

## ECOTECHS'2011

### Dispositif d'imagerie ultrasonore pour les bois sur pied

Philippe Gallet<sup>1</sup>, Loïc Brancheriau<sup>1</sup>, Patrice Thaunay<sup>1</sup>, Philippe Lasaygues<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre de recherche agronomique pour le développement CIRAD, 73, rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 05, France. [Philippe.gallet@cirad.fr](mailto:Philippe.gallet@cirad.fr), [loic.brancheriau@cirad.fr](mailto:loic.brancheriau@cirad.fr), [patrice.thaunay@cirad.fr](mailto:patrice.thaunay@cirad.fr),

<sup>2</sup> Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique LMA, CNRS, 31 chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille cedex 20, France  
[lasaygues@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:lasaygues@lma.cnrs-mrs.fr)

**Résumé :** L'objectif de cette étude est de développer un dispositif spécifique pour l'imagerie à ultrasons qui peut être utilisé dans les plantations forestières tropicales. Les appareils d'imagerie acoustique ou ultrasonore en transmission sont principalement basés sur la mesure de la vitesse de propagation. Cependant, l'atténuation peut également être utilisée pour la détection de zones défectueuses. Pour cette expérience, l'émission ultrasonore est un train d'impulsions d'ondes carrées à 80 kHz. Une rondelle de peuplier vert sans écorce (33 cm de diamètre) a été testée. Les cartographies sont calculées selon le modèle de radon et en utilisant un algorithme de retro-projection filtrée sur une géométrie en éventail. Les paramètres physiques concernés sont la lenteur de propagation (s/m) et l'atténuation (dB/m). Les cartographies de ces paramètres sont a priori en accord avec les constations visuelles (présence d'une dégradation centrale et démarrage de fissuration également au centre). L'analyse des reconstructions quantitatives a également mis en évidence que l'erreur de calcul augmente avec l'augmentation de la lenteur. Ce phénomène ne se produit pas pour les atténuations.

**Mots clés :** imagerie, ultrason, atténuation, lenteur, bois

### 1 Introduction

Les techniques non-destructives basées sur les rayons X et les ondes acoustiques se sont développées et adaptées au matériau bois à partir des années 60 (Bucur 2003). Les principaux tomographes acoustiques tels que le « Picus Sonic » (Rust 2000; Rust and Göcke 2000), Arbotom (Rinn 2003; Rinn 2004) et le « Fakopp Acoustic Tomograph » (Divos 2000), sont basés sur la mesure de la vitesse de propagation du son dans la section transverse. Une limitation de ces outils est que seules les ondes transmises sont exploitées et le paramètre dominant mesuré est uniquement la vitesse des ondes de compression, qui est un paramètre important, mais pas suffisamment sensible pour identifier les différentes zones et propriétés constitutives. Une amélioration de cette mesure serait d'utiliser ensemble la diffraction et la transmission des ultrasons. L'utilisation de la diffraction permet l'imagerie qualitative comme l'échographie. L'analyse de l'onde de transmission permet l'évaluation locale du module spécifique et l'atténuation interne (imagerie quantitative).

Le projet de recherche *BioGMID* (Biological Growth Medium Integrity Diagnoses using bi-modality tomographies) a pour objet le développement d'un outil méthodologique basé sur la tomographie par rayons X et par ultrasons. Premièrement, une approche qualitative peut être appliquée pour caractériser l'intégrité du matériau et deuxièmement une approche quantitative permet d'accéder aux propriétés physiques (densité, numéro atomique effectif, constante élastique). *BioGMID* se propose d'améliorer la compréhension des phénomènes d'interaction ondes/matériau. Cet article est orienté sur l'aspect ultrason du projet, particulièrement sur le développement d'un dispositif ultrasonore spécifique à l'imagerie des arbres sur pied (imagerie quantitative).

## 2 Matériel végétal

Les premiers essais du dispositif ultrasonore ont été réalisés sur une rondelle de peuplier de 33cm de diamètre moyen et de 10 cm de hauteur (Fig. 1). Le bois avait une humidité de 164 % et une masse volumique de 905 kg/m<sup>3</sup> (contre 390 kg/m<sup>3</sup> à 12%).

