

Relevés de structures par géoradar: Exigences et défis

Marc Vandry, Alexander Tarussov

Détection Radex inc.,
353 St-Nicolas, suite 001
Montréal, Québec
H2Y 2P1

Introduction

La technologie géoradar (ou GPR – "ground penetrating radar") existe depuis les années 1970, et est appliquée dans le domaine de la détection non-destructive dans le béton depuis environ 15 ans.

Son utilisation initiale était limitée à des investigations sur les épaisseurs de couche de glace ou de sol et autres applications dans le domaine de la géologie. Des antennes haute fréquence et des meilleurs outils informatiques ont permis au géoradar de devenir une technologie idéale pour détecter des objets dans le béton tels les barres d'armature, les conduits (électriques ou autres), les vides d'air, et les épaisseurs de structures. [1]

Aujourd'hui, des techniques d'auscultation et de traitement de données permettent au géoradar d'être en mesure de découvrir des défauts dans le béton tels la corrosion, la fissuration et la délamination [2].

Depuis que cette utilisation a été découverte, plusieurs publications et projets tentent de trouver des solutions pour cartographier les défauts de ce type [3] [4], et l'utilisation initiale de la détection est devenue largement ignorée dans la littérature.

Détection d'objets dans le béton

La cartographie de défauts (corrosion, fissuration, délamination, etc.) est le sujet discuté presque exclusivement quand on parle de géoradar dans les revues ou dans les assemblées d'ingénieurs.

Par contre, plutôt que d'évaluer les défauts dans les structures de béton, 95% de relevés au géoradar dans le béton armé sont actuellement effectués afin de localiser et de cartographier les barres d'armature, les câbles de précontrainte et les obstacles au forage tels que les conduits électriques enfouis dans le béton, si bien que de mesurer les épaisseurs de dalle, les recouvrements et les diamètres des objets dans le béton. Les relevés de structure de ce type sont la partie la plus importante des relevés effectués quotidiennement pour les firmes de génie-conseil au Québec et ailleurs.

Le sujet de la détection et cartographie d'armature de ce type est largement négligé dans la littérature. Il est présumé que la détection des objets est une application de base de l'équipement qui est bien recherchée par les concepteurs de géoradar, bien expliquée dans les manuels d'utilisateurs et bien maîtrisée par les techniciens de radar sur les chantiers.

En réalité, seuls les cas les plus simples sont expliqués par les concepteurs, et de plus, aucun cours d'utilisation détaillée est offert pour les techniciens. Généralement, seul la localisation de deux rangs d'armature perpendiculaires et d'objets évidents est expliquée. Pour cette raison, la compétence de la majorité des opérateurs et techniciens est limitée à cette utilisation de base.

Il n'y a pas de méthodologie publiée pour la détection de rangs multiples de barres d'armature, de la distinction entre un treillis et des barres d'armature, l'estimation de diamètre d'objets, l'identification des

torons, la distinction entre les matériaux des objets (e.g. métal vs. plastique), l'identification de structures multi-couches, les barres placées en diagonal, etc.

La détection et cartographie par géoradar dans le béton armé est un domaine relativement neuf. Elle n'est pas réglementée, aucune norme est publiée et le sujet est rarement adressé dans les livres sur les méthodes non-destructives ni dans les cours d'université.

Pour cette raison, les compagnies comme la notre, qui pratiquent l'utilisation de géoradar 300 jours par année sur des structures variées, deviennent les centres principaux d'expertise dans le domaine.

L'objet de cet article est de partager l'expertise que nous avons accrue durant nos années d'opération afin de bien définir le potentiel, les limitations et les exigences préparatoires de la méthode géoradar. Le but ultime est de rendre la collecte de données et la présentation des résultats le plus efficace possible.

Géoradar comme dispositif d'imagerie

Le géoradar est avant tout une méthode d'analyse visuelle similaire au sonar, ou à l'échographie. Il est important de noter que pour cette raison, le traitement des images obtenues lors d'une auscultation de structure doit être un processus visuel par un technicien expérimenté et qualifié.

Plusieurs logiciels ont tenté dans le passé de rendre le processus de traitement de données plus rapide en développant des analyses numérique de certaines valeurs mesurables tels l'amplitude du signal réfléchi afin de tirer des conclusions sur l'état du béton et la présence d'objets. Par contre, une analyse purement numérique de données géoradar peut souvent engendrer des pertes d'information et même des faux résultats.

