

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : « voir liste sur le site de votre école doctorale »

Par

Sima KADKHODAZADEH

Contrôle de santé des structures en béton armé à partir des équations de Maxwell : inversion et traitement des signaux magnétiques

Thèse présentée et soutenue à « Nantes », le « 08 September 2023 »

Unité de recherche : Unité de recherche : Cerema- Non Destructive Assessment of Structures and Materials (ENDSUM)

Thèse N° : « si pertinent »

Rapporteurs avant soutenance :

Véronique BOUTEILLER Directrice de Recherche à Université Gustave Eiffel - Campus de Marne-la-Vallée
Stéphane RIOUAL Maître de conférences HDR à Université Bretagne Ouest

Composition du Jury :

Attention, en cas d'absence d'un des membres du Jury le jour de la soutenance, la composition du jury doit être revue pour s'assurer qu'elle est conforme et devra être répercutée sur la couverture de thèse

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Sylvie YOTTE	Professeur de Université Limoges - Egletons, Génie Civil, Diagnostic et Durabilité
	Abdelhafid KHELIDJ	Professeur de Nantes Université - GEM UMR-CNRS N° 6183
	Laurent FERRO-FAMIL	Professeur de Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées - ISAE-SUPAERO / CES
Dir. de thèse :	Amine IHAMOUTEN	IDTPE - HDR chercheur senior à l'Université Gustave Eiffel /MAST - LAMES
Co-dir. de thèse :	Xavier DÉROBERT	IDTPE - HDR chercheur senior à l'Université Gustave Eiffel /GERS - GeoEND

Invité(s) :

Elisabeth HAZA-ROZIER Chargée de Recherche à Direction Recherche, Innovation et International Cerema
David SOURIOU Ingénieur de recherche à FI-NDT

Titre : Contrôle de santé des structures en béton armé à partir des équations de Maxwell : inversion et traitement des signaux magnétiques

Mot clés : Contrôle Non Destructif (CND), Matériau Magnétique Fonctionnel (FMM), Corrosion

Résumé : Dans les environnements marins, la corrosion des structures en béton armé due à des agents agressifs est un problème majeur. Cette thèse propose une méthode de tests non destructifs magnétiques (NDT) utilisant un dispositif intégré de surveillance de la santé structurelle (SHM) dans la couverture en béton. Le dispositif, appelé Matériaux Magnétiques Fonctionnels (FMM), génère des Observables Magnétiques (OM) mesurables à distance, permettant d'estimer l'état de corro-

sion du FMM et la probabilité de contamination du béton. L'objectif est de développer une méthode directe pour estimer le moment dipolaire magnétique en utilisant un modèle analytique et des techniques d'optimisation et d'inversion. Des investigations numériques et expérimentales sur des dalles en béton ont validé la méthode proposée, offrant une solution préventive de NDT pour évaluer la corrosion des armatures en béton..

Title: Check the health statement of reinforced concrete structures, using Maxwell's equations, inversion and magnetic signal processing

Keywords: Non Destructive testing (NDT), Functional Magnetic Materials (FMM), Corrosion

Abstract: In marine environments, reinforced concrete structures are subjected to corrosion caused by aggressive agents. This thesis proposes a new magnetic Non Destructive Testings (NDT) method using an embedded Structural Health Monitoring (SHM) device in the concrete cover. The device, called Functional Magnetic Materials (FMM), consists of magnetic and ferromagnetic materials. It offers an autonomous and cost-effective technological solution that generates measurable Magnetic Observables (MO), could measure remotely. As the FMM's reactive part corrodes due to aggressive agents, the generated MO changes. This allows for correlating FMM's corrosion state with MO variations and estimating the probability of con-

crete contamination that could lead to rebar corrosion. The main objective is to develop a forward method based to estimate accurately the magnetic dipole moment variation using an analytical model and optimization and inversion techniques. Numerical modeling and experimental investigations on different concrete slabs with varying corrosion states were conducted to correlate the magnetic dipolar moment changes of FMM, due to corrosion and validate the proposed method. The results shows that the proposed method is capable to estimate the corrosion state of embedded device in ND way and consequently, estimate the risk of rebar corrosion as a preventive ND method.