



**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

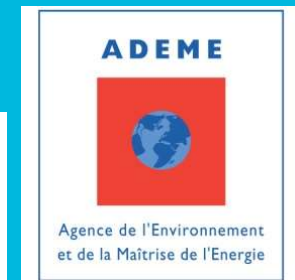


**IMT Nord Europe**

École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille

# Méthodologie pour l'étude de la résistance au développement de microorganismes sur des matériaux d'isolation bio-sourcés et conventionnels utilisés dans la rénovation de bâtiments

Ana Maria TOBON MONROY, Nouha Zine-Filali,  
Nadine LOCOGE, Yves ANDRES  
[Yves.andres@imt-atlantique.fr](mailto:Yves.andres@imt-atlantique.fr)



18/02/2020



## Bâtiment

47% consommation énergétique totale (2016)

→ Secteur le plus gros consommateur en énergie



Transition énergétique et environnementale

### LE GRENELLE ENVIRONNEMENT (2007)

Réduire la consommation d'énergie dans les bâtiment anciens de **38 %** en 2020 par rapport au niveau de 2008.

Application de la norme **Bâtiment Basse Consommation** (moins de 50kWh/m<sup>2</sup>/an) à toutes les nouvelles constructions à partir de 2017.

### LOI DE LA TRANSITION ENERGETIQUE POUR LA CROISSANCE VERTE (2015)

Mieux **rénover** les bâtiments pour **économiser l'énergie**, faire baisser les factures et créer des emplois.



Les personnes passent entre 70 et 90% de leur temps dans des espaces clos



PLAN NATIONAUX SANTÉ ENVIRONNEMENT II (2009-2013) ET III (2015-2019)

Systeme de ventilation performant

Utilisation de matériaux de construction faiblement émissifs



Alternative intéressante: matériaux de construction **bio-sourcés**

## Les matériaux bio-sourcés: définition

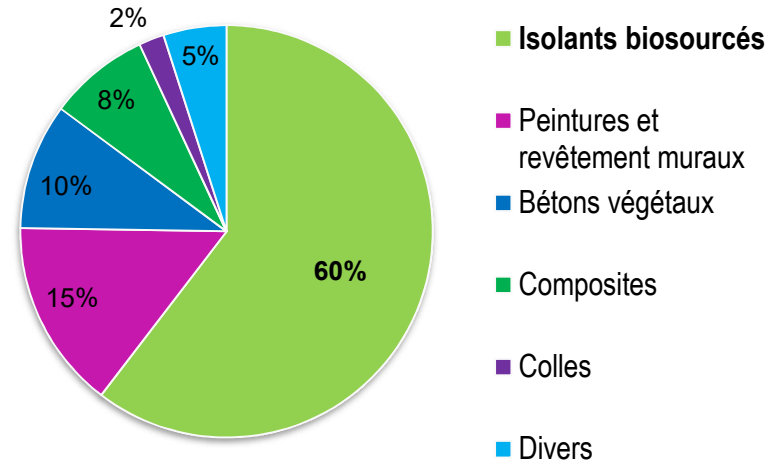
« Les matériaux de construction ou les produits de construction et de décoration comprenant une quantité de matière bio-sourcée ».

« La matière bio-sourcée est issue de la biomasse végétale ou animale pouvant être utilisée comme matière première ».

Arrêté du 19 décembre 2012



## Dans le bâtiment...



Recensement des produits bio-sourcés disponibles sur le marché français destinés à la construction et rénovation des bâtiments (D'après DG et al., 2016)

## Isolants bio-sourcés

Environ 5% de part de marché face au non bio-sourcés (ADEME, 2017)

Avantage: comportement hygroscopique  
→ régulation de l'humidité



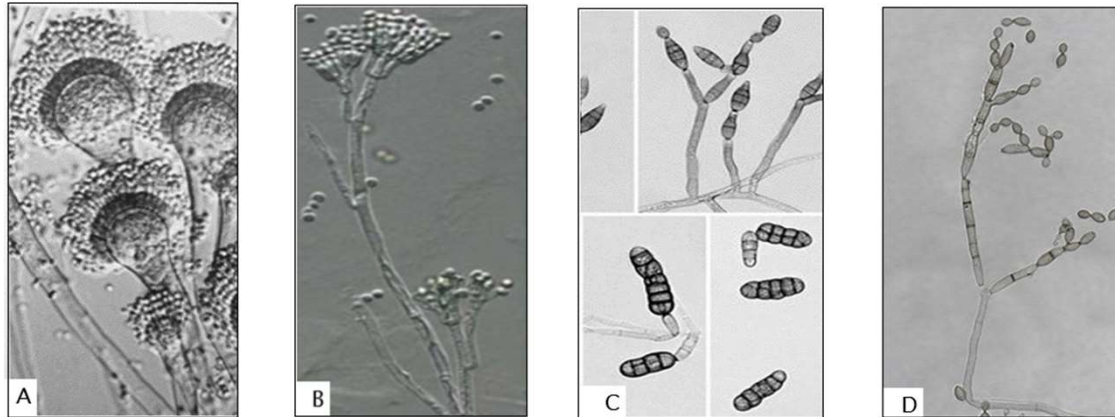


Figure 1. Observation microscopique de 4 espèces fongiques : (A) *Aspergillus* sp., (B) *Penicillium* sp., (C), *Alternaria alternata* et (D) *Cladosporium shaerospermum* (An et al., 2009; Hilvering et al., 2011; Grum-Grzhimaylo et al., 2015; Bensch et al., 2018)

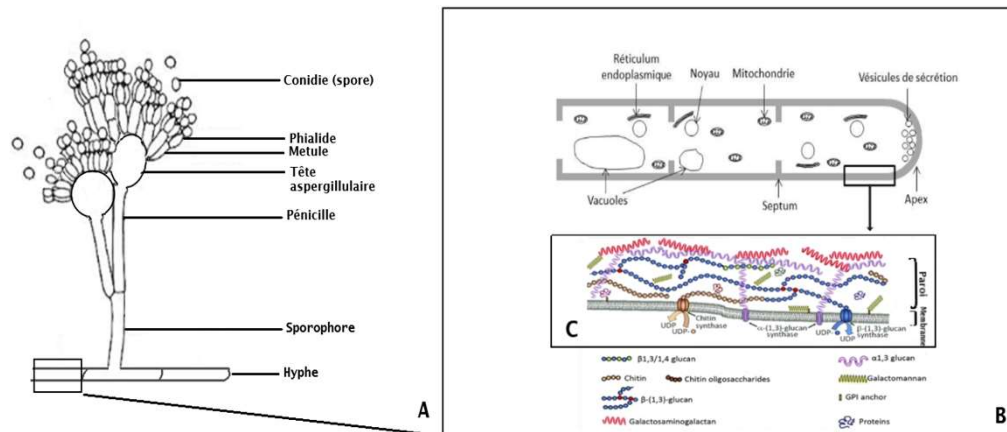


Figure 2. Représentation schématique de la structure fongique et de la composition d'un hyphes et de sa paroi cellulaire d'*Aspergillus fumigatus* (Beauvais et al., 2014; ANSES, 2016a)

