

Opération de recherche APOS (Auscultation Pour des Ouvrages Sûrs)

Sujet 3 :

Relations entre indicateurs et observables en vue d'obtenir des gradients

Développement d'une approche multi-statique radar et premiers résultats

*Xiaoting XIAO**, *Xavier DEROBERT**, *Amine IHAMOUTEN***, *Géraldine VILLAIN****

*IFSTTAR - GERS - GeoEND ** Cerema Dter Ouest *** IFSTTAR - MAST - LAMES

Problématique et objectifs de l'action R&D

Dans le cadre général de l'évaluation de la durabilité des ouvrages, les techniques d'auscultation non destructives électromagnétiques, comme la technique radar, présentent l'avantage principal d'être sensibles à la teneur en eau ou en chlorures.

La présente étude, menée dans le cadre de thèses successives [Ihamouten, 2011] et [Xiao, 2015], porte sur l'étude de la propagation des ondes radar se propageant dans un milieu, homogène ou avec gradient, pour une configuration multi-statique d'antennes au contact du matériau.

Démarche

La méthodologie étudiée se décompose en deux phases. Les mesures sont réalisées dans une configuration communément appelée Point-Milieu-Commun (ou CMP en anglais) à l'aide de deux antennes radar de fréquences centrales supérieures à 1 GHz au contact du béton.

Dans un premier temps, on cherche à extraire des données (numériques ou expérimentales) la courbe de dispersion décrivant les vitesses de phase des ondes radar en fonction de la fréquence, pour caractériser les propriétés diélectriques du milieu ausculté. Pour cela, les données sont traitées par transformée $f-\beta$ (très similaire à une transformée de Fourier 2D), puis les maxima sont pointés. Ces derniers correspondent aux vitesses de phase liées aux modes de propagation au sein du matériau ausculté et tenant compte de la dispersion géométrique et de la dispersion due au guide d'ondes que peut former le matériau. Cette méthode d'extraction de la courbe de dispersion a été validée sur des données numériques obtenues grâce au logiciel libre GPRmax2D.

Dans un deuxième temps, une méthode d'inversion a été développée pour estimer les permittivités diélectriques et les géométries internes des guides d'ondes, à partir d'une approche analytique caractérisant les modes de propagation dans des multi-couches. L'inversion fait intervenir une fonction Coût (différence normée entre les données et le calcul analytique de courbe de dispersion) à minimiser par une approche itérative. Cette phase impose de choisir arbitrairement les bandes de fréquences à inverser, chaque bande correspondant à un mode de propagation. Lorsque le milieu est considéré comme un bi-couche, on fait intervenir un milieu équivalent, de permittivité calculée suivant le modèle de Lichtenecker-Rother, qui interagit comme le guide d'onde.

Pour valider cette méthodologie, une étude paramétrique a été réalisée en modélisant les données à l'aide du logiciel GPRmax2D.

Mots clés : *radar, ondes guidées, permittivité diélectrique, teneur en eau*

Principaux résultats

L'étude paramétrique a montré que le pas de mesure Dx devait rester inférieur à 1 cm, que le nombre de mesures (correspondant à la distance maximale entre émetteur et récepteur) devait rester supérieur à 20-30. Cette étude a également montré l'importance d'un positionnement très précis des antennes radar. C'est pourquoi, un robot a été développé (Fig.2) pour améliorer la répétabilité des mesures.

La validation expérimentale a été réalisée sur un bi-couche PVC-calcaire posé sur une plaque métallique. La figure 1 montre les courbes de dispersion : expérimentale, et différents résultats d'inversion – pour différents choix de modes utilisés (pour cet exemple modes TE₄, TE₅ et/ou TE₆) – qui montrent l'impact de ce choix sur la précision des inversions. Des expérimentations ont été également réalisées lors de suivis d'imbibition de dalles de béton, sur une période de 2 mois (7 séries de mesures). Ils ont montré un fort potentiel de l'approche lorsque les mélanges bétons sont poreux et présentent un front d'eau franc.

