

Ministère des Transports du Québec

Projet de recherche : 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 (P-13720). N/Réf. : 33110 R466.5

RAPPORT FINAL

Préparé à l'attention de : M. Christian Mercier, ing. Direction des structures



Préparé par : Rejean Brousseau, Ph.D.
Brouco Services Inc.

Novembre 2009

RÉSUMÉ

Les sels de déglacage peuvent provoquer la corrosion de l'acier d'armature, et du même coup la détérioration du béton. Afin de mieux comprendre la capacité du chemisage en PRFV à réduire la corrosion des armatures des ponts à poutres en béton précontraint, ce projet de recherche a été entrepris.

Dans le cadre de cette investigation, le ministère des Transports du Québec a choisi comme banc d'essai un pont à poutres en béton précontraint situé au croisement des autoroutes 13 et 40. Ce projet fait suite à une première étude entreprise au viaduc de la rue Halpern qui chevauche l'autoroute 40. Le suivi sur une base mensuelle des potentiels obtenus à partir d'électrodes de référence permanentes en plus de la caractérisation des armatures par relevés de potentiels ponctuels à l'aide d'une électrode de référence amovible, ont permis d'établir avec succès la pertinence et le mérite de l'application du chemisage en PRFV à combattre la corrosion des armatures des ponts à poutres en béton précontraint. Cependant l'efficacité du PRFV à combattre la corrosion est beaucoup moins évidente pour le Viaduc situé au croisement des autoroutes 13 et 40.

Nous interprétons de cette étude que le chemisage au PRV réussit à réduire la corrosion des ponts à poutres, mais que son mérite décroît plus un béton existant est contaminé par les ions chlorures et par conséquent il n'est pas nécessairement rentable d'utiliser cette méthode de protection contre la corrosion lorsque la contamination du béton en chlorures est trop élevée.

INTRODUCTION :

Il est bien connu que la corrosion des armatures est, entre autres, causée par la pénétration des ions chlorures dans le béton. Celle-ci pose un défi constant au ministère des transports du Québec qui possède des centaines de ponts à poutres précontraintes. Les dégâts engendrés par la corrosion ont souvent une portée considérable, en particulier aux poutres soumises à une plus grande exposition aux embruns salins de la circulation. La corrosion des aciers d'armatures peut, et ce parfois de façon inattendue, entraîner la chute de fragment de béton sur les voies de circulation. Ces fragments de béton proviennent habituellement de la couche superficielle située sous le lit d'armature inférieur de la poutre. Parmi les moyens de protection contre la corrosion, l'application d'un chemisage apporte une protection attrayante, en particulier pour les poutres de rive ayant une exposition supérieure aux chlorures des sels de déglacement.

Ce rapport présente un bilan d'une recherche ayant pour objet de déterminer l'efficacité du chemisage au moyen de PRFV à réduire la corrosion des aciers d'armatures des poutres en béton précontraint. Dans ce projet qui a débuté en septembre 2005, il y a eu l'application de chemisage sur un pont à poutres en béton précontraint situé au croisement des autoroutes 40 et 13 à Montréal. Ce projet fait suite à une recherche similaire entreprise au Viaduc Halpern qui chevauche l'autoroute 40 pour laquelle nous avons tiré la conclusion que le chemisage en PRFV offre une certaine capacité à réduire la corrosion des ponts à poutres précontraintes.

La confiance dans la fiabilité des relevés de potentiel par demi-pile pour évaluer le potentiel de corrosion a été renforcée par les résultats recueillis au fil des ans (1,2,3) lors d'inspections visant à déterminer le degré de corrosion des tabliers de pont. Le relevé de potentiel par demi-pile est une technique électrochimique mise à profit dans la présente étude afin d'évaluer la capacité du chemisage à diminuer ou à éliminer la pénétration des ions chlorures. Ceci fut possible grâce à la caractérisation de l'activité de corrosion des armatures au cours de cette étude. Cette caractérisation de l'activité de corrosion a été obtenue à l'aide de relevés de potentiels effectués avec une électrode de référence amovible (Cu/CuSO₄) ainsi que les

valeurs de potentiels prises sur une base mensuelle avec quatre électrodes de référence permanentes (Ag/AgCl), ce par monsieur Athanas Claveau, technicien spécialiste du M.T.Q.

TRAVAUX EFFECTUÉS :

Le rapport fait d'abord état des travaux effectués en chantier, incluant un plan général du site figurant sur le schéma #1 avec la planche d'essai est indiquée en bleu.

