



**HAL**  
open science

## Imprégnation de fils de chanvre pour des applications composites obtenus par impression 3D

Mohamad Fakhreddine, Camille Francois, Cyril Marsiquet, Marie-José Pac

► **To cite this version:**

Mohamad Fakhreddine, Camille Francois, Cyril Marsiquet, Marie-José Pac. Imprégnation de fils de chanvre pour des applications composites obtenus par impression 3D. Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619731

**HAL Id: hal-04619731**

**<https://hal.science/hal-04619731v1>**

Submitted on 21 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Imprégnation de fils de chanvre pour des applications composites obtenus par impression 3D

---

Mohamad Fakhreddine<sup>1</sup> Camille François<sup>1</sup> Cyril Marsiquet<sup>1</sup> Marie-José Pac<sup>1</sup>

mohamad.fakhreddine@uha.fr camille.francois@uha.fr cyril.marsiquet@uha.fr marie-jose.pac@uha.fr

<sup>1</sup> IUT, Université de Haute Alsace  
Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, UR 4365

**Thèmes** – *Matériaux - Mécanique*

**Résumé** – *Récemment et compte tenu du contexte environnemental, la fabrication de filaments fondus a démontré son potentiel pour l'élaboration de composites renforcés de fibres végétales. Cependant, la plupart des produits actuels font appel à des fibres courtes comme renfort de composites et ces derniers présentent des propriétés mécaniques modérées. Une solution consiste à utiliser des fibres longues dites continues afin de réaliser des pièces imprimées plus rigides et plus résistantes. Ce travail propose de s'orienter sur le chanvre pour ses avantages écologiques, sa contribution au développement durable, ses propriétés spécifiques élevées et sa disponibilité locale dans l'Est de la France. Ce travail présente la caractérisation mécanique de fils de chanvre et la modification de l'imprimante 3D nécessaire à l'élaboration des fils de chanvre imprégnés dans une matrice d'acide polylactique (PLA). Les fils imprégnés élaborés présentent des propriétés mécaniques intéressantes. Un travail complémentaire est néanmoins nécessaire pour améliorer la régularité du fil imprégné et pour assurer une imprégnation homogène de la matrice au sein du fil.*

**Mots-Clés** – *Impression 3D, Composites renforcés par des fibres végétales, Caractérisations mécaniques, Fibres de chanvre*

## 1 Introduction : contexte et objectif

Parmi les technologies de fabrication additive, le procédé d'impression 3D par dépôt de matière fondue FFF (Fused Filament Fabrication) est la technique la plus utilisée en raison de ses nombreux avantages tels que sa simplicité d'utilisation, le faible coût, la rapidité de production par pièce et la possibilité de concevoir des produits au design complexe [1]. Cependant, un des principaux inconvénients de l'impression 3D de pièces réalisées à l'aide de polymères purs réside dans ses performances mécaniques modérées, limitant ainsi leurs utilisations pour des applications non structurales. Pour atteindre un niveau de performance compatible avec le cahier des charges d'applications soumises à d'importantes sollicitations mécaniques et pour prendre en compte les enjeux environnementaux actuels, des renforts issus de la biomasse sont intégrés dans la matrice polymérique. Pour ce type d'application, les polymères imprimés sont le plus souvent renforcés par des fibres végétales courtes. Les performances de ces matériaux restent néanmoins inférieures à celles obtenus pour des composites imprimés renforcés par des fibres synthétiques (verre, carbone, aramide). Ce constat peut notamment s'expliquer par la faible longueur des fibres (souvent des particules) sans orientation privilégiée, en faible quantité et par le fort taux de porosité présent dans le matériau final. Pour pallier ce problème, de récentes études ont montré la faisabilité de l'impression 3D de biocomposites renforcés par des fibres végétales continues en imprégnant notamment des fibres telles que le lin ou le jute [2–5]. **Ce travail présente la modification d'une imprimante 3D afin d'élaborer des fils imprégnés à base de fibres de chanvre.** La culture du chanvre est un véritable atout sur le plan environnemental car elle ne nécessite pas ou peu d'intrants ou de traitements et elle permet de restaurer les nutriments dans le sol [6]. En plus de ces avantages en faveur de l'environnement, sa culture s'inscrit dans un objectif de développement durable puisque tous ces constituants sont valorisés (fibres, graines, chènevottes et poudres). Outre ses propriétés mécaniques spécifiques élevées, les fibres de chanvre disposent d'une forte implantation locale puisque la région Grand Est est la principale région productrice de chanvre en France. Pour adresser l'objectif de ce projet, le principal verrou scientifique à lever réside dans l'augmentation du taux de fibre dans le fil imprégné et son influence sur le comportement mécanique du filament bio-sourcé. C'est pourquoi, la fabrication de filaments destinés à l'impression 3D se fera par l'imprégnation de fils (renfort continu) de chanvre et d'une matrice d'acide polylactique (PLA).

