



Vieillissements naturels et accélérés

Camille Magniont (LMDC) et Sandrine Marceau (Université Gustave Eiffel)

Durabilité ?

2 objectifs :

Nicot, 2022



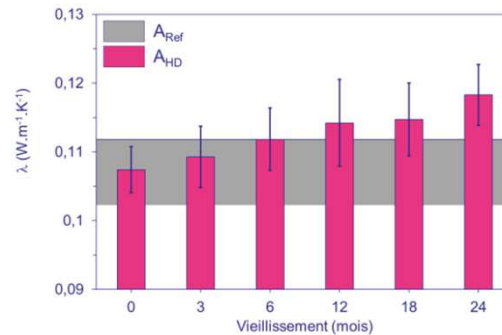
GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- Eviter le développement de pathologies qui conduiraient à une dégradation prématurée de l'ouvrage

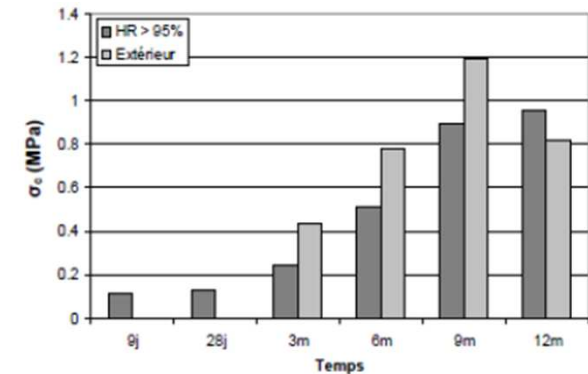


AQC, 2018

- Prédire l'évolution des performances dans le temps



Delannoy, 2017



Magniont, 2010

Différentes approches pour étudier la durabilité



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- **Identifier les mécanismes responsables du vieillissement**
 - les agents agressifs / paramètres environnementaux impliqués
 - les propriétés des matériaux conditionnant la cinétique/l'intensité etc. de ces mécanismes (indicateurs de durabilité)
- **Développer des protocoles de vieillissement accélérés**
 - valider expérimentalement une nouvelle formulation,
 - évaluer l'évolution des performances au cours du temps etc.
- **Modéliser ces mécanismes de vieillissement**
 - modèles empiriques
 - modèles physiques



Comment faire vieillir les matériaux ?



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Quelle que soit l'approche envisagée, nous devons avoir recours à l'analyse :

- De matériaux **vieillis naturellement** :
 - pour identifier les mécanismes de vieillissement et les pathologies
 - pour élaborer des protocoles de vieillissement accélérés (conditions de T, HR réelles en fonction des solutions constructives et de la zone climatique)
 - pour valider les protocoles de vieillissement accélérés et les modèles
- De matériaux soumis à **protocoles de vieillissement accéléré**
 - pour raccourcir les temps d'essais
 - pour prédire l'évolution des performances dans le temps

Qu'est-ce qu'un vieillissement naturel ?



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- Soumis à des sollicitations (climatiques, d'usage) « naturelles ».

MAIS...

- Exposition aux agents extérieurs : doit être définie en fonction des conditions d'usage du matériau et donc du système constructif envisagé.
- Effet d'échelle : quelle est l'échelle d'étude appropriée ? influence de la géométrie de l'échantillon sur les sollicitations qu'il subit effectivement.

Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Echelle
BAT

Géométrie et exposition aux agents extérieurs réelles

MAIS Collecte de données et prélèvement de matériaux pas toujours aisés

AQC, 2018

Facteurs de risque	Désordres	Origines
Humidité - eau	Dégradations diverses (mécanique, thermique, esthétique, voire sanitaire)	Phase conception Phase exécution Phase exploitation
Incendie	Destruction	Phase conception Phase exécution Phase exploitation

Sensibilité à l'eau

~~Sensibilité au feu~~

Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Echelle
BAT

Géométrie et exposition aux agents extérieurs réelles

MAIS Collecte de données et prélèvement de matériaux pas toujours aisés

AQC, 2018

Sensibilité à l'eau

Désordres observés

Absence de protection lors du transport, stockage et mise en œuvre (entraînant la mise en œuvre de matériaux humides, voire dégradés)

Recommandations

Mise en œuvre à l'abri des intempéries, contrôle du taux d'humidités des matériaux



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Echelle
BAT

Géométrie et exposition aux agents extérieurs réelles

MAIS Collecte de données et prélèvement de matériaux pas toujours aisés

AQC, 2018

Sensibilité à l'eau

Désordres observés

Présence de **défauts d'étanchéité** à l'air de l'enveloppe et de ponts thermiques, génération de points sensibles à la condensation

Recommandations

Soigner la continuité des procédés d'étanchéité à l'air de l'enveloppe



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Echelle
BAT

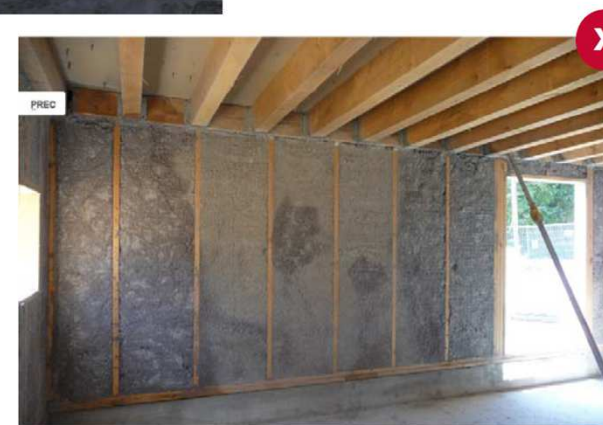
Géométrie et exposition aux agents extérieurs réelles

MAIS Collecte de données et prélèvement de matériaux pas toujours aisés

AQC, 2018

Sensibilité à l'eau

Désordres observés	Recommandations
Fissuration des enduits de finition extérieure au droit des ossatures bois, des menuiseries, aux raccords d'angle due aux défauts d'enrobage du bois de structure, au retrait des supports et des ossatures en bois	Utiliser des produits spécifiques : nappes grillagées, armature de renfort



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels

Expertise Division Transfert de Technologies
 LMDC, P. Nicot.
 Ecole primaire Onet-le-Château
 Béton de chanvre projeté + enduit



➡ Pas de différence concernant les observations visuelles (épaisseur de l'enduit/du badigeon, teinte, porosité, granulométrie) si ce n'est la fissuration

	ρ à 20°C (kg/m ³)	ρ à 105°C (kg/m ³)	ρ réelle (kg/m ³)	Porosité à 105°C (% volumique enduit)
Façade NORD	1720 ⁽¹²⁾	1699 ⁽¹⁴⁾	2519 ⁽⁵⁾	32,6 ^(0,7)
Façade EST	1726 ⁽²⁾	1703 ⁽¹⁾	2452 ⁽⁷⁴⁾	30,5 ^(2,0)



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

+ Analyses MEB-EDS, DRX ➡ Pas de différence significative



Retours d'expériences sur des bâtiments réels

Expertise Division Transfert de Technologies

LMDC, P. Nicot.

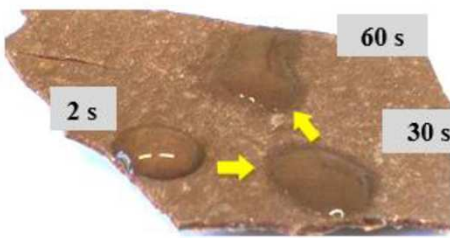
Ecole Onet-le-Château

Essai à la goutte

Teneur en eau libre



Sous-face



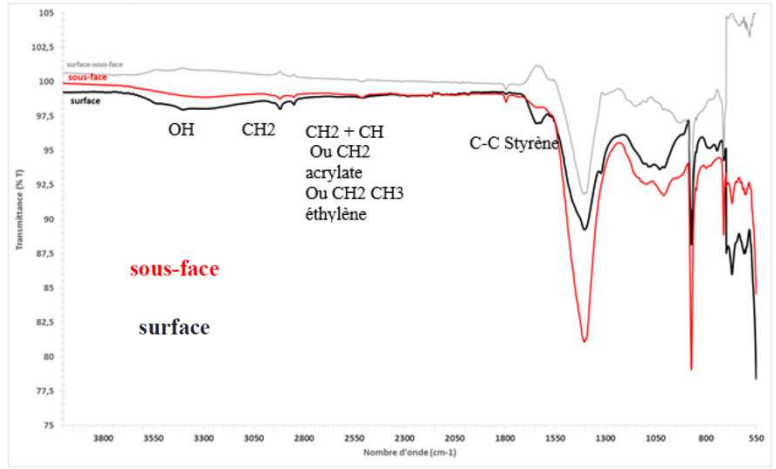
Surface

Utilisation d'un imperméabilisant à base de latex

- ➔ Séchage de la paroi empêché
- ➔ Apparition de pathologies

Façade NORD	Enduit + badigeon	5,4
	Béton de chanvre à 3,5 cm profondeur	11,8
Façade EST	Enduit + badigeon	12,2
	Béton de chanvre à 3,5 cm de profondeur	22,4
	Béton de chanvre à 10 cm de profondeur	20,6
	Béton de chanvre à 30 cm profondeur	20,4

Diagramme Infra Rouge : confirmation de l'utilisation d'un latex



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

Retours d'expériences sur des bâtiments réels

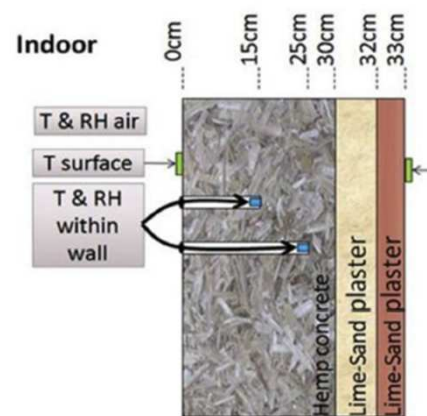


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

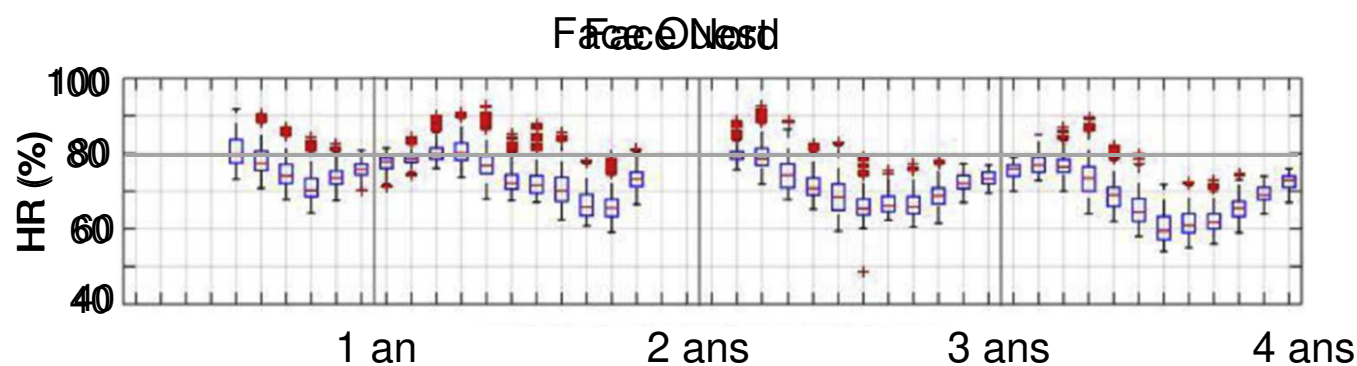
Echelle
BAT



Moujalled, 2018



- Maison en béton de chanvre projeté
- Enduit sable-chaux appliqué directement après la projection



Avec un séchage insuffisant, l'humidité relative reste supérieure à 80 %

Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Respect de règles de l'art = condition sine qua non pour le maintien des caractéristiques des matériaux dans le temps AQC, 2018

**Echelle
BAT**

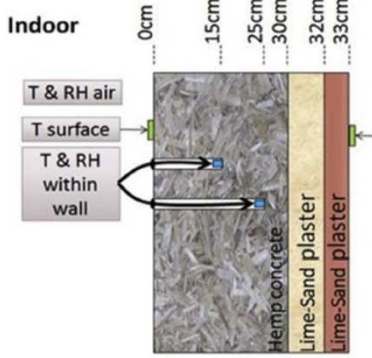
- Règles de mise en œuvre < Couple produit / domaine d'emploi
- Tout matériau, mal conçu ou mis en œuvre, est une source potentielle de pathologie, pas seulement les matériaux biosourcés
- Ces points de vigilance ne résident pas dans les matériaux eux-mêmes mais souvent dans les techniques de mise en œuvre

➔ Rédaction de guides à destination des professionnels : points de vigilance et bonnes pratiques isolants biosourcés, les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue, les règles professionnelles de construction en chanvre/en paille

