

05/06/2024

SCHATZMAYR WELP SA
Thomas

Advisors:
Sandrine MARCEAU
Clément PIEGAY
Philippe GLE
Fouad LAOUTID
César SEGOVIA
Etienne GOURLAY
Emmanuel GOURDON

INFLUENCE DU TRAITEMENT AU FEU SUR LES PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES FIBRES DE CHANVRE

 **Université
Gustave Eiffel**



**umr
de**



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN



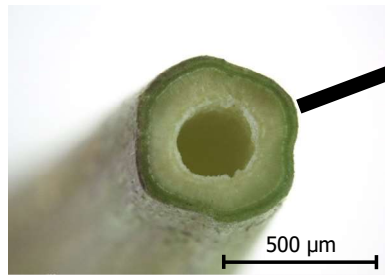
ENTPE
L'École de l'aménagement durable des territoires



**MATERIA
NOVA**
Materials
R&D Center



LAINES VEGETALES

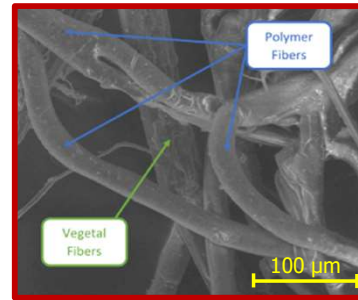


Tige

Fibres végétales

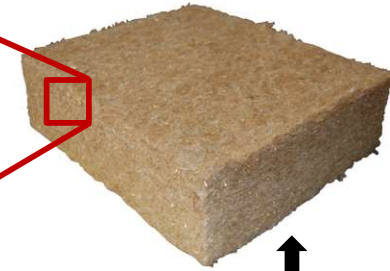


Fibres thermoplastiques



(Piégay et al., 2018)

Laines végétales



Thermo-liage



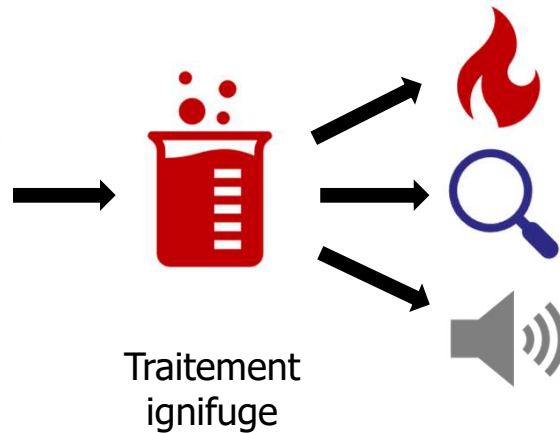
- ❌ Isolant durable
- ❌ Propriétés multifonctionnelles
 - ❌ Absorption acoustique
 - ❌ Isolation thermique
 - ❌ Nature hygroscopique
- ❌ **Inflammable**



PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF



Laines végétales



Traitement ignifuge



?

Est-ce que le traitement ignifuge réduit l'inflammabilité des fibres ?



?

Est-ce que le traitement ignifuge affecte les fibres ?



?

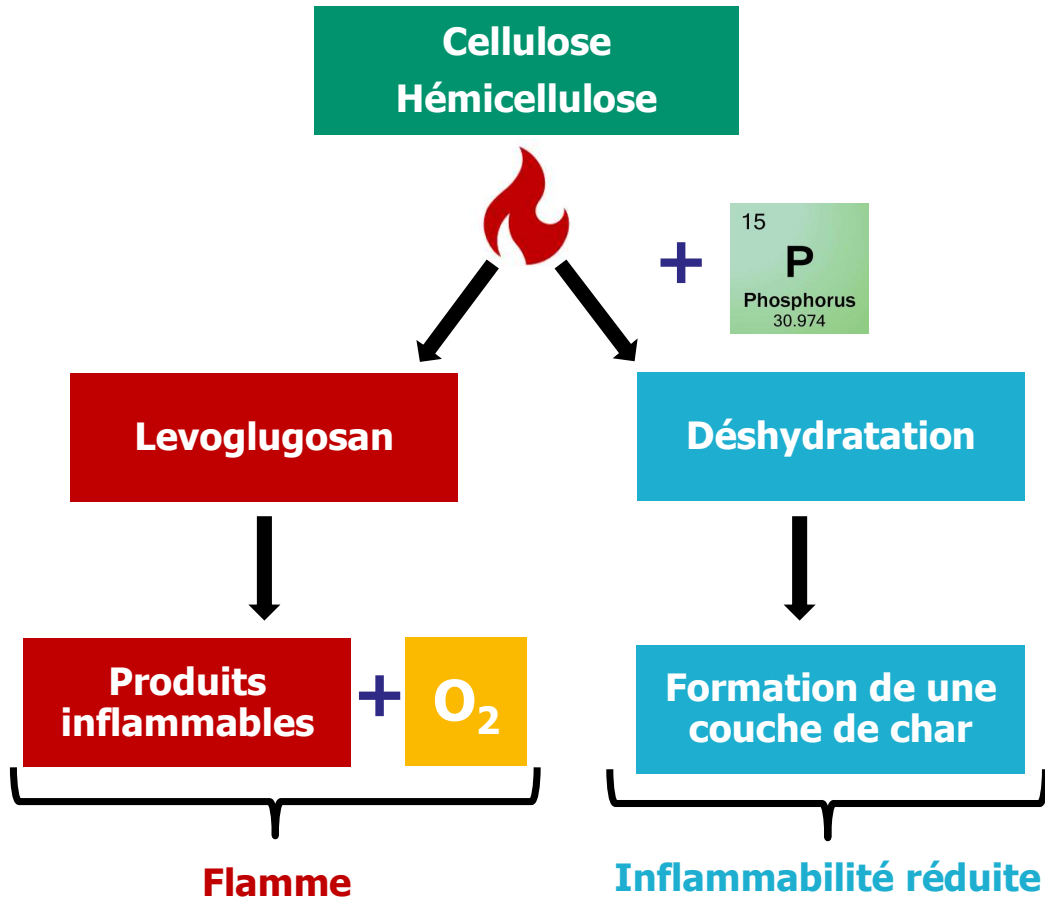
Est-ce que le traitement aura un impact sur les performances acoustiques des laines végétales ?