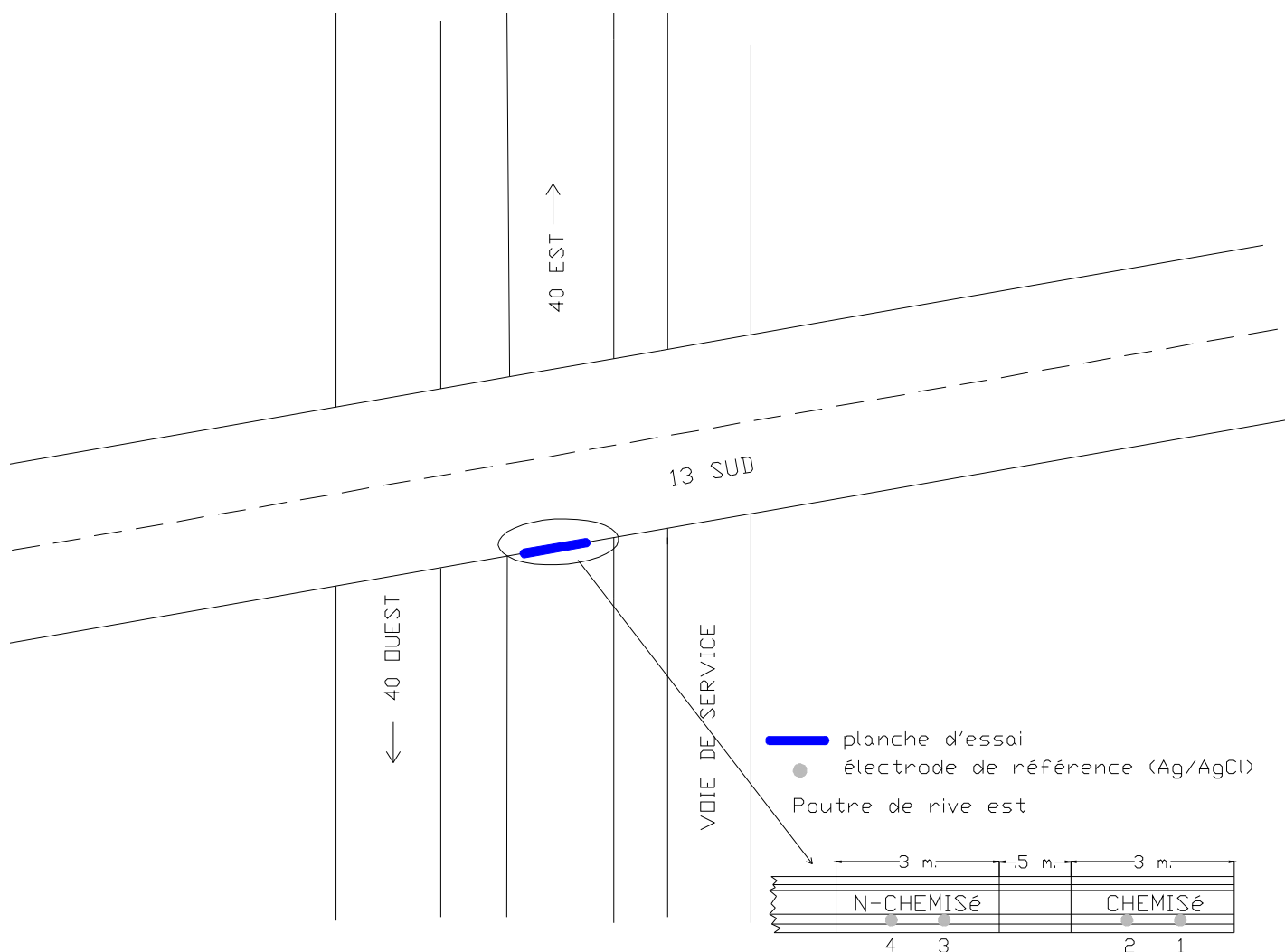


Schéma #1 : plan général du site

Les travaux nécessaires au chemisage ont débutés en septembre 2005 sur le viaduc situé au croisement des autoroutes 40 Est et 13 Sud. Par contre le chemisage a pu être complété seulement au cours que l'année suivante.

Les travaux nécessaires à la caractérisation du béton ont été effectués en octobre 2005. Lors de la nuit du vendredi 14 octobre 2005, les travaux suivants ont été effectués :

- Caractérisation du béton de la planche d'essai par un relevé de potentiel effectué à l'aide d'une électrode de référence amovible de Cuivre /Sulfate de cuivre (Cu/CuSO_4) .

Durant la nuit du mardi 18 octobre 2005, les travaux suivants ont été effectués :

- Perçage des trous afin de permettre l'insertion des électrodes de référence dans les poutres, les trous ont été faits au centre de chacune des planches d'essai ;
- Installation des 4 électrodes de référence permanentes d'argent et chlorure d'argent et remplissage de l'espace créé entre la poutre et l'électrode de référence avec du mortier cimentaire ;
- Début de l'installation de conduit en PVC.

Lors de la nuit du jeudi 20 octobre 2005, les travaux suivants ont été effectués :

- Installation de conduits en PVC ;
- Passage du filage nécessaire à la prise de données futures dans les conduits en PVC.

La poutre de rive située en amont de la circulation de l'autoroute 40 Est a été choisie pour cette étude comme banc d'essai puisqu'elle est la plus exposée aux intempéries et aux embruns salins de la circulation. Aucune boîte de contrôle n'a été installée en 2005 puisque les travaux de chemisage n'ont pu être complétés qu'en juillet 2006.

RÉSULTATS ET DISCUSSION :

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

Les électrodes de référence permanentes ont été caractérisées : le tableau #1 qui suit résume les données pertinentes incluant leur numéro de série et leur emplacement sur la poutre de rive. Afin de pouvoir comparer les données prises par les électrodes permanentes et celles prises par une électrode de référence amovible, ce même tableau présente les valeurs de potentiels prises par rapport à la structure ainsi que par rapport à une électrode de référence de Cu/CuSO₄ placée à proximité des électrodes de référence permanentes.

Tableau #1 : Information sur les électrodes de référence permanentes

Emplacement	Numéro de série	Potentiel mesuré avec électrodes de référence permanentes (Ag/AgCl)	
		V _s Cu/CuSO ₄	V _s Structure
Chemisée #1 (sud)	126170-3	-107 mV	-277 mV
Chemisée #2 (nord)	126170-6	-109 mV	-276 mV
Non-chemisée #3 (sud)	126170-7	-103 mV	-244 mV
Non-chemisée #4 (nord)	126170-10	-124 mV	-346 mV

Le graphique #1 que l'on retrouve dans l'annexe A montre l'évolution des potentiels mesurés en fonction du temps, et ce par rapport aux différentes électrodes de référence permanentes (Ag/AgCl). Ces mesures ont été prises, sur une base mensuelle, à partir de la boîte de contrôle reliée aux électrodes de référence instrumentant la poutre de rive. La première valeur qui figure sur le graphique #1 est celle prise en juillet 2006. Ces mêmes données ainsi que les conditions atmosphériques lors des prises de données, car celles-ci peuvent dans certains cas influencer le potentiel électrochimique observé, figure dans le tableau #2 de l'annexe A. Toutefois, dans le présent projet de recherche il ne semble pas que la température ni l'humidité relative aient eu une influence d'importance sur les potentiels électrochimiques relevés par rapport aux électrodes de référence permanentes. La température est celle de la

poutre prise avec un thermomètre infrarouge et l'humidité relative provient des données de Météomédia ou d'Environnement Canada.

Néanmoins nous constatons que les potentiels électrochimiques relevés au Viaduc du croisement des autoroutes 13 et 40 sont beaucoup plus électronégatifs, et ce dès le début de cette étude, que ceux relevés au Viaduc Halpern dont le rapport se retrouve dans l'annexe B. De plus, pour le Viaduc 13-40 l'évolution des potentiels au cours des trois ans de cette étude ne révèle pas une augmentation des potentiels d'importance vers des valeurs plus électropositives au béton chemisé en comparaison avec les potentiels relevés au béton non chemisé. Puisque que ces potentiels ne reflètent pas une diminution de l'activité de corrosion là où il y a eu chemisage, on peut conclure que pour un béton avec une contamination en chlorure plus élevée, et par conséquent avec une activité de corrosion plus intense, le mérite d'un chemisage d'une poutre en béton précontraint devient moins évident, et même douteux. Toutefois il faut souligner que le chemisage n'augmente pas l'activité de corrosion.

2. Relevés des potentiels avec une électrode de référence amovible

Le relevé de potentiel des armatures par une électrode de référence amovible a été effectué selon la procédure qui suit. Sur l'axe vertical, les mesures ont été prises aux emplacements illustrés sur le schéma #2 ci-dessous. Nous avons pris notre première série de mesures à environ 30 cm du début de chaque section, chemisée et non-chemisée, selon le schéma #1. L'espacement horizontal typique entre les autres prises de données était de 60 cm.

Dans l'annexe A se trouvent les tableaux des relevés de potentiel effectués à aide d'une électrode de référence amovible de Cuivre /Sulfate de Cuivre (Cu/CuSO₄). Les données du relevé effectué vendredi le 14 octobre 2005 se retrouvent dans le tableau 3, alors que celles du relevé effectué par M. Athanas Claveau du MTQ pendant la nuit du 20 au 21 mai 2009

sont transcrites dans le tableau 4. Il faut prendre en note que le haut de la poutre n'a pas été chemisée, et par conséquent les positions 1 et 2 n'ont pas été relevées en 2009.