Retours d'expériences sur des bâtiments réels

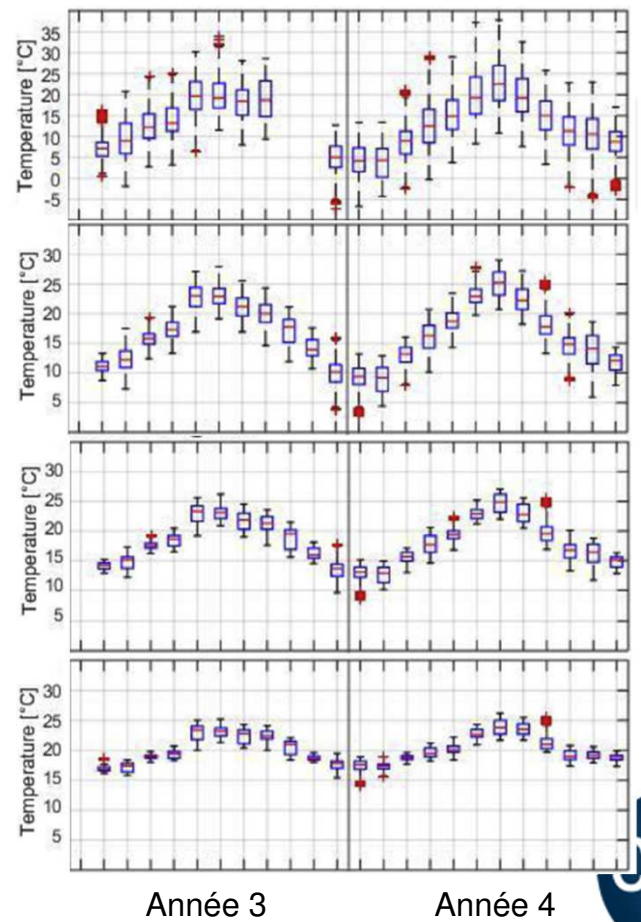
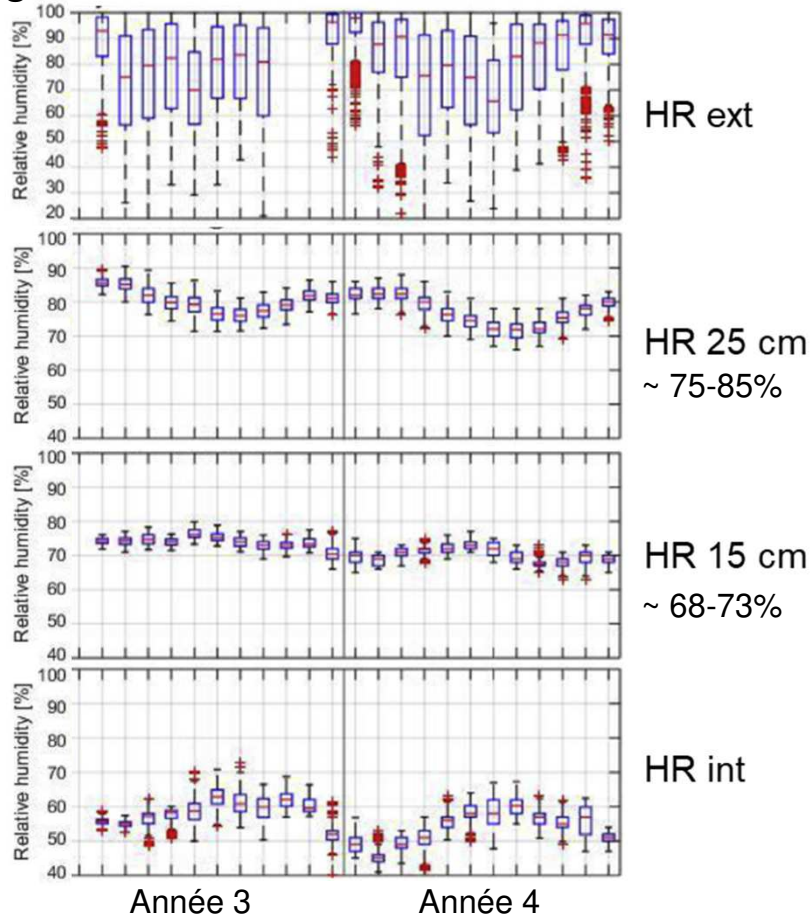
Collecte de données concernant les conditions effectives de T et HR dans les matériaux biosourcés mis en œuvre dans un système constructif complet et soumis aux sollicitations climatiques réelles

**Echelle
BAT**



Périgueux, Sud-Ouest France
Moujalled, 2018

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels



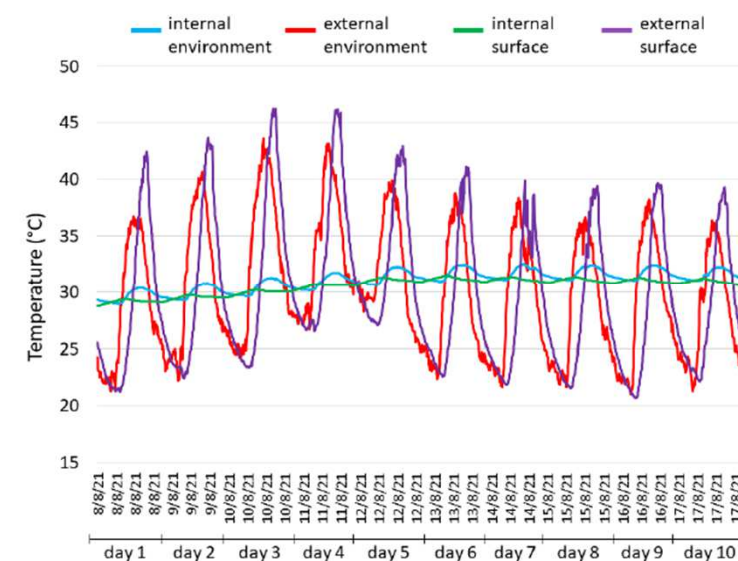
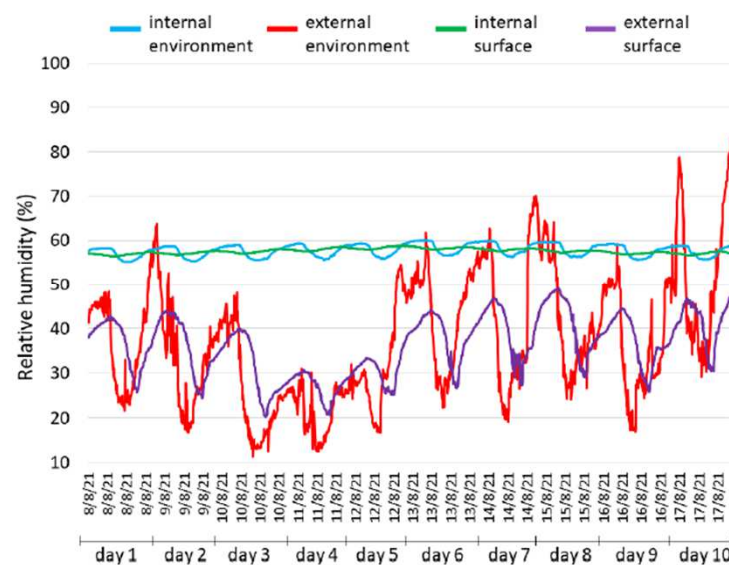
GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Collecte de données concernant les conditions effectives de T et HR dans les matériaux biosourcés mis en œuvre dans un système constructif complet et soumis aux sollicitations climatiques réelles

**Echelle
BAT**



Sicile, Italie
Moletti, 2023



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



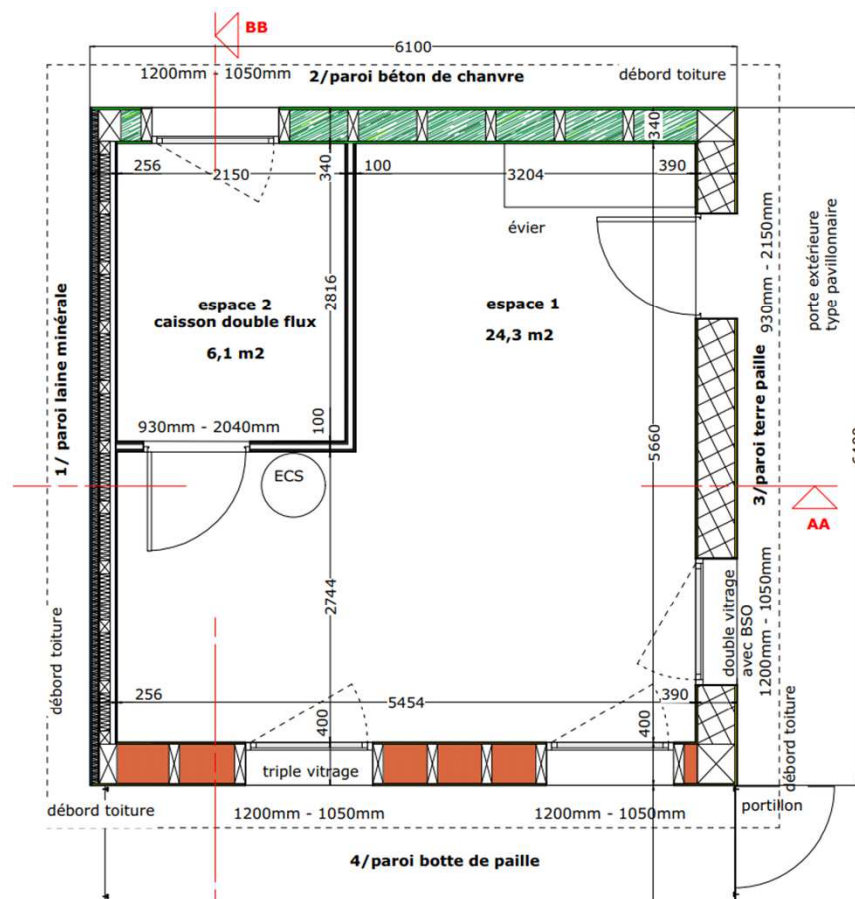
Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Prototype pédagogique IUT Tarbes

Echelle
BAT



1/Paroi laine minérale
ITE support d'enduit à la chaux 60 mm R=1,20
OSB 12 mm
Ossature bois + remplissage laine de roche 100 mm R=3,12
Doublage intérieur avec parevapeur

2/Paroi béton de chanvre (non porteuse)
Enduit extérieur VPI RENOPASS CHAUX visé par l'Atex 2482
Bloc Biosys 30 cm R = 4,21
Enduit chaux à l'intérieur

3/Paroi terre-paille
Enduit extérieur CHAUX
Ossature bois + remplissage terre-paille ép.350 mm
Enduit terre à l'intérieur

4/Paroi botte de paille
Enduit extérieur CHAUX
Ossature bois + botte de paille ép.370mm
Enduit terre à l'intérieur

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels



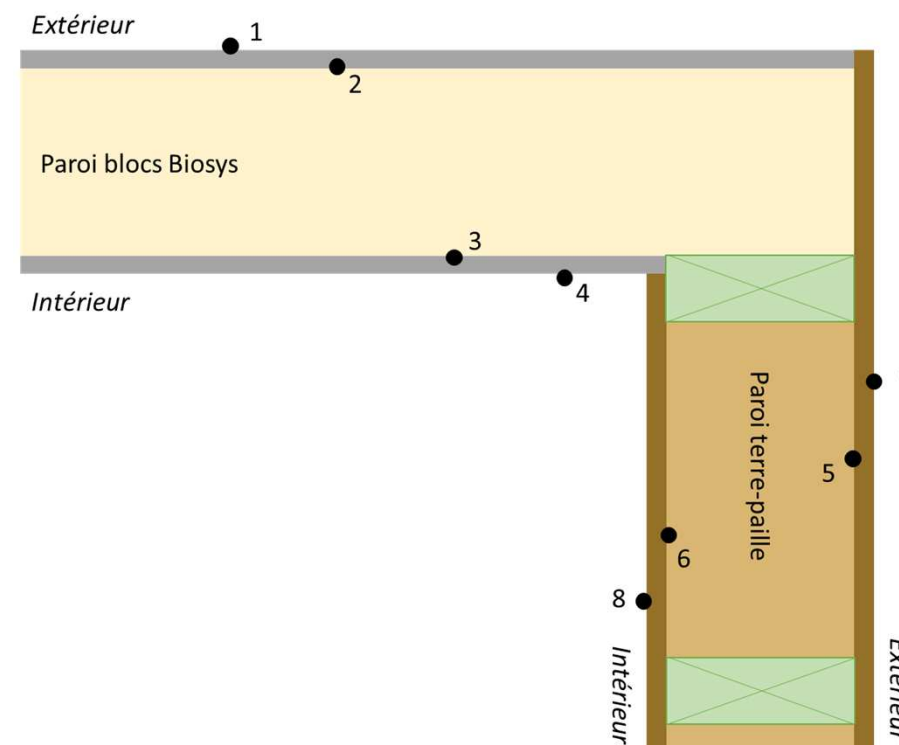
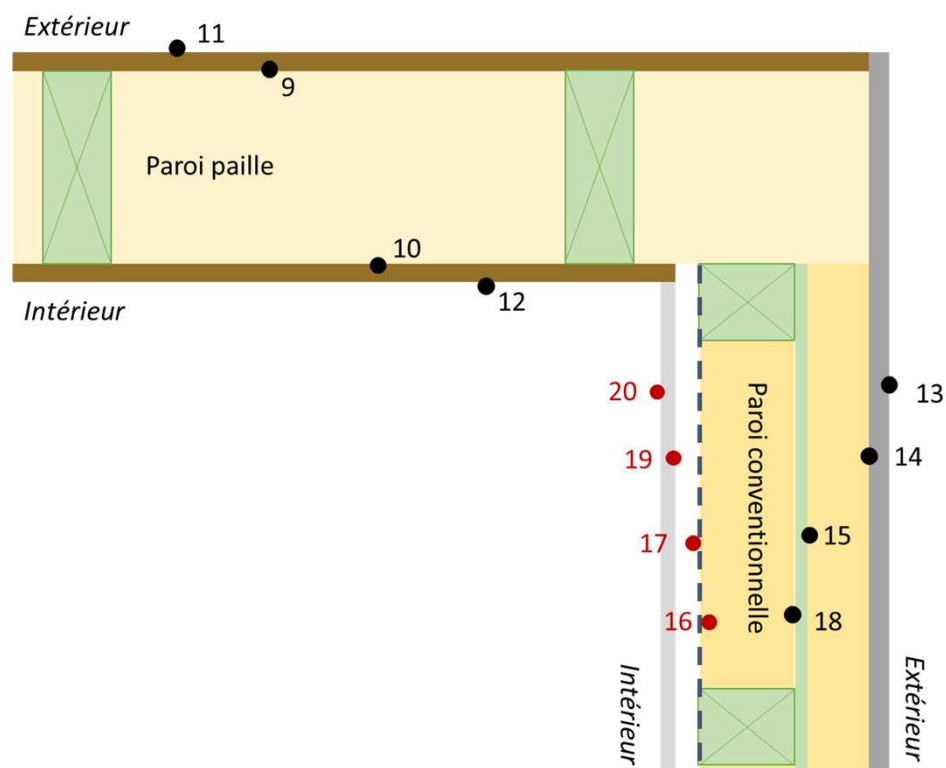
GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Prototype pédagogique IUT Tarbes

Thermohygromètres capacitifs :
HIH4602 Honeywell



**Echelle
BAT**



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des bâtiments réels



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

**Echelle
BAT**

➡ Collecte de données concernant les conditions effectives de T et HR dans les matériaux biosourcés mis en œuvre dans un système constructif complet et soumis aux sollicitations climatiques réelles

⇒ Très différentes en fonction de la zone climatique et du système constructif

⇒ Les protocoles de vieillissement accéléré doivent être déclinés

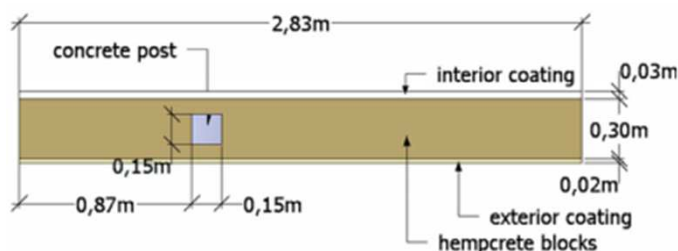
Arizzi, 2016

➡ Mise à disposition des données acquises dans les différents bâtiments instrumentés ?

Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



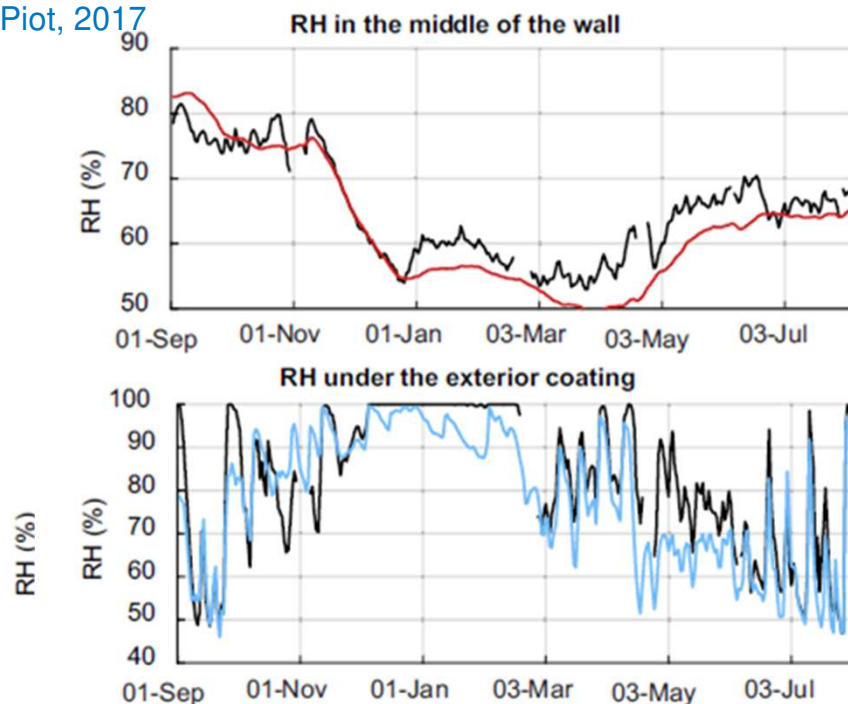
GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



- 2 cellules à l'échelle mur
- Utilisation de deux enduits

**Echelle
MUR**

Piot, 2017



Enduit imperméable à l'eau liquide

Humidité relative après régulation de HR inférieure à 70 %

Enduit perméable à l'eau liquide

Humidité relative plus élevée

100 % HR derrière l'enduit avec un développement fongique

Est-ce la bonne échelle d'étude ?

Sollicitation climatique représentative ?

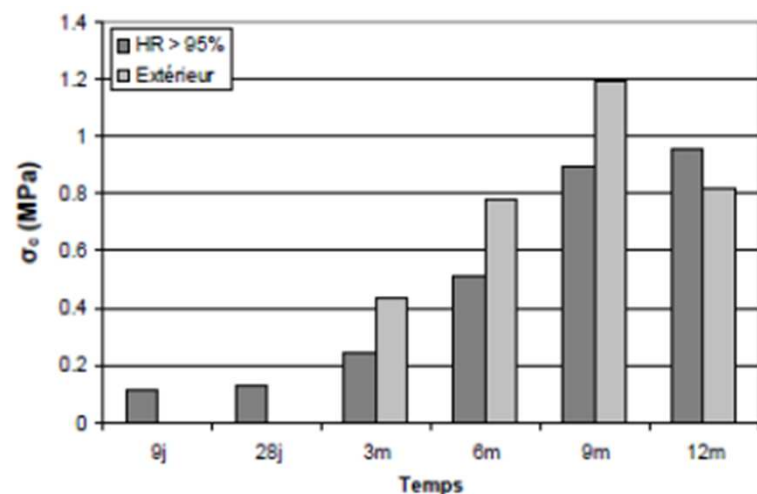
=> Conception architecturale

Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »

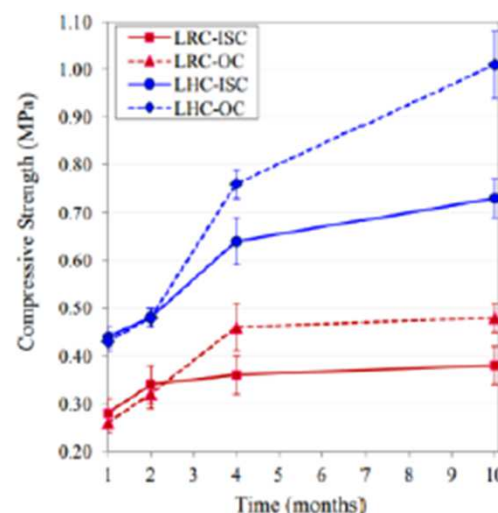


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

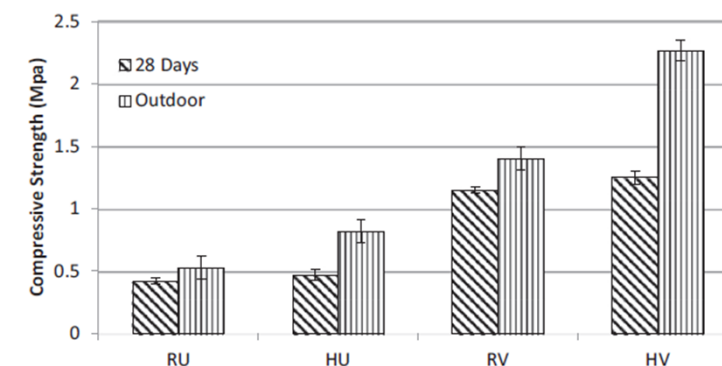
Echelle
MAT



Magniont, 2010



Chabannes, 2015



Sheridan, 2020

➡ Conditions extérieures favorable au phénomène de carbonatation/minéralisation, favorable à la performance mécaniques des bétons végétaux

➡ Attention à l'effet d'échelle...

Mécanismes de vieillissement : carbonatation/minéralisation

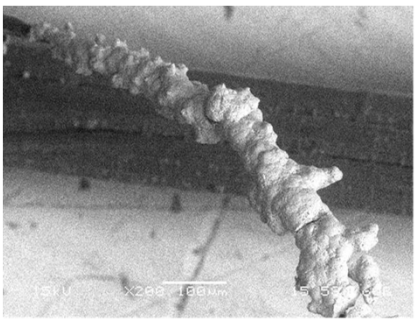


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

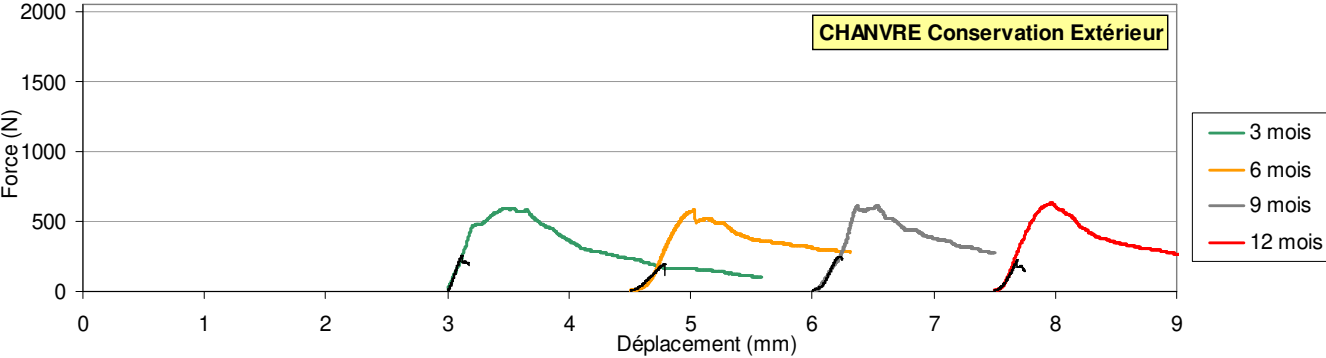
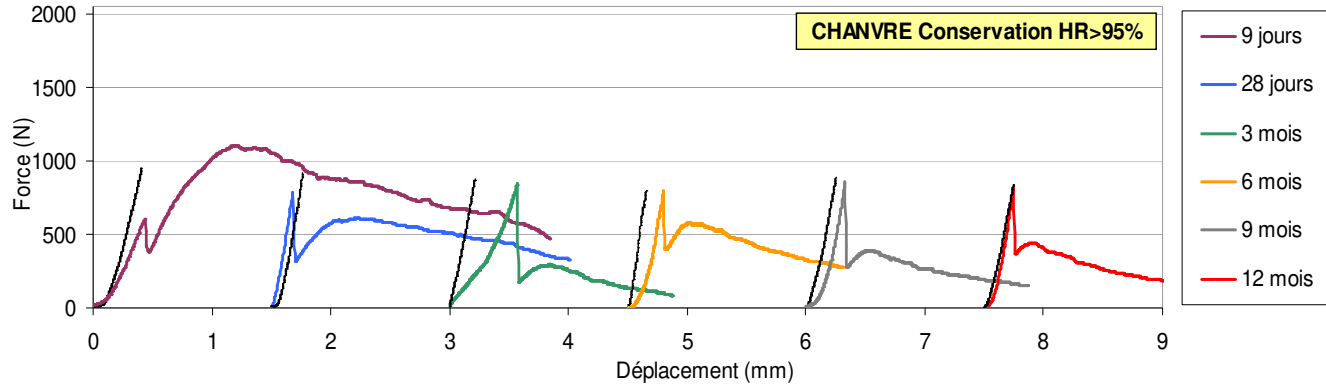
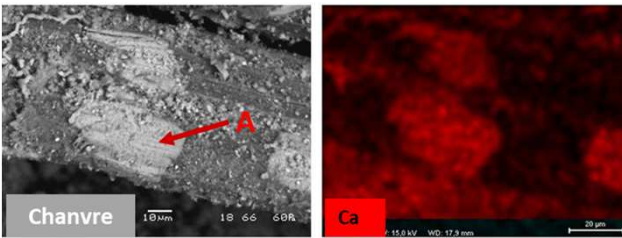
- ➔ Comprendre les mécanismes d'interactions chimiques liant/particules
- ➔ Evaluer l'impact de ces interactions sur les propriétés d'usage des composites

**Echelle
MICRO**

Dans les matériaux fibrorenforcés



➔ Affinité des espèces calciques avec les fibres



Sabathier, 2017

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Mécanismes de vieillissement : carbonatation/minéralisation

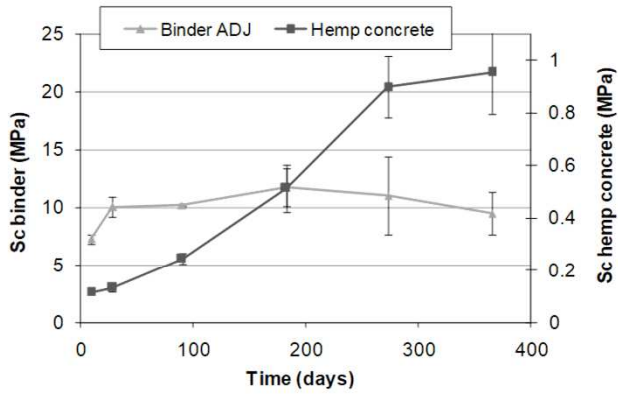


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

➔ Comprendre les mécanismes d'interaction chimique liant/particules
➔ Evaluer l'impact de ces interactions sur les propriétés d'usage des composites

**Echelle
MICRO**

Dans les bétons végétaux



72 h

Minéralisation

2,5 ans

➔ Nature calcique des inclusions minérales

Magniont, 2010

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

➔ Les mêmes mécanismes peuvent induire des effets opposés



Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Vieillissement naturel et de référence



Goutière, 2023



Echelle
MAT



- VRef : Salle de stockage, ~20-25 °C et 60% HR, suivi de T et HR

- VNat : Coursive extérieure de l'IUT de Tarbes depuis le 04/11/2022, suivi de T et HR

- Échéances de caractérisation : après 1 an (novembre 2023) et 2 ans (novembre 2024)
- Caractérisation élémentaire : composition chimique, masse, volume
- Propriétés d'usage : thermiques, hygriques et mécaniques

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



23

Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »

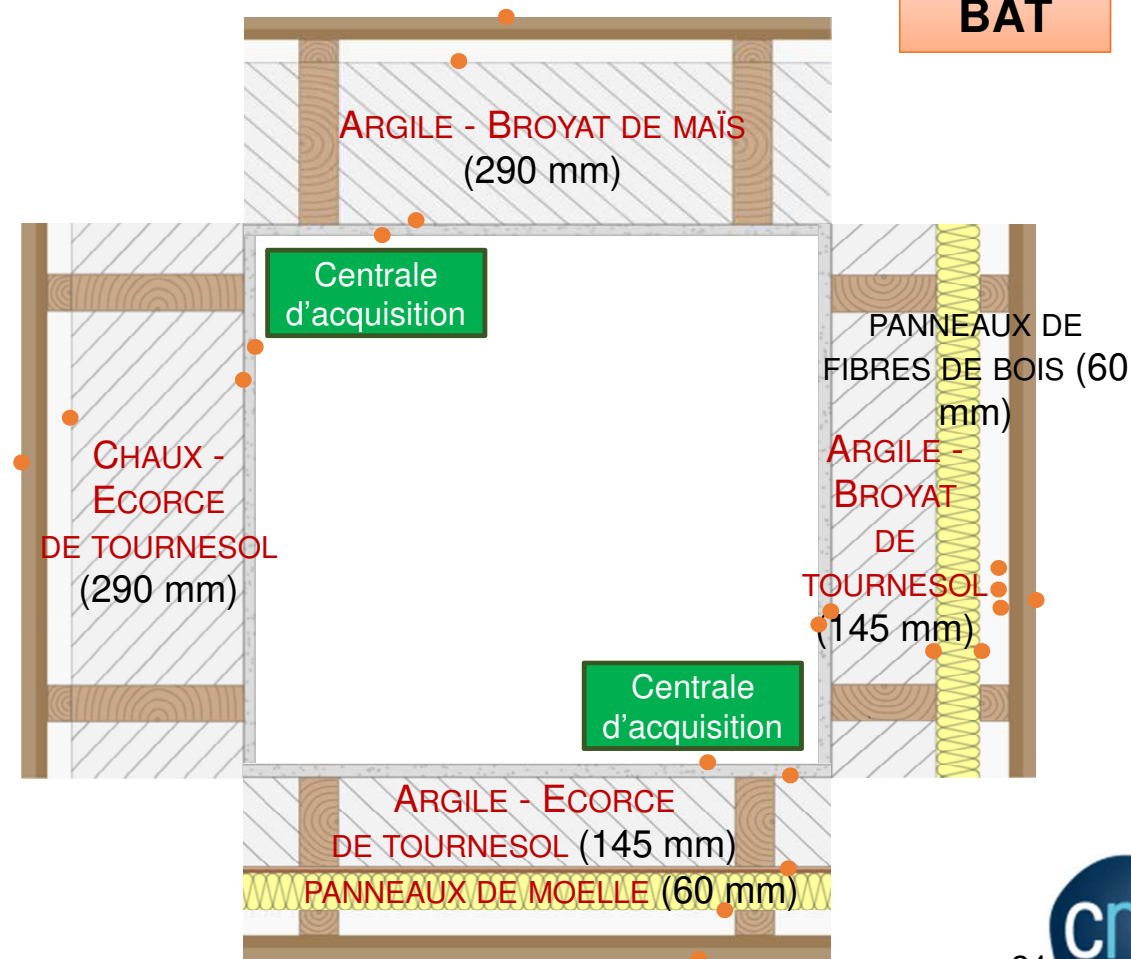


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Validation du protocole de vieillissement accéléré – Prototype SAVASCO



Echelle
BAT



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Validation du protocole de vieillissement accéléré – Prototype SAVASCO

Echelle
BAT



Thermohygromètres capacitifs :
HIH4602 Honeywell



- Suivi des conditions de T et HR appliquées aux panneaux en environnement réel (climatique et solution constructive)



17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

25



Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

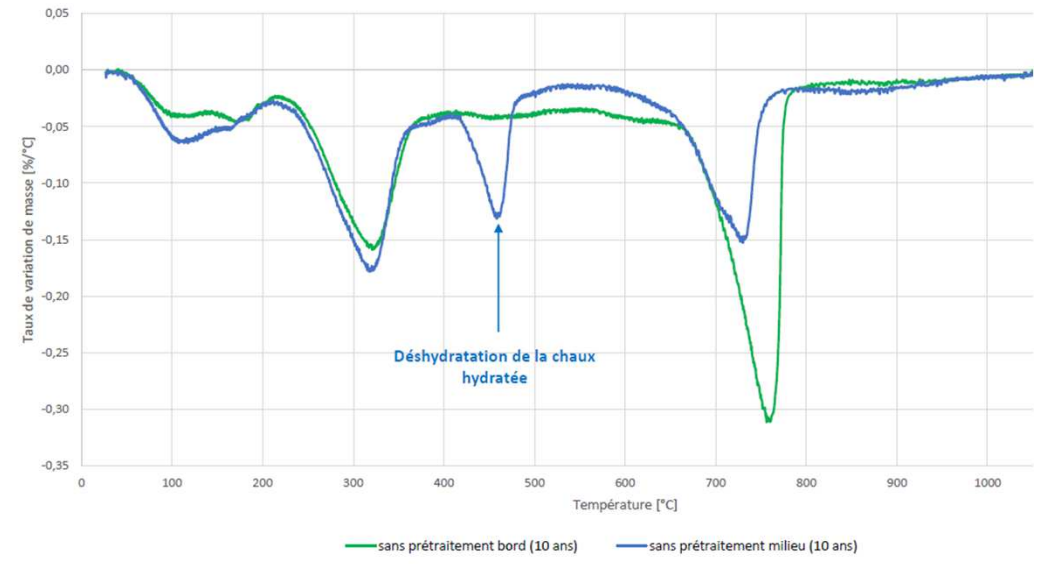
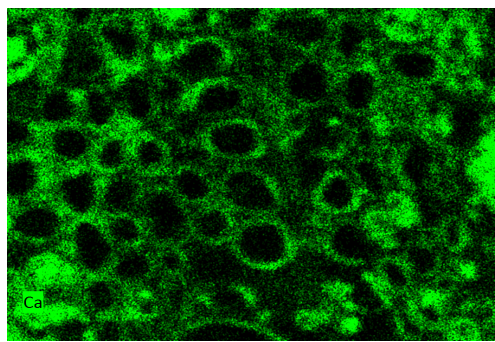
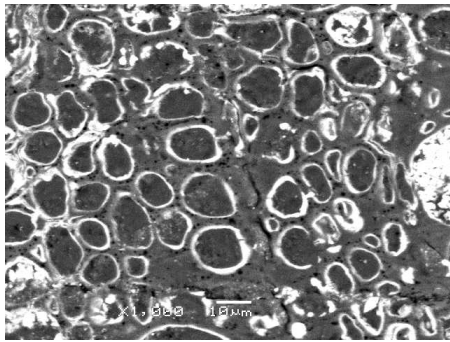
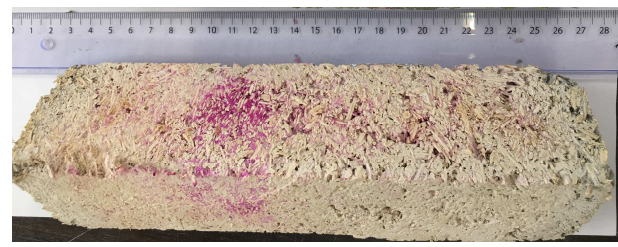
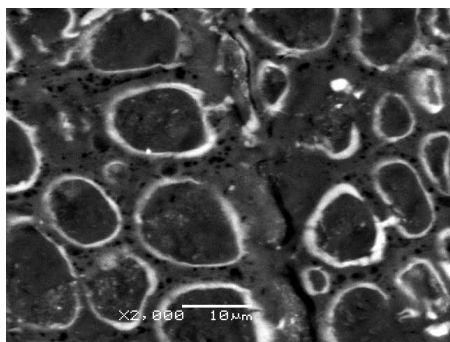
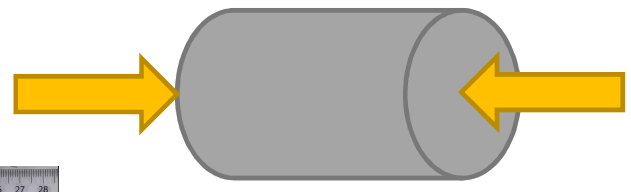
Lots éprouvettes cylindriques béton de chanvre âgées 10 ans
Chaux formulée commerciale / liant pouzzolanique métakaolin
Avec/Sans prétraitement

Dinh, 2014

**Echelle
MICRO**

**Echelle
MAT**

**Echelle
« MUR »**



Traoré, 2023

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

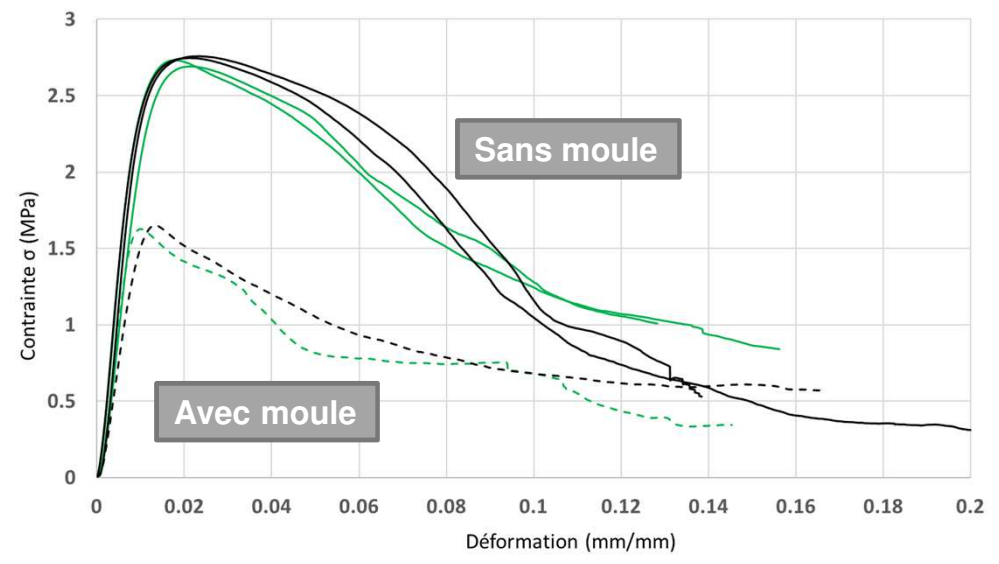
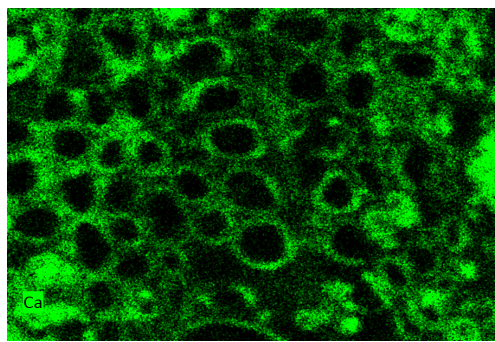
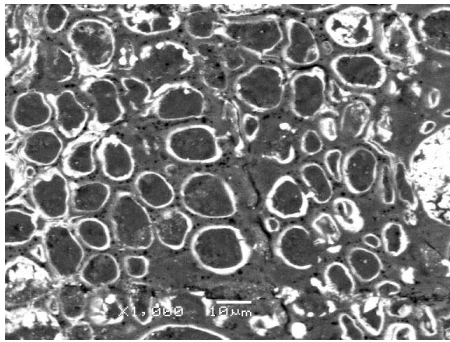
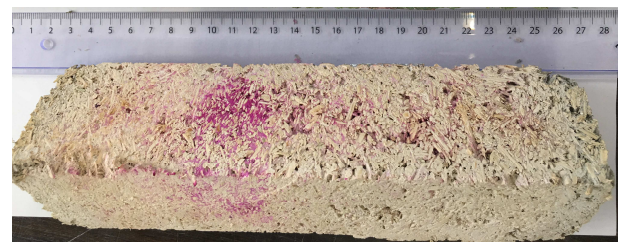
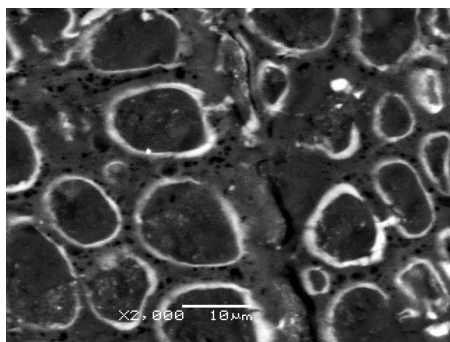
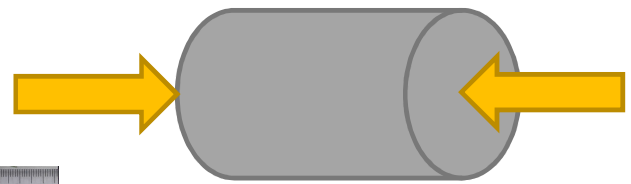
Lots éprouvettes cylindriques béton de chanvre âgées 10 ans
Chaux formulée commerciale / liant pouzzolanique métakaolin
Avec/Sans prétraitement

Dinh, 2014

**Echelle
MICRO**

**Echelle
MAT**

**Echelle
« MUR »**



Traoré, 2023

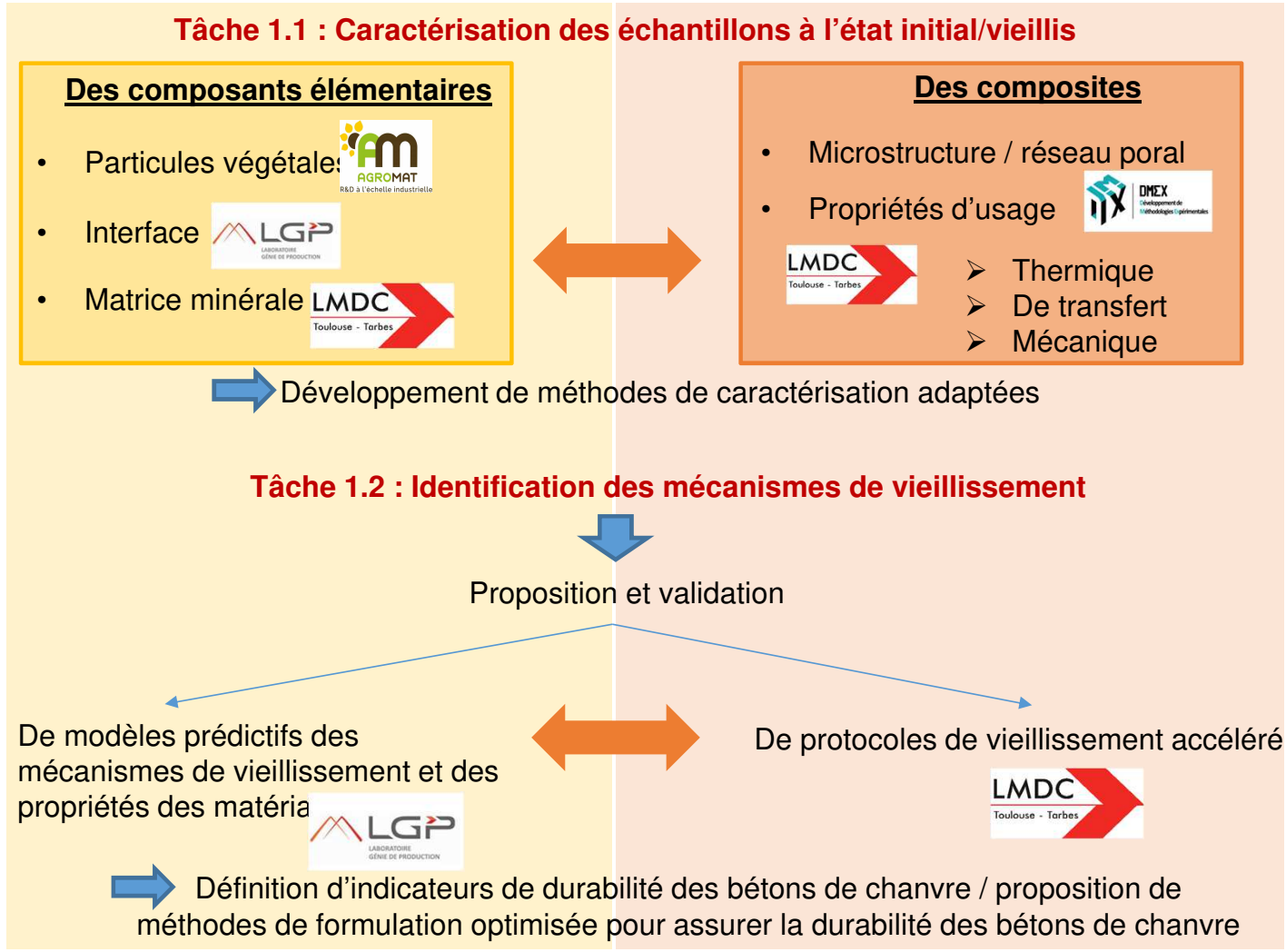
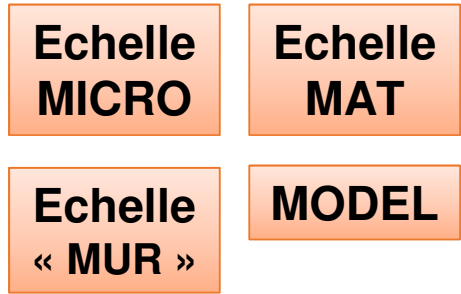
17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Retours d'expériences sur des vieillissements « naturels »



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



BELIEVER



Vieillissements accélérés en laboratoire



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Objectif des vieillissements accélérés : accélérer les mécanismes sans les modifier

- ▶ **Conditions statiques** : à T et HR fixés
- ▶ **Conditions dynamiques**
 - Humidification/immersion séchage
 - Gel/dégel
 - Simulation climatiques
- ▶ **Autres tests** : carbonatation, capillarité, abrasion...

