

Évaluation des infrastructures routières par la technique du Géoradar

SALWA DAFALI^(a), MOHAMED EL OMARI^(a), EL KHADIR LAKHAL^(a), JAMAL RHAZI^(b), HASSAN HAMDI^(c)

(a). Laboratoire d'Automatique de l'Environnement et Procédés de Transfert, *Faculté des Sciences, Université Cadi Ayyad, BP. 2390, Marrakech, Maroc.*

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

(c). Laboratoire de Mécanique des Fluides et Energétique, *Faculté des Sciences, Université Cadi Ayyad, BP. 2390, Marrakech, Maroc.*

* Auteur correspondant : salwa.dafali@gmail.com

Résumé

Les infrastructures routières constituent un pilier de l'économie et du développement socio-économique d'un pays. La gestion efficace et l'entretien des routes requièrent la collecte de données fiables, qui peuvent renseigner sur l'état actuel et qui soient assez fidèles à l'état réel de l'ouvrage à évaluer. Le Géoradar est un outil non destructif privilégié à cet usage, adopté à l'application des chaussées depuis une trentaine d'années. Cette technique est souvent utilisée pour ses avantages de rapidité et ses capacités non destructives. Il permet, de détecter des objets enfouis, tels que les armatures, les tuyaux de service publics souterrains. Les applications offertes par le Géoradar sont diversifiées et le nombre d'informations fournies est important quant à l'évaluation des chaussées. Dans le présent travail, on étale quelques-unes des applications du Géoradar pour les infrastructures routières afin de déterminer, en instant donné, l'épaisseur des couches et d'évaluer le degré de dégradation en ions chlorures ainsi que la détection des vides en exploitant la polarisation des antennes.

Abstract

The road infrastructures constitute a pillar of the economy and socio-economical development of a country. Effective management and maintenance of the roads requires fiable data collection, which can inform about the actual state and which are faithful at the real state of the structure to evaluate. Ground Penetrating Radar (GPR) is a special non-destructive tool for this purpose, adopted in the application of roadways for the last thirty years. This technique is often used for its advantages of speed and its nondestructive capacities. It allows, to detect hidden objects, such as the reinforcements, the underground pipes of public utilities. The applications offered by Géoradar are diversified and the number of furnished information is important as for the evaluation of the roadways. In the present work, we spread some of the applications of GPR for road infrastructure in order to determine, given time, the thickness of layers and to evaluate the degree of degradation of chloride ions as well as the detection of voids using antenna polarization.

I- 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 d'évaluation de chaussée ainsi que dans le domaine du génie civil [4]. A titre d'indication, la technique du Géoradar est utilisée dans la détection des vides [5], des tuyaux enfouis [6], des fissures [7] et des armatures [8] au niveau des chaussées.

Le principe de fonctionnement Géoradar est basé essentiellement sur une antenne émettrice et une antenne réceptrice d'ondes électromagnétiques. L'antenne émettrice émet des ondes qui se propagent dans le milieu et par la suite sont 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. Il existe deux types de Géoradar qui sont utilisés pour l'évaluation de l'état de la chaussée :

- Les antennes Horn (Air Coupled antenna) : ces antennes sont suspendues de 30 à 50 cm au dessus de la chaussée, et ont généralement une fréquence centrale allant de 500 Mhz à 2.5 GHz. Ces antennes sont adaptées au contrôle de faibles épaisseurs de matériaux, leur pénétration est entre 0.5 et 0.9m. L'acquisition de données peut être effectuée à 100 scan/s (Figure 1).

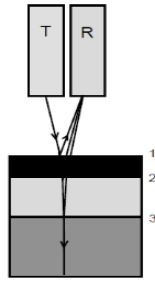


Figure 1: Antenne Horn (Air Coupled antenna)

- Les antennes couplées au sol (Ground Coupled Antenna) : ces antennes sont en contact avec le sol et donc permettent d'atteindre une grande profondeur de pénétration. Elles permettent aussi une meilleure capacité de détection des objets en profondeur moyennant une fréquence centrale allant de 50 MHz à 1.5 Mhz.

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 (Figure 2).

