

Enrobé « biosourcé » à base de liège : identification des modèles les plus adaptés via une approche expérimentale et théorique

Clément Piégay (UMRAE)

Plan

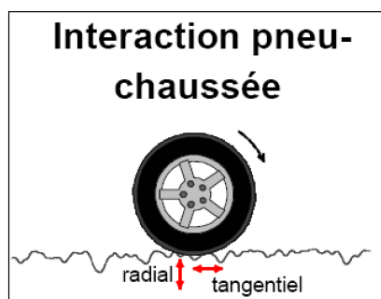
- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Plan

- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Caractérisation de l'absorption acoustique des enrobés routiers

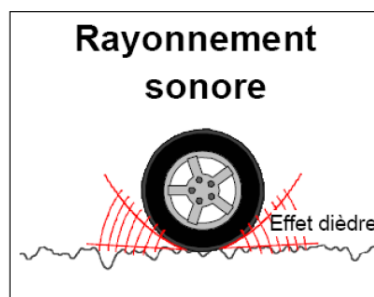
Principaux mécanismes impliqués dans le bruit de roulement



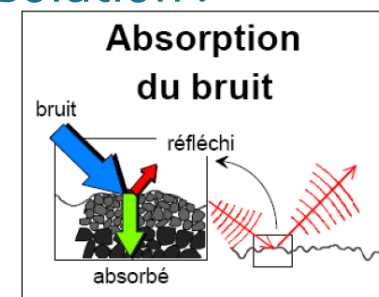
BruitParif



Colas



1 solution :



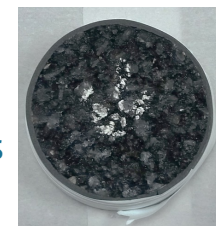
Caractérisation possible en labo



Difficultés rencontrées

Matériaux « fermés »

Difficultés de caractériser les paramètres acoustiques



Modélisation

Empirique ?

Semi-phénoménologique ?

Homogénéisation micro-macro ?

Matériaux poreux ?

Matériaux granulaires ?

Enrobé « biosourcé » à base de liège : identification des modèles les plus adaptés via une approche expérimentale et théorique

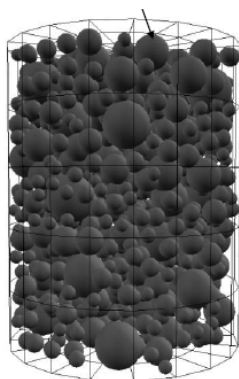
Projet DECOUSUR

Projet Durabilités et Efficacités des COUches de Surfaces Urbaines Développement d'un nouvel enrobé phonique « biosourcé » intégrant des granulats de liège

Axe 1

Etude des propriétés mécaniques

Thèse de Christina El Sawda
Modélisation hétérogène de
l'endommagement des matériaux
bitumineux



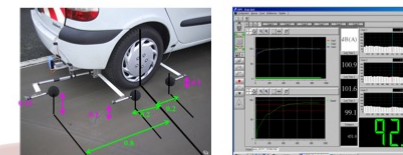
[El Sawda 2022]

Axe 2

SUIVI ACOUSTIQUE

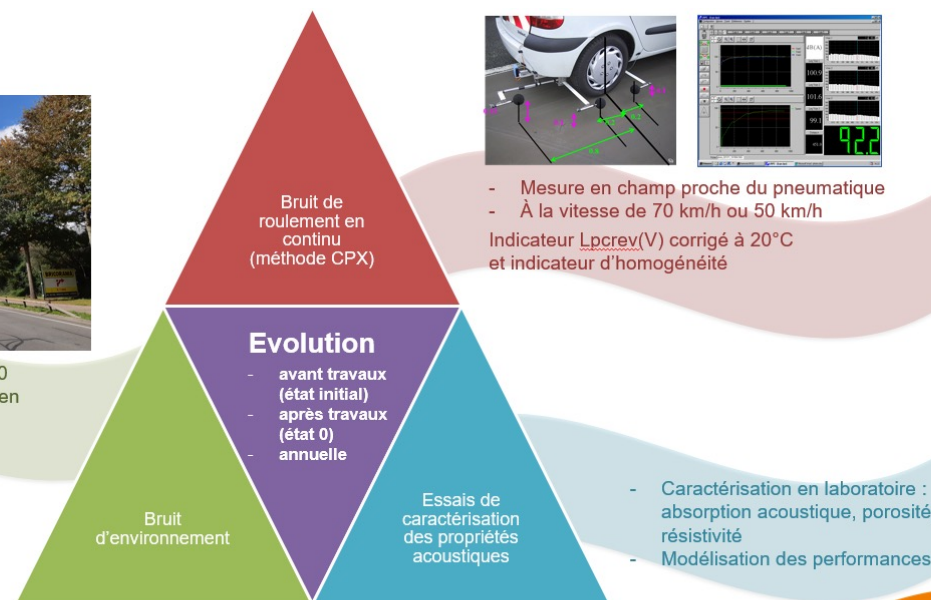


- LAeq, LA10, LA50, LA90
- Données fréquentielles en tiers d'octave



- Mesure en champ proche du pneumatique
- À la vitesse de 70 km/h ou 50 km/h

Indicateur $L_{pcrev}(V)$ corrigé à 20°C
et indicateur d'homogénéité



Enrobé « biosourcé » à base de liège : identification des modèles les plus adaptés via une approche expérimentale et théorique

