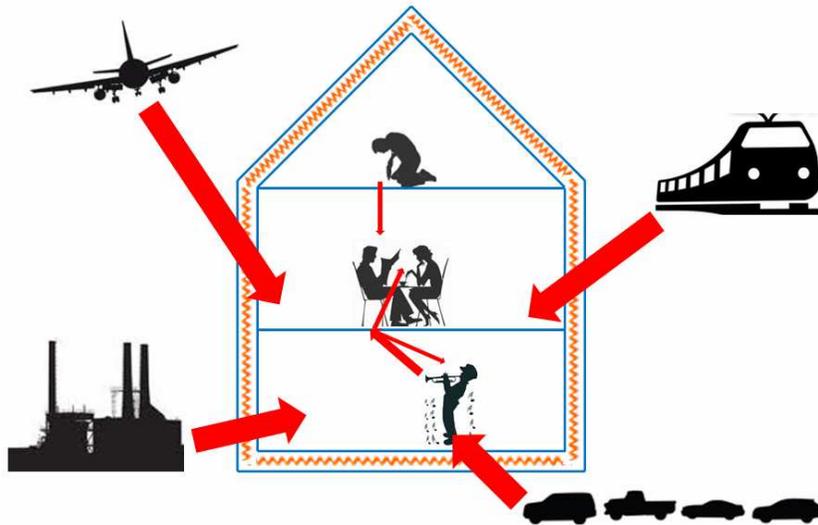
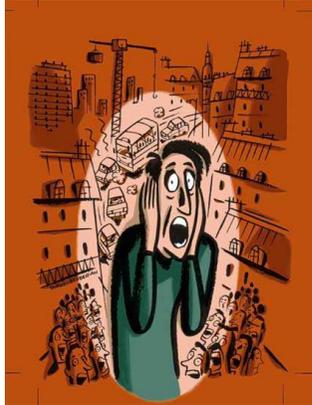


Plan de la présentation

- Contexte
 - Des nuisances sonores...
 - Les matériaux poreux biosourcés
- Propriétés acoustiques des matériaux poreux
 - Grandeurs
 - Caractérisation
 - Modélisation
- Constitution de la base de données
 - Méthodologie
 - Panel de matériaux
 - Illustrations

Contexte

Les nuisances sonores

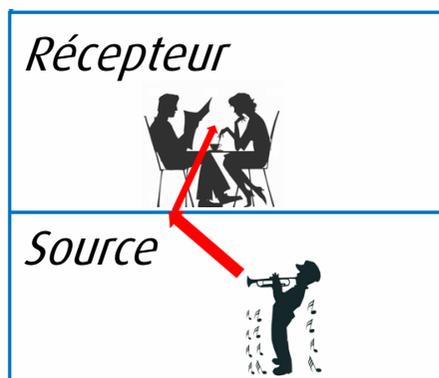


- Le bruit, une préoccupation de 1^{er} ordre
 - 82% des français concernés
 - Sources : Bruit & voisinage
 - 1^{er} facteur de déménagement
 - Origine de litiges, ...[IFOP 2014, CIDB 2014]
- Des traitements à différentes échelles
 - A la source (véhicules, industrie,...)
 - Sur le chemin de propagation (écrans)
 - Au niveau des récepteurs (bâtiment)
- Deux comportements à optimiser
 - Isolation acoustique
 - Correction acoustique

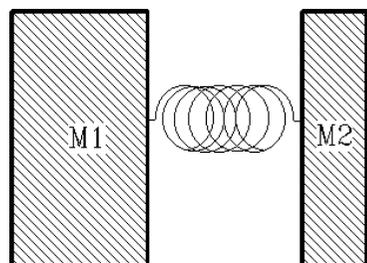
Différentes problématiques...

