

Mesure non-destructive des propriétés élastiques orthotropes d'échantillons de bois par leur réponse modale impulsionnelle

AI FAY Alaa¹, JULLIEN Delphine¹, CORN Stéphane², ARNOULD Olivier¹, LANGBOUR Patrick³

¹ Équipe Bois, LMGC, Univ Montpellier, CNRS, Montpellier, France

² Équipe DMS, LMGC, Univ Montpellier, IMT Mines Alès, CNRS, Alès, France

³ UR BioWooEB, CIRAD, Montpellier, France

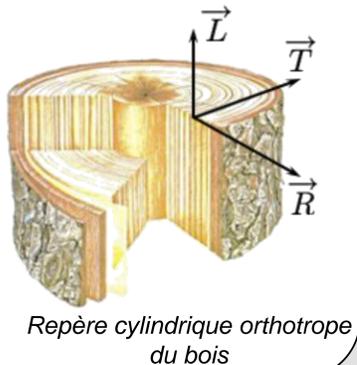
A23

Contexte et problématique



Plaquettes de la Xylothèque du CIRAD¹

- Le bois représente une classe importante de matériaux polyvalents en mécanique, comparable aux métaux sur différents critères tels que le tonnage de la production mondiale annuelle.
- La densité du bois est de 3 à 15 fois inférieure à celle des métaux.



Repère cylindrique orthotrope du bois

- La connaissance des propriétés élastiques transversales (module radial E_R et module tangentiel E_T) et de cisaillement (G_{RT} , G_{LT} et G_{LR}) de ce matériau orthotrope, hétérogène, hygroscopique et variable est encore limitée en raison d'un manque d'outils et de méthodes de caractérisation rapides et efficaces³.

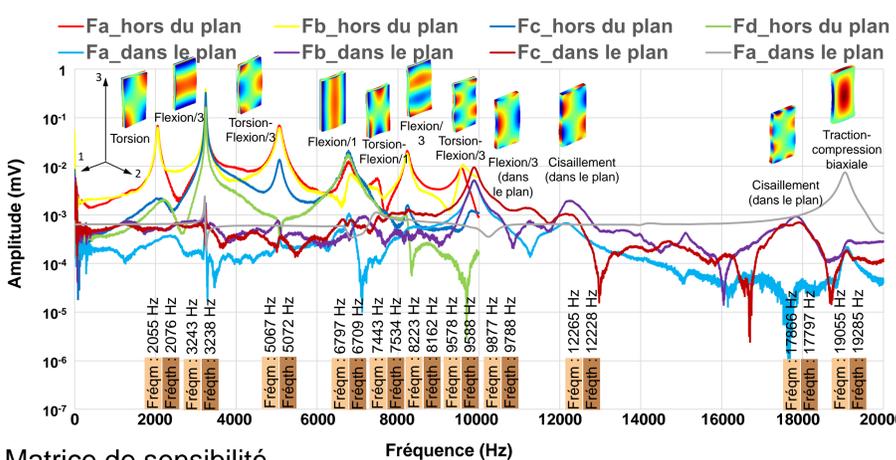
Identification des constantes élastiques

- Identification des modes par différentes combinaisons de position de l'impact et du micro/accéléromètre / nœuds de vibrations (cas transverse isotrope : composite UD fibres de verre/époxy)

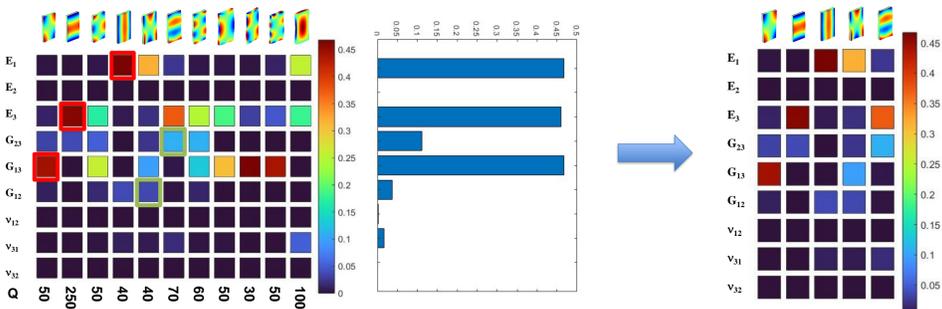
Dans le plan

Hors plan

Fréquences mesurées et calculées après identification



- Matrice de sensibilité



- Identification des constantes élastiques (initialisation avec Digimat²) :

Sensibilité	Constantes élastiques (GPa)	Initialisation (Digimat)	Identifiée (11 fréquences) (2000-20000 Hz)	Identifiée (5 fréquences) (2000-10000 Hz)
> 35%	E_1	10,80	12,67	14,02
> 10% et < 35%	E_2	10,80	10,80	10,80
> 3% et < 10%	E_3	45,20	44,81	44,77
> 3% et < 10%	G_{23}	3,95	3,53	1,97
> 3% et < 10%	G_{13}	4,56	4,61	4,54
> 3% et < 10%	G_{12}	4,56	4,79	5,19
Non identifié	ν_{12}	0,37	0,37	0,37
Non identifié	ν_{31}	0,059	0,059	0,059
Non identifié	ν_{32}	0,059	0,059	0,059

- Les 3 modes sensibles principalement à une constante élastique (E_1 , E_3 et G_{13}) permettent de les identifier de façon robuste.
- 2 autres constantes élastiques (G_{23} et G_{12}) devraient pouvoir être identifiées en utilisant 5 modes mais nécessitent une étude plus fine.
- Q (facteur de qualité) direction longitudinale 3 (// fibres de verre) > direction transversale 1 ou 2 (\perp fibres de verre) → matrice polymère plus visqueuse que les fibres de verre.