## 3 Méthodologie expérimentale

L'objectif est de développer un dispositif ultrasonore spécifique d'imagerie qui peut être utilisé dans les plantations de forêts tropicales. La caractérisation d'arbres de plantation, en termes de comportement mécanique et aussi de détection précoce des détériorations internes, pourrait être un outil utile pour la sélection clonale et l'amélioration génétique.

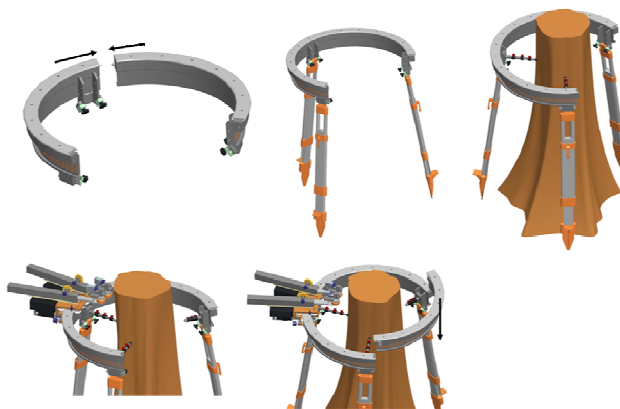


**Figure 1 :** Photographie de la rondelle de peuplier.

### 3.1 Dispositif de tomographie

Les principaux points du cahier des charges du dispositif sont : un poids compris entre 10 et 20 kg, un montage de l'équipement en quelques minutes, une alimentation par batterie, un diamètre des troncs de 15 à 50 cm, deux transducteurs ultrasonores peuvent se déplacer autour du tronc séparément, une durée de scan entre 10 et 20 minutes (fonction de la résolution souhaitée).

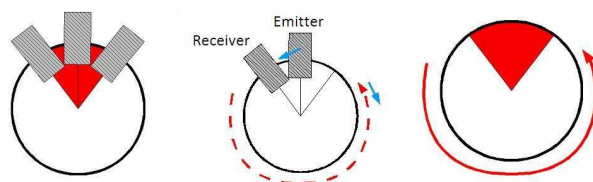
Le CIRAD a conçu et réalisé cet équipement. La partie mécanique a été développée avec un logiciel de CAO, qui a permis de vérifier virtuellement toutes les fonctionnalités par rapport au cahier des charges. La partie électronique a été également conçue au CIRAD, incluant le générateur d'impulsions haute tension, la conversion analogique - numérique du signal, le contrôle - commande, avec ses pilotes spécifiques, de l'automatisation et de l'acquisition des données.



**Figure 2 :** Assemblage du dispositif.

Le dispositif est constitué d'un anneau en aluminium supporté par trois pieds (Fig. 2). La hauteur de l'anneau peut être ajustée de 1 m à 1,6 m mais la hauteur typique est de 1,3m.

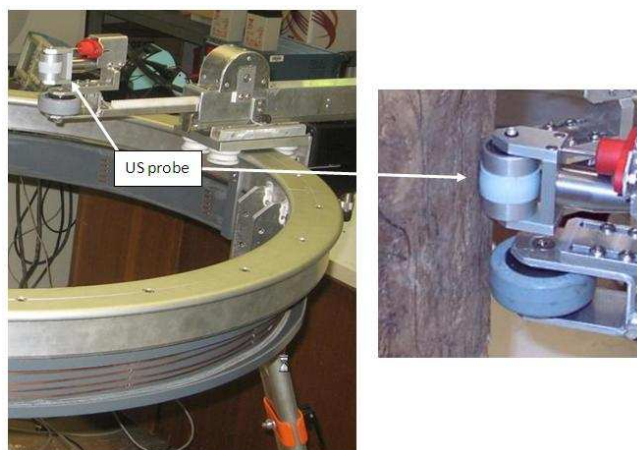
Dans un premier temps, deux des trois parties de l'anneau sont assemblées ainsi que les trois pieds. Cet ensemble est alors placé contre le tronc en utilisant deux éléments de serrage. Chaque capteur est monté sur un chariot et les chariots sont insérés dans l'anneau. Enfin, la dernière partie de l'anneau est montée et le troisième élément de serrage est appliqué pour rendre l'anneau solidaire de l'arbre. L'image tomographique est obtenue par une analyse quantitative (deux transducteurs). Le processus d'un scan est montré à la Fig. 3. A cause des dimensions de chaque chariot, le secteur angulaire de  $120^\circ$  ne peut être scanné dans une projection. Un angle typique de  $5^\circ$  conduit à environ 48 points par projection. Pour un scan complet, le nombre total d'acquisition est ainsi de 3456. Pour une projection, l'émetteur reste en position pendant que le récepteur se déplace autour de l'anneau. La projection suivante est initiée par un pas angulaire et est suivie par un autre mouvement du récepteur autour de l'anneau (Une acquisition est effectuée à chaque pas angulaire).



