

ANALYSE DE MÉTHODES STATISTIQUES EN TRAITEMENT DU SIGNAL POUR LES TOMOGRAPHIES ACOUSTIQUE ET ULTRASONORE DES ARBRES SUR PIED

A. ARCINIEGAS¹, L. BRANCHERIAU², et P. LASAYGUES¹

¹ : CNRS, LMA UPR 7051, 31 Chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille Cedex 20 ² : CIRAD, UR BioWooEB – UMR AMAP, 73 Rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5
arciniegas@lma.cnrs-mrs.fr

Motivation : La tomographie acoustique est une méthode d'imagerie permettant de réaliser des cartographies bidimensionnelles des objets en fonction des paramètres des ondes élastiques de basse fréquence (<20 kHz). Dans le cas spécifique de la tomographie des arbres, les images obtenues sont proportionnelles à la vitesse (ou à la lenteur) de propagation des ondes dans le plan radial-transverse. La qualité de ces images, et la capacité associée à l'analyse et l'interprétation des phénomènes d'interaction onde/arbre, dépendront de plusieurs facteurs : la fréquence des ondes émises, le rapport signal sur bruit des signaux, le nombre de sondes utilisés pour un balayage et l'algorithme de reconstruction d'image. Compte tenu des limitations mentionnées, on présente ici des résultats d'études comparatives cherchant à améliorer la qualité des images tomographiques.

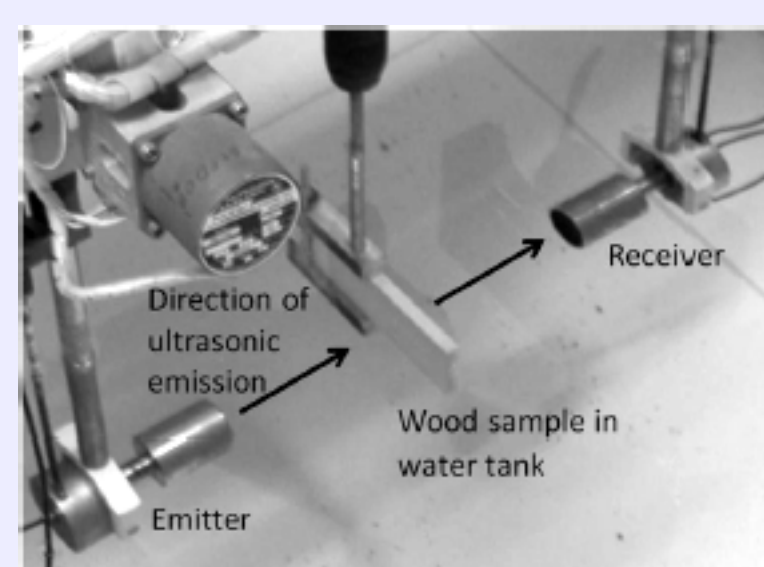
Matériels et méthodes : Méthodes de détection du TOF

Objectif : Comparer 4 critères statistiques de détection du temps de propagation (TOF) par leurs biais systématiques et aléatoires.

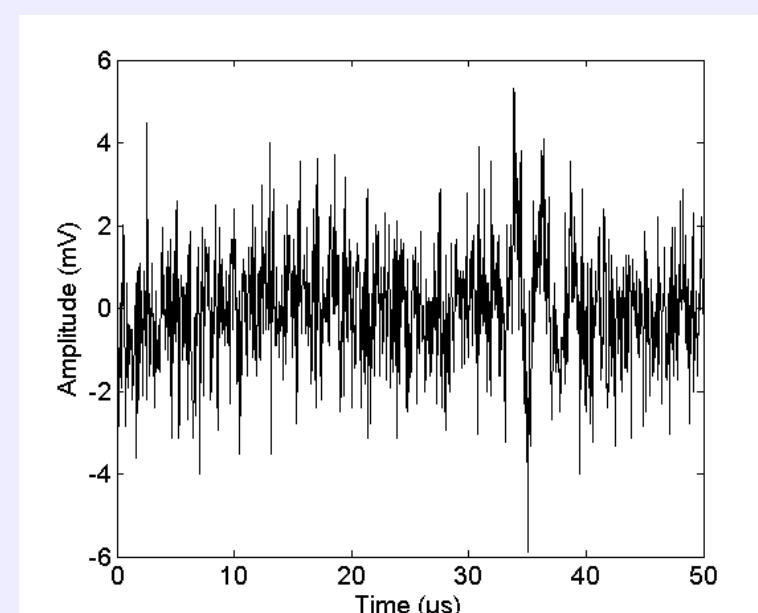
- Seuil (Threshold)
- Akaike (AIC)
- Énergie (Hinkley)
- Fisher à court terme

