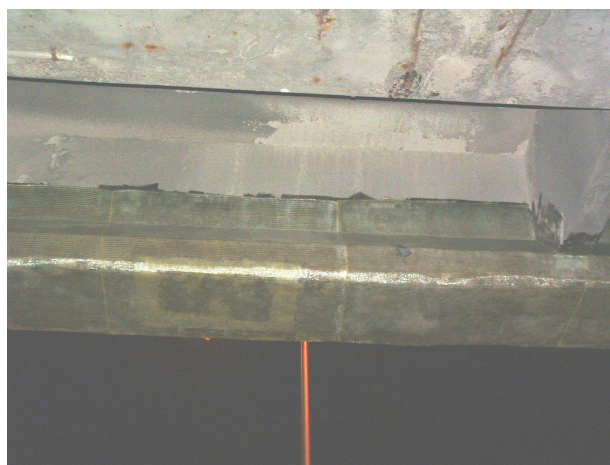
Figure 16 : Saturation incomplète des fibres de verre sur le tiers centre de la poutre est au pont de l'autoroute Chomedey (A-13)



Figure 17 : Injection avec une résine époxy à prise rapide de la bande EC2 au pont de l'autoroute Chomedey (A-13) (2006-06-17)



a) Zones de vide découpées (2006-06-16)



b) Zone réparée et chevauchement du PRFV (2006-06-19)

Figure 18 : Rapiécage de vides de grande taille aux bandes EC2 et EC3 au pont de l'autoroute Chomedey (A-13)



Figure 19 : Fibres de verre coupées pour les fils des électrodes de références dans la bande OC6 au pont de l'autoroute Chomedey (A-13) (2006-06-16)

La peinture polyuréthane aliphatique, le Sherthane® 2K Urethane, a été appliquée en une seule couche le 20 juin 2006 sur la poutre est, et une nuit subséquente sur la poutre ouest.

4.2 Inspections périodiques du chemisage en PRFV

Les poutres chemisées des deux ponts d'étagement ont été inspectées visuellement à plusieurs reprises au cours des quatre années qui ont suivi l'installation du PRFV. Les observations ainsi effectuées sont présentées puis interprétées afin d'évaluer, qualitativement et à court terme, la durabilité de cette technologie de chemisage en PRFV dans des conditions de service réelles.

Selon le programme original du projet de recherche, les inspections devaient avoir lieu aux six mois durant trois ans sur un seul pont. Cependant, le fait d'avoir deux ponts nécessitant des fermetures distinctes, le délai entre le chemisage des deux ponts et les difficultés organisationnelles pour obtenir une fermeture de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40) ont modifié le calendrier des inspections. Ainsi le pont d'étagement de la rue Halpern a été inspecté à trois reprises; le 29 juin 2005 (neuf mois), le 25 septembre 2006 (deux ans) et le 19 septembre 2008 (quatre ans). Le pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) a été inspecté à deux reprises; le 23 juillet 2008 (deux ans) et le 21 mai 2009 (trois ans). Le MTQ poursuivra les inspections de ces ponts selon son calendrier régulier.

4.2.1 Pont de la rue Halpern

Pour réaliser les inspections en toute sécurité, les voies rapides en direction ouest de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40) doivent être fermées à la circulation. Afin de réduire l'incidence sur la circulation de cette importante autoroute de Montréal, les fermetures ne sont autorisées que la nuit tandis que la circulation est déviée sur les voies de service. En conséquence, les trois inspections ont débuté peu après minuit et ont été complétées autour de 03 h 00. La rue Halpern est demeurée ouverte à la circulation.

Les ingénieurs Marc Demers de l'Université de Sherbrooke et Christian Mercier du MTQ ont effectué conjointement les trois inspections. En juin 2005 et septembre 2006, les parties des poutres au-dessus du pavage ont été inspectées à partir d'un camion plate-forme. Les deux ingénieurs étaient sur la plate-forme et ont sondé les surfaces accessibles avec un marteau en plus d'effectuer des observations visuelles. Le reste des poutres, les bandes #17 à #21 de la poutre ouest et les bandes #37 à #41 de la poutre est, a été inspecté à partir d'une nacelle en juin 2005 et, à partir du sol en septembre 2006. L'inspection finale de septembre 2008 a été réalisée à partir d'une nacelle par les deux ingénieurs qui ont sondé au marteau systématiquement toutes les surfaces des poutres chemisées.

Les imperfections relevées le 29 juin 2005 lors de l'inspection des poutres chemisées du pont de la rue Halpern sont illustrées aux figures 20 et 21. À partir des observations visuelles, 15 défauts mineurs du PRFV ont été notés, notamment celui sur la face extérieur de la poutre ouest à la bande #7 et qui n'avait pas évolué. Dans l'ensemble, la présence de ces petits défauts peut être retracée sur les photographies prises durant les travaux. Dans les autres cas, il n'y a pas de photographies datant de septembre 2004 pour comparer. Aucun signe de changement concernant ces petits défauts n'a pu être observé lors de l'inspection du 29 juin 2005. Les sondages au marteau de l'inspection du 29 juin 2005 ont révélé quatre zones de délaminage du béton sous le PRFV : une sur la face intérieure de la poutre ouest suffisamment éloignée de celles déjà identifiées avant les travaux de 2004 pour être considérée nouvelle; une sur la face extérieure de la poutre ouest qui avait été identifiée aux relevés de dommages avant les travaux et volontairement laissée telle quelle; et deux dans des réparations effectuées en 2004. Dans la section de référence non chemisée la présence d'une zone de délaminage du béton sur la face intérieure a révélé que la dégradation du béton était observable après un seul hiver. Cette zone de délaminage est inscrite dans la réparation superficielle de 2004.

Les imperfections relevées le 25 septembre 2006 lors de l'inspection des poutres chemisées du pont de la rue Halpern sont illustrées aux figures 22 et 23. Les sept défauts mineurs du PRFV observés sur la poutre ouest, incluant celui sur la face extérieur de la poutre ouest à la bande #7, n'ont pas évolué depuis les travaux en septembre 2004. Aucun changement n'a été observé sur l'état du chemisage en PRFV de la poutre est même si seulement quatre défauts mineurs ont été pris en note. Les sondages au marteau de l'inspection du 25 septembre 2006 ont révélé une progression importante du nombre de zones de délaminage du béton qui sont en majorité situées dans des zones de réparation superficielles effectuées en 2004. Les bandes #17 à #21 de la poutre ouest et les bandes #37 à #41 de la poutre est n'ont pas pu être sondées au marteau faute d'équipement de levage approprié et d'autres zones de délaminage auraient pu y être décelées. En plus de celle trouvée en juin 2005, il y a deux autres zones de délaminage suffisamment

éloignées de celles identifiées avant les travaux de 2004 pour être considérées nouvelles qui ont été repérées. L'absence de relevé de dommages pour le dessous des poutres ne permet pas de conclure si les zones de délaminage qui y ont été repérées sont nouvelles ou la réapparition d'un problème préexistant. Dans la section de référence non chemisée trois observations ont confirmé la progression de la dégradation du béton : l'étendue de la zone de délaminage du béton sur la face intérieure avait augmenté depuis l'inspection de juin 2005 et excédait la surface réparée lors des travaux de 2004; une fissure traversant toute la section non chemisée était apparue sur la face extérieure; et de nombreuses taches de rouille étaient visibles sous la semelle inférieure (figure 24). La dégradation du béton de la section non chemisée est attribuée à la corrosion des armatures. Par ailleurs, la corrosion pourrait aussi être active sous le chemisage en PRFV puisqu'une petite tache de rouille a été observée entre les bandes #22 et #23.

Les imperfections relevées le 19 septembre 2008 lors de la dernière inspection conjointe des poutres chemisées du pont de la rue Halpern sont illustrées aux figures 25 et 26. Les défauts mineurs du PRFV, présents depuis les travaux de septembre 2004, n'ont pas été notés car ils ne présentaient aucun signe de dégradation dans le temps. Toutefois, le chemisage en PRFV a été endommagé en beaucoup d'endroits en marge des travaux de réparation de la dalle, en cours lors de l'inspection de septembre 2008. Les trous percés dans le chemisage pour ancrer les cadres triangulés supportant la plate-forme de travail (figure 27a) sont des dommages mineurs qui ne devraient affecter ni la résistance, ni la durabilité du chemisage en PRFV. Le point d'appui de la plate-forme de travail sur la semelle inférieure ne cause pas de dommage au PRFV (figure 27b) lorsqu'il est correctement conçu et manipulé. Par contre, le chemisage en PRFV a été endommagé au point d'en réduire sa résistance par des impacts de divers équipements (figure 28). Ces dommages importants devaient être réparés en ajoutant une couche de PRFV selon les directives préparées par le MTQ avec le soutien l'Université de Sherbrooke. Le nombre et la position de ces dommages importants n'ont pas été notés lors de l'inspection du 19 septembre 2008 parce qu'il semblait inévitable que d'autres impacts s'ajouteraient lors du démantèlement de la plate-forme de travail. Les sondages au marteau de toutes les surfaces chemisées ont révélé les zones de délaminage du béton sous le chemisage montrées aux figures 25 et 26 lors de l'inspection du 19 septembre 2008. Ces zones sont plus nombreuses et plus étendues que celles relevées deux ans plus tôt lors de l'inspection de septembre 2006. Les zones de délaminage repérées en septembre 2008 sont majoritairement localisées aux endroits identifiés lors des travaux de 2004 et ayant été réparés superficiellement ou laissés tels quels volontairement. Il y a toutefois quatre zones de délaminage, une sur la poutre ouest et trois sur la poutre est, suffisamment éloignées de celles identifiées précédemment pour être considérées nouvelles qui ont été repérées. Le béton de la zone de référence non chemisée était fraîchement réparé lors de l'inspection du 19 septembre 2008 et était en bonne condition.

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

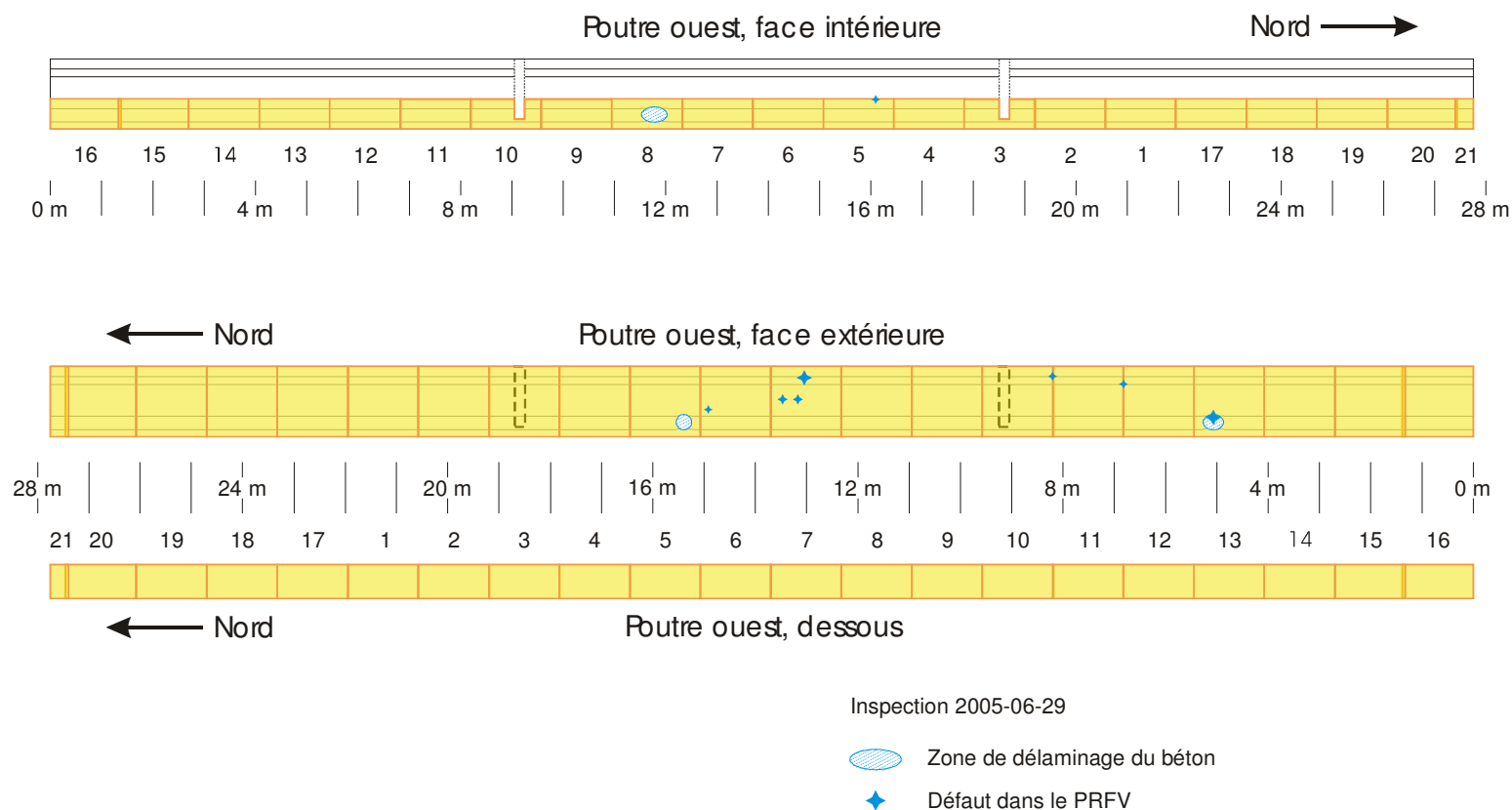


Figure 20 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern du 29 juin 2005

