

PROTECTION DES POUTRES EN BÉTON AU MOYEN D'ENDUITS DE SURFACE

Auteurs : Réjean Brousseau, Ph. D. et Sébastien Dewey, ing. jr
Enpar Corrosion Contrôle Inc.

Denis Bérubé, ing. et Daniel Bouchard, ing.
Ministère des Transports du Québec (Direction des structures)

RÉSUMÉ

La présentation qui suit porte sur le projet de recherche ayant pour but d'établir la capacité des enduits de surface à réduire la corrosion des armatures des ponts à poutres en béton précontraint. Quatre enduits de surface ont été appliqués sur deux ponts à poutres en béton précontraint situés au croisement des autoroutes 15 et 640 à Boisbriand. Les poutres de rive des deux ponts ont été choisies pour y appliquer les enduits, car celles-ci sont les plus exposées aux intempéries et aux embruns salins de la circulation.

Il est bien connu que la corrosion des armatures est, entre autres, amorcée par la pénétration des ions chlorures dans le béton. Donc une caractérisation du béton et des armatures en chantier (relevés de potentiels et tests en ions chlorures) et le suivi sur une base mensuelle des potentiels obtenus à partir des électrodes de référence permanentes nous ont permis d'établir avec succès la pertinence de l'application des enduits de surface sur des poutres en béton précontraint.

INTRODUCTION

Ce projet de recherche a pour but d'établir la capacité des enduits de surface à réduire la corrosion des armatures des ponts à poutres en béton précontraint. Dans ce projet, il y a eu l'application de quatre enduits sur deux ponts à poutres situés au croisement des autoroutes 15 et 640 à Boisbriand. Les poutres de rive sur les deux ponts ont été choisies pour y appliquer les enduits, car elles sont les plus exposées aux intempéries et aux embruns salins de la circulation. Les quatre enduits utilisés ont été sélectionnés par le ministère des Transports du Québec. Ils ont été posés par les fournisseurs selon leurs devis techniques afin d'assurer la meilleure pose possible.

Une caractérisation détaillée du béton et des armatures au début et à la fin de ce projet (relevé de potentiels et test des ions chlorures) nous a permis de mieux évaluer la capacité de ces enduits de surface à réduire la corrosion des armatures. Le plan général du site figure sur le schéma n° 1 sur lequel sont indiqués en bleu les emplacements des planches d'essai. Elles sont situées au-dessus des voies de gauche et du centre, laissant la zone de référence au-dessus de l'accotement de gauche. Lors des travaux initiaux, nous avons également procédé à l'enlèvement du béton délaminé là où c'était physiquement possible afin de réduire au minimum l'impact sur les mesures des relevés de potentiels.

Il est bien connu que la corrosion des armatures est, entre autres, amorcée par la pénétration des ions chlorures dans le béton. C'est pour cette raison que la capacité des enduits à réduire ou à retarder la pénétration des ions chlorures est mise à profit afin de prolonger la vie utile des poutres en béton précontraint. Cela explique l'importance d'un suivi de l'activité de la corrosion des armatures par des électrodes de référence permanentes tout au long de ce projet.

Cet article fait d'abord état des travaux effectués en chantier, soit en 2001 et 2004. Dans le cadre de l'interprétation des résultats, il est opportun de réitérer les valeurs pertinentes à la caractérisation du béton prises en 2001 afin de les comparer avec celles prises en 2004. Enfin, cet article se termine avec des conclusions tirées de l'ensemble des données obtenues dans ce projet.

