

DÉTECTION D'EAU DANS LE TABLIER D'UN PONT PAR RADAR DE SOL (GPR)

ELIAS M.^{1,2}, SAINTENOY A.², LÉGER E.², FERRET B.¹, PELLEVRULT S.¹

¹Société Rincent, Courcouronnes, France

²Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay, France

RÉSUMÉ

Une campagne de prospection par radar de sol a été menée sur le tablier d'un pont avec une antenne de fréquence centrée à 2,6 GHz. Une zone pour laquelle l'amplitude de réflexion des ondes augmentait sur l'interface entre le béton du tablier et le mortier a été observée. Ces résultats ont été interprétés comme signant la présence d'une importante teneur en eau dans les pores du béton, interprétation corroborée par les résultats d'un sondage destructif réalisé sur cette zone.

Mots clés : Radar de sol, béton armé, accumulation d'eau

ABSTRACT

A geophysical survey using ground-penetrating radar with a antenna centered at 2.6 GHz allowed the characterization of a water accumulation zone in the bridge's concrete deck. The electromagnetic waves reflected on the interface separating the concrete deck and the mortar at the right of this zone showed strong amplitudes interpreted as high water content zones. These interpretations were corroborated by the results of a destructive borehole carried out on this zone.

Key words : Ground Penetrating Radar, Reinforced concrete, water accumulation

INTRODUCTION

Les ponts en béton armé représentent environ un tiers des ouvrages français [9]. Environ 20% de ces ouvrages présentent des dégradations sur leur structure porteuse. Celles-ci sont principalement causées par le développement de corrosion sur les aciers, phénomène se développant lorsque le béton entourant les aciers est humide [1; 7]. Les méthodes utilisées pour évaluer la présence d'eau dans le béton consistent généralement en la réalisation de sondages destructifs ponctuels [2]. Ils ne permettent cependant pas de connaître avec précision les limites de la zone concernée. Afin d'évaluer les variations des paramètres physiques de matériaux sur de vastes zones de manière continue, il est possible d'utiliser la méthode du radar de sol qui présente l'avantage de fournir des résultats sous forme de cartographies ou de coupes en profondeur [10; 11].

PRINCIPE DES MESURES D'EAU PAR RADAR DE SOL

Propagation des ondes électromagnétiques dans le béton

Lorsqu'une onde électromagnétique rencontre une interface entre deux milieux non magnétiques comme le béton et le mortier [4] possédant des valeurs de permittivité différentes, une partie de l'énergie de l'onde est réfléchiée à la surface de cette interface. L'amplitude des ondes enregistrées correspond à la quantité d'énergie réfléchiée R , avec ε_{r_1} et ε_{r_2} la permittivité diélectrique relative (grandeur adimensionnelle, également appelée constante diélectrique) des milieux 1 et 2, telle que :

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r_1}} - \sqrt{\varepsilon_{r_2}}}{\sqrt{\varepsilon_{r_1}} + \sqrt{\varepsilon_{r_2}}} \quad (1)$$

Influence de la présence d'eau dans le système

Le béton étant un matériau poreux, les variations de sa valeur de permittivité relative ε_r sont principalement dues à celles de sa teneur en eau [4] ($\varepsilon_{r_{eau}} \approx 81$ [7]). D'après Derobert et al. [5], $\varepsilon_{r_{betonsec}} \approx 4$ et d'après Laurens et al. [8], $\varepsilon_{r_{betonsaturation}} \approx 10$. Le coefficient de réflexion entre une couche de mortier $\varepsilon_{r_{mortier}} = 6$ [4] moins poreux que du béton [6] et du béton sec est donc plus faible qu'entre une couche de mortier et de béton humide (équation 1).

MISE EN APPLICATION SUR UN PONT

Présentation de l'ouvrage investigué

Le pont étudié est un ouvrage de 142 mètres de portée composé de trois travées séparées par des joints de dilatation. Une arche en béton armé supporte le tablier sur la travée centrale tandis que le tablier situé sur les travées de part et d'autre de cette arche est supporté par un réseau de poutres entrecroisées en béton armé. La structure du tablier de l'ouvrage est composée de quatre couches de matériaux : une couche de roulement en béton bitumineux, une couche de bitume assurant l'étanchéité, une couche de mortier utilisé pour ragréer la surface de la dalle en béton et le béton de la structure porteuse du pont. Un phénomène de gonfle, lié à la formation de cloques sous la couche d'enrobés de la chaussée, a été observé sur l'ouvrage. Ce phénomène est notamment causé par l'évaporation de l'eau contenue dans les pores du béton sous l'effet de la chaleur. Celle-ci s'accumule sous la couche assurant l'étanchéité du pont provoquant des gonflements de la chaussée [3]. La présente étude s'applique à déterminer l'étendue de la zone atteinte par ces perturbations.