Plan

- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Spécificités des enrobés routiers acoustiques

Dimension des granulats

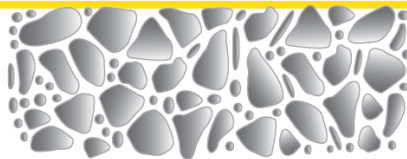
- 0/10 ou 0/6
- Distribution granulométrique discontinue

Porosité BruitParif

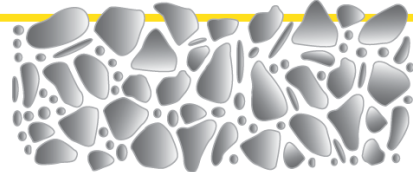
- Dense 4 – 9 %
- Semi-dense 9 -14 %
- Semi-ouvert 14-19 %
- Ouvert > 19 %

Texture du revêtement

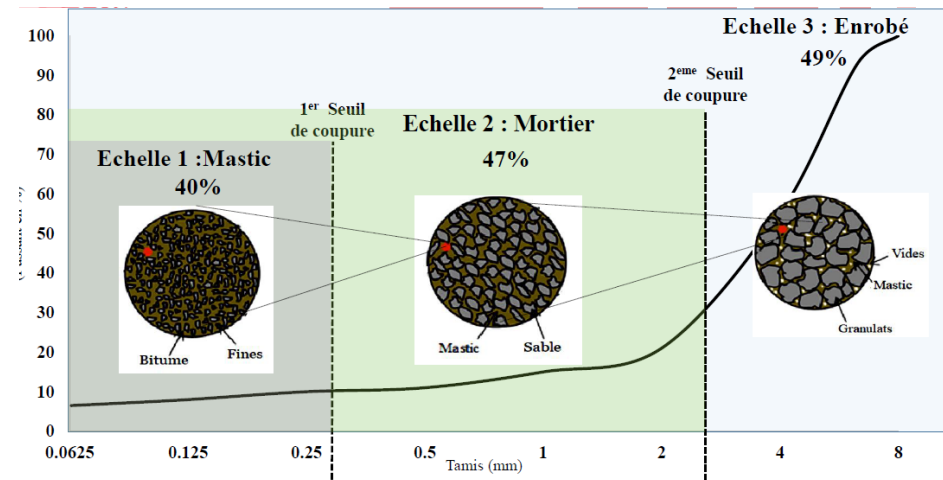
Texture négative (absorption du bruit)



Texture positive (émission du bruit)



[El Sawda 2022]



Matériaux

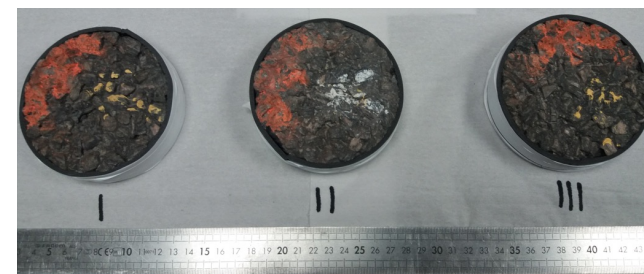
BBTM Liège



Rugosoft ®



BBSG Ref



BBSG avant
travaux
6

Matériau	ρ_a (kg.m ⁻³)
BBSG avant travaux	2171 ± 29
BBSG référence	2070 ± 29
Rugosoft ®	1870 ± 26
Enrobé liège	1945 ± 22

Enrobé « biosourcé » à base de liège : identification des modèles les plus adaptés via une approche expérimentale et théorique

Plan

- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Rappel sur les phénomènes de dissipation acoustique

Dissipation acoustique par effets visco-inertiels

L'air se déplace dans les pores (effets inertiels) et subit des contraintes visqueuses au contact du squelette supposé rigide (effets visqueux).

A Basses Fréquences

Régime visqueux
Ecoulement de
type « Poiseuille »

$$\langle \vec{v} \rangle = - \frac{\Pi(\omega)}{\mu} \vec{\nabla} p$$

- $\Pi(\omega)$ perméabilité dynamique : paramètre intrinsèque
- $\rho(\omega)$ densité dynamique

$$\rho(\omega) = \frac{\mu}{j\omega\Pi(\omega)}$$

A Hautes Fréquences

Régime inertiel
Ecoulement Inertiel

Dissipation acoustique par effets thermiques

Le contact entre la phase fluide (air) et la phase solide entraîne également une modification de l'évolution thermodynamique.