Généralités :

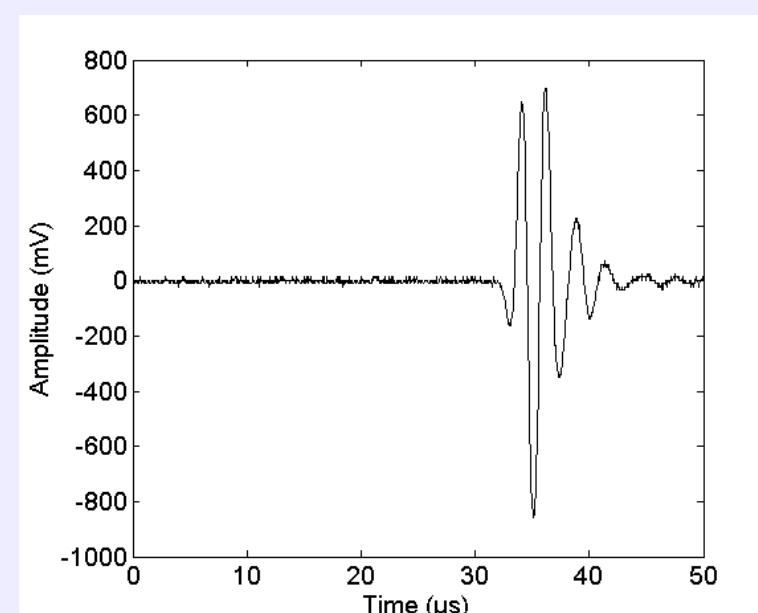
- 3 échantillons parallélépipédiques (1 matériau isotrope et 2 essences de bois)
- Signaux US avec rapport signal sur bruit (SNR) variable de -3.6 dB à +28 dB



Protocole classique pour la mesure de la vitesse des ultrasons.



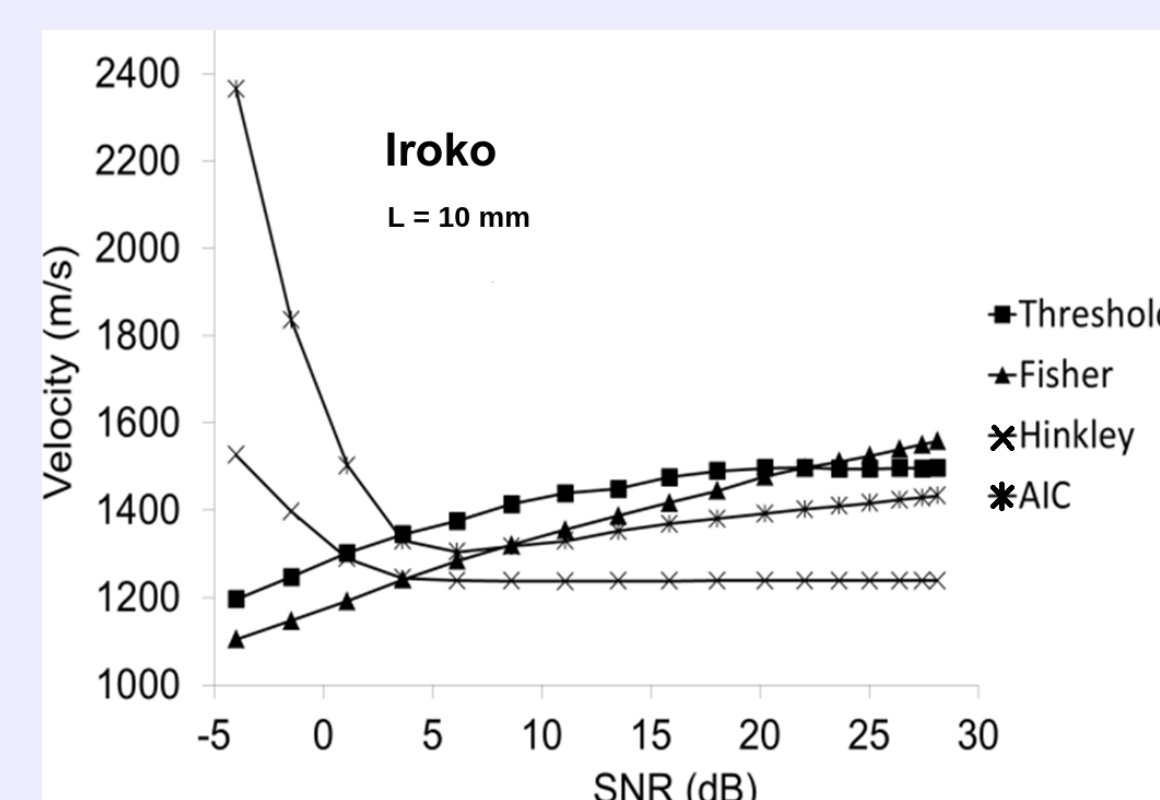
Faible SNR.



