

## **Sujet : Évaluation des effets de l'ITZ sur la propagation des ondes ultrasonores : application à l'END du béton**

**Direction de thèse : Cédric PAYAN (PU AMU/LMA) et Manda RAMANIRAKA (MCF AMU/LMA)**

L'évaluation de l'état de santé des ouvrages de génie civil est primordiale pour en assurer leur durabilité. Cette étude rentre dans le cadre de l'Évaluation Non Destructive (END) du béton. Ce matériau cumule plusieurs propriétés et contraintes (hétérogène, poreux, viscoélastique, non-linéaire, réactif, ...). Il vieillit et peut être sujet à des pathologies au cours de sa vie. De nombreuses avancées END ont été réalisées dans le domaine ultrasonore (US) - en acoustique linéaire (vitesse, atténuation, ...), non linéaire et analyse vibratoire – afin de caractériser des états du béton (fissurations, endommagement, carbonatation, ...).

Un lien « information END ultrasonore – microstructure du matériau » est nécessaire afin de pouvoir remonter aux propriétés du béton ausculté. L'interaction ultrason-béton est maximale - donc l'information sur l'état du béton est maximisée - lorsque la longueur d'onde est du même ordre de grandeur que les inclusions. Ce régime, dit « stochastique », favorise la diffusion multiple des ondes ultrasonores dans les milieux hétérogènes. Ce phénomène observé expérimentalement a été étudié d'un point de vue analytique [1] et numérique [2], mais en considérant des inclusions « parfaitement » collées à la matrice.

Or dans le béton, l'interface granulat (inclusion)/pâte de ciment (matrice) présente une zone fortement poreuse appelée « Interfacial Transition Zone (ITZ) ». L'ITZ est considéré comme étant le point de départ de la plupart des endommagements du béton et l'origine de la non-linéarité mécanique du matériau. Pour la partie numérique, un modèle de béton intégrant l'ITZ a été créé avec le code de propagation d'ondes Prospero (LMA) et validé sur quelques cas expérimentaux [3] [4]. Pour la partie analytique, une thèse avec le CEA Saclay est en cours pour intégrer l'ITZ dans les modèles d'homogénéisation. Pour la partie expérimentale, une thèse avec l'IRSN Cadarache est en cours et exploite l'acoustique non linéaire pour détecter des pathologies du béton qui prennent généralement naissance au niveau de l'ITZ.

L'objectif commun des différents travaux de recherche est de faire converger les outils analytiques et numériques vers les mesures expérimentales afin d'avoir des outils d'inversion pertinents. Le travail de thèse proposé aura comme objectifs spécifiques de :

- Mieux comprendre et décrire la physique : interaction ultrason-ITZ.
- Améliorer le modèle numérique de béton : aussi bien sur la partie linéaire que non linéaire (matériaux et interfaces).
- Valider expérimentalement les modèles développés : bétons sains, bétons endommagés, différentes natures d'ITZ, ...
- Mettre en place un outil d'inversion : mesures expérimentales -> caractéristiques de l'ITZ -> état de santé du matériau.

Compétences souhaitées : Acoustique physique, Traitement du signal, Mécanique, Génie Civil ... Ainsi qu'un goût pour l'expérimental et le numérique.

Le financement de la thèse est soumis au concours d'attributions de contrats doctoraux de l'ED353 (<https://ecole-doctorale-353.univ-amu.fr/fr/futur-doctorant/attribution-contrats-doctoraux-20232026>).

Contact : [manda.ramaniraka@univ-amu.fr](mailto:manda.ramaniraka@univ-amu.fr) ; [cedric.payan@univ-amu.fr](mailto:cedric.payan@univ-amu.fr)

[1] J-F. Chaix, *Caractérisation non destructive de l'endommagement de bétons. Apport de la multidiffusion ultrasonore*, thèse Université de la Méditerranée (2003)

[2] T. Yu, *Modélisation de la propagation des ondes ultrasonores dans le béton pour l'amélioration du diagnostic des structures de génie civil*, thèse Aix-Marseille Université (2018)

[3] M. Ramaniraka, S. Rakotonarivo, C. Payan, V. Garnier, *Effect of the interfacial transition zone on ultrasonic wave attenuation and velocity in concrete*, *Cement and Concrete Research* 124 (2019)

[4] M. Ramaniraka, S. Rakotonarivo, C. Payan, V. Garnier, *Effect of Interfacial Transition Zone on diffuse ultrasound in thermally damaged concrete*, *Cement and Concrete Research* 152 (2021)