Plusieurs facteurs peuvent affecter les valeurs mesurées dans les images (présence d'objets structuraux, présence d'humidité sur la surface, réparations, etc.). L'analyse numérique, en mesurant seulement une ou quelques valeurs, peut souvent tirer des conclusions fausses.

Seulement une analyse visuelle par l'opérateur peut être fiable comme méthode d'analyse. Pour le cas des grandes structures, nous avons développé un logiciel qui rend l'analyse visuelle rapide et efficace.
[2]

Exigences sur le Chantier

Le géoradar est un instrument extrêmement versatile et peut être utilisé pour ausculter la plupart des structures de béton (dalles structurales, dalles sur sol, poutres, colonnes, corbeaux, etc.) . Cette versatilité engendre plusieurs approches et applications dépendant de la structure en question et de l'objectif des relevés.

Lors du début d'une auscultation sur un chantier, un opérateur qualifié doit premièrement établir une méthodologie appropriée pour l'auscultation de la structure en question, et doit ensuite être en mesure de déterminer rapidement la qualité de l'image obtenue. Celui-ci peut ensuite faire des modifications à

l'équipement (e.g. fréquence de l'antenne, ajustement des variables tels le gain, etc.) et tirer des conclusions sur le chantier.

Il est d'abord et avant tout important pour le client de spécifier les objectifs de l'auscultation et le niveau de détail désiré des résultats. Cette information est importante afin de définir une méthodologie de travail et d'estimer le temps nécessaire pour accomplir l'auscultation.

Dans les cas les plus simples, par exemple un forage à un endroit spécifique qui doit éviter tout obstacle dans le béton, l'opérateur peut indiquer les barres d'armature directement sur la dalle rapidement. Une auscultation de 2' x 2' peut prendre de 5 à 20 minutes dépendant de la complexité de la structure, et de la difficulté d'accès (plancher vs. plafond par exemple)

Il est souvent plus intéressant pour le client de découvrir plus d'information et de faire une auscultation d'une dalle ou d'une autre structure complète. Celui-ci doit spécifier les critères qui sont important pour le projet. Les informations désirées qui affectent la méthodologie sont les suivantes:

- Les espacements et recouvrements de barres peuvent être spécifiques pour chaque barre d'armature, ou présentées sous forme de moyennes
- Les longueurs de barres et les chevauchements de barres
- l'épaisseur de dalle ou de structure (spécifique ou moyenne)
- le diamètre des barres - celui-ci peut être estimé avec une tolérance de $\pm 3\text{mm}$ (1/8"). Si un niveau de détail plus grand est nécessaire, peut être mesuré avec des méthodes destructives ou autre équipement tels la radiographie ou le "profomètre"
- L'urgence des résultats
- La présentation des résultats (rapport écrit vs. marquage sur place)

Le dernier critère est important pour le technicien sur le chantier. Celui-ci peut faire des traitements de données sur place et présenter des résultats préliminaires ou complètes directement sur le chantier, ou il peut enregistrer les données sur le chantier et faire un traitement plus tard.

Limitations du géoradar

Malgré la grande versatilité du géoradar, certaines situations peuvent limiter ou même rendre impossible son utilisation. Il est important de préparer le site afin de limiter ces situations, ou de comprendre que les résultats peuvent être compromis si ces situations ne peuvent pas être changées.

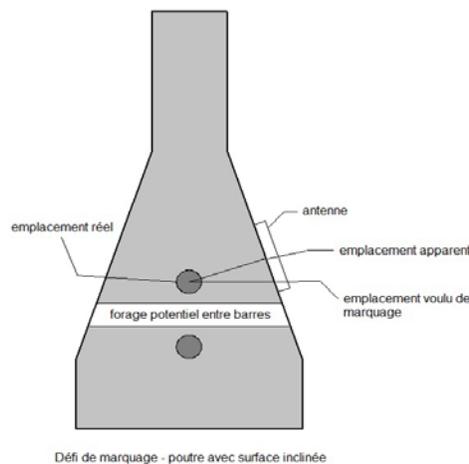
- Couplage d'antenne : L'antenne géoradar doit être en mesure d'être en contact direct avec le béton de la structure auscultée. Il est possible d'effectuer les travaux si il a une couche d'autre matériel sur le béton (e.g. asphalte, panneau de gypse, bois, etc) si ce matériau est en contact direct lui-même avec le béton.

