

Évaluation des dalles des tabliers de ponts par radar, potentiel de corrosion et résistivité électrique

O. Dous¹, J. Rhazi¹, G. Ballivy¹, L. Bertrand²

¹Groupe de Recherche sur l'Auscultation et l'Instrumentation (GRAI)
Département de génie Civil, Université de Sherbrooke

²Géolab inc.
4234, rue King Ouest
Sherbrooke (Québec) J1L 1W6

Résumé :

La principale cause de dégradation des dalles des tabliers de pont en béton armé est la corrosion des aciers d'armature. La connaissance de l'état de dégradation de ces dalles est une des préoccupations majeure des gestionnaires de ces ouvrages.

L'étude présentée ici s'inscrit dans les thématiques de recherche du GRAI qui visent le développement d'outils de contrôle de l'état de santé des ouvrages de béton en général, et des dalles des tabliers de ponts en particulier. Elle concerne le contrôle des dalles de béton armé par trois techniques non destructives (radar, potentiel de corrosion et résistivité électrique) et montre que la complémentarité de ces techniques permet d'améliorer la fiabilité des observations.

INTRODUCTION

Des essais de potentiel de corrosion, de résistivité électrique et radar ont été effectués par le Groupe de Recherche sur l'Auscultation et l'Instrumentation (GRAI, Université de Sherbrooke) le vendredi 21 novembre 2003 sur le pont No P-14799W situé sur l'autoroute 55 au-dessus du ruisseau de la Clef à Bromptonville (longueur : 30 m, largeur : 12 m 15). Ces essais ont été menés avec la collaboration de la compagnie Géolab inc. dans le cadre des travaux de recherche de la Chaire industrielle du CRSNG sur l'auscultation des structures de béton et dont Géolab inc. est un des partenaires fondateurs. Le présent rapport décrit les essais réalisés sur la dalle et donne les résultats de ces essais.

CONFIGURATION DES MESURES

Lors de relevés, le 21 novembre 2003, le temps était ensoleillé, la température ambiante était de l'ordre de 7 °C et la surface du tablier était sèche. Il y avait eu des précipitations durant les journées du mardi 17 et mercredi 18 novembre.

a) Essai de potentiel de corrosion.

L'essai de potentiel de corrosion (norme ASTM C876) est l'essai le plus fréquemment utilisé pour détecter les zones de corrosion actives dans une dalle de béton armé. L'essai consiste à mesurer la différence de potentiel électrique entre l'armature et une électrode de référence en cuivre-sulfate de cuivre en contact avec la surface du béton (Figure 1). Le contact électrique entre le béton et l'électrode de référence a été établi en créant un trou (diamètre : ≈ 1 cm) à travers le recouvrement bitumineux et en remplissant ce trou avec un liquide conducteur d'électricité .

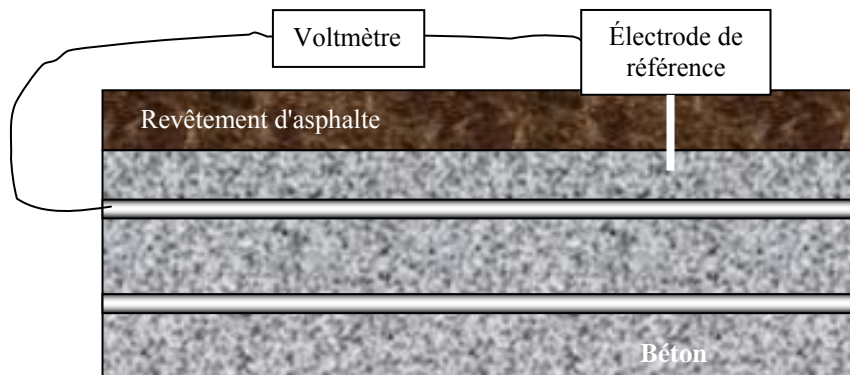


Figure 1 : Principe de l'essai de potentiel de corrosion

La configuration des mesures du potentiel de corrosion réalisées sur le tablier du pont de l'autoroute 55 est donnée à la figure 2. La continuité électrique entre les armatures s'est effectuée en mesurant la résistance électrique entre le joint métallique sud et une armature dans la dalle dégagée par carottage.

