

Localisation des armatures des ouvrages d'art en béton armé ou précontraint par les techniques de radar

Xavier DÉROBERT
Ingénieur des Travaux publics de l'État

Odile COFFEC
Technicien supérieur
Section Reconnaissance et géophysique
Division Reconnaissance et mécanique des sols
Laboratoire central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes

RÉSUMÉ

Les progrès technologiques dans le domaine des radars d'auscultation des structures autorisent aujourd'hui des investigations performantes dans les ouvrages en béton. Après une présentation générale des matériels disponibles sur le marché, puis du principe du radar, l'article décrit les performances que l'on peut attendre d'un tel outil pour la localisation d'armatures en acier dans du béton : aciers passifs ou gaines de précontrainte.

Dans une seconde partie, on présente une technique de cartographie utilisant des profils parallèles. Cette technique est évaluée à travers des mesures réalisées sur des dalles-test. Elle est conviviale et conduit à une bonne résolution spatiale pour la détection des armatures en acier dans le béton.

MOTS CLÉS : 32 - 61 - Radar - Auscultation - Armature - Béton armé - Dalle - Essai - Mesure - Localisation - Ouvrage d'art (gén.) - Béton précontraint - Matériel - Acier - Cartographie.

Introduction

L'entretien des ouvrages d'art en béton passe par une bonne connaissance de la position des armatures en acier, qu'il s'agisse d'armatures passives ou de câbles de précontrainte.

Les progrès accomplis depuis quelques années par la technologie des radars géophysiques (GPR, « ground penetrating radar ») ont permis leur adaptation à l'auscultation des ouvrages d'art en béton armé ou précontraint.

Nous disposons maintenant d'antennes de contact qui émettent (et détectent) des impulsions électromagnétiques à hautes fréquences (typiquement : 1,5 GHz de fréquence centrale). L'intérêt de telles antennes, en général blindées pour éviter les échos aériens parasites, est de permettre de détecter les armatures avec une excellente résolution spatiale. Avec les anciennes générations d'antennes, dont les fréquences étaient trop basses, on ne pouvait pas distinguer les diverses nappes de ferrailage dans les zones à forte densité d'acier.

L'utilisation du radar géophysique, qui s'est développée vers la fin des années 1980, dans le domaine des structures de génie civil en béton (Daniels, 1996) permet l'auscultation rapide de zones importantes de structures. Sous le nom de radar géophysique, radar de structure ou radar de chaussées, on retrouve le même système d'acquisition associé à des antennes qui sont dédiées à l'application. Pour ce qui concerne les structures en béton, on peut ainsi localiser des armatures passives, des gaines de précontraintes ou des hétérogénéités au sein du béton depuis une seule face d'accès.

Les systèmes radars existant au début des années 1990 étaient limités à des antennes à fréquences centrales inférieures au gigahertz. Diverses études ont montré les faibles niveaux de détection obtenus avec ces radars dans des structures en béton armé ou précontraint (Parry et Davis, 1992) vis-à-vis des besoins des gestionnaires d'ouvrages. En effet, les longueurs d'onde des impulsions électromagnétiques se propageant dans

du béton restaient supérieures à 10 cm, alors que les géométries des armatures imposent des distances qui sont souvent de l'ordre de 3 à 5 cm entre les barres d'aciers et la surface du béton, et des mailles de ferrailages de l'ordre de 15 à 20 cm. Aussi, les armatures et gaines de précontrainte n'étaient détectées de façon exhaustive que dans des cas simples où la densité d'acier restait faible (Maierhofer et *al.*, 1995), en tout cas supérieure à 20 cm.

Il est alors apparu nécessaire de réduire la durée des impulsions d'émission de façon à améliorer la résolution des signaux radars. Une des directions de recherche s'est concentrée sur des techniques de traitement du signal comme la déconvolution (Turner, 1994 ; Malagodi et *al.*, 1996) ou la migration (Fisher et *al.*, 1992), ou des techniques d'inversion (Maierhofer et *al.*, 1996), sans pour autant pouvoir atteindre toujours des précisions acceptables. Une deuxième voie de recherche s'est orientée vers l'utilisation de techniques d'auscultation complémentaire, comme le pachomètre par exemple (Flohner et Poepel, 1996), permettant ainsi des validations croisées de chacune des méthodes.

Enfin, une troisième voie s'est focalisée sur une augmentation des fréquences employées. Différents constructeurs ont développé du matériel radar portable, ainsi que des antennes de contact blindées, de dimensions réduites, et de fréquence centrale supérieure au gigahertz : 1,5 GHz pour la société américaine GSSI, 1,2 GHz pour la société canadienne Sensors&Software et depuis peu 1 GHz pour la société suédoise MALÅ (fig. 1).

