

---

# Évaluation de la durabilité de matériaux de construction biosourcés

Marie Viel<sup>1</sup>, Florence Collet<sup>1</sup>, Yann Lecieux<sup>2</sup>, Marc François<sup>2</sup>, Valentin Colson<sup>1,3</sup>, Christophe Lanos<sup>1</sup>, Atif Hussain<sup>4</sup> et Mike Lawrence<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université de Rennes, Laboratoire Génie Civil et Génie Mécanique, BP 90422, Rennes, France  
marie.viel@univ-rennes1.fr

<sup>2</sup> Université de Nantes, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, BP 92208, Nantes, France

<sup>3</sup> CAVAC Biomatériaux, Le Fief Chapitre, Sainte Gemme la Plaine, France

<sup>4</sup> BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, BA2 7AY, United Kingdom

---

**RÉSUMÉ.** La fabrication de matériaux isolants pour le bâtiment obtenus à partir de la valorisation des agro-ressources est une voie prometteuse tant au niveau écologique qu'au regard des performances hygrothermiques de ces composites. Toutefois, le manque d'information relatif à leur résistance au développement fongique limite leur emploi. Le développement des moisissures est en effet de nature à occasionner des problèmes de santé et à générer des endommagements. Il existe donc un besoin de classer les matériaux en fonction de leur résistance à la prolifération des moisissures et à la désintégration afin de les utiliser de manière appropriée. L'objectif de cette communication est de proposer un protocole permettant de qualifier les composites biosourcés au regard de leur performance. Un essai de vieillissement accéléré a été réalisé sur 5 composites constitués de deux agro-ressources différentes (chanvre et colza) avec des liants différents. Il consiste à exposer les échantillons à une température de 30°C et une humidité relative de 90 %RH pendant trois mois. Au cours de l'essai, les échantillons sont régulièrement photographiés et pesés. L'évolution de deux indicateurs est ainsi mesurée au cours du temps : la perte de masse de l'échantillon et le pourcentage de sa surface externe contaminée par les moisissures. A la fin de l'essai, une observation microscopique permet d'identifier les espèces des moisissures qui ont contaminés le composite.

**ABSTRACT.** The production of insulating materials for buildings obtained from the valorization of agro-resources is a promising way both in terms of ecology and hygrothermal performances of these composites. However, the lack of information on their resistance to mold development limits their use. The mold development is indeed likely to cause health problems and to induce damage. There is therefore a need to classify the materials according to their resistance to mold growth and disintegration in order to use them appropriately. The purpose of this paper is to propose a test method that qualifies biobased composites with respect to their performance. An accelerated aging test was carried out on 5 composites made with two different agro-resources (hemp and rape) with different binders. It consists in exposing the specimens to a temperature of 30°C and a relative humidity of 90 %RH for three months. During the test, the specimens are regularly photographed and weighed. The evolution of two indicators is thus measured over time: the sample mass and the percentage of its external surface contaminated by fungi. At the end of the test, a microscopic view makes it possible to identify the species of the molds which have contaminated the composite.

**MOTS-CLÉS :** Matériaux de construction, Résistance à la dégradation, Croissance des moisissures, Chènevottes, Paille de colza, Corrélation d'images numériques.

**KEYWORDS:** Construction materials, Decay resistance, Mold growth, Hemp shiv, Rape straw, DIC (Digital Image Correlation).

---

## 1. Introduction

Le développement de matériaux de construction isolants obtenus à partir de la valorisation de sous-produits de l'agriculture locale (panneaux de chènevotte de chanvre, anas de lin, paille,...) est actuellement en plein essor. Leurs principaux atouts sont leurs performances hygrothermiques comparables ou supérieures à celles des matériaux de construction usuels. Cependant, un facteur limitant la mise sur le marché des composites biosourcés est leur résistance supposée médiocre à la colonisation fongique en raison de leur composition (cellulose, hémicellulose, lignine, protéines..) potentiellement favorable à la croissance des moisissures.

