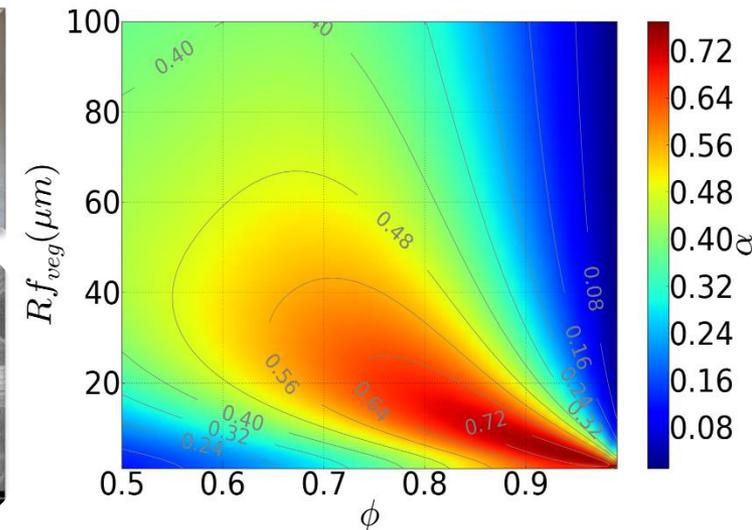
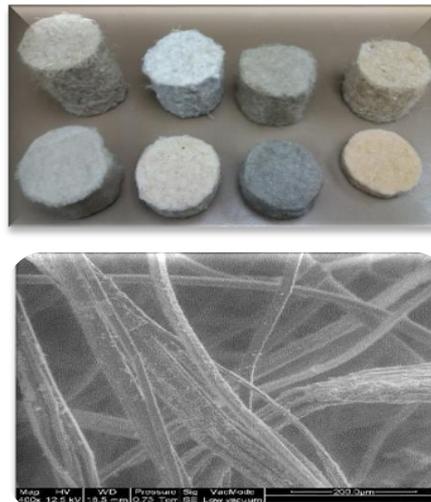




Approche conjointe acoustique et thermique pour l'optimisation des laines végétales du bâtiment



Clément PIEGAY, Emmanuel GOURDON, Philippe GLÉ, Etienne GOURLAY et Sandrine MARCEAU

Cerema/ENTPE

ENTPE

Cerema

Ifsttar

Cerema Est

Mercredi 13 juin 2018

Plan de la présentation

- Contexte et utilisation des laines végétales du bâtiment
- Caractérisation expérimentale des matériaux
- Modélisation et optimisation des propriétés acoustiques et thermiques
- Conclusions et perspectives

Plan de la présentation

- Contexte et utilisation des laines végétales du bâtiment
- Caractérisation expérimentale des matériaux
- Modélisation et optimisation des propriétés acoustiques et thermiques
- Conclusions et perspectives

L'apport des laines végétales du bâtiment

ENJEUX

- Rénovation énergétique du parc bâti → **Loi de la transition énergétique pour la croissance verte (2015)**
- Gestion raisonnée des ressources naturelles
- Diminution des risques sanitaires environnementaux