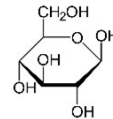
### Paramètres d'influences sur la croissance fongique



Humidité relative  
70 → 95%



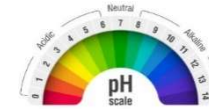
Température  
25 → 30°C



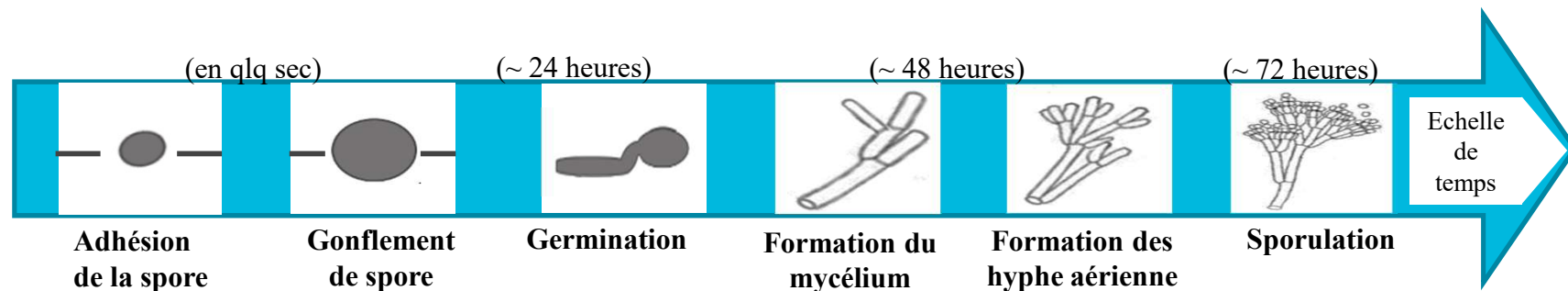
Source de  
Carbone  
Et de nutriments



Oxygène



pH  
pH ≈ 5 → 7



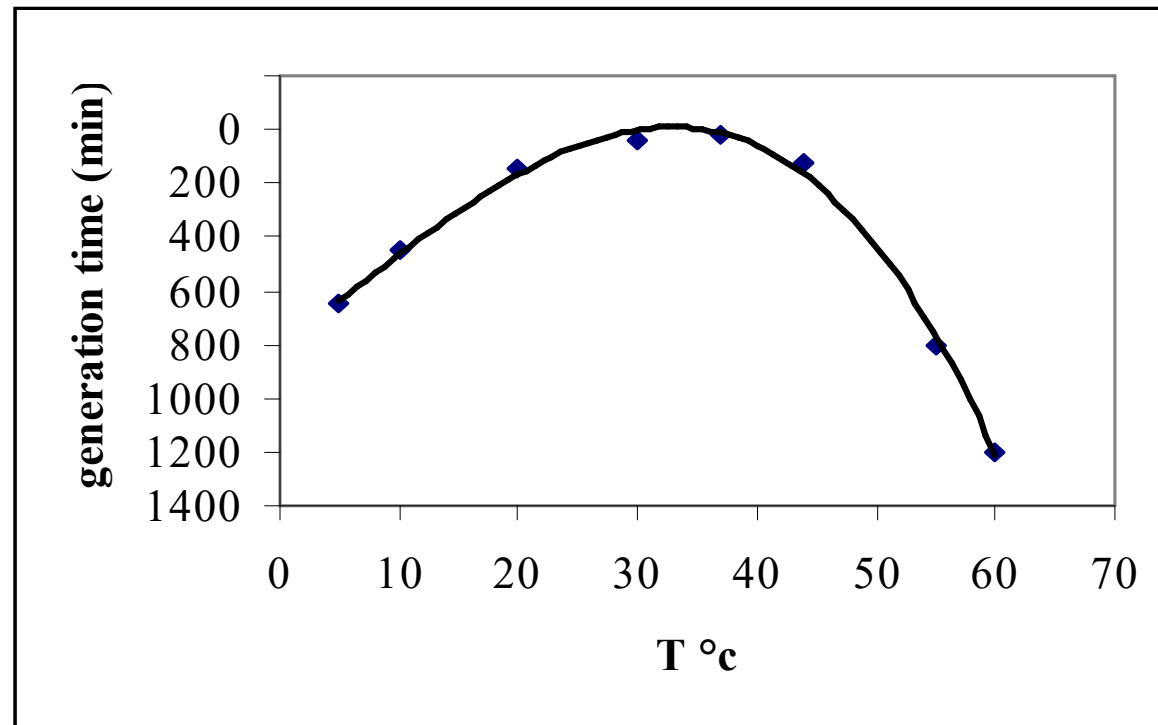
### Conséquences

- Production des acides, des alcools et des COVm.
- Fissure et dégradation du matériau.
- Production des pigments colorés → formation des tâches au niveau du matériau.
- Gonflement au niveau des zones de croissance.
- Détachement de peinture.

### Factors influencing microbial growth

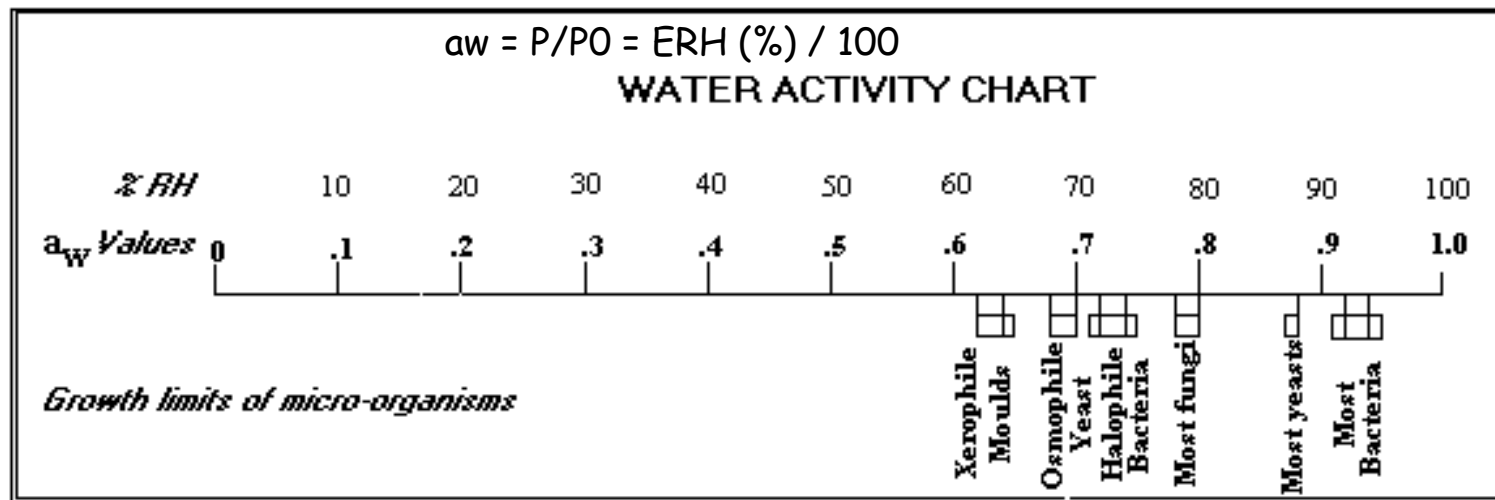
#### Temperature of growth:

- Psychrophiles (optimum between  $-5^{\circ}\text{C}$  and  $20^{\circ}\text{C}$ )
- Mesophiles (optimum between  $20^{\circ}\text{C}$  and  $50^{\circ}\text{C}$ )
- Thermophiles (optimum between  $50^{\circ}\text{C}$  and  $80^{\circ}\text{C}$ )
- Extreme Thermophiles (optimum between  $80^{\circ}\text{C}$  and  $100^{\circ}\text{C}$ )



-The term 'water activity' ( $a_w$ ) describes the (equilibrium) amount of water available for hydration of materials (i.e. water activity = water availability). When it is all available,  $a_w = 1$ , and when none is available,  $a_w = 0$ . If water interacts with solutes and surfaces, it is unavailable for other hydration interactions. A water activity value of unity indicates pure water whereas zero indicates the total absence of 'free' water molecules; addition of solutes always lowering the water activity.

$a_w$  is the ratio of partial pressures (P) under normal working conditions. Multiplication of water activity by 100 gives the equilibrium relative humidity (ERH) in percent.



### The Typical Water Activity of Some Foodstuffs

Fresh meat and fish	0.99
Bread	0.95
Jams and jellies	0.8
Plum pudding	0.8
Dried fruit	0.6
Biscuits	0.3
Milk powder	0.2



## Nutritional aspects of microbial growth

Cell multiplication requires a source of energy and raw material for synthesis of cell components.

Classification of bacteria according to their source of energy and carbon		
Name	Energy source	Carbon source
Photoautotroph	Light	CO <sub>2</sub>
Photoheterotroph	Light	Various organic compounds
Lithoautotroph	Inorganic compounds such as (H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Fe <sup>2+</sup> , H <sub>2</sub> S)	CO <sub>2</sub>
Chemoheterotroph	Organic compounds	Organic compounds
Lithoheterotroph	Inorganic compounds such as (H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Fe <sup>2+</sup> , H <sub>2</sub> S)	Organic compounds

Mineral requirements		
Name of element	Common source	Location or function in cell
Nitrogen (N)	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$	Amino acids, nucleic acids
Sulfur (S)	$\text{SO}_4^{2-}$	Amino acids
Phosphorus (P)	$\text{PO}_4^{3-}$	Nucleic acids, ATP, phospholipids in membranes
Magnesium (Mg)	$\text{Mg}^{2+}$	Required for functioning of numerous enzymes
Potassium (K)	$\text{K}^+$	Stabilize ribosomes, cytoplasmic membrane and nucleic acid
Iron (Fe)	$\text{Fe}^{3+}$	Required for functioning of enzymes and cytochromes
Trace elements that include	Water	Parts of enzymes, required for enzyme activity
Cobalt (Co)		
Molybdenum (Mo)		
Manganese (Mn)		

**Growth factors** are small organic molecules, other than an energy source, which microorganism must be provided in order to grow (amino acids, vitamin....)

<b>Parois cellulaire</b>	<b>Membrane cellulaire</b>	<b>Protéines</b>	<b>Acides nucléiques</b>
Alcools	Acides (Parabènes)	Acides	Acides
Aldéhydes	Alcools	Alcools	(parabènes)
Bases	Ammoniums quaternaires	Aldéhydes	Alcools
Composés libérant le chlore	(QAC)	Biguanides	Aldéhydes
Dérivés des métaux lourds	Anilides	Composés chlorés	Biguanides
Phénols	Bases	Désinfectant en phase vapeur	Composés chlorés
	Biguanides	Isothiazolinones	Halogènes et ses dérivés
	Isothiazolinones	Peroxyde d'hydrogène	Métaux
	Métaux	Phénols	Oxydants
	Oxydants	Phényle éthers	Peroxyde d'hydrogène
	Peroxyde d'hydrogène		
	Phénols		
	Phényle éthers		
	Surfactant anionique		
	Terpènes		

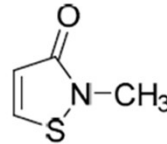
**Classe des familles des biocides basée sur le site d'action** (ANSES, 2020; Gnanadhas et al., 2013)

### Solutions retenues par les producteurs et l'union européen contre la prolifération fongique

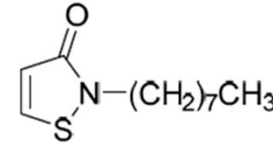
L'ajout de biocides dans certains matériaux de construction est désormais adopté par plusieurs fabricants et contrôlé par l'UE (règlement (UE) n° 528/2012 ; règlement (CE) n° 1223/2009). Dont les dérivés de l'izothiazole sont les plus fréquemment identifiés :



