



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

M. Viel<sup>1,2</sup>, F. Collet<sup>1</sup>, Y. Lecieux<sup>2</sup>, M. François<sup>2</sup>, V. Colson<sup>1,3</sup>,  
C. Lanos<sup>1</sup>, A. Hussain<sup>4</sup> et M. Lawrence<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université de Rennes, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique

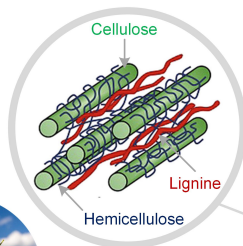
<sup>2</sup>Université de Nantes, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique

<sup>3</sup>CAVAC Biomatériaux

<sup>4</sup>Université de Bath, Département d'Architecture et de Génie Civil

Journées thématiques du GIS ECND PdL  
13 Novembre 2018

# Introduction



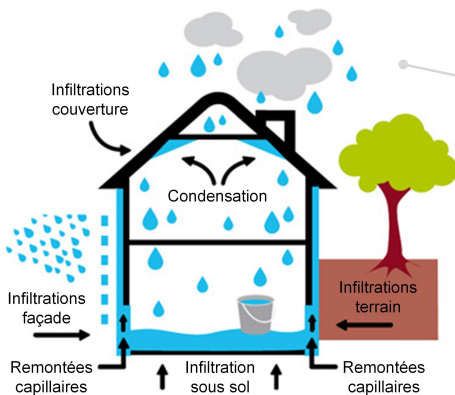
Transformation



**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

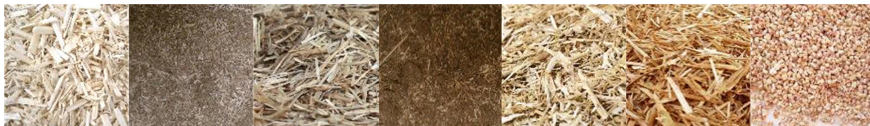
Développer une méthode afin de tester la résistance au développement des moisissures de composite biosourcés.

# Matériels

NATURALLY HIGH  
PERFORMANCE  
INSULATION**isobio**

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

CAVAC



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

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	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
----	----	---	---	---	---

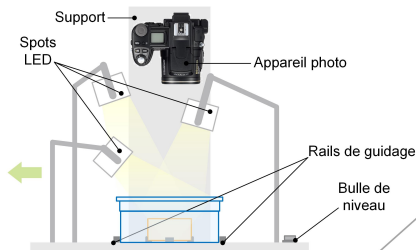
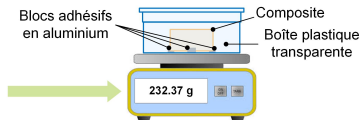
- Masse volumique apparente comprise entre 170 et 280 kg/m<sup>3</sup>;
- Le traitement des granulats et les liants utilisés ont une influence sur le pH de surface des composites.

# 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  $t_0$

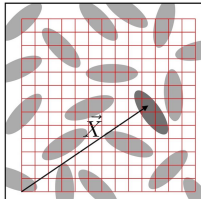


Image  $f$

Échantillon au temps  $t$

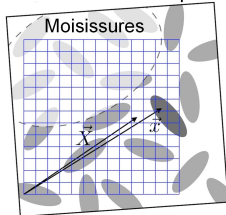


Image  $g$

Champ de déplacement :  $x = X + u$

Paramétrage :  $x = F(X + T)$

$T$  est un vecteur de translation défini par deux paramètres :

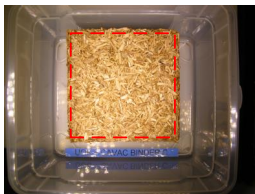
- $\lambda_1 = T_1$
- $\lambda_2 = T_2$

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

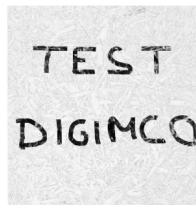
- $\lambda_3 = F_{11} - 1$
- $\lambda_4 = F_{12}$
- $\lambda_5 = F_{21}$
- $\lambda_6 = F_{22} - 1$

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

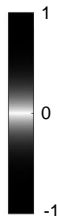
# Détection de changement

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 &amp; b



e) Erreur de corrélation entre les images a &amp; c

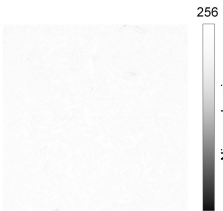
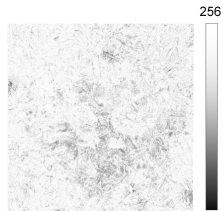




