

## Journée Scientifique

### Matériaux de Construction Biosourcés

Jeudi 29 mars 2018 | Amphithéâtre de l'Ifsttar



Synthèse des posters



# POSTERS

---

**1. Modélisation théorique et expérimentale du comportement énergétique et environnemental des matériaux de construction biosourcés**

M. Benkhaled, S.-E. Ouldboukhitine, S. Amziane, *Université Clermont-Auvergne*

**2. Bétons avec des charges végétales**

L. Bessette, *VICAT*

**3. FRD-Lab : des fractions végétales pour des matériaux durables**

A. Day, P. Rivard, C. Nouvion, A. Duborper, *FRD*

**4. Mise en œuvre d'un stratifié bio-sourcé. Influence des paramètres procédé sur les propriétés du composite à base de lin**

T. Cadu, L. Van Schoors, O. Sicot, E. Keita, L. Divet, S. Fontaine, *Ifsttar/MAST/CPDM - DRIVE, Université de Bourgogne Franche Comté - Ifsttar/MAST/Navier*

**5. Caractérisation de la diffusion massique en régime transitoire de panneaux de fibres de faible densité : Utilisation d'un dispositif expérimental mesurant l'évolution de la masse et de l'humidité en face arrière**

A. Challansonnex, J. Casalinho, P. Perré, *LGPM – CentraleSupélec*

**6. Etude de la durabilité d'isolant à base de granulats végétaux : méthodologie**

G. Delannoy, S. Marceau, P. Glé, E. Gourlay, M. Guéguen-Minerbe, D. Diafi, I. Nour, S. Amziane, F. Farcas, *Ifsttar/MAST/CPDM - CEREMA Est, Laboratoire de Strasbourg - Institut Pascal, Université Clermont-Auvergne*

**7. La paille de coriandre, un résidu agricole original pour l'obtention de matériaux de construction 100% biosourcés**

E. Uitterhaegen, L. Labonne, S. Ballas, T. Veronese, Ph. Evon, *Laboratoire de Chimie Agro-industrielle (UMR 1010 INRA/INP-ENSIACET)*

**8. TERRACREA : Matériaux de Construction biosourcés, ressources agricoles et forestières. Etat des lieux, prospectives et propositions à l'horizon 2030-2050**

L. Floissac, P. Besse, H. Valkhof, S. Angerand, *Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse*

**9. Analyse du cycle de vie de matériaux, systèmes constructifs et bâtiments biosourcés en Corse. ACV de bâtiments à partir de leur maquette numérique (BIM)**

L. Floissac, F. Rossi, *Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse*

**10. BIOECONOMICS - Analyse de la chaîne de valeur et des emplois dans le cadre de la production, fabrication, commercialisation, mise en œuvre de matériaux biosourcés**

L. Floissac, H. Valkhof, S. Angerand, *Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse*

**11. Études et recherches au CSTB sur les biosourcés**

G. Vilain, I. Lacaze, A. Anest-Bavoux, C. Guigou, C. Heslouin, V. Georges, *CSTB*

**12. BiSE [Biosourcé In-Situ Expérimentation]**

S. Marceau, Ph. Glé, E. Gourlay, Y. Hustache, *Ifsttar/MAST/CPDM, CEREMA Est, Karibati*

**13. Comportement mécanique de bâtiments ossature bois et béton de chanvre projeté**

J. Hans, F. Sallet, L. Goudet, *ENTPE*

**14. Couplage d'un modèle de transfert de chaleur et d'humidité dans l'enveloppe avec la ventilation à la demande pour prédire la qualité de l'air intérieur et la performance énergétique d'un local en béton de chanvre**

A. D. Tran Le, O. Douzane, G. Promis, B. Rocq, L. Lahoche, T. Langlet, *LTI EA 3899 Université de Picardie, ATMO Hauts de France*

**15. Projet AGROBLOC : Développement de blocs de maçonnerie en béton à base de granulats agrosourcés**

S. Le Thierry, F. Jacquemot, G. Martin, J. Rasori, T. Payot, *CERIB, CCI Eure-et-Loir*

**16. Etude de la variabilité de chènevottes via les projets IBIS et CHANVRISOL**

H. Lenormand, A. Hellouin de Ménibus, J.-B. Besnier, N. Leblanc, *UniLaSalle, Eco-Pertica*

**17. Approche ACV Dynamique dans les mélanges chaux/chanvre**

Th. Lecompte, A. Levasseur, D. Maxime, *IRDL/UBS*

**18. Caractérisations et modélisations pour l'éco-construction**

N. Leklou, P. Poullain, S. Bonnet, *Université de Nantes*

**19. Dynamique des transferts d'humidité au sein du bois lamellé croisé (CLT): mesures par tomographie X et modélisation numérique**

B. Martin, J. Colin, P. LU, M. Mounkaila, E. Mougél, P. Perré, R. Rémond, *LERMAB ENSTIB, LGPM CentraleSupelec*

**20. Modélisation multiphysique de l'élaboration d'une mousse bio-sourcée à base de tannins**

V. Nicolas, Z. Marie, A. Celzard, V. Fierro, *Institut Jean Lamour - Equipe 402 Matériaux Biosourcés*

**21. Acoustical and thermal joint approach for the optimisation of vegetal wools used in buildings**

C. Piégay, Ph. Glé, E. Gourdon, E. Gourlay, S. Marceau, *CEREMA Est, Laboratoire de Strasbourg - ENTPE - Ifsttar/Mast/CPDM*

**22. Isolants biosourcés : points de vigilance**

M. Sanchez, *AQC*

**23. Caractérisation des panneaux d'isolation à base des fibres libériennes**

C. Segovia, *CETELOR*

**24. Composites Polyéthylène/Fibres de lin : Impact d'un vieillissement d'origine biologique**

L. Van Schoors, M. Gueguen-Minerbe, S. Moscardelli, H. Rabii, P. Davies, *Ifsttar/MAST/CPDM, Ifremer*

**25. Lateral load carrying capacity of timber walls filled with hemp concrete**

H. Wadi, S. Amziane, E. Toussaint, M. Taazount, *Institut Pascal, Université*

**26. Contributions potentielles au GDR MBS**

V. Massardier, *IMP INSA Lyon*



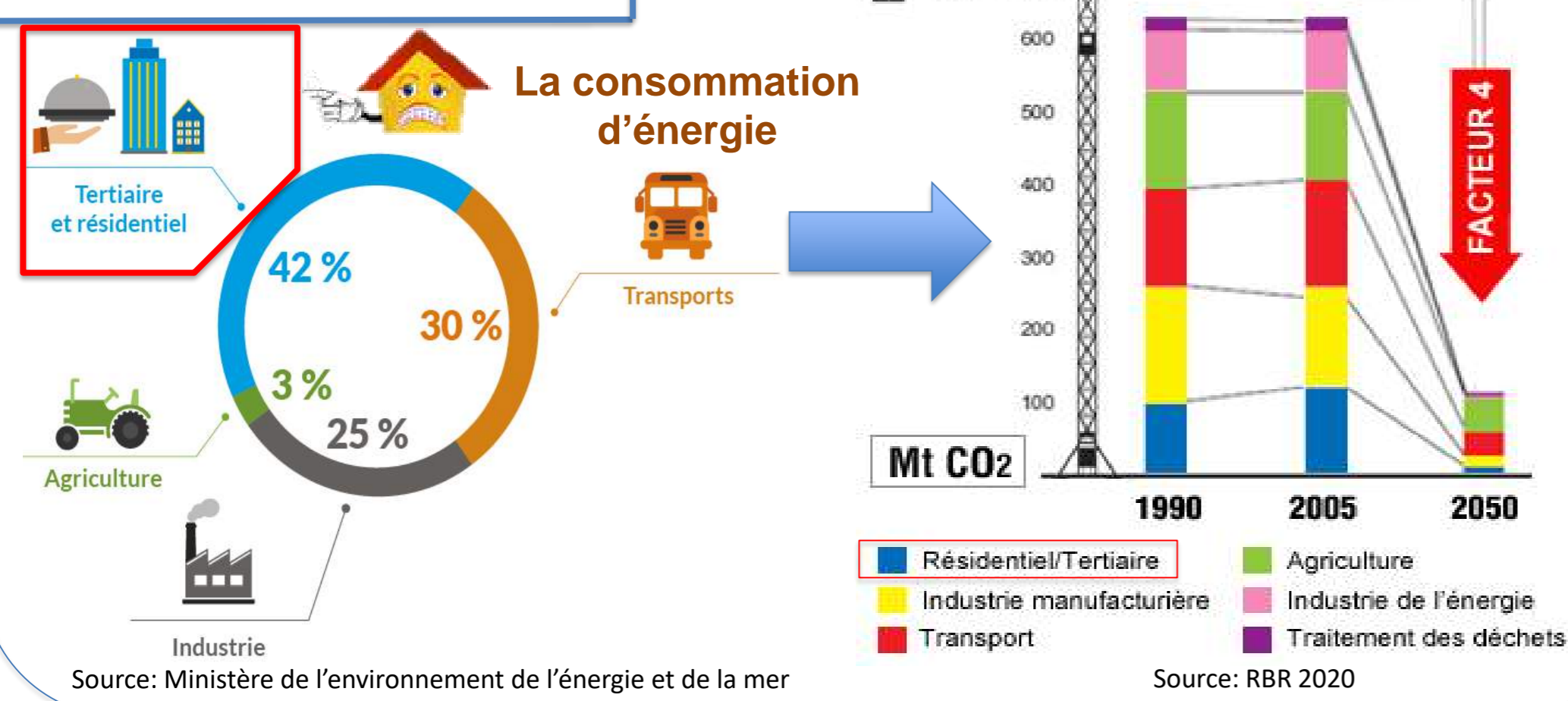
# Modélisation théorique et expérimentale du comportement énergétique et environnemental des matériaux de construction biosourcés

Maroua BENHALED<sup>1</sup>, Salah-Eddine OULDBOUKHITINE<sup>1</sup>, Sofiane AMZIANE<sup>2</sup>

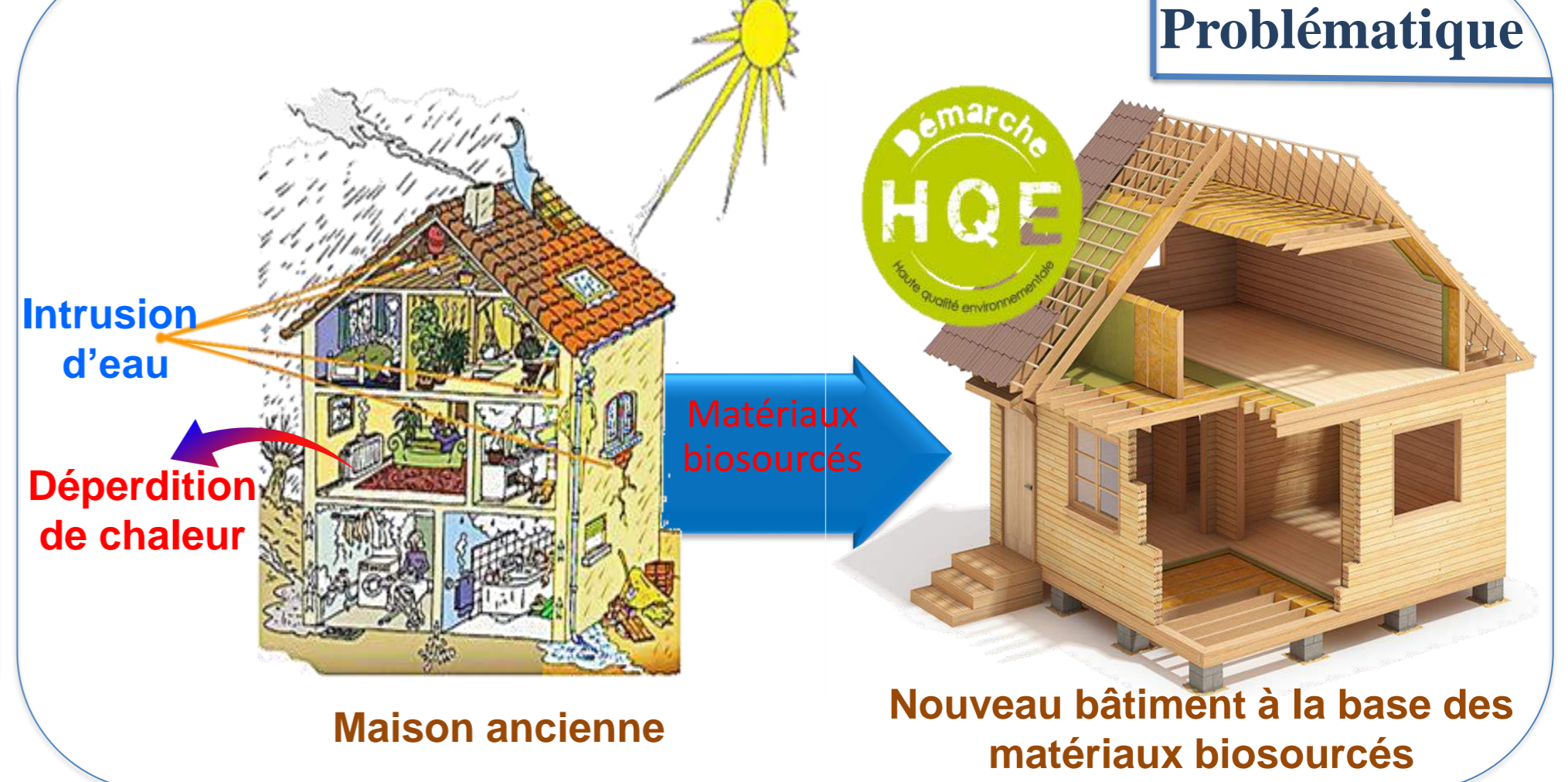
<sup>1</sup> IUT de Montluçon, Université Clermont Auvergne, Institut Pascal BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne, Institut Pascal BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand

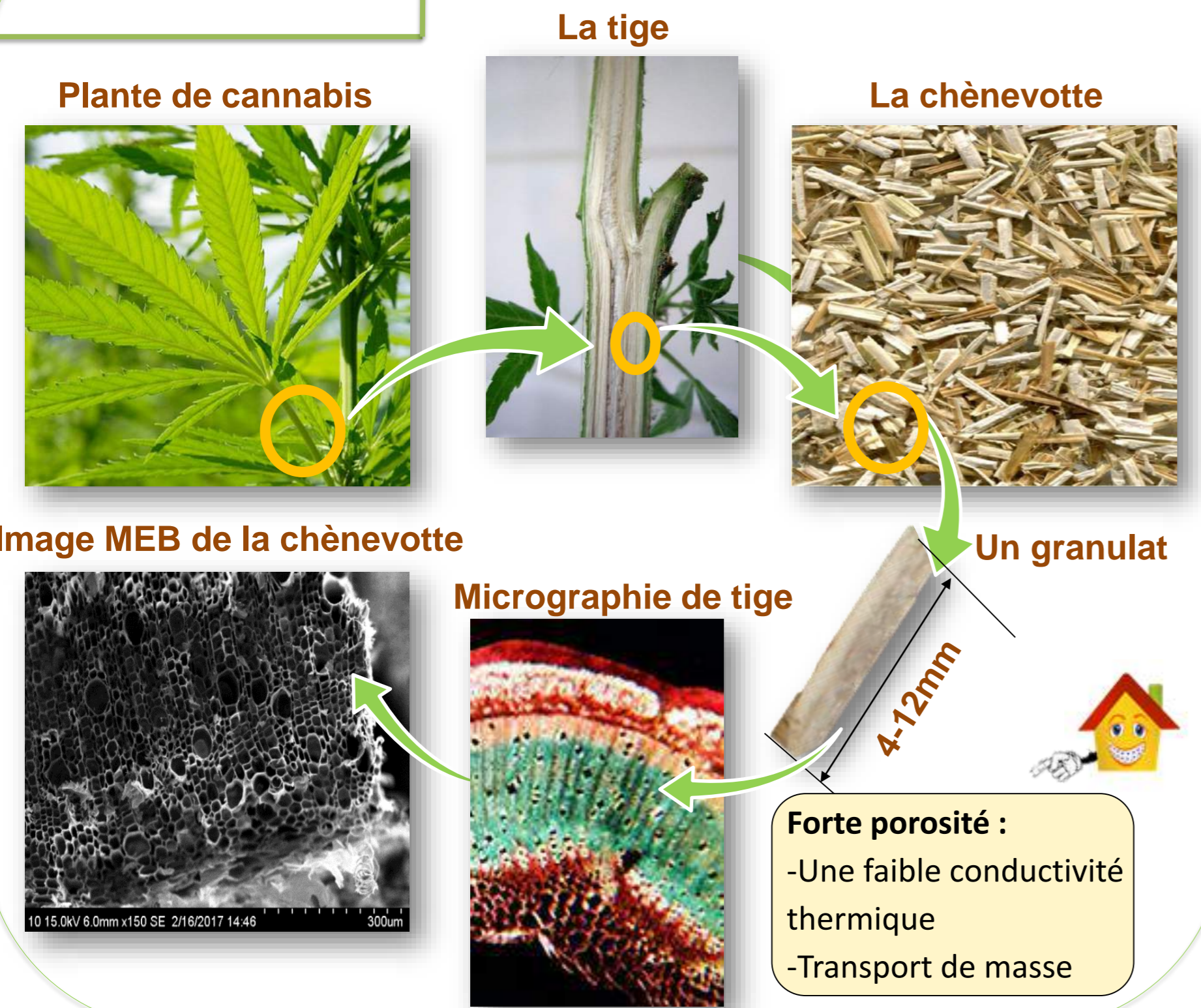
## Contexte environnemental



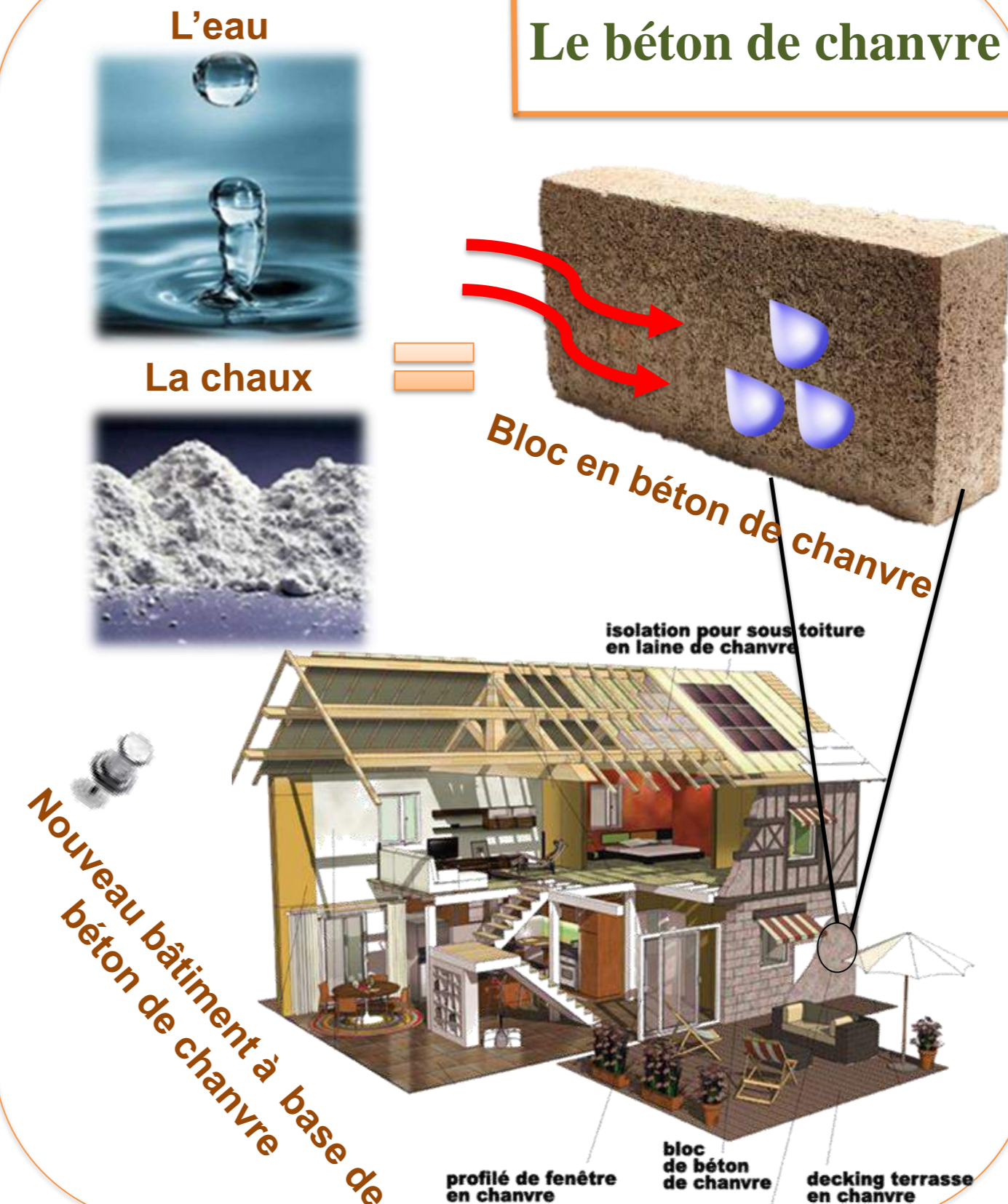
## Problématique



## Le chanvre



## Le béton de chanvre



## Caractérisation expérimentale du matériau

Modélisation

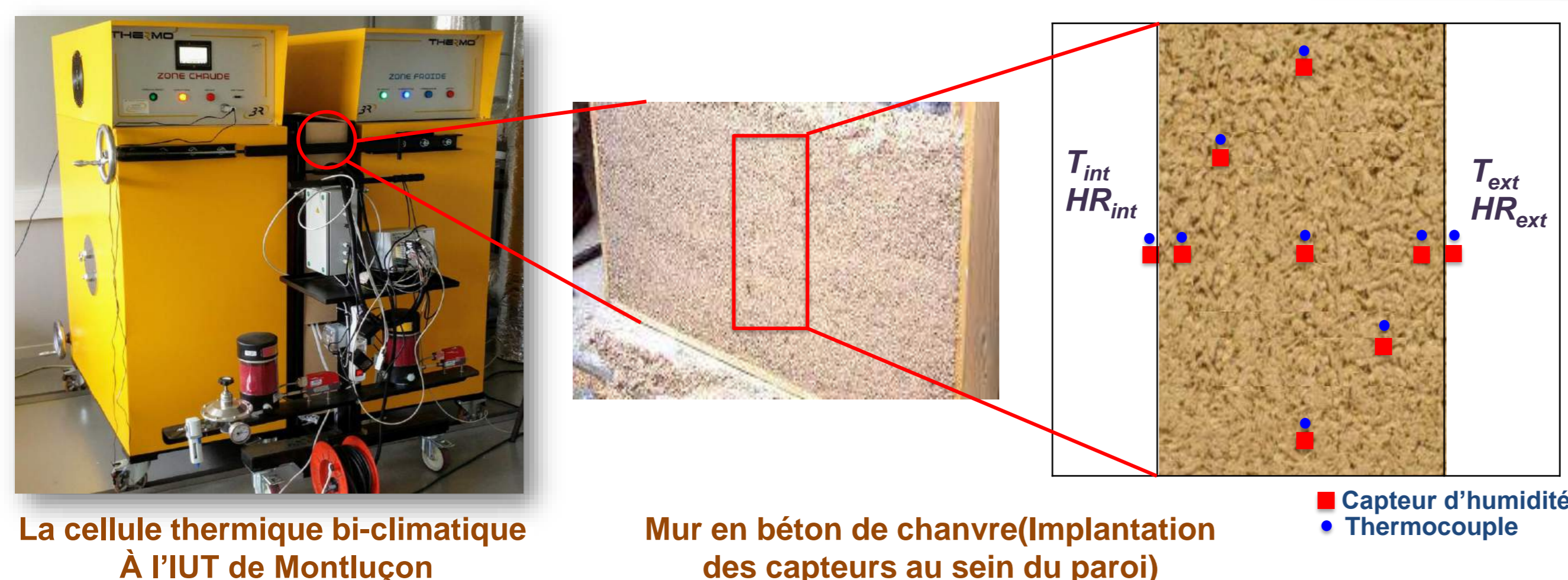
Simulation numérique

Confirmation

Etude expérimentale à l'échelle de la paroi

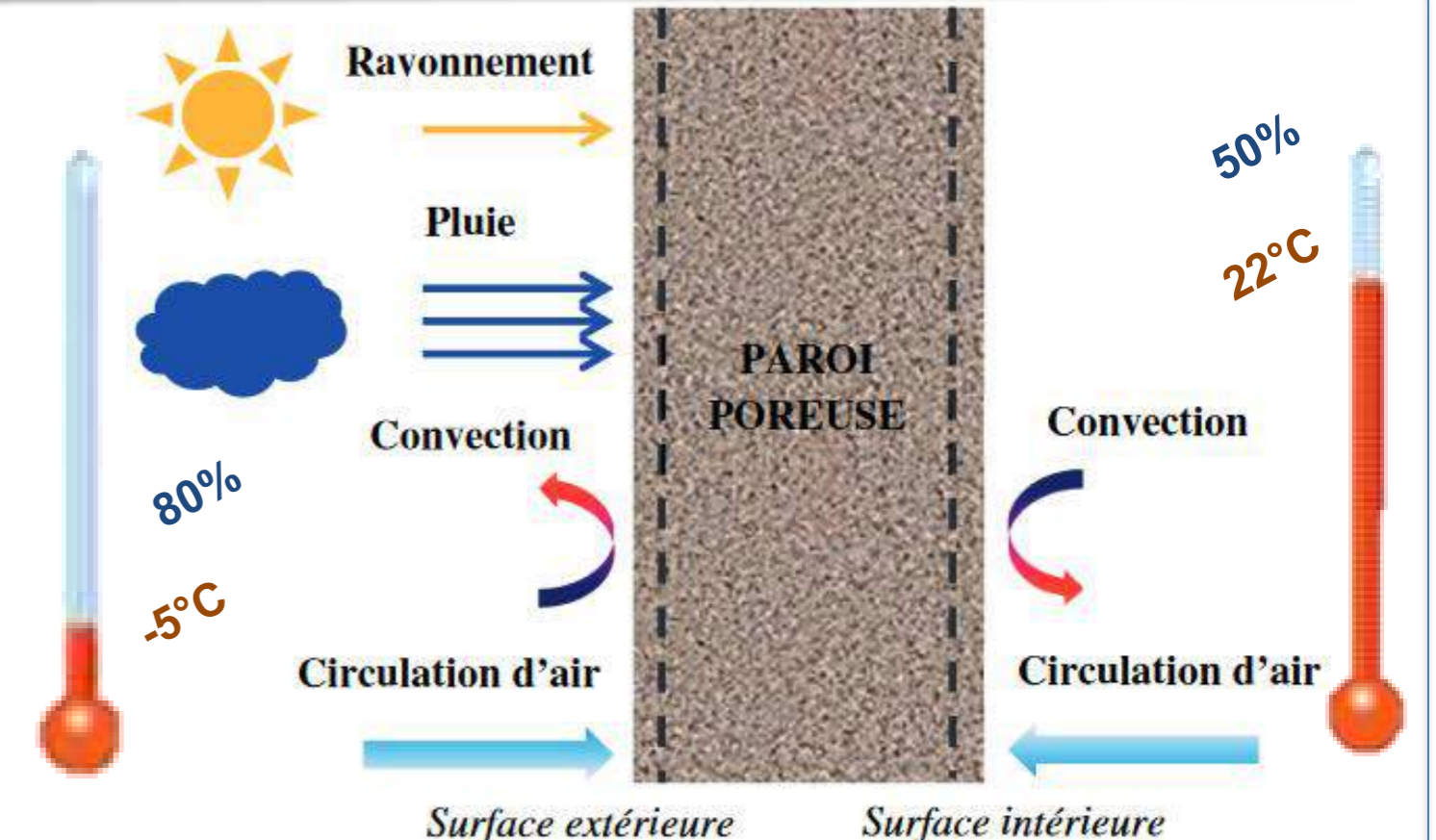
Principe d'étude

## Etudes expérimentales du comportement hygrothermique d'une paroi planes



- Des expériences en enceinte bi-climatique seront réalisées sur une paroi instrumentée de béton de chanvre.
- Des séquences de mesure seront réalisées avec des conditions de température et d'humidité constantes d'un côté et représentatives de conditions estivales ou hivernales de l'autre.
- Evaluation de l'impact de gradient de pression sur les transferts couplés de chaleur et de masse.

## Etudes numériques du comportement hygrothermique d'une paroi planes



Conditions aux limites extérieures et intérieures d'une paroi [AIT 2013]

$$* c_m \frac{\partial \omega}{\partial t} = \text{div}[d_m (\nabla \omega + \varepsilon \nabla T + K \nabla P)]$$

$$* C \rho_s \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(a_t \nabla T + \delta_t \nabla \omega + \zeta \nabla P) + h_{lv} \rho_s \chi \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

$$* h_a \frac{\partial P}{\partial t} = \text{div}(\lambda_f \nabla P) + \rho_s \chi \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

- Un système de trois équations aux dérivées partielles fortement couplées.
- Le modèle sera mis en œuvre sur le logiciel Comsol (méthode des éléments finis).
- Les évolutions mesurées de T(°C) et HR (%) au sein de la paroi vont être comparées à des résultats numériques obtenus par le modèle numérique développé.

## Résultats escomptés

- Une amélioration du modèle HAM (Heat, Air and Moisture) sera mise en œuvre sur le logiciel Comsol multiphysics en intégrant différents paramètres (la pression, la convection, la thermo-migration de la phase liquide et de l'hystérésis).
- Obtenir des données expérimentales quant au comportement thermique et hydrique du matériau.
- Evaluation de l'impact énergétique du béton de chanvre sur la performance énergétique de bâtiments et le confort des usagers.





# Béton avec des charges végétales

## Vicat :

- ▼ Groupe cimentier français présent à l'international
- ▼ 3 métiers (ciment, béton et granulats) avec 7500 collaborateurs

## Ciment Naturel Prompt (CNP)

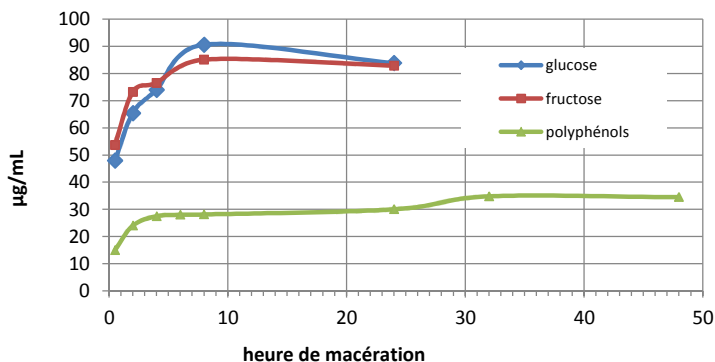
- ▼ Liant hydraulique à prise et durcissement rapide
- ▼ Cuisson d'un calcaire argileux à des températures modérées (de 800 à 1200°C) en four droit



## Formulation : interaction liant/végétal/eau

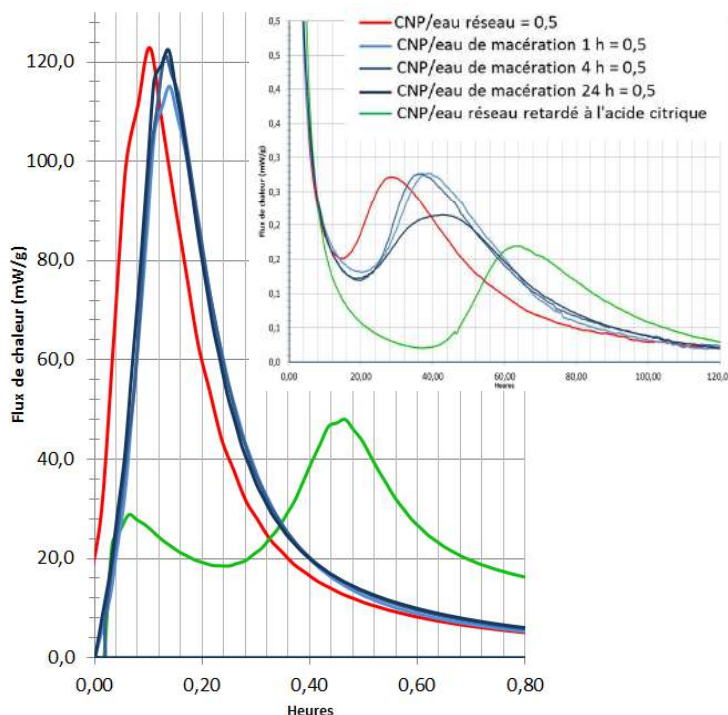
Le caractère hydrophile et la composition chimique de la chènevotte impose une formulation adaptée

### ▼ Lixiviation des sucres et polyphénols de la chènevotte



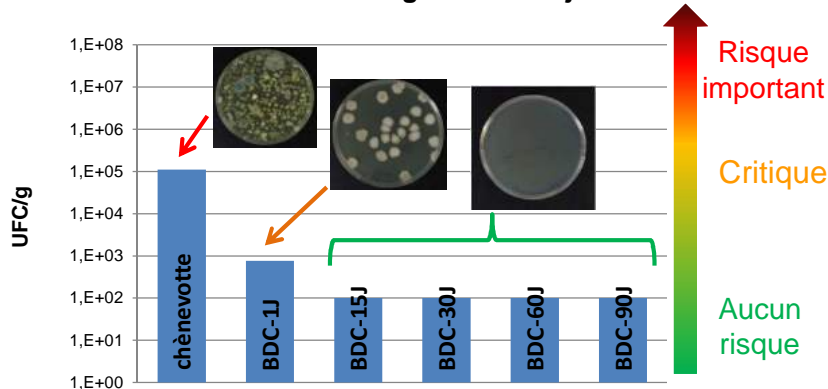
Mise au point d'une formulation adaptée

### ▼ Etude de la prise par micro-calorimétrie

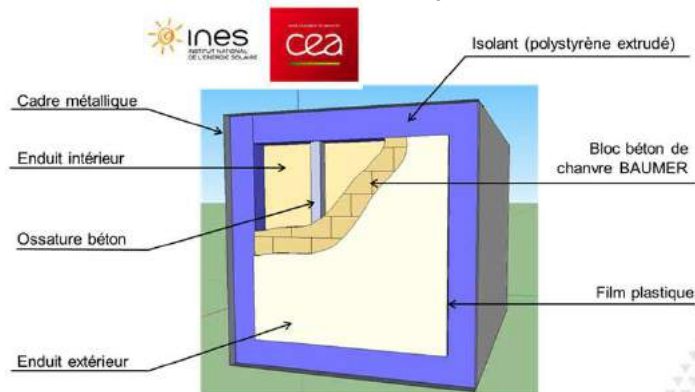


## ▼ Stabilité vis-à-vis de la croissance microbienne

### ▼ Quantification de micro-organismes présents sur la chènevotte et le béton âgé de 1 à 90 jours

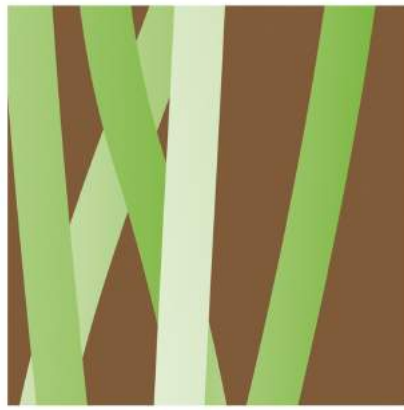


## ▼ Etude hygrothermique



Résistance thermique	R=4,8 (λ sec - enduit 2 faces)
Affaiblissement acoustique	43 dB
Régulateur hygrométrique	2,35 g/(m².%HR). Excellent régulateur
Stockage de CO <sub>2</sub>	4,50 t pour un pavillon de 130 m <sup>2</sup> (-0,35 kg CO <sub>2</sub> eq/Uf/an)
Comportement au feu	B-S1, d0
Comportement sismique	Zone 3





Fibres Recherche Développement®

*The development platform for  
plant-fibre-based biomaterial  
projects*

## Fibre designing and analysis

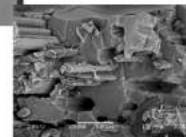
### Fibres, aggregates & powders:

- All plant based biomass
  - European and exotic fibres (flax, hemp, sisal, ...)
  - From  $\mu\text{m}$  to  $\text{dm}$
- All applicatives markets



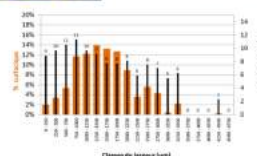
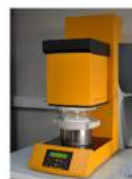
### Treatments & Fonctionnalization:

- Short fibres and aggregates
  - Reinforcements
  - Fibre/matrix interface
  - Fireproof
  - Waterproof...



### Analysis:

- Method development
- Quality control
- Tensile properties
- Morphology
- Chemical composition...





# Mise en œuvre d'un stratifié bio-sourcé. Influence des paramètres procédé sur les propriétés du composite à base de lin

T. Cadu, L. Van Schoors, O. Sicot, E. Keita, L. Divet, S. Fontaine

## Intérêts des fibres de lin :

- Faible densité
- Propriétés mécaniques spécifiques
- Coût énergétique
- Ressource renouvelable...

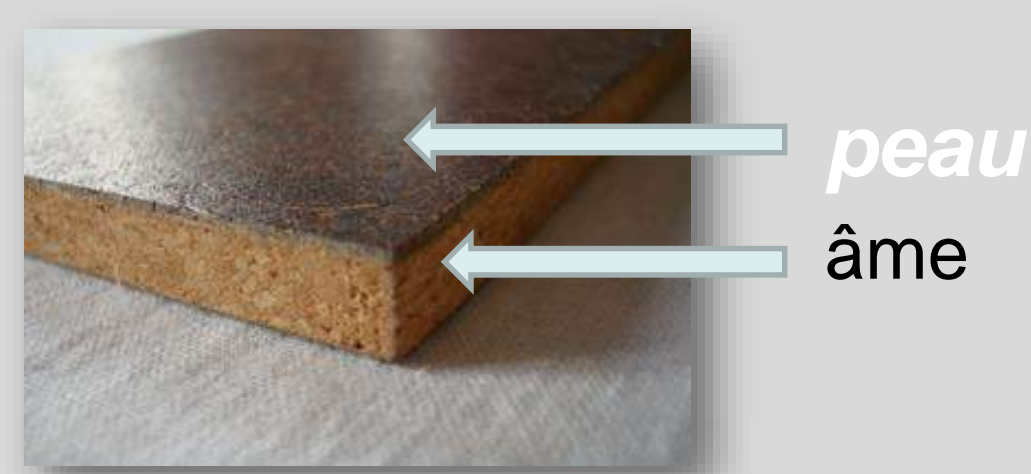


## Défis liés à leur utilisation :

- Hydrophilie
- Stabilité thermique
- Variabilité (dimensions et propriétés)
- Fibres discontinues

Il est nécessaire d'adapter les cycles de fabrication pour utiliser ces fibres dans des matériaux composites

## Composite sandwich



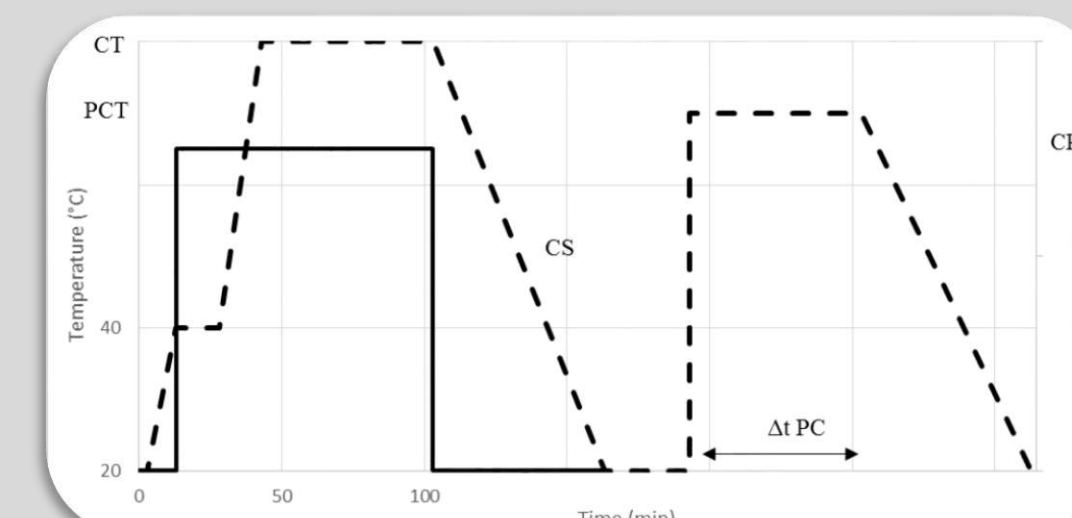
## Contexte de l'étude :

- Développement d'un procédé de fabrication adapté à la production de stratifiés lin/époxy
- Utilisation en tant que peau de structures sandwich dans le domaine automobile (ex : planche de coffre...)



## Procédé de fabrication :

- Imprégnation manuelle des fibres par une résine liquide
- Consolidation par **thermocompaction**



## Caractéristiques des matériaux :

- Densités :
- Fibres :  $1,45 \pm 0,01$
  - Matrice :  $1,19 \pm 0,01$
  - Composite :  $1,29 \pm 0,01$
- Taux de fibres :
- $\approx 47\%$  (en volume)

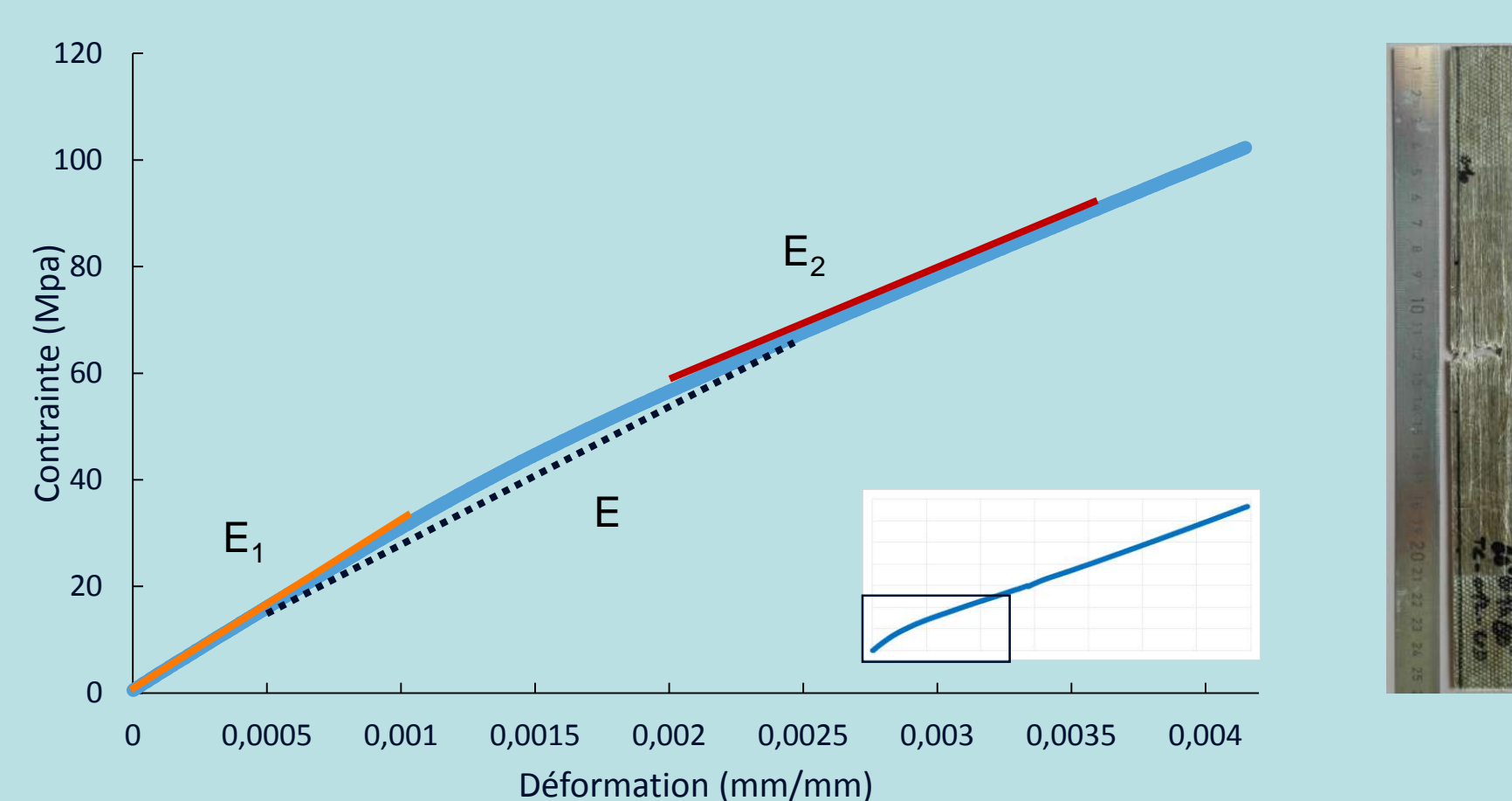
## Optimisation du procédé

### Paramètres étudiés :

- Pré-conditionnement des fibres
- Température de cuisson
- Vitesse de refroidissement
- Température de sortie de presse
- Température et durée de post-cuisson
- Pression

## Détermination des propriétés mécaniques :

Éprouvettes : 250x25x2  
Traction simple 1 mm/min

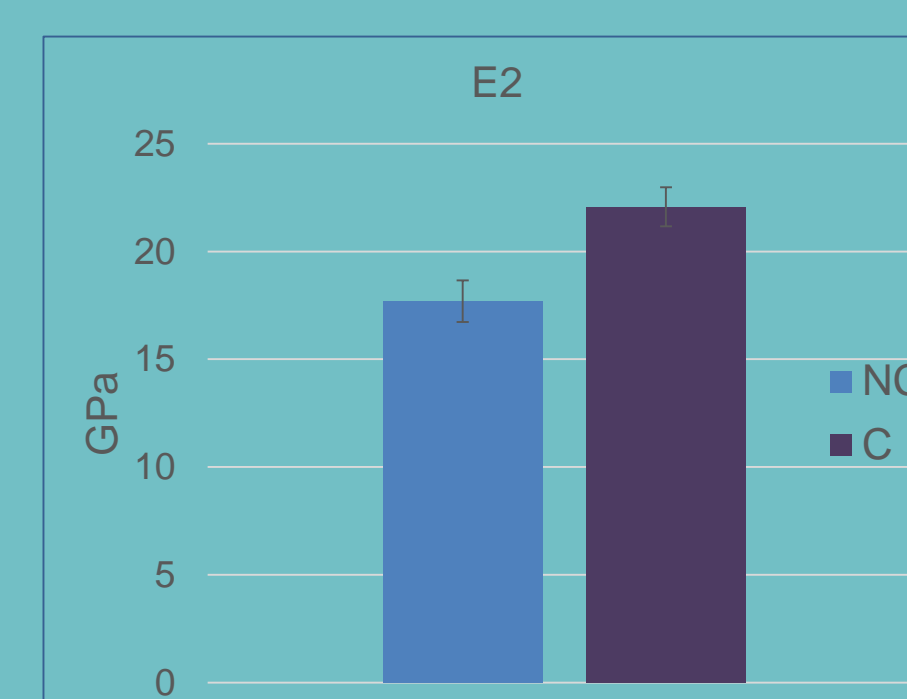
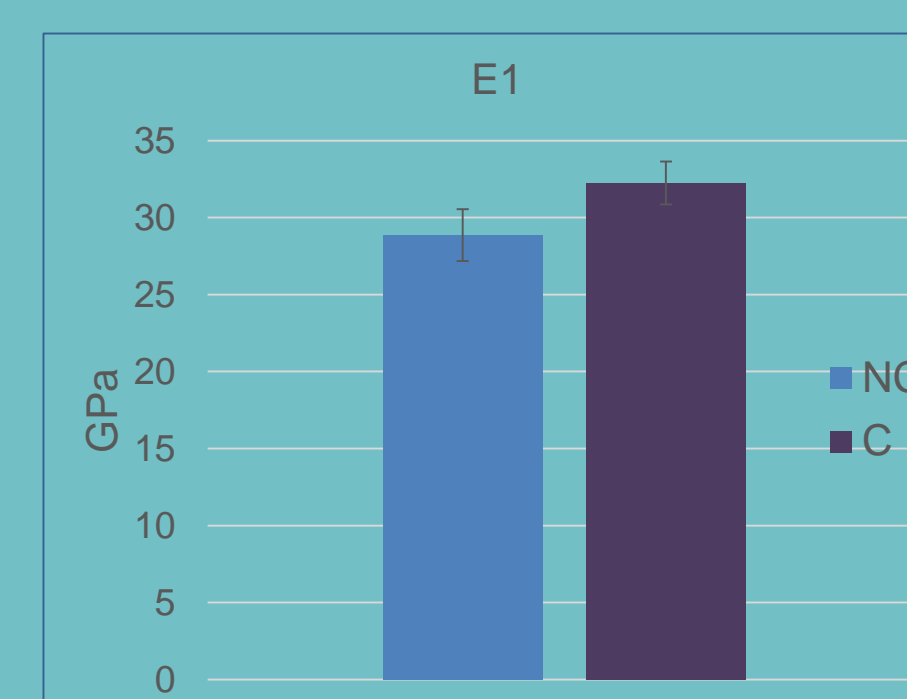
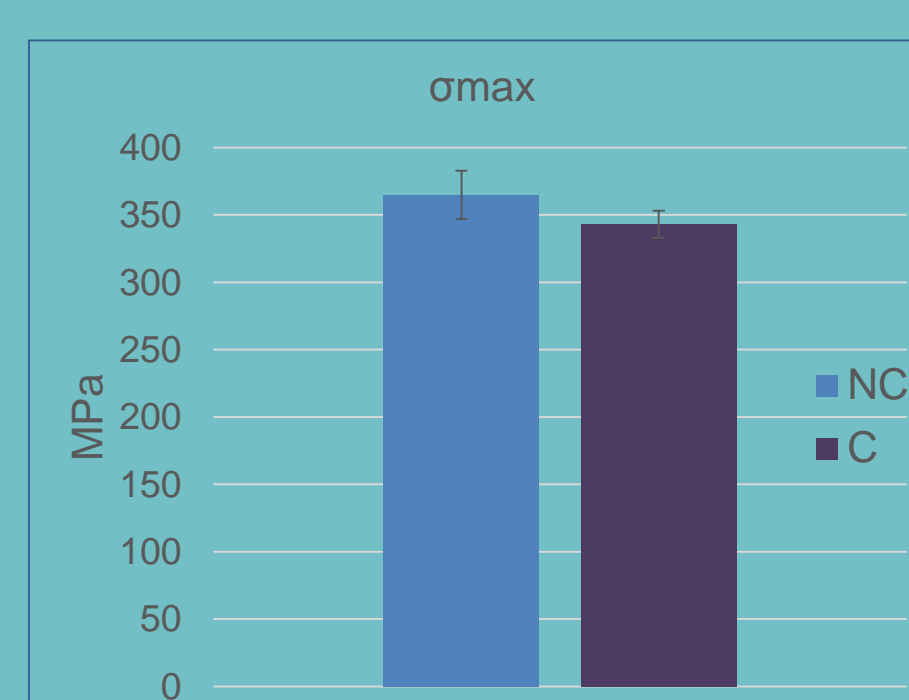


- Comportement « bilinéaire » hérité du comportement des fibres de lin en traction
- Module E normalisé ISO 527-4 (0,05% - 0,25%) calculé sur le point d'inflexion → non pertinent
- → Définition d'un module initial  $E_1$  et d'un module secondaire  $E_2$

## Influence du pré-conditionnement des fibres :

1 semaine 23°C / 50%HR

- → Ne perturbe pas la réticulation de la résine ( $T_g \geq$  résine seule)
- → Améliore les modules du composite
- → Permet d'avoir des renforts dans le même état avant fabrication → Répétabilité du procédé



	σ	E1	E2
NC -> C	-6%	+12%	+25%

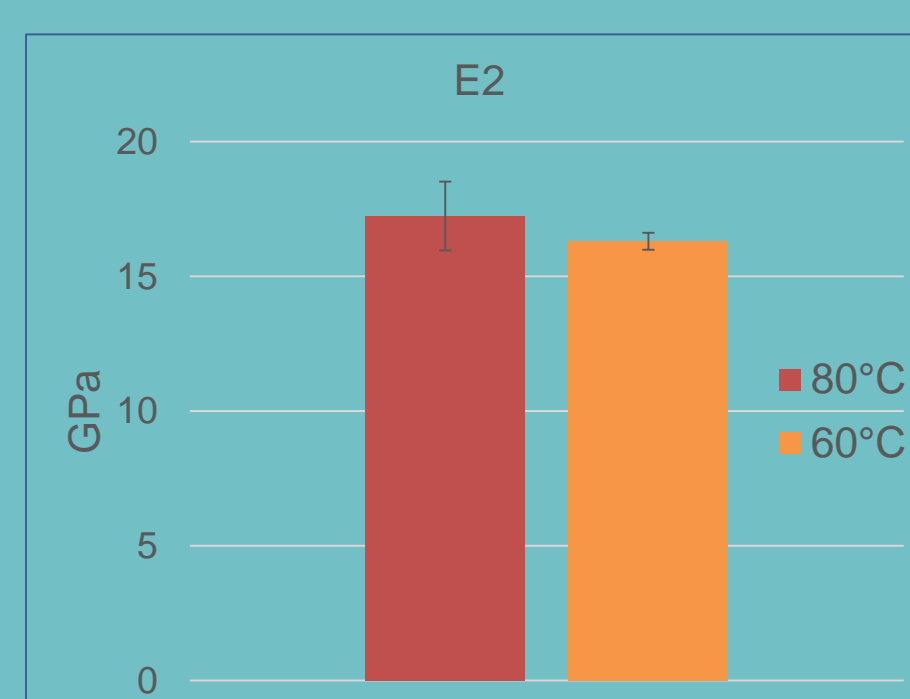
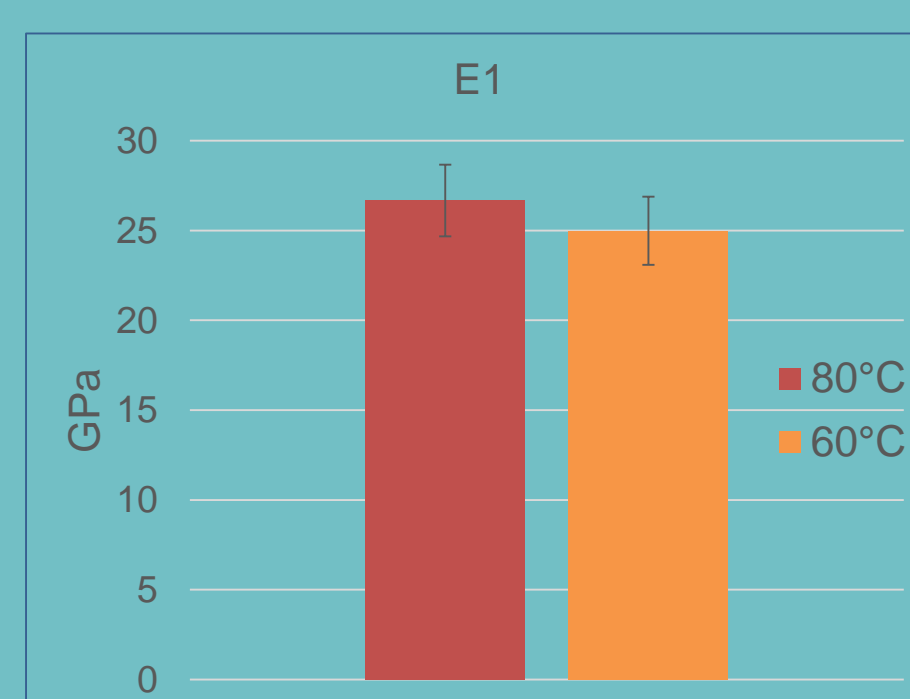
## Conclusion :

- → le comportement du composite est « bilinéaire » comme celui des fibres
- → L'utilisation de fibres pré-conditionnées permet la répétabilité de la mise en œuvre du composite et d'améliorer les propriétés mécaniques
- → L'utilisation d'une température de mise en œuvre de 80°C est bien adaptée à la fabrication de stratifiés lin/époxy

## Influence de la température de cuisson :

60°C → 80°C

- → Les fibres ne sont pas négativement impactées malgré le dépassement de la température de fusion des cires et graisses
- → L'interface semble améliorée ( $\nearrow \sigma$ )
- → Bonne réticulation de la résine dans les deux cas



	σ	E1	E2
60°C -> 80°C	+12%	+7%	+6%





# Diffusion massique en régime de non-équilibre local:

### Résumé :

Ce travail propose de modéliser et de caractériser le comportement diffusif de **panneaux de fibres de faible densité (LDF)**. Ces matériaux offrent de **bonnes performances thermiques** et sont prometteurs dans le domaine de **l'isolation**. Cependant de nombreux travaux ont mis en évidence des différences importantes entre les simulations des transferts massiques et les résultats expérimentaux. L'origine de ces différences provient entre autre du fait que le matériau présente une morphologie à **double porosité** (phase gazeuse très diffusible et fibres très peu diffusibles) et de la présence de **relaxation macromoléculaire**. Ces deux phénomènes aboutissent à des situations de **non-équilibre local**. Une nouvelle **formulation macroscopique** permettant de prendre en compte ce non-équilibre est proposée. En parallèle un **nouveau dispositif expérimental** permet de soumettre des échantillons à une perturbation d'humidité relative sur leur face avant puis de collecter l'évolution de l'**humidité relative en face arrière** de l'échantillon ainsi que sa **masse** en fonction du temps. Ce dispositif doit permettre **d'alimenter la nouvelle formulation**. Les premiers résultats sont très prometteurs.