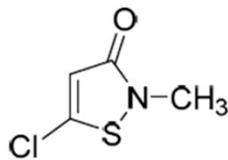
**Isothiazole**



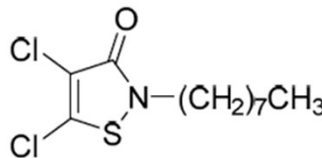
**Methylisothiazolinone (MI)**



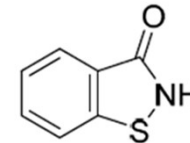
**Octylisothiazolinone (OIT)**



**Methylchloroisothiazolinone (MCI)**



**Dichlorooctylisothiazolinone (DCI)**



**Benzisothiazolinone (BIT)**

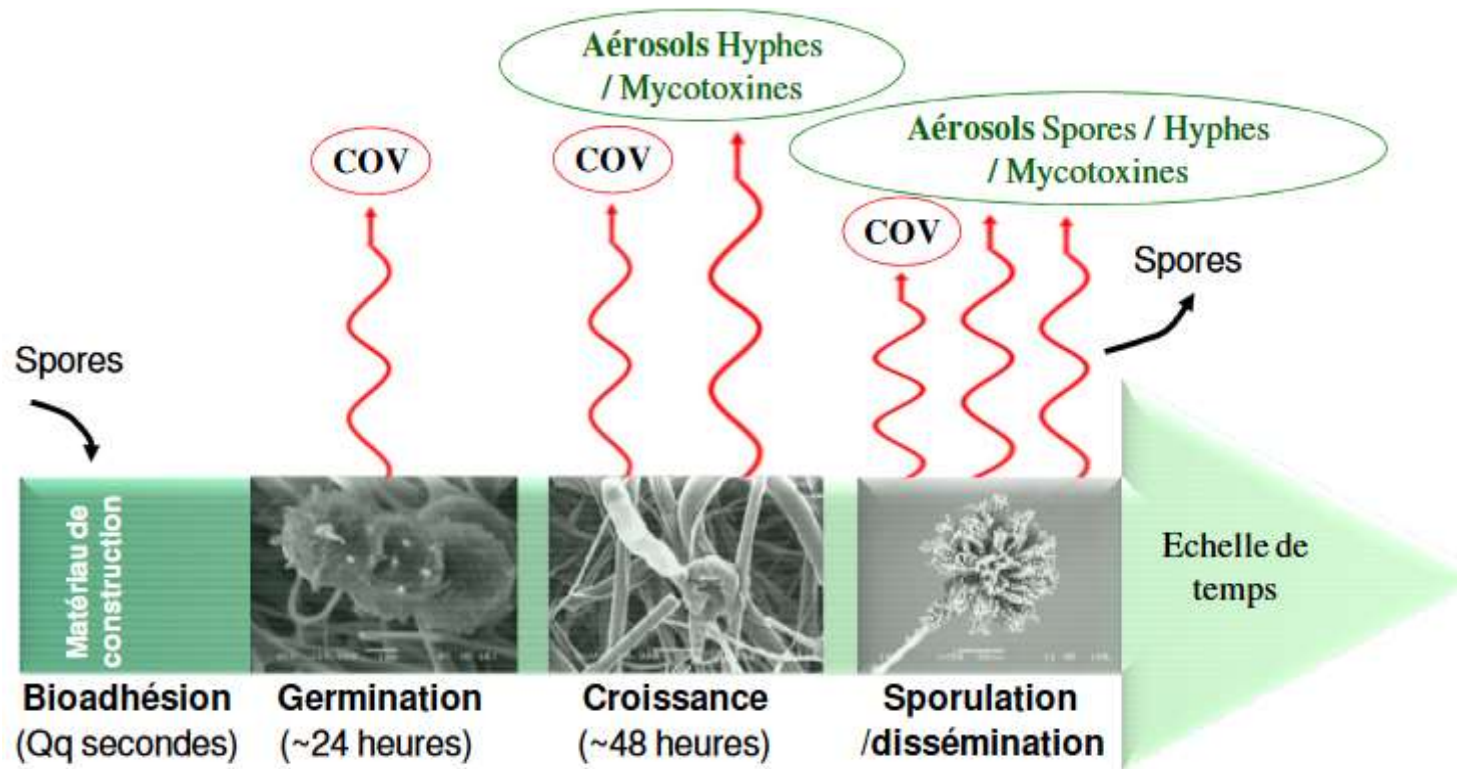


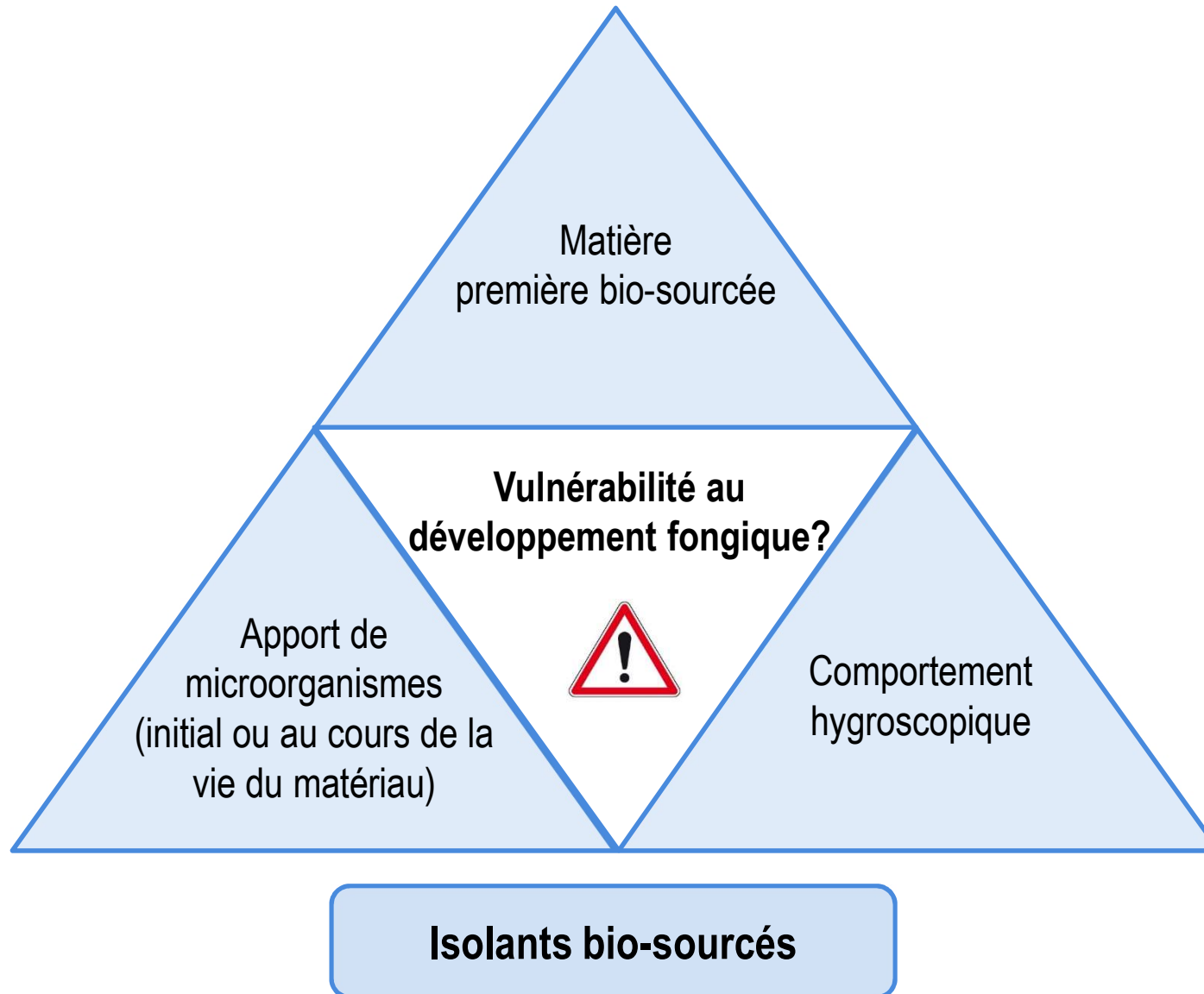
L'efficacité et les propriétés bioactives de ces substances peuvent varier avec le temps et sous l'influence de divers facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et l'humidité (Silva et al., 2020).

