

## Outils de traitement du signal pour l'évaluation non destructive des murs à ossature bois par ondes RADAR

HAMDI Seif Eddine<sup>1</sup>, SBARTAI Zoubir Mehdi<sup>1</sup>, BALAYSSAC Jean-Paul<sup>2</sup>, MANDRARA Zaratiana<sup>3</sup>, LANVIN Jean-Denis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut de Mécanique et Ingénierie, 351 cours de la libération, 33405 Talence Cedex, France

<sup>2</sup>LMDC, INSA/UPS Génie Civil, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse cedex 04, France

<sup>3</sup>FCBA, Pôle Industrie Bois Construction, Allée de Boutaut 33300 Bordeaux, France

**Mots clefs :** Murs à ossature bois ; traitement du signal ; onde électromagnétique ; CND

### Contexte et objectifs

Les propriétés physiques et mécaniques des constructions à ossature bois sont liées aux conditions d'exposition et à leurs variations (Wai-Lok, 2018). Actuellement, le diagnostic de ce type de structures nécessite le démontage et la dégradation de ses éléments périphériques pour constater l'état et les pathologies des multiples couches et matériaux constitutifs (Wai-Lok, 2018). Par conséquent, l'évaluation et le contrôle non destructif (CND) pour vérifier leurs conformités avec les normes en vigueur à la livraison et après vieillissement du bâtiment sont une nécessité pour les maîtres d'ouvrage afin de prédire la durée de vie des structures dans un contexte de gestion durable du patrimoine bâti. Cette étude effectuée dans le cadre du projet MOBSCAN financé par Carnot Arts et Carnot MECD, s'inscrit dans ce contexte.

Le système radar (Ground Penetrating Radar GPR) est un outil d'auscultation des matériaux totalement non destructif, rapide, compact et sans contact. L'acquisition de profils radar consiste à effectuer des mesures sur un matériau, et à enregistrer les signaux. Ces signaux enregistrés représentent l'amplitude des ondes réfléchies par les différentes interfaces présentant des contrastes de propriétés diélectriques en fonction du temps. La propagation des ondes radar est fortement liée à la permittivité et la conductivité du matériau qui sont très sensibles aux variations de l'humidité. En effet, en plus de l'efficacité du GPR à évaluer l'humidité des matériaux de construction comme le bois, il a l'avantage par rapport à d'autres techniques de donner des informations sur la profondeur d'une paroi de façon globale. Ainsi l'analyse fine des bâtiments existants permettrait d'évaluer les travaux d'amélioration, de modification, de maintenance et leurs coûts (Sbartai, 2007 ; 2012).

La caractérisation physique du milieu de propagation par la technique radar est basée essentiellement sur la détermination de la vitesse et de l'atténuation des ondes radars au cours de leur propagation dans le milieu, mais aussi sur l'analyse des coefficients de réflexion de ces mêmes ondes à l'interface des milieux propagation. Généralement, la détermination de la vitesse de propagation dans le milieu est réalisée par deux façons. La première consiste à la configuration mono-statique (offset fixe de quelques centimètres, l'émetteur et le récepteur dans le même boîtier). La deuxième consiste à la configuration bi-statique en réalisant plusieurs mesures radar pour des distances émetteur/récepteur différentes et connues. Dans ce travail, la première configuration est retenue. Cela signifie qu'il faut connaître exactement le trajet et le temps de propagation des ondes radar dans le matériau. Cependant, il est difficile de remonter directement au temps zéro (le temps de départ de l'impulsion électromagnétique), et donc au temps de parcours de l'onde dans le matériau. Une façon d'évaluer la vitesse de propagation et de calculer le temps zéro ( $t_0$ ) est d'effectuer des mesures dans l'air (références). Cette technique, connue sous le nom de Fixed Offset (FO), a l'avantage d'être plus rapide puisqu'elle ne nécessite la réalisation que d'un seul offset (Galagedara, 2003 ; Mai 2015).

