

# Impact des microorganismes sur le comportement des matériaux biosourcés : dénombrement, caractérisations mécaniques et thermiques

Mohamad El Hajjar<sup>1</sup>, Sylvain Bourgerie<sup>2</sup>, Naima Belayachi<sup>1</sup>, Fabienne Brulé-Morabiot<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univ. Orléans, Univ. Tours, INSA-CVL, LaMé – EA794, 8 rue Léonard de Vinci, F-45072, Orléans, France

<sup>2</sup> Univ. Orléans LBLGC – EA1207, INRAe USC1328, BP6759, F-45067, Orléans, France

<sup>3</sup> Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS UPR 4301, Affilié avec l'Université d'Orléans – Pôle Universitaire Centre Val de Loire, Rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 2, France

mohamad.el-hajjar@univ-orleans.fr ; sylvain.bourgerie@univ-orleans.fr ; naima.belayachi@univ-orleans.fr ; fabienne.brule@cnrs.fr

**RESUME** L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact du développement des microorganismes sur le comportement des matériaux biosourcés destinés à l'isolation thermique des bâtiments. L'étude s'intéresse plus particulièrement à deux biocomposites avec deux formulations différentes à base de paille de blé, de chaux préformulée Tradical PF70, et des additifs issus de biomasses animales. Un dénombrement des microorganismes, avec deux milieux de culture différents, a été réalisé sur ces matériaux après un vieillissement accéléré pendant 6 mois dans des conditions favorisant le développement microbien. Les propriétés mécaniques et thermiques ont été étudiées après l'exposition des échantillons aux conditions de vieillissement permettant d'évaluer l'impact du développement microbien. Ce développement a dégradé les propriétés fonctionnelles d'un des deux matériaux, contenant des biomasses naturelles qui ont favorisé ce développement microbien.

**Mots-clés** matériaux biosourcés, dénombrement, résistance de compression, conductivité thermique

## I. INTRODUCTION

Ces dernières années, le développement des matériaux éco-biosourcés, à base de granulats végétaux, a pris un intérêt important et plus particulièrement pour l'isolation thermique et la réhabilitation énergétique des bâtiments (Belayachi et al. 2013, Ismail et al. 2020). Mais, l'absence de normes et de règles d'application spécifiques n'assure pas encore la bonne maîtrise de leur utilisation. Leur présence dans des conditions d'utilisation environnementales et/ou accidentelles (usage dans des salles à forte humidité, dégâts des eaux, ...) peut les exposer à un excès d'humidité. Ce contact permanent avec l'eau ou une humidité importante, et la nature biologique des matériaux peut être à l'origine d'un développement microbien. Des recherches sont faites d'une part sur les méthodes d'investigations microbiennes sur des matériaux de construction (Verdier et al. 2014), et d'autre part sur l'impact des microorganismes sur le béton chanvre (Marceau et al. 2016).

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de recherche MATBIO financé par la Région Centre Val de Loire. L'objectif du projet est d'étudier la biodégradation des matériaux biosourcés (dénombrement microbien et identification des micro-organismes) et de comprendre l'impact de ces mécanismes sur ces propriétés fonctionnelles. Dans cet article, nous nous intéressons à deux matériaux biosourcés issus des travaux précédents de l'équipe (Belayachi et al. 2013, Ismail et al. 2020), à base de paille céréalière préparés selon deux formulations différentes. Ces matériaux ont fait l'objet d'un apport d'additifs d'origine biologique. Après la cure de 28 jours, les échantillons ont été conservés dans des conditions de vieillissement microbien accéléré avec des conditions constantes d'humidité et de température de 90% et 30°C respectivement pendant 3 et 6 mois. Cet article présente les premiers résultats obtenus en termes de dénombrement des microorganismes et d'évaluation de leur impact sur les propriétés mécaniques et thermiques des matériaux choisis.

## II. MATERIAUX ET METHODES

### A. Matériaux

Les deux matériaux étudiés ici soumis à un vieillissement microbien accéléré ont été développés dans les travaux précédents pour l'isolation thermique des bâtiments. Le premier matériau MAT1 (Figure 1 à gauche) à base de paille et de chaux (Belayachi et al. 2013) est préparé en utilisant des rapports de Granulat/Liant (G/L) de 0,2 et d'Eau/Liant (E/L) de 1,1. Le deuxième matériau MAT2 (Figure 1 à droite) (Ismail et al. 2020) a été préparé avec le même rapport E/L= 1,1 et un rapport plus grand Granulat-Liant (G/L) de 0,3 avec l'utilisation de deux additifs d'origine animale : 5% d'hémoglobine pour créer une porosité plus importante dans la matrice et 2,5 % de caséine pour augmenter la résistance mécanique.