Première étape : échelle de fibres

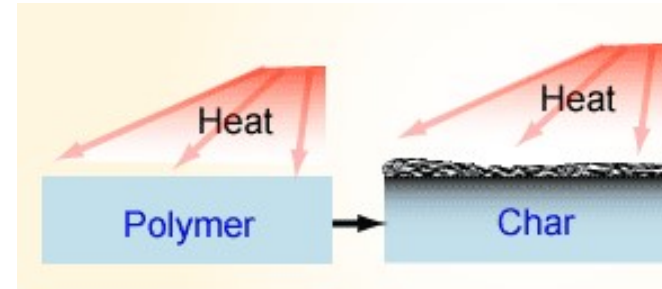
- Évaluer deux méthodes de traitement ignifuge qui respectent l'environnement et leur impact sur les performances acoustiques des fibres de chanvre



TRAITEMENT IGNIFUGE



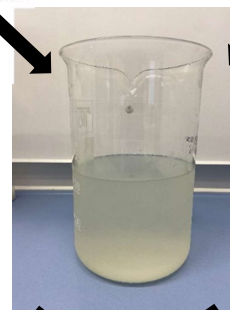
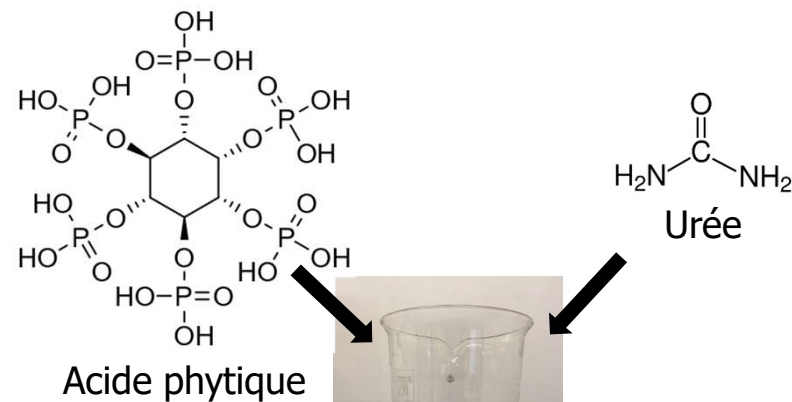
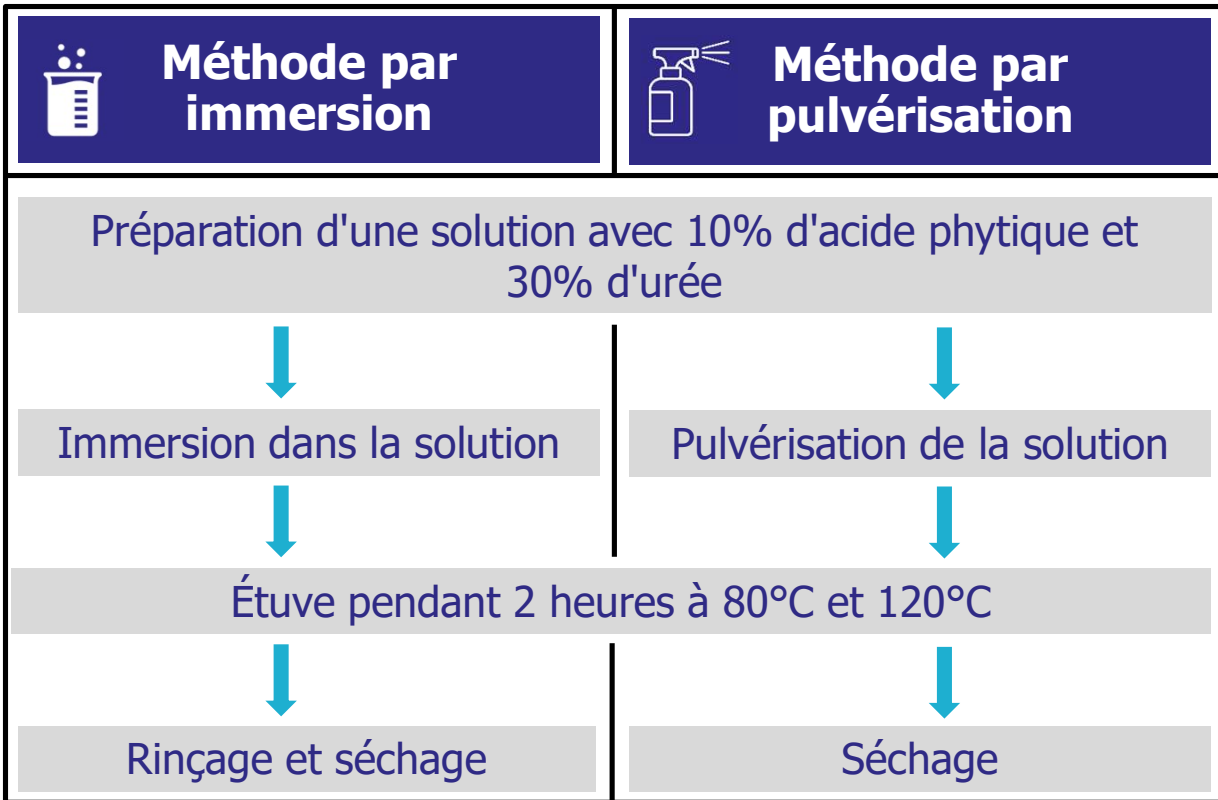
(Hajj et al., 2020)



