

# *Parcours par Alternance Recherche de l' ECM*


## **Caractérisation acoustique des matériaux poreux multicouches**

Erick Ogam\* and Zine E. A. Fellah

*Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique LMA - UMR 7031*

*AMU - CNRS - Centrale Marseille 4 impasse Nikola Tesla CS 40006 13453 Marseille Cedex 13*

(Collaboration : Rémi Roncen - ONERA Toulouse.)

Nous développons des méthodes théoriques et expérimentales pour la caractérisation des matériaux poreux en utilisant des ondes acoustiques. Ces recherches sont formalisées en distinguons les étapes. La première étape est théorique impliquant le développement de méthodes qui modélisent les phénomènes mise en jeu, appelé problème direct (PrDir). Il décrit comment les paramètres du modèle influencent l'état et la réponse du système soumis à une excitation connue. La partie expérimentale fait partie aussi du PrDir. Dans le cadre de nos travaux, le problème inverse (PrInv) a pour objective de déterminer les paramètres du système qui influent sur les causes des phénomènes à partir des observations réalisées expérimentalement et de ses effets. Ces études sont réalisées avec un objectif d'étudier le comportement des matériaux en présence d'ondes acoustiques (e.g., dans le cadre de la réduction passif du bruit sonore). Les applications dans le monde réel requièrent la compréhension de l'interaction d'ondes acoustiques avec des milieux complexes (milieux poreux saturés avec un fluide, milieux fractals, Milieux micro-polaires ...). La caractérisation d'un milieu (ou échantillon) complexe requiert une bonne formalisation des deux problèmes, PrDir et PrInv. Les grands challenges sont : trouver le bon modèle mathématique/physique pour une bonne représentation du PrDir, imaginer la bonne configuration expérimentale modélisable, formuler un PrInv généralement bien-posé (c.à.d., une solution existe, elle est unique, elle est stable). Si le PrInv est mal-posé, il faut trouver des parades pour le résoudre [1]. Le problème qui nous intéresse concerne la caractérisation d'un milieu poreux (élastique) muticouche en utilisant une démarche de PrInv. Le PrInv dans ce cas implique la reconstruction de beaucoup de paramètres (12 pour une seule couche). Nous proposons d'utiliser dans ce parcours, l'inversion statistique en utilisant le Paradigme Bayésien [2, 3]. Le parcours est composé de parties : théoriques (modélisation), expérimentales, traitement du signal, réalisation de capteurs (un peu d'électronique) et de programmation matlab, C++ et .

---

\* ogam@lma.cnrs-mrs.fr

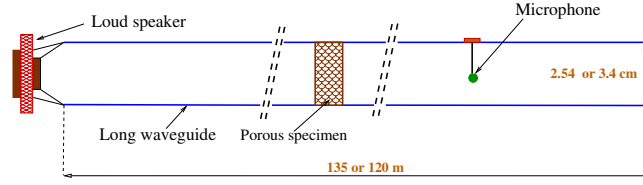


FIGURE 1. Schema du banc d'essai expérimental pour les mesures basse fréquence des ondes acoustiques transmises.

## I. INTRODUCTION

Le **modèle**, mathématique  $m$  fait correspondre les paramètres physiques caractérisant le système à des **données** mesurées (observées),  $d$ . Il peut s'écrire

$$G(m) = d + \eta,$$

où  $m$  sont des paramètres,  $d$  sont des données (peuvent être fonction de temps et/ou espace),  $G$  est un opérateur (est une fonction quand  $m$  et  $d$  sont des vecteurs),  $\eta$  est une composante de bruit.

Le problème direct est de trouver  $d$  donné  $m$ . Calculer  $G(m)$  pourrait impliquer la résolution des équations différentielles ordinaires (EDO) ou équations aux dérivées partielles (EDP), l'évaluation d'une intégrale ou l'application d'un algorithme pour lequel il n'existe pas de formule analytique explicite pour  $G(m)$ .

Les méthodes utilisées pour la résolution de PrDir temporelles sont plutôt issues de résolution des équations quasi analytiques. Les PrDirs dans le domaine fréquentiel sont plutôt résolus de manière numérique.

En même temps nous développons des méthodes expérimentales pour générer des données pour valider des méthodes développées pour résoudre les problèmes directs et aussi pour mettre au point les algorithmes d'inversion.

## II. OUTIL INFORMATIQUE POUR LA RÉALISATION DES OBJECTIVES - DÉVELOPPEMENT INFORMATIQUE - PROGRAMMATION

Pour réaliser les objectifs de codage de modèles directs et inverses, le traitement du signal, automatisation des manip et acquisition de données, nous utilisons des outils et environnement de développement autour de matlab, Julia, Python, Maple, C/C++.

Il sera nécessaire de réunir les différents codes pour les faire fonctionner dans l'environnement du langage et outils de développement libre pour Julia.

## III. GUIDES D'ONDES BASSES FRÉQUENCES

Nous avons développé deux guides d'ondes très basses fréquences (Fig. 1). Un gros travail est en cours sur la mise au point des capteurs utilisés, l'évaluation de la qualité des données générées, le développement d'un environnement informatique pour les mesures, les inversions de données avec des modèles d'interaction basses fréquences.

## BIBLIOGRAPHIE

- 
- [1] E. Ogam, Z.E.A. Fellah, N. Sebaa, and J.-P. Groby. Non-ambiguous recovery of Biot poroelastic parameters of cellular panels using ultrasonic waves. *J. Sound Vibr.*, 330(6) :1074 – 1090, 2011.
  - [2] R. Roncen, Z. E. A. Fellah, D. Lafarge, E. Piot, F. Simon, E. Ogam, M. Fellah, and C. Depollier. Acoustical modeling and bayesian inference for rigid porous media in the low-mid frequency regime. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144 (6) :3084–3101, 2018. doi:10.1121/1.5080561. URL <https://doi.org/10.1121/1.5080561>.
  - [3] R. Roncen, Z. E. A. Fellah, F. Simon, E. Piot, M. Fellah, E. Ogam, and C. Depollier. Bayesian inference for the ultrasonic characterization of rigid porous materials using reflected waves by the first interface. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144(1) :210–221, 2018. doi:10.1121/1.5044423. URL <https://doi.org/10.1121/1.5044423>.