Cet accroissement de la panoplie d'antennes du commerce, accompagné d'une extension de la bande de fréquences utilisée par ces radars (de l'ordre de 50 MHz à 1-1,5 GHz), reste toutefois limité à cause des composants électroniques employés dans la conception des radars. En effet, l'augmentation de leur spectre fréquentiel de fonctionnement, vers les hautes fréquences, entraîne des surcoûts souvent considérés comme exorbitants au regard des applications. C'est pourquoi certaines recherches sont menées en parallèle sur la mise au point de radars à saut de fréquences (Kong et *al.*, 1998). Ce type de radar se différencie des radars actuels (qui émettent des impulsions dans le domaine temporel) en ce sens qu'il travaille dans le domaine fréquentiel avec du matériel de laboratoire, avant de basculer dans le domaine temporel à l'aide d'une transformée de Fourier inverse. Les recherches en cours sont prometteuses (la technique pouvant travailler à des fréquences supérieures à 10 GHz), mais n'ont pas encore abouti à une méthode opérationnelle (Bungey, 1997).

Les divers essais, présentés dans cet article, ont été réalisés avec une antenne du commerce proposant la plus haute fréquence centrale (1,5 GHz de marque GSSI) sur différentes dalles d'essai en béton armé, ainsi que sur des poutres de béton précontraint. L'objectif des essais sur les dalles est de connaître les limites de résolution de l'antenne vis-à-vis de recou-



a. Radar SIR2000 de GSSI et antenne 1,5 GHz
(source : MDS – Le Matériel de sondage).



b. Antenne 1 GHz de MALÅ (source : ABEM France).

Fig. 1 - Exemples de matériels radars présents sur le marché du génie civil.

virements horizontaux, ou verticaux, de l'espacement entre barres d'aciers, suivant différents diamètres de barres. En ce qui concerne la détection de gaines de précontrainte, l'objectif premier reste la localisation de celles-ci au sein de leur environnement.

Principe et matériels

Le principe des techniques radars repose sur la transmission d'une impulsion électromagnétique dans la structure auscultée par l'intermédiaire d'une antenne.

L'onde se propage, en s'atténuant, et se trouve partiellement réfléchi à chaque interface rencontrée. L'antenne réceptrice enregistre les différents échos réfléchis jusqu'à la surface. La juxtaposition des signaux temporels enregistrés lors du déplacement de l'antenne radar permet de construire une coupe-temps (dont l'unité de temps est la nanoseconde), souvent présentée avec une échelle de couleurs, ou de niveaux de gris, corrélée aux amplitudes des signaux et qui donne des informations géométriques sur la structure auscultée.

L'émission d'une impulsion électromagnétique se traduit par la propagation simultanée d'ondes sur une large bande de fréquence. La longueur d'onde de cette impulsion correspond physiquement à la fréquence centrale, où le maximum d'énergie est rayonné. En pratique, l'utilisateur radar ne s'intéresse qu'à la longueur d'onde des impulsions, c'est pourquoi les antennes commerciales sont proposées sous le nom de leur fréquence centrale, ainsi, pour le cas de l'antenne GSSI de 1,5 GHz, la bande de fréquence employée se situe autour de 400 MHz-3 GHz.

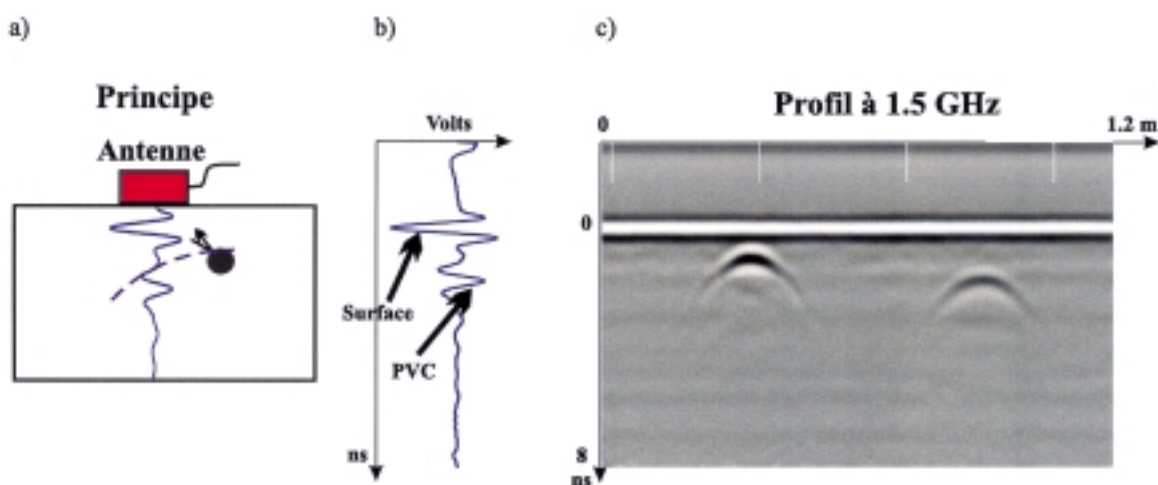
Différents phénomènes interviennent dans la propagation des ondes. Tout d'abord, la vitesse de propagation des ondes dépend de la constante diélectrique du milieu environnant. Plus un matériau est humide, plus la vitesse de propagation est lente ; cela peut influencer la précision des mesures lorsqu'il existe un gradient d'humidité au sein de ce milieu (comme pour le béton, par exemple).