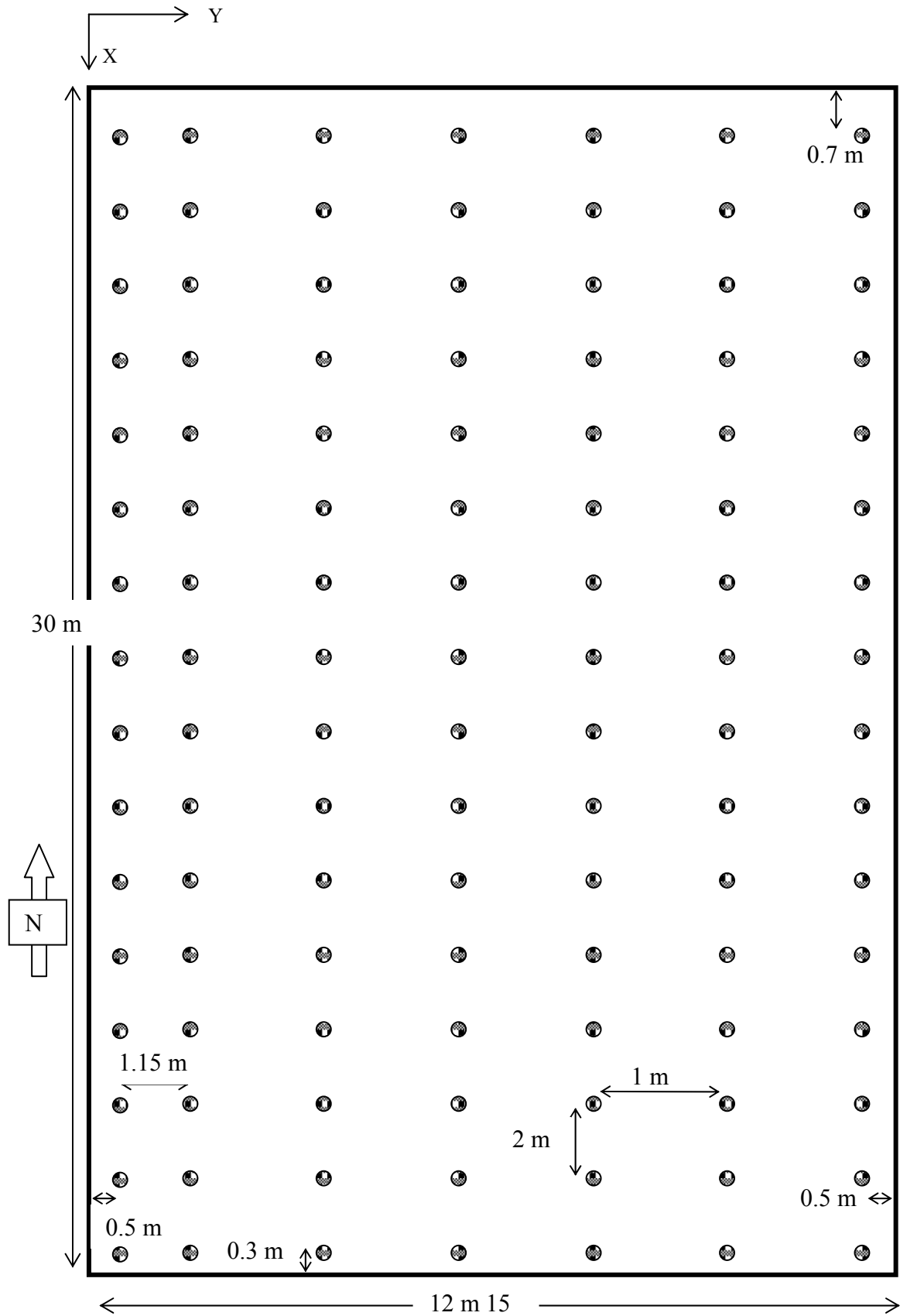


Figure 3 : Configuration des mesures du potentiel de corrosion

Au total, 112 mesures réparties sur sept lignes de mesure parallèles à la dimension longitudinale du tablier (ligne L1 à L7) ont été réalisées sur la dalle. La distance séparant les lignes L1 et L2 était de 1 m 15 et la distance séparant les autres lignes était de 2 m. Par ailleurs, la distance séparant deux point de mesure d'une même ligne était égale à 2 m.

Les mesures sur les lignes L7, L6 et L5 ont été réalisées durant la matinée alors que les mesures sur les lignes L1 à L4 ont été réalisées en début de l'après midi.

La valeur du potentiel mesurée à l'aide de l'essai de potentiel de corrosion est corrélée avec l'état de l'activité de corrosion. Les corrélations admises par le Ministère des Transports du Québec sont données dans le Tableau 1.

TABLEAU 1 : Corrélation état de corrosion - potentiel de corrosion

État de l'activité de corrosion	Potentiel de corrosion (mV)
Corrosion faible	> -200
Corrosion initiée	Entre -200 et -350
Corrosion avancée	Entre -350 et 500
Corrosion très avancée	< -500

b) Essai de résistivité électrique

Les mesures de résistivité électrique ont été réalisées en parallèle avec les essais de potentiel de corrosion pour apporter un complément d'information sur la cinétique de la corrosion. La configuration de mesure utilisée est