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

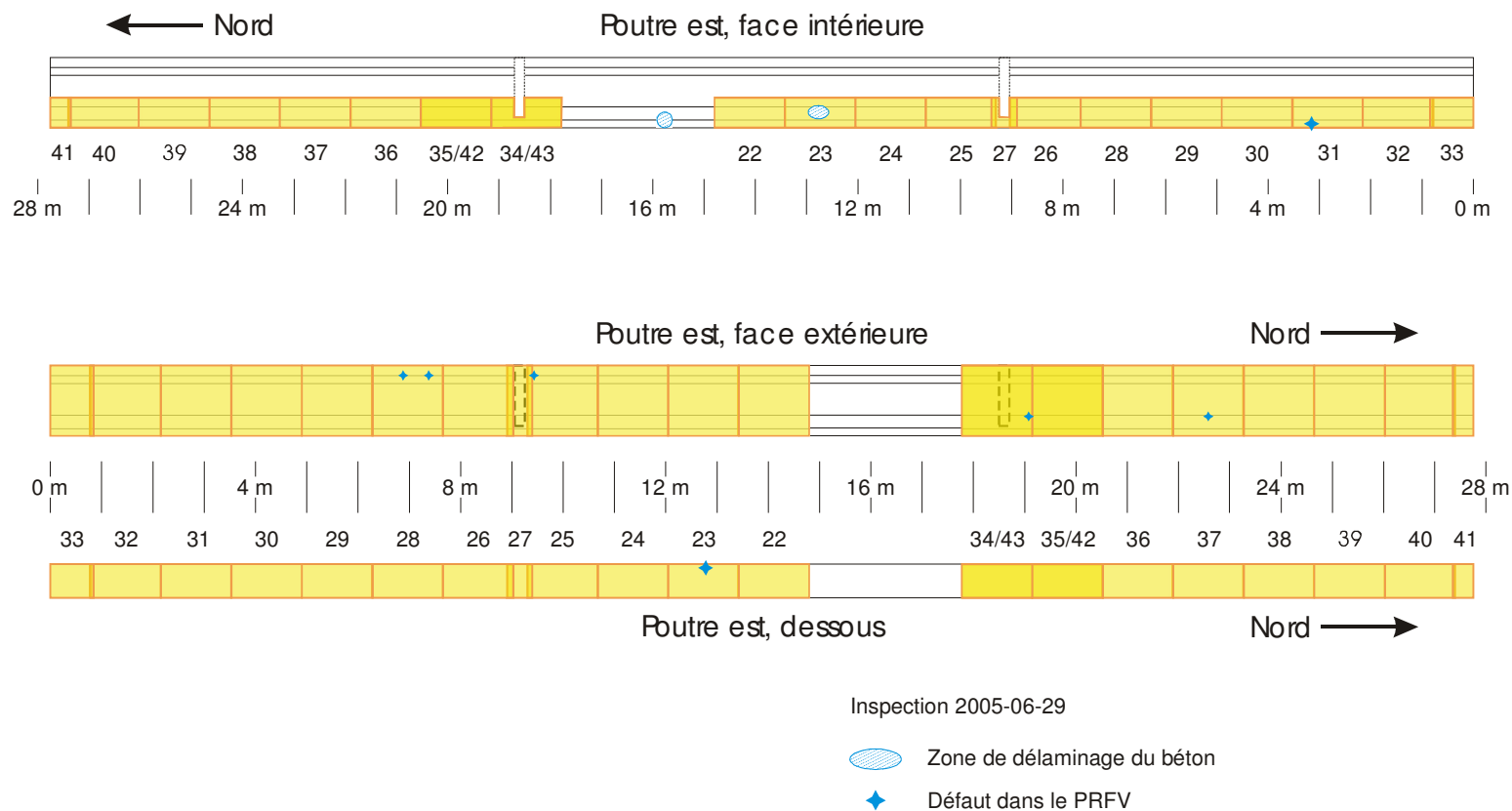


Figure 21 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern du 29 juin 2005

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

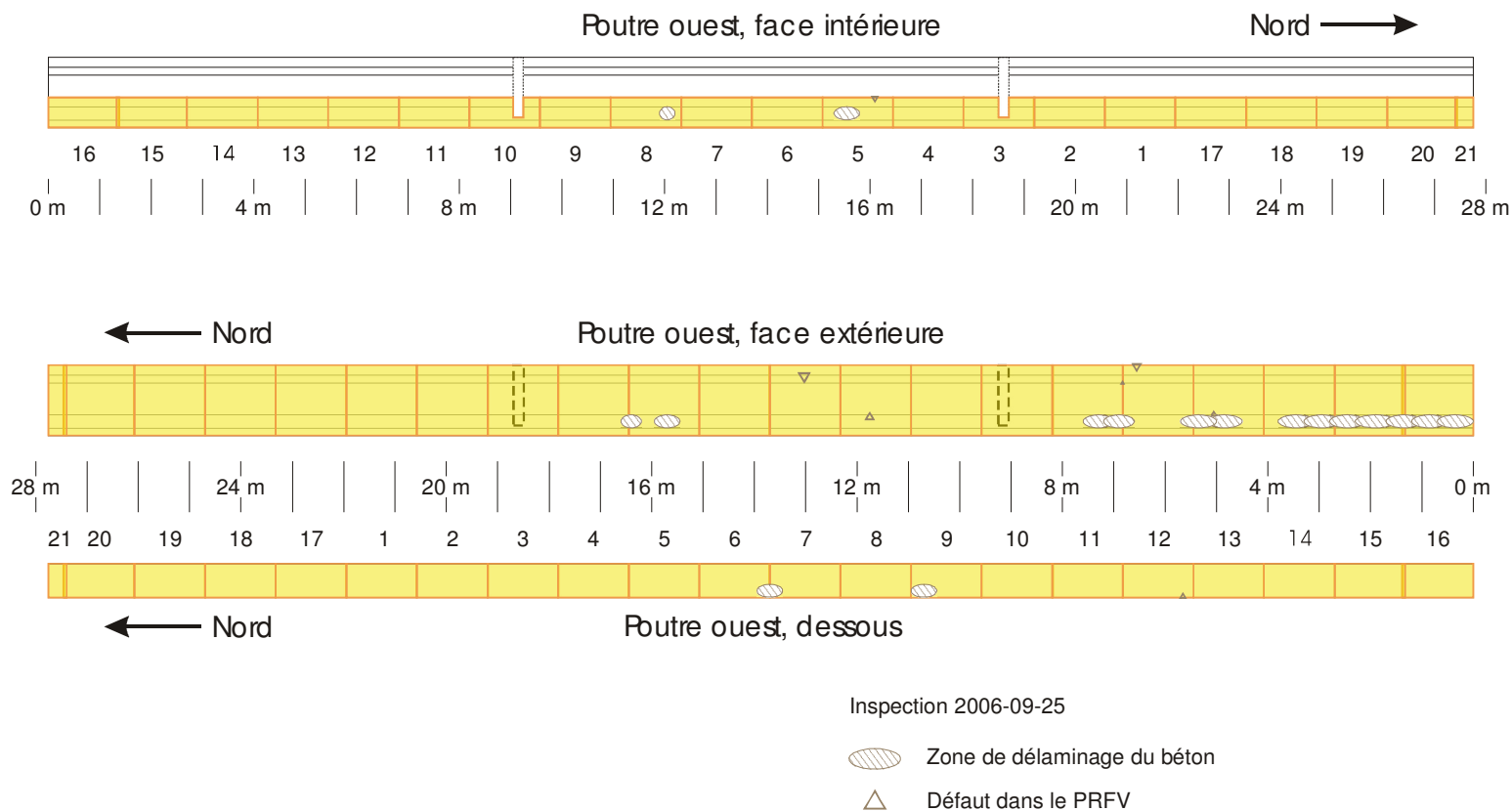


Figure 22 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern du 25 septembre 2006

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

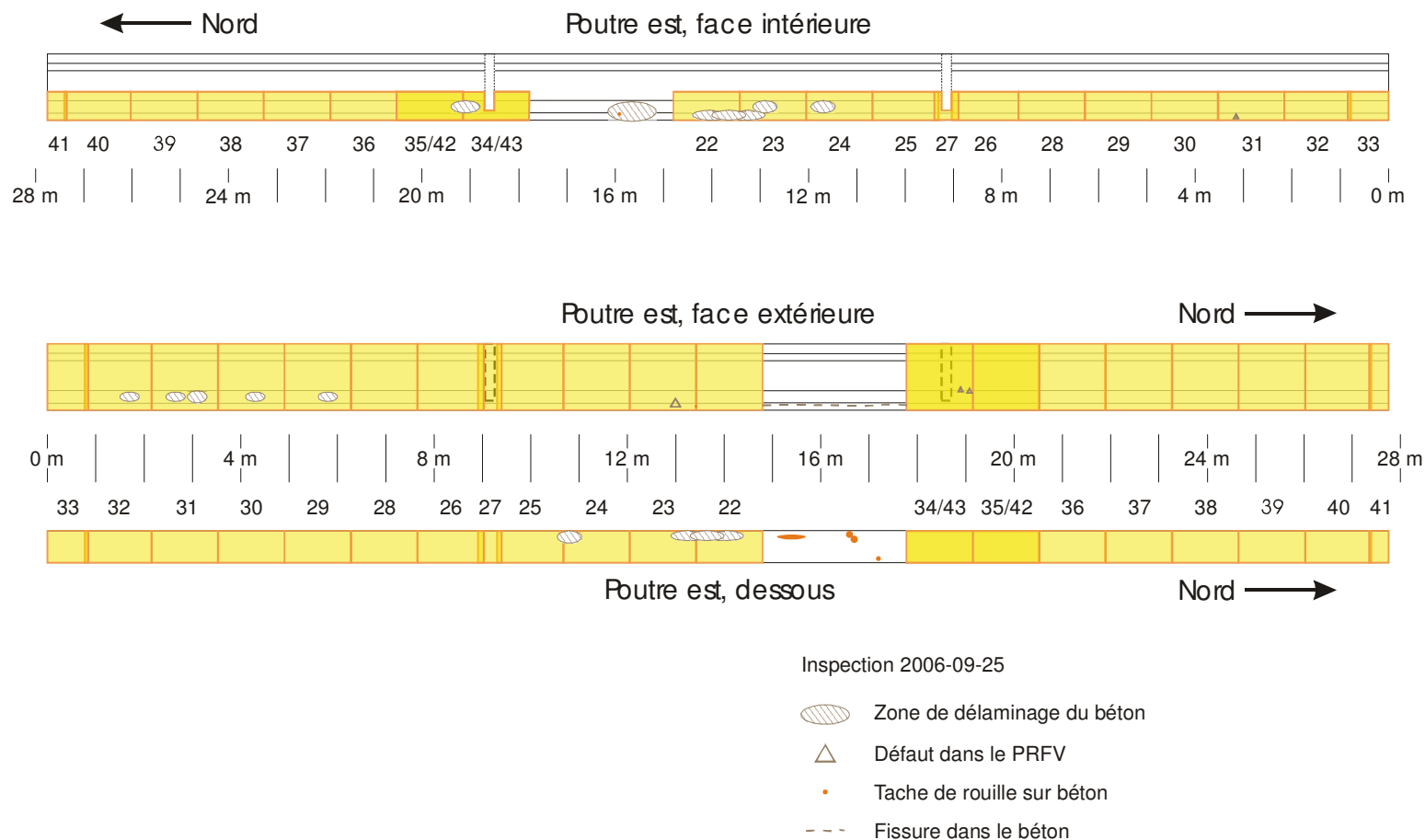


Figure 23 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern du 25 septembre 2006



Figure 24 : Fissure et taches de rouille résultants de la corrosion des armatures au pont de la rue Halpern (2006-09-25)

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

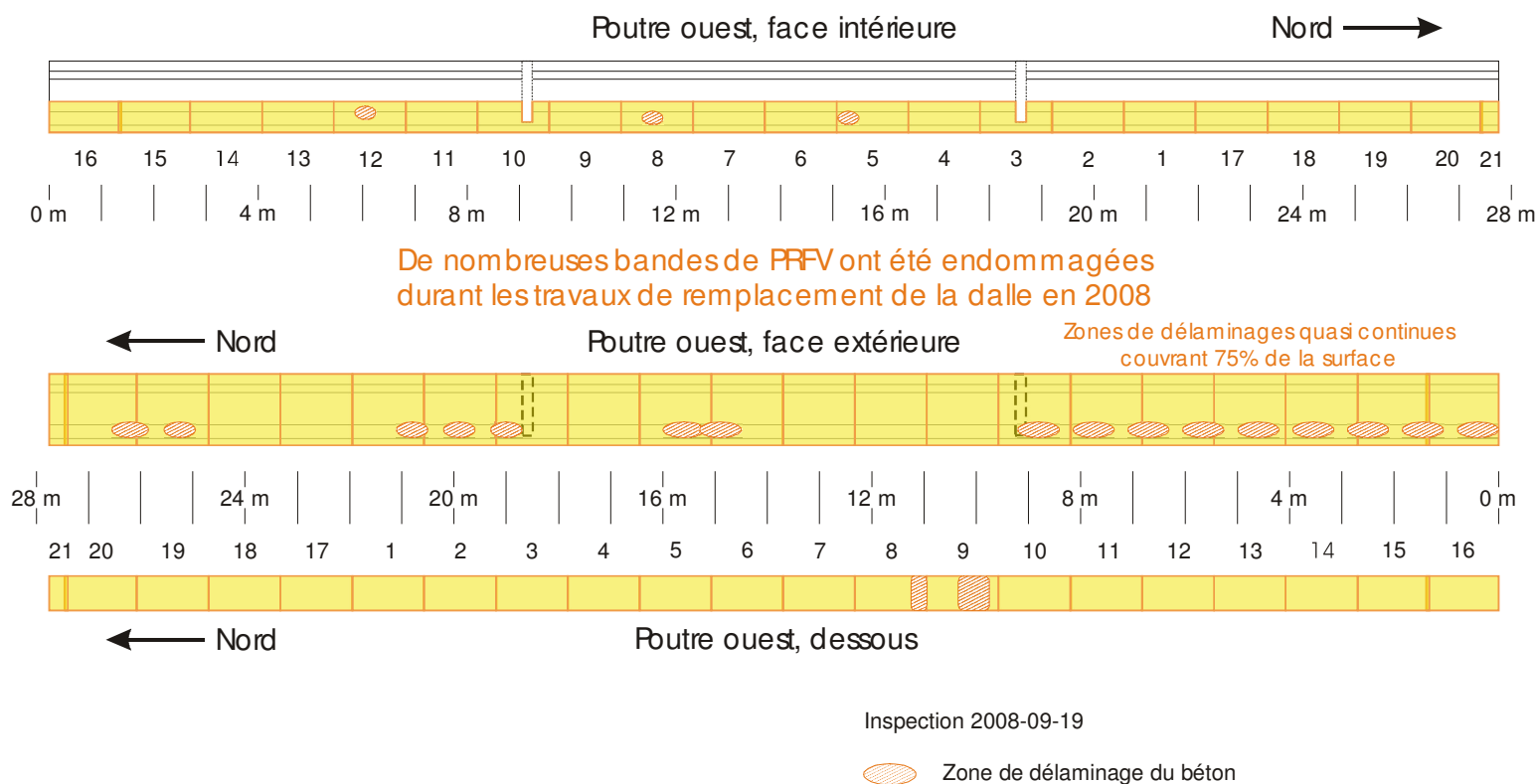


Figure 25 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern du 19 septembre 2008