Vieillissements accélérés en laboratoire



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Echelle matériau
Vieillessement accéléré



Caractérisations multiéchelles

- ▶ Propriétés chimiques et physico-chimiques
- ▶ Microstructure
- ▶ Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques

Echelles du matériau
au bâtiment
Vieillessement naturel



**Compréhension et validation
des
mécanismes de vieillissement**

Prédiction de la durée de vie ↔

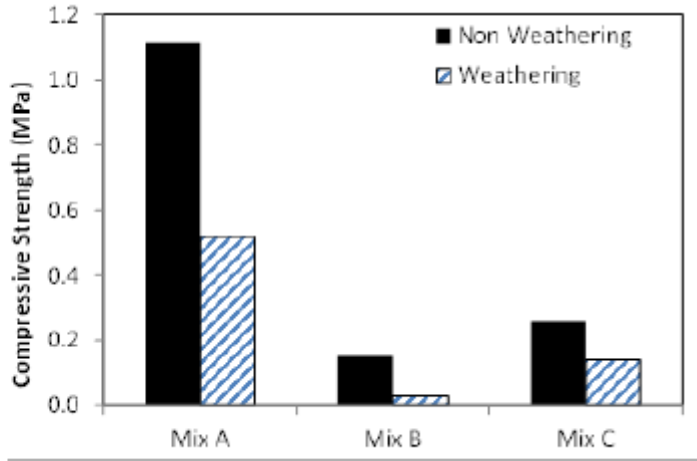
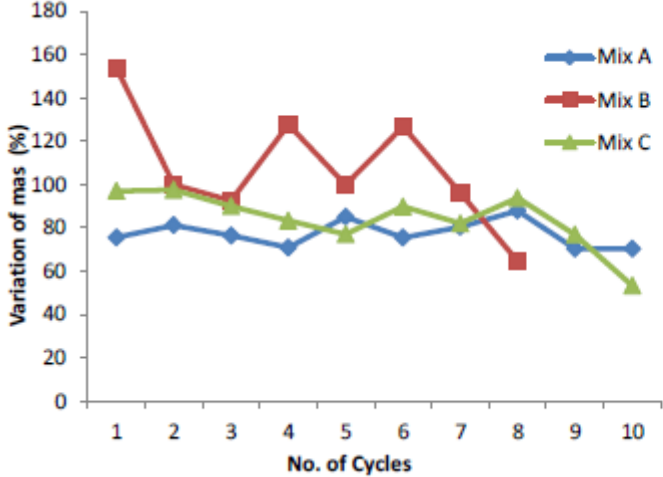
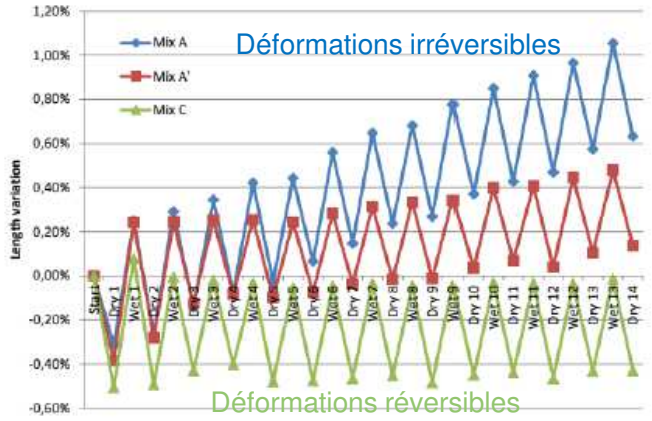
Comparaison avec d'autres
matériaux utilisés
traditionnellement pour ce type
d'application



Conditions dynamiques

► Cycles d'immersion et séchage

48 heures à 40°C et immersion dans l'eau à 20°C pendant 48 heures
3 formulations différentes



- Influence de la formulation
- Influence des cycles sur la résistance à la compression

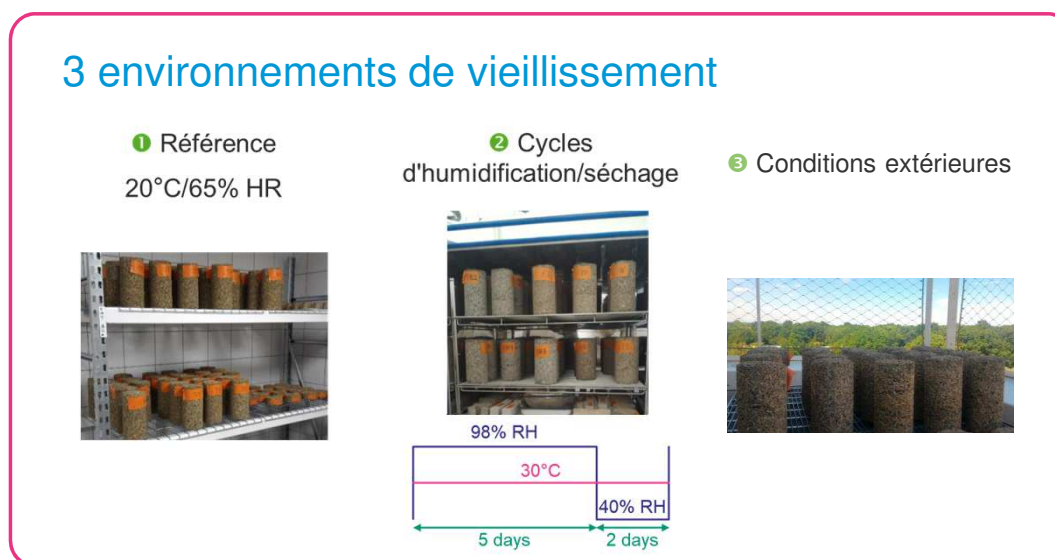
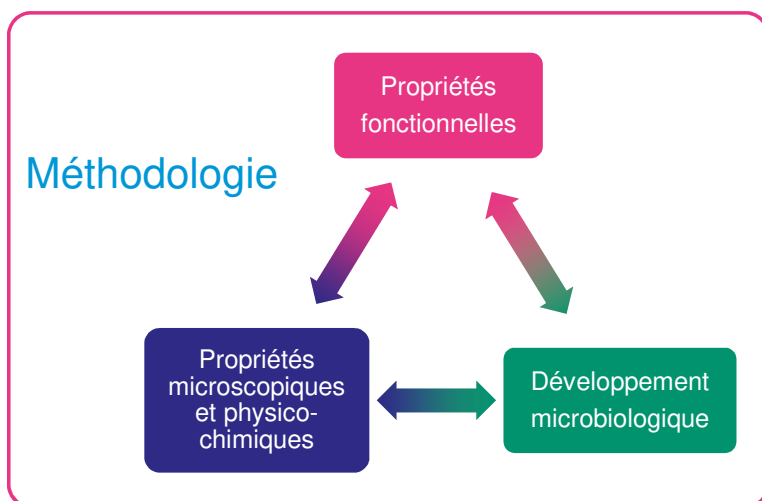


Conditions dynamiques

► Cycles d'humidification/séchage



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



Fabrication des échantillons
Mesures initiales

90 jours
20°C /
65% HR

1 mois

3 mois

6 mois

12 mois

18 mois

24 mois

Séchage

Vieillessement des échantillons

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

[Delannoy 2018]





Evolution des propriétés de la chènevotte brute

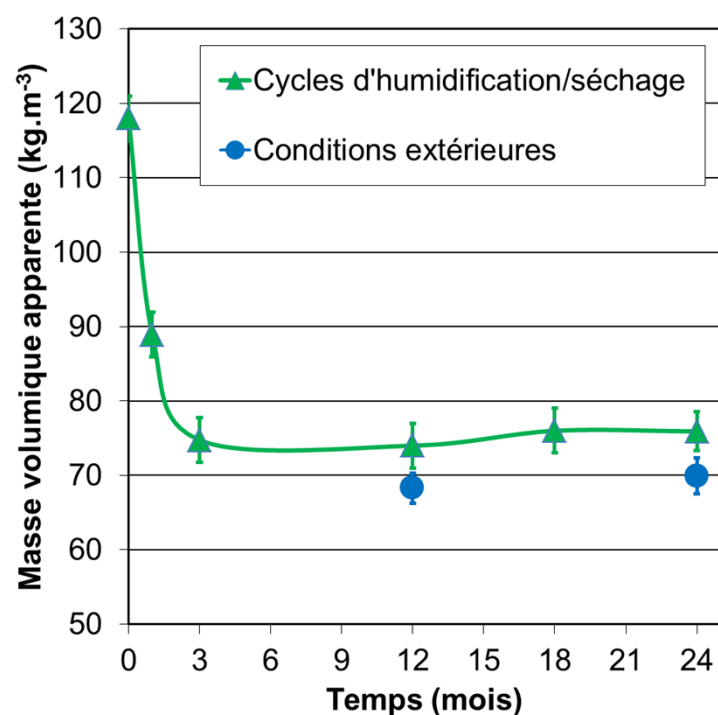


Conditions dynamiques

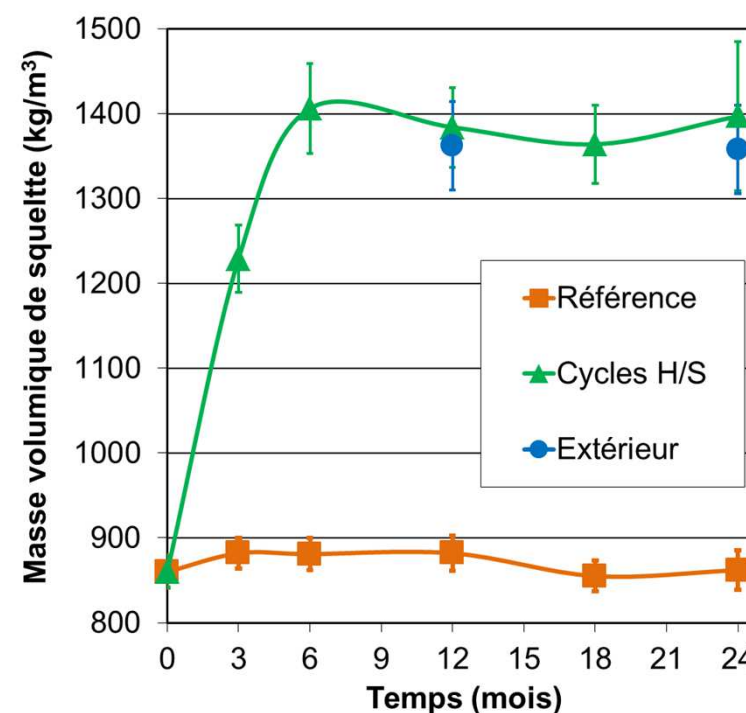


GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- Evolution de la masse volumique pendant les cycles d'humidification/séchage et en conditions extérieures



