



Modes linéaires (!) et milieux acoustiques

Olivier Dazel

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM - UMR CNRS 6613)
Institut d'Acoustique - Graduate School (IA-GS) | Le Mans Université, France

Introduction

Contexte

- Fin des années 1990
- Deux labos, une URA CNRS
- Un rapport de stage ingénieur à réécrire

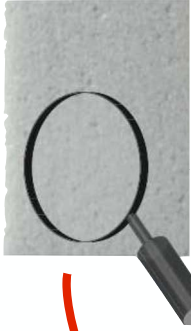
Le sujet

- Acoustique des milieux poroélastique
- Modèles éléments finis “couteux”
- Synthèse modale (maintenant des modèles réduits)

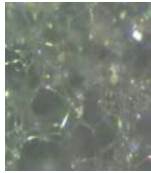
Le cadre de travail

- Super !
- Les rencontres matinales et les passages éclairés
- Un certain après-midi de septembre 2001

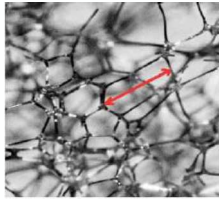
Les milieux poreux



Melamine foam
(Anechoic chamber LAUM)

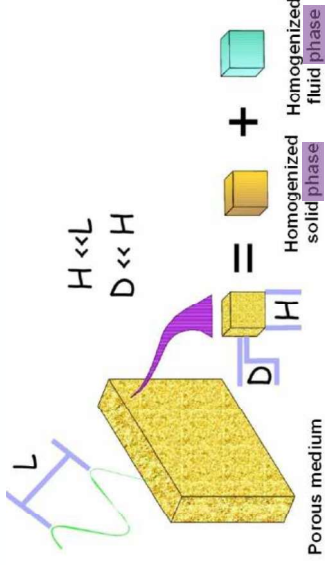


PhD A. Gestain (LAUM 2011)



PhD R. Guastavino (MWL 2007)

PhD C. Perrot (GAUS-INSA Lyon 2006)



Atalla et al. JASA **104** 1998

$$\begin{bmatrix} \hat{A}[\mathbf{K}] - \omega^2 \tilde{\rho}[\mathbf{M}] & -\tilde{\gamma}[\mathbf{C}]^t \\ -\tilde{\gamma}[\mathbf{C}] & \frac{[\mathbf{H}]}{\tilde{\rho}_{eq}\omega^2} - \frac{[\mathbf{Q}]}{\tilde{K}_{eq}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}^s \\ \mathbf{P} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}^s \\ \mathbf{u}_P \end{Bmatrix}$$

Coefficients du modèle JCAL (complexes et dépendant de la fréquence)

$$\tilde{\rho}_{eq}(\omega) = \frac{\rho_0 \alpha_\infty}{\phi} \left[1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega_\infty}} \right]$$



AN EXTENSION OF COMPLEX MODES FOR THE RESOLUTION OF FINITE-ELEMENT POROELASTIC PROBLEMS

O. DAZEL AND F. SGARD

Laboratoire des Sciences de l'Habitat, DGC B URA CNRS 1652, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Rue Maurice Audin, F-69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France

C.-H. LAMARQUE

Laboratoire Géo-Matériaux, DGC B URA CNRS 1652, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Rue Maurice Audin, F-69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France. E-mail: claudelamarque@entpe.fr

AND

N. ATALLA

GAUS, Mech. Eng., Univ. de Sherbrooke, QC, Canada

(Received 8 February 2001, and in final form 27 September 2001)

$$\tilde{\rho}_{eq}(\omega) = \frac{\rho_0 \alpha_\infty}{\phi} \left[1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega_\infty}} \right]$$

$$\tilde{V} = \sum_{i=0}^d v_i(j\omega)^i + O(\omega^{d+1}).$$

$$\mathcal{D}\mathbf{u} = \sum_{i=0}^d [\mathbf{M}_i] \mathbf{u}^{(i)} + \mathcal{R}_d \mathbf{u},$$

$$\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} \mathbf{u}^{(d-1)} \\ \vdots \\ \mathbf{u}^{(1)} \\ \mathbf{u} \end{Bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} [\mathbf{M}_{d-1}] & [\mathbf{M}_{d-2}] & \cdots & [\mathbf{M}_0] \\ [\mathbf{M}_{d-2}] & \cdots & [\mathbf{M}_0] & [\mathbf{0}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\mathbf{M}_0] & [\mathbf{0}] & \cdots & [\mathbf{0}] \end{bmatrix} \mathbf{U} = \begin{bmatrix} -[\mathbf{M}_d] & [\mathbf{0}] & \cdots & [\mathbf{0}] \\ [\mathbf{0}] & [\mathbf{M}_{d-2}] & \cdots & [\mathbf{M}_0] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\mathbf{0}] & [\mathbf{0}] & \cdots & [\mathbf{0}] \end{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}.$$

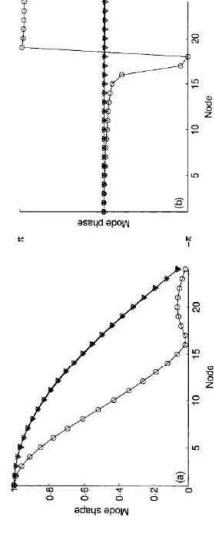


Figure 4. Mode 1, solid phase: (a) mode shape, (b) mode phase. —○—, material A; - - -△- - -, material B; ····□····, material C; undamped and uncoupled.

