

Utilisation de la stéréo-corrélation d'images numériques pour identifier le comportement au séchage d'un tube LVL fabriqué à partir de placage vert

PURBA Citra¹, JOFFREY Viguière¹, DENAUD Louis¹, MARCON Bertrand¹

¹Arts et Métiers Sciences et Technologies, LaBoMaP, Rue Porte de Paris, 71250 Cluny,
France
citra.purba@ensam.eu

Mots clés : placage ; corrélation d'images; tube ; LVL ; angle du fil ; retrait ; hêtre

Contexte et objectifs

En flexion, les contraintes longitudinales sont nulles à la fibre neutre. Pour cette raison, la fabrication des bois à âme creuse permet d'obtenir des éléments structurels plus légers, et de fabriquer des dimensions qui ne sont pas disponibles actuellement en bois scié. Plusieurs types de bois creux sont disponibles sur le marché, certains sont en bois massif et d'autres en placage. Des études précédentes ont montré que ces bois creux ont la rigidité et la résistance requises pour être utilisés en tant qu'éléments structurels (Hirschmüller et al. 2019, Gilbert et al. 2020). La structure creuse de forme circulaire est l'une des formes les plus étudiées surtout pour son intérêt du point de vue mécanique et son potentiel d'absorption d'énergie (Farley and Jones 1992, Hartig et al. 2018).

La technologie de fabrication additive est en pleine croissance dans tous les secteurs de l'industrie des matériaux y compris l'industrie du bois. La présente étude s'appuie sur un brevet relatif à un procédé de fabrication additive FR1655422 (Pommier et al. 2017), qui consiste à enrouler et à coller des placages verts pour former des tubes cylindriques. Des études récentes montrent que les tubes creux fabriqués à partir de placages peuvent être utilisés pour des éléments structurels tels que les poutres, les poteaux électriques et les systèmes de clouage du renforcement de sol (Gilbert et al. 2020). Le premier objectif de ce projet est de réaliser un prototype du tube fabriqué à partir de placage vert de hêtre. Le deuxième objectif est de comprendre l'influence de la configuration de l'angle du fil sur le comportement au retrait au séchage. Ce dernier a été étudié en utilisant la stéréo-corrélation d'images, qui est de plus en plus utilisée pour l'analyse du retrait du bois (Larsen and Ormarsson 2013, Pang and Jeong 2020)

Matériel et méthode

Dans le cadre de cette étude, trois billons de hêtre ont été utilisés. Avant le déroulage, ces billons ont été immergés dans l'eau à une température de 65 °C pendant 24 heures. Les billons ont ensuite été déroulés en 2 mm d'épaisseur, à 1 m/s avec une barre de pression réglée à 10%. La surface du placage de hêtre fraîchement coupée a d'abord été recouverte de colle polyuréthane (PU) avec un grammage d'environ 300 g/m². Les placages verts étaient ensuite roulés sur un cylindre expansible.

Le tube de LVL fabriqué était composé de six plis. Trois feuilles de placage de différentes longueurs ont été arrangées en fonction de la circonférence du cylindre. Chaque feuille de placage a été roulée deux fois autour du cylindre. Afin d'étudier l'influence de l'angle du fil sur le comportement de séchage du tube LVL, trois configurations différentes d'orientation de l'angle du fil par rapport à l'axe du tube ont été utilisées : {0, 0, 0}, {10, 0, 10}, et {-10, 0, 10}. Un film plastique et du ruban adhésif ont ensuite été placés sur toute la surface du tube composé

afin de maintenir l'humidité des placages et de prévenir tout déplacement pendant le pressage de 24 heures.