SOLUTIONS

Matériaux biosourcés

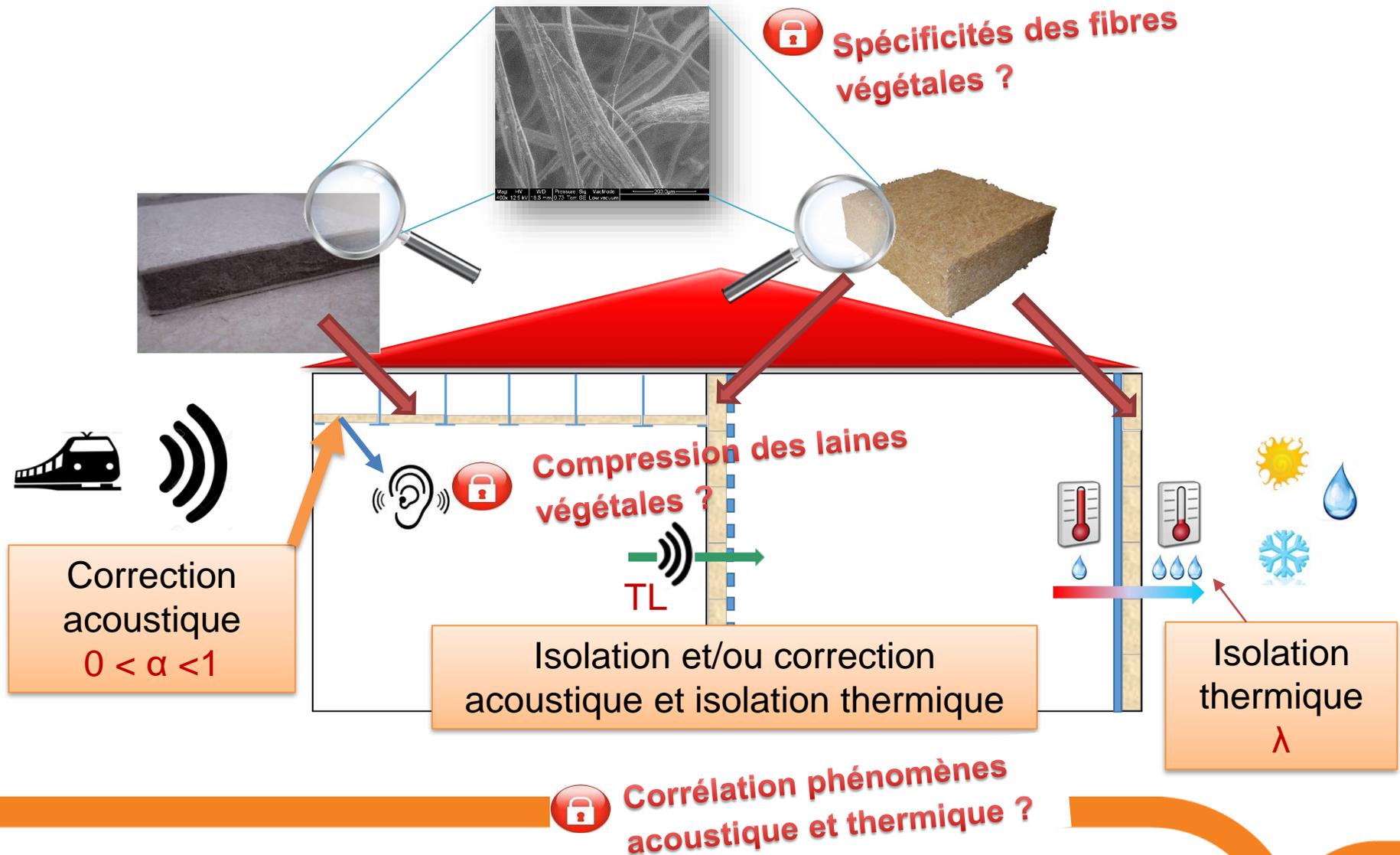
- Filière verte ayant un potentiel de développement économique élevé pour l'avenir (CGDD)
- Matériaux renouvelables
- Stockage CO₂



PERFORMANCES THERMIQUE ET ACOUSTIQUE DES LAINES VÉGÉTALES

[Asdrubali *et al.* 2012] Building Acoustics

Applications pratiques et verrous scientifiques



Applications pratiques liées à la caractérisation et au contrôle des performances

Caractérisation acoustique des matériaux

- ➔ Tube de Kundt
- ➔ Résistivimètre
- ➔ Porosimètre



Modèles analytiques ?

