



**HAL**  
open science

# **Influence du comportement poroélastique sur la réponse acoustique de matériaux métaporeux avec inclusions périodiques résonantes**

Thomas Weisser, Jean-Philippe Groby, Olivier Dazel, François Gautier, Elke Deckers, Sideto Futatsugi, Luciana Monteiro

## ► To cite this version:

Thomas Weisser, Jean-Philippe Groby, Olivier Dazel, François Gautier, Elke Deckers, et al.. Influence du comportement poroélastique sur la réponse acoustique de matériaux métaporeux avec inclusions périodiques résonantes. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. ⟨hal-03444713⟩

**HAL Id: hal-03444713**

**<https://hal.science/hal-03444713v1>**

Submitted on 23 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Influence du comportement poroélastique sur la réponse acoustique de matériaux métaporeux avec inclusions périodiques résonantes

T. WEISSER<sup>a</sup>, J.-P. GROBY<sup>b</sup>, O. DAZEL<sup>b</sup>, F. GAUTIER<sup>b</sup>,  
E. DECKERS<sup>c</sup>, S. FUTATSUGI<sup>d</sup>, L. MONTEIRO<sup>d</sup>

a. Laboratoire MIPS, Université de Haute-Alsace,

12 rue des Frères Lumière, 68093 Mulhouse, [thomas.weisser@uha.fr](mailto:thomas.weisser@uha.fr)

b. LAUM, UMR6613 CNRS/Université du Maine, 72085 Le Mans Cedex 9

c. Department of Mechanical Engineering, KU Leuven, 3001 Heverlee, Belgique

d. Embraer, 12227-901 São José dos Campos, Brésil

## Résumé :

*Cette étude vise à exposer la faisabilité et l'intérêt de prendre en compte le comportement poroélastique d'un matériau métaporeux contenant un réseau périodique d'inclusions résonantes. Un modèle semi-analytique associant théorie de Biot, décomposition en ondes de Bloch et théorie de la diffusion multiple est ainsi proposé. Il est ensuite validé par comparaison avec un code élément finis. Une étude paramétrique est enfin présentée afin de mettre en évidence l'impact du couplage entre le milieu poroélastique et les inclusions. On observe notamment l'apparition d'une absorption supérieure à 0,8 sur une large bande fréquentielle de la réponse acoustique de la structure.*

## Abstract:

*The purpose of this study is to assess both ability and interest to take into account the poroelastic behavior of a metaporous material with an array of periodic resonant inclusions embedded in. A semi-analytical model based on the full Biot's theory, Bloch wave decomposition and multiple scattering theory is proposed. A cross-validation step is further performed by comparison with a dedicated finite element code. Finally, a parametric study is carried out to investigate the impact of the coupling between the poroelastic medium and the inclusions. Particularly, a wide band absorption greater than 0.8 is observed on the acoustic response of the structure.*

**Mots clés : métamatériaux acoustiques, structure périodique, milieu poro-élastique, diffusion multiple.**

## 1 Contexte

Ces travaux se rapportent à l'étude de métamatériaux acoustiques dans le but d'améliorer les propriétés d'absorption acoustique des systèmes industriels, notamment dans le secteur de

l'aéronautique où les contraintes de poids et d'espace demeurent particulièrement critiques. Ces dix dernières années, l'étude de matériaux poreux inhomogènes à l'échelle macroscopique s'est avérée être une alternative attractive (double porosité [1], mousses à gradient de fonction [2],...), en particulier associée au concept de métamatériau acoustique : il s'agit de tirer avantage à la fois des propriétés amortissantes de la mousse ainsi que des effets de diffusion et de résonance liés aux inclusions.

Dans ce cadre, de nombreux travaux menés par Groby *et al.* se sont intéressés aux propriétés acoustiques de plaques poreuses, dont le squelette est supposé rigide (hypothèse de fluide équivalent), contenant des réseaux d'inclusions périodiques [3,4]. Il a été montré que ces dernières tendent à solliciter des modes acoustiques additionnels qui vont piéger l'énergie à l'intérieur de la structure, pour ensuite la dissiper au niveau des pores par effets visqueux et thermiques. Récemment, l'utilisation d'inclusions résonantes a également permis de mettre évidence le couplage entre ce mécanisme et les modes des inclusions, conduisant à de fortes absorptions sur une large bande fréquentielle [5].

Cette étude vise à étendre ces travaux dans les cas où le squelette élastique du matériau poreux est directement excité, pour des fréquences inférieures à la fréquence de découplage. Il est alors nécessaire de prendre en compte l'ensemble du comportement poroélastique de la mousse.