**FIGURE 1.** Matériaux biosourcés à base de paille : MAT1 (à gauche) et MAT2 (à droite)

### B. Technique de dénombrement (numération)

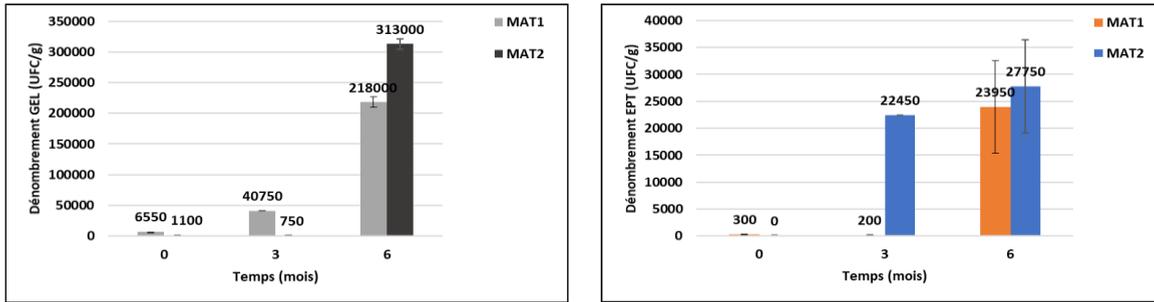
Le but de la technique de dénombrement est de déterminer la concentration en microorganismes présents pour une quantité donnée de matériau. La procédure a été réalisée comme suit : (1) Infusion pendant 10 min du Granulat (5 g) dans de l'eau peptonée stérile (50 ml) (2) Dilution de l'eau d'infusion au cinquième (3)\* Mise en culture des microorganismes sur Gélose à l'Extrait de Levure (GEL) : un milieu spécifique pour la culture des microorganismes aérobies et anaérobies, en majorité de type bactéries (3)\*\* Mise en culture des microorganismes sur milieu à l'Extrait de Pomme de Terre (EPT) : un milieu spécifique pour les aérobies seulement, en majorité de type champignons. (4) Dénombrement des microorganismes après 4 jours d'incubation à 25 °C.

### C. Essais mécaniques et thermiques

Le test de compression uniaxiale a été réalisé sur des échantillons mesurant 200x100x100 mm en utilisant une presse de compression Instron avec une vitesse de 0,5 mm/min. La mesure de la conductivité thermique des matériaux avant et après vieillissement microbien a été réalisée sur des échantillons d'une taille de 100x100x 50 mm en utilisant la méthode du fil chaud.

### III. RESULTATS ET DISCUSSION

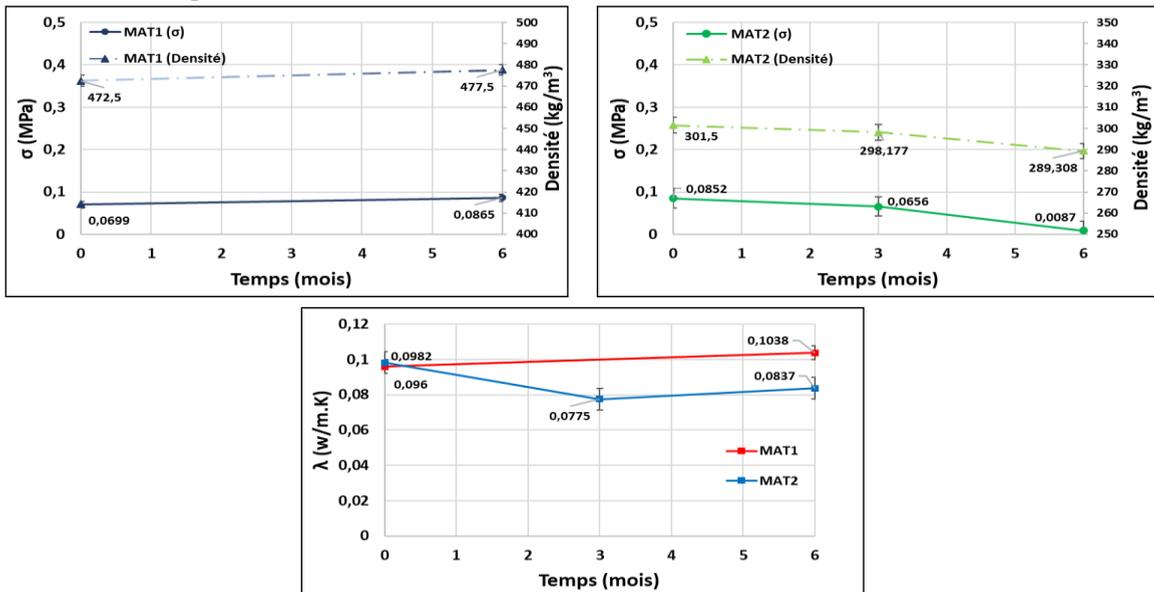
L'évolution du nombre d'UFC/g en fonction du temps est présentée dans la Figure 2 pour les deux matériaux biosourcés MAT1 et MAT2, avec les deux milieux de culture utilisés : le GEL et l'EPT.