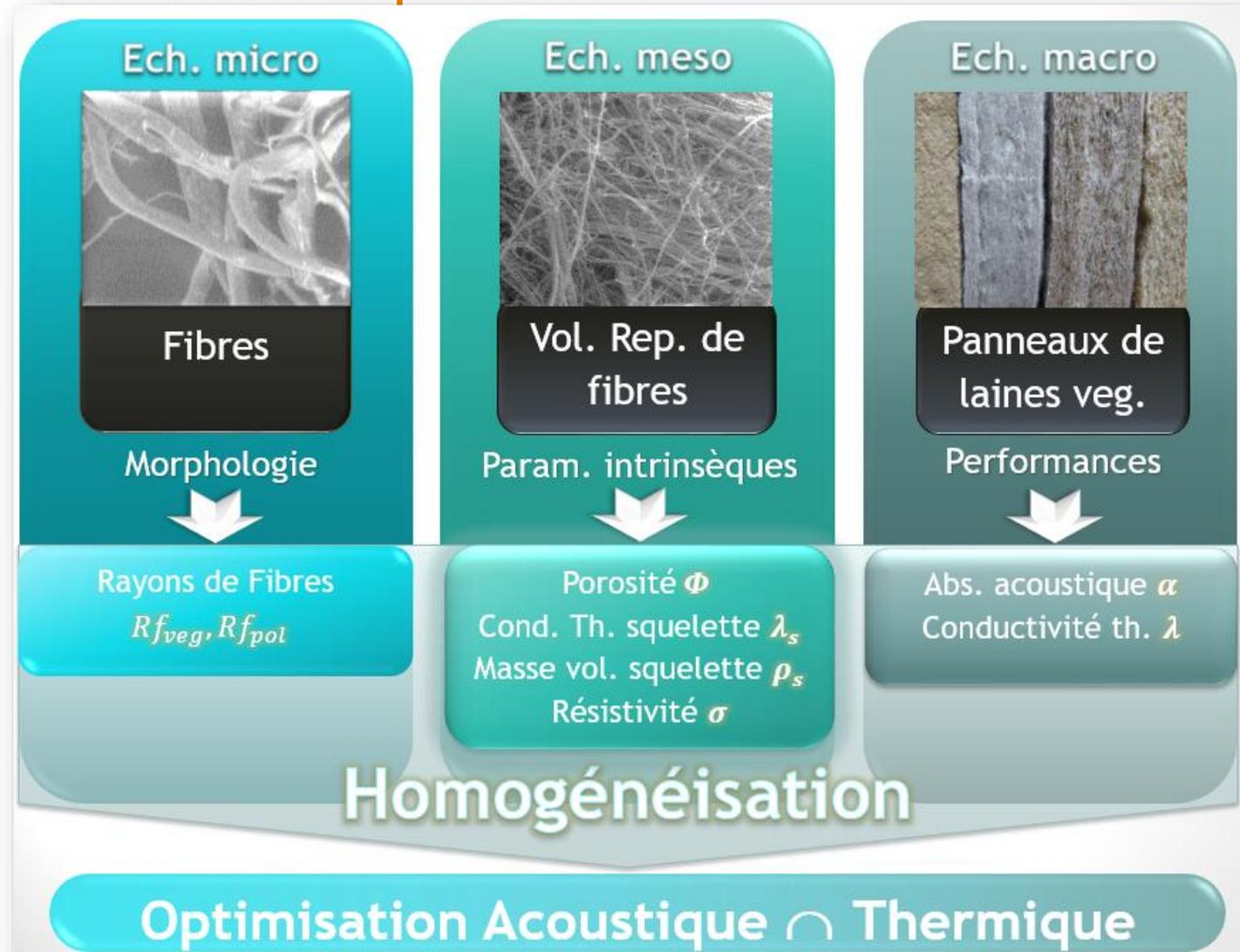
Détermination des paramètres microscopiques par inversion des modèles



Corrélation phénomènes acoustique et thermique ?

- ➔ Caractérisation des performances thermiques des matériaux
- ➔ Contrôle qualité des matériaux

Approche scientifique menée



Plan de la présentation

- Contexte et utilisation des laines végétales du bâtiment
- Caractérisation expérimentale des matériaux
- Modélisation et optimisation des propriétés acoustiques et thermiques
- Conclusions et perspectives

