

Utilisation du radar pour la détection de zones à risque de corrosion dans le béton armé

Jean-Paul BALAYSSAC

Institut national des sciences appliquées
Université Paul Sabatier, Génie civil, Toulouse

Stéphane LAURENS

Institut national des sciences appliquées
Université Paul Sabatier, Génie civil, Toulouse
Faculté des sciences appliquées, Université de Sherbrooke (Québec)

Jamal Rhazi

Faculté des sciences appliquées, Université de Sherbrooke (Québec)

Note

technique

Introduction

Les dégradations du béton armé sont dans un grand nombre de cas liées à la corrosion des armatures [1]. Cette corrosion dont la principale cause est, en Amérique du Nord, la pénétration d'ions chlorure, résulte de réactions électrochimiques à la surface de l'acier et dans son voisinage immédiat. Parmi les techniques de détection de la corrosion, la mesure de potentiel d'électrode et la mesure de la résistivité électrique du béton sont les plus fréquemment utilisées [2, 3]. Ces deux techniques présentent cependant des inconvénients liés à leur mise en œuvre (nécessité de réaliser un maillage de la structure et d'avoir accès aux armatures pour établir un contact électrique).

Les tentatives d'utilisation du radar comme outil d'évaluation de la corrosion des armatures ont porté, jusqu'à présent, sur la mise en évidence des dommages physiques générés par la corrosion dans le béton (fissures, délaminage du béton) [4, 5, 6]. Cette approche présente deux inconvénients majeurs. En effet, d'une part, la résolution insuffisante des systèmes radar rend difficile et hasardeuse la détection de discontinuités d'ordre millimétrique et, d'autre part, l'existence de tels dommages traduit un stade très avancé de corrosion.

On propose une approche différente de l'utilisation du radar en génie civil. La réflectivité électromagnétique d'un béton est en effet étroitement liée à son degré de saturation en eau et, dans une moindre mesure, à son degré de contamination par les ions chlorure [7, 8]. Une forte teneur en eau génère une augmentation de la constante diélectrique du béton [9, 10] et, de ce fait, une augmentation du coefficient de réflexion de l'interface entre la couche de roulement et le béton (interface CR-B). Par ailleurs, la teneur en eau modifie la résistivité électrique du béton, qui influe de façon conséquente sur l'évolution du processus électrochimique de corrosion. Lors de l'auscultation par radar d'une dalle de tablier de pont, l'amplitude du signal réfléchi au niveau de l'interface CR-B peut, par conséquent, être indirectement associée au caractère conducteur ou isolant du béton. Une forte amplitude de ce signal (forte réflexion) traduira un béton conducteur, propice au développement de la corrosion, alors qu'une faible amplitude (faible réflexion) témoignera d'un béton résistif.

Le radar n'est alors plus utilisé comme un outil de détection des dommages consécutifs à la corrosion mais plutôt comme un moyen de déceler des zones où existent des risques de développement de la corrosion. L'intérêt de ce nouveau développement est de fournir un outil de détection d'une mise en œuvre rapide, simple, fiable et non destructive.

Afin de mettre en évidence les capacités du radar à détecter des zones à risque de corrosion, une campagne d'essai *in situ* a été conduite sur des tabliers de ponts affectés par la corrosion, au cours de laquelle des mesures de réflectivité de l'interface CR-B ont été couplées avec des mesures de potentiel d'électrode.

Détails expérimentaux

Description des tabliers de pont auscultés

Les campagnes sont réalisées sur deux tabliers de pont au Québec : tablier STH et tablier A 20. Les deux tabliers, en béton armé, sont recouverts d'une couche de roulement (enrobé bitumineux) d'une épaisseur variant entre 5 et 10 cm, sans chape d'étanchéité. Sur chaque ouvrage, une seule voie de circulation est auscultée.

