

Production of mycocomposite from wood industry waste

AGUILAR Kyle¹, FIGEL Laura¹, SAKER Safwan², SOUFFLET Lucas², BROSSE Nicolas¹,
BESSERER Arnaud¹

¹Université de Lorraine, LERMAB, France

²CRITT, 27 Rue Philippe Séguin, 88000 Épinal, France

kyle.aguilar@univ-lorraine.fr

Key words: Mycocomposite; Hydrothermal pretreatment; Fungus; Wood waste; Recycling

Contexte et objectifs

Le succès des meubles en kit assemblés à partir de panneaux de particules et de MDF a pour conséquence une augmentation des déchets qui en résultent. Ces déchets sont appelés déchets d'éléments d'ameublement (DEA). Pour la partie bois, les DEA contiennent entre autres des résines telles que l'urée-formaldéhyde (UF) qui sert de liant lors de la fabrication des panneaux de particules et de MDF et complique leur valorisation en fin de vie. Cependant, les DEA bois sont potentiellement utilisables pour la production de matériaux dotés de propriétés multiples et à très faible impact environnemental : les mycocomposites. Il s'agit de matériaux composites constitués par des particules de matière lignocellulosique liées entre elles par le mycelium d'un champignon ce qui en fait un matériau 100% biosourcé et biodégradable. Dans le contexte d'un modèle d'économie circulaire basé sur le « zéro déchet » ces matériaux suscitent un intérêt grandissant (Mohd Fairus et al. 2022).

L'objectif principal de ce travail est de produire des mycocomposites à partir de particules de bois recyclé issues de l'industrie du panneau.

Les mycocomposites sont généralement produit à partir de résidus de biomasses agricoles. Le premier défi de ce travail de thèse qui s'inscrit dans le projet Profex (Ecomobiler) est donc de produire de manière reproductible et efficace des mycocomposites dans un système modèle bois/champignon. Cela nécessite de caractériser plus précisément le développement du champignon dans des particules de bois ayant subi ou non un prétraitement hydrothermal. Les connaissances acquises sur ce modèle seront alors transférées à la biomasse industrielle d'intérêt constituée de bois issu du recyclage.

Matériel et méthodes

Prétraitement hydrothermal de la biomasse

Le prétraitement hydrothermal utilisé est un procédé utilisé pour le prétraitement de la biomasse lignocellulosique avant sa bioconversion enzymatique en produits d'intérêt. Il s'agit d'un procédé versatile dont les effets sur la biomasse sont dépendants des conditions de réaction. Des expériences préliminaires ont montré que des conditions modérées du prétraitement modifient la porosité des fibres et des particules et semblent permettre une meilleure croissance du champignon.

Culture du champignon et production des mycocomposites :

La culture se décompose en deux parties : la pré-culture et la croissance du mycocomposite qui s'apparente à une fermentation en milieu solide. Les conditions de croissance et la pré-culture sont bien documentées dans la littérature mais la phase d'inoculation est quant à elle peu expliquée. La croissance du champignon durant la pré-culture ou la culture sur le substrat est

réalisée dans des conditions de croissance spécifiques et favorables selon l'espèce fongique choisie (dans notre cas *T. versicolor* CTB 863 A) (Elsacker et al. 2020 & Lelivelt et al. 2015). Une température comprise entre 25°C et 30°C permet d'obtenir une croissance optimale pour l'espèce *Trametes versicolor*. La pré-culture peut se faire en milieu solide ou liquide (avec ou sans agitation). Le choix de la méthode de culture reste important et impacte également les propriétés du matériau final (Elsacker et al. 2019). Certaines espèces fongiques telles que le *Trametes versicolor* sont cependant plus propices à une culture liquide que d'autres (Elsacker et al. 2019 & Dutton et al. 1993). La phase d'inoculation intervient une fois qu'une quantité suffisante de biomasse fongique a été récoltée. Il s'en suit la phase de culture du mycocomposite. Les méthodes diffèrent également et sont nombreuses (Attias et al. 2020). Dans notre cas comme la grande majorité des méthodes, la croissance sur le substrat s'effectue dans un moule de manière à obtenir la forme du matériau voulue pendant la croissance (Lelivelt et al. 2015). Ayant comme objectif la production d'un panneau, nous réaliserons une étape de pressage qui sera réalisée à la fin de la croissance.

