



Développement d'une méthode d'évaluation de la durabilité : application à des composites biosourcés

M. Viel^{1,2}, F. Collet¹, Y. Lecieux², M. François², V. Colson^{1,3},
C. Lanos¹, A. Hussain⁴ et M. Lawrence⁴

¹Université de Rennes, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique

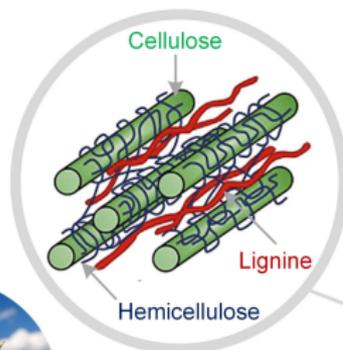
²Université de Nantes, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique

³CAVAC Biomatériaux

⁴Université de Bath, Département d'Architecture et de Génie Civil

Journées thématiques du GIS ECND PdL
13 Novembre 2018

Introduction



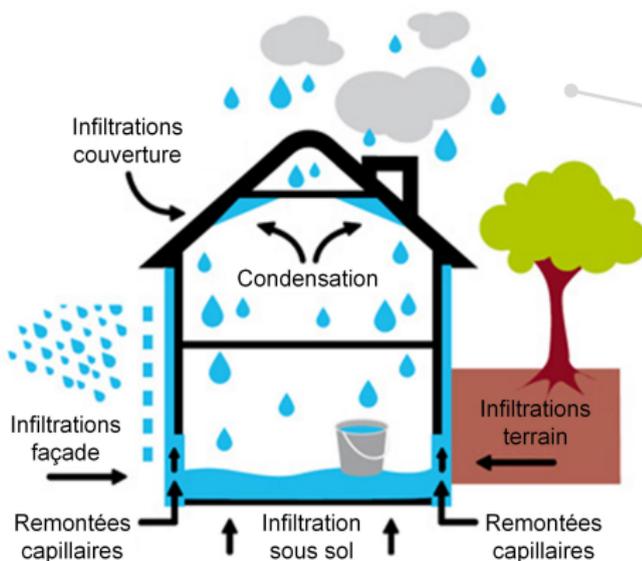
Transformation



**Matériaux destinés à
l'isolation des bâtiments**

- ➔ Bonnes propriétés hygro-thermiques ;
- ➔ Sensibles au développement des moisissures.

Introduction



Micro-organismes
présents dans l'air parmi
lesquels se trouvent des
spores et des mycéliums
appartenant à des
moisissures.

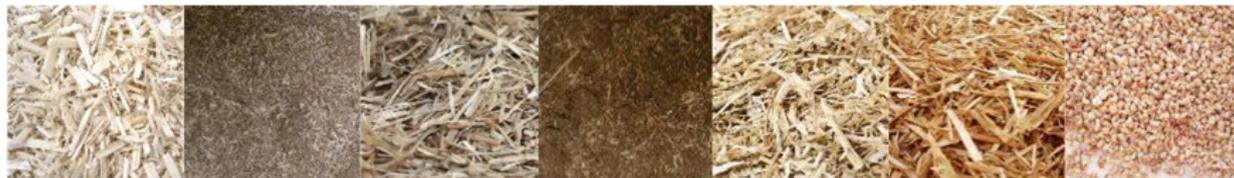
Objectif

Développer une méthode afin de tester la résistance au développement des moisissures de composite biosourcés.

Matériels

NATURALLY HIGH
PERFORMANCE
INSULATION**isobio**

: Projet Européen qui a pour but le développement d'un isolant biosourcé.



Chênevottes

Fines de
chanvre

Anas de lin

Fines de lin

Paille de colza

Paille de blé

Rafles de maïs

+

Liants verts

Liants Sol-Gel

Liants verts avec
l'ajout de Sol-Gel

Liants minéraux

Mousses
minérales

=

Isolants biosourcés

- Caractérisation hydrique, thermique et mécanique des composites ;
- Uniquement les formulations les plus prometteuses subissent les tests de durabilité.