### Problématique du non-équilibre local

Ces matériaux sont constitués d'une **phase gazeuse très connectée** et d'une **phase solide mal connectée**. Les molécules d'eau pénètrent lentement à l'intérieur de la phase solide (phénomène de diffusion d'eau liée) alors que la **vapeur** diffuse rapidement à travers la phase gazeuse (diffusion dans l'air).

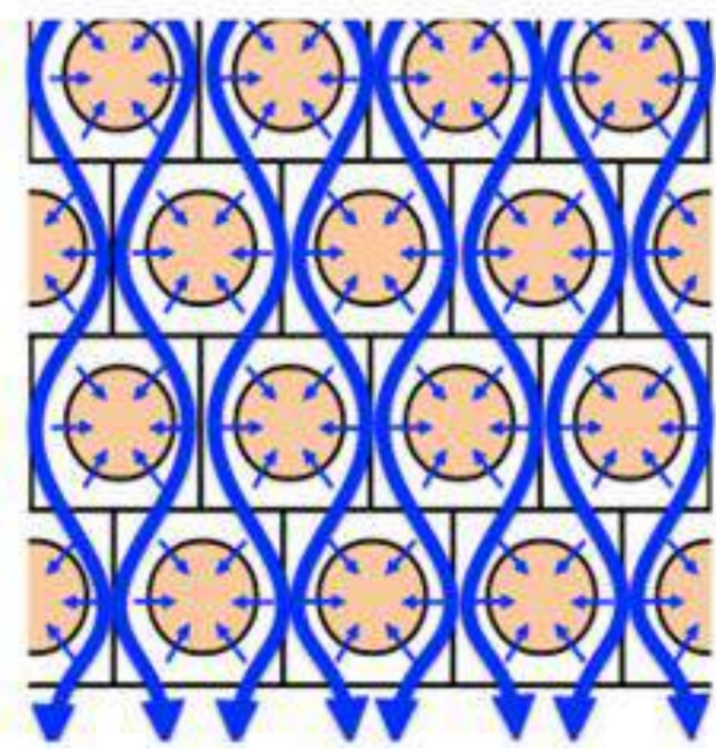


Schéma explicatif des transferts diffusifs pour des matériaux à double échelle de porosité

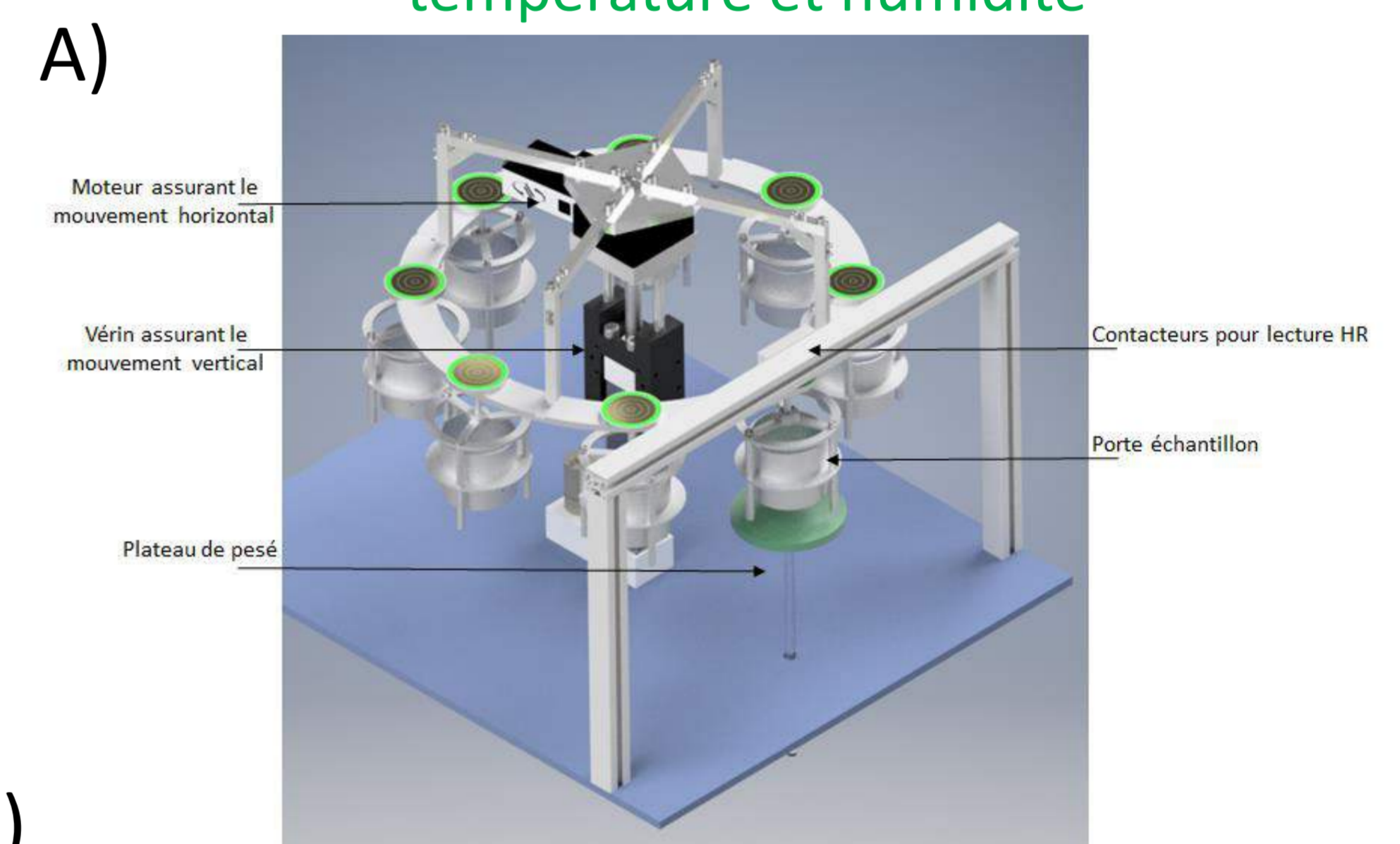
A ceci s'ajoute la **relaxation macromoléculaire** des polymères végétaux qui induit un **retard de l'ordre de la centaine d'heures** à l'équilibre hygroscopique. Cet effet est particulièrement visible aux **hautes humidités relatives**.

Dans le domaine du bâtiment les alternances des cycles jours-nuit conduisent à des situations de **non-équilibre local**.

### Un nouveau dispositif expérimental

Principe : Imposer une perturbation de **l'humidité relative en face avant** de l'échantillon et collecter l'évolution de **l'humidité relative en face arrière** et de **la masse**.

→ Un robot peseur d'échantillon positionné dans une enceinte climatique contrôlée en température et humidité



A) Vue isométrique du dispositif sans l'enceinte  
B) Photo d'un porte-échantillon  
C) Photo du système de transmission/contacteurs

### Formulation macroscopique

Utilisation de **fonctions mémoires** permettant de transférer le comportement de la fibre à l'échelle microscopique vers l'échelle **macroscopique** :

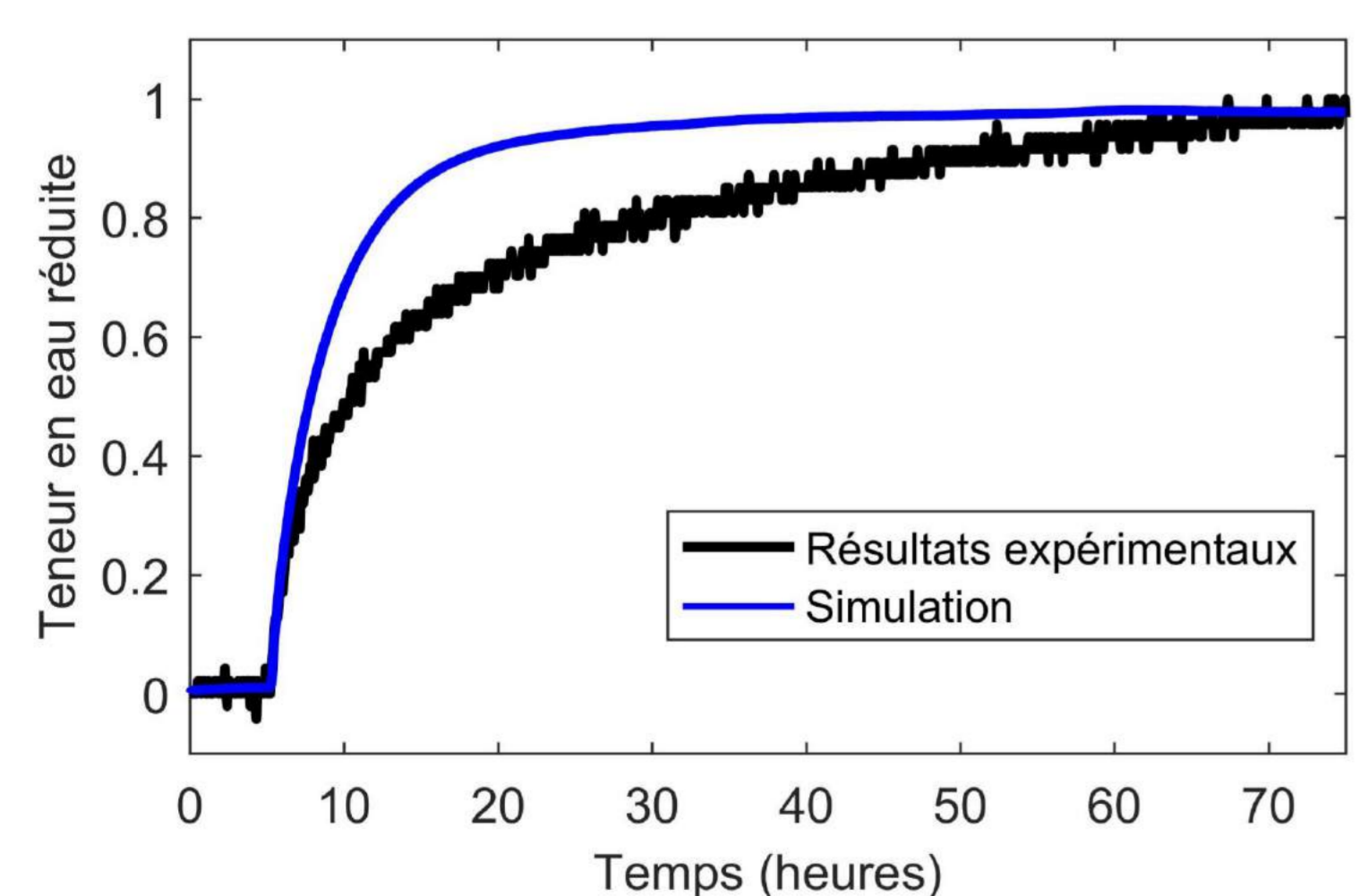
$$X(t) - X_{eq}(HR_{ini}) = \int_0^t \varphi(t - \tau) \frac{\partial X_{eq}}{\partial \tau} d\tau$$

Le produit de convolution permet de reproduire le comportement simple de la fibre (fonction échelon) dans le cas d'une variation temporelle quelconque de l'humidité relative en fonction du temps.

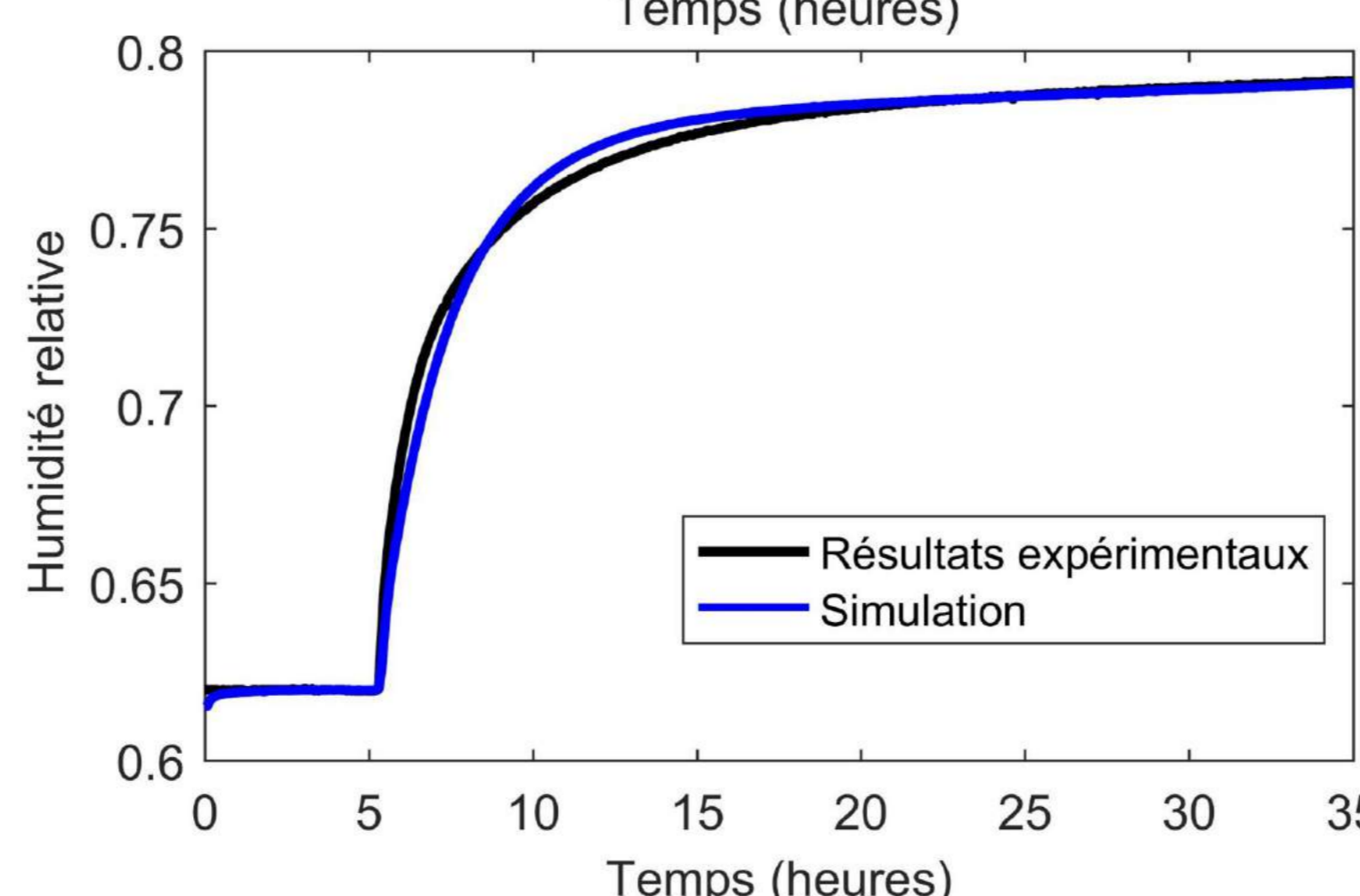
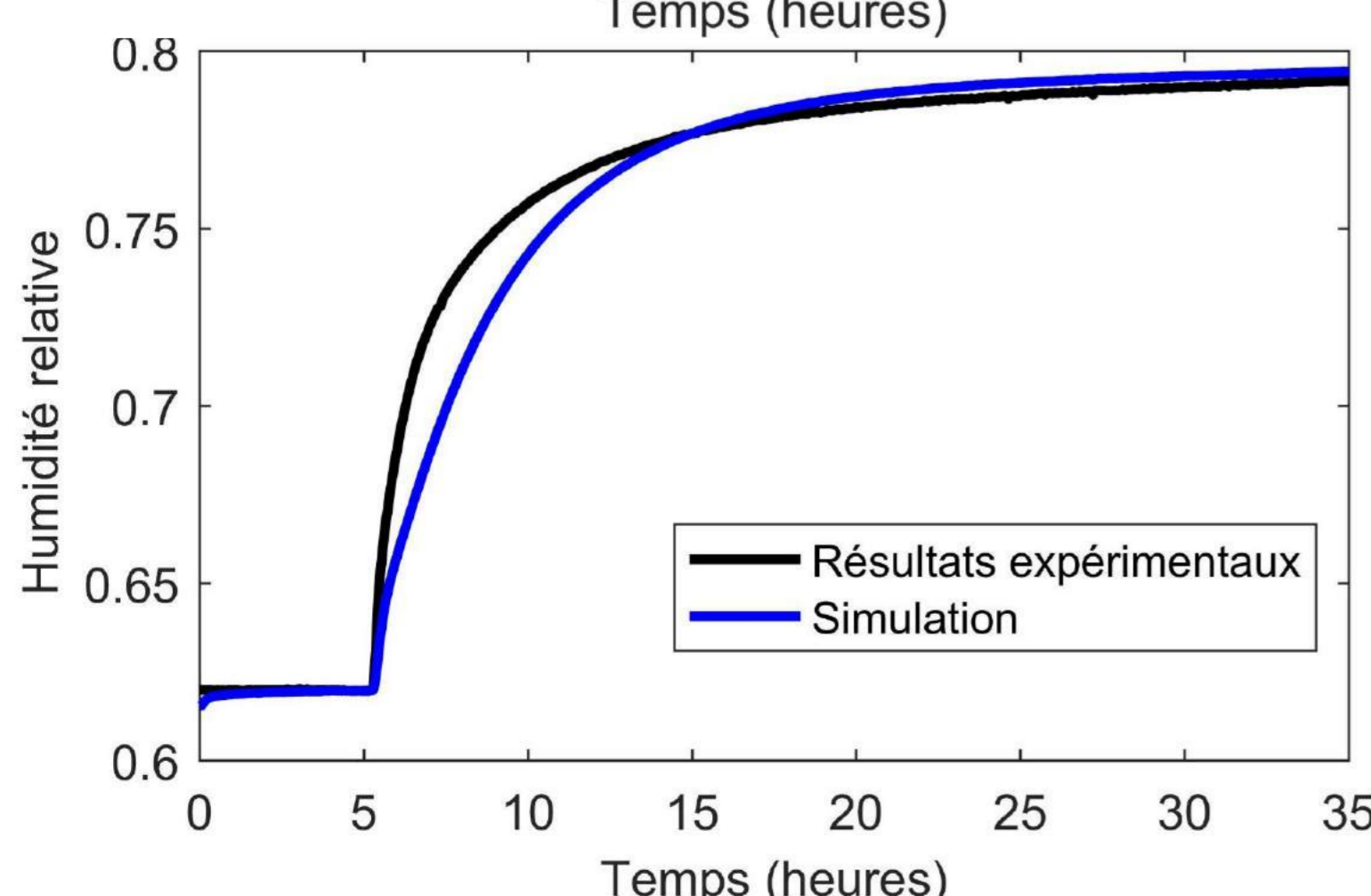
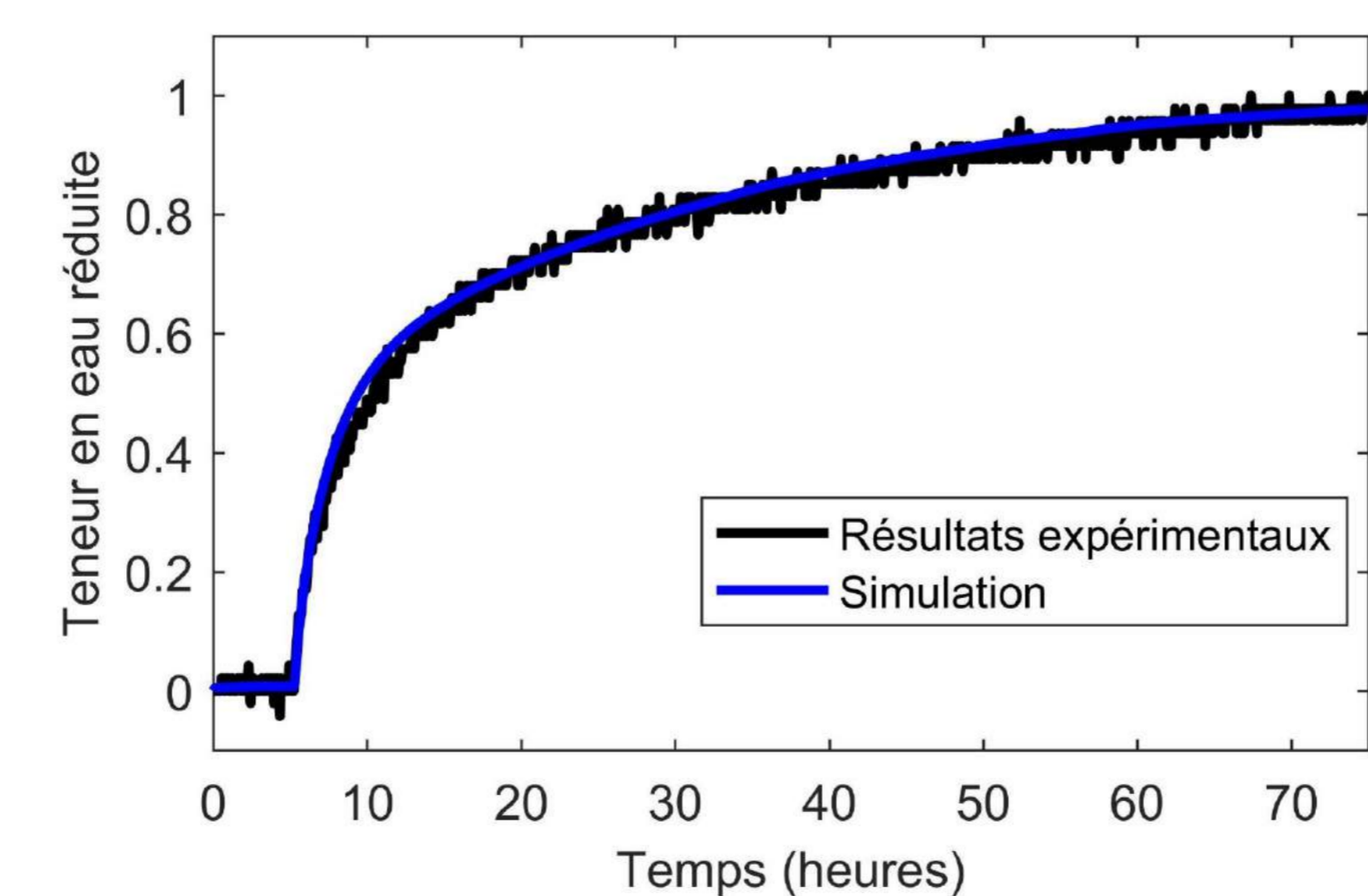
### Comparaison entre les données expérimentales et les simulations

Exemple d'un échantillon de **LDF de 160kg/m<sup>3</sup>** d'une épaisseur de **4 cm** soumis à un saut d'humidité de **62 à 80%** en conditions isothermes à **35°C**

#### Résultats avec la formulation classique



#### Résultats avec la nouvelle formulation et la fonction mémoire identifiée



la fonction mémoire  
Permet d'identifier

### Conclusion et perspectives

- ✓ Simulations nettement améliorées grâce à la nouvelles formulation,
- ✓ Mise en évidence du **non-équilibre local** sur divers matériaux biosourcés, particulièrement à haute humidité relative,
- ✓ **Identification des fonctions mémoires** pour ces matériaux, avec possibilité de traiter **jusqu'à huit échantillons différents par essai**,
- ✓ Implémentation de la nouvelle formulation possible dans les **codes de thermique du bâtiment**.

Remerciements à : [ la fabrique ]

arnaud.challanonnex@centralesupelec.fr

Implémentée dans le code Transpire

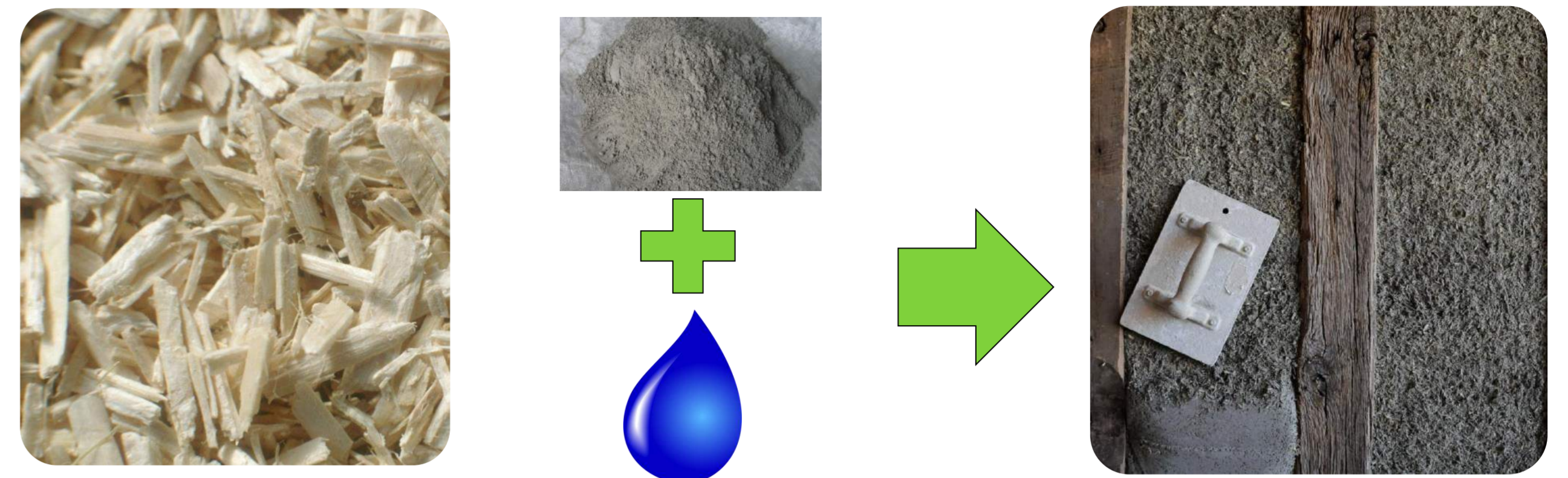


# Etude de la durabilité d'isolant à base de granulats végétaux - Méthodologie

## Problématique

Les bétons de chanvre sont utilisés pour leurs bonnes propriétés fonctionnelles : **isolation thermique, acoustique** et leur comportement **hygrothermique**.

Ces caractéristiques font l'objet d'un grand nombre de travaux, mais très peu de recherches portent sur **l'étude de leur durabilité**, pourtant nécessaire à leur développement industriel.

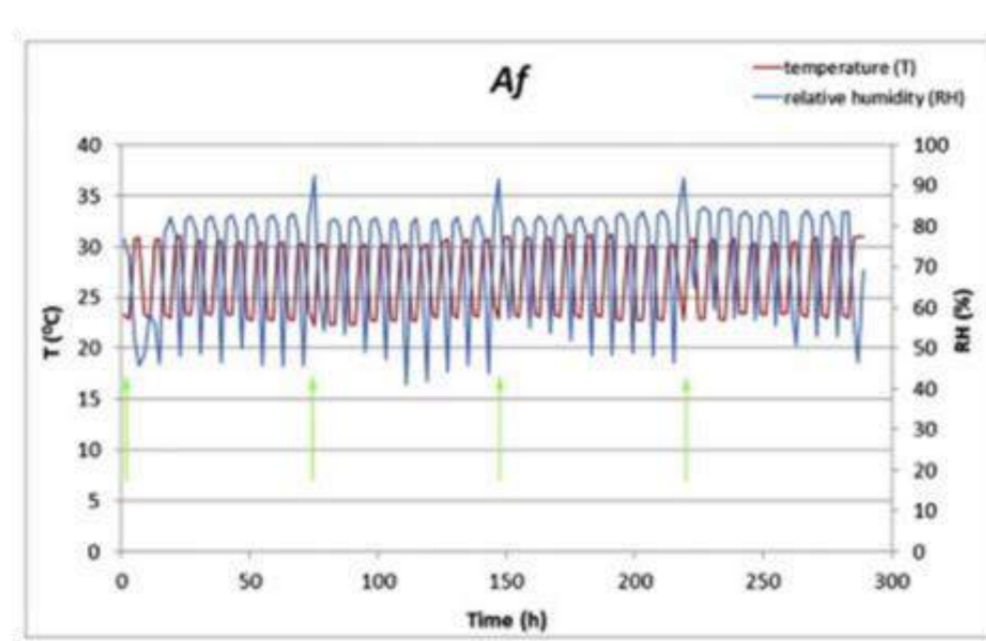
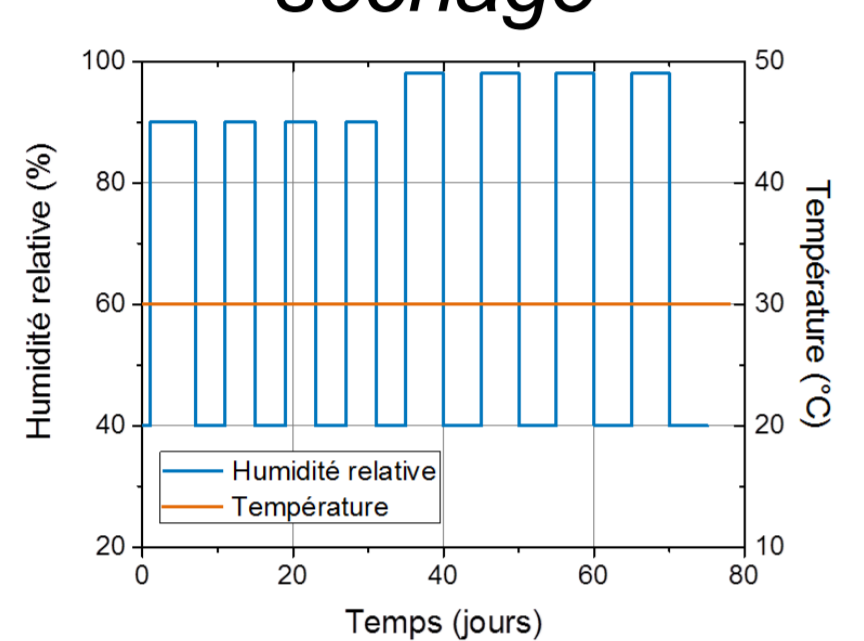


## Identification des paramètres modifiant les propriétés du matériau

### Variation d'humidité relative

Cycle humidification séchage<sup>[1]</sup>

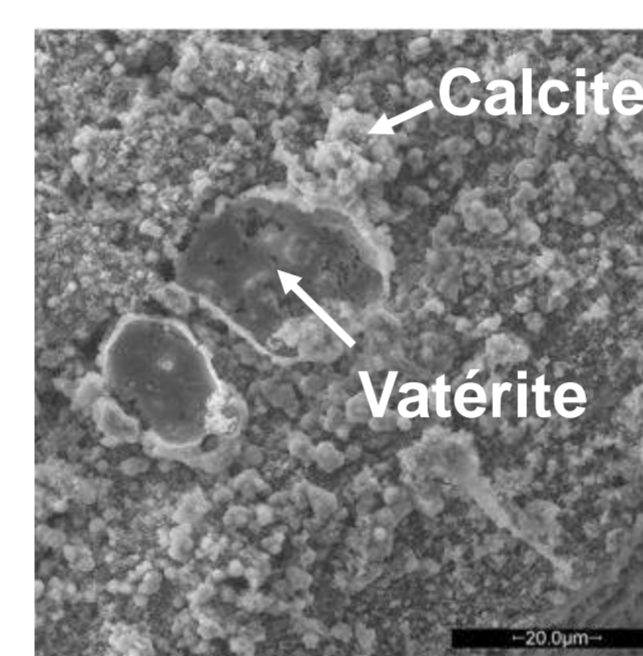
Simulation climatique<sup>[2]</sup>



- Peu de variations à l'échelle macroscopique
- Faible diminution de la porosité
- Modification de l'hydratation et de la carbonatation du liant

### Présence de microorganismes

Développement de bactéries et de champignons

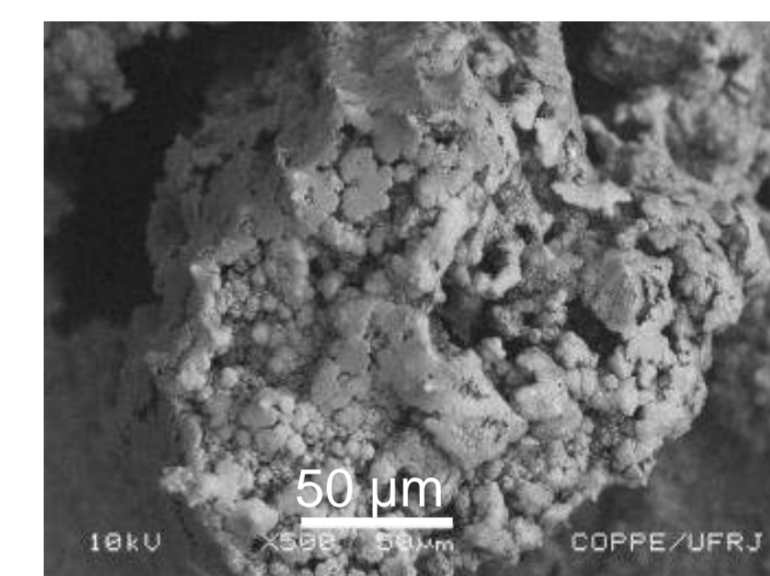


- Diminution du pH par carbonatation du liant<sup>[1]</sup> → Conditions favorables aux microorganismes
- Formation de vaterite ( $\text{CaCO}_3$ ) favorisée par la présence de microorganismes<sup>[2]</sup> → Modification du liant

### Alcalinité de la matrice

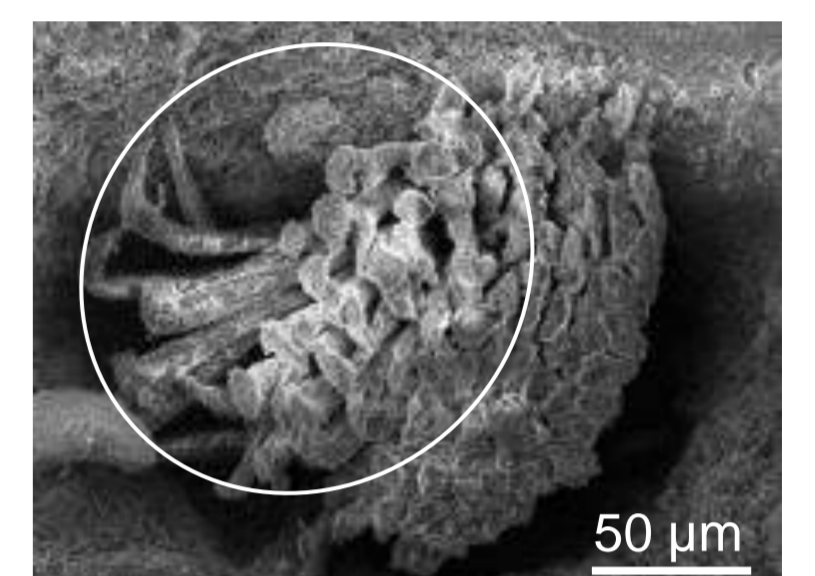
2 mécanismes identifiés pour la dégradation de fibres végétales en matrice cimentaire :

1) Minéralisation<sup>[3]</sup>



- Reprécipitation de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sur les fibres et du lumen

2) Attaque alcaline<sup>[4]</sup>



- Décohésion des fibres élémentaires

## Matériaux

**Chênevotte** : - Isocanna (CESA)

**Liants** : - Ciment Naturel Prompt (Vicat)  
 - Batchanvre (CESA)

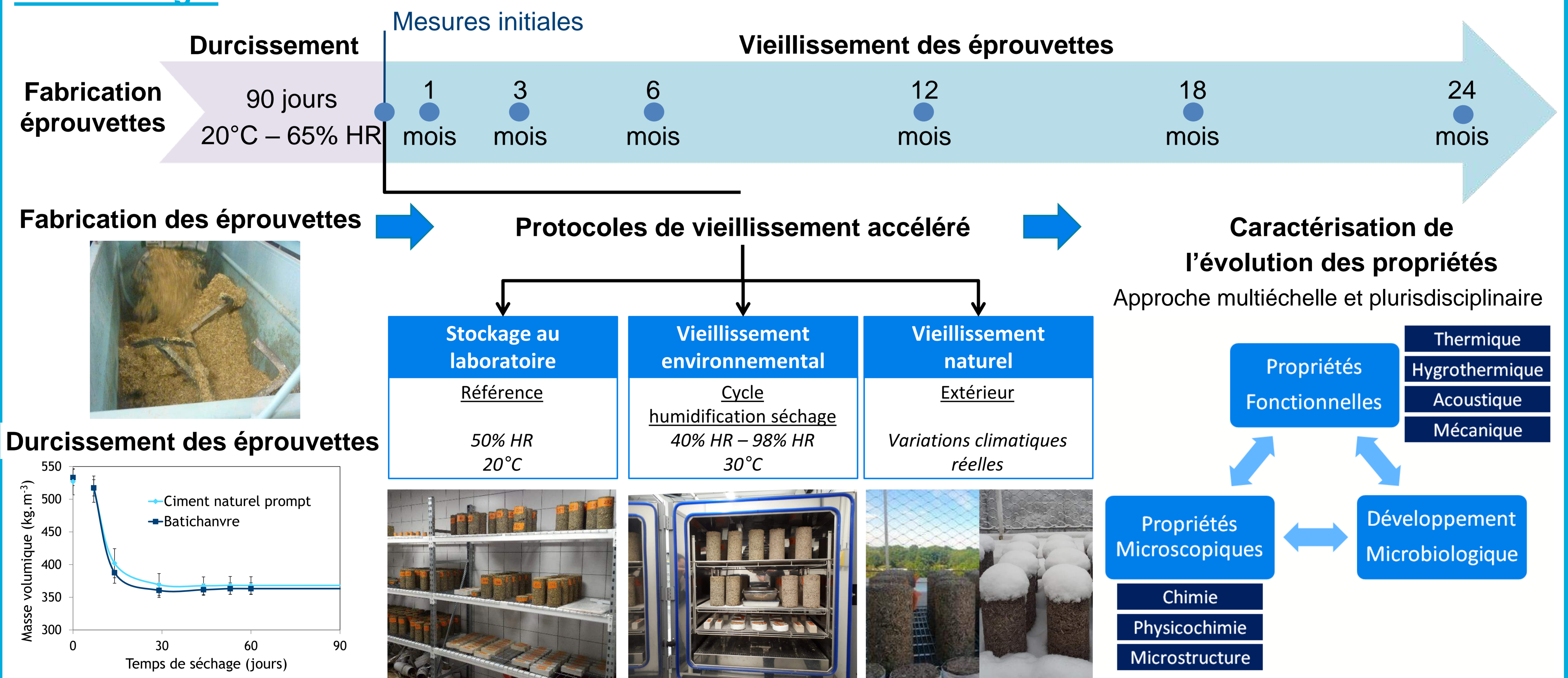
**Formulation Mur** :

•  $\text{Rapport}_{\text{mass}} \text{Liant/Granulat} = 2$

$\rho_{\text{sec}} = 350 \text{ kg.m}^{-3}$

•  $\text{Rapport}_{\text{mass}} \text{Eau/Liant} = 1$

## Méthodologie



## Conclusion

Mise en place d'une méthodologie d'étude de la durabilité de béton de chanvre :

- ✓ Identification des **paramètres** impactant le matériau
- ✓ Choix des **matériaux**
- ✓ Choix des **protocoles de vieillissement accéléré**
- **Caractérisation** de l'évolution des propriétés pendant le vieillissement
- Compréhension des **mécanismes de vieillissement**
- Détermination d'**indicateurs de durabilité**
- 1<sup>ère</sup> estimation de **durée de vie**

**Références** : <sup>1</sup> S. Marceau, et al. *Construction and Building Materials*, 2017.  
<sup>2</sup> A. Arizzi, et al. *Science of the Total Environment*, 2015 ; 542, p. 757-770.  
<sup>3</sup> R.D. Toledo Filho, et al. *Construction and Building Materials*, 2009 ; Vol. 23 (6), p. 2409-2420.  
<sup>4</sup> J. Wei, C. Meyer. *Cement and Concrete Research*, 2015 ; Vol. 73, p. 1-16.



# La paille de coriandre, un résidu agricole original pour l'obtention de matériaux de construction 100% biosourcés

Evelien Uitterhaegen<sup>a</sup>, Laurent Labonne<sup>a</sup>, Stéphane Ballas<sup>b</sup>,  
Thierry Véronèse<sup>b</sup>, Philippe Evon<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Chimie Agro-industrielle (LCA), Université de Toulouse, INRA, INPT, Toulouse, France

<sup>b</sup> Ovalie Innovation, Auch, France

\* Adresse e-Mail (auteur correspondant) : [Philippe.Evon@ensiacet.fr](mailto:Philippe.Evon@ensiacet.fr) (Ph. Evon)

## Introduction



*Coriandrum sativum*



**Fruits** (20% en masse de la partie aérienne de la plante)



**Paille** (80% en masse de la partie aérienne de la plante)

**PRESSAGE MÉCANIQUE CONTINU EN RÉACTEUR BI-VIS [1]**

**Huile végétale** (13% du fruit sec)

Applications possibles en **alimentation**, en **cosmétique** ou pour l'**industrie chimique** [2]

**Tourteau**

Utilisation possible comme **liant protéique naturel** pour la fabrication de **panneaux denses auto-liés** [3, 4]

- ▶ Déchet de culture riche en fibres ligno-cellulosiques (**Tableau 1**).
- ▶ Tonnage disponible ⇔ ≈ 250 tonnes / an (forte croissance attendue dans les cinq années à venir).
- ▶ Faible coût ⇔ ≈ 90 € / tonne (prix incluant la récolte, la mise en botte et le transport).

→ **Valorisable pour l'obtention de matériaux de construction 100% biosourcés ?**

**Tableau 1.** Composition chimique de la paille de coriandre (% de matière sèche).

Constituants chimiques	Cellulose	Hémicelluloses	Lignines	Protéines	Lipides	Minéraux	Hydrosolubles
Teneurs massiques (min-max)	52,5-54,9	21,2-27,6	2,9-9,8	2,2-3,7	0,5-0,8	3,0-4,2	8,0-10,4

## Résultats et discussion

### ① ISOLANT EN VRAC

- ▶ **Défilage thermo-mécano-chimique bi-vis** (en présence d'eau).  
⇨ **Soufflage dans les combles pour l'isolation des bâtiments.**

Ratio L/S	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0 + borax (4,5%)
$d_{tapée}$ (kg/m <sup>3</sup> )	109,9	70,3	63,6	60,6	69,4
L/d	22,9	25,2	26,2	26,5	25,5
$\lambda$ (mW/m.K)	52,5	n.d.	n.d.	47,3	49,3
R (m <sup>2</sup> .K/W) <sup>1</sup>	0,95	n.d.	n.d.	1,06	1,01

L/S, ratio liquide/solide lors du traitement bi-vis ; L/d, facteur de forme moyen des fibres (mesure faite à l'analyseur MorFi). - <sup>1</sup> Résistance thermique pour une épaisseur de 5 cm d'isolant en vrac. - n.d., non déterminé.

### ② BLOC ISOLANT DE BASSE DENSITÉ (BI)

- ▶ **Bloc isolant associant :**
  - de la paille de coriandre broyée (7,5 mm).
  - un liant amylicé (15%).
- ▶ **Moulage à froid par compression** (87 kPa, 30 s) + **séchage** (80°C) (pour éliminer l'eau ajoutée pour la dissolution du liant) :
  - 155 kg/m<sup>3</sup>, densité.
  - 55,6 mW/m.K, conductivité thermique.
  - 0,90 m<sup>2</sup>.K/W, résistance thermique (5 cm ép.).
 ⇨ **Isolation thermique des bâtiments.**

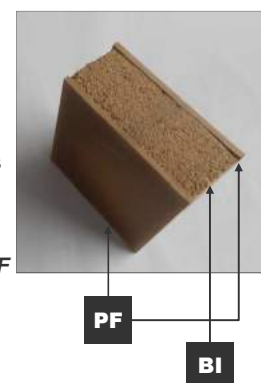


### ③ PANNEAU DE FIBRES AUTO-LIÉ & DE HAUTE DENSITÉ (PF)

- ▶ **Panneau de fibres auto-lié & de haute densité** [5] associant :
    - de la paille extrudée (ratio L/S = 0,4) en guise de renfort mécanique.
    - du tourteau en guise de liant naturel (40%).
  - ▶ **Thermopressage** (205°C, 21,6 MPa, 300 s) + **post-cuisson** (200°C, 10') :
    - 1195 kg/m<sup>3</sup>, densité.
    - 81°, dureté de surface (Shore D).
    - 29,1 MPa, résistance en flexion.
    - 3,9 GPa, module de flexion.
    - 24%, gonflement en épaisseur (après 24 h d'immersion dans l'eau).
 ⇨ **Meubles, planchers domestiques, construction générale, etc.**
  - ▶ Alternatives crédibles aux panneaux de bois collés : OSB, MDF, etc.
  - ▶ Pas d'émission de formaldéhyde [6].
- ⇨ **Moindre impact sur l'environnement & sur la santé humaine !**

### ④ SANDWICH (ISOLANT THERMIQUE & PARE-VAPEUR)

- ▶ **Matériau sandwich associant :**
  - deux panneaux de fibres (PF).
  - un complément d'isolation thermique (BI).
 ⇨ **Complexe PF-BI-PF.**
- ▶ Utilisable dans les **constructions en bois**.
- ▶ Positionné dans les cloisons et les murs des maisons (à l'intérieur).
- ▶ Pourrait agir à la fois comme :
  - **Matériau structurant.**
  - **Isolant thermique.** **Complexe PF-BI-PF**
  - **Pare-vapeur.**



## Conclusion

- ▶ La paille de coriandre, un résidu agricole original, peu coûteux et particulièrement riche en fibres lignocellulosiques.
- ▶ Pour les années à venir, une disponibilité croissante en raison des nouvelles utilisations de l'huile végétale du fruit (*Novel Food Ingredient*).
- ▶ Une opportunité pour la fabrication d'agromatériaux issus en totalité de la coriandre : paille seule ou paille + tourteau.
- ▶ Des matériaux 100% biosourcés pour diverses utilisations dans la construction.

### RÉFÉRENCES

- [1] Uitterhaegen, E., Nguyen, Q.H., Sampaio, K.A., Stevens, C.V., Merah, O., Talou, T., Rigal, L., Evon, Ph., Extraction of coriander oil using twin-screw extrusion: Feasibility study and potential press cake applications. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **92** (8), 1219-1233 (2015).
- [2] Uitterhaegen, E., Sampaio, K.A., Delbeke, E.I.P., De Greyt, W., Cerny, M., Evon, Ph., Merah, O., Talou, T., Stevens, C.V., Characterization of French coriander oil as source of petroselinic acid. *Molecules*, **21** (9), 1202 (2016).
- [3] Uitterhaegen, E., Nguyen, Q.H., Merah, O., Stevens, C.V., Talou, T., Rigal, L., Evon, Ph., New renewable and biodegradable fiberboards from a coriander press cake. *J. Renew. Mater.*, **4** (3), 225-238 (2016).
- [4] E. Uitterhaegen, L. Labonne, O. Merah, T. Talou, S. Ballas, T. Véronèse & P. Evon, Optimization of thermopressing conditions for the production of binderless boards from a coriander twin-screw extrusion cake. *J. Appl. Polym. Sci.*, **134** (13), 44650 (2017).
- [5] Uitterhaegen, E., Labonne, L., Merah, O., Talou, T., Ballas, S., Véronèse, T., Evon, Ph., Impact of a thermomechanical fiber pre-treatment using twin-screw extrusion on the production and properties of renewable binderless coriander fiberboards. *Int. J. Mol. Sci.*, **18**, 1539 (2017).
- [6] Uitterhaegen, E., Burianová, K., Ballas, S., Véronèse, T., Merah, O., Talou, T., Stevens, C.V., Evon, Ph., Simon, V., Characterization of volatile organic compound emissions from self-bonded boards resulting from a coriander biorefinery. *Ind. Crops Prod.*, under review (2018).



# TERRACREA

Luc Floissac, Pierre Besse, Hans Valkhof, Sylvain Angerand

LRA – Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse

## Matériaux de constructions biosourcés, ressources agricoles et forestières.

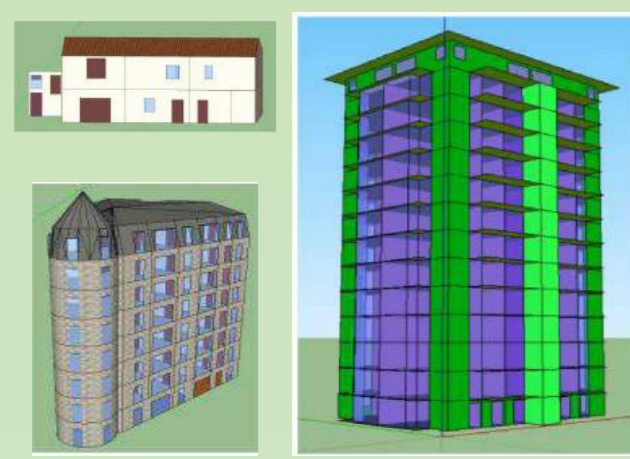
### Etat des lieux, prospectives et propositions à l'horizon 2030-2050

**Démarche:** nous avons évalué les besoins bruts en matériaux pour la construction de bâtiments (logements, bâtiments tertiaires, publics, bâtiments agricoles), en tenant compte de l'évolution de la population française et des politiques affichées par l'Etat et les régions, les objectifs de croissance de la construction en bois et de diminution des gaz à effet de serre.

En modélisant le parc de bâtiments français, nous en avons déduit les quantités de matériaux nécessaires pour le bâtir et le rénover. Le modèle a été calé à partir de l'année 2010 qui est la référence.

## 1. Modélisation & simulations

### Modélisation du parc



### Paramètres de simulation

Année	2010	2030	2050
Taux d'occupation logements	65%	65%	65%
Répartition des logements			
Individuels	57%	50%	40%
Collectifs	43%	50%	60%
Surf. Moyennes logements			
Individuels neufs	112 m <sup>2</sup> / log.	112 m <sup>2</sup> / log.	112 m <sup>2</sup> / log.
Collectifs neufs	71 m <sup>2</sup> / log.	71 m <sup>2</sup> / log.	71 m <sup>2</sup> / log.
Individuels anciens	110 m <sup>2</sup> / log.	110 m <sup>2</sup> / log.	110 m <sup>2</sup> / log.
Collectifs anciens	68 m <sup>2</sup> / log.	68 m <sup>2</sup> / log.	68 m <sup>2</sup> / log.
Répartition des immeubles de log. collectifs par nb. de niveaux			
inf. ou égal à 4	85%	85%	85%
5 à 8 niveaux	13%	13%	13%
9 niveaux et plus	2%	2%	2%
Rythme de constructions neuves			
Nb. Logements neufs / an	346 018	500 000	600 000
Surfaces constructibles (m <sup>2</sup> / an)			
Agricultures	16 493 053	17 540 213	18 325 615
Industriels et artisanaux	83 506 947	89 808 975	92 785 496
Tertiaires	850 000 000	963 968 254	944 444 444
Résidentiels			
Entretien	5%	5%	5%
Rénovation	Variable selon scénario		
Rhab.	5%	5%	5%
Agricoles			
Entretien	10%	10%	10%
Rénovation	10%	10%	10%
Rhab.	5%	5%	5%
Industriels et artisanaux			
Entretien	15%	15%	15%
Rénovation	10%	10%	20%
Rhab.	5%	10%	15%
Tertiaires			
Entretien	10%	15%	20%
Rénovation	15%	15%	15%
Rhab.	5%	7%	10%
Taux de chute des bois sciés et des panneaux			
Rhab.	5%	7%	10%
Entretien	5%	5%	5%
Rénovation	10%	10%	10%

### Modélisation de Politiques de réhabilitation



MODELISATION MORPHOLOGIQUE du parc de bâtiments Français – exemple maison individuelle

### 1. Neuf Bâtiments types

100 m<sup>2</sup> de surf.