Syndrome du Bâtiment  
Malsain (**Sick Building  
Syndrome**)

*Moisissures*

Augmentation des pathologies respiratoires et  
allergiques (WHO, 2009; ANSES 2016)

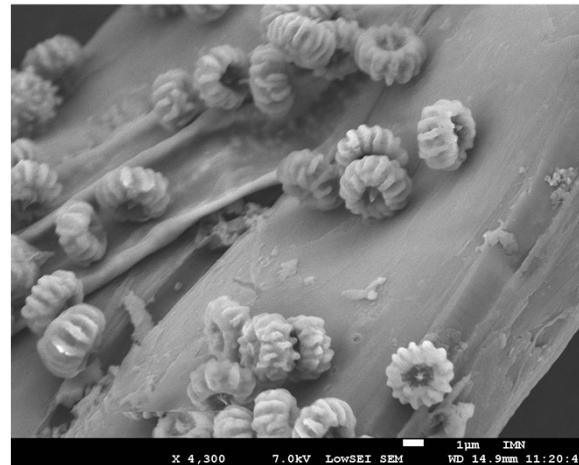









#### 1. Les matériaux bio-sourcés permettent-ils le développement de microorganismes?

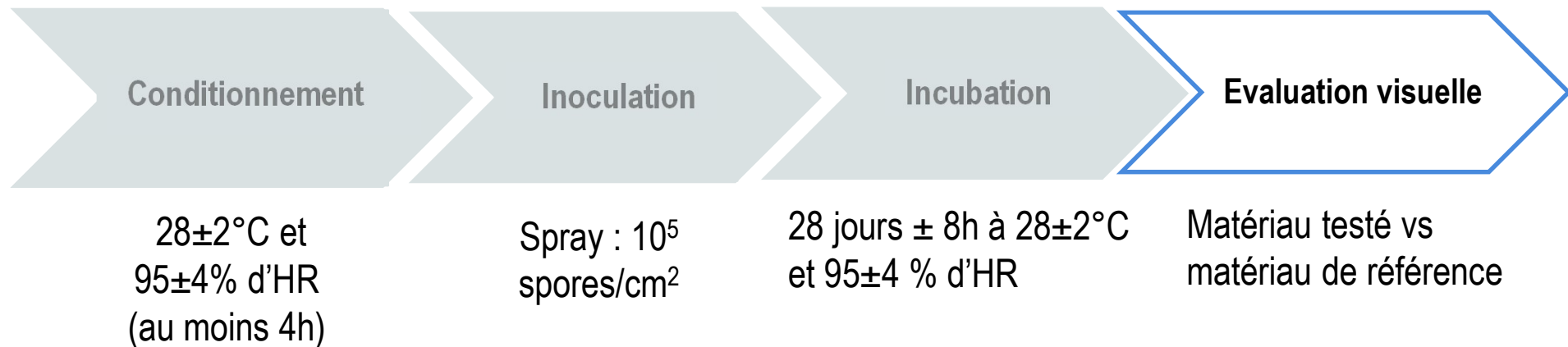
- Mettre au point un dispositif (système expérimental et protocole) permettant de tester le développement de micro-organismes sur différents matériaux et de caractériser la reproductibilité de ce développement.
- Comparer deux méthodes d'essai sélectionnées de la littérature pour évaluer la résistance des matériaux bio-sourcés au développement fongique.

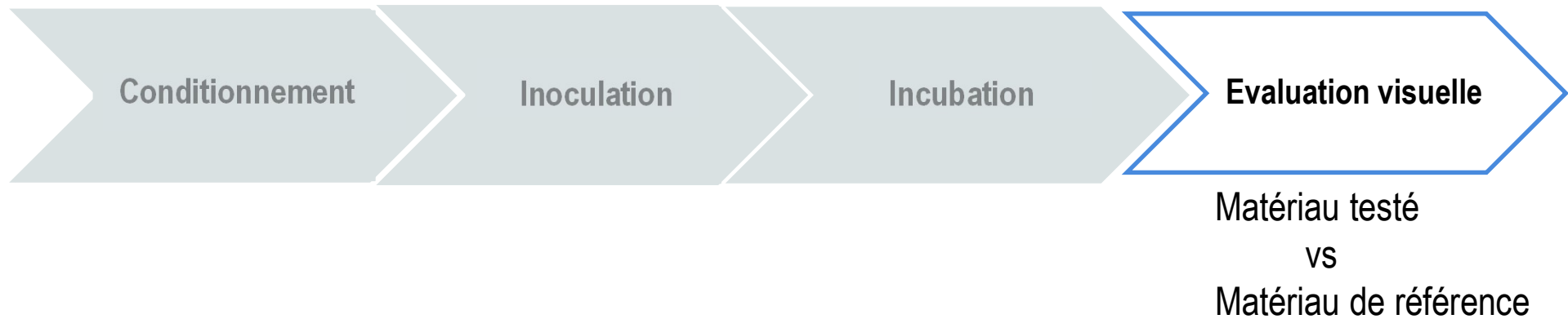


Matériau	Isolants bio-sourcés				Isolant minéral	
	Isolant A		Isolant B		Isolant C	
Composition (% massique)	Fibre de bois	90	Fibre de bois	50	Laine de verre	95
	Fibres textiles (Polyester-recyclé)	10	Laine de verre	40		
	Traitement ignifuge (sel minéral azoté)	*	Liant (polyester bi-composant)	8,7	Liant à base d'acrylique	5
			Traitement Préventif Anticryptogamique (2-Octyl-3(2H)- isothiazolinone )	1,3		
Résistance aux moisissures	Valeur non déterminée		Aucune croissance fongique détectée selon la NF EN 15101-1		Valeur non déterminée	
Niveau d'émission de substances volatiles dans l'air intérieur	A		A+		A+	
						

### Normalisation (France)

- **Norme NF EN 15101 (2014) Annulée le 19/07/2019:** Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment – Isolation thermique formée en place à base de cellulose (LFCI) – Partie 1: Spécification des produits en vrac avant la mise en œuvre.  
**Annexe F:** Méthode de détermination de la résistance aux moisissures





Classe BA	Intensité de la croissance par rapport au matériau de comparaison
0	Aucune moisissure visible à la surface de l'éprouvette examinée au microscope à lumière réfléchie avec un grossissement de 50
1	Croissance de moisissures invisible ou à peine visible à l'œil nu, mais nettement visible avec un grossissement de 50
2	Moisissures clairement visibles à l'œil nu - croissance nettement inférieure au matériau de comparaison
3	Moisissures clairement visibles à l'œil nu - croissance égale ou plus intense que sur le matériau de comparaison

