

Durabilité du collage du CLT et du lamellé-collé en chêne et en mixte peuplier-chêne en fonction de la pression de collage et du type de colle

PURBA Citra Yanto Ciki¹, POT Guillaume¹, COLLET Robert¹, CHAPLAIN Myriam²,
COUREAU Jean-Luc²

¹Arts et Métiers Institute of Technology, LaBoMaP, Rue Porte de Paris, 71250 Cluny, France

²Université de Bordeaux UMR 5295, Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), Bordeaux
F-33000, France

purbacitrayantociki@gmail.com

Mots clefs : CLT ; lamellé-collé ; feuillu ; MUF ; PUR ; pression ; délamination ; cisaillement

Contexte et objectifs

Les fabricants de bois d'ingénierie, tels que le bois lamellé-croisé (CLT) et lamellé-collé (glulam), s'intéressent de plus en plus à la fabrication de produits en bois de feuillus. Ces deux produits ont un fort potentiel, en particulier pour les bois feuillus de faible valeur, pour permettre la construction de bâtiments à haute performance, à faible consommation d'énergie et à haut niveau de confort environnemental. Aujourd'hui, le CLT et le lamellé-collé sont presque exclusivement fabriqués à partir de planches de résineux, principalement de l'épicéa et du sapin. Plusieurs études ont été menées sur les propriétés de collage du chêne et ont montré que le bois lamellé-collé de chêne collé avec du polyuréthane (PUR) et de la mélamine-urée-formaldéhyde (MUF) se comporte bien lors des essais de cisaillement en conditions sèches (Luedtke et al. 2015, Konnerth et al. 2016, Aicher et al. 2018). Selon les études précédentes, il est clair que les panneaux de bois de feuillus, en particulier le CLT, dont la densité est supérieure à celle des résineux, ont peu de chances de satisfaire aux exigences de la norme européenne en matière de délamination, mais peuvent facilement dépasser la résistance minimale au cisaillement en condition sèches. À ce jour, il n'existe aucun rapport sur la durabilité du collage des CLT en chêne. La fabrication de bois d'ingénierie en mixant les essences de bois est également un sujet de recherche croissant (Castro and Paganini 2003, Aicher et al. 2016, Ma et al. 2021). L'avantage d'utiliser des essences mixtes a été démontré par Castro et Paganini (2003), où les poutres mixtes en bois lamellé-collé de peuplier et d'eucalyptus ont montré une plus grande efficacité structurelle en flexion que celles entièrement construites en peuplier ou en eucalyptus.

La documentation disponible aujourd'hui ne traite que du bois lamellé-collé en chêne : on ne sait toujours pas si le CLT en chêne a de bonnes performances ou non, ni ses performances lorsqu'il est mélangé avec d'autres essences. Ainsi, les objectifs de cette étude sont de fournir les premiers résultats sur la délamination et la résistance au cisaillement résiduelle du CLT en chêne et d'étudier l'influence du type de colle et de la pression de collage sur la délamination et la résistance au cisaillement résiduelle du CLT et du lamellé-collé en chêne et en mixte peuplier-chêne après le traitement prévu pour les essais de délamination. Dans cette étude, la résistance résiduelle est définie comme la résistance au cisaillement de l'échantillon après avoir subi un cycle d'humidification et de séchage qui a potentiellement induit une délamination.