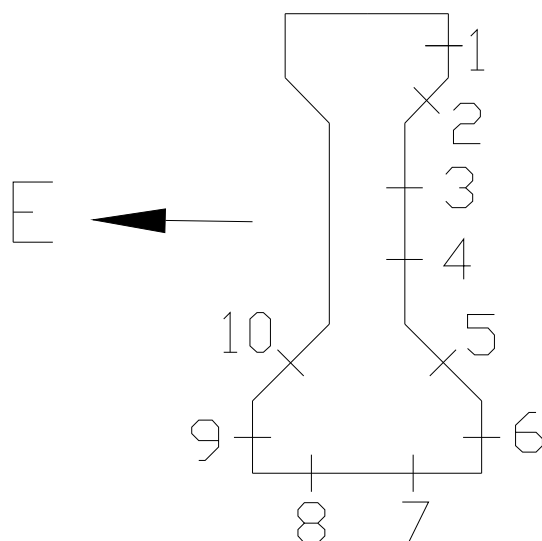


Schéma #2 : Emplacement des prises de mesures sur l'axe vertical

Encore une fois nous constatons que les potentiels électrochimiques relevés au Viaduc du croisement des autoroutes 13 et 40 sont beaucoup plus électrochimiques, et ce dès le début de cette étude, que ceux relevés au Viaduc Halpern dont le rapport se retrouve dans l'annexe B. À partir des données des deux tableaux présentés, nous constatons que les potentiels de la poutre reflètent une réduction de l'activité de la corrosion, tous étant plus électrochimiques en 2009, mais que cette augmentation des potentiels est plus importante en amplitude là où la poutre de rive a été chemisée. Une augmentation de la concentration en ions chlorure entraîne une importante augmentation de la vitesse de corrosion de l'acier. Le potentiel de corrosion devient alors beaucoup plus négatif. Normalement l'évolution des potentiels en fonction du temps devrait montrer un déplacement vers des potentiels plus électrochimiques

pour le béton précontraint non chemisé. Cela n'a pas été le cas ici probablement pour des raisons climatiques, car le premier relevé a été effectué en octobre, tandis que le dernier en été effectué en mai. La température lors du relevé du 14 octobre 2005 était de 13°C avec une bruine et une humidité relative de 99%, alors que pour relevé du 20 mai 2009 la température était 10°C avec un ciel nuageux et une humidité relative de 86%. Un béton saturé en eau a normalement des potentiels un peu plus électrochimiques négatifs. De plus, il y a eu la pose d'une mince couche de mortier (6 à 10 mm environ) sur la surface des poutres suite à la prise du relevé effectué en 2005 mais entreprise préalablement l'application du chemisage. Ce mortier de type "Structuroc V de Solhydroc" a possiblement lui aussi contribué à une légère hausse des potentiels vers des valeurs plus électrochimiques positives observées dans la zone non chemisée ainsi que dans la zone chemisée.

Bien qu'ils existent de nombreux facteurs ou combinaisons de facteurs qui peuvent influencer sur la précision des relevés de potentiel par demi-pile, on constate tout de même que la hausse des potentiels relevés en 2009 par rapport à ceux de 2005 a été plus importante là où le chemisage a été appliqué à la poutre de rive. Notre interprétation de ce phénomène est que selon les relevés de potentiels effectués avec une électrode amovible, il semble que le chemisage apporte une certaine protection contre la corrosion des armatures.

Comme le résume le tableau 3 et 4, la moyenne des potentiels au béton chemisé en 2005 était de -385 mV et -311 mV en 2009, ce qui indique une réduction de l'activité de la corrosion puisqu'il a eu une augmentation des potentiels électrochimiques d'environ 74 mV. Cette augmentation est en effet plus importante que celle observée au béton non chemisé, et par conséquent nous amène à conclure que le chemisage apporte une certaine protection contre la corrosion, tout comme nous l'avons observé au Viaduc Halpern. Cependant dans le cas présent, on a observé une modeste augmentation des potentiels au béton non chemisé, car la moyenne des potentiels en 2004 était de -390 mV et -352 mV en 2009, ce qui indique une petite réduction de l'activité de la corrosion puisqu'il a eu une augmentation des potentiels électrochimiques d'environ 38 mV. Si cette dernière valeur était soustraite du 74 mV, on peut en déduire que l'augmentation apparente des potentiels relevés avec une électrode pour le Viaduc 13-40 serait de 36 mV, ce qui reflète une augmentation apparente plus modeste des Chemisage des poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites

potentiels que celle observée sur le béton chemisé au Viaduc Halpern de 53 mV (47+6) si on utilise la même méthodologie dans notre interprétation des données.

CONCLUSIONS :

L'évolution des potentiels électrochimiques par rapport aux électrodes de référence permanentes installées sur le pont à poutres en béton précontraint situé au croisement de l'autoroute 40 et de l'autoroute 13 ne reflète pas ce qui a été observé au Viaduc Halpern. Il n'apparaît pas y avoir une augmentation évidente des potentiels. Toutefois, dans notre analyse des grilles de potentiel relevées en 2005 et 2009 avec une électrode amovible de Cuivre /Sulfate de Cuivre (Cu/CuSO_4), on observe une petite augmentation des potentiels au Viaduc 13-40 mais d'une amplitude bien inférieure à celle observée au Viaduc Halpern. Il faut aussi prendre note que le viaduc Halpern avait des potentiels beaucoup plus électropositifs que ceux du Viaduc 13-40 dès le début de la recherche. Nous interprétons de cette étude que le chemisage au PRFV réussit à réduire la corrosion des ponts à poutres, mais que son mérite décroît plus un béton existant est contaminé en ions chlorures, et par conséquent il n'est pas nécessairement rentable d'utiliser cette méthode de protection contre la corrosion lorsque la contamination du béton en chlorures est trop élevée.

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier les personnes ou compagnies suivantes :