### Normalisation (France)

- **Norme EN 15101 (2014) : Annulée le 19/07/2019**

- **Autres travaux:**

Le Bayon et al. (2015): développement d'une nouvelle méthode (évaluation quantitative)

Lamoulié (2016): Deux classes d'emploi (sèche et humide) et donc deux conditions d'HR =  $95 \pm 4$  %  
et  $85 \pm 4$  %

CSTB (2018): Protocole d'évaluation dans le cadre d'un Avis Technique (compléments pour l'évaluation visuelle et quantitative)

- **Remplacée par NF EN 15101-1+A1** : Modification concernant l'évaluation de la croissance fongique sur les éprouvettes

Dans le cadre de ces travaux

→ Evaluation de la résistance des matériaux étudiés au développement de moisissures



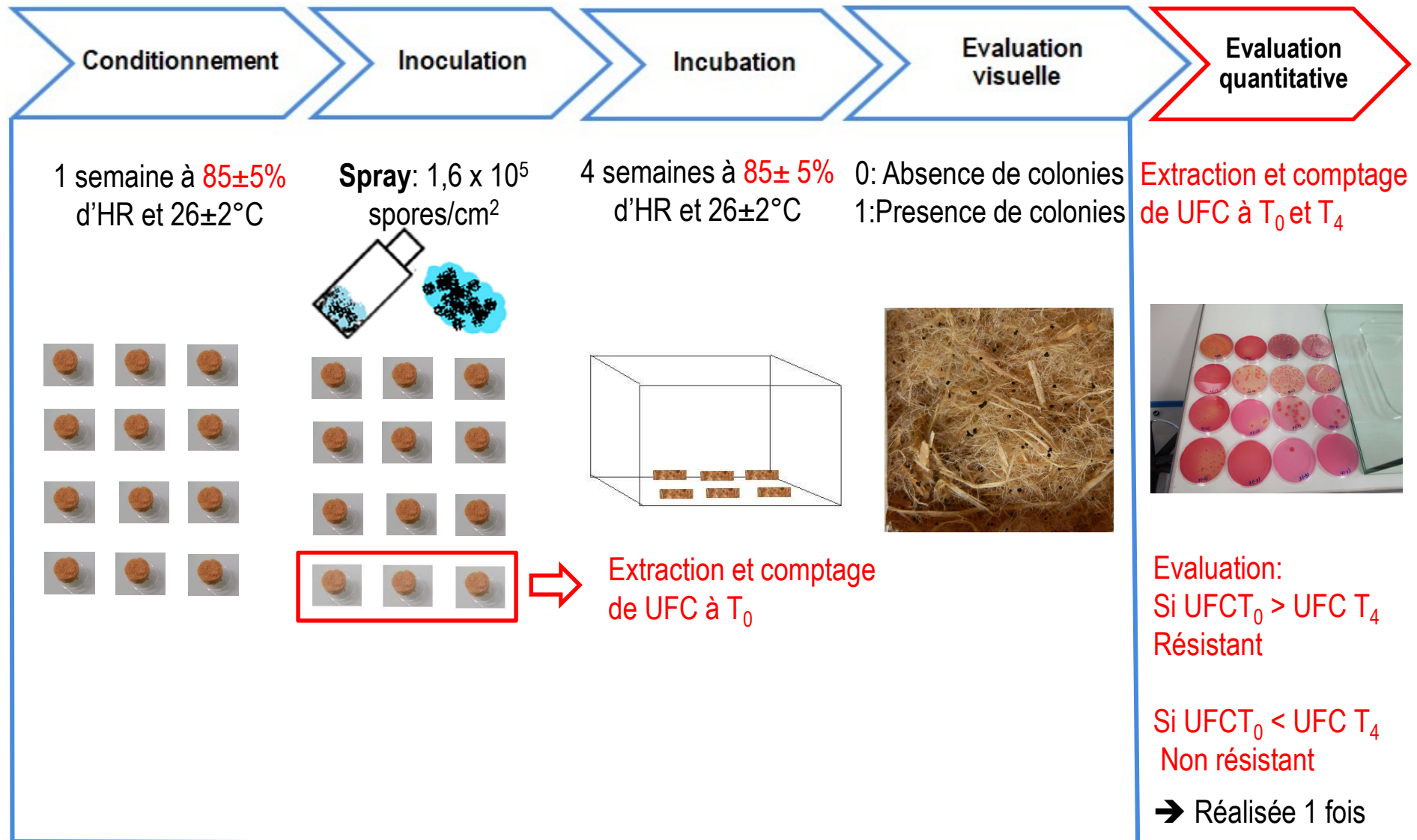
Souche fongique: *Aspergillus niger* var *ficuum* ou var *phoenicis*

1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015)

2. Méthode d'essai développée durant cette thèse



## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Méthodologie



## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub> (n=3 par essai)	UFC à T <sub>4</sub> (n=6 par essai)	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(%)
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Mise en évidence de 4 cas de figures

## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

A. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles** (cotation 0)

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> à T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **significativement plus faible**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « résistant » au développement de moisissures

## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

B. - Evaluation visuelle: **Présence de colonies visibles (cotation 1)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> à T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **Significativement supérieur**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « non résistant » au développement de moisissures

# IV Résistance des matériaux bio-sourcés au développement de moisissures



	<u>Isolants bio-sourcés</u>				<u>Isolant minéral</u>	
	<u>Isolant A</u>		<u>Isolant B</u>		<u>Isolant C</u>	
Composition (% massique)	Fibre de bois	90	Fibre de bois	50	Laine de verre	95
	Fibres textiles (Polyester-recyclé)	10	Laine de verre	40		
	Traitement ignifuge (sel minéral azoté)	*	Liant (polyester bi-composant)	8,7	Liant à base d'acrylique	5
			Traitement Préventif Anticryptogamique	1,3		
Résistance aux moisissures	Valeur non déterminée		<b>Aucune croissance fongique détectée selon la NF EN 15101-1</b>		Valeur non déterminée	
Niveau d'émission de substances volatiles dans l'air intérieur	A		A+		A+	

## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

C. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (cotation 0)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **non significativement différent**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?



## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

C. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (cotation 0)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **non significativement différent**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?

## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

C. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (cotation 0)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **non significativement différent**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?

## 1. Méthode d'essai développée par Le Bayon et al. (2015) - Résultats

- D. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (cotation 0)**  
 - Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> à T<sub>0</sub> et T<sub>4</sub> : **significativement supérieur**

Matériau	Essai	Evaluation visuelle	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
			(n=3 par essai)	(n=6 par essai)	(%)
			(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		
Isolant A (fibres de bois)	1	0	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	19,4 ± 0,9
	2	0	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1	16,6 ± 0,3
	3	0	6,7 ± 0,3	7,8 ± 0,1	15,3 ± 1,0
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	1	5,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	10,4 ± 0,3
	2	0	5,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	10,5 ± 0,4
	3	1	5,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,8 ± 0,5
Isolant C (laine de verre)	1	0	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,3 ± 0,1
	2	0	4,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,4
	3	0	4,3 ± 0,1	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,2

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?

