

# CARACTÉRISATION ET OPTIMISATION D'UN COMPOSITE BIOSOURCÉ POUR L'HABITAT

Yoann Brouard

*5 septembre 2018, Pôle éco-construction  
Beaulieu-lès-Loches*

# SOMMAIRE

- Contexte et objectifs du projet Biocomp
- Résultats de la thèse
- Bilan, perspectives
- Conclusion

# CONTEXTE INITIAL DU PROJET BIOCOMP

2013 rencontre collectivité – artisan – université  
Décembre 2013 appel à projet régional

Idée de base:

Création dans le Pays Touraine Côté Sud d'une filière  
d'éco-matériaux issus de ressources locales pour la  
rénovation du bâti existant

Compatible avec le bâti local en tuffeau (cf étude PNR  
Loire Anjou Touraine)

# APPEL À PROJET RÉGIONAL

L'aide de la région (40% du projet) a permis le financement de:

- Thésard (salaire, déplacements,...)
- Prestation autres laboratoires (MEB, CTMNC)
- Encadrement technique et scientifique
- Achat de matériels et matériaux
- Rémunération de stagiaires

## Thèse exploratoire:

- Etudier un matériau nouveau
- Préparer d'autres recherches sur des thématiques ciblées

Tours: Département mécanique, spécialisé fatigue des élastomères

Orléans: Laboratoire spécialisé textiles composites

2016: partenariat avec Naima Belayachi du département génie civil

# CONTEXTE GÉNÉRAL

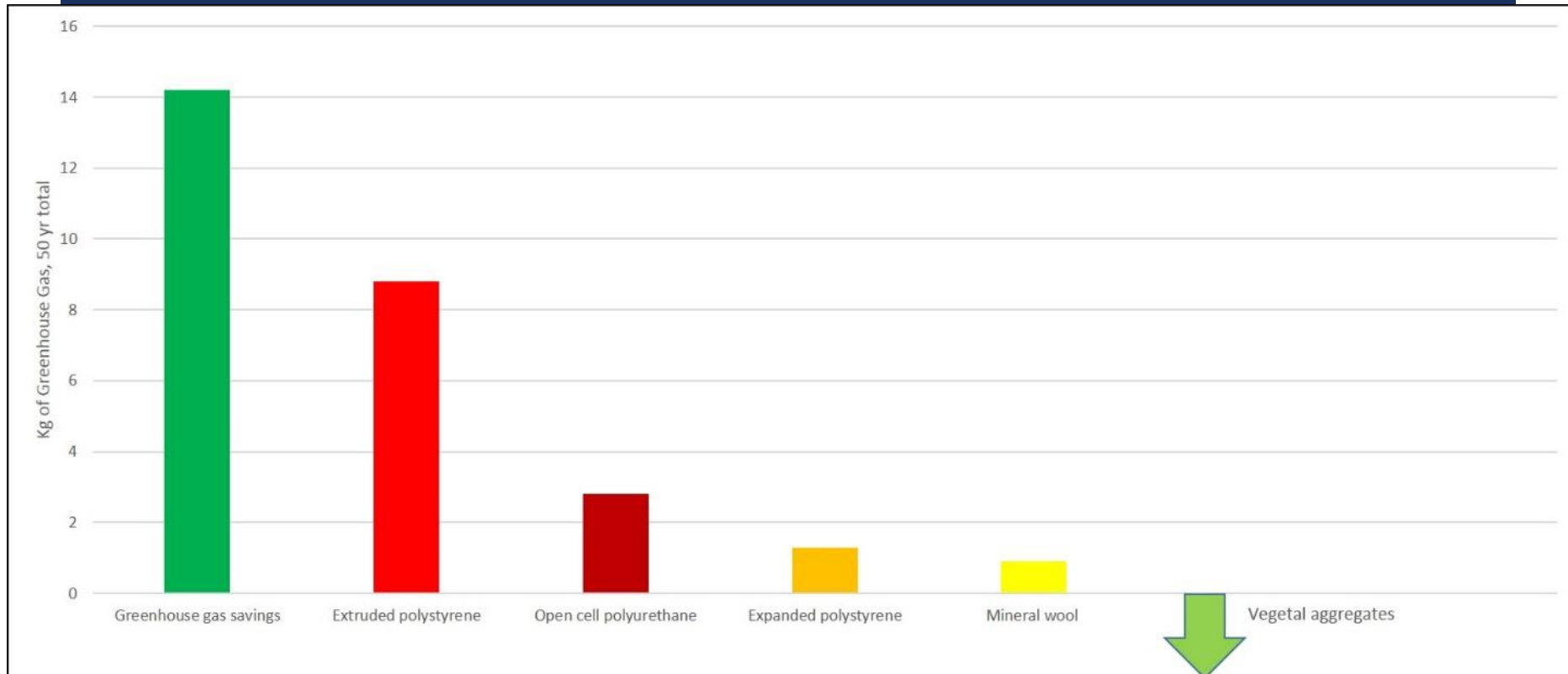
45 % de la consommation totale d'énergie

23 % des émissions de gaz à effet de serre

Le chauffage représente, à lui seul, environ 60 % de la consommation totale d'énergie d'un logement

Recherche d'un bon compromis entre l'efficacité énergétique du bâtiment et un faible impact environnemental lié aux matières premières

# EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

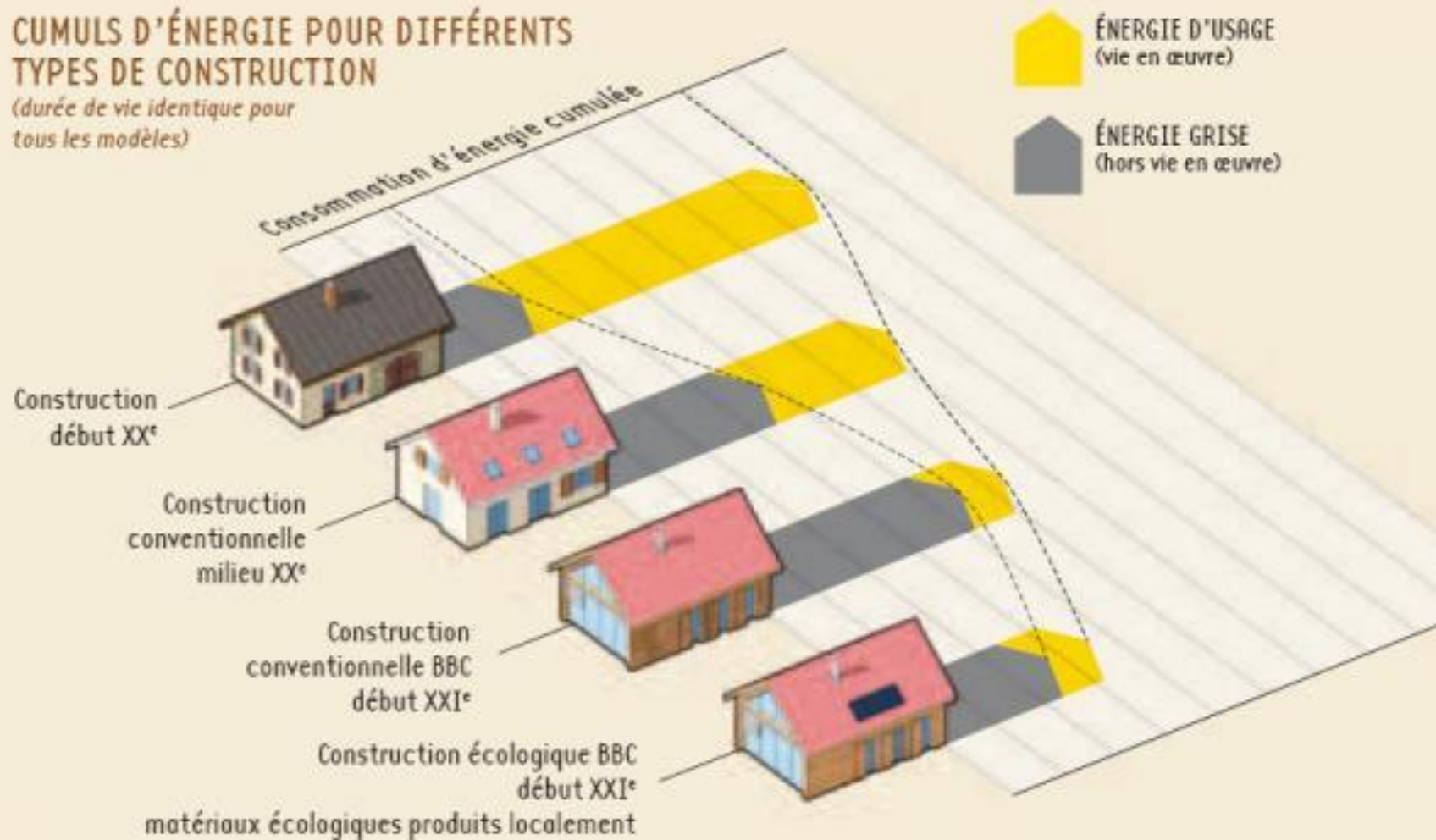


Emission de gaz à effets de serre évité pour un apport d'isolation supplémentaire de  $R=1,8$  à un mur existant de résistance thermique  $R=2,7$  pour une chauffage au gaz © 2015 Third Level Design

# CUMUL D'ÉNERGIE CONSOMMÉ PAR TYPE DE BÂTIMENT

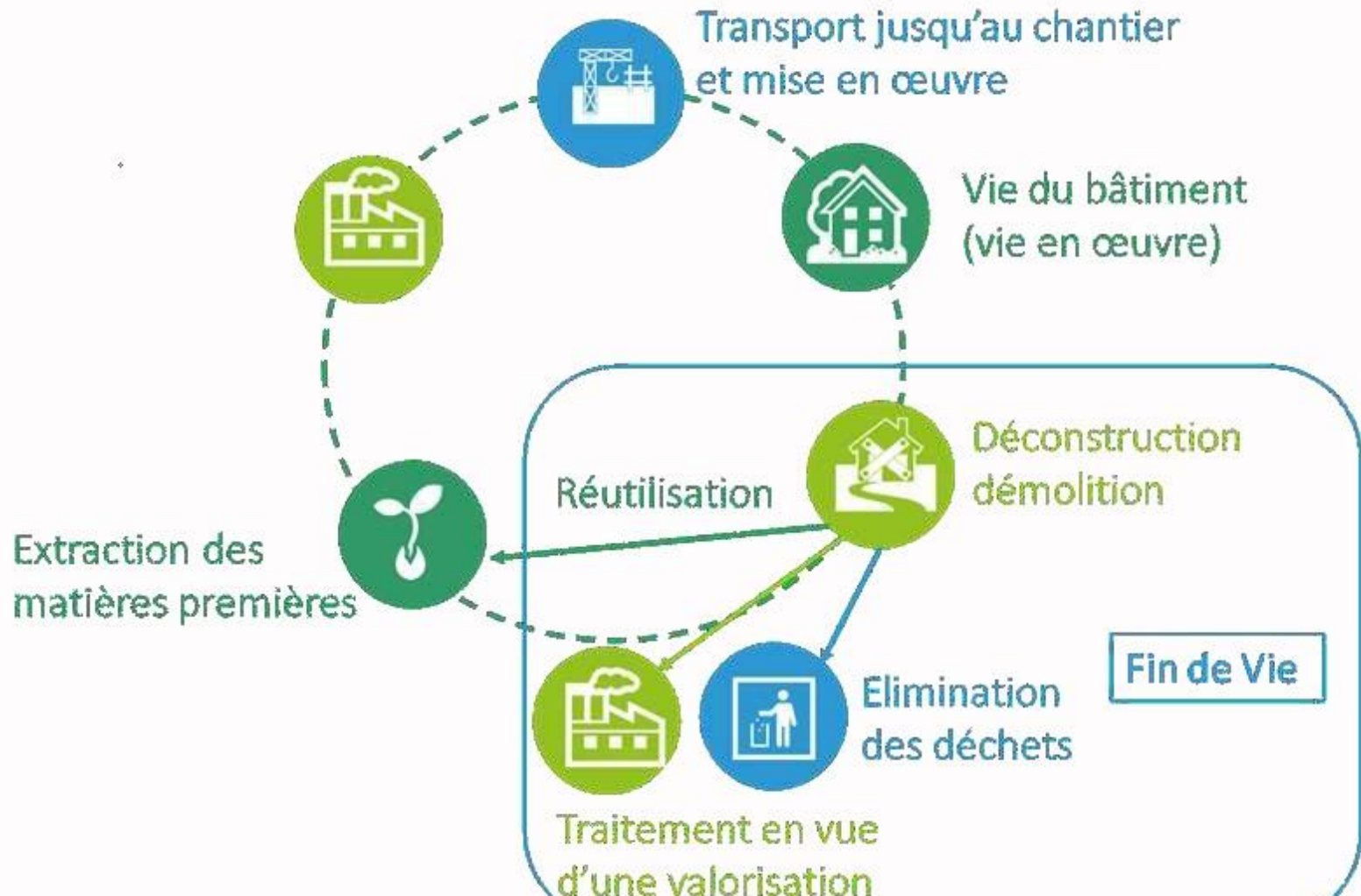
## CUMULS D'ÉNERGIE POUR DIFFÉRENTS TYPES DE CONSTRUCTION

(durée de vie identique pour tous les modèles)



