



# Ecologie et acoustique : matériaux, techniques, perspectives

Philippe Glé – UMRAE

CIDB TOUR DÉCIBEL VILLES - 10 OCTOBRE 2024 - STRASBOURG



# Vers des traitements acoustiques plus respectueux de l'environnement

Ecrans  
acoustiques  
multifonctions

Nature en ville

Toitures et murs  
végétalisés

Enrobés  
recyclés ou  
biosourcés

Constr. bois,  
biosourcés  
et  
géosourcés

Véhicules  
électriques

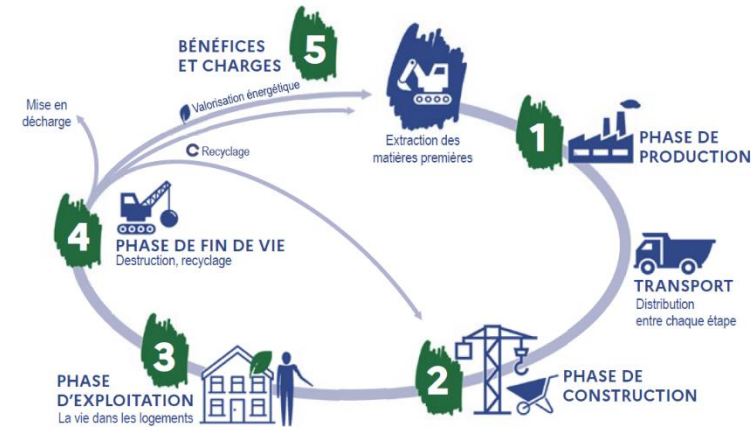


[image generator, 2024]

1. Contexte et définitions
2. Comportement acoustique des bio / géosourcés
3. Perspectives de travail

# Contexte et définitions

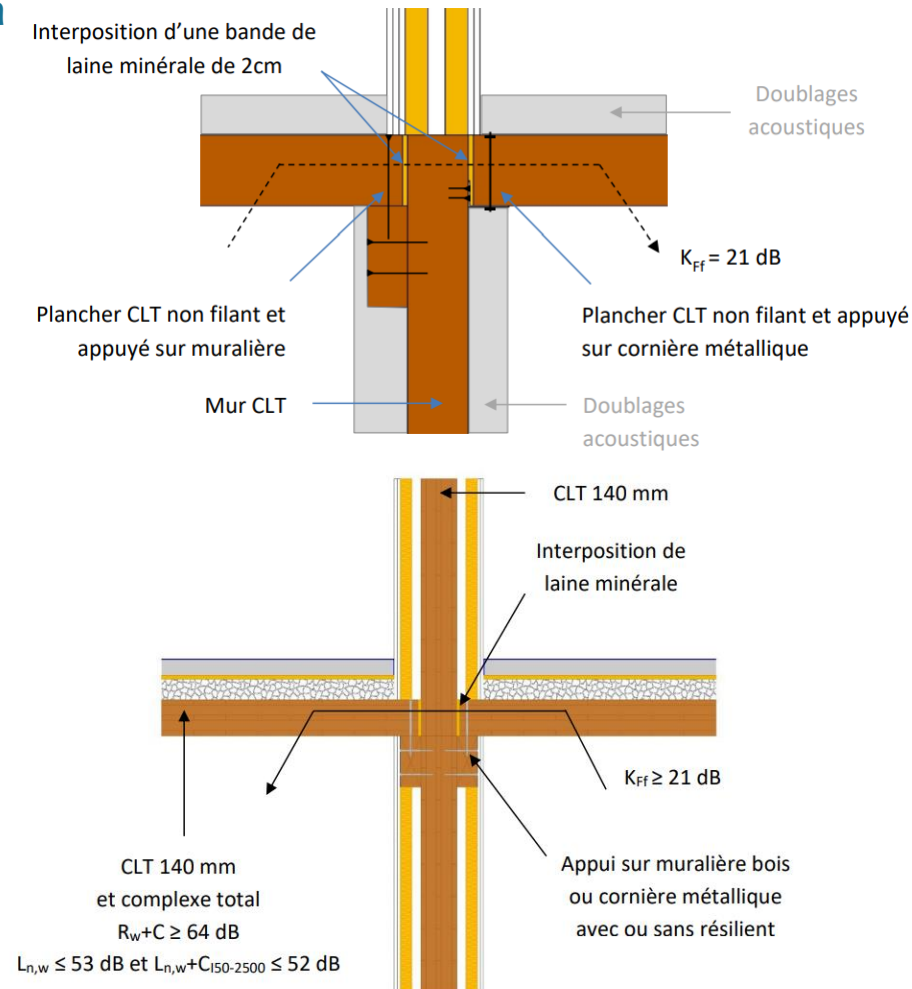
- De forts enjeux environnementaux:
  - Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>
  - Réduction de l'énergie grise (énergie nécessaire à la mise à disposition d'un ouvrage au sens de la norme NF EN 15978)
  - Réduction de l'énergie consommée en phase opérationnelle
  - Evaluation des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment (ACV)