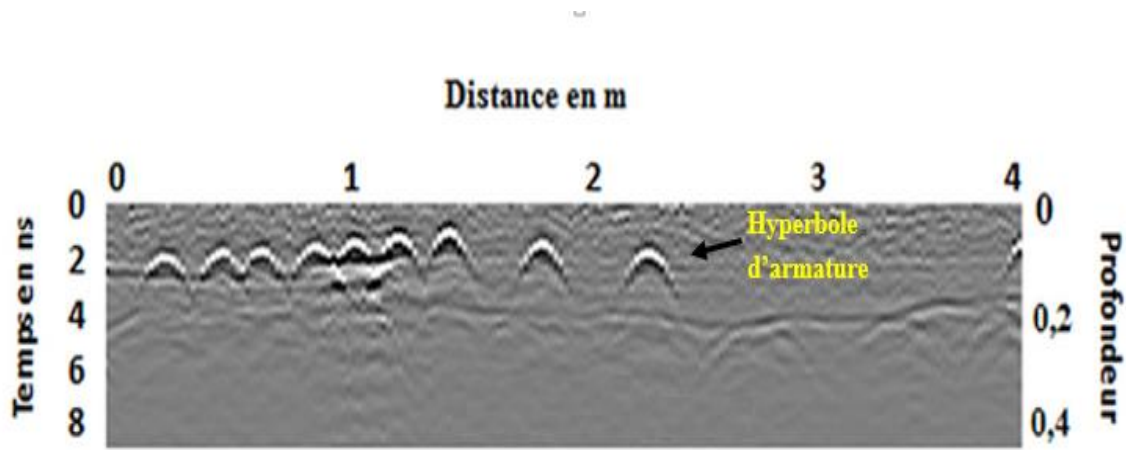


Figure 2 : Profil Géoradar (radargramme)

II- Traitement de données

Les données brutes du Géoradar ne peuvent fournir beaucoup d'informations, faute de bruits, ce qui nécessite un donc traitement approprié en 2D, (Figure 3). Ces traitements qui ont notamment pour but d'augmenter le rapport signal/bruit, incluent notamment :

- Une correction statique visant à localiser le temps zéro des enregistrements ;
- Un filtrage fréquentiel « Bandpass Butterworth » avec une bande passante qui a pour but d'éliminer les hautes fréquences affectées par les bruits ;
- 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 ;
- Un filtre « Dewow » pour la soustraction des bruits de basses fréquences ;
- Un filtre « Background Removal ».

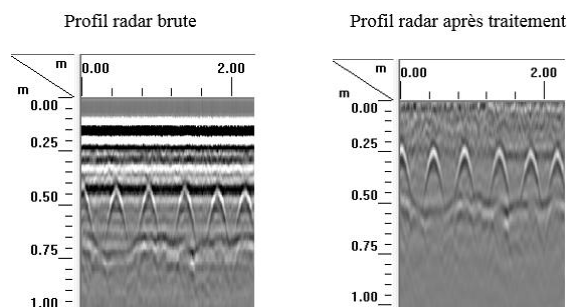


Figure 3 : Profil avant et après traitement

II-1 Mesure de l'épaisseur des couches

La méthode courante de la mesure de l'épaisseur de la couche de la chaussée est le carottage, et les fouilles de fosse. Ces méthodes sont destructives et coûteuses en temps, et ne donnent pas d'amples informations sur l'état de toute la chaussée du fait qu'elles sont ponctuelles et renseignent seulement sur le lieu de test. Cette limitation de ces méthodes conduit à des conclusions erronées qui ne fournissent pas l'état réel de la structure de chaussée. Cependant le GPR est bien adapté pour la mesure de l'épaisseur des couches, et permet de voir toutes les variations de l'épaisseur sur toute la structure inspectée. Une impulsion émise par l'antenne, se propage dans le milieu, et se réfléchit quand elle rencontre un contraste de permittivité diélectrique. Un tablier de pont est composé d'une couche d'asphalte reposant sur une dalle en béton armé, la permittivité diélectrique relative de l'asphalte est de l'ordre de 5 à 6 et celle du béton est de 7 à 9. Le contraste de la permittivité diélectrique entre les couches étant important, l'interface Asphalte - béton est clairement visible sur la figure 4. La mesure de l'épaisseur repose donc sur le temps de voyage de l'onde entre deux interfaces c'est-à-dire la vitesse de propagation, celle-ci étant liée à la permittivité diélectrique du matériau.