Dans certains cas, il est possible de découper des fenêtres d'observation dans le matériel de recouvrement afin d'avoir accès direct au béton.

- Superficie d'accessibilité : l'antenne géoradar doit avoir un accès d'au moins 500mm x 500mm.
- Vides d'air, membrane, ou dalle multi-couche : Si il existe un vide d'air de plus de 10mm d'épaisseur ou une membrane épaisse entre la surface accessible et le béton (isolant sur le toit),

ou entre deux couches de béton, l'auscultation est parfois impossible.

- Fibres métalliques ou un treillis fin: certaines dalles contiennent une chape avec des fibres métalliques (supermarchés, usines, etc.). Dans ce cas, la dalle peut être auscultée sur la surface opposée si celle-ci est accessible et ne contient pas les mêmes fibres.
- Obstacles intérieurs : Le signal géoradar n'est pas en mesure de traverser le métal. Pour cette raison, tout obstacle métallique doit être enlevé de la surface (divisions de murs, etc.). Pour la même raison, les objets sous une dalle avec un tablier métallique ne peuvent pas être identifiés.
- Armature serrée : Dans certains cas, si il existe une rangée de barres d'armature supérieure avec un espacement de 125mm ou moins, celle-ci peut empêcher le signal de traverser cette couche. Dans ce cas, il peut être possible d'ausculter la structure de son autre côté pour avoir les informations complètes. [5]
- Profondeur : Le géoradar n'est pas en mesure de pénétrer plus qu'environ 600mm dans le béton armé, et peut même pénétrer moins que 200mm dans certains cas. Il est difficile de prédire cette information avant de faire un test préliminaire.
- Surfaces inclinées : Puisque le signal radar est émis perpendiculairement à la surface du béton, il est difficile de marquer des barres sur place si la surface est inclinée (voir figure)



Accessibilité à la structure

Un technicien doit être présent pour opérer l'équipement. Pour cette raison, des équipements tels les nacelles, échelles, échafauds ou autre doivent être prévus à l'avance pour que le technicien soit en mesure de faire la collecte de données avec efficacité et en pleine sécurité.

Dans certains cas extrêmes, un autre personne peut opérer l'antenne si le technicien n'est pas qualifié pour accéder à la structure. (e.g. espaces clos, espaces restreints, etc.). Le technicien géoradar doit être tout de même présent afin d'assurer que la qualité des données obtenues est bonne.

Relevés de grandes superficies

Le géoradar est une technologie très appropriée pour faire l'analyse rapide de grandes superficies tels

les dalles structurales (au plancher ou au plafond). Quand une auscultation de ce type est nécessaire, il est typique que les données sont enregistrées sur le site et traitées visuellement par la suite pour produire un dessin d'armature pour la structure en question.

Dans ce cas, la procédure normale est de d'enregistrer des lignes de données à chaque 0.5m ou 1m dans deux direction perpendiculaires afin de couvrir la surface entière de la dalle avec un quadrillé. De cette façon, toute l'information nécessaire est contenue dans les images radar et le technicien peut ensuite utiliser ces images pour transmettre tous les résultats demandées par le client.

Les avantages de cette méthode sont maintes. Premièrement, la structure n'est pas affectée de façon destructive, la collecte de données peut se faire très rapidement – une dalle de 1000m² peut être auscultée en 2 heures environ, et finalement toute l'information sur la position et caractéristiques individuelle des objets si bien que la qualité du béton est contenue dans les images. Pour cette raison, si le client veut plus d'information sur la structure par la suite du rapport initial, il n'est souvent pas nécessaire de retourner au chantier.

Détection Avancée

En plus de la détection de barres conventionnelle, quelques autres opérations peuvent être intéressantes.