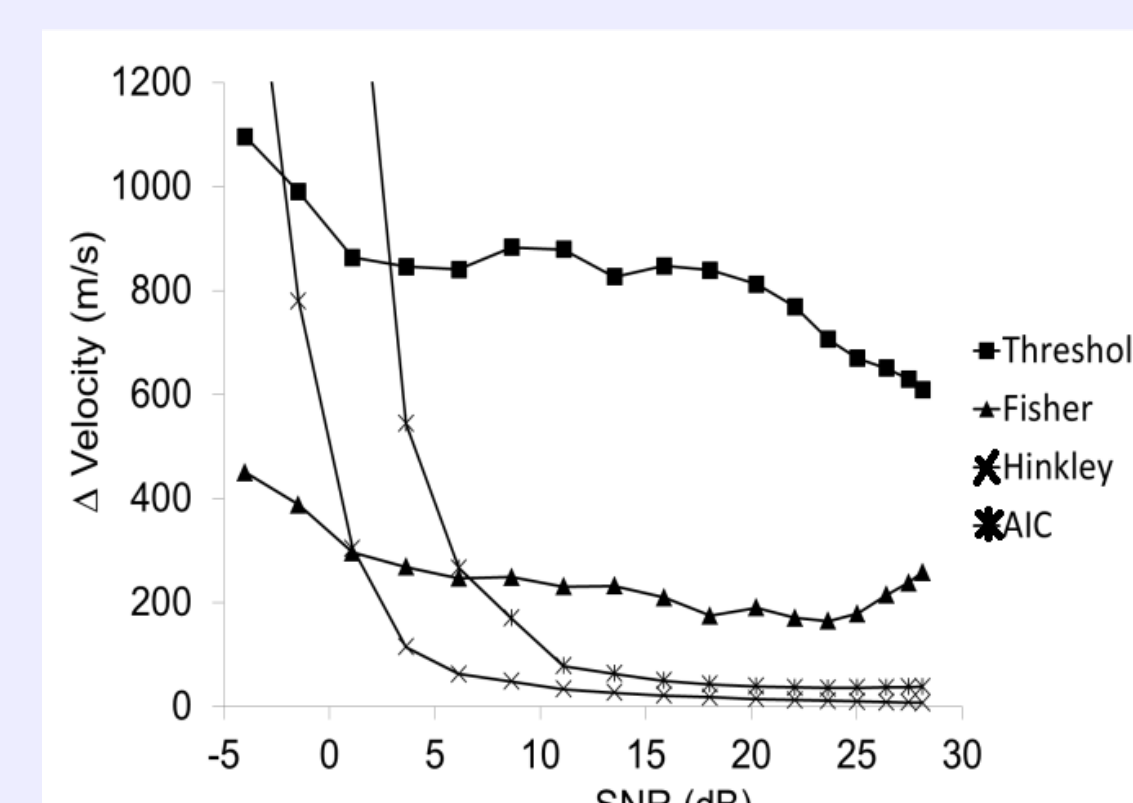
Fort SNR.

Résultats : Méthodes de détection du TOF

Vitesse des ultrasons dans l'Iroko et erreur de mesure (Arciniegas et al., 2014a).



Vitesse moyenne des ultrasons.



Erreur de mesure.