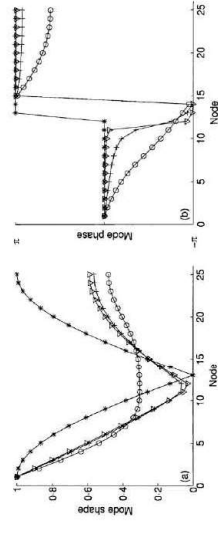


Figure 5. Mode 1, fluid phase: (a) mode shape, (b) mode phase. —○—, material A; - - -△- - -, material B; ····□····, material C; undamped and uncoupled.

- 3D
- Brute force (OD, FS)
- Un peu de poésie (CHL)

Application of generalized complex modes to the calculation of the forced response of three-dimensional poroelastic materials

O. Dazel^a, F. Sgard^a, C.-H. Lamarque^{b,*}

^a Laboratoire des Sciences de l'Habitat (LASH), DGC B URA CNRS 1652, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Rue Maurice Audin, F-69518 Vaulx-en-Velin, Cedex, France

^b Laboratoire Géo-Matériaux (LGM), DGC B URA CNRS 1652, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Rue Maurice Audin, F-69518 Vaulx-en-Velin, Cedex, France

Received 27 May 2002; accepted 18 November 2002

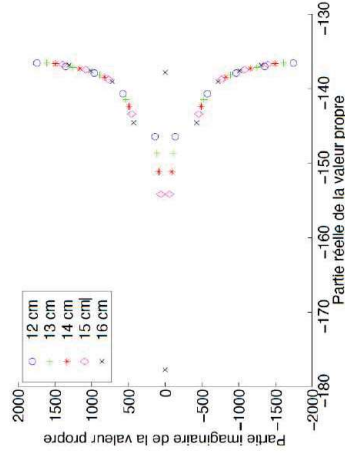
3. Stability of the solution

In the previous paper [18], the stability of the solution was not justified analytically. The aim of this section is to prove it in the case of the poroelastic problem. This will show that the real part of all the eigenvalues are negative and then ensure that the related modes are stable. As the $\{\mathbf{u}, \mathbf{U}\}$ formulation is more suitable to prove the stability, the proof consists in expressing the generalized

5.2. Energetic interpretation of modes

5.2.1. Classification of modes

By analogy with fluid structure interaction problems, modes can be separated in two categories: 'solid controlled modes' and 'fluid controlled modes'. It can be useful to find a criterion to differentiate the two kinds of modes. It is proposed to investigate the ratio E between the amplitude of the powers stored in each phase at the eigenfrequency (which corresponds to the sum



Synthèse modale pour les matériaux poreux

présentée devant
L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON
pour obtenir
LE GRADE DE DOCTEUR

Écrit, soutenu, et défendu en public, le 17 décembre 2004 devant la Commission d'Examens composée de :

Olivier DAZEL
Président des JURY

Soutenu le 17 décembre 2004 devant la Commission d'Examens composée de :
Nouraldin ATALLA, Professeur, Rapporteur
Jean-Louis GUYADER, Professeur, Membre du jury
François LAMARQUE, Docteur, Président du jury
Claude-Henri LAVALLOTTÉ, Docteur, Rapporteur
Roger CHAYON, Professeur, Rapporteur
François SGARBI, Dr-HDR, Directeur de Thèse

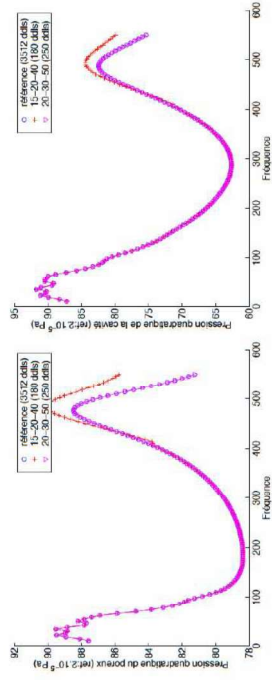
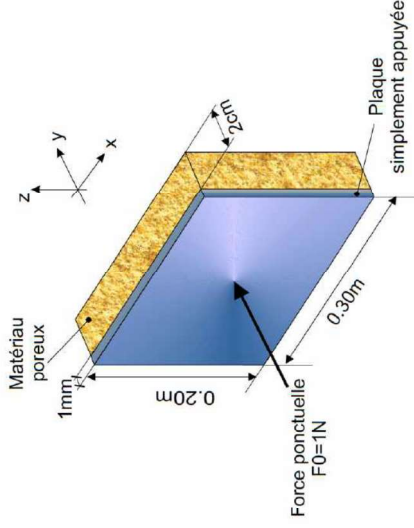
Chapitre 4