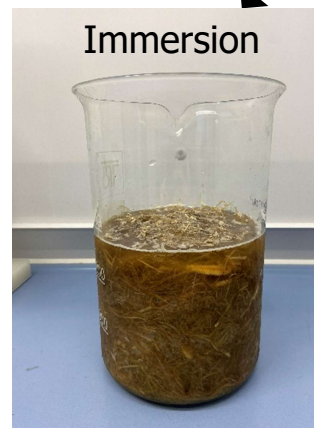
(polymerinsights.com)



TRAITEMENT IGNIFUGE



Solution



Immersion



Pulvérisation



MÉTHODES DE CARACTÉRISATION

- ✘ Teneur en phosphore :
 - ✘ ICP
- ✘ Réaction au feu:
 - ✘ Calorimètre à cône
- ✘ Absorption acoustique :
 - ✘ Tube d'impédance
 - ✘ Densité apparente de 60 et 90 kg/m³



ICP-AES



Calorimètre à cône



Tube d'impédance



Échantillon de fibres de chanvre



INFLAMMABILITÉ

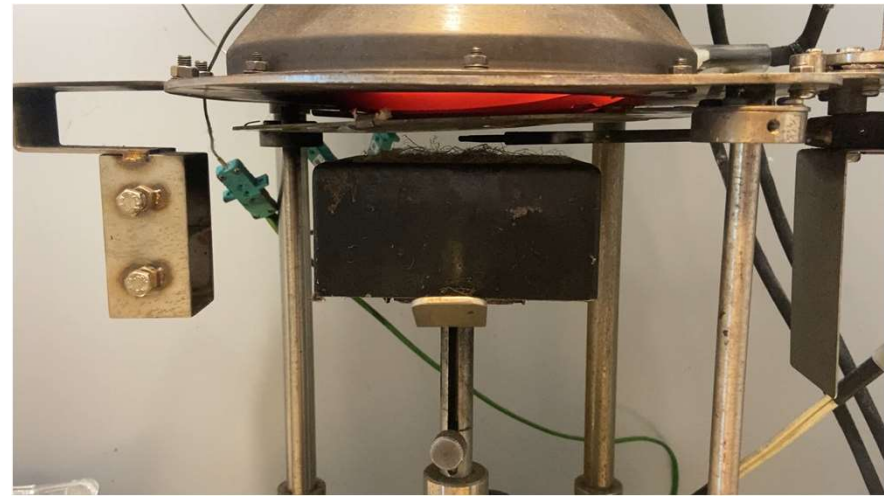
Calorimètre à cône

✂ Mesures :

- ✂ Délai d'allumage (TTI)
- ✂ Taux de dégagement de chaleur (HRR)
- ✂ Taux de dégagement de chaleur maximale (pHRR)
- ✂ Chaleur totale dégagée (THR)
- ✂ Taux de perte de masse