- AIC surestime la vitesse (SNR < +5 dB).
- Hinkley estime des valeurs quasi-constantes de vitesse (SNR > +5 dB).
- Fisher et Threshold présentent une tendance croissante en fonction du SNR.

- Pour toutes les méthodes, cette erreur diminue en même temps que le SNR augmente.
- Pour AIC et Hinkley, l'erreur de mesure est la plus faible (SNR > +10 dB).
- Pour Fisher, l'erreur est relativement faible et diminue en fonction du SNR.
- Pour Threshold, l'erreur est deux fois celle de Fisher.

Matériels et méthodes : Algorithmes de reconstruction

Objectif : Étudier la qualité de la reconstruction de 4 algorithmes en tomographie sur un fantôme numérique d'arbre.

- FBP (solution analytique – rayons droits)
- SIRT (résolution matricielle – rayons courbes)
- LS (approche multicouche)
- PLS (procédure de régression)

Évaluation de l'erreur Fantôme - Image reconstruite (R^2) :

- Projections
- Pixels

En fonction de :

- Effet du nombre de sondes (10 à 70 par pas de 2)
- Effet des mesures bruitées

Étude supplémentaire : Temps de calcul en fonction du nombre de sondes et des mesures bruitées.

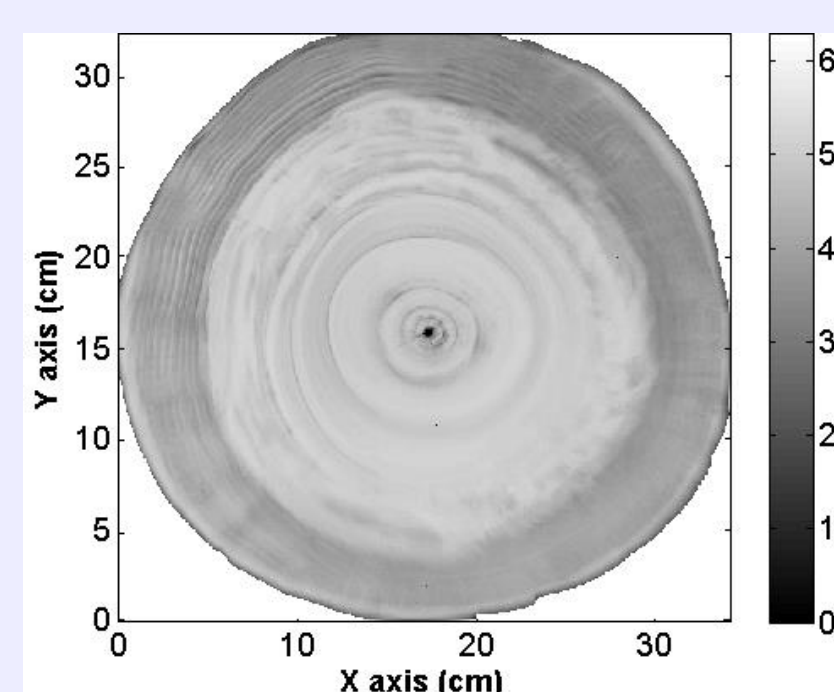
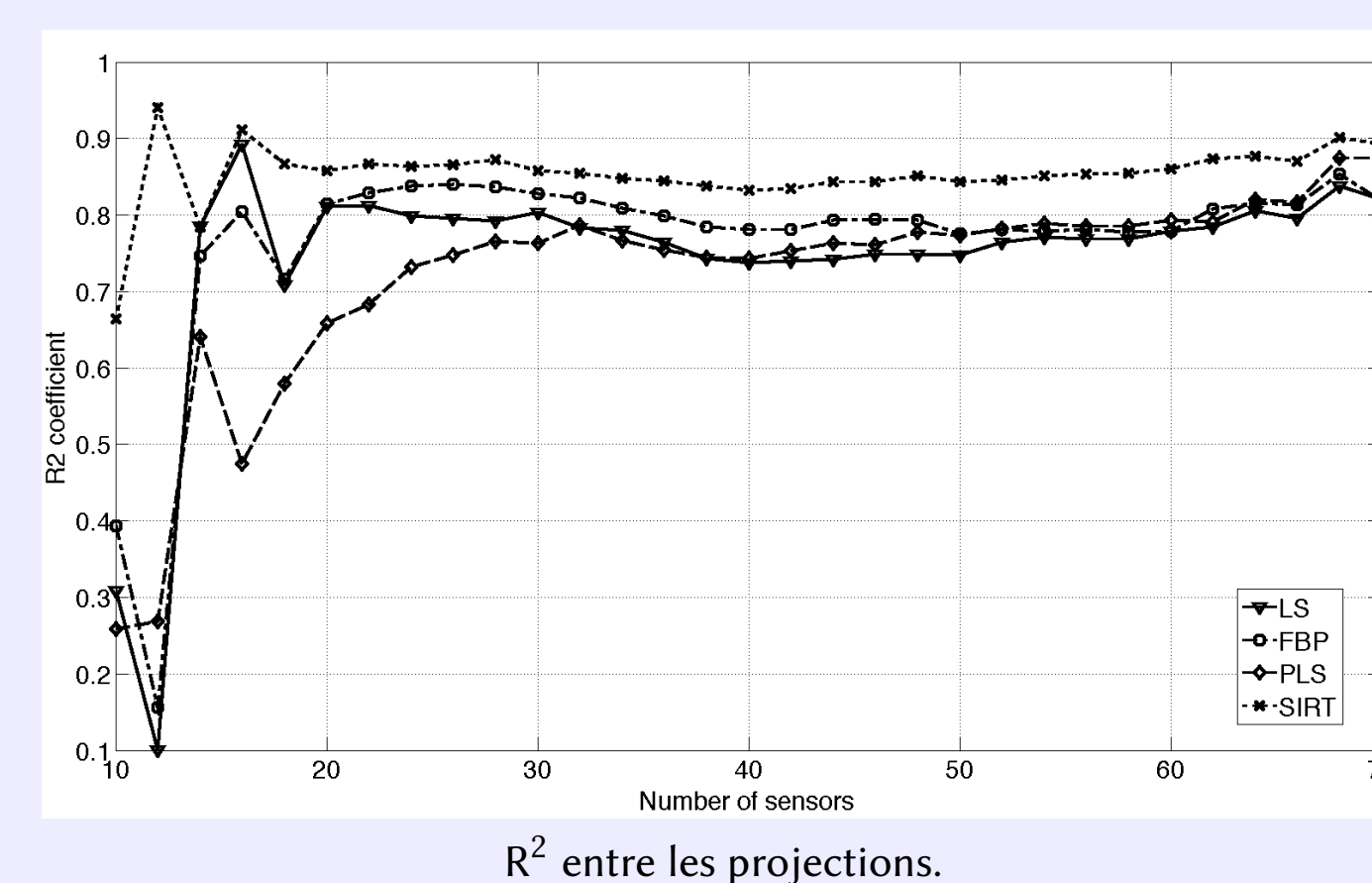