Puis vient la profondeur d'auscultation, qui dépend de trois facteurs : la conductivité du béton, qui est la principale cause de l'absorption des ondes électromagnétiques ; le choix de la fréquence centrale, car la profondeur d'investigation décroît lorsque la fréquence augmente ; et enfin, la dynamique du radar, qui détermine le niveau du rapport signal/bruit minimal détec-

table, et que l'on peut relier à une profondeur limite d'auscultation.

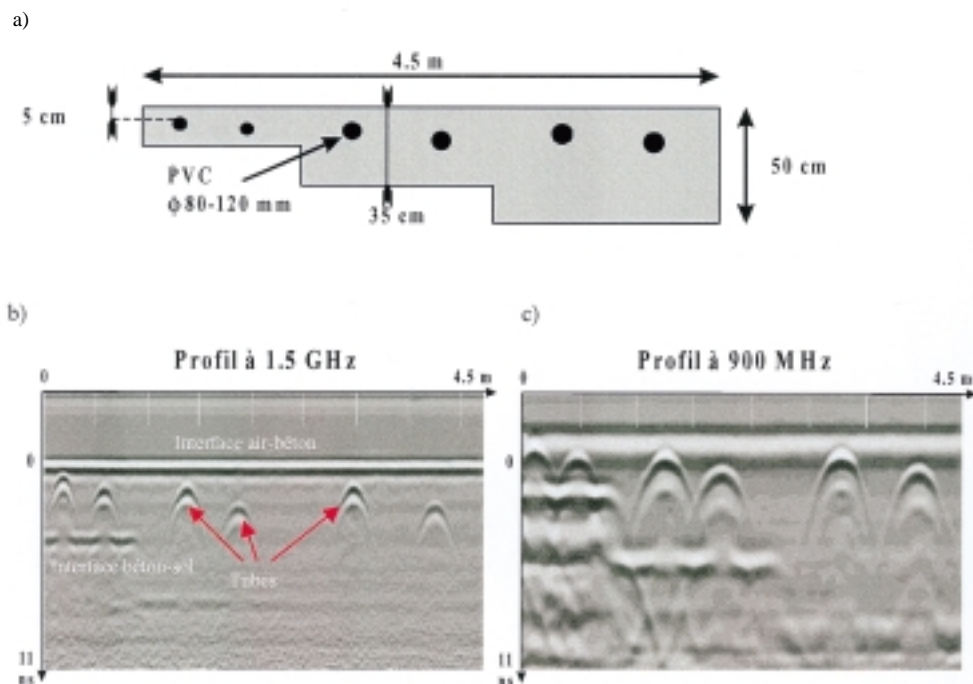
Le principe d'acquisition d'une coupe-temps radar est présenté à travers la réalisation d'un profil sur une dalle-test en béton contenant des tubes PVC vides, de diamètre 8 cm, situés à 5 et 8 cm de profondeur (fig. 2). L'ouverture du lobe de rayonnement de l'antenne (qui caractérise la largeur du cône dans lequel se propage le maximum de l'énergie à 3 dB près), supérieure à 60 degrés, est telle que les ondes peuvent se réfléchir sur des hétérogénéités qui se situent hors de l'axe de l'antenne. Cela a pour conséquence d'enregistrer des hyperboles, dans le plan (x-t), comme signature d'objets ponctuels dans le plan (x-z).

Les antennes utilisées pour la localisation d'armatures dans du béton ont des dimensions restreintes et émettent des impulsions dont la longueur d'onde dépend de la fréquence centrale. Pour des fréquences inférieures au gigahertz, les longueurs d'ondes dans le béton sont supérieures à 12 cm, ce qui limite le niveau de résolution de la localisation de ces armatures. La figure 3 montre l'influence de la fréquence centrale sur la résolution de profils radars réalisés sur un corps d'épreuve en béton contenant des tubes de PVC vides. La montée en fréquence autorise une meilleure localisation des tubes proches de la surface. La comparaison des deux profils permet, de plus, de comprendre l'intérêt d'étudier l'utilisation d'antennes à fréquences centrales supérieures à 3 GHz (Dérobert et *al.*, 2000). On note toutefois une diminution sensible de la profondeur d'investigation avec la montée en fréquence, où le troisième niveau inférieur (interface béton-sol) à 50 cm est détecté avec une antenne GSSI de 900 MHz, alors que le deuxième niveau (à 35 cm) reste dans le niveau de bruit avec l'antenne GSSI de 1,5 GHz.



a. Principe de fonctionnement d'une antenne radar. b. Signal temporel brut. c. Exemple de profil radar à 1,5 GHz.

Fig. 2



a. Schéma d'une dalle test en béton contenant des tubes PVC. b. Profil radar réalisé à 1,5 GHz. c. Profil radar réalisé à 900 MHz.

Fig. 3

Localisation des gaines de précontrainte

La localisation des gaines de précontrainte, par des méthodes non destructives, reste un sujet d'importance pour les gestionnaires d'ouvrages d'art, lorsqu'ils souhaitent réaliser des auscultations gammagraphiques ou des ouvertures dans le béton. Quelques matériels comme le Ferroskan, de la société Hilti, peuvent apporter des solutions, mais leurs performances restent limitées vis-à-vis des profondeurs d'investigation et ils peuvent ne pas détecter les gaines de manière exhaustive.

