

**Titre :** Suivi des gradients de propriétés du béton par capteurs ultrasonores embarqués

**Mots clés :** Capteurs ultrasonores noyés, suivi de l'état de santé des structures (SHM), vitesse ultrasonore, modélisation numérique, incertitudes, teneur en eau.

**Résumé :** La propagation des ondes ultrasonores est adaptée au suivi de profil d'indicateurs de durabilité du béton, en particulier le module de Young et la porosité, qui sont parmi les principaux indicateurs influençant sa durabilité. Le travail de cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet ANR SCaNING ("Suivi des infrastructures neuves et existantes par Capteurs Noyés pour évaluer les Indicateurs Nécessaires à leur Gestion durable"). L'objectif de ce projet est de développer une approche multiphysique pour le suivi de la santé des structures en béton, en mesurant l'évolution continue d'indicateurs tels que la résistance à la compression, le module d'élasticité, la porosité et la teneur en eau. Un dispositif ultrasonore multi-éléments noyé dans des structures en béton a été conçu afin de suivre le profil de vitesse de propagation des ondes de compression sur plus de 20 cm d'épaisseur. Tout d'abord une étude numérique du capteur ultrasonore permet d'analyser les effets de différents paramètres, tels que la fréquence, l'hétérogénéité du béton, la distance de propagation des ondes, et l'atténuation des signaux a été également étudié. Plusieurs prototypes de capteur ont été ensuite fabriqués et testés dans l'eau et dans des éprouvettes de béton de petites dimensions, pour arriver à un capteur à base d'une pastille piezoélectrique soigneusement encastrée.

Les résultats ont montré la capacité de ce capteur à mesurer la vitesse de propagation des ondes de compression avec une bonne résolution pour une distance de propagation d'environ 10 cm. L'effet de la température sur les mesures ultrasonores a été quantifié en noyant les capteurs développés dans différents béton, et des fonctions de correction en température ont été développées. Ensuite, une calibration des capteurs a été réalisée sur des carottes de béton présentant différents degrés de saturation en eau. Deux dispositifs contenant chacun huit paires de capteurs ultrasonores ont été intégrés dans une dalle en béton armé afin de suivre son séchage, d'abord à une température constante de 20°C, puis à 45°C. Les facteurs influents sur les mesures ultrasonores par capteurs noyés ont été identifiés et une méthodologie a été mise en oeuvre pour quantifier les incertitudes liées aux observables mesurées. Une modélisation numérique 2D des dispositifs ultrasonores intégrés dans la dalle a également été réalisée. Un algorithme de tomographie ultrasonore différentielle a été appliqué aux mesures expérimentales et numériques pour analyser l'effet du séchage dans la dalle.

**Title :** Monitoring of Concrete Property Gradients Using Embedded Ultrasonic Sensors

**Keywords :** Embedded ultrasonic sensors, structural health monitoring (SHM), ultrasonic velocity, numerical modeling, uncertainties, water content.

**Abstract :** Ultrasonic wave propagation is suitable for tracking profiles of concrete durability indicators, particularly Young's modulus and porosity, which are among the main indicators influencing its durability. The work in this thesis is part of the ANR SCaNING project ("Monitoring of new and existing infrastructures using Embedded Sensors to evaluate the Necessary Indicators for their sustainable Management"). The goal of this project is to develop a multiphysics approach for monitoring the health of concrete structures by continuously measuring indicators such as compressive strength, elastic modulus, porosity, and water content. A multi-element ultrasonic device embedded in concrete structures was designed to track the wave propagation velocity profile of compression waves over a thickness of more than 20 cm. First, a numerical study of the ultrasonic sensor was conducted to analyze the effects of various parameters, such as frequency, concrete heterogeneity, wave propagation distance, and signal attenuation. Several sensor prototypes were then manufactured and tested in water and in small-sized concrete specimens, resulting in a sensor based on a carefully embedded piezoelectric element.

The results demonstrated the sensor's ability to measure the wave propagation velocity of compression waves with good resolution over a propagation distance of about 10 cm. The effect of temperature on ultrasonic measurements was quantified by embedding the developed sensors in different concrete samples, and temperature correction functions were developed. Next, the sensors were calibrated using concrete cores with varying degrees of water saturation. Two devices, each containing eight pairs of ultrasonic sensors, were embedded in a reinforced concrete slab to monitor its drying, first at a constant temperature of 20°C, then at 45°C. The factors influencing ultrasonic measurements with embedded sensors were identified, and a methodology was implemented to quantify the uncertainties related to the measured observables. A 2D numerical modeling of the ultrasonic devices embedded in the slab was also performed. A differential ultrasonic tomography algorithm was applied to both experimental and numerical measurements to analyze the drying effect in the slab.