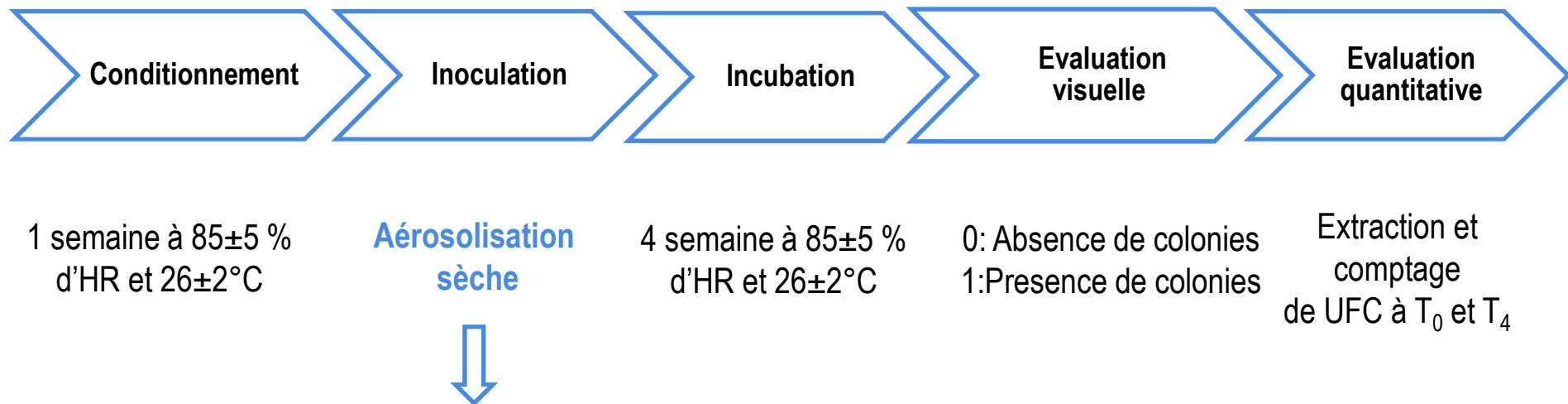
### Conclusion

#### Variabilité des réponses des matériaux au développement fongique

Cette variabilité serait-elle liée à l'utilisation d'un **inoculum liquide** comme moyen d'ensemencement des échantillons?

L'**introduction d'humidité (eau)** dans le système aurait-elle un effet sur la croissance fongique?

## 2. « Nouvelle méthode »- Méthodologie

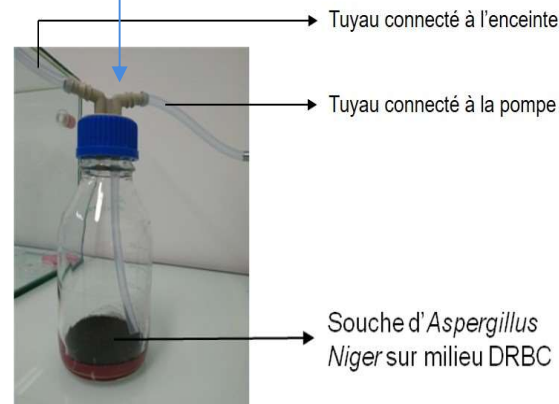
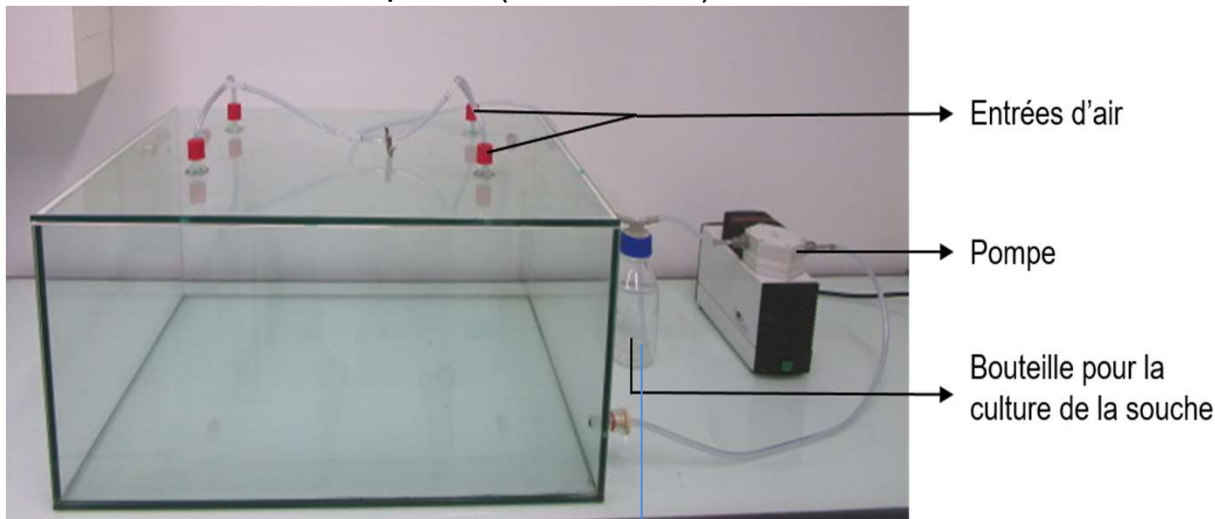


- Plus proche des conditions réelles rencontrées par les matériaux
- Evite l'apport d'humidité et la modification de l'activité de l'eau ( $A_w$ )
- Evite l'apport du milieu de culture

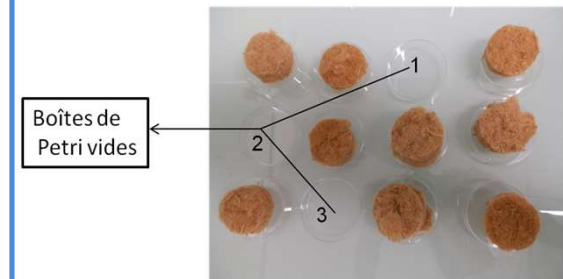
## 2. « Nouvelle méthode »- Méthodologie

### Inoculation par aérosolisation sèche

#### 1. Aérosolisation de spores (15 minutes)



#### 2. Dépôt de spores (1h)



3 boîtes de Pétri vides:  
quantification du dépôt

3 échantillons: extraction à  
et comptage de UFC/cm<sup>2</sup>  
(T<sub>0</sub>)

6 échantillons : incubation et  
extraction et comptage de  
UFC/cm<sup>2</sup> (T<sub>4</sub>)