Espaces fonctionnels pour les poreux

Ce chapitre a pour objet de présenter les espaces fonctionnels que nous introduisons pour pouvoir résoudre notre problème. Il est lui-même divisé en deux sections. La première section traite des espaces fonctionnels abstraits. Ces espaces sont ceux qui sont dans le prolongement des espaces fonctionnels classiquement utilisés en analyse et que nous avons introduits précédemment. La deuxième section

$$\chi_0^d : H \rightarrow H^d$$

$$u \mapsto \begin{Bmatrix} u \\ -\omega^2 u \\ \vdots \\ (-\omega^2)^{d-1} u \end{Bmatrix}$$



- Un cadre formel
- Le couplage et le découpage
- Une base pas complète

THÈSE

Synthèse modale probabiliste Théorie et applications

présentée devant

L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR

Ecole doctorale : MÉCANIQUE, ÉNERGÉTIQUE, GÉNIE CIVIL ET ACOUSTIQUE

Ecole Centrale de Lyon - Université Claude Bernard-Lyon I - INSA Lyon

Spécialité : MÉCANIQUE

par

Christophe HEINKELÉ

5.1.5 Exemple

Nous nous intéressons au modèle de **Miki**, qui est un modèle empirique fournissant l'impédance caractéristique ainsi que la constante de propagation k (en fonction de la fréquence), ces

An alternative Biot's displacement formulation for porous materials

Olivier Dazel^a, Bruno Brouard, Claude Depollier, and Stéphane Griffiths
*Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR CNRS 6613, Avenue Olivier Messiaen,
F-72 085 Le Mans Cedex France*

A description of transversely isotropic sound absorbing porous materials by transfer matrices

P. Khurana, L. Boeckx and W. Lauriks
*Laboratorium voor Akoestiek en Thermische Fysica, Katholieke Universiteit Leuven,
Celestijnenlaan 200D, B-3001 Heverlee, Belgium*

P. Leclaire
*Le Mans Université, Université de Bourgogne,
49 rue Mademoiselle Bourgeois, B.P. 11, 58027 Nevers Cedex, France*

O. Dazel and J. F. Allard
*Université du Maine, UMR CNRS 6613, Avenue Olivier Messiaen,
F-72085 Le Mans Cedex, France*

Expressions of dissipated powers and stored energies in poroelastic media modeled by $\{u, U\}$ and $\{u, P\}$ formulations

Olivier Dazel^a
*Université de l'Université du Maine - UMR CNRS 6613, Avenue Olivier Messiaen,
F-72 085 Le Mans Cedex, France*

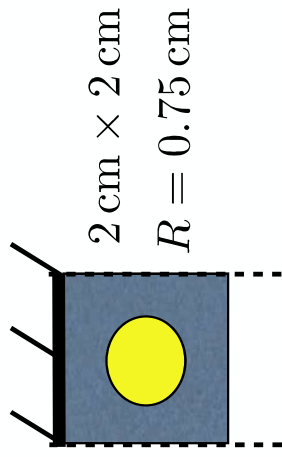
Franck Spard and François-Xavier Bessot
*UMR 6613, Université du Maine, UMR CNRS 6613, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat,
F-68518 Neudorf-sur-Moselle Cedex, France*

Nourouddine Allali
*Université de Sherbrooke, 2100 Boulevard de l'Université, Sherbrooke,
Québec J1K2R1, Canada*

Nonlinear Biot waves in porous media with application to unconsolidated granular media

Olivier Dazel and Vincent Tourmat^a
*L'UM, CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans, France
(Received 3 November 2008; revised 15 October 2009; accepted 24 November 2009)*

Quelques réminiscences ...