la configuration Wenner (Figure 3). Elle consiste à injecter un courant électrique de basse fréquence dans le béton au moyen de deux électrodes externes en contact avec le béton, et à mesurer la différence de potentiel entre deux électrode internes également en contact avec le béton. La résistance mesurée (R) est alors convertie en valeur de résistivité électrique (ρ) au moyen de la relation : $\rho = 2\rho Ra$ (a : distance entre les électrodes).

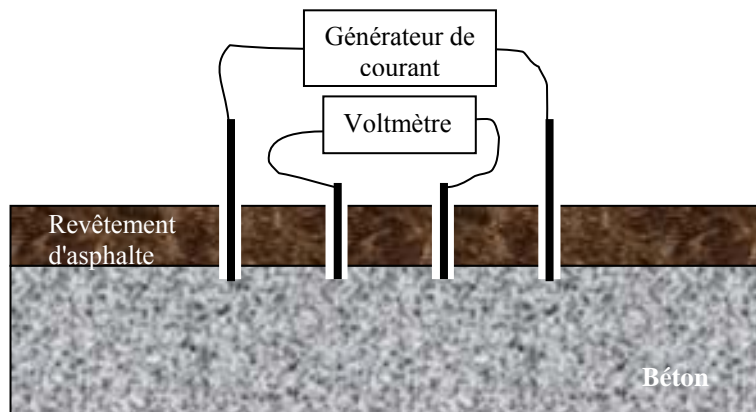


Figure 3 : Configuration de mesure de la résistivité électrique du béton

Les mesures de résistivité ont été réalisées en 13 endroits sur la dalle du tablier. Le choix des emplacements de mesure s'est effectué en fonction des résultats du potentiel de corrosion : six

mesures ont été effectuées dans des endroits où la corrosion est faible, quatre mesures dans des endroits où la corrosion est initiée, deux mesures là où la corrosion est avancée et une mesure à un endroit où la corrosion est dans un état très avancée. Les points de mesure de la résistivité électrique étaient situés à environ 3 cm des points de mesure du potentiel de corrosion. Il est à noter que différentes corrélations empiriques entre la valeur de la résistivité électrique et le taux de corrosion ont été proposées par différents spécialistes de la corrosion. Le Tableau 2 donne un exemple de ces corrélations.

