

Fabrication additive de composites biosourcés renforcés pour l'optimisation des performances mécaniques et vibratoires

Additive manufacturing of reinforced bio-based composites for the optimization of mechanical and vibratory performances

Firas MEDDEB^{1,2}, Abderrahim EL MAHI¹, Jean Luc REBIERE¹, Mohamed Amine BEN SOUT² et Mohamed HADDAR²

1 : Laboratoire d'acoustique de l'université du Mans
(LAUM) UMR CNRS 6613
Av. O. Messiaen 72085 Le Mans cedex 9, France
e-mail : Firas.meddeb.etu@univ-lemans.fr; abderrahim.elmahi@Univ-lemans.fr;
jean-luc.rebiere@Univ-lemans.fr

3 : Laboratoire de mécanique, Modélisation et Production
(LA2MP) Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)
Université de Sfax, Route de Soukra 3038 Sfax, Tunisie
e-mail : bensouf.mohamedamine@gmail.com; Mohamed.haddar@enis.rnu.tn

Résumé

La fabrication additive, ou impression 3D, s'impose comme une technologie révolutionnaire dans le domaine des matériaux composites, permettant de produire des structures complexes tout en optimisant leurs performances mécaniques et thermiques. Dans cette étude, des composites biosourcés, constitués de fibres naturelles de lin et d'une matrice polymère en Acide Polylactique (PLA), ont été explorés. Ces matériaux, fabriqués par impression 3D, sont renforcés par l'intégration de couches viscoélastiques pour améliorer leurs propriétés d'amortissement.

Les résultats démontrent que l'utilisation de la fabrication additive offre une grande flexibilité dans la conception des composites, favorisant une distribution homogène des fibres et une meilleure imprégnation de la matrice. Ce procédé permet également d'ajuster les propriétés mécaniques des matériaux en fonction des paramètres de fabrication, tels que la température, la vitesse de dépôt et l'orientation des fibres. En outre, l'ajout de couches viscoélastiques a montré une amélioration significative de l'amortissement des vibrations, tout en conservant une bonne rigidité.

Abstract

Additive manufacturing, or 3D printing, is emerging as a revolutionary technology in the field of composite materials, enabling the production of complex structures while optimizing their mechanical and thermal performance. In this study, bio-based composites, composed of natural flax fibers and a polylactic acid (PLA) polymer matrix, were explored. These materials, produced through 3D printing, are enhanced with the integration of viscoelastic layers to improve their damping properties.

The results demonstrate that the use of additive manufacturing offers great flexibility in composite design, promoting a homogeneous distribution of fibers and better matrix impregnation. This process also allows for the adjustment of the mechanical properties of materials based on manufacturing parameters, such as temperature, deposition speed, and fiber orientation. Furthermore, the addition of viscoelastic layers significantly improved vibration damping while maintaining good rigidity.

Mots Clés : Fabrication additive, Impression 3D, Composites biosourcés, Fibres naturelles, Couches viscoélastiques

Keywords : Additive manufacturing, 3D printing, Bio-based composites, Natural fibers, Viscoelastic layers

1. Introduction

La fabrication additive, ou impression 3D, s'impose comme une technologie révolutionnaire dans le domaine des matériaux composites, permettant de produire des structures complexes tout en optimisant leurs performances mécaniques et thermiques[1]. Cette étude se concentre sur des composites biosourcés, constitués de fibres naturelles de lin et d'une matrice polymère en acide polylactique (PLA), explorant les possibilités offertes par l'impression 3D pour améliorer les