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

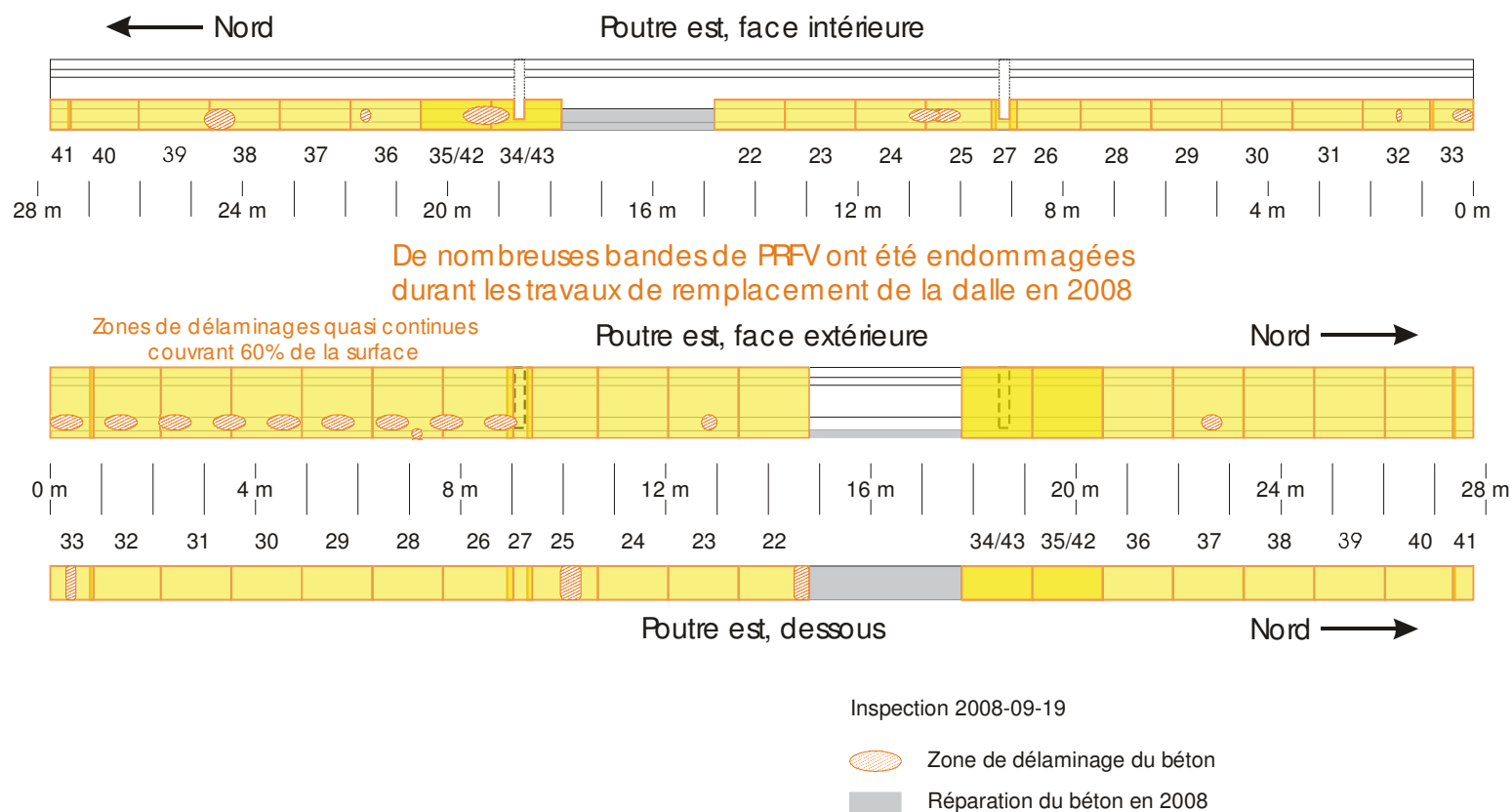


Figure 26 : Inspection du chemisage en PRFV de la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern du 19 septembre 2008



a) Perforation du PRFV pour ancrage



b) Appui sur la semelle inférieure

Figure 27 : Cadre triangulé pour supporter la plate-forme de travail au pont de la rue Halpern (2008-09-19)



a) Impact



b) Abrasions multiples sur la semelle inférieure

Figure 28 : Dommages réduisant la résistance du chemisage en PRFV au pont de la rue Halpern (2008-09-19)

Certaines imperfections ne semblent pas exactement au même endroit d'une inspection à l'autre lorsque les relevés de toutes les inspections sont superposés (figures 29 et 30). Ceci est dû au fait que les points de repère pour mesurer ou évaluer l'emplacement des imperfections a changé au fil des inspections. L'emplacement était parfois mesuré par rapport aux piles et diaphragmes, parfois mesuré à partir de la position de l'imperfection voisine, et parfois évalué par sa position relative sur une bande de PRFV donnée. Il faut aussi mentionner que la précision du périmètre d'une zone de délaminage du béton déterminé par un sondage au marteau est limitée.

La superposition des relevés de toutes les inspections (figures 29 et 30) montre bien que la majorité des zones de délaminage du béton sont situées dans les zones déjà endommagées avant

les travaux de chemisage. Ces figures montrent aussi que toutes les zones de délaminage du béton sont localisées autour de la semelle inférieure, principalement sur les faces inclinées où le recouvrement des étriers en acier est insuffisant. Par contre, la progression du nombre et de la taille des zones de délaminage du béton indique qu'un processus de dégradation est actif sous le chemisage en PRFV. Néanmoins, l'efficacité du chemisage en PRFV n'est pas réduite par ces zones de délaminage du béton car le principe d'action du chemisage consiste à ancrer le PRFV sur des surfaces de béton sain de l'âme pour retenir des fragments de béton de la semelle inférieure.

À l'exception des dommages dus aux impacts associés aux travaux de remplacement de la dalle en 2008, aucune forme de dégradation du chemisage en PRFV n'a été observée après quatre années de service en condition réelles. Cette observation constitue une indication probante de la bonne durabilité de cette technologie. Il en résulte que le gain de sécurité recherché pour les usagers de la route est atteint, et qu'il sera durable.

La section de référence non chemisée qui a dû être réparée en 2008, quatre ans seulement après les travaux de 2004, démontre que le problème de dégradation superficielle des ces poutres est permanent. Les zones de délaminage du béton détectées sous le chemisage en PRFV auraient elles aussi nécessité une intervention sans ce dernier. Cette technique de chemisage permet des économies récurrentes en évitant les interventions qui seraient autrement nécessaires aux trois à cinq ans.

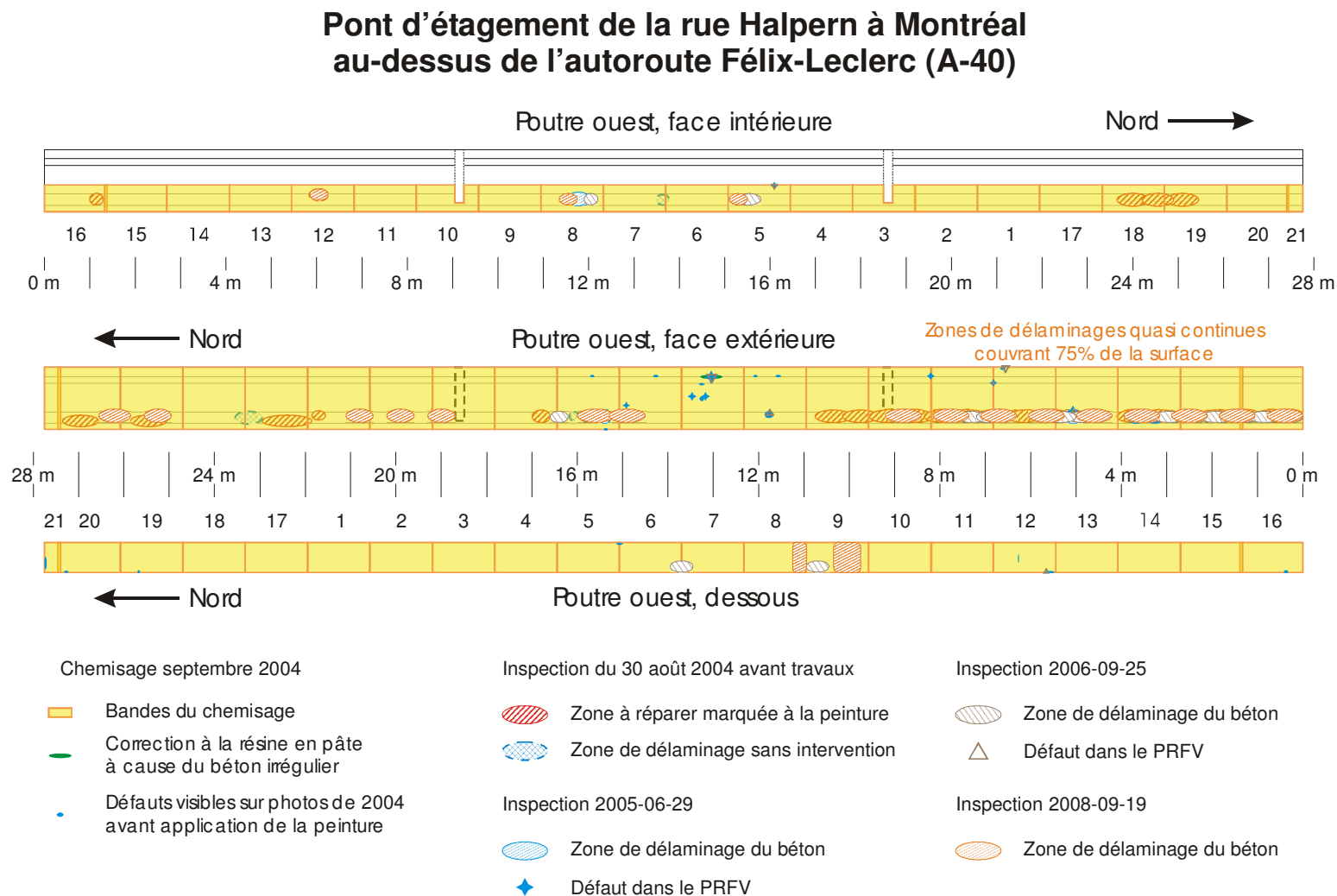


Figure 29 : Sommation des inspections du chemisage en PRFV de la poutre ouest du pont d'étagement de la rue Halpern

Pont d'étagement de la rue Halpern à Montréal au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

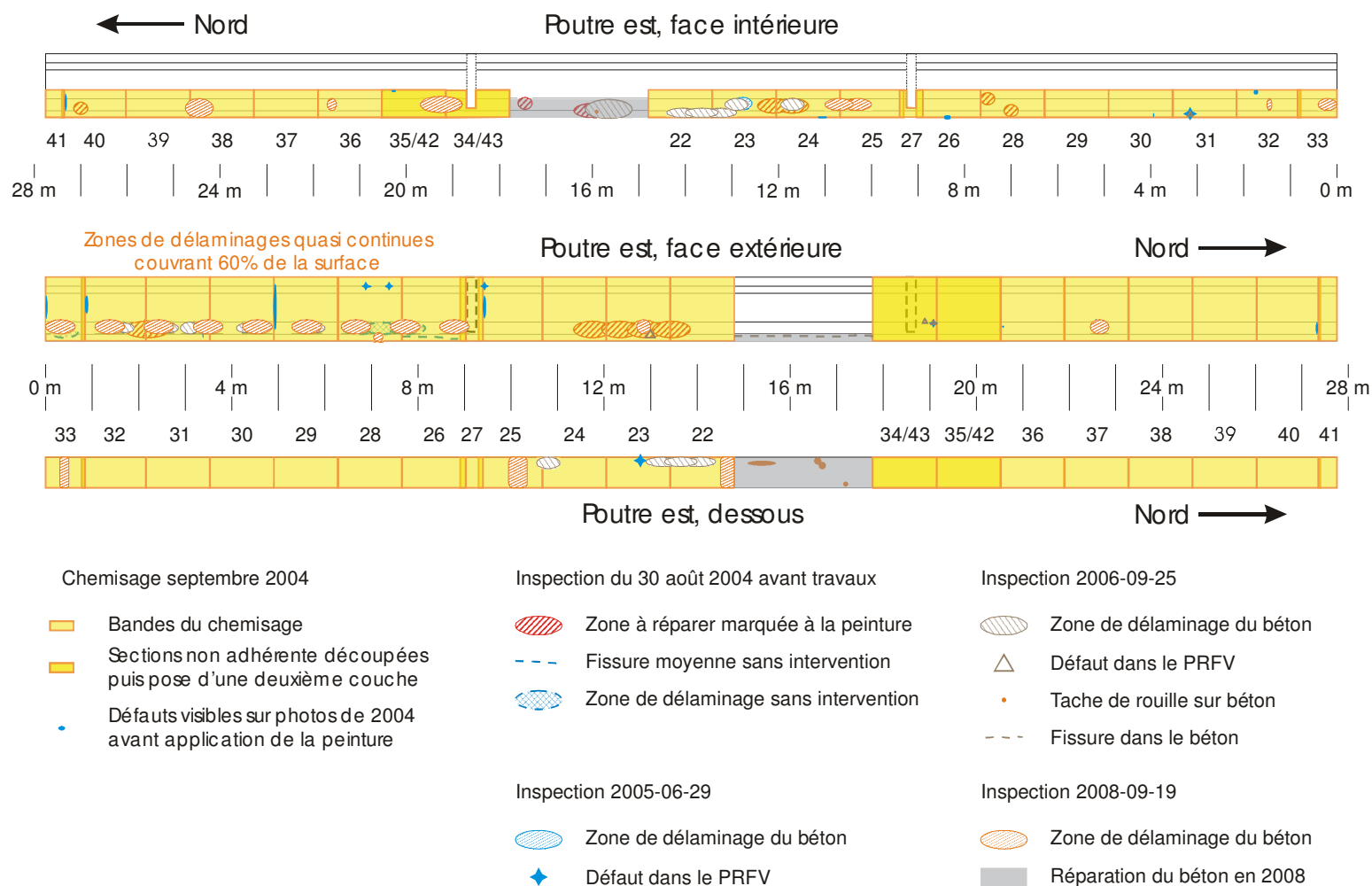


Figure 30 : Somme des inspections du chemisage en PRFV de la poutre est du pont d'étagement de la rue Halpern

4.2.2 Pont de l'autoroute Chomedey (A-13)

Pour réaliser les inspections en toute sécurité, les voies rapides en direction est de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40) doivent être fermées à la circulation. Afin de réduire l'incidence sur la circulation de cette importante autoroute de Montréal, les fermetures ne sont autorisées que la nuit tandis que la circulation est déviée sur les voies de service. La première inspection après les travaux effectuée en 2006 a été réalisée entre 01 h 00 et 04 h 00 le 23 juillet 2008 tandis que l'inspection finale a débuté vers 23 h 00 le 20 mai 2009 et a été complétée vers 03 h 00 le 21 mai. L'autoroute Chomedey (A-13) était partiellement fermée à la circulation en raison des travaux d'entretien de la dalle du tablier et des autres poutres lors de ces deux inspections.