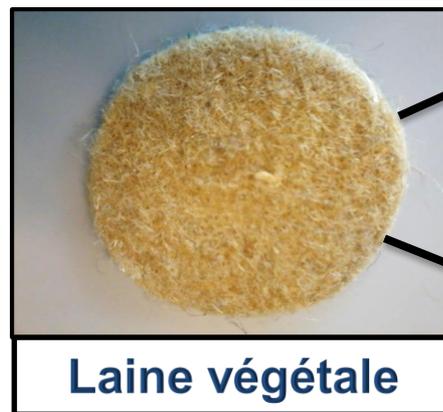
Les laines végétales

- Matériaux poreux appartenant à la famille des fibreux d'origine naturelle



- Récolte
- Rouissage possible
- Transformation / défibrage

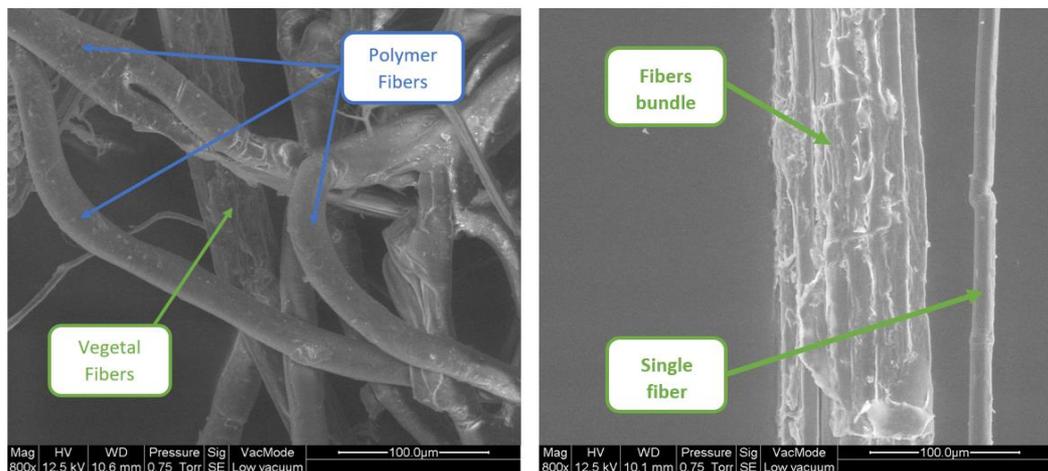
- Thermoliage (ajout de fibres polymères)
- Ou
- Aiguilletage



Phase fluide : air

Phase solide : squelette

Morphologie des fibres

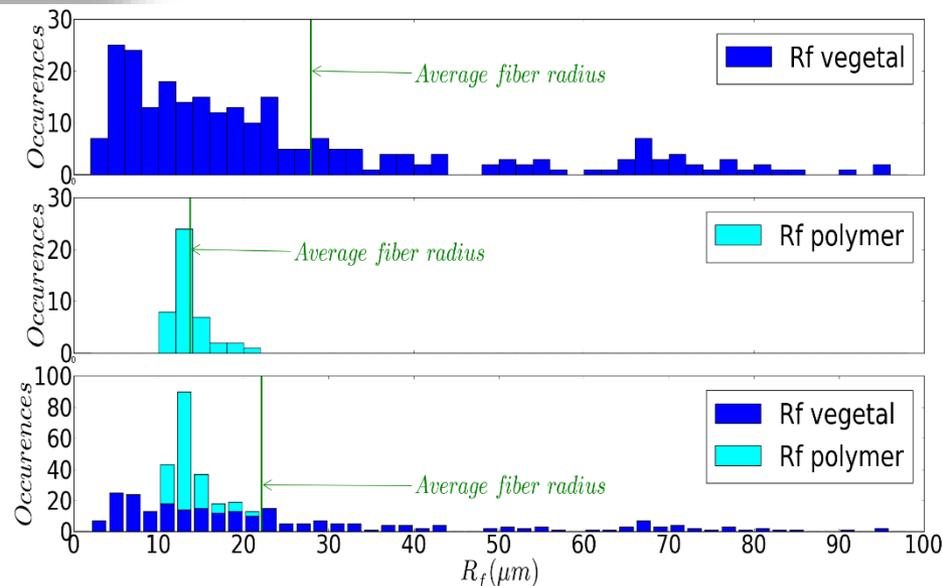


Relevés à partir d'observation
MEB FEI Quanta 400
unité CPDM de l'Ifsttar

Exemple pour une laine de chanvre

Distribution des rayons de fibres

| Type de laine végétale | Moyenne $R_{f_{veg}} (\mu m)$ | Moyenne $R_{f_{pol}} (\mu m)$ | Moyenne $R_f (\mu m)$ |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Chanvre | 27,9 | 13,7 | 22,1 |
| Lin | 14,6 | 12,2 | 13,2 |



Masse volumique de squelette et porosité

Mesures pycnomètre à hélium AccuPyc II 1340 Micrometrics - *unité CPDM de l'Ifsttar*

| Type de matériaux | Fibres polymères | Fibres de chanvre | Fibres de chanvre broyées | Laine de chanvre | Fibres de lin | Laine de lin |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|------------------|---------------|--------------|
| Masse volumique (kg.m ⁻³) | 1 353 | 1 528 | 1 570 | 1 520 | 1 529 | 1 525 |