**Figure 3 :** Principe d'essai pour l'imagerie quantitative.

Le dispositif est piloté par un ordinateur. Les chariots intègrent un système électronique embarqué. Ce système électronique embarqué, développé par le CIRAD, est composé d'une première carte électronique commune aux deux chariots intégrant le microcontrôleur qui assure le dialogue avec l'ordinateur, la lecture des coordonnées et du déplacement du capteur. Cette carte intègre, pour le chariot émetteur, le générateur d'impulsions haute tension. Le chariot récepteur comporte une deuxième carte assurant l'amplification et l'acquisition du signal ultrasonore.

L'acquisition est effectuée par un convertisseur analogique numérique de 16 bits avec une fréquence d'échantillonnage réglable jusqu'à 5MHz et une mémoire de 128000 échantillons. L'émission est assurée par un générateur dont la tension, le nombre d'oscillations et leur durée sont paramétrables. Le transducteur est composé d'une roue dans laquelle est placé l'émetteur. Le couplant est fait d'un élastomère entourant la roue (Fig. 3).



**Figure 3 :** Développement de l'équipement ultrasonore dans le laboratoire du CIRAD.

### 3.2 Conditions expérimentales

L'émission est composée de 10 oscillations de 420V d'amplitude avec des périodes de  $12,5\mu s$  (signal carré). L'amplification en sortie est réglée sur 66dB. L'acquisition est réglée sur 500kHz, 1024 points (16 bits). La fenêtre d'observation est de  $2048\mu s$ . Les

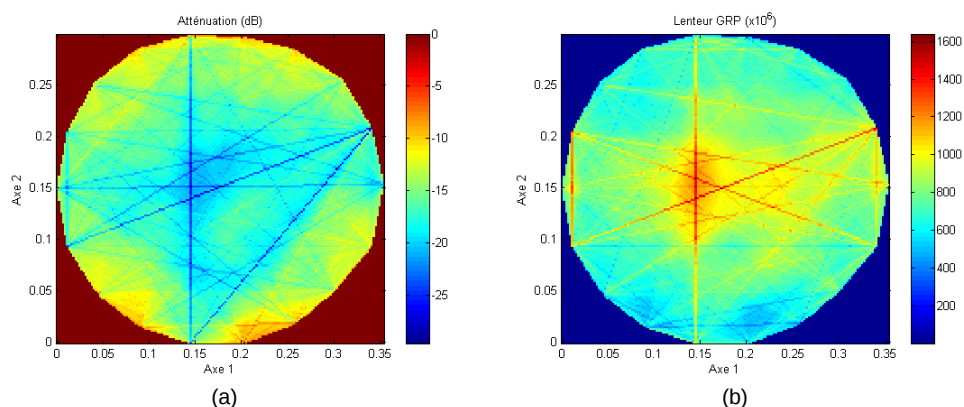
transducteurs utilisés pour la tomographie ont une fréquence de fonctionnement centrée sur 80kHz et un diamètre de 3,2cm. A cette fréquence et pour le bois, la résolution longitudinale et latérale est respectivement de 17,7 mm et 36,4 mm soit un quadrillage de 644mm<sup>2</sup>. Avec cette résolution, le pas angulaire est réglé sur 20°, soit 17 points par projection. Dans cette configuration, la surface sondée est divisible en 153 pixels soit, pour le diamètre du disque, un quadrillage de 576mm<sup>2</sup>.

#### 4 Résultats

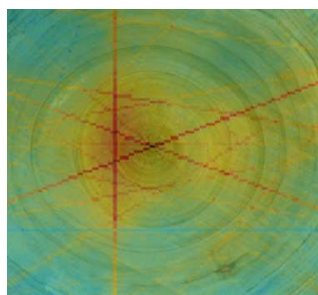
Pour chaque émission – réception, le signal est filtré par une ondelette de Morlet de fréquence 80kHz et de largeur 10kHz (bande passante à -3dB).