Équipement radar et traitement des données

Le radar utilisé est de marque GSSI, type SIR 10H, en association avec l'antenne GSSI 5100 de fréquence centrale 1,5 GHz. Le balayage du tablier est réalisé à partir d'un véhicule circulant sur la chaussée. Le traitement des données est effectué au moyen du logiciel RADAN NT (GSSI).

Les mesures d'amplitude du signal réfléchi par l'interface CR-B sont rapportées à l'amplitude de l'onde directe émetteur-récepteur. Les résultats sont présentés sous forme d'une carte de réflectivité de la surface du tablier.

Mesure de potentiel d'électrode

La mesure du potentiel d'électrode fournit des renseignements qualitatifs sur la corrosion des armatures. Les valeurs de différences de potentiel mesurées entre le béton de surface et l'électrode de référence renseignent sur l'activité électrochimique de l'acier. L'électrode de mesure employée est de type cuivre/sulfate de cuivre. Les résultats obtenus sont interprétés à partir de la norme ASTM C-876 [11] qui donne des critères de risque de corrosion (tableau I).

TABLEAU I

Probabilité de corrosion des armatures selon la norme ASTM C-876

Potentiel d'électrode Cu/CuSO ₄ (mV)	Probabilité de corrosion (%)
> - 200	< 10
- 200 à - 350	50 (incertain)
- 350 à - 500	50 à 90
< - 500	> 90

La mesure du potentiel sur les tabliers de pont nécessite le percement de la couche de roulement jusqu'au béton. Le trou est rempli d'une solution saline afin d'assurer une bonne conductivité électrique entre la surface du tablier et l'interface CR-B. Le maillage de la surface est réalisé tous les mètres (fig. 1). Les résultats sont également présentés sous la forme d'une carte des potentiels à la surface du tablier.

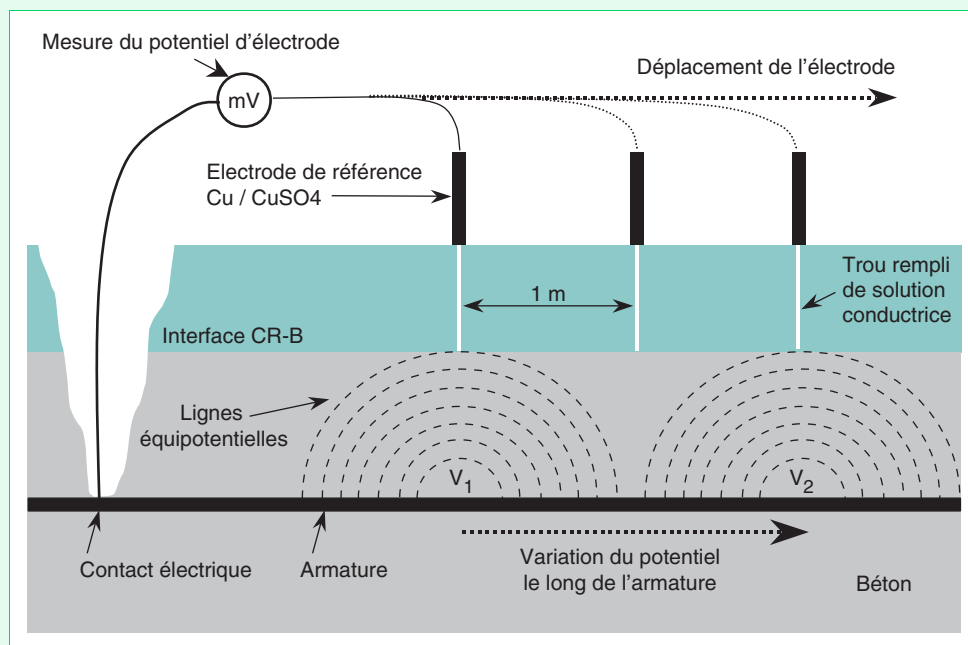


Fig. 1 - Mesure du potentiel de corrosion.