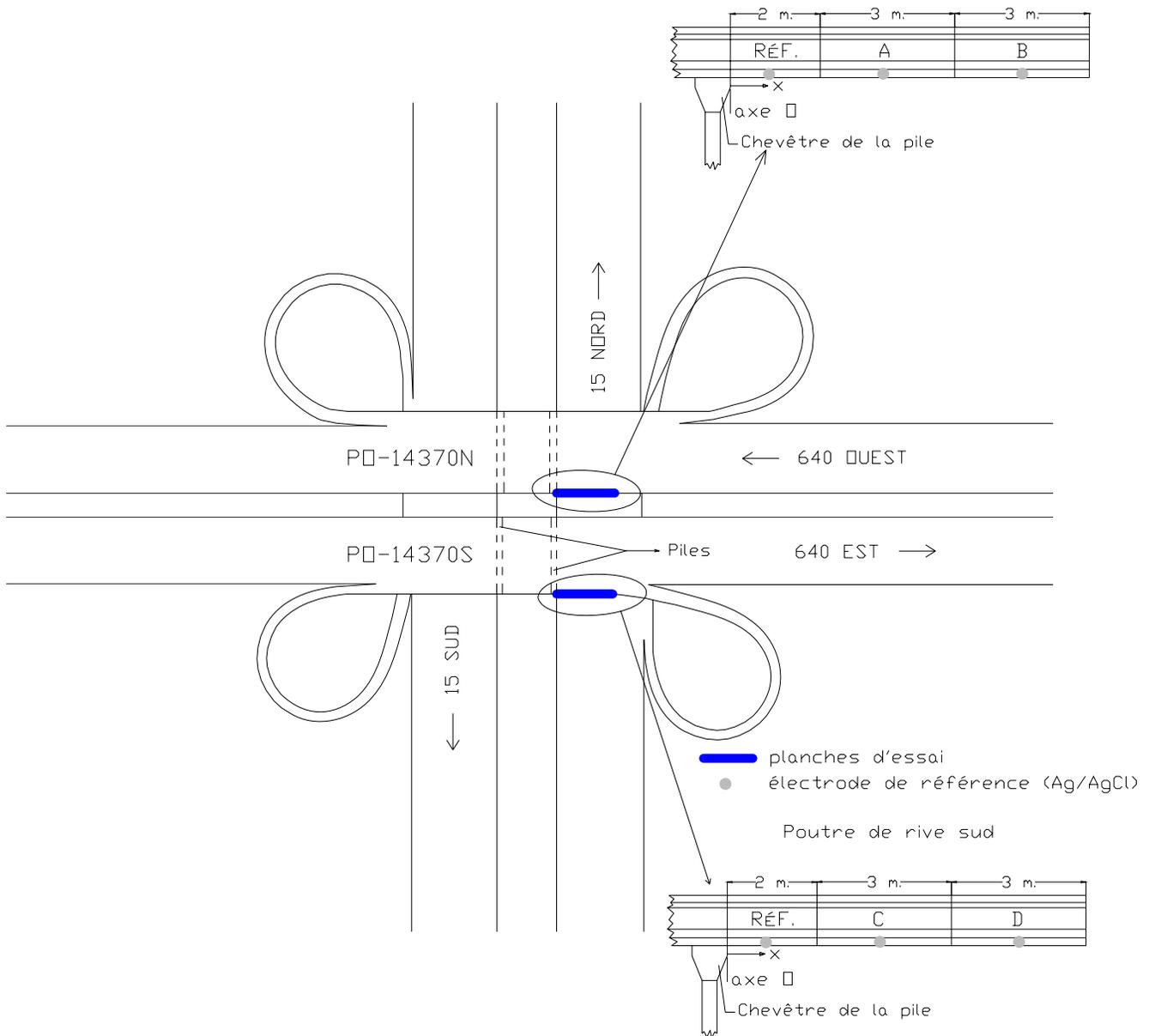


Schéma n° 1 : Plan général du site

TRAVAUX EFFECTUÉS

Les travaux nécessaires à la caractérisation du béton au début de ce projet ont été effectués en septembre 2001. La caractérisation du béton et l'installation des enduits de surface des planches d'essai se résument en ces quelques points :

- Prise d'échantillons pour le test des ions chlorures;
- Mesure de la résistivité sur les deux poutres de rive;
- Relevé de potentiels ponctuels par rapport à une électrode de référence de Cu/CuSO₄ sur les six planches d'essai;
- Enlèvement des délaminations sur les deux poutres de rive;
- Nettoyage au jet de sable des poutres de rive;
- Pose d'une couche de peinture protectrice sur les aciers d'armature devenus apparents;
- Installation des six électrodes de référence permanentes d'essai au centre de chacune des planches d'essai (sur la face verticale de la semelle inférieure des poutres);
- Installation de conduits (PVC) et de deux boîtes de contrôle sur les piles est des deux ponts;
- Pose des quatre imperméabilisants, deux par poutre de rive (voir la photo n^o 1 à l'annexe);
- Pose des quatre enduits de surface, deux par poutre de rive (voir les photos n^{os} 2 et 3 à l'annexe).