Fireflex

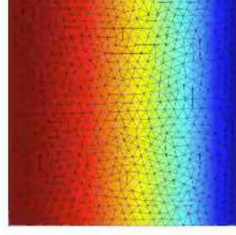
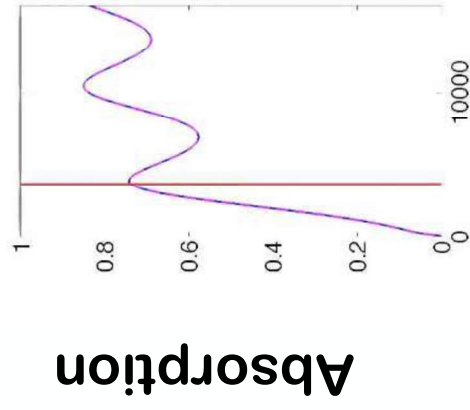
$$\phi = 0.96$$

$$\alpha_\infty = 1.42$$

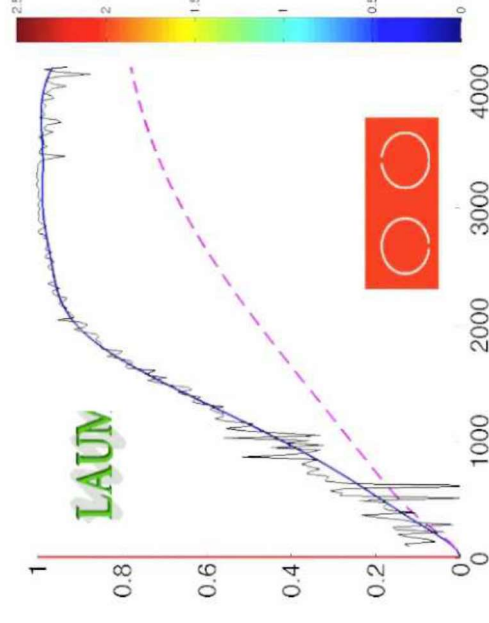
$$\Lambda = 180 \mu\text{m}$$

$$\Lambda' = 360 \mu\text{m}$$

$$\sigma = 8900 \text{ Nsm}^{-4}$$



Frequency (Hz)



Lagarrigue et al.
 JASA 134 - 2013

Le tourbillon de la vie

A Free Interface CMS Technique to the Resolution of Coupled Problem Involving Porous Materials, Application to a Monodimensional Problem

Olivier Dazel¹⁾, Bruno Brouard¹⁾, Nicolas Dauchez²⁾, Alan Gestain¹⁾, Claude-Henri Lamarque³⁾

¹⁾ Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR CNRS 6613, Avenue Olivier Messiaen, 72 085 Le Mans Cedex, France. olivier.dazel@univ-lemans.fr

²⁾ SUPMECA Paris, LISMA Vibroacoustique, 3 rue Fernand Hainaut, 93407 St. Ouen Cedex, France

³⁾ Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, DGCBC-LGM FRE CNRS 3237, rue Maurice Audin, 69120 Vaulx-en-Velin, France

Acta Acustica United with Acustica. 96 247-257 (2010)

$$\hat{P}k_i^2 q_i^s - \omega^2 (\tilde{\rho}_s q_i^s + \tilde{\gamma} \tilde{\rho}_{eq} q_i^s) = F_i^{s'}, \quad (22)$$

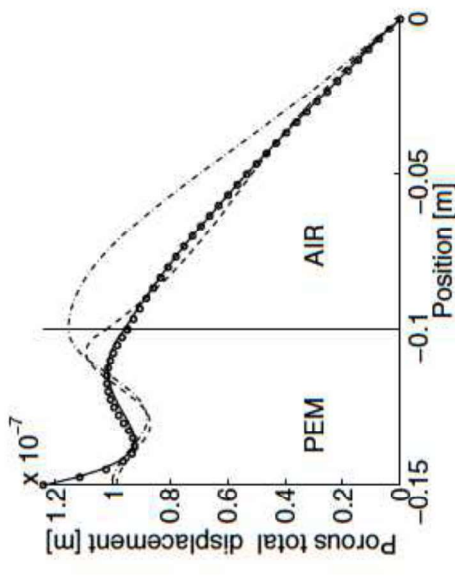
$$\tilde{K}_{eq} k_i^2 q_i^t - \omega^2 (\tilde{\gamma} \tilde{\rho}_{eq} q_i^s + \tilde{\rho}_{eq} q_i^t) = F_i^{t'}. \quad (23)$$

Hence q_i^s and q_i^t can be obtained analytically by solving these equations:

$$q_i^s = p_{i,1} F_i^1 + p_{i,2} F_i^2, \quad q_i^t = \mu_1 p_{i,1} F_i^1 + \mu_2 p_{i,2} F_i^2. \quad (24a)$$

with

$$p_{i,j} = \frac{1}{k_i^2 - \delta_j^2}, \quad F_i^j = \frac{F_i^{s'} + \mu_j F_i^{t'}}{\hat{P} + \tilde{K}_{eq} \mu_j^2}. \quad (24b)$$



La fin d'une histoire

INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING
Int. J. Numer. Meth. Engng 2013; **96**:110–128
Published online 25 July 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/nme.4551

A normal modes technique to reduce the order of poroelastic models: application to 2D and coupled 3D models