Présentation et discussion des résultats

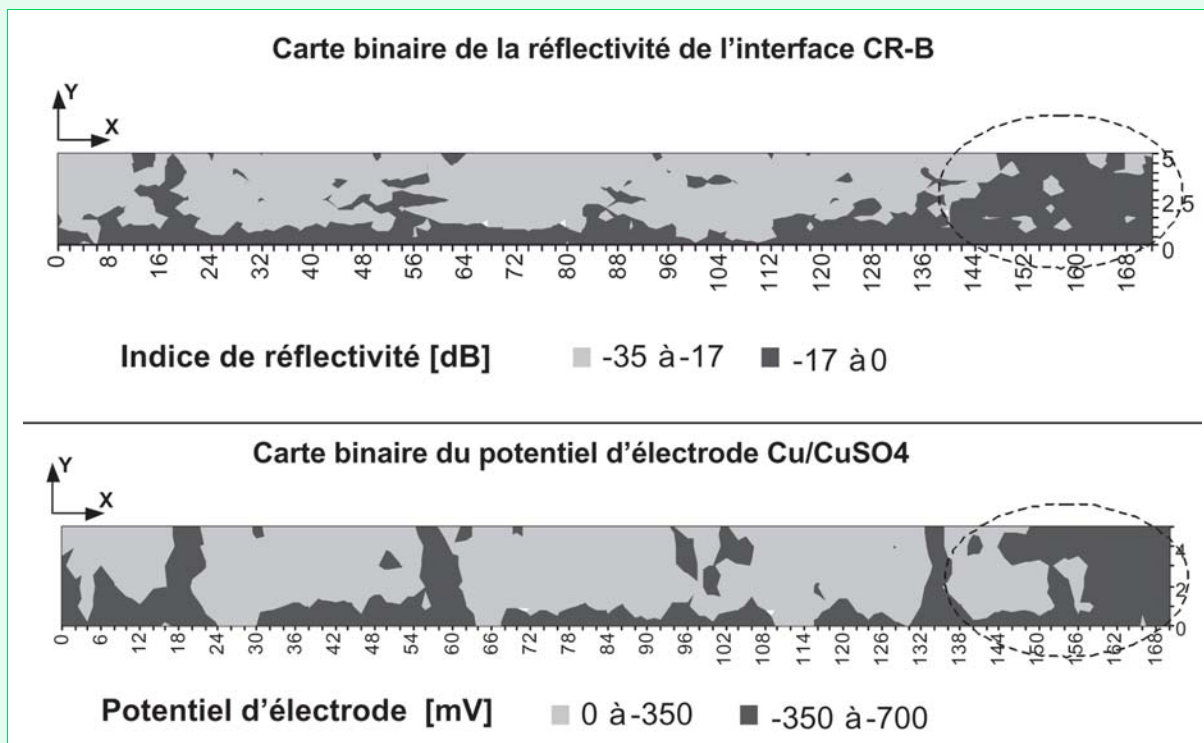
Les résultats sont présentés sous forme de cartes binaires (fig. 2). Sur les cartes de potentiel d'électrode, les zones noires correspondent aux valeurs de potentiel inférieures à - 350 mV ce qui, selon les critères ASTM, est synonyme d'une forte probabilité de corrosion. Dans les zones grises, la corrosion peut être considérée comme peu probable.