Matériels

C1
Colza traitéC2
Chênevottes
Dérivé d'amidon
RéticulantC3
Chênevottes
Dérivé d'amidon
Réticulant
ParaffineC4
Chênevottes
traitéesC5
Chênevottes
traitées
Dérivé d'amidon
Réticulant

ρ (kg/m ³)	287.66 ± 9.49	181.02 ± 2.82	184.21 ± 1.51	173.92 ± 6.11	203.10 ± 4.20
-----------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

pH	10	6	6	4	6
----	----	---	---	---	---

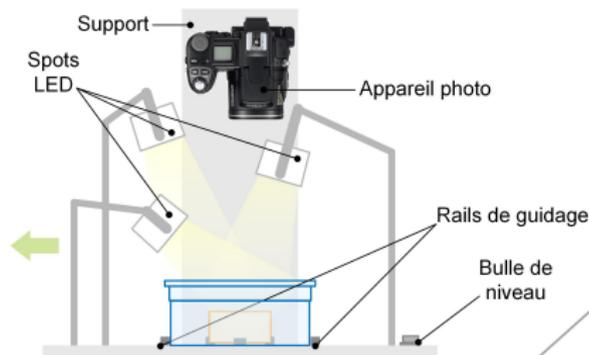
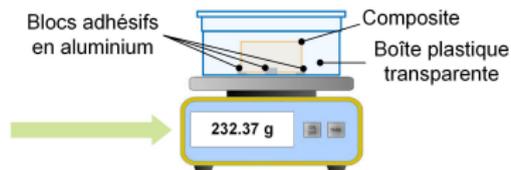
- Masse volumique apparente comprise entre 170 et 280 kg/m³;
- Le traitement des granulats et les liants utilisés ont une influence sur le pH de surface des composites.

Méthode

② Pesée une fois par jour



① Conditionnement à 30°C et 90%HR pendant 3 mois



③ Banc expérimental pour la prise des photos

- 0 : 0 % ;
- 1 : moisissures visibles au microscope ;
- 2 : < 25 % ;
- 3 : < 50 % ;
- 4 : < 75 % ;
- 5 : > 75 %.

Évaluation subjective

avec la norme BSI
EN ISO 846 – 1997

Évaluation non subjective
avec la DIC

Digital Image Correlation (DIC)

Échantillon au temps t_0

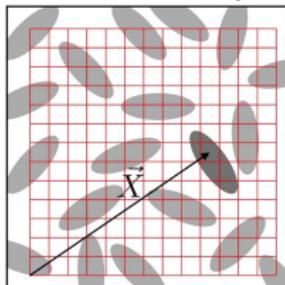


Image f

Échantillon au temps t

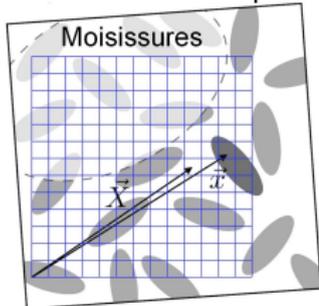


Image g

Champ de déplacement : $x = X + u$

Paramétrage : $x = F(X + T)$

T est un vecteur de translation défini par deux paramètres :

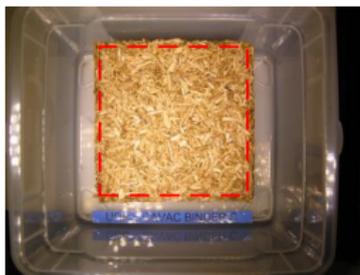
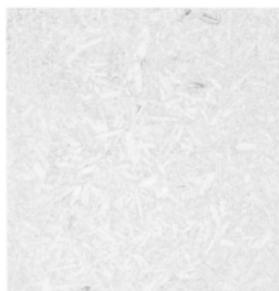
- $\lambda_1 = T_1$
- $\lambda_2 = T_2$

F est le tenseur gradient de la transformation défini par 4 paramètres :

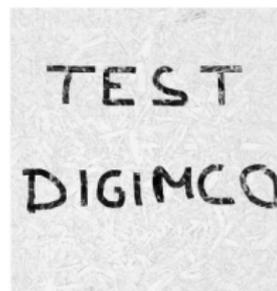
- $\lambda_3 = F_{11} - 1$
- $\lambda_4 = F_{12}$
- $\lambda_5 = F_{21}$
- $\lambda_6 = F_{22} - 1$