Porosité fermée de l'ordre de 3%

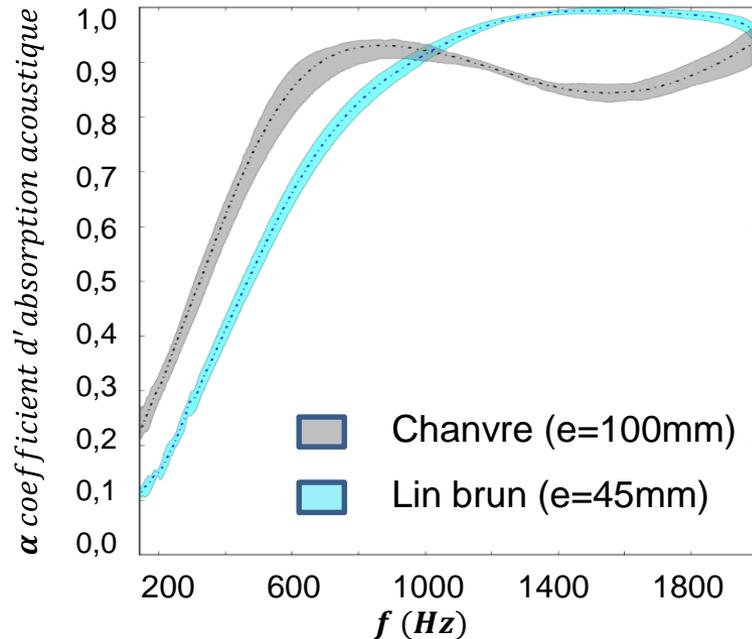
Porosité des laines

$$\phi = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$$

| Type de laine végétale | Masse volumique apparente ρ_a (kg.m ⁻³) | Porosité ϕ |
|------------------------|--|-----------------|
| Chanvre | 45 | 97,0 % |
| Lin | 67 | 95,6 % |

Performances acoustiques et thermiques des laines végétales

➔ Performances acoustiques des laines de chanvre et lin



Tubes à ondes stationnaires – Akustik Forschung
 – AcoustiTube AFD 1200

Cerema Strasbourg

*Mesure du coefficient d'absorption acoustique
 selon la norme ISO 10534-2*

➔ Performances thermiques des laines de chanvre et lin

| Type de matériaux | λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹) |
|-------------------|---|
| Chanvre | 0,044 |
| Lin | 0,042 |

Conductivimètre Hot Disk

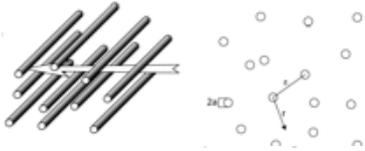
Cerema Strasbourg

*Méthode de la source plane transitoire liée à la
 norme ISO 22007-2*

Plan de la présentation

- Contexte et utilisation des laines végétales du bâtiment
- Caractérisation expérimentale des matériaux
- Modélisation et optimisation des propriétés acoustiques et thermiques
- Conclusions et perspectives