O. Dazel^{1,*},[†], B. Brouard¹, J.-P. Groby¹ and P. Göransson²

¹Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR CNRS 6613 Avenue Olivier Messiaen, F-72 085 Le Mans Cedex, France

²The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research (MWL) Department of Aeronautical and Vehicle Engineering, KTH School of Engineering Sciences, SE-100 44 Stockholm, Sweden

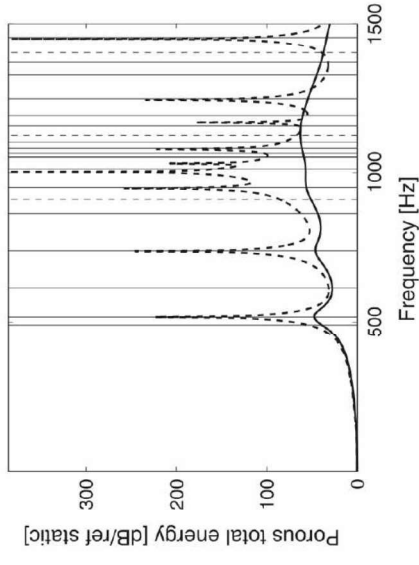
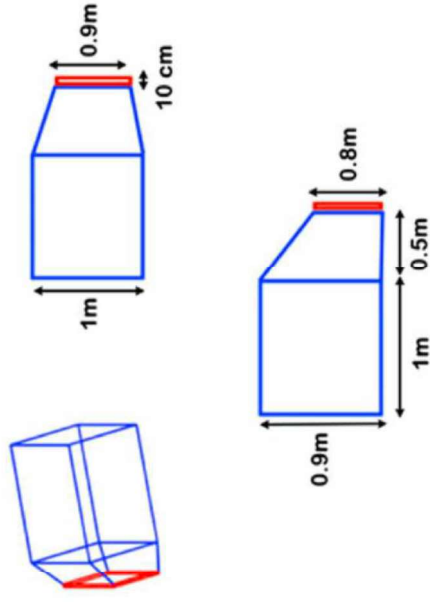
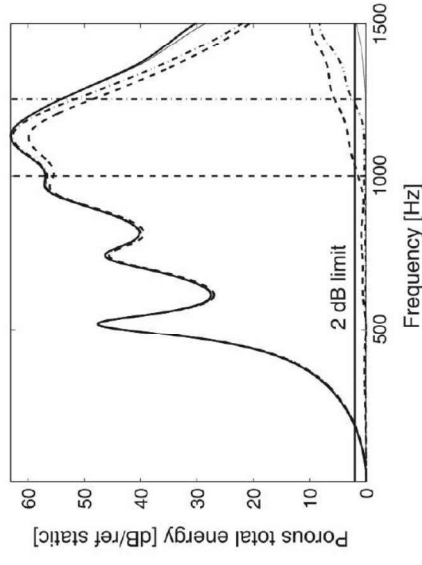


Figure 6. 2D problem, compression. Solid line: direct solver; dashed line: conservative associated problem; solid vertical lines: solid phase resonances; dashed vertical lines: pressure resonances.



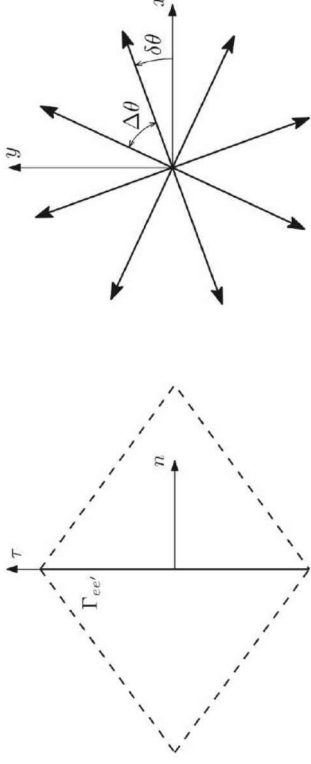
Le début d'une autre ...

INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING
Int. J. Numer. Meth. Engng 2015; **104**:1115–1138
 Published online 26 June 2015 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/nme.4961

