

Modélisation de l'hétérogénéité des contraintes dans les lamelles aboutées panneautées de chêne :

SOH MBOU Delin¹, BESSEAU Benoît², POT Guillaume¹, VIGUIER Joffrey¹,
ROLLE Jecolia¹, MILHE Louis¹

¹Arts et Metiers Institute of Technology, LABOMAP, HESAM Université,
F-71250 Cluny, France

² Ducerf Groupe, Le Bourg, 71120 Vendennes-lès-Charolles, France
Delin.SOH_MBOU@ensam.eu

Mots clés : Sciage ; chêne ; aboutage ; panneautage ; courçons.

Contexte et objectifs

Cadre général

La France est la quatrième nation forestière de l'Union européenne en superficie, et présente la spécificité de contenir 64 % de feuillus (en volume sur pied). Si la ressource en bois résineux et celle en feuillus de première qualité sont bien exploitées, une partie de la forêt est sous-exploitée et est qualifiée de qualité secondaire.

Ces travaux de stage s'inscrivent dans le cadre du projet Transformation et Classement éco-Efficients des Qualités Secondaires de chêne pour leur valorisation en bois d'œuvre (TreCEffiQuaS) financé par l'ADEME et en collaboration avec FCBA et le groupe DUCERF.

Ce projet a pour objectif de proposer des solutions permettant de mieux valoriser les bois feuillus de basse qualité dits de qualité secondaire en maximisant leur transformation en bois d'œuvre (BO) pour la construction d'habitations à haute efficacité énergétique. L'industrie du résineux connaît une grande avance dans le domaine de la construction à la fois pour des raisons historiques et du fait de son caractère plus homogène que le feuillu.

Le but de ce travail est de pouvoir fabriquer des bois collés de lamelles aboutées-panneautées en utilisant du chêne de faible largeur et donc de faible coût économique. La problématique est relative à l'impact de la plus grande hétérogénéité des lamelles de bois feuillus sur leurs propriétés structurelles.

Cadre mécanique

Il est question ici de faire une évaluation mécanique statique des lamelles aboutées-panneautées de feuillus en traction en considérant uniquement le comportement élastique de la lamelle. Les courçons utilisés sont supposés homogènes (seuls leurs modules d'élasticité moyens sont considérés) et l'hétérogénéité est considérée à l'échelle de la lamelle de par la variabilité des propriétés d'un courçon à un autre.

Matériel et Méthode

Echantillonnage et mesures non-destructives

Pour un lot de 365 courçons, le module dynamique en traction-compression Edyn a été mesuré par mesures vibratoires avec la machine BING « Beam Identification by Non-Destructive testing » développée par le CIRAD (Brancheriau et al. 2007). Les modes propres de chaque courçon sont sollicités suite à une excitation longitudinale ou transversale. Les fréquences propres sont alors obtenues par analyse de ce signal par transformée de Fourier. La première

fréquence propre en traction-compression a été utilisée pour obtenir le module d'élasticité dans le sens longitudinal EL.

Les autres propriétés mécaniques du chêne utilisé ici sont calculé à 12 % d'humidité comme la moyenne des rapports orthotropes de Kretschmann (2010) présentés dans le Tab. 1.

Tab. 1 : Propriétés mécaniques du chêne selon Kretschmann (2010).

E_L (GPa)	E_R (GPa)	E_T (GPa)	G_{LR} (GPa)	G_{LT} (GPa)	G_{RT} (GPa)	ν_{LR}	ν_{LT}	ν_{RT}
14.0	2.28	1.01	1.2	1.1	0.63	0.37	0.43	0.3
$K_1=1$	$K_2 = \frac{E_R}{E_L}$	$K_3 = \frac{E_T}{E_L}$	$K_4 = \frac{G_{LR}}{E_L}$	$K_5 = \frac{G_{LT}}{E_L}$	$K_6 = \frac{G_{RT}}{E_L}$	$K_7=1$	$K_8=1$	$K_9=1$

Le Tab. 2 présente le calcul des propriétés mécaniques de chaque courçon à partir de leurs modules d'élasticité longitudinaux et des rapports orthotropes de Kretschmann (2010).

Tab. 2 : Propriétés mécaniques des courçons utilisés dans le modèle EF.

E_L (GPa)	E_R (GPa)	E_T (GPa)	G_{LR} (GPa)	G_{LT} (GPa)	G_{RT} (GPa)	ν_{LR}	ν_{LT}	ν_{RT}
E_{dyn} mesuré	$E_{dyn} \times K_2$	$E_{dyn} \times K_3$	$E_{dyn} \times K_4$	$E_{dyn} \times K_5$	$E_{dyn} \times K_6$	0.37	0.43	0.3

Trois scénarios ont été testés pour quantifier l'impact de la variabilité des propriétés : le scénario du lot de courçon pris en entier sans tri ([7500 ; 19000] MPa), le tri des courçons de faibles modules ([7500 ; 11500] MPa), le tri des courçons de forts modules ([11500 ; 19000] MPa) (Fig. 1).