Les travaux devaient préalablement se faire sur l'accotement de droite, ainsi que sur la voie de droite et celle du centre de l'autoroute 15 en direction nord. Pour des raisons de circulation, nous avons dû effectuer les travaux sur l'accotement de gauche, la voie de gauche et la voie du centre afin que tout soit réalisé de la façon la plus sécuritaire possible. Les quatre enduits utilisés ont été sélectionnés par le ministère des Transports du Québec; ces quatre enduits étaient les seuls acceptés, à ce moment-là, par le Ministère pour l'entretien de ses ouvrages. Les enduits ont été posés par les fournisseurs pour s'assurer de la meilleure pose possible et au taux recommandé dans le devis du Ministère. Les poutres de rive sur les deux ponts ont été choisies pour y appliquer les enduits puisqu'elles sont les plus exposées aux intempéries et aux embruns salins de la circulation.

Il y a eu sur une base mensuelle, au cours des trois dernières années, les prises de mesures de potentiels des électrodes de référence permanentes par Monsieur Athanas Claveau du ministère des Transports du Québec.

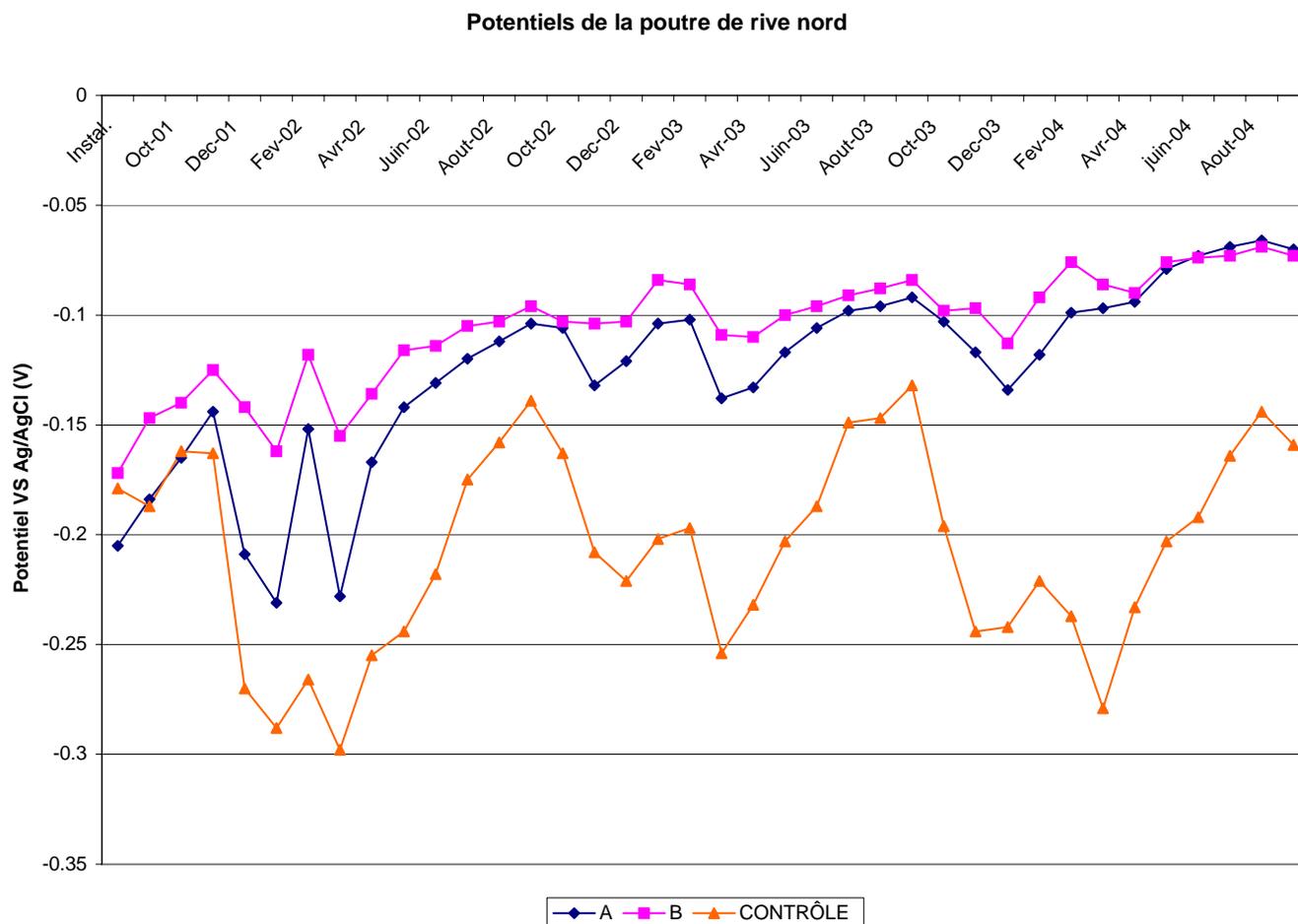
Les travaux nécessaires à la caractérisation du béton à la fin de ce projet ont été effectués en septembre 2004 et se résument en ces quelques points :