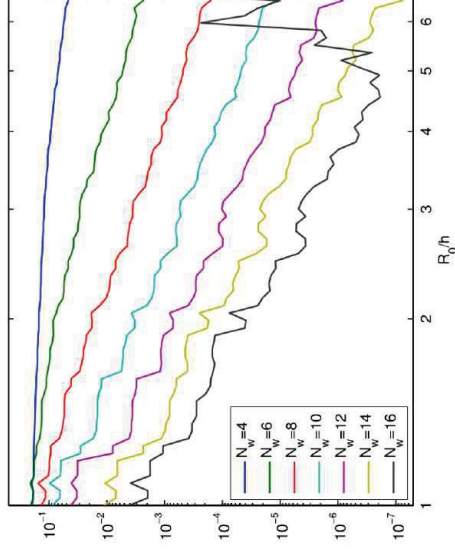
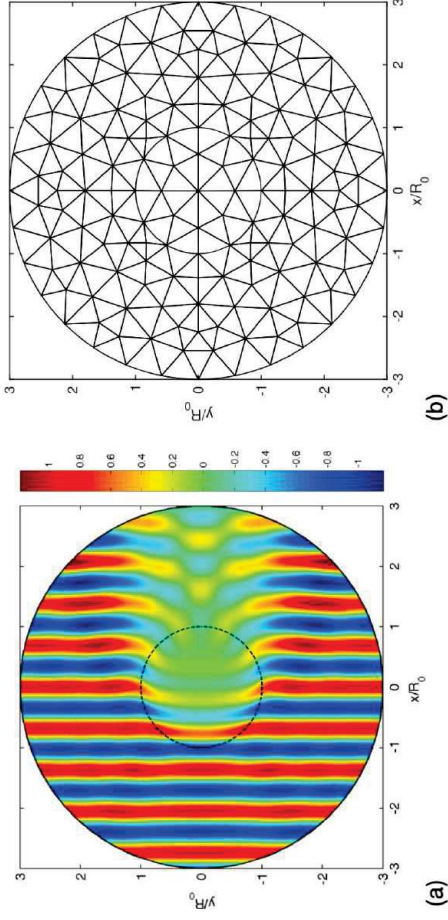
A discontinuous Galerkin method with plane waves for sound-absorbing materials

G. Gabard¹ and O. Dazael^{2,*†}

¹Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, Southampton, SO17 1BJ, United Kingdom
²LAUM UMR CNRS 6613 Université du Maine, 72085 Le Mans Cedex 9, France



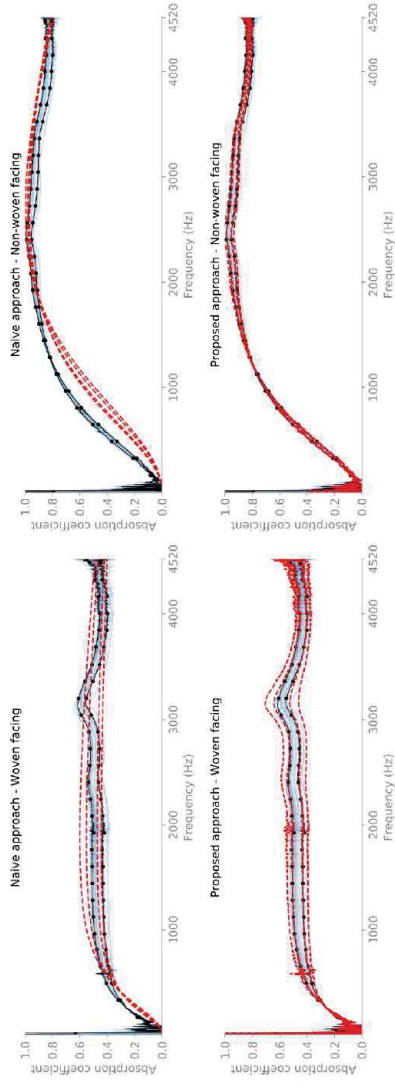
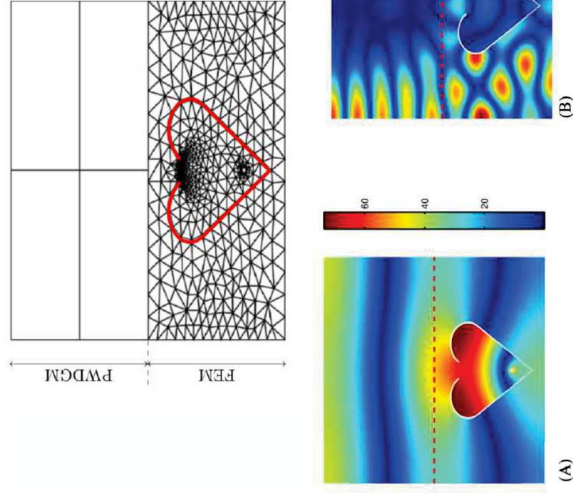
$$i\omega \tilde{\mathbf{u}} + \Lambda \frac{\partial \tilde{\mathbf{u}}}{\partial n} + \mathbf{QTP} \frac{\partial \tilde{\mathbf{u}}}{\partial \tau} = \mathbf{0}, \quad \text{with } \tilde{\mathbf{u}} = \mathbf{Qu}.$$



Coupling of finite element and plane waves discontinuous Galerkin methods for time-harmonic problems

M. Gaborit^{1,2} | O. Dazel¹ | P. Göransson² | G. Gabard¹

Mathieu Gaborit^{1,2,*}, Olivier Dazel¹, Peter Göransson², and Luc Jaouen³
¹ LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans Université, 72085 Le Mans Cedex, France
² MWL, KTH Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm, Sweden
³ Matelys Research Laboratory, 69120 Vaulx-en-Velin, France



et la sous-structuration n'est jamais loin ...