## 2 Matériaux : fils de chanvre

Le chanvre est une plante annuelle et la France est le premier producteur européen avec 20000 ha exploités en 2020. Les fibres de chanvre, contenues dans la partie extra-xylémiennes des tiges (en périphérie de la tige), sont

obtenues après différents procédés de transformation (rouissage, teillage, etc.) (Figure1).

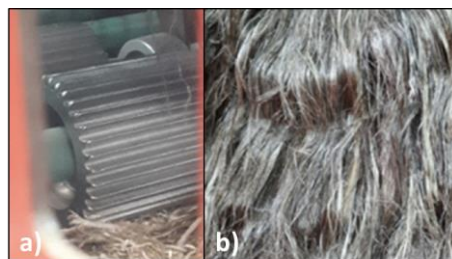


Figure 1 – a) Teillage avec broyeur à rouleaux, b) Fibres de chanvre teillées. [7]

Les fibres subissent par la suite divers procédés mécaniques permettant d'obtenir des rubans de chanvre destinés à la filature. Trois lots de fils de chanvre avec des masses linéiques différentes ont été utilisés pour cette étude et proviennent de la société italienne Linificio e Canaficio Nazionale.

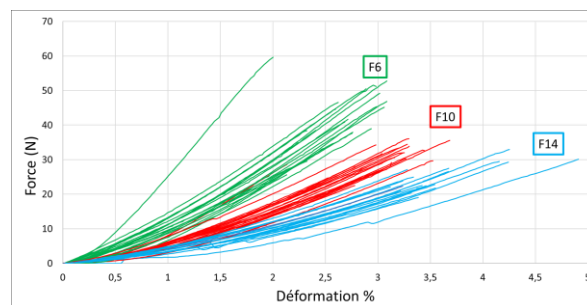


Figure 2 – Courbes Force-Déformation des essais de traction sur les fils de chanvre

Les propriétés mécaniques en traction des fils de chanvre présentent une forte dispersion (Figure 2). Les résultats révèlent des propriétés comprises entre 24 N et 45 N pour la force à rupture et entre 2.8 % et 3.4 % pour la déformation à rupture en fonction du lot de fil considéré (Tableau 1).

Tableau 1 : Propriétés des fils de chanvre

|                                       | F6         | F10        | F14        |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Numéro métrique (km/kg)               | 6          | 10         | 14         |
| Masse linéique calculée (g/km ou Tex) | 166,7      | 100        | 71,4       |
| Masse linéique mesurée (g/km ou Tex)  | 166,5      | 102,1      | 75,8       |
| Force à rupture (N)                   | 45,4 ± 5,6 | 30,4 ± 3,5 | 24,0 ± 3,0 |
| Déformation à rupture (%)             | 2,8 ± 0,1  | 3,1 ± 0,2  | 3,4 ± 0,4  |

Comme attendu, la force à rupture diminue avec la baisse de la valeur de la masse linéique tandis que la déformation à rupture est inversement proportionnelle à

cette même masse linéique. Les valeurs sont supérieures à celles rapportées dans la littérature pour des fils de lin, en considérant la même gamme de masse linéique [8].

### 3 Imprégnation par modification de l'imprimante 3D

Pour parvenir à imprégner de manière régulière le fil de chanvre, la conception d'une nouvelle buse d'impression est nécessaire. La géométrie doit donc être modifiée afin d'assurer l'insertion du fil. C'est pourquoi, deux entrées sont prévues (Figure 3a et 3b) et les deux éléments se rencontrent dans la partie basse de la buse. La fabrication de cette buse est réalisée par impression métallique (procédé ADAM) dont l'équipement Markforged MetalX est disponible à l'IUT de Mulhouse.