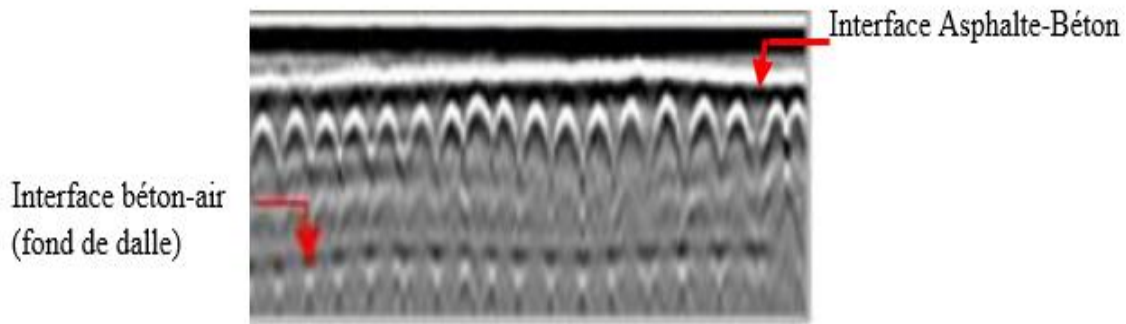


Figure 4 : Réflexion aux interfaces dans le cas d'un tablier de pont, [9]

II-2 Évaluation de la contamination en ions de chlorures

Pour empêcher la glace de se former ou pour la faire fondre, une fois la neige raclée, du sel est répandu sur la chaussée. La quantité de sel utilisée au Maroc est en moyenne de 2000 tonnes par an pour 5000 kms de routes enneigées. Cette quantité n'est pas excessive comparativement à la Suède ou au Québec qui consomment respectivement 300000 et 700000 tonnes de sel par an pour 140000 et 130000 kms de routes enneigées, avec toutefois des hivers d'une intensité plus importante.

Dans les pays aux climats neigeux, l'usage des sels de déglacage est couramment utilisé dans le but de faire fondre la neige sur la route et faciliter la circulation. Son usage n'est cependant pas le plus bénéfique pour les structures. Quand les ions de chlorures s'infiltrent dans la dalle de béton armé, et une fois qu'ils dépassent le seuil nécessaire à l'amorçage du processus de corrosion, la conductivité électrique s'accroît par le biais des courants électriques générés ce qui entraîne une atténuation importante de l'amplitude du signal. L'atténuation du signal est un indicateur de la présence des ions de chlorures. Ainsi, une forte atténuation du signal est signe d'une zone détériorée, (Figure 5).

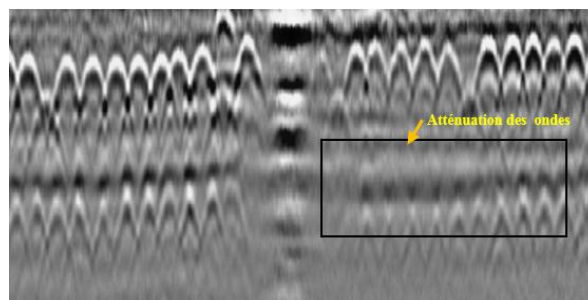


Figure 5 : Tablier de pont contaminé par les ions de chlorures, [9]

Les mesures de l'amplitude de réflexion et de son intensité peuvent informer sur l'état de la dalle et la corrosion des ces armatures tout en exploitant les relevés des amplitudes de réflexion sur le fond de dalle [9]. On peut

générer donc une cartographie de contour à code couleur, qui explicite les zones à forte et à faible atténuation du signal, (Figure 6).