- Le nouveau cadre de la RE2020: une réglementation à la fois énergétique et environnementale
  - Introduction de l'ACV
  - $I_{c_{\text{construction}}}$  (kg éq.CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): indicateur d'impact sur le changement climatique des produits de construction
  - Aspect dynamique intégrant la temporalité des émissions: un avantage pour les matériaux biosourcés stockant du carbone lors de leur croissance

**RE 2020** Bâtiment à  
**Énergie Positive**  
& **Réduction Carbone**

- Des particularités acoustiques et vibratoires à ne pas négliger...
  - Souplesse des structures
  - Conduction vibratoire
  
- Des solutions techniques mises au point [*Projets AcouBois, AdivBois*]
  - Dimensionnement des épaisseurs de plancher
  - Doublages intérieurs désolidarisés
  - Traitement des poteaux et poutres bois apparents
  - Discontinuités des planchers, plafonds et solivages
  
- Certains sujets encore à l'étude
  - Cas des immeubles de grande hauteur (solicitations du vent) [*Projet DynaTTB 2023*]





## ○ Définitions:

- **Biosourcés:** Des matériaux partiellement ou totalement issus de la biomasse d'origine végétale ou animale, avec deux familles de sous-produits
- **Géosourcés:** Des matériaux issus de ressources d'origine minérale, tels que la terre crue ou la pierre sèche



## ○ Les applications dans le bâtiment

- Des produits déjà industrialisés, d'autres en développement
- Volumes/surfaces de matériaux
  - Le volume des isolants biosourcés est de 3 350 milliers de m<sup>3</sup> en 2021, soit une augmentation d'environ 30 % sur ces 6 dernières années [TBC Innovation, 2021]
  - En termes de surface, cela représente 33 millions de m<sup>2</sup> en 2021, soit 10-11% du marché des isolants [Karibati, 2021]
- Dynamique économique
  - Un fort potentiel de valorisation des surfaces et volumes de co-produits disponibles (*ex: pour les fibres végétales, seulement 2 à 3% des ressources sont valorisées*) [FRD, 2020]

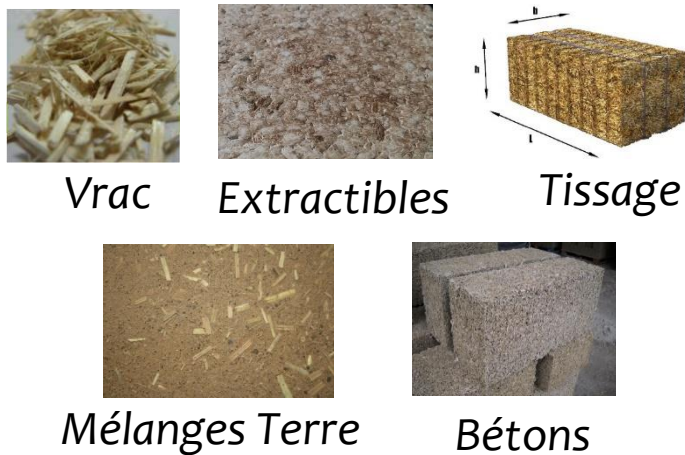


# Quelques exemples

○ Granulaires bruts:



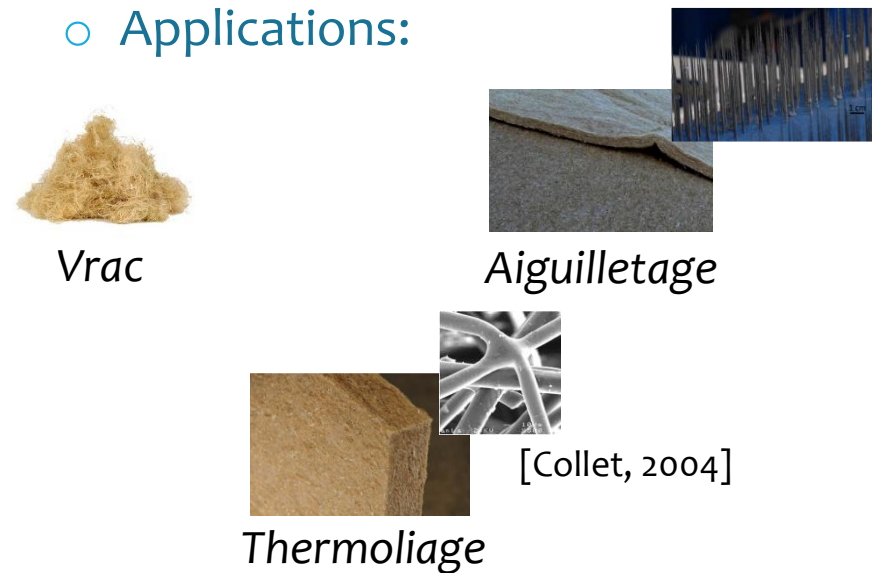
○ Applications:



○ Fibres brutes:



○ Applications:





- Quelles performances acoustiques?
  - Données déjà disponibles?
  - Equivalence par rapport à d'autres solutions?
  - Compréhension physique de leur comportement?
  
- Points de vigilance particuliers?
  - En lien avec leur plage de variabilité?
  - En lien avec leur origine naturelle?

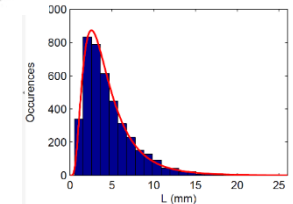
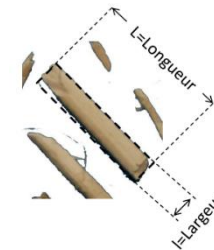
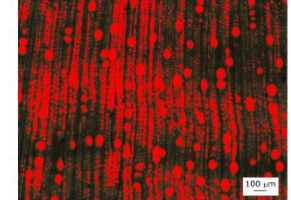
# Comportement acoustique des bio/géo-sourcés

- Microstructure
  - Particules et fibres poreuses
  - Approche multiéchelle
- Anisotropie
  - Fibres, granulats allongés
- Distribution granulométrique
  - Dimensions caractéristiques
  - Largeur de distribution
- Variabilité
  - Process naturel
  - Composition chimique
  - Caractère hygroscopique
  - Durabilité?