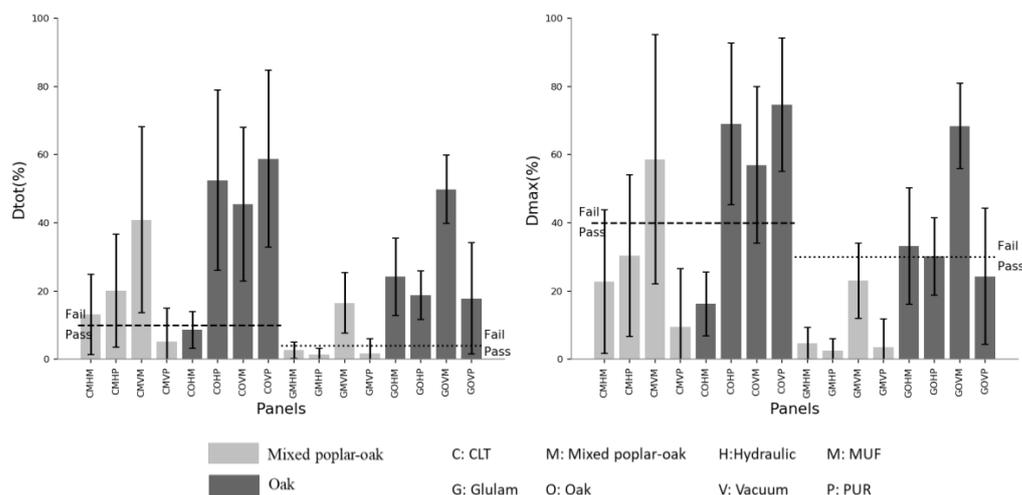
Matériel et méthode

Des planches de chêne de dimensions 88 mm x 25 mm ainsi que des planches de peuplier de dimensions 88 mm x 23 mm provenant d'une forêt locale de Bourgogne, en France, ont été utilisées pour la production de panneaux CLT et lamellé-collé de 3 plis. Moins de 24 heures avant la fabrication, toutes les faces des planches de chêne ont été rabotées aux épaisseurs souhaitées de 19.5 mm pour les couches extérieures et de 23 mm pour la couche intérieure, avec une largeur de 86mm. En revanche, l'épaisseur de la couche extérieure du panneau mixte peuplier-chêne a été réduite à 19.5 mm et celle de la couche intérieure à 21mm.

Les panneaux CLT et lamellé-collé à 3 plis ont été assemblés selon deux compositions différentes. La première composition était constituée de chêne-chêne-chêne (nommé chêne) avec des dimensions nominales de 400mm x 400mm x 62mm et de chêne-peuplier-chêne (nommé mixte peuplier-chêne) avec des dimensions nominales de 400mm x 400mm x 60mm. La colle a été appliquée sur les faces de chaque lamelle à l'aide d'une spatule. Le grammage du PUR était d'environ 150 g/m² et, lorsqu'il était utilisé, le primaire représentait 20 g/m²; le grammage de la colle MUF étant d'environ 300 g/m². Le primaire a été appliqué sur chaque adhérent, suivi d'un temps ouvert de 30 min avant l'application du PUR. Le temps fermé de l'assemblage n'a pas dépassé 60 min pour le PUR, tandis qu'il était de 30 min pour le MUF. Pour étudier l'influence de la pression de collage sur la qualité du collage, une presse à vide (pression : 0.085 N/mm²) et une presse hydraulique (pression : 0.8 N/mm²) ont été utilisées. Après fabrication, les panneaux CLT ont été stockés pendant 30 jours à 20 C et 37 % d'humidité relative. La qualité du collage du bois a ensuite été évaluée par le biais du test de délamination, de la mesure du pourcentage de rupture dans le bois (WFP) et des essais de cisaillement après le cycle de délamination.

Résultats et discussion

Les moyennes et l'écart-type pour le pourcentage de délamination et les différentes combinaisons de paramètres et de méthodes d'essai sont représentés sur la fig. 1.



Pour l'ensemble des échantillons, la moyenne de la longueur totale de délamination était de 23.18 %, tandis que la moyenne de WFP était de 69.89 %. La moyenne de la longueur totale de délamination pour les panneaux CLT en chêne (41.02 %) était de l'ordre de deux fois supérieure à celle trouvée dans les panneaux CLT mixtes peuplier-chêne (20.85 %). De plus, la longueur totale de délamination dans le bois lamellé-collé de chêne était cinq fois plus élevée que dans le bois lamellé-collé mixte de peuplier et de chêne (27.43 % VS 4.41 %). En accord avec la délamination, le WFP du CLT mixte peuplier-chêne (81.36 %) était deux fois plus élevée que celle du CLT en chêne (39.07 %). Le WFP du lamellé-collé mixte peuplier-chêne (92.93 %) était également supérieure à celle du lamellé-collé de chêne (65.02 %).

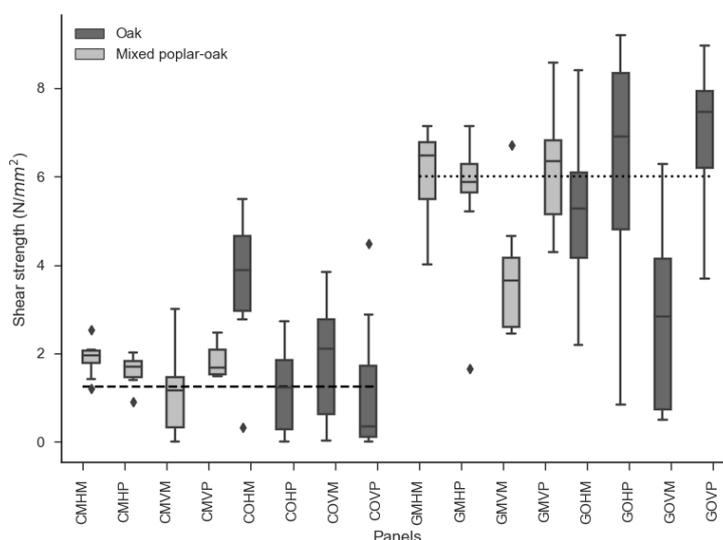


Fig. 2 : Boxplot de la résistance résiduelle au cisaillement après le cycle de délamination

