



## Offre de stage M2 ou ingénieur

### Intégration de l'ITZ dans les modèles de propagation d'ondes pour la caractérisation ultrasonore des bétons

La connaissance de l'état de santé du béton est primordiale pour assurer la durabilité des ouvrages du génie civil tels que les ponts ou les barrages. Le béton est un matériau fortement hétérogène : il est constitué d'un ensemble de granulats de natures, de formes et de tailles diverses figés dans une matrice cimentaire. A plus petite échelle, on retrouve l'Interfacial Transition Zone (ITZ, figure 1), une fine couche (de l'ordre de quelques dizaines de microns), très poreuse entourant chaque granulat. Les endommagements du béton s'y initient principalement.

Les ultrasons présentent un fort potentiel pour l'auscultation de ce type de matériau. L'interaction entre les ondes ultrasonores et les composants du béton est forte et dépend de la fréquence des ondes. Les signaux obtenus portent des informations sur l'état microstructural du matériau. Plusieurs travaux permettent de décrire l'interaction ondes et structures du béton mais la prise en compte de l'ITZ dans les modèles de propagation des ondes n'est pas encore effective.

Au laboratoire, des modèles analytiques et numériques de béton sont développées et permettent la prise en compte des éléments de composition [1],[2]. A partir des nombres d'onde équivalents extraits de ces modélisations, les comportements fréquentiels en vitesse et atténuation de l'onde cohérente se propageant dans le milieu sont analysés. Ces modèles doivent maintenant évoluer pour intégrer des éléments d'endommagement dans la description du béton [3]. Pour cela, la première étape est la prise en compte de l'ITZ. Il s'agira d'intégrer, dans les modèles de propagation, une description plus fine des granulats, en prenant en compte une couche autour des granulats. Dans les modélisations en 2D, les granulats sont représentés par des disques auxquels il s'agira d'ajouter une couche autour pour représenter l'ITZ (figure 2).

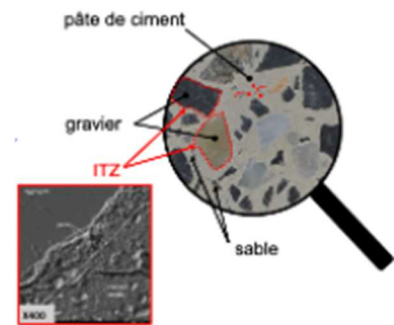


Figure 1 : Interfacial Transition Zone (ITZ) à l'interface granulat/ciment dans le béton

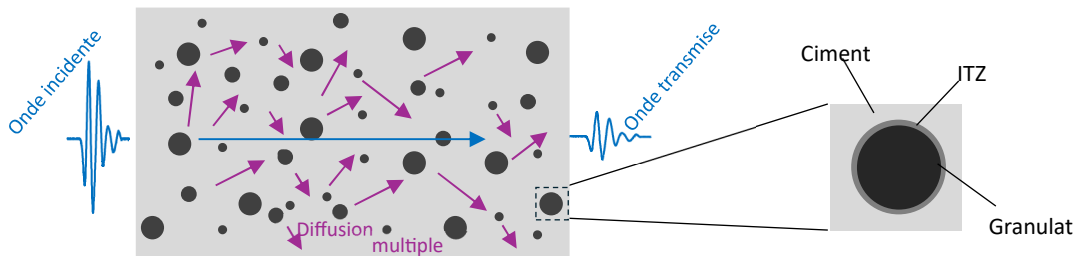


Figure 2 : Multi-diffusion dans les milieux hétérogènes et prise en compte de l'ITZ à l'interface granulat/ciment dans les modèles

Le travail se fera tout d'abord sur un diffuseur puis sur un ensemble de diffuseurs pris en compte dans les modèles de propagation. Le stage portera sur la modélisation analytique de ces notions que l'on programmera en code Matlab ou Python. Les résultats seront analysés et éventuellement comparés à des modélisations numériques disponibles au laboratoire. Cette première étape permettra alors d'ouvrir des voies d'amélioration pour la description de l'ITZ par cette couche « dégradée » en périphérie des diffuseurs.

**Encadrement :** Jean-François Chaix ([jean-francois.chaix@univ-amu.fr](mailto:jean-francois.chaix@univ-amu.fr)), Manda Ramaniraka.

**Possibilité de poursuite en thèse :** Oui

**Profil :** Acoustique, Génie Civil, Mécanique, Contrôles Non Destructifs, Sismique, Traitement des Signaux, ...

[1] T. Yu, J.-F. Chaix, L. Audibert, D. Komatitsch, V. Garnier, J.-M. Hénault, Simulations of ultrasonic wave propagation in concrete based on a two-dimensional numerical model validated analytically and experimentally, *Ultrasonics* 92 (2019) 21–34. ISSN 0041-624X. doi: 10.1016/j.ultras.2018.07.&\_;

[2] N. Khalid, M. Darmon, and J.-F. Chaix. 2D Analytical Modelling for Ultrasonic Inspection of Concrete Structures: Effects of Scatterers Position Correlation, *Journal of Physics: Conference Series*, 2768 (2024), 012002. ISSN 1742-6596. doi: 10.1088/1742-6596/2768/1/012002.

[3] N. Khalid. Advanced semi-analytical modeling for ultrasonic inspection of concrete structure, *Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay*, soutenance prévue le 3 décembre 2024, 204 pages.