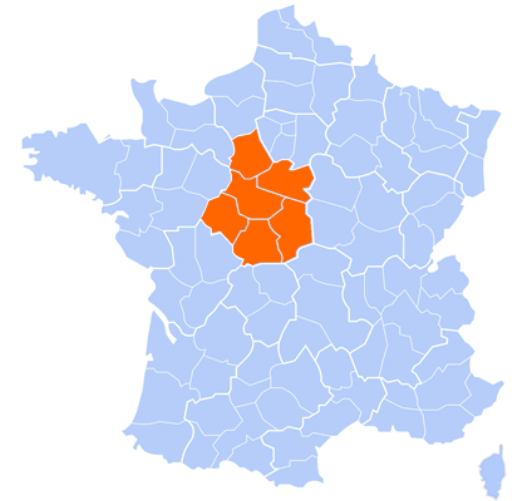


# ECONOMIE CIRCULAIRE

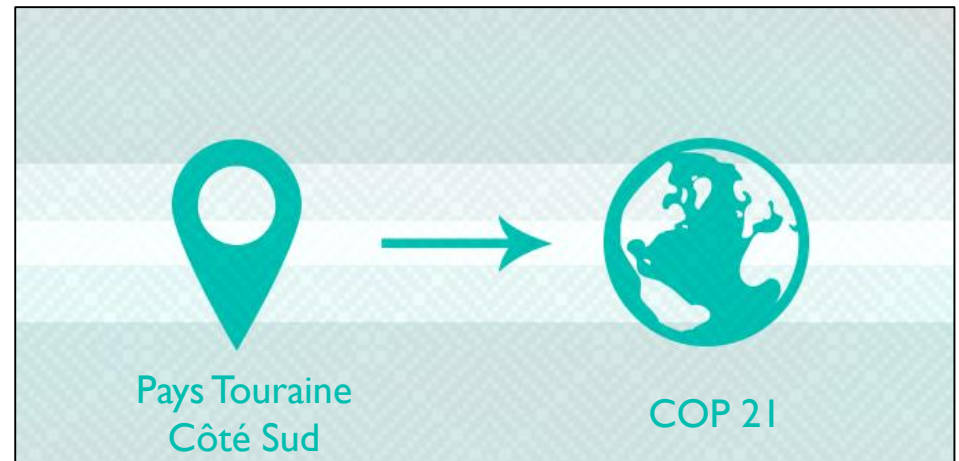
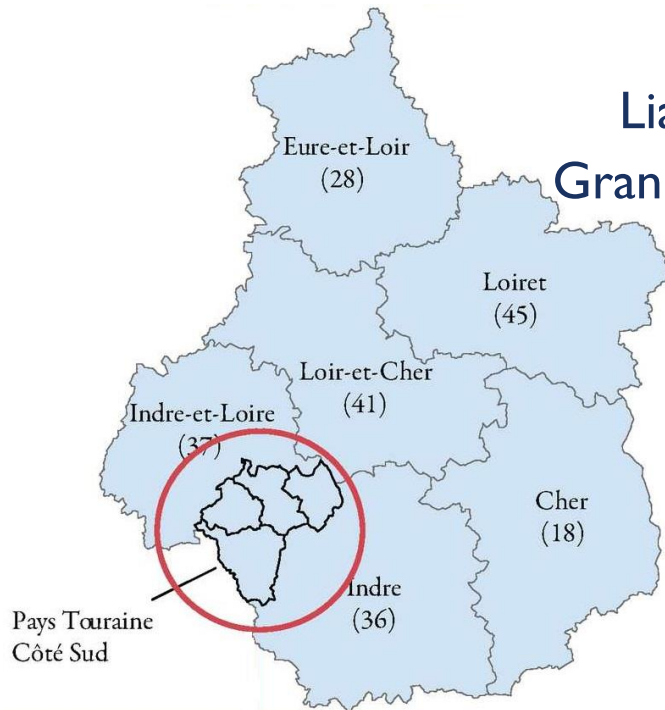


# PROJET BIOCOMP

Enduit isolant issu de ressources locales pour la rénovation énergétique du bâti vernaculaire local



Liant: terre-crue  
Granulats: végétaux



Penser globalement et agir localement

France en pointe dans l'étude des bétons végétaux (chaux:chanvre) (Rennes, Lorient, Toulouse, Clermont-Ferrand, Lyon, Lille,...)

Peu d'études sur d'autres granulats (chaux:tournesol (2 thèses), chaux:colza (2 articles))

Première thèse sur les mélange terre:végétaux publiée en mars 2018 (Laborel-Préneron, INSA Toulouse)

Thèse liants (dont terre):chanvre publiée en mai 2018 (Mazhoud, INSA Rennes)

Une thèse en cours sur les mélanges terre:chanvre (Lorient)

Première année:

Bibliographie

Définition du protocole d'élaboration sur chantier

Achat de matériels (broyeur)

Collaboration avec ESITPA

Contact avec d'autres laboratoires

Deuxième année:

Essais thermiques et hydriques à Orléans, mécaniques et hydriques dynamiques à Tours

Troisième année:

Essais mécaniques, acoustiques, hydriques, simulation numérique

# Biocomp - partenaires

- Co-construire des projets territoriaux de développement durable
- Initier une nouvelle thématique de recherche

Collectivité Pays Touraine  
Côté Sud

Laboratoire université de  
Tours

- Réduire la vulnérabilité énergétique des ménages
- Plan de rénovation énergétique de l'habitat
- Mettre en place une filière économique

GDA Loches Montrésor

EURL Eric Julien

- Obtenir une valorisation des co-produits végétaux
- Fournir des granulats végétaux en adéquation avec le cahier des charges des clients

- Proposer un produit aux performances connues
- Disposer d'un procédé de mise en œuvre adapté
- Bénéficier d'une assurabilité

Comprendre le comportement des matières premières choisies localement

Optimiser la formulation des bio-composites et caractériser leur comportement hygrothermique

Caractérisation des matières premières liant et végétaux

Optimisation de la formulation des mélanges à partir d'une formulation artisanale

Etude des propriétés thermiques des bio-composites en prenant en compte la variation du taux d'humidité et de la masse volumique

Etude de l'influence de l'enduit de finition à base de terre sur les propriétés acoustiques, et hydriques des biocomposites

# RESSOURCES LOCALES: LIANT

## Liant: terre crue

- Pas d'autres liants sur le territoire (ancienne carrière de Crouzilles (chaux de Pavier))
- Très faible énergie grise
- Excellente régulation hydrique
- Pas d'études sur les bétons terre-végétaux

## RESSOURCES LOCALES: LIANT

Carrières de sable, bacs de rétention d'argile (nites)

- Parçay sur Vienne
- Marcilly sur Vienne
- Saint-Aignan





Carrière de sable Sograco Marcilly sur Vienne

# RESSOURCES LOCALES: LIANT

Carrière d'extraction et atelier de broyage/criblage de la terre crue (sol argileux) de La Rouchouze (37)



## RESSOURCES LOCALES: GRANULATS

Pas de filière locale de granulats légers minéraux ou végétaux

Les agriculteurs du territoire (GDA Montrésor) sont demandeurs pour améliorer leurs marges sur la culture du tournesol

La culture du colza est par ailleurs fortement développée

# GRANULATS VÉGÉTAUX - COLZA



Moelle

Partie externe

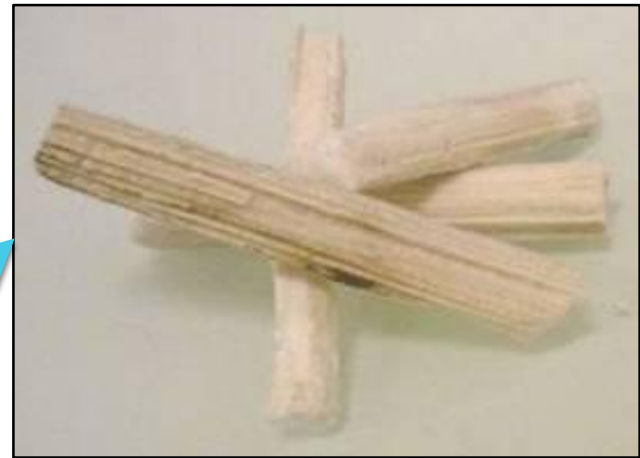


# GRANULATS VÉGÉTAUX - TOURNESOL

Tige de tournesol



Moelle



Écorce



# GRANULATS VÉGÉTAUX

Broyeur à couteaux,  
Retsch SMI100, tamis 10mm



➤ Dimensions satisfaisant au label granulats chanvre

# RESSOURCES LOCALES: ALTERNATIVES (LIANTS)

Liant:

Adjuvants pouzzolaniques: cendres de boues de papeterie



Usine Palm Seyfert (Sud Touraine Active)

# RESSOURCES LOCALES: ALTERNATIVES (LIANTS)

Liant: adjuvants pouzzolaniques: sables de fonderie



Fonderie du Poitou (Ingrandes sur Vienne)





# RESSOURCES LOCALES: ALTERNATIVES (LIANTS)

## Inspiration: béton d'argile HP2A (activation alcaline)

**Vendée Vendée active**

ENTREPRISE / HP2A

### UNE PME VENDÉENNE INVENTE LE CIMENT DU FUTUR

Si les origines de l'entreprise remontent à 1850, c'est bien vers l'avenir que se tourne résolument le jeune dirigeant Julien Blanchard. Avec HP2A, il innove en proposant un ciment à base d'argile. Plus écologique que le ciment ordinaire, cette innovation pourrait bien bouleverser le marché mondial de la construction. Explications.

Tout a commencé en 1850 avec la création de l'entreprise Gilliezou à Chailé-sous-les-Ormeaux. Située à proximité d'importantes réserves d'argile, l'entreprise produit briques, tuiles et carreaux de terre cuite. En 2006, la société est rachetée par Julien Blanchard qui insuffle une première « révolution » industrielle. En effet, en 2010, il crée Argilus, une nouvelle structure qui produit et commercialise des enduits intérieurs et extérieurs à base d'argile, 100 % naturels. « Cela a déjà constitué une mutation très importante pour nous, explique le jeune chef d'entreprise. Le marché de l'éco construction était en plein boom, il fallait saisir l'opportunité ». Actuellement, Argilus est présent partout en France et réalise même 30 % de son chiffre d'affaires à l'export (Belgique, Suisse et Allemagne principalement). Aujourd'hui, le jeune dirigeant est à nouveau prêt à s'engager dans



A Chailé-sous-les-Ormeaux, l'entreprise est située près de carrières d'argile.

une nouvelle mutation industrielle avec HP2A.

Un brevet pour protéger l'invention

« J'ai travaillé en collaboration avec David Hoffmann, un ingénieur chimiste spécialiste des liants minéraux, devenu aujourd'hui mon associé dans cette aventure », précise Julien Blanchard. Après pratiquement un an d'essais, les deux hommes déposent un brevet pour protéger leur invention : le HP2A (Haute Performance Activation Alcaline). Ce procédé permet de produire du ciment à partir d'argile. Là où l'invention pourrait bien révolutionner le monde de la construction c'est que ce procédé est en effet bien plus écologique que celui utilisé pour produire du ciment Portland (ciment le plus couramment utilisé).

« Notre impact carbone est vingt fois inférieur à celui produit par la fabrication du ciment Portland, et pour un coût similaire voire inférieur. Pour produire du ciment



Portland, il faut notamment une grande quantité de granulats de qualité que l'on trouve dans les fonds marins par exemple. Pour le HP2A, pas besoin de tels granulats. Nous pouvons utiliser des agrégats issus de la démolition ou de la déconstruction ».

Une usine en Vendée en 2017

Le dépôt du brevet n'est pas passé inaperçu dans le cercle des grands acteurs mondiaux de la construction. En effet, HP2A pourrait bien constituer une rupture technologique majeure dans ce marché colossal. 100 tonnes de ciment sont produites chaque seconde à l'échelle mondiale.

« En 2017, nous allons construire une usine en Vendée, près de La Roche-sur-Yon pour produire du HP2A. Je suis heureux de poursuivre l'aventure en Vendée, un département qui soutient les entreprises et encourage l'innovation », conclut le jeune dirigeant. Affaire à suivre.

Renseignements : [www.hp2a-technologies.fr](http://www.hp2a-technologies.fr)



# RESSOURCES LOCALES: ALTERNATIVES (GRANULATS)



Tige de maïs



Rafle de maïs



Sorgho

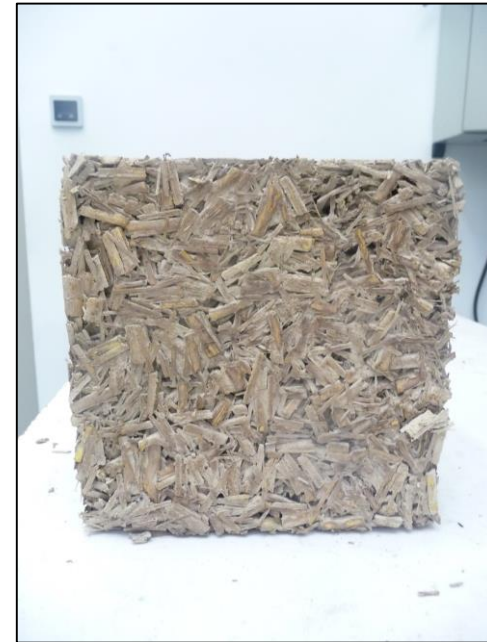


Mycellium

# RESSOURCES LOCALES: ALTERNATIVES (GRANULATS)

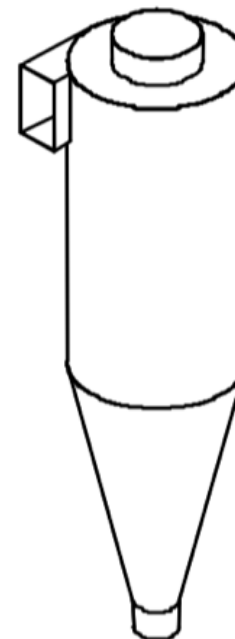
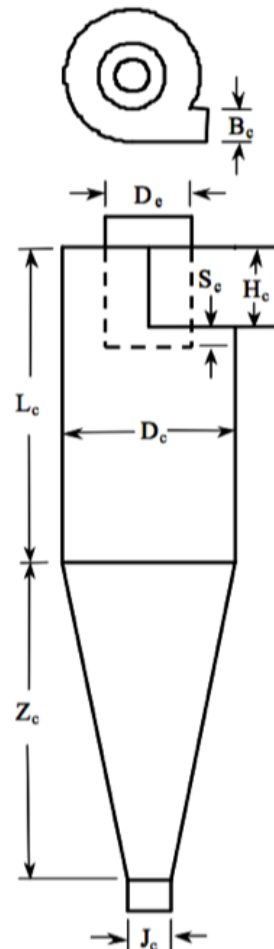
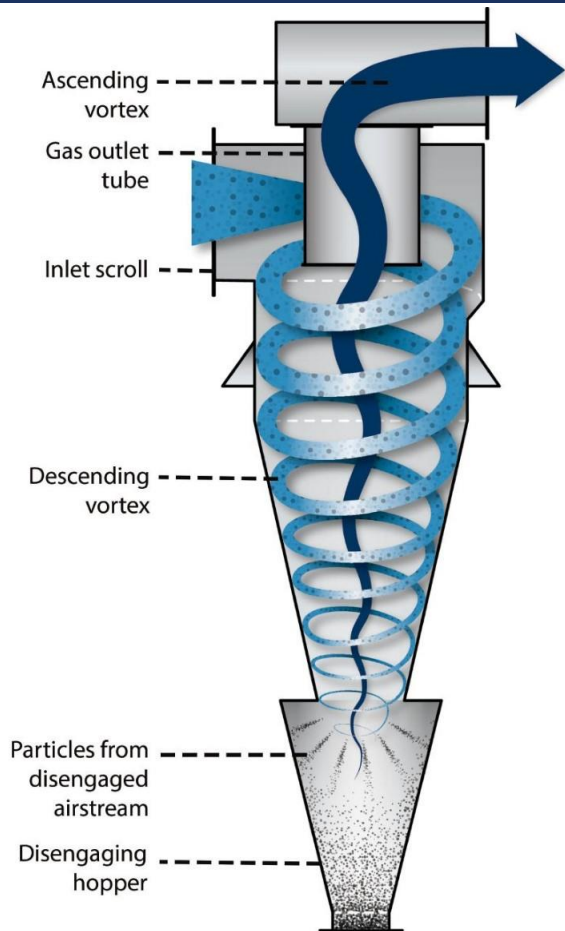