➔ Modèle de Tarnow [Tarnow 1996a] JASA



Flux \perp et distribution aléatoire de fibres

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

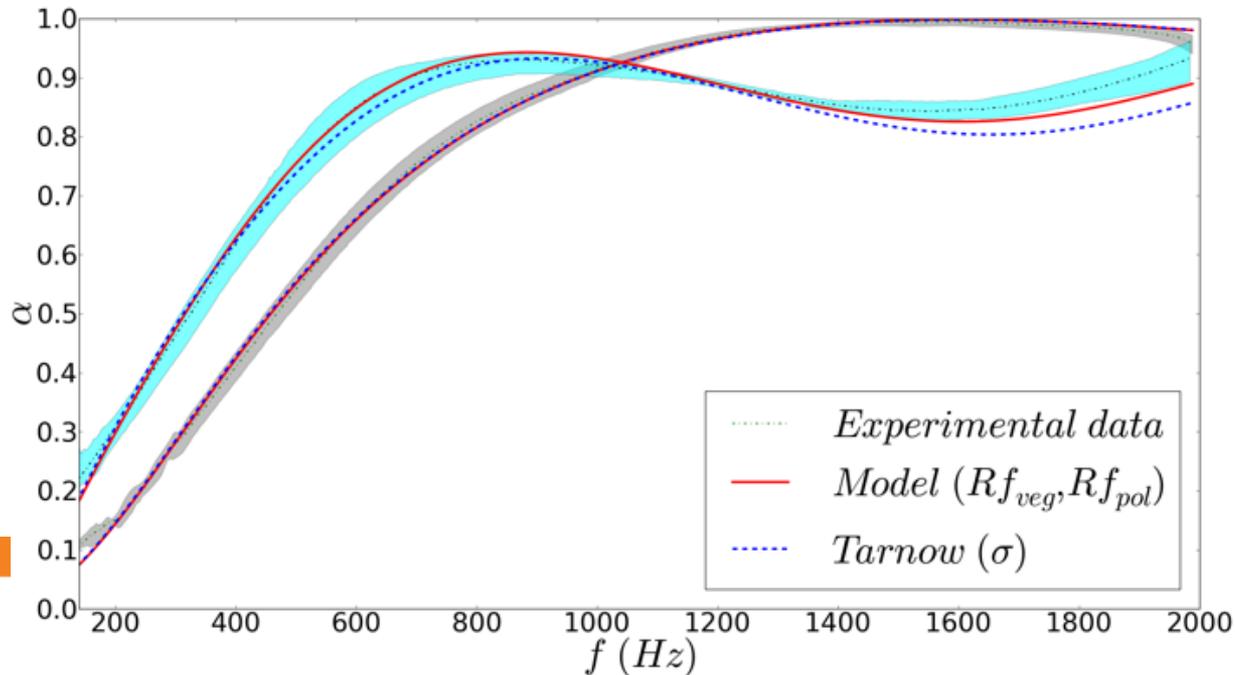
➔ Modèle composite

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

$$\Pi_h = (1 - \tau)\Pi_{veg} + \tau\Pi_{pol}$$