Différents essais ont été réalisés sur l'âme de poutres de béton précontraint, d'épaisseur 30 cm, à l'aide d'une antenne GSSI de 1,5 GHz. La figure 4a présente un profil radar enregistré avec quelques pré-traitements (filtres, amplification des signaux, etc.) retenus lors de l'étalonnage du matériel sur site.

En interprétant le profil de la figure 4a suivant l'axe des temps, on note tout d'abord l'écho de surface horizontal, ainsi qu'une première série d'hyperboles près de la surface, se répétant tous les 20 cm, que l'on peut interpréter comme une nappe d'armatures passives. On distingue ensuite une hyperbole légèrement plus importante, isolée dans la partie gauche, entre les deux premiers échos. Enfin, on retrouve de manière symétrique une série périodique d'hyperboles correspondant à la nappe inférieure d'aciers passifs, puis un écho horizontal, que l'on peut assimiler à la face opposée du

béton. L'hyperbole centrale, par sa taille et sa position, correspond à une gaine de précontrainte recherchée.

Ce type de résultat brut, obtenu en moins d'une minute une fois le matériel installé, montre la potentialité d'une telle technique d'auscultation. En effet, on constate que la profondeur d'investigation de l'antenne dans un tel béton est bien supérieure à 30 cm, que les barres d'aciers de la nappe supérieures sont détectables de manière exhaustive, que la nappe inférieure est parfaitement localisée et que, dans cet environnement, une gaine de précontrainte se détecte nettement. Il est à noter que la profondeur d'investigation radar dans du béton est très sensible à la teneur en eau, qui joue elle-même un rôle prépondérant sur l'atténuation des ondes électromagnétiques dans le béton (Robert, 1998). Plus le béton est ancien et protégé des intempéries, plus il est électromagnétiquement transparent et donc plus la profondeur d'investigation est importante.

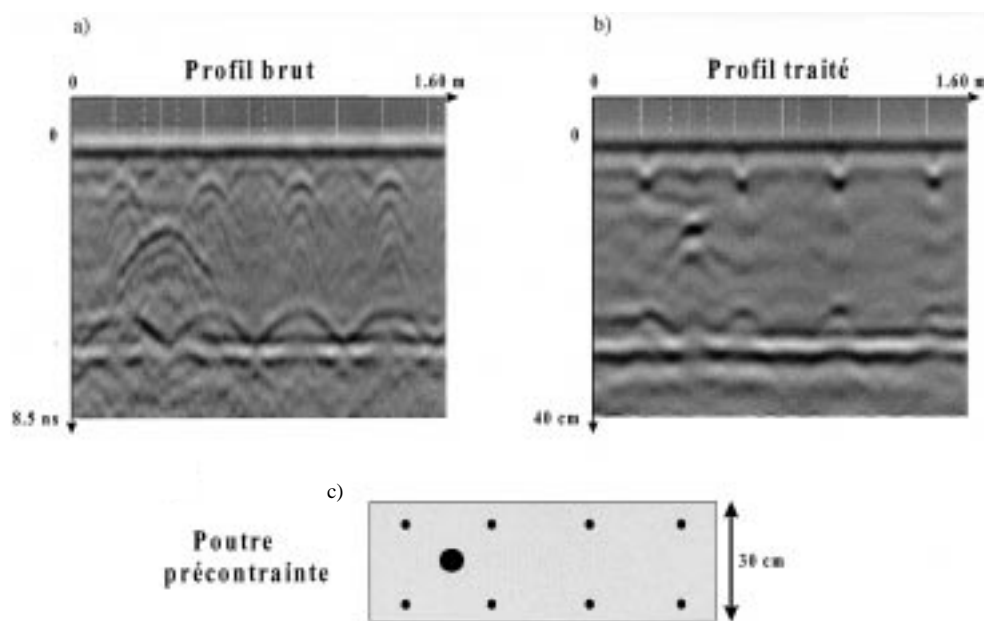
Divers traitements du signal peuvent être utilisés pour améliorer le rapport signal/bruit, et ainsi nettoyer l'image. De plus, par la connaissance de l'épaisseur de la poutre on peut déduire la vitesse des ondes électromagnétiques, et ainsi appliquer une technique de migration sur le profil radar. Ce traitement transforme une coupe-temps (x-t) en une section verticale (x-z), tout en rabattant les bras des hyperboles (fig. 4b). On peut alors proposer une coupe géométrique de la section de poutre auscultée, dont la lisibilité est plus claire pour les gestionnaires d'ouvrages, ou directement présenter la coupe interprétée (fig. 4c).

Toutefois, les résultats peuvent apparaître moins clairement lorsque les armatures des différentes nappes se retrouvent superposées et donc masquées vis-à-vis des ondes électromagnétiques. La relative importance du diamètre des gaines au regard de celui des aciers passifs rend leur détection sûre (fig. 5). En revanche, la détection des barres d'aciers de la nappe inférieure est beaucoup plus délicate, avec trois localisations d'aciers incertaines dans cet exemple.