Aménagements extérieurs	Aménagements intérieurs	Structure / maçonnerie / gros œuvre / charpente	Revêtement de sols et murs, peintures, produits de décoration	Menuiseries intérieures et extérieures, fermetures
Aménagements extérieurs en bois	10	10	10	10
Charpente traditionnelle en bois reconstruite	20	20	20	20
Charpente industrielle	15	15	15	15
Pan d'ossature bois porteur	25,5	25,5	25,5	25,5
Ossature poteaux-poutres	12,5	12,5	12,5	12,5
Mur en bois massif contre-collé	40	40	40	40
Plancher bois porteur	25	25	25	25
Plancher porteur en bois massif	65	65	65	65
Caissons (poutre I et panneaux)	7	7	7	7
Escalier en bois	300	300	300	300
Béton de chanvre	40	40	40	40
Panneau de paille compressé	20	20	20	20
Pinthes en bois	10	10	10	10
Parquet bois massif	10	10	10	10
Parquet massif sur lambourdes	15	15	15	15
Autre parquet	7,5	7,5	7,5	7,5
Lambris bois et reconstruits	7,5	7,5	7,5	7,5
Mains courantes	12,5	12,5	12,5	12,5
Fenêtres, porte-fenêtres en bois	15	15	15	15
Garde-corps en bois	15	15	15	15
Portes extérieures pleines en bois	17,5	17,5	17,5	17,5
Huisseries en bois	10	10	10	10
Portes intérieures en bois	12,5	12,5	12,5	12,5

### Modélisation morphologique bâtiments

Ratio elts constructifs / surf plancher

Neuf	Existant
Entretien	1
Rénovation	2
Réhabilitation	2

Q<sub>ts</sub> U Nb niveaux

**2. Eléments types et qtés.**

= 100 m<sup>2</sup> de charpente soit 1500 kg de bois

= 100 m<sup>2</sup> de plancher soit 2500 kg de bois

**3. Ratio types planchers / autres elts constructifs**

= 100 m<sup>2</sup> de murs chaux-chanvre soit 4000 kg de chanvre

= 20 m<sup>2</sup> de fenêtres soit 15 kg de bois

**4. Surf & Q<sub>ts</sub>**

### Parts de marché (2010, 2030, 2050) matériaux conventionnels / biosourcés par ouvrages

A partir du constat de l'état du marché en 2010 nous avons modélisé différentes hypothèses de pénétration du marché de la construction par les matériaux biosourcés (BS) et la construction en bois (MOB).

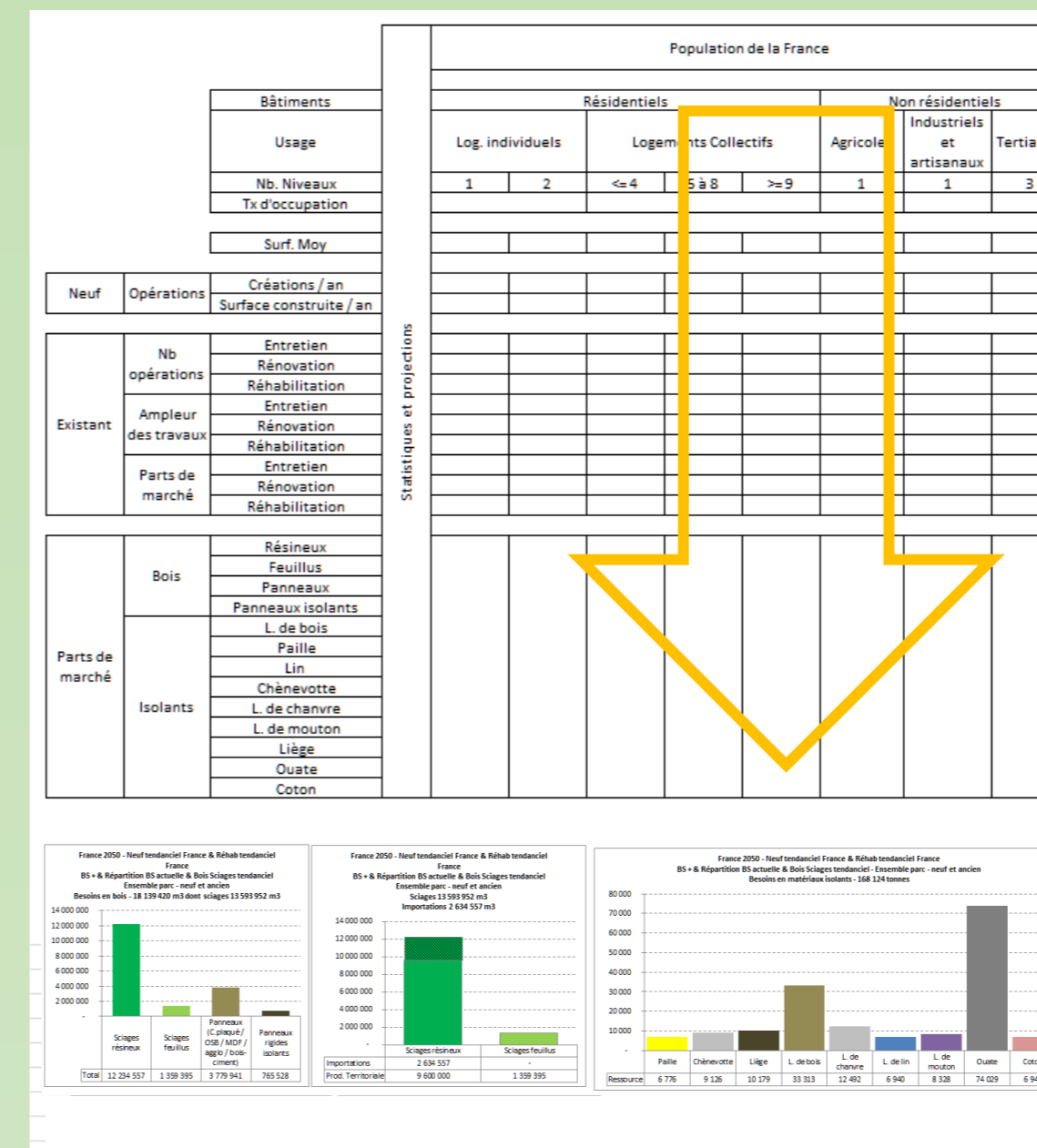
Scénario	Constat 2010	France 2010		France 2030		France 2050		
		BS +	BS ++	Isol. BS +++	BS ++ & MOB ++			
<b>Parts de marché des BS</b>								
		1%	3%	6%	15%	8%	19%	
						10%	20%	
<b>Logements neufs</b>	Aménagements extérieurs	10%	11%	12%	15%	30%	15%	30%
	Charpente	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Murs	10%	11%	12%	15%	30%	15%	30%
	Planchers	30%	33%	36%	35%	40%	35%	40%
	Revêtements de sols	10%	11%	12%	15%	20%	15%	20%
	Menuiseries intérieures, extérieures et fermetures	20%	22%	24%	25%	30%	25%	30%
	Façades	5%	6%	6%	10%	20%	10%	20%
	Isolation	7%	8%	8%	14%	30%	40%	75%
	Couverture (sous-toiture)	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Ossature non porteuse	1%	1%	1%	2%	3%	2%	3%
Divers	5%	6%	6%	10%	15%	10%	15%	
<b>Log. existants (entretien, réno, réhab)</b>	Aménagements extérieurs	10%	11%	12%	20%	30%	20%	30%
	Charpente	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Murs	10%	11%	12%	15%	30%	15%	30%
	Planchers	40%	44%	48%	45%	50%	45%	50%
	Revêtements de sols	30%	33%	36%	40%	50%	40%	50%
	Menuiseries intérieures, extérieures et fermetures	30%	33%	36%	40%	50%	40%	50%
	Façades	5%	6%	6%	10%	20%	10%	20%
	Isolation	7%	8%	8%	14%	30%	40%	75%
	Couverture (sous-toiture)	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Ossature non porteuse	5%	6%	6%	10%	15%	10%	15%
Divers	5%	6%	6%	10%	15%	10%	15%	
<b>Bâtiments non résidentiels</b>	Bâts agricoles (neuf et existants)	24%	26%	29%	30%	35%	40%	50%
	Bâts. ind. & artisanaux (neuf et existants)	13%	14%	16%	20%	30%	20%	30%
	Bâts. tertiaires (neuf et travaux)	10%	11%	12%	15%	20%	15%	20%

Contact: Luc Floissac 06 47 41 07 55 luc.floissac@toulouse.archi.fr

## 2. Méthode

La méthode de calcul consiste à déterminer les besoins en matériaux issues de la modélisation morphologique des bâtiments, de l'évolution de la population, du rythme de construction / réhabilitation, des parts de marchés des matériaux.

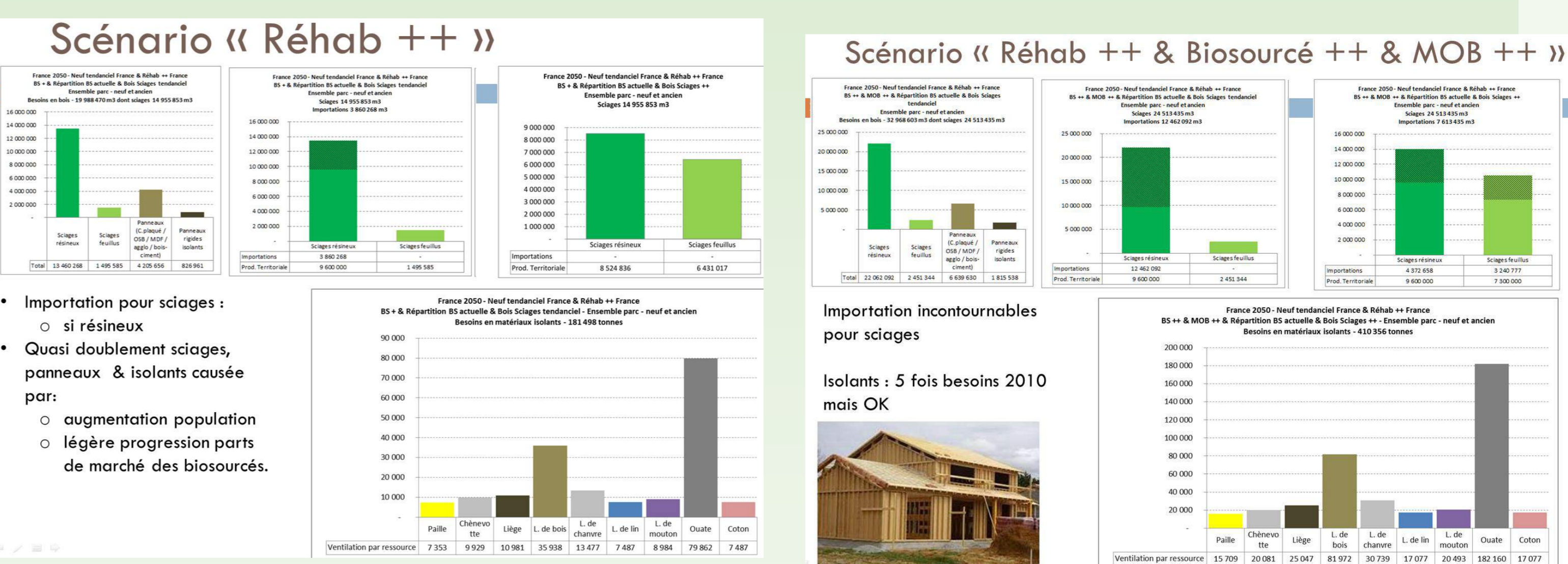
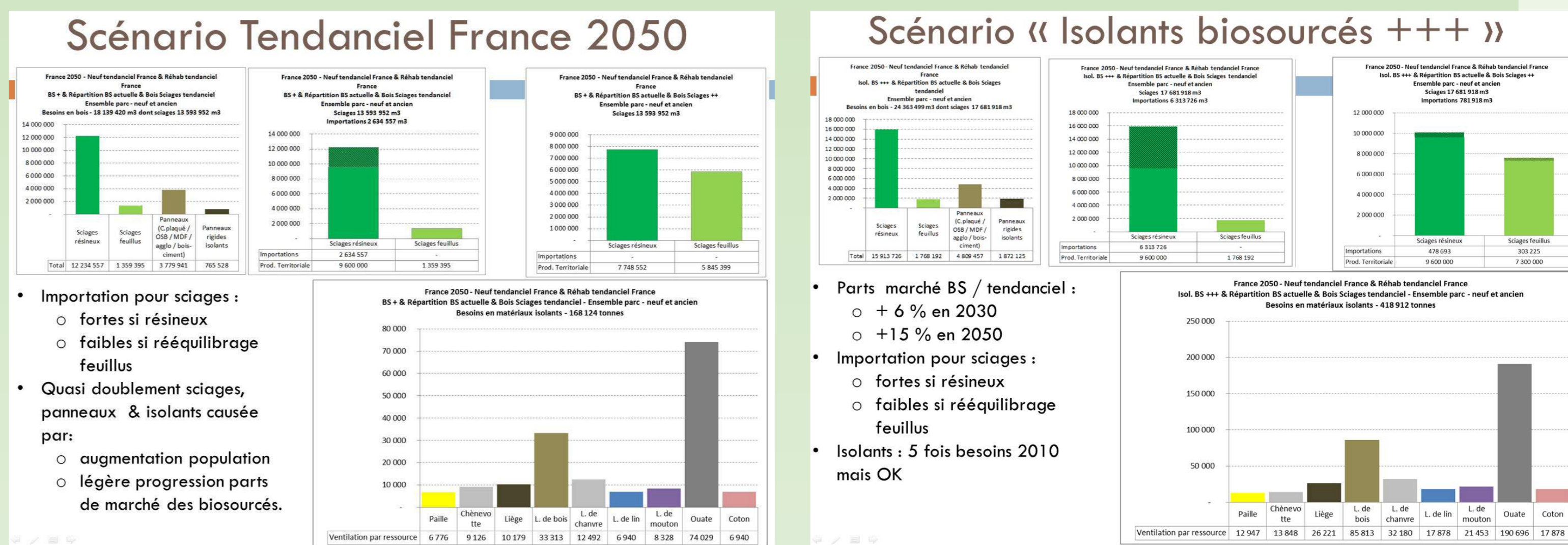
Ceci permet de quantifier les besoins en matériaux par type d'usage (éléments structurels, habillages, isolation, etc.) et de le comparer avec les capacités de production de l'agriculture et de la foresterie française.



Scénario	Rythme réhab	Rythme neuf	Parts de marché des biosourcés
Tendanciel	Réhab tendanciel France		BS +
Réhab ++	Réhab ++ France		BS ++
Biosourcé +++	Réhab tendanciel France	Neuf tendanciel France	Isol. BS +++
Réhab ++ & Biosourcé ++			BS +
Réhab ++ & Biosourcé ++ & MOB ++	Réhab ++ France		BS ++ & MOB ++



## 3. Résultats à l'horizon 2050



## 4. Conclusions

Nous montrons que l'on peut sans problème substituer les isolants actuels par des isolants bio-sourcés. Il n'y a aucun problème de ressources. Par exemple dans le domaine de la paille : 40% de la paille retourne actuellement au sol. En prélevant 5% de cette part qui retourne au sol, on aurait de quoi isoler tous les logements neufs construits en une année en France, soit 500 000 / an.

Concernant le lin ou le chanvre, on peut aussi basculer facilement, puisque ce sont des cultures annuelles et prendre des décisions rapidement suivies d'effets. Le tout sans conflits d'usage avec les terres destinées à l'alimentation.

Pour le bois, les possibilités sont moins réjouissantes. Va-t-on manquer de bois pour la construction ? Le risque existe. 80% des arbres qui poussent dans nos forêts sont des feuillus, mais 90% des sciages actuellement utilisés pour la construction sont des résineux.

## 5. Perspectives et recommandations

- Limiter les usages énergétiques de la biomasse
  - Créer des observatoires régionaux de la biomasse,
  - Hiérarchiser les usages de la biomasse (alimentation, textile, bâtiment, énergie).
  - Préférer la sobriété à l'exploitation énergétique de la biomasse
  - Fixer des seuils limites de commercialisation vers les filières énergétiques.
- Soutenir la structuration des filières
  - Soutenir les structures qui promeuvent matériaux biosourcés
  - Mettre en place une politique de marchés publics responsable (10 % du PIB).
  - Créer d'un fonds « matériaux biosourcés »
- Sécuriser, sensibiliser, former
  - Moteur RT 2012:
    - intégrer les comportements des matériaux biosourcés
    - l'ouvrir et le diffuser en « Open-source »
  - Mettre en place des actions de R&D matériaux biosourcés et construction
  - Intégrer les biosourcés dans les référentiels de formation initiale et continue

Plus d'infos: <http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/projets/terrcrea>



# ACV, BIM et matériaux biosourcés

## Analyse de cycle de vie des produits de construction, systèmes constructifs et bâtiments biosourcés Corses

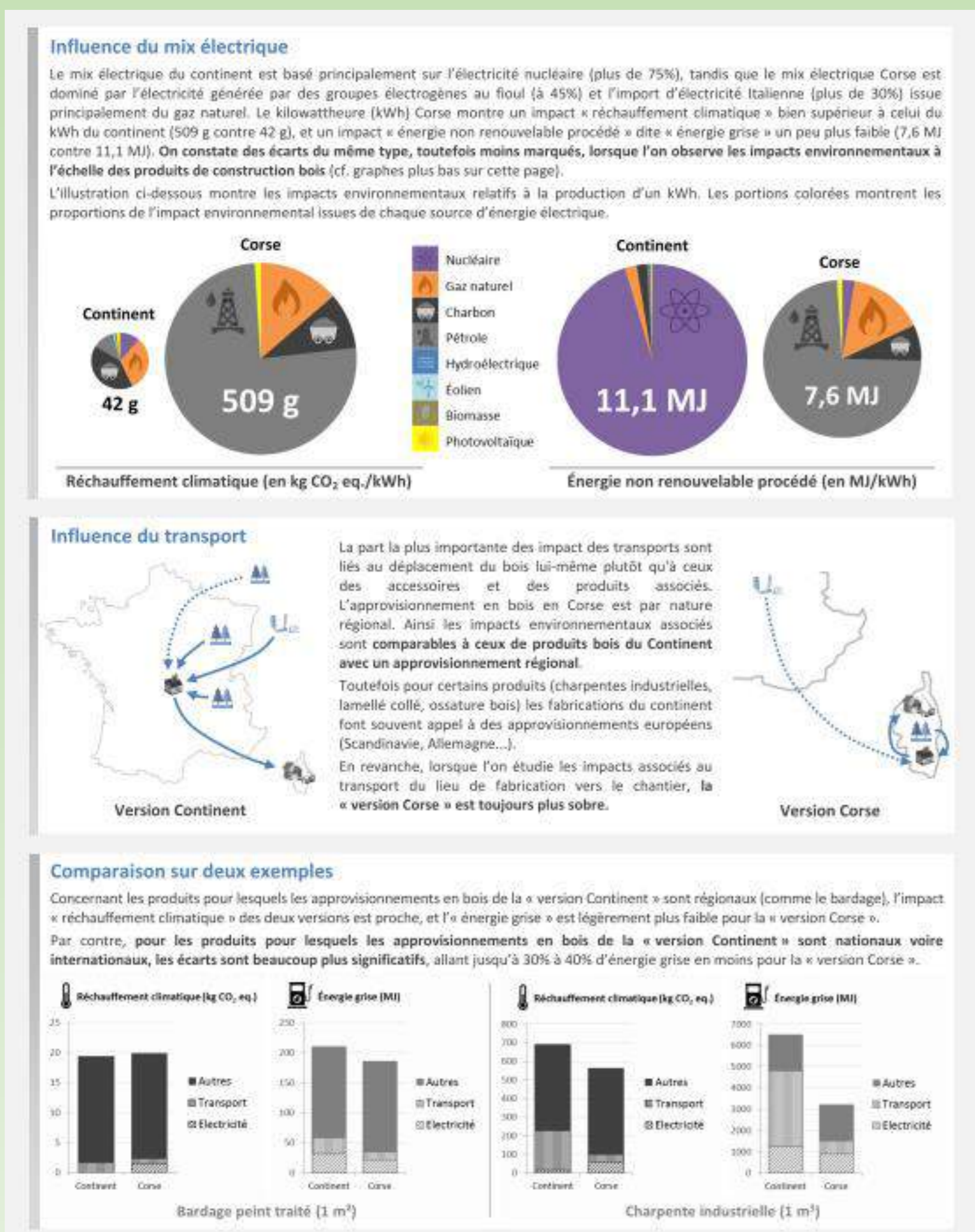
Luc Floissac, Frédéric Rossi

Eco-Etudes, C4CI, Estena, Legnu vivu

### Objectif

Analyser les facteurs susceptibles de mettre en évidence les atouts environnementaux des bois locaux dans la construction en Corse

## 1. « Produits bois du continent » / « Produits bois Corse »



## 2. Réduire les impacts environnementaux de la filière bois Corse

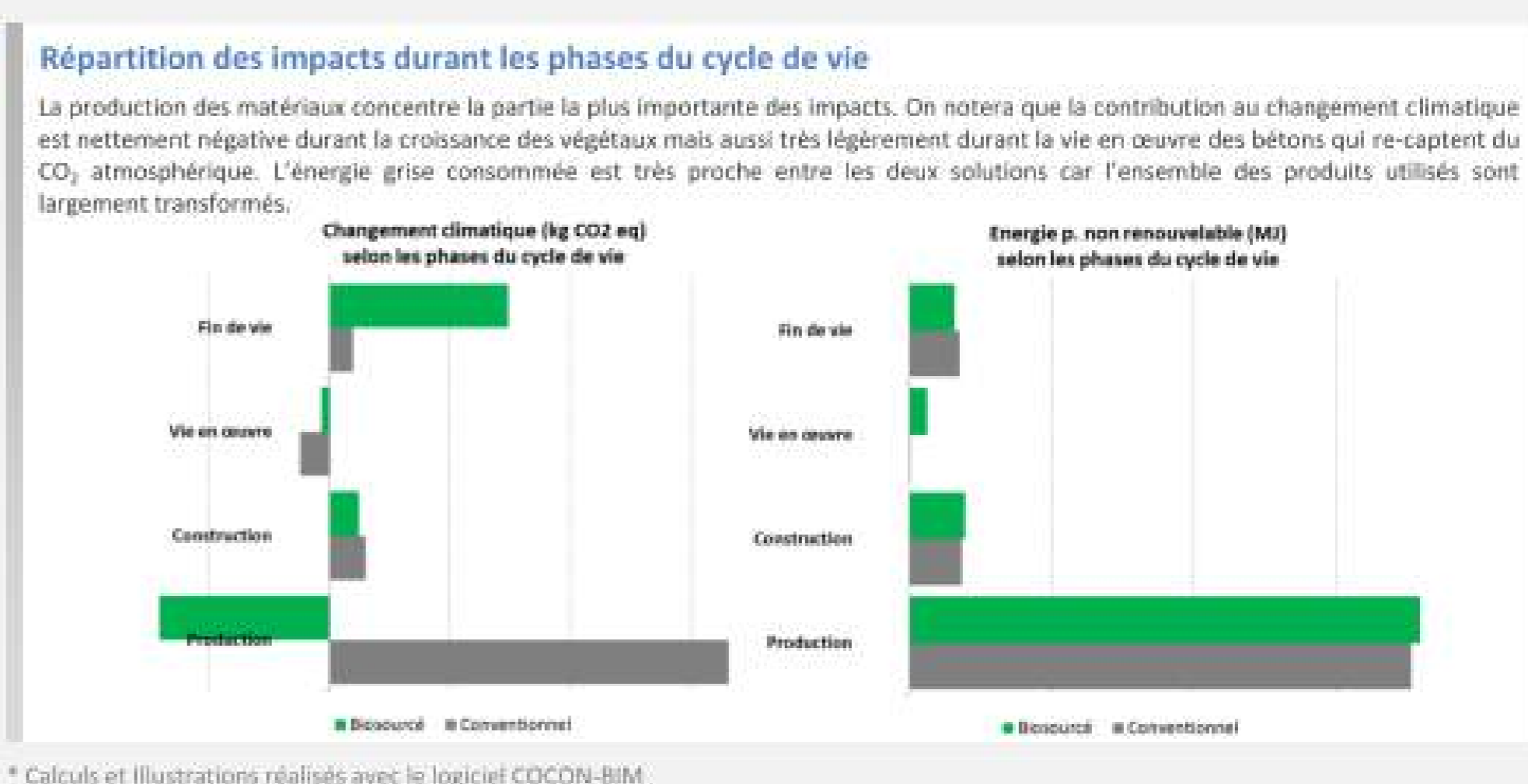
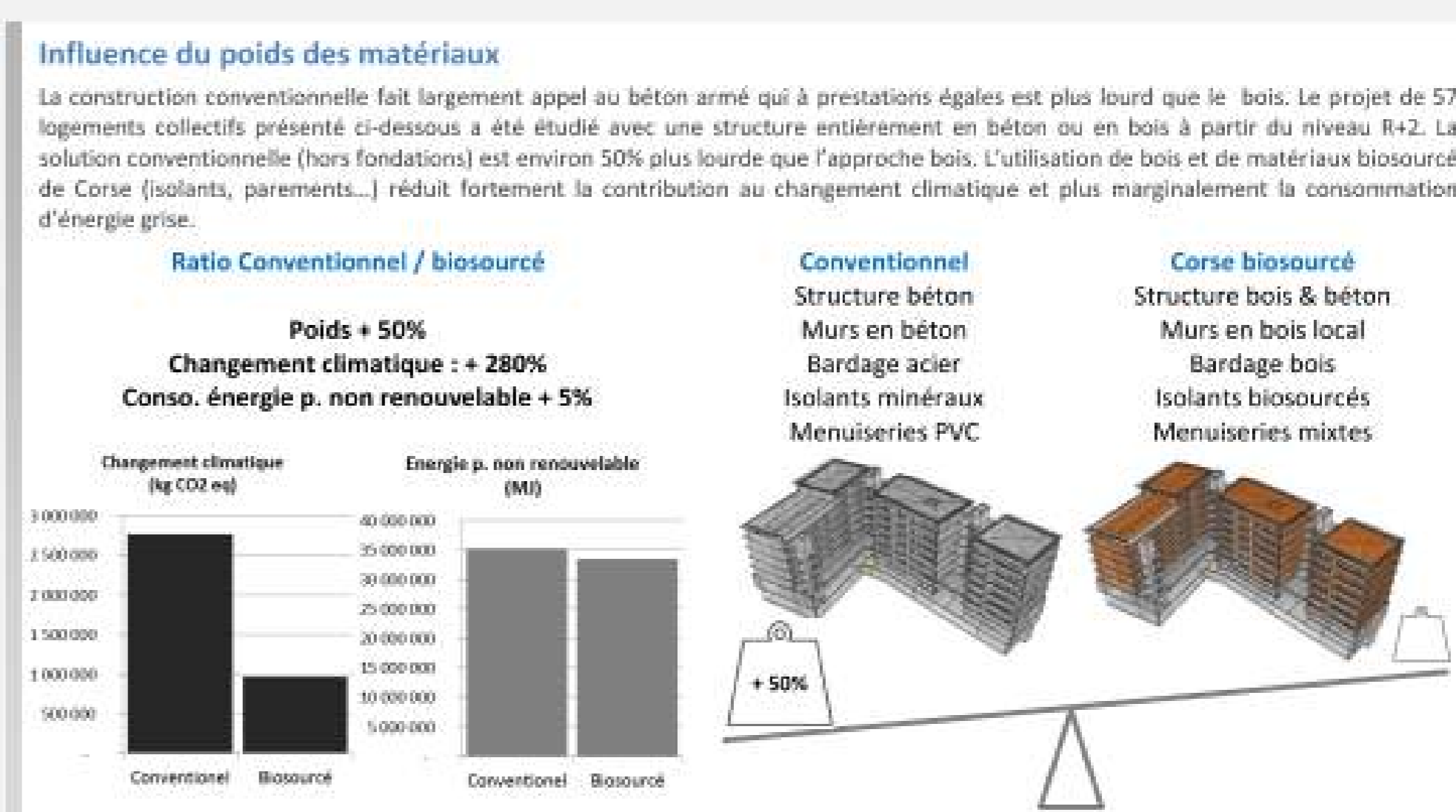


## 3. ACV de bâtiments à partir de maquettes numériques (BIM)

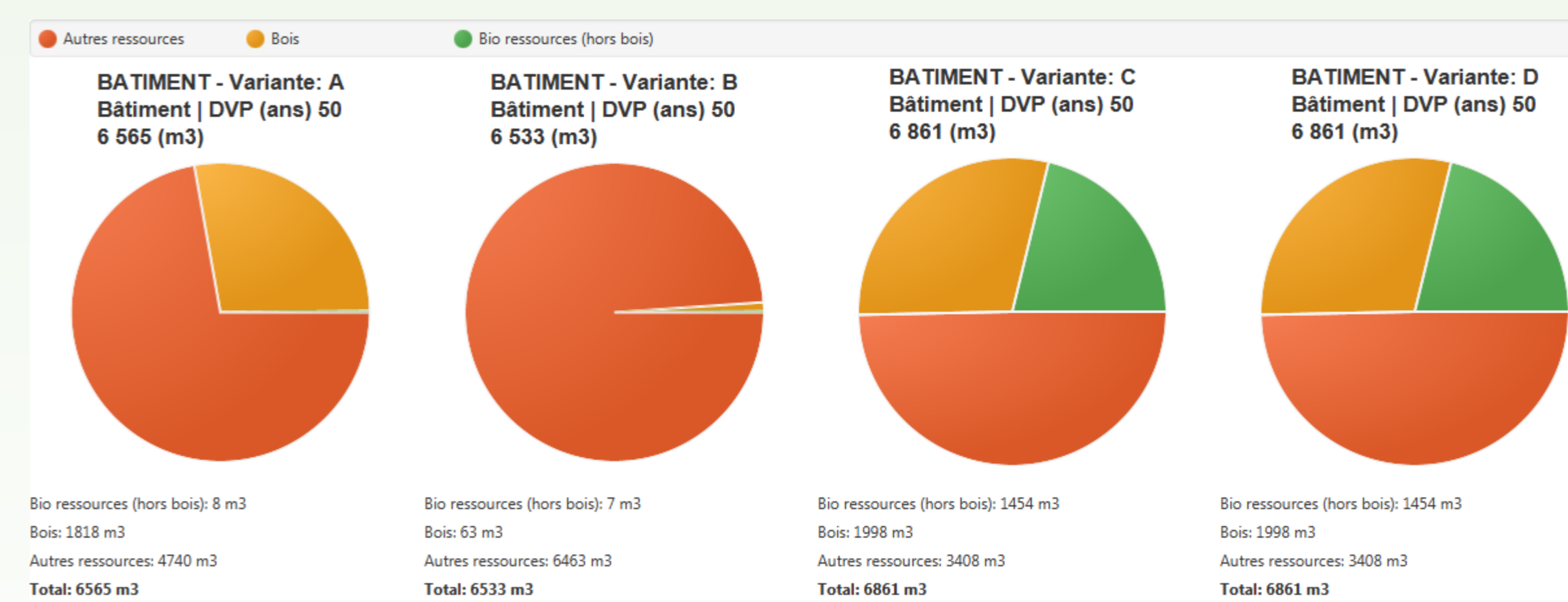
Analyse de variantes constructives (exemple projet de logements collectifs) à partir de la maquette numérique au format IFC (logiciel COCON-BIM)

Code	Nom
A	Variante de base telle que construite avec des matériaux biosourcés du continent. Isolation à base de matériaux manufacturés (laine minérale et polystyrène notamment).
B	Variante avec solutions constructives conventionnelles.
C	Variante avec matériaux biosourcés de Corse et utilisation de paille et de ouate de cellulose en isolation.
D	Idem variante C mais en considérant que la chaîne de production de matériaux biosourcés est optimisée d'un point de vue environnemental.

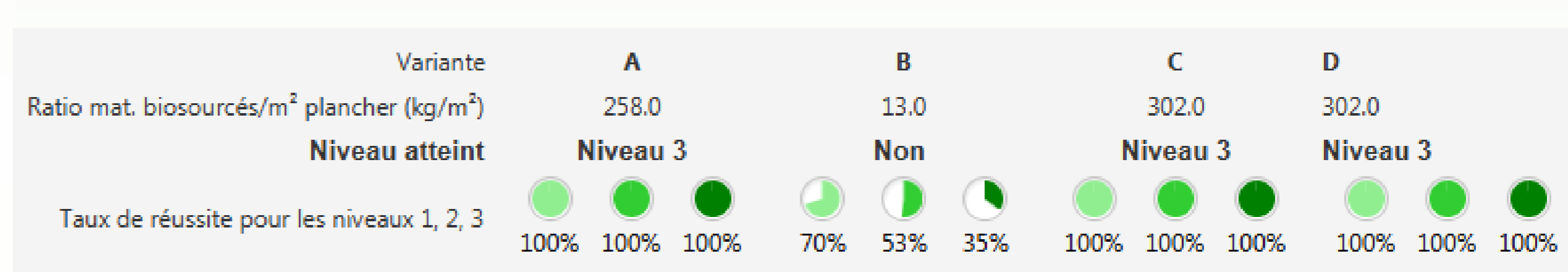
	A	B	C	D
<b>Fondations</b>	Béton en N-1 N et N+1. Bois à partir de N+2	Béton	Béton	Béton en N-1 N et N+1. Bois Corse optim à partir de N+2
<b>Dalles</b>	Béton N-1 N et N+1 Bois à partir de N+2	Béton	Béton N-1 N et N+1 Bois à partir de N+2	Béton N-1 N et N+1 Bois Corse optim à partir de N+2
<b>Enveloppe</b>	Struct. / oss. bois Laine minérale Plaque de plâtre int. Fermacell côté extérieur	Béton Laine minérale Plaque de plâtre	Béton Paille Plaque de plâtre int. Fermacell côté extérieur	Struct. / oss. bois Corse optim Plaque de plâtre int. Fermacell côté extérieur
<b>Bardage</b>	Bois non traité	Acier	Bois traité ignifug.	Bois Corse optim. traité ignifug.
<b>Refends</b>	Béton ou bois	Béton	Béton ou bois Corse	Béton ou bois Corse optim.
<b>Cloisons</b>	Plaque de plâtre Laine minérale			Plaque de plâtre Ouate de cellulose



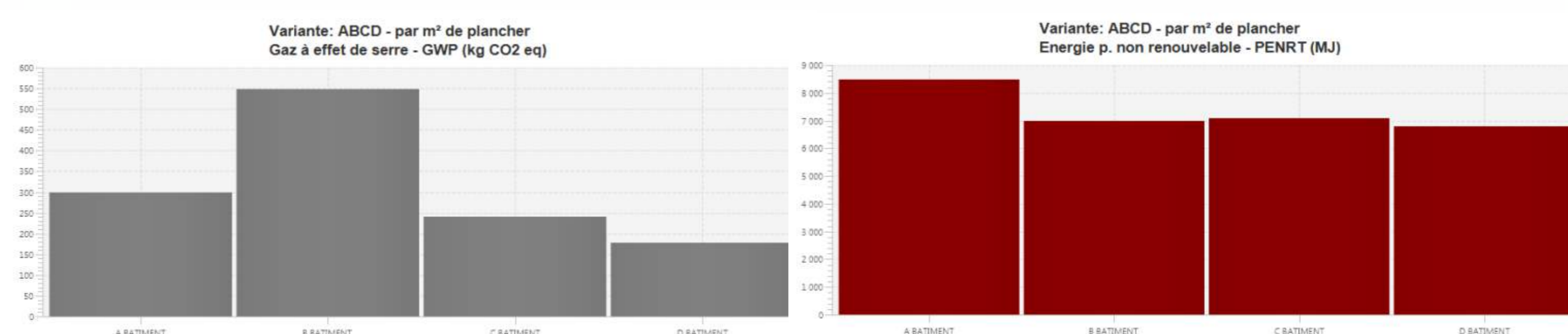
## Contenu en matériaux biosourcés des variantes du bâtiment



## Niveau des variantes du bâtiment selon le label « bâtiment biosourcé »



## Energie grise et contenu en GES des variantes du bâtiment





## Chaîne de valeur et emplois.

### Production, fabrication, commercialisation et de la mise en œuvre de matériaux biosourcés

Objectif : Construire un argumentaire sur l'intérêt des matériaux biosourcés vis-à-vis du développement économique des territoires et des enjeux environnementaux.

Ce projet est la suite de l'étude prospective TERRACREA consacrée aux filières biosourcées.

### 1. Méthodologie

La méthodologie employée pour réaliser cette étude, s'est appuyée sur le recueil de données de terrain auprès des producteurs, des entreprises de transformation et de mise en œuvre de matériaux biosourcés. Des devis ou factures d'opérations réelles ont aussi été employés afin d'être aussi représentatifs que possible de la réalité du marché. On a ainsi différencié les prix observés à chaque étape du processus (approvisionnement, production / transformation / distribution / application).

Dans le domaine du transport des matières premières et des matériaux transformés, des prix moyens nationaux ont été appliqués. Les distances d'approvisionnement ont été ajustées nationalement pour chaque filière en fonction de la dispersion moyenne de leurs unités de production.

Dans le domaine des emplois générés par les filières étudiées et sachant qu'il n'existe pas une définition stricte de l'équivalence entre nombre d'heures travaillées et équivalent temps plein (ETP) nous avons considéré les hypothèses suivantes : 1 ETP = 1645 heures soit 1820h (52 semaines \* 35 heures) – 175h (5 semaines de congé \* 35 heures).

Afin de faciliter la comparaison entre filières nous avons opté pour des unités fonctionnelles proches en terme de « service thermique » rendu. Ceci s'est traduit par les objectifs thermiques suivants (qui sont) compatibles avec les exigences exprimés de la RT2012 :

R=7 pour les combles

R=6 Rampants de toiture

R=3.75 pour les murs.

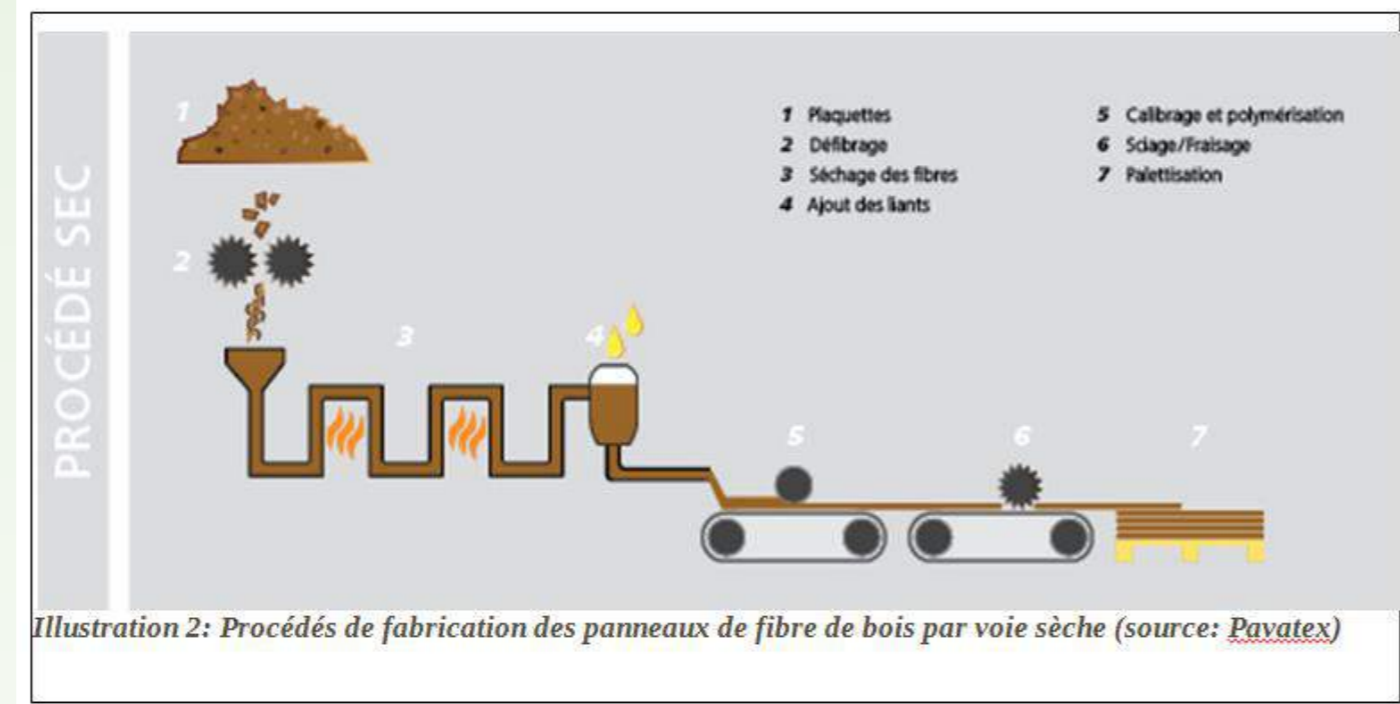
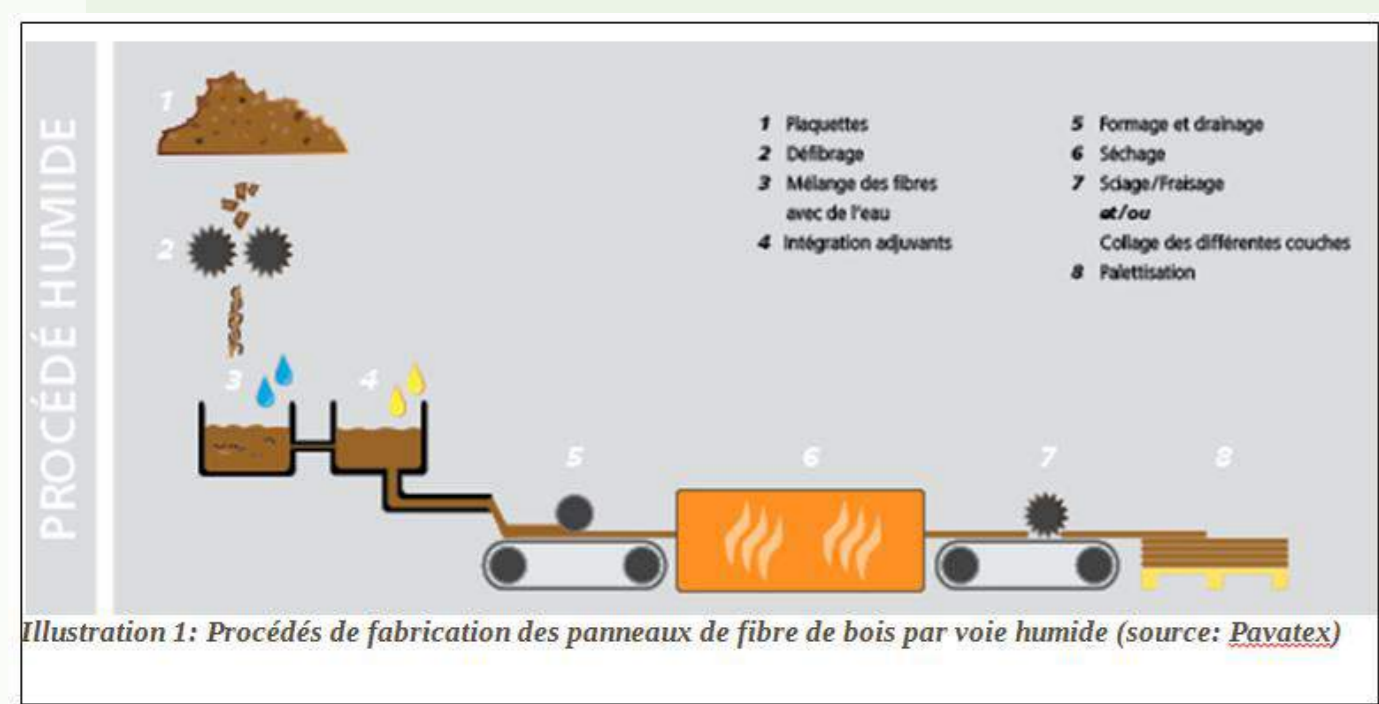
### 2. La filière laine de bois

#### Procédés de fabrication :

La fibre de bois, ou laine de bois, est obtenue à partir du défilage de chutes et déchets de bois généralement résineux. Il existe deux procédés de fabrication (voie humide et voie sèche).

**Voie humide :** les plaquettes sont étuvées puis défilées en les écrasant entre deux disques en métal. Le défilage permet d'activer la surface des fibres afin d'obtenir, après séchage, une cohésion des panneaux grâce aux forces de liaison du bois avec l'eau. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter de la colle.

**Voie sèche :** Après défilage, les fibres de bois sont séchées puis un liant (plastique ou d'un polyester) est ajouté pour créer une homogénéité du mélange. Une phase de cuisson à basse température permet d'activer le liant. Les panneaux ainsi obtenus sont plus légers et possèdent une conductivité thermique plus faible que ceux obtenus via la voie humide.



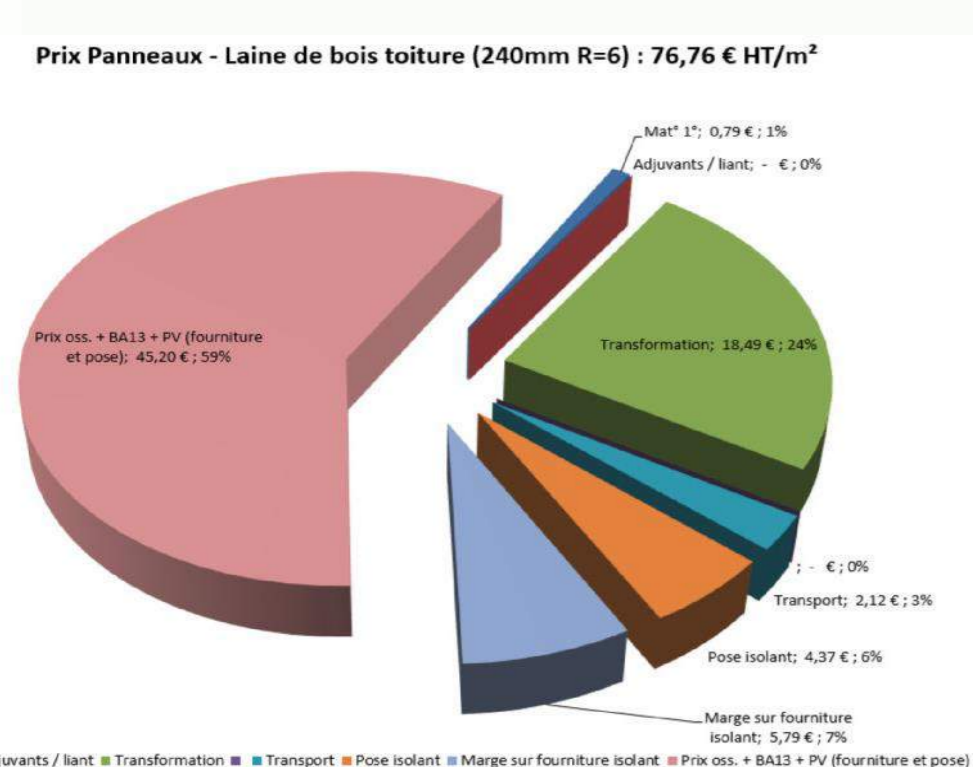
#### Evolution du prix de la plaquette forestière depuis 2012

Entre début 2012 et fin 2015 le prix des plaquettes utilisées pour l'approvisionnement des usines de laine de bois (qualité C3) est passé de 43€/t à 50€/t (avec un pic à 54€/t au 3ème trimestre 2015) soit une augmentation d'environ 25 %. Cette augmentation moyenne est révélatrice des tensions sur l'approvisionnement car le gisement est partagé avec les usines de trituration (papier et panneaux de bois) et énergétique (approvisionnement des centrales à chaleur). Pour beaucoup d'entreprises, ces tensions sur l'approvisionnement sont le principal facteur d'instabilité et menace même la viabilité économique des usines de laine/fibre de bois.

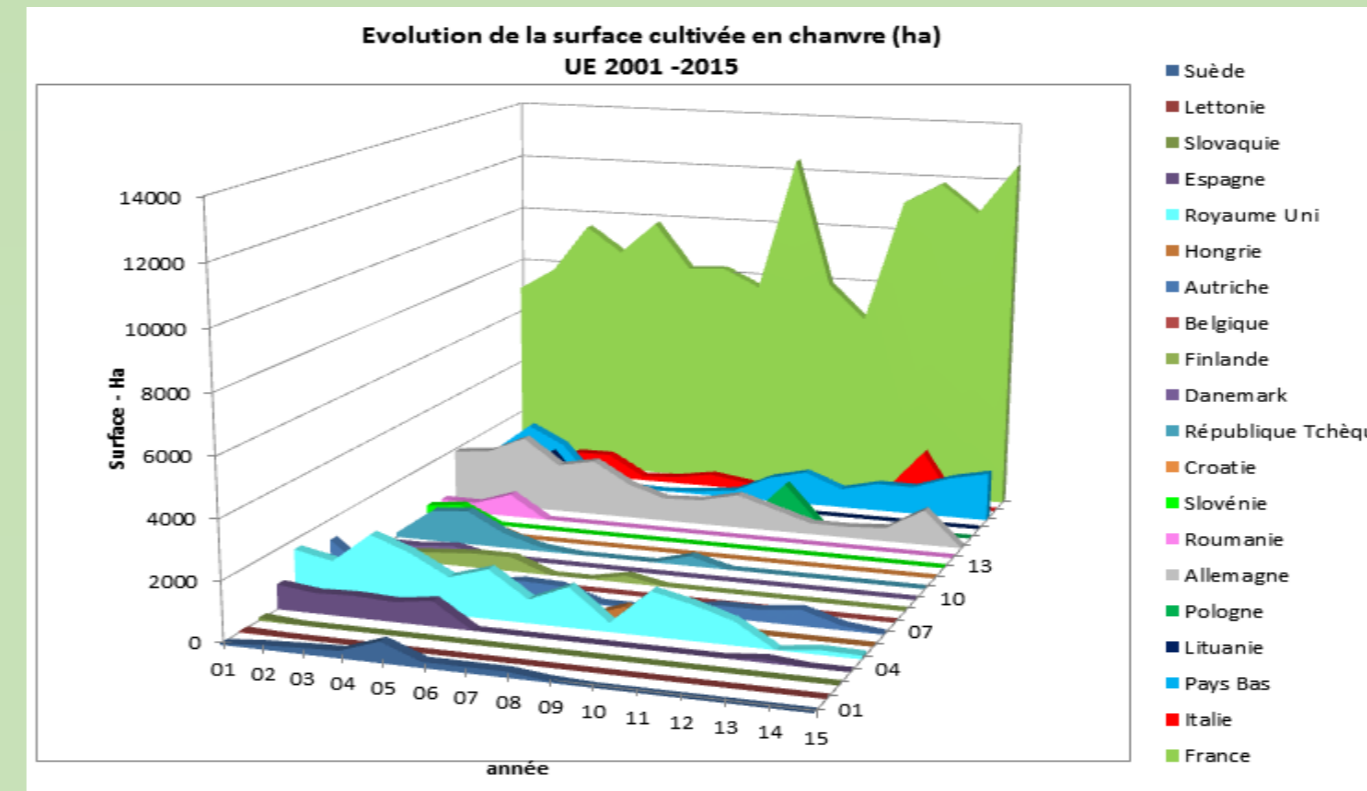
Le rayon d'approvisionnement des usines de laine de bois est de 50 à 100km.

#### Décomposition du prix de la laine de bois en posée en toiture (1m²)

La décomposition du prix posé de l'isolant permet de comprendre comment est réparti l'ensemble de la valeur ajoutée, tout au long de la filière. On note que le prix de la matière première est extrêmement marginal dans ce cas.