Les ingénieurs Marc Demers de l'Université de Sherbrooke et Christian Mercier du MTQ ont effectué conjointement les deux inspections. En plus d'effectuer des observations visuelles, la totalité des surfaces chemisées de PRFV des poutres ont été sondées au marteau à chacune des inspections. En juillet 2008, les deux ingénieurs ont réalisé ensemble l'inspection des deux poutres chemisées à partir d'une nacelle. Lors de l'inspection finale de mai 2009 la poutre est a été inspectée à partir d'une nacelle par l'ingénieur de l'Université de Sherbrooke tandis que la poutre ouest a été inspectée à partir d'une plate-forme élévatrice par les deux ingénieurs.

Les imperfections relevées le 23 juillet 2008 lors de l'inspection des poutres chemisées du pont de l'autoroute Chomedey (A-13) sont illustrées aux figures 31 et 32. À partir des observations visuelles, quelques défauts mineurs du PRFV ont été remarqués incluant cinq petites poches d'air sous le PRFV à divers endroits. La position exacte de ces petits défauts sans conséquences n'a généralement pas été consignée, notamment sur la face extérieur du tiers nord de la poutre est (figure 33a). Bien qu'il n'y ait pas de photographies datant de juin 2006 pour comparer dans la majorité des cas, les petits défauts qui ont pu être retracés sur les photographies prises durant les travaux n'ont pas évolué. En plus des petits défauts jugés sans effet sur les performances et la durabilité du PRFV, d'autres imperfections du PRFV plus inquiétantes ont été observées lors de l'inspection du 23 juillet 2008. Ces dommages sont deux petits morceaux du chemisage en PRFV arrachés en-dessous de la poutre ouest dans le tiers centre aux limites de la bande OC2 (figure 33b) et une zone de PRFV mal saturée de résine dessous la bande OS2 dans le tiers sud de la poutre ouest. Les sondages au marteau de l'inspection du 23 juillet 2008 ont révélé 25 zones de délaminage du béton sous le PRFV : quatre suffisamment éloignées de celles déjà identifiées en 2005 avant les travaux pour être considérées nouvelles; deux sous la semelle de la poutre est qui avait été identifiées aux relevés de dommages avant les travaux et volontairement laissées telles quelles; et 19 dans des réparations effectuées en octobre 2005. Bien que trois zones de délaminage du béton aient été observées en 2005 dans la section de référence non chemisée, aucune zone de délaminage du béton n'a été notée en juillet 2008 après trois hivers. Parmi les nombreuses fissures observées dans la zone de référence non chemisée en juillet 2008 (figure 34a), certaines étaient déjà présentes en juillet 2005 avant les travaux, avaient été obturées lors de la préparation des surfaces de béton en octobre 2005, puis réapparues lors des travaux de juin 2006. L'accroissement du nombre de fissures ainsi que la présence de trois taches de rouille sur la semelle inférieure de la poutre ouest dans le tiers nord (figure 34b) sont des indications évidentes de la progression de la corrosion.

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

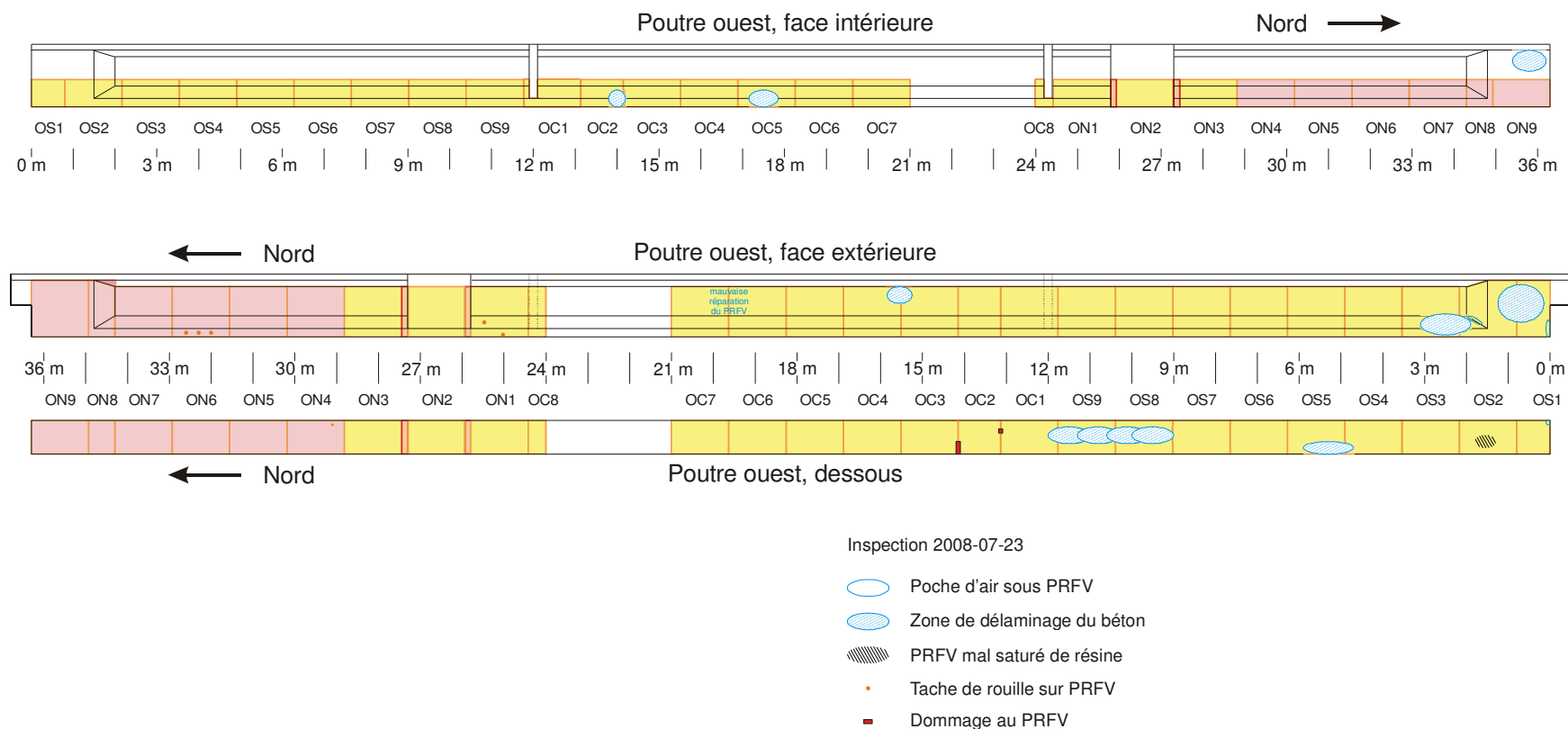


Figure 31 : Inspection du chemisage en PRFV du 23 juillet 2008 : poutre ouest du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

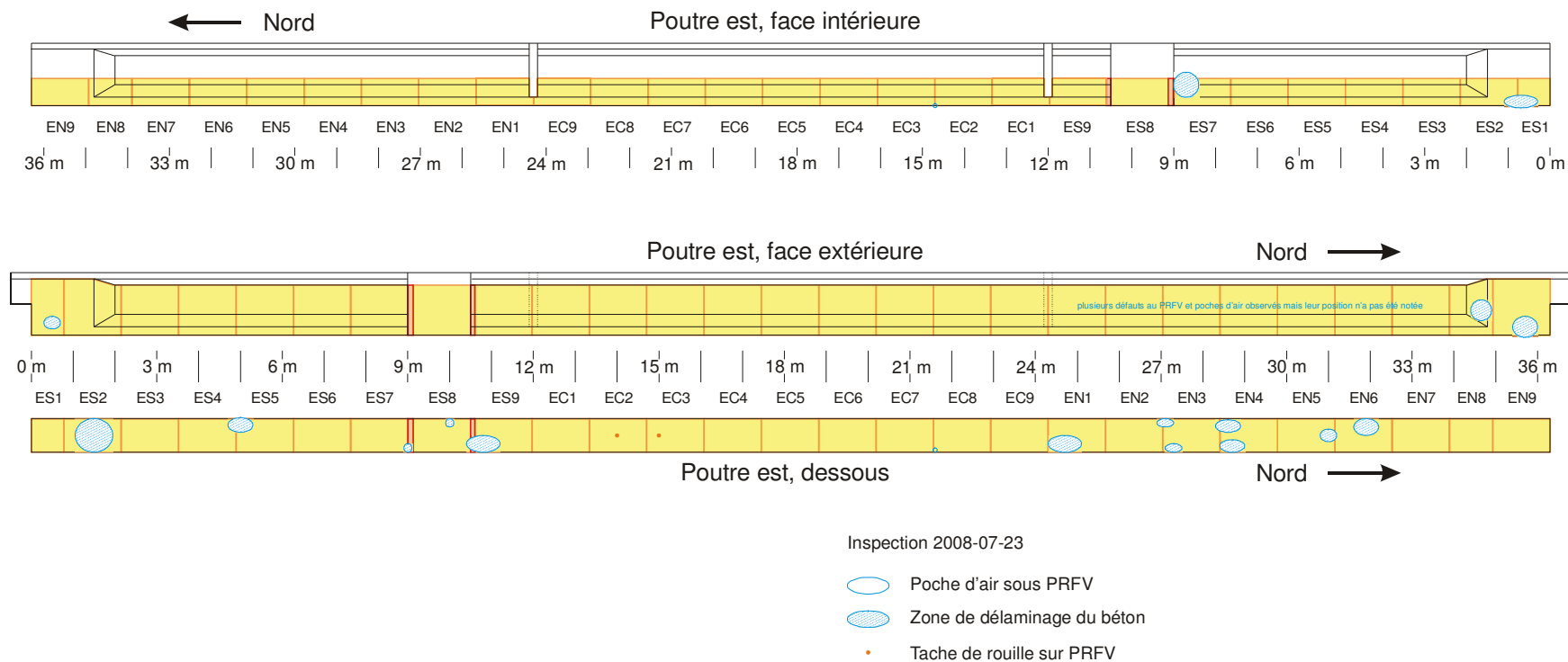
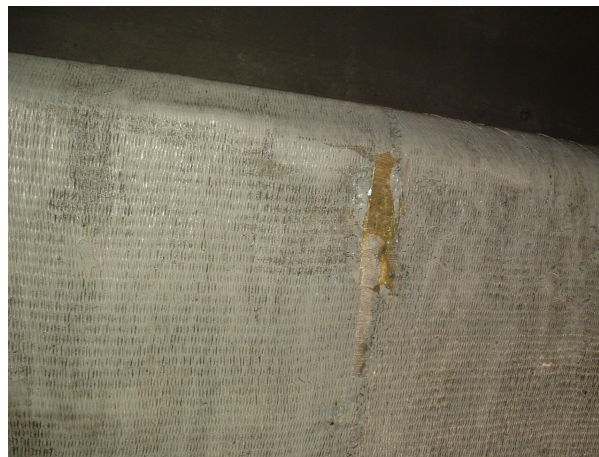


Figure 32 : Inspection du chemisage en PRFV du 23 juillet 2008 : poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)



a) Défauts mineurs non consignés; bande EN5



b) Morceau de PRFV arraché; bande OC2

Figure 33 : Observations sur le PRFV au pont de l'autoroute Chomedey (A-13) (2008-07-23)



a) Béton fissuré; zone de référence non chemisée



b) Taches de rouille; bande ON1

Figure 34 : Corrosion et dégradation du béton au pont de l'autoroute Chomedey (A-13) (2008-07-23)

Les imperfections relevées le 21 mai 2009 lors de l'inspection finale des poutres chemisées du pont de l'autoroute Chomedey (A-13) sont illustrées aux figures 35 et 36. La plupart de ces imperfections sont des défauts mineurs, principalement des plis dans le PRFV ou de petites poches d'air entre le béton et le chemisage, jugés sans effet sur les performances et la durabilité du chemisage en PRFV. Le nombre de défauts mineurs n'a vraisemblablement pas augmenté depuis les travaux car les photographies antérieures à l'inspection finale, lorsqu'elles existent, ne montrent aucun signe d'évolution. Rappelons que la position des défauts mineurs n'avait pas été consignée lors des travaux, ni lors de l'inspection de juillet 2008. En plus des dommages au PRFV observés en juillet 2008 sous la poutre ouest, un nouveau type de dommage a été noté lors de l'inspection du 21 mai 2009. Le chemisage en PRFV a été perforé en trois endroits pour fixer des ancrages métalliques qui ont ensuite été coupés à la meule au raz du béton créant un

endommagement supplémentaire au PRFV (figure 37). À ces perforations, il faut ajouter celles pratiquées pour effectuer le relevé de potentiel le 21 mai 2009. Le nombre de taches de rouille a significativement augmenté lors de l'inspection de mai 2009 comparativement à ce qui a été observé en juillet 2008, particulièrement sous la semelle dans le tiers central de la poutre est. Les sondages au marteau ont révélé de nombreuses zones de délaminage du béton sous le chemisage dont la majorité avait été identifiée aux relevés de dommages effectués avant les travaux en juillet 2005. Par contre, cinq sont suffisamment éloignées des zones de délaminage pré-identifiées en juillet 2005 et juillet 2008 pour être considérées nouvelles. Le nombre de zones de délaminage du béton a augmenté depuis l'inspection de juillet 2008 mais l'étendue des zones identifiées antérieurement semble stable. La croissance du nombre de taches de rouille et de zones de délaminage du béton est une indication d'une progression évidente de la corrosion.

