

Isolants du bâtiment en laine végétale : amélioration de l'absorption acoustique à basse fréquence par des méthodes méta-matériaux



Présenté par :

Lucien Mutel
CEREMA, Univ Gustave Eiffel, UMRAE

Sous l'encadrement de :

Emmanuel Gourdon
ENTPE, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, LTDS, UMR5513

Clément Piégay

Philippe Glé

CEREMA, Univ Gustave Eiffel, UMRAE



**Propriétés multifonctionnelles des
laines végétales**

1

Les méta-matériaux acoustiques

2

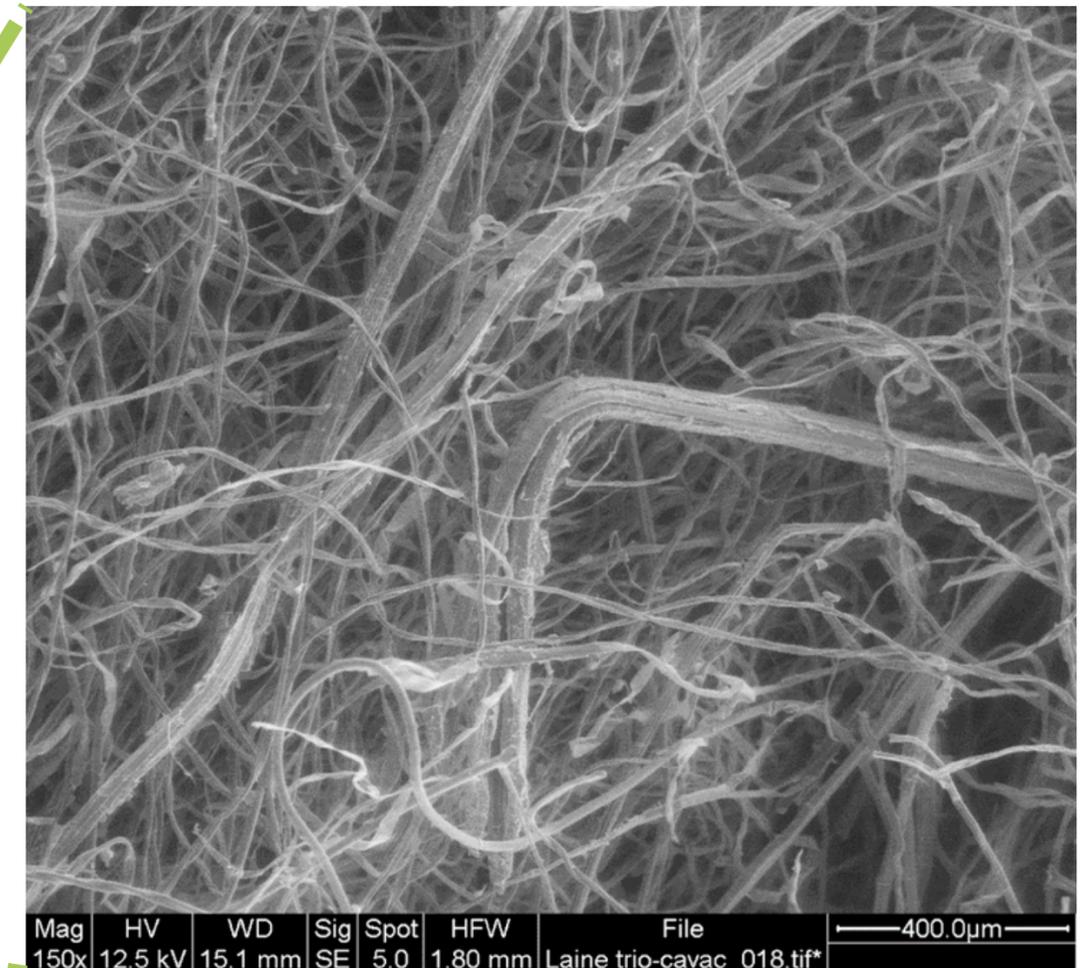
**Investigation de panneaux multi-
couches avec double porosité**

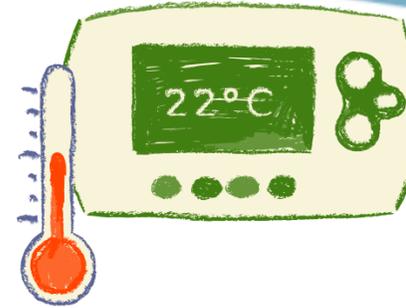
3

**Premiers résultats expérimentaux
et perspectives**

4

Laines végétales : des propriétés multifonctionnelles de haut niveau





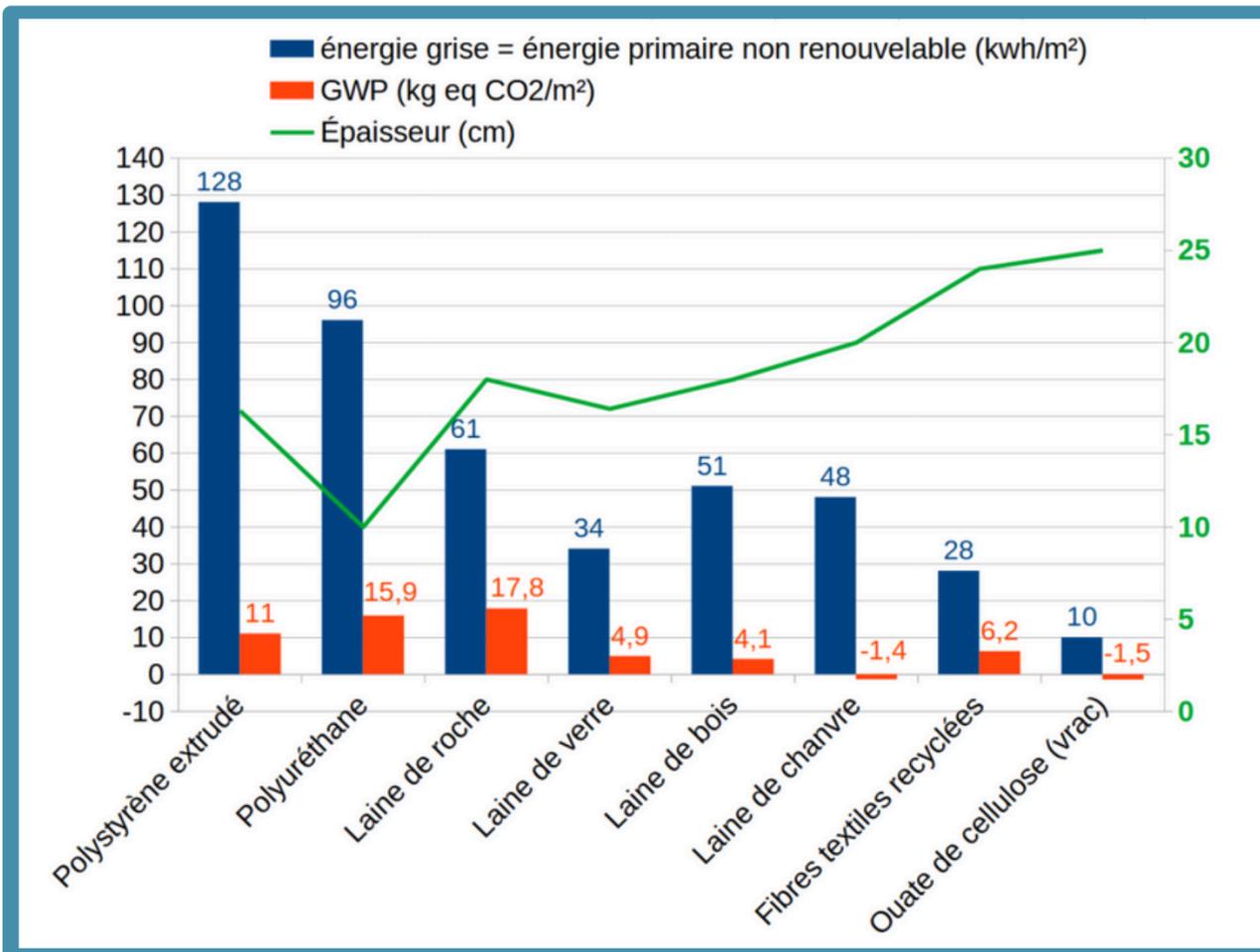
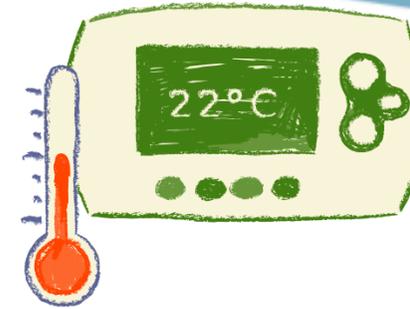
**Une régulation
hygrothermique
confortable**



**Une forte absorption
acoustique des hautes
fréquences**

[K. Nath - Benefits of Cultivating Industrial Hemp - 2022]