Pour les cartes de réflectivité radar, les valeurs mesurées étaient comprises :

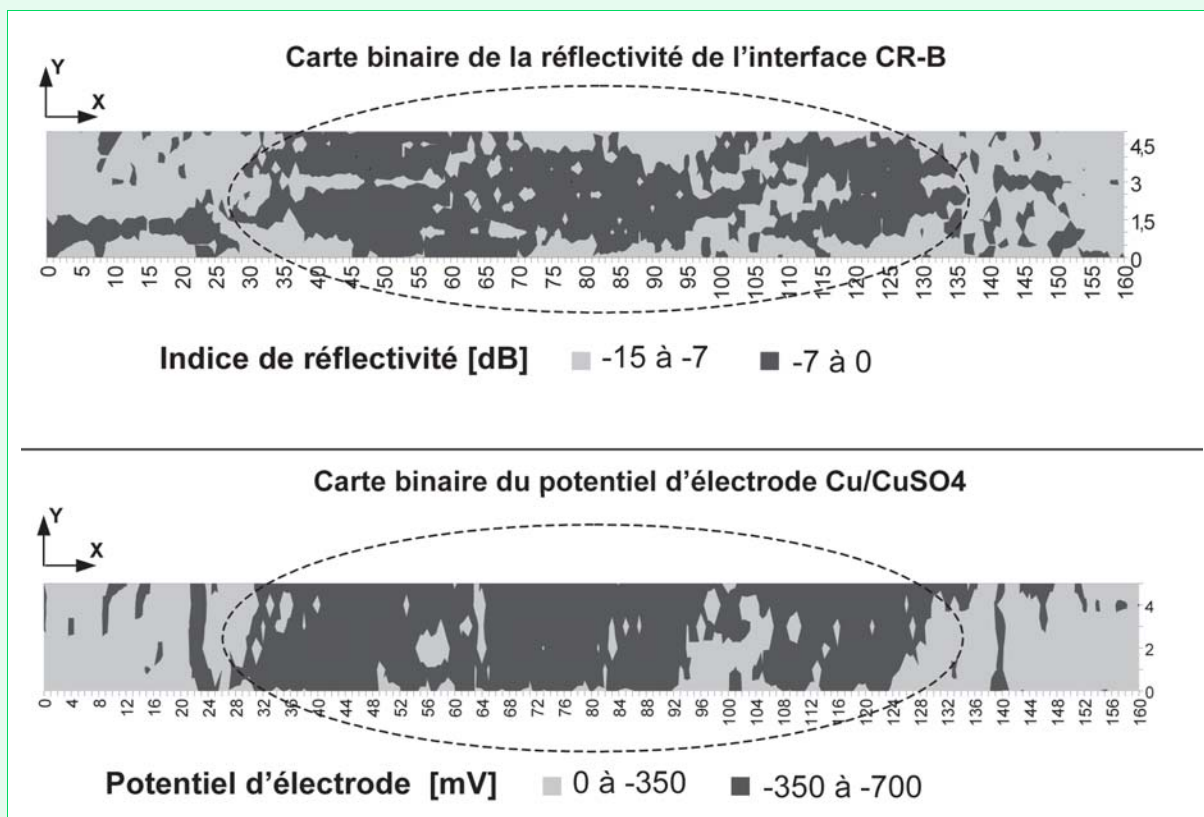
- entre 0 (forte réflectivité) et - 35 dB (faible réflectivité) pour le tablier A 20 ;
- entre 0 et - 15 dB pour le tablier STH.

On constate, à ce stade, que le niveau global de réflectivité du tablier STH est plus important. Pour chaque tablier, le « seuillage » de la réflectivité a été réalisé de manière à obtenir les meilleures corrélations graphiques avec les cartes de potentiel seuillées à - 350 mV. Le seuil a ainsi été fixé à - 17 dB pour le tablier A 20 (cf. fig. 2a) et - 7 dB pour le tablier STH (cf. fig. 2b).

Fig. 2 - Relation entre la réflectivité de l'interface CR-B et la mesure de potentiel d'électrode.



a. Tablier A 20 (vue de dessus).



b. Tablier STH (vue de dessus).

Il est intéressant de remarquer que ces valeurs de seuil correspondent approximativement aux centres des intervalles de variation de l'indice de réflectivité propre à chaque tablier. Sur les cartes, les zones noires correspondent à des valeurs comprises entre 0 et le seuil correspondant, et les zones grises aux valeurs inférieures à ce seuil.