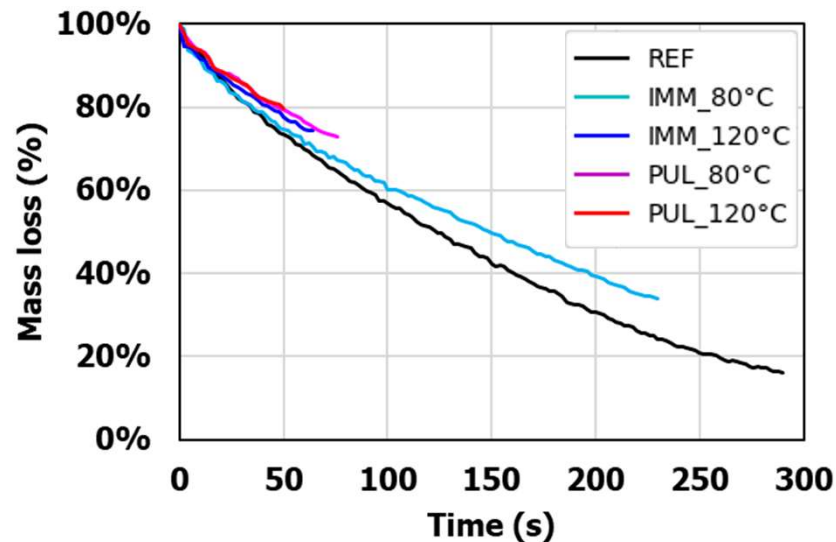
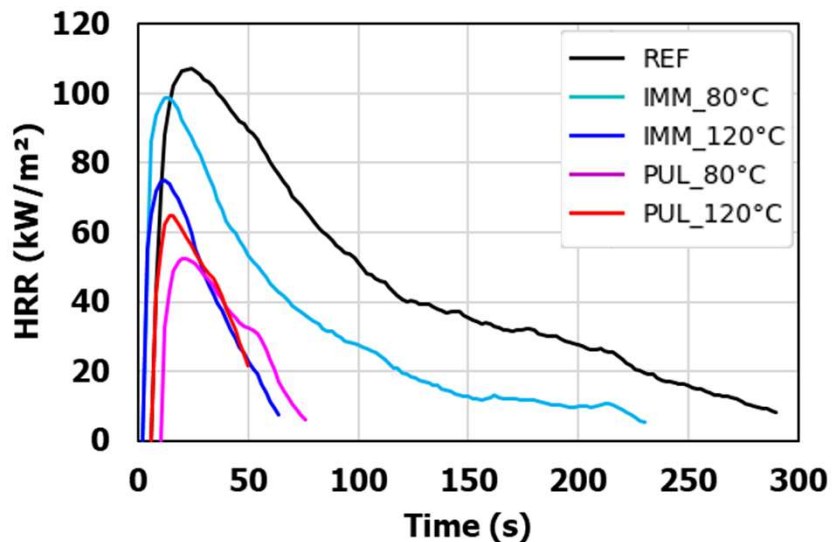


Reference



PUL 80°C

INFLAMMABILITÉ



Échantillon	% P	pHRR (kW/m ²)	Mean HRR (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)
REF	0,07%	109,0 ± 7,1	49,1 ± 5,6	13,5 ± 0,6
IMM 80°C	0,40%	86,0 ± 16,8	30,1 ± 4,7	7,3 ± 1,3
IMM 120°C	0,43%	72,5 ± 7,5	43,1 ± 10,0	3,2 ± 0,3
PUL 80°C	2,43%	48,8 ± 8,6	28,7 ± 3,8	2,2 ± 0,8
PUL 120°C	1,88%	56,6 ± 13,3	35,0 ± 10,4	2,2 ± 0,4



INFLAMMABILITÉ



REF



IMM 80°C



IMM 120°C



PUL 80°C



PUL 120°C



IMM 120°C

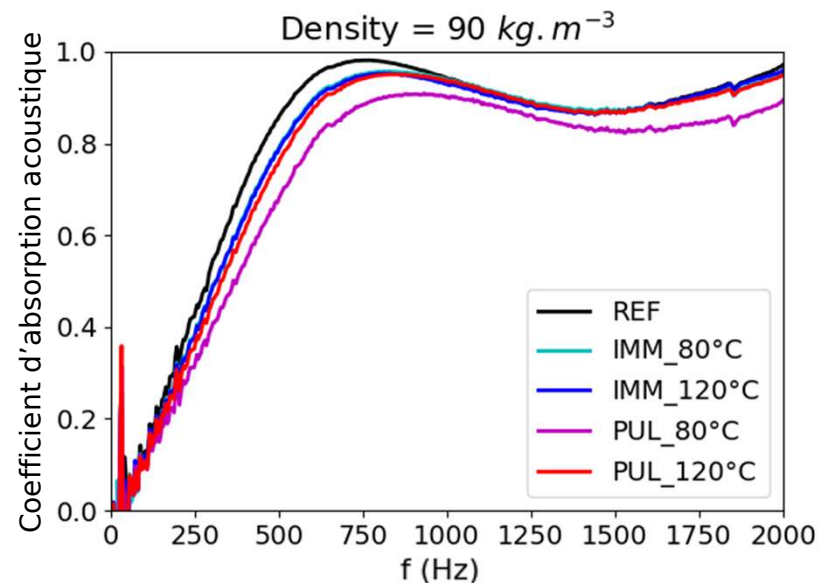
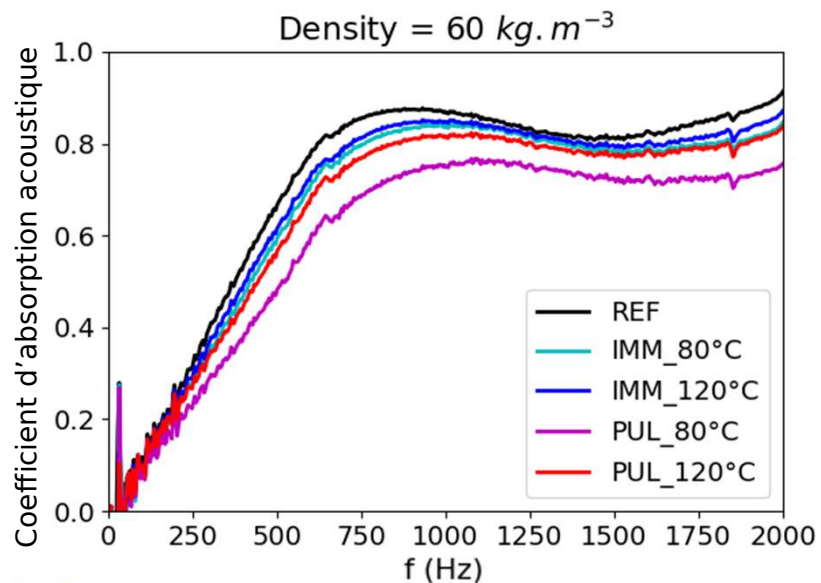
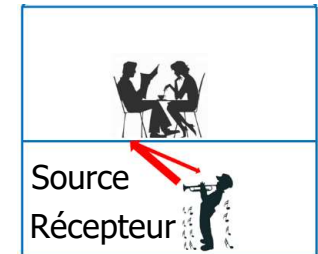