τ : ratio volumique des fibres polymères dans le milieu fibreux avec couplage total $F_d(\omega) = 1$

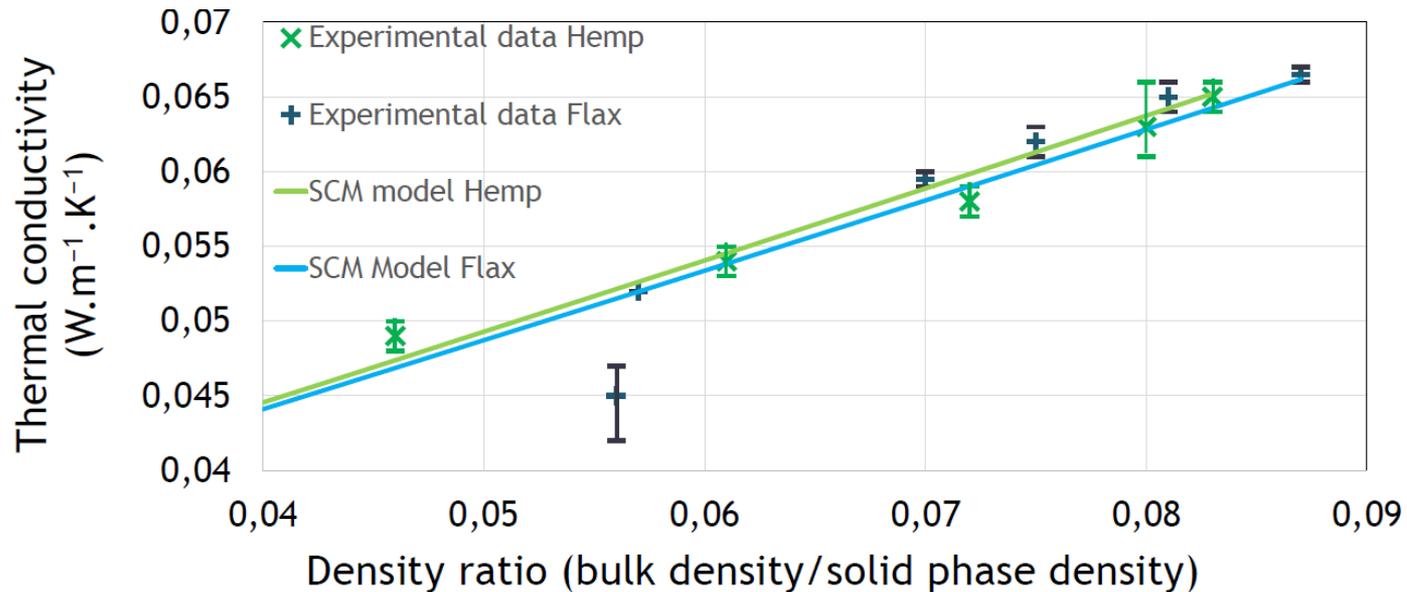
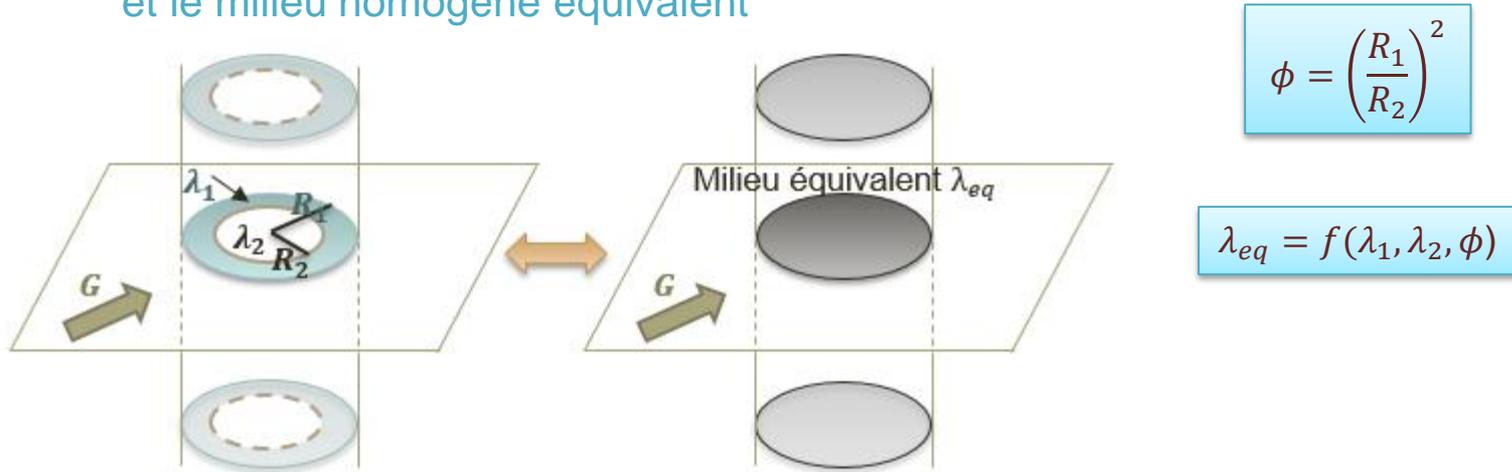
Acoustical model for two types of fibres Rf_{veg}, Rf_{pol}, ϕ [Piégay et al. 2018] Applied Acoustics 129 (2018) 36-46