A Basses Fréquences

Régime isotherme

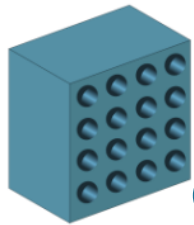
$$\langle T \rangle = - \frac{\Theta(\omega)}{\lambda} j\omega p$$

- $\Theta(\omega)$ perméabilité thermique dynamique : paramètre intrinsèque
- $K(\omega)$ module d'incompressibilité thermique

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

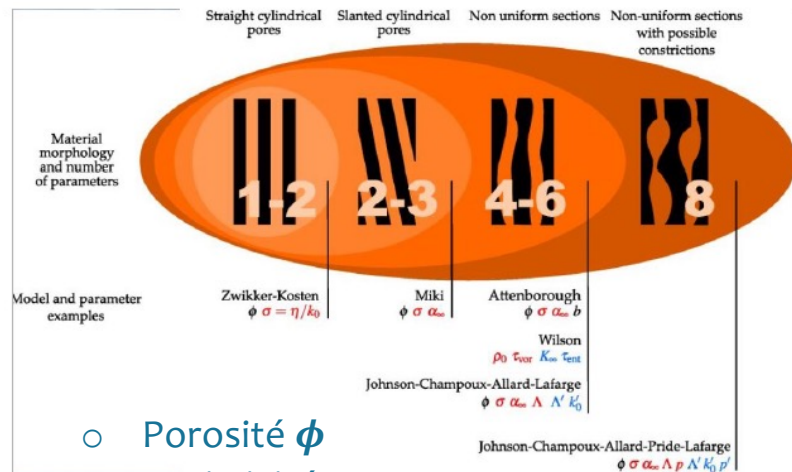
A Hautes Fréquences

Régime adiabatique



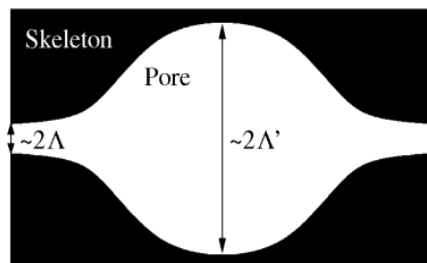
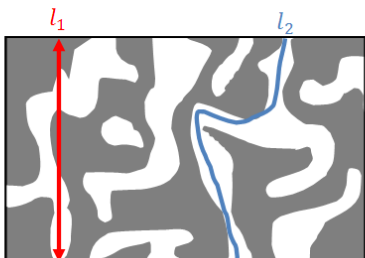
2 approches de modélisation des milieux poreux

Géométrie des pores

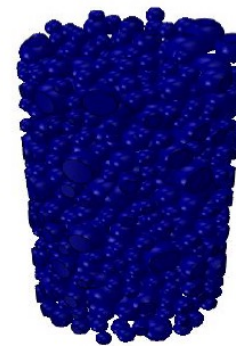


- Porosité ϕ
- Resistivité σ
- Tortuosité α_∞
- Longueur caractéristique visqueuse Λ
- Longueur caractéristique thermique Λ'

[apmr.matelys.com]

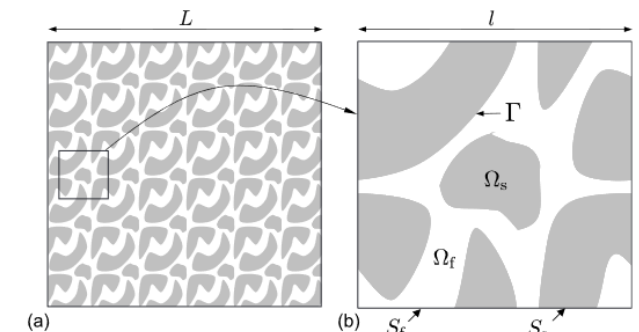


Géométrie du squelette

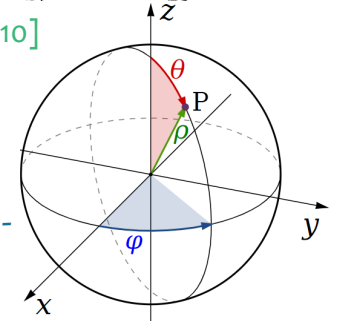


Granulats

[El Sawda 2022]



[Boutin & Geindreau 2010]



Approche d'homogénéisation micro-macro

- HSP, HAC, etc.