- Relevé de potentiels ponctuels par rapport à une électrode de référence de Cu/CuSO₄ sur les six planches d'essai (aux fins de comparaison avec celles prises au début du projet);
- Prise des échantillons pour le test des ions chlorures.

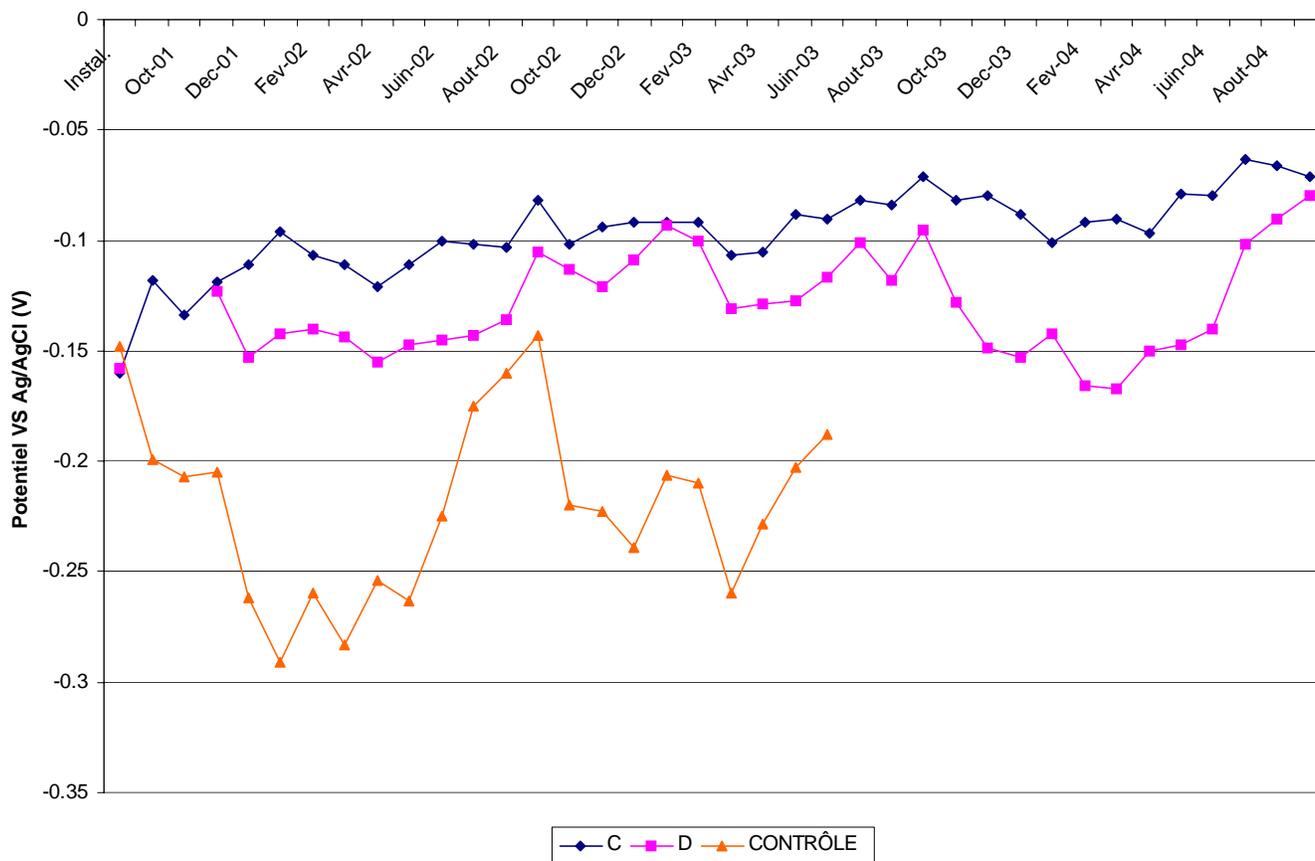
RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Potentiels des armatures en fonction du temps par rapport aux électrodes de référence permanentes