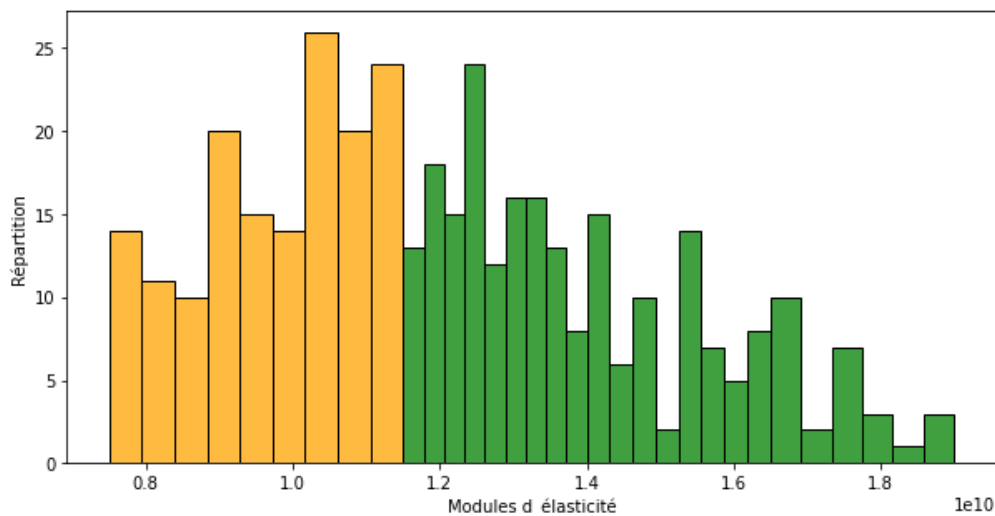


Fig. 1 : Sous-lots de modules retenus en Pa

Modèle éléments finis

Il a été développé au cours de ces travaux un script Abaqus-Python permettant de constituer des lamelles aboutées et panneautées hétérogènes (Fig. 2) et de les tester en élasticité linéaire. Bien qu'une modélisation en 2D soit possible, l'intérêt a été porté sur une modélisation en 3D pour préparer une possible future version du modèle qui tiendrait compte de l'hétérogénéité à l'intérieur des courçons notamment en prenant en compte l'orientation des fibres en 3D. Dans le modèle éléments-finis, en l'absence d'une méthode automatique et précise de différenciation entre la direction radiale et la direction tangentielle, un modèle isotrope transverse a été préféré. Pour le module d'élasticité transverse, la moyenne entre les modules tangentiels et radiaux a été retenue.



Fig. 2 : Lamelle hétérogène en 2D

Les données d'entrée du code sont la géométrie de chacun des courçons choisis aléatoirement dans le lot (les courçons sont de même largeur et de même épaisseur et ne diffèrent du point de vue géométrique que sur la longueur) ainsi que leurs propriétés mécaniques (masse volumique et modules élastiques moyens). Les courçons sont ensuite assemblés dans le sens de la longueur jusqu'à atteindre la longueur fixée pour obtenir une lamelle aboutée. L'opération est répétée pour la seconde lamelle et les 2 lamelles sont enfin assemblées sur chant dans le sens de la largeur cette fois ci pour obtenir une lamelle aboutée-panneautée. Un essai de traction est enfin simulé.

Des éléments solides quadratiques (hexaédriques) à 20 nœuds (C3D20) ont été utilisés pour le maillage.

Résultats et Discussions

La Fig. 3 donne un exemple d'état de contraintes S_{xx} suivant la direction x pour une lamelle panneautée.

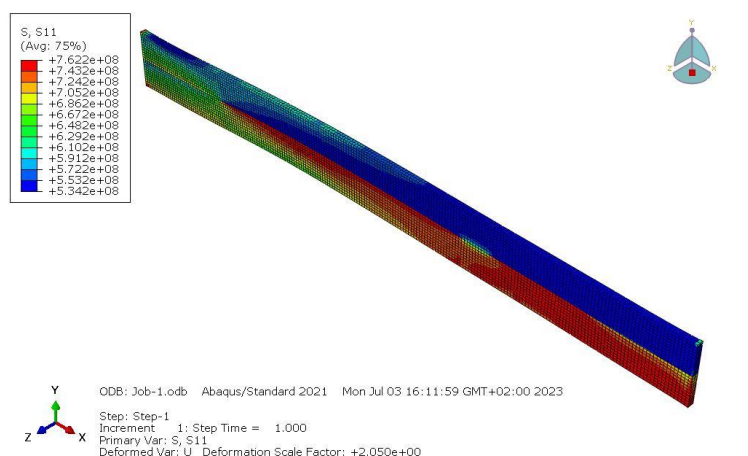


Fig. 3 : Exemple d'un état des contraintes pour 2 lamelles aboutées et panneautées

La répartition non uniforme de la distribution des contraintes dans la largeur de la lamelle panneautée peut s'expliquer par la variabilité des modules élastiques des deux lamelles aboutées la constituant, agissant ainsi comme deux ressorts en parallèle de raideur différentes. Par ailleurs, la variation des contraintes au sein même des courçons est causée par de la flexion induite du fait de la variabilité de module dans la largeur.