- Forte augmentation de la masse volumique de squelette

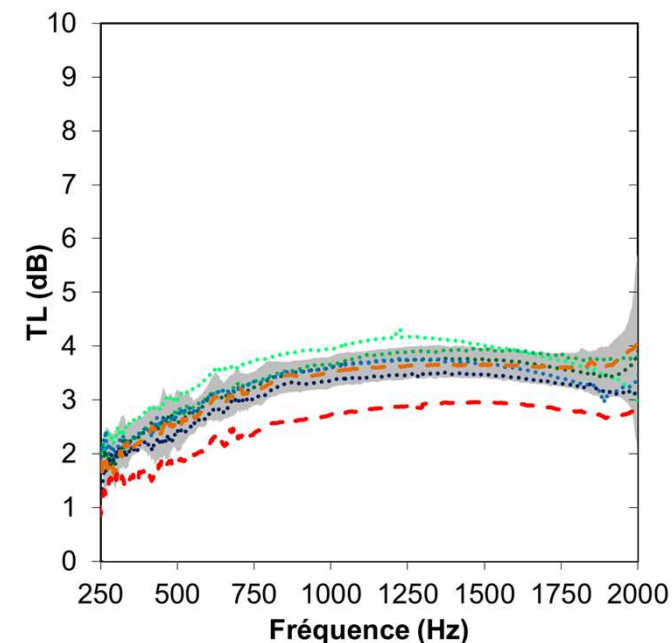
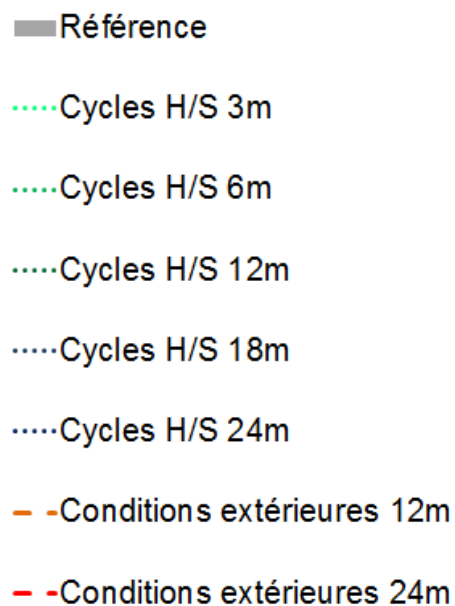
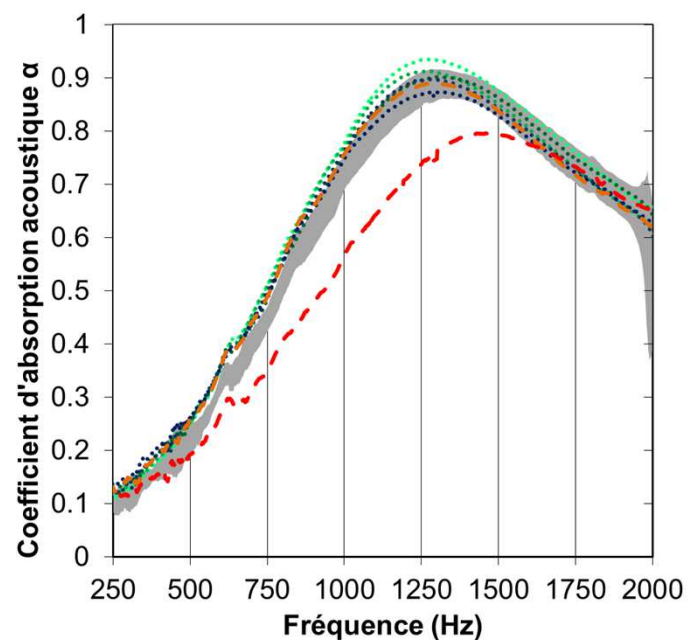


Conditions dynamiques



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

► Performances acoustiques



- Référence : variations non significatives
- Cycles H/S : α diminue et décalé vers les basses fréquences entre 0 et 3 mois
- Conditions extérieures : Forte diminution et décalage vers les hautes fréquences de α à deux ans

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Conditions dynamiques

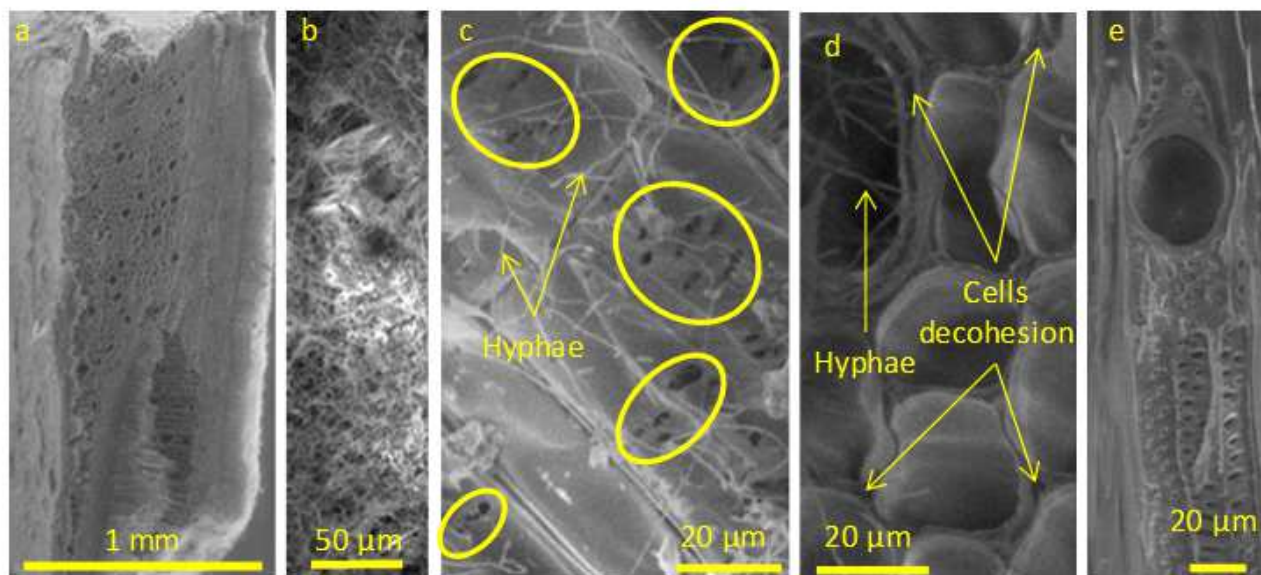
► Analyse microscopique

- Action des microorganismes sur la microstructure
- Gonflement des particules

► **Création de porosités dans les parois végétales**



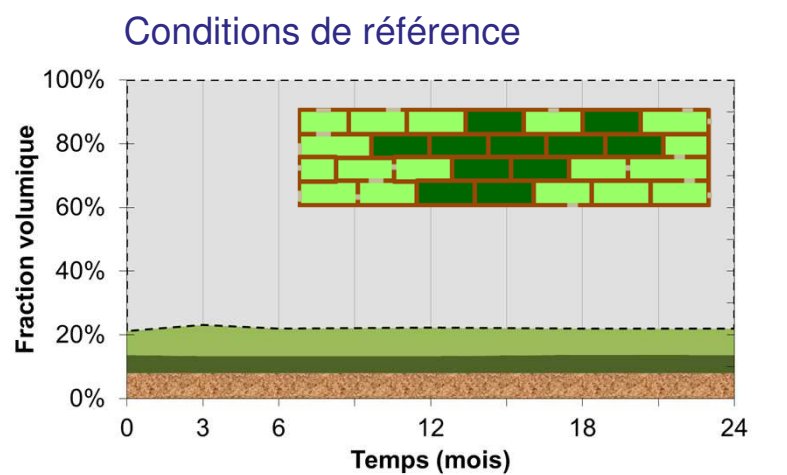
GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



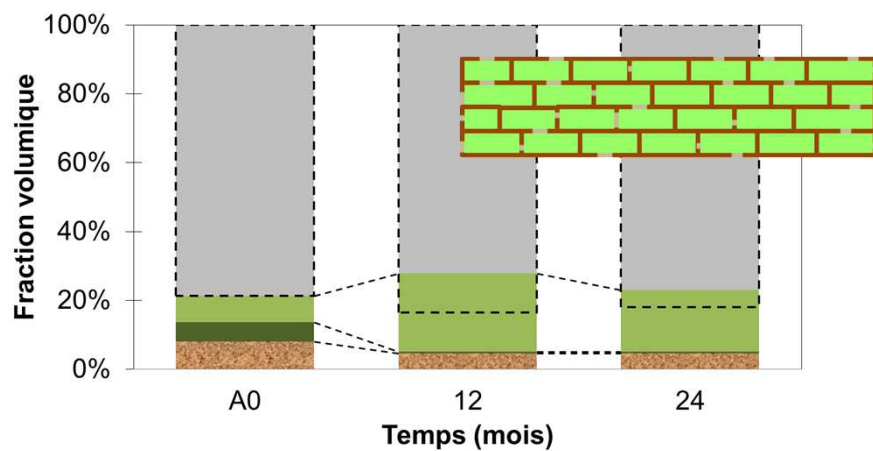
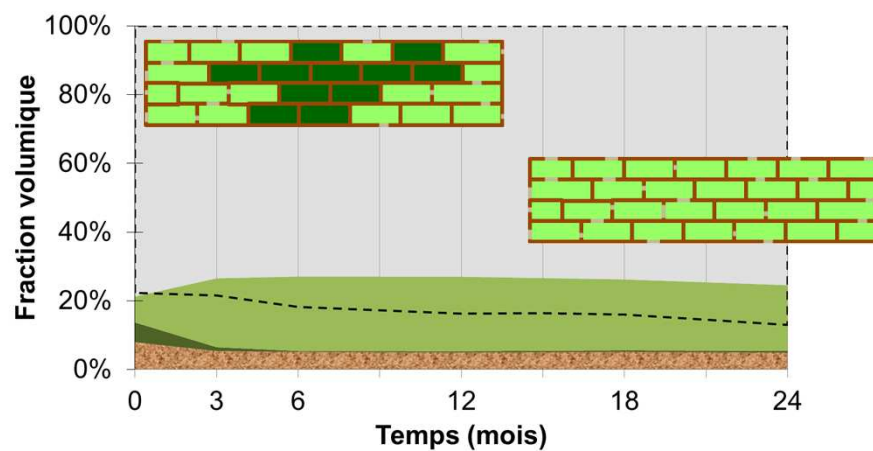
Conditions dynamiques



► Evolution de la microstructure pendant les vieillissements



- η paroi végétale
- Φ fermée
- Φ intra_ouverte
- Φ inter
- Φ acou





Evolution des propriétés du béton de chanvre

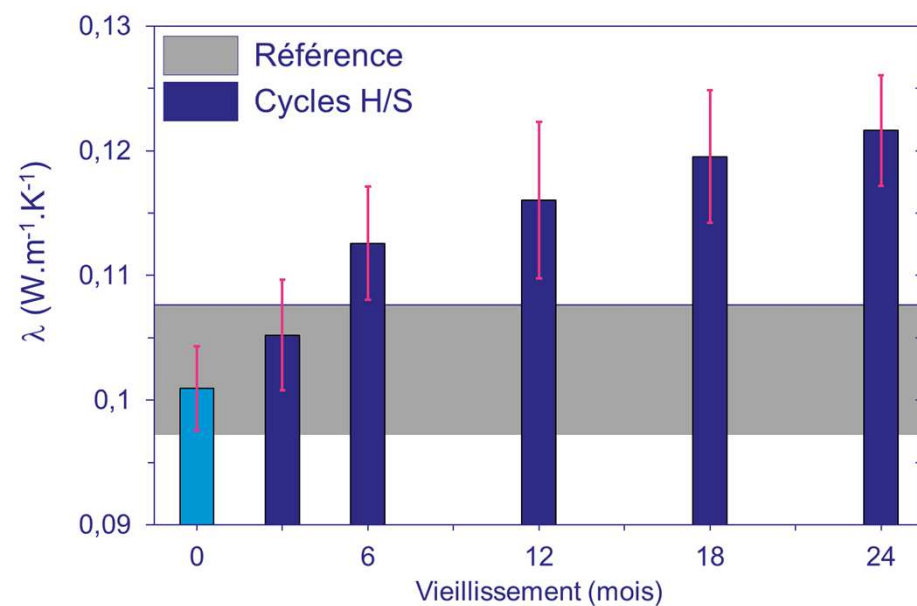


Propriétés fonctionnelles



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

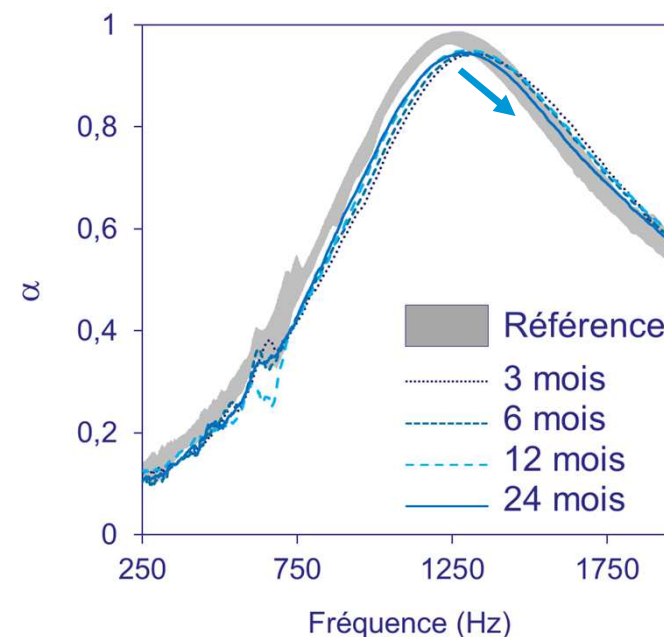
Evolution de la conductivité thermique



- ✘ Augmentation avec les cycles H/S (+20% en deux ans)

$$\lambda_{air} = 0,024 \text{ W.}(m.K)^{-1} / \lambda_{Cu} = 380 \text{ W.}(m.K)^{-1}$$

Evolution de l'absorption acoustique

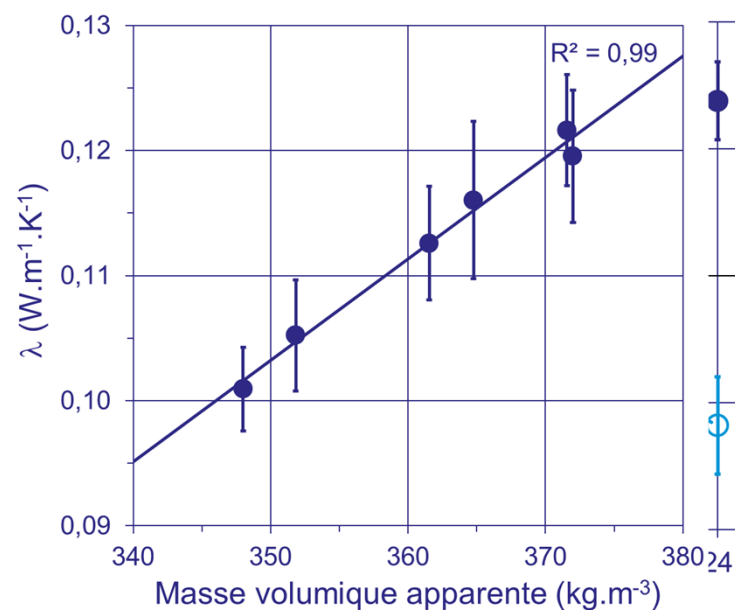


- ✘ A trois mois : diminution du maximum, décalage du pic vers les HF
- ✘ Entre 3 mois et 2 ans : propriétés stables