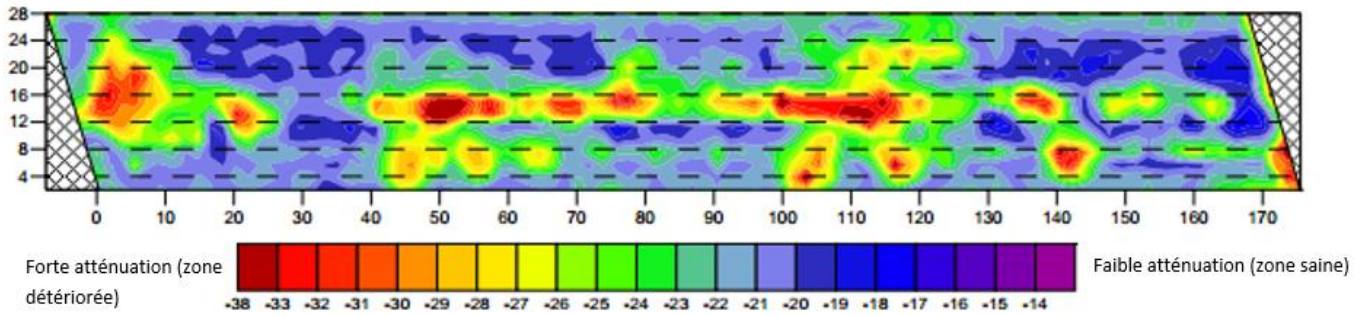


Figure 6 : cartographie d'un tablier de pont, [10]

II-3 Identification des vides

La détection et l'identification des vides est une autre application du Géoradar. En fait, la détection des vides présente un grand intérêt au niveau de la base de la chaussée du fait qu'ils se développent à cause de l'érosion à la base du matériel. 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, [11]. La forte réflexion est accompagnée par des multiples [12] se produisant dans un intervalle de temps constant. La réflexion sur le vide rempli d'air crée des réverbérations électromagnétiques et une baisse de fréquence, [13].

En plus des hautes amplitudes de réflexion, les vides peuvent être identifiés par la polarité; quand l'onde électromagnétique traverse l'interface du vide, la polarité du signal est inversée du positif au négatif. Ceci s'explique par le fait du contraste de la permittivité diélectrique entre l'air qui est égale à 1 et celle du matériau, (dans le cas du béton elle est de 7 à 9), ce qui donne lieu à un coefficient de réflexion négatif. Contrairement à un vide rempli d'eau, le coefficient de réflexion est positif parce que la permittivité diélectrique de l'eau est de 82.

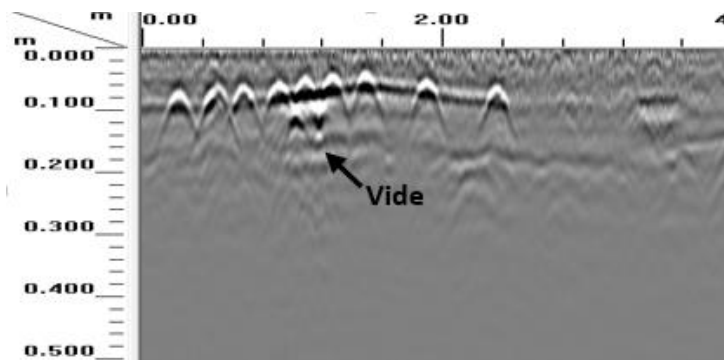


Figure 7 : Vide d'une dimension de 0.30×0.30 et d'une épaisseur de 0.05 dans le béton.

II-3.1 Effet de la polarisation sur la détection des vides

La détection des vides peut être plus avantageuse si on peut exploiter la nature vectorielle du Géoradar. La polarisation des antennes du Géoradar est de plus en plus exploitée pour la détection des objets enfouis tels les tuyaux urbains, [14, 15, 16].

Les auscultations des tabliers de ponts se font le plus souvent par un Géoradar couplé au sol. Ils représentent des dipôles linéairement polarisés émettant et détectant des rayons électromagnétiques dont le champ électrique est parallèle à l'axe des dipôles, [17]. 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 figure 8 montre l'effet de la polarisation de l'antenne sur la détection d'un vide d'une dimension de $0.30 \times 0.30 \times 0.05$. Cette auscultation s'est faite par une antenne nominale de 2GHz sur une dalle de béton, avec différentes polarisations des antennes, (Figure 9).