Cette étude propose l'utilisation du GPR comme méthode CND pour caractériser les matériaux constituant des murs à ossature bois. On propose d'utiliser le GPR à l'échelle de la paroi, pour réaliser des cartographies de vitesse des ondes qui pourront révéler des contrastes des paramètres électromagnétiques liés à des modifications de propriétés des matériaux constituant l'assemblage (isolants, bois d'ossature, présence d'humidité ou absence d'isolant). Une méthode de traitement de signal exploitant l'effet de la variation des couches composant le mur à ossature bois sur la vitesse de propagation de l'onde directe est proposée.

### Matériaux et méthodes

Les mesures radar ont été effectués sur une maquette de mur à ossature bois à l'échelle du laboratoire fournie par FCBA de Bordeaux. La figure 1 présente les différents éléments constituant cette maquette de dimension  $900 \times 600 \times 400 \text{ mm}^3$ .

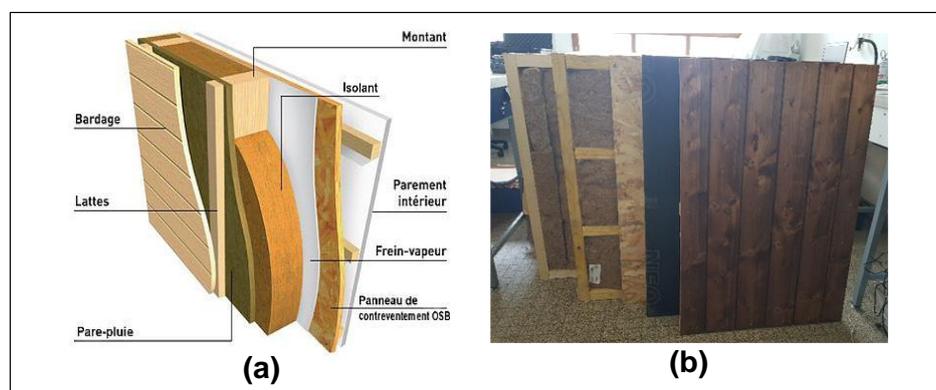


Fig. 1 : Schéma de la maquette du mur à ossature bois (a)

Le matériel de mesure est composé d'un système radar SIR 3000 avec un dérivateur pour pouvoir connecter deux antennes. Les antennes utilisées sont un couple d'antennes 2.6 GHz (Fig. 2a). Les mesures ont été effectuées en utilisant une antenne (une seule boîte composée de deux dipôles Emetteur-Récepteur) à offset fixe de l'ordre de 6 cm. Dans cette configuration, l'antenne est placée dans l'air pour une mesure de référence. Ensuite, elle est placée sur la paroi (bardage) de la maquette (Fig. 2b). Un C-scan a été effectué suivant les directions x et y (Fig. 2c). Une centaine de signaux sont enregistrés dans l'air et dans le matériau.

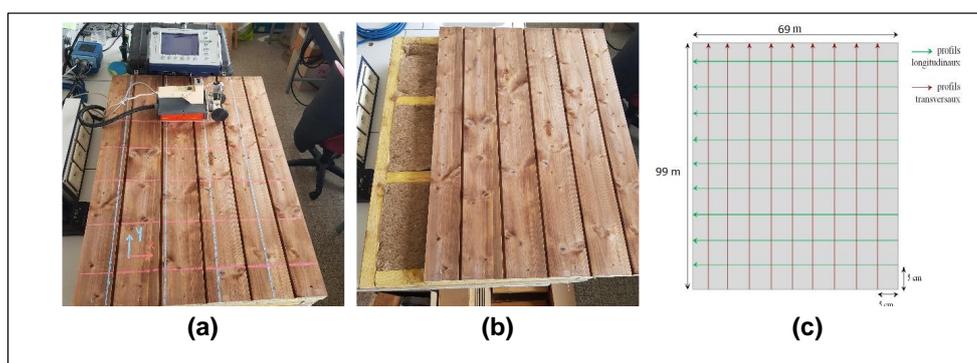


Fig. 2 : Maquette du mur à ossature bois : Bardage extérieur avec tasseaux bois (a) ; Montants bois avec isolant (b) ; Grille de mesures radars à l'échelle de la paroi (c)