Isolation acoustique

- But : Réduire l'énergie acoustique transmise par les parois

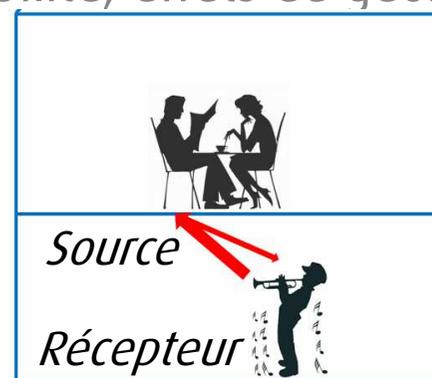


- Moyens :



Correction acoustique

- But : Assurer la qualité acoustique d'une enveloppe (réverbération, intelligibilité, effets de géométrie, ...)



- Moyens :



Les matériaux poreux

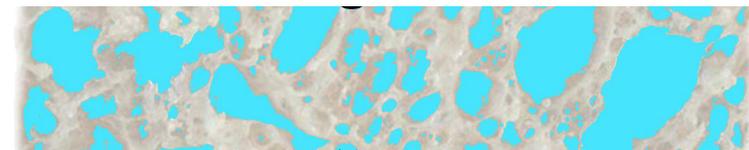
*Un matériau poreux est un matériau contenant des pores (vides). Il est constitué d'une **phase solide**, souvent appelée "matrice" ou "squelette" et d'une **phase fluide**, les pores étant généralement saturés par un fluide (liquide ou gaz)...*



Matériau poreux

=

+



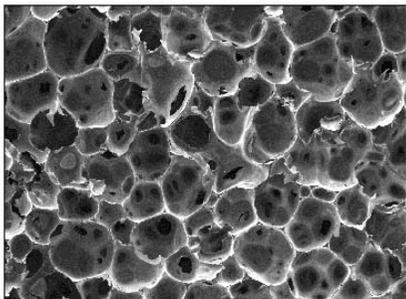
Phase fluide



Phase solide

Les matériaux poreux : Biosourcés...

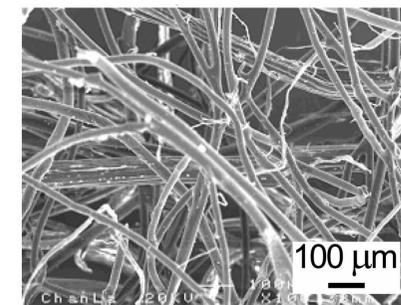
Réticulés



Granulaires



Fibreux



- Objectif de la base de données acoustique
 - > Mieux connaître les propriétés des matériaux biosourcés, et diffuser des connaissances permettant de favoriser le recours à ces matériaux

Propriétés acoustiques des matériaux poreux

Focus sur un matériau à squelette rigide

Propriétés acoustiques

Coefficient d'absorption

$$\alpha(\theta) = 1 - \left| \frac{p_r(\theta, x=0)}{p_i(\theta, x=0)} \right|^2$$

Indice d'affaiblissement

(TL : Transmission Loss)

$$TL(\theta) = -10 \log \left| \frac{p_t(\theta, x=e)}{p_i(\theta, x=0)} \right|^2$$