propriétés de ces matériaux. Les composites étudiés sont renforcés par l'intégration de couches viscoélastiques, visant à améliorer leurs propriétés d'amortissement[2]. Les résultats obtenus démontrent que l'utilisation de la fabrication additive offre une grande flexibilité dans la conception des composites. En effet, cette technologie favorise une distribution homogène des fibres et une meilleure imprégnation de la matrice, ce qui est crucial pour garantir des performances optimales[3]. De plus, la fabrication additive permet d'ajuster les propriétés mécaniques des matériaux en fonction des paramètres de fabrication[4], tels que la température, la vitesse de dépôt et l'orientation des fibres. Ces ajustements sont essentiels pour répondre aux exigences spécifiques de différentes applications industrielles[5]. Par exemple, en modifiant la vitesse de dépôt, il est possible d'optimiser la résistance et la rigidité des composites en fonction des besoins[6]. L'ajout de couches viscoélastiques a montré une amélioration significative de l'amortissement des vibrations, tout en conservant une bonne rigidité. Cette caractéristique est particulièrement importante pour des applications où la réduction des vibrations est cruciale, comme dans l'aéronautique ou l'automobile. En effet, un meilleur amortissement des vibrations peut contribuer à prolonger la durée de vie des composants et à améliorer le confort et la sécurité des utilisateurs.

2. Méthodes

Les composites biosourcés sont fabriqués par impression 3D (fig 1) à partir de rouleaux de PLA (acide polyactique) renforcé par des fibres courtes de lin (PFF) fournis par NANOVI (Lin/PLA) et de caoutchouc type A 85. La couche viscoélastique est insérée au milieu dans le plan médian.

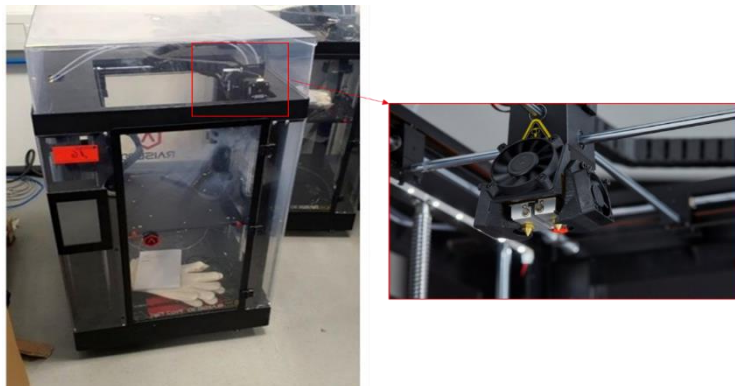


Fig. 1. Imprimante 3D : RAISED 3D 2PLUS.

Les paramètres d'impression (Tableau 1-8) sont optimisés et ajustés pour obtenir une meilleure qualité. Ces paramètres dépendent du matériau, de la forme de l'échantillon et du diamètre de la buse.

Tab. 1. Exemple de Tableau.

Paramètres d'impression	Lin / PLA	TPU
Diamètre de la buse (mm)	0.4	0.4
Température d'impression (°C)	220	240
Vitesse d'impression (mm/s)	40	10
Température du plateau (°C)	55	55

La Fig 2 illustre l'interface entre le composite Lin/PLA et une couche viscoélastique d'un échantillon non testé. Le composite présente une structure hétérogène avec des fibres de lin dispersées dans la matrice PLA, tandis que la couche viscoélastique, flexible et dissipative, joue un rôle crucial dans la performance du matériau. Une bonne adhésion entre les deux couches est essentielle pour répartir les contraintes et éviter les décollements ou fissures. L'interface observée est nette, régulière, et

d'épaisseur fine, favorisant une transmission optimale des contraintes et une cohésion complète entre les couches.