Détection à double-faisceau

Le détection radar à double faisceau est une technique d'auscultation développée par Détection Radex. Elle consiste en la comparaison de deux images prises au même endroit avec deux polarisations d'antenne opposées – soit transversale et parallèle. Cette technique permet au technicien de déterminer quelques caractéristiques supplémentaires des objets dans la dalle. Les images collectées avec polarisation opposée ont une réduction d'ombrage, et la polarisation opposée engendre une réaction plus grande à la constante diélectrique du matériel. [6]

La détection à double-faisceau permet :

- Une meilleure estimation de diamètre d'objets tels les barres d'armature
- La distinction rapide entre les câbles précontraints ou torons vs. les barres grâce au meilleur aperçu du diamètre
- La distinction entre les objets métalliques et plastique
- Une réactivité plus grande à la délamination.
- La détection rapide de vides d'air

Mesures précises

Il est souvent nécessaire de connaître la position exacte de chaque barre d'armature, en emplacement et en recouvrement, de connaître l'épaisseur exacte d'une structure à différents endroits, de connaître la longueur précise d'une barre ou la longueur de chevauchement entre deux barres.

Avec une auscultation en détail, ces informations peuvent être présentées avec une tolérance de $\pm 5\text{mm}$ sur l'emplacement et $\pm 3\text{mm}$ pour le recouvrement.

Détection de vides

Il est possible de déterminer la position et la superficie de vides d'air à l'intérieur du béton en utilisant la technique à double-faisceau. Ces vides peuvent ensuite être cartographiées pour démontrer leur positions.

Il est important de noter par contre que la profondeur des vides d'air (volume) ne peut généralement pas être déterminée avec le géoradar, mais seulement leur position. Lorsque le signal pénètre dans le vide en question, il s'éparpille et la profondeur face opposée du vide ne peut pas être identifiée avec précision.

Les vides ou fissures identifiables peuvent être dans une structure de béton, sous des tuiles de plancher ou sous des panneaux décoratifs en façade de bâtiments.

Présentation de Résultats

L'étape finale d'une auscultation géoradar de structure est la présentation des résultats. Il est important de spécifier dès le début du projet les exigences pour cette étape.

Marquage sur place

Dans les cas les plus simples, il est souvent adéquat de dessiner directement sur la surface auscultée les positions des barres d'armature ou autre objets repérés. Le client peut ensuite déterminer la position exacte d'un forage ou prendre des notes pour faire des calculs rapides.

Analyse de données enregistrées

Dans certains cas, le client peut être intéressé par seulement un aspect distinct d'une structure, par exemple la position des étriers dans une poutre. Dans ce cas, une méthodologie appropriée pour enregistrer les données sur le chantier peut être formulée, et les résultats peuvent être présentées dans des tables de données. (position et recouvrement de chaque barre par rapport à une surface définie)

Dessins structuraux

Il est aussi possible de produire un dessin d'armature de la structure auscultée avec un niveau de détail déterminé par le client (espacements et recouvrements moyens vs. positions exactes) Ces dessins peuvent ensuite être transmis directement au client sous forme électronique (.pdf ou .dwg). Il est aussi possible de modifier des dessins existants si cette opération est désirée.

Cartographies

En plus d'être un outil de détection d'objets, le géoradar est en mesure de déterminer l'épaisseur de recouvrement de barres, la présence de corrosion ou de délamination, ou l'épaisseur d'enrobé. Il est possible de produire des dessins démontrant des valeurs de ce type sous forme de cartographie.

Conclusion

Puisque le géoradar est une technologie relativement nouvelle, le potentiel de son utilisation et ses limitations est souvent mal compris par les ingénieurs qui peuvent bénéficier de ses avantages. L'objectif de cet article est de présenter ces aspects pour l'utilisation de base du géoradar afin de rendre le processus le plus efficace possible. Grâce à l'expertise exceptionnelle accrue par Détection Radex, le plus haut niveau de la technologie de géoradar est disponible au Québec.

Références

- [1] Maierhofer, C., 2003, "Nondestructive Evaluation of Concrete Infrastructure with Ground Penetrating Radar", Journal Of Materials In Civil Engineering
- [2] Tarussov A., Vandry M. et Blais J., 2010 "Cartographie De La Corrosion D'armatures Par Géoradar", Colloque annuel du MTQ.
- [3] Parillo R., Roberts R. et Haggan A., 2006, "Bridge Deck Condition Assessment Using GPR". ECNDT 2006.
- [4] Ulriksen, C.P.F., 1982, "Application of Impulse Radar to Civil Engineering", Ph.D. 14 Thesis, University of Technology, Lund, Sweden, 175p.
- [5] ACI 228.2R Revision
- [6] Tarussov A., Tremblay S., 2008, "Inspection du béton par radar à double faisceau", Colloque annuel du MTQ.