Densité dynamique

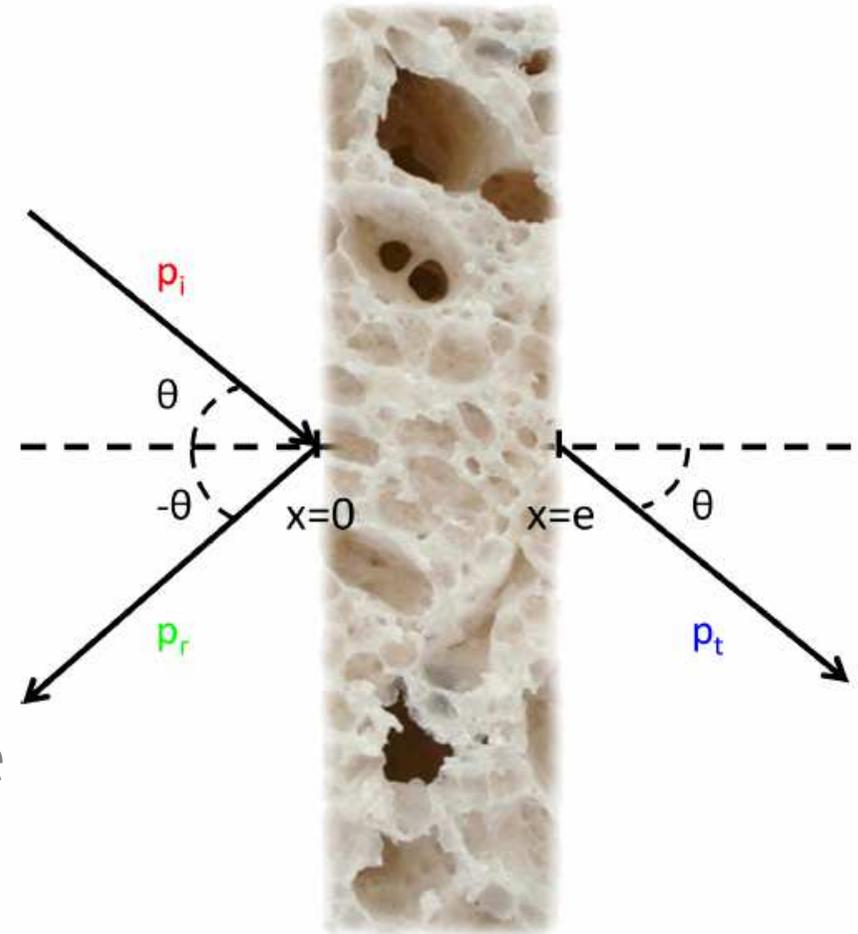
Dissipation par effets visco-inertiels

$$\rho = \frac{\eta}{j\omega\Pi}$$

Module d'incompressibilité dynamique

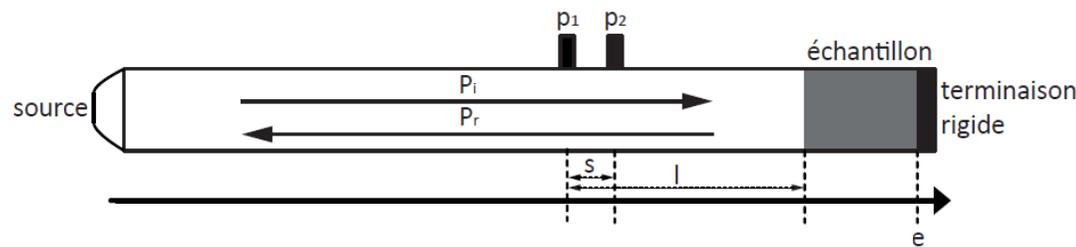
Dissipation par effets thermiques

$$K = \frac{\gamma \frac{P_0}{\phi}}{\gamma - j(\gamma - 1) \frac{\Theta}{\phi \delta_t^2}}$$



Caractérisation des propriétés acoustiques

Incidence normale, Tube de Kundt
Impédance de surface

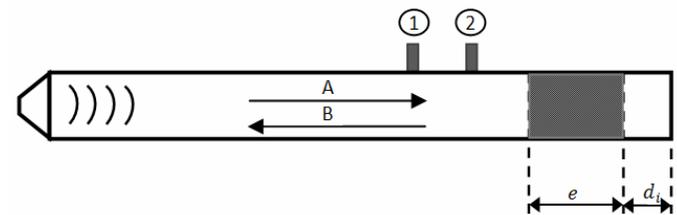


$$\begin{cases} p_1 = p_0 e^{j(\omega t + k_0 l)} + R p_0 e^{j(\omega t - k_0(l-s))} \\ p_2 = p_0 e^{j(\omega t + k_0(l-s))} + R p_0 e^{j(\omega t - k_0 l)} \end{cases} \quad H_{12} = \frac{p_2}{p_1}$$