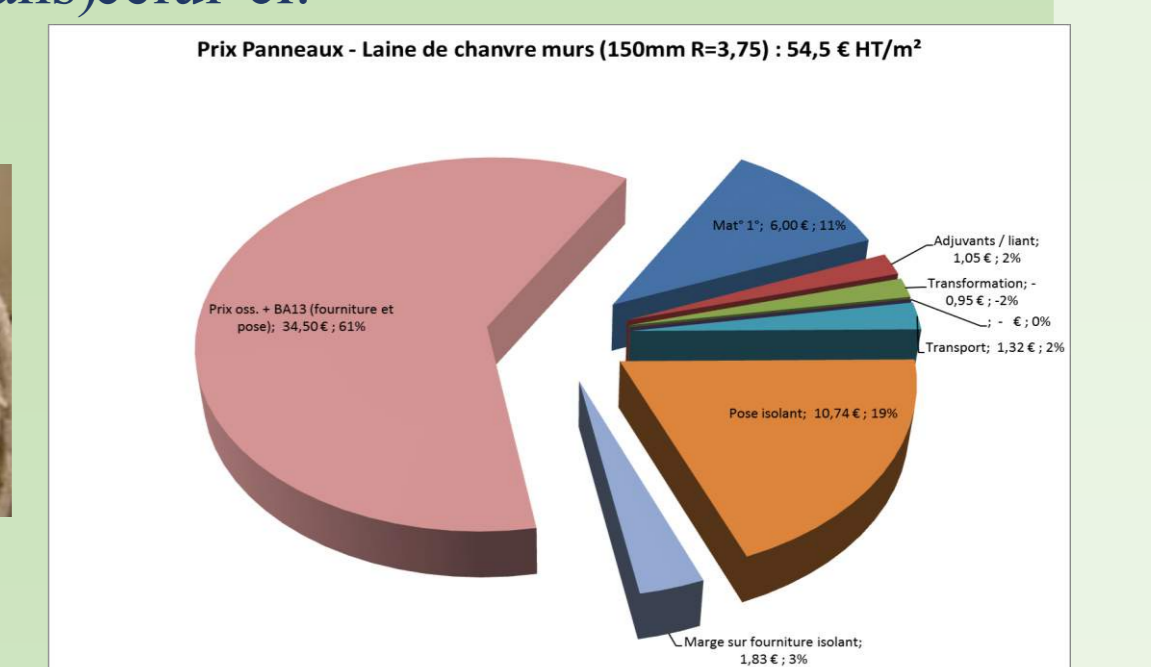
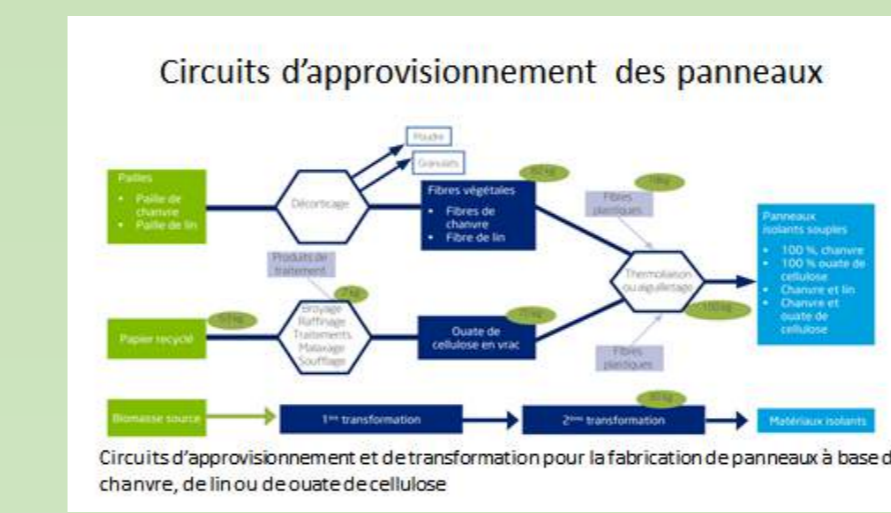
### 3. La filière chanvre



Evolution de la surface cultivée en Chanvre en Europe

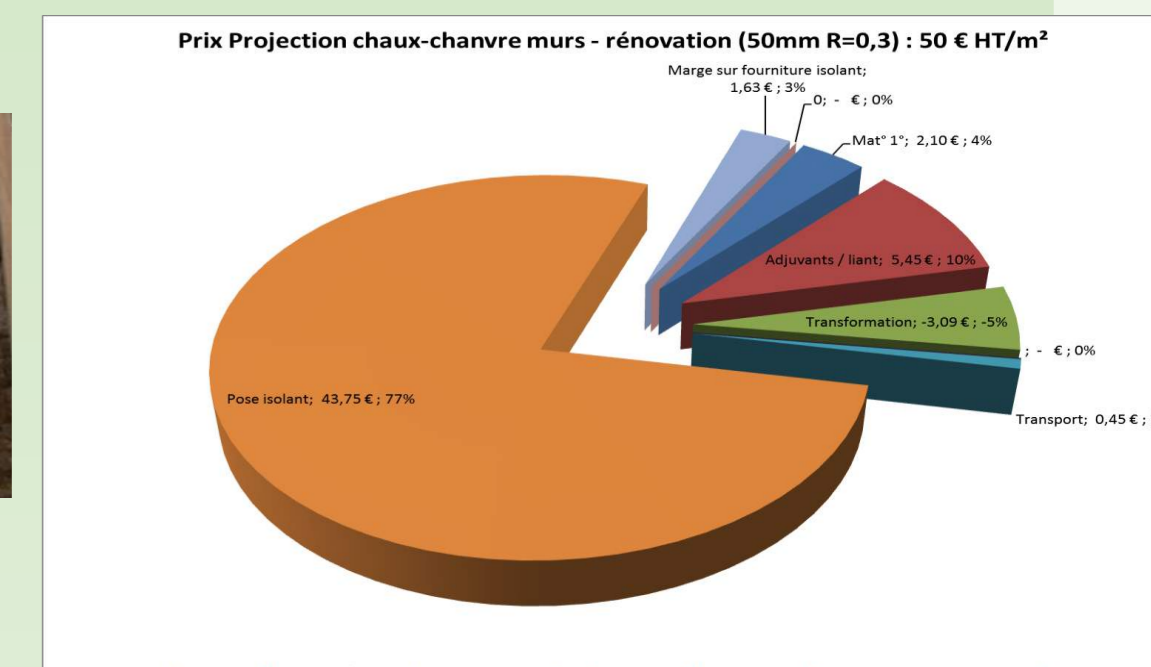
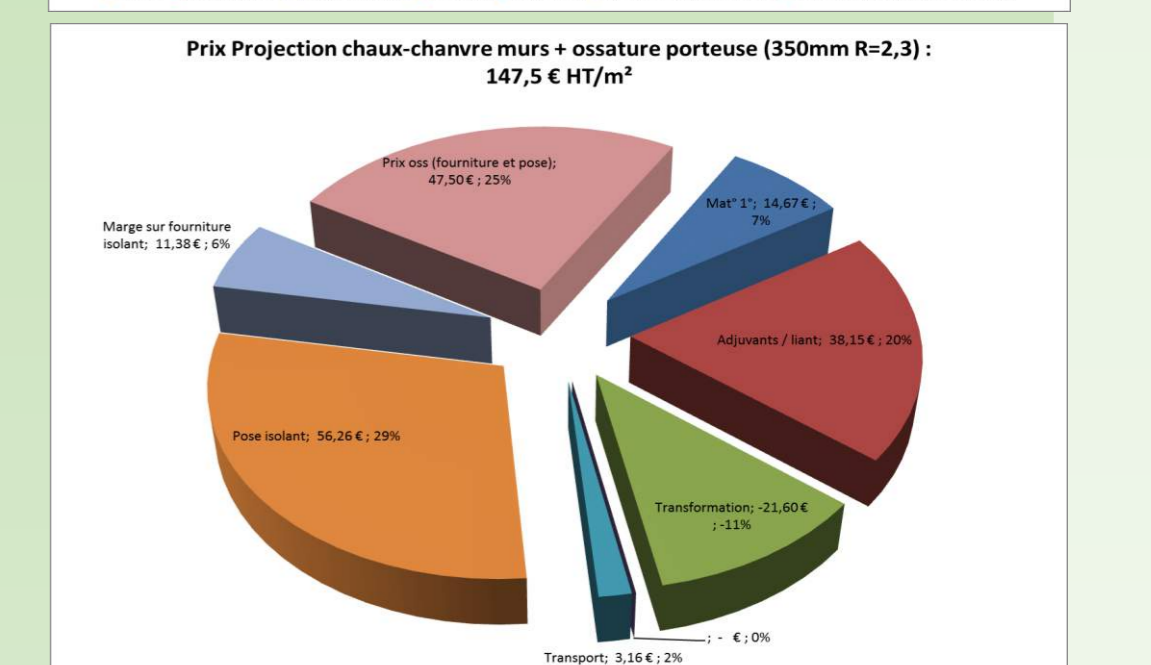
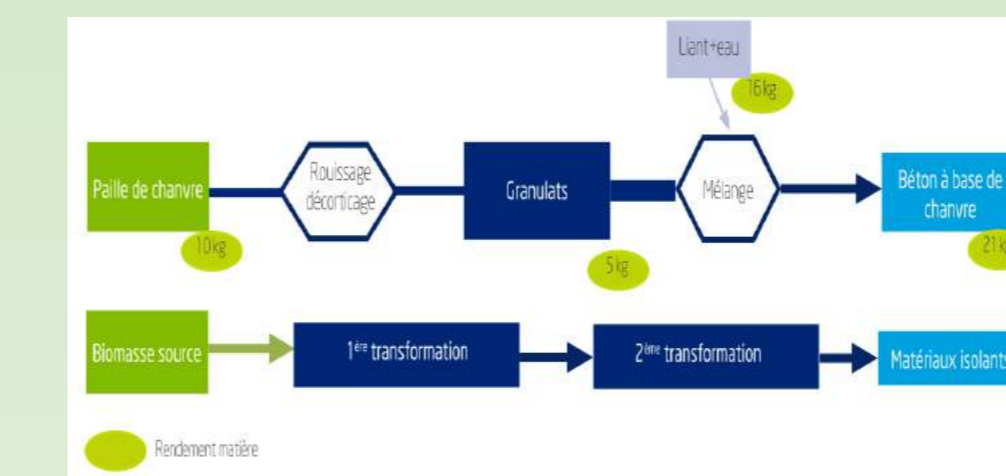
La France est le premier producteur Européen de chanvre. En 2015 selon l'EIHA (European Industrial Hemp Association), cette culture à couvert 25 000 ha en Europe dont 12 500 en France en 2015 et 15 000 ha en 2016.

Les panneaux à base de chanvre: Le doublage de murs à partir avec des panneaux de chanvre montre que c'est la mise en œuvre de l'ossature qui est la plus importante dans la formation du prix. La production et la transformation de l'isolant intervient de manière relativement faible dans celui-ci.



#### Le béton de chanvre est mis en œuvre selon des règles professionnelles.

Il est utilisé pour le remplissage d'ossature neuves ou en projection humide pour correction thermique en rénovation.



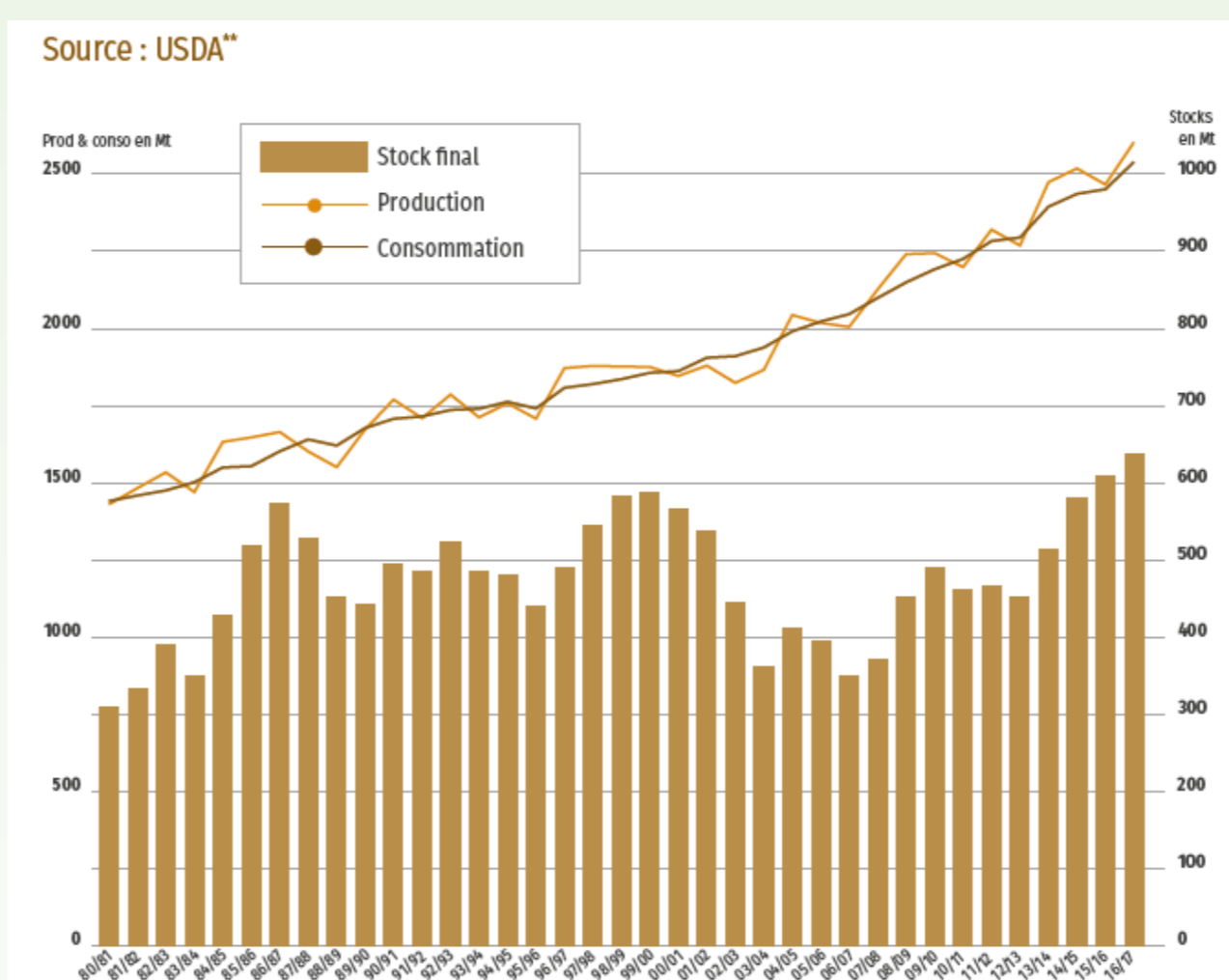
Bassin de production	ETP (Emploi Equiv. Temps Plein)			
	Agricoles (ETP)	Transformation + commercialisation (ETP)	ETP agricoles et industriels pour 1000 tonnes de paille (ETP)	ETP agricoles et industriels pour 100 ha (ETP)
CAVAC	15	8	2,7	2,2
Euralis	21	10	4,4	2,2
GPC Ouest	8	4	4,8	2,6
Interval	12	6	2,2	1,4
La Chanvrière de l'Aube	30	40	2,0	1,4
Les Chanvriers de l'Est	3	2	1,2	0,9
Filière Chanvre	11	5	2,8	1,9
Coopérative de semence de chanvre	50	4	4,8	6,4
France	150	79	2,8	2,0
TOTAL filière agricole + transformation		229		

#### Les emplois de la filière chanvre

France année 2014	Béton de chanvre (temps de mise en œuvre en France en 2014)			
	Correction thermique par projection	Murs neufs	Chapes	Toitures
m²/jh	4	10	10	10
heures	75 000	2 143	4 000	375
ETP / an	49,4	1,4	2,6	0,2
Total		54		

### 4. La filière construction à base de paille de céréales

Le marché mondial des céréales de 1980 à 2017



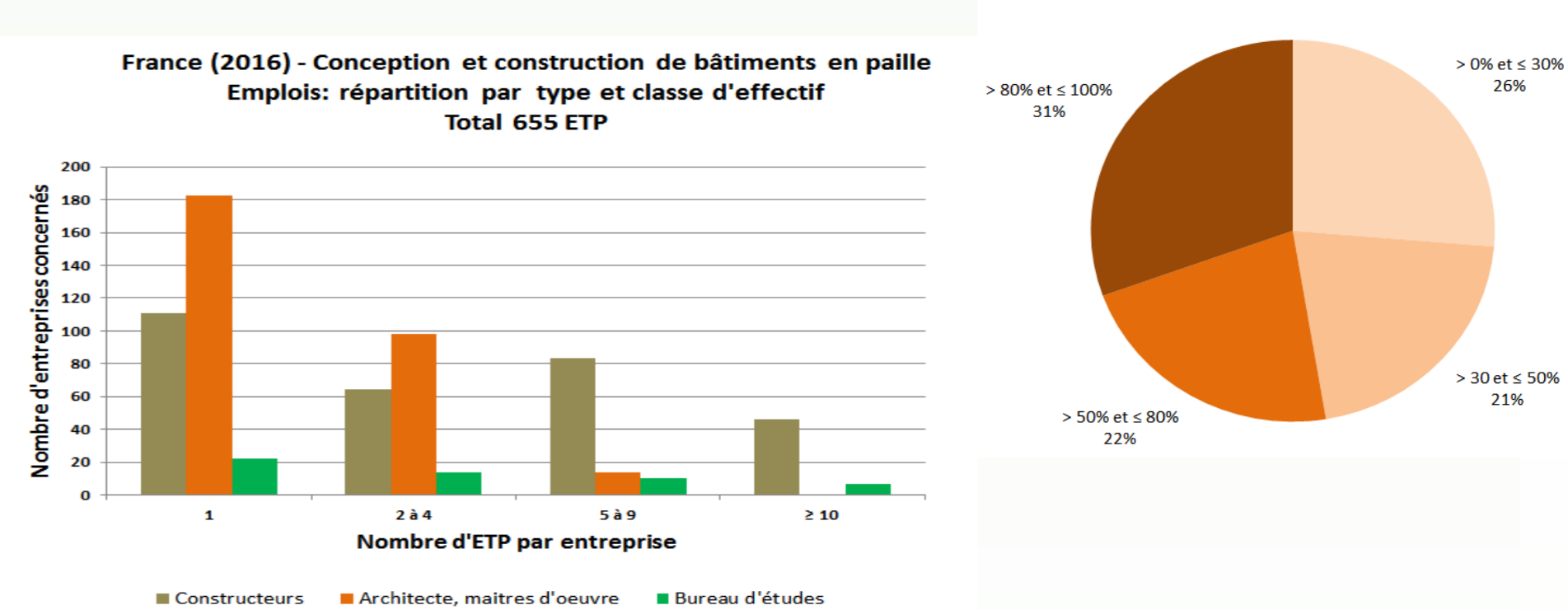
La production céréalière en France en 2016



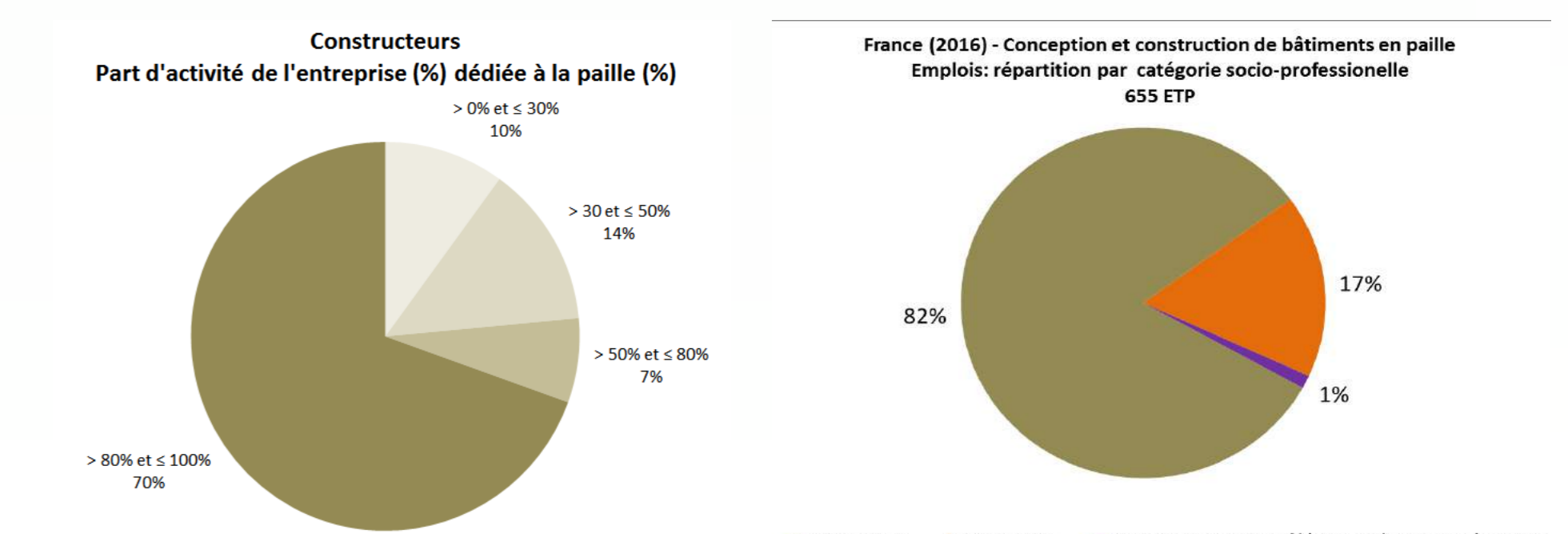
La construction en paille est encadrée par des règles professionnelles.



La construction en paille représente environ 655 ETP (Equivalent temps plein) dans les entreprises.



Nature des emplois dans la construction en paille en France - 2016





ETUDES EN COURS (DHUP)

Appui aux politiques publiques et au développement de l'utilisation des matériaux biosourcés  
Des exigences de justification renforcées accompagnent le développement

**Propriétés Acoustiques**

Accroître la connaissance des performances acoustiques des systèmes intégrant des matériaux biosourcés pour un meilleur déploiement dans les solutions de conception du bâtiment. En perspective, extension des essais par modélisation.

Partenariat : CEREMA

Contact : Catherine Guigou, Ingénieur Recherche & Expertise, Division acoustique  
[catherine.guigou@cstb.fr](mailto:catherine.guigou@cstb.fr)

**Propriétés Hygrothermiques**

Détermination de la chaleur stockée/déstockée dans une paroi comportant des isolants hygroscopiques et non hygroscopiques. Incidences des transferts de chaleur sur les transferts thermiques par simulations. En perspective, validation de résultats de simulation par mesures expérimentales.

Partenariat : CEREMA

Contact : Géraldine Garnier, Ingénieur Recherche & Expertise, Division environnement  
[geraldine.garnier@cstb.fr](mailto:geraldine.garnier@cstb.fr)

**Performances Environnementales**

- Améliorer la connaissance sur l'évaluation et réalisation d'un état de l'art des méthodes ACV appliquées aux produits biosourcés.
- Méthodologie ACV conséquentielle et réalisation de FDES pour enrichir la base INIES.

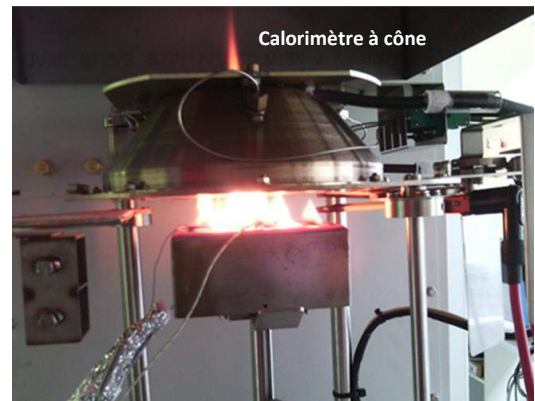
Partenariat : CEREMA

Contact : Charlotte Heslouin, Ingénieur Recherche & Expertise, Division environnement  
[charlotte.heslouin@cstb.fr](mailto:charlotte.heslouin@cstb.fr)

**Caractéristiques Incendie**

Caractérisation thermo-physique du matériau paille au calorimètre à cône, analyse thermogravimétrique et capacité calorifique.

Contact : Pauline Anest-Bavoux, Ingénieur Recherche & Expertise, Division expertise, avis réglementaires, recherche  
[pauline.anestbavoux@cstb.fr](mailto:pauline.anestbavoux@cstb.fr)

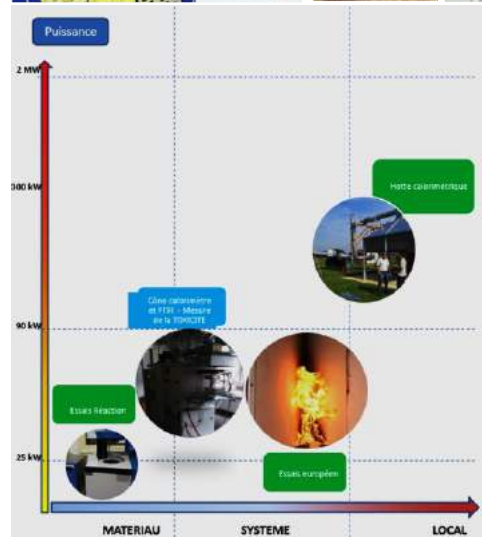


THEMATIQUES DE RECHERCHE EN COURS  
PERSPECTIVES POUR LES MATERIAUX BIOSOURCES

Financements possibles : DHUP, ANR, ADEME, PACTE, crédit impôt recherche, industriels...

Liens académiques : LEMTA (Nancy), Institut Pprime (Poitiers), ENSC (Lille), CETHIL (Lyon)...

<b>Durabilité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durabilité des matériaux biosourcés face aux agents biologiques (moisissures, mэрule et autres champignons xylophages, insectes xylophages et kэрatophages).<sup>(1)</sup></li> <li>- Développement de traitements préventifs innovants contre les nuisibles microbiologiques et entomologiques.<sup>(1)</sup></li> <li>- Amélioration de la durabilité des performances de réaction au feu pour matériaux biosourcés ignifugés.<sup>(2)</sup></li> </ul>
<b>Feu couvant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compréhension des phénomènes et recherche expérimentale sur les conditions d'échauffement réelles des isolants lors d'incidents électriques.<sup>(2)</sup></li> </ul>
<b>ISI réaction au feu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisation des effluents (analyse des gaz de combustion, des suies, visibilité). Les aspects positifs des matériaux biosourcés.<sup>(2)</sup></li> <li>- Construction d'une base de données de caractérisation de combustion de matériaux biosourcés pour la conduite d'études d'ingénierie permettant la validation de solutions constructives innovantes non prévues par la réglementation.<sup>(2)</sup></li> </ul>
<p>(1) <a href="mailto:isabelle.lacaze@cstb.fr">isabelle.lacaze@cstb.fr</a> Ingénieur Recherche &amp; Expertise, Division agents biologiques et aэrocontaminants                  (2) <a href="mailto:veronique.georges@cstb.fr">veronique.georges@cstb.fr</a> Ingénieur Recherche &amp; Expertise, Division études et essais réaction au feu</p>	





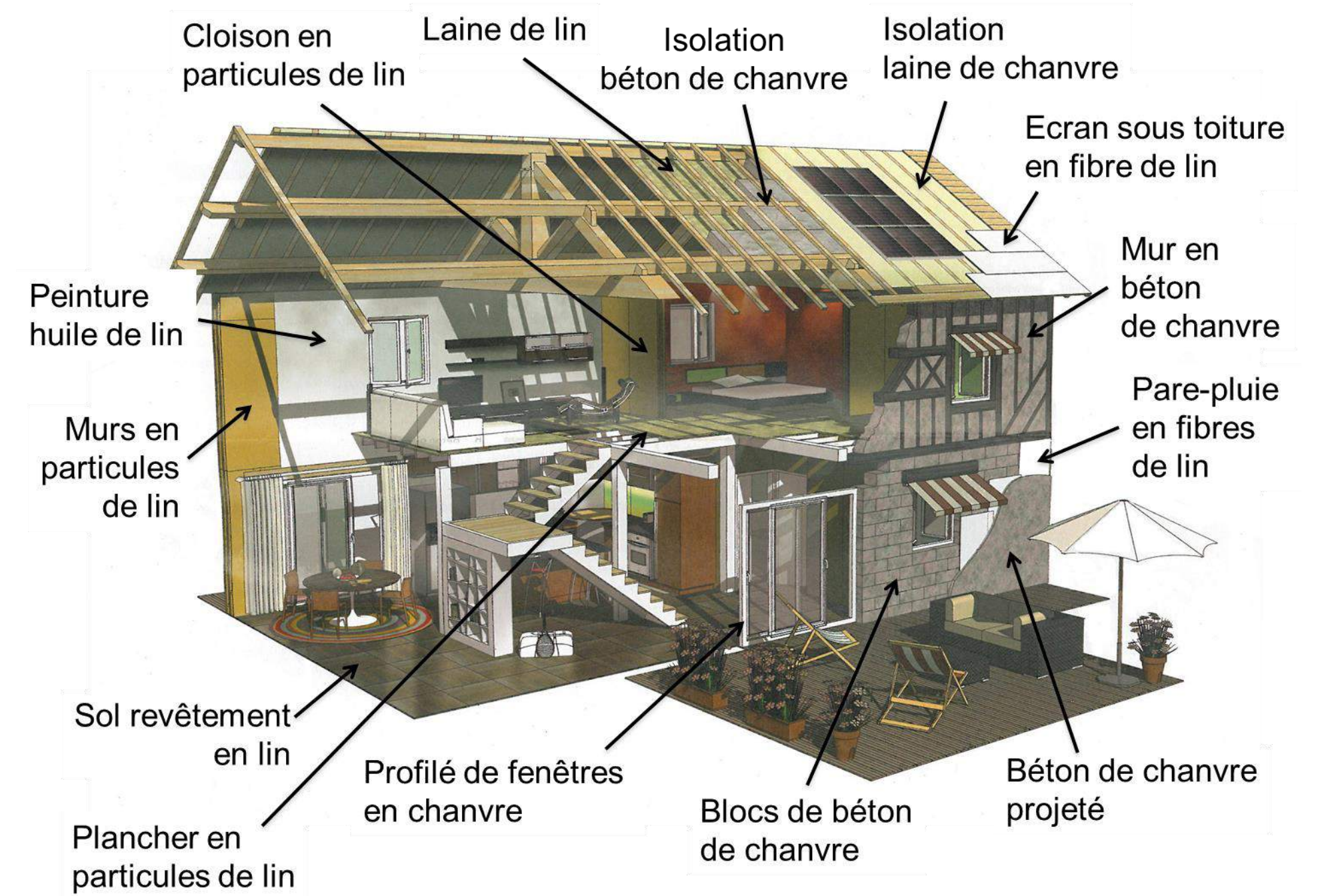
# BiSE [Biosourcé In-Situ Expérimentation]

Sandrine Marceau<sup>1</sup>, Philippe Glé<sup>2</sup>, Etienne Gourlay<sup>2</sup>, Yves Hustache<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ifsttar-MAST/CPDM, <sup>2</sup>CEREMA Est-Laboratoire de Strasbourg, <sup>3</sup>Karibati

## Contexte et enjeux

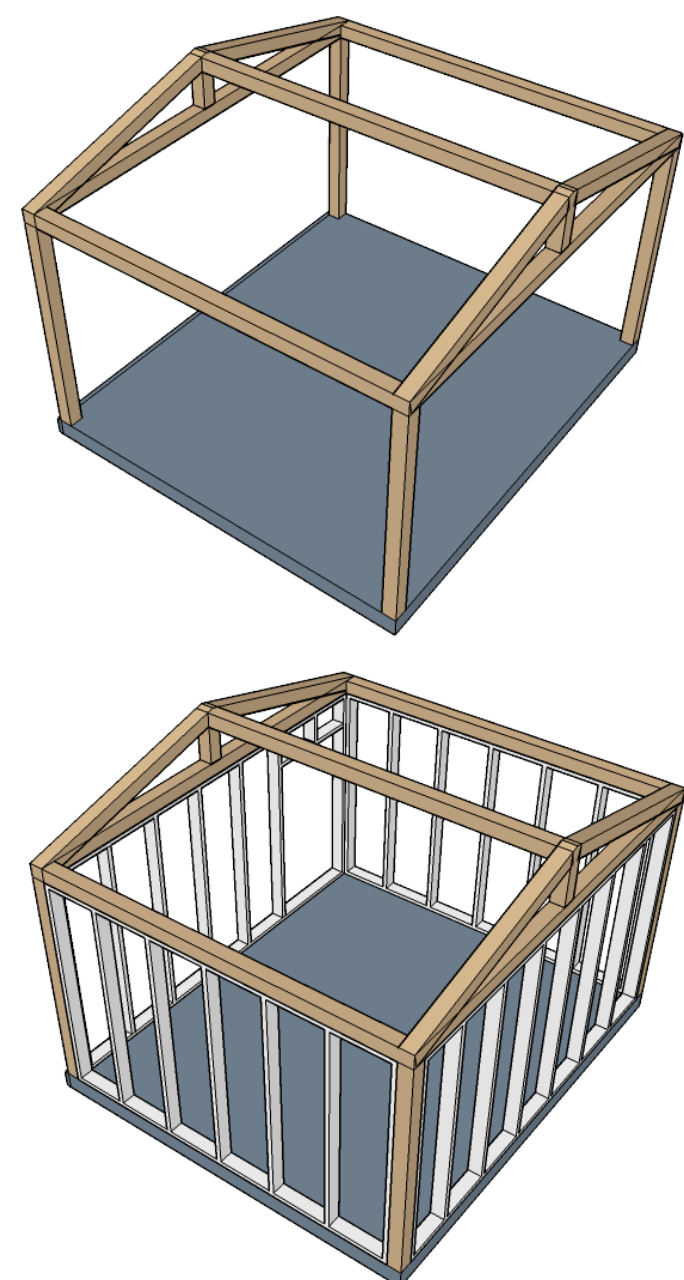
- ▶ En intégrant des **matières premières renouvelables**, les produits de construction biosourcés sont considérés comme une **réponse aux grands enjeux** du secteur du bâtiment et plus largement de notre société : préservation des ressources, limitation du réchauffement climatique, développement économique des territoires...
- ▶ Depuis 5 ans les produits de construction biosourcés connaissent un développement en **forte croissance** (+40%).
- ▶ Les **spécificités des matériaux biosourcés**, en rupture technologique avec les matériaux conventionnels, mettent en évidence un **besoin d'évaluation de la performance des matériaux en conditions réelles** dans le cadre d'essais in-situ.



## Objectifs

- ▶ Développer des méthodes de mesure de performance des matériaux en conditions réelles, notamment sur le comportement hygrothermique des parois
- ▶ Evaluer les performances de solutions constructives biosourcés et conventionnelles suivant ces méthodes

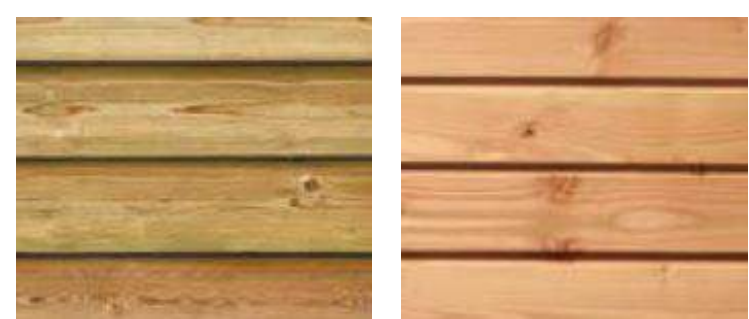
## Méthodologie



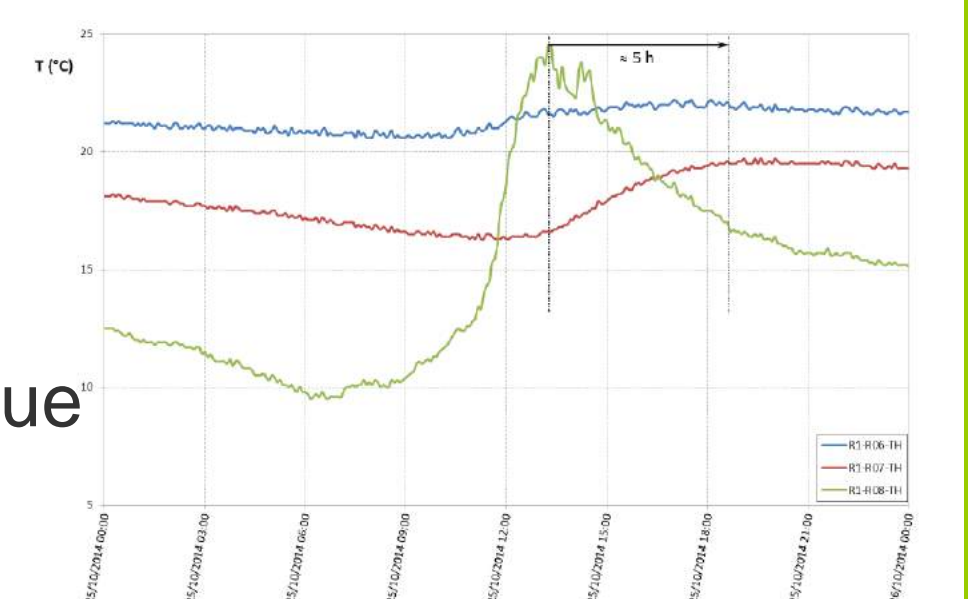
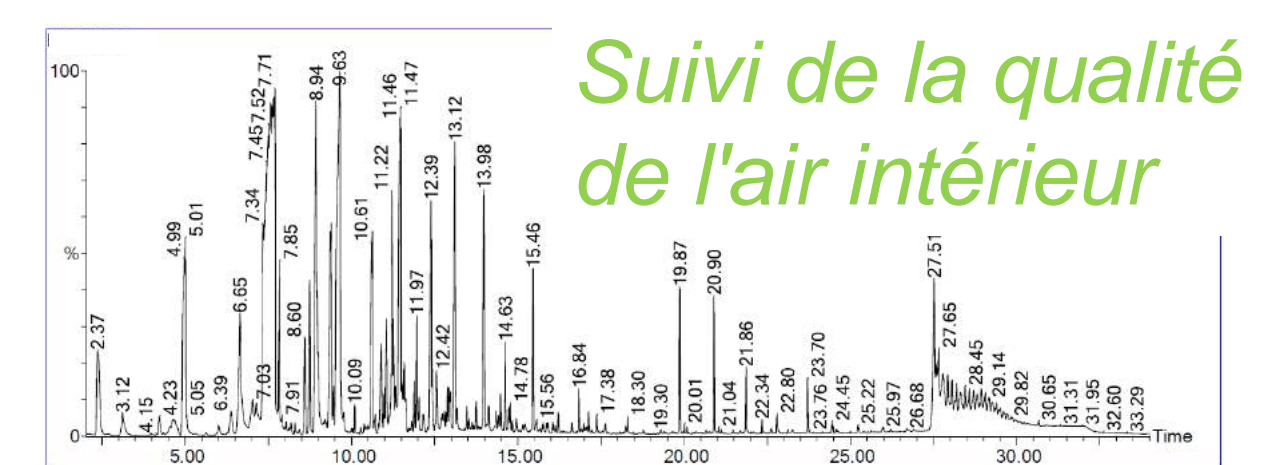
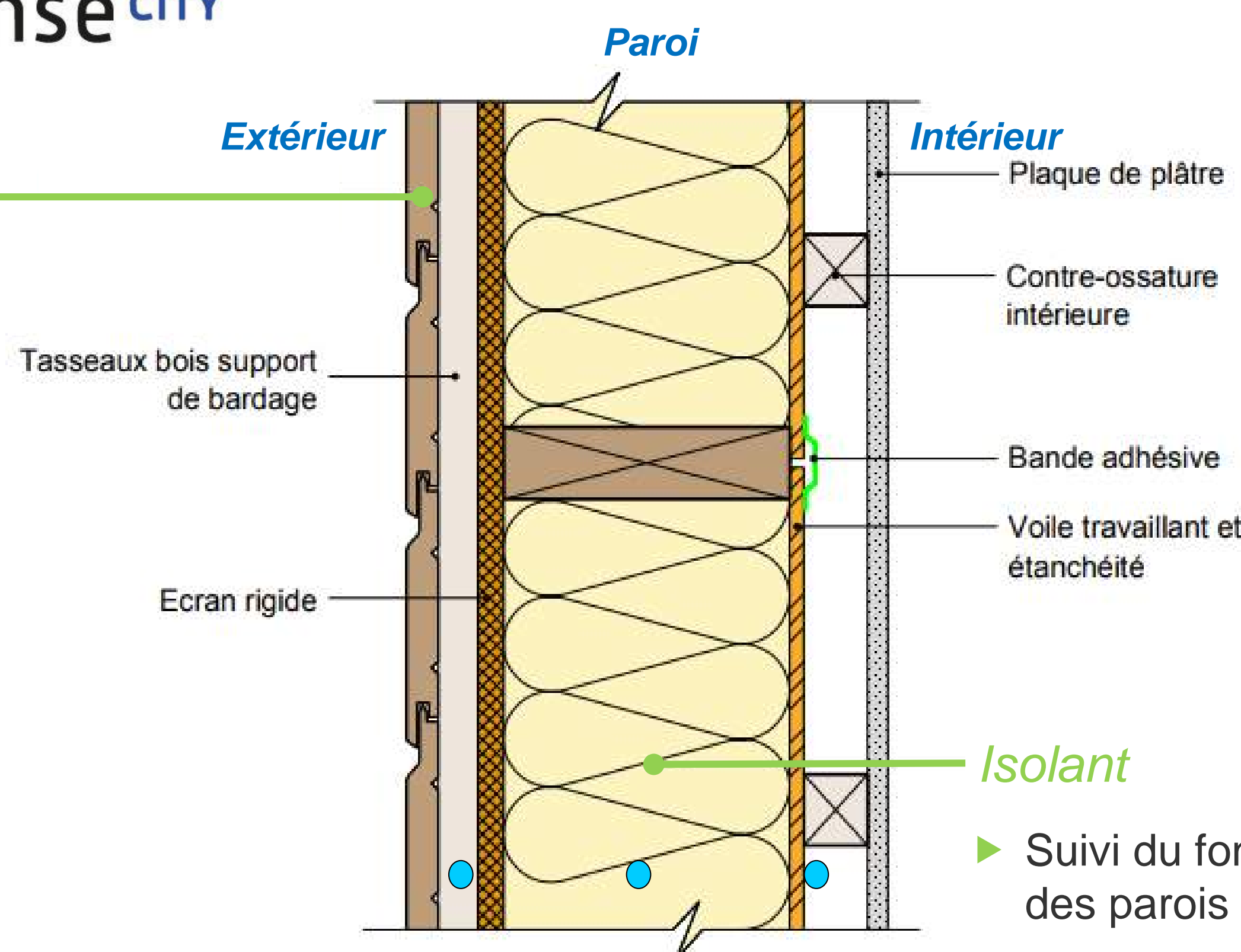
- ▶ Principe de la cellule de mesure :
  - ▶ Une structure fixe constituée d'une ossature et d'un toit
  - ▶ Des parois configurables pouvant recevoir tous types de systèmes constructifs
  - ▶ Une isolation performante du toit et du plancher pour éviter les pertes thermiques
- ▶ Climats extérieurs contrôlés dans la chambre climatique ou en conditions extérieures réelles
- ▶ Climats intérieurs contrôlés
- ▶ Instrumentation adaptée : Température et humidité relative dans les parois et à l'intérieur, capteurs de flux, capteurs COV...

## Bâtiment biosourcé dans sense CITY

### Bardage bois mixte mélèze/douglas



- ▶ Evolution du bardage bois :
  - ▶ Influence de l'essence de bois?
  - ▶ Influence de l'eau, la température, le rayonnement UV?
  - ▶ Effet des traitements de protection?



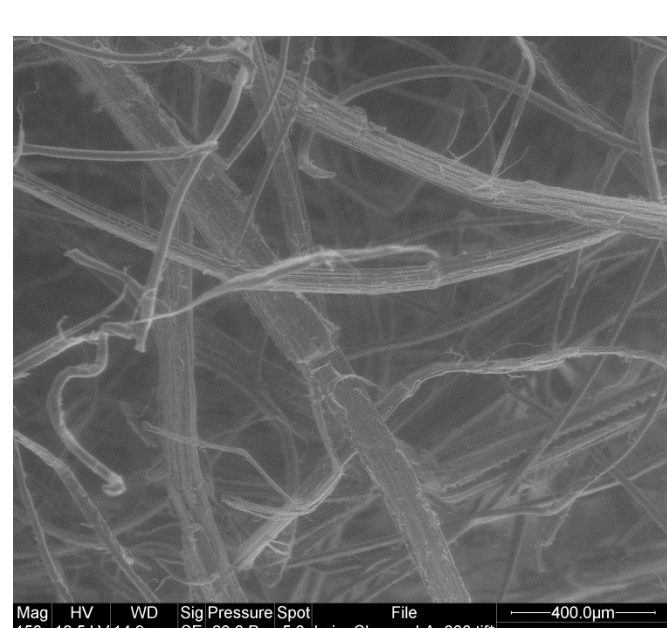
Plans du bâtiment : Charlène Castella (ENSAL)

## Matériaux testés

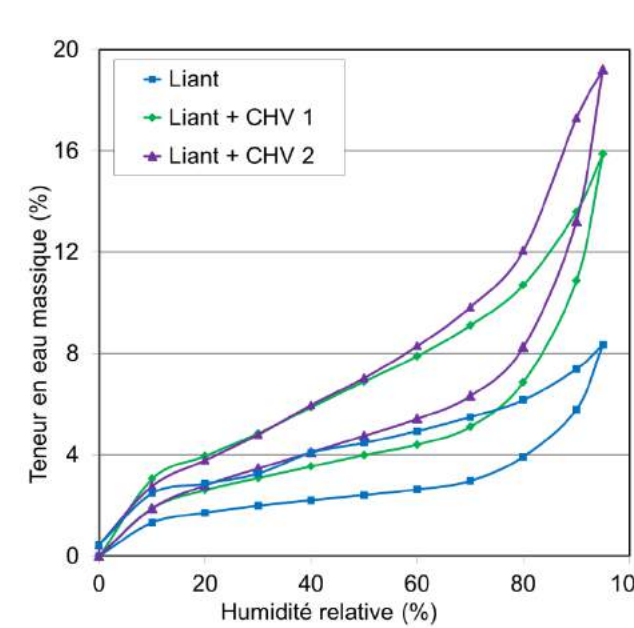
- Fibre de bois
- Béton de chanvre
- Laines végétales lin/chanvre



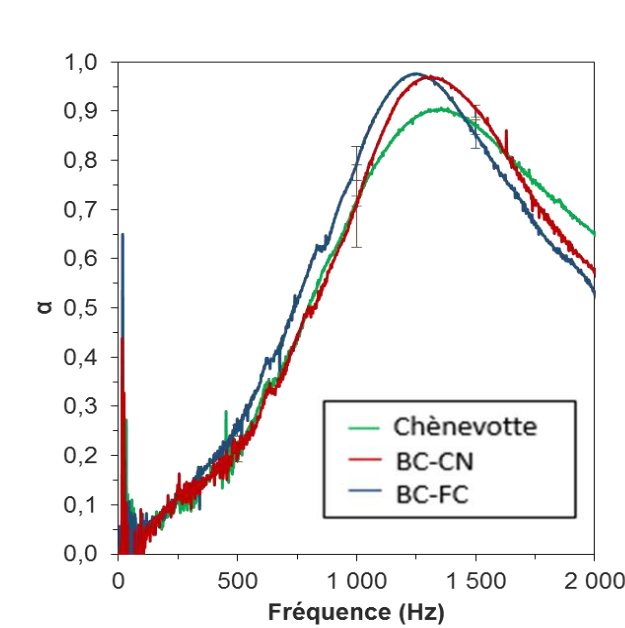
### ▶ Comparaison avec essais labo à l'échelle matériau



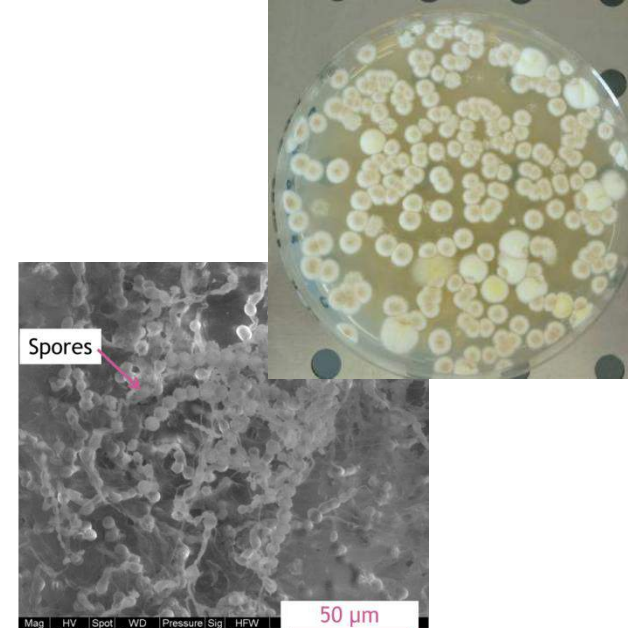
▶ Microstructure  
Observation de fibres de chanvre dans une laine végétale par microscopie électronique à balayage



▶ Propriétés hygriques  
Mesure des isothermes d'absorption d'eau



▶ Propriétés acoustiques  
Mesure du coefficient d'absorption acoustique



▶ Développement fongique?

## Résultats attendus

- ▶ Recueil de données réelles obtenues *in-situ* sur le fonctionnement des bâtiments contenant des matériaux biosourcés :
  - ▶ Fonctionnement hygrothermique des parois?
  - ▶ Qualité de l'air intérieur?
  - ▶ Confort acoustique?...
- ▶ Corrélations avec les résultats obtenus à l'échelle matériau au laboratoire :
  - ▶ Propriétés intrinsèques
  - ▶ Durabilité / vieillissement
- ▶ Changement d'échelle matériau – système constructif – bâtiment



# Comportement Mécanique de bâtiments Ossature Bois et Béton de Chanvre Projeté

S. HANS <sup>(1)</sup>, F. SALLET <sup>(1)</sup>, L. GOUDET <sup>(2)</sup>

(1) LGCB-LTDS UMR 5513 / ENTPE / Université de Lyon  
(2) Développement Chanvre

Quelle est la contribution d'un béton de chanvre projeté dans le comportement mécanique d'un bâtiment à ossature bois ? Cette question est abordée dans cette étude au travers d'essais de laboratoire et de mesures directes in situ.