Après 24 h, le tube encore à l'état vert est disposé sur une balance et laissé à sécher à l'air libre. La mesure de la perte de masse durant le séchage permet de suivre la réduction du taux d'humidité moyen du tube au cours du process. La déformation au séchage du tube due à la perte de l'eau entraînant des retraités dans toutes les directions a été mesurée à l'aide d'un système de stéréo-corrélation d'images (DIC-3D) LaVision StrainMaster composé de 2 caméras CCD 2.3 Mpx et de projecteurs LED synchronisés avec la prise d'images. Pour qu'un point sur la surface de tube soit reconnu par le logiciel de DIC, il faut une texture aléatoire qui permet de reconnaître la zone autour du point d'intérêt. Un mouchetis à l'encre noire a été appliqué sur la surface du tube directement après le pressage. Toutes les heures, le système DIC-3D prend une image du tube et de la balance. Pour chaque tube, la mesure a été effectuée sur une période de 10 jours ou jusqu'à ce que le tube LVL atteigne au moins 15% d'humidité. À la fin de la campagne de mesure, le tube a ensuite été séché au four à 103 ± 2 °C pendant 48 heures pour déterminer sa masse anhydre permettant de calculer les taux d'humidité interne a posteriori.

Résultats et discussion

La Fig. 1 montre l'évolution du retrait tangentiel avec l'humidité interne globale (moyenne) mesurée par la stéréo-corrélation de l'image numérique. Il apparaît que le retrait tangentiel du tube débute alors que le taux d'humidité moyen est encore largement au-dessus du point de saturation de fibre (PSF) théorique du hêtre de 32% (Gérard et al. 2011). Il semble qu'un gradient d'humidité entre la surface extérieure existe, la surface du tube LVL sèche d'abord alors que l'intérieur est toujours humide et se rétracte plus tard. En conséquence, le retrait tangentiel du tube commence avant que la teneur moyenne en humidité de l'ensemble de la pièce ne soit inférieure au PSF. Le retrait du bois, qui commence près du PSF, est généralement mesuré dans de petits morceaux de bois, de sorte que le retrait a tendance à être plus homogène. Quoi qu'il en soit, la valeur présentée ici a été calculée à partir du profil de retrait local. Cette figure montre de plus qu'à un taux d'humidité de 15%, le retrait tangentiel le plus élevé a été constaté dans le tube {0,0,0}. Néanmoins, le retrait tangentiel total réel à 0% d'humidité n'a pas été mesuré dans cette étude. Dans les trois configurations, le tube {10,0,10} présente le retrait tangentiel le plus faible à un taux d'humidité de 15%. Néanmoins, le fait d'enrouler le placage sur le cylindre expansible peut légèrement modifier l'angle du fil réel par rapport à la direction longitudinale du tube malgré les précautions prises lors de la mise en œuvre.

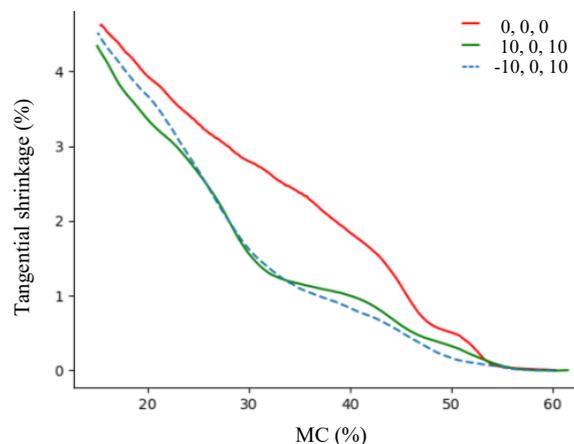


Fig. 1 : Retrait tangentiel mesuré par stéréo-corrélation d'image en fonction de l'humidité interne (MC) globale pour les 3 configurations de tubes

La Fig. 2 montre le champ de retrait tangentiel local à la surface du tube {0,0,0}, mesuré à l'aide de la DIC-3D. La zone colorée de jaune à rouge correspond à la surface où le retrait tangentiel était négatif ou à l'endroit où les fissures sont apparues sur la surface. Cela a été confirmé en superposant l'image de la surface du tube avec les données de déformation. La Figure 2 représente la présence des retraits négatifs avec les changements d'humidité. Il est à noter que les fissures de surface ont commencé à s'ouvrir après une dizaine d'heures de séchage à l'air ce qui signifie que la surface du tube sèche rapidement.