L'insertion d'électrodes de référence permanentes en argent et chlorures d'argent dans les poutres était un outil indispensable à la réalisation de ce projet. Les électrodes de référence permanentes (Ag/AgCl) ont été installées sur la face verticale de la semelle inférieure des différentes poutres de rive. Les deux graphiques suivants montrent les potentiels mesurés en fonction du temps, par rapport aux différentes électrodes de référence permanentes (Ag/AgCl). Ces mesures ont été prises, sur une base mensuelle, à partir des deux boîtes de contrôle reliées aux électrodes de référence instrumentant les deux poutres de rive. La première valeur qui figure sur les graphiques est celle prise lors des travaux en 2001.



Potentiel de la poutre de rive sud



Les valeurs de potentiels de l'électrode de référence dans la section contrôle de la poutre de rive sud ont été volontairement omises, dans le graphique précédent, à partir du mois de juillet 2003, car l'électrode a fait défaut. De plus, l'électrode de référence dans la zone où le produit D est appliqué a été changée à la fin novembre 2001, ce qui explique les deux données manquantes pour cette électrode pour les mois d'octobre et novembre 2001.

Notre interprétation des données précédentes nous permet d'affirmer que les enduits de surface semblent bien imperméabiliser le béton contre la pénétration des ions chlorures et de l'eau, puisque l'activité de corrosion ne semble pas avoir augmenté aux endroits où les différents enduits de surface ont été appliqués. Pour les zones de contrôle, les valeurs se déplacent dans une plage de potentiels plus électro-négative au cours des périodes hivernales, reflétant une activité de corrosion accrue. Par contre, là où les enduits ont été appliqués, les valeurs de potentiels demeurent relativement stables et plus électro-positives, et ce, peu importe la saison. L'augmentation de l'activité de corrosion durant l'hiver dans les zones de contrôle est fort probablement reliée à l'épandage des sels de déglacage sur les routes. La variance saisonnière des potentiels au cours des dernières années (2001 à 2004) est, là où les enduits ont été appliqués, toujours inférieure comparativement aux zones de contrôle.

2. Relevés de potentiels (début et fin du projet)

Les relevés de potentiels des armatures ont été effectués selon la procédure qui suit. Sur l'axe vertical, les mesures ont été prises aux emplacements illustrés sur le schéma n° 2 ci-dessous. Sur l'axe horizontal, les premières séries de mesures ont été prises à 28 cm du point O du schéma n° 1. Par la suite, l'espacement horizontal typique entre les autres prises de données était de 30 cm.