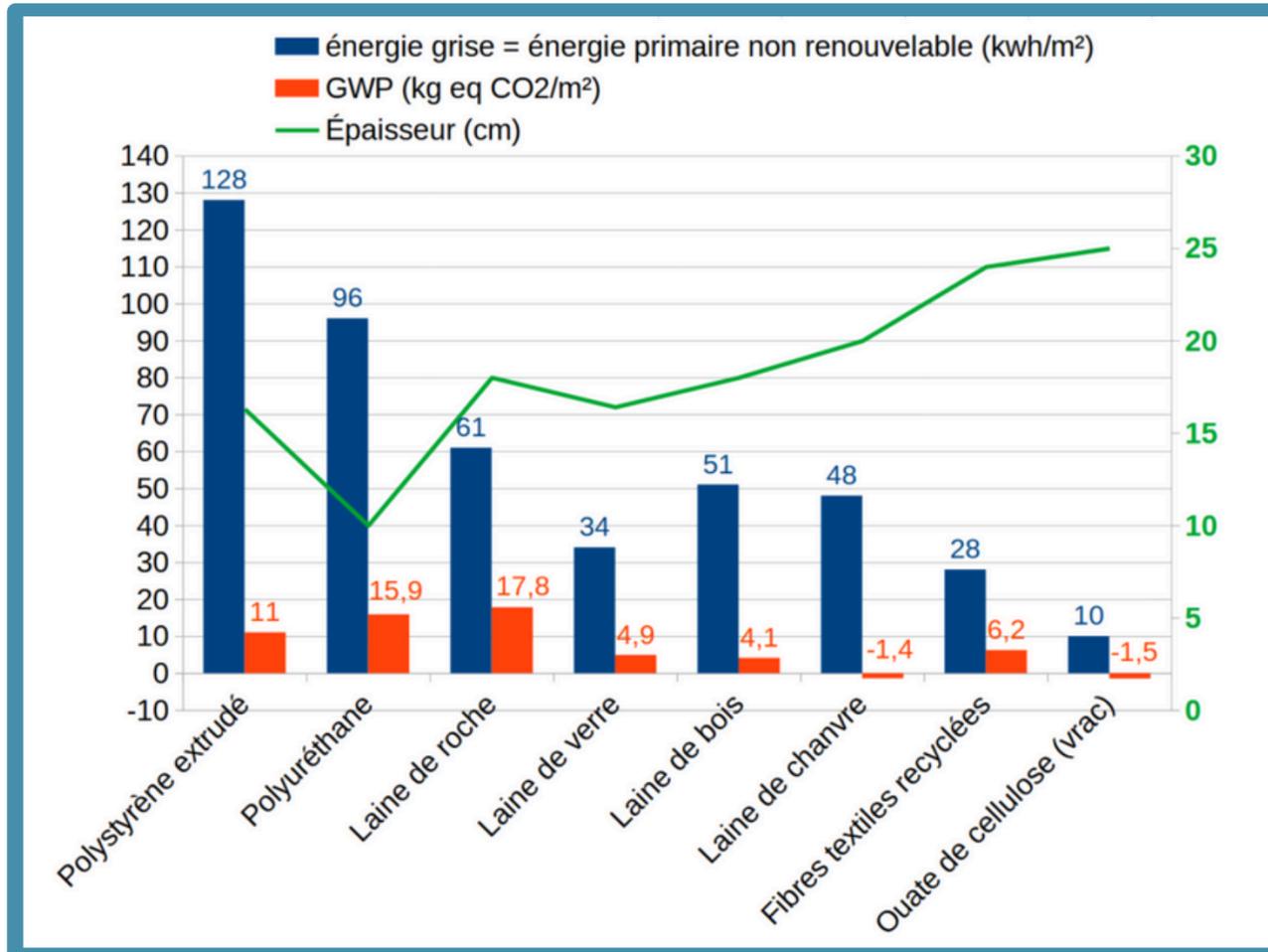
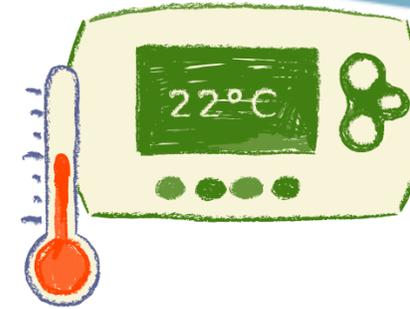
[C. Piégay. Approche conjointe acoustique et thermique pour l'optimisation
des laines végétales du bâtiment - 2019]



[Francesco Pittau et al. - The renovation of the building stock in Europe : an essential opportunity to store carbon in buildings - 2019]

[Zieger et al. - Impact of GHGs temporal dynamics on the GWP assessment of building materials : A case study on bio-based and non-bio-based walls - 2020]

[Kathlen Piriou, CITAE - Dossier Construction21 les isolants biosourcés - 2024]



[K. Nath - Benefits of Cultivating Industrial Hemp - 2022]
 [C. Piégay. Approche conjointe acoustique et thermique pour l'optimisation des laines végétales du bâtiment - 2019]

Deux verrous à leur développement



Caractère inflammable

Thomas Sá



50mm MAX

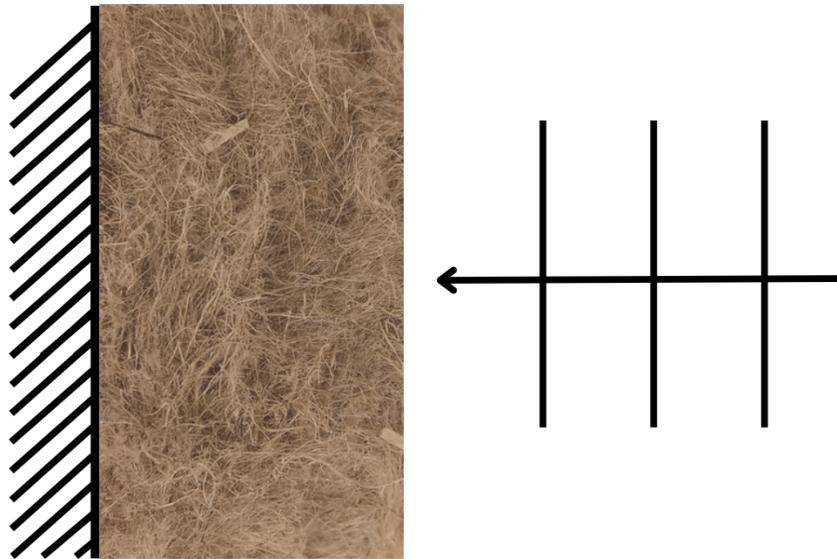


Isolants trop épais



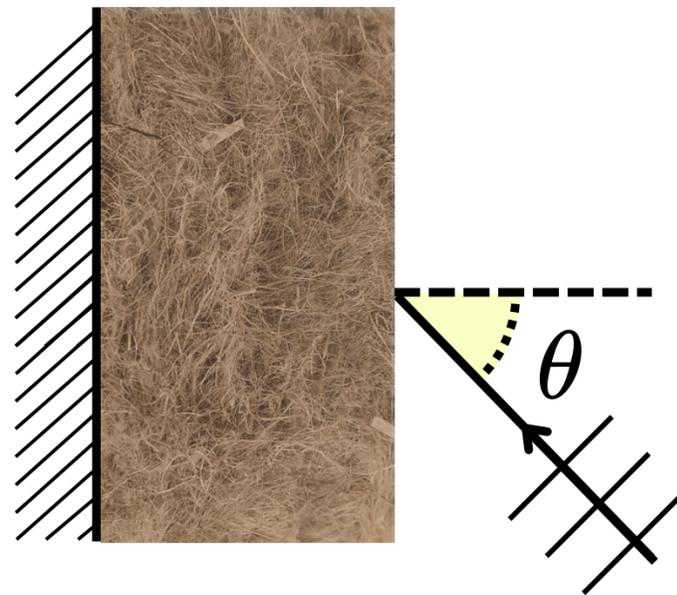
Champs diffus
et incidence
normale

Incidence normale



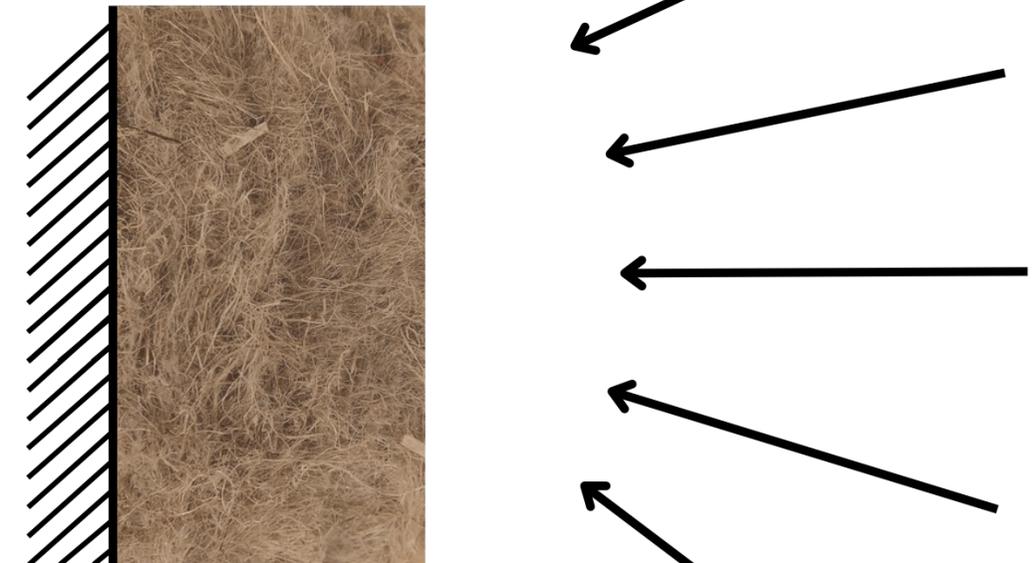
$$\alpha(\omega) = 1 - \frac{R_{\text{reflechi}}(\omega)}{I_{\text{incident}}(\omega)}$$