## 2 Approche proposée

La configuration retenue pour le matériau métaporeux est représentée Fig. 1. Elle se compose d'une couche de matériau poroélastique (d'épaisseur  $H=2$  cm) sur fond rigide, contenant un réseau périodique d'inclusions élastiques (de période  $d=2$  cm), de type plein ou membranaire. L'ensemble est soumis à une onde incidente plane monochromatique.

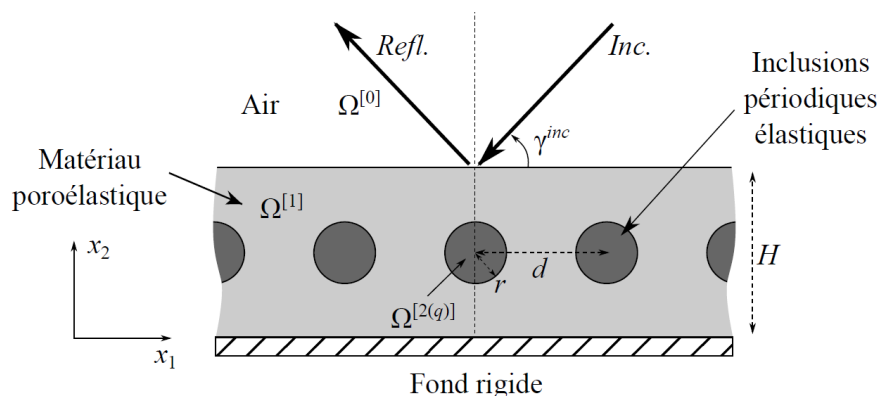


Figure 1 : schéma du matériau métaporeux.

Un modèle semi-analytique a été développé à partir de la théorie de Biot [6], afin de décrire la propagation des ondes associées (deux ondes de compression et une onde de cisaillement) au sein de la couche de mousse. Au problème classique de propagation à travers une lame de poreux s'ajoute les phénomènes de réflexion/transmission dus à la présence du réseau périodique. Ceux-ci sont pris en compte par l'intermédiaire de la théorie de la diffusion multiple [7,8] : elle permet de modéliser les champs globaux à partir de la matrice de diffusion associée à une unique inclusion (dépendant de ses seules propriétés géométriques et acoustiques) ainsi que de la description des interactions entre les

différentes inclusions. Dans le cas d'un réseau périodique, cette approche peut être avantageusement couplée à une décomposition sur les modes de Bloch.

En développant la formulation analytique au maximum, le problème complet se ramène finalement à la résolution numérique de deux systèmes linéaires (dont la taille dépend du nombre de modes de diffusions et de modes de Bloch considérés) pour déterminer, dans un premier temps, les coefficients de diffusion globaux associés au réseau, puis les amplitudes des différents champs, dont le coefficient de réflexion. Les résultats obtenus à partir de ce modèle sur le comportement acoustique de la structure ont également été validés par comparaison à ceux issus d'une approche élément-finis développée en interne [9].

### 3 Résultats

On s'intéresse dans un premier temps au cas des inclusions élastiques pleines. La Fig. 2 montre que lorsque le rayon des inclusions augmente, la fréquence du premier pic d'absorption diminue et son amplitude augmente jusqu'à 1 pour ensuite diminuer à nouveau. On observe ainsi une absorption parfaite pour une fréquence inférieure à la limite de fréquence quart d'onde, correspondant à l'excitation d'un mode piégé. L'énergie est alors concentrée entre le réseau et le fond rigide et la structure peut être vue comme un résonateur. Le comportement poroélastique se traduit ici par la présence d'un « pic de Biot » dont l'amplitude est associée aux pertes visqueuses à l'intérieur des pores.

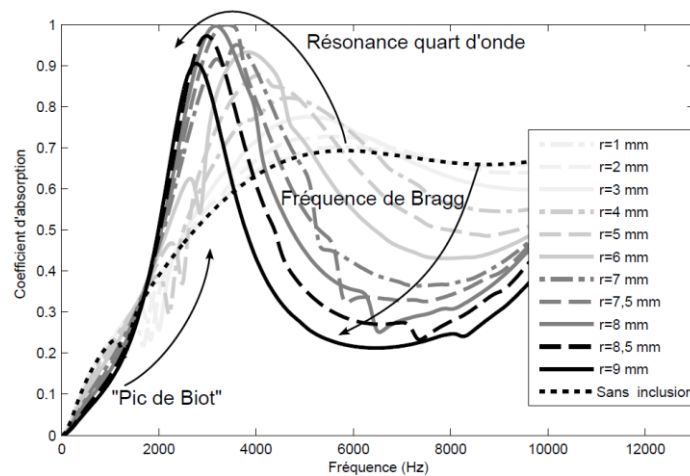


Figure 2 : coefficient d'absorption sous incidence normale pour un réseau périodique d'inclusions pleines en acier, de différents rayons.