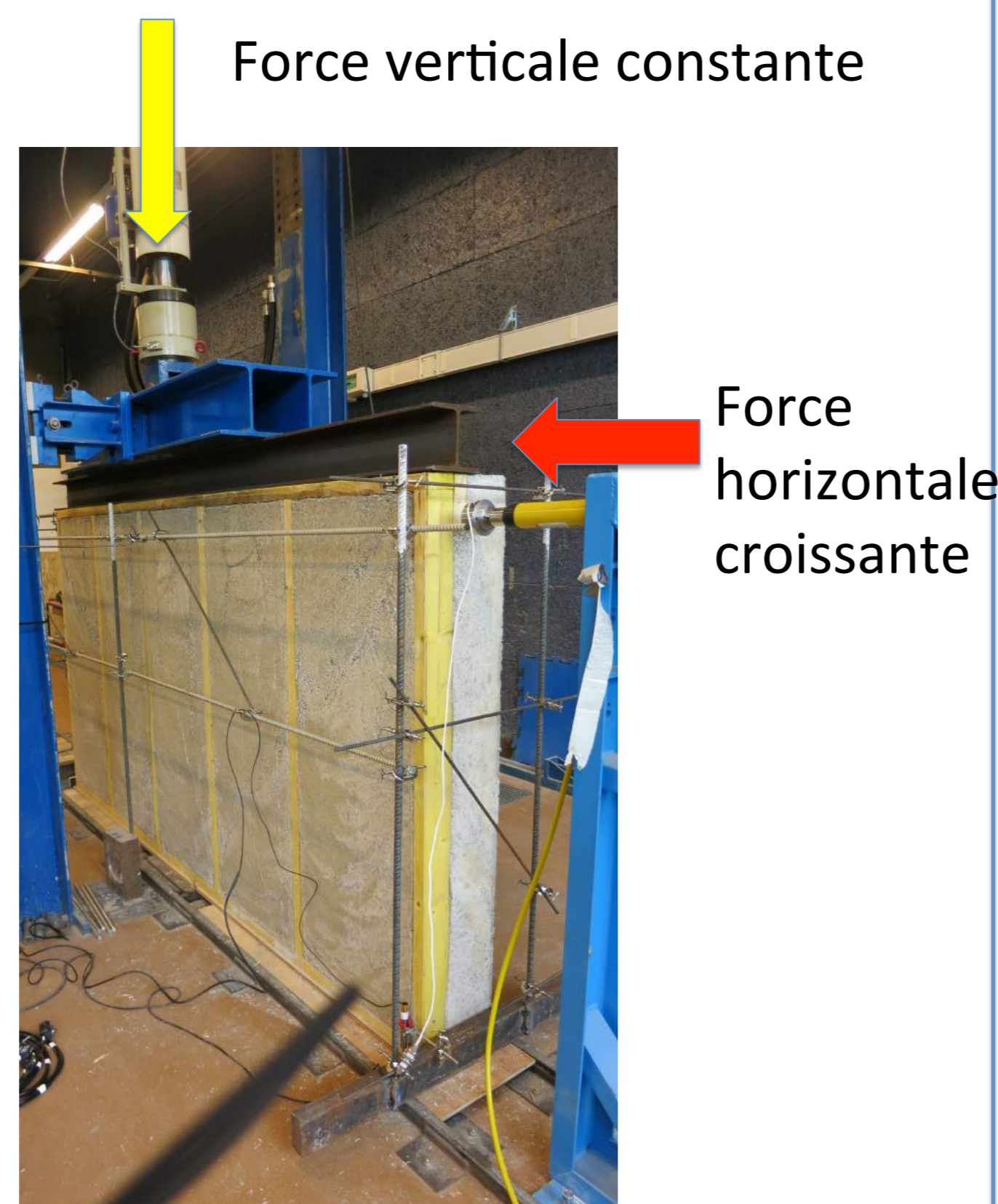
## TESTS MECANIQUES EN LABORATOIRE

5 murs test conçus pour étudier les contributions des différents matériaux et leurs combinaisons

	Numéro	Dimensions du mur (cm)	Section structure bois	Entraxe des montants verticaux	Structure
Mur de référence	1	300 x 160 x 30	4 x 10	60	Bois et Béton de chanvre
Ossature bois	2	300 x 160 x 10	4 x 10	60	Bois
Mur charge lourde	3	300 x 160 x 30	5 x 15	150	Bois et Béton de chanvre
Mur sans contreventement	4	300 x 160 x 30	4 x 10	300	Béton de chanvre
Mur enduit	5	300 x 160 x 30	4 x 10	60	Bois, Béton de chanvre et enduit de chaux



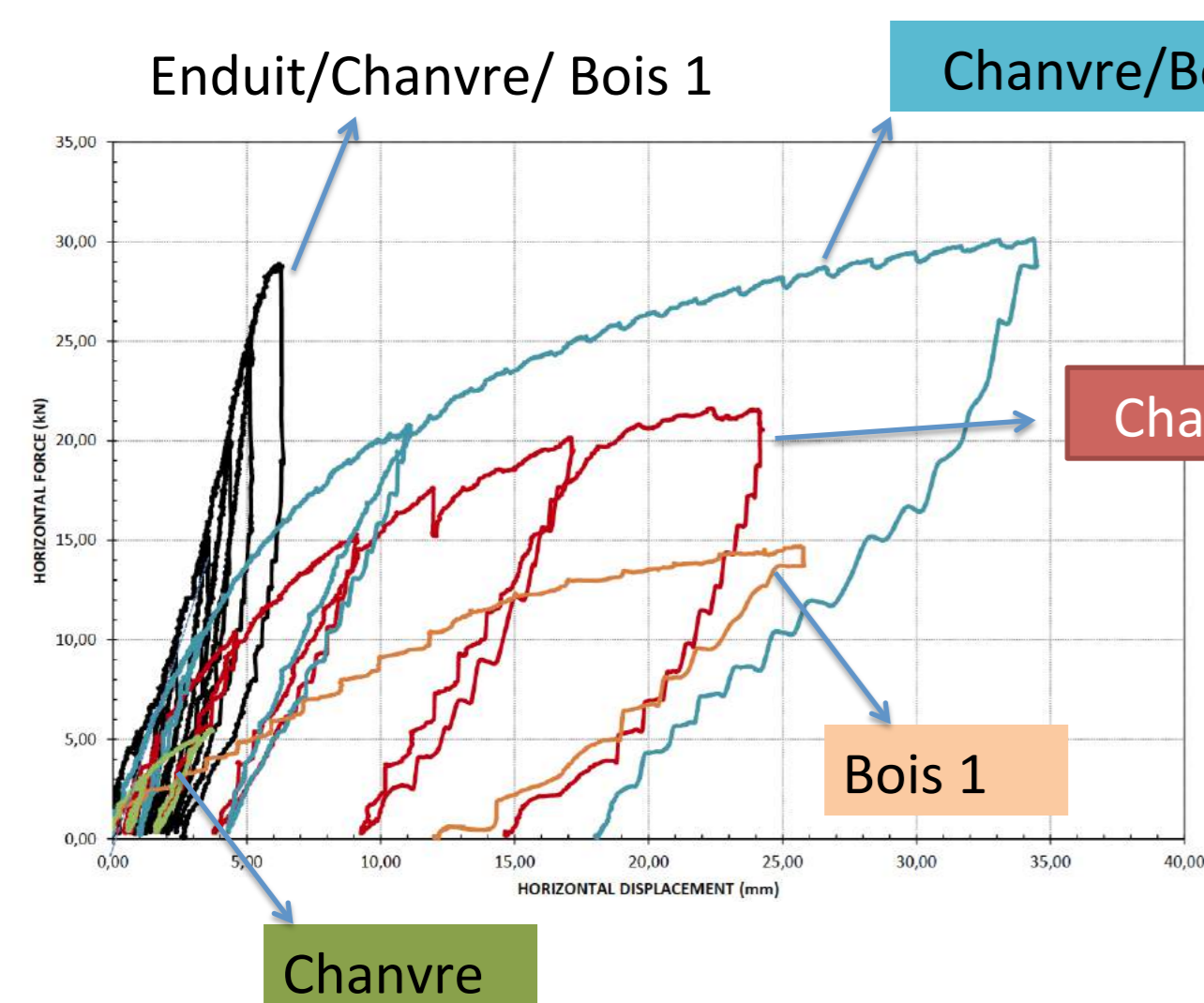
Réalisation d'un élément (L. Goudet en action)



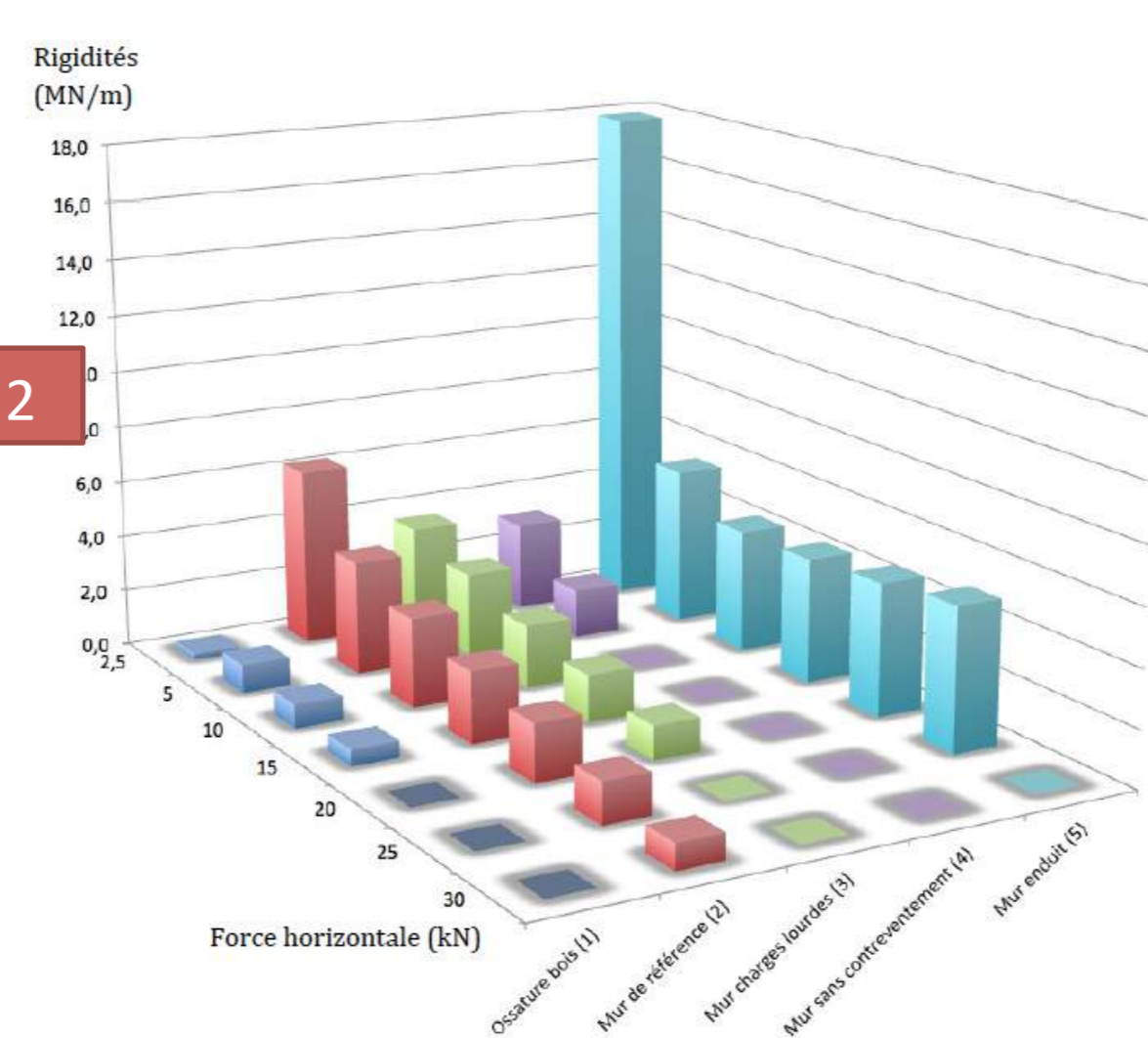
Force verticale constante

Force horizontale croissante

Comparaison des différents éléments



Mesure du contreventement



		Force horizontale (kN)						
		2,5	5	10	15	20	25	30
Bois 1	Ossature bois (1)	0,2	1,0	0,8	0,6	X	X	X
Chanvre/ Bois1	Mur de référence (2)	6,3	4	3,1	2,5	2,0	1,4	0,9
Chanvre/Bois 2	Mur charges lourdes (3)	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	X	X
Chanvre	Mur sans contreventement (4)	3,1	1,7	X	X	X	X	X
Enduit/Chanvre/ Bois1	Mur enduit (5)	17,9	5,6	4,3	4,4	4,7	5,0	X

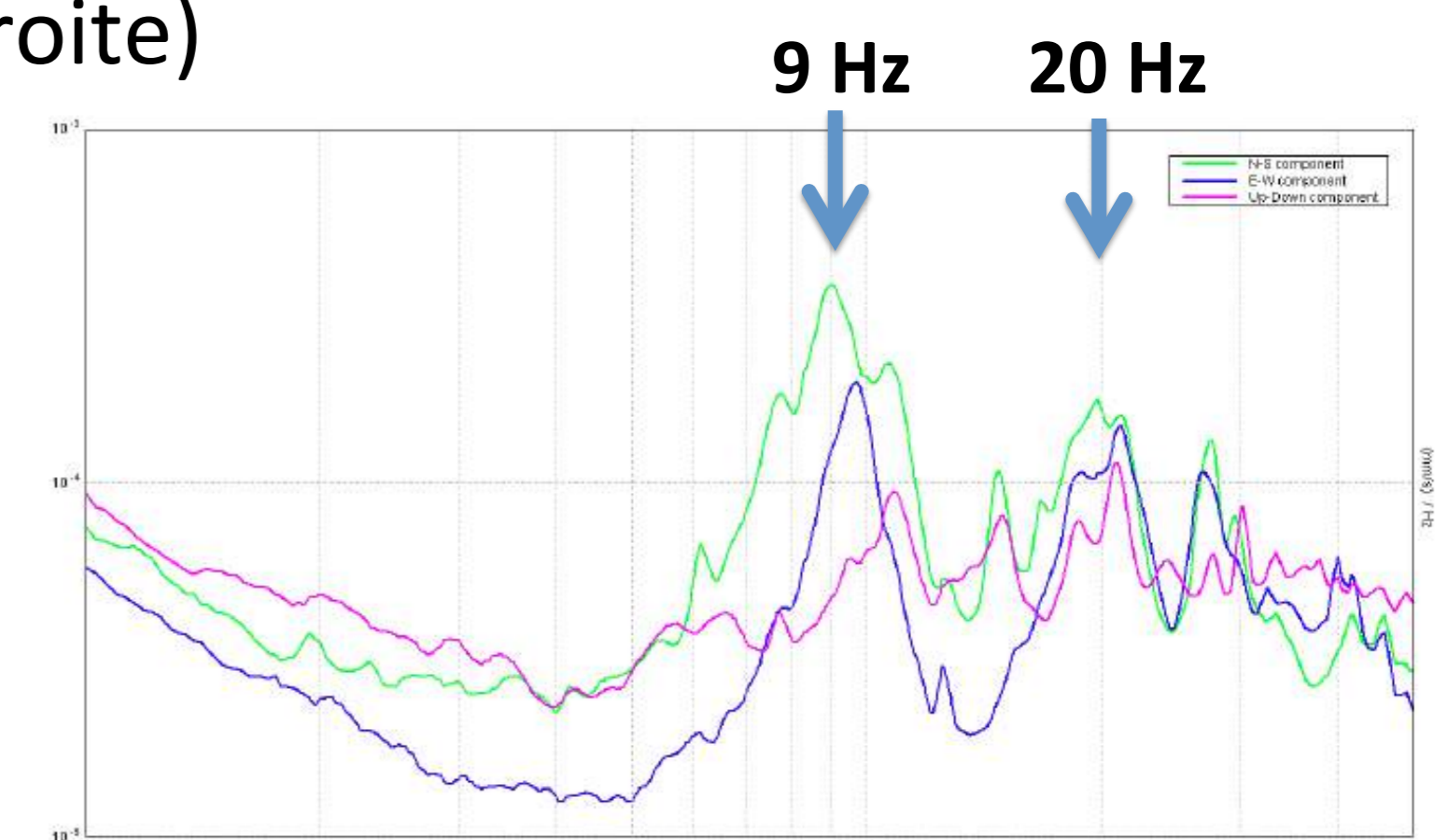
Rigidité (MN/m) des éléments en fonction de la force horizontale

## MESURES IN SITU

Mesures dynamiques d'un bâtiment réel sous bruit ambiant



Vélocimètre Tromino<sup>®</sup> utilisé (à gauche) et pics de fréquence observés (à droite)



Modélisation simple du bâtiment dans les deux directions horizontales



Observation : une rigidité de 6MN par mètre linéaire de mur permet d'expliquer le comportement observé dans les directions.

Type de séisme	Niveau 1	Niveau 2
I	Déplacement différentiel (mm)	Déplacement différentiel (mm)
Sol catégorie A	0,63	0,52
Sol catégorie B	0,77	0,62
Sol catégorie C	0,64	0,52
Sol catégorie D	0,75	0,61
Sol catégorie E	<b>0,9</b>	0,73

Type de séisme	Niveau 1	Niveau 2
II	Déplacement différentiel (mm)	Déplacement différentiel (mm)
Sol catégorie A	0,79	0,65
Sol catégorie B	1,06	0,87
Sol catégorie C	1,18	0,96
Sol catégorie D	<b>1,41</b>	1,15
Sol catégorie E	1,26	1,04

Estimation de la réponse du bâtiment sous séisme réglementaire

CONCLUSION : Le béton de chanvre projeté a une influence prépondérante dans le contreventement d'un bâtiment à ossature bois : le gain est à la fois mécanique avec une augmentation de la rigidité de la structure, mais également sécuritaire avec une augmentation notable de la ductilité.

L'étude a également montré sur une habitation R+1 de bonnes performances du point de vue sismique. La grande légèreté et la bonne ductilité de ce type de structure sont des atouts intéressants vis-à-vis de ce type de risque.



Anh Dung **TRAN LE**<sup>1\*</sup>, Omar **DOUZANE**<sup>1</sup>, Geoffrey **PROMIS**<sup>1</sup>, Benoit **ROCQ**<sup>2</sup>, Laurent **LAHOUCHE**<sup>1</sup>, Thierry **LANGLET**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LTI, EA 3899 – Université de Picardie Jules Verne, France

<sup>2</sup>ATMO Hauts de France, 22 Boulevard Michel Strogoff, 80440 Boves, France

## Résumé

- Etude de l'influence d'un système de ventilation dont le débit est fonction de l'humidité relative et de la concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sur la performance hygrothermique et la qualité de l'air (QAI) d'un local en béton de chanvre.
- Développement d'un modèle couplé de transfert de chaleur et d'humidité dans l'enveloppe avec la ventilation à la demande du bâtiment pour prédire la QAI et le besoin énergétique dans l'environnement de simulation SPARK (Simulation Problem Analysis and Research Kernel).

## Modèle Physique

### Bilan d'humidité

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)$$

### Conditions aux limites (en x=0 et x=L) pour le bilan d'humidité

$$-\rho_l \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0,e} = h_{M,e} (\rho_{ve,a,e} - \rho_{ve,s,e})$$

$$-\rho_l \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=L,i} = h_{M,i} (\rho_{ve,s,i} - \rho_{ve,a,i})$$

### Bilan d'énergie

$$\rho_0 C_p m \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{app} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L_v \rho_l \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \right)$$

### Conditions aux limites (en x=0 et x=L) pour le bilan d'énergie

$$-\lambda_{app} \frac{\partial T}{\partial x} - L_v \rho_l \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} + D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0,e} = h_{T,e} (T_{a,e} - T_{s,e}) + L_v h_{M,e} (\rho_{ve,a,e} - \rho_{ve,s,e}) + \Phi_{ray,e}$$

$$-\lambda_{app} \frac{\partial T}{\partial x} - L_v \rho_l \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} + D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=L,i} = h_{T,i} (T_{s,i} - T_{a,i}) + L_v h_{M,i} (\rho_{ve,s,i} - \rho_{ve,a,i}) - \Phi_{ray,i}$$

### Modèle de la prédiction de CO<sub>2</sub>

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = Q [C_o(t) - C(t)] + G(t)$$

### Bilan d'humidité et d'énergie de l'ambiance

$$\rho_i C_p V \frac{\partial T}{\partial t} = \Phi_{West} - \Phi_{East} + \Phi_{South} - \Phi_{North} + \Phi_{Bottom} - \Phi_{Top} + \Phi_{Source}$$

$$V \frac{\partial \rho_i}{\partial t} = Q_{mWest} - Q_{mEast} + Q_{mSouth} - Q_{mNorth} + Q_{mBottom} - Q_{mTop} + Q_{mSource}$$

### Pourcentage d'insatisfaits de l'odeur corporelle (PD)

$$PD_{Odor} = 395 * \exp[-17.55 * (C_{in} - C_{out})^{-0.25}]$$

### Solution numérique

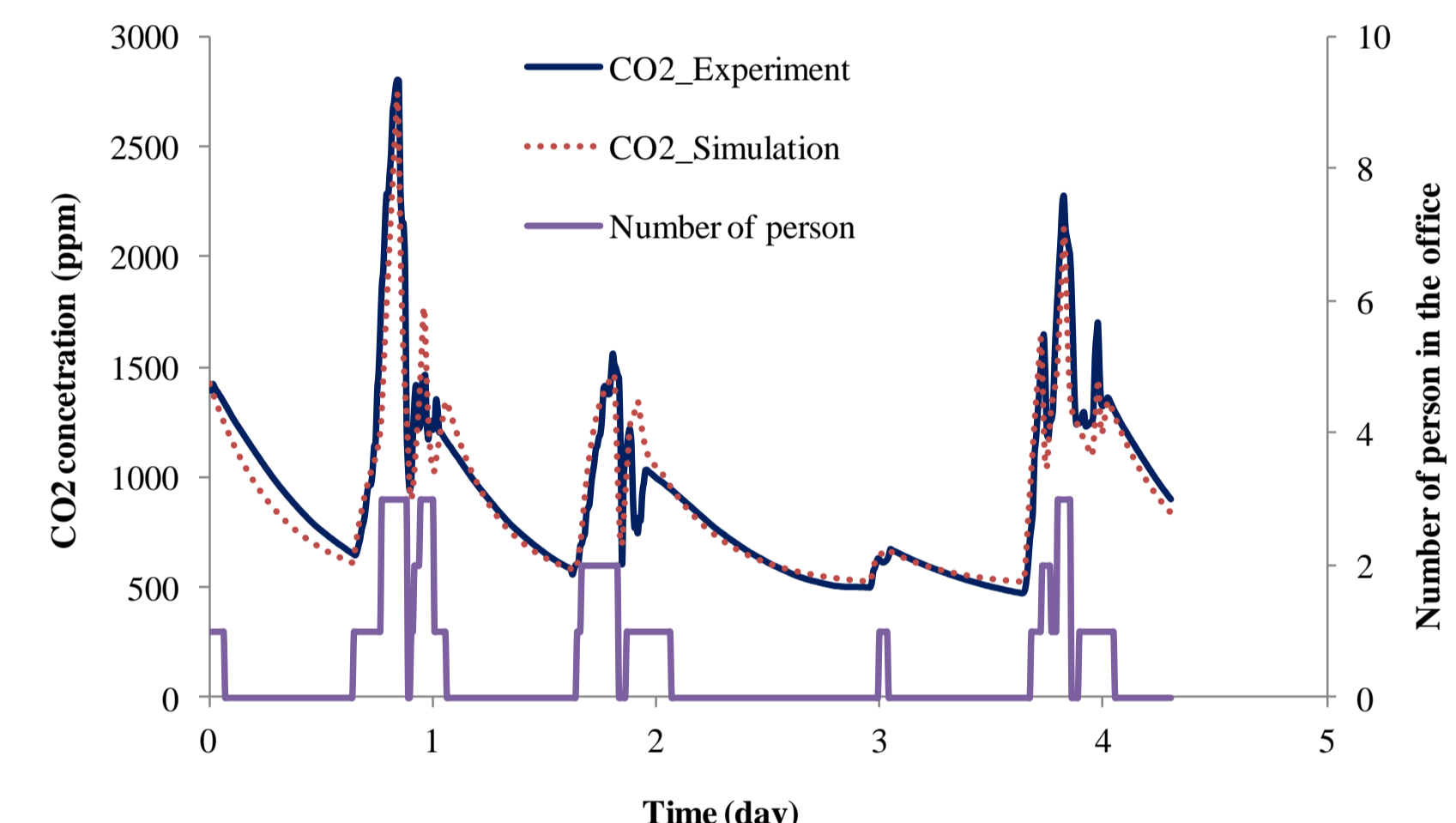
- Méthode des différences finies avec un schéma implicite
- Equations implémentées dans l'environnement de simulation SPARK

### Validation du modèle de la qualité de l'air

- Débit de ventilation pendant la période occupée et inoccupée: 6 and 18 m<sup>3</sup>/h
- Débit du à l'ouverture de la fenêtre calculé par «trace gas decay technique method»



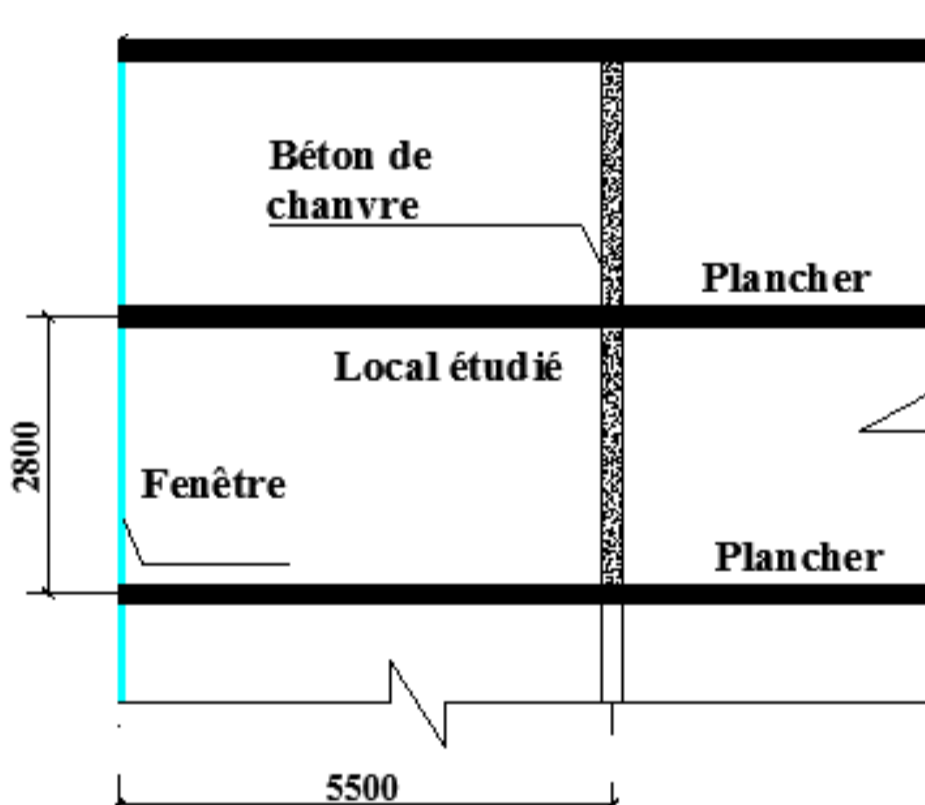
Qtrack pour mesurer QAI dans le bureau du directeur adjoint de l'ATMO Hauts de France (Amiens, France)



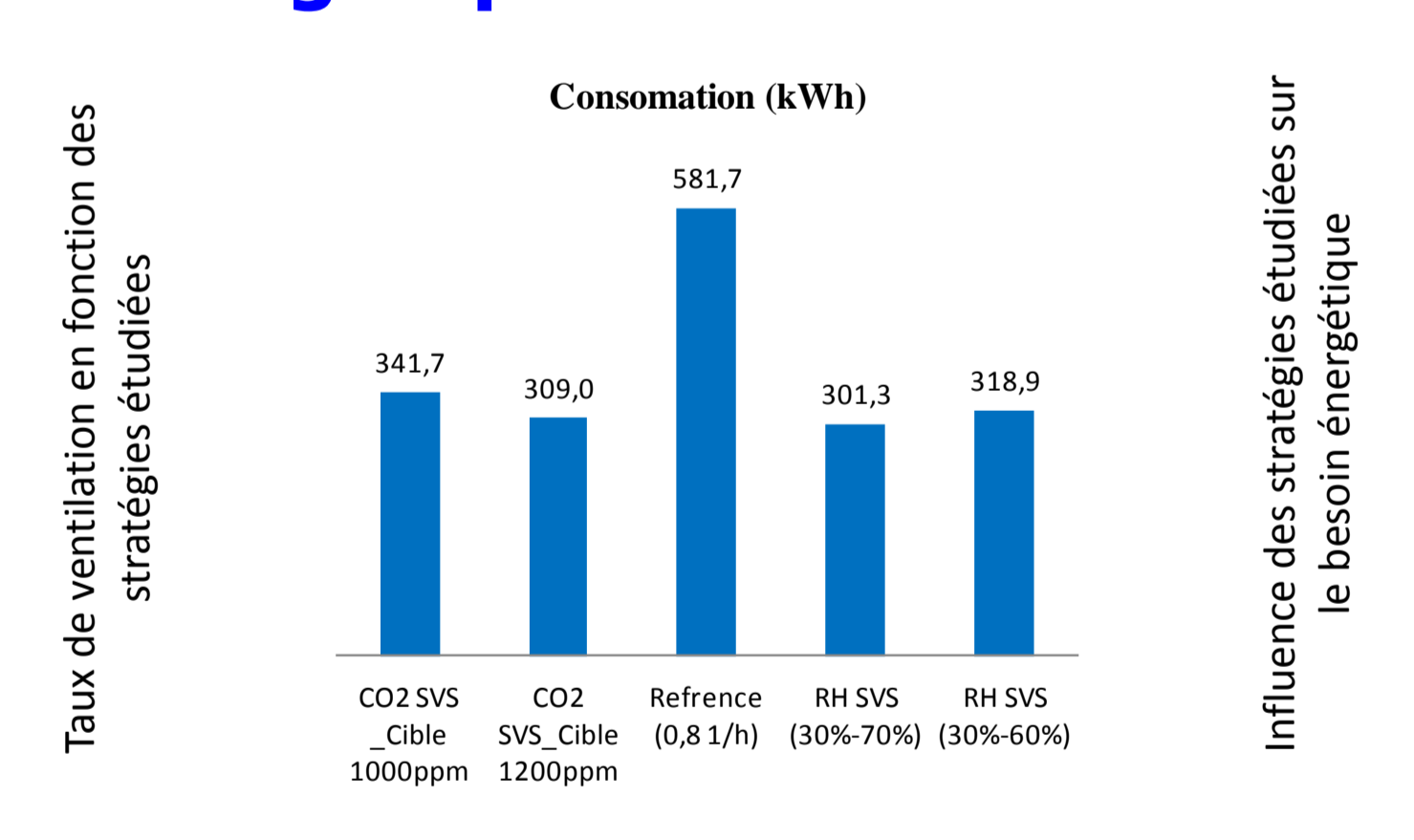
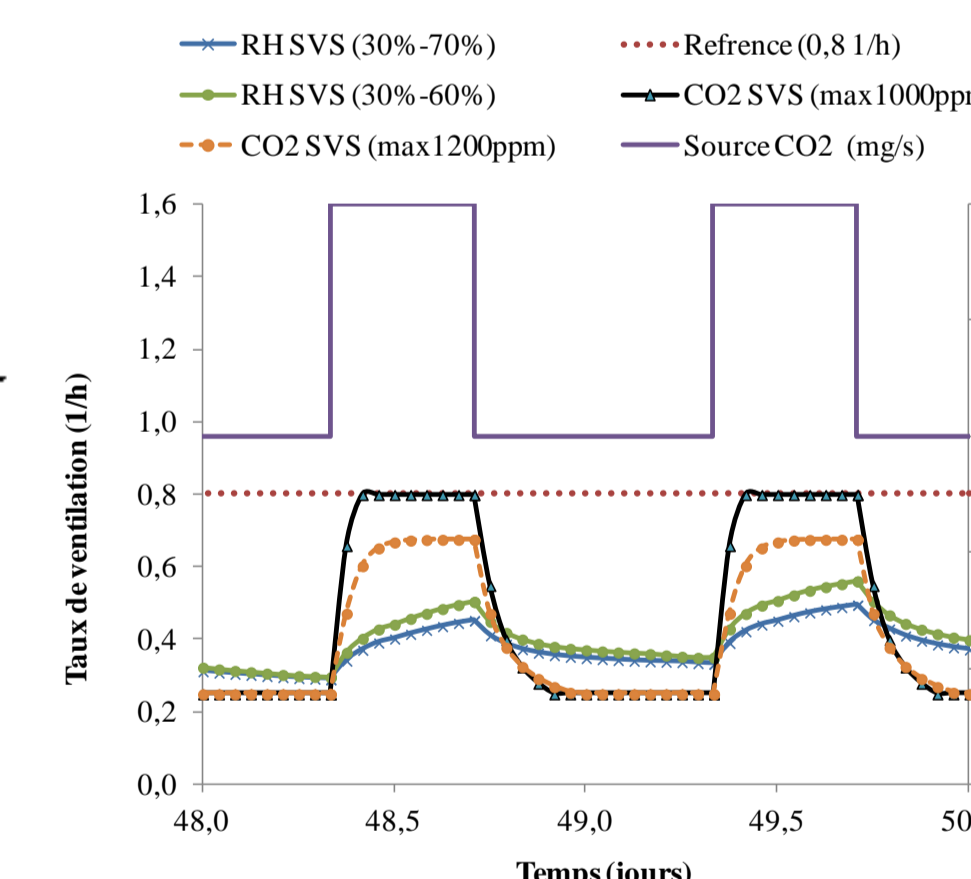
## Résultats

### Description de la pièce étudiée et condition de simulation

- Pièce avec un volume de 62 m<sup>3</sup>
- Pièce occupée par 2 personnes (une source de CO<sub>2</sub> 20 mg/s) de 8h à 17h.
- Température de consigne: 19°C
- Concentration de CO<sub>2</sub> extérieure: 400 ppm
- Données météorologiques: trois mois de l'hiver de Nancy

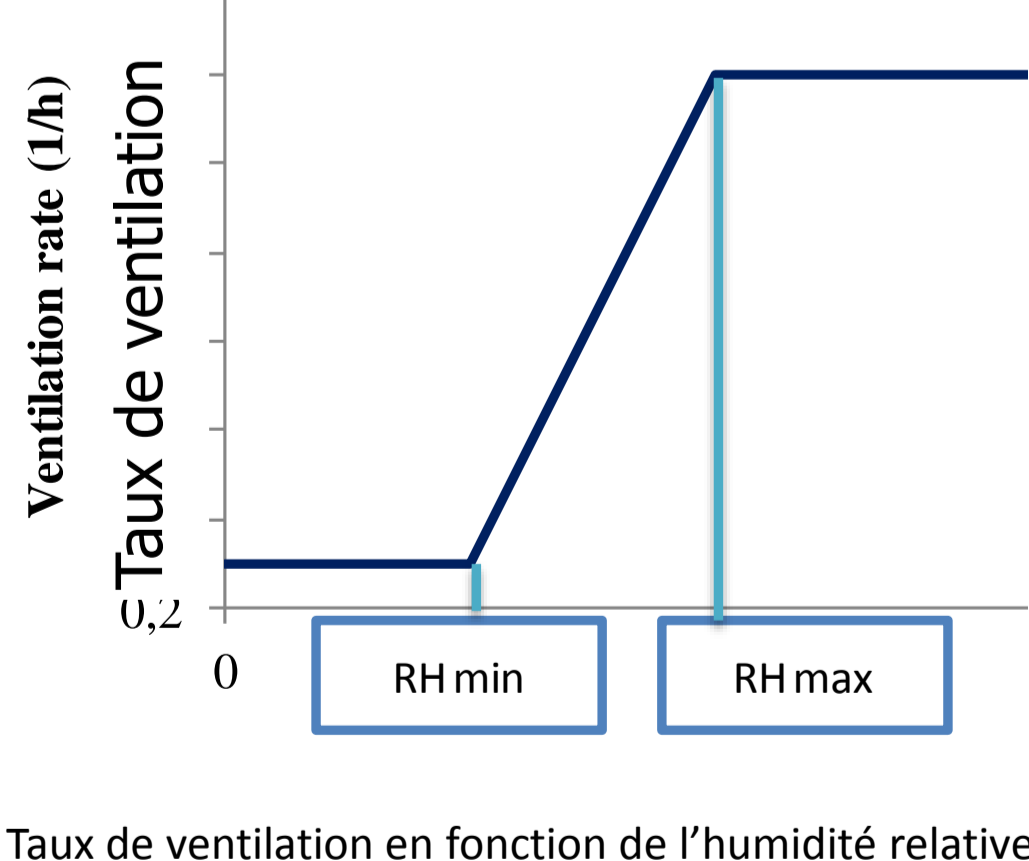
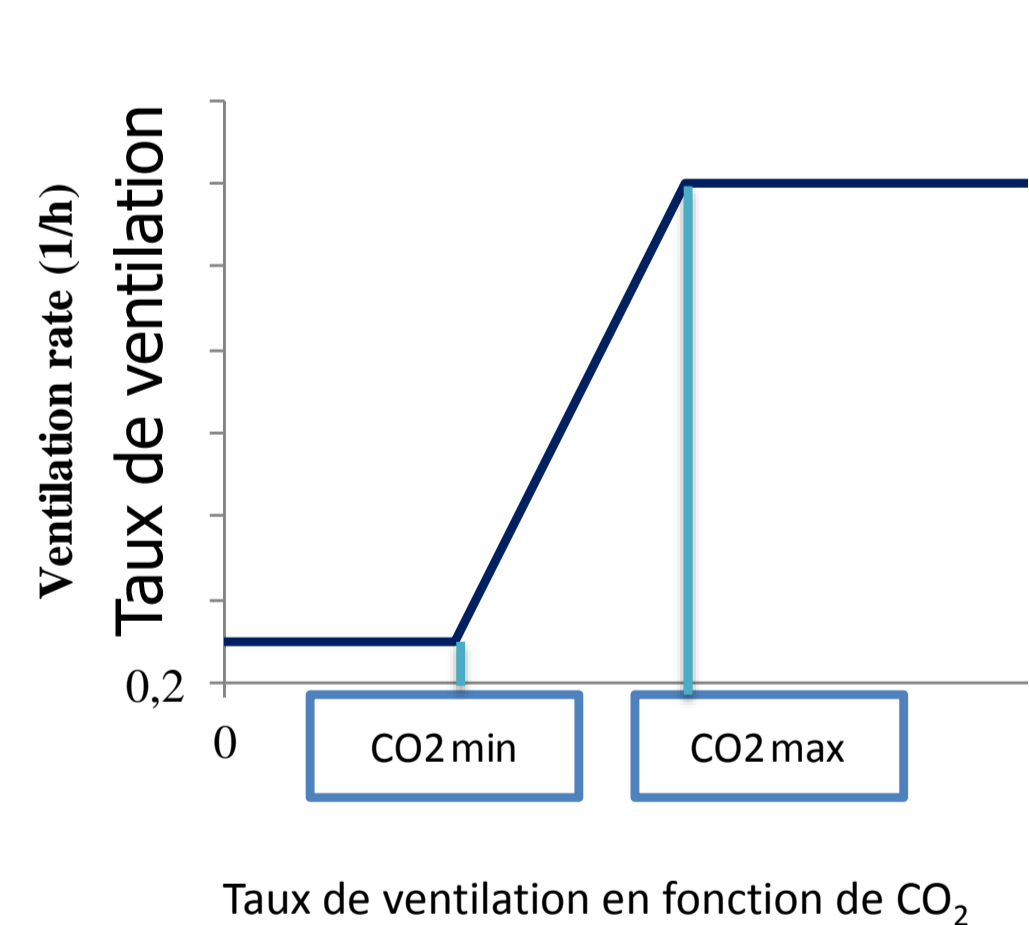


### Influence de la ventilation à la demande sur le taux de ventilation et besoin énergétique

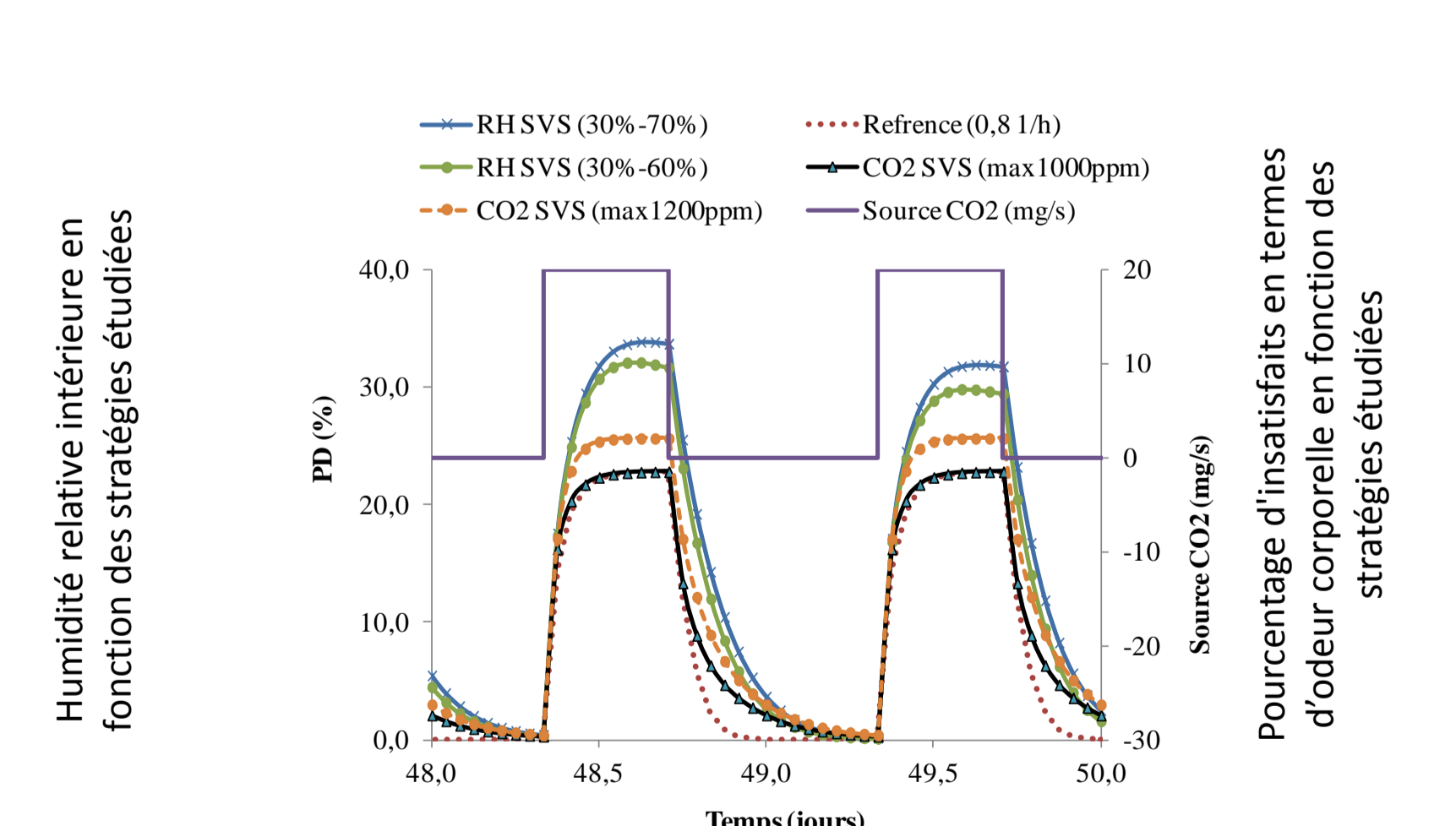
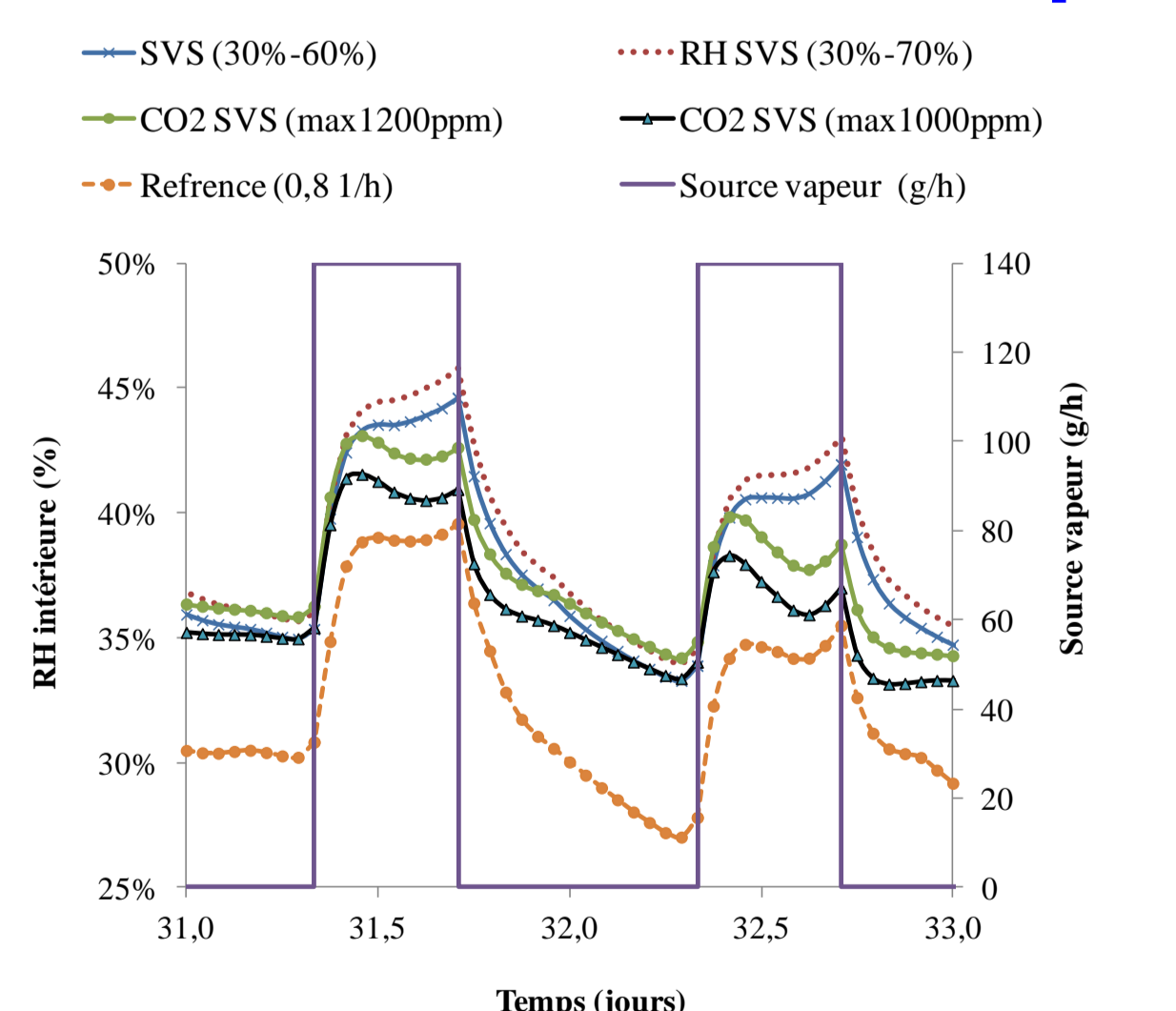
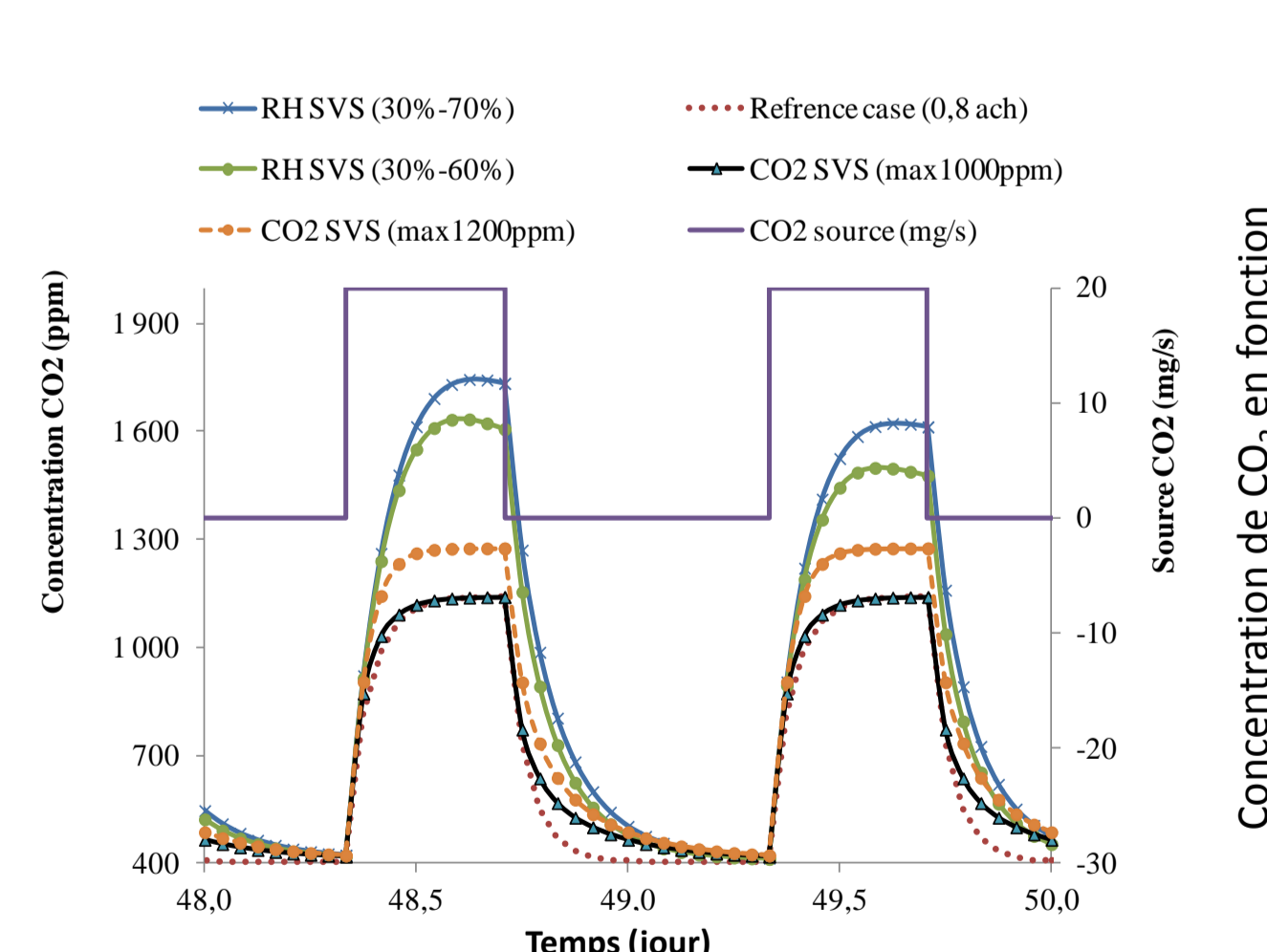


Influence des stratégies étudiées sur le besoin énergétique

### Ventilation sensible à la concentration de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> SVS) ou à l'humidité relative (RH SVS)



### Influence de la ventilation à la demande sur la qualité de l'air intérieur et PD



Pourcentage d'insatisfaits en termes d'odeur corporelle en fonction des stratégies étudiées

## Conclusions

- ❖ La ventilation à la demande permet de réduire la consommation énergétique.
- ❖ Par rapport au cas dont le taux de ventilation est constant, le système de ventilation à la demande peut réduire la consommation d'énergie d'environ 48% sans dégrader la qualité de l'air intérieur.
- ❖ Grâce à la capacité de régulation tampon hygrique du béton de chanvre, le système de ventilation sensible à l'humidité relative conduit à une consommation énergétique plus faible (environ 6,7%).
- ❖ Le système de ventilation sensible au CO<sub>2</sub> augmente le pourcentage de satisfaits en termes d'odeur corporelle (PD passe de 34 % à 23 %).



# PROJET AGROBLOC : DÉVELOPPEMENT D'UNE GAMME DE BLOCS DE MAÇONNERIE EN BÉTON À BASE DE GRANULATS AGROSOURCÉS

AUTEURS : S. LE THIERRY<sup>1</sup>, F. JACQUEMOT<sup>1</sup>, G. MARTIN<sup>1</sup>, J. RASORI<sup>2</sup>, T. PAYOT<sup>3</sup> (1 CERIB, 2 RASORI, 3 CCI EURE-ET-LOIR)

## Objectifs

Blocs porteurs en béton pour une maison individuelle (R+0 ou R+1) à base de matériaux bio-sourcés

Aptitude à être produits par les process de production existants



## Intérêt des matériaux biosourcés

Ressources renouvelables et locales (chanvre, lin, miscanthus)

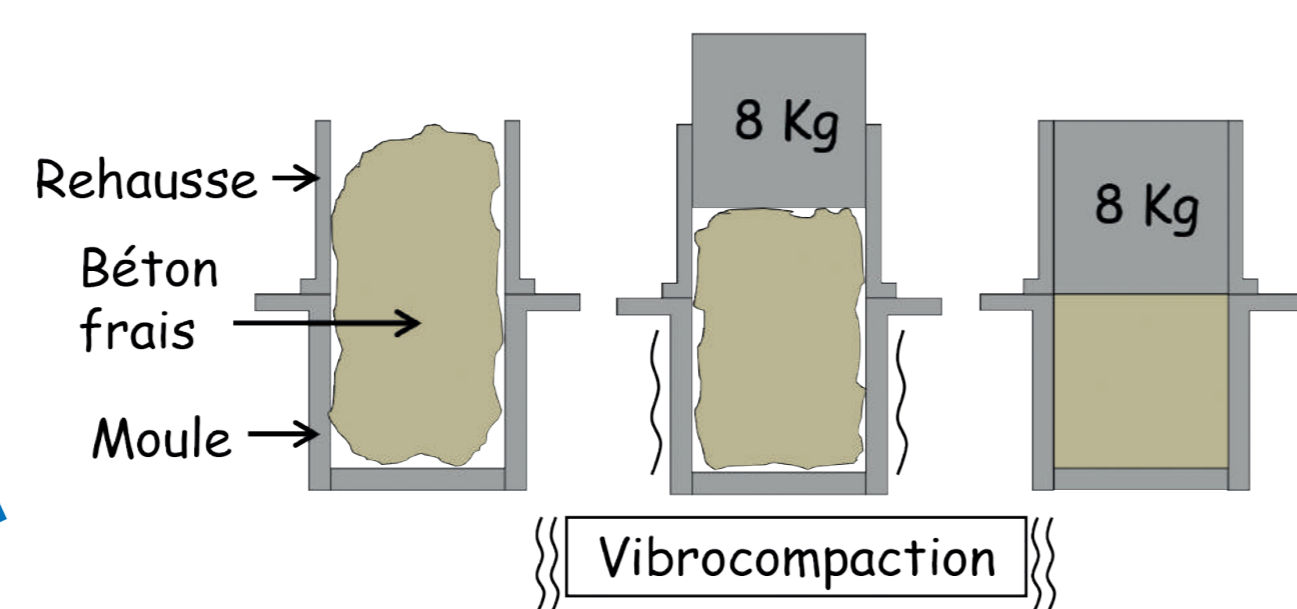
Capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> durant leur croissance

→ Bilan carbone quasi nul des granulats

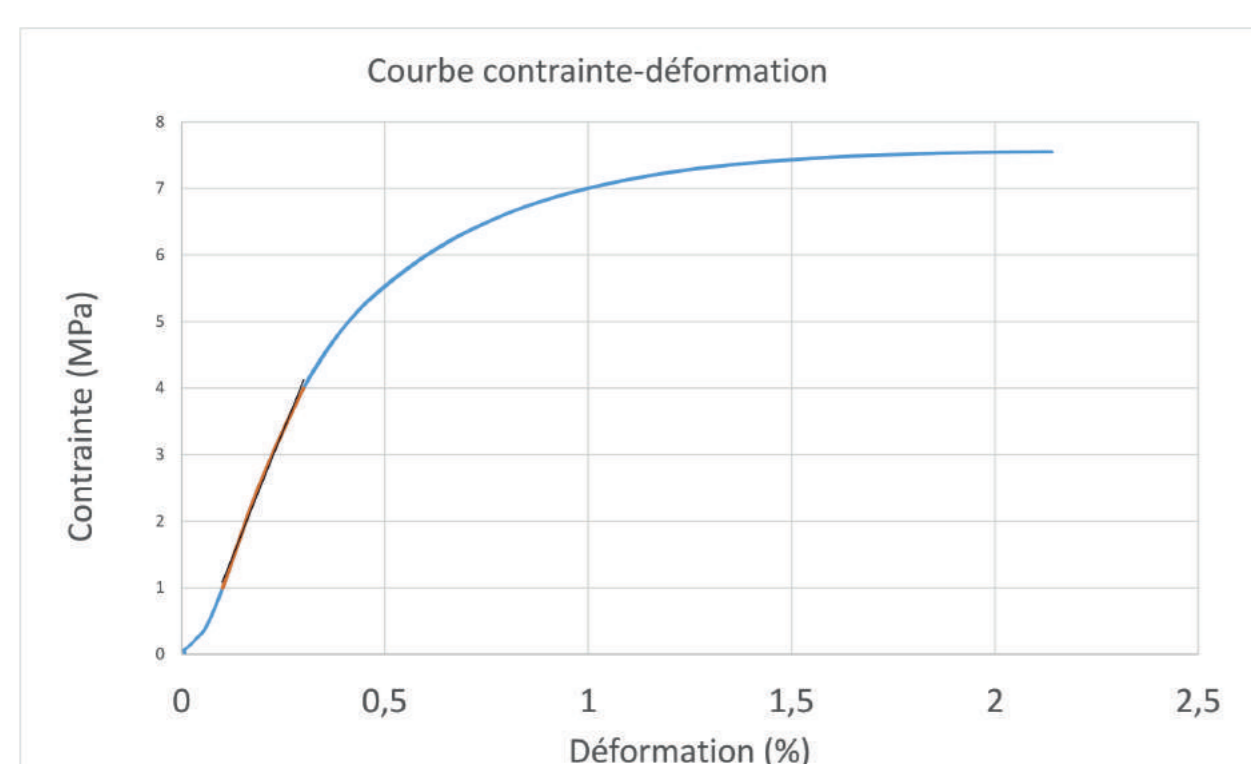
Légèreté du matériau → Bonnes propriétés thermiques



## Formulation et caractérisation du matériau en laboratoire



Tests en compression à 7 jours et 28 jours



**Caractéristiques du matériau sur cube**  
Résistance en compression à 28 jours : 6 MPa  
Masse volumique état durci : 1250 kg/m<sup>3</sup>

## Vérification de l'aptitude à la fabrication de blocs sur la presse du CERIB

Ajustement de la teneur en eau du matériau pour une bonne tenue des blocs

Adaptation des réglages de la presse (durée et amplitude de vibration)



## Essais de fabrication en usine

### Amélioration du process :

Maitrise du remplissage de la trémie  
Remplissage des moules en 2 à 3 fois  
Mélange préalable du chanvre et de l'eau d'ajout

### Premiers essais sur la composition de référence testée en laboratoire puis ajustement de la composition :

Dosage en eau (évaluation visuelle de la consistance)  
Dosage en ciment  
Dosage en granulats (bio-sourcés et légers)  
Nature du sable

### Blocs pleins perforés



Résistance en compression à 14 jours : **3 MPa**  
Masse à l'état durci : **17 kg**

### Blocs de coffrage



Résistance en flexion des parois : **1 MPa**  
Masse à l'état durci : **10 kg**

## Perspectives

Caractérisation des blocs :  
Validation de la durabilité

### Réflexion sur la mise en œuvre des blocs :

Validation de la méthode de remplissage des blocs de coffrage  
Choix des joints et des enduits : Vérification de la compatibilité vis-à-vis de l'adhérence et des variations dimensionnelles



Projet cofinancé par la Région Centre-Val de Loire dans le cadre des Appels à Projets Innovation



# VARIABILITY OF HEMP SHIVES : STUDY THROUGH IBIS AND CHANVRISOL PROJECTS

## Introduction

Development of biobased materials for thermal insulation of buildings is the final aim of IBIS and CHANVRISOL projects  
Biomass ressources can be used alone (hemp shives and wool, flax shives, rape straw) or with a binder (like earth or lime)



## IBIS project



IBIS : Isolants BiosourcS pour le bâtiment  
→ biosourced insulators for building sector



The **IBIS project** aims to design, on an industrial scale, a **biosourced insulation mortar** that has good vapour permeability performances, which could be applied in a continuous layer on the old masonry walls

### IBIS partners



## CHANVRISOL project



CHANVRISOL: développement de la filière CHANVRe en circuit court pour l'ISOLation des bâtiments normands → development of hemp production in short circuit for buildings insulation in Normandy

The **CHANVRISOL project** aims to evaluate the **performances of hemp shives and wools for thermal insulation**, taking into account the variability induced by different local production

### CHANVRISOL main partners



## Highlights of IBIS and CHANVRISOL projects

This present study is to characterize **12 hemp shives** in order to measure the impact of their variability on the required performances for thermal insulation

**Characteristics of 12 different hemp shives**, coming from short circuit

- Different varieties
- Different seeding rates
- Different harvest years
- Method of harvesting : threshing or no threshing
- Transformation processes of straw : ensiling or crushing, always followed by sieving



**Protocols of characterizations** from RILEM TC-236 BBM

- **Bulk density** is measured in a dry state (particles are dried in oven at 60°C until constant mass), in a glass cylinder (20 cm in height and 12 cm in diameter), with 3 repeats.
- **Particle size distribution** is measured by mechanical sieving, which leads to width separation of particles.
- **Dust ratio** is measured by mechanical sieving. Dusts are particles with diameter lower than 0.25 mm.

hemp shive	Characteristics of hemp shives					Characterizations of hemp shives		
	variety	seeding rate (kg/ha)	harvest year	threshing operation	transformation process of straw	main granulometry	bulk density (kg.m <sup>-3</sup> )	dust ratio
C3-1	santhica 27	50	2014	no	ensiling + sieving	> 4 mm	75 ± 2	0,16%
C3-2	santhica 27	50	2014	yes	ensiling + sieving	1 - 2 mm	146 ± 1	4,63%
C3-3	santhica 27	50	2014	yes	ensiling + sieving	2 - 4 mm	103 ± 4	0,62%
C3-4	santhica 27	50	2014	yes	ensiling + sieving	> 4 mm	75 ± 9	0,29%
C3-5	fedora 17	35	2014	yes	ensiling + sieving	> 4 mm	100 ± 4	0,40%
C3-6	fedora 17	35	2014	yes	ensiling + sieving	> 4 mm	74 ± 4	1,98%
C3-7	fedora	40	2013	yes	ensiling + sieving	> 4 mm	101 ± 4	0,25%
C3-8	futura	40	2013	yes	ensiling + sieving	2 - 4 mm	87 ± 1	0,40%
C3-9	fedora 17	50	2013	yes	crushing + sieving	1 - 2 mm	100 ± 1	1,36%
C3-10	fedora 17	50	2013	yes	crushing + sieving	> 4 mm	103 ± 4	0,15%
C3-11	fedora 17	50	2013	yes	crushing + sieving	> 4 mm	55 ± 1	0,30%
C3-12	mix of fedora 17 and felina32	46	2013	no	ensiling + sieving	2 - 4 mm	90 ± 2	0,25%

- ▶ Hemp shives with same characteristics and different granulometries (ex C3-2, C3-3 and C3-4) : granulometry ↗, bulk density ↘, dust ratio ↘
- ▶ Presence of fibres has been observed in some hemp shives : formation of fibres balls including shives on the first screen
- ▶ **Additional characterizations are undergoing** : fibre amount, hygrothermal performances, thermal insulation...