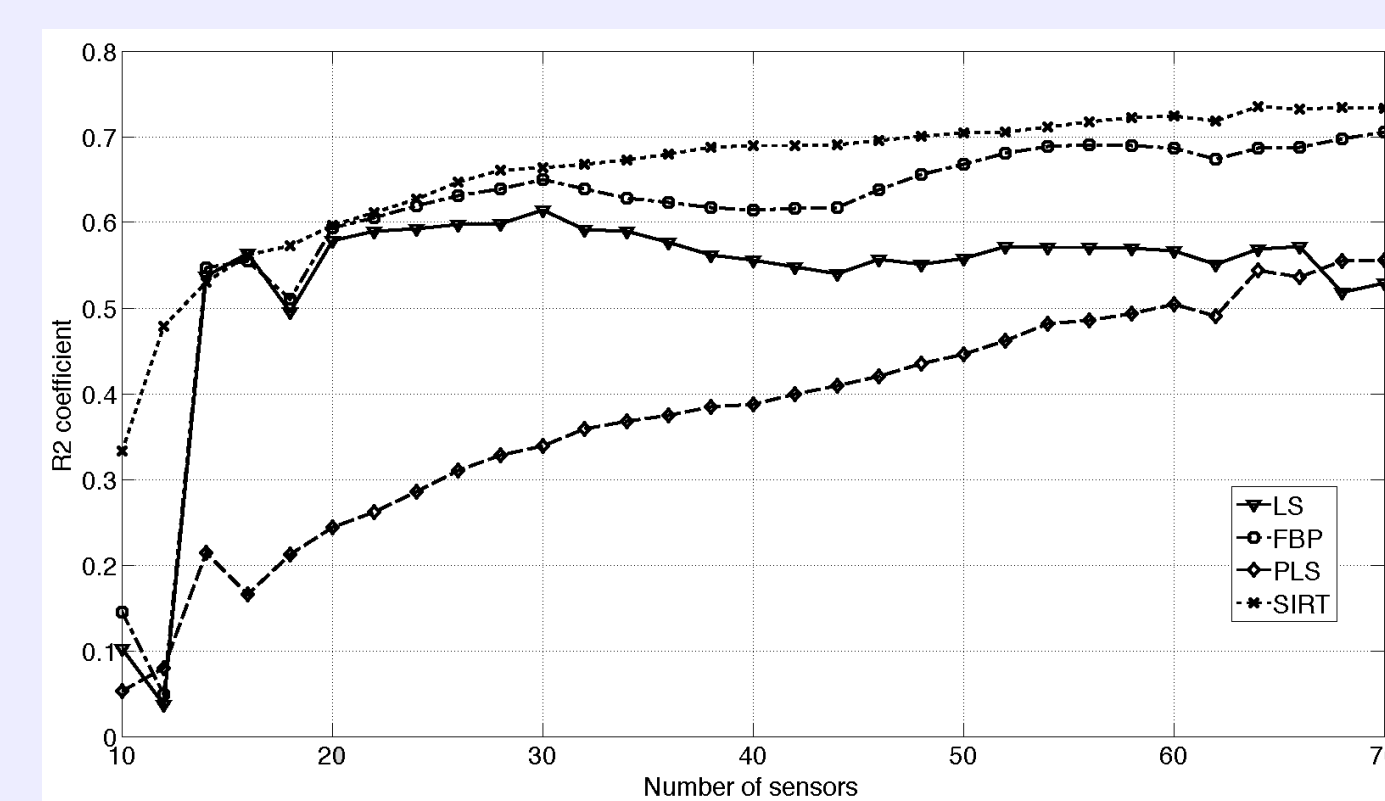
Image par rayons X d'un peuplier. Gradient des propriétés.