Localisation d'armatures en béton armé

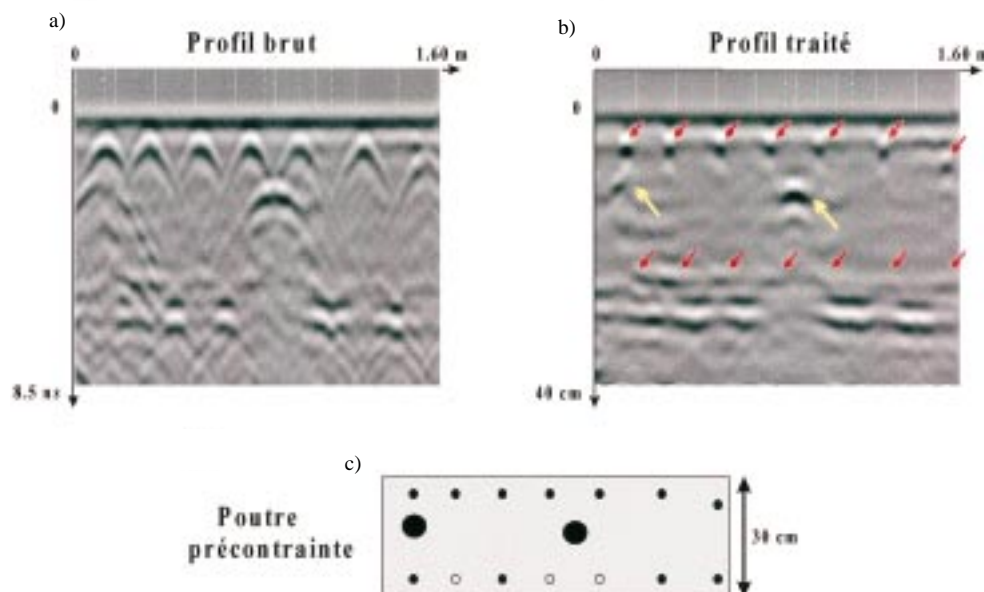
Dalles expérimentales

Sept dalles de béton armé, servant de corps d'épreuve pour des mesures expérimentales de méthodes de contrôle non destructif, sont gérées par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) d'Angers. La plupart ont pour dimensions 1 m × 1 m × 0,1 m, et pré-



a. Profil radar brut. b. Profil radar traité. c. Implantation des armatures dans la poutre.

Fig. 4 - Âme de poutre en béton précontraint, auscultée à 1,5 GHz
(Source LRPC d'Autun).



a. Profil radar brut. b. Profil radar traité. c. Implantation des armatures dans la poutre.
Les ronds blancs correspondent à une localisation incertaine de l'acier.

Fig. 5 - Âme de poutre en béton précontraint, auscultée à 1,5 GHz
(Source LRPC d'Autun).

sentent différentes configurations de barres d'aciers de diamètres 10 et 30 mm : présence/absence, recouvrement vertical, recouvrement horizontal, profondeur variable, discrimination latérale (fig. 6).

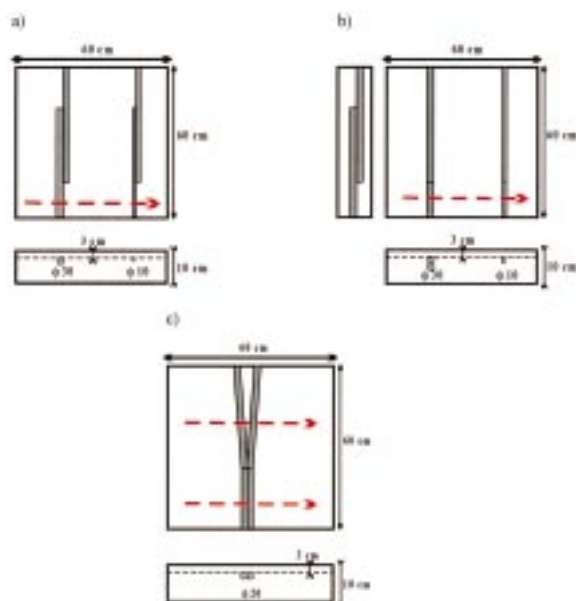


Fig. 6 - Description des dalles d'essais en béton armé.

Différents matériels, comme le Profometer3 de la société PROCEQ ou le Ferroskan, ont déjà été testés sur ces dalles afin de mieux connaître leurs performances. Les conclusions peuvent se résumer à des mesures quasi exactes, de diamètre et de couverture, pour les aciers principaux les plus proches de la surface, dans le cas simple d'une seule nappe où l'acier ausculté est isolé. Cependant, le principe des profomètres donne une information volumique qui peut s'avérer incorrecte lorsque l'on se trouve en présence de deux armatures accolées dans le cadre d'un recouvrement.

Cartographie radar

Pour pouvoir présenter la cartographie d'une zone auscultée à l'aide d'un radar, le LCPC a développé un logiciel convivial avec le langage Visual Basic, dont la présentation sous forme de boutons « poussoirs » autorise une utilisation facile aux géophysiciens ou spécialistes d'évaluation non destructive (END). L'auscultation de la zone concernée est réalisée par l'intermédiaire de profils radars parallèles, enregistrés à l'aide d'une roue codeuse pour un bon positionnement longitudinal. Le principe de construction de la cartographie est de calculer, pour chaque signal radar, une valeur proportionnelle à l'énergie électromagnétique rétro-diffusée à une profondeur donnée, au sein d'une tranche de structure (Camerlynck et al., 1996). On peut ainsi présenter une information (une pseudo-énergie rétro-diffusée) en fonction de la position spatiale de l'antenne.