TABLEAU 2 : Corrélation taux de corrosion - résistivité électrique du béton

Taux de corrosion	Résistivité électrique (Ωm)
Faible	> 200
Faible à modéré	100 à 200
Élevé	50 à 100
Très élevé	< 50

c) Essai radar

Le radar est habituellement utilisé pour l'auscultation des dalles des tabliers de ponts en tant que technique complémentaire et/ou alternative à l'essai du potentiel de corrosion. L'intérêt de cette technique réside dans le fait que la collecte des données peut être réalisée à partir d'un véhicule mobile, ce qui permet d'éviter la fermeture des voies de circulation. L'essai a été réalisé à l'aide d'un radar SIR 20 manufacturé par la compagnie GSSI (Boston, É.-U.). La collecte des données a été effectuée avec une antenne 1.5 GHz.

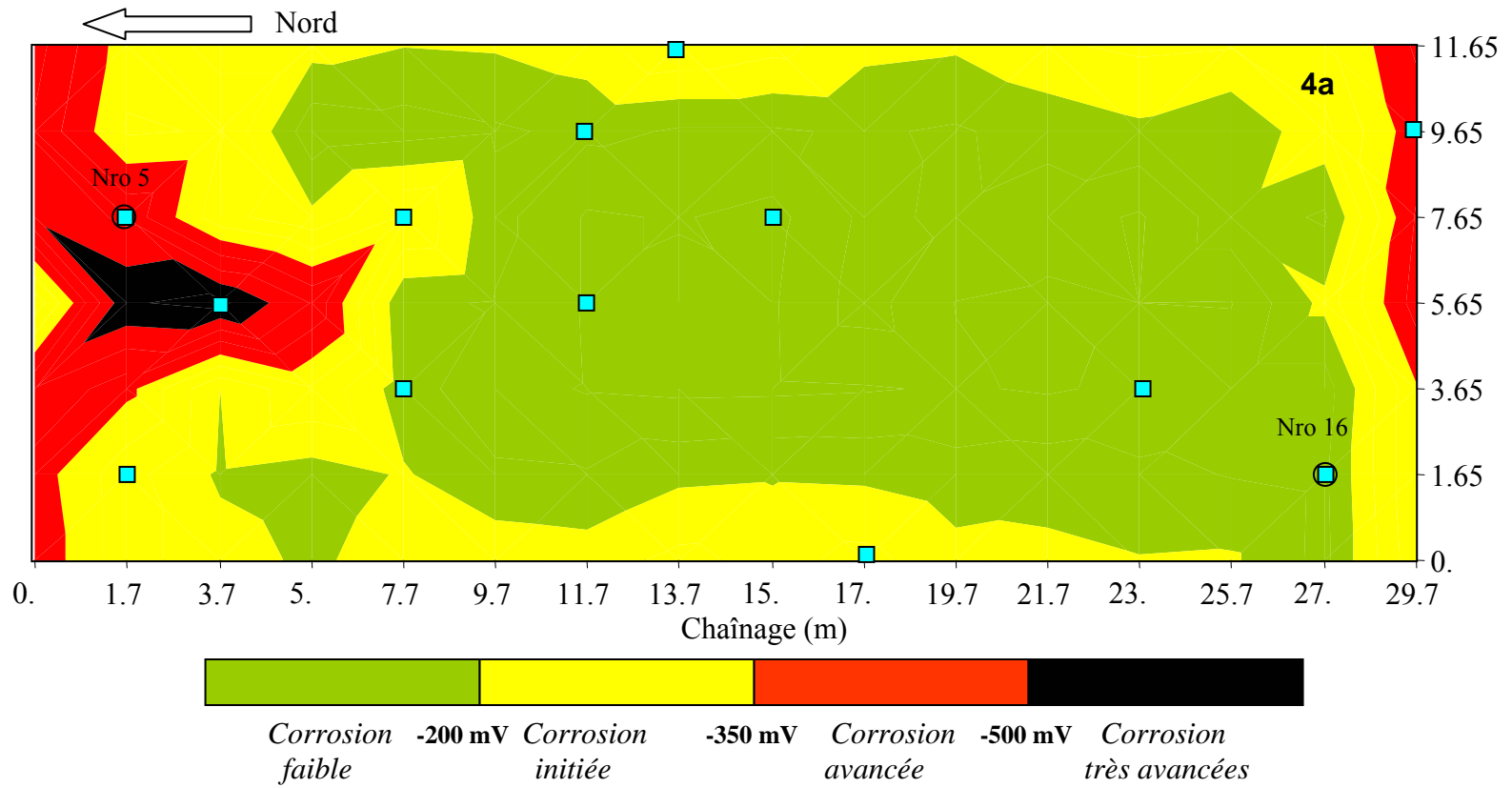
PÉSENTATION DES RÉSULTATS ET ANALYSE

a) Potentiel de corrosion

Les résultats des essais de potentiel de corrosion sont donnés au tableau 3, à la figure 4a sous forme d'une cartographie indiquant l'état de corrosion au sein de la dalle et à la figure 4b sous forme d'une répartition statistique des valeurs du potentiel.