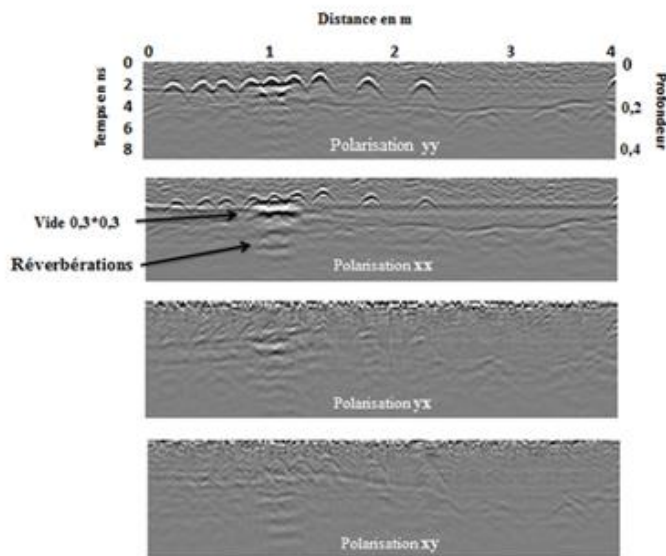


Figure 8 : Profil Radar montrant le vide en 4 polarisations

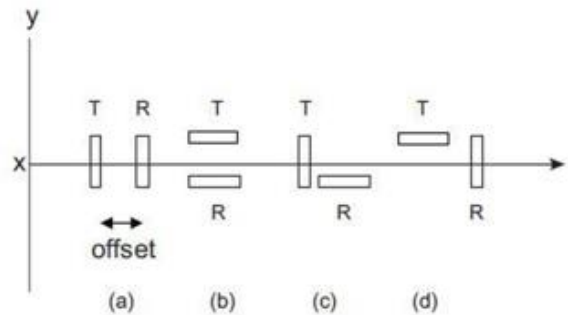


Figure 9 : Configuration des 4 antennes: (a) antennes parallèles suivant l'axe y - polarisation yy, (b) antennes parallèles suivant l'axe x - polarisation xx, (c) antennes perpendiculaires : émetteur en direction de y et récepteur suivant l'axe x - polarisation yx, (d) antennes perpendiculaires : émetteur en direction de x et récepteur suivant l'axe y - polarisation xy

Les antennes en configuration yy sont mieux adaptées pour la détection des hyperboles des armatures. L'amplitude de réflexion du vide est plus grande dans la polarisation xx, contrairement à la polarisation dans la direction yy. Ceci s'explique par le fait que l'antenne en configuration xx capte mieux les ondes incidentes du vide polarisé verticalement. L'identification du vide peut être hasardeuse dans le cas de la polarisation yy. Bien que l'auscultation ait été effectuée sur une dalle de béton, ces résultats peuvent aussi bien être exploités pour une dalle de tablier de ponts.

III- Conclusion

Le GPR est un outil prometteur dans le contrôle non destructif de l'état des chaussées. Ses multiples champs d'application sont assez divers et peuvent remplacer les méthodes qui apportent préjudice à la structure sans pour autant refléter son état de dégradation réel. Ses applications développées depuis quelques décades, les recherches se poursuivent pour tirer des informations plus fiables et plus exactes, son usage est déjà adopté en Europe et en Amérique du nord. En guise des résultats de la présente étude, on peut affirmer que cette technologie peut être un atout pour la bonne gestion et l'entretien des infrastructures routières du Maroc.

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), 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), 2011, Pages 679 – 686.

- [7] Kryszinski, 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] Rhazi jamal, bulletin d'Auscultech, numéro 4, octobre 2013, Évaluation de la probabilité de corrosion des armatures par le Géoradar .
- [10] Parillo R., Roberts R. et Haggan A., 2006, Bridge Deck Condition Assessment Using GPR. ECNDT 2006.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Lualdi, M., Lombardi F., Orthogonal polarization approach for three dimensionnal georadar survey, *NDT&E International*, Volume 60, Aout 2013, Pages 87 – 99
- [16] 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.
- [17] Balanis, C.A., *Advanced Engineering Electromagnetics*. Wiley, New York, NY, 1989.