DOCTORAT
BRETAGNE SCIENCES
LOIRE / POUR L'INGENIEUR



Le Mans
Université

THESE DE DOCTORAT DE

LE MANS UNIVERSITÉ
ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences pour l'ingénieur
Spécialité : « acoustique »

Par
«Chaitanya SANGHAVI»
«FETI methods for acoustic problems with porous materials»

Thèse présentée et soutenue à « Le Mans », le « 29/09/20 »
Unité de recherche : LAUM – UMR CNRS 6613
Numéro National de Thèse (NNT): 2020LEMA1021

Rapporteurs avant soutenance :
Jean-Emmanuel Dutil
Emmanuel Perrey-Dobain

Composition du Jury :

Président :
Etienne Béral

Hadien Béral
Oliver Dazel
Eike Duckers
Dati
Gwendal Gabard
Emmanuel Perrey-Dobain
François-Xavier Roux

Ingenieur de recherche senior, Siemens Digital Industries Software, Belgium
Professeur, LAUM UMR CNRS 6613, France
Assistant Professeur, KU Leuven, Belgium
Professeur, LAUM UMR CNRS 6613, France
Professeur, UTC Compiègne, France
Professeur, UPMC and ONERA, France

Dir. de thèse : Oliver Dazel
Co-dir. de thèse : Gwendal Gabard
Co-encadrant : Hadien Béral

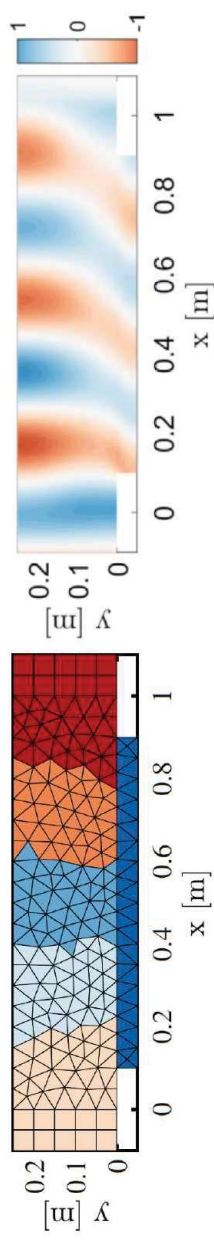
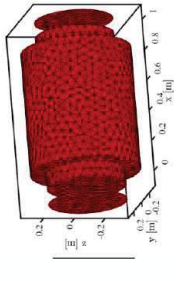


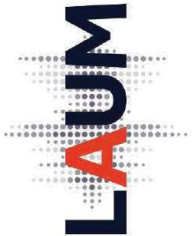
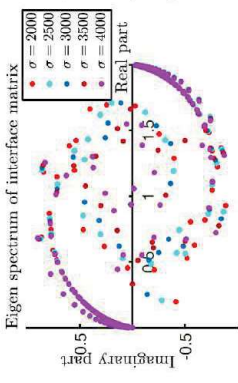
Figure 5.6: (a) Partitioning of the duct into 5 subdomains. The liner is modeled as an independent subdomain, (b) Example of pressure field for a plane wave at 1 kHz.

$$\forall q_1 \in V_1, \int_{\Omega_1} \nabla q_1^* \cdot \nabla u_1 - k^2 q_1^* u_1 \, d\Omega + ik \int_{\Gamma} q_1^* u_1 \, dS - \int_{\partial\Omega_1 \setminus \Gamma} q_1^* \frac{\partial u_1}{\partial n_1} \, dS = \int_{\Gamma} q_1^* \lambda_{2 \rightarrow 1} \, dS,$$

$$\forall q_2 \in V_2, \int_{\Omega_2} \nabla q_2^* \cdot \nabla u_2 - k^2 q_2^* u_2 \, d\Omega + ik \int_{\Gamma} q_2^* u_2 \, dS - \int_{\partial\Omega_2 \setminus \Gamma} q_2^* \frac{\partial u_2}{\partial n_2} \, dS = \int_{\Gamma} q_2^* \lambda_{1 \rightarrow 2} \, dS,$$

6.3.1 Description of GCRO-DR method

In the GCRO-DR algorithm, the calculation associated to the first configuration is a GMRES resolution. Let's say that it requires m_r iterations for convergence to the desired tolerance. A small part of this subspace k is computed based on the eigenvalues produced using Equation (6.4). These k eigenvectors are used to reduce the residual at the restart of next calculation and we will abbreviate