Modélisation thermique

➔ Modèle d'homogénéisation avec géométrie cylindrique

Schématisation de l'équivalence entre le milieu bicomposite à inclusions cylindriques et le milieu homogène équivalent



Inversion des modèles

➔ Rayon moyen des fibres végétales

| Matériaux | $Rf_{veg} (\mu m)$ Inversé | $Rf_m (\mu m)$ MEB |
|-----------|----------------------------|--------------------|
| Chanvre | $26,3 \pm 0,5$ | 27,9 |
| Lin | $13,3 \pm 0,2$ | 14,6 |

➔ Conductivité thermique des fibres végétales

| Matériaux | $\lambda_{SCM} (W.m^{-1}.K^{-1})$ | $\lambda_{exp} (W.m^{-1}.K^{-1})$ |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Chanvre | $0,905 \pm 0,093$ | - |
| Lin | $0,883 \pm 0,091$ | - |

λ_s bois = $0,73 W.m^{-1}.K^{-1}$ [Nguyen *et al.* 2016] Buildings Env.

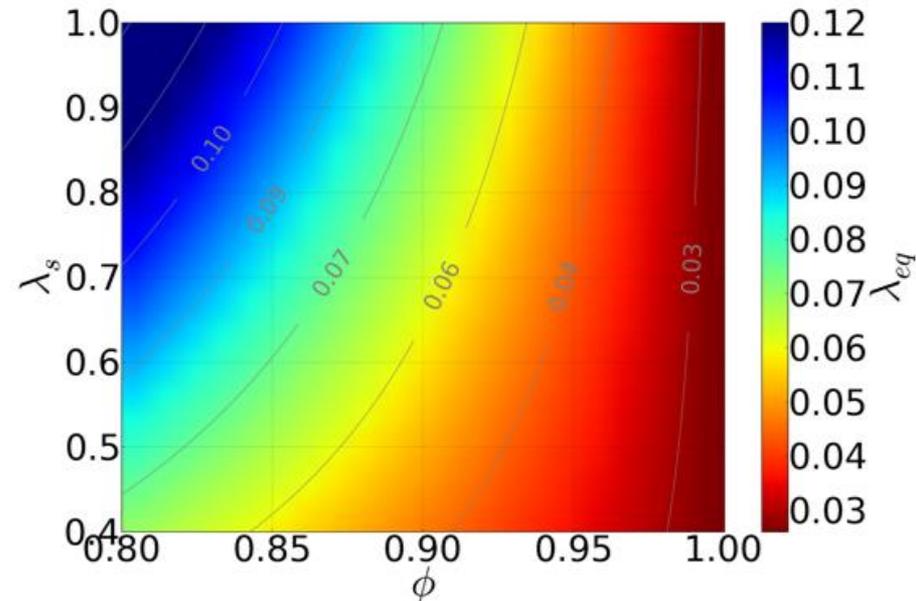
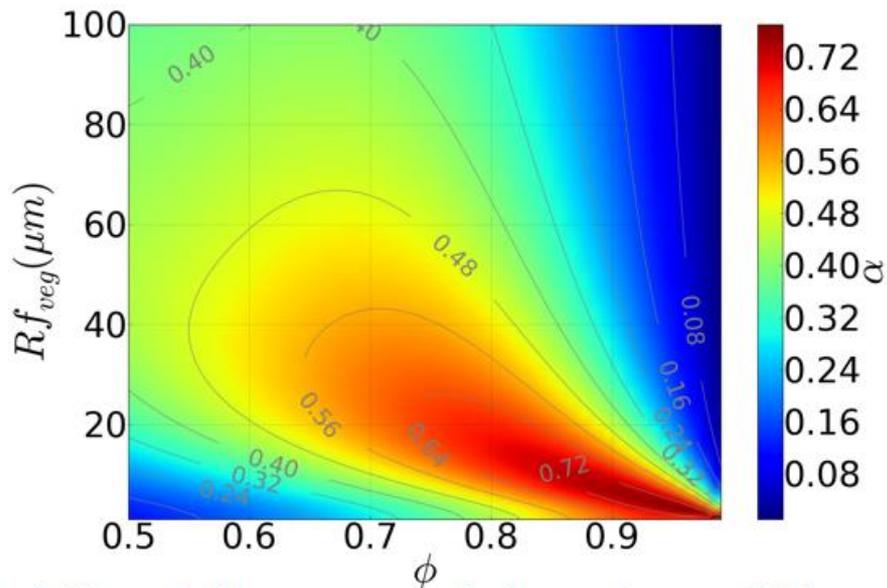
λ_s chanvre = $0,88 W.m^{-1}.K^{-1}$ [El Sawalhi 2016] Thèse de doctorat

Optimisation des performances



Absorption acoustique moyenne et conductivité thermique équivalente

Modélisation pour une laine végétale d'épaisseur $e=50$ mm, de rayon de fibres polymères moyen $Rf_{pol}=13$ μm avec une proportion volumique de fibres polymers $\tau = 0,15$.



Conclusions

- ➔ Confirmation de l'intérêt des performances acoustiques et thermiques des laines végétales dans la construction durable
- ➔ Validation de la modélisation des propriétés acoustiques et thermiques en s'appuyant sur 4 paramètres $R_{fveg}, \rho_s, \lambda_s, \phi$
- ➔ Possibilité d'inverser les modèles et d'optimiser les performances acoustiques et thermiques des laines végétales

Perspectives

- ➔ Prise en compte des distributions de rayons de fibres dans les modélisations
- ➔ Prise en compte des effets de l'eau notamment en thermique
- ➔ Evolution de la modélisation acoustique par une méthode d'homogénéisation avec consistance énergétique

Références bibliographiques

[Asdrubali *et al.* 2012] F. Asdrubali, S. Schiavoni, K.A. Horoshenkov – *A review of sustainable materials for acoustic applications* – Build. Acoust. 2012; 19(4); 283-312

[Tarnow 1996a] V. Tarnow – *Airflow resistivity of models fibrous acoustic materials* – J. Acoust. Soc. Am. 1996; 100(6); 3706-13

[Gourdon & Seppi 2010] E. Gourdon, M. seppi – *On the use of porous inclusions to improve the acoustical response of porous materials : analytical model and experimental verification* – Appl. Acoust. 2010; 71(4); 283-98

[Piégay *et al.* 2018] C. Piégay, P. Glé, E. Gourdon, E. Gourlay and S. Marceau - *Acoustical model of vegetal wools including two types of fibers”* - Appl. Acoust. 2018, **129**, 36-46

Merci de votre attention

Contact:

Clement.piegay@cerema.fr

Liens:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17303274>

<http://www.umrae.fr/>