Relations avec la microstructure

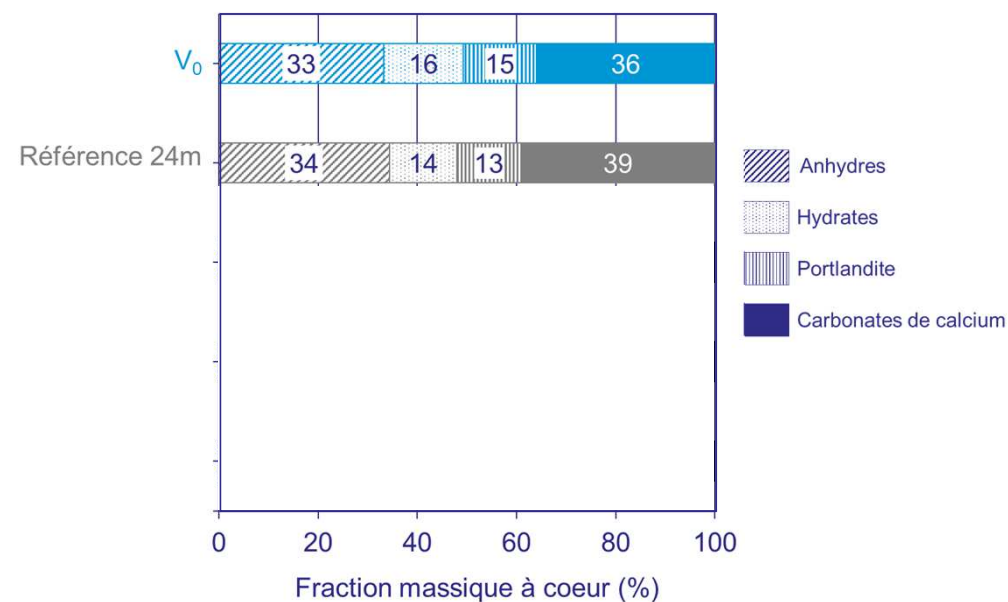


Evolution de la masse volumique



✂ Relation conductivité thermique-masse volumique

Evolution de la microstructure du liant



✂ Poursuite de l'hydratation et carbonatation pendant les cycles H/S

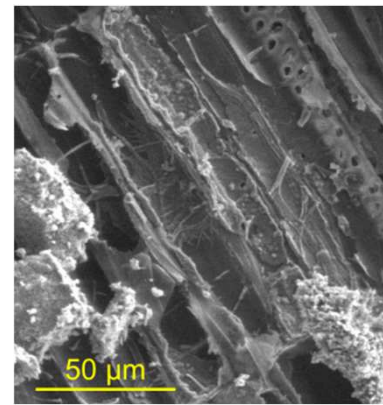
✂ Densification de la matrice

Observation de la microstructure



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

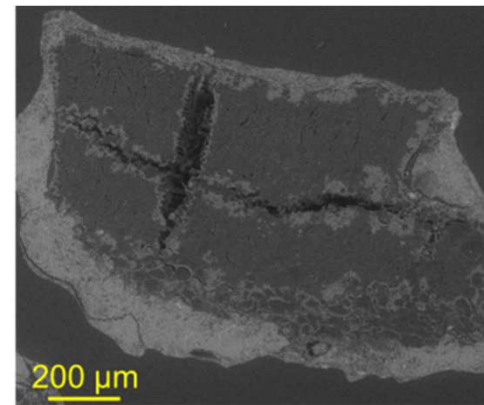
1 Action des microorganismes



Perforation des parois

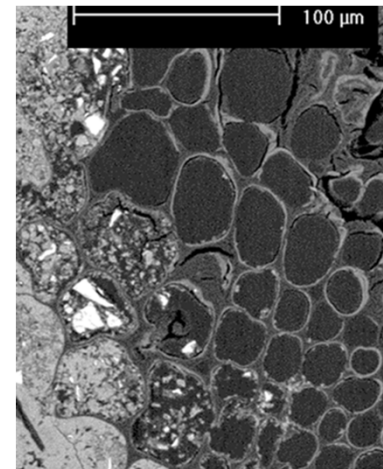
➔ Augmentation de la porosité intra-particulaire

2 Gonflement retrait



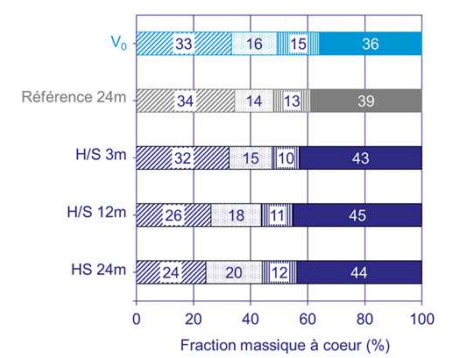
Déchirements

3 Minéralisation des granulats



➔ Diminution de la tortuosité

4 Hydratation et carbonatation du liant



➔ Densification de la phase minérale

 **Vieillessement naturel?**
A l'échelle des bâtiments réels ?



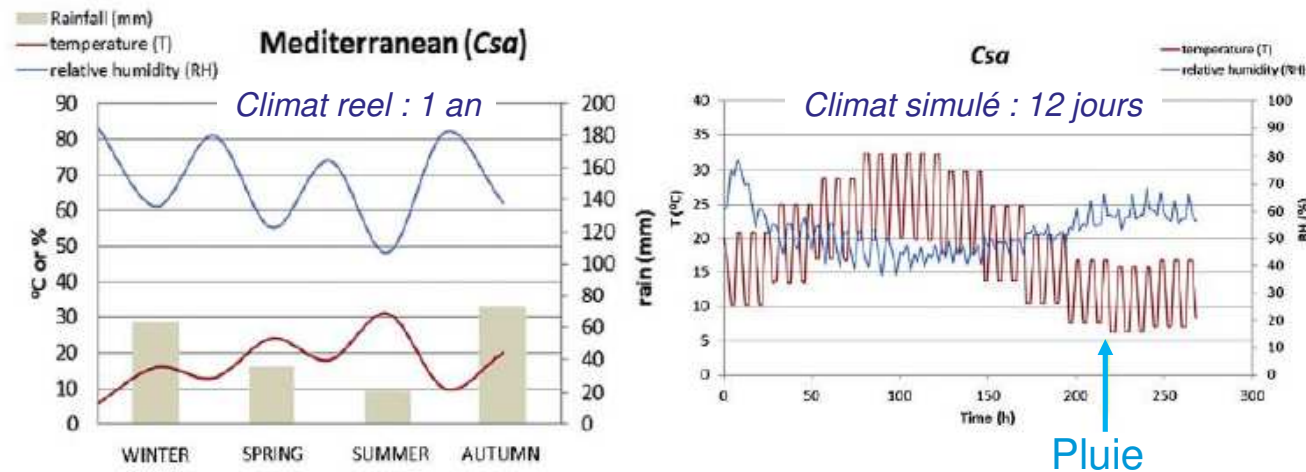
Conditions dynamiques



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

► Simulations climatiques

Simulations de trois climats : méditerranéen, tropical et semi-aride + exposition aux sels
Variation de température, d'humidité relative et aspersion d'eau



*Chaux-chanvre
3 mois de durcissement
4x4x2 cm³*

*Evolution de la masse, de
la couleur, microstructure*

- ➔ Carbonatation des matériaux pendant le cycle (+biocarbonatation)
- ➔ Colonisation par des moisissures et bactéries
- ➔ *Influence sur les propriétés?*

Conditions dynamiques



► Cycles de gel-dégel

- Immersion dans l'eau pendant 24 heures puis 25 cycles entre -20 and 20°C (12h/12h)

Mix	Avant les cycles				Après les cycles				
	Compressive strength, σ , MPa		Young's modulus, E, MPa		Compressive strength, σ , MPa		Young's modulus, E, MPa		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
A	0.20 a	0.03	13.41 a	4.05	0.23 a	0.03	13.74 a	2.41	Chaux aériennes et hydrauliques
B	0.15 b	0.02	12.65 a	3.34	0.19 b	0.01	12.49 a	2.31	
C	0.44 c	0.10	17.40 b	1.48	0.30 a	0.09	25.87 a, b	11.2	Chaux + ciment
D	0.83 d	0.17	28.01 c	1.80	0.66 c	0.12	39.19 b	15.4	
E	0.55 c	0.09	49.40 d	12.20	2.78 d	0.28	323.89 c	13.8	Ciment

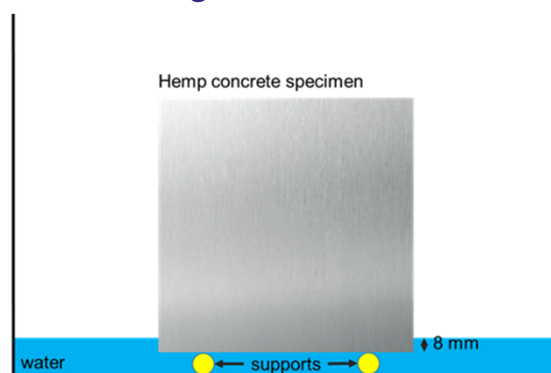
- ➔ Evolution de la résistance à la compression et du module d'Young pour les liants C, D et surtout E (ciment)
- ➔ Pas de perte de résistance mécanique

Autres tests

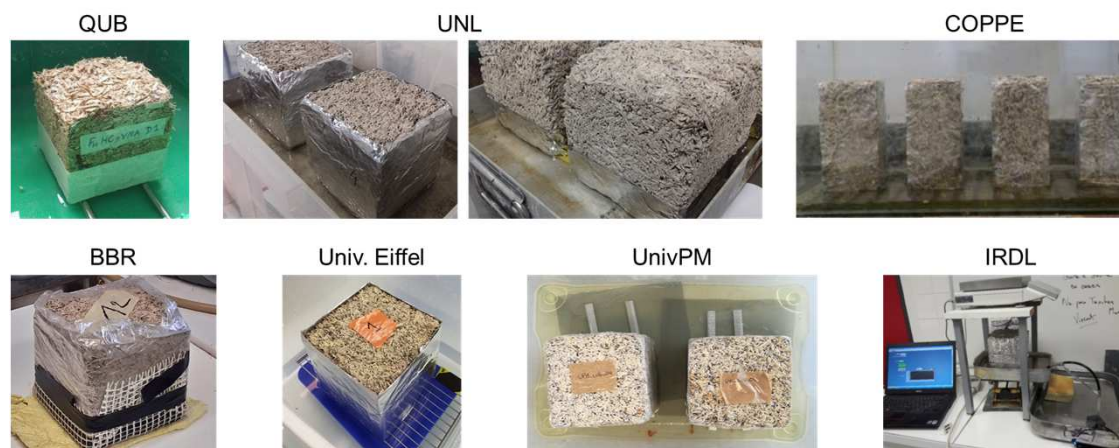


► Absorption capillaire (essais croisés RILEM TC 275)

Configuration du test



Essais dans 8 laboratoires

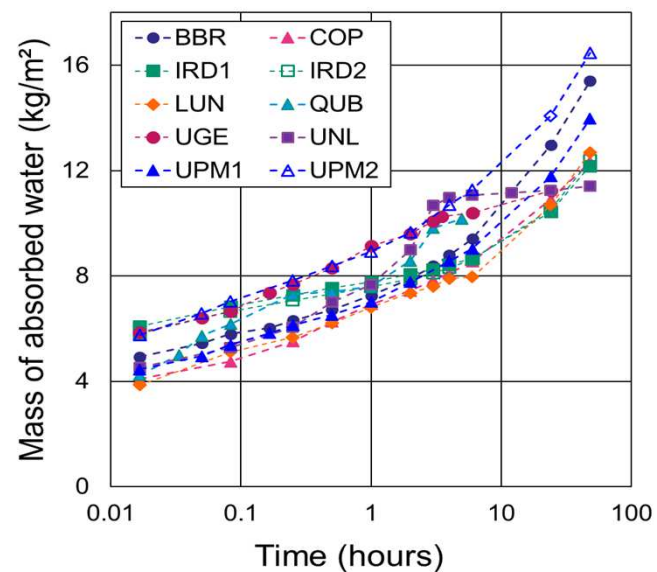


Suivi de la masse d'eau absorbée par unité de surface : $M_w = \frac{M - M_0}{A}$

Autres tests

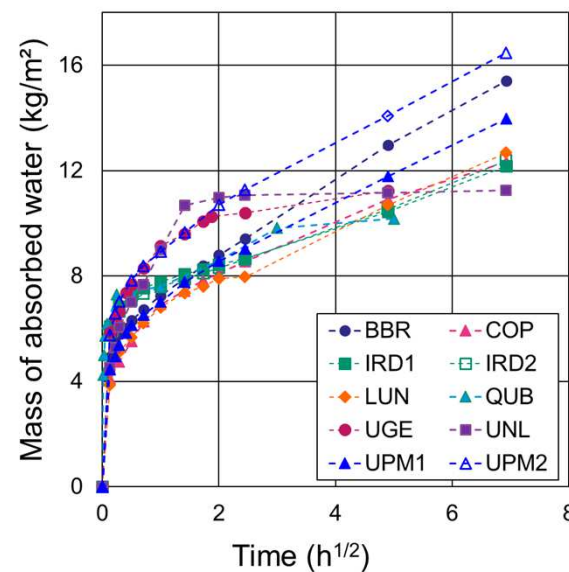


► Absorption capillaire (essais croisés RILEM TC 275)



Entre 0 to 6 heures : modèle logarithmique
Imbibition multidirectionnelle et gonflement
des granulats directement en contact avec
l'eau

$$W = K1 \text{ Log } (t) + IRA$$



Entre 1 et 48 heures : Modèle en
racine carrée du temps
Théorie de la diffusion

$$W = Ca\sqrt{t} + k$$

Lien avec la durabilité?