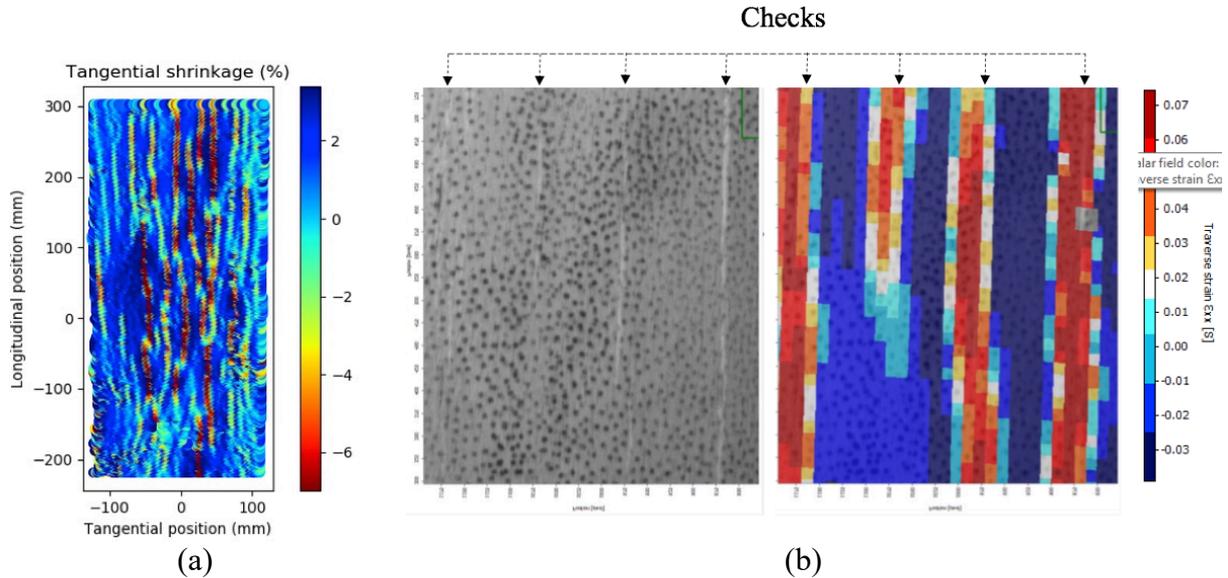


Fig. 2 : a) Champ de retrait tangentiel à la surface du tube remis à plat, b) champ de déformations transversales sur la surface du cylindre et sa correspondance avec la localisation des fissures du tube qui sont marquées par des flèches {0,0,0}

La Fig. 3 montre l'évolution de la moyenne de tous les retraits tangentiels négatifs, considérée comme étant l'image de l'ouverture des fissures, avec la réduction de l'humidité globale de tube {0,0,0}. Cette figure montre comment les fissures s'ouvrent quand l'humidité descend vers le PSF puis se referment quand l'humidité devient inférieure au PSF ; ce qui pourrait indiquer un équilibre de l'humidité dans toutes les parties du tube. La même tendance a été remarquée sur les autres tubes mais avec un comportement un peu différent.