Enrobe « biosource » à base de liège : identification des modèles les plus adaptés via une approche expérimentale et théorique

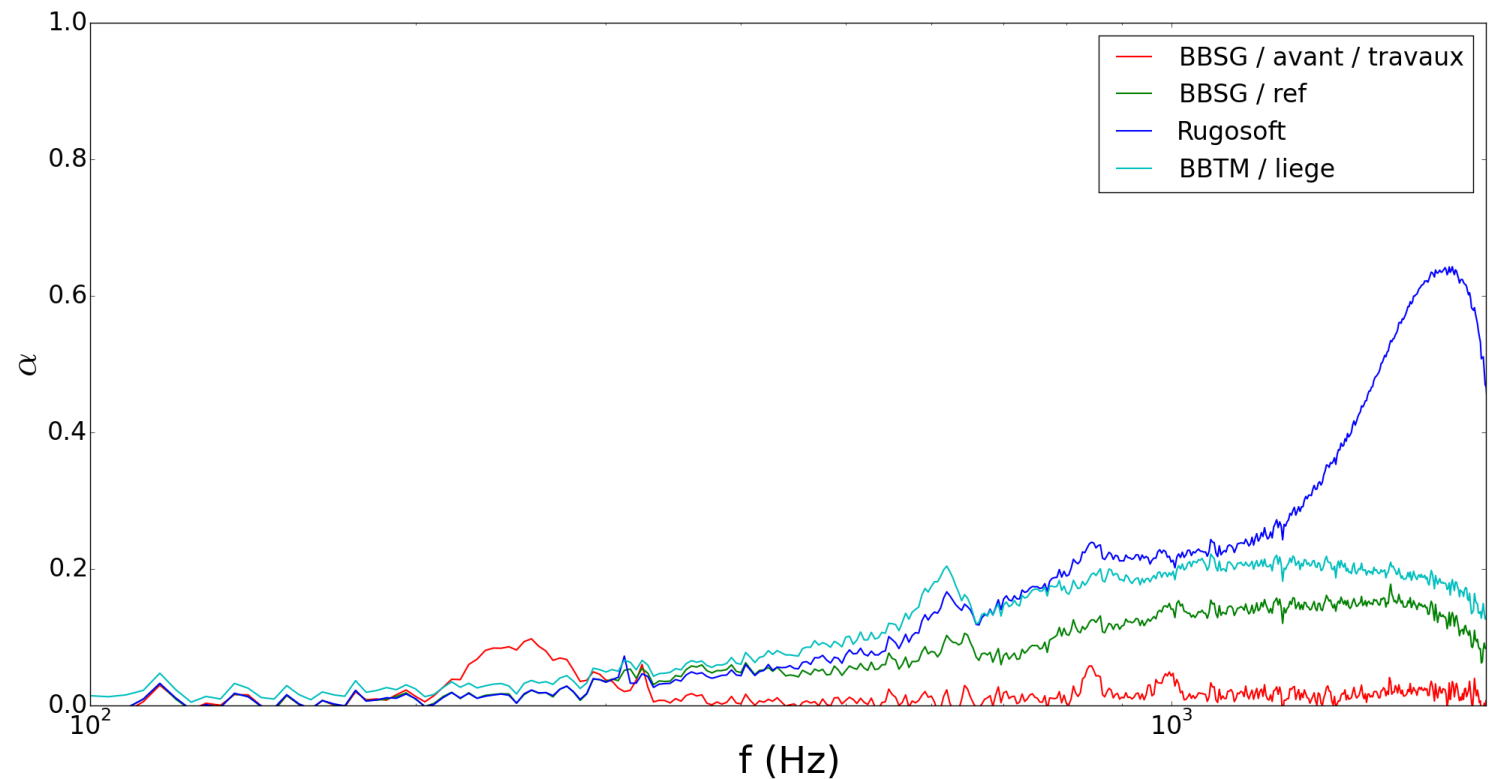
Plan

- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales**
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Absorption acoustique

Mesures réalisées avec tube d'impédance

Norme ISO 10534-2



Absence de pic d'absorption
pour l'enrobé liège

Porosimètre à comparaison de volumes d'air

[Leclaire et al. 2003]

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

Matériau	Porosité (%)	Classification
BBSG avant travaux	11,4 ± 0,5	Semi-dense
BBSG référence	14,9 ± 0,3	Semi-ouvert
Rugosoft®	22,9 ± 0,7	Ouvert
Enrobé liège	17,7 ± 0,2	Semi-ouvert



Corroborent les résultats précédents ρ_a et α

Caractérisation expérimentale par résistivimètre selon Norme ISO 9053-1 2018

- ➔ Difficulté d'obtenir des valeurs expérimentales
- ➔ Pour les matériaux plus « fermés » : résultats hétérogènes

Caractérisation indirecte par inversion de modèle

- ➔ Cohérence des résultats entre eux et avec les résultats précédents

Matériau	Résistivité expérimentale ($\text{N.m}^{-4}.\text{s}$)	Résistivité indirecte ($\text{N.m}^{-4}.\text{s}$)
BBSG référence	/	950 000
	/	1 000 000
	486 000	450 000
Rugosoft®	/	140 000
	130 000	80 000
	151 000	120 000
Enrobé liège	/	380 000
	160 000	160 000
	/	240 000