Miscanthus



Argile/miscanthus

# INTERACTION AGRICULTEURS: BROYAGE ET SEPARATION DES GRANULATS



$D_c = 3\text{m}$   
 $B_c = 1,13\text{m}$   
 $D_e = 0,75\text{m}$   
 $H_c = 4,5\text{m}$   
 $I_c = 0,75\text{m}$   
 $S_c = 0,375\text{m}$   
 $L_c = 4,5\text{m}$   
 $Z_c = 0,75\text{m}$   
 $\theta = 60^\circ$

Principe de la séparation cyclonique

# INTERACTION AGRICULTEURS: BROYAGE ET SEPARATION DES GRANULATS



Unité de transformation du chanvre fermier (écopertica)

# INTERACTION ARTISANS CHANTIERS



Maison privée (Saint-Aignan)  
argile:moelle et écorce de  
tournesol (Eric Julien)



Argile:colza banchage  
Prieuré de Chédigny  
(Sylvain Amiart)

# INTERACTION ARTISANS CHANTIERS



Contraintes chantier:

- Saisonnalité
- Rapidité
- Temps de séchage (18m<sup>3</sup>)
  - risque de moisissures
  - délai important avant finitions
  - performances thermiques moindres

Argile:colza banchage

Prieuré de Chédigny  
(Sylvain Amiart)



# BIOCOMPOSITES-ENDUIT DE FINITION

## ETUDE D'UNE PAROI:TUFFEAU-BIOCOMPOSITE

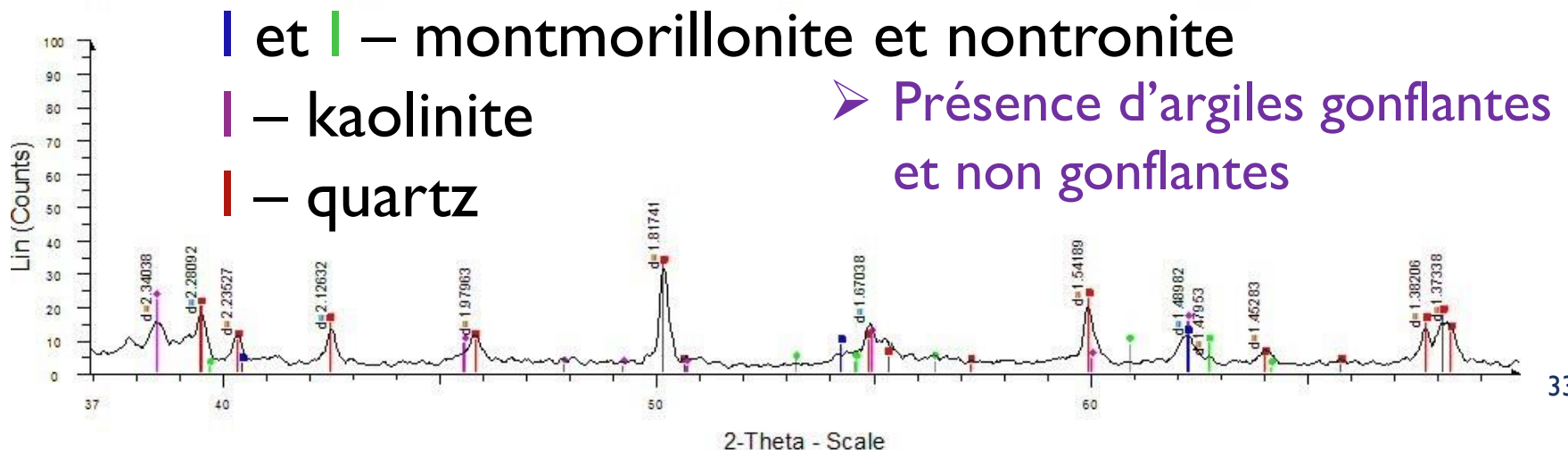
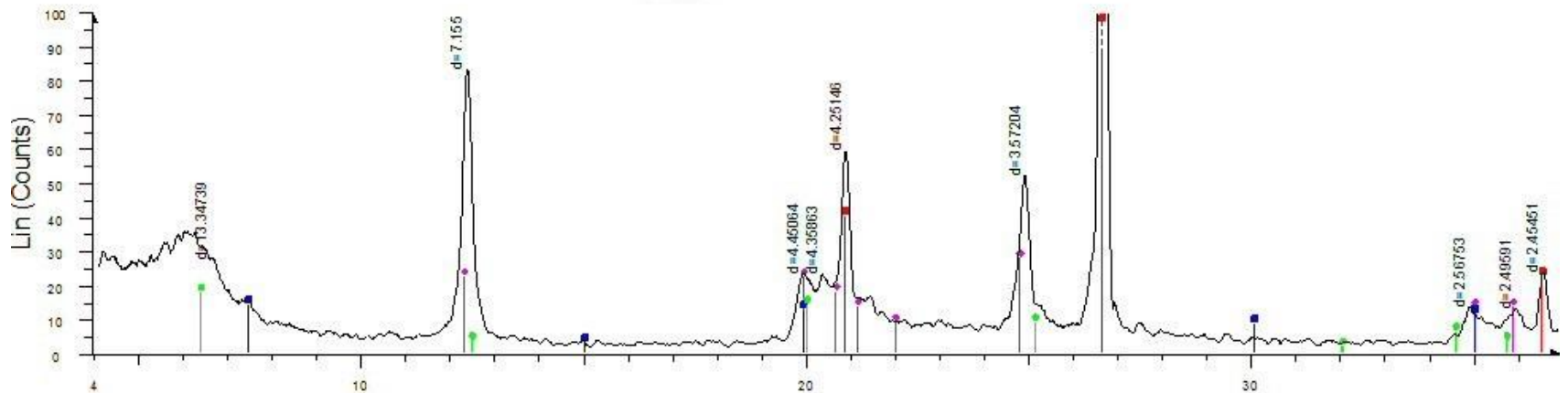


Mur tuffeau 120x120cm ép.20cm + 12cm terre crue:colza banché (RSD5)



# LIANT TERRE-CRUE

## Minéralogie par diffraction RX (CTMNC Limoges)



# LIANT TERRE-CRUE

Granulométrie (CTMNC): > 40 $\mu$ m : tamisage à sec; < 40 $\mu$ m : mesures d'absorption RX

	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Graviers (%)
<b>BIOCOMP</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>25</b>	<b>0</b>
Terre-chanvre (clay1) (1)	37	17	37	9
Terre-chanvre (Clay2) (1)	6	44	42	8
Terre-chanvre (2)	14	86	0,2	0
Terre-typha (3)	62	25	13	0

(1) (Degrave-Lemeurs et al. 2018)

(2) (Brahim Mazhoud et al. 2017)

(3) (Samin 2017)

➤ Terre crue à forte proportion d'argile et de limons

# GRANULATS VÉGÉTAUX

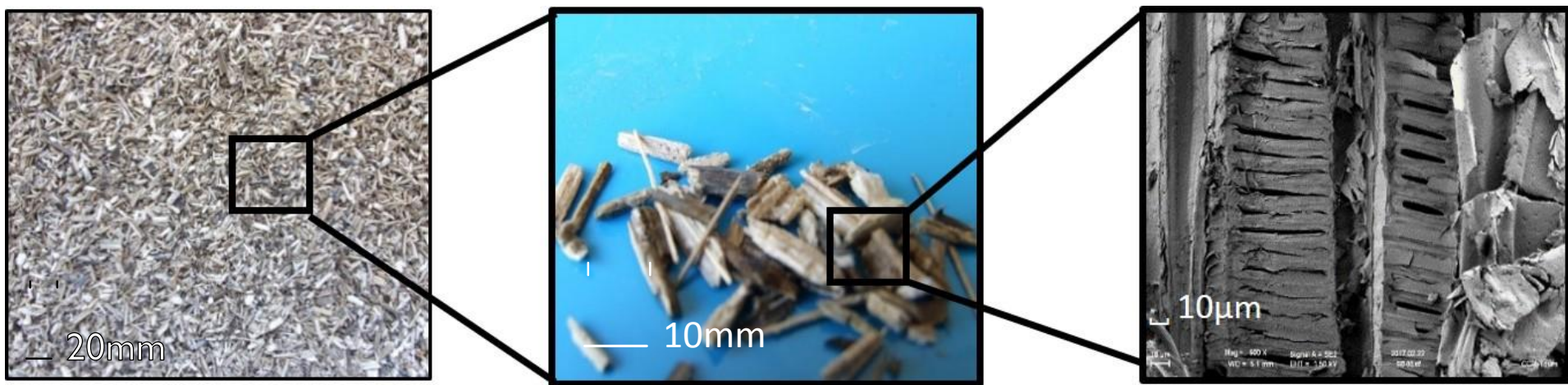
Végétal	Granulat broyé	Nomenclature	
Colza	Paille (moelle + partie externe)	RS	Rape Straw
Tournesol	Moelle	SP	Sunflower Pith
	Ecorce	SB	Sunflower Bark
	Moelle + écorce	SBP	Sunflower Bark and Pith

➤ SBP est ajusté à la même masse volumique que RS

# GRANULATS VÉGÉTAUX

Analyse microstructurale écorce de tournesol

Par MEB mode (électrons secondaires métallisation 6 $\mu$ m or-paladium)

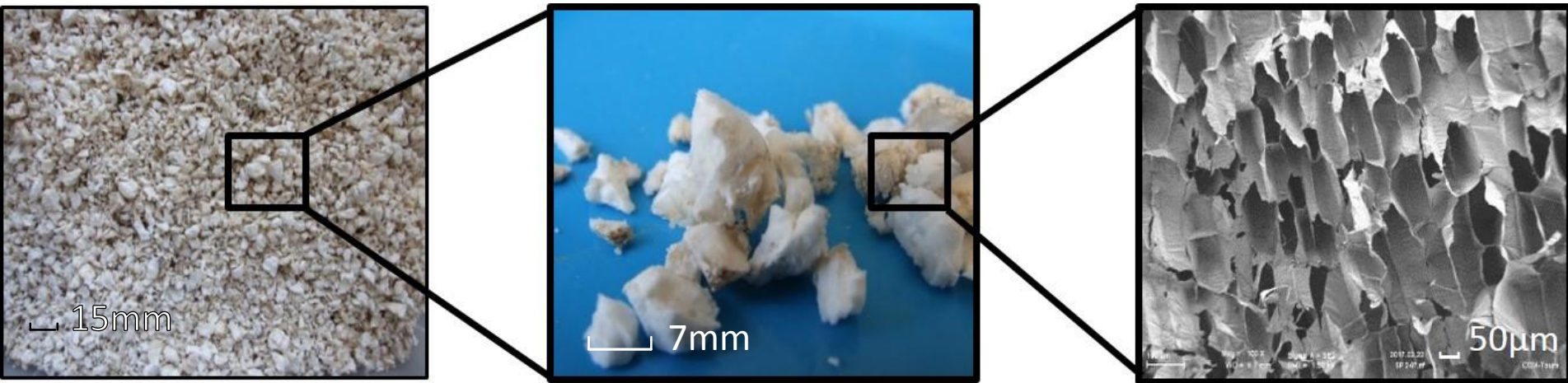


SB

- Taille de pores de 10 à 60 $\mu$ m
- Porosité 88,53  $\pm$ 0,03%

# GRANULATS VÉGÉTAUX

## Analyse microstructurale moelle de tournesol

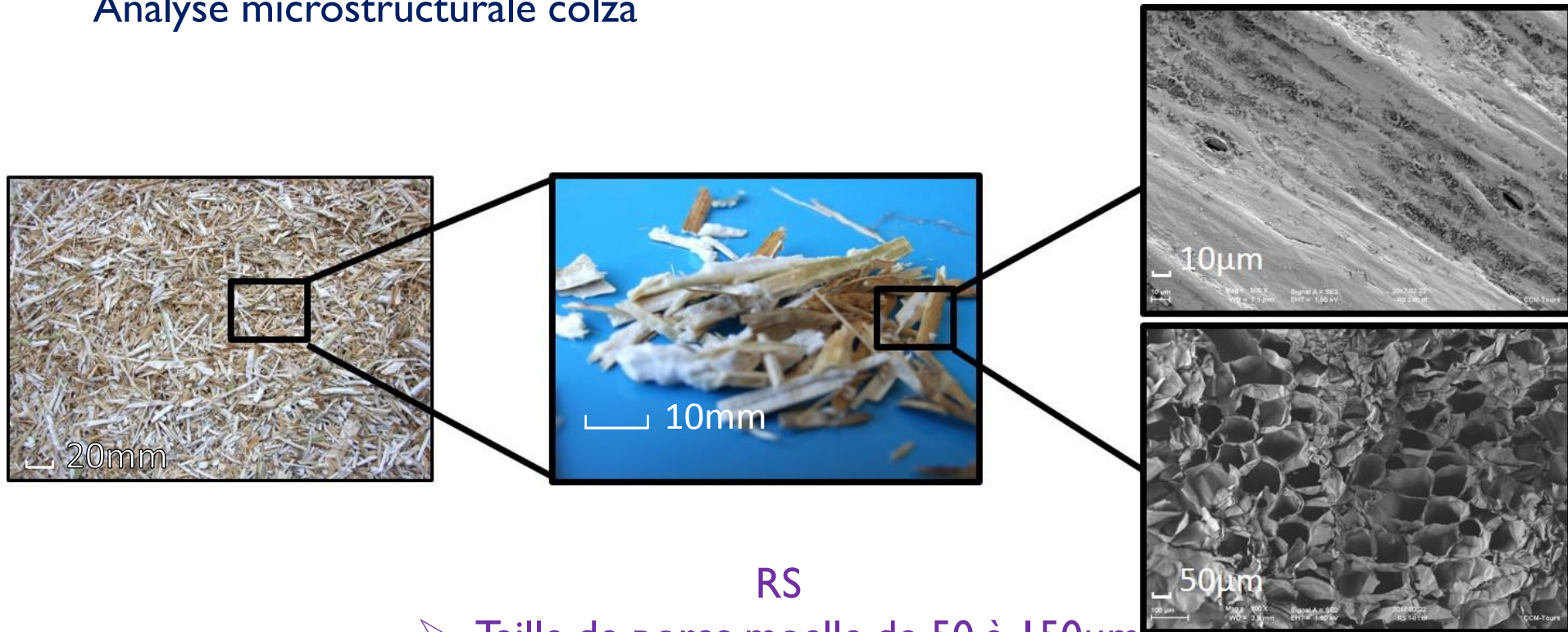


SP

- Taille de pores de 50 à 150µm
- Porosité  $98,87 \pm 0,9\%$

# GRANULATS VÉGÉTAUX

## Analyse microstructurale colza



RS

- Taille de pores moelle de 50 à 150µm
  - Partie externe <10µm
  - Porosité  $94,06 \pm 0,06\%$