# Procédure d'analyse d'image - 1

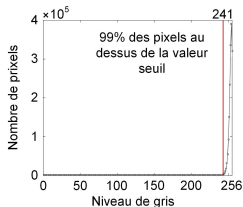
a) Image d'origine au temps  $t_0$ b) Image au temps  $t = t_0 + 2$  joursc) Image au temps  $t = t_0 + 16$  jours

## Etape I : DIC

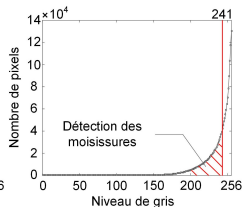
d) Erreur de corrélation  
entre les images a & be) Erreur de corrélation  
entre les images a & c

# Procédure d'analyse d'image - 2

## Étape II : Binarisation



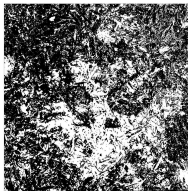
f) Distribution du niveau de gris de l'image d



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.










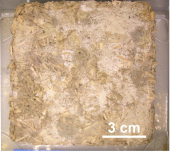


h) Image g après seuillage



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

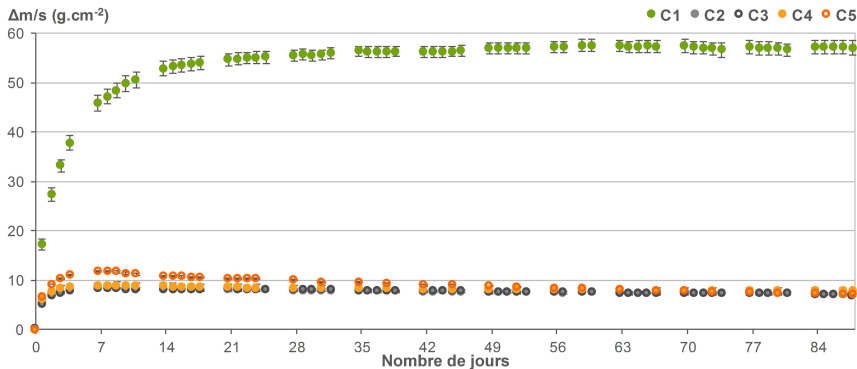
# Analyse visuelle

	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.