Résultats et discussion

Le prétraitement hydrothermal est connu pour modifier les propriétés physico-chimiques de la paroi du bois (Besserer et al., 2022 Troncoso-Ortega et al., 2021). Afin d'évaluer l'effet d'un traitement hydrothermal effectué sur des particules de hêtre sur le développement de *T. versicolor*, des mycocomposites ont été réalisés en utilisant ces deux types de biomasses comme substrat de croissance pour le champignon. L'observation des matériaux obtenus après 5 j de croissance (Fig 1 et 2) montre que *T. versicolor* a une croissance plus importante et plus homogène sur les particules traitées (fig2).



Fig. 1 : Mycocomposite à partir de biomasse native



Fig. 2 : Mycocomposite à partir de biomasse prétraité

L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) du mycocomposite montre une densité de mycélium et une colonisation des particules plus importantes dans les mycocomposites réalisés à partir de particules traitées (Fig 3b et 4b). L'observation au MEB des particules avant et après le prétraitement a montré un défibrage et une modification structurelle des particules (Fig 3a,c, Fig 4a,c).

Ces observations ont été complétées par des analyses en spectrométrie proche infrarouge (NIRS). Cette technique non destructive permet de mettre en évidence une forte modification des particules lors du traitement hydrothermal. Les résultats de l'imagerie et du NIRS sont donc corrélés. Ces données constituent une base pour la modélisation de croissance du champignon dans les particules en vue d'optimiser la production de mycocomposites

Le prétraitement hydrothermal affectant l'ultrastructure et la physico-chimie de la paroi, nous avons fait l'hypothèse d'un enrichissement en nutriments et en molécules signal de la phase liquide obtenue lors du prétraitement. Afin de tester l'activité biologique de cette phase liquide lors de la phase de production du mycocomposite, le milieu de culture habituellement utilisé, a

été substitué par cette phase liquide. Au niveau qualitatif, une nette amélioration de la croissance fongique a été observée (Fig. 5 et Fig. 6).

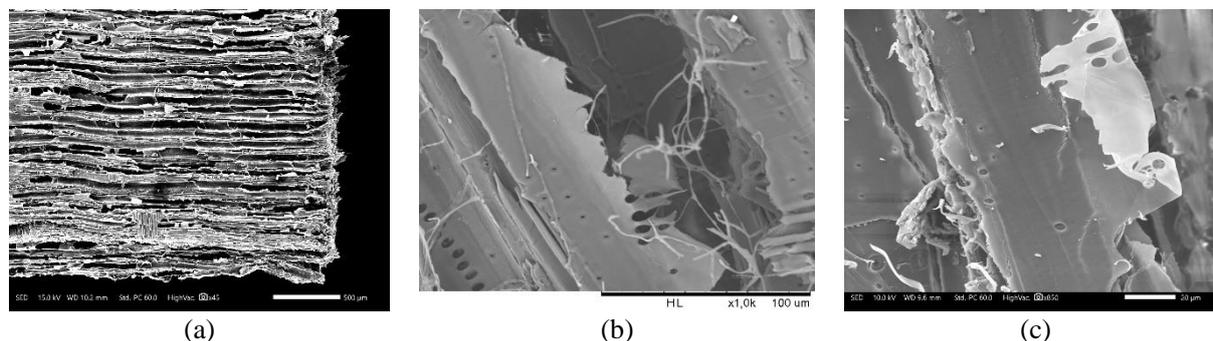


Fig. 3 : Images MEB de hêtre non traité : (a) particule de hêtre natif ; (b) présence du champignon dans un mycocomposite hêtre natif ; (c) surface d'une particule non traitée