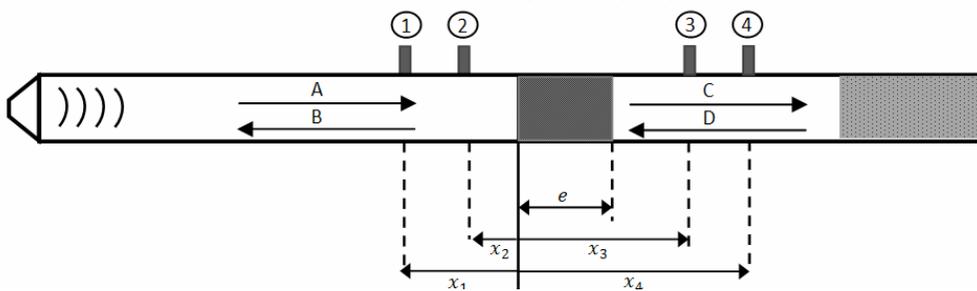
$$\left\{ \begin{aligned} R &= \frac{H_{12} - e^{-jk_0 s}}{e^{jk_0 s} - H_{12}} e^{2jk_0 l} & Z_s &= \frac{P}{\vec{v} \cdot \vec{n}} = Z_0 \frac{1+R}{1-R} & \alpha &= 1 - |R|^2 \end{aligned} \right.$$

Caractérisation des propriétés acoustiques

Incidence normale, Tube de Kundt
Caractéristiques de propagation

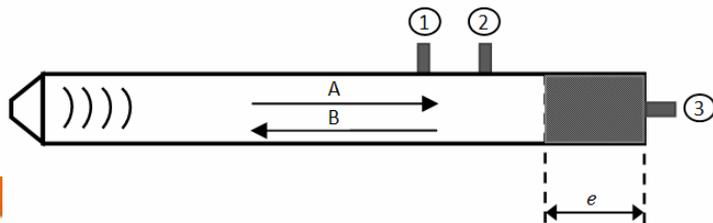


[Utsuno et al., 1989]
 [Yaniv, 1973]



[Song et al., 2000]

$\rho(\omega), K(\omega)$
 $\alpha(\omega), T(\omega)$



[Iwase et al., 98]

Modélisation

- Trois cas de figures

- Fibreux, mousses
-> Porosité totale

Modélisation:

Effets visco-inertiels:

[Johnson *et al.*, 1987]

Effets thermiques:

[Lafarge *et al.*, 1997]

Paramètres:

$\phi, \sigma, \alpha_{\infty}, \Lambda, \Lambda', k_0'$



- Granulaires « ouverts »
-> Porosité partielle

Modélisation:

Effets visco-inertiels:

[Johnson *et al.*, 1987]

Effets thermiques:

[Zwikker & Kosten, 1949]

Paramètres:

$\phi, \sigma, \alpha_{\infty}, \Lambda$



- Granulaires « fermés »
-> Porosité partielle

Modélisation:

Effets visco-inertiels:

[Miki, 1990]

Effets thermiques:

[Miki, 1990]

Paramètres:

σ



Paramètres acoustiques

- Porosité
- Résistivité
- Tortuosité
- Longueur visqueuse
- Longueur thermique
- Perméabilité thermique
- ...