Acquisition et traitement des données radar

Les mesures radar ont été acquises sur la face supérieure du tablier avec une antenne de fréquence centrée à 2,6 GHz. Vingt profils radar de la longueur de l'ouvrage, espacés de 30 cm entre eux, ont été acquis sur l'ensemble du tablier. L'ensemble des données brutes a été traité selon la procédure suivante: calage du zéro au maximum du premier écho, soustraction de la trace moyenne, filtrage fréquentiel, compensation de l'atténuation du signal par un gain linéaire et exponentiel que, soustraction du bruit de fond, migration des traces en profondeur en utilisant les vitesses moyennes de propagation des ondes dans les milieux identifiés [4].

Présentation des résultats

Le radargramme présenté figure 1 a été acquis sur le tablier de l'ouvrage. Des réflecteurs formant des interfaces continues sont visibles sur l'ensemble du profil. Ils correspondent aux interfaces entre les différents matériaux constituant le tablier de l'ouvrage. Sont représentés (Cf. Figure 1) : en vert l'interface séparant le béton bitumineux et le bitume, en rouge l'interface entre le bitume et le mortier et en jaune la limite entre le mortier et le béton. Des changements structurels le long de l'ouvrage sont également visibles sur ce radargramme. Les hétérogénéités présentant de fortes amplitudes aux abscisses 48 et 96 m sont dues aux réflexions des ondes sur les joints de dilatation du pont. Composés de parties métalliques, une proportion importante de l'onde incidente émise par le radar est directement réfléchi sur ces matériaux. La section du radargramme entre les abscisses [48 ; 96]m, correspond à la travée centrale du pont. Les hyperboles de diffraction visibles entre 17 et 23 cm de profondeur correspondraient aux armatures armant l'arche du pont. Les sections situées entre les abscisses [0 ; 48]m et [96, 142]m du radargramme sont les travées situées de part et d'autre de la travée centrale. Un lit d'armatures relativement rectiligne est visible à environ 17 cm de profondeur, typique des signaux acquis sur les ponts-dalles. Enfin, sur ces sections, ce radargramme permet de visualiser

différentes pièces de pont, notamment les entretoises en béton armé situées aux abscisses 27, 37, 108 et 118 m.

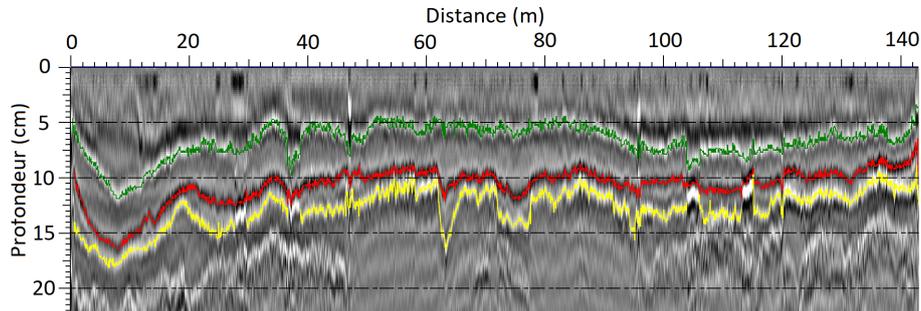


Figure 1: Radargramme du profil n°3. En vert : Interface séparant le béton bitumineux et le bitume. En rouge : Interface entre le bitume et le mortier. En jaune : Limite entre le mortier et le béton.

Interprétation des résultats

La figure 2 présente une cartographie des variations de l'amplitude de réflexion des ondes sur l'interface entre le mortier et le béton. Sur la cartographie présentée en figure 2, les zones présentant des anomalies d'amplitude dues à des changements structurels (pièces de pont et joints de dilatation) n'ont pas été tracées afin de ne pas saturer l'échelle de couleur pour observer les variations d'amplitude sur l'interface mortier/béton. Il est ainsi apparu que les profils acquis sur la partie sud-est du pont présentaient des amplitudes de réflexion élevées entre les abscisses [120 ; 140]m. Cette zone du tablier a été suspectée comme contenant un taux d'humidité dans le béton supérieur au reste du tablier. Cette interprétation est corroborée par le résultat d'un sondage destructif réalisé au droit de cette zone. Le maître d'ouvrage a donc entrepris des travaux de réfection de l'étanchéité sur la portion concernée (aux abscisses [100 ; 140] m) soit un tiers de l'ouvrage. La prospection radar a ainsi permis au maître d'ouvrage de programmer une réparation de l'étanchéité du pont sur la portion concernée lui évitant de reprendre l'ensemble de la surface, optimisant des coûts d'entretien de l'ouvrage.