Incidence oblique



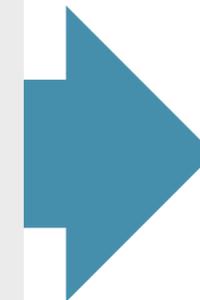
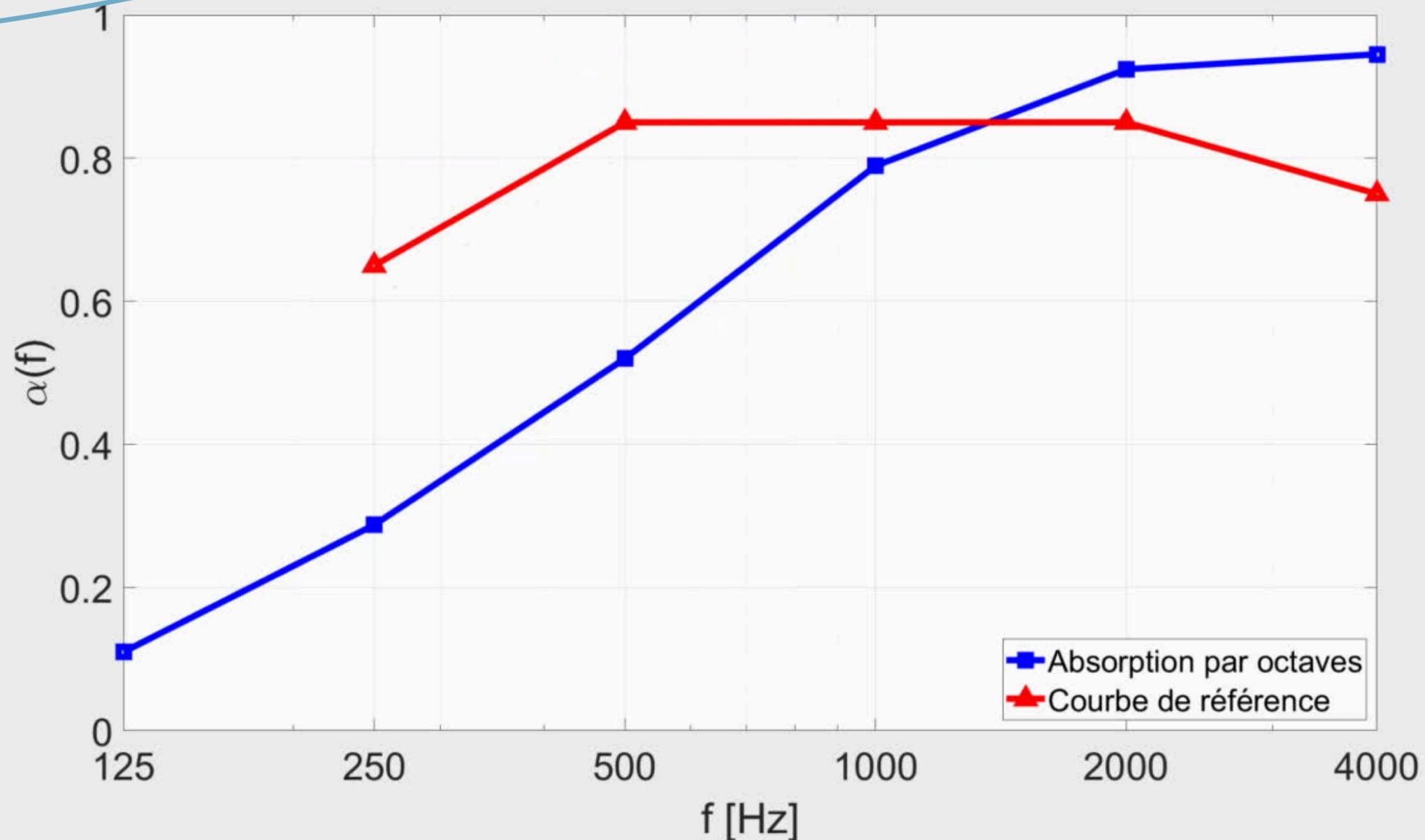
$$\alpha(\omega, \theta)$$

Champs diffus



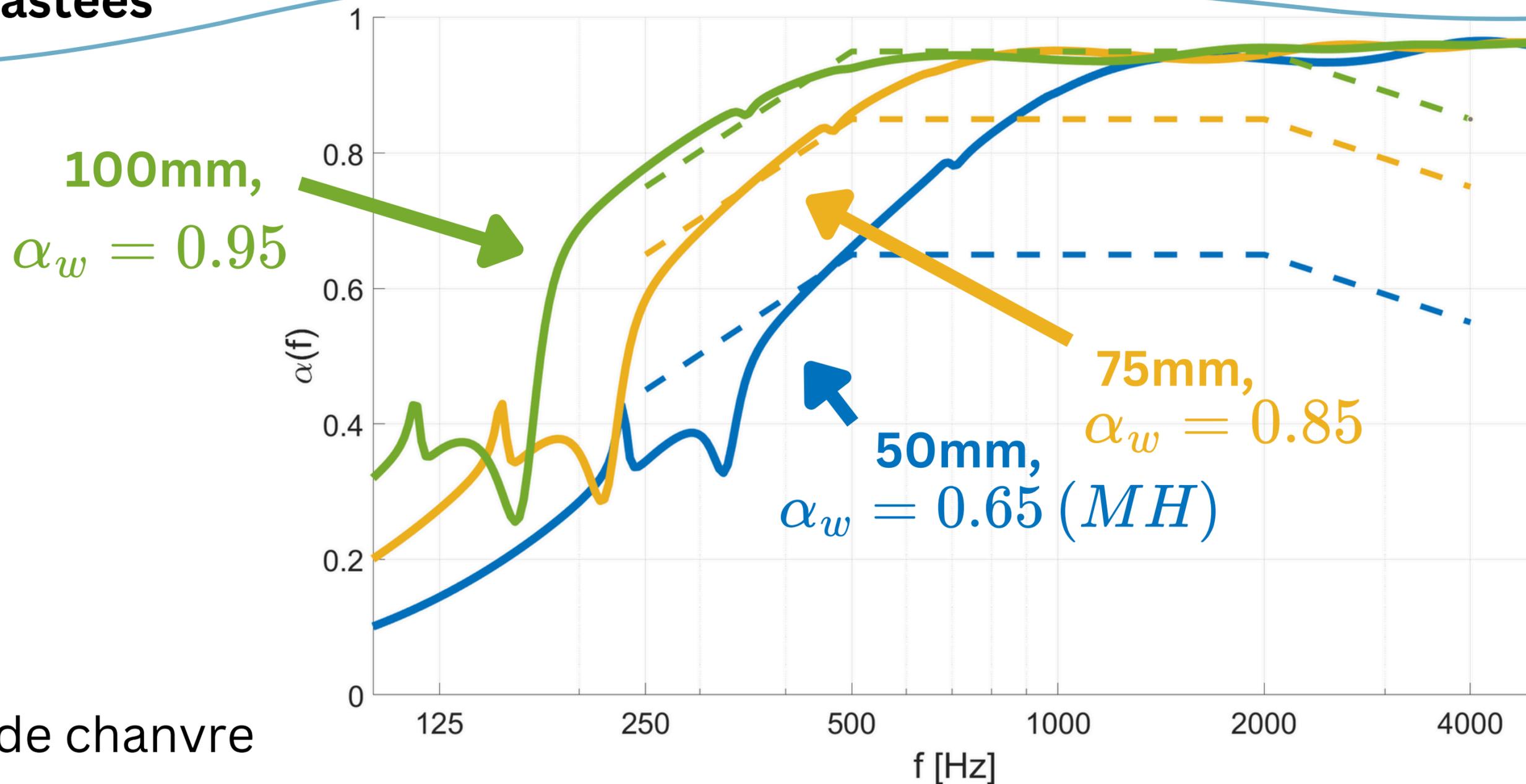
$$\alpha(\omega) = \frac{\int \alpha(\omega, \theta) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta}{\int \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta}$$

Un paramètre
pour les évaluer
tous



Norme NF 11 654

Des performances
acoustiques
contrastées



Laine de chanvre

Les méta-matériaux acoustiques

Les différents phénomènes des méta-matériaux

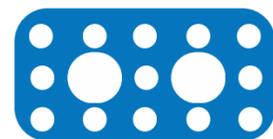
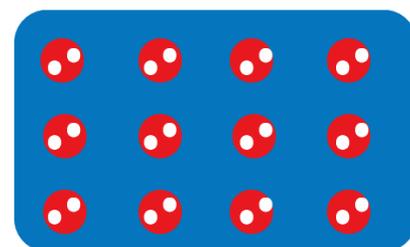
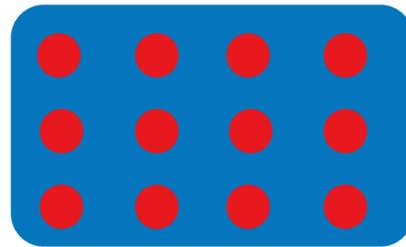
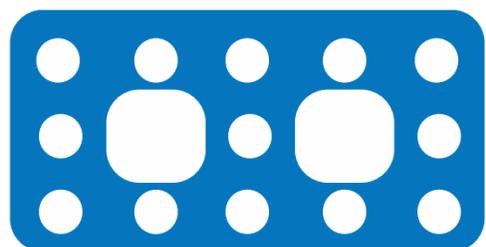
Matériaux à multiples échelles

Double porosité

Inclusions solides

Inclusions poreuses

Sorption



+

adsorption/désorption



Résonateur quart d'onde



Résonateur de Helmholtz

Résonateurs acoustiques

Membrane souple

Périodicité

Variation d'impédance

[Fabien Chevillotte - From the microstructure to condensed meta-material models - 2023]

Les différents phénomènes des méta-matériaux

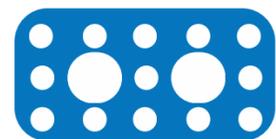
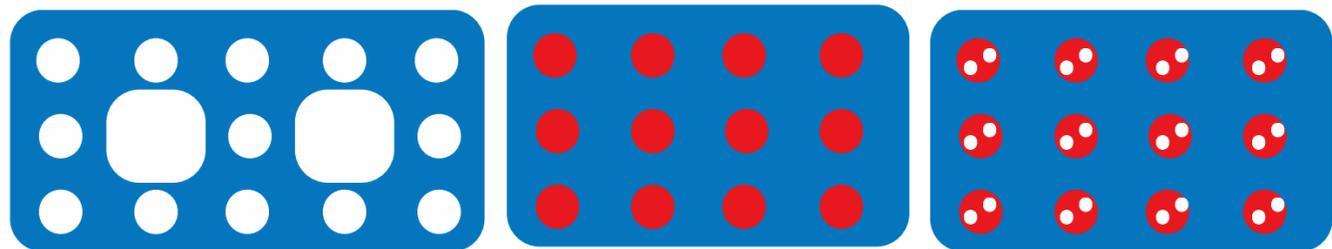
Matériaux à multiples échelles