$$\phi = \frac{V_{\text{pores ouverts}}}{V_{\text{total}}}$$

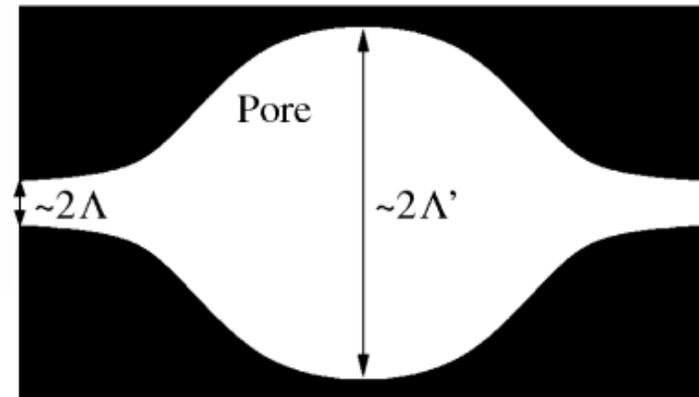
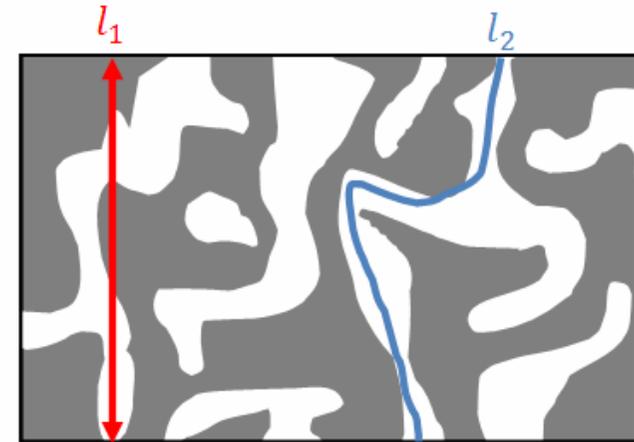
$$\sigma \Phi \vec{v} = -\vec{\nabla} p$$

$$\alpha_{\infty} = \frac{\frac{1}{V} \int_V v^2 dV}{\left(\frac{1}{V} \int_V \vec{v} dV\right)^2} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2$$

$$\frac{2}{\Lambda} = \frac{\int_{S_p} \vec{v}^2 dS_p}{\int_{V_p} \vec{v}^2 dV_p}$$

$$\frac{2}{\Lambda'} = \frac{S_p}{\Phi}$$

$$\tau = j\omega \frac{k_0'}{\kappa} p$$



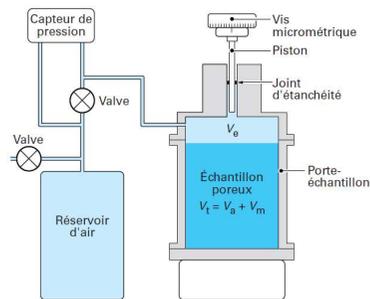
Caractérisation des paramètres acoustiques

Caractérisation directe

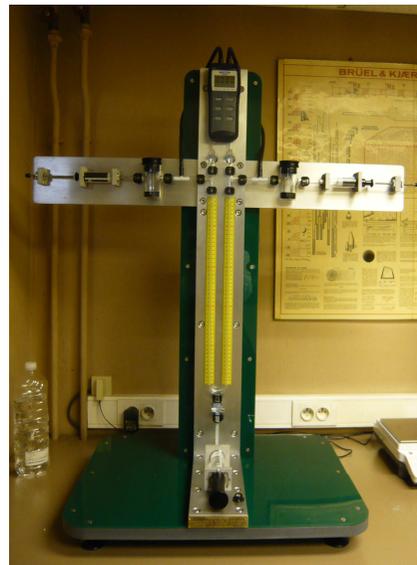
- Porosité [Leclaire et al., 2003]

$$V_{squelette} = V_0 - \Delta V \frac{\Delta P + P_0}{\Delta P}$$

$$\Phi_{ouverte} = \frac{V_{total} - V_{squelette}}{V_{total}}$$

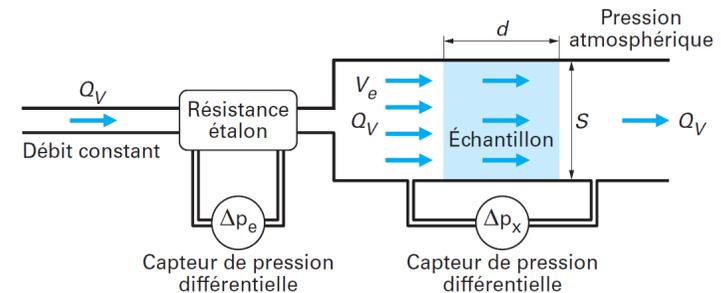


V_t volume total de l'échantillon
 V_p volume des pores interconnectés ou volume d'air dans l'échantillon
 V_m volume occupé par la structure solide de l'échantillon
 V_e volume extérieur à l'échantillon occupé par l'air dans la cavité fermée