PUL 80°C



PERFORMANCE ACOUSTIQUE

- ✘ Les fibres traitées présentent une absorption acoustique plus faible et atteignent le premier pic à une fréquence plus élevée
- ✘ Impact plus important du traitement sur les fibres pulvérisées
- ✘ Plus la teneur en phosphore est élevée, plus la réduction de l'absorption acoustique est importante



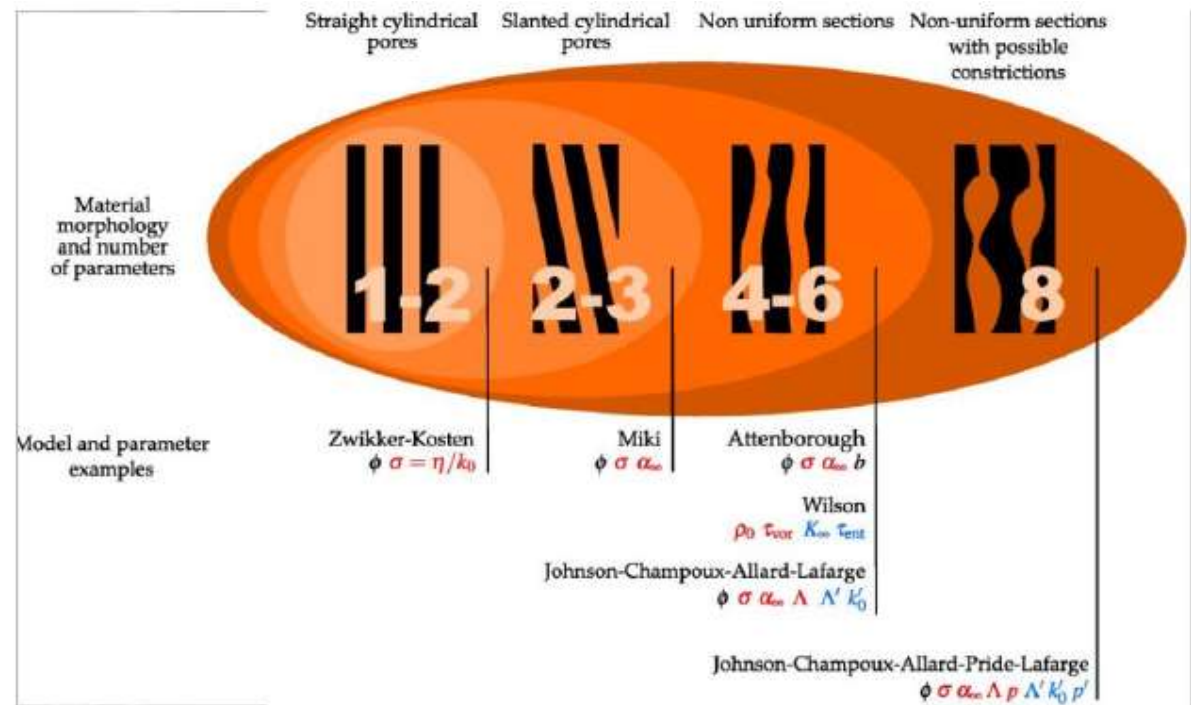
Échantillon	% P
REF	0,07%
IMM 80°C	0,40%
IMM 120°C	0,43%
PUL 80°C	2,43%
PUL 120°C	1,88%

MODÉLISATION ACOUSTIQUE

✘ Approche du modèle basée sur la géométrie des pores

✘ Modèle JCAL (6 paramètres)

- ✘ Porosité
- ✘ Résistivité de l'écoulement de l'air
- ✘ Tortuosité
- ✘ Longueur visqueuse caractéristique
- ✘ Longueur thermique caractéristique
- ✘ Perméabilité thermique



(Johnson et al. 1987; Champoux et Allard 1991; Lafarge et al. 1997)