Plan

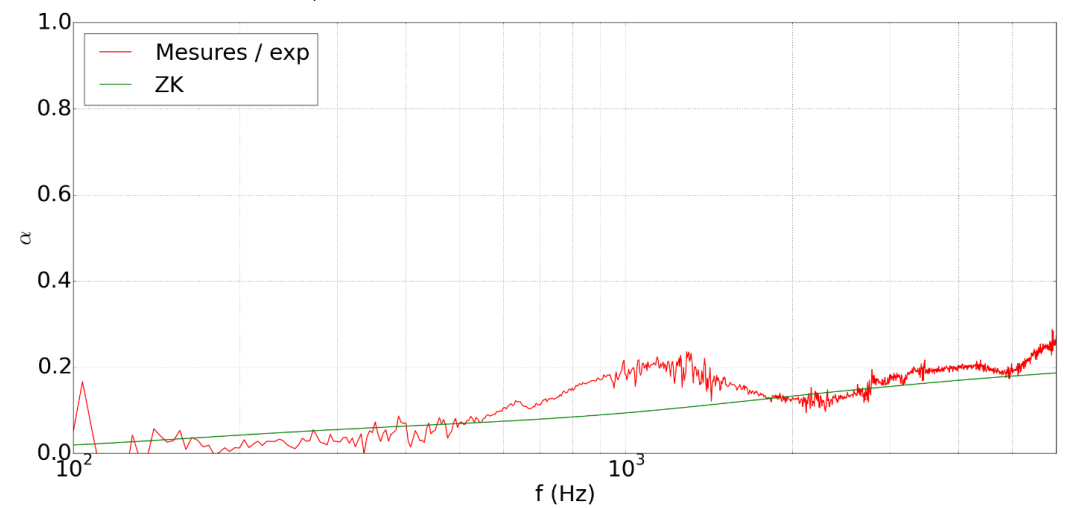
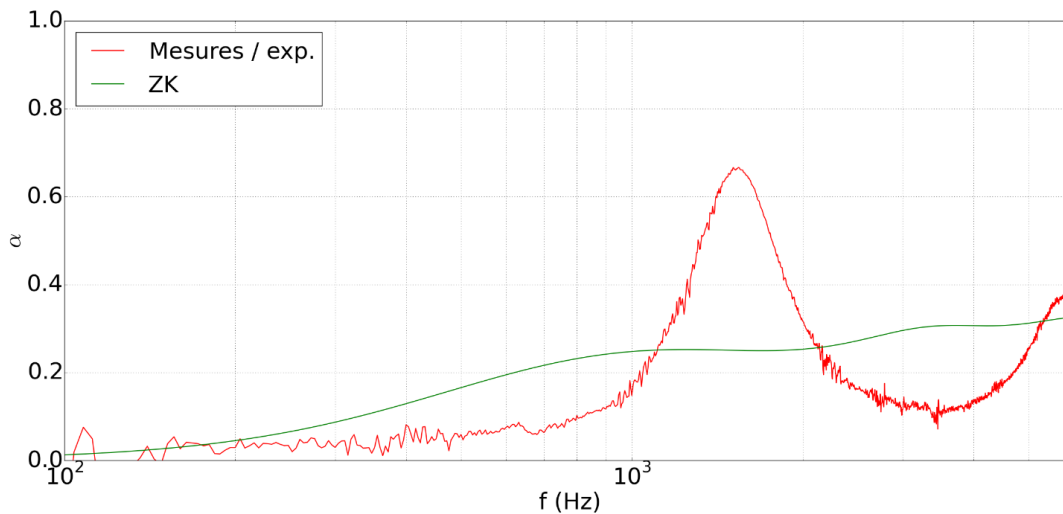
- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives

Modèle de Zwikker et Kosten étendu

[Zwikker & Kosten 1949] [Benoît 2013]

Modèle **analytique** s'appuyant sur des pores cylindriques de section circulaire constante