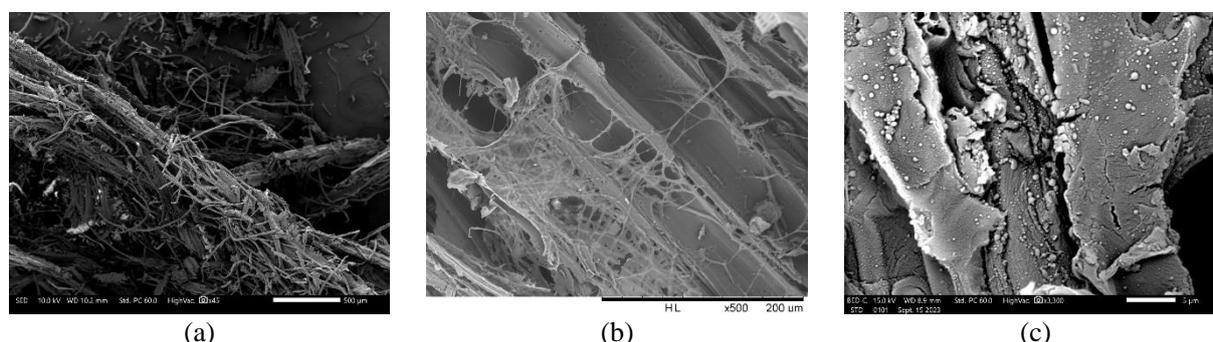


Fig. 4 : Images MEB de hêtre traité : (a) particule de hêtre prétraitée ; présence du champignon dans un mycocomposite hêtre prétraité ; surface d'une particule prétraitée



Fig. 5 Mycocomposite hêtre natif sans ajout supplémentaire



Fig. 6 : Mycocomposite hêtre natif avec ajout d'effluent du traitement hydrothermal.

De ce fait, des analyses des phases liquides ont été réalisées pour tenter de mieux comprendre ce phénomène et d'identifier les molécules présentes dans les phases liquides ayant un potentiel inhibiteur ou stimulateur sur la croissance de *T.versicolor*.

D'une part, le résultat d'une analyse DNS nous a permis d'observer un taux de sucre important dans les phases liquides. Ce résultat ainsi que les mesures de masses sèches des effluents dans lesquelles on trouve une concentration de 10,02 g/L de molécules justifie que l'analyse de ces effluents soit un élément important pour une croissance rapide du champignon et permettrait d'obtenir une production rapide de mycocomposite. Pour ce faire, des analyses par HPTLC ont été réalisés dans le but d'identifier les éléments présents dans les différentes phases liquides notamment les molécules inhibitrices ou stimulatrices de croissance. Des essais en réalisant des dérivations et migrations différentes ont montré que l'on retrouve un nombre important de molécules différentes dans les effluents. L'optimisation de la méthode d'HPTLC ayant débuté, a pour objectif d'approfondir l'analyse des molécules et de leurs effets sur la croissance

fongique, avec un couplage avec d'autres méthodes d'analyse comme la chromatographie ionique pour l'analyse approfondie des sucres.

D'autre part, des analyses sur l'utilisation des effluents pour substituer le milieu de culture liquide standard par ces derniers ont été menées. En supplément du résultat précédent sur l'amélioration de croissance avec l'ajout d'effluent (Fig.5 et Fig.6), les tests d'inhibition n'ont montré aucun effet inhibiteur. Des cultures liquide avec un milieu de culture composé d'effluent du prétraitement ont permis d'obtenir une croissance fongique plus importante qu'avec un milieu standard (Fig. 7).