Inter-particle pores



Intra-particle pores

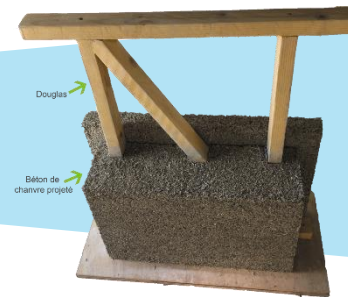
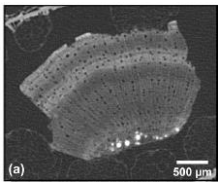


	Mineral wools	Plant wools
$\rho_{frame}$ ( $kg.m^{-3}$ )	$\approx 2600$	1000-1500
Diameter ( $\mu m$ )	1-10	20-40
Micro-porosity	-	2-16 %

## ○ Enjeux

- Besoin de maîtrise des performances in situ
- Des matériaux encore peu connus sur le plan acoustique
- Une approche délicate liée à leurs spécificités...

## ○ Démarche



- *Projet DHUP MABIONAT – MATériaux BIOsourcés et NATurels pour une construction durable [2012-2016]*



## Approche

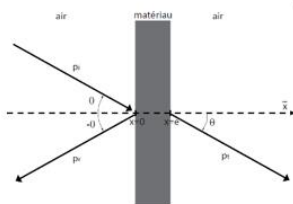
Sélection



Caractérisation



Modélisation



$$\alpha(\theta) = 1 - |R(\theta)|^2$$

$$R(\theta) = \frac{p_r(\theta, x=0)}{p_i(\theta, x=0)}$$

$$TL(\theta) = -10 \log \tau(\theta)$$

$$\tau(\theta) = \frac{I_t(\theta)}{I_i(\theta)} = \left| \frac{p_t(\theta, x=e)}{p_i(\theta, x=0)} \right|^2$$

## Fiche type

### 2.1.1.2 Laine de chanvre

#### Caractéristiques de l'échantillon :

- Diamètre : 100 mm
- Epaisseur : 90 mm
- Masse volumique : 29 kg.m<sup>-3</sup>
- Composition : 85% Chanvre - 15% Bico

#### Modélisation :

- Modèle : JCAL
- Paramètres :
  - $\phi = 93.5\%$
  - $\sigma = 1652 \text{ N.m}^{-4}\text{s}$
  - $\alpha_x = 1.00$
  - $\lambda = 335 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
  - $\lambda' = 360 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
  - $R_0 = 166 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$

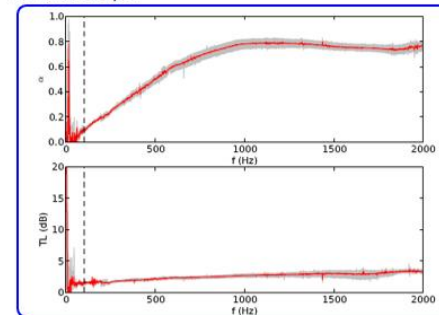


Caractéristiques matériau

Photo échantillon

Modélisation appropriée

#### Performances acoustiques :



Performances caractérisées et gamme de variation observée

Mesures réalisées le 25/02/2015 au Cerema Strasbourg sur 3 échantillons (2 faces)

Info mesure



# Mesures de référence à l'échelle de la paroi

Voir [Etude CSTB-Cerema, 2018]