# Approche dynamique de l'impact Gaz à effet de serre des mélanges chaux/chanvre

- Objectifs**
- Prendre en compte la notion de temps dans l'analyse de cycle de vie des produits du bâtiment
  - Comparer différentes solutions de construction Chaux/ Chanvre
  - Compléter et remettre à jour les ACV déjà réalisées dans la littérature sur le Chaux/chanvre

## Matériaux étudiés



### Banché

167 kg/m<sup>3</sup> Tradical PF70  
100 kg/m<sup>3</sup> chènevotte  
250 kg/m<sup>3</sup> d'eau

### Préfabriqué-compacté

270 kg/m<sup>3</sup> Tradical PF70  
500 kg/m<sup>3</sup> chènevotte  
150 kg/m<sup>3</sup> d'eau

### Projeté

183 kg/m<sup>3</sup> Chaux hydraulique  
111 kg/m<sup>3</sup> chènevotte  
140 kg/m<sup>3</sup> d'eau

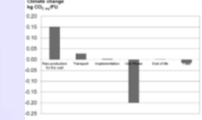
## Approche dynamique de l'impact « Gaz à Effet de Serre »

Deux exemples de la littérature qui ne prennent pas en compte le temps:

Ip & Miller, 2012

Construction	Grosser (MWh/m <sup>2</sup> )	Net GHG emissions (kg CO <sub>2</sub> e)		With carbon sequestration	
		Without carbon sequestration (kg CO <sub>2</sub> e)	With carbon sequestration	Biogenic only	Biogenic and fossil
300-mm large-brick wall, no rendering	6.75	46.63	-7.53	-36.28	
300-mm large-brick wall, 20-mm plaster	8.10	49.23	15.08	-34.15	
300-mm large-brick wall, 20-mm plaster, 100-mm rendering	10.1	51.23	15.08	-34.15	
300-mm large-brick wall, 20-mm plaster, 100-mm rendering, 100-mm brick	12.1	53.23	15.08	-34.15	
300-mm large-brick wall, 20-mm plaster, 100-mm rendering, 100-mm brick, 100-mm brick	14.1	55.23	15.08	-34.15	

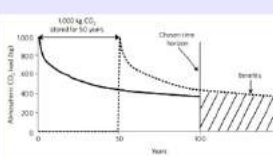
Préto et al., 2014



Prise en compte du temps et de la dissolution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les océans et les sols.



Levasseur et al. 2012 (a&b)

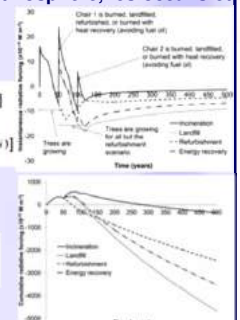


Impact instantané de réchauffement climatique:

$$GWI_{inst}(t) = \sum_{i=0}^t [CO_2(i) \times DCF_{CO_2}(t-i)] + \sum_{i=0}^t [CH_4(i) \times DCF_{CH_4}(t-i)]$$

Impact cumulé de réchauffement climatique:

$$GWI_{cum}(t) = \sum_{i=0}^t GWI_{inst}(i)$$



$$DCF(t) = \int_{t-1}^t a \times C(t) dt$$

\*Dynamic characterization factor\* de l'année t (bilan lié aux émissions de GES t années plus tôt)

Facteur de rayonnement instantané

Concentration atmosphérique t années après l'émission de GES

## Principaux résultats (unité fonctionnelle R=5m<sup>2</sup>K/W)

### ICV / ACV

- An 1: Culture du chanvre et fabrication de liant
- An 2: Construction
- An 2-22: Croissance du bois d'arbre et carbonatation du liant
- An 35: Maintenance enduits extérieurs
- An 35: carbonatation des enduits
- An 70: Démolition
- Ans 70-100: Fin de vie des matériaux

### Bases de données

- Cetiom données françaises de 2014-2015
- Agdex 2012
- Ip & Miller 2012, Préto et al. 2014, Sagastume et al. 2010, Andrianandraina et al. 2015, van der Werf 2004, Boutin 2006
- Ecolinvent 3-2
- Agribalyse 1-2
- Logiciel OpenLCA®, avec la méthode ReCiPe MidPoint (H)

### Impact de la culture pour une tonne de paille:

- 2/3 des impacts sont dus aux semences et aux fertilisants (1/3 approvisionnement, 1/3 émissions sur le champ.
- 1,53 ton de CO<sub>2</sub> capté par tonne de paille
- 10 à 50 kg de CO<sub>2</sub>/tonne capté par le sol (dépend du rendement)

### Impact lié aux transports:

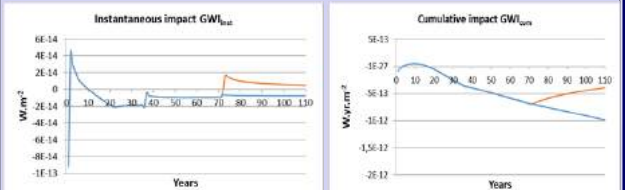
- Problèmes des retours à vide
- Matériau très léger: un camion de 25 tonnes transporte au mieux 12 tonnes de matériau

An 1: Fabrication, transport et stockage du liant

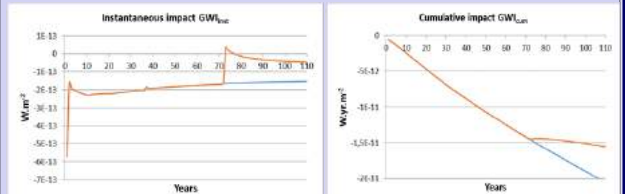
An 2 et suivants: carbonatation  $Ca(OH)_2(s) + CO_2(g) \Rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(aq)$  carbonatation de l'enduit complète à la fin de la première année après l'application

### Deux exemples de résultats

- Chaux/chanvre projeté, avec des matériaux locaux (<50 km):



- Blocs préfabriqués de haute densité, avec les pires conditions de transport (500 km):



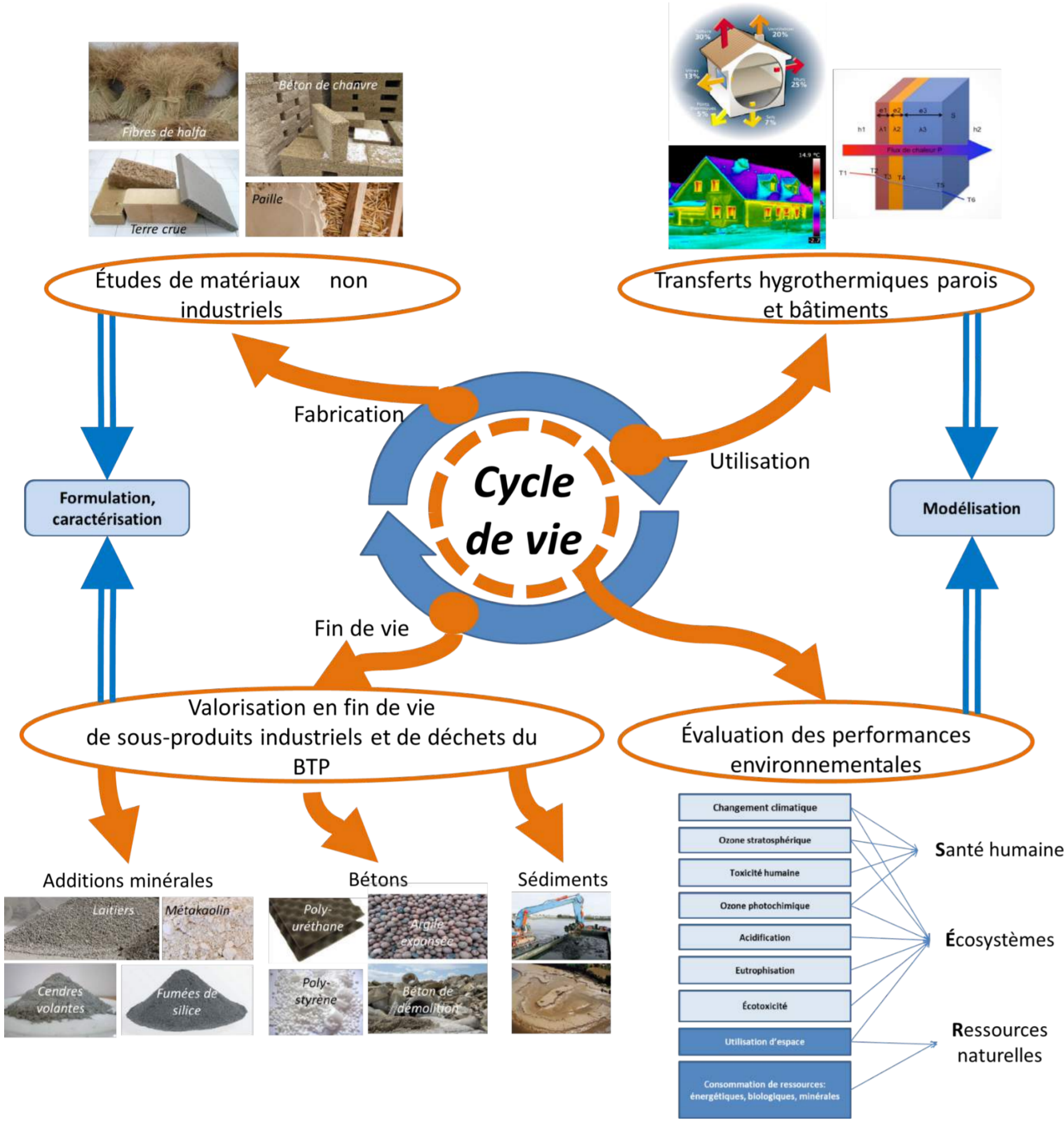
- La prise ne compte du temps montre un effet bénéfique à long terme, même avec un relargage en fin de vie
- La prise en compte de la chronologie entre stockage et relargage est indispensable
- La chènevotte stocke le carbone en un temps très court et est donc plus efficace que le bois d'arbre en terme de GES avec une approche dynamique

## Conclusions

- Différentes pratiques culturelles en France
- Importance de l'impact des transports
- Nécessité de prendre en compte le temps
- Paradoxe lié à la quantité de chènevotte dans la formulation: + de chènevotte = - d'effet de serre



## PROBLÉMATIQUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE



Répondre aux défis du changement climatique, préparer les entreprises à la transition énergétique et à l'économie circulaire, c'est améliorer les connaissances sur les matériaux issus de la biomasse (béton de chanvre, terre crue...) et des déchets industriels (cendres volantes, laitiers, sédiments de dragage...) ou de la construction (granulats recyclés, fibres - ciment..), mais aussi quantifier leurs performances environnementales sur leur cycle de vie.

### Objectifs

L'axe éco-construction combine des approches expérimentales et de modélisation pour:

- caractériser des matériaux non industriels (issus de la biomasse et des déchets) et trouver des formulations adaptées aux usages
- modéliser le comportement de ces matériaux en situation d'usage, en intégrant les aléas
- modéliser les impacts environnementaux des procédés de production et de construction innovants ces matériaux
- modéliser leur cycle de vie en intégrant des connaissances pluridisciplinaire pour évaluer les impacts sur l'environnement et identifier des leviers de l'éco-conception.

En collaboration avec l'IFSTTAR (Erwan Hamard, Anne Ventura)

## Les matériaux naturels

### Matériaux naturels ou biosourcés

- Terre crue : valorisation des déchets d'excavation
- Fibres et granulats naturels

### Chanvre

- Participation à l'ANR Bétonchanvre
- Application du béton de chanvre à la réhabilitation thermique du bâti ancien (*thèse Inès OTHMEN, 2015*)
- Incorporation de chènevotte à des matériaux de construction à base de terre crue

### Kénaf, lin, roseau

- Briques de terre compressée pour le gros œuvre (*thèse Armel LAIBI, 2017*)
- Etude des propriétés mécaniques et hygrothermique des matériaux de construction à base de terre crue renforcée par des additions végétales
- Solutions de cloisonnement intérieur pour le bâtiment (projet Ecomatere)

### Alfa

- Participation au PN Algérien « MAREN » Formuler et caractériser des bétons à base de fibre végétale (Alfa) en comparaison avec des bétons composés de fibre synthétique (polypropylène) (*KHELIFA et al., EJECE, 2018*).

### Moyens d'étude à l'échelle des matériaux de base

- Tests classiques de caractérisation
- MEB, ATG/DTG, DRX

### Moyens d'essais à l'échelle des éprouvettes

- Tests mécaniques (flexion, compression, presses de 50kN et de 1MN)
- Tests de caractérisation des propriétés hygrothermiques (HotDisk, Conductivimètre, perméabilité à la vapeur d'eau, perméabilité au gaz, courbes de sorption, diffusivité hydrique...)

### Moyens d'essais à l'échelle de la paroi

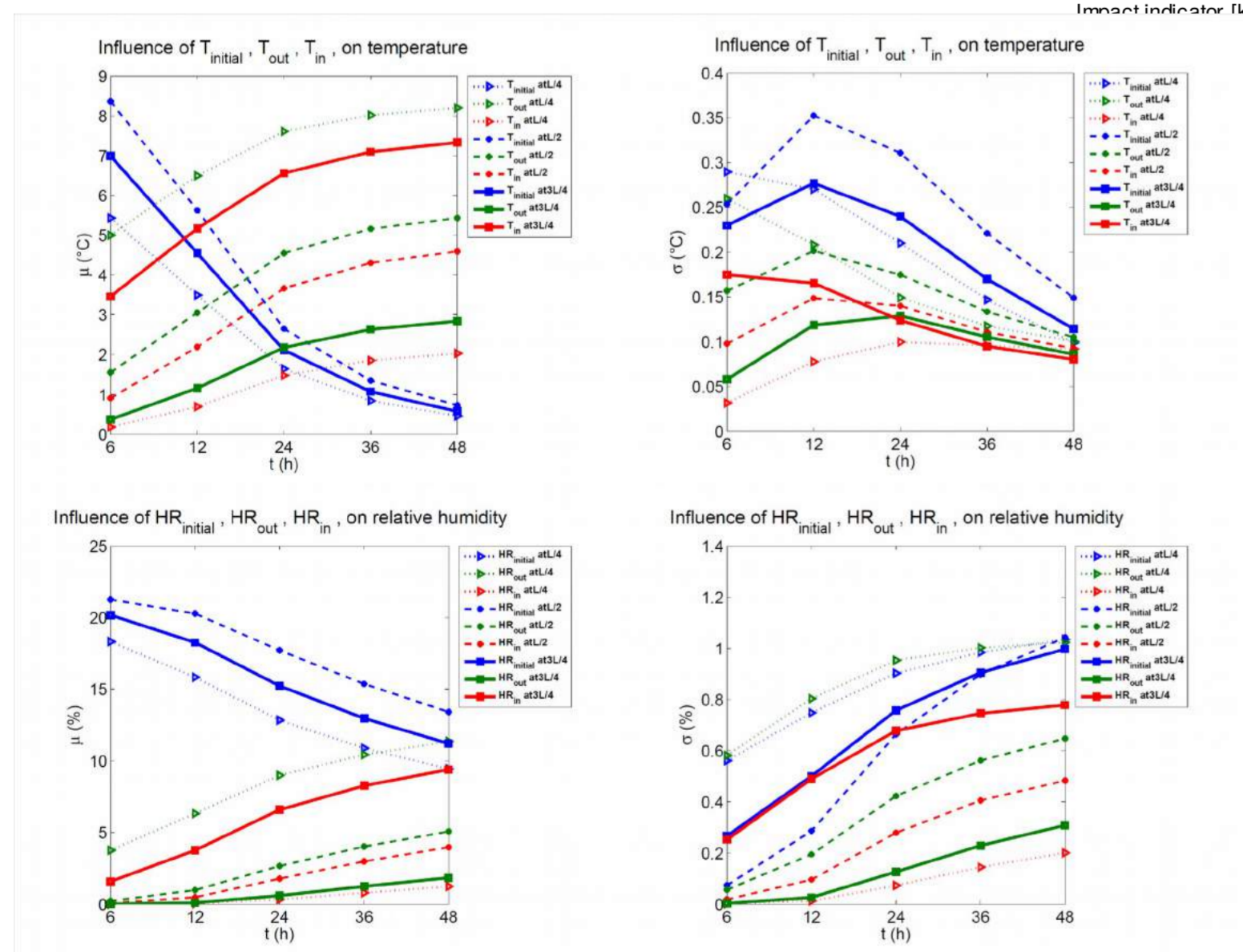
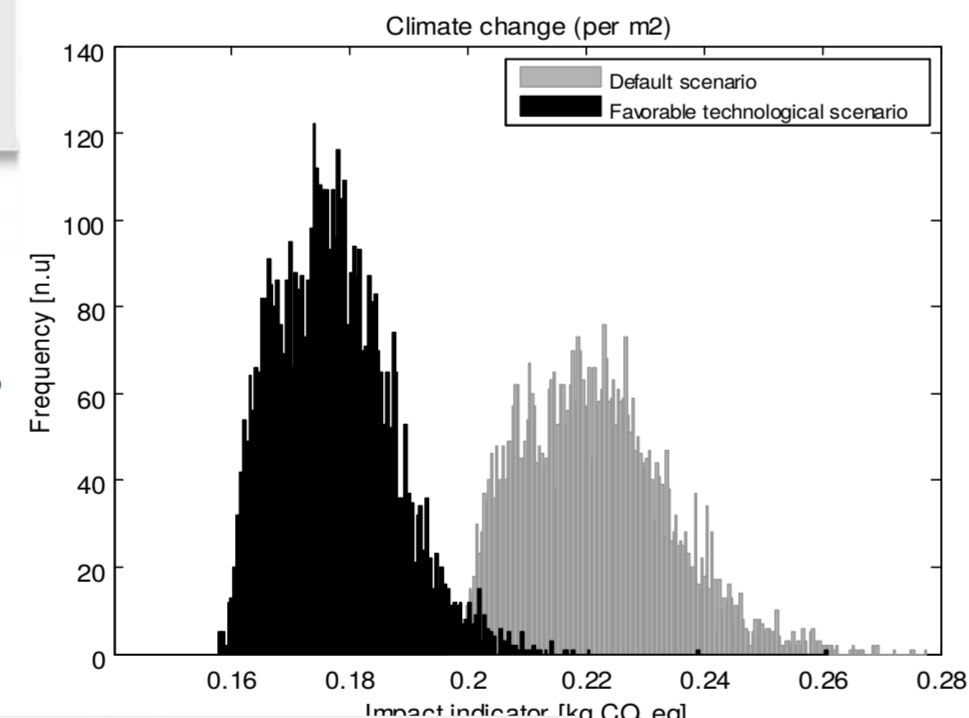
- Cellule biclimatique (50x50cm<sup>2</sup>)
- Chambre biclimatique (3x3m<sup>2</sup>)
- Température : 0°C à 40°C
- Humidité : 20%HR à 90%HR (dépendant de la température)
- Mesures : température, humidité relative, flux de chaleur, thermographie infrarouge

## RÉSULTATS :

### Leviers d'action pour l'isolant béton de chanvre

Thèse ANDRIANANDRAINANA

- Identification des leviers d'action pour l'amélioration environnementale de la production du chanvre



- Modélisation du comportement hygrothermique d'un bâtiment isolé au béton de chanvre
- Identification des leviers d'action de l'amélioration de l'efficacité environnementale

- ✓ Andrianandraina et al 2015, *Journal of Industrial Ecology*
- ✓ Senga Kiessé et al 2016, *Journal of Cleaner production*

### Caractérisation et modélisation des conditions d'usage du béton de chanvre

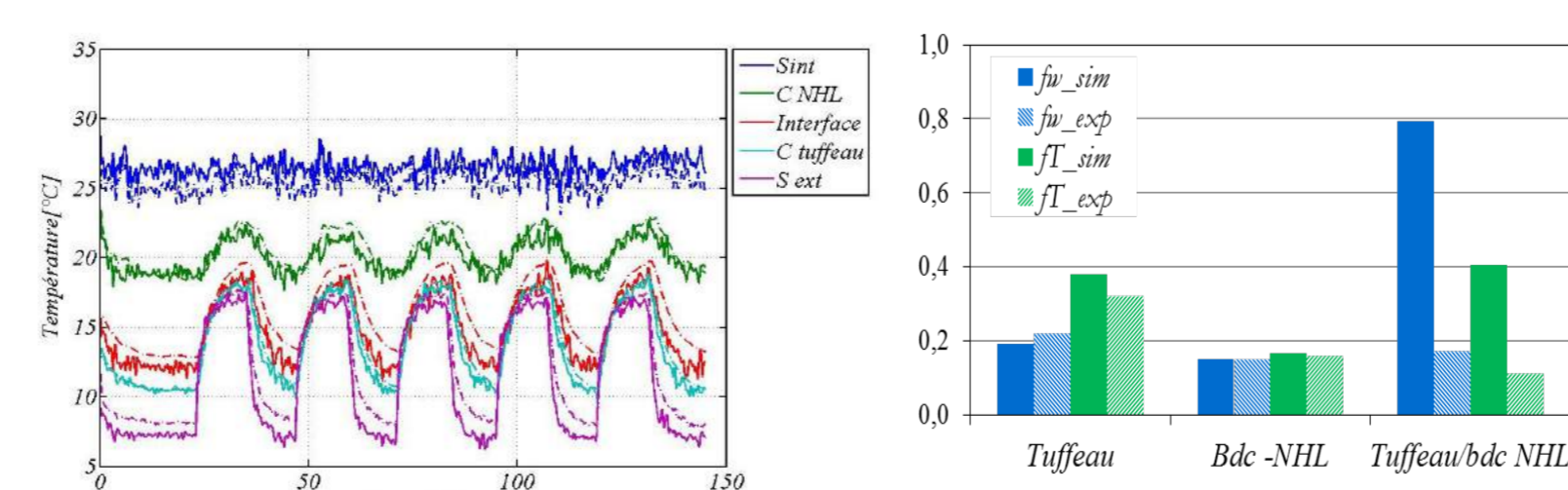
Thèse OTHMEN

- **Rénovation des bâtiments en pierre de tuffeau**
- Pierre poreuse
- Vallée de la Loire
- Compatibilité d'une solution d'isolation par l'intérieur



### Béton de Chanvre

- Mesure des propriétés hygrothermiques
- Mesures en cellule biclimatique
- Modélisation numérique WUFI



Comparaison Mesure/Calcul Evolution temporelle des températures dans une paroi de tuffeau isolée en différents points

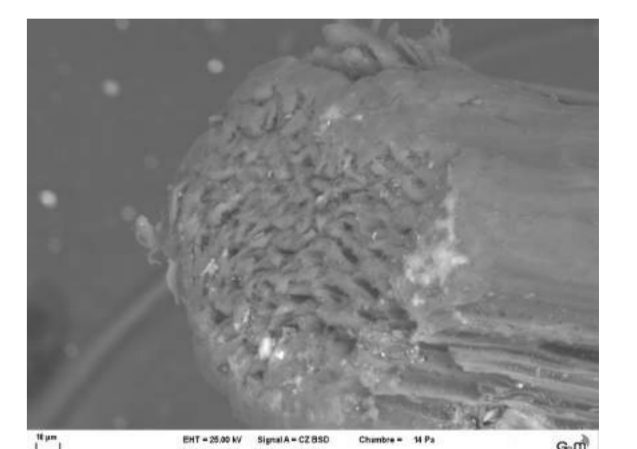
Propriétés dynamiques des parois → Déphasage et atténuation → Thermique et hydrique

- ✓ Othmen et al 2014, *B. Sundén et al. (Eds.), WIT Transactions on Engineering Sciences*
- ✓ Othmen et al 2014, *Construction Materials and Structures*

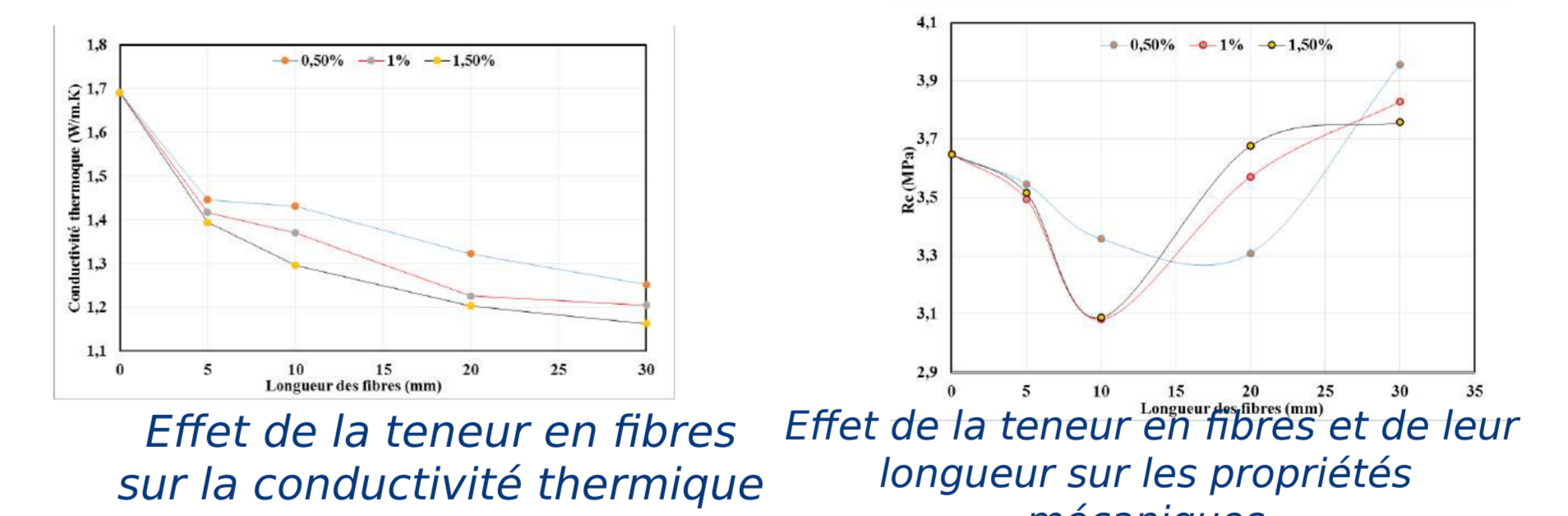
### BTC + fibres de Kénaf

Thèse LAIBI

- Comportement hygro-thermo-mécanique
- Caractérisation des fibres:
  - Effet de la quantité de fibres
  - Effet de la longueur des fibres



Faisceau de fibres de



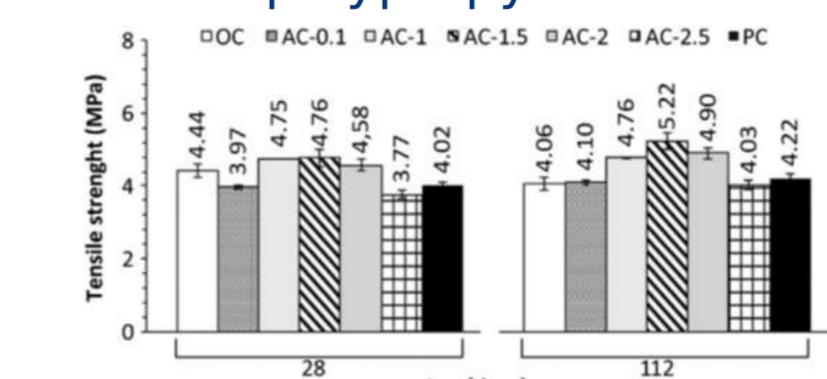
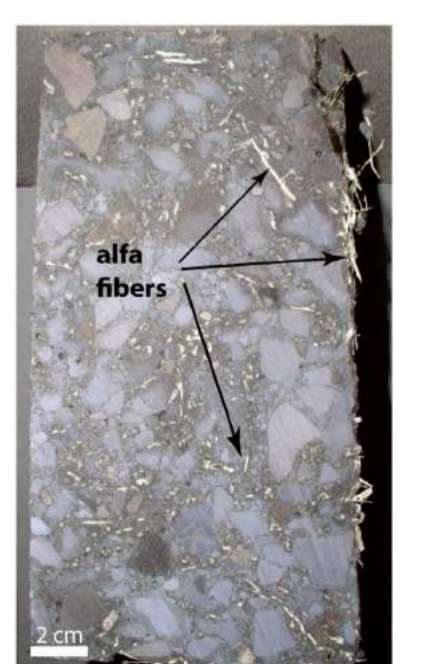
Effet de la teneur en fibres sur la conductivité thermique

Effet de la teneur en fibres et de leur longueur sur les propriétés mécaniques

### Béton + fibres de Alfa

Thèse KHELIFA

- Propriétés à l'état frais et a long terme (Rc, ..)
- Caractérisation des fibres:
  - Effet de la quantité de fibres
  - Comparaison avec des fibres polypropylènes



Effet de la teneur en fibres sur la résistance en flexion

- ✓ Laibi et al 2018, *KSCE Journal of Civil Engineering*
- ✓ Khelifa et al 2018, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*



# Dynamique des transferts d'humidité au sein du bois lamellé croisé (CLT) : mesures par tomographie X et modélisation numérique

B. Martin<sup>1</sup>, J. Colin<sup>2,3</sup>, P. Lu<sup>2</sup>, M. Mounkaila<sup>2</sup>, É. Mougel<sup>1</sup>, P. Perré<sup>2,3</sup> et R. Rémond<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LERMaB, ENSTIB, Université de Lorraine, Epinal, France

<sup>2</sup> LGPM, CentraleSupélec, Université de Paris-Saclay, Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie (CEBB), Pomacle, France

<sup>3</sup> LGPM, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

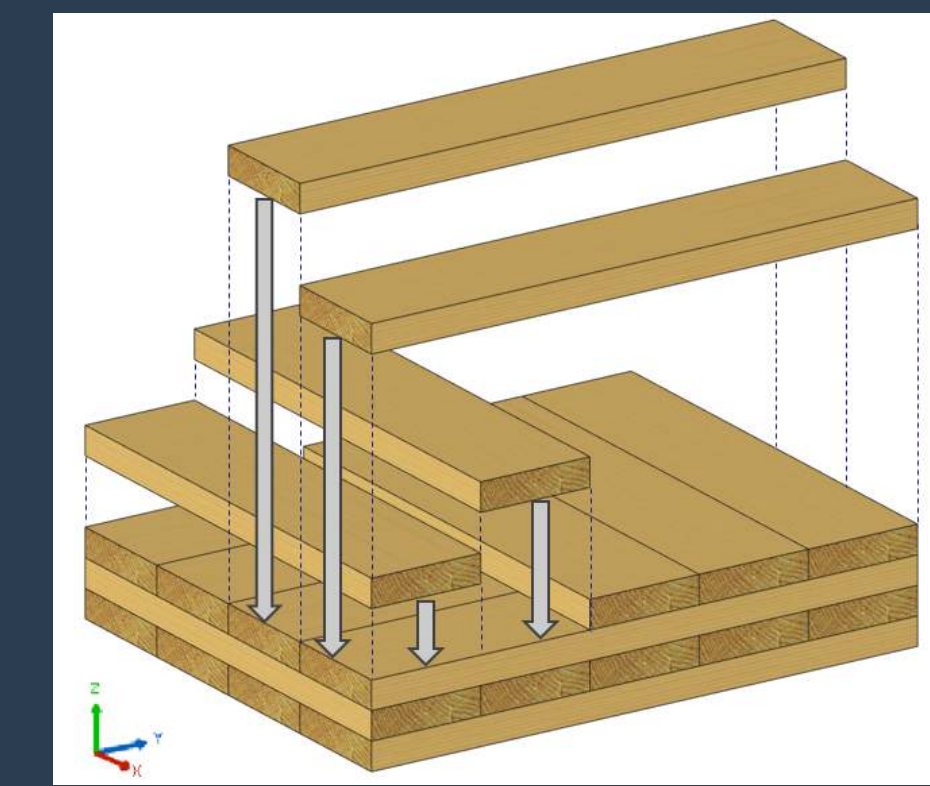
## Contexte :

L'utilisation du bois dans la construction et notamment avec les panneaux de bois lamellé croisé (CLT) connaît actuellement une forte croissance. Il s'agit de panneaux composés de lame de bois massif croisées perpendiculairement qui sont assemblées par collage. Cette technologie est utilisée pour la construction de bâtiments collectifs et d'immeubles de grande hauteur (IGH).

Pour évaluer correctement les performances thermiques et la pérennité de ces enveloppes, il est nécessaire de comprendre comment s'effectue les transferts d'humidité et de chaleur au sein de ces éléments.

## Objectif de l'étude :

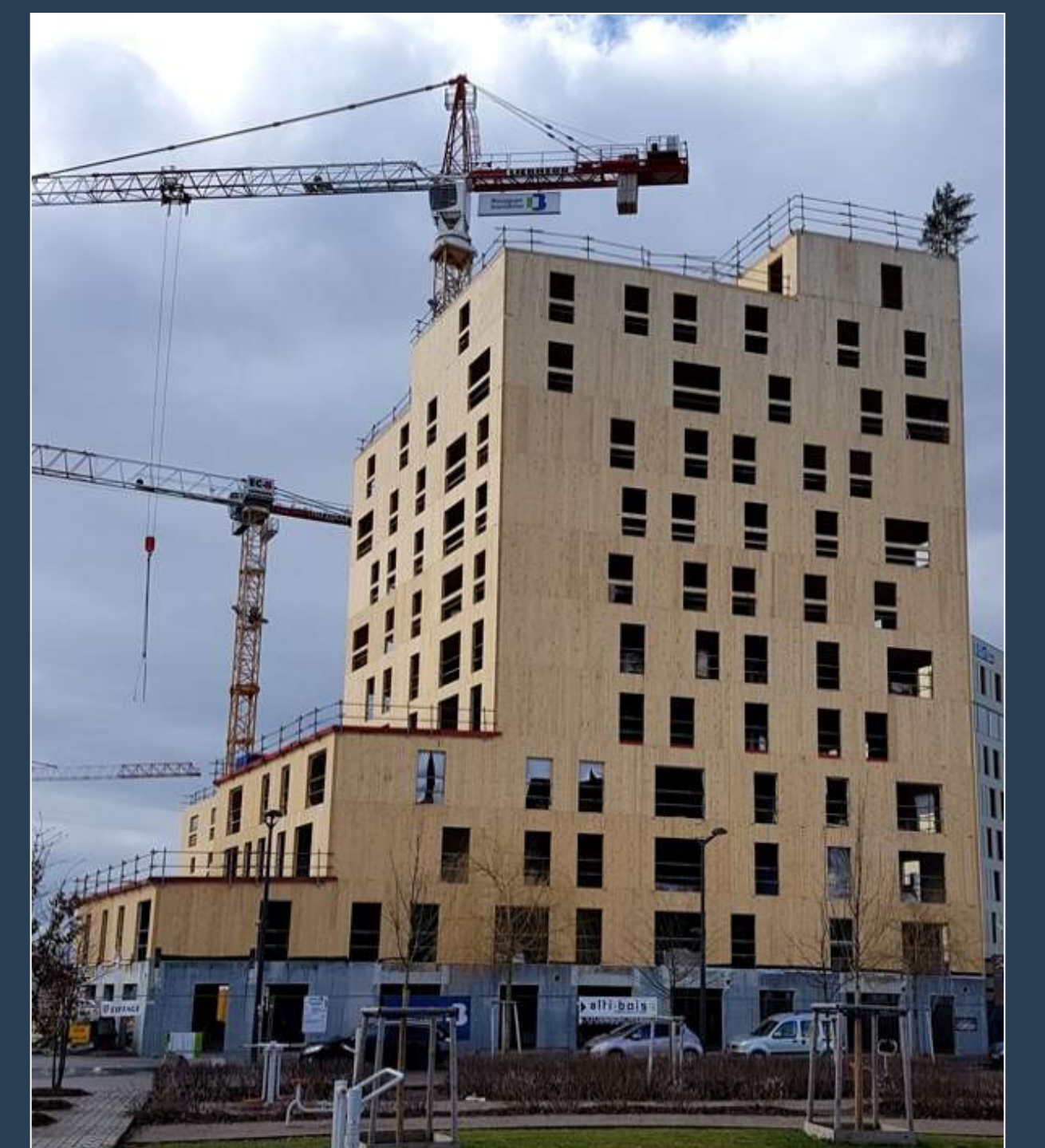
Développement d'un outil numérique capable d'estimer les bénéfices/inconvénients du bois sur la consommation énergétique et sur le confort intérieur (notamment le confort d'été). Intégration du rôle des joints de colle ainsi que l'impact de l'orientation croisée des lits de planches sur les transferts massiques.



Assemblage panneaux (CLT)



Levage panneaux (CLT)



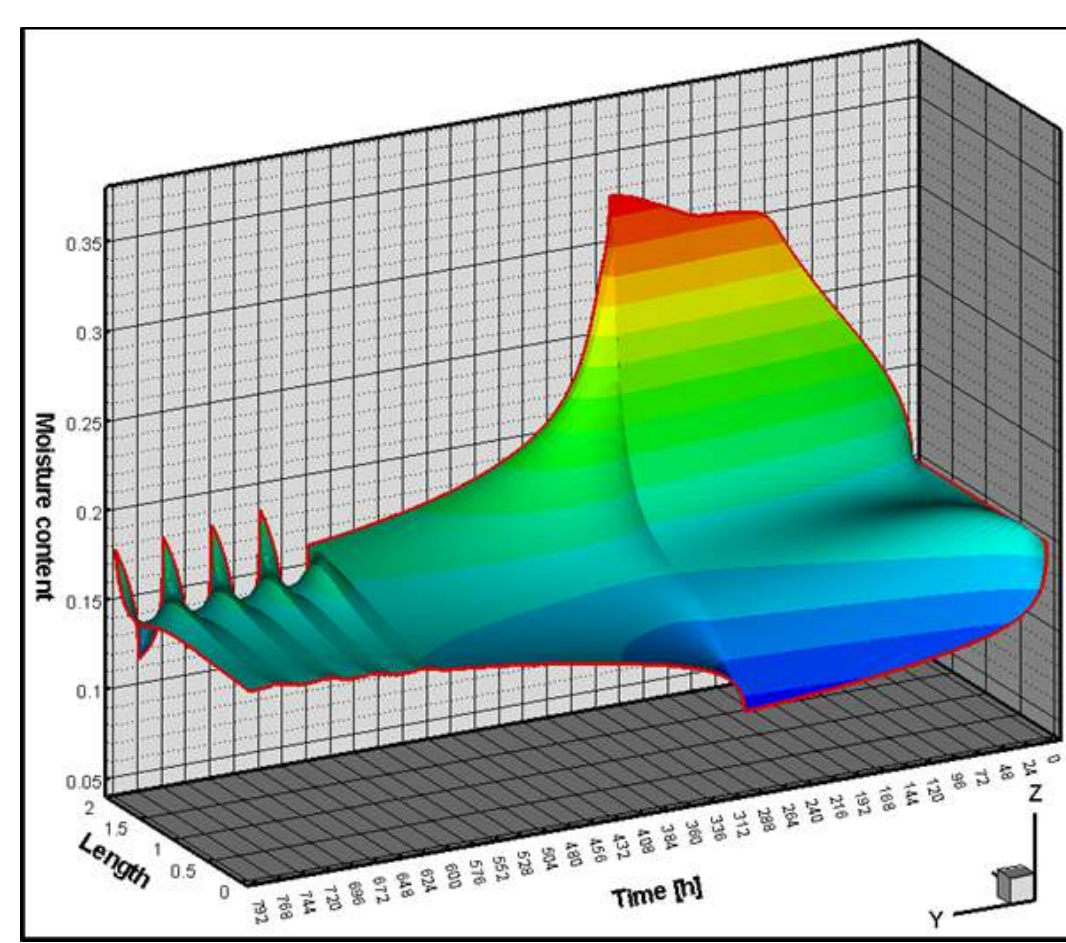
Logements Strasbourg R+11  
crédit photo : LIGNATEC

## Caractérisation des transferts d'humidité au sein du bois par tomographie X



Tomographe RX Solutions EasyTom XL Ultra

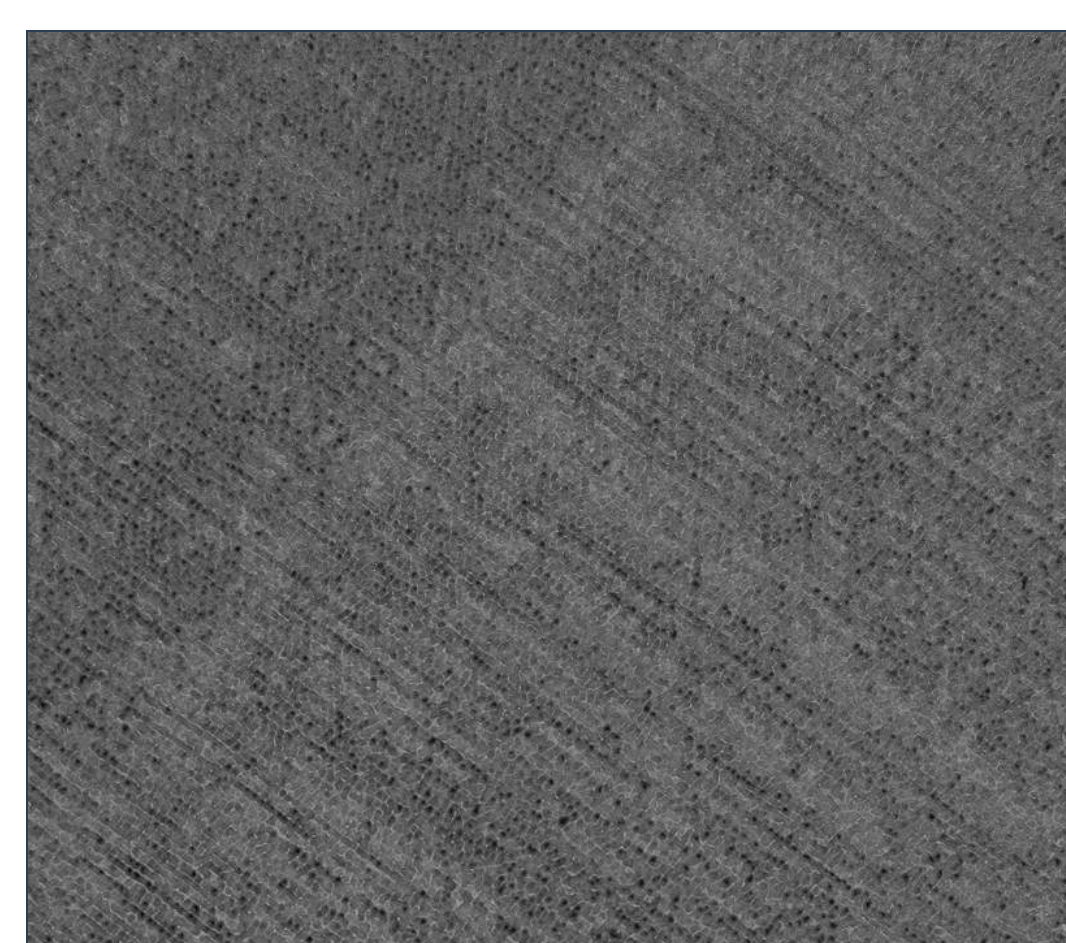
### THERMODIFFUSION



Teneur en eau moyenne suivant l'épaisseur de l'échantillon en fonction du temps



### IMBIBITION



Migration capillaire suivant la direction longitudinale

Alimentation en paramètres



Méthode inverse

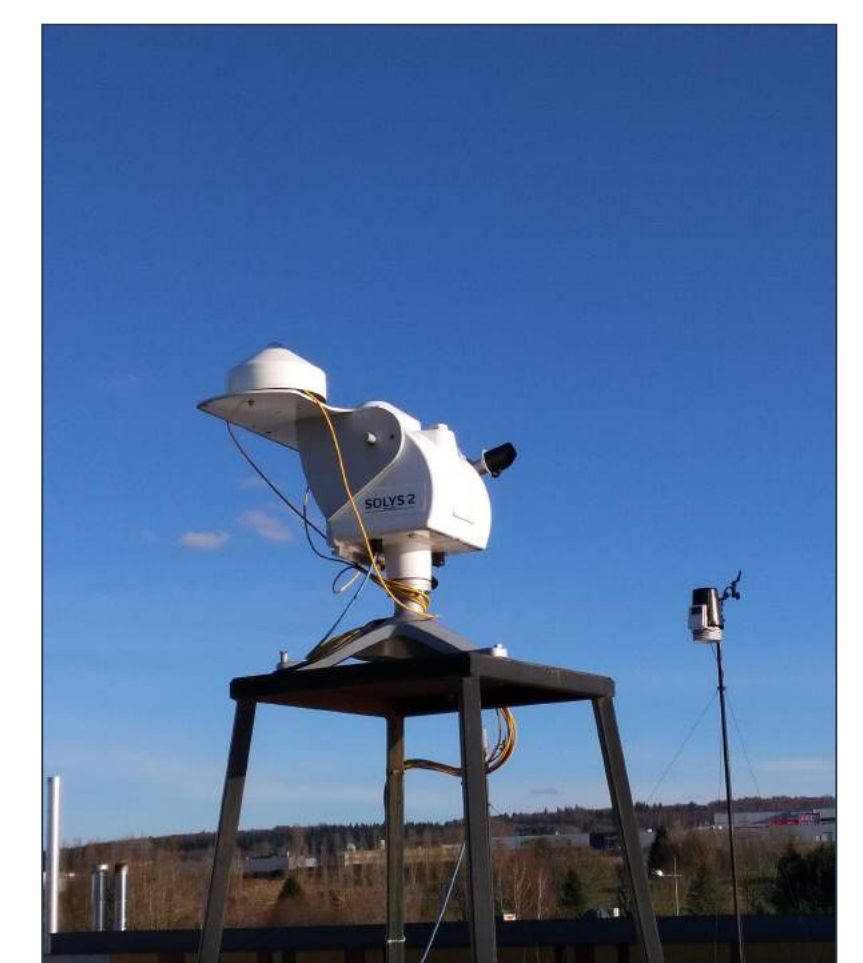
### TransPore

Code numérique simulant les transferts masse-chaleur dans un milieu poreux (Perré et Tuner, 1999).

## Suivi du comportement hygrothermique d'une cellule test



Cellule test en CLT



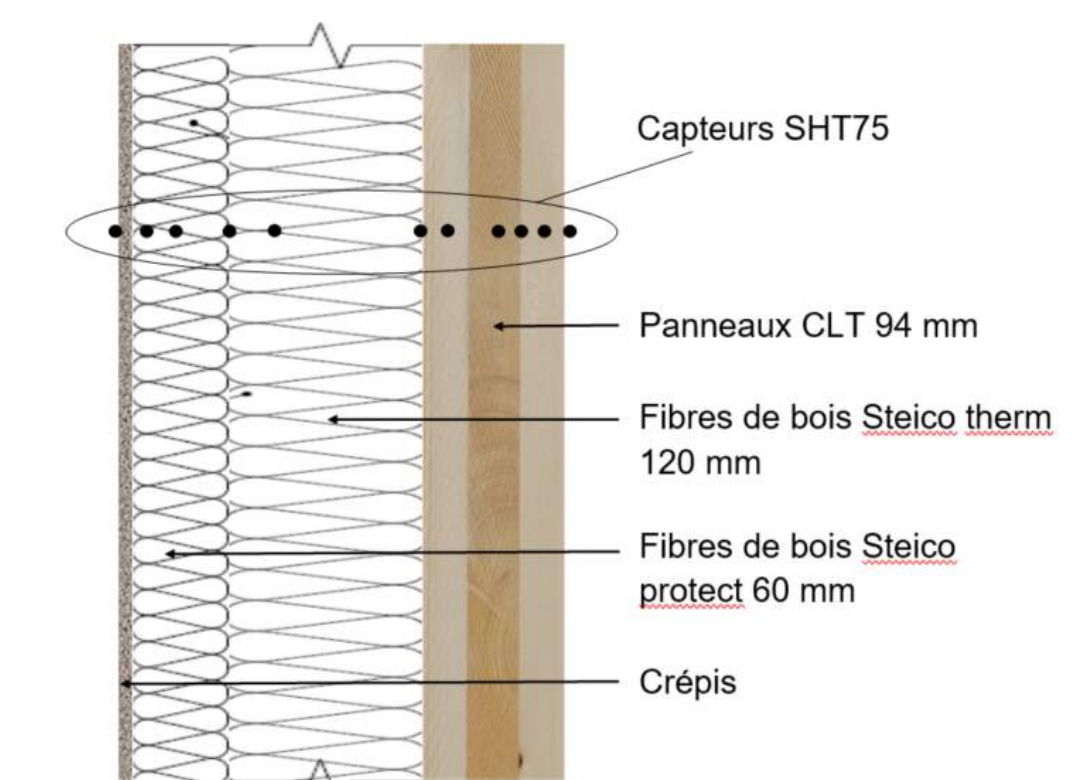
Station météo

### Instrumentation

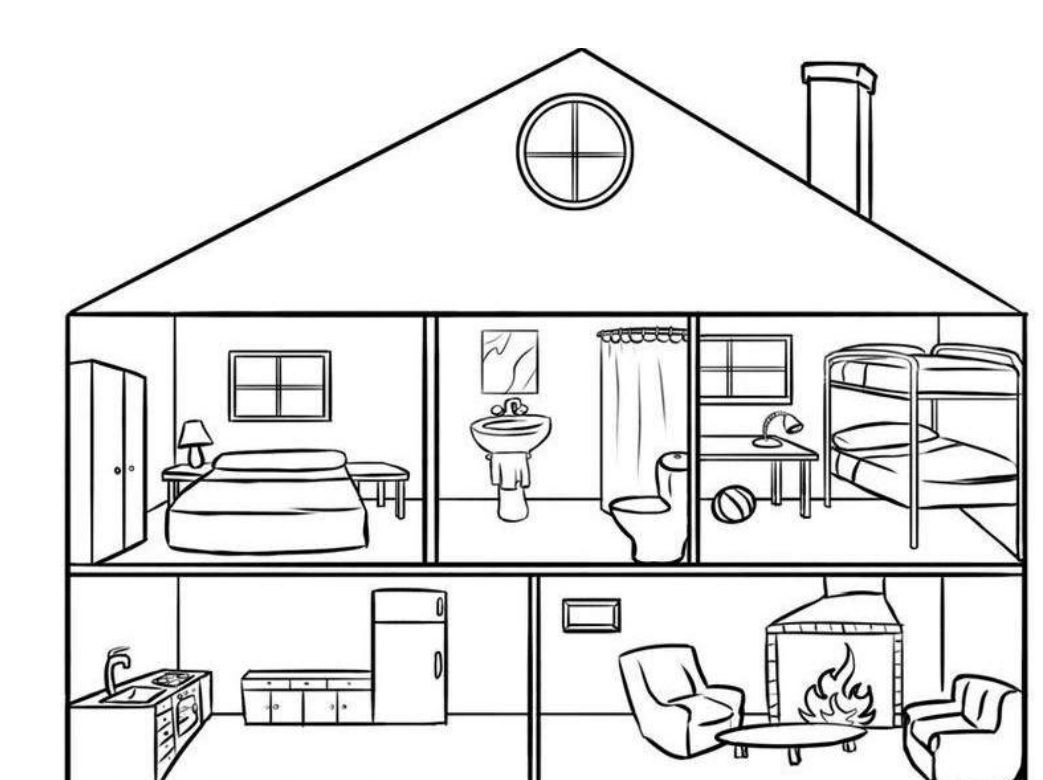
- Profil d'humidité et de température dans les parois
- Climat intérieur
- Consommation énergétique

### Génération de scénarios d'occupation

- Salon
- Cuisine
- Salle de bain
- Chambre à coucher



Coupe verticale sur une paroi de la cellule test en CLT



Confrontation Validation

### BuildingPore

Modélisation de l'enveloppe à l'aide de micro-modèles chaleur masse distribués.

Prédiction de la performance énergétique des bâtiments

L'Ademe est partenaire du projet et co-finance une bourse de thèse dans le cadre de la thématique « villes et territoires durables », contribution au développement de bâtiments performants intégrant des matériaux biosourcés.

Une partie de ce projet a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence n° ANR-11-LABX-0002-01 (Laboratoire d'Excellence ARBRE).

Pour une durée de trois ans (du 01/05/2016 au 30/04/2019), le projet 3D-BioMat est hébergé par le Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie (CEBB 51110 Pomacle, France). D'un budget total de 965 000 €, 3D-BioMat est cofinancé par le Grand Reims à hauteur de 31 % et par l'Union européenne à hauteur de 48,7 % (soit 50 % des dépenses éligibles). L'Europe s'engage en Champagne-Adrenne avec le Fonds européen de développement régional).