TABLEAU 3 : Résultats des mesures du potentiel de corrosion

X(m)	Y (m)						
	0.5	1.65	3.65	5.65	7.65	9.65	11.65
0.7	-391	-375	-448	-217	-494	-444	-467
1.7	-267	-267	-366	-546	-438	-294	-321
3.7	-223	-192	-200	-563	-267	-304	-221
5.7	-190	-174	-294	-447	-213	-117	-222
7.7	-227	-205	-172	-157	-306	-128	-202
9.7	-236	-159	-117	-147	-167	-144	-206
11.7	-227	-154	-97	-95	-95	-160	-229
13.7	-264	-188	-89	-88	-103	-146	-295
15.7	-233	-195	-92	-95	-85	-146	-268
17.7	-266	-191	-96	-172	-159	-155	-215
19.7	-218	-172	-105	-99	-143	-145	-207
21.7	-213	-180	-95	-90	-122	-168	-243
23.7	-203	-160	-110	-100	-94	-190	-260
25.7	-207	-148	-124	-98	-182	-156	-253
27.7	-135	-137	-124	-215	-142	-237	-286
29.7	-332	-343	-345	-423	-404	-380	-406



- Points de mesure de la résistivité électrique
- Carottage

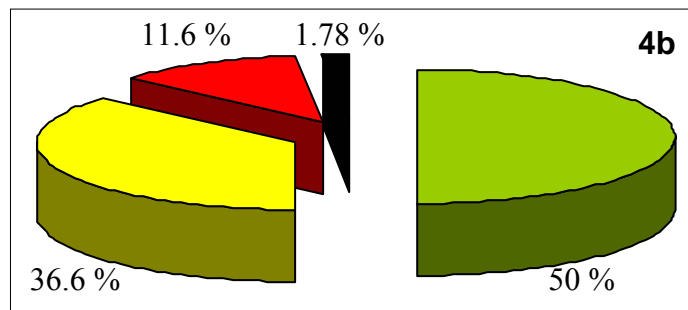


Figure 4 : Résultats des essais de potentiel de corrosion (4a) et répartition statistique des mesures (4b).