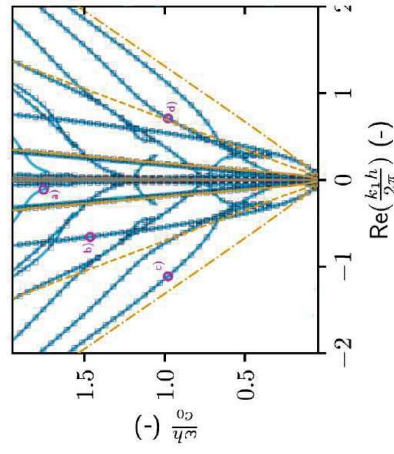
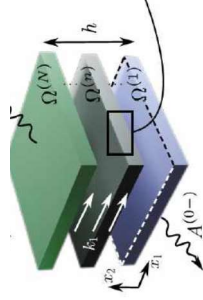


Ni les modes complexes étendus

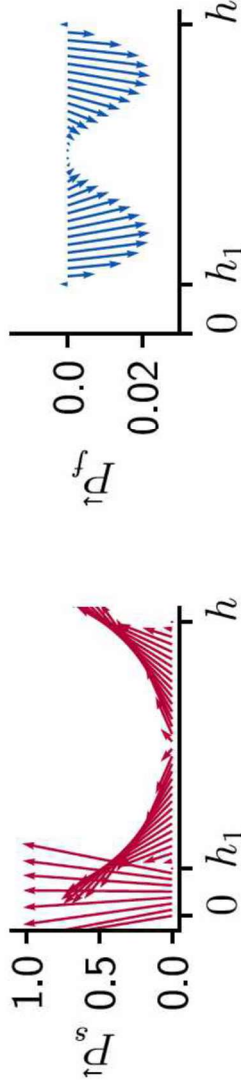
A general spectral collocation method for computing the dispersion relations of guided acoustic waves in multilayer dissipative structures

Mathieu Maréchal,¹ Alan Geslain,¹ Jean-Philippe Groby,¹ Vicente Romero-García,² and Olivier Dazel¹

¹Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM), UMR 6613, Institut d'Acoustique - Graduate School (IA-GS), CNRS, Le Mans Université, France



C. Mode shapes and energy fluxes



Beyond the SCM numerical efficiency, a significant advantage of the method is that the eigenvectors associated to each eigenvalue directly provides the associated mode shape. Since these

Linearization of the generalized eigenvalue problem

The matrix system previously obtained is

$$\mathbf{K}\mathbf{S} = \mathbf{0}, \quad \text{with } \mathbf{S} = (A_{0 \rightarrow}, S_0, \dots, S_{p^2}, \dots, S_{Np}, A_{0 \leftarrow}).$$

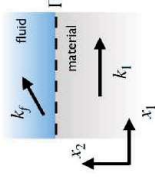
It can be rewritten as

$$\left(k_1^2 \mathbf{K}_2 + k_1 \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_0 + ik_2^{(f)} \mathbf{K}'_1 \right) \mathbf{S} = \mathbf{0}$$

$$\text{with } k_2^{(f)} = \sqrt{\left(\frac{\omega}{c_f} \right)^2 - k_1^2},$$

which is a non-linear GEP. Let

$$k_1 = k_1^{(f)} \gamma + \gamma^{-1}, \quad k_2 = k_2^{(f)} \gamma - \gamma^{-1}.$$



[D. Kiers et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, 145, 3341 (2019)]

[A. Houd, *Localizing the eigenvalues of matrix-valued functions: analysis and applications*, Cornell University (2017)]

By using companion linearization,

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A} - \gamma \mathbf{B} \\ \mathbf{S}' \end{pmatrix} \mathbf{S}' = \mathbf{0}$$

eigenvalues

eigenvectors

GEP solvable with traditional eigenvalue solvers

$$\mathbf{S}' = \begin{pmatrix} \gamma^3 \mathbf{S} \\ \gamma^2 \mathbf{S} \\ \gamma \mathbf{S} \\ \mathbf{S} \end{pmatrix}$$

Conclusion

"Bonjour du Canada d'un ancien collègue de l'ENTPE !

Cela a été un plaisir de travailler avec toi Claude !
Ton expertise en mathématique et sur le comportement vibratoire non-linéaire des systèmes dynamiques a été une grande source d'inspiration pour moi et j'en suis sûr pour les thésards que nous avons coencadrés ! Merci pour tout ce que tu as apporté au domaine de l'acoustique des matériaux poreux !

J'aurais bien aimé être présent à cette cérémonie pour prononcer ces mots et te rendre hommage en personne mais je laisse Olivier s'en charger !

Je te souhaite une retraite bien méritée ! Que cette nouvelle étape de ta vie soit remplie de découvertes et de moments précieux entourés de tes proches !

Amitiés.

Franck"



Tu peux lui dire: « Avec tous mes remerciements pour votre accompagnement pendant le DEA... Et vers le métier d'enseignant!! »).