Les valeurs de contraintes observées n'ont quantitativement pas d'intérêt mais permettent de remarquer une hétérogénéité. Étant en élasticité linéaire, il est intéressant de quantifier cette irrégularité d'état de contraintes en évaluant le rapport entre la contrainte maximale et la contrainte moyenne (car l'ingénieur pour dimensionner une structure, la considère homogène) dans chaque lamelle nommée ici sur-contrainte $R = \sigma_{\text{maximale}} / \sigma_{\text{moyenne}}$. Cette sur-contrainte est un indicateur de la distribution des contraintes et est utilisée ici comme un critère de performance de la lamelle : un rapport élevé manifeste une distribution non uniforme des contraintes dans la lamelle ou une susceptibilité à la rupture dans les zones de contraintes élevées alors qu'un rapport faible manifeste une répartition plutôt homogène des contraintes dans toute la lamelle. La contrainte moyenne représente la contrainte qu'aurait eu la lamelle si elle était homogène.

Afin d'obtenir un résultat statistiquement représentatif, pour chaque sous-lot il a été choisi aléatoirement des courçons afin de constituer 1000 lamelles virtuelles comme cela se ferait en industrie. La Fig. 4 montre la distribution des sur-contraintes dans les différents sous-lots.

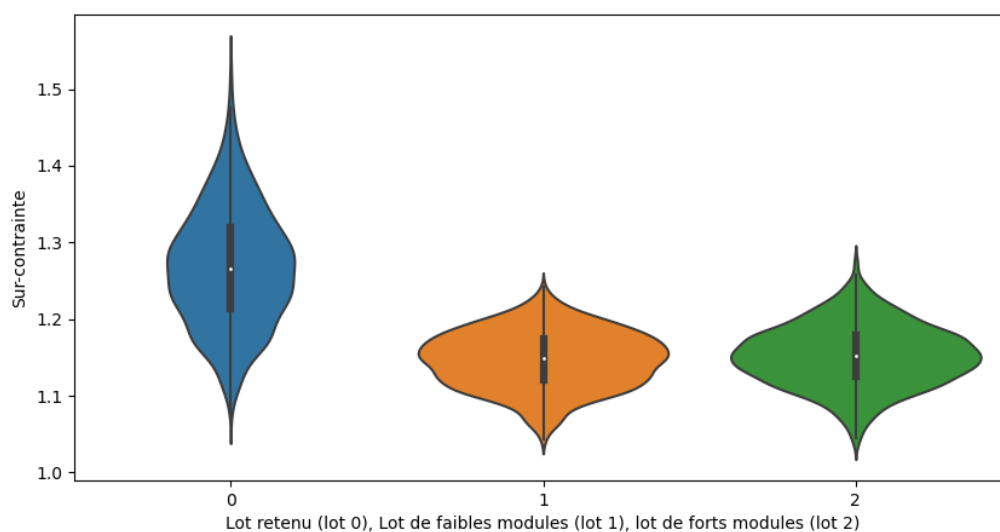


Fig. 4 : Distribution des sur-contraintes des lamelles

Le lot entier de modules pris sans tri (lot 0) donne des sur-contraintes beaucoup plus élevées que les lots de faibles modules (lot 1) et de forts modules (lot 2). La division du lot entier permet de réduire la dispersion des propriétés du lot et permet d'avoir au fractile à 95 %, une sur-contrainte de : 1.20 soit 20 % pour le sous-lot 1 (modules faibles), 1.22 soit 22 % pour le sous-lot 2 (modules forts) contre 1.40 soit 40 % pour le lot pris en entier. Pour 95% de la population, resserrer la variabilité des propriétés des courçons favorise une réduction des sur-contraintes de 20 %.

Conclusions et perspectives

Les lamelles aboutées panneautées en chêne génèrent une hétérogénéité des contraintes. La réduction de la dispersion entre les propriétés mécaniques des courçons par un tri permet néanmoins de réduire les sur-contraintes de moitié. Afin d'améliorer le modèle EF, l'hétérogénéité de chaque courçon pourra être prise en compte par considération de leurs orientations de fibres. Une validation par expérimentation est également envisagée.

Remerciements

Ce projet est soutenu financièrement par l'ADEME au travers du projet de recherche TreCEffiQuaS (appel à projet ADEME Graine).

Références

Besseau B. (2021) Contribution au développement de procédés innovants pour une transformation plus efficiente du chêne, thèse de doctoract, Paris HESSAM, <https://www.theses.fr/2021HESAE056>.

Brancheriau L., Paradis, Sébastien, Baillères H. (2007). Bing: Beam identification by non destructive grading, Cirad, <http://ur-biwooeb.cirad.fr/en/products/bing/what-is-it>.

Kretschmann D. (2010) Wood handbook, chapter 05: mechanical properties of wood.