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

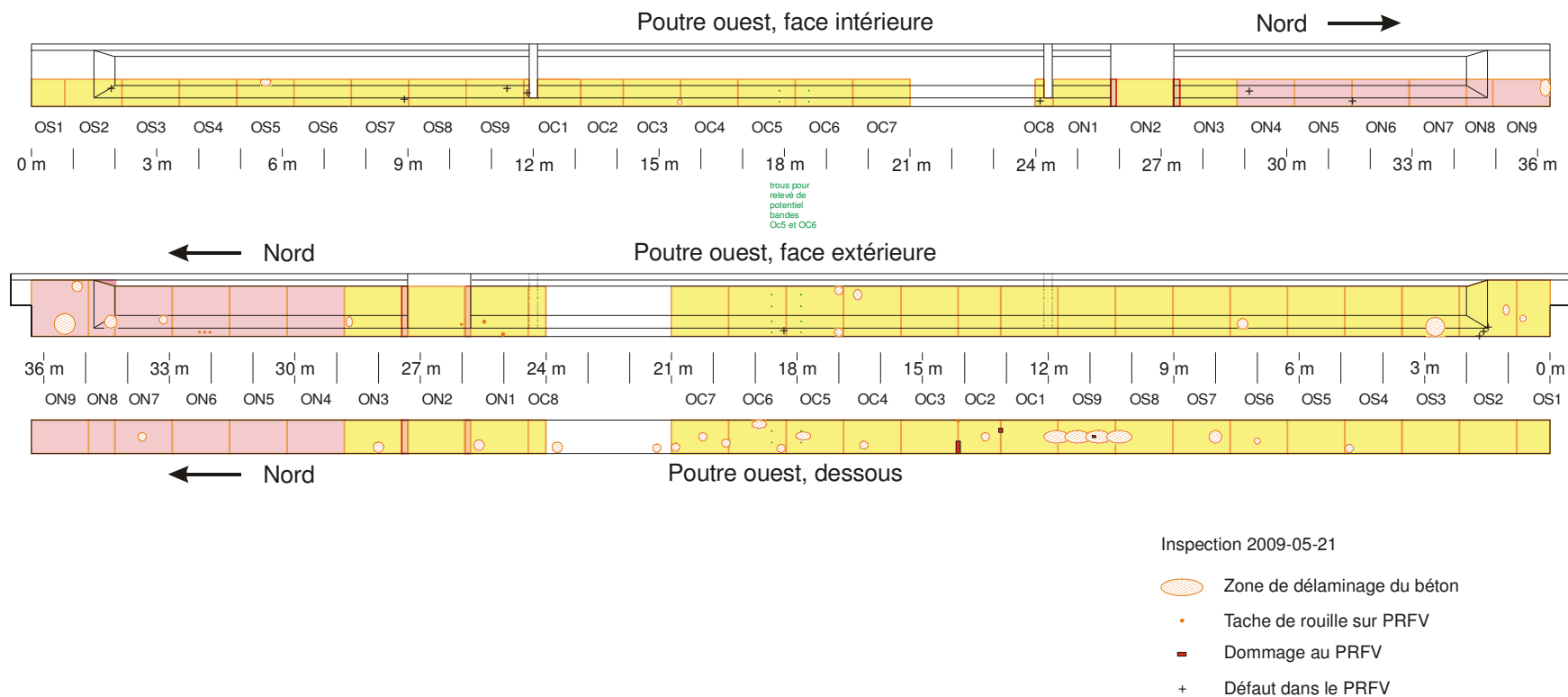


Figure 35 : Inspection du chemisage en PRFV du 21 mai 2009 : poutre ouest du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

**Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)
au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)**

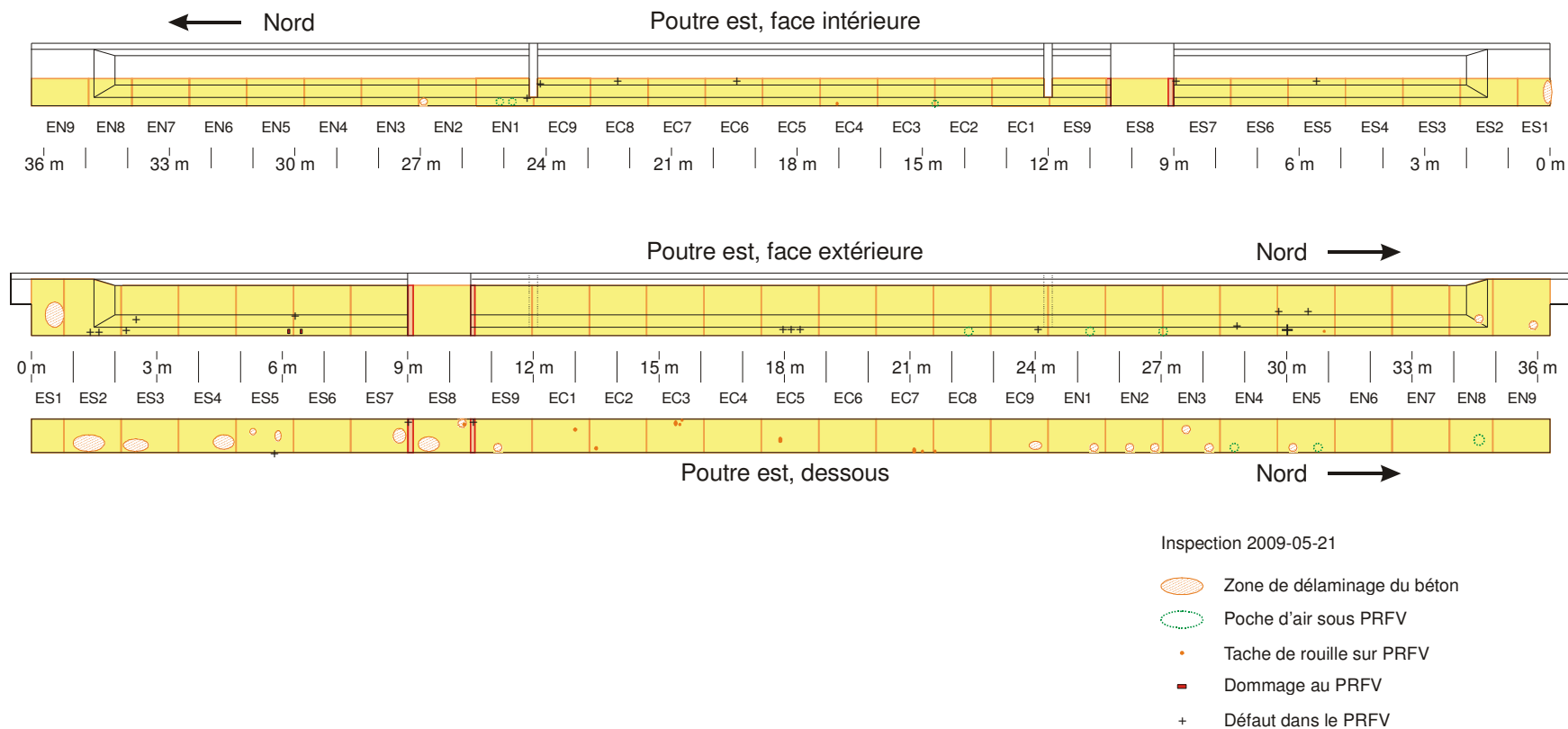


Figure 36 : Inspection du chemisage en PRFV du 21 mai 2009 : poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)



Figure 37 : Ancrage métallique coupé au raz du béton au pont de l'autoroute Chomedey (A-13)
(2009-05-21)

Certaines imperfections ne semblent pas exactement au même endroit d'une inspection à l'autre lorsque les relevés de toutes les inspections sont superposés (figures 38 et 39). Ceci est dû au fait que les points de repère pour mesurer ou évaluer l'emplacement des imperfections a pu changer au fil des inspections. On peut aussi rappeler que la précision du périmètre d'une zone de délaminage du béton déterminé par un sondage au marteau est limitée.

La superposition des relevés de toutes les inspections (figures 38 et 39) montre bien que la grande majorité des zones de délaminage du béton sont situées dans les zones déjà endommagées avant les travaux de chemisage, là où le recouvrement des étriers en acier est insuffisant. Par contre, la progression du nombre de zones de délaminage du béton et l'apparition soutenue de taches de rouille indiquent qu'un processus de dégradation est actif sous le chemisage en PRFV. L'efficacité du chemisage en PRFV n'est pas réduite par les zones de délaminage du béton dans la mesure où il existe suffisamment de surface de béton sain sur l'âme pour retenir des fragments de béton qui tendent à se détacher des poutres. Il faut toutefois maintenir un programme d'inspection approprié afin de s'assurer que le chemisage en PRFV est collé sur une surface suffisante de béton sain.

À l'exception des deux petits morceaux du chemisage en PRFV arrachés en-dessous de la poutre et des perforations réalisées dans le cadre de divers travaux, aucune forme de dégradation du chemisage en PRFV n'a été observée après trois années de service en condition réelles. Cette observation constitue une indication probante de la bonne durabilité de cette technologie. Il en résulte que le gain de sécurité recherché pour les usagers de la route est atteint.

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

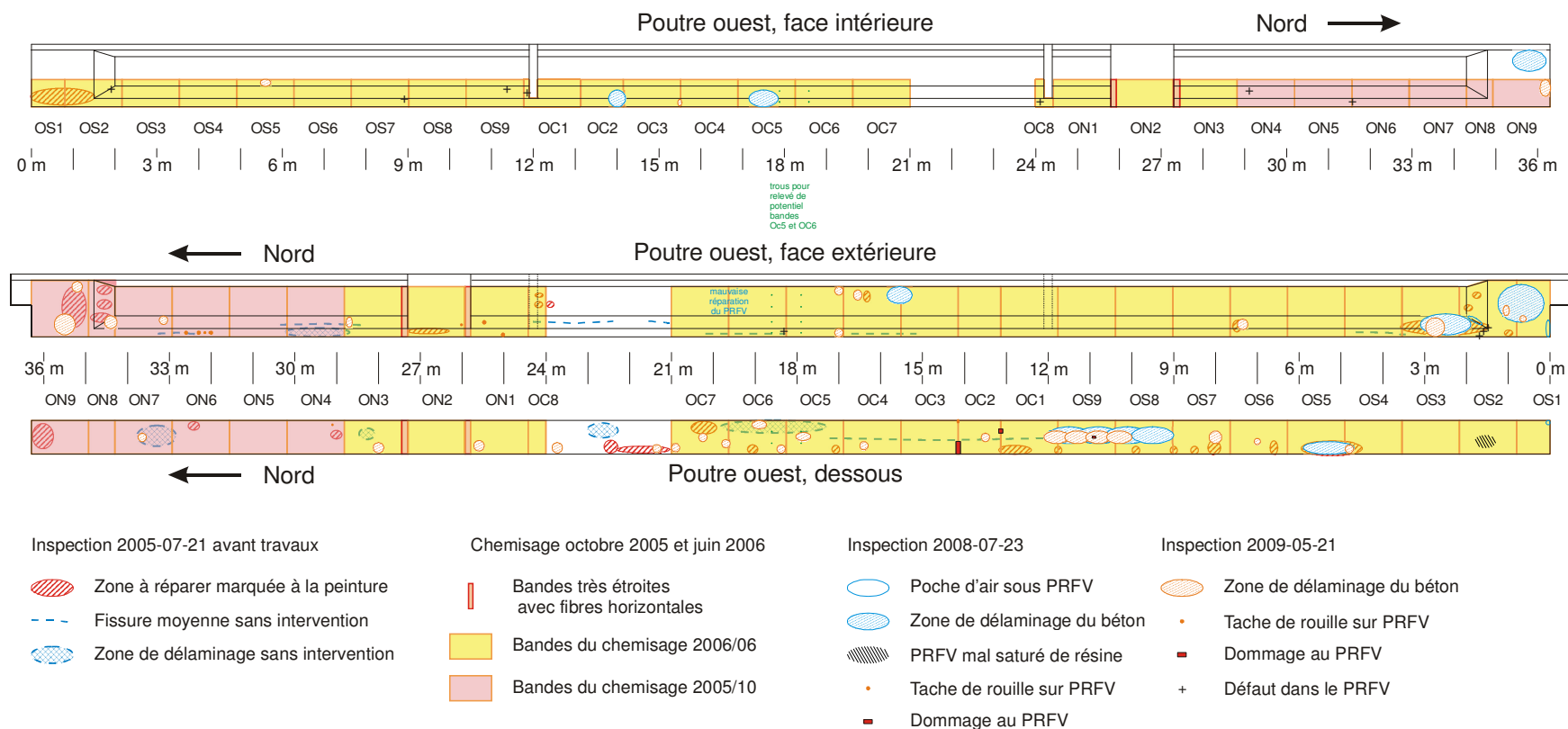


Figure 38 : Sommation des inspections du chemisage en PRFV de la poutre ouest du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

Pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) au-dessus de l'autoroute Félix-Leclerc (A-40)