Fonction à minimiser : $\varphi(\lambda_i) = \sum_{X \in Z_i} (g(x) - f(X))^2$

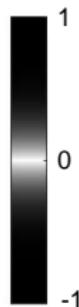
Détection de changement

a) Photo d'origine au temps t_0 b) Photo au temps t c) Photo modifiée au temps t 

d) Erreur de corrélation entre les images a & b



e) Erreur de corrélation entre les images a & c



Procédure d'analyse d'image - 1



a) Image d'origine au temps t_0



b) Image au temps $t = t_0 + 2$ jours

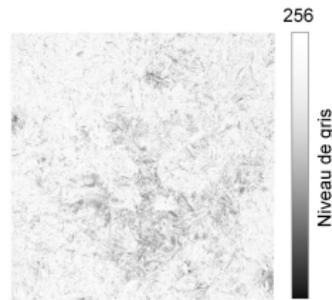


c) Image au temps $t = t_0 + 16$ jours

Etape I : DIC



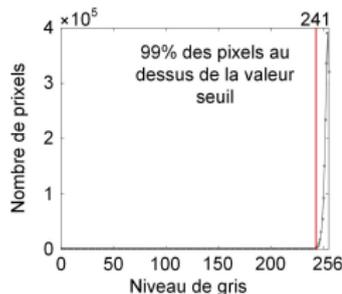
d) Erreur de corrélation entre les images a & b



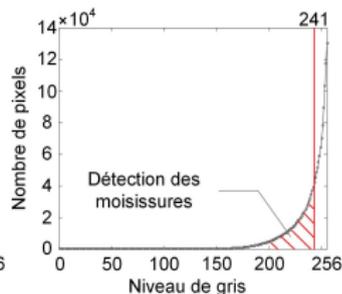
e) Erreur de corrélation entre les images a & c

Procédure d'analyse d'image - 2

Étape II : Binarisation



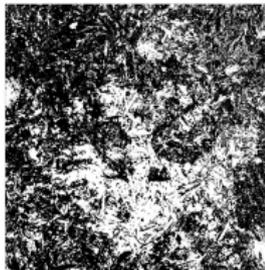
f) Distribution du niveau de gris de l'image d



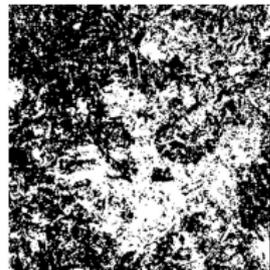
g) Distribution du niveau de gris de l'image e

Étape III : Post-traitement :

- Seuillage ;
- Fermeture puis ouverture morphologique de l'image ;
- Pourcentage de la surface contaminée.



h) Image g après seuillage



i) Image h après traitement du bruit : détection des moisissures

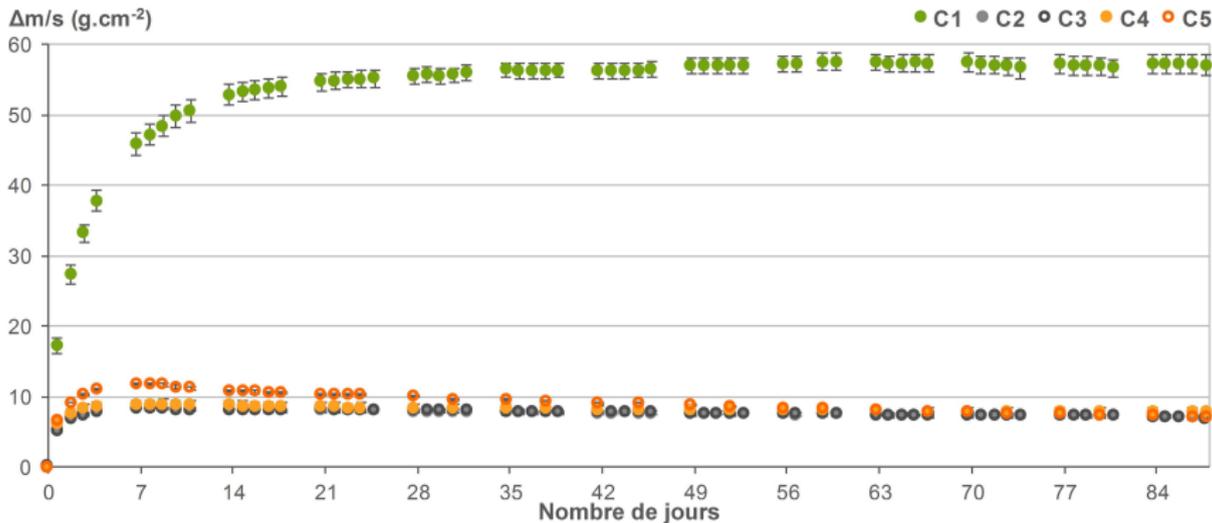
Analyse visuelle

	C1	C2	C3	C4	C5
Au début					
12 semaines					
	0.50 ± 0.76 0%	3.13 ± 0.83 > 25 % et < 50 %	2.88 ± 0.64 < 25 %	3.38 ± 0.74 > 25 % et < 50 %	5.00 ± 0.00 > 75 %

Norme BSI EN ISO 846 – 1997

0 : 0 % ; 1 : moisissures visibles au microscope ; 2 : < 25 % ; 3 : < 50 % ; 4 : < 75 % ; 5 : > 75 %.