Double porosité

Inclusions solides

Inclusions poreuses

Sorption



+

adsorption/désorption



Résonateur quart d'onde



Résonateur de Helmholtz

Résonateurs acoustiques

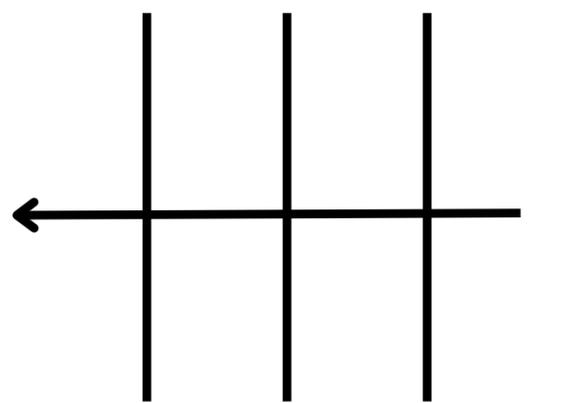
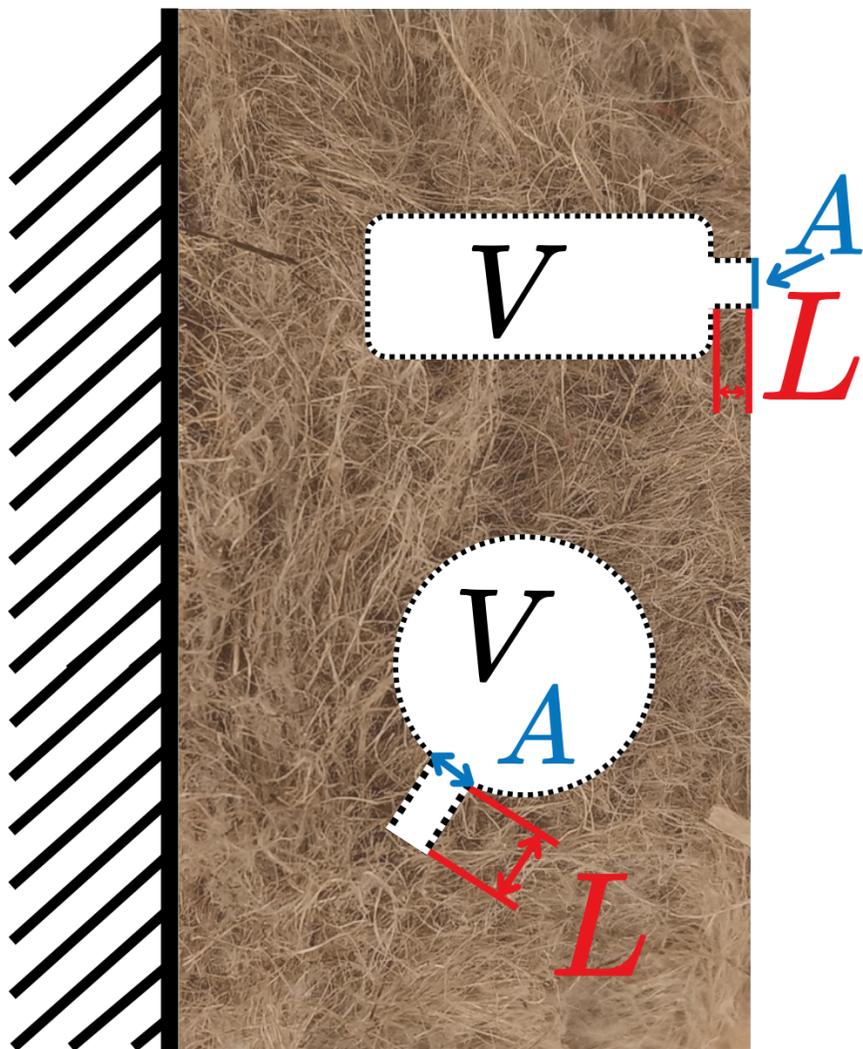
Membrane souple

Périodicité

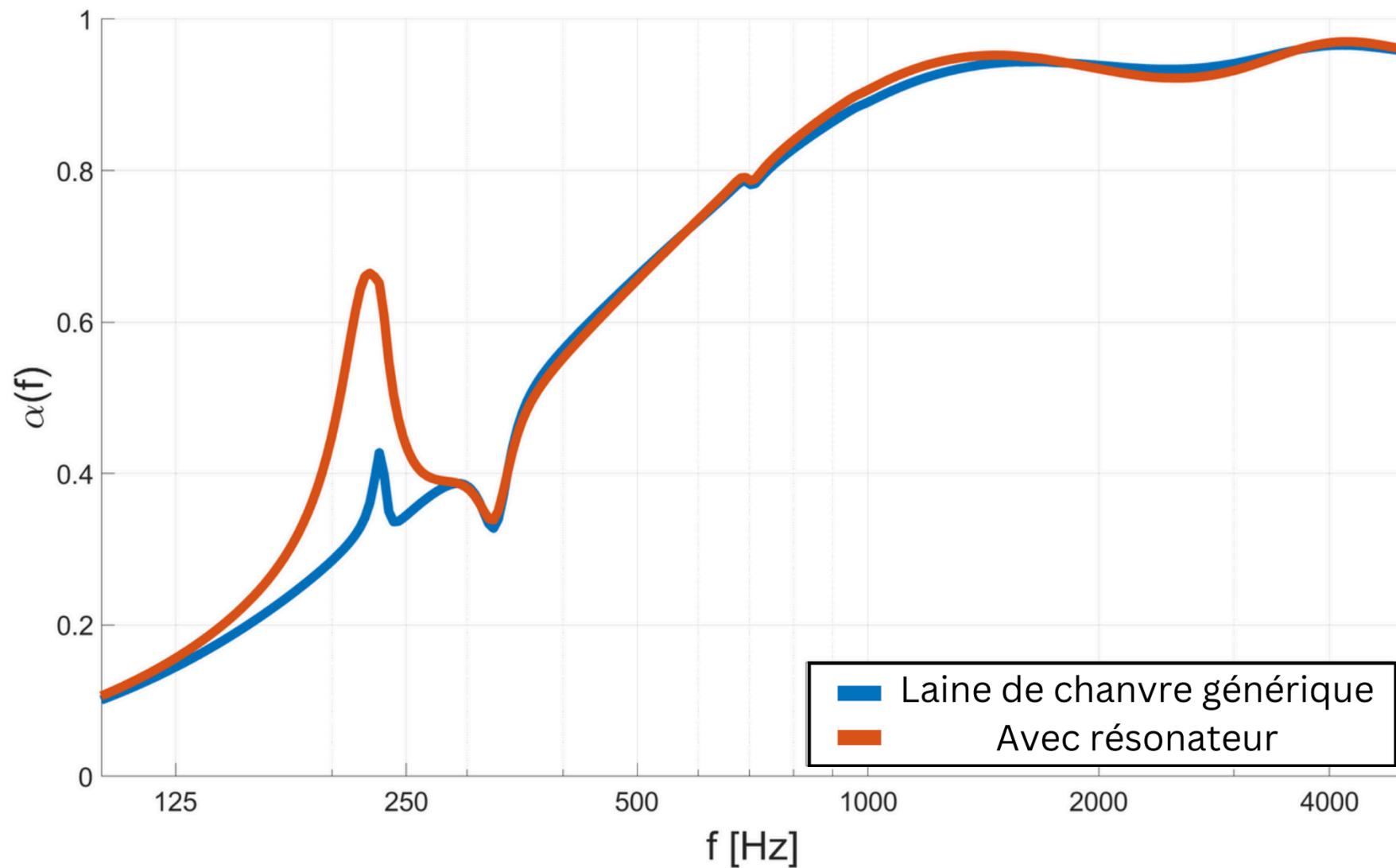
Variation d'impédance

[Fabien Chevillotte - From the microstructure to condensed meta-material models - 2023]