# Modélisation multiphysique de l'élaboration d'une mousse bio-sourcée à base de tanins

V. Nicolas, Z. Marie, A. Celzard, V. Fierro.

Institut Jean Lamour, UMR Université de Lorraine - CNRS n°7198, Epinal, France

**Objectif : Comprendre et optimiser la synthèse de mousses bio-sourcées, bon marché et ininflammables pour l'isolation du bâtiment.**

Développement du modèle avec validation expérimentale

Optimisation

Standardisation et industrialisation

## Description initiale du processus

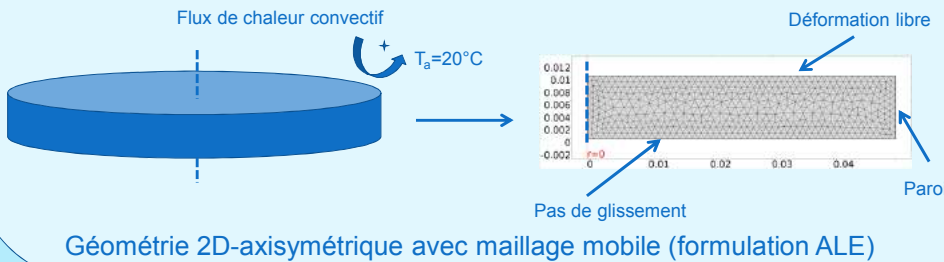
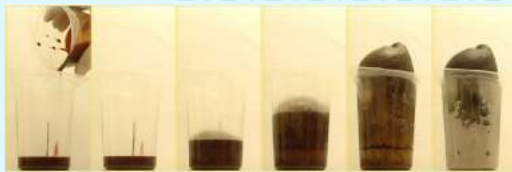
### Formulation du mélange

Extraits de tanins  
Alcool furfurylique  
Eau + Formaldéhyde  
Éther diéthylique  
(à 20°C et 1 atm)

### Polymérisation

Réaction exothermique  
Augmentation des propriétés mécaniques  
**Expansion de la mousse**  
Changement de phase  
Réaction endothermique

### Mousse finale



## Développement du modèle

Conservation de la masse d'éther diéthylique (liquide vapeur)

$$\frac{\partial \rho_{de;l}^a}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_{de;l}^a \vec{u}) = -K_{de}$$

$$\frac{\partial \rho_{de;g}^a}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_{de;g}^a \vec{u}) = K_{de}$$

Conservation de la masse de solide

$$\frac{\partial \rho_s^a}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_s^a \vec{u}) = 0$$

Conservation de l'énergie

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{Q} + H\vec{u}) = 0$$

Conservation de la quantité de mouvement

$$\frac{\partial (\rho \vec{u})}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau} + (P - P_{atm}) \vec{I} + \rho \vec{u} \vec{u}) = \rho \vec{g}$$

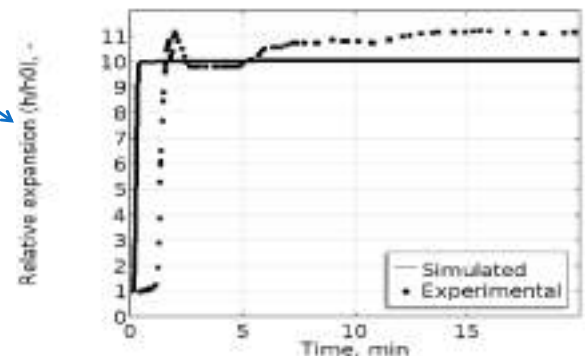
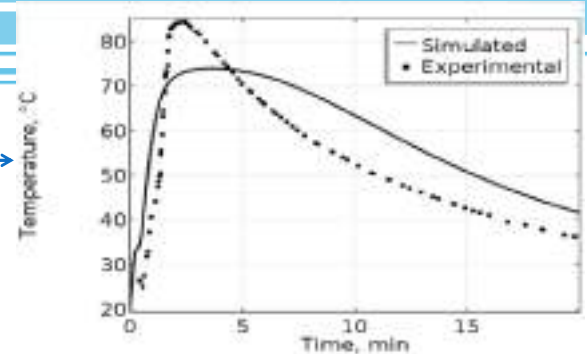
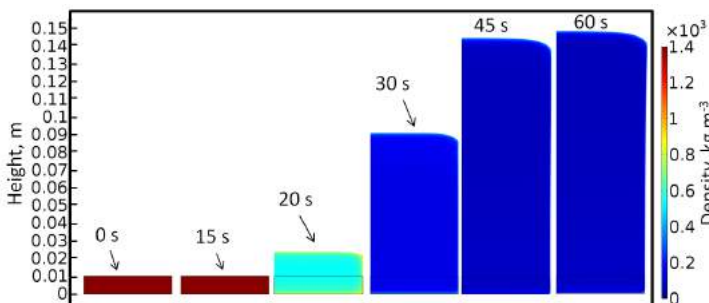
Équation de polymérisation

$$\frac{\partial (\xi)}{\partial t} = k \times e^{-\frac{E_a}{RT}} (A + \xi^m)(1 - \xi)^n$$

## Comparaison Simulation/Expériences

### Résultats et discussion

- **Température**
  - Augmentation rapide durant les deux minutes, suivie par un lent refroidissement dans les deux cas (simulation et expérimental)
  - Température maximale simulée sous-estimée (74°C) par rapport aux expérimentations (85°C)
- **Expansion**
  - Trois comportements pour les deux cas (simulation et expériences)
    - Étape 1 : Volume constant
    - Étape 2 : Expansion rapide
    - Étape 3 : Volume constant
  - Simulation plus rapide (l'accroissement commence à 20s) et surestimée par rapport aux expérimentations



### Conclusion

- Les tendances générales sont en adéquation avec les évolutions expérimentales
- Des analyses de sensibilité et une étude paramétrique sont encore nécessaires pour de futures améliorations



# Acoustical and thermal joint approach for the optimisation of vegetal wools used in buildings

Clément Piégay<sup>1,2</sup>, Philippe Glé<sup>1</sup>, Emmanuel Gourdon<sup>2</sup>, Etienne Gourlay<sup>1</sup> and Sandrine Marceau<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Cerema Est - Laboratoire Régional de Strasbourg, 11 rue Jean Mentelin 67035 Strasbourg, France  
<sup>2</sup>Université de Lyon, ENTPE, LTDS UMR CNRS 5513, 3 rue Maurice Audin 69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France  
<sup>3</sup>Université Paris-Est, Ifsttar, MAST/CPDM, 77447 Marne-La-Vallée Cedex 2, France

## Context

### Sustainable materials<sup>1</sup>

- Smart management of natural resources
- Low environmental impact

### Performances<sup>1</sup>

Material	Thermal conductivity (W/mK)	Absorption coefficient at 500 Hz (-)
Hemp	0.04	0.6 (30cm)
Kenaf	0.044	0.74 (5cm)
Coco fiber	0.043	0.42
Wood wool	0.065	0.32



Specificities?



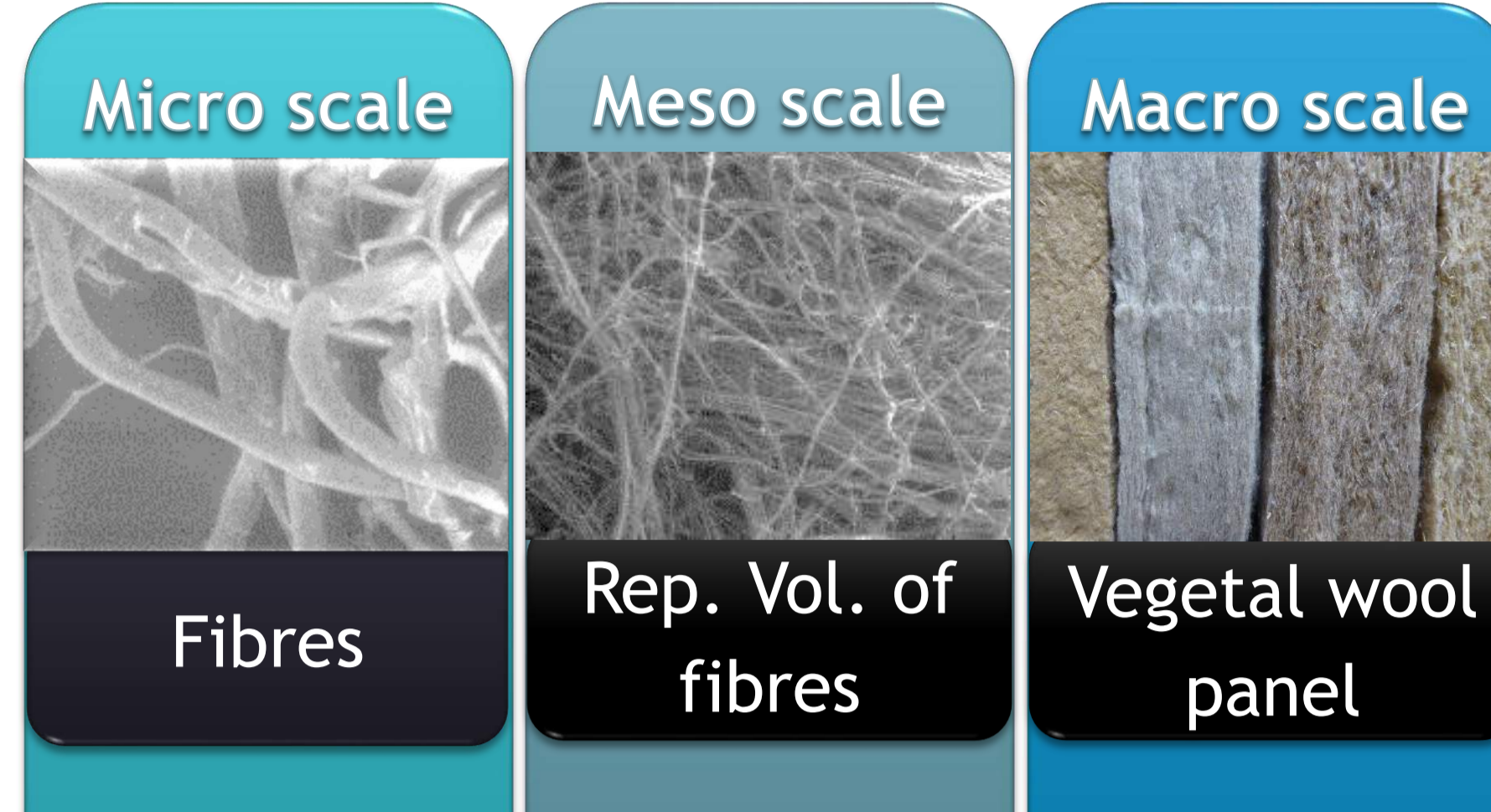
Acoustic insulation  $TL$  or/and correction  $\alpha$  and thermal insulation  $\lambda$

Fire treatments effects?

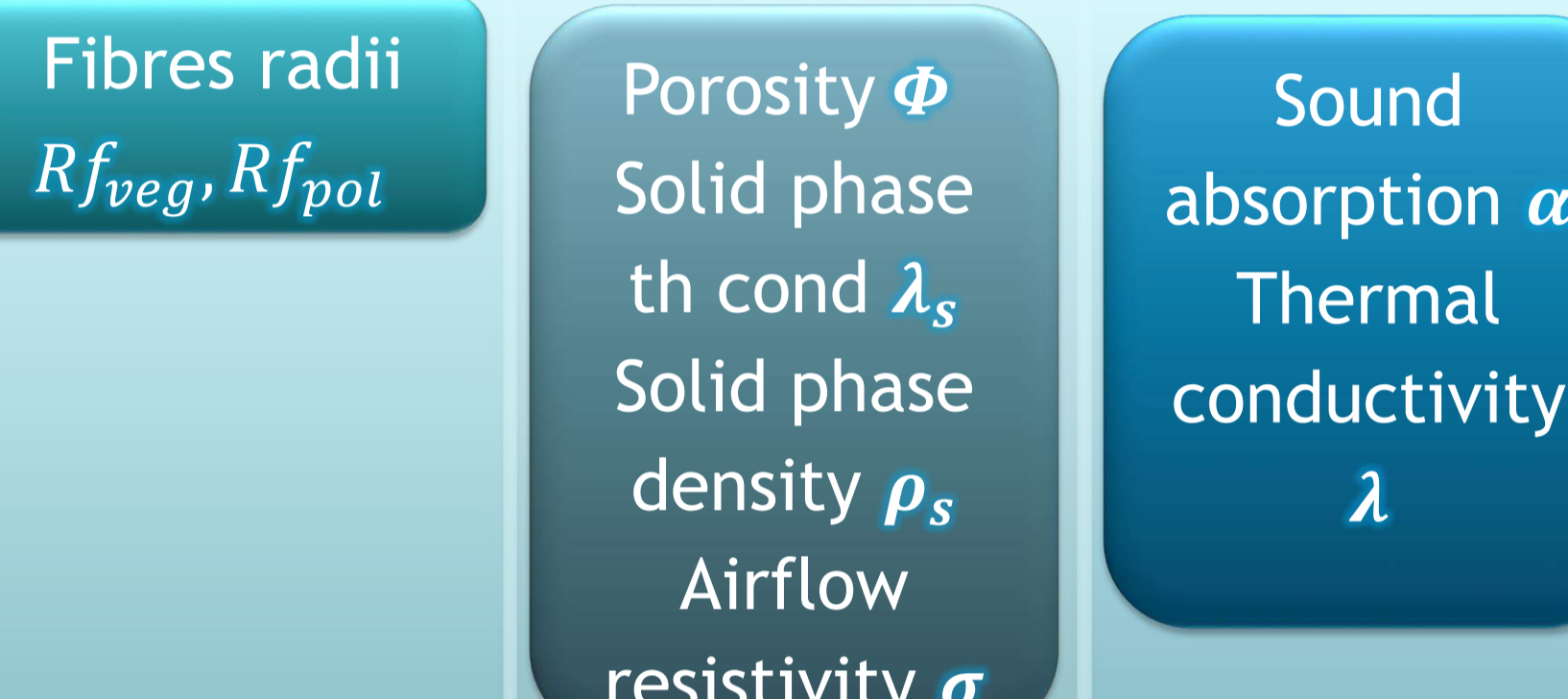
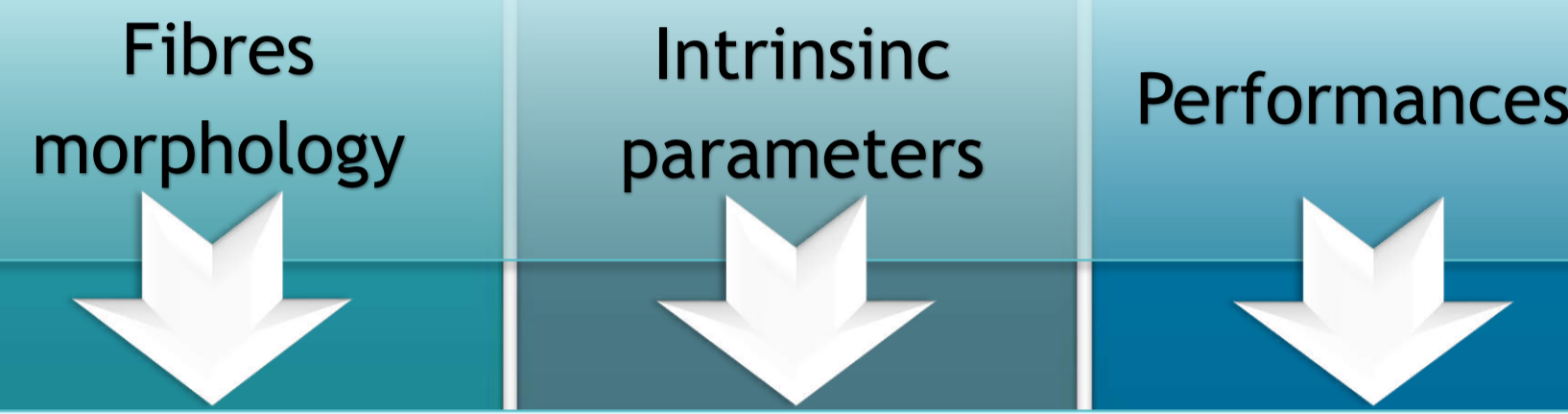
Correlation?

<sup>1</sup>[Asdrubali et al. 2012] Building Acoustics

## Scientific approach

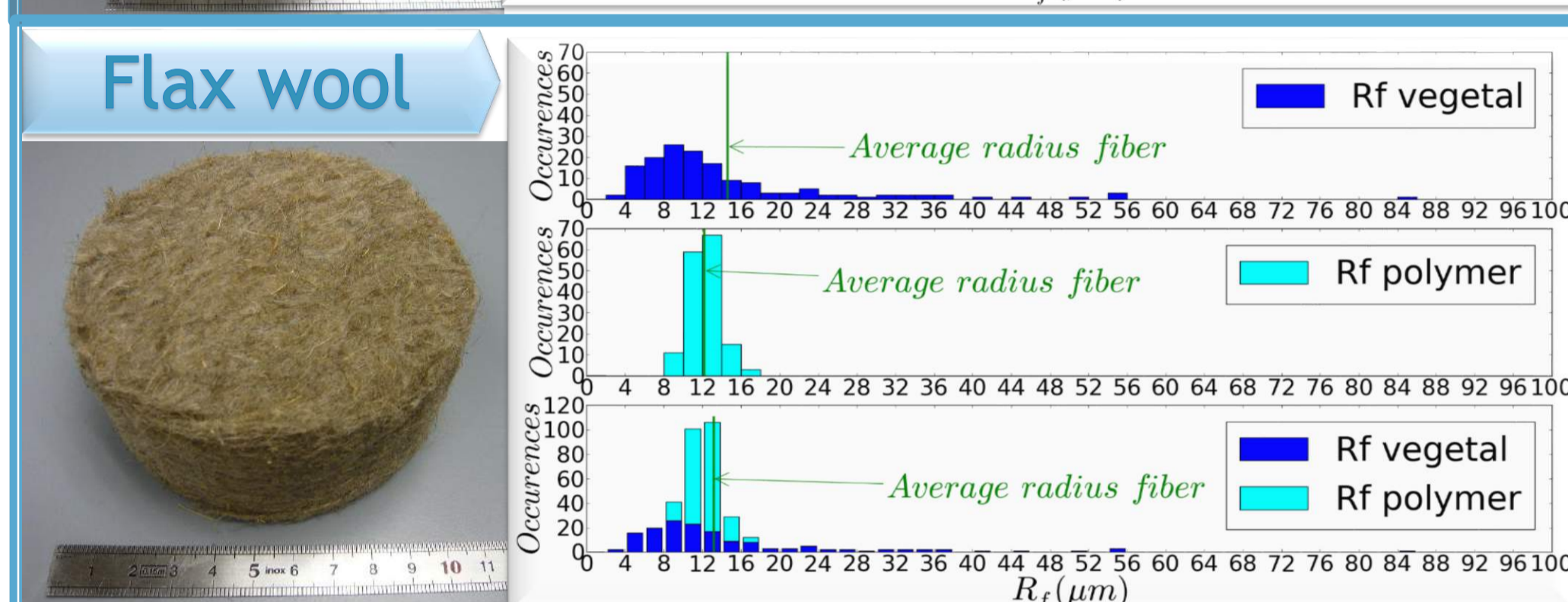
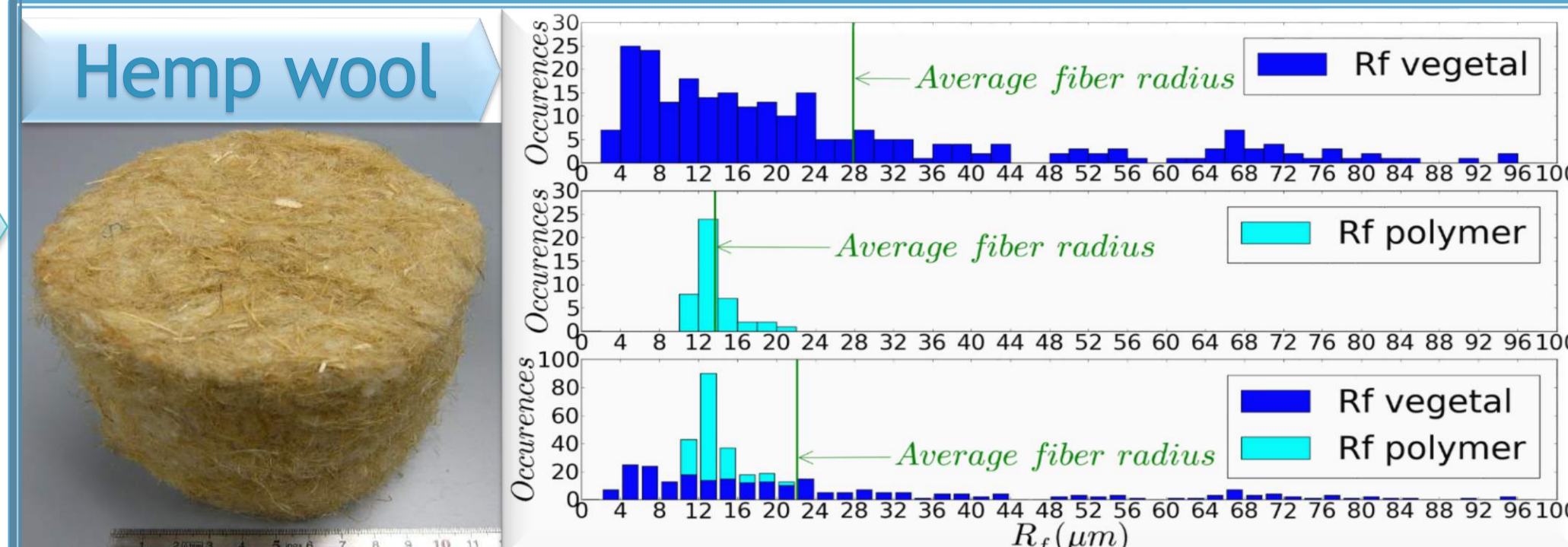
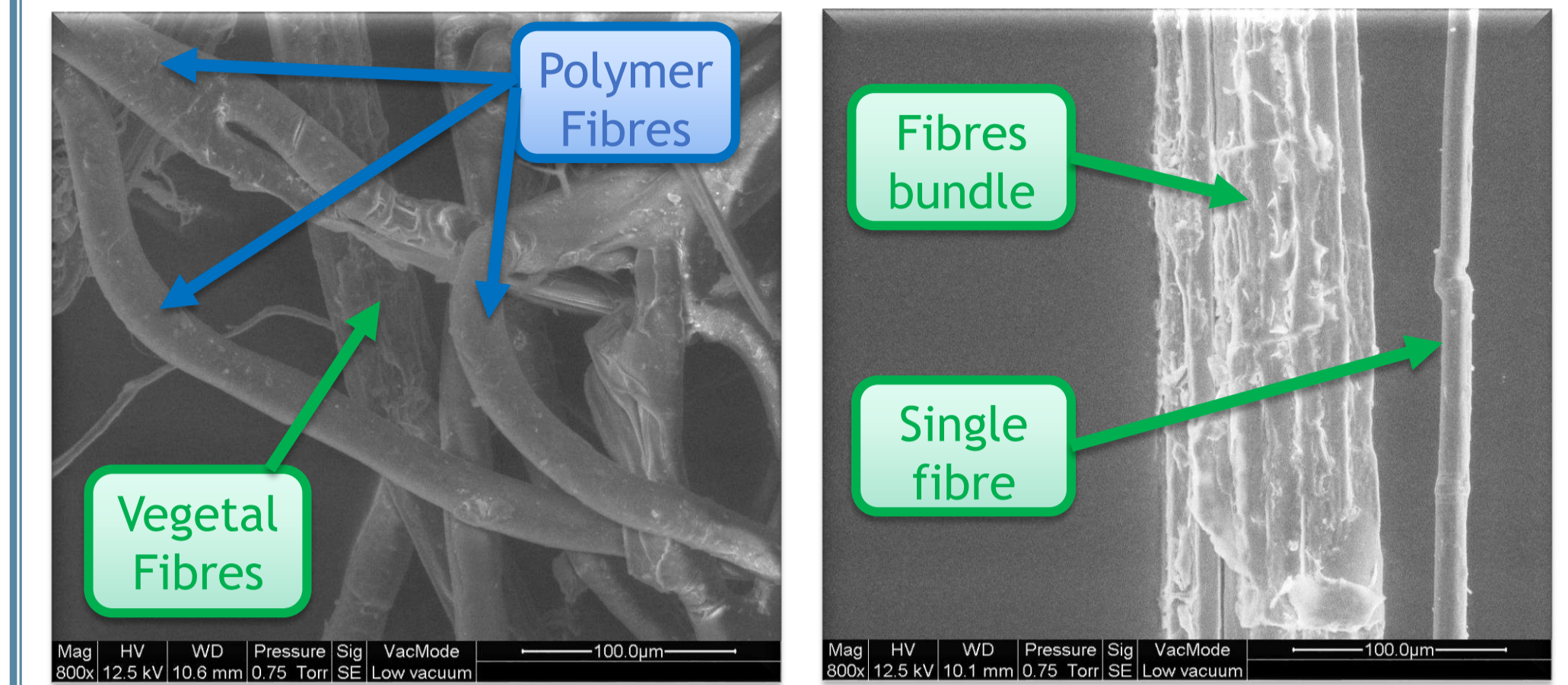


### Experimental characterisation



### Homogenisation

## Experimental characterisation



Materials	Mean $R_{f_{veg}}$ ( $\mu m$ )	Mean $R_{f_{pol}}$ ( $\mu m$ )	Porosity $\phi$ (%)	Density $\rho$ ( $kg.m^{-3}$ )	Th. cond $\lambda$ ( $W.K^{-1}.m^{-1}$ )
Hemp	27,9	13,7	96,4	45	0,44
Flax	14,6	12,2	96,1	67	0,45

## Acoustic & Thermic

### Modelling

#### Tarnow model [Tarnow 1996a] JASA

Flow  $\perp$  and random fibres distribution

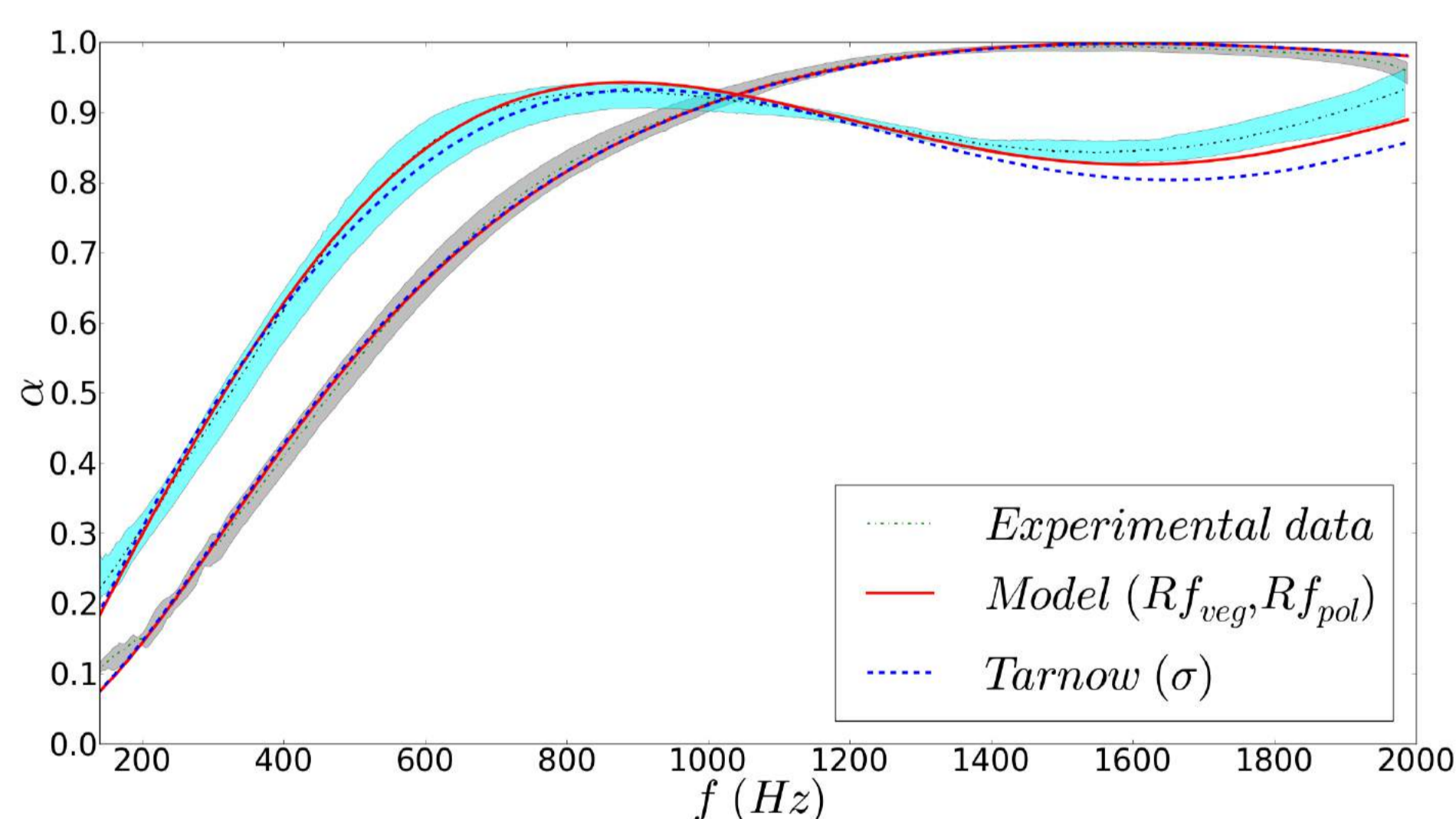
$$\sigma_i = 4\eta \frac{(1-\phi)}{R_{f_i}^2 \left[ 0,640 \ln \left( \frac{1}{(1-\phi)} \right) - 0,737 + (1-\phi) \right]}$$

#### Composite model [Gourdon & Seppi 2010] Applied Acoustics

$$K_h = \left[ \frac{\tau}{K_{pol}(\omega)} + (1-\tau) \frac{F_d(\omega)}{K_{veg}(\omega)} \right]^{-1}$$

$\tau$ : volumetric ratio of polymer fibres into the consistent medium  
 Complete coupling between fibrous medium and polymer medium  $F_d(\omega) = 1$

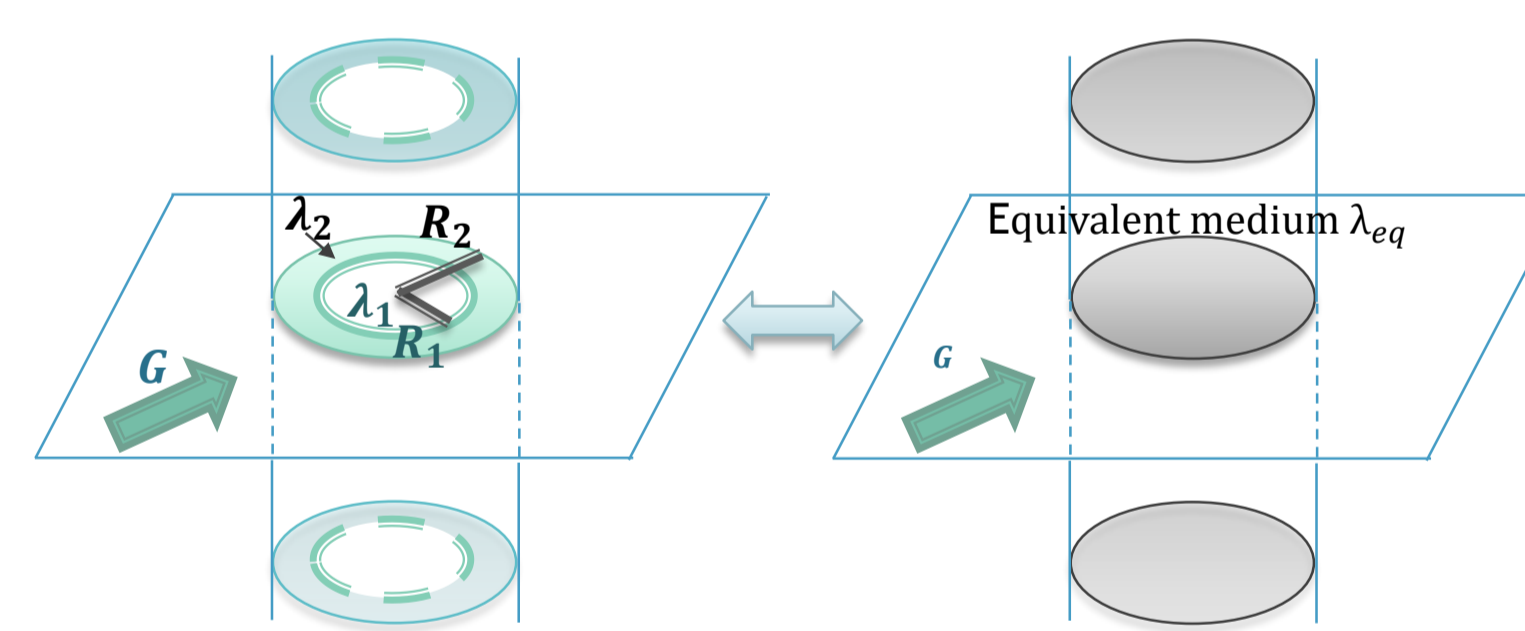
Acoustical model for two types of fibres  $R_{f_{veg}}, R_{f_{pol}}, \phi$  [Piégay et al. 2018] Applied Acoustics 129 (2018) 36-46



Comparison of normal incidence sound absorption coefficient for hemp and flax wools between measurements, Model ( $R_{f_{veg}}, R_{f_{pol}}$ ) and Tarnow model

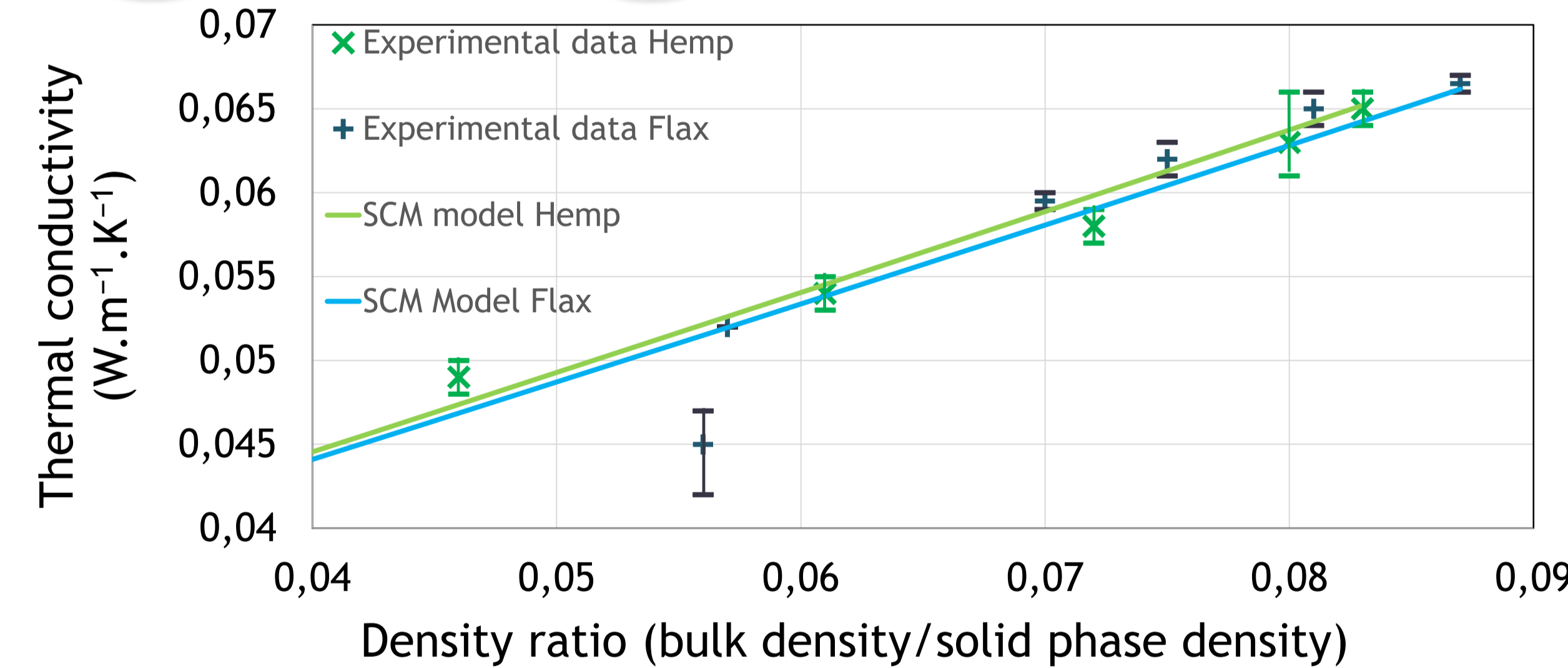
#### Self Consistent Method (SCM)

Equivalence between the cylindrical bicomposite inclusions (air into solid phase) medium and the equivalent consistent medium



$$\phi = \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^2$$

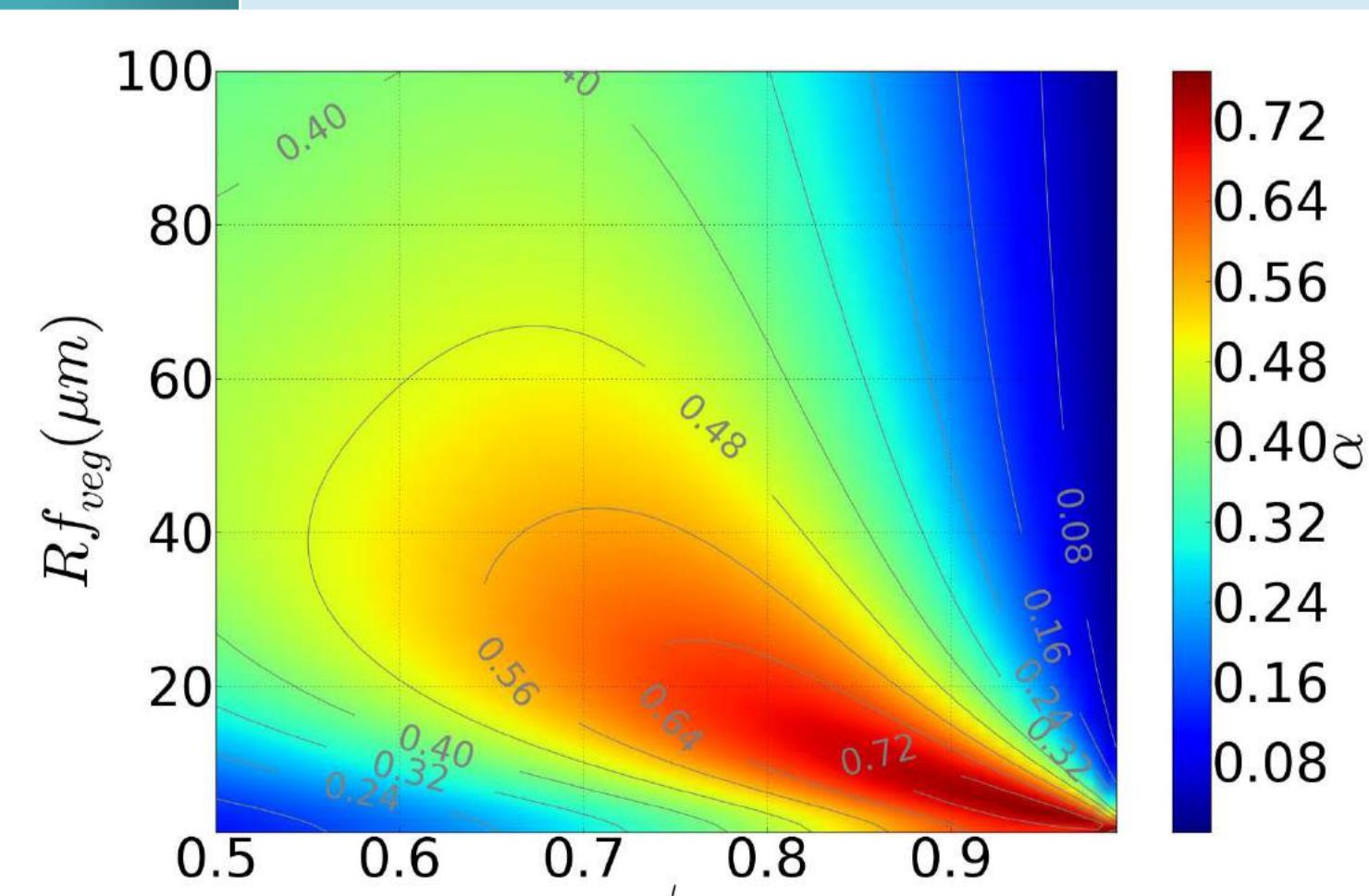
$$\lambda_{eq} = \lambda_2 \left[ 1 + \frac{\phi}{\frac{(1-\phi)}{2} + \frac{1}{\lambda_1/\lambda_2} - 1} \right]$$



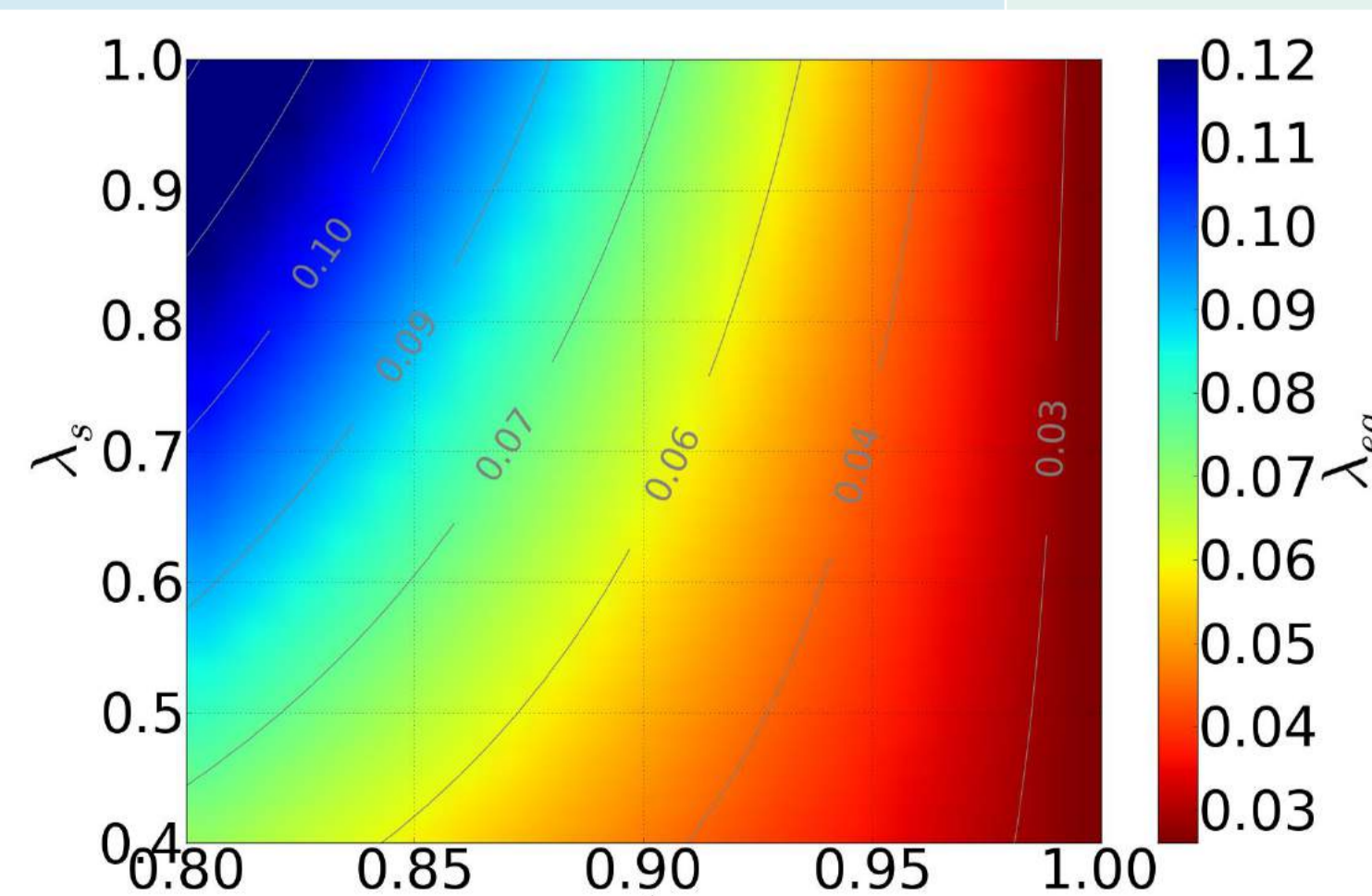
Comparison of thermal conductivity for hemp and flax wools between measurements and SCM model

### Inversion

Materials	$R_{f_{veg}}$ ( $\mu m$ ) Model	$R_{f_m}$ ( $\mu m$ ) MEB	$\lambda_{SCM}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$\lambda_{s_{exp}}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )
Hemp	26,3 $\pm$ 0,5	27,9	0,905 $\pm$ 0,093	-
Flax	13,3 $\pm$ 0,2	14,6	0,883 $\pm$ 0,091	-



Modelling of the mean sound absorption coefficient for a vegetal wool ( $e=50$  mm;  $R_{f_{pol}}=13$   $\mu m$ ) with the Model ( $R_{f_{veg}}, R_{f_{pol}}$ ) for a polymer fibers proportion of  $\tau = 0,15$ .



Modelling of thermal conductivity

## Perspectives

- ➔ Expansion of the range of materials
- ➔ Characterisation and modelling of compression effects
- ➔ Characterisation of ignifugation effects







# NOUVELLE COLLECTION « POINTS DE VIGILANCE »

**Des retours d'expérience à valeur pédagogique qui vous livrent les points sensibles et vous accompagnent dans les bonnes pratiques.**

- *Isolants biosourcés : points de vigilance*
- *Installations géothermiques basse température : points de vigilance*
- *Complexes d'étanchéité avec isolant : points de vigilance*

Collection téléchargeable sur  
[www.qualiteconstruction.com](http://www.qualiteconstruction.com)



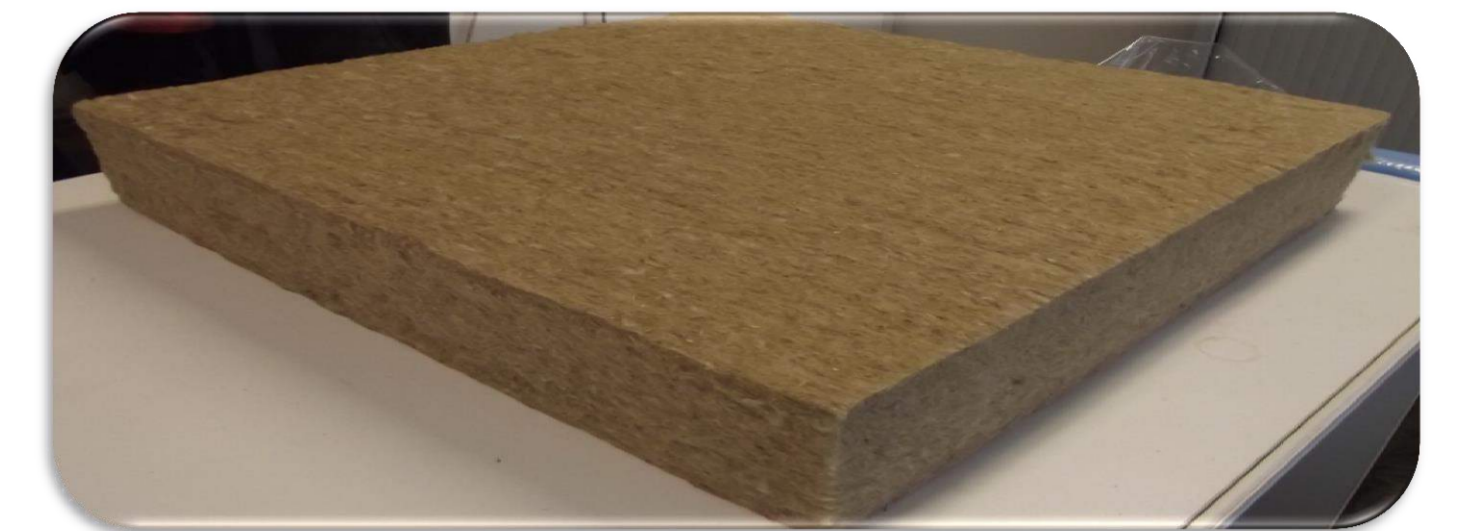


## INTRODUCTION - CONTEXTE - PROBLEMATIQUE

SINFONI a pour but de fédérer la filière nationale d'approvisionnement « fibres techniques végétales lin et chanvre à usage matériaux » en réunissant des acteurs industriels et académiques complémentaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur (20 partenaires). Un des objectifs de ce projet est de pouvoir diffuser des bonnes pratiques de maîtrise de la qualité et de la performance au sein de la filière industrielle de production et de transformation des fibres végétales en France afin d'être en capacité de répondre quantitativement et surtout qualitativement aux cahiers des charges des industriels. Pour cela, il a fallu identifier les paramètres influençant la qualité des produits finaux.

Les isolants à base de fibres naturelles ont été un des matériaux étudiés dans ce projet.

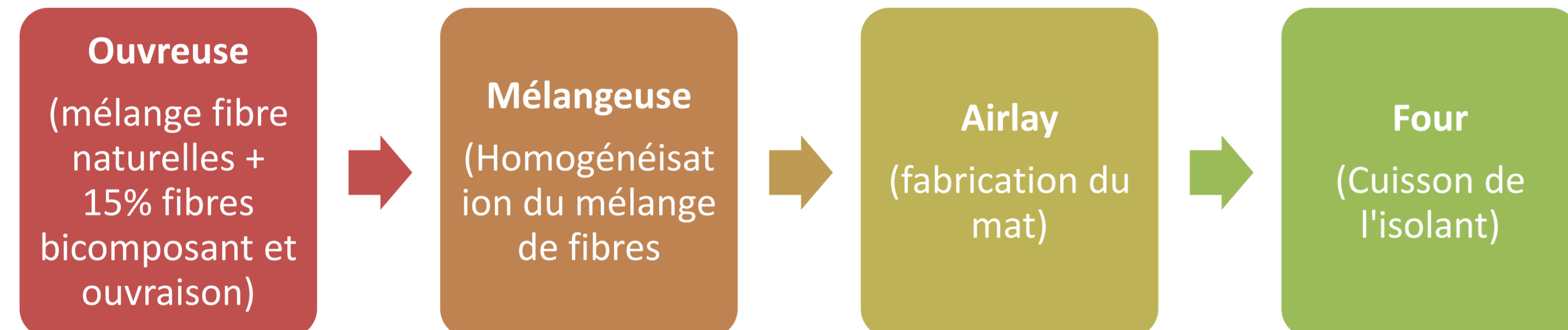
Une étude de l'impact du procédé de fabrication des mats d'isolants à base de fibres naturelles ainsi que l'impact du type de fibre sur la conductivité thermique et sur la résistance aux champignons de dégradation a été effectuée par le CETELOR.



## Panneaux d'isolation – Fabrication



### Procédé AIRLAY



### Paramètres testés

Type fibre	Taux bi composant	Ouvraison	Cardage
Lin	15%	1 module	Oui
Chanvre			
Bois			
Mélanges des trois fibres précédentes		2 modules	Non

## Panneaux d'isolations – Caractérisation

### NF EN 12667 – Conductivité thermique

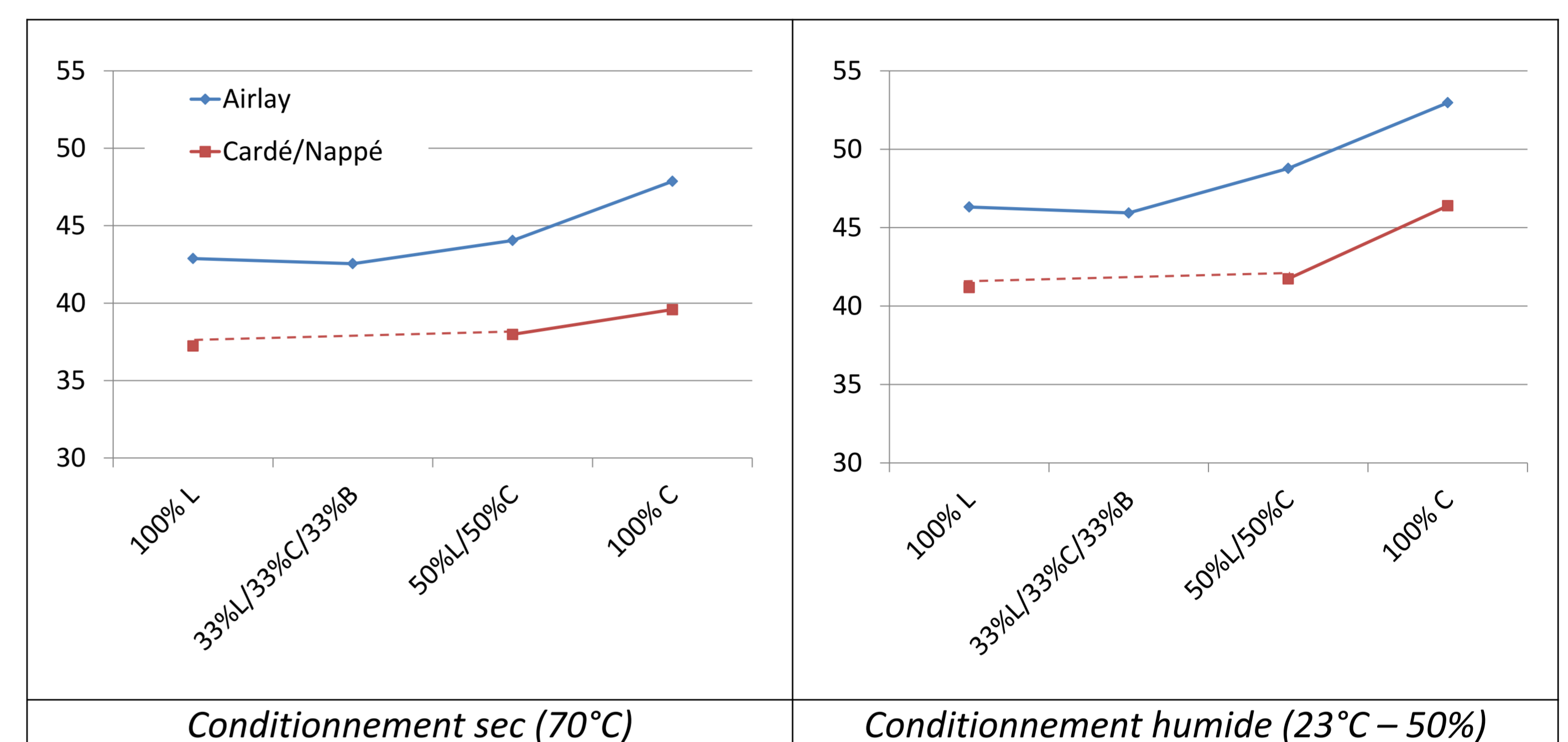


### NF EN 113 – Résistance aux champignons de dégradation (*Poria placenta*)



## Résultats

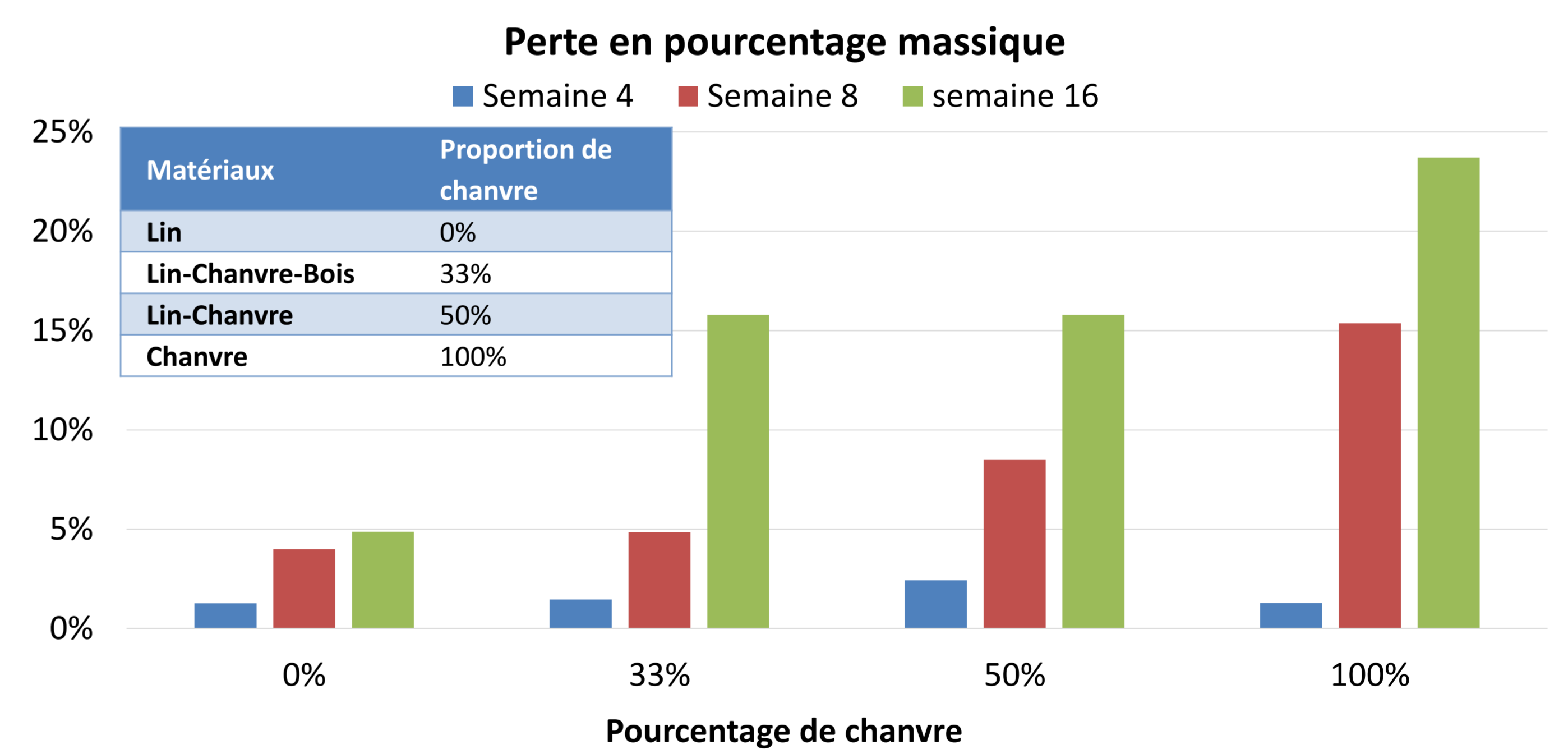
### Conductivité thermique – Type de fibre et de procédé



### Conductivité thermique – Impact de l'affinage

Conductivité thermique (mW/mK)	Airlay	
	Sans Ouvraison ni Cardage	Avec Ouvraison sur les deux modules + Cardage
100% Lin	42,88	42,77
100% Chanvre	47,87	46,27

### Résistance aux champignons – Type de fibres



## Conclusion

L'affinage des fibres influe sur la conductivité thermique des isolants – Le procédé de fabrication d'un isolant a donc un impact sur la conductivité thermique du produit final

Une augmentation du taux de chanvre dans un isolant abaisse sa résistance aux champignons de dégradation type *Poria placenta*.

