

## Conception et développement de structures écologiques à architecture contrôlée à base de mycélium

FIGEL Laura<sup>1</sup>, AGUILAR Kyle<sup>1</sup>, SAKER Safwan<sup>2</sup>, BESSERER Arnaud<sup>1</sup>, BROSSE Nicolas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lorraine, LERMAB, France

<sup>2</sup> CRITT, 27 rue Philippe Séguin, 8000 Épinal, France

[laura.figel@univ-lorraine.fr](mailto:laura.figel@univ-lorraine.fr)

**Mots clés :** bois ; champignon ; mycocomposite ; mycélium ; stratoconception

### Contexte et objectifs

Le secteur du bâtiment représente 23 % des émissions de CO<sub>2</sub> pour la France (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2022). En vue d'atteindre les objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2030, un changement de paradigme dans le secteur du bâtiment est indispensable. Dans le cadre d'une transition énergétique soutenable, l'isolation thermique des bâtiments est actuellement au cœur des préoccupations. Cependant, les isolants actuels sont majoritairement d'origine fossile et leur empreinte carbone est très négative. Des solutions biosourcées comme la laine de bois ou la ouate de cellulose sont disponibles à l'échelle industrielle et sont en plein développement. En parallèle les possibilités offertes par le numérique et la robotique révolutionnent la conception des bâtiments. Cela se traduit par l'apparition de parois aux formes complexes et non standardisées qui ne permettent pas l'utilisation optimale des matériaux isolants disponibles sur le marché. Enfin, la préoccupation incendie et particulièrement la propagation des feux couvant dans les parois constitue un défi pour la construction bois et biosourcée. Les nouveaux usages des bâtiments combinés aux tensions sur les matières premières et à l'urgence climatique imposent le développement de nouveaux produits. Le projet présenté ici vise à concevoir et développer un matériau isolant innovant à base de lignocellulose dont la cohésion est assurée par des hyphes de champignons filamenteux : le mycocomposite. Un tel isolant présente l'avantage d'être biosourcé, biodégradable, ignifugé et surtout de s'inscrire dans une perspective d'économie circulaire et de transition écologique et énergétique (Elsacker et al. 2020, Fairus et al. 2022). Les mycocomposites développés seront utilisés pour remplir des structures en bois alvéolaires fabriquées en stratoconception®. Le procédé de stratoconception® est une addition de couches de bois usinées pour reconstituer un objet de forme complexe (Frécharde et Meyer 2022). Le matériau mycocomposite ayant la capacité de progresser et d'occuper la totalité d'un espace creux tout en restant solide, associé à la stratoconception®, ce matériau innovant permettra aux architectes d'envisager de nouveaux modes de conception et de fabrication en limitant fortement la production de déchets.

### Matériels et méthodes

#### *Matériau bois*

Les panneaux de bois seront usinés selon la méthode de stratoconception (Fig 1). Les coproduits d'usinage (sciure, particules, chutes, ...) sont utilisés pour la production du matériau isolant mycocomposite dans une logique de zéro déchet. Un scénario feuillu et un scénario résineux sera envisagé.

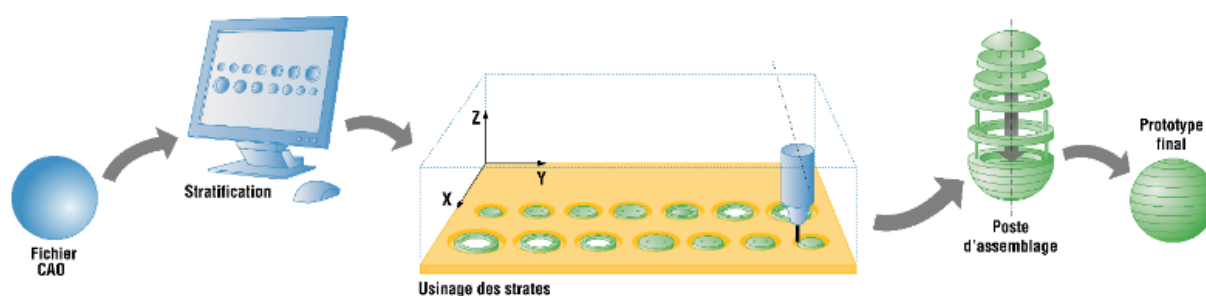


Fig 1 : Principe du procédé breveté de Stratoconception® (Fréchard *et al.*, 2022).