La figure 7 montre, dans le cas de la dalle expérimentale s'intéressant au recouvrement horizontal (fig. 6a), la fenêtre de calcul qui intègre les différents cartouches dans lesquels sont implantés les paramètres nécessaires aux calculs, ainsi qu'un exemple de profil radar avant traitement.

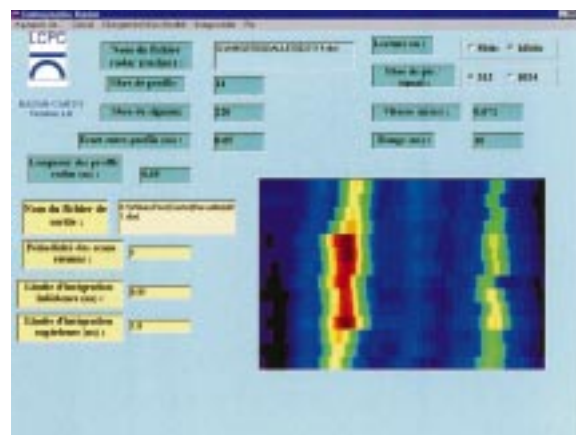


Fig. 7 - Présentation du logiciel de cartographie radar développé au LCPC. Application : le recouvrement latéral. Cartographie radar réalisée dans une tranche de béton superficielle.

Le résultat est enregistré sous un format standard ascii, visualisable avec ce logiciel comme avec tout logiciel de cartographie (SCILAB par exemple, mis à disposition gracieusement sur internet par l'INRIA – Institut national de recherche en informatique et en automatique). Cet outil informatique se veut pratique, en répondant à un besoin, et est utilisé actuellement au sein des Laboratoires des Ponts et Chaussées.

Résultats

La cartographie présentée sur la figure 7 correspond à la dalle dédiée au recouvrement horizontal des armatures (schéma de la figure 6a). Les profils radars bruts ne permettent pas de détecter la présence de deux barres d'aciers accolées. Les longueurs d'ondes de plusieurs centimètres des impulsions électromagnétiques ne permettent pas de distinguer les armatures entre elles. On atteint ainsi les limites de détection d'hétérogénéités sur des coupes-temps. Il est toutefois possible de détecter un décrochement latéral des armatures grâce à un positionnement précis du début de chaque profil. Celles-ci sont alors localisées à des abscisses différentes.

Le calcul de l'énergie électromagnétique rétro-diffusée nécessaire à la construction de la carte de la dalle varie suivant la présence d'une ou de plusieurs armatures. Cela est dû au changement de la surface qui est exposée aux rayonnements électromagnétiques (Surface Equivalente Radar, SER) ; l'énergie diffractée vers l'antenne réceptrice est directement proportionnelle à cette surface. Ainsi, la cartographie permet de visualiser les variations d'énergies entre les différents profils radars.

Le résultat est spectaculaire sur les armatures $\phi 30$ (partie gauche de la cartographie, fig. 7) alors qu'il est beaucoup moins net pour les armatures $\phi 10$, puisque leur SER est plus faible. Le recouvrement horizontal est ainsi parfaitement localisé.

La figure 8 s'intéresse à la localisation du recouvrement vertical des aciers (schéma de la figure 6b). La cartographie a été construite de façon à intégrer les échos provenant d'une tranche de béton, en surface, d'épaisseur 7-8 cm. Dans la partie inférieure gauche de l'image, on note très clairement l'arrêt de l'armature $\phi 30$ supérieure. Cette limite de recouvrement est également détectée pour les armatures $\phi 10$.

Il faut toutefois noter que l'épaisseur de béton retenue pour la cartographie a été choisie de façon à pouvoir intégrer principalement l'énergie des échos provenant des armatures supérieures, au détriment des échos provenant de cibles plus profondes. On s'attend donc à obtenir des valeurs d'énergies plus importantes au droit de celles-ci.

Il est alors surprenant de constater que ce phénomène est inversé pour les armatures $\phi 10$: la barre d'acier inférieure diffracte plus d'énergie que son vis-à-vis supérieur (partie inférieure droite de la cartographie). Cela est dû au fait que les aciers sont proches de la

surface et que les échos radars issus des barres d'aciers s'additionnent à ceux provenant de l'interface air-béton. Pour l'armature $\phi 10$, avec un recouvrement de 4 cm, ces échos doivent se retrouver en phase, et il s'établit alors une sommation positive de l'énergie. Pour l'armature $\phi 10$ supérieure, un déphasage plus important entraîne une annulation partielle apparente de l'amplitude des signaux résultant de la somme de ces échos.

Un exemple de profil brut est présenté sur la figure 8. On peut noter que la localisation des aciers est possible, avec toutefois une précision de l'ordre du centimètre. Il est alors assez difficile de pointer avec exactitude, sur les profils, un décrochement en profondeur des armatures de faibles diamètres.