Les moisissures rassemblent une grande variété de micro-organismes, formés principalement par des champignons microscopiques et des levures. Ces microorganismes se développent très rapidement, propageant leurs spores et mycélium. Ils peuvent déjà se trouver à l'intérieur des matériaux de construction (murs, cloisons, plafonds ...) ou bien pénétrer dans les habitations via le système de ventilation. L'apparition des moisissures est liée à la présence d'eau libre dans les matériaux. Leur croissance peut être induite par plusieurs facteurs, comme par exemple : les inondations ou fuites d'eau (toiture ou tuyauterie), la mauvaise aération de pièces humides (cuisine, salle de bain ...), ou les défauts d'étanchéité des bâtiments [NEV 05, NIE 04]. Bien que les moisissures soient naturellement présents dans l'atmosphère sans incidence pour l'homme, des concentrations élevées peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. Les fragments mycéliens peuvent être présents dans l'air ambiant et être inhalés. Leurs parois contiennent des glucanes (sucre complexe) aux propriétés inflammatoires. Les spores peuvent également provoquer des réactions allergiques telles que la rhinite allergique ou l'aggravation des symptômes de l'asthme. En outre, les moisissures libèrent des toxines dont la toxicité peut persister après la croissance des organismes. La prévention des moisissures dans les logements neufs et existants n'est donc pas seulement un problème esthétique, mais aussi une question de santé publique et d'hygiène [MUR 03, NEV 05]. Il existe donc un besoin concomitant de classer les matériaux en fonction de leur résistance au développement fongique afin de les utiliser de manière appropriée. L'objectif de cette communication est ainsi de proposer un protocole de test permettant de qualifier les composites biosourcés au regard de ce critère de performance de résistance au développement.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

Deux types de granulats : les chènevottes et la paille de colza, sont utilisés dans cette étude. Les chènevottes proviennent d'un produit commercial (Biofibat - CAVAC, France) couramment utilisé pour produire du béton de chanvre. La paille de colza (fournie par le CAVAC, France) correspond à la partie résiduelle suite au battage du colza qui est couramment utilisée comme paillage, alimentation ou litière animale.

A partir de la paille de colza ou des chènevottes, il est possible d'obtenir une grande variété de composites. Par exemple avec des matières brutes ou pré-traitées, mélangées avec un liant ou sans liant, avec des additifs ou non. Cinq formulations pertinentes au regard du critère de performance d'isolation thermique ont été sélectionnées pour produire des échantillons (notés C1 à C5).

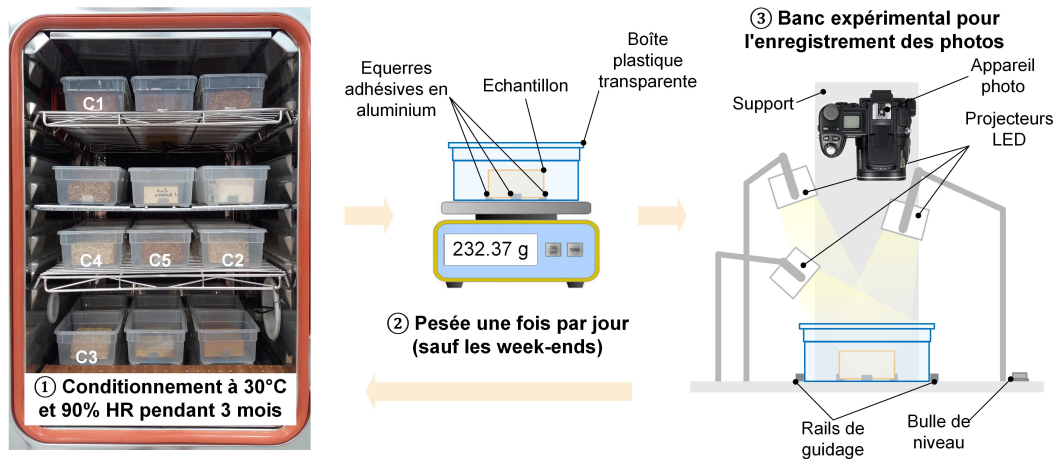
### 2.2. Méthode

Les échantillons sont testés sans stérilisation préalable ou inoculation de moisissure pour reproduire fidèlement une situation d'exposition réelle. Pour chaque formulation, trois échantillons sont testés. Chaque échantillon est placé dans une boîte en plastique afin d'empêcher la contamination entre les échantillons. Après stabilisation à 23°C, 50 %HR, les tests de vieillissement biologique sont réalisés dans une enceinte climatique (Vötsch VC0034). La simulation de vieillissement accéléré consiste à maintenir les échantillons à une température de 30°C et une humidité relative de 90 %HR pendant trois mois. La procédure de test est schématisée par la Figure 1. Après la période d'essai de trois mois, l'identification des moisissures qui se développent sur la surface des composites infectés est réalisée à l'aide d'un microscope optique. Pour l'analyse, deux indicateurs sont choisis :

– La variation de masse à partir du point d'équilibre en fonction de la surface d'échange (y compris les surfaces horizontales supérieure et latérale de l'échantillon) ;

– Le pourcentage de la surface contaminée par les moisissures par rapport à la surface totale. L'analyse de la croissance des moisissures est effectuée grâce à un algorithme de corrélation d'image virtuelle utilisé pour traiter des photographies d'un même composite enregistrées à différentes échéances. La première image d'une série est supposée ne pas contenir de moisissures tandis que la présence des moisissures est quantifiée sur les images