## 2. « Nouvelle méthode »: Résultats

Matériau	Essai	Spores déposées (n = 3)	Classement visuel	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )	(%)	
Isolant A (fibres de bois)	1	3,7 ± 0,2	1	2,5 ± 0,3	5,8 ± 0,1	15,0 ± 0,2
	2	3,6 ± 0,8	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,2	16,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,1	0	3,6 ± 0,02	3,6 ± 0,2	14,2 ± 0,3
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	3,6 ± 0,2	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,1	9,8 ± 0,3
	2	3,7 ± 0,1	1	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,1	9,9 ± 0,4
	3	3,4 ± 0,4	1	3,7 ± 0,3	2,9 ± 0,1	10,0 ± 0,2
Isolant C (laine de verre)	1	3,2 ± 0,4	0	3,1 ± 0,4	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,3
	2	3,8 ± 0,2	0	3,5 ± 0,2	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,3	0	3,4 ± 0,1	2,2 ± 0,4	1,7 ± 0,3

Bonne reproductibilité de l'ensemencement via aérosolisation sèche

Validation de l'extraction de manière générale



## 2. « Nouvelle méthode »: Résultats

- A. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles** (cotation 0)
- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> à T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **significativement plus faible**

Matériau	Essai	Spoires déposées	Classement visuel	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(%)
Isolant A (fibres de bois + laine de verre)	1	3,7 ± 0,2	1	2,5 ± 0,3	5,8 ± 0,1	15,0 ± 0,2
	2	3,6 ± 0,8	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,2	16,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,1	0	3,6 ± 0,02	3,6 ± 0,2	14,2 ± 0,3
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	3,6 ± 0,2	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,1	9,8 ± 0,3
	2	3,7 ± 0,1	1	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,1	9,9 ± 0,4
	3	3,4 ± 0,4	1	3,7 ± 0,3	2,9 ± 0,1	10,0 ± 0,2
Isolant C (laine de verre)	1	3,2 ± 0,4	0	3,1 ± 0,4	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,3
	2	3,8 ± 0,2	0	3,5 ± 0,2	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,3	0	3,4 ± 0,1	2,2 ± 0,4	1,7 ± 0,3

Matériaux « résistant » au développement de moisissures

## 2. « Nouvelle méthode »: Résultats

B. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (0) /Présence de colonies visibles (1)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **non significativement différent / significativement plus faible**

Matériau	Essai	Spores déposées	Classement visuel	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(%)
Isolant A (fibres de bois + laine de verre)	1	3,7 ± 0,2	1	2,5 ± 0,3	5,8 ± 0,1	15,0 ± 0,2
	2	3,6 ± 0,8	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,2	16,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,1	0	3,6 ± 0,02	3,6 ± 0,2	14,2 ± 0,3
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	3,6 ± 0,2	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,1	9,8 ± 0,3
	2	3,7 ± 0,1	1	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,1	9,9 ± 0,4
	3	3,4 ± 0,4	1	3,7 ± 0,3	2,9 ± 0,1	10,0 ± 0,2
Isolant C (laine de verre)	1	3,2 ± 0,4	0	3,1 ± 0,4	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,3
	2	3,8 ± 0,2	0	3,5 ± 0,2	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,3	0	3,4 ± 0,1	2,2 ± 0,4	1,7 ± 0,1

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?



## 2. « Nouvelle méthode »: Résultats

C. - Evaluation visuelle: **Absence de colonies visibles (0) /Présence de colonies visibles (1)**

- Nombre des UFC/cm<sup>2</sup> T<sub>0</sub> et à T<sub>4</sub> : **significativement supérieur ou non significativement différent**

Matériau	Essai	Spores déposées	Classement visuel	UFC à T <sub>0</sub>	UFC à T <sub>4</sub>	Teneur en eau à T <sub>4</sub>
		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(log <sub>10</sub> UFC/cm <sup>2</sup> )		(%)
Isolant A (fibres de bois)	1	3,7 ± 0,2	1	2,5 ± 0,3	5,8 ± 0,1	15,0 ± 0,2
	2	3,6 ± 0,8	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,2	16,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,1	0	3,6 ± 0,02	3,6 ± 0,2	14,2 ± 0,3
Isolant B (fibres de bois + laine de verre)	1	3,6 ± 0,2	0	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,1	9,8 ± 0,3
	2	3,7 ± 0,1	1	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,1	9,9 ± 0,4
	3	3,4 ± 0,4	1	3,7 ± 0,3	2,9 ± 0,1	10,0 ± 0,2
Isolant C (laine de verre)	1	3,2 ± 0,4	0	3,1 ± 0,4	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,3
	2	3,8 ± 0,2	0	3,5 ± 0,2	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1
	3	3,6 ± 0,3	0	3,4 ± 0,1	2,2 ± 0,4	1,7 ± 0,3

Matériaux « résistant » ou « non résistant » au développement de moisissures ?

### 1. Les matériaux bio-sourcés permettent-ils le développement de microorganismes?

Les résultats ont mis en évidence:

- Une **variabilité de réponses** des **matériaux bio-sourcés** vis-à-vis du **développement fongique**.
- L'**importance** de la **quantification de la croissance fongique** puisqu'une évaluation uniquement par **inspection visuelle** peut s'avérer très compliquée et éventuellement conduire à des **fausses interprétations des résultats**.

Recommandations:

Ne pas se limiter à réaliser un seul essai, mais plutôt plusieurs essais sur plusieurs échantillons

Il serait important d'étudier dans quelle mesure il serait intéressant de **limiter l'utilisation des isolants bio-sourcés** dans des pièces dans lesquelles les taux d'humidité sont susceptibles de dépasser 70% et d'atteindre de températures élevées.

### 1. Les matériaux bio-sourcés permettent-ils le développement de microorganismes?

- **Approfondir dans la compréhension** du cas de figure où les **UFC/cm<sup>2</sup> calculés à T<sub>4</sub>** (après incubation) sont quasiment **les mêmes qu'à T<sub>0</sub>** (début du test).

Pour cela, **une étude de la cinétique de croissance** pourrait être appropriée afin de suivre toutes les phases de croissance des moisissures et mieux comprendre les résultats.

- **Projet EMIBIO** → comportement de ces isolants face aux moisissures dans un mur à des conditions réalistes
- **Projet ValoMatBio** → Fin de vie des matériaux biosourcés (isolants)

Building and Environment 179 (2020) 106963



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Building and Environment

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>



Impacts of test methods on the assessment of insulation materials' resistance against moulds

Ana Maria Tobon<sup>a,\*</sup>, Yves Andres<sup>a</sup>, Nadine Locoge<sup>b</sup>

<sup>a</sup> IMT Atlantique, Nantes, France

<sup>b</sup> IMT Lille Douai, Douai, France

ARTICLE INFO

ABSTRACT



Merci de votre attention

