

Partie 1 – Évaluation non destructive des matériaux

EFFET DE LA POLARISATION DES ANTENNES SUR L'IDENTIFICATION DES VIDES PAR GÉORADAR

EFFECT OF ANTENNA POLARIZATION ON THE IDENTIFICATION OF VOIDS BY GPR

S. DAFALI^(a*), M. EL OMARI^(a), H. HAMDI^(a), J. RHAZI^(b)

a. Faculté des Sciences, Université Cadi AYYAD, Avenue Prince My Abdellah, 2390, Marrakech, Maroc.

b. Faculté de génie, Laboratoire de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qc) Canada J1K2R1.

* auteur correspondant : salwa.dafali@gmail.com

RÉSUMÉ

Le Géoradar est un outil d'auscultation privilégié dans les inspections des ouvrages. On retrouve ses applications dans beaucoup de domaines. Il est adopté en génie civil pour ses avantages de rapidité et ses capacités non destructives. Il permet de détecter des objets enfouis, tels que les armatures, les tuyaux mais aussi les vides, ceux-ci étant les défauts les plus préjudiciables aux ouvrages de béton. À l'aide d'un Géoradar équipé d'une antenne de fréquence centrale de 2 GHz, on a tenté de voir l'impact de la polarisation du champ électrique sur la détection de vides implantés dans une dalle de béton.

ABSTRACT

GPR is an electromagnetic non-destructive inspection technique that is used in many fields. GPR is adopted in civil engineering for its advantages of speed and non-destructive capabilities. It can detect buried objects, rebars, pipes but also voids, the latter being the most injurious defect in concrete structures. By using a GPR with a center frequency of 2 GHz, we tried to determine the impact of the polarization of the electric field on the detection of voids implanted in a concrete slab.

Mots-clés : GPR, détection de vides, béton, polarisation

1. INTRODUCTION

Le Géoradar (Ground Penetrating Radar) est une technique d'auscultation non destructive largement utilisée en génie civil à cause de la rapidité de sa mise en œuvre. Utilisé initialement comme outil de prospection géophysique, et puis en archéologie [1,2,3], les ingénieurs ont su plus tard adopter cette technique dans le domaine du génie civil [4] pour, par exemple, la détection des vides [5], des tuyaux enfouis [6], des fissures [7] et des armatures [8].

Un équipement Géoradar comporte une antenne émettrice et une antenne réceptrice. L'antenne émettrice émet des ondes électromagnétiques qui se propagent dans le béton. Ces ondes sont par la suite réfléchies aux interfaces et détectées par l'antenne réceptrice. L'amplitude du signal réfléchi est liée à la taille du défaut et au contraste de permittivité entre ce défaut et le milieu, et le temps d'aller-retour de l'onde est affecté par la permittivité diélectrique du milieu. Les antennes de fréquence centrale 2 GHz sont parfaitement adaptées aux inspections des dalles minces du béton. La fréquence étant inversement proportionnelle à la capacité de pénétration [9].

Le résultat de l'auscultation par Géoradar est généralement présenté sous la forme d'une image en 2D (distance parcourue par l'antenne-profondeur) qui renseigne sur les anomalies qui sont liées aux variations des propriétés électromagnétiques au sein du matériau ausculté. L'interprétation des données peut être un enjeu crucial,

ainsi la bonne connaissance des propriétés des antennes est un requis pour aboutir à de bonnes interprétations. La polarisation du champ électrique généré par les antennes du Géoradar est un point important à considérer et doit être adopté comme stratégie lors des investigations entreprises. La polarisation peut avoir un impact sur le signal réfléchi et permet de renseigner sur la taille et l'orientation des objets enfouis [10].

La plupart des Géoradar utilisent des dipôles linéairement polarisés qui émettent et détectent des rayons électromagnétiques dont le champ électrique est parallèle à l'axe des dipôles [11]. L'acquisition des données est effectuée par le déplacement des antennes le long de la surface, l'axe des dipôles étant perpendiculaire à la direction du déplacement.

La nature vectorielle du Géoradar est de plus en plus exploitée pour la détection des objets enfouis tels les tuyaux urbains [12, 13, 14], les propriétés de polarisation sont aussi exploitées pour la détection et la description quantitative des fractures. Le présent article présente les résultats de l'auscultation d'une dalle en béton où des vides de différentes tailles ont été implantés. Cette auscultation a été effectuée avec un Géoradar d'une fréquence nominale de 2 GHz avec différentes polarisations des antennes pour comparer la détectabilité des vides entre les différentes polarisations des antennes.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Acquisition de données

On a utilisé un Géoradar équipé de couples d'antennes perpendiculaires l'un par rapport à l'autre (Figure 1). Cet instrument permet de faire des acquisitions en quadruple polarisation au même moment : antennes parallèles émettrice-réceptrice yy (canal 1), antennes parallèles émettrice-réceptrice xx (canal 2), antenne émettrice direction-y et réceptrice direction-x (canal 3), antenne émettrice direction-x réceptrice direction-y (canal 4).