- Résistivité [Brouard et al, 2003]

$$\sigma = \frac{S \cdot \Delta P}{Q \cdot e}$$



Caractérisation des paramètres acoustiques

Caractérisation indirecte

A partir des mesures au tube de Kundt, on remonte aux paramètres grâce à des relations analytiques

$$\tilde{\rho}_{eq} = \frac{\alpha_{\infty} \rho_0}{\phi} \left[1 + \frac{\sigma \phi}{j \omega \rho_0 \alpha_{\infty}} \left(1 + \frac{4 j \alpha_{\infty}^2 \eta \rho_0 \omega}{\sigma^2 \Lambda^2 \phi^2} \right)^{1/2} \right]$$

$$\alpha_{\infty} = \frac{\phi}{\rho_0} \left(\operatorname{Re}(\tilde{\rho}_{eq}) - \sqrt{(\operatorname{Im}(\tilde{\rho}_{eq}))^2 - \frac{\sigma^2}{\omega^2}} \right)$$

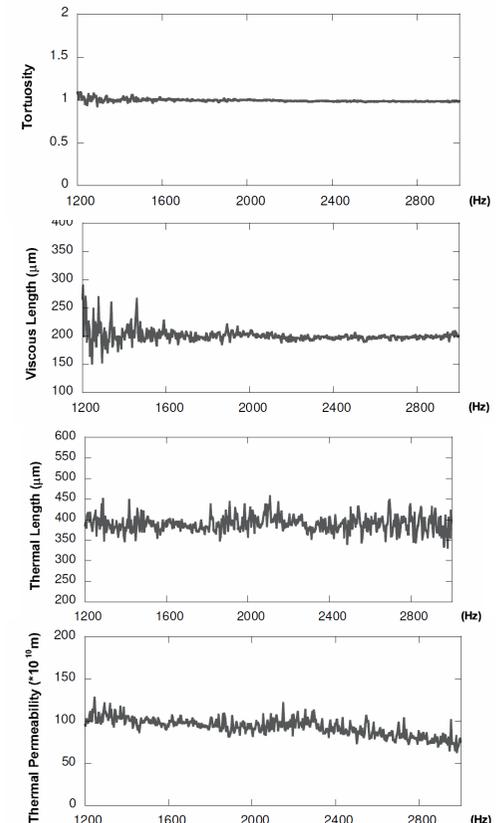
$$\Lambda = \frac{\alpha_{\infty}}{\phi} \sqrt{\frac{2 \eta \rho_0}{\omega \operatorname{Im}(\tilde{\rho}_{eq}) (\alpha_{\infty} \rho_0 / \phi - \operatorname{Re}(\tilde{\rho}_{eq}))}}$$

$$\tilde{K}_{eq} = \frac{\gamma P_0 / \phi}{\gamma - (\gamma - 1) \left(1 - j \frac{\phi \kappa}{k_0 C_p \rho_0 \omega} \left(1 + j \frac{4 k_0^2 C_p \rho_0 \omega}{\kappa \Lambda^2 \phi^2} \right)^{1/2} \right)^{-1}}$$

$$\Lambda' = 2 \sqrt{\frac{\kappa}{\rho_0 C_p \omega} \left(-\operatorname{Im} \left(\left(\frac{\gamma P_0 - \phi \tilde{K}_{eq}}{\gamma P_0 - \gamma \phi \tilde{K}_{eq}} \right)^2 \right) \right)^{-1}}$$

$$k_0 = \frac{\phi \kappa}{C_p \rho_0 \omega} / \sqrt{-\operatorname{Re} \left(\left(\frac{\gamma P_0 - \phi \tilde{K}_{eq}}{\gamma P_0 - \gamma \phi \tilde{K}_{eq}} \right)^2 \right)}$$