Toiture  
 $Rw(C, Ctr) = 52(-4, -11)dB$

Combles perdus +  
 $Rw(C, Ctr) = 54(-5, -12)dB$

Combles perdus  
 $Rw(C, Ctr) = 43(-1, -8)dB$

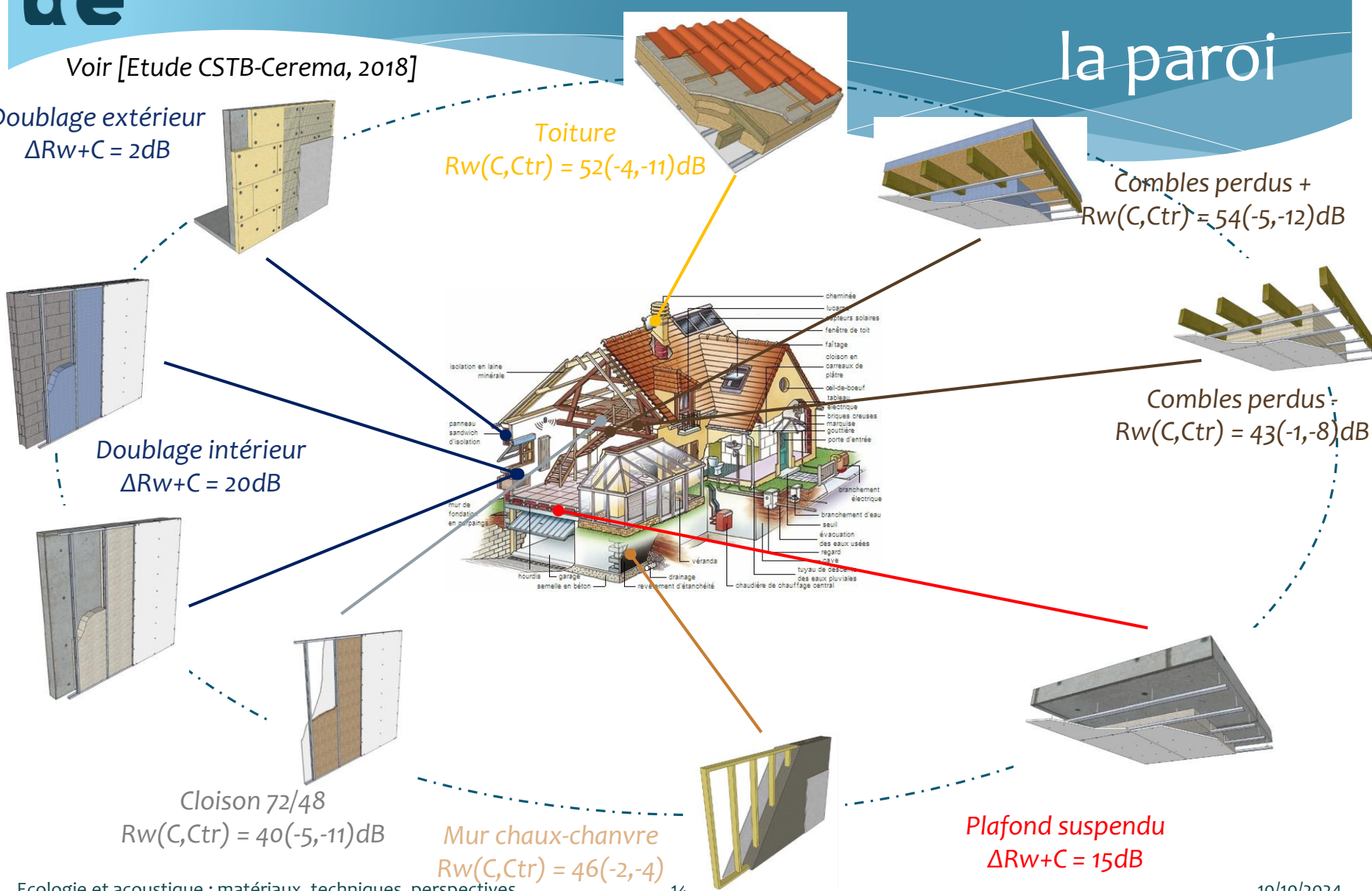
Plafond suspendu  
 $\Delta Rw+C = 15dB$