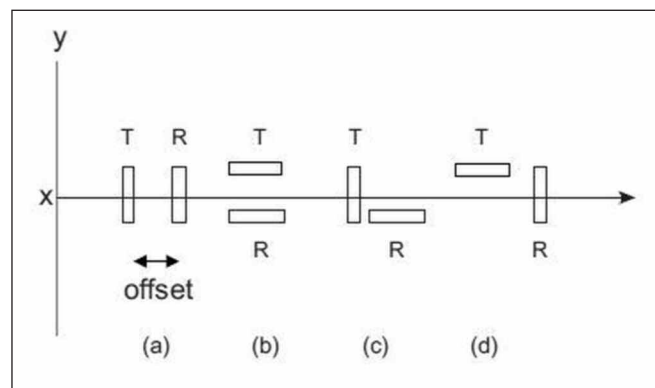


Figure 1 : Configuration des 4 antennes: (a) antennes parallèles suivant l'axe y - polarisation yy, (b) antennes parallèles suivant l'axe x - polarisation xx, (c) antennes perpendiculaires : émetteur en direction de y et récepteur suivant l'axe x - polarisation yx, (d) antennes perpendiculaires : émetteur en direction de x et récepteur suivant l'axe y - polarisation xy

La dalle sur laquelle porte notre étude est une dalle sur terre-plein d'une superficie de 2,3*4 m comprenant des armatures horizontales et verticales, des vides rectangulaires et des nids d'abeille en polystyrène (Figure 2). Le polystyrène est un matériau isolant ayant une conductivité électrique nulle et une permittivité diélectrique proche de 1. Les vides et nids d'abeille sont placés en-dessous des armatures. Ils ont une épaisseur de 0,05 m et des sections de 0,30*0,30 m, 0,20*0,20 m, 0,15*0,15 m et 0,10*0,10 m.

Les relevés Géoradar ont été effectués dans les directions x et y pour avoir des données assez denses. Les espacements entre les profils sont de 0,1 m. Au total, on a effectué 28 profils dans la direction x et 17 profils dans la direction y.

2.2. Traitement de données

Le logiciel ReflexW (Sandmeier 2013, version 7.16) a été utilisé pour le traitement des données en 2D. Ces traitements qui ont notamment pour but d'augmenter le rapport signal/bruit, incluent :

a) Une correction statique visant à localiser le temps zéro des enregistrements. Une vitesse constante de 0,1 m/ns est utilisée pour les corrections basées sur une combinaison

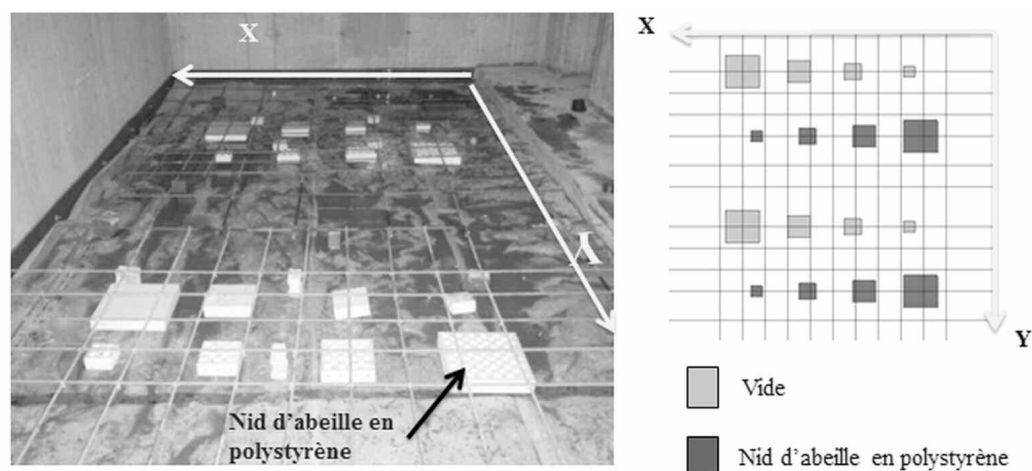


Figure 2 : Emplacement des armatures, des vides et des nids d'abeille dans la dalle de béton