Suivi de masse



- Après 7 jours : Augmentation de la masse → 20 % de teneur en eau ;
- C1 : 54 % de teneur en eau à la fin de l'essai ;
- C2, C3, C4 et C5 : Perte de masse après 7 jours d'essai ;
- C5 : Perte de masse la plus importante.

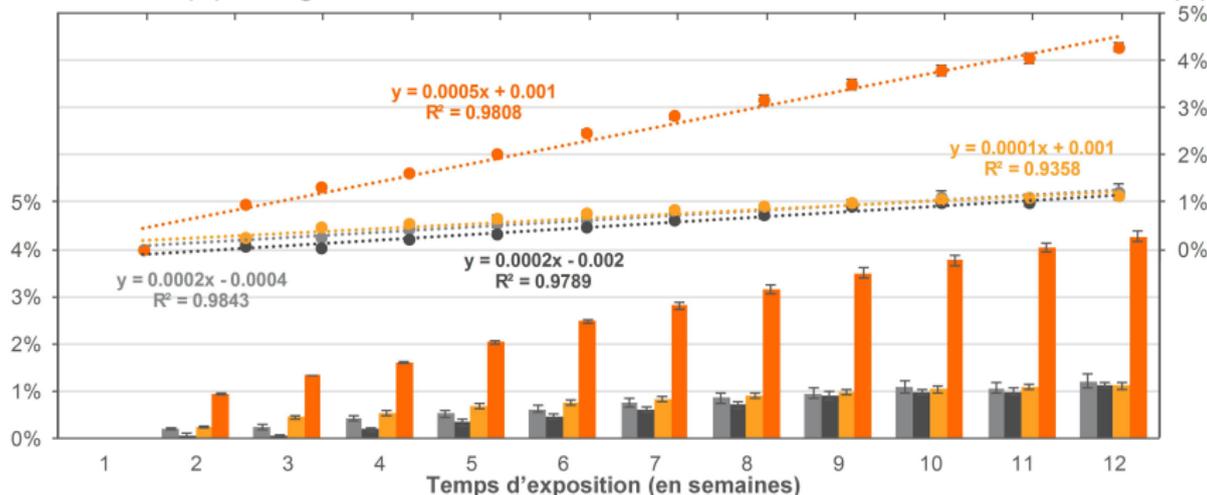
Perte de masse

■ C2 ■ C3 ■ C4 ■ C5

Perte de masse (%) - Histogrammes

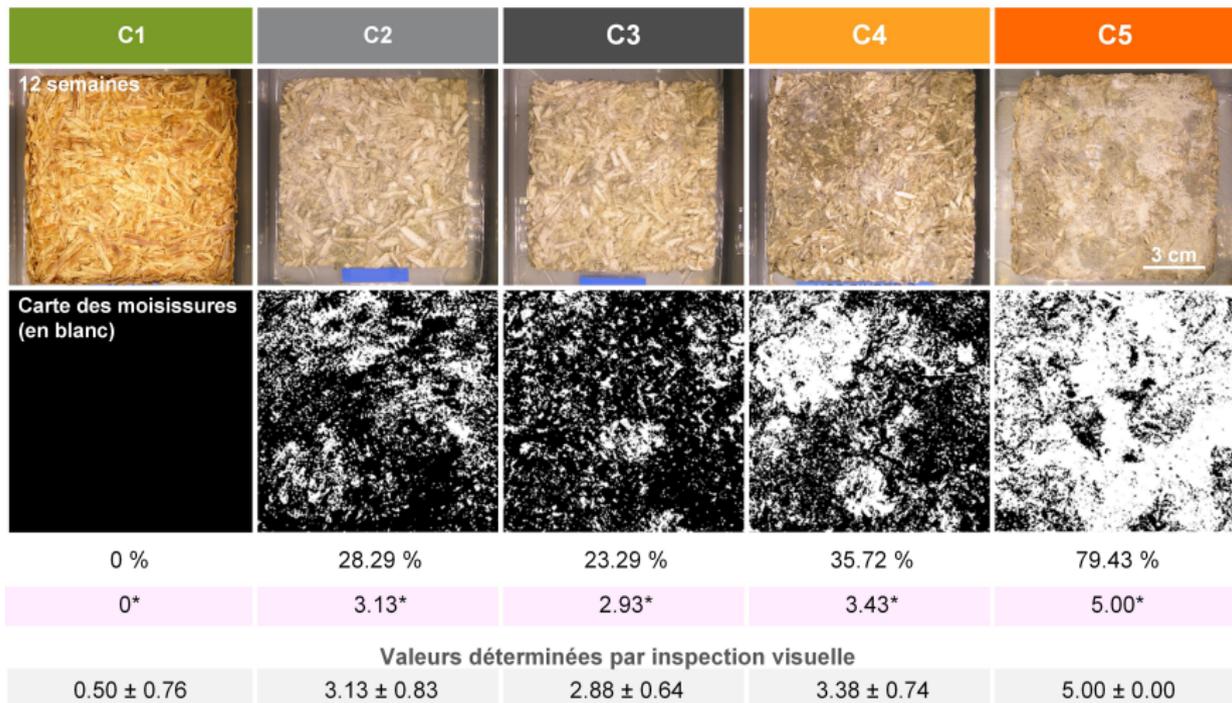