Illustrations

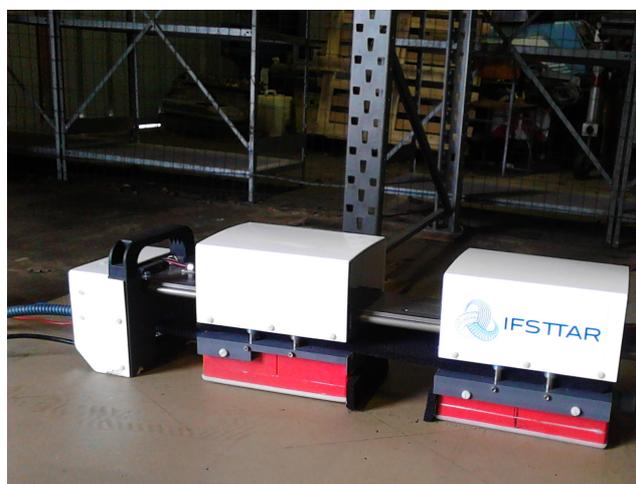
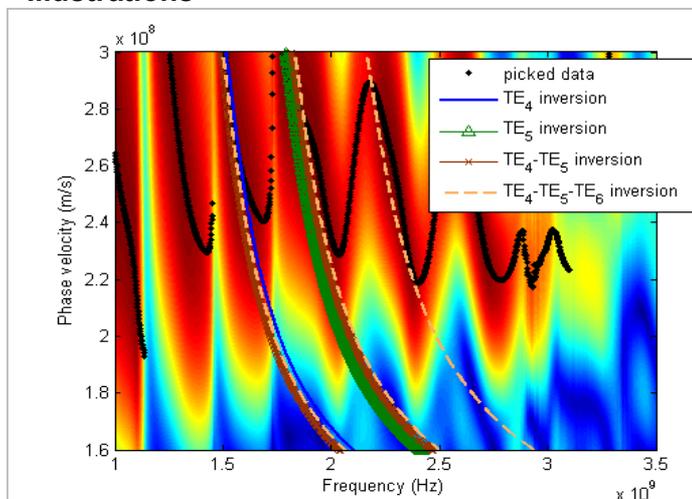


Fig. 1. Courbe de dispersion. Comparaison numérique (inversions sur plusieurs modes) / expérimental (à 1,5 GHz) sur un bi-couche PVC-Calcaire.

Fig. 2. Robot porte-antennes radar

Livrables

Type	Titre	Date
R	Xiao X., "Determination of water content gradients in concrete by electromagnetic methods", thèse univ. Nantes, déc 2015, 209 p.	Oct. 2015
A	Villain G., Ihamouten A., du Plooy R., Palma Lopes S., Dérobert X., "Use of electromagnetic non-destructive techniques for monitoring water and chloride ingress into concrete, Near Surface Geophysics, Vol 13, No 3, June 2015 pp. 299-309.	Juin 2015
A	Ihamouten A., Villain G., Dérobert X. (2012), "Complex permittivity frequency variations from multi-offset GPR data: hydraulic concrete characterization", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 61, N°6, pp. 1636-1648.	2012
C	Xiao X., Ihamouten A., Villain G., Dérobert X. (2015), "Application of electromagnetic waves propagating in multi-layered waveguide to monitor chloride ingress into concrete", 8th Int. Symp. NDT-CE Proc., Berlin (GE)	Sept. 2015
C	Xiao X., Dérobert X., Ihamouten A., Villain G. (2015), "Use of electromagnetic waves propagating in multi-layered waveguide to characterize water transfert in concrete", IWAGPR'2015 cong. Proc., Florence (IT)	Juillet 2015
C	Xiao X., Ihamouten A., Villain G., Dérobert X. (2014), "Parametric study on processing GPR signals to get a dispersion curve", 13th GPR' 2014 Cong. Proc., Brussels (BE)	Juillet 2014
Code	Xiao, Code d'inversion d'ondes guidées pour une configuration CMP radar	2015