L'analyse de la cartographie de potentiel indique que l'activité de corrosion est faible dans toute la partie centrale du tablier, entre les chaînage 7.7 m et 27.7 m. Les zones où l'activité de corrosion est initiée sont localisées le long des côtés Est et Ouest du tablier ainsi que sur le côté Sud. Le côté Nord du tablier est caractérisé par une activité de corrosion avancée à très avancée qui s'étend principalement dans la direction du Sud jusqu'au chaînage 6.5 m environ. Cette zone de corrosion avancée à très avancée se situe dans une zone qui, selon l'observation visuelle, a vraisemblablement fait l'objet d'une réparation (nouvelle couche de béton de recouvrement et de pavage). La répartition statistique des valeurs de potentiel montre que la superficie du tablier caractérisée par une corrosion faible est de 50 %. Par ailleurs, 36 % de la superficie du tablier est dans un état de corrosion initiée et 13.5 % est dans un état de corrosion avancée à très avancée.

Il est à noter que les valeurs de potentiel sont influencées non seulement par l'état de corrosion des armatures mais également par le recouvrement de béton et par la résistivité électrique du béton. Celle-ci est-elle même affectée par la température du béton, par l'humidité du béton, par les ions chlorure et par la carbonatation.

b) Résistivité électrique

Les points de mesure de la résistivité électrique sont indiqués à la figure 4a et au tableau 4. La figure 5 donne l'évolution de la résistivité électrique en fonction des valeurs de potentiel de corrosion. Les valeurs de résistivité se situent dans l'intervalle 17 Ω m - 1779 Ω m. La valeur la plus faible a été mesurée dans un endroit où la corrosion est très avancée (potentiel : -546 mV) et la valeur la plus élevée dans une zone où la corrosion est faible (potentiel : -95 mV).

Tableau 4 : Résultats des mesures de la résistivité électrique

X(m)	Y(m)						
	0.5	1.65	3.65	5.65	7.65	9.65	11.65
0.7							
1.7		174			58		
3.7				17			
5.7							
7.7			816		867		
9.7							
11.7				1779		147	
13.7							100
15.7					407		
17.7	177						
19.7							
21.7							
23.7			1050				
25.7							
27.7		780					
29.7						31	

Les résultats des mesures de la résistivité concordent avec les mesures de potentiel. La figure 5 montre en effet que plus le potentiel de corrosion est faible, plus la résistivité électrique est élevée. Ceci peut s'expliquer par le fait que la corrosion se développe dans les zones humides et contaminées par les ions chlorures. Ces deux facteurs facilitent la conduction électrique dans le béton et conduisent donc à des résistivité électriques plus faibles comparativement aux zones moins humides et moins infectées par les chlorures.

