

Titre en français : Interaction ultrasons/béton pour le contrôle et le suivi de l'état de santé des ouvrages du génie civil

Titre en anglais : Ultrasound/concrete interaction for the testing and the monitoring of civil engineering structures state of health

Direction de thèse : Cédric Payan, Professeur des Universités (cedric.payan@univ-amu.fr)
Manda Ramaniraka, Maître de Conférences (manda.ramaniraka@univ-amu.fr)

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA)

Financement : demandé

Type de financement : bourse ministérielle MESR (ED 353)

Résumé en français :

La propagation des ultrasons dans un milieu hétérogène peut être plus ou moins perturbée en fonction des longueurs d'ondes présentes rapportées aux tailles des hétérogénéités [1]. L'interaction avec le milieu est très élevée lorsque ces dimensions sont du même ordre de grandeur. Ce régime de forte interaction maximise les informations concernant le milieu contrôlé et la sensibilité du suivi, cependant les amplitudes des signaux s'en retrouvent atténuées. Le contrôle et le suivi ultrasonores de l'état d'un matériau hétérogène nécessitent alors un équilibre entre quantité d'informations/sensibilité et moyens d'acquisition/traitement.

Dans le cas du béton, les hétérogénéités présentes dans la matrice cimentaire peuvent être de natures, de formes et de tailles diverses et aléatoires : ce sont les granulats (sable et gravier). Les aciers d'armatures viennent se rajouter dans le cas du béton armé qui compose la majorité des ouvrages du génie civil. A plus petite échelle, on retrouve les porosités et les microfissures présentes dans la matrice cimentaire, mais aussi et surtout l'Interfacial Transition Zone (ITZ). L'ITZ est une fine couche - très poreuse - autour de chaque granulat. Il a été démontré qu'elle conditionne le comportement mécanique global et la durabilité du béton. Son effet sur l'interaction ultrasons/béton a, quant à lui, été encore très peu étudié [2].



Les équipements ultrasonores disponibles sur le marché à destination des industriels permettent diverses applications (mesures d'épaisseurs/de vitesses, détections de vides, ...) mais les informations obtenues restent limitées. Une/des pathologie(s) naissante(s) à cœur, un endommagement localisé, l'initiation d'une/des fissure(s), ... sont autant de verrous technologiques et/ou scientifiques à l'heure actuelle. La diffusion multiple (non encore implémentée sur les équipements industriels) ou encore l'acoustique non linéaire (qui exploite la non-linéarité mécanique du béton et des défauts et qui a

montré un très fort potentiel dans la caractérisation non destructive) sont autant de voies prometteuses.

Ce travail de thèse traitera de l'exploitation de la diffusion multiple : aussi bien en acoustique linéaire que non linéaire [3] ; et aussi bien à cœur (suivi avec capteurs noyés) que sous la surface (contrôle depuis la surface). L'accent sera mis sur la considération de la réalité du matériau (présence de l'ITZ, présence d'armatures, vieillissement/pathologie, etc.). Les trois grandes approches seront abordées :

- Théorique : comprendre la physique des interactions ultrasons/béton ;
- Numérique : modéliser correctement le matériau et la propagation des ultrasons afin de disposer de bancs d'essais numériques et d'outils d'inversion ;
- Expérimentale : confronter les développements numériques et théoriques aux mesures expérimentales sur matériaux réels, étudier la faisabilité des instrumentations sur ouvrages réels.

La pondération de chaque approche se fera au fur et à mesure des avancées et selon les appétences du candidat.

Résumé en anglais :

The presence of heterogeneities disturbs the ultrasonic waves propagation within heterogeneous medium. The interaction is stronger when wavelengths and heterogeneities are of the same order of magnitude [1]. At this regime, the information about a tested material and the sensitivity of its monitoring are maximized but the signal amplitudes are attenuated. The right balance must be struck between information needs and deployed resources.

In concrete, the heterogeneities within the cement matrix are mainly composed of randomly distributed aggregates of different sizes and shapes. In the case of reinforced concrete, steel rebars are also present. At smaller scale, the presence of porosities and microcracks is noticed, but especially the Interfacial Transition Zone (ITZ). ITZ is a thin and very porous layer around each aggregate. It was shown that it governs the mechanical behavior and the durability of concrete. Its effect on ultrasound/concrete interaction was less studied [2].



Current industrial devices allow different applications (thickness/velocities measurements, delamination/voids detections, ...) but information is still limited. Deep emerging pathology, localized damage, crack initiation, ... are some examples of technological and/or scientific challenges for Non-Destructive Evaluation. Multiple scattering (not yet embed on current industrial devices) and Non-Linear Acoustics (very sensitive method that exploits the mechanical non-linearity of concrete and cracks) are very promising paths.

This thesis project deals with the exploitation of multiple scattering: in linear and non-linear [3] acoustics for both near-surface (testing with sensors from the surface) and in-depth (monitoring with

embedded sensors) applications. Emphasis will be placed on considering real materials (presence of ITZ, steel rebars, concrete aging and pathologies, ...). The three main approaches will be treated:

- Theoretical: understanding physics behind ultrasound/concrete interactions.
- Numerical: improving numerical models of concrete material and ultrasound propagations to get inversion tools.
- Experimental: validating numerical and theoretical developments on real materials; real life civil structures instrumentations.

The weighting of each approach will depend on work's progress and candidate's abilities.

Profil du candidat recherché :

Ingénieur ou Master2 dans l'un des domaines suivants : Mécanique, Acoustique, Géophysique, Génie Civil, ... avec :

- De bons résultats sur les 3 dernières années académiques ;
- Des compétences en programmation (Matlab et/ou Python) et traitement des signaux ;
- Un esprit analytique et force de propositions ;
- De bonnes aptitudes : à la rédaction, à la présentation orale, à l'autonomie, au travail en équipe ;

Le travail de thèse s'effectuera dans les locaux du LMA à Aix-en-Provence et/ou Marseille. Possibilité d'effectuer des missions d'enseignement (64h de monitorat) à l'IUT.

Publications sur le sujet :

[1] 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)

[2] 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)

[3] C. Payan, V. Garnier, J. Moysan, *Potential of Nonlinear Ultrasonic Indicators for Nondestructive Testing of Concrete*, *Advances in Civil Engineering* (2010)

Insertion professionnelle après thèse : publique et/ou privée