Résonateurs
acoustiques
+ poreux

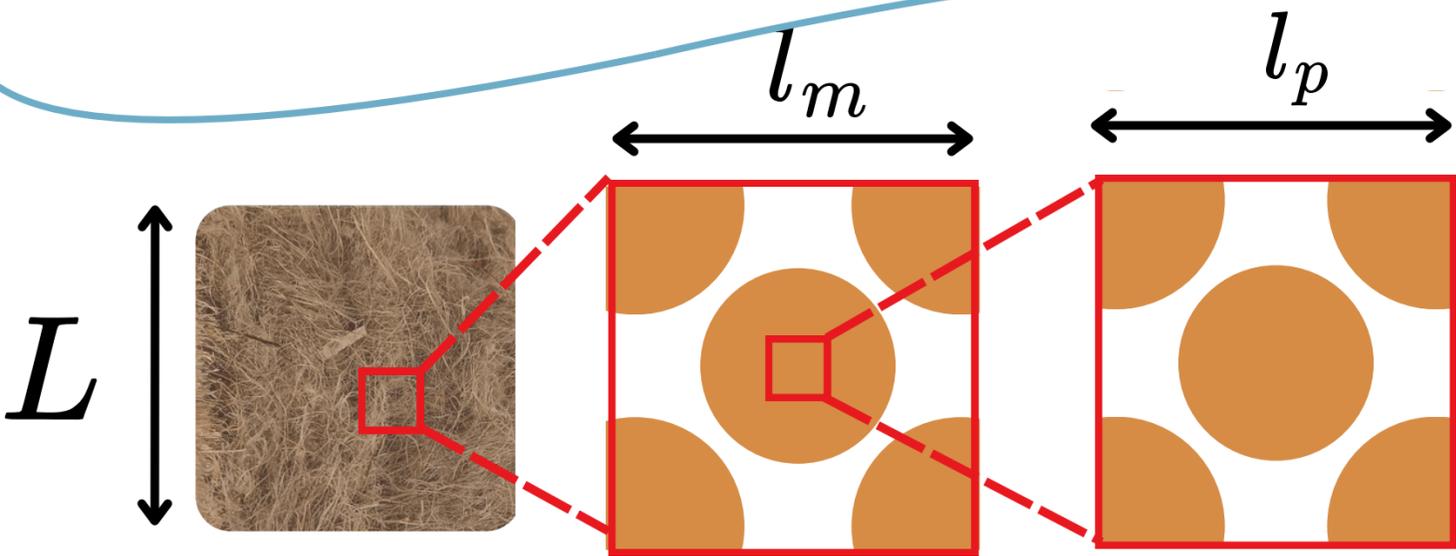


$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}}$$



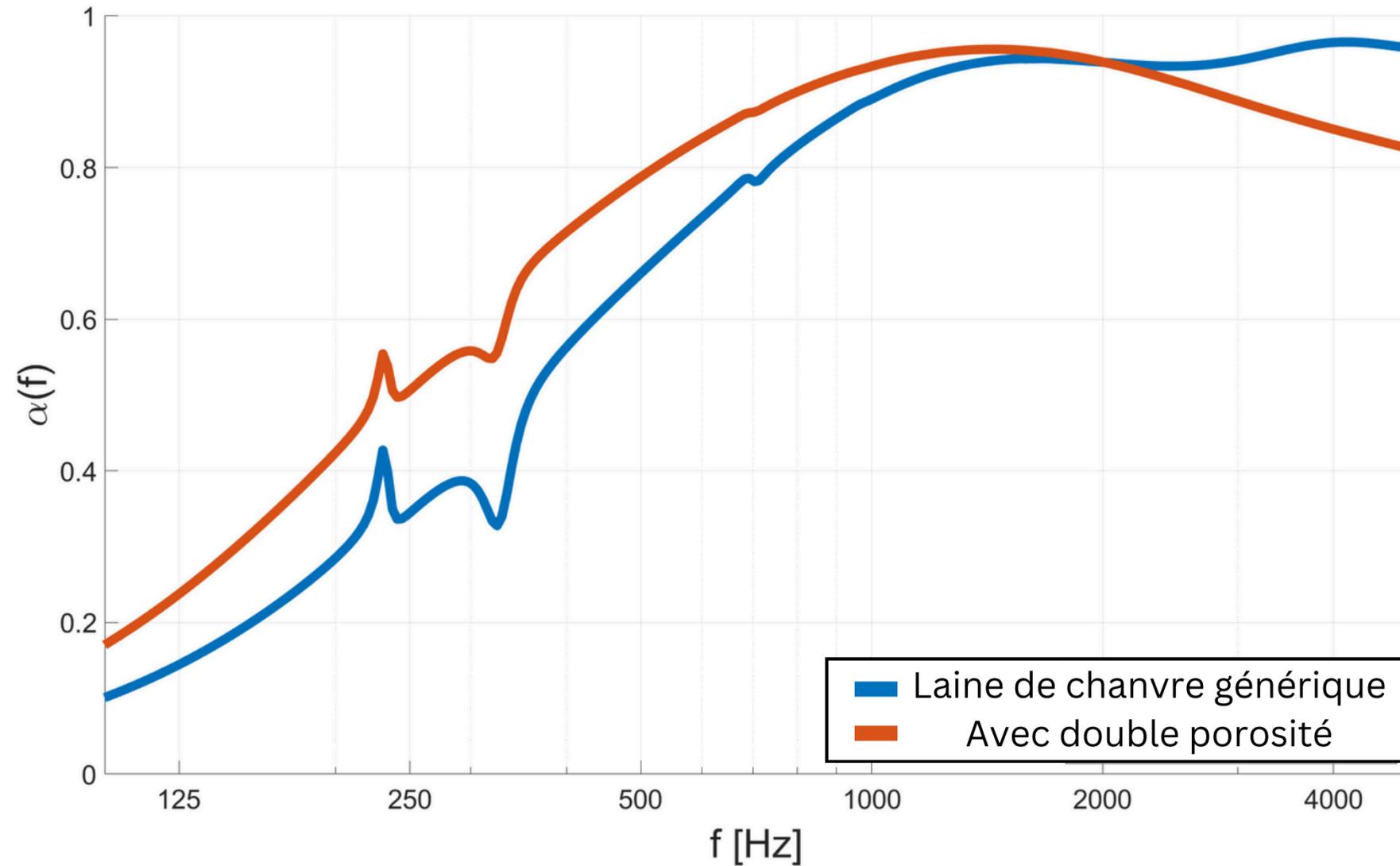
[Claude Boutin - Acoustics of porous media with inner resonators - 2013]

Double porosité



$$\frac{l_p}{l_m} = \varepsilon \ll 1$$

$$K_{dp} = \left[\frac{1}{K_p} = (1 - \Phi_p) \frac{F_d \left(\omega \frac{P_0}{\Phi_m K_m} \right)}{K_m} \right]^{-1}$$



Olny, Boutin - Acoustic wave propagation in double porosity media - 2003]

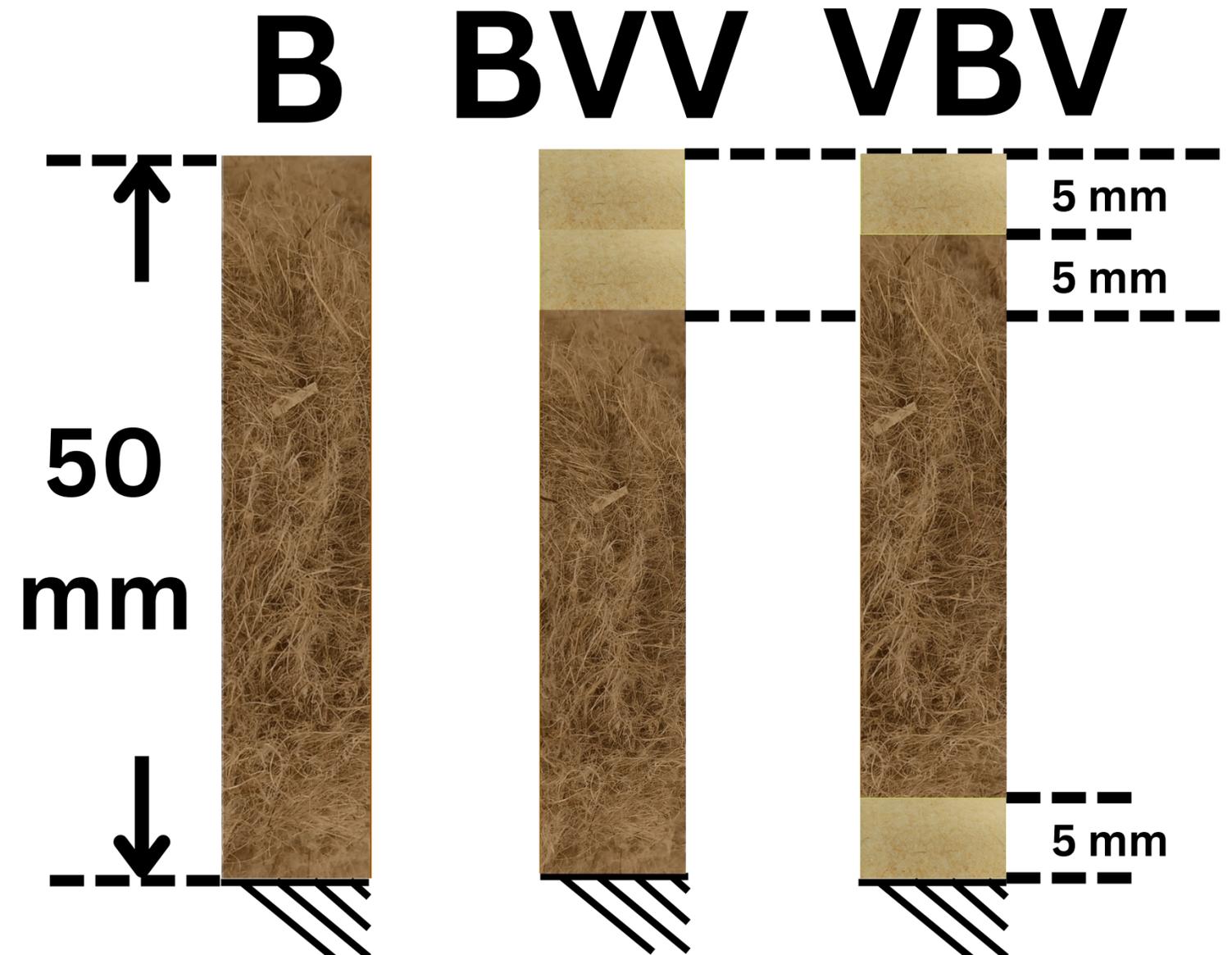
Sgard, Olny, Atalla, Castel - On the use of perforations to improve the sound absorption of porous materials - 2004]