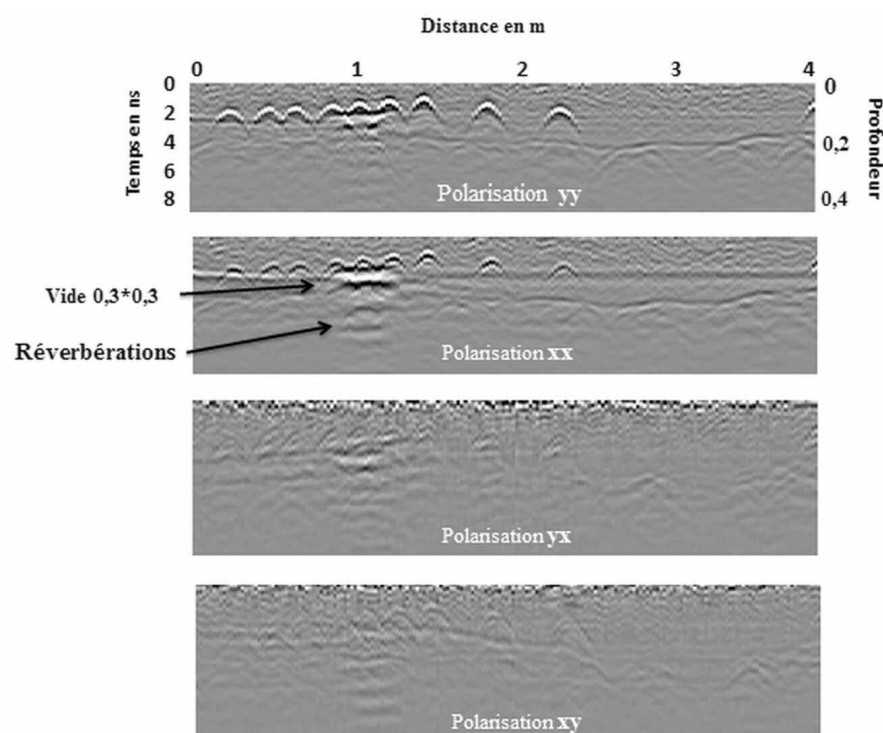


Figure 3 : Les profils de la ligne 5 passant par le vide suivant 4 polarisations (yy, xx, yx, xy)

entre l'analyse de vitesse et sur la concordance avec les hyperboles de diffraction des armatures;

- b) Un filtrage fréquentiel « Bandpass Butterworth » avec une bande passante de 300 - 3000 MHz qui a pour but d'éliminer les hautes fréquences affectées par les bruits;
- c) Un gain linéaire variable en fonction de la profondeur pour contrer l'atténuation (géométrique) due au matériau, l'amplification est progressive et permet de rehausser l'amplitude en profondeur;
- d) Un filtre « Dewow » pour la soustraction des bruits de basses fréquences;
- e) Un filtre « Background Removal ».

3. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

L'acquisition est effectuée suivant une multi-configuration. La Figure 3 montre le profil de la ligne 5 qui passe par le centre d'un vide de 0,3*0,3 m selon les polarisations yy, xx, yx et xy.

Dans les profils Géoradar, les vides sont identifiables par une forte réflectivité. Dans le cas d'un vide rempli d'air, la réflexion peut être deux fois plus grande que l'amplitude émise par l'antenne source [15]. La forte réflexion est accompagnée par des multiples [16] se produisant dans un intervalle constant dans le temps. La réflexion sur le vide rempli d'air crée des réverbérations électromagnétiques et une baisse de fréquence [17].

En plus des hautes amplitudes de réflexion, les vides peuvent être identifiés par la polarité, quand l'onde électromagnétique traverse l'interface béton-air, la polarité du signal est inversée du positif au négatif. Ceci s'explique par le fait que la permittivité diélectrique du béton est supérieure à celle du vide, ce qui donne lieu à un coefficient de réflexion négatif (contrairement au vide rempli d'eau).

Il est clair que l'intensité des réflexions des armatures est plus grande dans la polarisation yy. Le fond de dalle est situé à 3,32 ns, ce qui correspond à une profondeur d'environ 0,17 m. Les réflexions de fond de dalle sont perturbées sous le vide qui est situé à $x = 1$ m et sont invisibles à cet endroit. Les antennes en configuration yy captent les ondes incidentes en polarisation parallèle, les antennes en configuration xx captent les ondes incidentes perpendiculaires. L'amplitude de réflexion du vide est plus grande dans la polarisation xx contrairement à la polarisation yy. Ceci s'explique par le fait que l'antenne en configuration xx capte mieux les ondes incidentes du vide polarisées verticalement. L'identification du vide peut être hasardeuse dans le cas de la polarisation yy, puisque les réverbérations ne sont pas aussi bien visibles. Dans le profil de la ligne 5, en polarisation xx, la réflexion sur la partie supérieure du vide se produit à une profondeur de 0,09 m, à une distance d'à peu près 0,03 cm en-dessous de l'hyperbole de diffraction de l'armature. La première réflexion du vides se produit à $x = 0,9$ m et la dernière à $x = 1,2$ m, ce qui correspond à une longueur du vide de 0,3 m. Les réverbérations générées par la surface inférieure du vide masquent les réflexions de la surface supérieure limitant ainsi l'identification de l'épaisseur du vide [15]. En s'appuyant sur les données acquises en configuration xx, on peut bien localiser le vide et déterminer sa longueur.