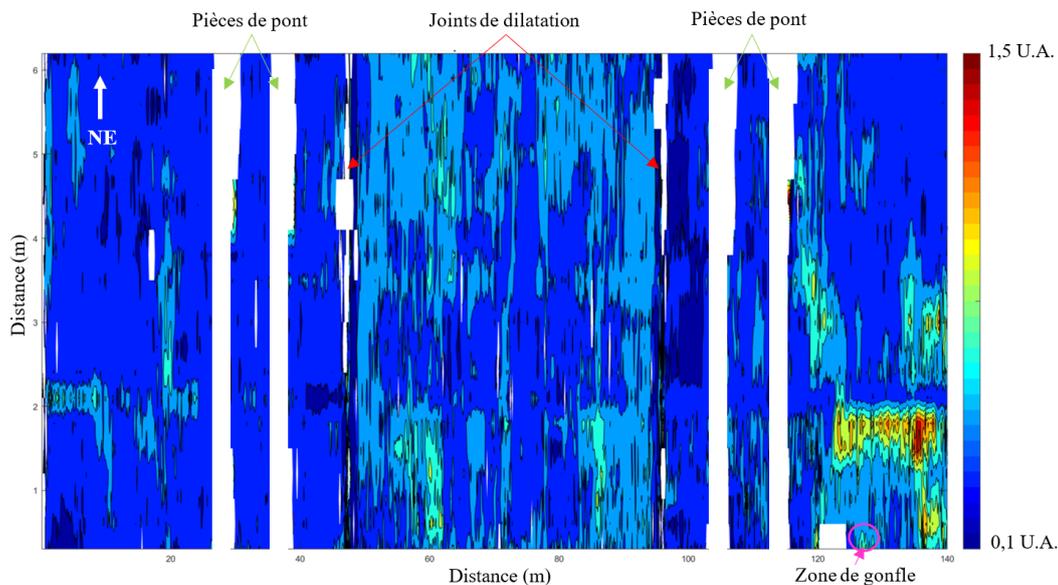


Figure 2: Cartographie de l'amplitude de l'onde réfléchie sur l'interface béton / mortier.

CONCLUSION

Les paramètres affectant la propagation des ondes radar dans le béton sont nombreux et diversifiés (nids de cailloux, teneur en chlorure du béton, corrosion des armatures, hétérogénéités, etc.) [1; 8]. Cependant, la proportion d'eau contenue dans les pores du béton joue un rôle majoritaire dans les variations des valeurs de permittivité du matériau. C'est pourquoi il a été possible de déterminer la présence d'une zone saturée dans le tablier de l'ouvrage étudié ici sans avoir eu une connaissance de l'ensemble des évènements l'ayant affecté (pollution, reprise de la structure, etc.). La présence d'eau dans le béton étant un facteur important de dégradation des ouvrages en béton armé [3], l'emploi du radar de sol afin d'évaluer ce paramètre présente un intérêt majeur vis à vis du suivi de l'état de ponts.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ALI M'ZÉ, W. *Évaluation non destructive de la contamination du béton par les chlorures avec la technique radar*. PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2018.
- [2] AMIRI, A. M. Grandubé-grandeurs associées à la durabilité des bétons. In *GranDuBé-grandeurs associées à la durabilité des bétons*. Presse des Ponts et des Chaussées, 2007.
- [3] BERTRAND, L., BOUTONNET, M., CAZENEUVE, J., CHABROL, J., DAUZATS, M., GRISELIN, J., COQUEREAU, A., POILANE, J., ROBERT, B., LEPERT, P., ET AL. Catalogue des dégradations de surface des chaussées-version 1998. *Techniques et méthodes des laboratoires des Ponts et Chaussées - Méthode d'essai LPC, complément de la méthode d'essai No 38-2*, 52 (1998).
- [4] DANIELS, D. Ground penetrating radar, ser. *IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series*. London: *The Institution of Electrical Engineers*, 15 (2004).
- [5] DÉROBERT, X., IAQUINTA, J., KLYSZ, G., AND BALAYSSAC, J.-P. Use of capacitive and GPR techniques for the non-destructive evaluation of cover concrete. *NDT & E International* 41, 1 (2008), 44–52.
- [6] DJAKNOUN, S. *Durabilité des matériaux de construction poreux (béton à hautes performances)*. PhD thesis, 2003.
- [7] GUIHARD, V. *Homogénéisation de grandeurs électromagnétiques dans les milieux cimentaires pour le calcul de teneur en eau*. PhD thesis, 2018.
- [8] LAURENS, S., BALAYSSAC, J.-P., RHAZI, J., KLYSZ, G., AND ARLIGUIE, G. Non-destructive evaluation of concrete moisture by GPR: experimental study and direct modeling. *Materials and structures* 38, 9 (2005), 827–832.
- [9] MAUREY, H. Sécurité des ponts : éviter un drame. Tech. rep., Sénat, 2019.
- [10] MCCANN, D. M., AND FORDE, M. C. Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *NDT & E International* 34, 2 (2001), 71–84.
- [11] RATHOD, H., AND GUPTA, R. Sub-surface simulated damage detection using non-destructive testing techniques in reinforced-concrete slabs. *Construction and Building Materials* 215 (2019), 754–764.