# GRANULATS VÉGÉTAUX

Masse volumique en vrac (kg/m<sup>3</sup>) :

Granulat	BIOCOMP (RILEM TC 236)	(1) (pycnomètre toluène)	(2) (méthode tapée)	(3)	(4) (mesures acoustiques)
RS	<b>64,9 ±0,9</b>	125	78		115
SB	<b>129,3 ±1,4</b>		135	134,8	168
SP	<b>15,9 ±0,3</b>			20	34

(1) (Rahim, Douzane et al. 2016)

(2) (Lenormand et al. 2014)

(3) (Magniont et al. 2012)

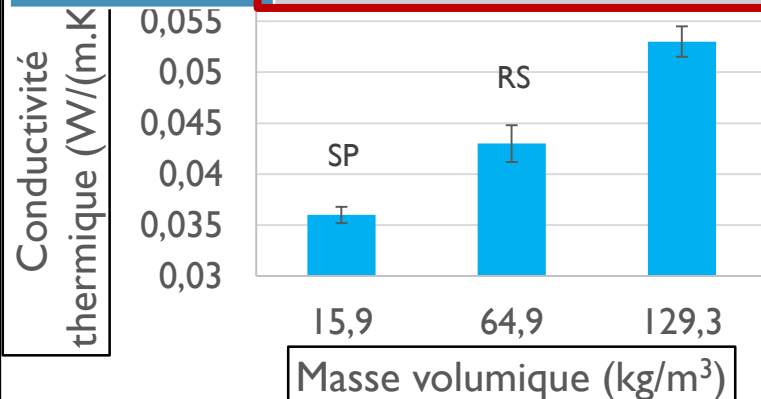
(4) (Chabriac et al. 2015)

➤ Hétérogénéité des granulats due à différents facteurs (récolte, transformation, stockage, protocole de mesure,...)

# GRANULATS VÉGÉTAUX

Conductivité thermique ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) granulats secs

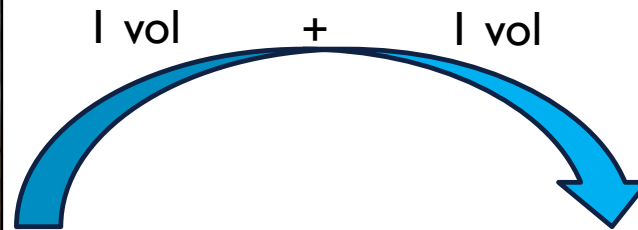
Granulat	BIOCOMP (fil chaud)	(1) (heat flow meter 436)	(2) (plaque chaude gardée)
RS	$0,043\pm 0,001$	0,067	-
SB	$0,053\pm 0,002$	0,074	-
SP	$0,036\pm 0,001$	-	0,051



- Corrélation entre la masse volumique et la conductivité thermique
  - La technique de mesure de la conductivité influence le résultat
- (1) (Lenormand et al. 2014)  
 (2) (Magniont 2010)

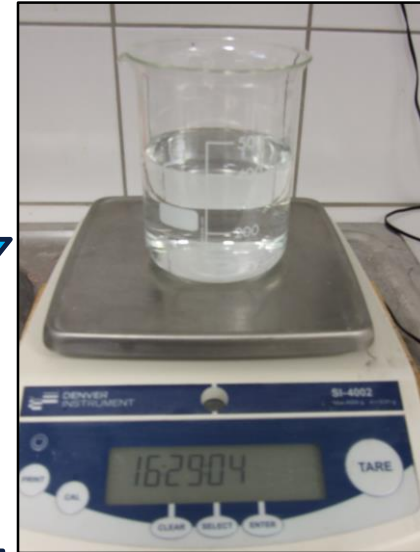


# ELABORATION DES BIOCOMPOSITES



10 min

= Biocomposite



Banchage, compactage vertical



+ granulats

$$\frac{\text{Masse liant}}{\text{Masse granulat}} = \frac{2,4}{1}$$

$$\frac{\text{Volume liant}}{\text{Volume RSD5}} = \frac{1}{7}$$



# FORMULATION

Choix de la formulation:

- Objectif: avoir la meilleure conductivité thermique possible = minimiser la quantité de liant
- Pour pouvoir comparer, la quantité massique a été fixée pour les différents mélanges puis on a fait varier les granulats et la contrainte de compactage
- Quantité massique déterminée lors des essais sur chantier pour SBPD5 ainsi que contrainte de compactage pour ce mélange.
- Pas de possibilité de multiplier les proportions et contraintes de compactage car:(temps de séchage, pas de hall d'essai, nécessité de grandes quantités de matière première, moelle décortiquée à la main)

# ELABORATION DES BIOCOMPOSITES: FORMULATION

SP

D2

Granulat masse volumique  
état frais

$$\frac{\text{Masse liant}}{\text{Masse granulat}} = \frac{2,4}{1}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{RSDx} \\ \text{SBPDx} \end{array} \right\} \frac{\text{Volume liant}}{\text{Volume granulat}} = \frac{1}{7}$$

$$\text{SBDx} \frac{\text{Volume liant}}{\text{Volume granulat}} = \frac{1}{4,7}$$

$$\text{SPDx} \frac{\text{Volume liant}}{\text{Volume granulat}} = \frac{1}{26}$$

Masse volumique état frais	SPD	SBPD	SBD	RSD
D1	X			
D2	X			
D3	X			
D4	X	X	X	X
D5	X	X	X	X
D6	X	X	X	X
D7		X	X	X
D8		X	X	X
D9			X	
D10			X	

- Des processus cohésifs additionnels permettent de rigidifier SPD2
- Dans ces proportions, certaines masses volumiques ne sont pas atteignables par tous les biocomposites selon les granulats

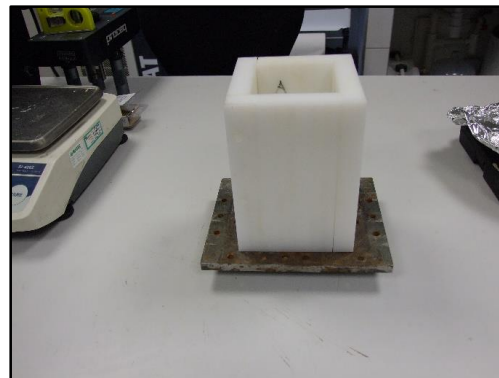
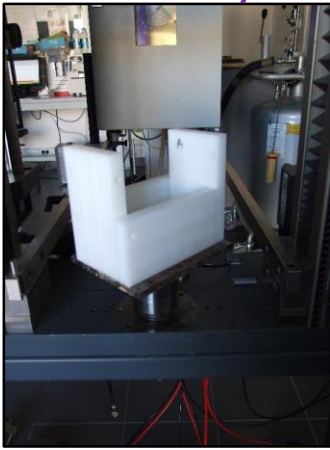
# ELABORATION DES BIOCOMPOSITES

## RÉALISATION DES ÉPROUVETTES

- Compactage presse Zwick/Roell Z010



- Moules PET cylindriques ( $\varnothing=110\text{mm}$ ,  $h=220\text{mm}$ )

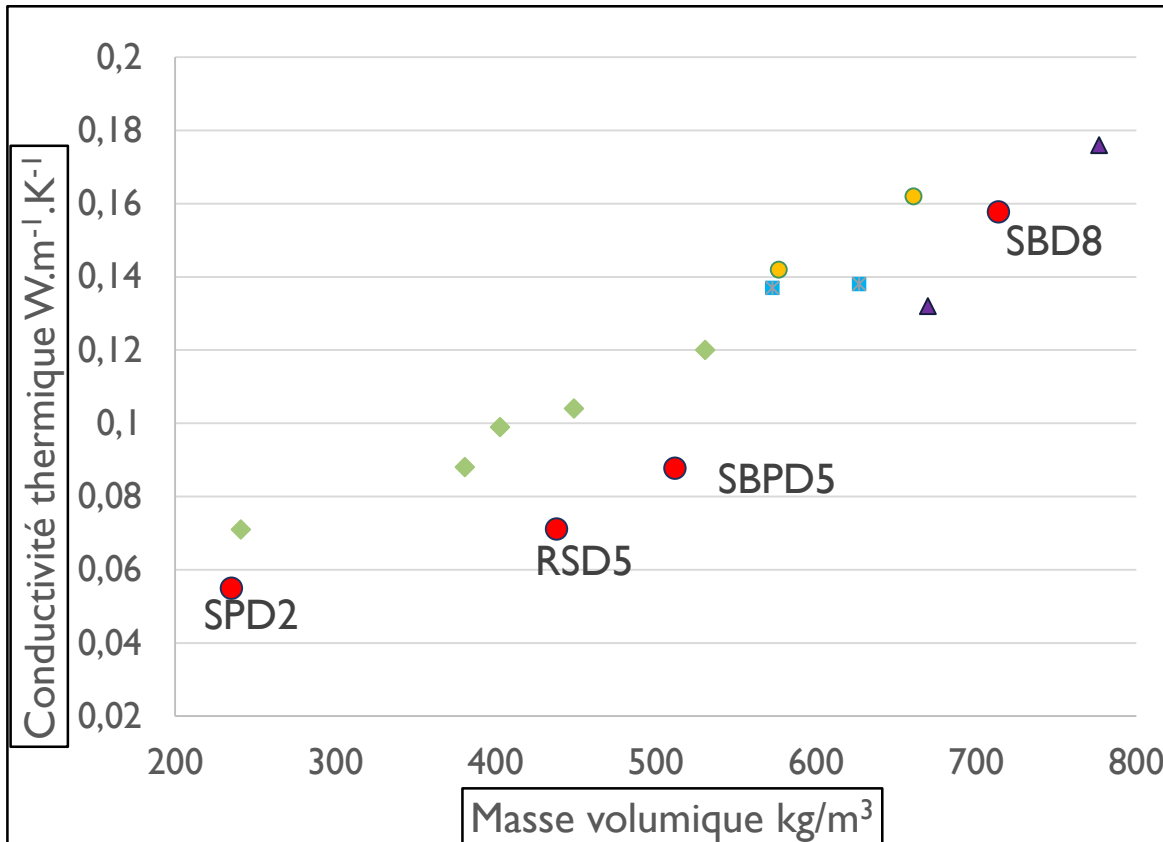


- Moules parallélépipédiques ( $h=75\text{mm}$ ,  $L=150\text{mm}$ )

# FORMULATIONS RETENUES

<b>Chaux- chanvre</b>	<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) (à sec) des biocomposites</b>	<b>Biocomposite</b>	<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) (à sec) des biocomposites</b>	<b>Porosité %</b>
<b>Dalle</b>	630	<b>SBD8</b>	714	64,27±0,02
<b>Mur</b>	425	<b>RSD5</b>	438	77,11±0,04
		<b>SBPD5</b>	512	73,96±0,04
<b>Toiture</b>	250	<b>SPD2</b>	235	90,23±0,15

# CONDUCTIVITÉ THERMIQUE



➤ Pas de relation linéaire reliant les différents biocomposites

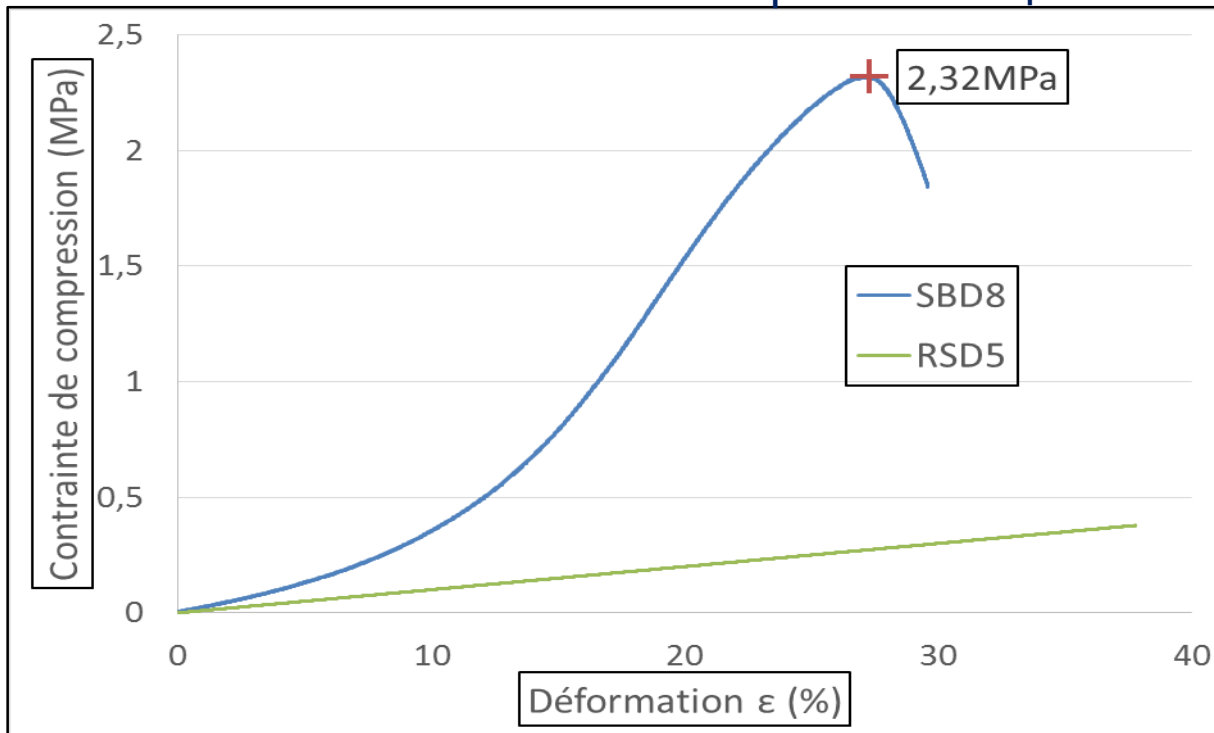
- Projet Biocomp
- Béton de chanvre (1), (2)
- ◆ Terre-paille (3)
- Béton de lavande (4)
- ▲ Moelle tournesol liant pouzzolanique (5)

(1) Walker et al. 2014  
(2) The Manh 2014  
(3) Labat et al. 2016

(4) Ratiarisoa et al. 2016  
(5) Magniont et al. 2012

# PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Caractérisation mécanique en compression uniaxiale  
Presse INSTRON 8872 vitesse de compression: 500 $\mu$ m/min