● C2 ● C3 ● C4 ● C5

Courbes – Perte de masse (%)



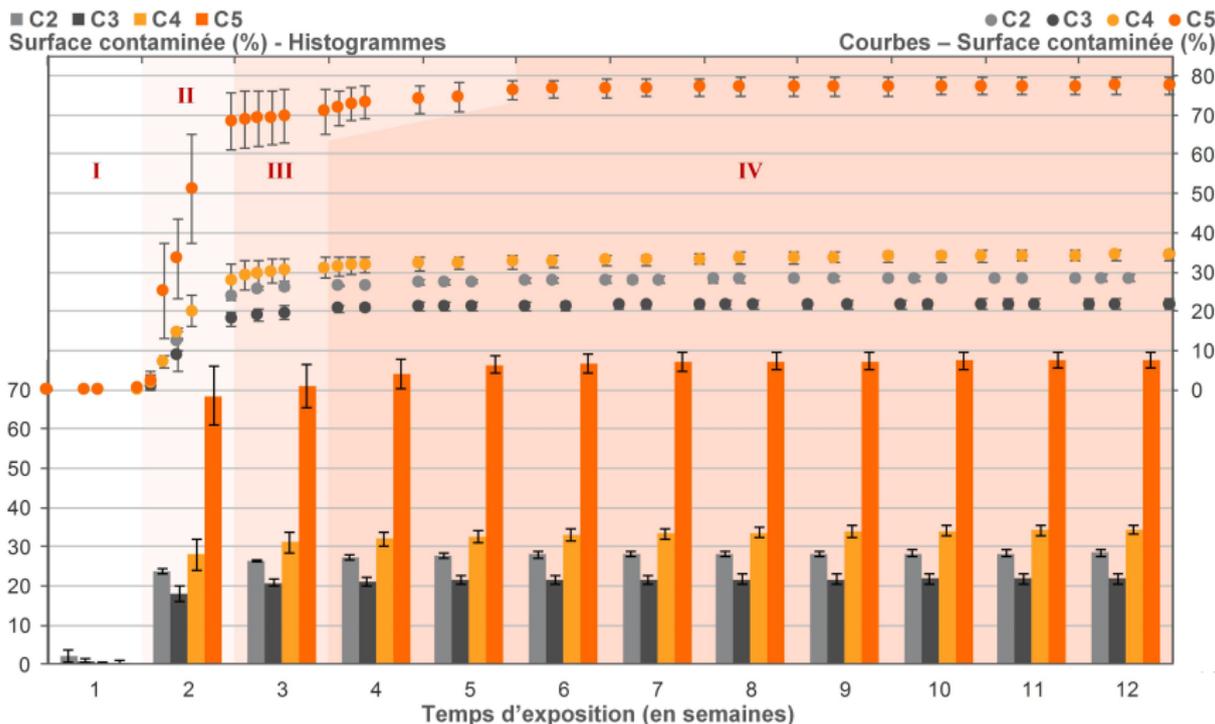
- C2, C3, C4 et C5 : Perte de masse linéaire avec de bons coefficients de corrélation;
- C5 : Perte de masse la plus importante (4.28 %);
- C2, C3 et C4 : Perte de masse similaire (~ 1.15 %);
- C3 : Perte de masse la moins importante → Imperméabilité à l'eau de la paraffine.