## Résultats et analyse

Plusieurs algorithmes de traitement de signal ont été implémenté dans le but de réduire le rapport signal sur bruit du radar pour mieux comprendre la géométrie interne de l'objet ausculté. En effet, l'image renvoyée par le radar ne correspond pas à la géométrie exacte de l'objet. Ceci est dû principalement au rapport signal sur bruit qui est souvent proche de 1 et à la longueur d'onde des émissions radar ainsi que les dimensions de l'objet. La Fig 3a-b présente le résultat de l'application de plusieurs algorithmes de filtrages et de méthodes de prétraitement, tel que l'algorithme de Pan and Tompkins, la Nonlinear Phase Space Reconstruction, le State-Machine et le Filter Bank, afin d'améliorer le taux de détection des pics de réflexion et de réduire la fausse détection de l'onde directe dans les profils radar.

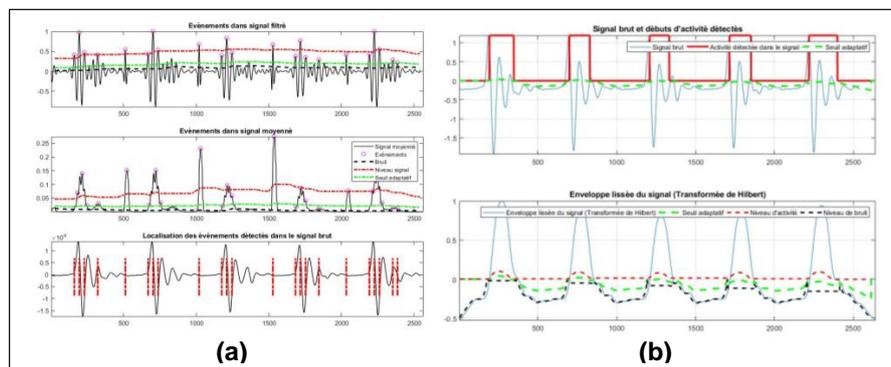


Fig. 3 : Détection et localisation non supervisée des pics de réflexion avec la Nonlinear Phase Space Reconstruction (NPSR) (a) ; Multilevel Teager Energy Operator (MTEO) (b)

La Fig 4a-b montre le résultat de l'application de l'algorithme du matched filter pour la reconstruction des profils surfaciques des éléments de la maquette à ossature bois. Cet algorithme permet d'optimiser la résolution spatiale d'un C-scan. En effet, dans un radargramme typique, chaque point diffractant du milieu sondé apparaît comme une hyperbole ce qui présente une résolution faible de l'image vue l'étalement spatial de l'hyperbole. Un des principaux traitements sur les C-Scan consiste à enlever l'ambiguïté sur l'emplacement exact de l'objet réflecteur en transformant le profil radar espace-temps en une image dans laquelle les réflecteurs sont correctement positionnés et à taille réelle, ce traitement est connu sous le nom de la migration.

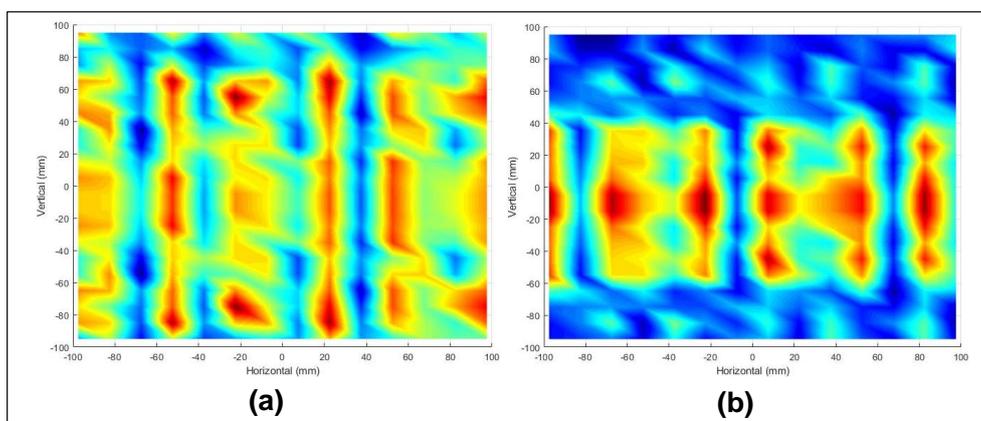


Fig. 4 : Projection spatiale 2D et reconstruction des profils radar par l'application du Matched filter sur les signaux des B-scans verticaux (a) ; Signaux des B-scan horizontaux (b)