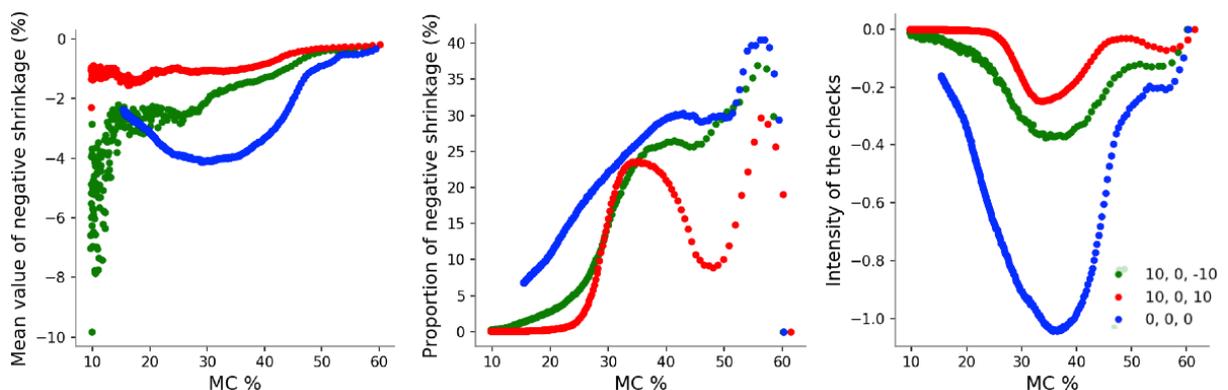


Fig. 3 : Comparaison a) de la valeur moyenne du retrait négatif, b) de la proportion du retrait négatif sur toute la surface observée par DIC-3D, c) de l'intensité des fissures (valeur moyenne / proportion du retrait négatif) des trois configurations de tubes

Sur la Figure 3 on peut également constater qu'il y a plus de fissures présentes sur le tube {0,0,0} que sur les deux autres et que ces dernières sont également plus écartées avec cette

configuration parallèle aux fibres des placages. Enfin, après le calcul de l'intensité des fissures, il est noté que la présence des fissures atteint un maximum autour du PSF et pour finalement redescendre jusqu'à s'annuler de nouveau lorsque le tube est sec. On constate également que le tube de la configuration $\{-10,0,10\}$ présente globalement la plus faible intensité de fissuration.

Conclusion et perspectives

La DIC-3D s'avère donc adéquate pour mesurer le retrait tangentiel et étudier l'ouverture et/ou fermeture des fissures sur la surface de tube soumis à des variations d'humidité interne mais également certainement pour constater des déformations dues à des chargements mécaniques. La configuration de la pente du fil lors de l'enroulement du tube influence directement le retrait tangentiel du tube. Dans le cas d'une humidité interne globale atteint 15%, le tube dont les placages sont parallèles à l'axe du tube présente le retrait le plus important, suivi par $\{-10, 0,10\}$ et $\{10,0,10\}$. Le tube de la configuration $\{-10,0,10\}$ donne la plus faible intensité de fissuration. Néanmoins, les pentes de fil comparées dans cette étude ont été établies lors de la préparation des placages et peuvent être faussées car l'assemblage du tube reste une opération très délicate.

Remerciements

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Institut Carnot Arts. Les auteurs remercient Regis Pommier de I2M Bordeaux pour la fourniture du cylindre expansible qui nous permet de fabriquer le tube. Les auteurs remercient également la plateforme technique Xylomat du réseau scientifique Xylomat financée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST qui largement été utilisée pour réaliser cette étude.

Références

- Farley G.L., Jones R.M. (1992) Crushing characteristics of continuous fiber-reinforced composite tubes. *Journal of composite Materials* 26:37–50
- Gérard J., Guibal D., Paradis et al. (2011) Tropix 7. CIRAD.
- Gilbert B.P., Dias-da-Costa D, Lebée A, Foret G (2020) Veneer-based timber circular hollow section beams: Behaviour, modelling and design. *Construction and Building Materials* 258:120380.
- Hartig J.U., Facchini S., Haller P. (2018) Investigations on lateral vehicle impact on moulded wooden tubes made of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Construction and Building Materials* 174:547–558. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.132>
- Hirschmüller S., Pravida J., Marte R., Flach M. (2019) Long-term material properties of circular hollow laminated veneer lumber sections under water saturation and cement alkaline attack. *Wood Material Science & Engineering* 14:142–156.
- Larsen F., Ormarsson S. (2013) Numerical and experimental study of moisture-induced stress and strain field developments in timber logs. *Wood Science and Technology* 47:837–852
- Pang S.J., Jeong G.Y. (2020) Swelling and shrinkage behaviors of cross-laminated timber made of different species with various lamina thickness and combinations. *Construction and Building Materials* 240:117924.
- Pommier R., Guillaume G., Matthieu P., Nordine L. (2017) Procédé d'assemblage de bois déroulé en forme de tube et produits issus du dit procédé. Brevet FR3052379.