Résultats : Algorithmes de reconstruction

Correspondances entre le fantôme et les images reconstruites (Arciniegas et al., 2014b).



R^2 entre les projections.



R^2 entre les pixels.

- Comportement similaire pour toutes les méthodes (sondes ≥ 30).
- SIRT montre la meilleure convergence, même avec un faible nombre de sondes ($R^2 > 0.66$).

- PLS est la moins performante à 70 sondes ($R^2 = 0.55$).
- FBP et SIRT sont les plus performantes à 70 sondes ($R^2 = 0.70$).
- LS est stable entre 16 et 50 sondes.

Conclusion et perspectives

Méthode optimale de mesure du TOF : L'expérimentation a montré que les méthodes « Hinkley » et AIC sont fortement influencées par le niveau de bruit. Pour des conditions de bruit favorables, la méthode « Hinkley » peut être valablement utilisée, mais sinon la méthode « Fisher » s'est montrée très adaptée. Afin de minimiser les incertitudes, une solution serait de fusionner ces deux critères dans un seul algorithme qui permettrait de déterminer un TOF moyen le plus constant possible avec une erreur de détermination la plus faible possible.

Algorithme de reconstruction idéal : L'algorithme SIRT est le plus performant en accord avec les contraintes expérimentales en tomographie des arbres (bonne qualité d'image avec un faible nombre de sondes, faible sensibilité aux mesures bruitées), sauf pour le temps de calcul (très long). La procédure de régression PLS permettrait de résoudre le problème de tomographie en prenant en compte l'orthotropie avec un temps de calcul très faible dans la pratique. Une solution serait d'améliorer le critère de convergence de cette procédure, puis utiliser l'algorithme SIRT afin de corriger les valeurs aberrantes de l'image reconstruite.

Références :

- Arciniegas, A., Brancheriau, L., & Lasaygues, P. (2014a). Tomography in standing trees : revisiting the determination of acoustic wave velocity. Annals of Forest Science, pp. 1-7. In press.
- Arciniegas A., Brancheriau L., Gallet P., & Lasaygues P. (2014b). Travel-time ultrasonic computed tomography applied to quantitative 2-D imaging of standing trees : a comparative numerical modeling study. Acta Acustica United with Acustica, 100(6), pp. 1013-1023.