Investigation de panneaux multi-couches avec double porosité

Les échantillons



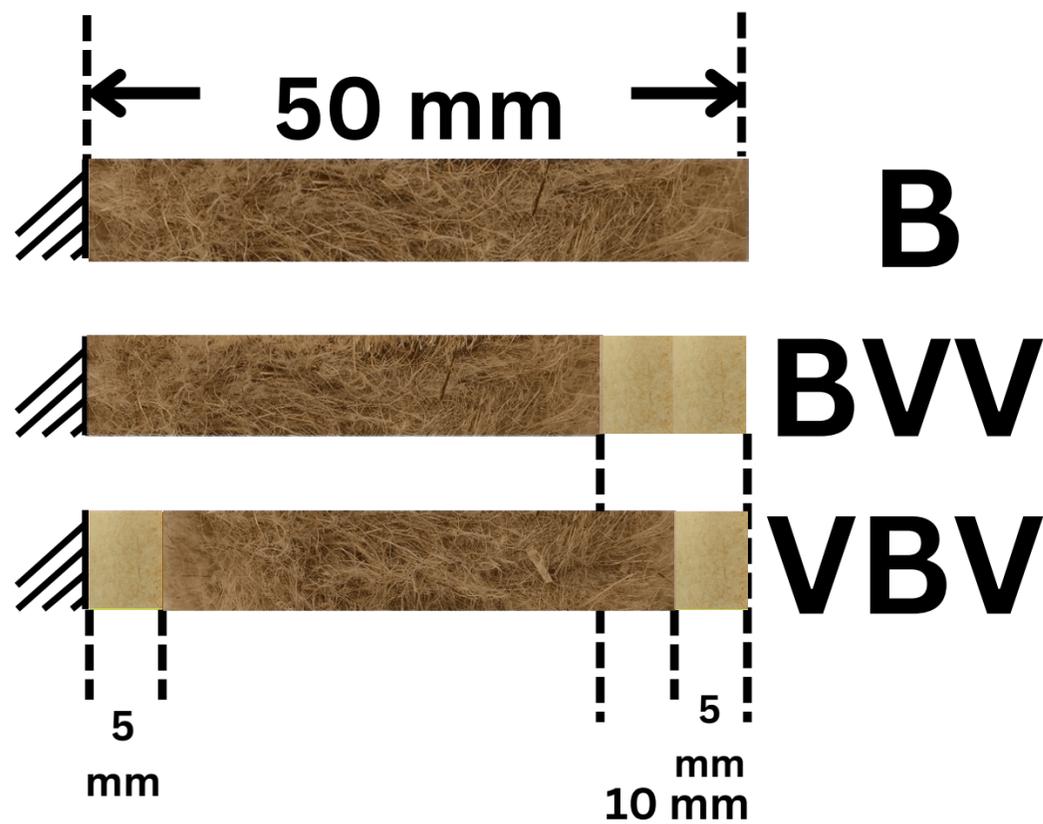
[Chevillotte - Matelys - Contrôle de l'absorption sonore d'un matériau poreux par addition d'une couche résistive - 2010]



Les échantillons

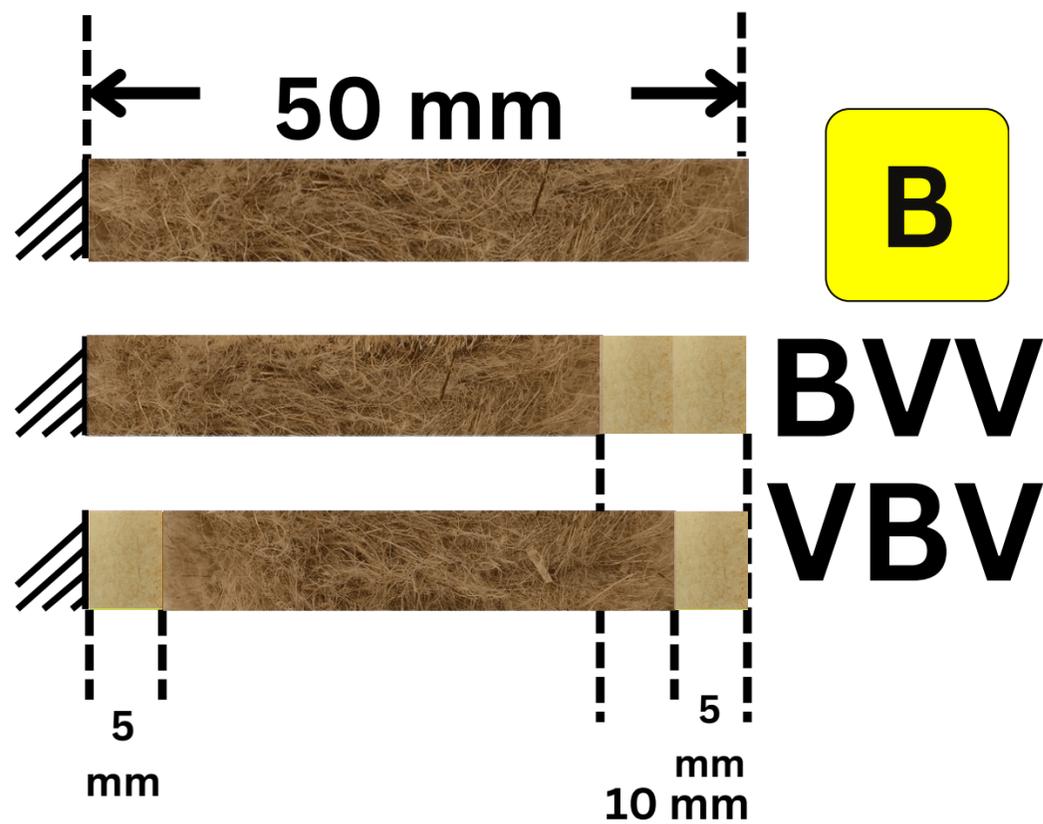


Simulations



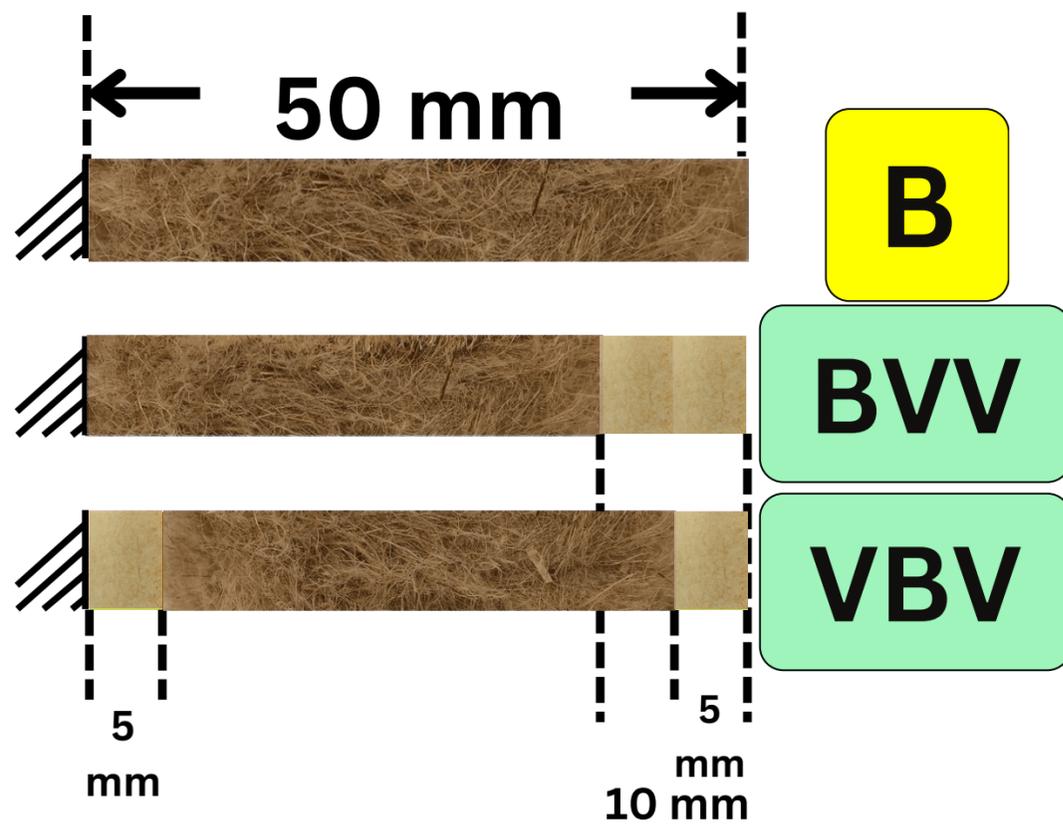
α_w	No perf	ϕ_p		
		1%	2%	4%
B wool, Reference		0.60 (MH)		
VBV, Back perf		0.65(MH)	0.65(MH)	0.65(MH)
VBV, Front perf	0.70(MH)	0.70 (MH)	0.75(H)	0.70(MH)
VBV, Back and front perf		0.70(H)	0.70(H)	0.65(MH)
BVV, Double front Perf	0.70 (MH)	0.80 ()	0.80 ()	0.75 (H)

Simulations



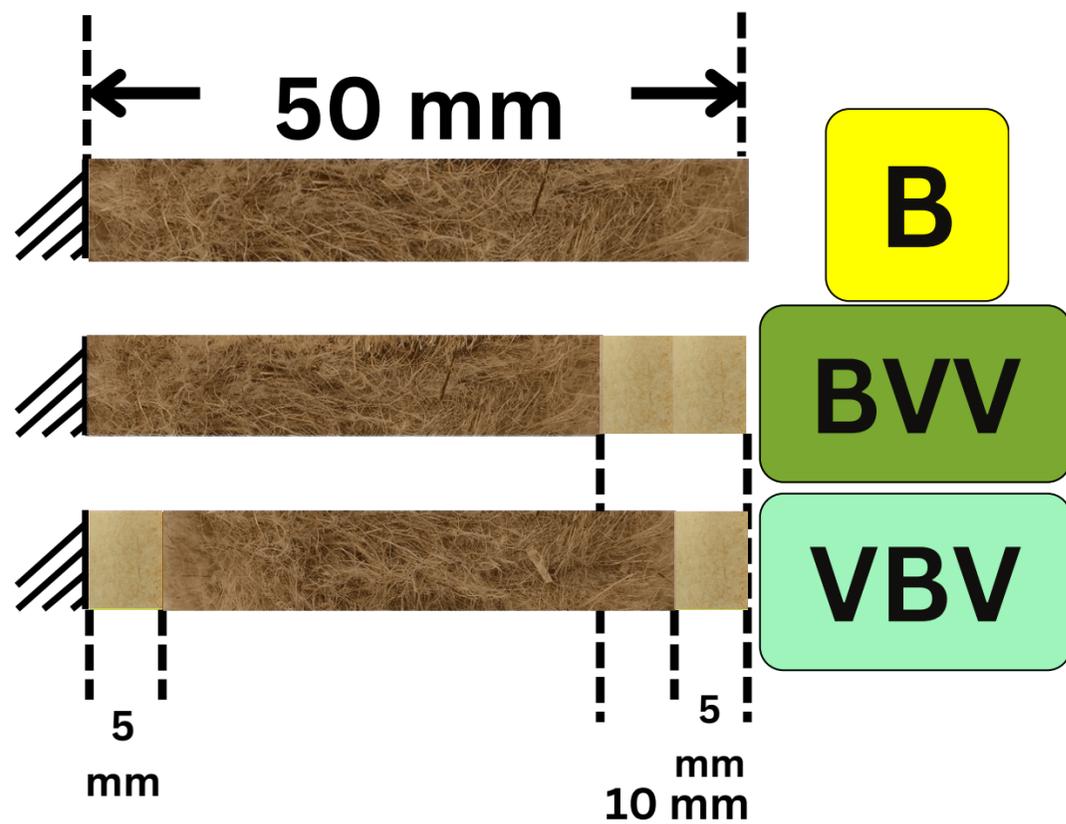
α_w	No perf	ϕ_p		
		1%	2%	4%
B wool, Reference	0.60 (MH)			
VBV, Back perf		0.65(MH)	0.65(MH)	0.65(MH)
VBV, Front perf	0.70(MH)	0.70 (MH)	0.75(H)	0.70(MH)
VBV, Back and front perf		0.70(H)	0.70(H)	0.65(MH)
BVV, Double front Perf	0.70 (MH)	0.80 ()	0.80 ()	0.75 (H)