**SBD8:**

- $\sigma_{\max} = 2,32\text{MPa}$
- Déformation à rupture 27,3%

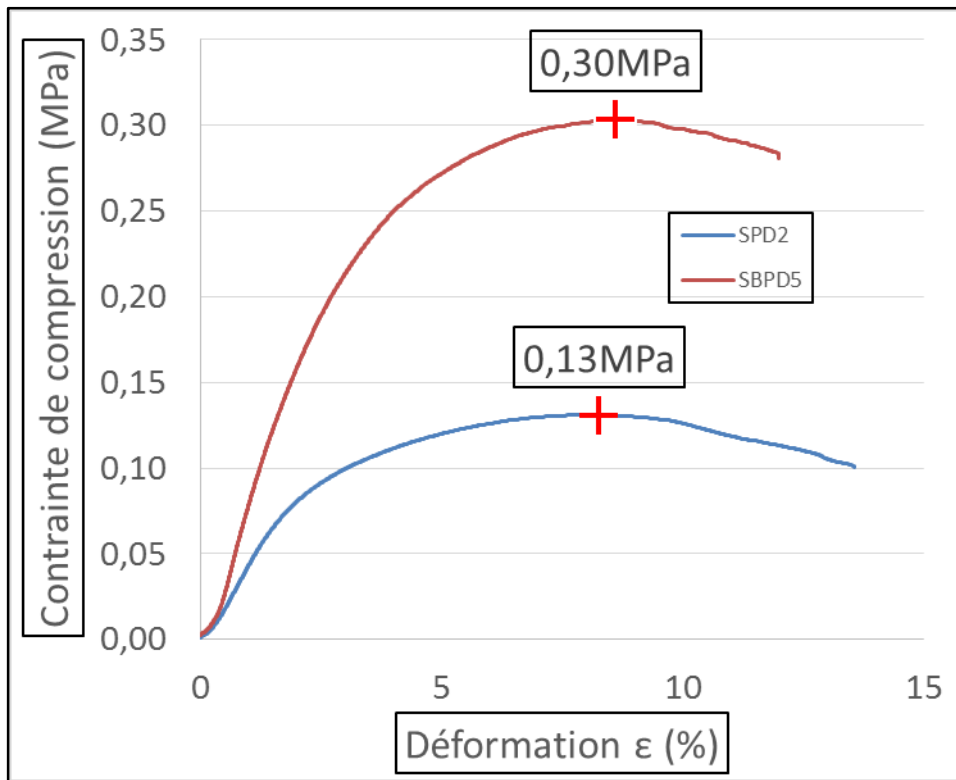
# PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES RSD5





# PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

## Caractérisation mécanique en compression uniaxiale



### SBPD5:

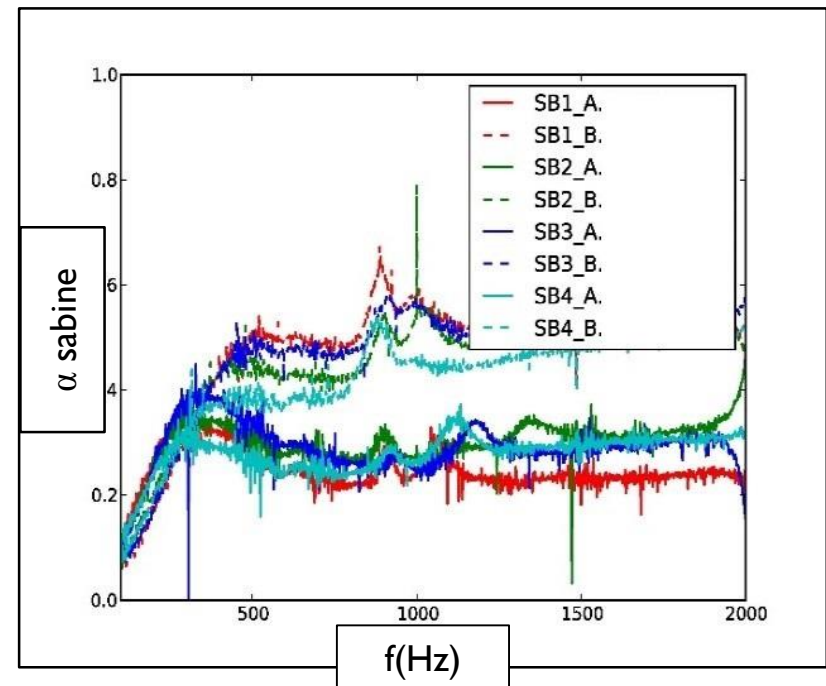
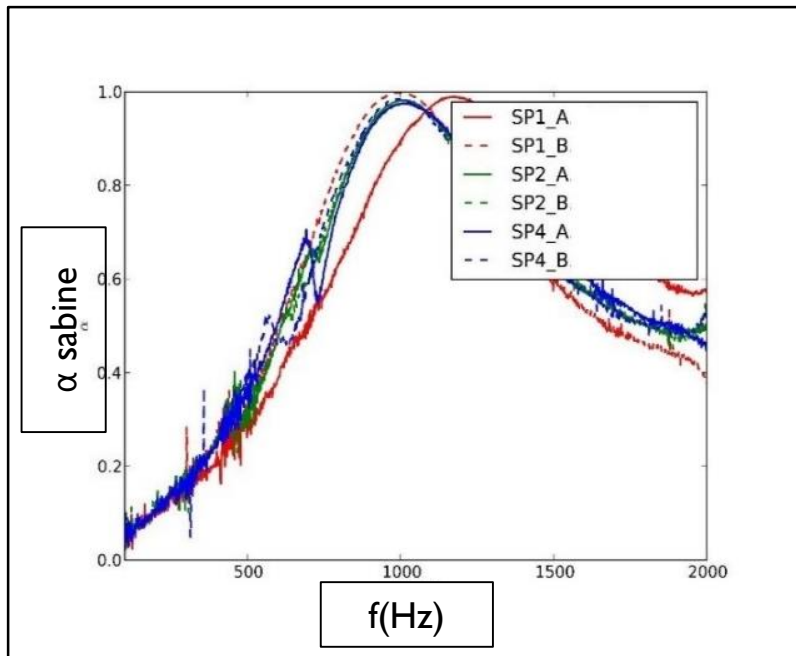
- $\sigma_{\max} = 0,30\text{MPa}$
- Déformation à rupture 8,6%

### SPD2:

- $\sigma_{\max} = 0,13\text{MPa}$
- Déformation à rupture 8,3%

# PROPRIÉTÉS ACOUSTIQUES

## Absorption – coefficient $\alpha$ sabine

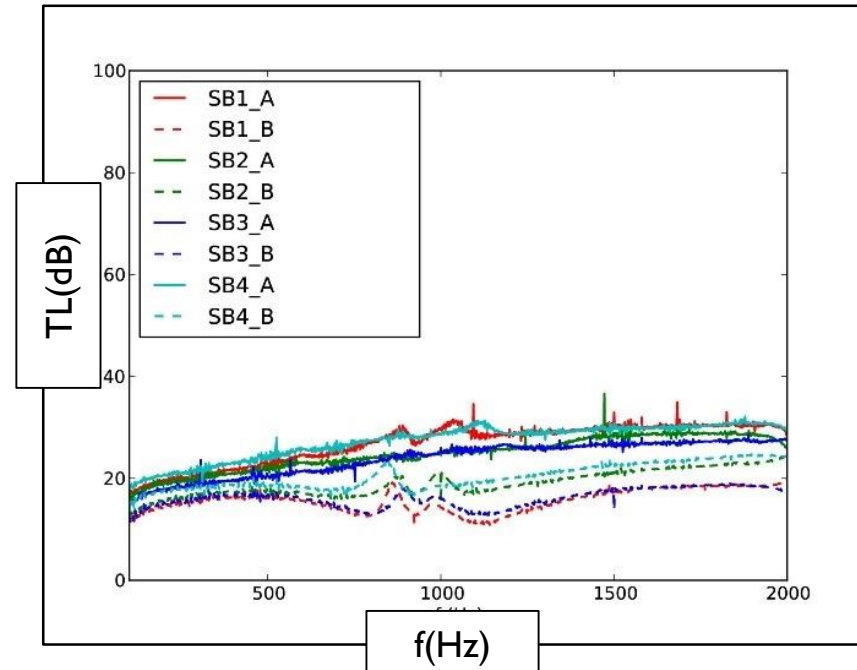
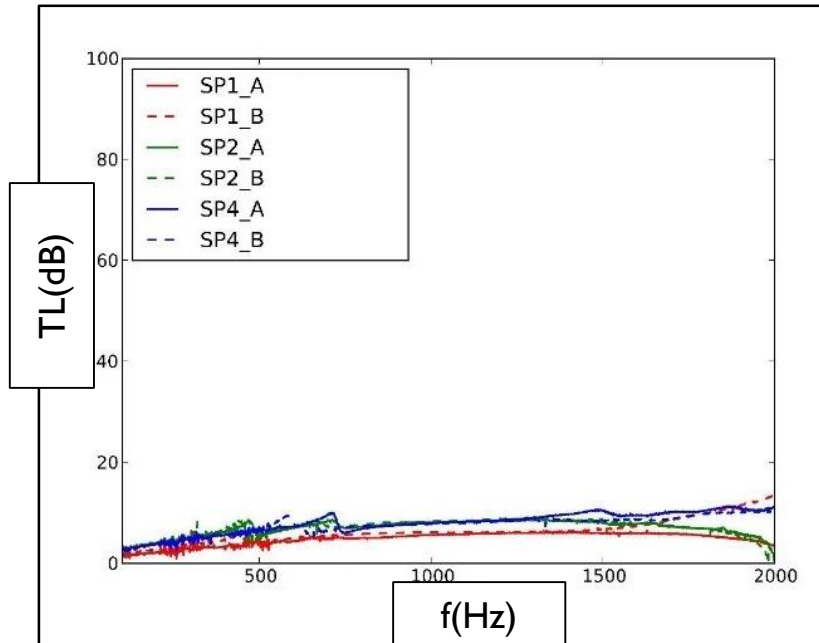


- La détection de pic d'absorption acoustique indique la présence de plusieurs échelles de porosités (Cérézo – 2005)
- La surface lissée (A) absorbe moins les ondes incidentes



# PROPRIÉTÉS ACOUSTIQUES

## Affaiblissement – TL



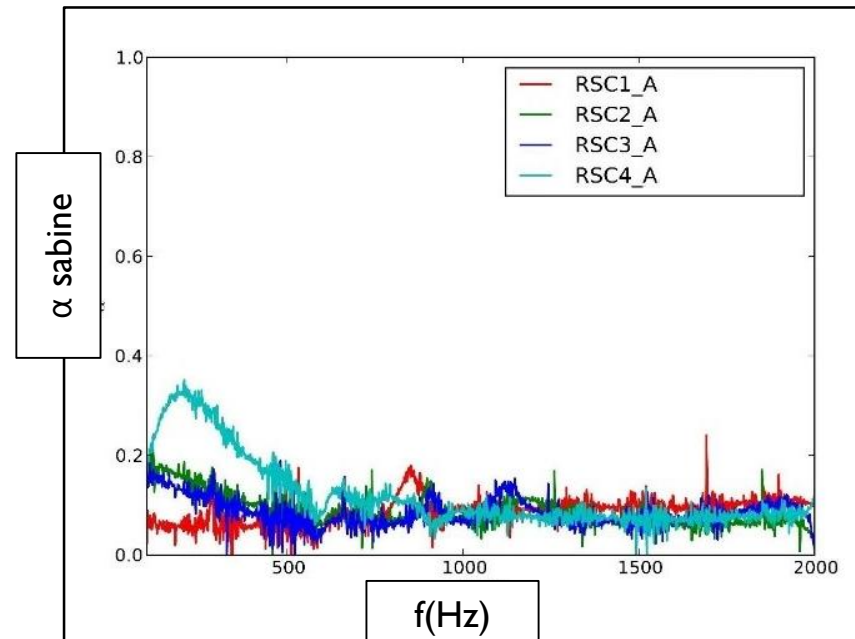
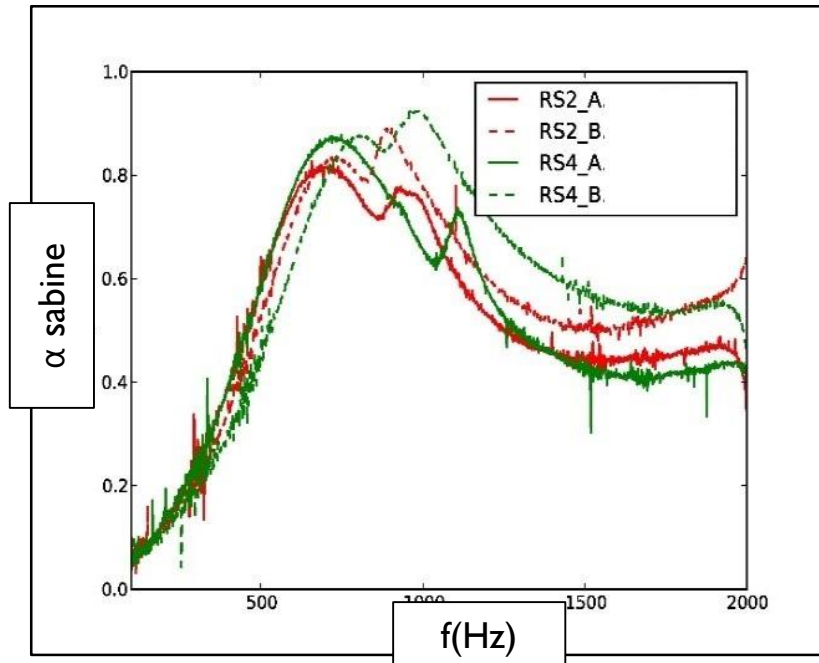
➤ Loi de masse, paroi avec matériau unique:

➤ Plus la masse volumique du biocomposite est élevée, meilleures sont les capacités d'affaiblissement acoustique de la paroi

$$TL = 19 \log M + 20 \log f / 500$$

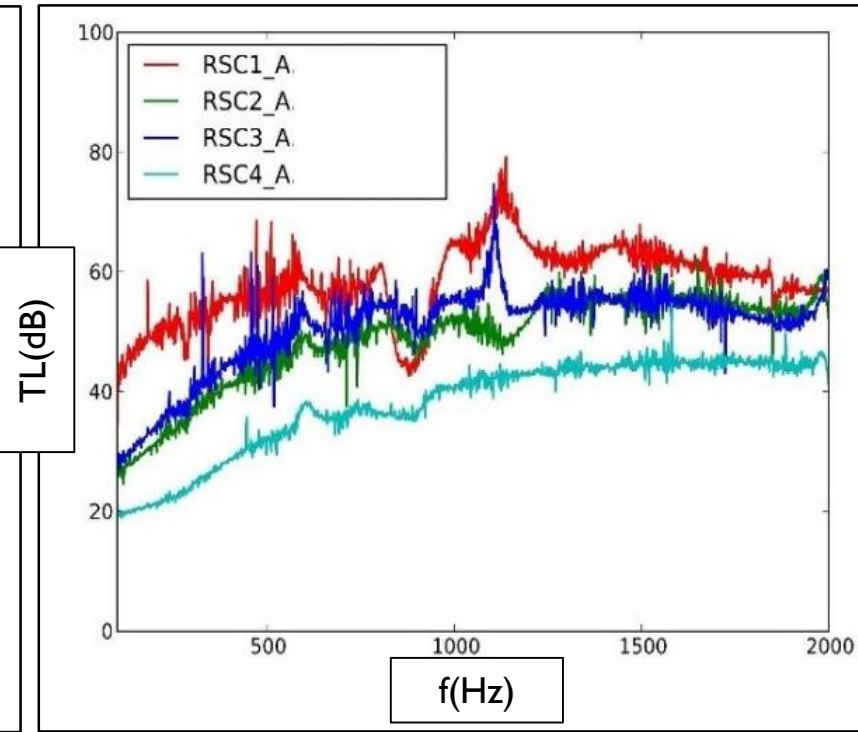
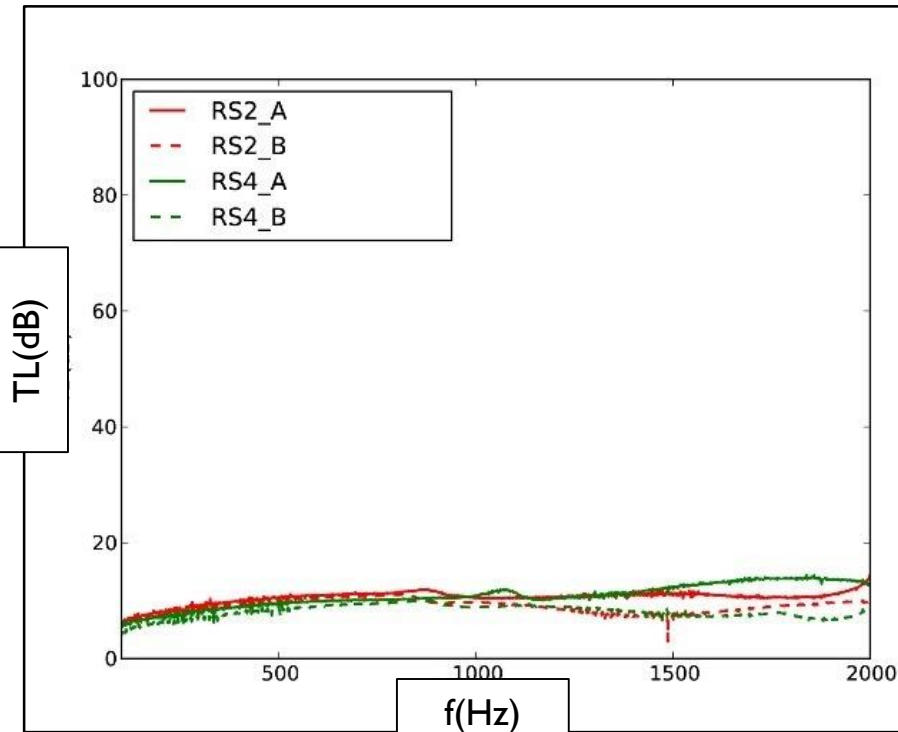
# PROPRIÉTÉS ACOUSTIQUES

## Absorption – coefficient alpha sabine



- Plus la masse volumique du biocomposite est élevée et l'état de surface du matériau est lisse moins bonne est l'absorption

# CARACTÉRISATION ACOUSTIQUE: IMPACT DE L'ENDUIT DE FINITION (AFFAIBLISSEMENT)

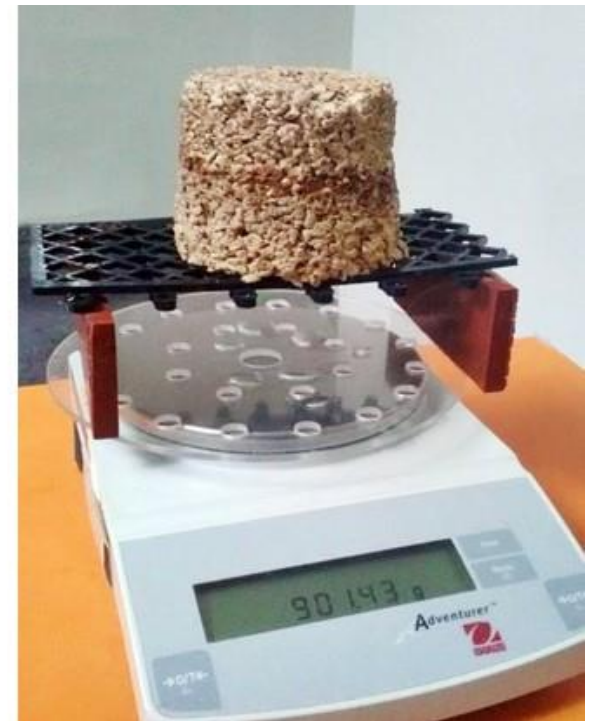


- L'ajout d'un enduit de finition à la surface du biocomposite entraîne une augmentation des capacités d'affaiblissement acoustique de la paroi constituée de biocomposites

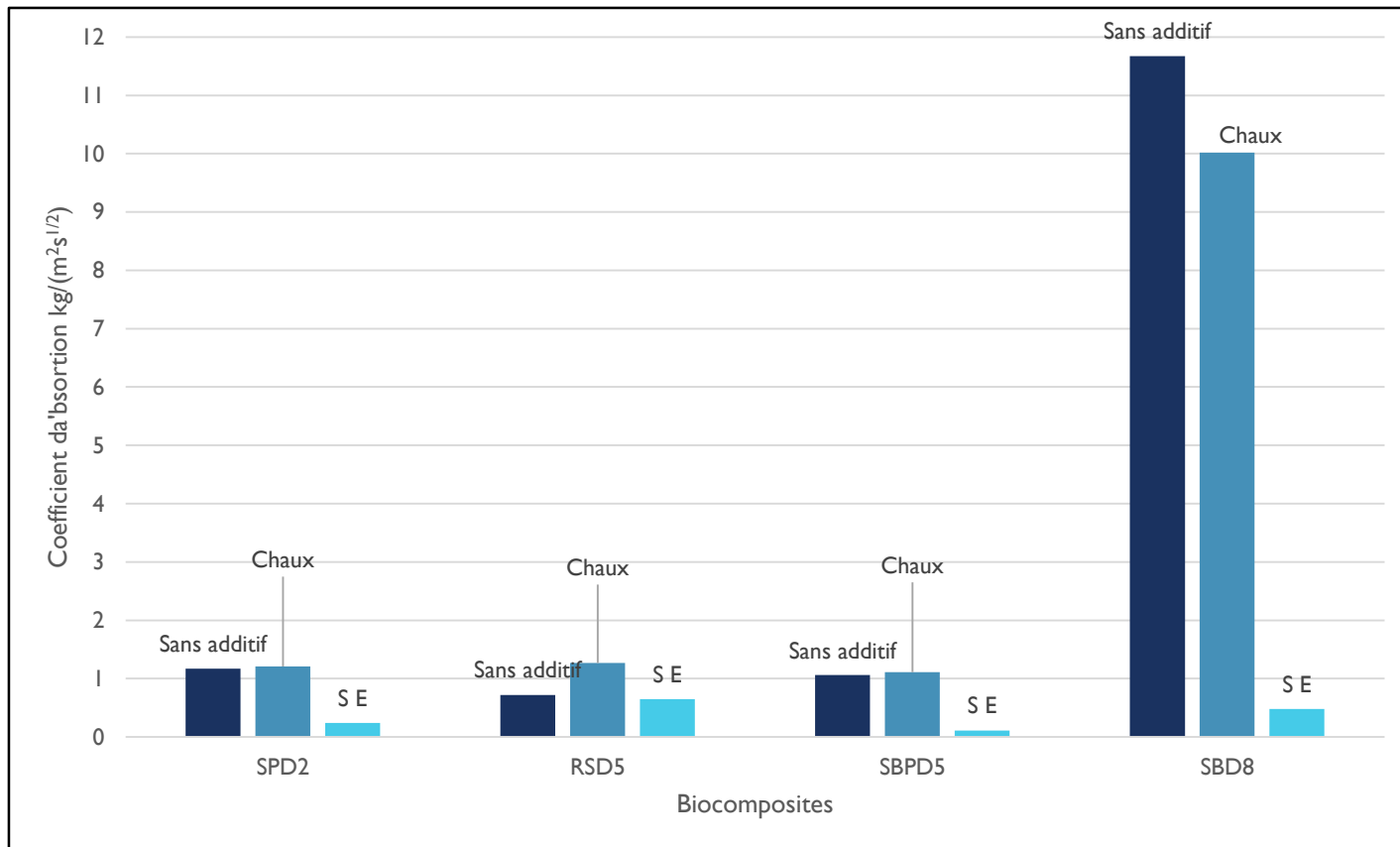
# INFLUENCE DES ADDITIFS SUR LES PROPRIÉTÉS CAPILLAIRES



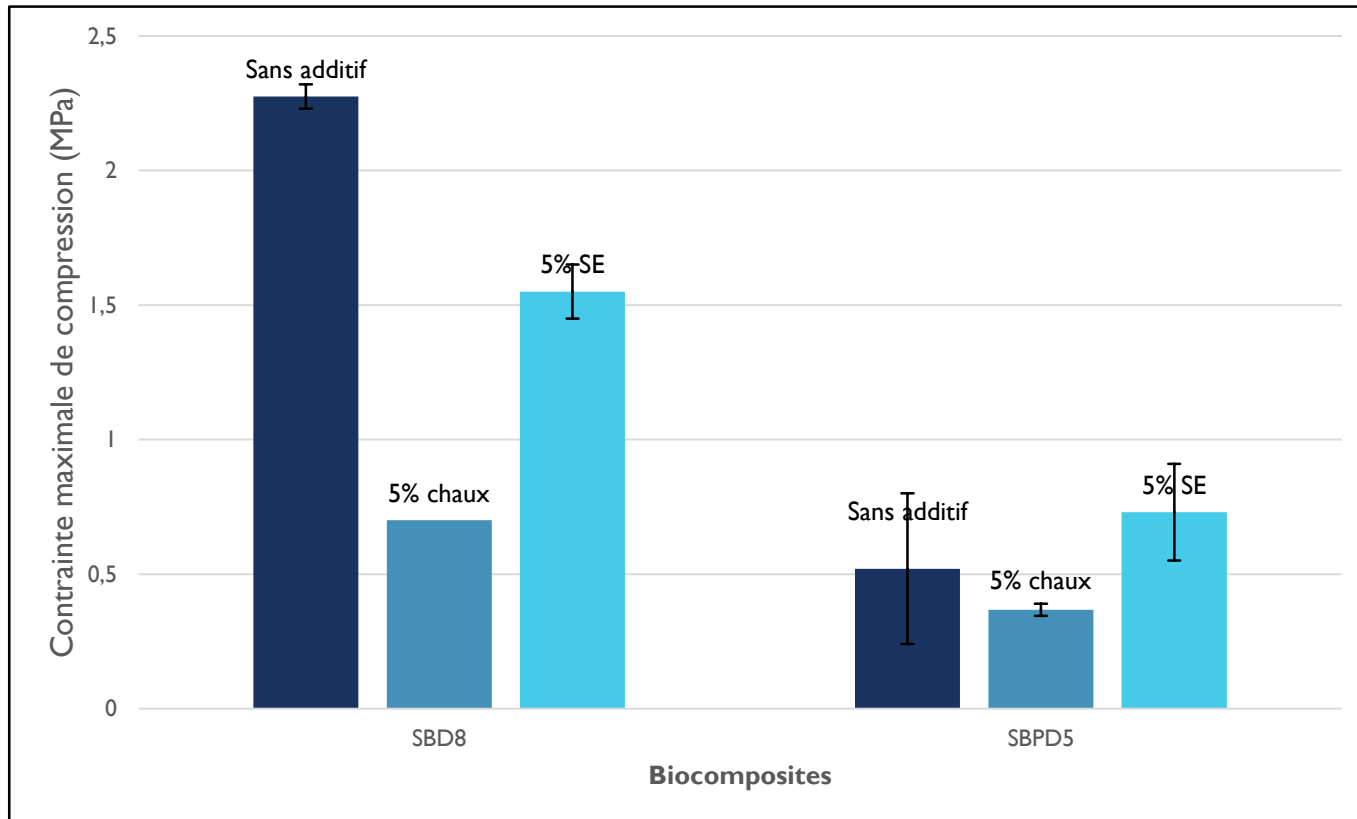
Échantillon  
Support  
Nappe d'eau de 5 mm



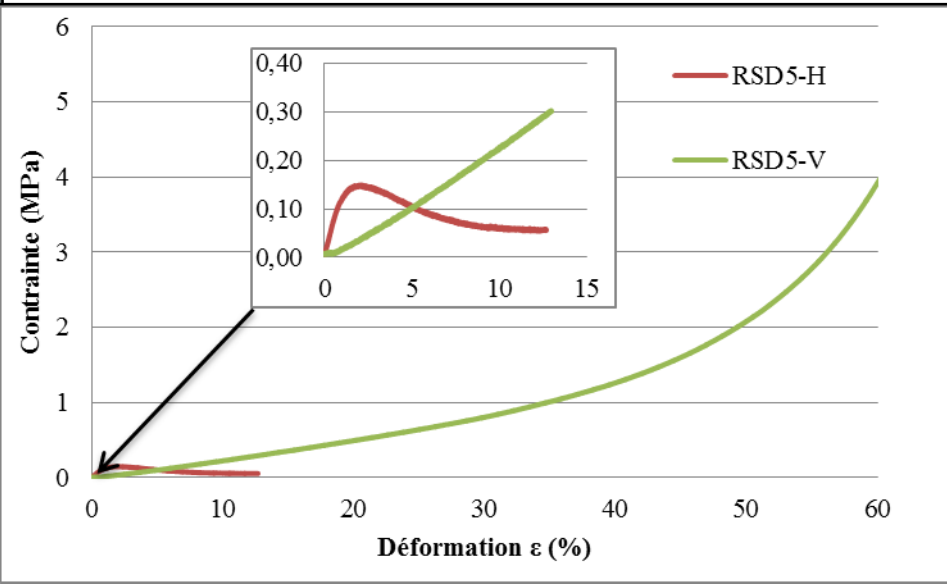
# INFLUENCE DES ADDITIFS SUR LES PROPRIÉTÉS CAPILLAIRES