Digital Image Correlation (DIC)

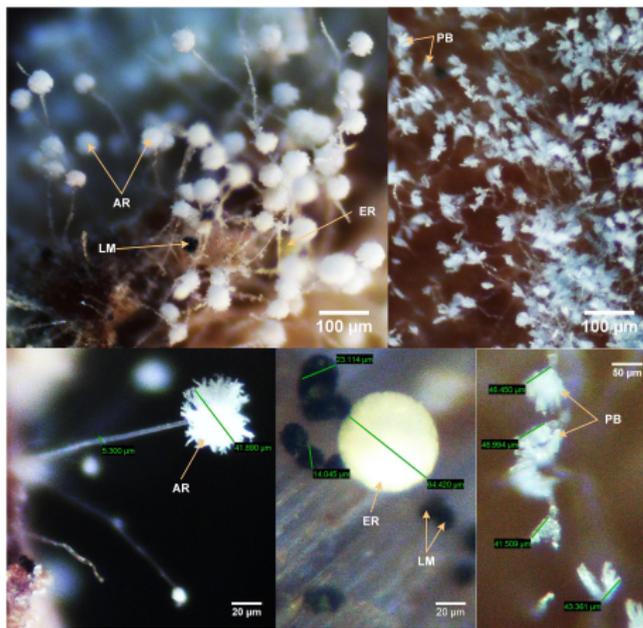


*Sur la même échelle que la norme BSI EN ISO 846 – 1997.

Digital Image Correlation (DIC)



Microscopie optique

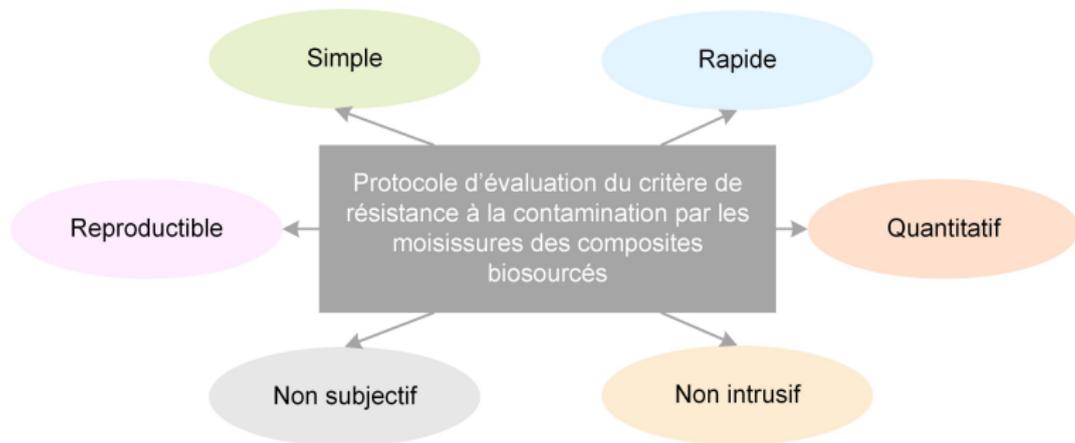


- Toutes ces moisissures sont potentiellement allergènes car elles contiennent des substances inflammatoires ;
- AR, PB et ER : Colonies primaires ;
- LM : Colonies secondaires.

Légende :

- AR : *Aspergillus Ruber* ;
- PB : *Penicillium Brevicomactum* ;
- ER : *Eurotium Rubrum* ;
- LM : *Leptosphaeria maculans*.

Conclusion & Perspective



- **Analyse d'image** : évaluation rapide et quantitative de la croissance fongique;
- **Suivi massique** : informations sur les dégradations subies à long terme;
- Un pH élevé confère une excellente résistance fongique.

- **Augmenter la durée du test** pour évaluer les dégradations des composites par les colonies secondaires.

Merci de votre attention.



Des questions ?

M. Viel, F. Collet, Y. Lecieux, M. L. M. François, V. Colson, C. Lanos, A. Hussain and M. Lawrence, Resistance to mold development assessment of bio-based building materials, *Composites Part B*, 158, February 2019, p. 406-418.