### Partenaires:



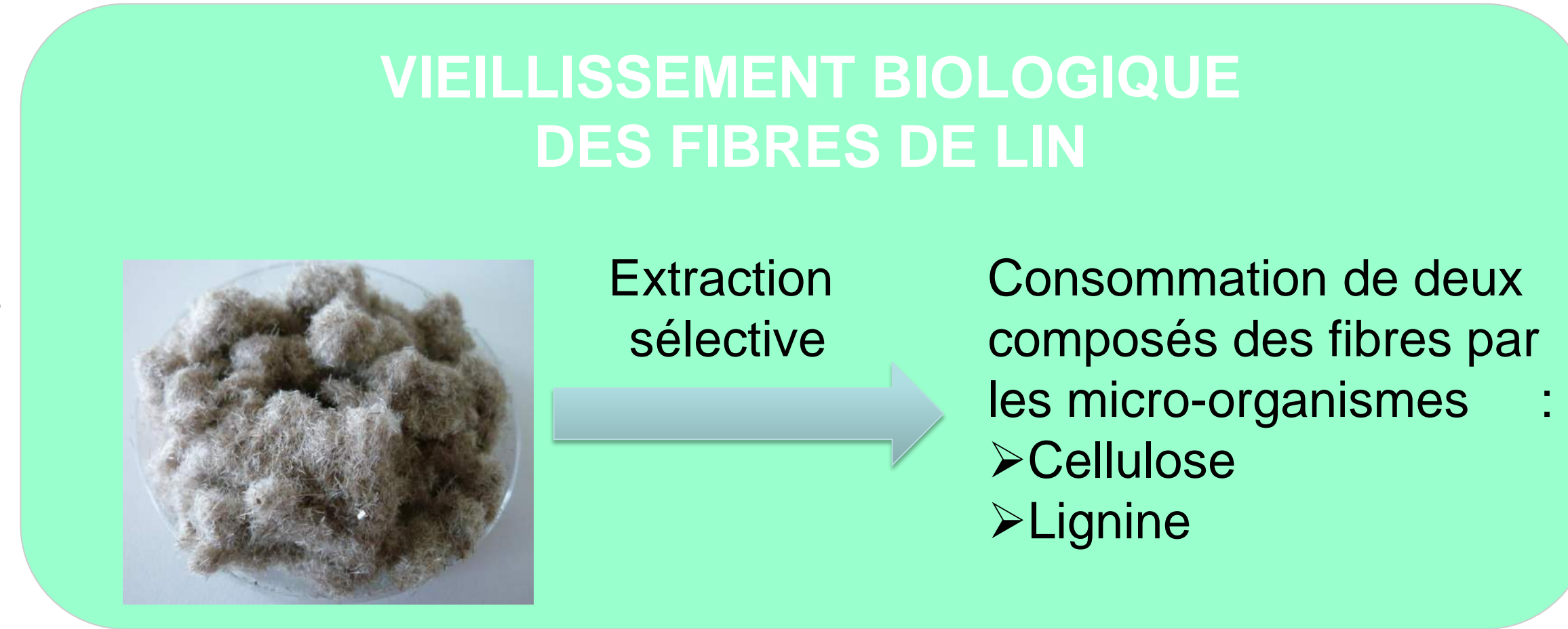
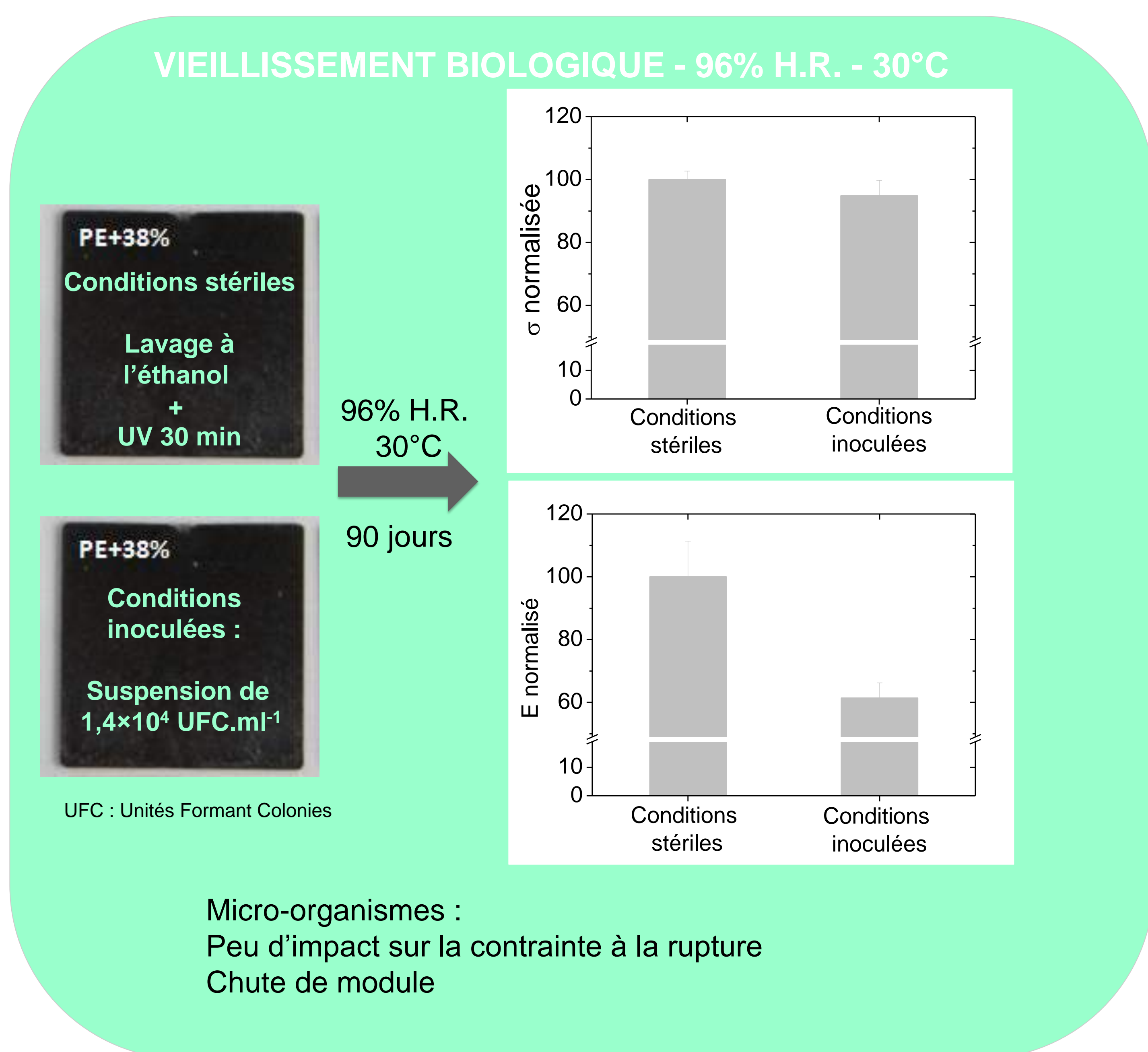
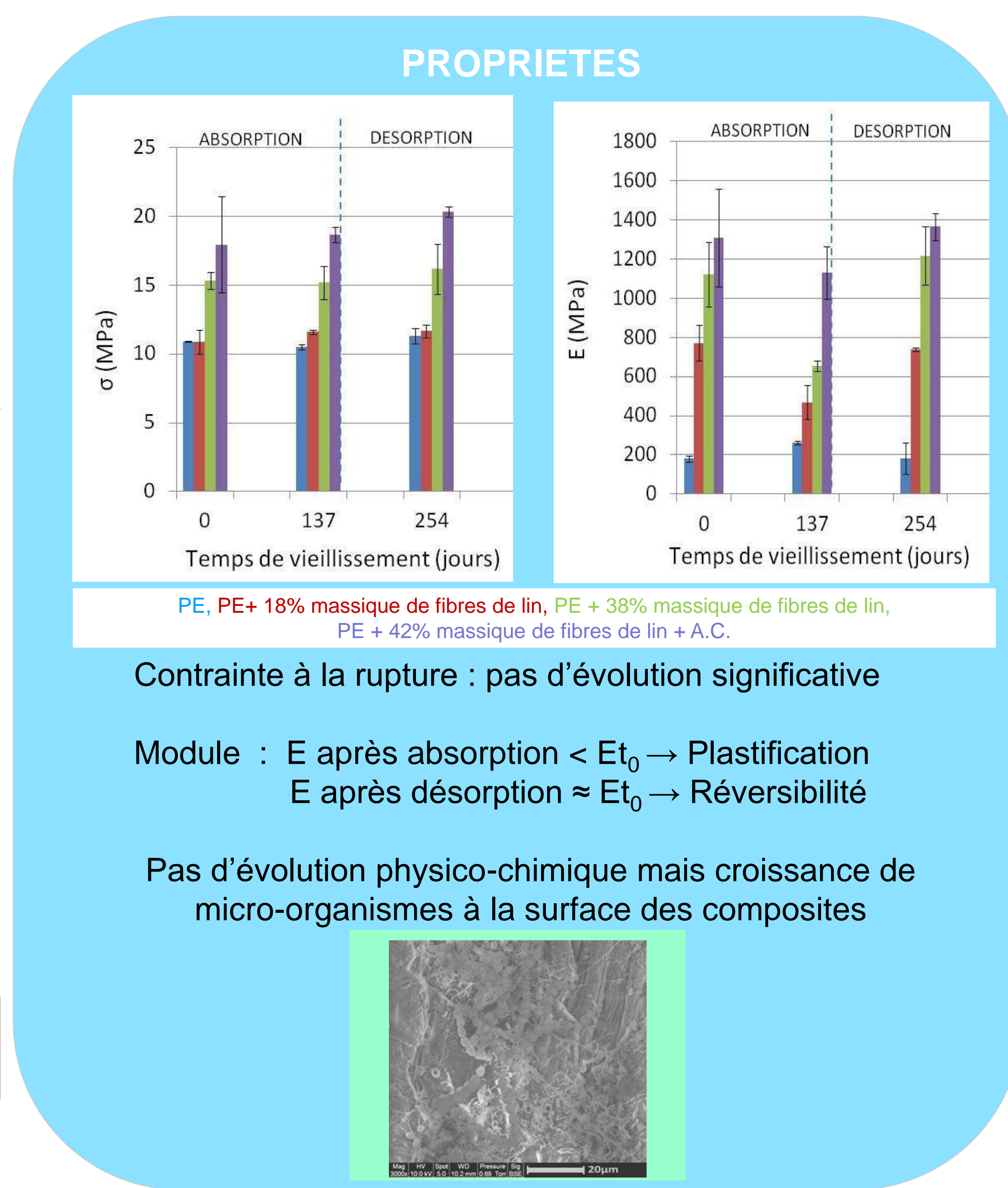
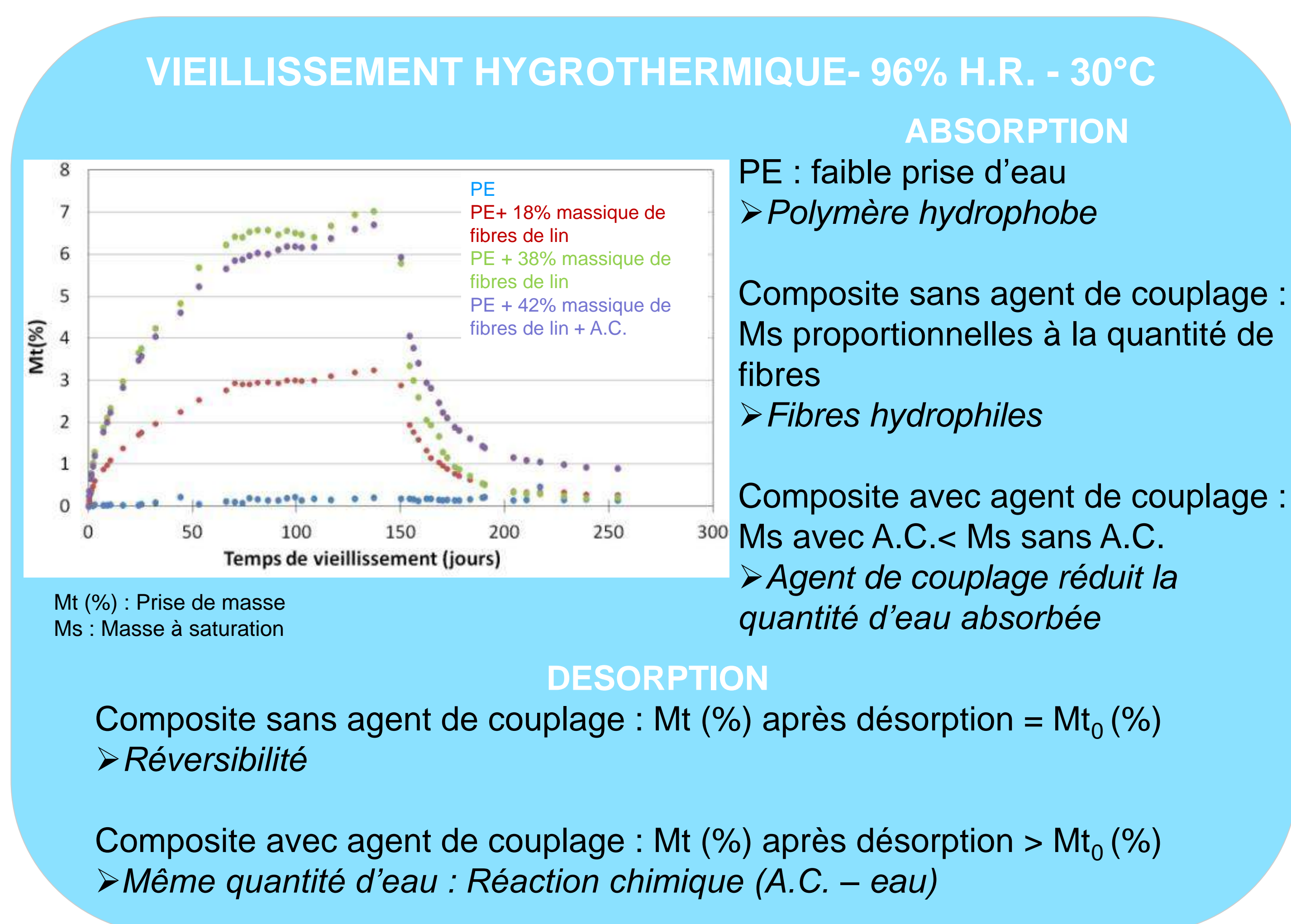


# Composites Polyéthylène/Fibres de lin : Impact d'un vieillissement d'origine biologique

L. Van Schoors, M. Gueguen-Minerbe, S. Moscardelli, H. Rabii, P. Davies

FIBRES DE LIN	COMPOSITES
<b>AVANTAGES</b> Bonnes propriétés mécaniques spécifiques Biodégradabilité Pas d'émission de CO <sub>2</sub> Peu d'énergie pour être produites Bon isolant thermique et acoustique Ressources renouvelables	<b>INCONVENIENTS</b> Hydrophilie Stabilité dimensionnelle Biodégradabilité Stabilité thermique réduite Variabilité Fibres discontinues

vieillissement → ?



**CONCLUSION**

**Vieillissement hygrothermique - 96% H.R. - 30°C**  
 > Pas d'impact significatif sur les propriétés mécaniques et les caractéristiques physico-chimiques

**Vieillissement biologique - 96% H.R. - 30°C**  
 > Fort impact sur le Module : Consommation de cellulose et de lignine par les micro-organismes



## INTRODUCTION

Hemp concrete is now used in construction as a sustainable and carbon neutral infill wall material around timber-framed construction. In-plane racking strength of timber walls is important in construction for resisting lateral loads. As limited studies are published on the lateral strength of hemp walls, the aims of this study are to study the contribution of hemp concrete in lateral strength of the wall on one side-and to investigate the most effective parameter that plays a main role in the in-plane racking strength of hemp walls on the other side.

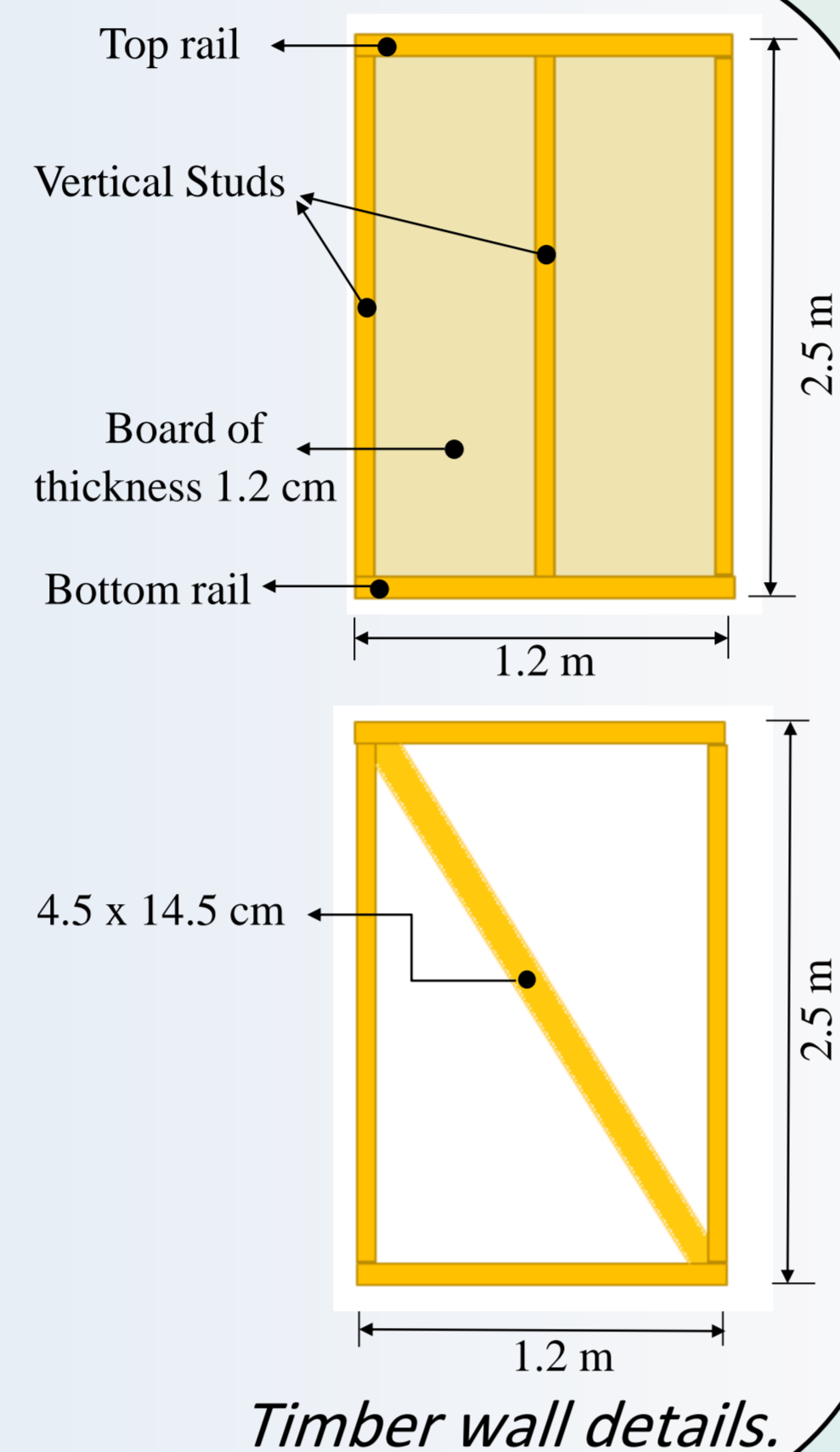


Hemp concrete as infill material in timber walls.

## THEORETICAL ANALYSIS

Two different shapes of timber walls were considered in this study in order to investigate the participation of hemp concrete as infill material, vertical and diagonal bracing struts. The dimensions of all tested walls were 2.5 m high, 1.2 m width and 140 mm thickness. We assume a linear elastic behaviour of the wall-unit and the deformations are caused by external force only. By applying the virtual work transformation by unit-load theorem ( $F$ ), the total displacement of the wall unit ( $\Delta$ ) can be calculated as:

$$\Delta = \frac{\partial W}{\partial F} \quad (1)$$



By taking the material characteristics into account in vertical strut wall, the total horizontal displacement ( $\Delta_1$ ) can be calculated as a function of the internal forces (equation 4) and the term  $F/\Delta = 0.0083$  (kN/mm). For the diagonal bracing strut wall, equation (5) is used to calculate the lateral displacement of the wall ( $\Delta_2$ ), also the term  $F/\Delta = 2.7$  (kN/mm).

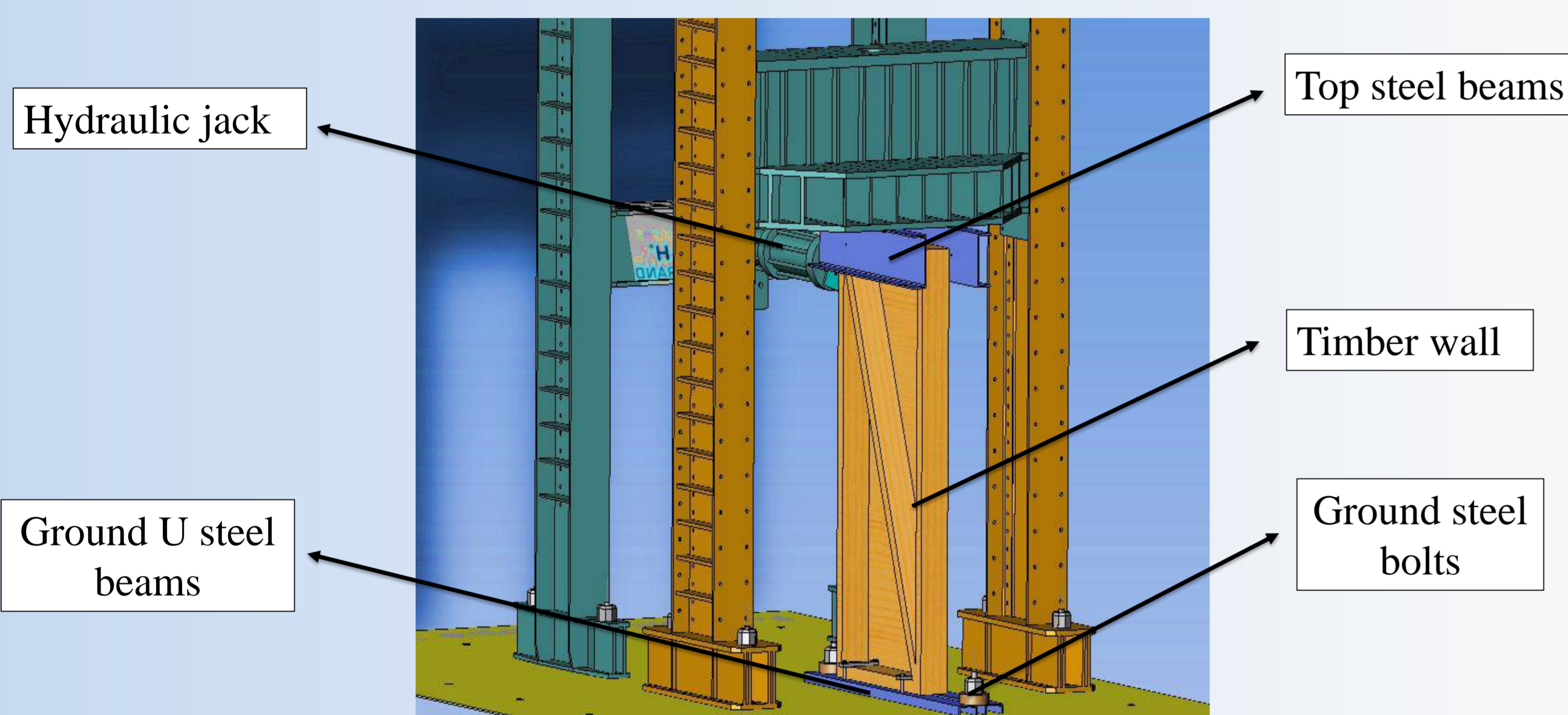
$$W = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{E_{0,05} I} \int M^2(x) dx + \frac{1}{E_{0,mean} A} \int N^2(x) dx + \frac{1}{G_{mean} \bar{A}} \int V^2(x) dx \right] \quad (2)$$

$$\Delta_i(m) = (a_M + a_V + a_N)F(N) \quad (3)$$

$$\Delta_1(m) = \left[ \left( \frac{0.964}{E_{0,05} I} \right) + \left( \frac{5.72}{E_{0,mean} A} \right) + \left( \frac{3.85}{G_{mean} \bar{A}'} \right) \right] F(N); \quad A' = \frac{2}{3} A \quad (4)$$

$$\Delta_2(m) = \left[ \left( \frac{1.26 \times 10^{-5}}{E_{0,05} I} \right) + \left( \frac{25.5}{E_{0,mean} A} \right) + \left( \frac{1.0 \times 10^{-4}}{G_{mean} \bar{A}'} \right) \right] F(N) \quad (5)$$

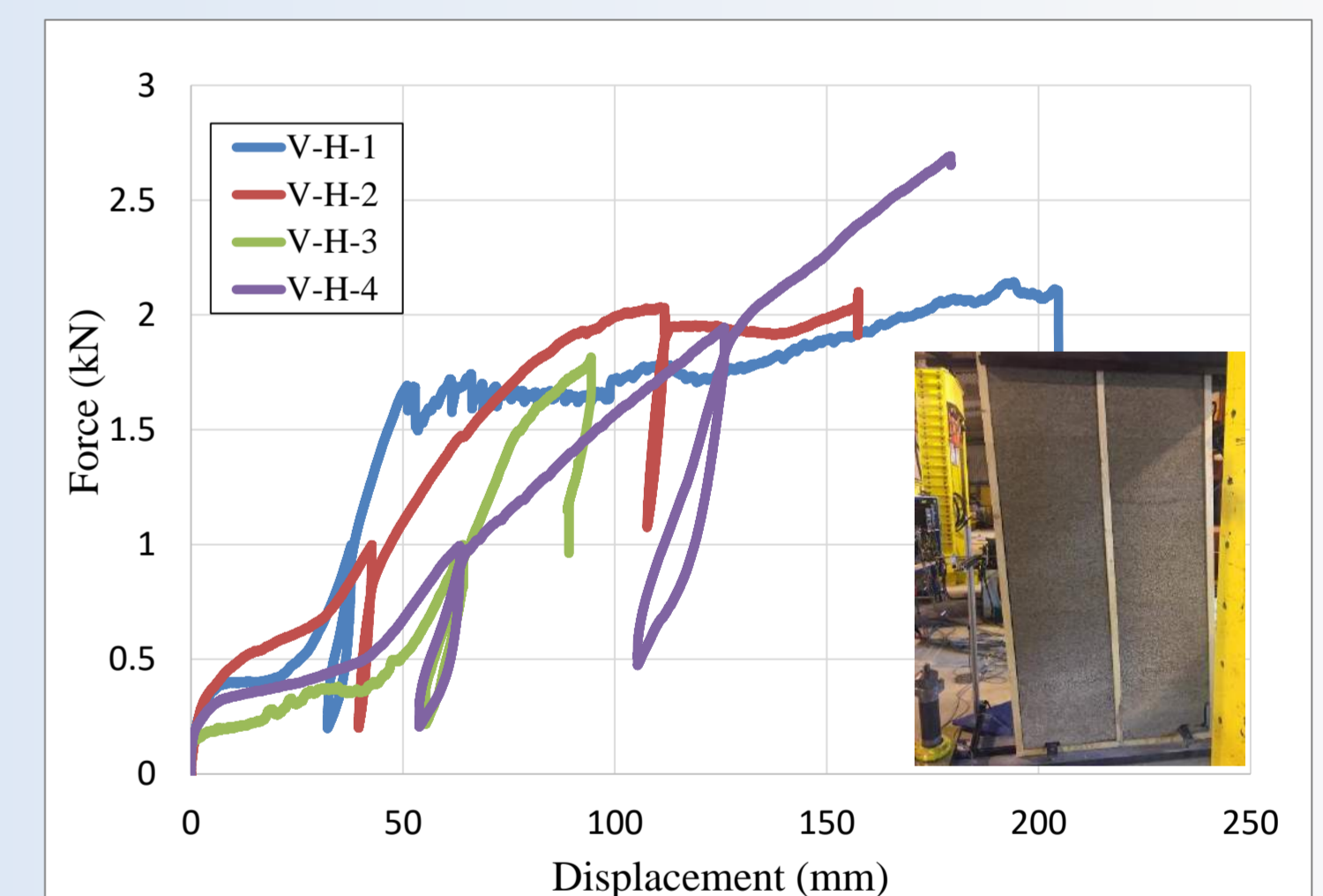
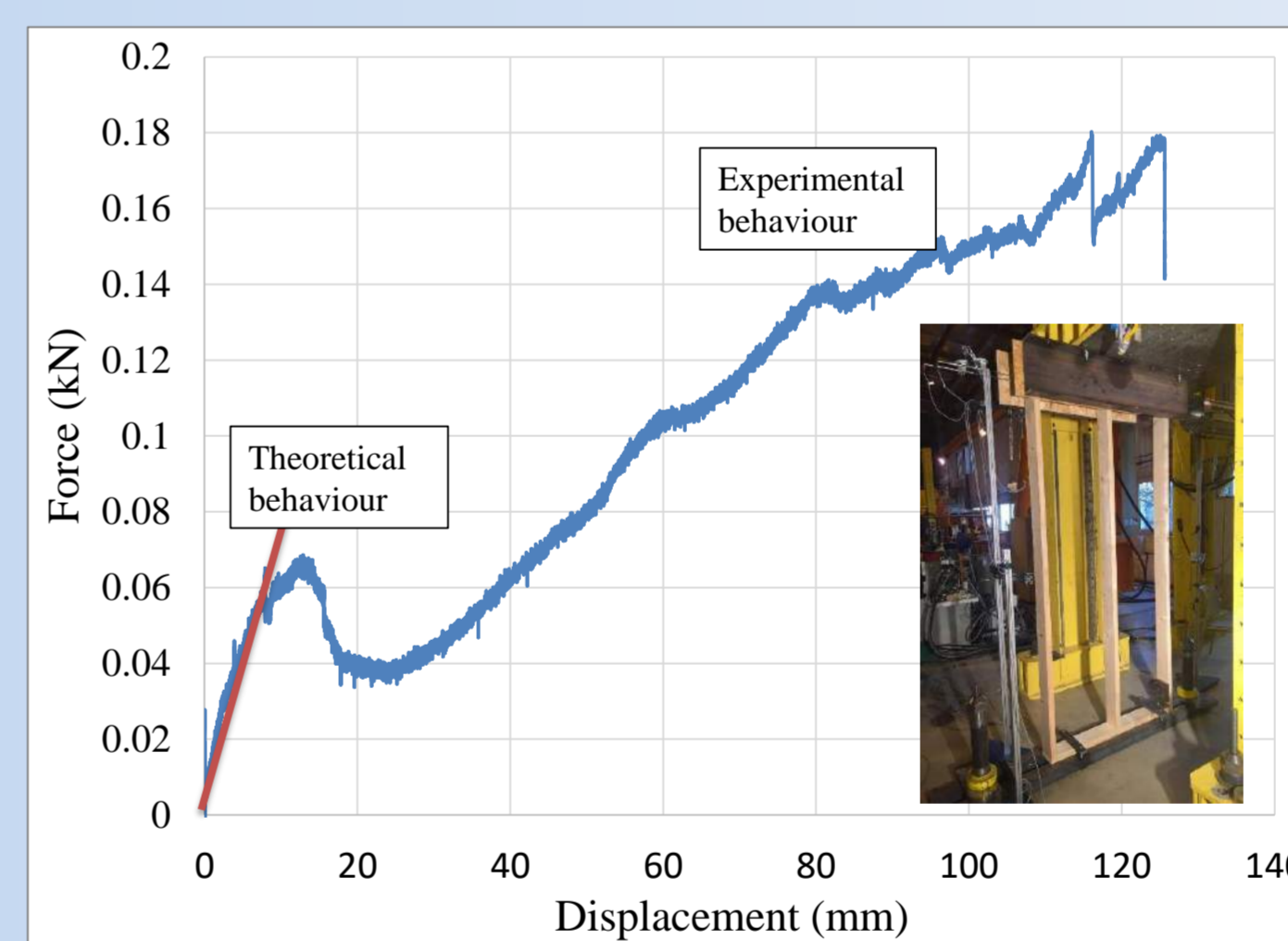
## TEST SET UP



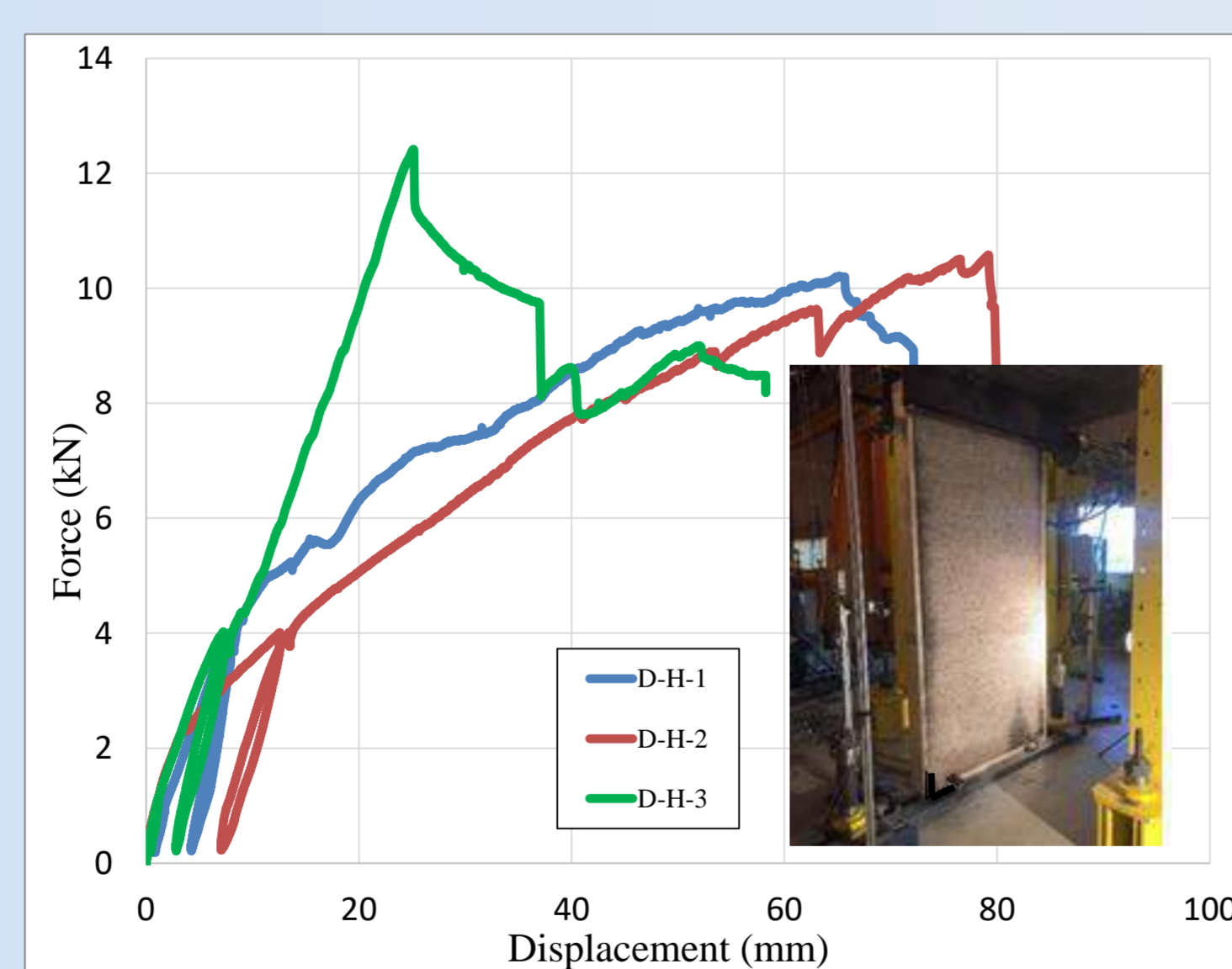
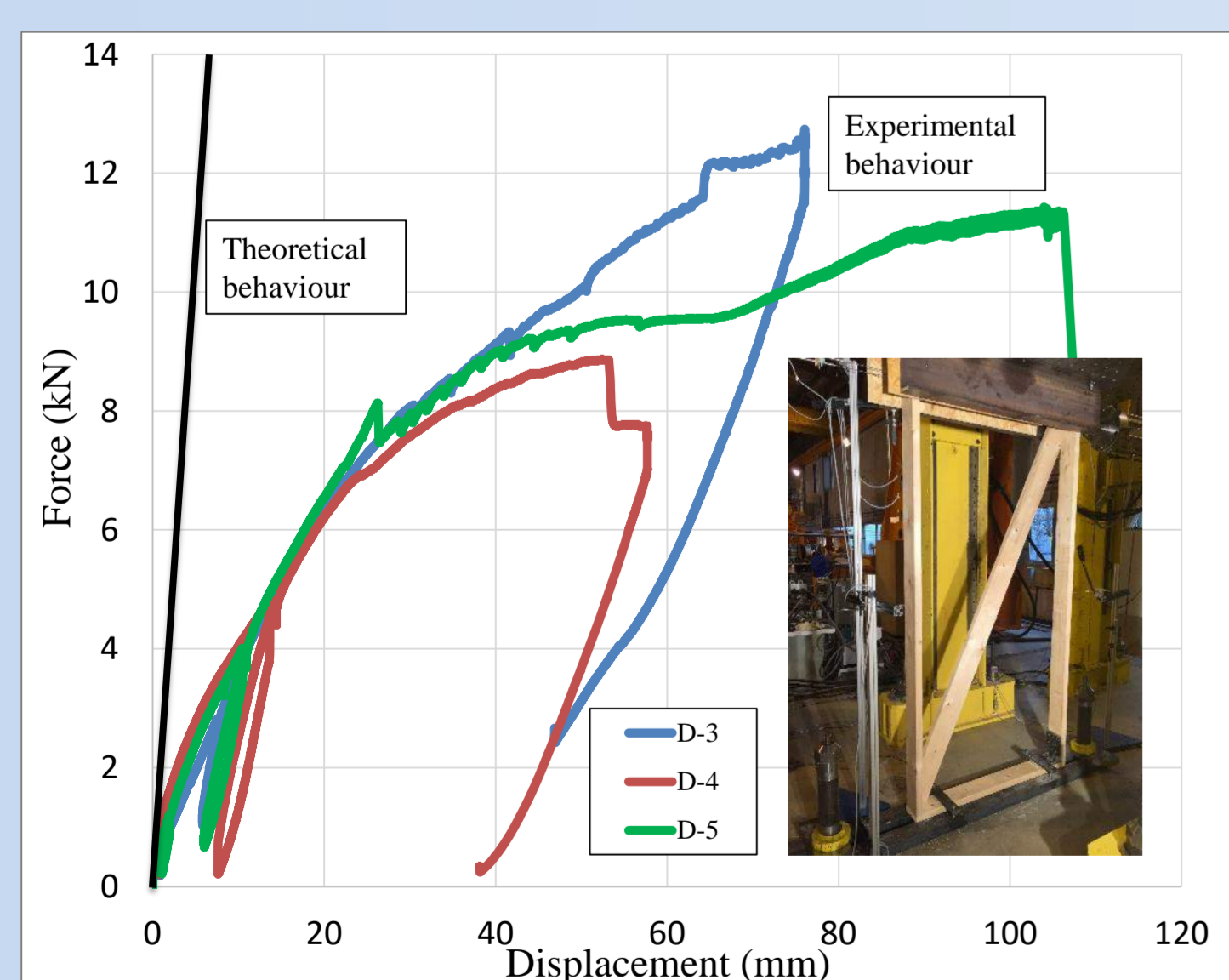
The test set up of timber walls.

## EXPERIMENTAL RESULTS

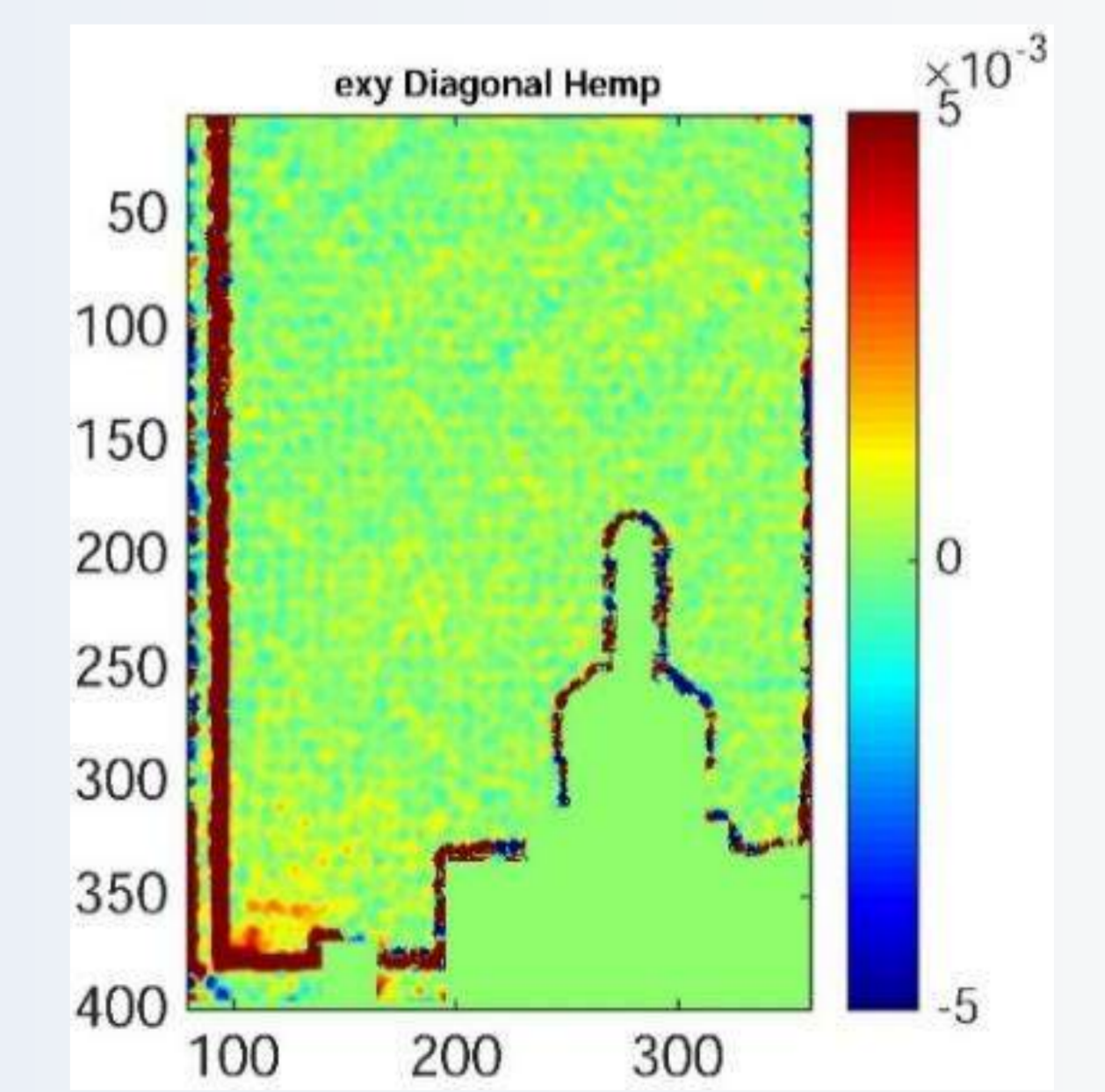
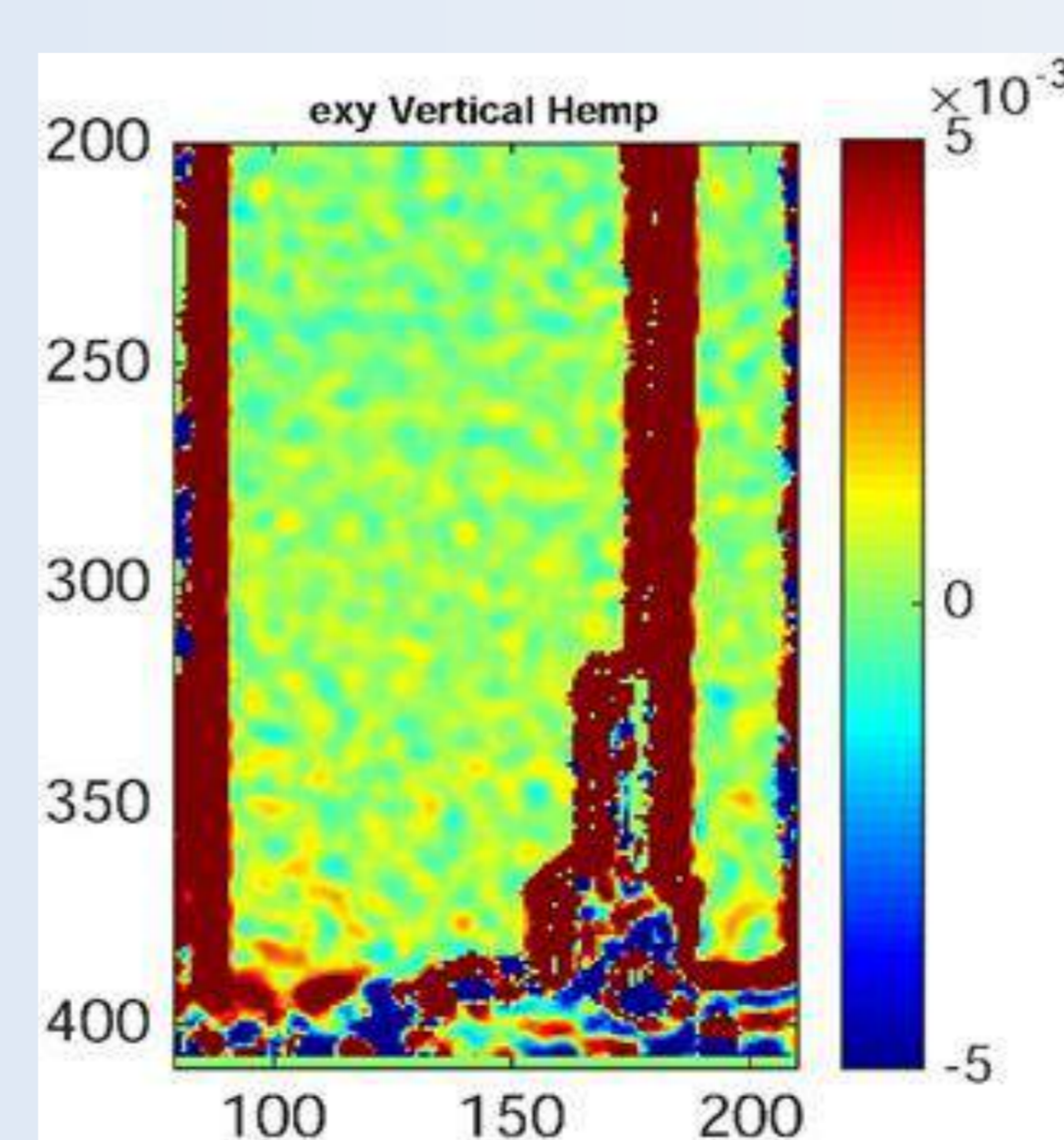
A small participation of hemp concrete was noticed in the vertical strut timber frame. Hemp concrete does not completely work against lateral loads due to the absence of the diagonal compression zone.



The diagonal strut increases the rigidity of the overall system preventing the hemp concrete to participate in the lateral strength of timber frame wall.



## Digital Image Correlation (DIC) technique



## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

- The hemp concrete in wall dimensions (2.5 m x 1.2 m) has not any contribution in the lateral load carrying capacity of diagonal bracing wall due to the high rigidity of the diagonal element in timber wall.
- Small participation of hemp concrete was observed in the vertical strut wall, the hemp concrete can not participate totally in the lateral strength without existence of diagonal compression strut zone which make the material loaded under shear forces.
- The diagonal compression zone depends totally on to the external dimensions of wall.



## Contributions potentielles aux projets du GDR MBS

Valérie Massardier

Ingénierie des Matériaux Macromoléculaires, IMP, UMR CNRS 5223, Villeurbanne-Cedex, France  
valerie.massardier@insa-lyon.fr <http://www.imp.cnrs.fr/>

- 1- **Dispersion** de charges bio-sourcées en **extrudeuse** à **haute vitesse** de rotation des vis, en vue de favoriser la bonne répartition de ces dernières [1, 2].
- 2- **Formulation** de composites polymères avec des **polyoléfines** greffées ou **liquides ioniques** [3, 4], en vue d'apporter des propriétés spécifiques (**ajustement hydrophilie, résistance / feu, champignons, agressions bactériennes...**).
- 3- **Durabilité & recyclage** de composites polymères (dépolymérisation des matrices par voie chimique, utilisation de catalyse enzymatique). Durabilité en présence de micro organismes.
- 4- **Caractérisations** à l'aide des plateformes d'analyses thermiques, rhéologie, chromatographie... de l'IMP

Ces contributions potentielles peuvent s'inscrire dans les 3 thèmes :

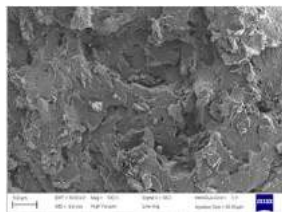
- Transformation, élaboration et évaluation environnementale des matériaux biosourcés
- Propriétés Multi physiques des Matériaux constructifs Biosourcés
- Durabilité des Matériaux Biosourcés



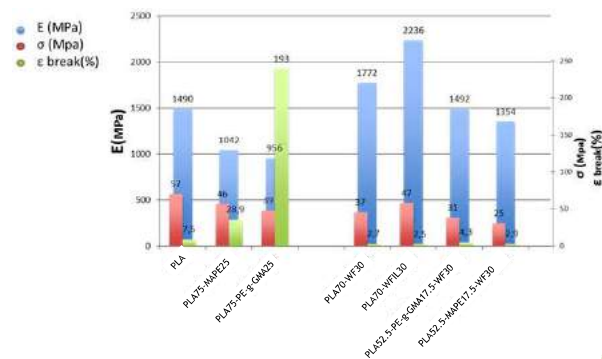
Co-malaxeur pour extrusion de systèmes fortement chargés



a



b



- ↗ module d'Young pour mélange PLA/Wood Flour en présence de IL.
- PE-g-GMA ↗ allongement à la rupture, ↘ hydrophilie.

- La présence de liquide ionique (IL) à l'interface Farine de bois /PLA (b) semble améliorer les interfaces par rapport à mélange sans IL (a).

### References

1. H. Askanian, V. Verney, S. Commereuc, V. Massardier, R. Guyonnet, High speed processing of Polypropylene/wood flour composites, *Holzforschung* 2015; 69(3): 313-319.
2. M. Louizi, V. Massardier, F. Melis, P. Alcouffe, Ph Cassagnau, High shear processing of polypropylene/silica nanocomposites: improvement of structure-properties, *International Polymer Processing*, Vol XXIX, Issue 1, March 2014, 118-127.
3. S. Livi et al. Royal Society of Chemistry S. Livi et al. Royal Society of Chemistry 2015, 5, 1989 2015, 5, 1989
4. Chapter Oil-based and bio-derived thermoplastic polymer blends and composites, in *Introduction to Renewable Biomaterials: First Principle and Concepts*, A. Quitadamo, V. Massardier, M. Valente, A.S. Ayoub, L.A. Lucia Editeurs Wiley: 2017, 239-268.





### Contacts :

Sofiane Amziane (Université Clermont-Auvergne)

Christophe Lanos (Université Rennes 1)

Sandrine Marceau (Ifsttar)