Dans un second temps, les inclusions pleines ont été remplacées par des membranes fines souples. Comme représenté Fig. 3, le comportement acoustique est alors très différent. On observe notamment l'apparition de deux types de modes des inclusions : des modes de flexion et de volume. Ce dernier, dont le comportement est comparable à celui d'un résonateur de Helmholtz, génère un pic d'absorption à une fréquence inférieure au pic d'absorption parfaite (à nouveau lié au mode piégé). Il en résulte une absorption large bande ( $>0,8$ ) entre 1500 Hz et 4250 Hz pour des rayons d'inclusion compris entre 7 et 8 mm. On note qu'à la borne fréquentielle inférieure, la longueur d'onde dans l'air associée est alors 11 fois supérieure à l'épaisseur de la structure.

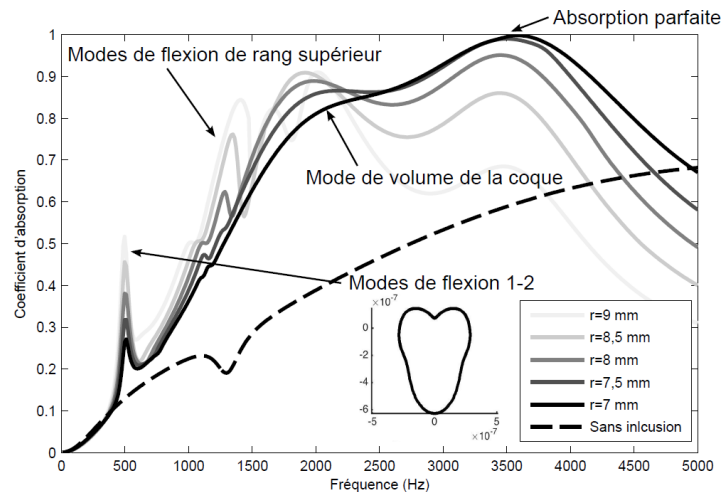


Figure 3 : coefficient d'absorption sous incidence normale pour un réseau périodique d'inclusions de type membranes fines en caoutchouc, de différents rayons.

Des résultats complémentaires concernant la validation par élément-finis du modèle semi-analytique, la comparaison avec les résultats obtenus sous l'hypothèse de fluide équivalent et la nature des modes excités dans les différentes configurations seront également présentés.

## Références

- [1] X. Olny, C. Boutin, Acoustic wave propagation in double porosity media, *Journal of the Acoustical Society of America*, 117, 2003, pp. 74-89.
- [2] L. De Ryck, W. Lauriks, P. Leclaire, J.-P. Groby, A. Wirgin, C. Depollier, Reconstruction of material properties profiles in one-dimensional macroscopically inhomogeneous rigid frame porous media in the frequency domain, *Journal of the Acoustical Society of America*, 124, 2008, pp. 1591-1606.
- [3] J.-P. Groby, A. Wirgin, E. Ogam, Acoustic response of a periodic distribution of macroscopic inclusions within a rigid frame porous plate. *Waves in Random and Complex Media*, 18(3), 2008, pp. 409-433.
- [4] J.-P. Groby, O. Dazel, A. Duclos, L. Boeckx, L. Kelders. Enhancing the absorption coefficient of a backed rigid frame porous layer by embedding circular periodic inclusions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130, 2011, pp. 3771-3780.
- [5] C. Lagarrigue, J.-P. Groby V. Tournat, O. Dazel, O. Umnova, Absorption of sound by porous layers with embedded periodic arrays of resonant inclusions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 134(6), 2013, pp. 4670-4680.
- [6] M.A. Biot, Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid - I. Low-frequency range, *Journal of the Acoustical Society of America*, 28(2), 1956, pp. 168-178.
- [7] V. Twersky. Multiple scattering of radiation by an arbitrary configuration of parallel cylinders. *Journal of the Acoustical Society of America*, 24, 1952, pp. 42-46.
- [8] F. Luppé, J.M. Conoir, S. Robert, Coherent waves in a multiply scattering poro-elastic medium obeying Biot's theory, *Waves in Random and Complex media*, 18, 2008, pp. 241-254.
- [9] O. Dazel, B. Brouard, N. Dauchez, A. Geslain, Enhanced Biots finite element displacement formulation for porous materials and original resolution methods based on normal modes, *Acta Acustica united with Acustica*, 95, 2009, pp. 527-538.