

Offre de stage de Master 2 (2025-2026)

Monitoring ultrasonore avec des capteurs piézoélectriques enfouis

Mots clés : ultrason, capteurs enfouis, surveillance, béton

Contexte : Ce stage s'inscrit dans l'accord de recherche spécifique **ODOB-US** entre l'**Université Gustave Eiffel** (Laboratoire Géophysique et Évaluation Non Destructive - GéoEND), le **Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA)** une unité mixte de recherche AMU-CNRS-Centrale Méditerranée (UMR 7031), et l'**Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)**. Le projet ODOB-US a pour objectif de **caractériser et valider une instrumentation piézo-électrique enfouie dans du béton [1] pour des mesures ultrasonores** multi-voies téléopérées et d'**améliorer le protocole** de mesure existant pour le **suivi du développement de la réaction alcali-granat (RAG)**.

La RAG est une réaction de gonflement interne (RGI) qui peut provoquer le gonflement et la fissuration d'une structure en béton et de ce fait peut compromettre sa fonction. Cette réaction est une de problématiques liées au vieillissement du béton dans le contexte de l'extension de la durée de vies de centrales nucléaires. Ce stage de Master ambitionne **de mesurer et traiter des signaux ultrasonores pour la surveillance par ondes de volume de la progression de la RAG** dans un bloc de béton de dimension structurelle sur le site de l'ASNR à Cadarache. Ce bloc fait partie de la campagne expérimentale du projet ODOBA (ASNR) pour étudier la RAG à l'échelle de la structure. En fonction de l'avancée des résultats, des mesures complémentaires en acoustique non linéaire et en champs diffus seront aussi réalisées et exploitées.

La structure instrumentée est un bloc (CC) non ferrailé et soumis à un protocole de vieillissement accéléré de H1800xL1850xP1000 mm³ qui comportent, en plus des capteurs piézoélectriques, un ensemble de capteurs (capteurs de température, fibres optiques, jauges de déformation, cordes vibrantes) ayant déjà fait leur preuve. Cette instrumentation complémentaire servira de référence pour l'interprétation des signaux ultrasonores.

Sujet : Le déroulement du stage comprend plusieurs phases mêlant **modélisation numérique** et **expérimentation** sur une dalle de référence (50cmx15cmx25cm) et sur le bloc CC. A savoir :

- la **modélisation analytique et/ou numérique (FEniCS)** de la propagation des ondes de volume dans le béton à des fins de prise en main des différentes méthodes de traitement du signal
- l'exploitation des signaux ultrasonores **piézo-électriques noyés** enregistrés depuis le coulage du béton le 8 octobre 2025 (traitement du signal sous python),
- la **conception et réalisation d'une expérimentation complémentaire innovante** avec les transducteurs **piézo-électriques** noyés et des sources et récepteurs déployés en surface.
- la **comparaison** des résultats issus des **modélisations** analytiques et/ou numériques et des **mesures**,
- Interprétation des résultats ultrasonores en les confrontant aux mesures venant de l'ensemble des autres capteurs enfouis dans le béton et des connaissances sur la pathologie provenant des experts matériaux du projet ODOB-US

Lieu du stage : Le stage se déroulera au laboratoire GéoEND, situé sur un campus de recherche au sud de l'agglomération nantaise, et constitué d'une équipe multi-disciplinaire à l'intersection des géosciences, de l'évaluation non-destructive et des matériaux du génie civil. <https://geoend.univ-gustave-eiffel.fr/en/>

Durée du stage : 6 mois gratifiés

Candidature : Les candidat(e)s sont invité(e)s à prendre contact avec Odile Abraham (odile.abraham@univ-eiffel.fr), Jean-François Chaix (jean-francois.chaix@univ-amu.fr) et Sandrine Morin (sandrine.morin@asnr.fr).

Référence : [1] Hariri R. *et al*, Quantification of the Uncertainty in Ultrasonic Wave Speed in Concrete: Application to Temperature Monitoring with Embedded Transducers, Sensors, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24175588>

Master's Internship Offer (2025–2026)

Ultrasonic Monitoring with Embedded Piezoelectric Sensors

Keywords: ultrasound, embedded sensors, monitoring, concrete

Context:

This internship is part of the specific research agreement **ODOB-US** between **Université Gustave Eiffel** (Geophysics and Non-Destructive Evaluation Laboratory – *GéoEND*), the **Laboratory of Mechanics and Acoustics (LMA)**, a joint research unit of **AMU–CNRS–Centrale Méditerranée (UMR 7031)**, and the **Nuclear Safety and Radiation Protection Authority (ASNR)**. The **ODOB-US project** aims to characterize and validate a piezoelectric instrumentation system embedded in concrete [1] for multi-channel teleoperated ultrasonic measurements and to improve the existing measurement protocol for monitoring the development of the **alkali-aggregate reaction (AAR)**. AAR is an internal swelling reaction (ISR) that can lead to the expansion and cracking of concrete structures, thereby compromising their integrity. This reaction is one of the issues related to concrete ageing in the context of extending the service life of nuclear power plants.

This Master's internship aims to measure and process ultrasonic signals for **bulk-wave monitoring** of AAR progression in a full-scale concrete block located on the **ASNR site in Cadarache**. This block is part of the **ODOBA (ASNR)** experimental campaign, which studies AAR at the structural scale. Depending on the progress of the results, additional measurements using **nonlinear acoustics** and **diffuse field techniques** will also be conducted and analyzed. The instrumented structure is a **non-reinforced concrete block (CC)** subjected to an accelerated ageing protocol ($H1800 \times L1850 \times W1000 \text{ mm}^3$). In addition to piezoelectric sensors, it includes a set of proven instrumentation (temperature sensors, optical fibers, strain gauges, vibrating wires). This complementary instrumentation will serve as a reference for interpreting the ultrasonic signals.

Subject:

The internship will include several phases combining **numerical modeling** and **experimentation** on both a reference slab ($50 \times 15 \times 25 \text{ cm}^3$) and the full-scale CC block, including:

- Analytical and/or numerical modeling (using **FEniCS**) of bulk wave propagation in concrete, to become familiar with different signal processing methods.
- Processing of the recorded embedded piezoelectric ultrasonic signals since the concrete casting on **October 8, 2025** (signal processing in **Python**).
- Design and implementation of an **innovative complementary experiment** using embedded piezoelectric transducers and surface-deployed sources and receivers.
- Comparison of analytical and/or numerical modeling results with experimental measurements.
- Interpretation of the ultrasonic results by comparing them with data from the other embedded sensors and with material pathology expertise provided by ODOB-US project specialists.

Internship location:

The internship will take place at the **GéoEND laboratory**, located on a research campus south of the Nantes metropolitan area. The laboratory brings together a multidisciplinary team at the intersection of geosciences, non-destructive testing, and civil engineering materials. <https://geoend.univ-gustave-eiffel.fr/en/>

Duration: 6 months, Paid internship (according to standard French regulations)

Application: Interested candidates are invited to contact Odile Abraham (odile.abraham@univ-eiffel.fr), Jean-François Chaix (jean-francois.chaix@univ-amu.fr) and Sandrine Morin (sandrine.morin@asnr.fr).

Reference : [1] Hariri R. *et al*, Quantification of the Uncertainty in Ultrasonic Wave Speed in Concrete: Application to Temperature Monitoring with Embedded Transducers, Sensors, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24175588>