

Optimisation de l'épaisseur des laines végétales ignifugées pour des applications de confort intérieur acoustique et hygrothermique

Thèse de Doctorat

Lucien Mutel

Contexte général

Les laines

Stockent le carbone atmosphérique et nécessitent peu d'énergie grise.

Les laines végétales

Limitent la dépendance aux engrais chimiques et créent des opportunités d'emplois locaux.

Apportent un confort hygrothermique et acoustique dans les bâtiments.

RE 2020

Contexte scientifique

Des fibres végétales de natures et de dimensions très hétérogènes au sein des matériaux²

$$\alpha = 1 - \frac{E(R)}{E(I)}$$

Une absorption acoustique moins performante en basses fréquences pour de faibles épaisseurs.

50 mm

Problématique

Comment optimiser l'absorption acoustique de panneaux en laine végétale tout en maintenant une épaisseur maximale de 50mm ?

Simple porosité
Double porosité

Méthodes d'optimisation acoustique

Polydispersité

Distribution en nombre des rayons de fibres dans une laine de kénaif

■ végétal
■ polymère

Dans de nombreux travaux de la littérature, une valeur moyenne de rayon de fibre est utilisée pour évaluer l'absorption acoustique. Or les laines végétales en contiennent une large gamme. Des travaux précédents ont alors utilisé deux rayons moyens dans une méthode composite. La distribution complète pourrait être utilisée dans une nouvelle approche composite.

Multi-couches

Parements plus denses en surface

α dans les moyennes fréquences* 500-2000 Hz

Méta-matériaux

Le concept de méta-matériaux offre la possibilité d'ajouter de multiples effets de dissipation acoustique. Dans le cadre de ce travail, la double porosité est le concept le plus prometteur.

Double échelle de porosité³

Caractérisation expérimentale

La caractérisation expérimentale permet d'estimer la porosité Φ , la tortuosité α_∞ , la résistivité au passage de l'air σ , le module de Young E , ainsi que l'absorption acoustique α , le nombre d'onde k et l'impédance caractéristique Z_c des matériaux.

Modèles analytiques

R_f ou Φ, σ
 $\Phi(\rho_s, \rho_a)$ ou $\Lambda, \Lambda', \alpha_\infty$

Modèles microstructuraux
Modèles empiriques (Tarnow, Miki)
Modèles semi-phénoménologiques (JCAL)⁵

Poro-élasticité (Biot) E, ρ_s
Effets visco-inertiels $\tilde{\rho}(\omega)$
Effets thermiques $\tilde{k}(\omega)$

Si squelette élastique

Absorption acoustique α

Résultats

Laine de chanvre isolante → Chanvre tri-couche → Tri-couche + double porosité

α_w est un indice simple permettant d'évaluer l'absorption acoustique d'un matériau. De précédents travaux ont ajouté des parements plus denses. Couplés ici à l'utilisation de la double porosité, ils ont permis d'augmenter α_w de 0.6 à 0.8.

B ($\alpha_w = 0.60 (MH)$)
VBV ($\alpha_w = 0.70 (H)$)
BVV $\Phi_p = 2\%$ ($\alpha_w = 0.80 (I)$)

Perspectives

Nb_{layers}, h_{layers}
 Φ_p
 R_f, Φ, ρ_s

$\alpha(\omega)$
 α_w

Trouver des matériaux et/ou traitements permettant d'intégrer des résonateurs acoustiques dans un panneau sans impacter négativement l'ACV offrirait une plus grande gamme d'applications.

Une modélisation acoustique à partir de paramètres sur lesquels il est possible d'influer lors de la production permettrait d'optimiser les performances acoustiques des laines végétales.

Références

- [1] Piégay, C. (2024). *Matériaux biosourcés, ignifugés et optimisés pour des applications acoustiques et thermiques : le projet BIOMETA*, url : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/materiaux-biosourcés-ignifugés-optimisés-applications>
- [2] Piégay, C., Glé, P., Gourdon, E., Gourlay, E., & Marceau, S. (2018). *Acoustical model of vegetal wools including two types of fibers*. Applied Acoustics, 129, 36-46.
- [3] Gourdon, E., & Seppi, M. (2010). *On the use of porous inclusions to improve the acoustical response of porous materials: Analytical model and experimental verification*. Applied Acoustics, 71(4), 283-298.
- [4] Chevillotte, F. (2012). *Controlling sound absorption by an upstream resistive layer*. Applied Acoustics, 73(1), 56-60.
- [5] Xue, Y., Bolton, J. S., Gerdes, R., Lee, S., & Herdtle, T. (2018). *Prediction of airflow resistivity of fibrous acoustical media having two fiber components and a distribution of fiber radii*. Applied Acoustics, 134, 145-153.
- [6] Di Giulio, E., Perrot, C., & Dragonetti, R. (2024). *Transport parameters for sound propagation in air saturated motionless porous materials: A review*. International Journal of Heat and Fluid Flow, 108, 109426.