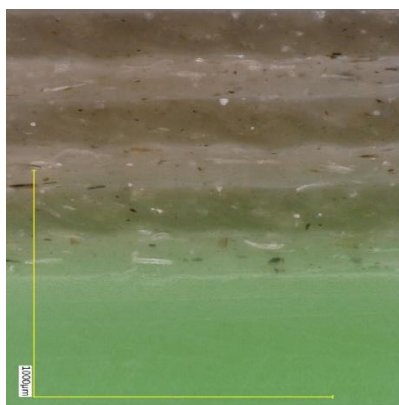


Fig. 2. Micrographie du composite CVC1

La Fig 3 illustre l'énergie absorbée (E_a) par différents composites en fonction des niveaux d'énergie d'impact (E_i). L'énergie absorbée augmente avec l'énergie d'impact, reflétant la capacité des composites à dissiper davantage d'énergie face à des impacts plus forts. Le composite de base Lin/PLA (C) absorbe moins d'énergie que le composite renforcé par une couche viscoélastique CVC1, soulignant le rôle clé de ce dernière dans l'absorption d'énergie.

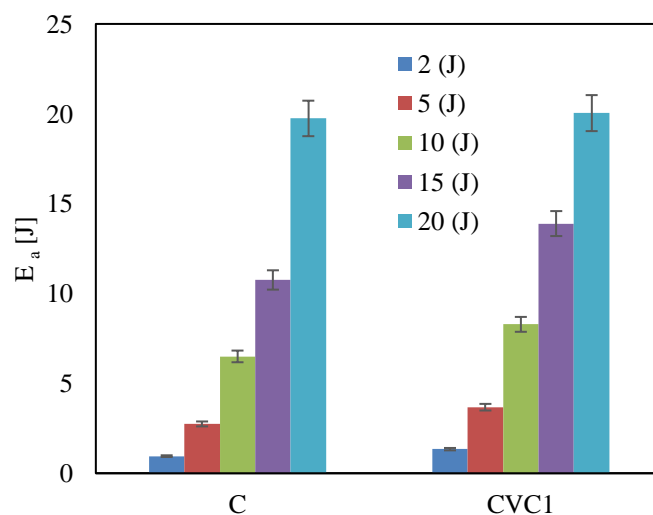


Fig. 3. Evolution énergie absorbée d'un essai d'impacte

Conclusion

En synthèse, cette étude démontre le potentiel remarquable de la fabrication additive dans la production de composites biosourcés à base de fibres de lin et de matrice PLA. Cette technologie permet une grande flexibilité de conception tout en assurant une distribution homogène des fibres et une meilleure imprégnation de la matrice. Les propriétés mécaniques peuvent être finement ajustées grâce aux paramètres de fabrication tels que la température, la vitesse de dépôt. L'innovation majeure réside dans l'intégration de couches viscoélastiques, qui améliore significativement l'amortissement des vibrations tout en maintenant une bonne rigidité, comme en témoignent les tests d'impact où le composite avec couche viscoélastique (CVC1) surpasse le composite de base. Ces caractéristiques rendent ces matériaux particulièrement adaptés aux applications aéronautiques et automobiles où la

réduction des vibrations est cruciale, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle génération de matériaux composites durables et performants.

Références

- [1] André J-C. De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 3: Innovations de rupture. ISTE Group; 2018.
- [2] Daoud H, Rebiere J, El Mahi A, Taktak M, Haddar M. Effect of an Interleave Natural Viscoelastic Layer on the Dynamic Behaviour of a Bio-Based Composite. *Adv Compos Lett* 2018;26. <https://doi.org/10.1177/096369351702600601>.
- [3] Gbekou FK. Propriétés mécaniques et hygrothermiques de mortiers de ciment incorporant des matériaux à changement de phase et des fibres de miscanthus. *Acad J Civ Eng* 2023;41:663–70. <https://doi.org/10.26168/ajce.41.1.68>.
- [4] Querard V. Réalisation de pièces aéronautiques de grandes dimensions par fabrication additive WAAM. phdthesis. École centrale de Nantes, 2019.
- [5] Muller P. Fabrication additive de pièces multimatériaux. phdthesis. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2013.
- [6] Campocasso S, Hugel V, Vayre B. Génération de trajectoires pour la fabrication additive par dépôt de fil robotisé multi-axes - Application à une tubulure torique. 15ème Colloq. Natl. AIP-Primeca, La Plagne, France: 2017, p. 1–5.