Mur chaux-chanvre  
 $Rw(C, Ctr) = 46(-2, -4)$

Cloison 72/48  
 $Rw(C, Ctr) = 40(-5, -11)dB$

Doublage intérieur  
 $\Delta Rw+C = 20dB$

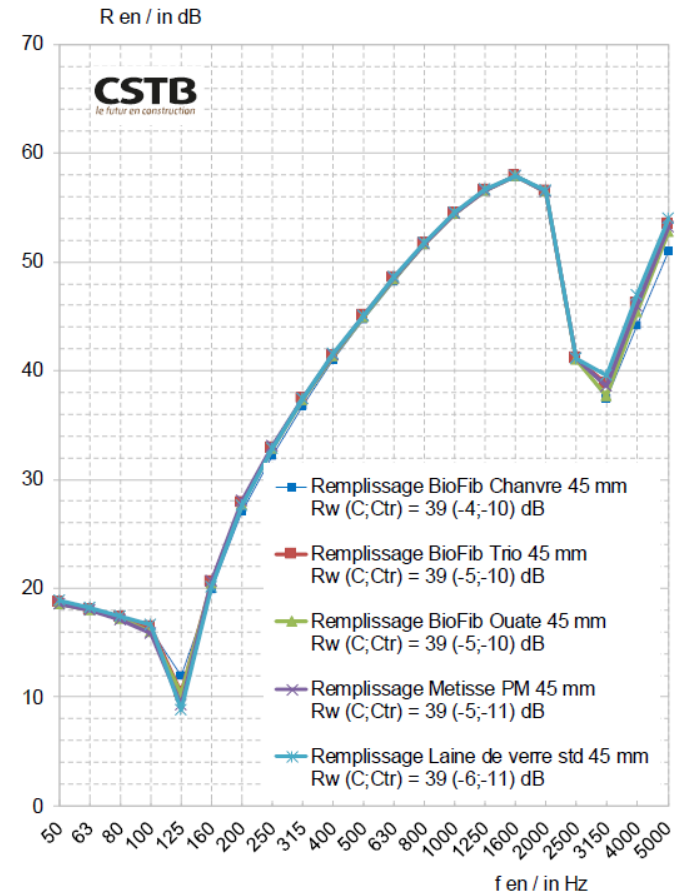
Doublage extérieur  
 $\Delta Rw+C = 2dB$



- Analyses de l'étude [CSTB-Cerema, 2018]:

*Performances acoustiques des systèmes avec laines biosourcés similaires aux systèmes avec laines minérales (⚠: mise en œuvre !)*

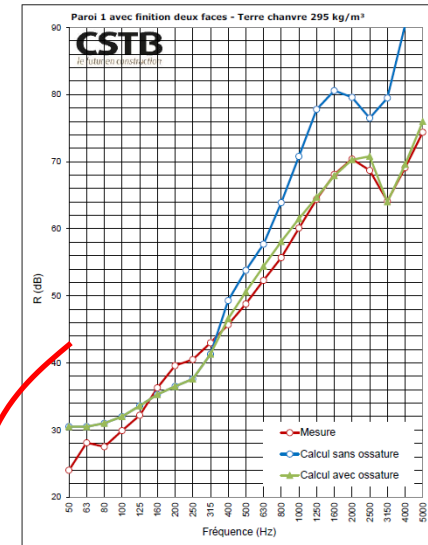
- Cloisons
  - Doublages sur ossature (sans contact avec mur support)
  - Plafonds suspendus sur ossature sous plancher béton de 140mm (sans contact avec plancher)
  - Combles perdus et toitures (hors cas des matériaux en vrac)
- De nombreuses questions encore en suspens



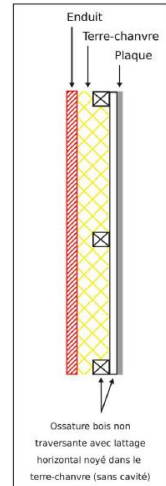
# Modélisation des systèmes et extrapolations

## ○ Stratégie

1. Caractérisation poroélastique à l'échelle matériau
2. Validation des modèles de comportement (échelle matériau)
3. Mesure de référence à l'échelle paroi
4. Modélisation du système de référence à l'échelle paroi
5. Extrapolation à d'autres systèmes de configuration voisine
  1. Epaisseurs
  2. Matières premières
  3. ...