# INFLUENCE DES ADDITIFS SUR LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES EN COMPRESSION

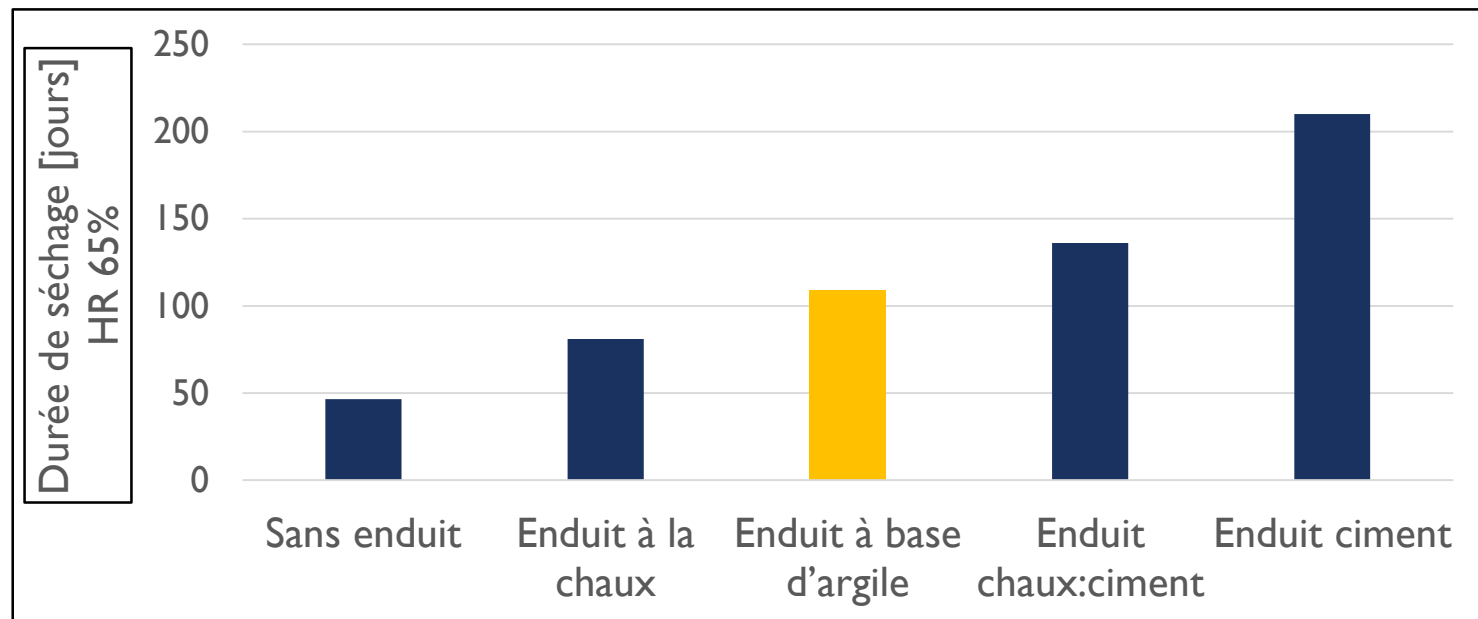






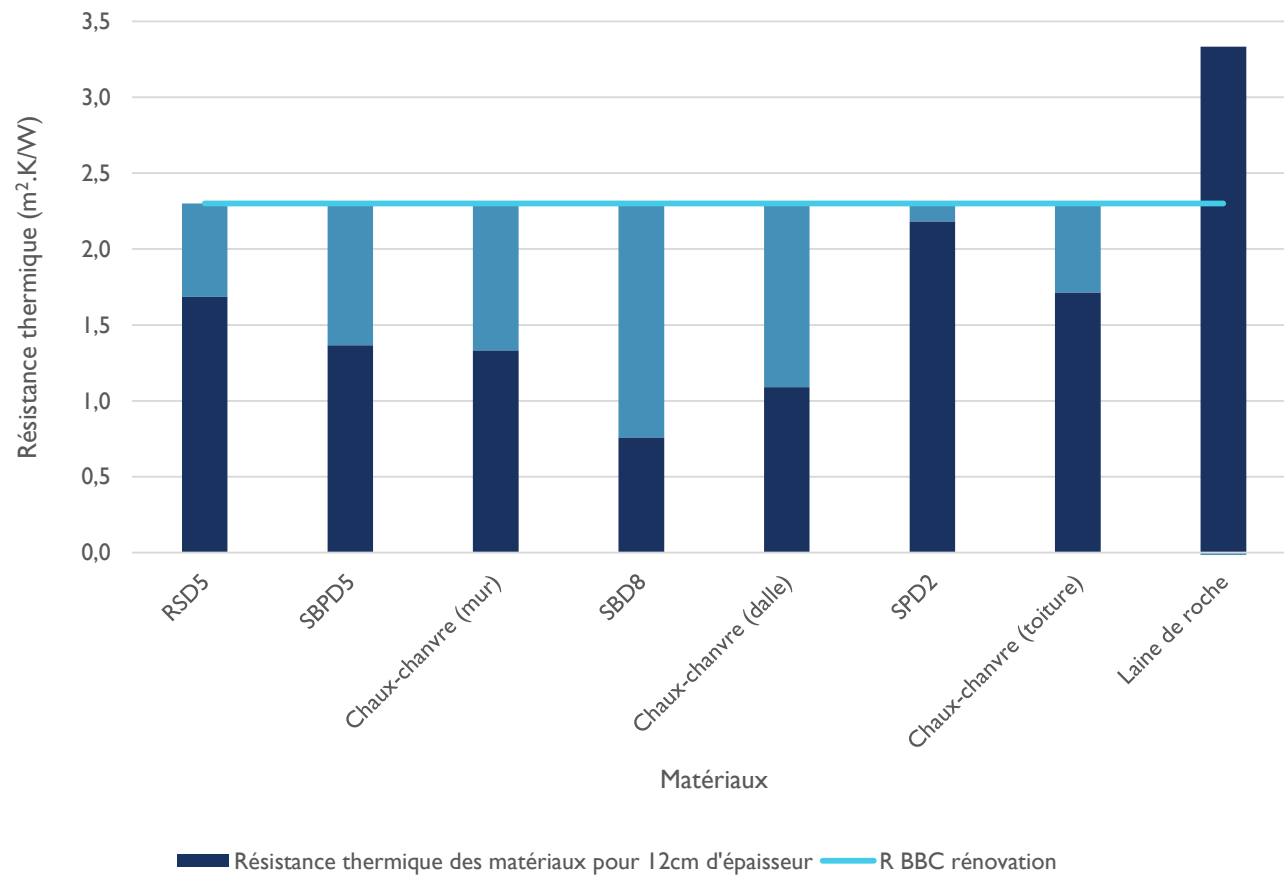
# BIOCOMPOSITES-ENDUIT DE FINITION

- INFLUENCE DE L'ENDUIT – DURÉE DE SÉCHAGE DU BIOCOMPOSITE, ÉTUDE NUMÉRIQUE (WUFI 2D)



- La durée de séchage du biocomposite est fortement influencée selon le type d'enduit de finition appliqué, l'ajout de ciment étant à proscrire