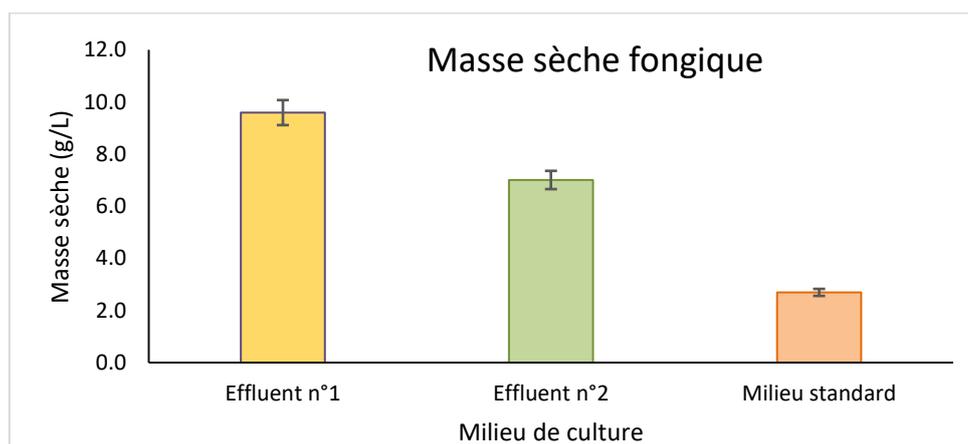


Fig. 7 : Masse sèche de champignon en fonction du milieu de culture liquide

En parallèle de l'étude des mycocomposites à partir de biomasse de hêtre, la production de mycocomposite avec des déchets de l'industrie du bois a été étudiée.

Dans un premier temps, aucune croissance de *T.versicolor* n'a été observée sur le bois recyclé (Fig. 8). L'effet inhibiteur de croissance a été écarté avec l'observation de croissance de *T.versicolor* lors d'essais d'inhibition avec le bois recyclé et les effluents. Dans un second temps des analyses menées en microscopie et en spectroscopie infrarouge ont montré que les déchets de l'industrie du bois utilisés comme substrat sont composés en majorité de résineux. Une étude intermédiaire a été menée sur le prétraitement de différentes essences et a permis de montrer que le prétraitement impacte la croissance de *T.versicolor* sur les essences de manières différentes. Une croissance a été observée avec un substrat de bois recyclé et prétraité et a permis d'aboutir par la suite à la production de mycocomposite (Fig. 9).



Fig. 8 : Mycocomposite avec du bois recyclé non traité



Fig. 9 : Mycocomposite avec du bois recyclé et prétraité – dimensions : 150x150x50mm

Conclusion et perspectives

Avec l'étude de la biomasse solide et des effluents, on peut affirmer que le prétraitement utilisé a un effet significatif dans le processus de production de myco-composites. Non seulement les particules traitées permettent d'accroître la colonisation des particules par le champignon mais les effluents, semblent également jouer un rôle de stimulateur de croissance important. Ainsi le couplage des deux nous permet d'améliorer de façon drastique la croissance du champignon et ainsi de remplir l'objectif d'une utilisation totale des éléments produits par le prétraitement hydrothermal à partir d'une biomasse bois disponible localement. De plus, le prétraitement hydrothermal joue un rôle important dans l'utilisation de bois recyclé comme substrat de croissance et permet d'obtenir une croissance de *T.versicolor* sur le bois et la production de myco-composite.

Références

- Attias N., Danai O., Abitbol T., Tarazi E., Ezov N., Pereman I., Grobman Y.J. (2020) Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *J. Clean. Prod.* 246, 119037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>
- Besserer A., Obame S.N., Safou-Tchima R., Saker S., Ziegler-Devin I., Brosse N. (2022) Biorefining of *Aucoumea klaineana* wood: Impact of steam explosion on the composition and ultrastructure the cell wall. *Ind. Crops Prod.* 177, 114432
- Dutton M.V., Evans C.S., Atkey P.T., Wood D.A. (1993) Oxalate production by Basidiomycetes, including the white-rot species *Coriolus versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 39, 5–10. <https://doi.org/10.1007/BF00166839>
- Elsacker E., Vandeloock S., Brancart J., Peeters E., De Laet L. (2019) Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *Plos One* 14, e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Elsacker E., Vandeloock S., Van Wylick A., Ruytinx J., De Laet L., Peeters E. (2020) A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Sci. Total Environ.* 725, 138431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431>
- Mohd Fairus M.J., Kamal Bahrin E., Natasha E., Arbaain N., Ramli N. (2022) Mycelium-based composite: a way forward for renewable material. *J. Sustain. Sci. Manag.* 17, 271–280. <https://doi.org/10.46754/jssm.2022.01.018>
- Lelivelt R.J.J. (2015) The mechanical possibilities of mycelium materials, p. 83.