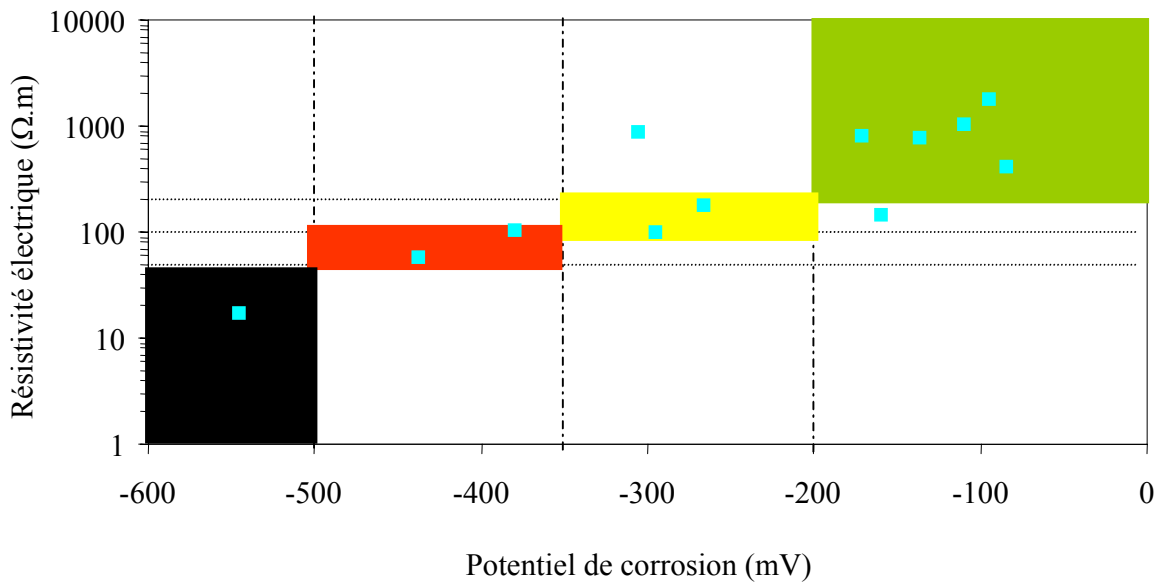


Figure 5 : Résultat des essais de résistivité électrique

Par ailleurs, si l'on se réfère aux corrélations entre le taux de corrosion et la résistivité électrique données au tableau 2, on remarque que le taux de corrosion est faible dans les endroits où la corrosion est faible. Il est faible à modéré dans les endroits où la corrosion est initiée, élevé dans les endroits où la corrosion est avancée et très élevé dans les endroits où la corrosion est très avancée.

c) Essai radar

Les résultats de l'essai radar sont donnés à la figure 6. Cette figure représente la distribution spatiale de l'amplitude de réflexion des ondes radar à l'interface revêtement bitumineux-dalle de béton. L'échelle de cette cartographie est le décibel car l'amplitude de réflexion des ondes radar a été normalisée par rapport aux ondes émises.

Les travaux que nous avons menés sur une dizaine de ponts indiquent que l'amplitude de réflexion des ondes radar sur la surface de la dalle de béton est un indicateur des zones de corrosion actives. Cependant, l'établissement d'une échelle reliant les mesures radar avec l'activité de corrosion (échelle similaire à celle reliant les mesures de potentiel de corrosion et l'activité de corrosion) fait encore l'objet de recherches. Nos analyses ont toutefois permis de constater que les mesures radar supérieures à -10 dB sont corrélées aux zones de corrosion avancée à très avancée (potentiel de corrosion inférieur à -350 mV).

La cartographie radar montre que les zones de forte probabilité de corrosion occupent la partie nord du tablier; ce qui est tout à fait en accord avec l'essai de potentiel de corrosion. La cartographie révèle également que la corrosion est active au côté sud du tablier, entre les chaînages 22.7 m et le joint sud. Cette zone est également présente dans la cartographie du potentiel de corrosion.