On remarque, sur les figures 2a et 2b, que les « seuillages » adoptés sur la valeur de réflectivité conduisent à des cartes très semblables à celles issues des mesures de potentiel. La bonne corrélation observée s'explique par le fait que les zones à fort

risque de corrosion (potentiel inférieur à -350 mV) sont également les zones où se concentrent humidité et chlorures, se traduisant par une forte réflexion à l'interface CR-B.

On peut aisément observer que le tablier du pont STH est plus corrodé que celui du pont A 20 : les zones noires sont effectivement moins denses sur ce dernier. Les deux techniques conduisent à des zonages de la probabilité de corrosion quasiment identiques. Les zones similaires sont délimitées par un trait pointillé sur les figures 2a et 2b. On note que le tablier du pont A 20 est soumis à un risque important de corrosion à l'une de ses extrémités (de 130 à 175 m), ainsi que le long du côté gauche (drainage des eaux le long du trottoir). Le tablier du pont STH concentre, quant à lui, la plus forte probabilité de corrosion entre 25 et 135 m (partie centrale du tablier).

Conclusion

L'objectif de ce travail est de montrer les potentialités du radar pour détecter les zones potentiellement corrodées du béton armé sur des tabliers de pont. Pour cela, des cartes de potentiel de corrosion ont été comparées à des cartes de réflectivité de l'interface « couche de roulement-béton ». On montre que les deux techniques conduisent à des conclusions similaires en termes de zonage de la probabilité de corrosion pour ces deux ouvrages, ce qui démontre que le radar peut être considéré comme un outil efficace pour la détection précoce des risques de corrosion. En outre, vis-à-vis des techniques existantes, le radar présente des avantages tels que rapidité et simplicité de mise en œuvre, caractère entièrement non destructif et une très bonne répétitivité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] OCDE, *Recherches routières*, Durabilité des ponts routiers en béton, OCDE Paris, **1989**.
- [2] ANDRADE C., RILEM TC 154 – EMC – Electrochemical techniques for measuring corrosion in concrete, Progress report 1994-97, *Matériaux et Structures*, RILEM, vol. 31, **1998**, pp. 153-157.
- [3] CARINO N.J., Nondestructive techniques to investigate corrosion status in concrete structures, *Journal of performance of constructed facilities*, August **1999**, pp. 96-105.
- [4] MASER K., Condition assessment of transportation infrastructure using ground penetrating radar, *Journal of Infrastructure systems*, vol. 2, **2**, June **1996**, pp. 94-101.
- [5] CARTER C.R., CHUNG T., REEL R., THARMABALA T., WOOD D., *Impulse radar evaluation of reinforced concrete bridge decks*, Proceedings, SPIE, vol. 2456, **1995**, pp. 174-185.
- [6] CHUNG T., CARTER, C.R., MASLIWEC, T., MANNING, D.G., Impulse radar evaluation of concrete, asphalt and waterproofing membrane, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 30, **2**, April **1994**, pp. 404-415.
- [7] ULRIKSEN P., *Application of impulse RADAR to civil engineering*, Ph. D. Thesis, Lund University of Technology, **1982**.
- [8] LAURENS S., *Aptitude de la technique radar à la caractérisation du béton d'enrobage. Aide au diagnostic de la corrosion des armatures*, Thèse de doctorat, INSA de Toulouse – Université de Sherbrooke, Toulouse, **2001**.
- [9] RHIM H.C., BÜYÜKÖZTÜRK O., Electromagnetic properties of concrete at microwave frequency range, *ACI material journal*, vol. 95, **3**, **1998**, pp. 262-27.
- [10] SOUTSOS, M.N., et al, Dielectric properties of concrete and their influence on radar testing, *NDT & E International*, **34**, **2001**, pp. 419-425.
- [11] ASTM, Test method C-876 : *Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete*, **1997**.