Les grandeurs physiques exploitées sont la lenteur de propagation (s/m) et l'atténuation (dB/m). Ces grandeurs physiques respectent l'hypothèse de Radon et sont par conséquent sommables sur le rayon droit de propagation. Dans ce cas, une hypothèse forte d'isotropie transverse du matériau bois est faite. La cartographie quantitative des grandeurs physiques calculées est réalisée par inversion du modèle de Radon. Un algorithme de rétro - projection filtrée (filtre de Shepp - Logan) est utilisé sur une géométrie en éventail. Les valeurs manquantes de chaque rétro – projection sont interpolées en cubic - spline.

Les Fig. 4 (a et b) et 5 montrent les cartographies obtenues par inversion des projections expérimentales. Le nombre optimal de pixels dans la zone étudiée est de 153 (au regard des résolutions physiques longitudinales et latérales), ce qui implique un nombre optimal de pixels de l'image de 16x16. Dans le cas des figures présentées, les images ont pour taille 160x160 afin d'augmenter leur lisibilité.



**Figure 4 :** Cartographie des lenteurs ( $\times 10^6$ ) (a) et des atténuations (b) dans la section de peuplier.



**Figure 5 :** Superposition par transparence de la zone de plus faible lenteur et du disque de peuplier.

Sur la Fig. 4(a) comme sur la Fig. 4(b), une zone de plus faible lenteur et de plus forte atténuation est nettement visible. Cette zone dite de "faiblesse" est située très près du centre du disque (Fig.5). La photographie ne permet cependant pas de voir que le centre du disque est en effet dégradé ; il est de plus traversé par des fissures ténues (constatation visuelle avant l'essai). Les cartographies obtenues confirmeraient donc cette observation visuelle,

cependant, compte tenu de la résolution spatiale (17,7mm x 36,4mm), il est impossible de déterminer précisément la taille de la dégradation.

## 5 Conclusion

Cet article a présenté les premiers résultats obtenus avec un dispositif spécifique pour la tomographie ultrasonore des arbres sur pied. Ce dispositif est développé dans le cadre du projet BioGMID qui vise à obtenir un procédé efficace et optimisé pour la caractérisation et l'obtention d'image en coupe transversale par utilisation des ultrasons mais aussi des rayons X.

Dans le cas de cette expérience, l'émission ultrasonore est un train d'onde carré de 80kHz (420V), l'amplification en sortie est de 66dB. A cette fréquence et dans le bois, la résolution est de 17,7mm x 36,4mm, soit un quadrillage de 644mm<sup>2</sup>. L'objet d'étude est un disque de peuplier de 33 cm de diamètre et de 10 cm d'épaisseur à l'état saturé en eau.

Les cartographies réalisées ont été calculées selon le modèle de Radon en rétro - projection filtrée avec une géométrie en éventail. Les paramètres physiques concernés sont la lenteur de propagation (s/m) et l'atténuation (dB/m). Les cartographies de ces paramètres sont à priori en accord avec les constations visuelles (présence d'une dégradation centrale et démarrage de fissuration également au centre). L'analyse des reconstructions quantitatives a également mis en évidence que l'erreur de calcul augmente avec l'augmentation de la lenteur. Ce phénomène ne se produit pas pour les atténuations.

## Remerciements

Cette recherche est soutenue par une subvention de l'Agence Nationale Française de Recherche (BLAN07-1\_183692, "BioGMID"). Ces résultats ont été présentés au 10<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique (2010), <http://cfa.sfa.asso.fr/>.

## Références

- Brancheriau L., Lasaygues P., Debieu E., Lefebvre JP. (2008) *Ultrasonic tomography of green wood using a non-parametric imaging algorithm with reflected waves*, Annals of Forest Science, Vol. 65, N°7, pp. 712-718.
- Bucur, V. (2003) *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*, Springer-Verlag, Berlin, 324 p.
- Divos, F. (2000) *Stress wave based tomography for tree evaluation*. Proc. Of 12th Int. Symposium on NDT of Wood, Sopron 13-15 Sept. 2000: 469.
- Rinn, F. (2003) *Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie*. Baumzeitung 8:29–31.