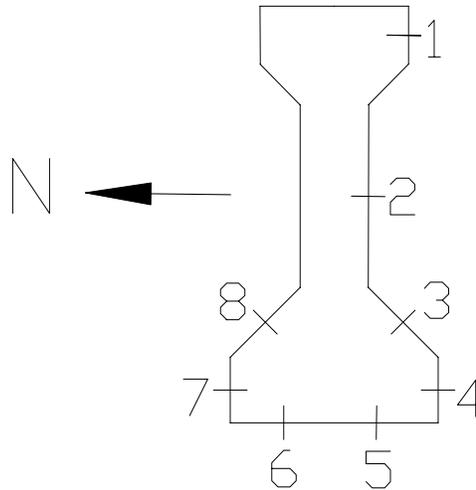
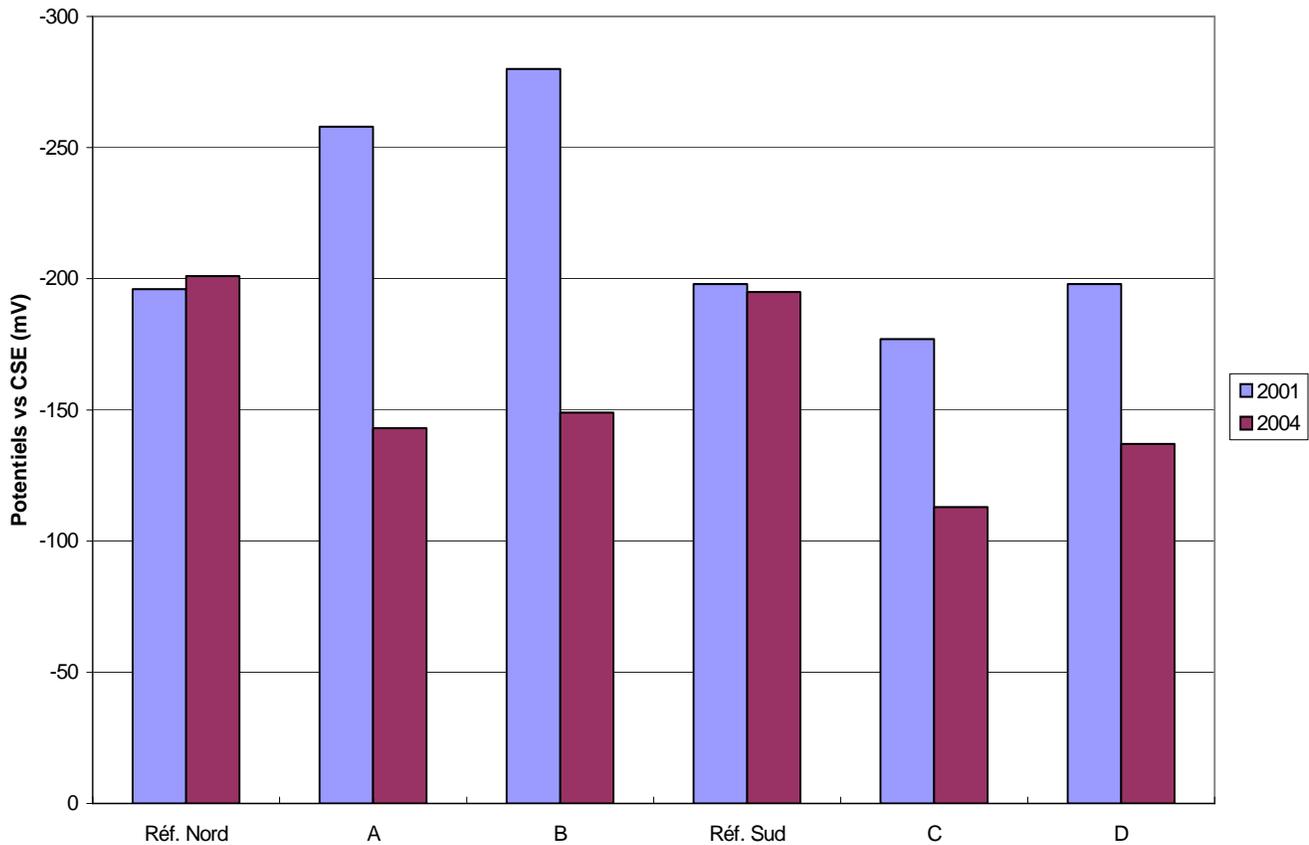