Les réflexions des vides en polarisations xy et yx sont très faibles. Ces polarisations dites croisées sont sensibles aux ondes électromagnétiques dépolarisées. Dans le cas d'une antenne parfaitement polarisée, on devrait obtenir une réflexion nulle, puisqu'il s'agit d'un vide plan dont l'énergie incidente n'est pas captée par l'antenne réceptrice en polarisation croisée.

4. CONCLUSION

Cette étude a porté sur l'effet de la polarisation des antennes Géoradar sur la détection des vides dans le béton. Les résultats préliminaires présentés ici, indiquent que la détection et la localisation spatiale des vides plans, sont meilleures dans le cas de la polarisation suivant l'axe xx. La prise en compte de la polarisation des antennes du Géoradar est donc un point important à considérer pour une bonne identification des vides. Nos travaux futurs sur l'analyse des données collectées sur ce banc d'essai expérimental, porteront notamment sur les possibilités de différencier les vides des nids d'abeilles et sur l'apport de la combinaison des données collectées avec différentes polarisations sur la détection.

RÉFÉRENCES

- [1] Bonomo, N., Lorena C., Osella A., et Ratto N., GPR prospecting in a prehispanic village, NW Argentina, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 67(1), Janvier 2008, Pages 80-87
- [2] Yalçiner, C., Bano, M., Kadioglu, M., Karabacak, V., Meghraoui, M. & Altunel, E., New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western Turkey) using GPR method, *Journal of Archaeological Science*, Volume 36, 2009, Pages 1680-1689
- [3] Porsani J., de Matos Jangelme G., and Kipnis R., Use of ground-penetrating radar to map subsurface features at the Lapa do Santo archaeological site (Brazil), *Near surface Geophysics*, Volume 10, No 2, April 2012, Pages 141-144
- [4] Grandjean, G., Gourry, J.C., Bitri, A., Evaluation of GPR techniques for civil- engineering applications: study on a test site, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 45, 2000, Pages 141-156
- [5] Xu, X., Zeng, Q., Li, D., Wu, J., Wu, X., Shen, J., GPR detection of several common subsurface voids inside dikes and dams, *Engineering Geology*, Volume 111, Janvier 2010, Pages 31-42
- [6] Ayala-Cabrera, D., Herrera M., Izquierdo J., Pérez-García R., Location of buried plastic pipes using multi-agent support based on GPR images, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 75(4), Décembre 2011, Pages 679 -686
- [7] Krynski, L. et Sudyka J., GPR abilities in investigation of the pavements transversal cracks, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 97, Avril 2013, Pages 27-36
- [8] Bungey, J. H., Millard, S. G., et Shaw M. R., The influence of reinforcing steel on radar surveys of concrete structures, *Constr. Build Mater.*, Volume 8, No. 2, 1994, Pages 119-26
- [9] Daniels DJ, editor. Ground penetrating radar. 2nd edition. IEE radar, sonar and navigation series 15. London, UK: The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [10] Daniels, D.J., Surface penetrating radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 1996
- [11] Balanis, C.A., *Advanced Engineering Electromagnetics*. Wiley, New York, NY, 1989
- [12] Shaari A., Ahmad R.S., Chew T.H. Effect of the antenna target polarization and target medium dielectric contrast on GPR signal from non metal pipes using FDTD, *NDT&E International*, Volume 43, Mars 2010, Pages 403-408
- [13] Lualdi, M., Lombardi F., Orthogonal polarization approach for three dimensionnal georadar survey, *NDT&E International*, Volume 60, Aout 2013, Pages 87-99
- [14] Porsani J.L., Slob E., Lima R., Nakamura Leite, D., Comparing detection and location performance of perpendicular and parallel Broadside GPR antenna orientation, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 70, 2010, Pages 1-8
- [15] Glover, M.J., Void detection using standing wave analysis. In: Pilon, J. (Ed.), *Ground Penetrating Radar*, Geological Survey of Canada. Volume 90-4, 1992, Page 63-73
- [16] Casas, A., Lazaro, R., Vilas, M., Busquet, E., Detecting karstic cavities with ground penetrating radar at different geological environments in Spain. *Proceeding of the 6th International Conference GPR 1996 Japan*, 1996, Pages 455-460
- [17] Kofman, L., Use of ground penetrating radar in geotechnical applications. *Proceedings of the 12th Conference of the Israel Association for the Advancement of Mineral Engineering*, Eilat, 1994, Pages 158 -161