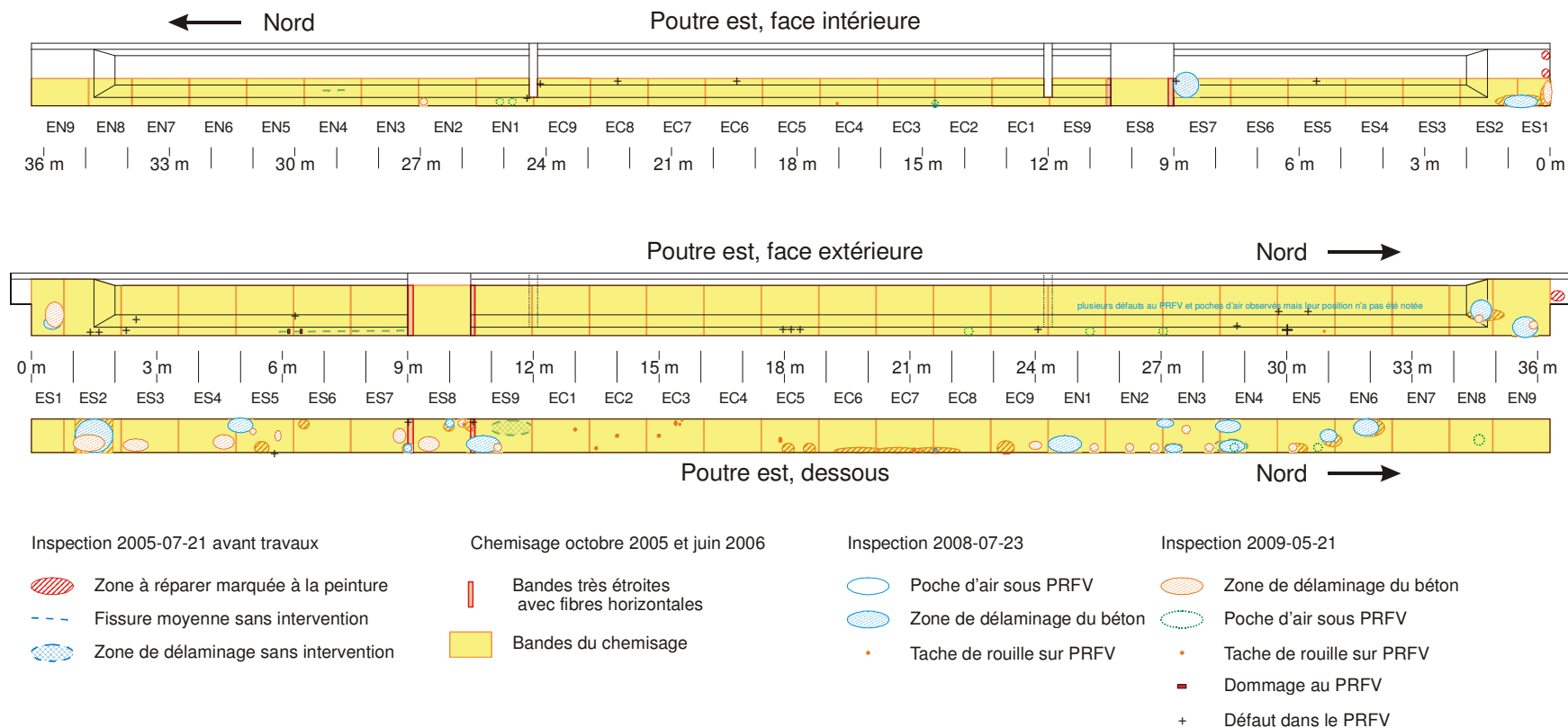


Figure 39 : Somme des inspections du chemisage en PRFV de la poutre est du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

4.3 Monitoring du potentiel des armatures

La mesure du potentiel électrochimique des armatures par rapport à des électrodes de références est une méthode reconnue pour estimer l'activité de corrosion des aciers à l'intérieur du béton. Dans le cadre de ce projet, une caractérisation des armatures par des relevés de potentiels ponctuels ainsi qu'un suivi des potentiels sur une base mensuelle ont été effectués sur les deux ponts d'étagement afin de mieux comprendre l'effet du chemisage en PRFV sur la corrosion. L'installation des électrodes de références permanentes ainsi que les relevés de potentiels au début et à la fin de la période d'étude ont été effectués par Enpar Corrosion Contrôle inc. tandis que le MTQ s'est acquitté des lectures mensuelles. Cette section de ce rapport présente les mesures de potentiel et résume les conclusions qui en ont été déduites. Une description détaillée du monitoring du potentiel électrochimique des armatures est présentée dans les quatre documents rédigés par Enpar Corrosion Contrôle inc. et Brouco Services inc. (BROUSSEAU et DEWEY, 2005; DEWEY, 2006; BROUSSEAU et DEWEY, 2009; BROUSSEAU, 2009).

4.3.1 Relevés de potentiels

Un relevé de potentiel consiste à mesurer le potentiel des armatures par rapport à une électrode de référence selon une grille de positions établie. Dans le cadre de ce projet de chemisage, une électrode Cu/CuSO₄ (cuivre / sulfate de cuivre) amovible a été positionnée à 50 endroits dans la zone de référence non chemisée et à 50 autres endroits à proximité sur la même poutre de rive et recevant le chemisage en PRFV. Le relevé de potentiels initial a été effectué après la réparation des surfaces de béton mais avant l'installation du PRFV. Le relevé de potentiel final effectué près de quatre années plus tard a utilisé les mêmes positions sur les poutres, ce qui a nécessité de perforer le chemisage en PRFV.

Pour un béton non contaminé et normalement exposé aux intempéries climatiques, la méthode d'essai ASTM C876 permet l'interprétation suivante du potentiel des armatures mesuré par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄ à une température d'environ 22 °C :

- Un potentiel moins électronégatif que -200 mV indique une probabilité de corrosion de l'armature faible, inférieure à 10%;
- Le risque de corrosion est incertain lorsque le potentiel est entre -200 et -350 mV;
- Un potentiel plus électronégatif que -350 mV indique une probabilité de corrosion de l'armature élevée, supérieure à 90%; et
- Selon la méthode d'essai ASTM C876, le coefficient de correction pour la température est de -0,9 mV/°C.

Au pont d'étagement de la rue Halpern, le relevé de potentiels initial a été effectué le 7 septembre 2004. Le relevé final a été effectué le 22 juillet 2008 par Brouco Services inc. avant l'exécution des travaux de réparation de la zone de référence non chemisée. Les conditions de température et d'humidité étaient similaires lors des deux relevés de potentiels et aucun ajustement des données n'a été jugé nécessaire par Brouco Services inc. (BROUSSEAU et DEWEY, 2009). Les mesures des relevés de potentiels pour le pont de la rue Halpern sont présentées au

tableau 3. Ces données indiquent un léger accroissement de l'activité de corrosion dans la zone de référence non chemisée puisque la valeur moyenne des potentiels est passée de -272 mV en 2004 à -277 mV en 2008. Les données du tableau 3 démontrent aussi que les potentiels sont significativement moins électro-négatifs sous le chemisage en PRFV puisque la valeur moyenne est passée de -273 mV en 2004 à -226 mV en 2008. Il en a été conclu par Brouco Services inc. (BROUSSEAU et DEWEY, 2009) que l'activité de corrosion avait diminué grâce à la protection offerte par le chemisage en PRFV.

Tableau 3 – Relevés de potentiel au pont de la rue Halpern

Position	Zone de référence non chemisée						Zone chemisée de PRFV					
	30 cm	90 cm	150 cm	210 cm	270 cm	Moyenne	30 cm	90 cm	150 cm	210 cm	270 cm	Moyenne
7 septembre 2004 (22 °C, RH 75%)												
Semelle supérieure face extérieur	-271	-272	-269	-249	-241	-260	-226	-187	-197	-218	-243	-214
Âme face extérieur	-204	-240	-264	-239	-212	-232	-218	-181	-207	-222	-207	-207
Semelle inférieure face extérieur	-281	-272	-261	-253	-243	-262	-262	-261	-300	-311	-371	-301
Âme face intérieur	-313	-277	-252	-235	-216	-259	-256	-264	-412	-392	-407	-346
Semelle inférieure face dessous	-367	-404	-250	-210	-259	-298	-245	-254	-318	-345	-341	-301
Âme face extérieur	-335	-268	-326	-282	-289	-300	-260	-232	-288	-314	-294	-278
Semelle inférieure face intérieur	-425	-278	-482	-364	-353	-380	-244	-250	-268	-343	-366	-294
Âme face intérieur	-271	-265	-343	-275	-279	-287	-242	-235	-263	-508	-431	-336
Moyenne	-289	-272	-292	-257	-249	-272	-241	-232	-274	-309	-308	-273
22 juillet 2008 (20 °C, RH 80%)												
Semelle supérieure face extérieur	-262	-276	-292	-272	-264	-273	-230	-226	-222	-224	-236	-228
Âme face extérieur	-232	-254	-266	-252	-256	-252	-220	-216	-204	-202	-214	-212
Semelle inférieure face extérieur	-222	-230	-266	-216	-230	-233	-204	-208	-200	-192	-202	-201
Âme face intérieur	-216	-236	-232	-230	-222	-227	-200	-202	-196	-194	-214	-201
Semelle inférieure face dessous	-228	-370	-310	-298	-280	-297	-210	-216	-212	-214	-248	-220
Âme face intérieur	-228	-384	-266	-296	-260	-287	-224	-222	-274	-226	-282	-246
Semelle inférieure face dessous	-250	-392	-266	-266	-234	-282	-236	-234	-234	-236	-242	-236
Âme face intérieur	-250	-310	-298	-286	-232	-275	-232	-234	-234	-238	-244	-236
Semelle inférieure face intérieur	-262	-394	-374	-384	-284	-340	-226	-232	-234	-264	-264	-244
Âme face intérieur	-244	-340	-350	-318	-256	-302	-216	-228	-230	-264	-264	-240
Moyenne	-239	-319	-292	-282	-252	-277	-220	-222	-224	-225	-241	-226

Au pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13), le relevé de potentiels initial a été effectué le 14 octobre 2005. Le relevé final a été effectué le 21 mai 2009, exceptionnellement par le personnel du MTQ. Les mesures des relevés de potentiels pour le pont de l'autoroute Chomedey (A-13) sont présentées au tableau 4 et sont nettement plus électro-négatives que celles obtenues pour le pont d'étagement de la rue Halpern. Ces données reflètent une diminution de l'activité de corrosion dans les deux zones de mesure du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13). Dans la zone de référence non chemisée la valeur moyenne des potentiels est passée de -390 mV en 2005 à -352 mV en 2009, alors que sous le chemisage en PRFV, elle est passée de -385 mV en 2005 à -311 mV en 2009. Ainsi, la différence est plus marquée sous le chemisage en PRFV que dans la zone de référence non chemisée. Selon Brouco Services inc., le taux d'humidité relative plus élevé en 2005 ainsi que l'application du mortier cimentaire Structuroc V sur toute la surface sont vraisemblablement les deux principaux facteurs ayant

contribué à la réduction de l'activité de corrosion de la zone non chemisée (BROUSSEAU, 2009). Le rapport de Brouco Services inc. indique aussi que le chemisage en PRFV apporte une certaine protection contre la corrosion, mais que cette protection diminue lorsque le béton est fortement contaminé en ions chlorures.

Tableau 4 – Relevés de potentiel au pont de l'autoroute Chomedey (A-13)

	Zone de référence non chemisée						Zone chemisée de PRFV					
Position	30 cm	90 cm	150 cm	210 cm	270 cm	Moyenne	30 cm	90 cm	150 cm	210 cm	270 cm	Moyenne
	14 octobre 2005 (13 °C, RH 99%)						14 octobre 2005 (13 °C, RH 99%)					
Semelle supérieure face extérieur	-435	-444	-447	-451	-459	-447	-458	-453	-444	-477	-480	-462
	-377	-380	-375	-382	-379	-379	-384	-356	-367	-405	-440	-390
Âme face extérieur	-272	-268	-273	-299	-336	-290	-307	-250	-258	-287	-302	-281
	-251	-259	-265	-284	-353	-282	-274	-245	-273	-289	-298	-276
Semelle inférieure face extérieur	-447	-436	-378	-377	-381	-404	-334	-409	-418	-408	-389	-392
	-518	-495	-429	-436	-450	-466	-337	-432	-460	-467	-457	-431
Semelle inférieure face dessous	-479	-454	-436	-452	-451	-454	-402	-465	-487	-452	-494	-460
	-420	-410	-442	-414	-473	-432	-454	-426	-372	-430	-421	-421
Semelle inférieure face intérieur	-380	-389	-423	-401	-400	-399	-392	-400	-353	-422	-372	-388
	-352	-353	-346	-341	-342	-347	-324	-363	-375	-367	-345	-355
Moyenne	-393	-389	-381	-384	-402	-390	-367	-380	-381	-400	-400	-385
	21 mai 2009 (10 °C, RH 86%)						21 mai 2009 (10 °C, RH 86%)					
Semelle supérieure face extérieur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Âme face extérieur	-188	-194	-216	-211	-217	-205	-202	-211	-212	-229	-231	-217
	-172	-175	-205	-220	-207	-196	-314	-223	-233	-216	-227	-243
Semelle inférieure face extérieur	-492	-420	-385	-436	-463	-439	-293	-347	-339	-333	-340	-330
	-520	-495	-442	-516	-497	-494	-311	-415	-393	-379	-382	-376
Semelle inférieure face dessous	-521	-424	-500	-419	-428	-458	-333	-392	-399	-396	-348	-374
	-412	-374	-335	-356	-394	-374	-337	-354	-302	-391	-345	-346
Semelle inférieure face intérieur	-378	-334	-333	-359	-323	-345	-290	-372	-285	-288	-309	-309
	-322	-296	-281	-294	-313	-301	-286	-327	-283	-287	-291	-295
Moyenne	-376	-345	-337	-351	-355	-352	-296	-330	-306	-315	-309	-311

4.3.2 Suivi mensuel des potentiels

Le suivi mensuel des potentiels a été effectué grâce à des électrodes de référence encastrées dans le béton de la face extérieure de la semelle inférieure. L'installation des électrodes permanentes dans le béton a été effectuée par Enpar Corrosion Contrôle inc. avant la pose du chemisage en PRFV, soit en septembre 2004 et en octobre 2005 pour les ponts d'étagement de la rue Halpern et de l'autoroute Chomedey (A-13), respectivement. Chacun des deux ponts d'étagement a été équipé de quatre électrodes de type Ag/AgCl (argent/chlorure d'argent); deux dans la zone de référence non chemisée et deux sous le chemisage en PRFV. Le MTQ s'est acquitté de prendre les lectures mensuellement à partir d'une boîte de contrôle facilement accessible.

Le suivi mensuel des potentiels du pont d'étagement de la rue Halpern est présenté à la figure 40. Cette figure indique aussi la température de la surface du béton et le taux d'humidité relatif de l'air. Les trois principales observations obtenues à partir de cette figure sont :

- Les potentiels du suivi mensuel sont différents de ceux des relevés en raison des différences dans les réactions électrochimiques entre les deux types d'électrodes de références utilisés. En effet, le potentiel mesuré avec une électrode Ag/AgCl est typiquement 94 mV plus électropositif que le potentiel mesuré avec une électrode Cu/CuSO₄. À partir de ces zones définies par la méthode d'essai ASTM C876 pour des électrodes de référence Cu/CuSO₄, les zones de probabilité de corrosion correspondant aux électrodes de référence Ag/AgCl sont indiquées à la figure 40.
- Les potentiels évoluent selon des cycles annuels différents selon leur position. Le cycle des électrodes sous le chemisage en PRFV est directement relié à la température, les valeurs les moins électronégatives étant enregistrées en hiver. Par contre, le cycle des électrodes dans les zones de référence non chemisées est décalé par rapport au cycle de la température car les potentiels atteignent les valeurs les moins électronégatives à l'automne. Selon Brouco Services inc. (Brousseau et DEWEY, 2009), l'imperméabilisation que procure le chemisage en PRFV semble réduire l'activité de corrosion.
- À l'exception de la première année immédiatement après le chemisage, les potentiels dans la zone de référence non chemisée sont plus électronégatifs que sous le chemisage. Cet écart semble augmenter légèrement avec les années.

