

# Contribution à la caractérisation non destructive des milieux complexes : Ultrasons diffus et non linéarité

Cédric Payan

présenté pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches,

**Le 9 juin 2015 à 10h, IUT Aix Marseille, Amphi Est  
413 Av. Gaston Berger, Aix en Provence.**

## Composition du jury

<b>Gilles Corneloup</b>	Professeur	Aix Marseille Univ., LMA CNRS UPR 7051	Examinateur
<b>Paul Johnson</b>	Directeur de Recherches	Los Alamos National Laboratory (USA)	Examinateur
<b>Jean Kergomard</b>	Directeur de Recherches	LMA CNRS UPR 7051	Examinateur
<b>Philippe Roux</b>	Directeur de Recherches	ISTerre, Grenoble	Rapporteur
<b>Jean Salin</b>	Ingénieur Chercheur	EDF R&D, Chatou	Examinateur
<b>Marco Scalerandi</b>	Professeur	Polytecnico di Torino (Italie)	Rapporteur
<b>Vincent Tournat</b>	Directeur de Recherches	LAUM, CNRS UMR 6613	Rapporteur

## Résumé / Abstract

Ce mémoire présente un résumé de mes recherches, effectuées depuis mon recrutement en tant que Maître de Conférences en 2008 au département Hygiène Sécurité Environnement de l'IUT d'Aix. Elles ont été conduites au Laboratoire de Caractérisation Non Destructive d'Aix, rattaché au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA CNRS UPR7051) en 2012. Les travaux présentés concernent la caractérisation non destructive des milieux hétérogènes comme le béton, les bulles, les cellules... avec des applications nouvelles pour l'industrie nucléaire, l'aéronautique ou la médecine. Les avancées majeures concernent le comportement dynamique non linéaire de ces milieux dont l'information de sortie n'est pas proportionnelle à la consigne d'entrée (Fig. 1a), ainsi que la propagation des ondes en milieu multi-diffusant apparaissant lorsque la longueur d'onde correspond aux grandeurs caractéristiques de la microstructure. Les phénomènes non linéaires dont la physique n'est pas encore complètement établie sont mis à profit pour évaluer des paramètres qui s'avèrent très sensibles à l'évolution de la microstructure en présence d'endommagement. Plusieurs méthodes dont la résonance et le retournement temporel sont présentées. Les phénomènes de diffusion multiple sont mis à profit et simplifiés par une équation de diffusion semblable à celle de la chaleur (Fig. 1b). Ce concept est utilisé pour caractériser des macro-fissures dans les structures en béton. Les perspectives de ces travaux sont déclinées à travers plusieurs sujets de recherches potentiels.

*This manuscript presents a synthesis of my research works since my hiring at the Aix en Provence Technological University Institute, ES&H department, in 2008 as a "maître de conférences" (Assistant Professor). My activities were conducted at the Laboratory of Non Destructive Evaluation, affiliated to the Laboratory of Mechanics and Acoustics (LMA CNRS UPR 7051) in 2012. Presented works concern nondestructive evaluation of heterogeneous media such as concrete, bubbly liquids, biological cells... and find new applications to nuclear energy, aeronautics or medicine. Major achievements are related to the nonlinear dynamical behavior of these mediums for which the output data is not anymore proportional to the input (Fig. 1a), as well as their multiple scattering properties occurring when the wavelength is in the order of the microstructural scales. Nonlinear phenomena, whose physics is not completely established yet, are leveraged to assess parameters which are highly sensitive to microstructural changes in the presence of damage. Several methods including nonlinear resonance and time reversal are presented. Multiple scattering phenomena are leveraged and simplified into a simple diffusion equation similar to heat diffusion (Fig. 1b). This concept is employed to characterize macro cracks in concrete structures. Prospective studies are presented through several research projects.*

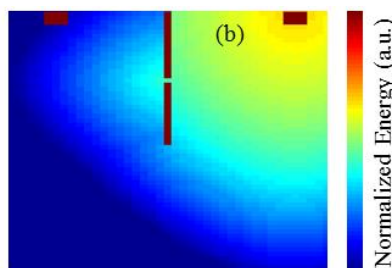
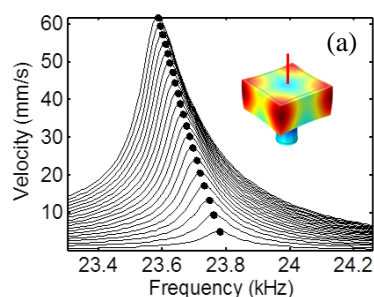


Fig.1. (a) Manifestation de la non linéarité d'une éprouvette en béton : la fréquence de résonance dépend de l'amplitude de la vibration. (b) Exemple de diffusion des ondes à travers une fissure présentant un point de contact.

(a) Nonlinear phenomena in a concrete sample whose resonance frequency depends on the vibration amplitude. (b) Example of diffuse waves through a crack with a contact point.