Le dernier exemple présenté sur la figure 9 porte sur la résolution latérale du radar à 1,5 GHz. L'objectif est de connaître à partir de quel espacement entre armatures le radar peut les dissocier (sur les profils ou sur la cartographie).

Les profils bruts voient deux hyperboles se rapprocher lorsque les profils horizontaux se décalent vers le bas de la dalle (fig. 6c). Le dernier profil permettant de visualiser deux armatures correspond à un décalage de 4,7 cm d'axe à axe pour des longueurs d'onde de 5,6 cm. Le suivant, correspondant à un décalage de 3,6 cm, ne laisse voir qu'une hétérogénéité, même après des traitements classiques de données radars (technique de migration en particulier).

En ne tenant compte que de l'espacement entre armatures, c'est-à-dire en déduisant le diamètre des barres d'aciers, on obtient l'équivalent de la demi-longueur d'onde comme limite de discrimination.

Pour ce qui concerne l'interprétation de la cartographie, l'évolution de la largeur de l'hétérogénéité verticale détectée apparaît au profil correspondant à un espacement de 1,6 cm entre aciers, soit au tiers de la longueur d'onde.

On constate donc que la technique de cartographie radar permet de visualiser avec plus de précision et de convivialité les aciers dans le béton que les profils radars bruts ou traités.

Conclusion

L'objet de cet article est de présenter aux gestionnaires d'ouvrages les performances et les limites de la technique radar appliquée aux ouvrages en béton. Cette technique d'auscultation, non destructive et à grand rendement, permet de localiser des armatures passives et des gaines de précontrainte dans les trente premiers centimètres de béton. Les longueurs d'ondes utilisées n'autorisent toutefois pas à dissocier des armatures accolées. De plus, en présence d'une très forte densité d'aciers (mailles d'armatures inférieures à 8-10 cm), les profils radars sont rapidement bruités et difficilement interprétables. Dans ce contexte, on ne peut espérer distinguer que la première nappe d'armatures.

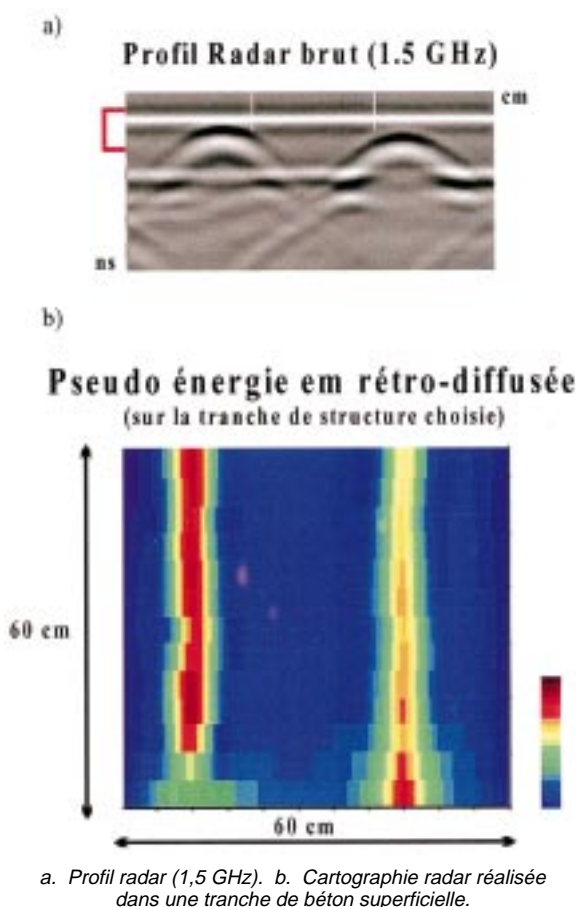
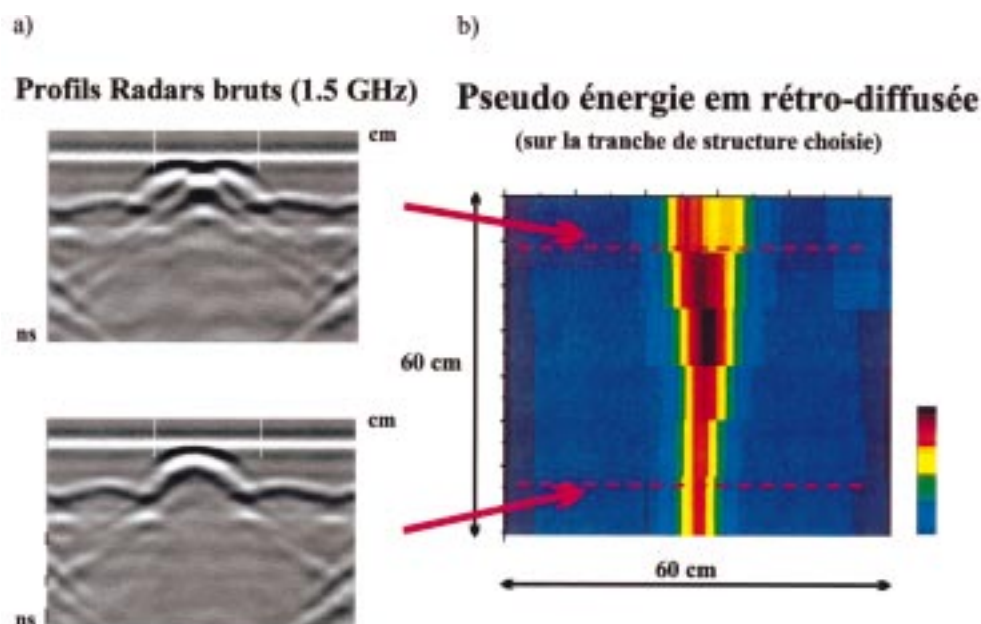