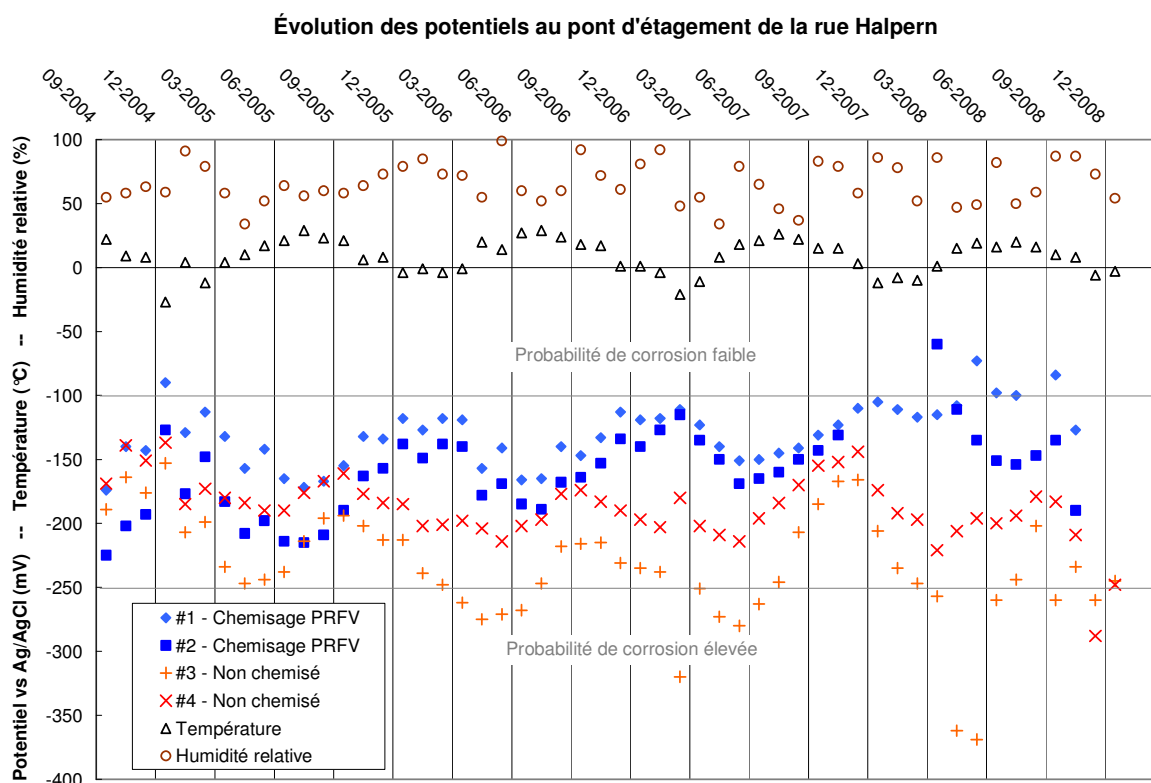


Figure 40 : Suivi mensuel des potentiels au pont d'étagement de la rue Halpern

Le suivi mensuel des potentiels du pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) est présenté à la figure 41, Cette figure indique également la température de la surface du béton et le taux d'humidité relatif de l'air. Il est à noter qu'il n'y a pas eu de lecture des potentiels au cours des premiers mois suivant l'installation des électrodes de référence en octobre 2005, et ce jusqu'à ce que le chemisage en PRFV soit mis en place en juin 2006. En plus du potentiel moins électro négatif des électrodes Ag/AgCl, les quatre principales observations obtenues à partir de cette figure sont :

- Les potentiels au pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13) sont plus électro négatifs que ceux relevés au pont de la rue Halpern.
- Les potentiels mesurés ne peuvent pas être séparés en deux groupes distincts selon la position des électrodes, sous le chemisage en PRFV ou zone de référence non chemisée.
- L'évolution des potentiels ne révèle pas une tendance vers des valeurs moins électro négatives pour les électrodes sous le chemisage en PRFV. Selon Brouco Services inc., les bénéfices en termes de protection contre la corrosion des armatures offerts par un chemisage en PRFV diminuent lorsque la contamination en chlorure du béton augmente (BROUSSEAU, 2009). Brouco Services inc. souligne toutefois que le chemisage n'augmente pas l'activité de corrosion.
- L'électro négativité des potentiels mesurés pendant trois ans se situe à la limite de la zone de probabilité de corrosion élevée. Cette observation est en accord avec les nombreuses taches de rouille observées lors des inspections, et qui indiquent la présence d'un processus de corrosion actif.

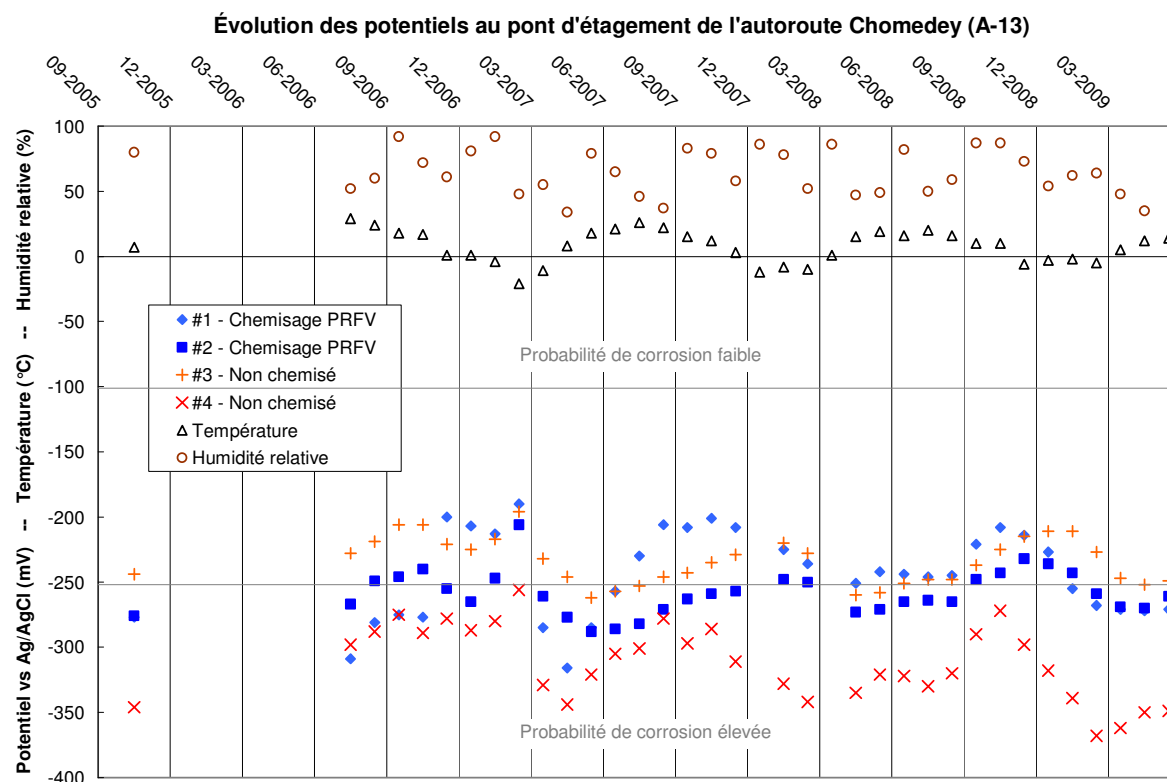


Figure 41 : Suivi mensuel des potentiels au pont d'étagement de l'autoroute Chomedey (A-13)

Le suivi mensuel avec les électrodes de référence permanentes a démontré que le chemisage en PRFV peut contribuer à une stabilisation, voire causer une amélioration, du potentiel électrochimique des armatures. Les potentiels qui tendent à être moins électronégatifs sont associés à une réduction de l'activité de corrosion des armatures. Les relevés de potentiels décrits précédemment indiquent aussi que le chemisage en PRFV induit une certaine forme de protection contre la corrosion. Le rapport de Brouco Services inc. indique cependant que les bénéfices offerts par un chemisage en PRFV diminuent lorsque le béton est fortement contaminé en ions chlorures.

5. CONCLUSIONS

Ce projet de démonstration constitue une vitrine technologique qui a permis de démontrer le potentiel d'une utilisation novatrice des PRF qui consiste à chemiser des poutres afin d'en prolonger la vie utile en toute sécurité. Un tel chemisage permet d'éviter le remplacement de poutres en béton précontraint affectées par un délaminage superficiel, et dont l'intégrité structurale et la capacité portante sont par ailleurs jugées satisfaisantes. Le chemisage préventif de poutres sur deux ponts d'étagement enjambant l'autoroute Félix-Leclerc (A-40) constitue la deuxième phase d'un projet de recherche, et fait suite aux essais en laboratoire effectués à l'Université de Sherbrooke. Les ponts choisis sont celui de la rue Halpern qui a été chemisé en septembre 2004 et celui de l'autoroute Chomedey (A-13) chemisé en juin 2006.

L'objectif premier du projet de recherche consiste à déterminer dans quelle mesure les PRF peuvent être utilisés pour le chemisage préventif de poutres précontraintes. Les essais en laboratoire ont démontré la capacité mécanique et la résistance aux cycles de gel/dégel de cette technologie. Les projets de démonstration ont permis d'établir les coûts d'installation du chemisage en PRFV en utilisant les règles normales d'attribution des contrats. L'extrapolation des données sur le comportement en conditions d'exploitation du chemisage en PRFV recueillies lors des inspections et par le monitoring du potentiel des armatures permettra d'estimer la durée de vie des structures chemisées au moyen de PRF. Les données financières des projets de démonstration, couplées au cycle de vie, permettront au MTQ de procéder à une analyse coûts/bénéfices qui pourra ensuite statuer sur la pertinence du chemisage préventif en PRFV.

Les projets de démonstration en chantier se voulaient aussi des instruments de transfert technologique. Deux objectifs spécifiques ont été proposés à cette fin. Le premier a été atteint par la rédaction d'un devis type en collaboration avec des ingénieurs à la Direction des structures du MTQ. Le devis technique spécial préparé pour le chemisage au moyen de PRFV des deux ponts d'étagement peut facilement être adapté à n'importe quel autre pont. L'autre objectif de transfert technologique consistait à former quelques personnes du MTQ pour la surveillance de la mise en oeuvre des PRF sur des ponts. Le transfert technologique s'est poursuivi par les inspections conjointes.

Un autre objectif important du projet de recherche consiste à établir la durabilité de cette technologie de chemisage en PRF par un suivi des ouvrages de démonstration. Ainsi, le PRFV, le béton et les aciers d'armature ont été étudiés aux deux ponts d'étagement sur une période de presque quatre années.

- Il a été établi par les inspections que ni le PRFV, ni son adhérence au béton ne sont affectés par l'environnement de l'autoroute. Le PRFV a cependant été endommagé lors de travaux d'entretien effectués sur les structures indiquant un besoin d'adapter certaines pratiques.
- Les sondages au marteau ont révélé un nombre croissant de zones de délaminage du béton sous le PRFV. Ces zones de délaminage ont été attribuées à la corrosion des armatures et indiquent que le matériau de chemisage doit posséder une bonne capacité structurale. Les zones de délaminage n'affectent pas la durabilité du chemisage dans la mesure où le PRFV reste bien collé sur l'âme de la poutre.

- Les deux méthodes de monitoring des potentiels des armatures, relevés de potentiels et suivi mensuel, indiquent que le chemisage en PRFV contribue à une stabilisation du potentiel électrochimique des armatures et par conséquent, à une réduction du taux de corrosion. Dans les zones de référence non chemisées, les potentiels des armatures indiquent plutôt une progression de la corrosion.

Sur la base de ces observations, il est raisonnable de conclure que le chemisage en PRFV remplira correctement sa fonction qui consiste à retenir les petits fragments de béton pendant de nombreuses années de service.

Il est recommandé que le MTQ poursuive les inspections régulières pour s'assurer que le délaminage du béton, et autres dommages, ne progressent pas au point de compromettre l'adhérence du chemisage en PRFV sur le béton sain, et de mener à l'arrachement d'une partie du chemisage et du béton qu'il retient. De plus, des inspections après des travaux ou des impacts accidentels sur les poutres sont nécessaires afin d'évaluer les dommages et d'effectuer les réparations appropriées.

6. Références

BROUSSEAU, R., 2009. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Caractérisation du béton (phase 5) Viaduc de l'autoroute 13 au-dessus de l'autoroute 40 – Rapport final, Brouco Services inc., Ottawa, Ontario, Canada, 24 p.

BROUSSEAU, R. et DEWEY S., 2005. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Caractérisation du béton (phase 3) – Rapport d'étape #1, Enpar Corrosion Contrôle inc., St-Hubert, Québec, Canada, 14 p.

BROUSSEAU, R. et DEWEY S., 2009. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Caractérisation du béton – Rapport final, Brouco Services inc., Ottawa, Ontario, Canada, 12 p.

DEMERS, M. et LABOSSIERE, P., 2004. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Rapport final, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, 63 p.

DEMERS, M. et LABOSSIERE, P., 2005. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Démonstration en chantier (phase 2) Rapport des travaux au pont d'égagement de la rue Halpern, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, 64 p.

DEMERS, M. et LABOSSIERE, P., 2006. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Démonstration en chantier (phase 2) Rapport des travaux au pont d'égagement de l'autoroute Chomedey (A-13), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, 49 p.

DEMERS, M., LABOSSIERE, P. et BÉRUBÉ, D., 2003. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de polymères renforcés de fibres de verre, *10^e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art*, sur CDRom, 8 p.

DEMERS, M., LABOSSIERE, P., BÉRUBÉ, D. et MERCIER, C., 2004. Jacketing Prestressed Concrete Beams with Glass FRP, *4^e Conférence internationale sur les matériaux composites d'avant-garde pour ponts et charpentes (ACMBS-IV)*, M. El-Badry et L. Dunaszegi, éditeurs, SCGC, sur CDRom, 8 p.

DEMERS, M., LABOSSIERE, P. et MERCIER, C., 2006. Glass FRP Jacketing of Prestressed Concrete Beams, *7^e Conférence internationale sur les ponts de courte et moyenne portée (SMSB-7)*, SCGC, sur CDRom, 10 p.