**FIGURE 2.** Dénombrement en fonction du temps (0, 3 et 6 mois) des colonies microbiennes (UFC (units forming colony)/g de matériaux) présentes sur milieu GEL à dilution de  $10^{-4}$  (à gauche) et EPT à dilution  $10^{-1}$  (à droite), à partir des matériaux MAT1 et MAT2 (moyenne  $\pm$  ES ; n=2)

Les résultats du dénombrement sur le milieu GEL montrent (1) pour MAT1 une augmentation progressive du nombre de bactéries entre l'état initial et après vieillissement de 3 et 6 mois et (2) pour MAT1 et MAT2, une importante augmentation à 6 mois. En parallèle, sur le milieu EPT, on observe pour MAT2 une augmentation progressive du nombre des champignons entre 0, 3 et 6 mois alors que, MAT1 montre une importante augmentation à 6 mois. En comparant les deux matériaux, MAT2 a permis le développement de davantage de bactéries et de champignons que MAT1, à cause de sa composition ; MAT2 renferme en effet deux additifs, l'hémoglobine et la caséine, qui sont des biomasses d'origine naturelle favorisant le développement microbien.

La Figure 3 illustre l'évolution de la résistance de compression et de la conductivité thermique en fonction du temps des matériaux MAT1 et MAT2.



**FIGURE 3.** Résistance de compression (MAT1 en haut à gauche, MAT2 en haut à droite) et conductivité thermique (MAT1 et MAT2 figure en bas) en fonction du temps (0, 3 et 6 mois)

Le développement microbien observé sur MAT2 semble influencer la résistance mécanique de ce matériau avec une diminution de 86,6% entre 3 et 6 mois de vieillissement accéléré. Tandis que la

résistance mécanique de MAT1 n'a pas été modifiée pour cette même période. Il convient de noter également que le matériau MAT2 a montré une légère dégradation surfacique des échantillons.

De même, la conductivité thermique du MAT2 a diminué de 21% entre 0 et 3 mois. Tandis que pour MAT1, cette conductivité reste constante après ces conditions de vieillissement accéléré.

En comparant le comportement de deux matériaux, la biodégradation semble être à l'origine de la diminution de la résistance mécanique et la conductivité thermique, sans exclure complètement les changements de porosité liés au phénomène de carbonatation du liant. Cette biodégradation est liée non seulement aux granulats végétaux mais aussi aux additifs d'origine animale (hémoglobine et caséine) présents dans le matériau MAT2. Ces additifs constituent un environnement favorable au développement microbien à cause de leur composition riche en nutriment (magnésium, potassium, calcium). Le liant à base de chaux a un effet plus curatif grâce à son alcalinité (Delannoy et al. 2020). Si on considère que le problème de l'interface granulats-liant qui peut influencer les propriétés est le même pour les deux matériaux, cette dégradation significative est en lien direct avec la biodégradation de la biomasse plus importante dans le matériau MAT2.

#### IV. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'évaluer le développement des microorganismes et leur impact sur le comportement des matériaux biosourcés. Le vieillissement accéléré mis en œuvre a permis de suivre le développement microbien et son impact sur leurs propriétés. Les deux milieux de culture utilisés sont appropriés pour suivre la culture des bactéries et des champignons sur les matériaux d'étude. Les résultats de dénombrement ont montré un développement important des microorganismes entre 3 et 6 mois. Cependant, l'impact de ce développement microbien sur les deux matériaux était différent avec un effet plus significatif sur les propriétés physiques et mécaniques du matériau à base de paille chaux et renfermant les additifs de nature biologique.

#### V. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient « La Région Centre Val de Loire » pour le soutien financier du projet de recherche MATBIO.

#### REFERENCES

- Belayachi, Naima, Marwen Bouasker, Dashnor Hoxha, et Muzahim Al-Mukhtar. « Thermo-Mechanical Behaviour of an Innovant Straw Lime Composite for Thermal Insulation Applications ». *Applied Mechanics and Materials* 390 (août 2013): 542-46. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.390.542>.
- Delannoy, Guillaume, et al. "Durability of hemp concretes exposed to accelerated environmental aging." *Construction and Building Materials* 252 (2020): 119043.
- Ismail, Brahim, Naima Belayachi, et Dashnor Hoxha. « Optimizing Performance of Insulation Materials Based on Wheat Straw, Lime and Gypsum Plaster Composites Using Natural Additives ». *Construction and Building Materials* 254 (septembre 2020): 118959. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118959>.
- Marceau, Sandrine, Sabine Caré, et Pilar Lesage. "Matériaux biosourcés et naturels pour une construction durable." Séminaire MABIONAT. 2016.
- Verdier, Thomas, Marie Coutand, Alexandra Bertron, et Christine Roques. « A Review of Indoor Microbial Growth across Building Materials and Sampling and Analysis Methods ». *Building and Environment* 80 (octobre 2014): 136-49. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.030>