### Production de mycocomposites

La méthode de production des mycocomposites à partir de bois est réalisée selon le procédé développé dans le cadre du projet Profex (Aguilar *et al.*, sous presse). Il comprend trois étapes (Fig. 2). Le bois est d'abord prétraité et fonctionnalisé pour maximiser son interaction avec le champignon. En parallèle une culture liquide du champignon *Trametes versicolor* est réalisée dans le milieu malt 2 %. La deuxième étape consiste à ensemercer les pellets dans la biomasse pendant 2 semaines à 28 °C et 60 % RH. Le mélange obtenu est appelé la pré-culture solide. Le champignon va coloniser et assimiler partiellement et de manière hétérogène la biomasse bois humide. Cette pré-culture est ensuite utilisée pour former le mycocomposite. La croissance du champignon est ensuite stoppée facilement (par chauffage à 50°C, pulvérisation H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ou micro-ondes).

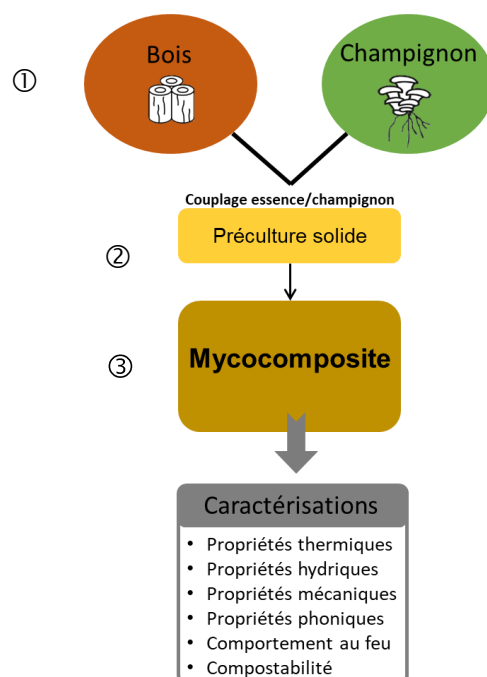


Fig. 2 : Etape de fabrication des mycocomposites, ①Prétraitement de la biomasse hêtre et culture liquide de *T. versicolor* en bioréacteur, ②couplage essence/champignon et ③conception puis caractérisations du mycocomposite.

### Caractérisation de mycocomposites

Les mycocomposites ont été broyés avec un broyeur cryogénique CryoMill Retsch. Ils ont ensuite été marqués avec le fluorochrome WGA-Alexa 488 (Thermo Fischer) puis caractérisés au microscope optique Leica DM2700 M, filtres L5 (lex BP 480/40 et lex BP 527/30) et N2.1 (lex 515-560 et lex 590). Les mycocomposites ont été métallisés Or/palladium 4.8 Å puis observés au microscope électronique à balayage (MEB) Jeol IT200.

## Résultats et discussion

Chaque étape de production du mycocomposite doit être optimisée pour obtenir le matériau innovant désiré. Nous cherchons dans un premier temps à répondre à diverses questions liées à la croissance fongique au sein même du mycocomposite. En effet, l'objectif est d'obtenir un matériau avec une colonisation fongique la plus homogène possible. Cette phase nécessite de pouvoir visualiser le champignon au sein du matériau. Les premières observations réalisées par microscopie fluorescence sur le système modèle hêtre/ *T. versicolor* montrent que le mycélium était bien incorporé aux particules de bois (Fig. 3) et constitue un réseau d'hyphe dense.

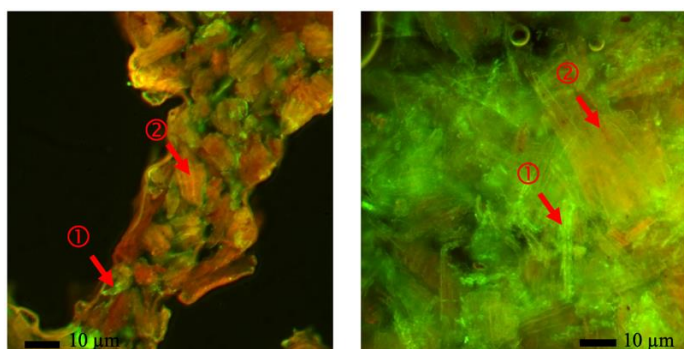


Fig. 3 : Observation en microscopie fluorescence de mycocomposites. En vert ① le champignon (WGA-AlexaFluor 488) et en rouge ② les particules de bois (auto-fluorescence).

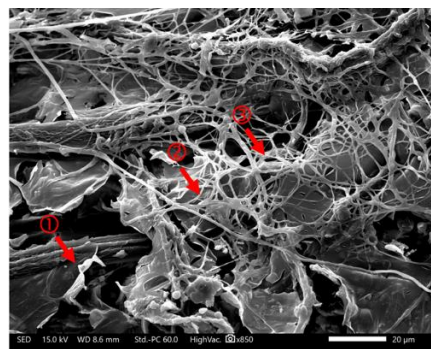


Fig. 4 : Observation MEB d'un mycocomposite hêtre/*T. versicolor*, ① biomasse hêtre, ② mycélium de *T. versicolor* et ③ vide.