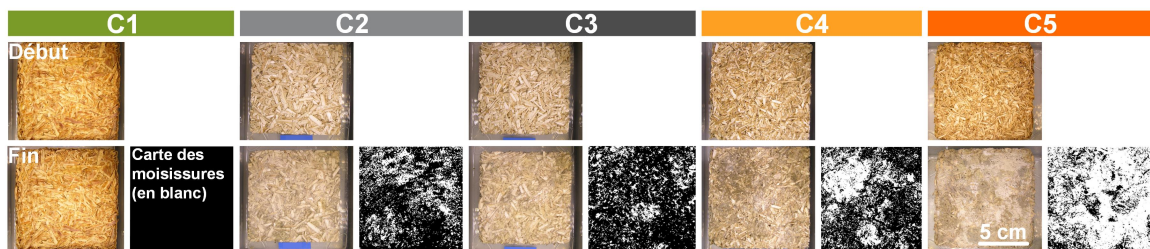
suivantes. Un algorithme de corrélation d'image est utilisé pour évaluer le champ de déplacement relatif à une déformation homogène et à un mouvement de corps rigide entre l'image de référence et une image photographiée à une échéance ultérieure. La particularité de cette étude est que ce n'est pas le champ de déplacement (l'information naturellement calculée grâce à la DIC) qui est l'information pertinente mais la carte des erreurs de corrélation. En effet, si un objet apparaît entre les deux photographies (par exemple une zone de moisissures), elle sera visible sur cette carte d'erreur. A partir de cette dernière, une opération de binarisation de type seuillage permet d'isoler l'artefact, recherché : la zone contaminée. Pour finir, il suffit de compter le nombre de pixels blancs et de pixels noirs dans l'image pour obtenir le pourcentage de surface contaminée par les moisissures.



**Figure 1.** Dispositif expérimental du test de vieillissement accéléré : conditionnement, suivi massique et enregistrement photos

### 3. Résultats

La figure 2 montre les images des échantillons C1 à C5 au début et à la fin de la période d'essai. L'inspection visuelle indique que lors de ce test, la formulation C1 ne présente aucun développement fongique. Les autres formulations montrent des surfaces plus ou moins contaminées. Les composites C3 ont la surface la moins infectée alors que le composite C5 a la surface la plus infectée. Les multiples couleurs de moisissure (gris, blanc et jaune) suggèrent qu'au moins deux types de moisissures ont contaminé la surface des composites.