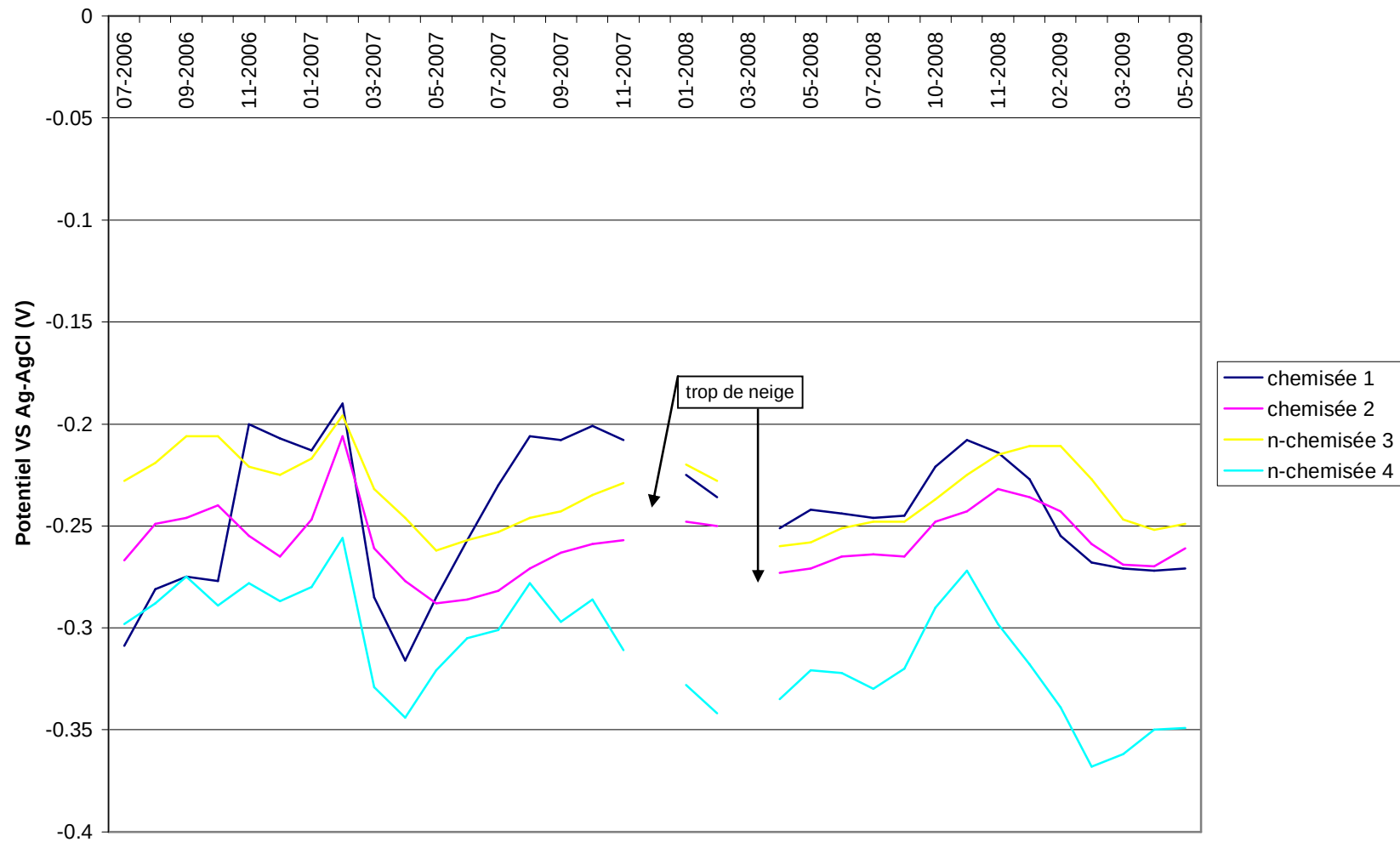
- M. Christian Mercier, ing. de la Direction des structures du M.T.Q., responsable du projet, pour son support technique ;
- M. Athanas Claveau, t.s. de la Direction du laboratoire des chaussées pour les prises de mesures de potentiels.

RÉFÉRENCES

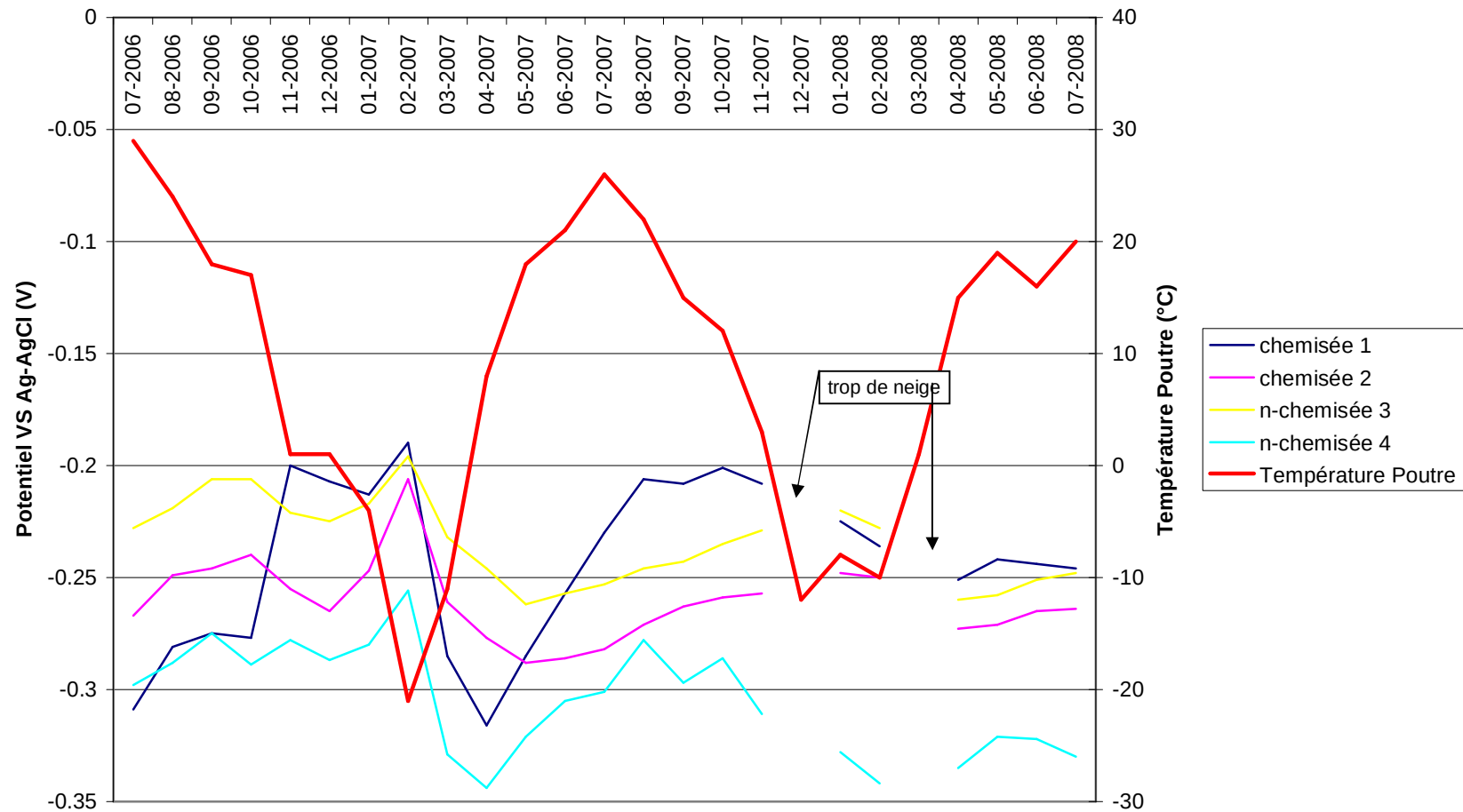
1. Spellman, D.L. and Stratfull, R.F., "Concrete Variables and Corrosion Testing," Highway Research Record 423, 1973.
2. Stratfull, R.F., "Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete," Highway Research Record 433, 1973.
3. J.P. Broomfield, "Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures," in Corrosion and Corrosion Protection on Steel in Concrete, Proceedings of International Conference, University of Sheffield, U.K., Edited by R.N. Swamy, 1994, Vol. 1, pp. 1-25.