En corrélant la microscopie à fluorescence au MEB, nous pouvons visualiser comment les hyphes s'entremêlent dans les particules de bois (Fig. 4). Les étapes suivantes viseront à caractériser la densité de remplissage du mycélium et à étudier comment les différents prétraitements modifient les interactions bois-champignon et aboutissent à des matériaux mycocomposites qui répondent au cahier des charges.

Une fois les conditions de fabrications des mycocomposites optimisées, différents types de caractérisations et d'optimisations du mycocomposite sont envisagées (Tab. 1).

Tab. 1 : Liste de caractérisations des mycocomposites et outils envisagés.

Caractérisations	Outils envisagés
Propriétés physiques et thermiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isotherme de sorption et hystérésis</li> <li>• Retrait/gonflement</li> <li>• Coefficient de diffusion massique</li> <li>• Porosité/ perméabilité</li> <li>• Tortuosité</li> </ul>
Propriétés mécaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tests de traction</li> <li>• Tests de gonflement</li> </ul>
Propriétés acoustiques/phoniques	Propagation d'ondes
Comportement au feu	Cône calorimètre de combustion, panneau radiant
Compostabilité	Test gravimétrique sur longue durée (Zimele <i>et al.</i> , 2020)
Hygroscopique	Régulation de l'humidité intérieur

Ces caractérisations nous permettront d'optimiser la ou les condition(s) idéale(s) de fabrication des mycocomposites. Par exemple, des premiers essais en traction ont montré que le prétraitement de la biomasse influe fortement sur les propriétés mécaniques (Fig. 5).

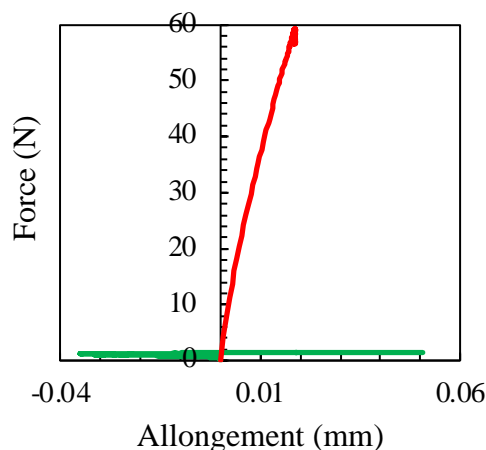


Fig. 5 : Caractérisation d'un mycocomposite sans prétraitement de la biomasse hêtre (vert) et avec prétraitement (rouge).

### Conclusion et perspectives

À terme, ce projet permettra de développer des isolants semi-rigides d'épaisseur variable et destinés à remplir *intra-muros* de grandes alvéoles lors du processus de fabrication des murs. Pour y parvenir, plusieurs verrous sont à lever, notamment trouver les conditions idéales pour la croissance fongique ainsi que pour le prétraitement de la biomasse. Nous devons également savoir comment le mycélium se développe dans les particules de bois.

### Références

Elsacker E., Vandeloock S., Van Wylic A., Ruytinx, J., De Laet L., Peeters E. (2020) A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, 725, 138431.

Fairus M.J.B.M., Bahrin E.K., Arbaain E.N.N., Ramli, Enis N. (2022) Mycelium-based composite: A way forward for renewable material. *J. Sustain. Sci. Manag*, 17, 271-280.

Frécharde V., Bléron L., Meyer J. (2021) Proposition d'une méthode de conception-fabrication pour l'architecture en bois. Application du procédé de Stratoconception®. In 10<sup>èmes</sup> Journées Annuelles du GDR3544 Sciences du Bois, 17-19 novembre 2021, Montpellier, pp. 101-104.

Ministère Écologie Énergie Territoires (2022) Construction et performance environnementale du bâtiment, [ecologie.gouv.fr](https://www.ecologie.gouv.fr). Disponible sur <https://www.ecologie.gouv.fr/construction-et-performance-environnementale-du-batiment> (Consulté le 06 Novembre 2023).

Ziegler-Devin I., Chrusciel L., Brosse N. (2021) Steam explosion pretreatment of lignocellulosic biomass: a mini-review of theoretical and experimental approaches. *Frontiers in Chemistry*, 9, 705358.

Zimele Z., Irbe I., Grinins J., Bikovens O., Verovkins A., Bajare D. (2020) Novel mycelium-based biocomposites (Mbb) as building materials. *Journal of Renewable Materials*, 8(9), 1067-1076.