[Olny et al., 2004]



Constitution d'une base de données acoustique des biosourcés

Méthodologie

-> Evaluation des performances et comportement d'environ 60 matériaux biosourcés en correction et affaiblissement acoustiques (en incidence normale !)

Approche

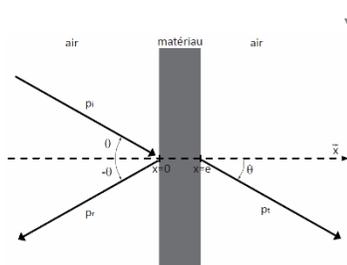
Sélection



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⁻³
- Composition : 85% Chanvre - 15% Bico

- Modélisation :
 - Modèle : JCAL
 - $\phi = 93.5\%$
 - $\sigma = 1652 \text{ N m}^{-4} \text{ s}$
 - Paramètres :
 - $\alpha_\infty = 1.00$
 - $\Lambda = 335.10^{-6} \text{ m}$
 - $\Lambda' = 360.10^{-6} \text{ m}$
 - $K_0 = 166.10^{-10} \text{ m}^2$

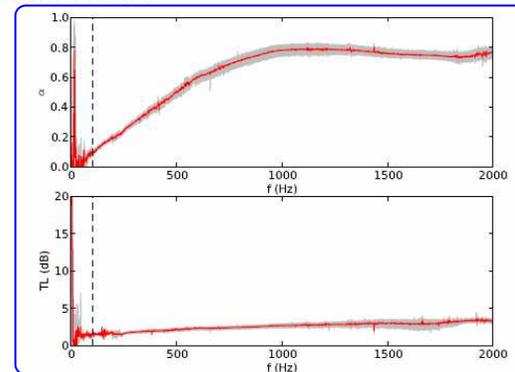


Caractéristiques matériau

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

Panel de matériaux

- Matériaux fibreux

- *Laines végétales simples*
-> *Chanvre, Lin, Kénaif, Bois*
- *Laines végétales composées*
-> *Lin-Coton, Bois-Kénaif, Bois-PES*

- Matériaux granulaires

- *Granulats en vrac*
-> *Chènevotte, Anas de Lin, Pin, Paille de Colza, Moelle et Écorce de Tournesol*
- *Bétons végétaux*
-> *Béton de chanvre (Diverses formulation, divers constituants dont granulats recyclés), Béton de bois*
- *Panneaux thermoliés*
-> *Chènevotte, Anas de Lin, Paille de Colza, Moelle et Écorce de Tournesol*

Illustrations



Dter Est - Laboratoire de Strasbourg
Groupe Acoustique - PCI Acoustique et Vibrations

**Contribution à la constitution d'une base de données
des performances et propriétés acoustiques
des matériaux biosourcés**

Mal 2016



Un grand merci à tous nos partenaires

- Cerema
- EcoPertica
- ENTPE
- ESITPA
- Ifsttar
- Société Capremib
- Société Laroche
- Société Vicat
- Terrachanvre
- Université Clermont Ferrand
- Ville de Troyes
- ...

-- Pour tous les échanges qui ont eu lieu dans le cadre de cette opération de recherche, et les échanges à venir à travers de nouveaux projets --

Merci de votre attention...

...des questions?

Philippe Glé & Thierry Falwisanner
CEREMA, Laboratoire de Strasbourg

philippe.gle@cerema.fr

Annexes

Modélisation du béton de bois

- Paramètres

ϕ_{inter}	40%
σ	10000 Nm ⁻⁴ s
α_{∞}	3
Λ	300 μ m

- Résultats

