

Offre de post-doctorat

Caractérisation non destructive avancée des propriétés physiques des matériaux : Vers la fusion de données

Projet Energie Electrique 4.0

Financement : Contrat de Plan Etat Région (CPER) 2021 – 27

Laboratoires : L2EP (Université de Lille), I2M (Université de Bordeaux), LTeN (Nantes Université)

en partenariat avec : EDF R&D Paris Saclay

Contexte et verrous scientifiques

Les propriétés physiques des matériaux sont généralement mesurées au moyen d'essais destructifs normalisés. Les propriétés mécaniques, par exemple, sont déterminées sur des éprouvettes normalisées conformément à la norme ASTM E8, à l'aide d'un essai de traction. De même, les propriétés magnétiques sont mesurées à l'aide de dispositifs standards tels que le cadre Epstein ou le cadre à bande unique, à partir d'éprouvettes prélevées dans des bandes ou tôles magnétiques.

La possibilité de mesurer ces propriétés physiques sans usiner d'éprouvettes, mais directement à partir de signaux acquis par des capteurs positionnés sur la pièce, constituerait une avancée scientifique et industrielle importante.

Des techniques non destructives (ND) exploitant des phénomènes électromagnétiques (courants de Foucault [1], bruit Barkhausen [2], [3], etc.), acoustiques (ultrasons [1]) ou thermiques (thermographie infrarouge [4]) ont émergé ces dernières années. Elles sont de plus en plus utilisées pour évaluer l'intégrité des matériaux et des structures, que ce soit lors du contrôle qualité en sortie d'usine, en service (en cours d'utilisation) ou lors des opérations de maintenance.

Les signatures caractéristiques de ces techniques permettent en général de détecter une anomalie ou un défaut. Par contre, établir un lien entre ces signatures et les propriétés du matériau sondé reste très difficile, car elles sont influencées par de nombreux paramètres : chimie, microstructure, état de surface, contraintes internes, etc. Pour progresser dans cette direction, il est nécessaire de déterminer, pour chaque technique et chaque matériau, l'influence de ces paramètres sur la signature mesurée, que ce soit de manière isolée ou combinée. Cela implique de travailler sur des échantillons dont les propriétés sont finement maîtrisées afin d'identifier les indicateurs les plus pertinents pour remonter aux propriétés d'intérêt. Le cas échéant, on peut combiner les données issues de plusieurs techniques ND grâce à la fusion de données [1] (mise en œuvre d'approches d'apprentissage) afin d'évaluer les propriétés recherchées.

Dans l'industrie, les contrôles qualité destructifs sont coûteux et limités à une fraction de la production. Des méthodes ND et rapides permettraient un contrôle complet de la production, réduisant coûts et délais. Il en va de même dans le secteur de l'énergie, où les centrales nucléaires d'EDF, conçues pour fonctionner en régime flexible à puissance variable, nécessitent également des solutions de contrôle ND. Cette flexibilité permettant d'équilibrer l'offre et la demande d'électricité (en absorbant les fluctuations de production des énergies renouvelables et en contribuant au maintien de la fréquence du réseau), peut conduire à une usure prématurée des matériaux et des structures. En effet, les variations de puissance provoquent des variations de température dans certaines parties des circuits primaire et secondaire. Selon une étude publiée par l'agence internationale de l'énergie atomique (IAEA) en 2018, chaque modification de l'activité d'une centrale (arrêt, redémarrage ou variations de puissance) entraîne des variations de température subies par les matériaux métalliques, ce qui diminue leur résistance mécanique et peut conduire, à terme, à des défaillances.

Dans ce contexte, ce projet, en partenariat avec EDF, a pour objectif de développer une méthodologie permettant de déterminer des caractéristiques physiques d'intérêt (électromagnétiques, mécaniques, thermophysiques, etc.) à partir de signaux acquis par des techniques ND. L'enjeu est d'étendre le champ d'application des techniques ND à la caractérisation des propriétés des matériaux.

[1] Marwane Dherbécourt, *Contrôle non destructif électromagnétique et ultrasonore en vue de l'évaluation des propriétés mécaniques d'aciers martensitiques*, Thèse de doctorat, Université de Lille, 2024.

[2] M. Dherbécourt, O. Messal, Z. Tang, A. Benabou, H. Qozam, F. Lefevre, *Study of the ability of MBN based NDT to distinguish high-performance martensitic steel grades*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 590, Jan. 2024, 171661, ISSN 0304-8853, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171661>.

[3] M. Dherbécourt, O. Messal, Z. Tang, A. Benabou, O. Lazzari, *Investigation of the correlation between MBN signatures of low carbon content martensitic steels and their tensile properties*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 563, Dec. 2022, 169995, ISSN 0304-8853, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169995>.

[4] Abderezak Aouali, Oualid Messal, Abdelkader Benabou, Alain Sommier, Lea Saleh, Jean-Christophe Batsale, *Iron loss evaluation using infrared thermography imaging and inverse problem resolution*, Measurement, Volume 246, 2025, 116599, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.116599>.

Profil recherché

- Docteur dans le domaine des matériaux ou métallurgie ou physique ou génie électrique.
- Attrait pour la caractérisation expérimentale et la physique.
- Curiosité, créativité, prise d'initiatives, rigueur et organisation.
- Esprit d'équipe et capacité d'animation.

Début du contrat : au 1er trimestre 2026, potentiellement dès janvier.

Durée : le(a) candidat(e) devra être disponible à temps plein pour 24 mois.

Lieu : Lille.

Candidature

- Merci d'envoyer votre CV et lettre de motivations à :

O. Messal (oualid.messal@univ-lille.fr)

A. Benabou (abdelkader.benabou@univ-lille.fr)

Z. Tang (zuqi.tang@univ-lille.fr)