Annexe A

Graphique #1: Potentiels de la poutre témoin (viaduc 13-40)



Graphique #2: Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites
Potentiels de la poutre témoin (viaduc 13-40)



Graphique #3: Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites
Potentiels de la poutre témoin (viaduc 13-40)

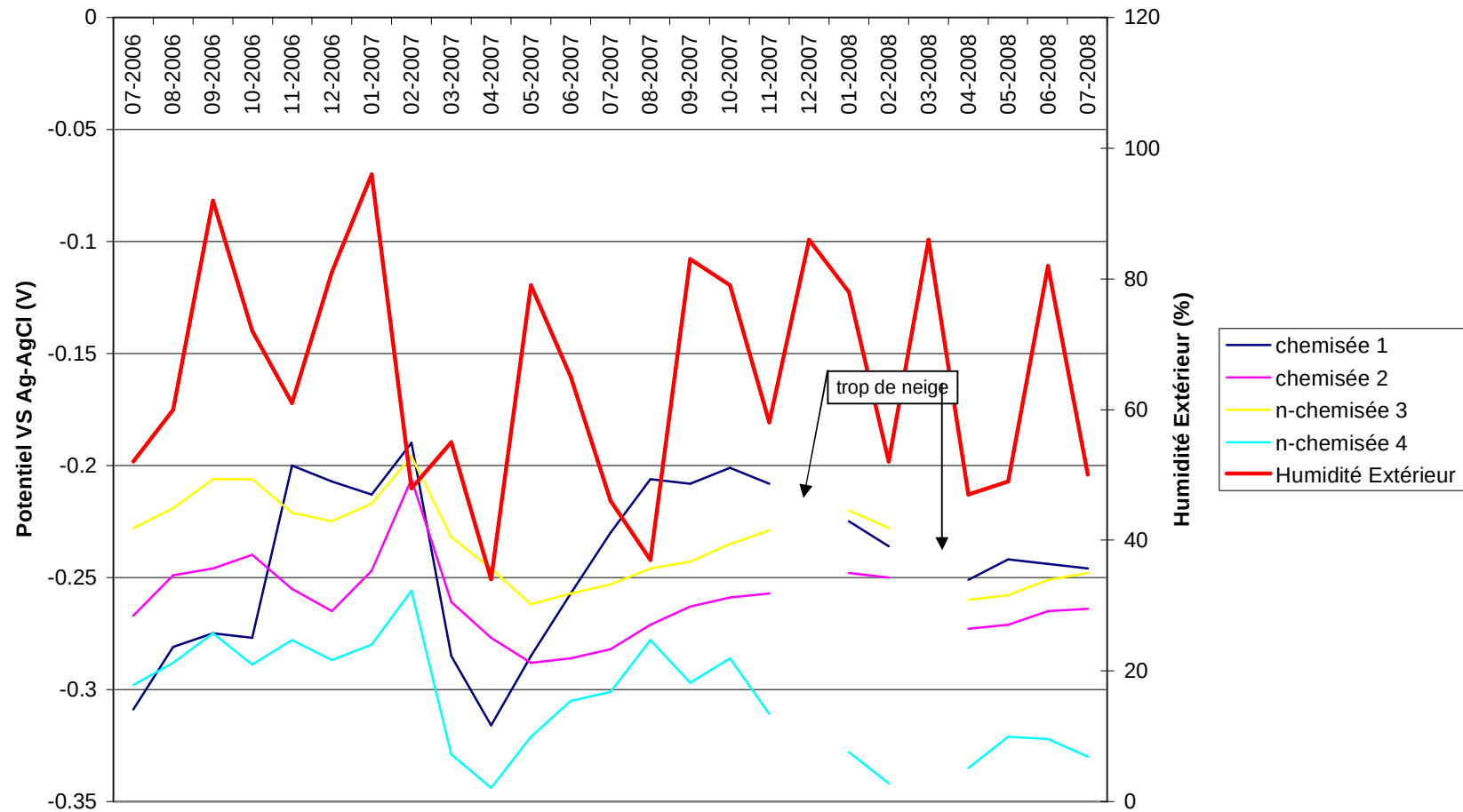


Tableau # 2 : Chemisage au moyen de feuilles de polymère renforcés de fibres du viaduc 13-40 (Relevé des potentiels).

1	-3.09	-0.281	-0.275	-0.277	-0.200	-0.207	-0.213	-0.190	-0.285	-0.316	-0.285	-0.257
2	-0.267	-0.249	-0.246	-0.240	-0.255	-0.265	-0.247	-0.206	-0.261	-0.277	-0.288	-0.286
3	-0.228	-0.219	-0.206	-0.206	-0.221	-0.225	-0.217	-0.196	-0.232	-0.246	-0.262	-0.257
4	-0.298	-0.288	-0.275	-0.289	-0.278	-0.287	-0.280	-0.256	-0.329	-0.344	-0.321	-0.305
Date	19/07/06	28/08/06	19/09/06	19/10/06	20/11/06	18/12/06	19/01/07	19/02/07	20/03/07	19/04/07	11/05/07	20/06/07
Température	29°C	24°C	18°C	17°C	1°C	1°C	-4°C	-21°C	-11°C	8°C	18°C	21°C
Humidité Extérieur	52%	60%	92%	72%	61%	81%	92%	48%	55%	34%	79%	65%
						Trop de Neige			Trop de Neige			
1	-0.230	-0.206	-0.208	-0.201	-0.208	-	-0.225	-0.236	-	-0.251	-0.242	-0.244
2	-0.282	-0.271	-0.263	-0.259	-0.257	-	-0.248	-0.250	-	-0.273	-0.271	-0.265
3	-0.253	-0.246	-0.243	-0.235	-0.229	-	-0.220	-0.228	-	-0.260	-0.258	-0.251
4	-0.301	-0.278	-0.297	-0.286	-0.311	-	-0.328	-0.342	-	-0.335	-0.321	-0.322
Date	23/07/07	22/08/07	19/09/07	18/10/07	19/11/07	19/12/07	17/01/08	20/02/08	19/03/08	21/04/08	14/05/08	19/06/08
Température	26°C	22°C	15°C	12°C	3°C	-12°C	-8°C	-10°C	1°C	15°C	19°C	16°C
Humidité Extérieur	46%	37%	83%	79%	58%	86%	78%	52%	86%	47%	49%	82%
1	-0.246	-0.245	-0.221	-0.208	-0.214	-0.227	-0.255	-0.268	-0.271	-0.272	-0.271	
2	-0.264	-0.265	-0.248	-0.243	-0.232	-0.236	-0.243	-0.259	-0.269	-0.270	-0.261	
3	-0.248	-0.248	-0.237	-0.225	-0.215	-0.211	-0.211	-0.227	-0.247	-0.252	-0.249	
4	-0.330	-0.320	-0.290	-0.272	-0.298	-0.318	-0.339	-0.368	-0.362	-0.350	-0.349	
Date	22/07/08	19/08/08	02/10/08	21/10/08	19/11/08	16/12/08	02/02/09	27/02/09	19/03/09	20/04/09	21/05/09	
Température	20°C	16°C	10°C	10°C	-6°C	-3°C	-2°C	-5°C	5°C	12°C	14°C	
Humidité Extérieur	50%	59%	87%	87%	73%	54%	62%	64%	48%	35%	%	

Tableau #3 : Potentiels de la poutre de rive (Autoroute 40 et 13) vendredi 14 octobre 2005