Simulations



α_w	No perf	ϕ_p		
		1%	2%	4%
B wool, Reference	0.60 (MH)			
VBV, Back perf	0.70 (MH)	0.65(MH)	0.65(MH)	0.65(MH)
VBV, Front perf		0.70 (MH)	0.75(H)	0.70(MH)
VBV, Back and front perf		0.70(H)	0.70(H)	0.65(MH)
BVV, Double front Perf	0.70 (MH)	0.80 ()	0.80 ()	0.75 (H)

Simulations

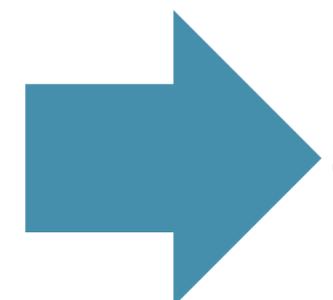
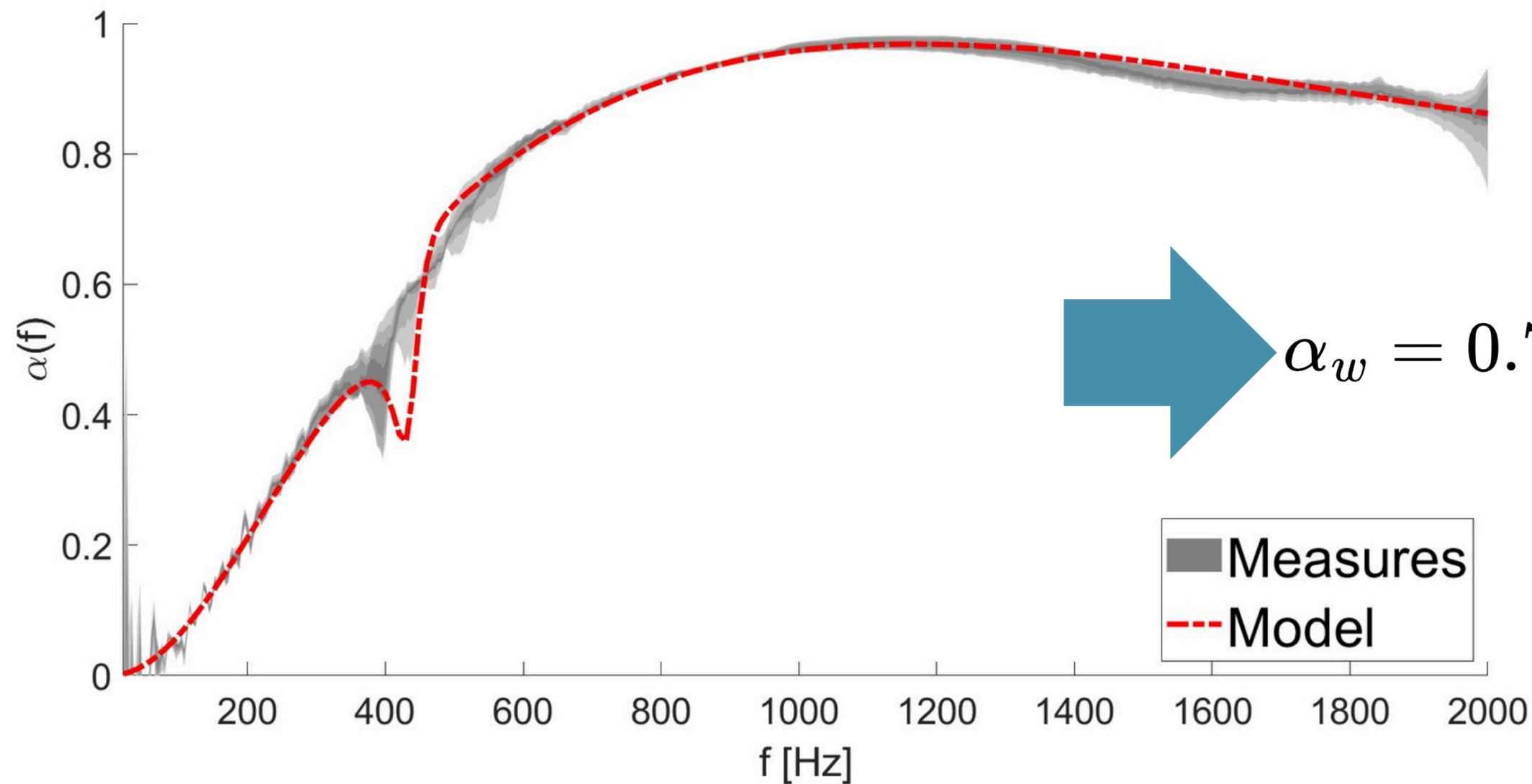


α_w	No perf	ϕ_p		
		1%	2%	4%
B wool, Reference	0.60 (MH)			
VBV, Back perf	0.70 (MH)	0.65(MH)	0.65(MH)	0.65(MH)
VBV, Front perf		0.70 (MH)	0.75(H)	0.70(MH)
VBV, Back and front perf		0.70(H)	0.70(H)	0.65(MH)
BVV, Double front Perf	0.70 (MH)	0.80		0.75 (H)