MODÉLISATION ACOUSTIQUE

✘ Approche du modèle basée sur la géométrie des pores

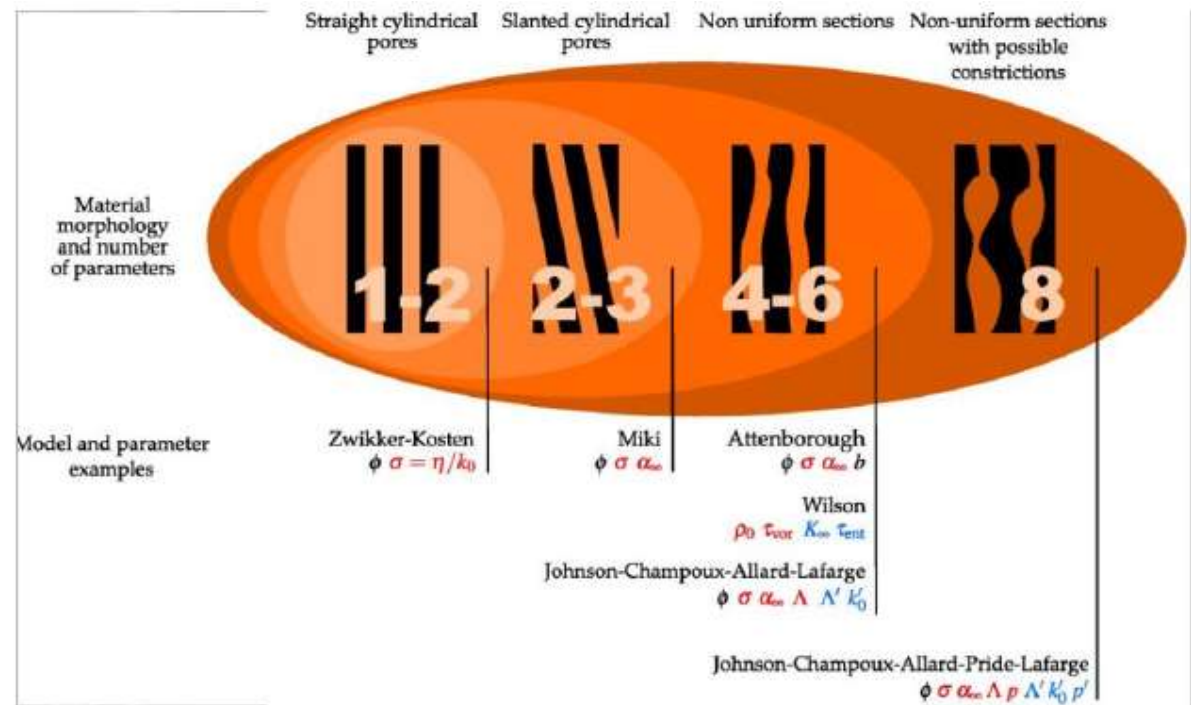
✘ Modèle JCAL (6 paramètres)

- ✘ **Porosité**
- ✘ Résistivité de l'écoulement de l'air
- ✘ Tortuosité
- ✘ Longueur visqueuse caractéristique
- ✘ Longueur thermique caractéristique
- ✘ Perméabilité thermique

$$\phi = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_s} \quad 96\% \sim 98\%$$

ρ_{ap} = densité apparente

ρ_s = densité du squelette solide



(Johnson et al. 1987; Champoux et Allard 1991; Lafarge et al. 1997)



MODÉLISATION ACOUSTIQUE

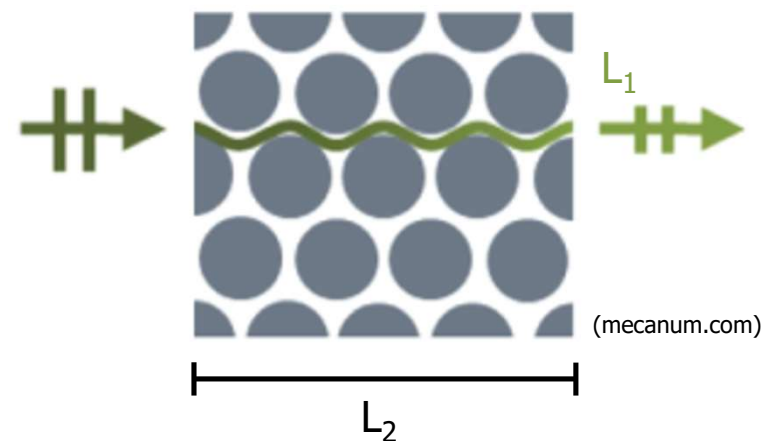
- ✘ Approche du modèle basée sur la géométrie des pores
 - ✘ Modèle JCAL (6 paramètres)
 - ✘ Porosité
 - ✘ **Résistivité de l'écoulement de l'air**
 - ✘ Tortuosité
 - ✘ Longueur visqueuse caractéristique
 - ✘ Longueur thermique caractéristique
 - ✘ Perméabilité thermique
-
- Capacité du matériau à s'opposer à un flux d'air voulant le traverser
 - Plus la résistivité de l'air est élevée, plus l'absorption acoustique est importante





MODÉLISATION ACOUSTIQUE

- ✘ Approche du modèle basée sur la géométrie des pores
- ✘ Modèle JCAL (6 paramètres)
 - ✘ Porosité
 - ✘ Résistivité de l'écoulement de l'air
 - ✘ **Tortuosité**
 - ✘ Longueur visqueuse caractéristique
 - ✘ Longueur thermique caractéristique
 - ✘ Perméabilité thermique