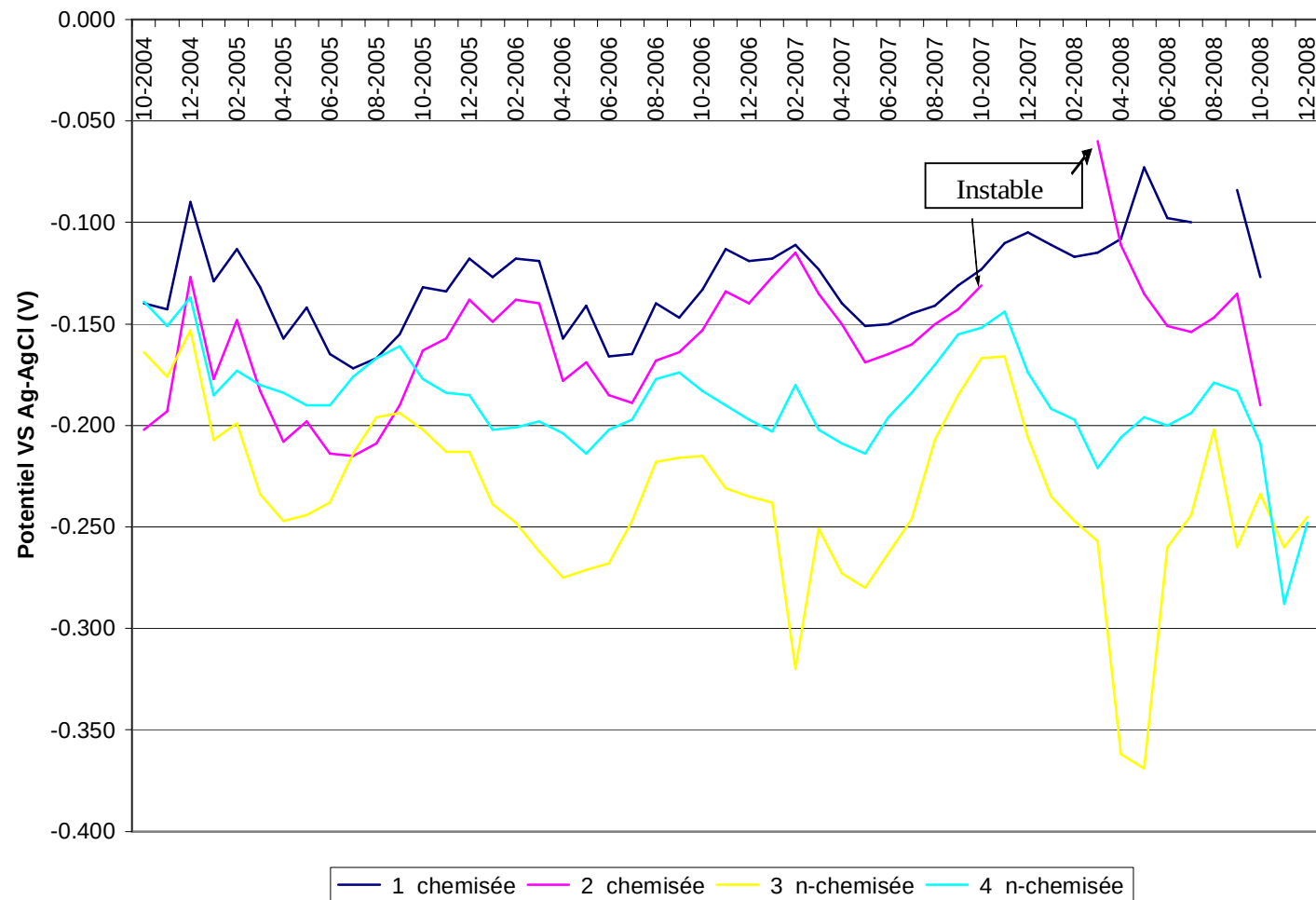
	Emplacement sur la poutre (voir schéma ci-dessus)										
	Potentiel vs Cu/CuSO ₄ (mV)										
Position horizontale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moy.
Chemisée											
1	-458	-384	-307	-274	-334	-337	-402	-454	-392	-324	-367
2	-453	-356	-250	-245	-409	-432	-465	-426	-400	-363	-380
3	-444	-367	-258	-273	-418	-460	-487	-372	-353	-375	-381
4	-477	-405	-287	-289	-408	-467	-452	-430	-422	-367	-400
5	-480	-440	-302	-298	-389	-457	-494	-421	-372	-345	-400
Moyenne	-462	-390	-281	-276	-392	-431	-460	-421	-388	-355	-385
Moyenne pour la poutre	-455	-385	-285	-279	-398	-448	-457	-426	-393	-351	
Non-chemisée											
1	-435	-377	-272	-251	-447	-518	-479	-420	-380	-352	-393
2	-444	-380	-268	-259	-436	-495	-454	-410	-389	-353	-389
3	-447	-375	-273	-265	-378	-429	-436	-442	-423	-346	-381
4	-451	-382	-299	-284	-377	-436	-452	-414	-401	-341	-383
5	-459	-379	-336	-353	-381	-450	-451	-473	-400	-342	-402
Moyenne	-447	-379	-290	-282	-404	-466	-454	-432	-399	-347	-390

Tableau #4 : Potentiels de la poutre de rive (Autoroute 40 et 13) nuit du 20 au 21 mai 2009