Schéma n° 2 : Emplacement des prises de mesures sur l'axe vertical

La moyenne des potentiels électrochimiques des armatures de chacune des zones se retrouve dans le graphique qui suit. Il est bon de noter que nous ne pouvons pas comparer les valeurs obtenues dans la section précédente (Ag/AgCl) avec celles obtenues à l'aide d'une électrode de référence de Cu/CuSO₄. Par contre, les tendances générales et les variations de potentiels sont comparables entre les mesures recueillies avec les deux types d'électrodes (Cu/CuSO₄ et Ag/AgCl). Ces valeurs ont été prises au début (septembre 2001) et à la fin du projet (septembre 2004).

Potentiel moyen des différentes zones des poutres de rive



Il est intéressant de souligner que les données de ce graphique reflètent une augmentation appréciable des potentiels (plus électropositifs) aux endroits où les enduits de surface ont été appliqués. Les relevés de potentiels et le graphique ci-dessus nous montrent également que la moyenne des potentiels est demeurée sensiblement la même dans les zones de contrôle.

Nous pouvons donc affirmer, à partir des données recueillies lors des relevés de potentiels, que les quatre enduits de surface utilisés apportent une protection contre la corrosion des aciers d'armature des ponts à poutres en béton précontraint.

Rappelons que la norme ASTM C876 « *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* » stipule qu'aux endroits où l'on mesure un potentiel des aciers d'armature supérieur à -200 mV, le risque de corrosion est faible (10 %); lorsqu'il est situé entre -200 et -350 mV, le risque de corrosion est incertain et lorsque le potentiel est inférieur à -350 mV, le risque de corrosion des armatures est élevé (90 %). Cela nous indique que le risque de corrosion des armatures est plus faible aux endroits où les enduits ont été appliqués que dans les zones de contrôle.

3. Concentration en ions chlorures dans le béton

Les essais de teneur en ions chlorures ont été effectués en estimant la quantité de ciment à 420 kg/m^3 pour une poutre en béton précontraint. Les résultats de ces tests nous indiquent le pourcentage massique des ions chlorures totaux contenus dans le ciment et dans le liant. Les échantillons ont été prélevés sur chacune des planches d'essai à une profondeur allant jusqu'à environ 12,5 millimètres sur la face verticale de la semelle inférieure des poutres. Les résultats des essais effectués sur les échantillons de poudre de béton ainsi prélevés sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau n° 1 : Concentration en ions chlorures dans le béton (2001)

Zone de prélèvement	Pourcentage massique des ions chlorures totaux en surface en 2001 (% CL)	
	Béton	Liant
Poutre de rive nord		
Référence	0,158	0,88
Produit A	0,179	1,00
Produit B	0,234	1,31
Poutre de rive sud		
Référence	0,082	0,46
Produit C	0,091	0,51
Produit D	0,116	0,65

Tableau n° 2 : Concentration en ions chlorures dans le béton (2004)

Zone de prélèvement	Pourcentage massique des ions chlorures totaux en surface en 2004 (% CL)	
	Béton	Liant
Poutre de rive nord		
Référence	0,145	0,81
Produit A	0,139	0,78
Produit B	0,106	0,59
Poutre de rive sud		
Référence	0,132	0,74
Produit C	0,133	0,74
Produit D	0,202	1,13

Les concentrations en ions chlorures mentionnées ci-dessus sont supérieures à la concentration critique pour l'amorce de la corrosion des armatures. Bien que les concentrations en ions chlorures représentent un paramètre important dans une étude de la corrosion des aciers d'armature, nous jugeons préférable de ne tirer aucune conclusion à partir de ces données, car les valeurs de 2001 et de 2004 de la poutre de rive nord peuvent mettre en doute la fiabilité de ces données.