Modèle étendu à 3 paramètres : ϕ , σ et α_∞



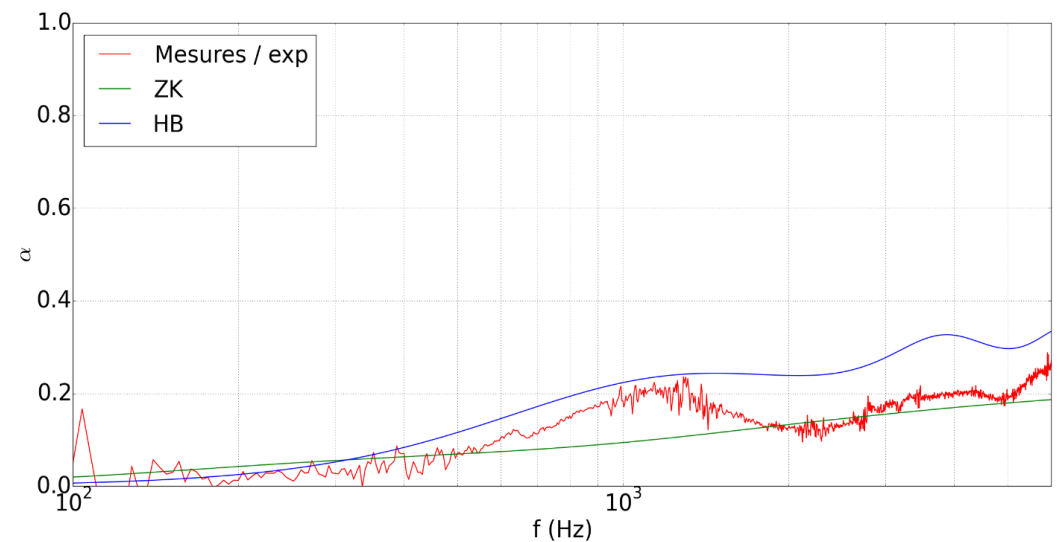
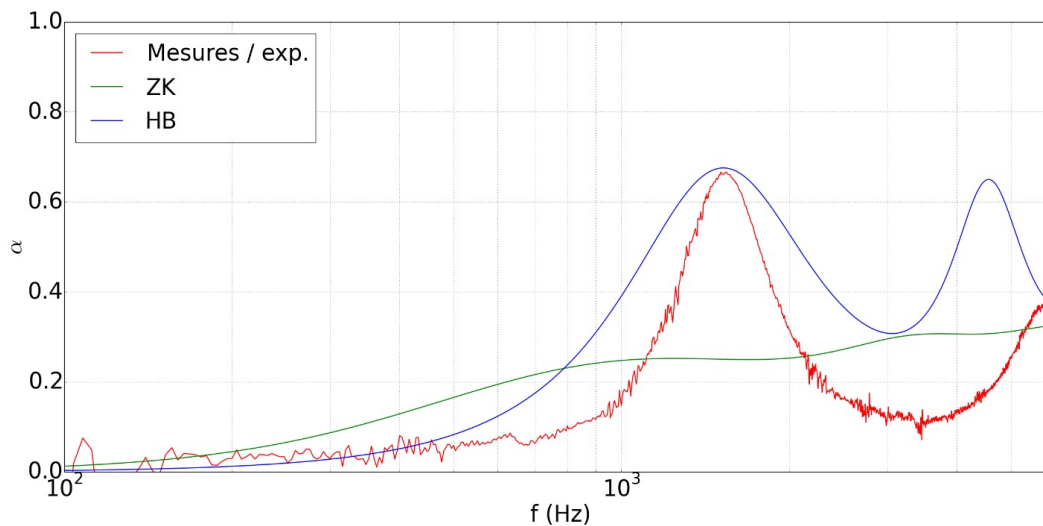
Modèle de Hamet et Bérengier

[Hamet & Bérengier 1993]

[Bérengier et al. 1997]

Modèle **semi-phénoménologique** : modification du modèle de Zwicker & Kosten appliqué au cas particulier des revêtements routiers

Modèle à 3 paramètres : ϕ , σ et α_∞



Modèle JCA

[Johnson et al. 1987] [Champoux & Allard 1991]