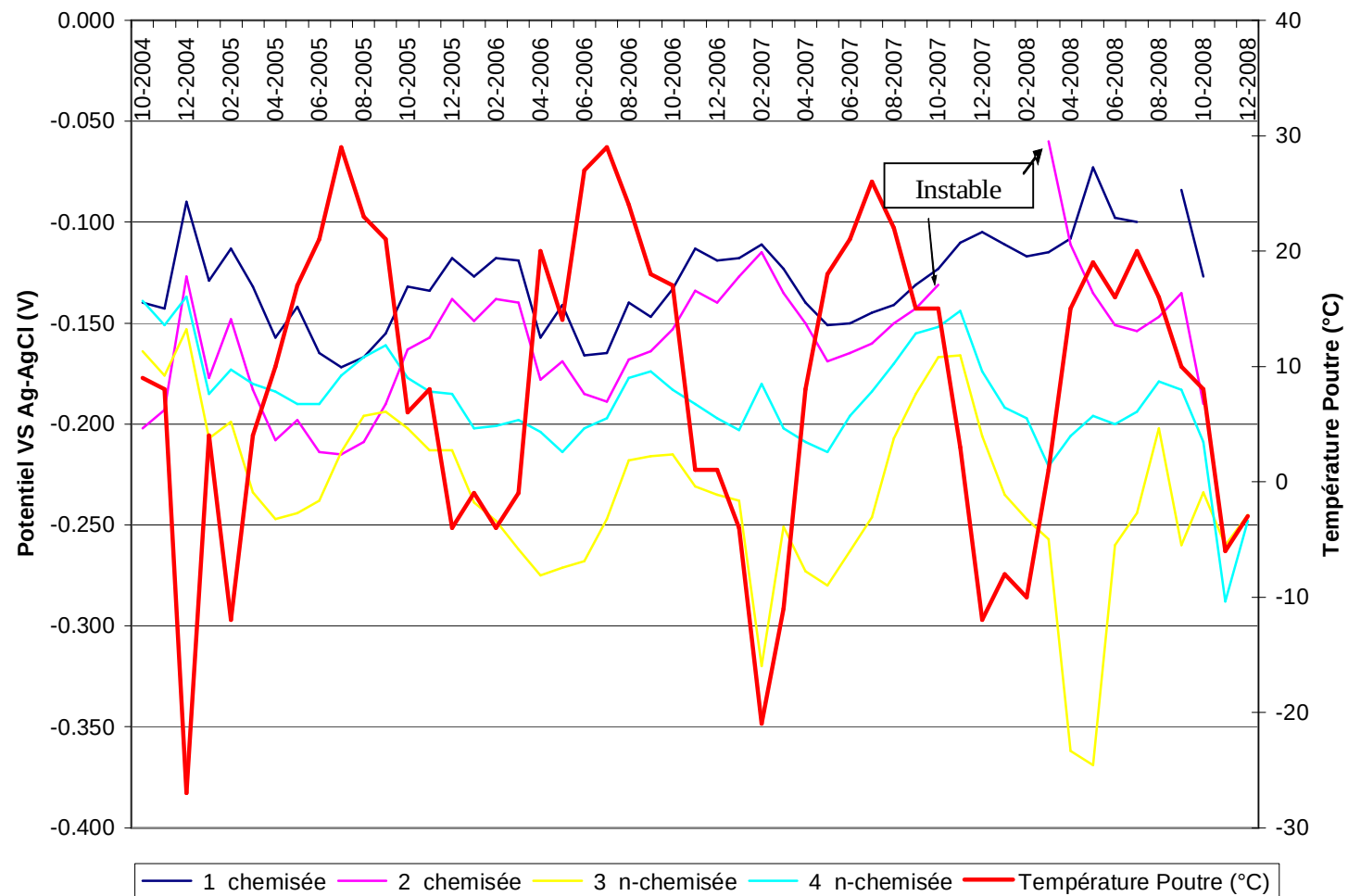
	Emplacement sur la poutre (voir schéma ci-dessus)										
	Potentiel vs Cu/CuSO ₄ (mV)										
Position horizontale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moy.
Chemisée											
1 (nord)			-202	-314	-293	-311	-333	-337	-290	-286	-296
2			-211	-223	-347	-415	-392	-354	-372	-327	-330
3			-212	-233	-339	-393	-399	-302	-285	-283	-305
4			-229	-216	-333	-379	-396	-391	-288	-287	-315
5 (sud)			-231	-227	-340	-382	-348	-345	-309	-291	-309
Moyenne			-217	-243	-230	-376	-374	-346	-309	-295	-311
Moyenne pour la poutre			-211	-220	-376	-435	-416	-360	-327	-298	
Non-chemisée											
1 (nord)			-188	-172	-492	-520	-521	-412	-378	-322	-376
2			-194	-175	-420	-495	-424	-374	-334	-296	-345
3			-216	-205	-385	-442	-500	-335	-333	-281	-337
4			-211	-220	-436	-516	-419	-356	-359	-294	-351
5 (sud)			-217	-207	-463	-497	-428	-394	-323	-313	-355
Moyenne			-205	-199	-439	-494	-458	-374	-345	-303	-352

Annexe B

Graphique #4: Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites Potentiels de la poutre témoin du viaduc Halpern



Graphique #5: Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites Potentiels de la poutre témoin du viaduc Halpern



Graphique #6: Chemisage de poutres en béton précontraint au moyen de matériaux composites Potentiels de la poutre témoin du viaduc Halpern

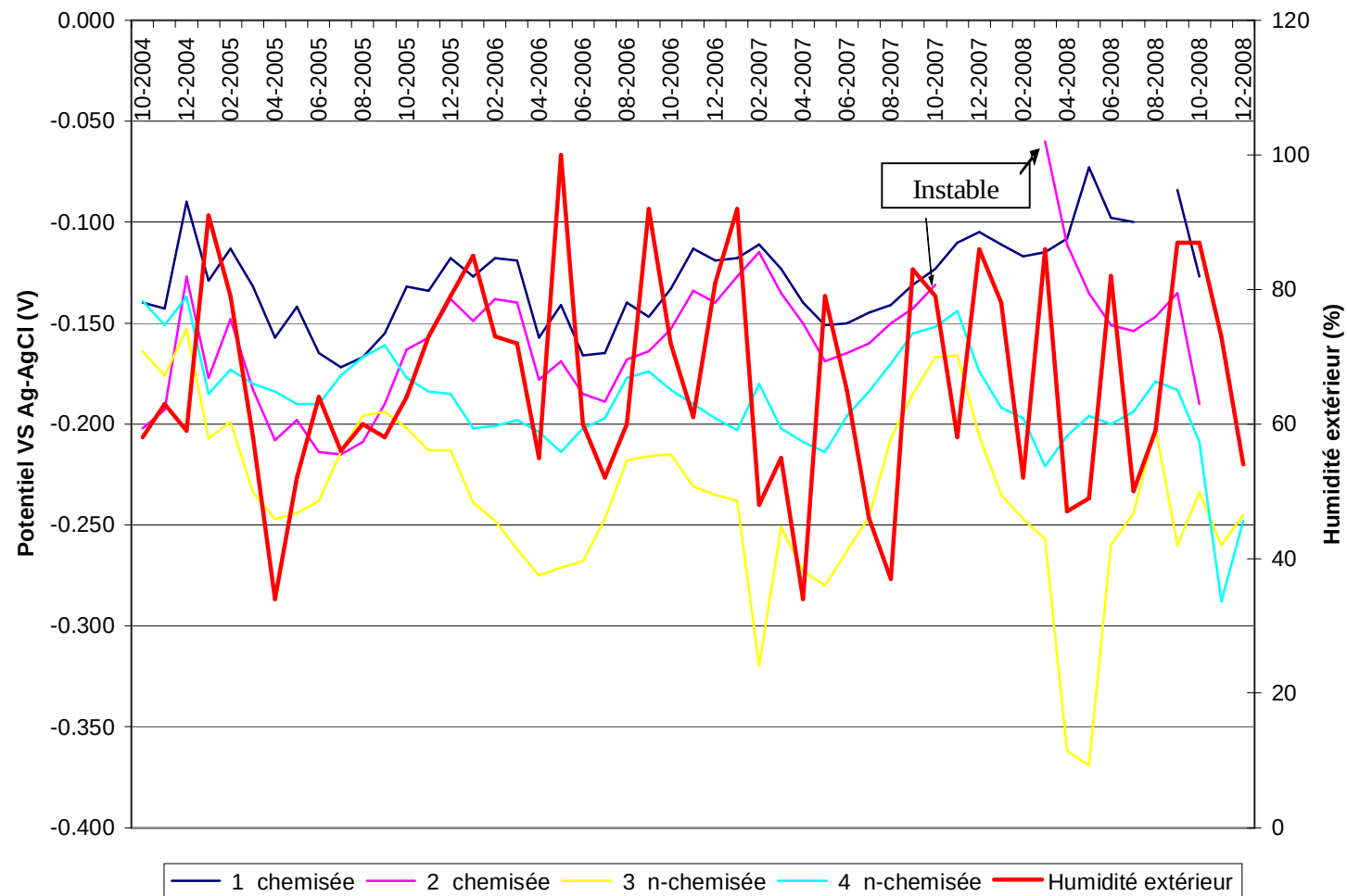


Tableau # 5 : Chemisage au moyen de feuilles de polymère renforcés de fibres du viaduc Halpern (Relevé des potentiels).