- Relation entre le chemin parcouru par l'onde sonore à travers le matériau et l'épaisseur du matériau
- En raison de la porosité élevée et de la faible résistivité, la tortuosité des fibres est proche de 1

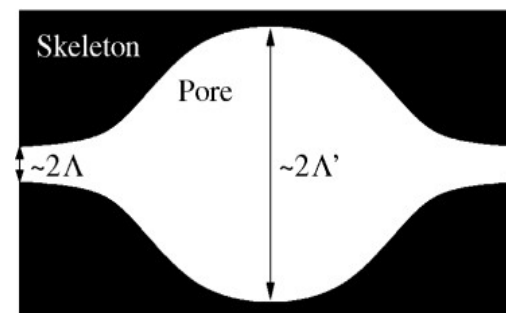
$$\alpha_{\infty} = \frac{L_1}{L_2}$$

$\sim 1,0$



MODÉLISATION ACOUSTIQUE

- ✘ Approche du modèle basée sur la géométrie des pores
- ✘ Modèle JCAL (6 paramètres)
 - ✘ Porosité
 - ✘ Résistivité de l'écoulement de l'air
 - ✘ Tortuosité
 - ✘ **Longueur visqueuse caractéristique**
 - ✘ **Longueur thermique caractéristique**
 - ✘ **Perméabilité thermique**

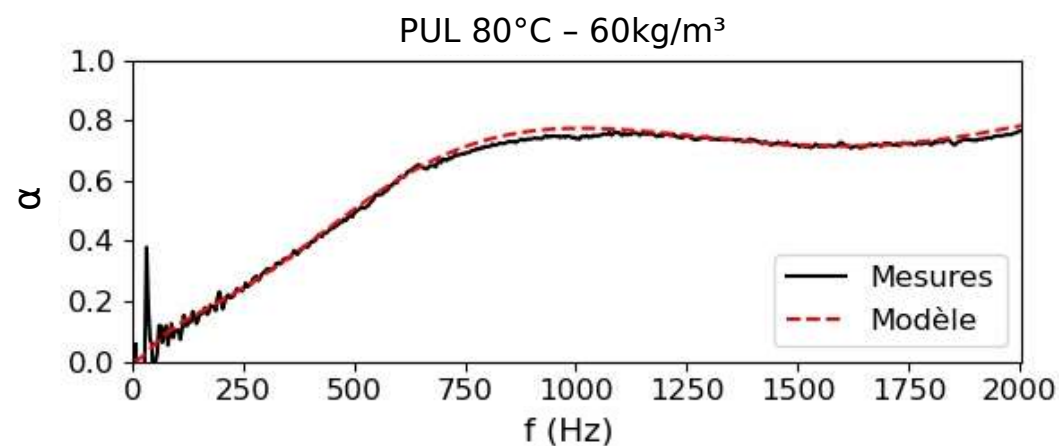
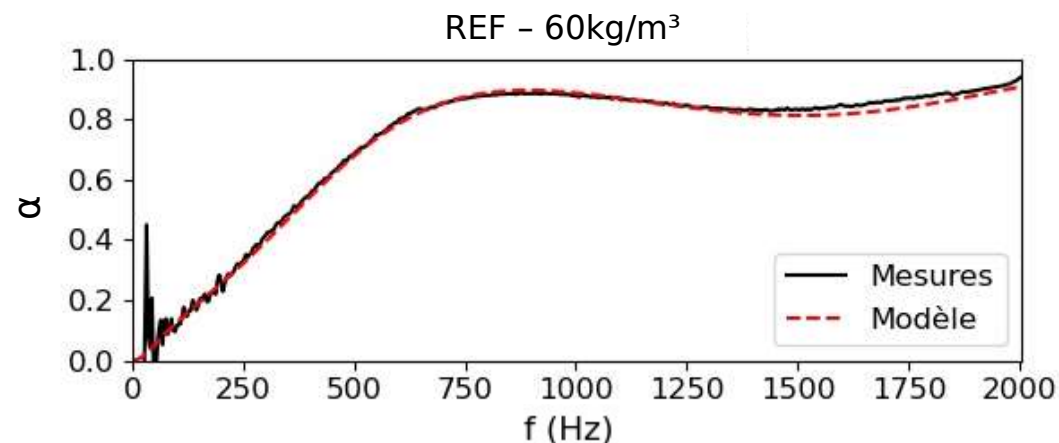


- Longueur visqueuse caractéristique : représentée par le diamètre des sections entre pores (Λ)
- Longueur thermique caractéristique : représentée par le diamètre des pores (Λ')
- Perméabilité thermique : capacité du matériau à être traversé par un flux de chaleur



MODÉLISATION ACOUSTIQUE

- ✘ Bonne relation entre les mesures et le modèle JCAL de l'absorption acoustique des échantillons de fibres de chanvre
- ✘ Possibilité d'étendre les performances à des fréquences plus élevées
 - ✘ Limité à 2000 Hz en raison du diamètre du tube
- ✘ Validation des paramètres acoustiques liés à la géométrie des pores