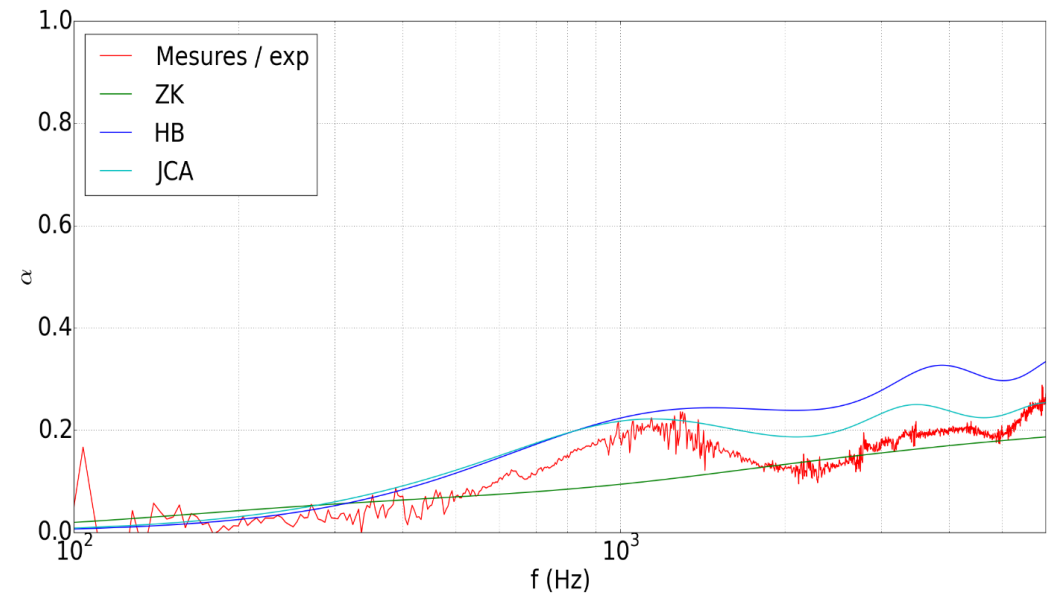
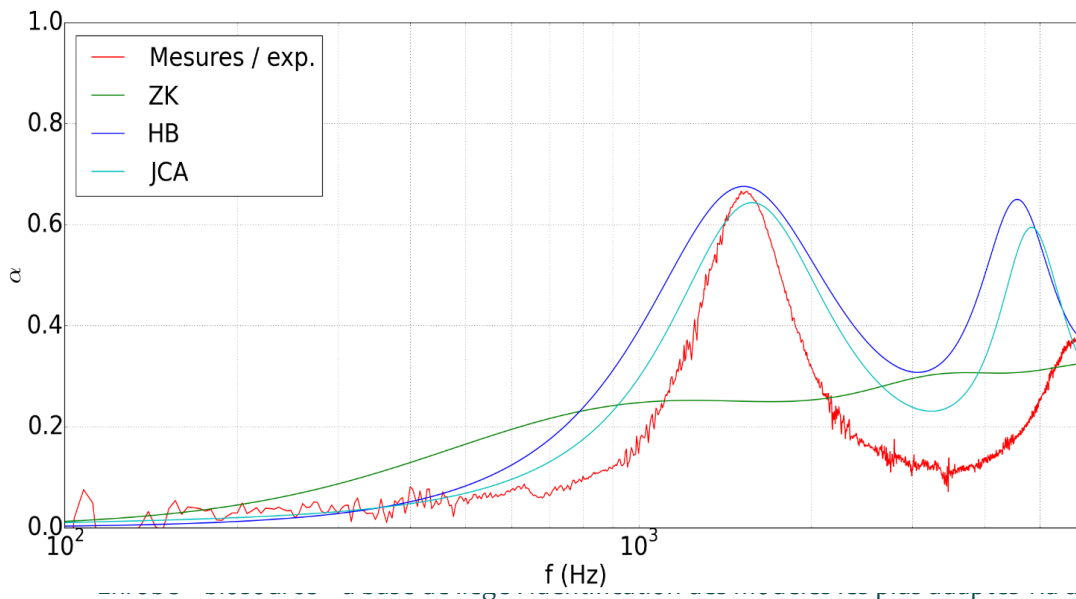
Modèle **semi-phénoménologique** appliqué aux milieux poreux

Modèle à 5 paramètres : ϕ , σ , α_∞ , Λ et Λ'

Possibilité d'ajouter 1 paramètre k'_0 (JCAL) + 2 paramètres P et P' (JCALP)

[Lafarge et al. 1997]

[Pride et al. 1993]