1	-0.140	-0.143	-0.090	-0.129	-0.113	-0.132	-0.157	-0.142	-0.165	-0.172	-0.167	-0.155
2	-0.202	-0.193	-0.127	-0.177	-0.148	-0.183	-0.208	-0.198	-0.214	-0.215	-0.209	-0.190
3	-0.164	-0.176	-0.153	-0.207	-0.199	-0.234	-0.247	-0.244	-0.238	-0.214	-0.196	-0.194
4	-0.139	-0.151	-0.137	-0.185	-0.173	-0.180	-0.184	-0.190	-0.190	-0.176	-0.167	-0.161
Date	20/10/2004	19/11/2004	20/12/2004	13/01/2005	21/02/2005	21/03/2005	18/04/2005	24/05/2005	24/06/2005	20/07/2005	17/08/2005	19/09/2005
Température	9C	8C	-27C	4C	-12C	4C	10C	17C	21C	29C	23C	21C
Humidité Extérieur	58%	63%	59%	91%	79%	58%	34%	52%	64%	56%	60%	58%
1	-0.132	-0.134	-0.118	-0.127	-0.118	-0.119	-0.157	-0.141	-0.166	-0.165	-0.140	-0.147
2	-0.163	-0.157	-0.138	-0.149	-0.138	-0.140	-0.178	-0.169	-0.185	-0.189	-0.168	-0.164
3	-0.202	-0.213	-0.213	-0.239	-0.248	-0.262	-0.275	-0.271	-0.268	-0.247	-0.218	-0.216
4	-0.177	-0.184	-0.185	-0.202	-0.201	-0.198	-0.204	-0.214	-0.202	-0.197	-0.177	-0.174
Date	20/10/2005	21/11/2005	20/12/2005	20/01/2006	21/02/2006	20/03/2006	20/04/2006	17/05/2006	19/06/2006	19/07/2006	29/08/2006	19/09/2006
Température	6C	8C	-4C	-1C	-4C	-1C	20C	14C	27C	29C	24C	18C
Humidité Extérieur	64%	73%	79%	85%	73%	72%	55%	100%	60%	52%	60%	92%
1	-0.133	-0.113	-0.119	-0.118	-0.111	-0.123	-0.140	-0.151	-0.150	-0.145	-0.141	-0.131
2	-0.153	-0.134	-0.14	-0.127	-0.115	-0.135	-0.150	-0.169	-0.165	-0.160	-0.150	-0.143
3	-0.215	-0.231	-0.235	-0.238	-0.320	-0.251	-0.273	-0.280	-0.263	-0.246	-0.207	-0.185
4	-0.183	-0.190	-0.197	-0.203	-0.180	-0.202	-0.209	-0.214	-0.196	-0.184	-0.170	-0.155
Date	19/10/2006	20/11/2006	18/12/2006	19/01/2007	19/02/2007	20/03/2007	19/04/2007	11/05/2007	20/06/2007	23/07/2007	22/08/2007	19/09/2007
Température	17C	1C	1C	-4C	-21C	-11C	8C	18C	21C	26C	22C	15C
Humidité Extérieur	72%	61%	81%	92%	48%	55%	34%	79%	65%	46%	37%	83%

1	-0.123	-0.110	-0.105	-0.111	-0.117	-0.115	-0.108	-0.073	-0.098	-0.100		-0.084
2	-0.131					-0.060	-0.111	-0.135	-0.151	-0.154	-0.147	-0.135
3	-0.167	-0.166	-0.206	-0.235	-0.247	-0.257	-0.362	-0.369	-0.260	-0.244	-0.202	-0.26
4	-0.152	-0.144	-0.174	-0.192	-0.197	-0.221	-0.206	-0.196	-0.20	-0.194	-0.179	-0.183
Date	18/10/2007	19/11/2007	19/12/2007	17/01/2008	20/01/2008	19/03/2008	21/04/2008	14/05/2008	19/06/2008	22/07/2008	19/08/2008	02/10/2008
Température	15C	3C	-12C	-8C	-10C	1C	15C	19C	16C	20C	16C	10C
Humidité Extérieur	79%	58%	86%	78%	52%	86%	47%	49%	82%	50%	59%	87%

1	-0.127		
2	-0.190		
3	-0.234	-0.260	-0.245
4	-0.209	-0.288	-0.248
Date	21/10/2008	19/11/2008	16/12/2008
Température	8C5	-6C	-3C
Humidité Extérieur	87	73%	54%

Tableau #6 : Potentiels de la poutre de rive du Viaduc Halpern en 2004

	Emplacement sur la poutre (voir schéma ci-dessus)										
	Potentiel vs Cu/CuSO ₄ (mV)										
Position horizontale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moy.
Chemisée											
1	-226	-218	-223	-232	-262	-256	-245	-260	-244	-242	-241
2	-187	-181	-225	-230	-261	-264	-254	-232	-250	-235	-232
3	-197	-207	-209	-276	-300	-412	-318	-288	-268	-263	-274
4	-218	-222	-209	-231	-311	-392	-345	-314	-343	-508	-309
5	-243	-207	-198	-226	-371	-407	-341	-294	-366	-431	-308
Moyenne	-214	-207	-213	-239	-301	-346	-301	-278	-294	-336	-272
Non chemisée											
1	-271	-204	-206	-217	-281	-313	-367	-335	-425	-271	-289
2	-272	-240	-226	-220	-272	-277	-404	-268	-278	-265	-272
3	-269	-264	-236	-234	-261	-252	-250	-326	-482	-343	-292
4	-249	-239	-235	-225	-253	-235	-210	-282	-364	-275	-257
5	-241	-212	-194	-206	-243	-216	-259	-289	-353	-279	-249
Moyenne	-260	-232	-219	-220	-262	-259	-298	-300	-380	-287	-218

Tableau #7: Potentiels de la poutre de rive du Viaduc Halpern en 2008

	Emplacement sur la poutre (voir schéma ci-dessus)										
	Potentiel vs Cu/CuSO ₄ (mV)										
Position horizontale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moy.
Chemisée											
1	-230	-220	-204	-200	-210	-224	-236	-232	-226	-216	-220
2	-226	-216	-208	-202	-216	-222	-234	-234	-232	-228	-222
3	-222	-204	-200	-196	-212	-274	-234	-234	-234	-230	-224
4	-224	-202	-192	-194	-214	-226	-236	-238	-264	-264	-225
5	-236	-214	-202	-214	-248	-282	-242	-244	-264	-264	-241
Moyenne	-228	-212	-201	-201	-220	-246	-236	-236	-244	-240	-226
Non chemisée											
1	-262	-232	-222	-216	-228	-228	-250	-250	-262	-244	-239
2	-276	-254	-230	-236	-370	-384	-392	-310	-394	-340	-319
3	-292	-266	-266	-232	-310	-266	-266	-298	-374	-350	-292
4	-272	-252	-216	-230	-298	-296	-266	-286	-384	-318	-282
5	-264	-256	-230	-222	-280	-260	-234	-232	-284	-256	-252
Moyenne	-273	-252	-233	-227	-297	-297	-282	-275	-337	-302	-277