Fig. 8 - Application : le recouvrement vertical.



a. Profils radar (1,5 GHz). b. Cartographie radar réalisée dans une tranche de béton superficielle.

Fig. 9 - Application : la résolution latérale.

La deuxième partie porte sur la mise en forme des profils radars en cartographie. Ce procédé présente l'avantage d'être plus lisible pour les spécialistes d'END et gestionnaires ouvrages d'art, non familiers avec des images radars, d'une part, et de présenter de

meilleures résolution et discrimination, d'autre part. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que l'interprétation de données radars reste délicate et nécessite l'avis d'un spécialiste radar.

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées d'Autun et d'Angers pour l'aide amicale et technique qu'ils leur ont apportée : le groupe Structures de chaussées d'Autun pour la réalisation de certains profils radars, et le groupe Ouvrages d'art d'Angers pour la mise à disposition des corps d'épreuve et les conseils techniques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BUNGEY J.H. (1997), *Subsurface radar as a tool for non-destructive testing and assessment in the construction and building industries*, actes congrès NDT-CE'97, vol. 1, Liverpool (Grande-Bretagne), pp. 335-340.
- CAMERLYNCK C., DABAS M., PANISSOD C. (1996), *Subsurface radar imagery and attribute slicing*, actes 2nd congrès EEGS-ES, Nantes (France), pp. 272-274.
- DANIELS D.J. (1996), *Surface-penetrating radar*, Inst. Of Elec. Engineers, London (Grande-Bretagne), 300 pages.
- DÉROBERT X., LE BRUSQ E., GUILLANTON E., DAUVIGNAC J.-Y., PICHOT Ch., FAUCHARD C., COFFEC O., CÔTE Ph. (2000), *Step frequency radar applied on bituminous concrete*, actes 6^e Cong. Int. GPR, Brisbane (Australie).
- FISHER E., McMECHAN G.A., ANNAN A.P., COSWAY S.W. (1992), Examples of reverse-time migration of single-channel, ground-penetrating radar profiles, *Geophysics*, vol. 57, 4, pp. 577-586.
- FLOHRER C., POEPEL M. (1996), *Combination of a covermeter with a GPR system – A tool for detecting Prestressed bars in concrete structures*, actes 5^e Cong. Int. GPR, Sendai (Japon), pp. 273-278.
- KONG F.-N., WESTERDAHL H., GELIUS L., 1998, *A very wide bandwidth step frequency GPR for testing concrete re-bars*, actes 7^e Cong. Int. GPR, Lawrence (États-Unis).
- MAIERHOFER C., BORCHARDT K., HENSCHEN J. (1995), *Application and optimization of impulse-radar for non-destructive testing in civil engineering*, actes congrès NDT-CE'95, vol. 1, Berlin (Allemagne), pp. 663-672.
- MAIERHOFER C., WIGGENHAUSER H., BRANDFASS M., PITSCH A., LANGENBERG K.J. (1996), *Localization of tendon ducts behind reinforcement in concrete using radar in combination with inverse scattering*, actes 5^e Cong. Int. GPR, Sendai (Japon), pp. 257-260.
- MALAGODI S., ORLANDO L., PIRO S. (1996), *Approaches to increase resolution of radar signal*, actes 5^e Cong. Int. GPR, Sendai (Japon), pp. 283-288.

PARRY N.S., DAVIS J.L. (1992), *GPR system for roads and bridges*, actes 4^e Cong. Int. GPR, Rovaniemi (Finlande), pp. 247-257.

ROBERT A. (1998), Dielectric permittivity of concrete between 50 Mhz and 1 Ghz and GPR measurements for

building materials evaluation, *J. appl. geophys.*, vol. 40, **1-3**, pp. 89-94.

TURNER G. (1994), Subsurface radar propagation deconvolution, *Geophysics*, vol. 59, **2**, pp. 215-223.

ABSTRACT

Use of radar techniques for positioning reinforcing steel in reinforced or prestressed concrete structures

X. DÉROBERT, O. COFFEC

Technical advances in the use of radars for the non-destructive testing of structures mean that effective investigations of concrete structures are now possible. After a general description of the equipment on the market and the operating principle of the radar, the paper describes the performance that can be expected from a tool of this type with regard to positioning steel reinforcement in concrete, whether passive reinforcement or within prestressing ducts.

The paper then describes a mapping technique that uses parallel profile sections. This technique is then evaluated with reference to measurements conducted on test slabs. It is user-friendly and provides good spatial resolution.