DEWEY S., 2006. Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites – Caractérisation du béton (phase 3) – Rapport d'étape #2, Enpar Corrosion Contrôle inc., St-Hubert, Québec, Canada, 13 p.

ANNEXE 1 DEVIS TECHNIQUE SPÉCIAL TYPE

CONTRAT N^o : XXXX-XX-XXXX
PLAN N^o : PO-XX-XXXXX

ADDENDA N^o XX

XX.0 CHEMISAGE AU MOYEN DE FEUILLES DE POLYMÈRES RENFORCÉS DE FIBRES

Les travaux consistent à recouvrir les poutres d'un chemisage au moyen d'une couche de feuilles de polymères renforcés de fibres (PRF).

Les systèmes de PRF suivants sont acceptés par le Ministère :

- le système composé des fibres de verre SikaWrap 430G et de la résine Sikadur 330 fourni par Sika Canada inc. et;
- le Fibrwrap System composé des fibres de verre SEH51 et de la résine Tyfo S fourni par Solhydroc inc.

Un système alternatif de PRF peut être proposé par un fournisseur à condition qu'il démontre que le produit a des propriétés mécaniques et une durabilité supérieures aux systèmes ci-dessus, en fournissant au Ministère les résultats des tests appropriés spécifiés à la norme CAN/CSA-S806.

L'apprêt, les feuilles de PRF, la résine ainsi que tout autre produit faisant partie du chemisage doivent provenir du même fournisseur.

La préparation des surfaces et la mise en œuvre du chemisage doivent se faire en conformité avec les exigences de ce devis et celles du fournisseur et sous la supervision d'un représentant technique du fournisseur présent sur le chantier. L'entrepreneur doit terminer les travaux de réparation de dessous de la dalle en porte-à-faux avant de débiter la préparation des surfaces.

XX.1 Localisation des surfaces

Les poutres de rive n^{os} XX et XX, situées entre les axes XX et XX, seront recouvertes de feuilles de PRF. Les surfaces de la semelle inférieure des poutres de rive doivent être recouvertes de feuilles de PRF; les feuilles doivent se prolonger sur une hauteur de 150 mm le long de la face intérieure sur l'âme des poutres et jusqu'à la dalle sur la face extérieure.

Les poutres intérieures n^{os} XX à XX, situées entre les axes XX et XX, seront recouvertes de feuilles de PRF. Les surfaces de la semelle inférieure des poutres

intérieures doivent être recouvertes de feuilles de PRF; les feuilles doivent se prolonger sur une hauteur de 150 mm sur les deux faces de l'âme des poutres.

La localisation des surfaces est indiquée au plan n° XX ci-joint. [*plan à joindre*]

XX.2 Préparation des surfaces

L'entrepreneur doit enlever par meulage les discontinuités des surfaces de façon à avoir une pente maximale de 10 ° par rapport à l'axe principal de la poutre; dans le cas de discontinuités difficiles à éliminer par meulage, le surveillant peut autoriser l'utilisation d'un mortier cimentaire en sacs. Les arrêtes des chanfreins en particulier et les autres angles longitudinaux doivent être adoucis de manière à obtenir un rayon minimal de 35 mm conformément aux exigences de la norme CAN/CSA-S6.

Les trous dans la surface de béton, laissés par des ancrages ou toute autre raison, doivent être nettoyés et comblés convenablement.

Les surfaces endommagées indiquées par le surveillant doivent être réparées au moyen de mortier cimentaire en sacs. Ces surfaces doivent être préalablement nettoyées au moyen d'un jet d'abrasif humide et ensuite recouvertes du mortier. La cure du mortier recommandée sur la fiche technique du fabricant doit être complétée avant de procéder au nettoyage final des surfaces.

À l'intérieur d'un délai de 48 heures avant la pose de l'apprêt, l'entrepreneur doit effectuer le nettoyage final des surfaces à recouvrir de feuilles de PRF au moyen d'un jet d'abrasif humide. Le nettoyage est réalisé de façon à détacher toute particule non adhérente à la surface et de façon à enlever la laitance en surface (fini de type léger selon les exigences du CCDG).

Immédiatement avant l'application de l'apprêt et des feuilles de PRF, les poussières et les débris doivent être enlevés au moyen d'un jet d'air comprimé. L'entrepreneur doit utiliser des trappes et des séparateurs entre le compresseur et le conduit d'air afin que l'air comprimé soit exempt d'huile et d'eau.

XX.3 Mise en œuvre

L'entrepreneur doit remettre au surveillant la procédure de mise en œuvre du chemisage au moyen de feuilles de PRF au moins 14 jours avant le début de la préparation des surfaces. La procédure doit notamment indiquer les proportions de mélange des résines, les durées où les résines fraîches peuvent être utilisées, les températures de travail admissibles, les taux d'application des produits et tous autres renseignements utiles. Cette procédure doit respecter les directives d'installation du fabricant. La procédure doit aussi inclure un plan d'installation du chemisage en PRF qui indique les dimensions et la position prévues pour chacune des bandes.

Les matériaux composant le chemisage doivent être entreposés à l'intérieur et à l'abri du gel. Ces matériaux ne doivent pas être utilisés s'ils ont été mouillés ou contaminés, ou que leur emballage est abîmé.

L'entrepreneur doit protéger contre les éclaboussures les surfaces de béton de l'ouvrage non recouvertes de feuilles de PRF et les voies de circulation situées en dessous des poutres à chemiser lors de l'application de l'apprêt et de la résine ainsi que lors de toute autre opération du chemisage.

Matériau 1 : le système SikaWrap

- Apprêt

L'apprêt est une couche de la résine Sikadur 330 appliquée directement sur le béton pour le saturer. L'application de l'apprêt est permise :

- lorsque la température ambiante et celle du béton sont supérieures à 10 °C et inférieures à 50 °C;
- et lorsqu'il n'y a pas de risque de pluie et de gel pendant les 24 heures suivant la pose;
- et immédiatement après une période de 2 jours consécutifs sans pluie; les surfaces de béton doivent être sèches au moment de la pose de l'apprêt. Aucun nettoyage au moyen d'un jet d'eau sous pression n'est permis durant cette période de 2 jours.

L'apprêt doit être appliqué au moyen d'une truelle et couvrir toute la surface à recouvrir de feuilles de PRF.

- Feuilles de PRF

L'application des feuilles de PRF doit être complétée à l'intérieur d'un délai maximal de 1 heure suivant la pose de l'apprêt.

Les feuilles de PRF doivent être posées de façon à ce que l'axe des fibres de verre soit perpendiculaire à l'axe des poutres; la linéarité et l'orientation des fibres doivent être maintenues jusqu'au durcissement de la résine. Chaque feuille doit avoir une longueur continue sans joints ni coupures, selon l'axe des fibres de verre, de X,XX m. Les feuilles sont placées côte à côte, sans chevauchement ni espace entre elles.

L'entrepreneur doit effectuer le malaxage de la résine conformément aux exigences du fournisseur des feuilles de PRF jusqu'à ce que les composantes soient complètement et uniformément mélangées, sans emprisonner de bulles

d'air. L'ajout de solvant ou de tout autre produit à la résine est strictement interdit. La résine mélangée dont la durée de vie en pot est dépassée ne doit pas être utilisée.

Les surfaces de béton à recouvrir de feuilles de PRF doivent être recouvertes d'une couche de résine en pâte; celle-ci doit être appliquée à la truelle dentée selon un taux de pose suffisant correspondant au relief des surfaces à recouvrir et doit demeurer suffisamment fluide jusqu'au moment de la pose des feuilles de PRF pour imprégner complètement les feuilles. L'imprégnation de la résine en pâte dans les fibres est effectuée au moyen d'un rouleau débulleur. Plusieurs passes du rouleau sont nécessaires et il faut ajouter de la résine au besoin.

L'air emprisonné entre le béton et les feuilles de PRF doit être chassé avant le durcissement de la résine de manière à ce que les fibres épousent parfaitement le contour des poutres. Pour ce faire, il faut procéder de façon parallèle aux fibres de verre des feuilles de PRF en partant du centre vers une des extrémités à la fois.

Matériau 2 : le Fibrwrap system

- Apprêt

L'apprêt est une couche de la résine Tyfo S appliquée directement sur le béton pour le saturer. L'application de l'apprêt est permise :

- lorsque la température ambiante et celle du béton sont supérieures à 5 °C ;
- et lorsqu'il n'y a pas de risque de pluie et de gel pendant les 24 heures suivant la pose ;
- et immédiatement après une période de 2 jours consécutifs sans pluie; les surfaces de béton doivent être sèches au moment de la pose de l'apprêt. Aucun nettoyage au moyen d'un jet d'eau sous pression n'est permis durant cette période de 2 jours.

L'apprêt doit être appliqué au moyen d'un rouleau et couvrir toute la surface à recouvrir de feuilles de PRF.

- Feuilles de PRF

L'application des feuilles de PRF doit se faire à l'intérieur d'un délai maximal de 3 heures suivant la pose de l'apprêt.

Les feuilles de PRF doivent être posées de façon à ce que l'axe des fibres de verre soit perpendiculaire à l'axe des poutres; la linéarité et l'orientation des

fibres doivent être maintenues jusqu'au durcissement de la résine. Chaque feuille doit avoir une longueur continue sans joints ni coupures, selon l'axe des fibres de verre, de X,XX m. Les feuilles sont placées côte à côte, sans chevauchement ni espace entre elles.

L'entrepreneur doit effectuer le malaxage de la résine conformément aux exigences du fournisseur des feuilles de PRF jusqu'à ce que les composantes soient complètement et uniformément mélangées, sans emprisonner de bulles d'air. Un agent thixotropique, qui augmente la viscosité de la résine, recommandé par le fournisseur doit être ajouté au besoin. L'ajout de solvant ou de tout autre produit à la résine est strictement interdit. La résine mélangée dont la durée de vie en pot est dépassée ne doit pas être utilisée.

Les surfaces de béton à recouvrir de feuilles de PRF doivent être recouvertes d'une couche de résine; celle-ci doit être appliquée selon un taux de pose suffisant correspondant au relief des surfaces à recouvrir et doit demeurer suffisamment fluide jusqu'au moment de la pose des feuilles de PRF pour imprégner complètement les feuilles. Alternativement, les feuilles de PRF peuvent être saturées de résines par un procédé indépendant puis positionnées sur la surface de béton apprêtée. Le mouillage et le positionnement doivent être complétés à l'intérieur de la durée de vie en pot de la résine.

L'air emprisonné entre le béton et les feuilles de PRF doit être chassé avant le durcissement de la résine de manière à ce que les fibres épousent parfaitement le contour des poutres. Pour ce faire, il faut procéder de façon parallèle aux fibres de verre des feuilles de PRF en partant du centre vers une des extrémités à la fois.

Les feuilles de PRF, aussitôt mises en place, doivent être protégées afin de maintenir en tout temps des conditions favorables durant la période de cure de la résine. La durée de la cure est d'au moins 2 jours consécutifs. Durant la période de cure, l'entrepreneur doit s'assurer que la température de l'air adjacent aux feuilles de PRF soit au-dessus de 5 °C et que les feuilles soient protégées des intempéries, des embruns et de la condensation.

L'entrepreneur doit fournir au surveillant l'accès aux surfaces recouvertes pour fins de vérification. Après la cure et en présence de l'entrepreneur, le surveillant vérifie l'adhérence des feuilles de PRF au substrat de béton. Les feuilles non adhérentes sur une surface excédant un diamètre de 50 mm ou celles où la somme des surfaces non adhérentes dépasse 5 % pour chaque m² de feuille doivent être enlevées et remplacées par de nouvelles feuilles.

- **Peinturage de surfaces des feuilles de PRF**

Les travaux consistent à recouvrir d'une peinture polyuréthane aliphatique à deux composants les surfaces des feuilles de PRF.

Les travaux doivent être conformes aux exigences des articles pertinents de la section 17.4 du CCDG liés à l'homologation, l'attestation de conformité, le contrôle de réception, le peinturage, les conditions d'application, l'application et la détermination de l'épaisseur.

L'entrepreneur doit protéger contre les éclaboussures les surfaces de béton ou autres du pont, qui ne sont pas à recouvrir de peinture, et les voies de circulation situées en dessous lors de l'application de la peinture. Les surfaces à recouvrir doivent être clairement délimitées de façon à avoir des transitions rectilignes avec les zones environnantes.

La préparation et le peinturage des surfaces doivent être réalisés à l'intérieur d'un délai maximal de 7 jours suivant la fin de la période de cure de la résine.

Les surfaces doivent être traitées à l'aide d'un nettoyant à base d'eau de façon à obtenir une surface propre, et adéquatement altérée en surface pour permettre une meilleure adhérence de la peinture de finition. La procédure de préparation des surfaces doit être soumise par le fournisseur de peinture au moins une semaine avant la réalisation des travaux pour fins d'approbation.

Les surfaces doivent être recouvertes d'une peinture polyuréthane aliphatique à deux composants, d'une épaisseur de feuil sec minimum de 50 µm. La peinture utilisée doit être un constituant de l'un des systèmes de peintures homologués par le Ministère, ou un produit jugé supérieur. La peinture doit être de couleur gris n° 36357 identifiée dans la norme US Fed Std 595B «Color Used in Government Procurement».

La liste des systèmes de peinture homologués est disponible sur le site Internet du ministère des Transports à l'adresse suivante : <http://www.mtq.gouv.qc.ca>.

Le feuil de peinture doit avoir une adhérence minimale de 4A lorsqu'il est soumis à l'essai décrit dans la norme ASTM D3359 «Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test – Method A – X Cut Tape».

XX.4 Mode de paiement

Le chemisage au moyen de feuilles de PRF est payé au mètre carré de surface recouverte de feuilles de PRF. Le prix comprend la fourniture des matériaux, la préparation des surfaces, la mise en œuvre de l'apprêt et des feuilles de PRF et toute dépense incidente.

Le peinturage de surfaces recouvertes de feuilles de PRF est payé au mètre carré. Le prix comprend la préparation des surfaces, la fourniture des matériaux, la mise en œuvre et toute dépense incidente.

La réparation des surfaces de béton des poutres au moyen de mortier cimentaire en sacs est payée au mètre carré de surface réparée. Le prix comprend la fourniture des matériaux, la mise en œuvre, le nettoyage et toute dépense incidente.

Québec, le

DIRECTION TERRITORIALE

SOUSSIONNAIRE

ADRESSE

DATE