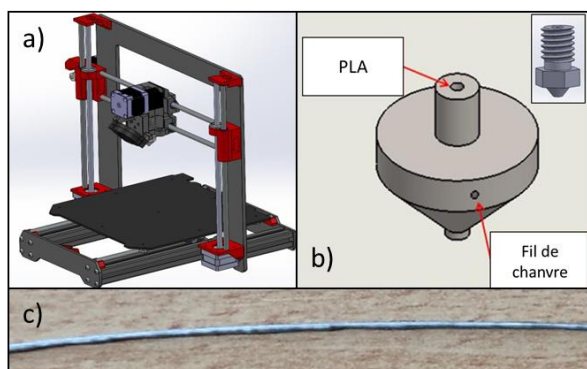


Figure 3 – a) CAO de l'imprimante 3D, b) CAO de la buse d'extrusion modifiée et buse d'origine en insert, c) Fil de chanvre imprégné

A l'aide de l'imprimante PRUSA MK3S et de la buse modifiée, les premiers essais ont permis d'imprégner le fil de chanvre F14 dans la matrice PLA (Figure 3c). Bien que ces fils présentent des irrégularités, les essais de traction sur ces fils imprégnés montrent une amélioration de la rigidité et de la force à rupture et une diminution de la déformation à rupture comparés aux essais de traction réalisés sur les fils de chanvre. Une étude approfondie des paramètres d'impression et une optimisation de la géométrie est en cours afin d'améliorer l'imprégnation de la matrice dans le fil de chanvre et d'augmenter les performances mécaniques du fil imprégné.

### 4 Conclusions et perspectives

La contribution de ce travail concerne la modification d'une buse d'impression d'imprimante 3D. Une nouvelle conception a été réalisée et a permis l'imprégnation d'un fil de chanvre dans une matrice PLA à l'intérieur de cette buse. Les résultats sont prometteurs puisque les fils imprégnés présentent des propriétés mécaniques en traction (force à rupture et rigidité) plus élevées comparés aux propriétés des fils seuls. Afin d'améliorer ces résultats, une optimisation de la géométrie de la buse et

des paramètres d'impression est en cours. En parallèle, une étude approfondie (morphologie, structure, propriétés) des fils de chanvre et de la matrice est indispensable. Ce travail ouvre de nouvelles perspectives telles que l'étude de l'influence de la torsion du fil sur le processus d'imprégnation du fil, ou encore l'étude du comportement rhéologique de la matrice.

### 5 Remerciements

Nous remercions Pr. Gildas L'Hostis pour ses conseils lors de ce travail.

### Références

- [1] P.K. Penumakala, J. Santo, A. Thomas, A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites, *Composites Part B: Engineering* 201 (2020) 108336. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108336>.
- [2] A. Le Duigou, A. Barbé, E. Guillou, M. Castro, 3D printing of continuous flax fibre reinforced biocomposites for structural applications, *Materials & Design* 180 (2019) 107884. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107884>.
- [3] R. Matsuzaki, M. Ueda, M. Namiki, T.-K. Jeong, H. Asahara, K. Horiguchi, T. Nakamura, A. Todoroki, Y. Hirano, Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation, *Sci Rep* 6 (2016) 23058. <https://doi.org/10.1038/srep23058>.
- [4] P. Cheng, K. Wang, X. Chen, J. Wang, Y. Peng, S. Ahzi, C. Chen, Interfacial and mechanical properties of continuous ramie fiber reinforced biocomposites fabricated by in-situ impregnated 3D printing, *Industrial Crops and Products* 170 (2021) 113760. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113760>.
- [5] S. Terekhina, S. Egorov, T. Tarasova, I. Skorniyakov, L. Guillaumat, M.L. Hattali, In-nozzle impregnation of continuous textile flax fiber/polyamide 6 composite during FFF process, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 153 (2022) 106725. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106725>.
- [6] H. Van Eynde, Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing, Master thesis, University of Leuven, 2015. [https://www.scripriebank.be/sites/default/files/VanEyndeHannes\\_KUL\\_Eindwerk.pdf](https://www.scripriebank.be/sites/default/files/VanEyndeHannes_KUL_Eindwerk.pdf).
- [7] M. Grégoire, M. Bar, E. De Luycker, S. Musio, S. Amaducci, X. Gabrion, V. Placet, P. Ouagne, Comparing flax and hemp fibres yield and mechanical properties after scutching/hackling processing, *Industrial Crops and Products* 172 (2021) 114045. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114045>.
- [8] F. Omrani, P. Wang, D. Soulat, M. Ferreira, Mechanical properties of flax-fibre-reinforced preforms and composites: Influence of the type of yarns on multi-scale characterisations, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 93 (2017) 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.11.013>.