CONCLUSION

Ce projet de recherche avait pour but d'établir la capacité des enduits de surface à réduire la corrosion des armatures des ponts à poutres en béton précontraint. Les quatre enduits de surface ont été appliqués sur deux ponts à poutres en béton précontraint situés au croisement des autoroutes 15 et 640 à Boisbriand.

Une caractérisation du béton et des armatures en chantier (relevés de potentiels et tests en ions chlorures) et le suivi sur une base mensuelle des potentiels obtenus à partir des électrodes de référence permanentes nous ont permis d'établir avec succès la pertinence de l'application des enduits de surface sur des poutres en béton précontraint.

Ce projet de recherche nous a permis d'établir que les quatre enduits de surface apportent un bénéfice évident à réduire et à retarder l'ampleur de la corrosion des armatures des poutres en béton précontraint. En effet, les valeurs dans les zones de contrôle se déplacent dans une plage de potentiels plus électro-négative au cours des périodes hivernales, reflétant ainsi une corrosion accrue des armatures, probablement causée, entre autres, par l'épandage de sel de déglacage sur les routes durant l'hiver. Le risque de corrosion des armatures, tel qu'il est établi par la norme ASTM C876 « *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* », est plus faible aux endroits où les enduits ont été appliqués que dans les zones de contrôle. L'application d'un enduit de surface est un outil efficace afin de prolonger la vie utile des structures en béton précontraint.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes :

Monsieur Gilbert Bossé, ing., pour la coordination de la circulation et de la sécurité,

Monsieur Athanas Claveau, pour la prise des mesures de potentiels et son soutien technique, ainsi que les différentes compagnies qui ont fourni les enduits et les ont posés à leurs frais.

Annexe

Photo n° 1 : Application des imperméabilisants



Photo n° 2 : Application d'enduit sur la poutre de rive sud

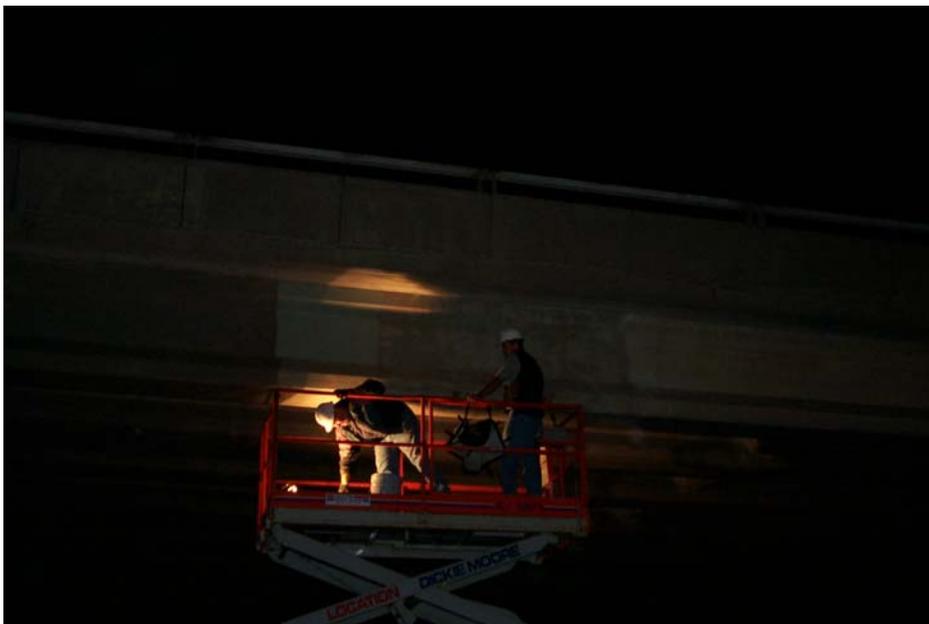


Photo n° 3 : Application d'enduit sur la poutre de rive nord