Premiers résultats expérimentaux



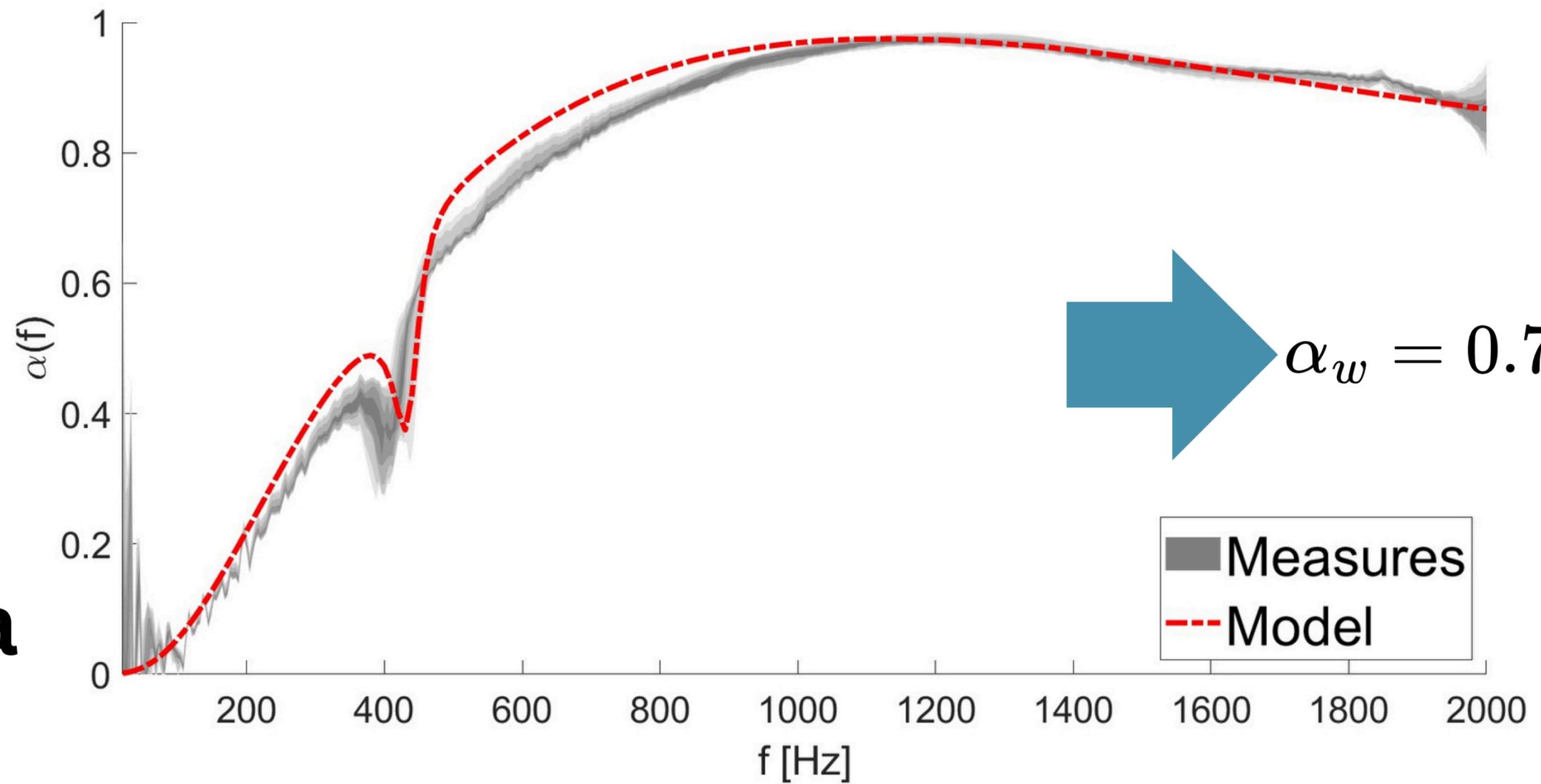
VBV



$\alpha_w = 0.70 (MH)$

■ Measures
- - - Model

**VBV,
parement de
face perforé à
 $\Phi_p = 1\%$**

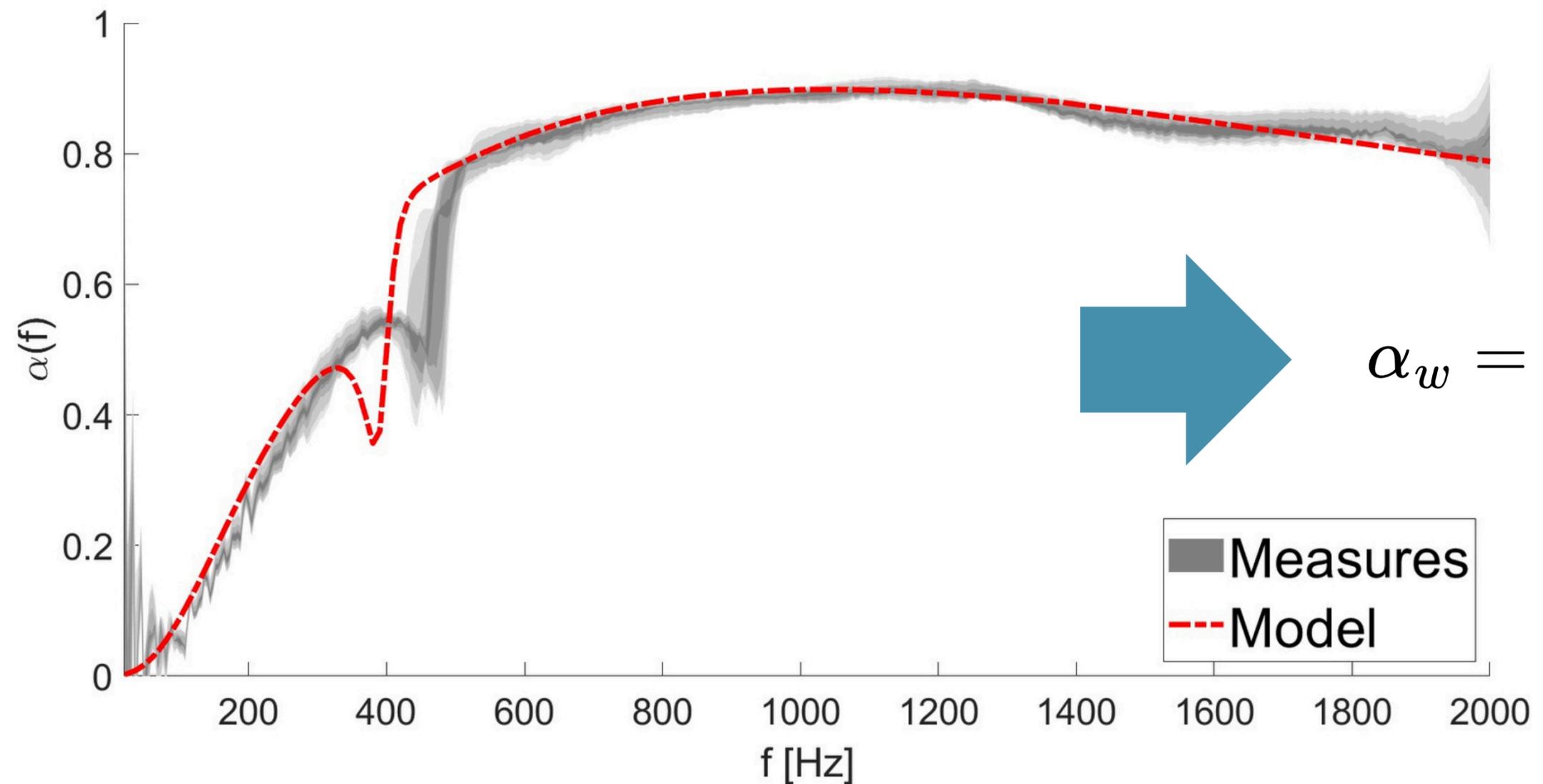


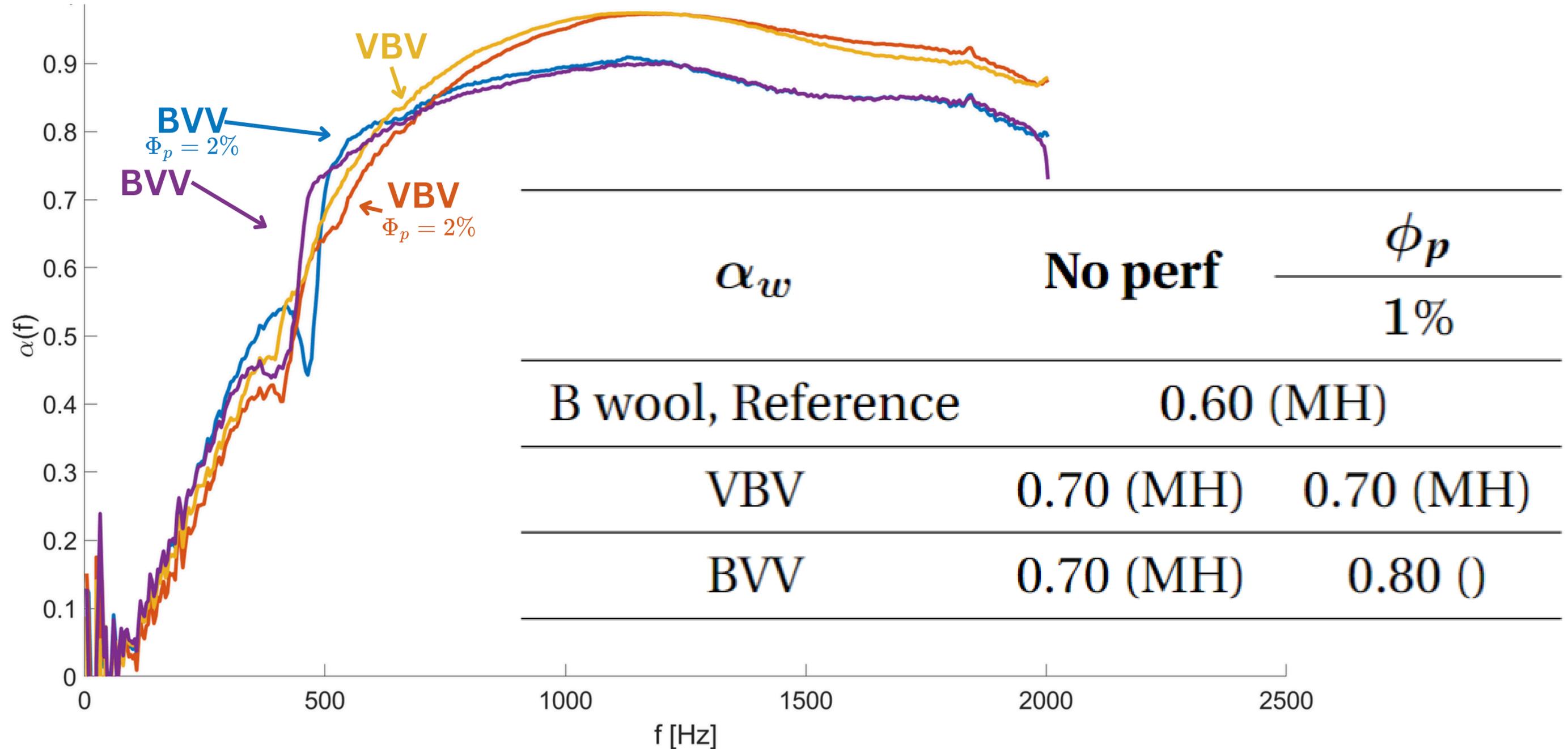
→ $\alpha_w = 0.70 (MH)$

■ Measures
- - - Model

La fréquence de résonance élastique
varie beaucoup en fonction du
tassement des échantillons dans le tube
de Kundt

BVV,
parements
perforés à
 $\Phi_p = 1\%$





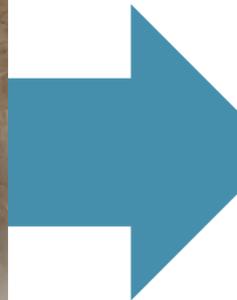
Conclusion et perspectives

Conclusion



$$\alpha_w = 0.60 (MH)$$

Conclusion



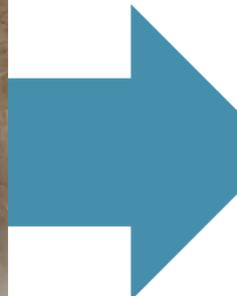
$$\alpha_w = 0.60 (MH)$$

$$\alpha_w = 0.70 (MH)$$

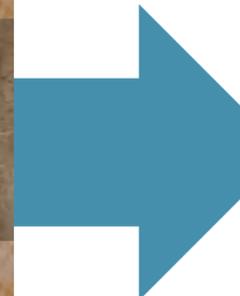
Conclusion



$$\alpha_w = 0.60 (MH)$$



$$\alpha_w = 0.70 (MH)$$



$$\alpha_w = 0.80 ()$$

Autres
perspectives



VBV_fentes



VBV_perf_carré



VBV_Helmholtz

Merci de votre attention !