Après le cycle de délamination, la résistance résiduelle au cisaillement des échantillons est présentée en Fig. 2. La résistance résiduelle moyenne de l'ensemble des éprouvettes en lamellé-collé était plus élevée (5.36 N/mm^2) que celle des éprouvettes en CLT (1.81 N/mm^2). La réalisation d'un essai de cisaillement en bloc après la phase de délamination n'est pas prévue par les normes. Les normes EN 16351 (2015) et EN 14080 (2013) proposent de réaliser ces essais sur les CLT en bois lamellé-collé sans aucun prétraitement. Comme référence, la norme pour la production de CLT avec du bois résineux (EN 16351 (2015)) fixe comme suffisante la valeur caractéristique de 1.25 N/mm^2 pour la résistance de collage des lignes de colle entre les couches collées transversalement, sans qu'aucune valeur ne soit inférieure à 1 N/mm^2 (essais réalisés sur des éprouvettes avec taux humidité autour de 12%). Parmi toutes les éprouvettes CLT, 71.42 % ont une résistance au cisaillement supérieure à cette valeur de référence (80 % du CLT mixte peuplier-chêne et 62.85 % du CLT en chêne).

En tenant compte de toutes les configurations CLT, seul un panneau CLT (CMVP) a eu 100 % d'éprouvettes dépassant 1.25 N/mm^2 . Cependant, les panneaux CMHM, CMHP et COHM avaient tous (sauf un spécimen) une résistance supérieure à la limite de 1.25 N/mm^2 , ce qui est très encourageant si on tient compte du fait qu'il s'agit de résistances au cisaillement résiduelles. La norme EN 14080 (2013) exige pour le lamellé-collé une résistance au cisaillement d'au moins 6 N/mm^2 , ou comprise entre 4 N/mm^2 et 6 N/mm^2 si le WFP est de 100 %. Parmi toutes les éprouvettes en lamellé-collé, 43.83 % avaient une résistance résiduelle au cisaillement supérieure à 6 N/mm^2 , valeur requise par la norme EN 14080 (2013) pour l'essai de cisaillement en conditions sèches. Parmi tous les panneaux en lamellé-collé, le

GOVP présente le pourcentage le plus élevé de spécimens ayant une résistance au cisaillement résiduelle supérieure à 6 N/mm^2 (77.78 %).

Conclusion et perspectives

La pression de collage et le type de colle semblent avoir une influence significative sur la qualité du collage du CLT ou du lamellé-collé, avec également des interactions significatives avec le type d'essence collée. L'utilisation d'une lamelle centrale en peuplier dans un panneau CLT ou un lamellé-collé 3 plis en chêne a présenté moins de délamination que les échantillons constitués exclusivement de chêne. Même si une pression de collage plus élevée semblait donner de meilleurs résultats, les CLT ou les lamellés-collés mixtes peuplier-chêne collés (avec du PUR et pressés sous vide (pression de collage de 0.085 N/mm^2)) étaient très proches des exigences des normes. Seuls quelques échantillons présentaient une délamination trop importante. Par conséquent, il semble possible d'utiliser une presse à vide pour le collage de lamellé-collé ou de CLT lorsqu'une couche intermédiaire en peuplier est utilisée avec des couches extérieures en chêne. Il serait intéressant de confirmer toutes ces observations avec des CLT à 5 plis ou des lamellés-collés avec un nombre de plis supérieur. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre les propriétés mécaniques de ces produits hybrides.

Remerciements

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Institut Carnot des Arts, de la région Bourgogne-Franche-Comté et de l'ANR (projet TreeTrace ANR-17-CE10-0016-03). Les auteurs remercient l'association BCB (Bois Croisés de Bourgogne) et Ducerf S.A. pour la fourniture du bois.

Références

- Aicher, S., Ahmad, Z., & Hirsch, M. (2018). Bondline shear strength and wood failure of European and tropical hardwood glulams. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(4), 1205-1222.
- Aicher, S., Hirsch, M., & Christian, Z. (2016). Hybrid cross-laminated timber plates with beech wood cross-layers. *Construction and Building Materials*, 124, 1007-1018.
- Castro, G., & Paganini, F. (2003). Mixed glued laminated timber of poplar and Eucalyptus grandis clones. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61(4), 291-298.
- EN 14080 (2013). Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements
- EN 16351 (2015). Timber structures. Cross laminated timber. Requirements
- Konnerth, J., Kluge, M., Schweizer, G., Miljković, M., & Gindl-Altmutter, W. (2016). Survey of selected adhesive bonding properties of nine European softwood and hardwood species. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(6), 809-819.
- Luedtke, J., Amen, C., van Ofen, A., & Lehringer, C. (2015). 1C-PUR-bonded hardwoods for engineered wood products: influence of selected processing parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(2), 167-178.
- Ma, Y., Si, R., Musah, M., Dai, Q., Xie, X., Wang, X., & Ross, R. J. (2021). Mechanical Property Evaluation of Hybrid Mixed-Species CLT Panels with Sugar Maple and White Spruce. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(7), 04021171.