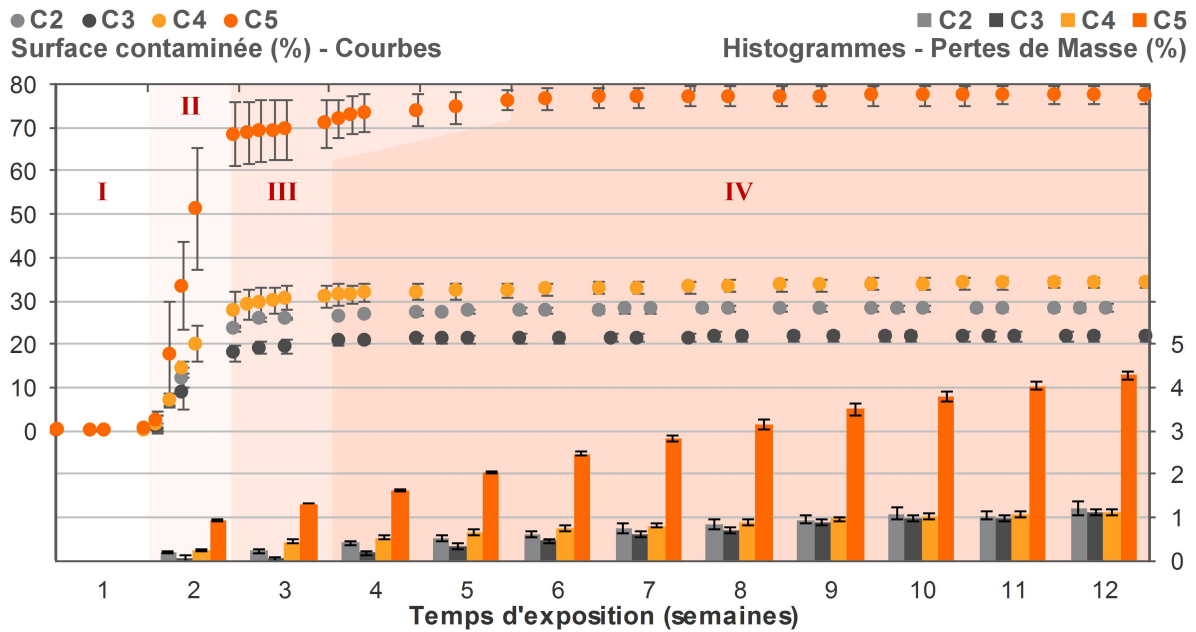


**Figure 2.** Les différents composites lors du premier et du dernier jour du test de vieillissement accéléré

Lors de la première semaine d'exposition, tous les échantillons montrent une augmentation de la masse due à l'adsorption de la vapeur d'eau conduisant à une teneur en eau d'environ 20 %. Ensuite, seule la formulation C1 poursuit sa prise en masse et atteint 54 % de teneur en eau. A partir d'une semaine, les autres formulations vont perdre en masse de manière linéaire. La formulation C5 est celle qui a la perte de la masse la plus importante alors que les 3 autres formulations ont une perte de masse plus faible et similaire. Cette perte de masse est présentée sur les histogrammes de la figure 3.

L'analyse d'image de la croissance fongique sur la surface des composites au cours de la période d'essai à 30°C et 90 %HR est représentée sur la figure 3 (marqueurs ronds). Pour tous les échantillons, il y a une augmentation substantielle de la croissance au cours de la deuxième semaine qui correspond à la phase de croissance exponentielle (II). Entre la deuxième et la quatrième semaines, la vitesse de croissance régresse. Cela correspond à la phase de ralentissement (III). En effet, cela est dû à un épuisement du milieu de culture (composites) et une accumulation des déchets. A partir de la quatrième semaine et jusqu'à la fin du test, le pourcentage de surface contaminée a atteint un palier. Cela signifie que la croissance devient nulle et donc que les moisissures qui se multiplient remplacent celles qui meurent. Cela correspond à la phase maximale stationnaire (IV) [LEV 01].

Trois types de moisissures ont été identifiées sur chacune des surfaces des 4 composites contaminés (C2, C3, C4 et C5) à la suite d'une visualisation microscopique. Il s'agit du *Penicillium Brevicompatum*, de l'*Eurotium Rubrum* et de l'*Aspergillus Ruber* [BOT 85]. Ces trois espèces de moisissures sont potentiellement allergènes.



**Figure 3.** Perte de masse et variation de la surface contaminée des différents composites, du point d'équilibre : 23°C, 50 %HR à 30°C, 90 %HR) corrélées aux différentes phases de croissance fongique qui sont : (I) Phase de latence, (II) Phase exponentielle, (III) Phase de ralentissement et (IV) Phase de stabilisation

#### 4. Conclusion

Un protocole d'évaluation du critère de résistance à la contamination par les moisissures des composites biosourcés est proposé. Il est reproductible de manière simple puisqu'il ne requiert aucun équipement sophistiqué (une enceinte climatique, un appareil photographique et un microscope). Il diffère des méthodes d'évaluation actuelles de la croissance fongique sur les matériaux intrusives et basées sur des évaluations visuelles subjectives. L'analyse d'image totalement non intrusive a permis une évaluation rapide et quantitative de la croissance des moisissures, essentiellement pendant les 20 premiers jours tandis que la pesée a fourni des informations sur les dégradations subies par les composites à plus long terme. La formulation C1 est la plus résistante au développement fongique. Cela étant dû à un pH de surface égal à 10. Les autres formulations ont un pH inférieur ou égal à 6 et présentent donc un développement fongique plus ou moins important au cours des 3 mois d'essais à 30°C et 90 %HR.

#### Remerciements

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne en vertu de la convention de subvention n°636835. Merci à Tony Hautecoeur pour sa participation à la réalisation de ces travaux.

#### Bibliographie

- [BOT 85] BOTTON B., BRETON A., FEVRE M., GUY P., LARPENT J., VEAU P., *Moisissures utiles et nuisibles : importance industrielle*, Collection Biotechnologies, Masson, Paris, 1985.
- [LEV 01] LEVEAU J.-Y., LARPENT J.-P., BOUIX M., "Sécurité microbiologique des procédés alimentaires", *Techniques de l'ingénieur. Bioprocédés*, n° F1120, 2001.
- [MUR 03] MURTONIEMI T., HIRVONEN M.-R., NEVALAINEN A., SUUTARI M., "The relation between growth of four microbes on six different plasterboards and biological activity of spores", *Indoor Air*, vol. 13, n° 1, p. 65–73, mars 2003.
- [NEV 05] NEVALAINEN A., SEURI M., "Of microbes and men", *Indoor Air*, vol. 15, p. 58–64, juin 2005.
- [NIE 04] NIELSEN K., HOLM G., UTTRUP L., NIELSEN P., "Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism", *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 54, n° 4, p. 325–336, décembre 2004.