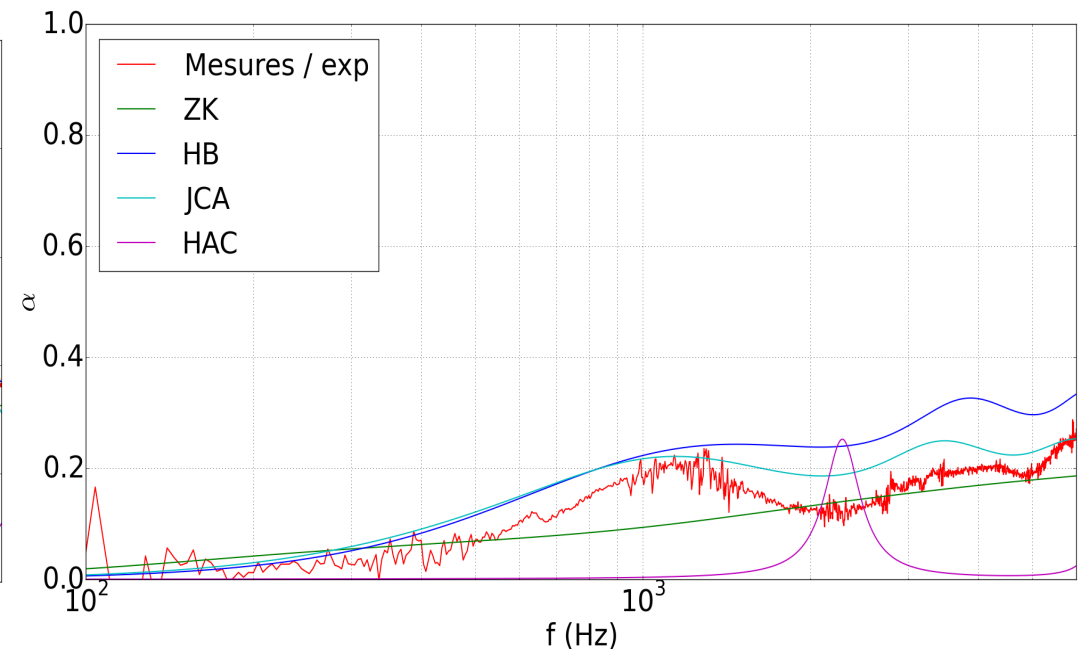
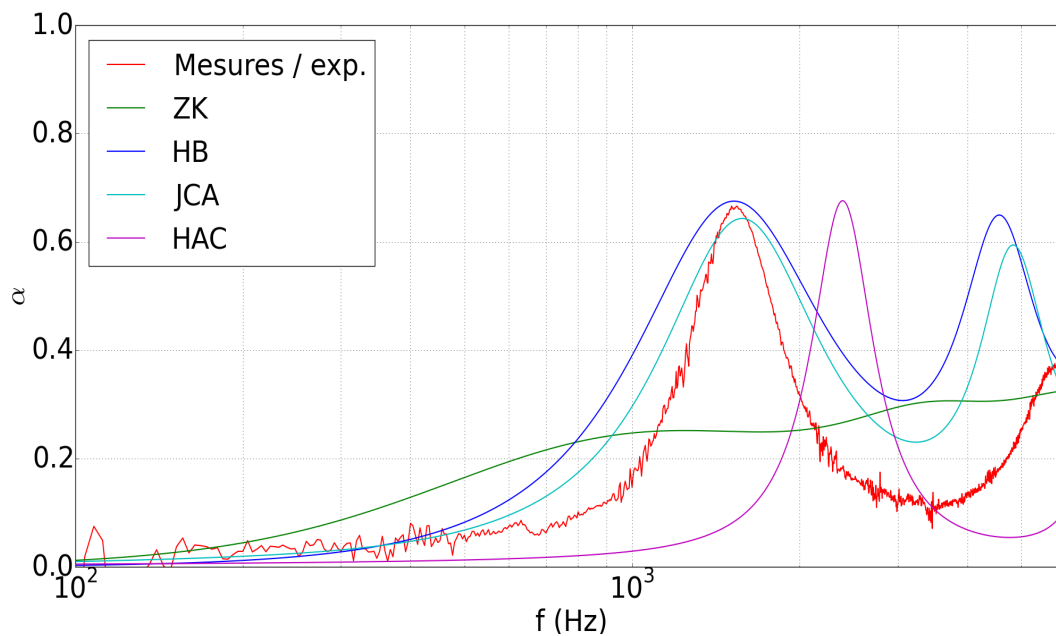
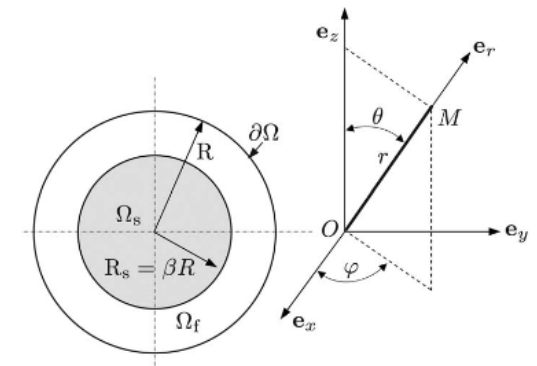


Modèle HSP-HAC à symétrie sphérique

[Boutin & Geindreau 2008]

Modèle couplant l'**H**omogénéisation des Structures Périodiques et l'**H**omogénéisation Auto-Cohérente avec une symétrie sphérique spécifique aux squelettes granulaires

Modèle à 2 paramètres : ϕ , R_{eq} $R_{eq} = f(\sigma)$



Plan

- I. Contexte
- II. Matériaux
- III. Rappel sur les phénomènes de dissipations acoustiques
- IV. Résultats des caractérisations expérimentales
- V. Méthodes de modélisations mises en œuvre
- VI. Conclusions et perspectives**

Conclusions et perspectives

- Caractérisation essentielle de la résistivité σ : directe ou indirecte
- JCAL modèle s'appuyant sur la géométrie des pores semble le plus adapté mais au moins 3 paramètres à estimer de manière indirecte
- Plages d'utilisation des modèles ZK et HB à définir plus précisément
- Modèle d'homogénéisation HSP-HAC à géométrie sphérique semble prometteur mais investigations à mener

Merci de votre attention

Contact:

Clement.piegay@cerema.fr

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