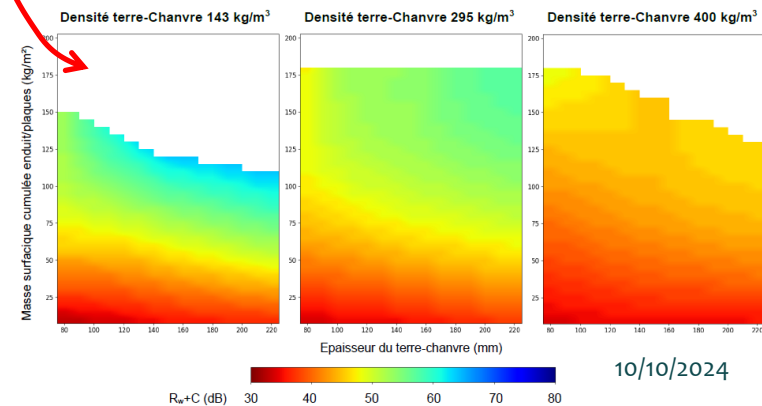


OSSATURE SIMPLE  
SANS CAVITÉ  
ENDUIT ET PLAQUE



[Projet LOB+HIE, 2024]

Performance acoustique  $R_w+C$  (dB)

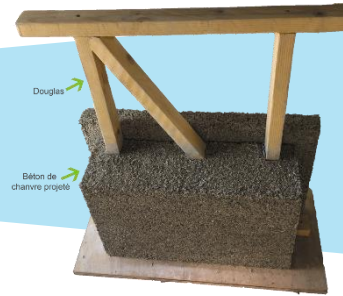
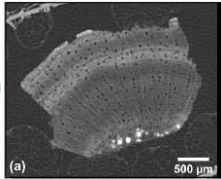


# Conclusions et perspectives

- Des ressources déjà disponibles
  - Base de données de l'Opération Mabionat (2016)
  - Base de données issue de la convention Cerema-CSTB-DHUP (2018)
  - Résultats du projet Ademe ECOTERRA (2020)
  - Résultats du projet Ademe LOB+HIE (2024)
  
- Les projets en cours / à suivre sur le sujet...
  - Projet National Terre Crue
  - Projet CarAc'Terre - Caractérisation et dimensionnement acoustique des constructions en terre crue [LASA, CSTB, Cerema, Univ Eiffel, ENTPE]
  - Projet LOCABATI - LOCAL Biobased Aggregates for building Thermal Insulation, Ademe [UBS, Cerema, Ecole des Ponts ParisTech, LMDC, IMT Mines Alès, UniLasalle, Elan Createur, Plâtre Vieujot]
  - Projet BioMeta - Matériaux biosourcés, ignifugés et optimisés pour des applications thermiques et acoustiques [ANR JCJC Cerema]







- **Caractérisation microstructure**
- Distribution de tailles de pores
- Arrangements granulaires / fibreux
- Modélisation micro-macro
- **Anisotropie**
- **Comportement poroélastique**
- **Comportement multiéchelle**
- Durabilité
- Modélisation multicouche, **couplage structure-matériau**
- Qualification des performances ( $\alpha_w$ ,  $R_w$ ,  $\Delta R$ )
- **Transmissions latérales (Dn,f,w)**
- **Expérimentations in situ (DnT,A, L'nT,w, R'l)**
- **Transmissions latérales (Kij)**
- **Enquêtes de perception / confort acoustique**

Merci pour votre attention...

- Contact :
  - [Philippe.Gle@cerema.fr](mailto:Philippe.Gle@cerema.fr)
  
- Liens :
  - <http://www.umrae.fr/>



L'Unité Mixte de Recherche en  
Acoustique Environnementale (UMRAE)  
est un laboratoire de recherche  
commun entre l'Ifsttar et le Cerema,