# RÉSISTANCE THERMIQUE



# CAPACITÉ DE TAMPON HYDRIQUE

Caractérisation hydrique dynamique

$$MBV = \frac{\Delta m}{A.(\%RH_{high} - \%RH_{low})}$$

$$\%RH_{high} = 75\% - 8h$$

$$\%RH_{low} = 33\% - 16h$$

$\Delta m$  = moyenne entre masse d'eau absorbée et désorbée

$A$  = surface exposée en  $m^2$



# CAPACITÉ DE TAMPON HYDRIQUE

Capacité de tampon hydrique: influence de l'enduit de finition



De droite à gauche RSD5, SBPD5 et SPD2 sans enduits de finition

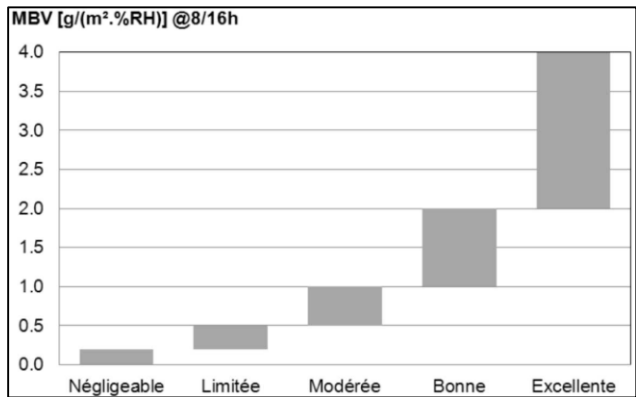


De droite à gauche RSD5, SBPD5 et SPD2 avec enduits de finition

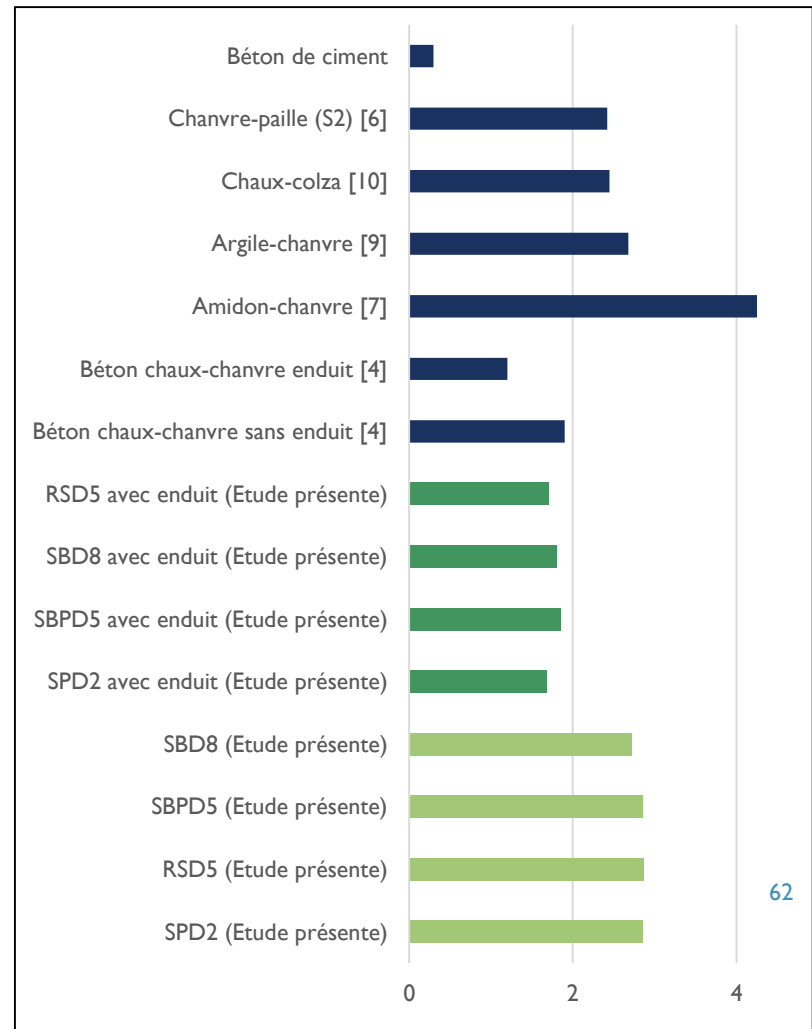
Enduit de finition

- Ép. 8mm
- Proportions massiques
  - Terre: 1
  - Sable: 4
  - Eau: 0,8

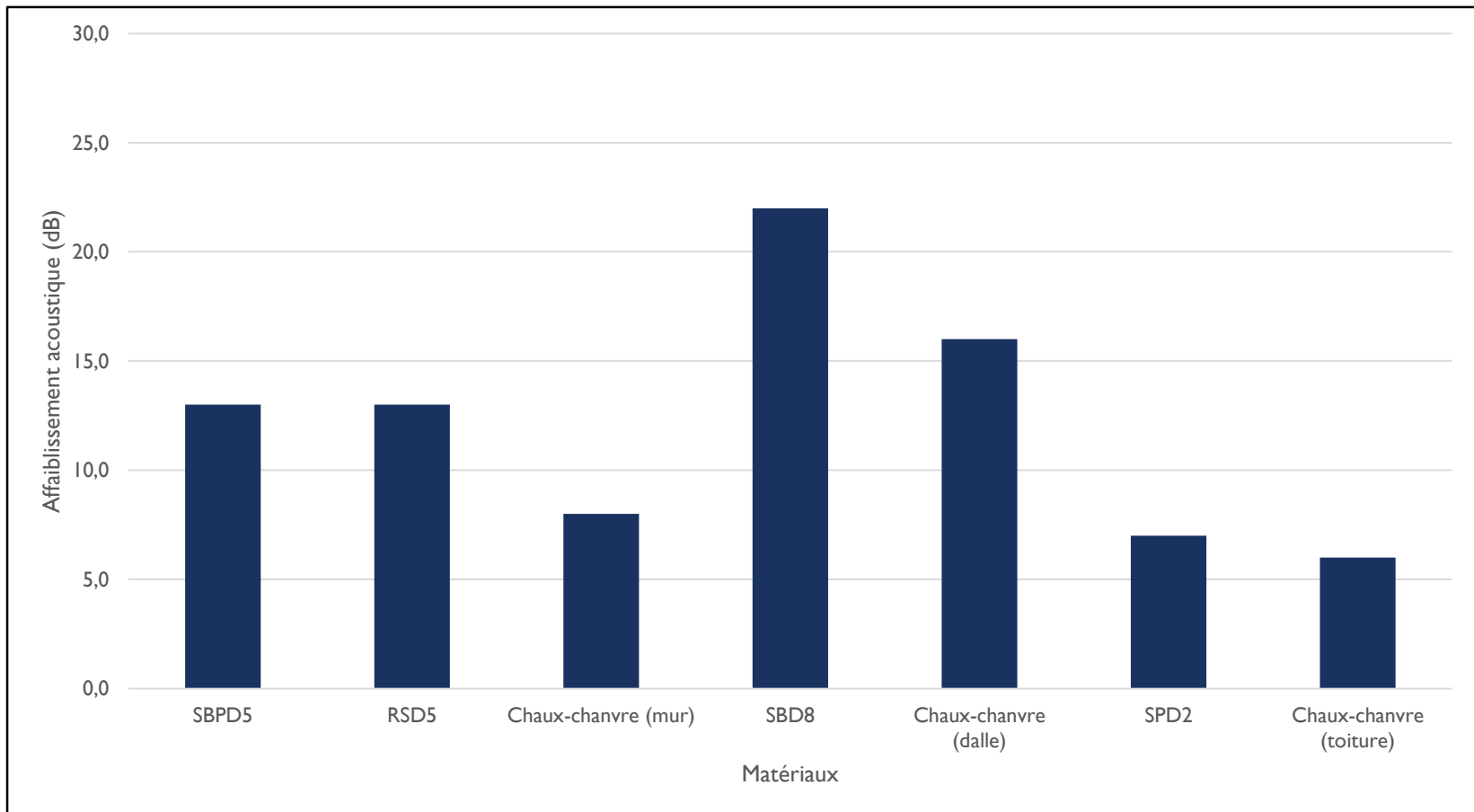
# CAPACITÉ DE TAMPON HYDRIQUE



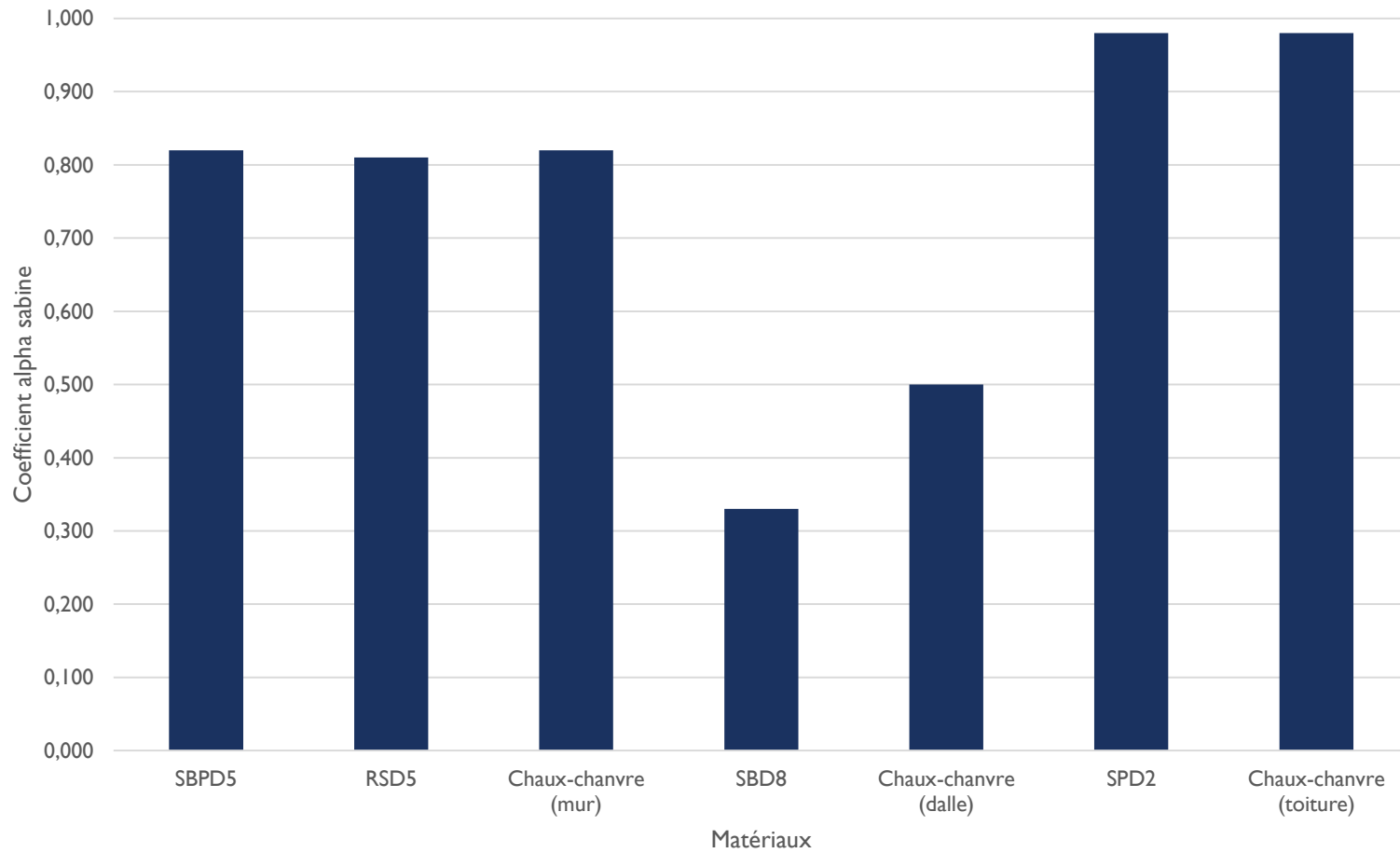
L'ajout d'un enduit de finition engendre une diminution des capacité de tampon hydriques qui passent d'excellentes à bonnes (Rode-2007)



# AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE

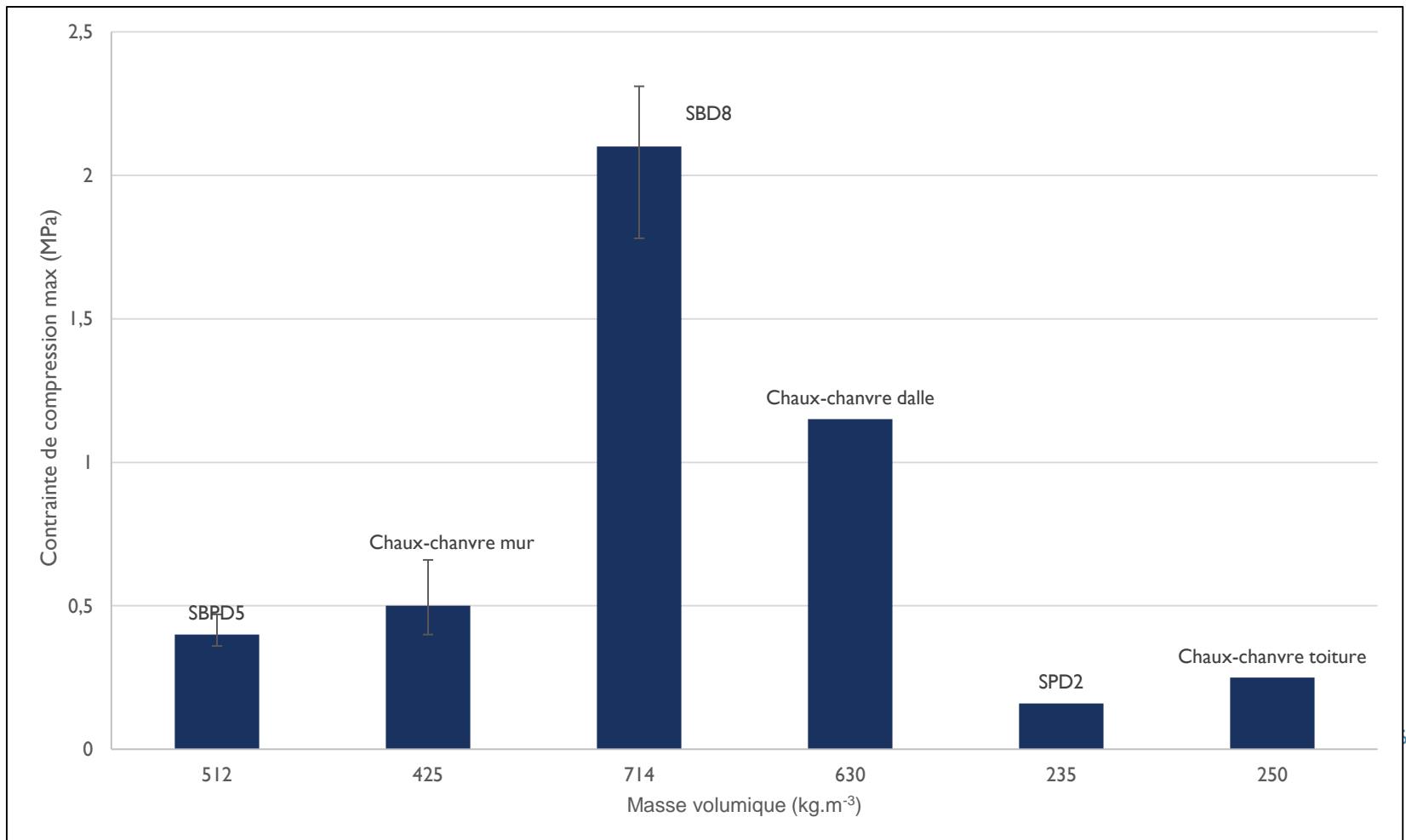


# ABSORPTION ACOUSTIQUE

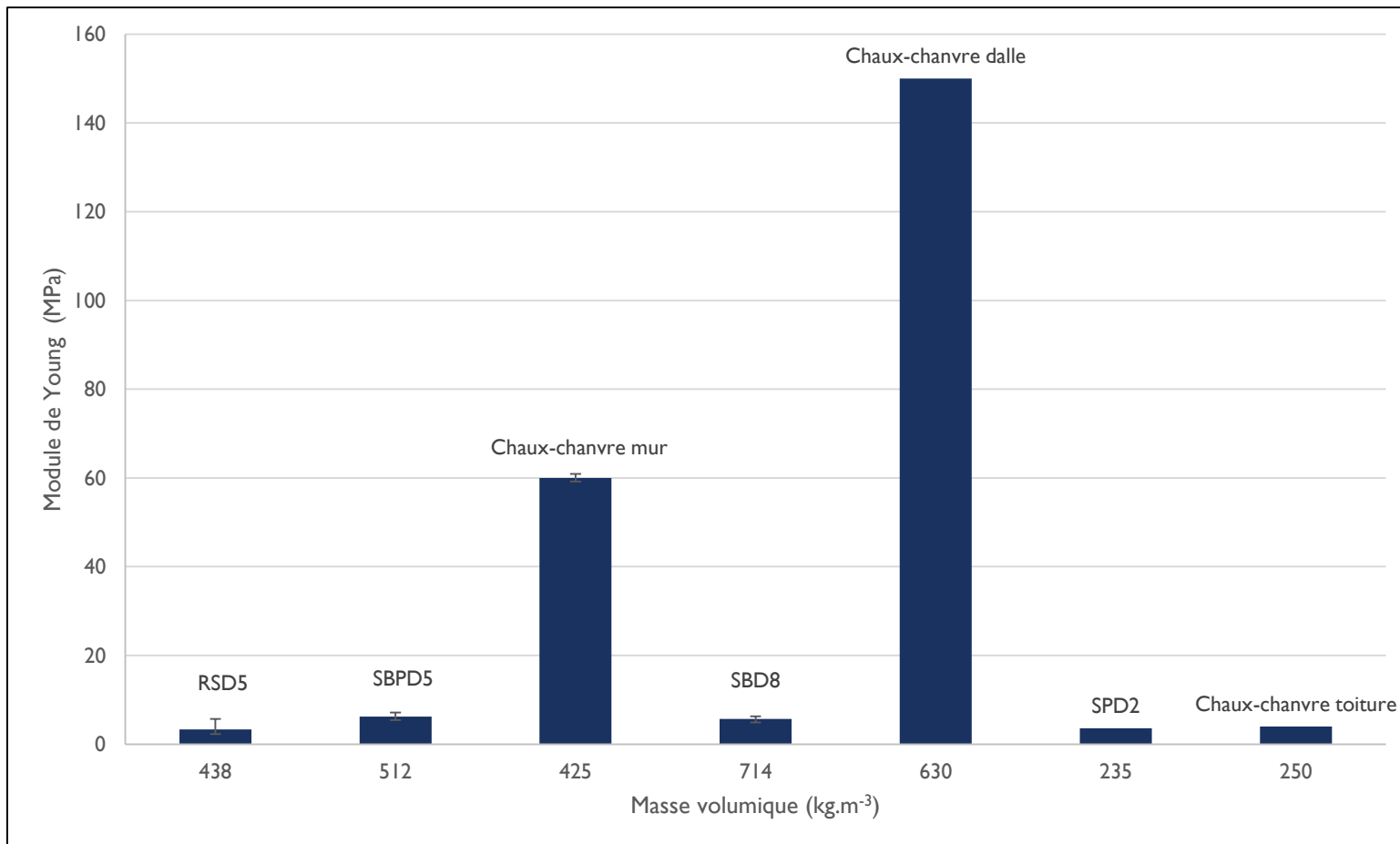




# RÉSISTANCE À LA COMPRESSION



# MODULE D'ÉLASTICITÉ



# BILAN

- Positionner le LAMé sur les thématiques des bétons végétaux
- Contacts avec de nouveaux laboratoires (LIMATB, CEREMA, groupe GDS,...)
- Dispenser des cours sur le développement durable auprès des élèves ingénieurs
- Une thèse disponible en ligne
- 2 présentations conférences internationales
- 1 présentation évènement régional
- Un article publié dans une revue reconnue (Construction and Building Materials) + 2 en cours de rédaction
- Recherche et valorisation en cours (arrachement, additifs, gonflement) à Orléans

# BILAN

## Agriculteurs:

- Affinage de la réflexion sur la transformation
- Ouverture sur d'autres granulats
- Connaissances des performances des matières premières

# BILAN

## Artisans:

- Indications de protocoles/dosage des bétons terre:végétaux
- Éléments de connaissance des performances de ces matériaux
- Retours d'expériences de chantiers

# CONCLUSION

- La masse volumique des granulats végétaux est un paramètre clé qui va impacter la formulation des biocomposites ainsi que leurs caractéristiques thermiques, mécaniques et acoustiques
- Utiliser des granulats de microstructures différentes permet d'obtenir une gamme de biocomposites aux propriétés variées

# CONCLUSION

- La mise en place de filières terre:granulats végétaux pour l'isolation des bâtiments est envisageable du point de vue des performances de ces matériaux et souhaitable pour l'environnement
- Des écueils au niveau de la mise en œuvre restent toutefois à résoudre:
  - Durée de séchage/développement de moisissures
  - Diminution du coût de mise en œuvre
  - Assurabilité

# PERSPECTIVES

- Etude comparative en partant de ratios volumiques identiques
- Poursuite de la caractérisation
  - Retrait/gonflement (granulats et biocomposites)
  - Tests d'arrachement
  - $C_p$ , effusivité, perméabilité,...



## PERSPECTIVES

- Mécanisation de la mise en œuvre/  
diminution de la quantité d'eau =  
projeteuses + plastifiants
- L'utilisation de co-produits végétaux variés est  
envisageable ouvrant des perspectives de création  
de filières d'agro-matériaux dans de nombreux  
territoires en France et dans le monde





[yoann.brouard@univ-tours.fr](mailto:yoann.brouard@univ-tours.fr)