Objectifs

- Éstimer rapidement le plus grand nombre possible de paramètres élastiques à partir d'un seul échantillon de bois³.
- Exploiter les amortissements et les relier au comportement viscoélastique.
- Enrichir la base de données des bois avec des constantes élastiques orthotropes mesurées sur un unique échantillon.
- Analyser les corrélations entre le comportement viscoélastique macroscopique et les paramètres ultrastructuraux (densité, AMF).

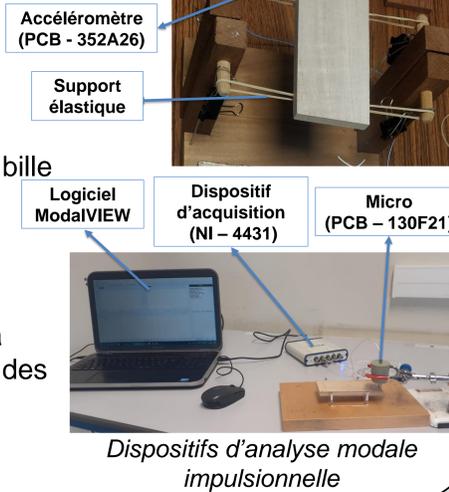
Matériels et méthodes

Matériel issu de la xylothèque du CIRAD

Échantillons de dimensions imposées : 130×60×10 mm³

La méthode utilisée est un essai non destructif par analyse modale impulsionnelle :

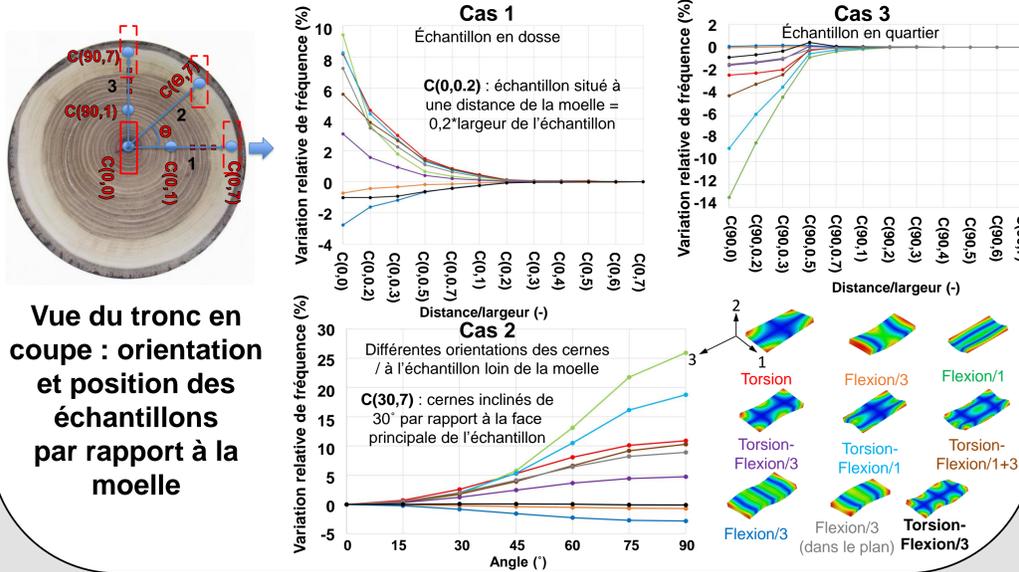
- Échantillon posé sur des élastiques = conditions libres.
- Les vibrations ont été induites dans l'échantillon à l'aide d'un marteau ou d'une bille en acier.
- Les oscillations ont été mesurées par un microphone (PCB - 130F21) ou un accéléromètre (PCB - 352A26).
- Les données obtenues ont été analysées à l'aide du logiciel ModalVIEW pour le calcul des paramètres modaux (fréquences et amortissements).



Dispositifs d'analyse modale impulsionnelle

Courbure et de l'orientation des cernes

Calcul des modes et fréquences par EF (Cast3m⁴) pour différentes orientations et positions d'un échantillon de hêtre par rapport à la moelle



Vue du tronc en coupe : orientation et position des échantillons par rapport à la moelle

Conclusions/Perspectives

- L'étude d'un composite unidirectionnel fibres de verre/matrice époxy a démontré l'efficacité de la méthode non destructive pour identifier la plupart des constantes élastiques + sensibilité au comportement visqueux > application aux échantillons de bois de la xylothèque.
- La courbure des cernes a un effet pour des échantillons proche de la moelle, leur orientation a un effet important (max = 26%) sur les fréquences calculées quelle que soit la distance à la moelle.
- Établissement d'un critère d'identifiabilité.
- Sélection d'échantillons de la xylothèque pour balayer la diversité naturelle avec mesures de paramètres anatomiques (AMF, densité, texture...) et identifier les constantes élastiques pour ces échantillons de bois.
- Relations entre propriétés élastiques et anatomiques.

Références

- Langbour P., Paradis S., Thibaut B. (2019) Description of the Cirad wood collection in Montpellier, France, representing eight thousand identified species. Bois et Forêts des Tropiques, 339, 7-16. Website: <https://ur-biowooeb.cirad.fr/plateformes-equipements/bois-materiau/xylotheque> (last access: September 2023).
- <https://hexagon.com/products/digimat>
- Longo R., Laux D., Pagano S. et al (2018) Elastic characterization of wood by Resonant Ultrasound Spectroscopy (RUS): a comprehensive study. Wood Science and Technology, 52, 383-402.
- <http://www-cast3m.cea.fr/>