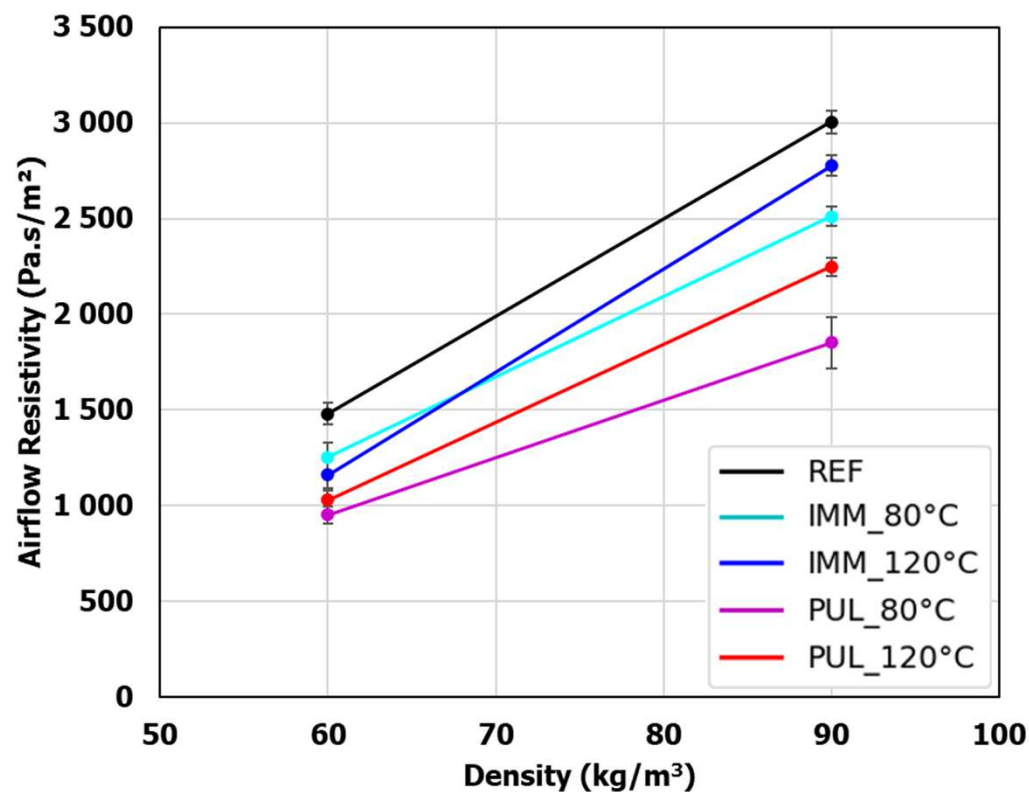




MODÉLISATION ACOUSTIQUE

✂ Focus sur la résistivité de l'écoulement de l'air

- Augmentation de la résistance avec l'augmentation de la densité
- Réduction de la résistivité de l'air avec le traitement
- Réduction de l'absorption acoustique



MODÉLISATION ACOUSTIQUE

- ✘ Modèle de Tarnow :
 - ✘ Relation analytique entre la résistivité de l'air avec la masse volumique et le rayon des fibres
- ✘ Hypothèse :
 - ✘ Distribution aléatoire des fibres avec une incidence du son perpendiculaire à l'orientation des fibres

$$\sigma = \frac{4\mu(1 - \phi)}{R_f^2 \left[0.640 \ln \left(\frac{1}{(1 - \phi)} \right) - 0.737 + (1 - \phi) \right]}$$

(Tarnow, 1996)

Échantillon	Rf (µm) d=60kg/m ³	Rf (µm) d=90kg/m ³
REF	39,6	37,4
IMM 80°C	43,1	40,9
IMM 120°C	45,3	39,4
PUL 80°C	49,6	47,8
PUL 120°C	47,8	43,6

- Augmentation du rayon équivalent de la fibre
- Impact du traitement sur les fibres



CONCLUSION

- ✘ Le phosphore a été greffé avec succès sur les fibres de chanvre
- ✘ Le traitement a réduit l'inflammabilité des fibres de chanvre
- ✘ La performance de l'absorption acoustique des fibres de chanvre diminuent avec le traitement, et semble en corrélation avec la variation de la teneur en phosphore
- ✘ Réduction de la résistivité de l'air avec le traitement
- ✘ Augmentation du rayon équivalent de la fibre -> Impact du traitement sur les fibres





PERSPECTIVES

Echelle fibre de chanvre

- ✘ Caractérisation des fibres à partir d'images de microscopie électronique à balayage (MEB)
- ✘ Caractériser le comportement hygrothermique des amas de fibres de chanvre traitées

Echelle laines végétales

- ✘ Fabrication des laines végétales
- ✘ Évaluation de l'inflammabilité, des performances acoustiques et hygrothermiques des laines de chanvre



Fibres de chanvre



Laines végétales





**Funded by
the European Union**

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie COFUND grant agreement No 101034248.

Thomas SCHATZMAYR WELP SA

thomas.schatzmayr-welp-sa@univ-eiffel.fr

 **Université
Gustave Eiffel**



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN



ENTPE
École de l'aménagement durable des territoires