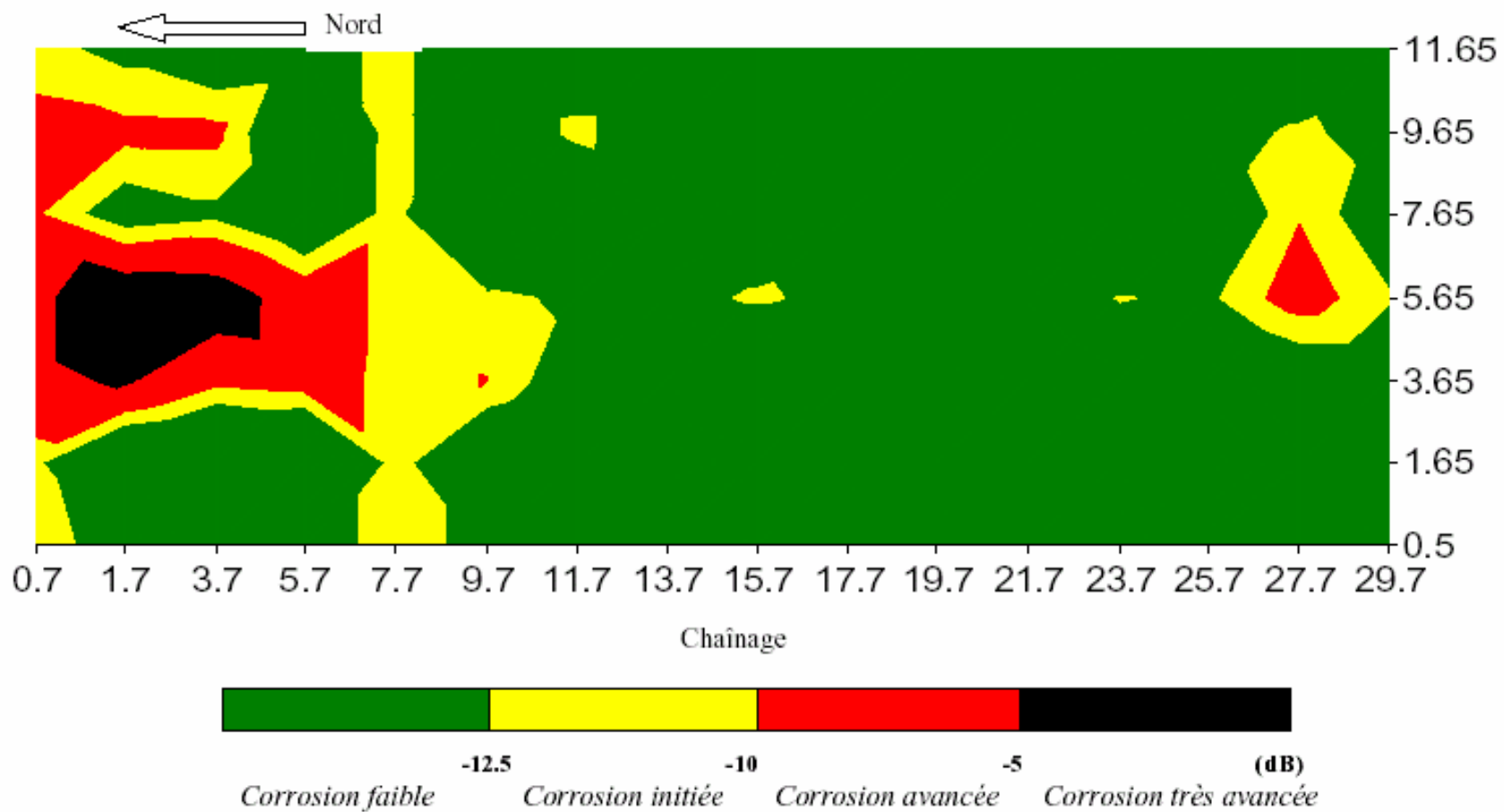


Figure 6 : Résultats de l'auscultation par radar

CONCLUSIONS

Les mesures de potentiel de corrosion indiquent que 50 % de la superficie de la dalle du tablier du pont située sur l'autoroute 55 est dans un état de corrosion faible, 36 % dans un état de corrosion initiée et 13.5 % dans un état de corrosion avancée à très avancée. Les mesures radar sont en accord avec les mesures de potentiel et de la résistivité électrique. Les résultats obtenus ont été confirmés par des analyses de la teneur en ions chlorure effectuées par Géolab inc. sur deux carottes prélevées du tablier (Figure 4). La teneur en ions chlorure de l'éprouvette prélevée dans une zone où l'activité de corrosion est faible (carotte Nro 16) est de 16 mg/kg alors que la teneur en ions chlorure de l'éprouvette prélevée dans une zone où la corrosion est avancée (carotte Nro 5) est de 4700 mg/kg de béton.

REMERCIEMENTS

Cette étude s'est effectuée avec la collaboration de la compagnie Géolab inc. qui nous a fourni une aide précieuse durant la préparation et la réalisation des travaux. Les auteurs remercient également le CRSNG ainsi que les partenaires de la Chaire sur l'auscultation des structures de béton pour le soutien financier.