Plusieurs algorithmes d'identification et de reconstruction de contours ont été testés pour la projection 2D des reconstructions des C-scans à partir des profils obtenus. La Fig. 5 à-c montre les résultats obtenus par l'application de l'algorithme de Sobel Filter, Prewitt Filter et la 2D Continuous Wavelet Transform. Ces résultats montrent une reconstruction acceptable des éléments de la maquette à ossature bois. Cependant, certaines difficultés restent à surmonter, comme la définition du temps zéro, correspondant au moment d'émission de l'impulsion électromagnétique ainsi que des problèmes d'acquisitions radars survenus sur les bords de la maquette, ce qui cause la dégradation des signaux et la perte de l'information. Il serait donc pertinent de mettre en place un processus d'acquisition radar automatisé, ce qui peut améliorer les résultats finaux des algorithmes proposés.

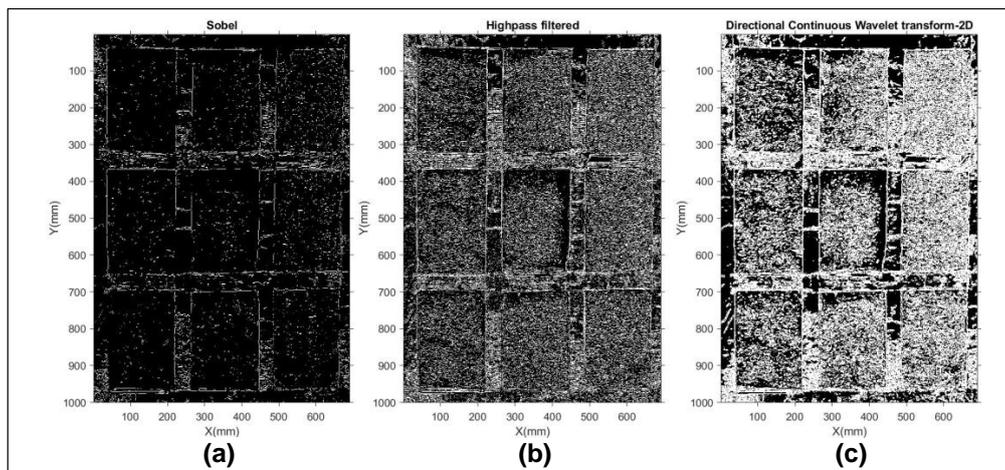


Fig. 5 : Détection et reconstruction des contours par Sobel filter (a) ; Prewitt filter (b) ; 2D Continuous Wavelet Transform (c)

### Remerciements

Les auteurs souhaitent vivement remercier Carnot Arts et Carnot MECD pour leur soutien financier à ce travail dans le cadre du projet MOBSCAN.

### Références

- Galagedara L.W. (2003) The GPR Direct Ground Wave Method for Soil Moisture Content Estimation Field Experiments and Modeling. Thesis for doctor of Philosophy. The University of Guelph.
- Sbartai Z.M., Breyse D., Larget M., Balayssac J.P. (2012) Combining NDT techniques for improved evaluation of concrete properties. Elsevier journal : Cement & Concrete Composites 34 725-733.
- Sbartai Z.M., Laurens S., Rhazi J., Balayssac J.P., Arliguie G. (2007) Using radar direct wave for concrete condition assessment: Correlation with electrical resistivity, Elsevier journal: Journal of Applied Geophysics 62 361-374.
- Wai-Lok Lai W., Dérobert X., Annan P. (2018) A review of Ground Penetrating Radar application in civil engineering: A 30-year journey from Locating and Testing to Imaging and Diagnosis NDT & E International, 96, 58-78.