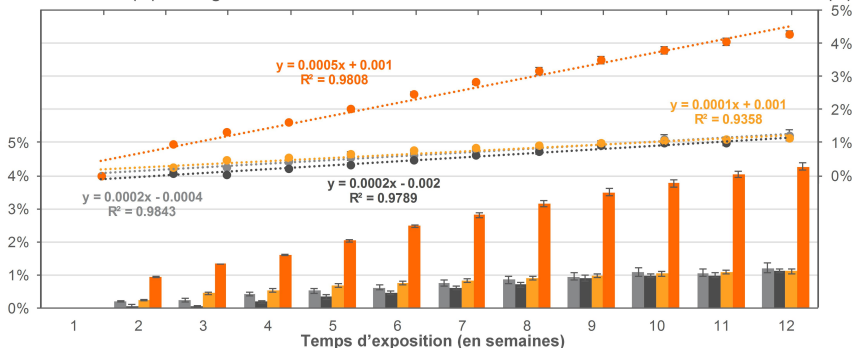
# Perte de masse

■ C2 ■ C3 ■ C4 ■ C5

Perte de masse (%) - Histogrammes

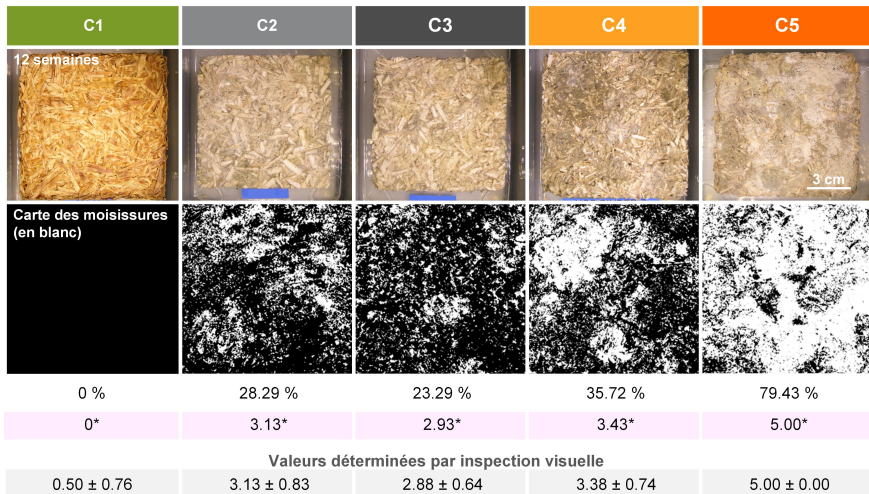
● C2 ● C3 ● C4 ● C5

Courbes – Perte de masse (%)



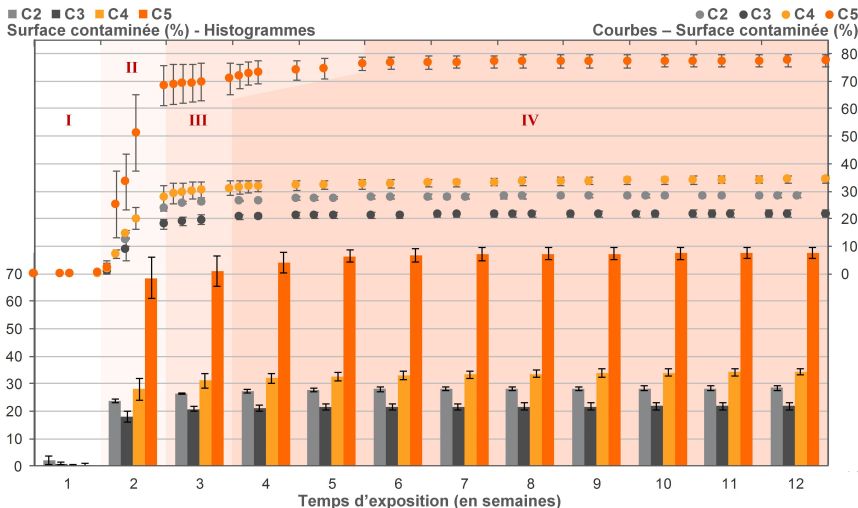
- C2, C3, C4 et C5 : Perte de masse linéaire avec de bons coefficients de corrélation;
- C5 : Perte de masse la plus importante (4.28 %);
- C2, C3 et C4 : Perte de masse similaire (~ 1.15 %);
- C3 : Perte de masse la moins importante → Imperméabilité à l'eau de la paraffine.

# Digital Image Correlation (DIC)

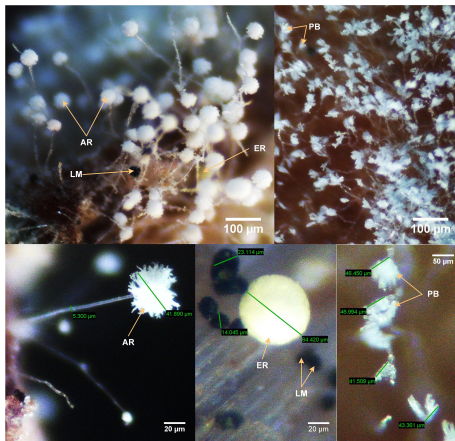


\*Sur la même échelle que la norme BSI EN ISO 846 – 1997.

# Digital Image Correlation (DIC)



# Microscopie optique



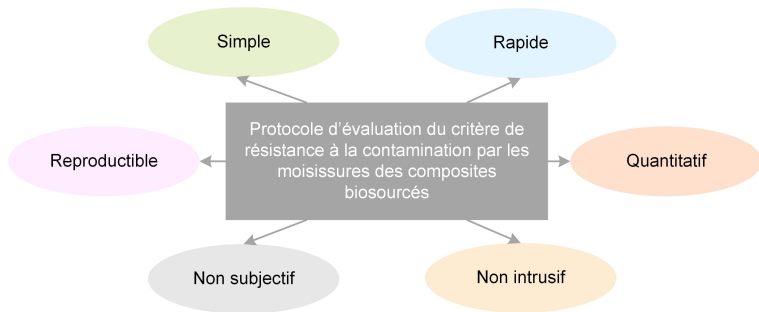
- Toutes ces moisissures sont potentiellement allergènes car elles contiennent des substances inflammatoires ;
- AR, PB et ER : Colonies primaires ;
- LM : Colonies secondaires.

## 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.