Autres tests

▶ Essais réalisés sur la terre

- ▶ Résistance à l'abrasion
- ▶ Absorption d'eau basse pression
- ▶ Résistance à l'érosion
- ▶ Test d'impact

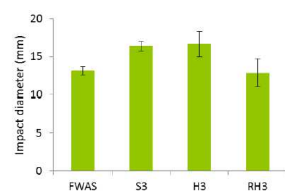
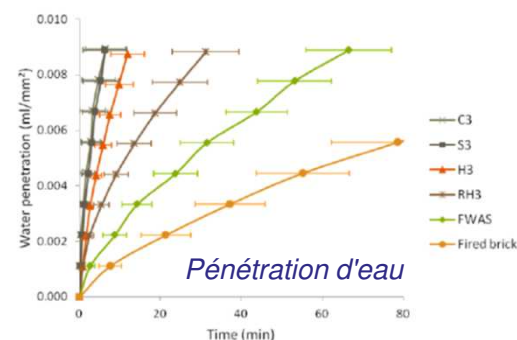
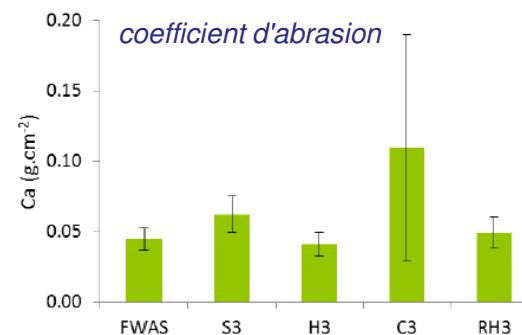
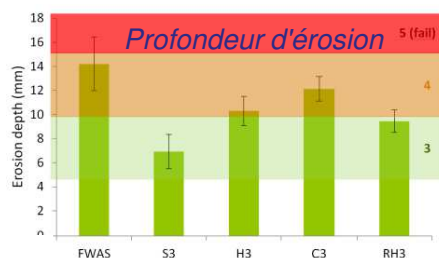
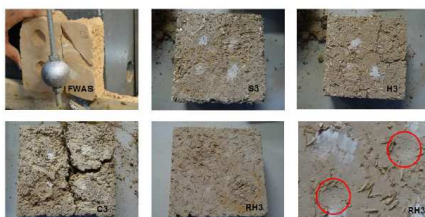


Figure 4-10. Impact diameter on the blocks



Synthèse des travaux existants



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

• Matériaux

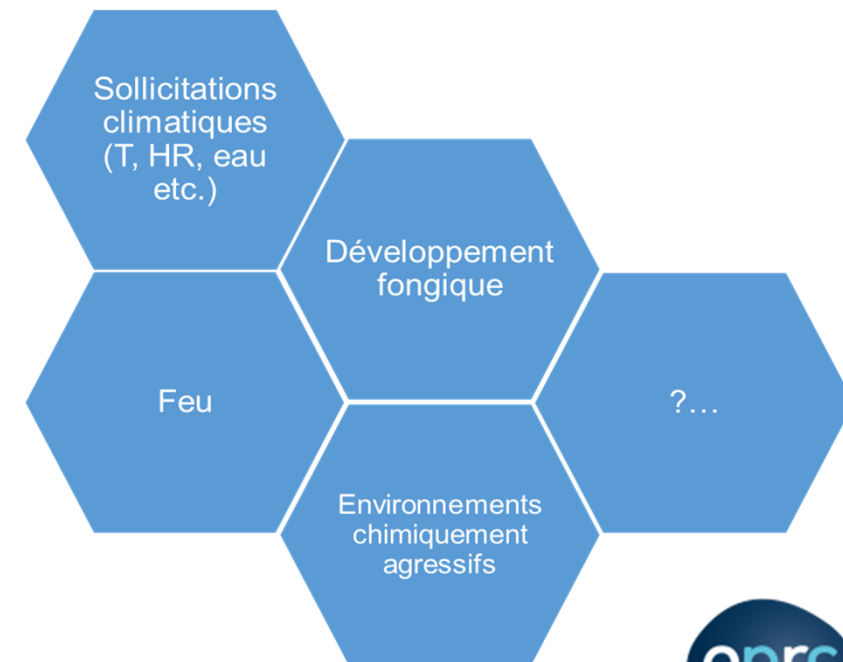
- Bétons végétaux : chanvre, lin
- Paille
- Matériaux composites renforcés par des fibres végétales
- Agro-ressources en vrac
- Isolants (laines, panneaux légers etc.)

• Impact sur les propriétés

- Microstructure
- Propriétés chimiques et physico-chimiques
- Propriétés mécaniques
- Propriétés thermiques
- Stabilité dimensionnelle
- Propriétés acoustiques...

• Agents agressifs

- Vieillessement naturel
- Vieillessement accéléré en laboratoire



Quels verrous ?



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

1. Identification des agents agressifs

responsables du vieillissement prématuré des matériaux de construction biosourcés (paramètres environnementaux, chimiques, biologiques)

2. Développement et validation de protocoles de vieillissement accélérés

adaptés à chaque typologie de matériaux biosourcés et déclinés par zone géographique

3. Compréhension des mécanismes de dégradation :

biodétérioration, interactions physico-chimiques matrice/particules végétales, lixiviation des matrices minérales, réaction au feu etc.

4. Proposition de solutions préventives ou curatives

à faible impact environnemental et sanitaire pour garantir le maintien des propriétés d'usage des matériaux biosourcés dans le temps et le contrôle de l'évolution de leurs performances lors de sollicitations accidentelles.

Conclusions



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- ▶ Variété de protocoles de vieillissement accéléré à l'échelle du matériau
- ▶ Variations de température et d'humidité, cycles d'immersion/humidification-séchage, gel-dégel...

Besoins et questions :

- ⌘ **Validation des protocoles** de vieillissement accéléré par des retours d'expériences pour des vieillissements naturels
 - ➔ protocole court et représentatif
- ⌘ **Sélection des essais** pertinents pour évaluer le vieillissement des matériaux
- ⌘ **Validation/Identification des mécanismes** de dégradation

Résultats attendus

- ⌘ Evolution des performances des matériaux dans le temps

Conclusions



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Etudes existantes à l'échelle de la paroi?

Impact du vieillissement sur le comportement hygrothermique de parois

Echelle matériau

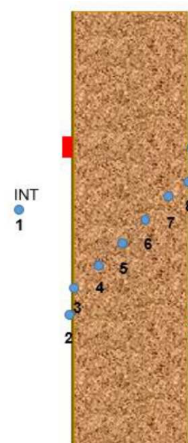
Propriétés intrinsèques des matériaux



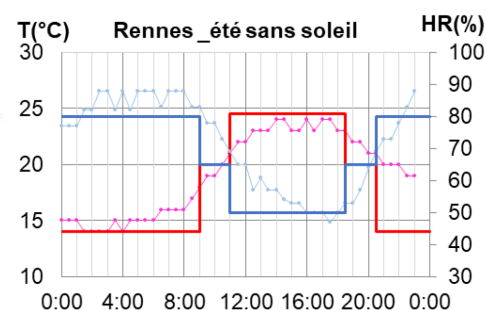
- Caractérisation des matériaux en fin d'essai
- **Validation des résultats à l'échelle matériau**



Echelle paroi



Boumediène 2022



Echelle bâtiment

Données pour les calculs à l'échelle du bâtiment

- ✘ Prise en compte du **système constructif** (ossature, enduits...)
 - ✘ Vieillessement de la paroi ou cyclage T/HR
- ✘ Tests de scénarii de variations de température et d'humidité
 - ✘ **Simulation du comportement hygrothermique**

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Conclusions



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

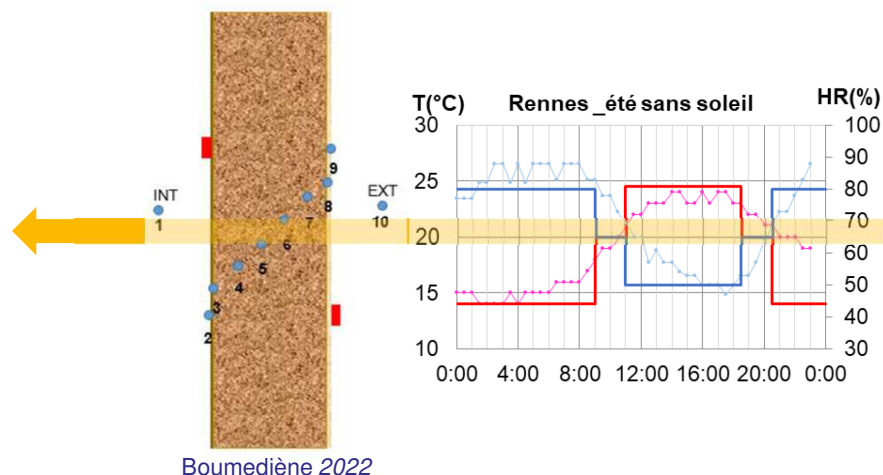
Données existantes à l'échelle du bâtiment ?

Données réelles sur le vieillissement des isolants biosourcés en conditions naturelles

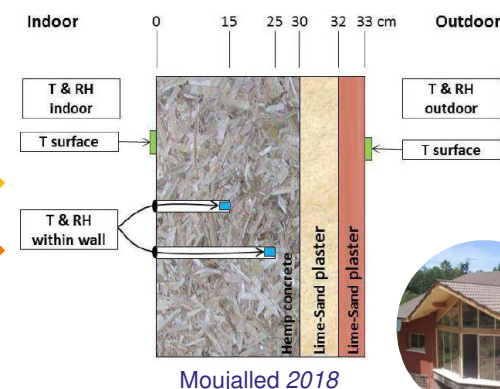
Echelle matériau



Echelle paroi



Echelle bâtiment



Moujalled 2018

- ❌ **Validation des résultats** aux échelles paroi et matériaux
- ❌ **Définition de données seuil** des propriétés des matériaux
- ❌ **Estimation de durées de vie réelles**

- ❌ Instrumentation des **bâtiments réels**
- ❌ Échéances longues
- ❌ Identification de pathologies
- ❌ Influence des habitants

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Références



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- Arizzi, A., Viles, H., Martín-Sánchez, I., Cultrone, G., 2016. Predicting the long-term durability of hemp–lime renders in inland and coastal areas using Mediterranean, Tropical and Semi-arid climatic simulations. *Sci. Total Environ.* 542, Part, 757–770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.141>
- AQC, 2018. Les matériaux biosourcés, retours d'expérience - Points de vigilance et bonnes pratiques
- Castel, Y., Amziane, S., Sonebi, M., 2016. Durabilité du béton de chanvre : résistance aux cycles d'immersion et de séchage, in: 1ère Conférence Euromaghrébine Des Biocomposites. Marrakech.
- Chabannes, M., Garcia-Diaz, E., Clerc, L., Bénézet, J.C., 2015. Studying the hardening and mechanical performances of rice husk and hemp-based building materials cured under natural and accelerated carbonation. *Constr. Build. Mater.* 94, 105–115.
- de Bruijn, P.B., Jeppsson, K.H., Sandin, K., Nilsson, C., 2009. Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres. *Biosyst. Eng.* 103, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.005>
- C. Moletti, 2023. Ex situ and in situ characterization of an innovative and sustainable bio-based building material: hemp lime, Thèse de doctorat soutenue le 13 avril 2023 à Politecnico di Milano
- Delannoy, G., 2018. Durabilité d'isolants à base de granulats végétaux. Thèse de l'Université Paris-Est.
- Delannoy, G., Marceau, S., Glé, P., Gourlay, E., Guéguen-Minerbe, M., Amziane, S., Farcas, F., 2020. Durability of hemp concretes exposed to accelerated environmental aging. *Constr. Build. Mater.* 252, 119043. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119043>
- Delannoy, G., Marceau, S., Glé, P., Gourlay, E., Guéguen-Minerbe, M., Diafi, D., Nour, I., Amziane, S., Farcas, F., 2018. Aging of hemp shiv used for concrete. *Mater. Des.* <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.10.016>
- T. M. Dinh, C. Magniont, M. Coutand, G. Escadeillas, 2014. Hempcrete using innovative pozzolanic binder, 1st ICBBM, Clermont-Ferrand, France, June 21st-24th 2015.
- M. Goutière, 2023. Optimisation de la durabilité et de la qualité environnementale d'un isolant à base de moelle de tournesol pour le bâtiment, Thèse de doctorat, LMDC Tarbes.
- Hellebois, P., Marceau, S., Gueguen, M., Amziane, S., 2013. Influence of wetting and drying cycles on the properties of hemp concrete, in: 1st International RILEM Conference on Rheology and Processing of Construction Materials. Paris.
- Laborel-Préneron, A., 2017. Formulation and characterization of unfired clay bricks with plant aggregates. Université de Toulouse.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J.E., Magniont, C., Tribout, C., Bertron, A., 2016. Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Constr. Build. Mater.* 111, 719–734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- C. Magniont, G. Escadeillas, M. Coutand, C. Oms-Multon, Use of plant aggregates in building ecomaterials, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 16, SUP1, pp 17-33, 2012.
- Magniont, C., 2010. Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources. Thèse de l'Université de Toulouse III - Paul Sabatier.
- Moujalled, B., Aït Ouméziane, Y., Moissette, S., Bart, M., Lanos, C., Samri, D., 2018. Experimental and numerical evaluation of the hygrothermal performance of a hemp lime concrete building. A long term case study. *Build. Environ.* 136, 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.025>

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



Références



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

- Moujalled, B., Aït Ouméziane, Y., Moissette, S., Bart, M., Lanos, C., Samri, D., 2018. Experimental and numerical evaluation of the hygrothermal performance of a hemp lime concrete building: A long term case study. *Build. Environ.* 136, 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.025>
- P. Nicot, G. Escadeillas, 2022. Béton de chanvre : études en laboratoire. LMDC, Division Transfert de Technologie.
- Piot, A., Béjat, T., Jay, A., Bessette, L., Wurtz, E., Barnes-Davin, L., 2017. Study of a hempcrete wall exposed to outdoor climate: Effects of the coating. *Constr. Build. Mater.* 139, 540–550. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.143>
- V. Sabathier, C. Magniont, G. Escadeillas, C. A. Juarez, 2017. Flax and hemp fibre reinforced pozzolanic matrix: evaluation of impact of time and natural weathering, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21, 1403, 10.1080/19648189.2016.1175973, 2017.
- SAVASCO, 2022. Projet INTERREG-POCTEFA SAVASCO « StructurAtion d'une filière de Valorisation transfrontalière des tiges de mAïs et de tourneSol pour la CONstruction »
- Sheridan, J., Sonebi, M., Taylor, S., Amziane, S., 2020. The effect of long term weathering on hemp and rapeseed concrete. *Cem. Concr. Res.* 131. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106014>,
- Sonebi, M., Wana, M., Amziane, S., Khatib, J., 2015. Investigation of the mechanical performance and weathering of hemp concrete, in: *First International Conference on Bio-Based Building Materials*. Clermont-Ferrand.
- Traoré, 2023. Durabilité des bétons de chanvre. PFE Université de Rouen. Projet EVA – LGP, LMDC, Agromat. Mai-octobre 2023