

## DEPARTEMENT PMDM : PROCÉDES METALLURGIE DURABILITE MATERIAUX

### PROPOSITION THESE DE DOCTORAT

<b>TITRE</b>	<b>Couplage multi-physique des interactions phonon-photon et des non-linéarités acoustiques pour le contrôle non destructif des matériaux hétérogènes.</b>
<b>CONTEXTE</b>	<p>L'étude des couplages phonon-photon et des phénomènes acoustiques non linéaires constitue une approche prometteuse pour caractériser et comprendre les comportements vibratoires et optiques des matériaux hétérogènes. Ces couplages, notamment dans des milieux présentant des défauts, des interfaces ou des hétérogénéités, influencent directement les phénomènes de dissipation énergétique et les dynamiques vibratoires des structures en service.</p> <p>Malgré les avancées récentes en modélisation et en imagerie acoustique, les mécanismes liés à la modélisation précise de ces interactions et à leur exploitation pour détecter et caractériser des défauts internes dans les matériaux restent à explorer. Les techniques actuelles de contrôle non destructif (CND) restent souvent limitées dans leur capacité à fournir une caractérisation fine des matériaux hétérogènes, en particulier à des échelles micro- et nanométriques. Ce projet de thèse vise à lever ces verrous en associant modélisation multi-échelles, validation expérimentale et outils d'analyse assistée par intelligence artificielle.</p>
<b>OBJECTIFS /DESCRIPTION</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Modélisation des interactions phonon-photon :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Élaborer des modèles théoriques pour simuler la propagation des phonons et leurs interactions avec les photons dans des matériaux anisotropes ou hétérogènes.</li> <li>• Explorer les effets des défauts, interfaces et anisotropies sur ces interactions.</li> </ul> </li> <li><b>2. Caractérisation des phénomènes acoustiques non linéaires :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractériser les effets non linéaires tels que la génération d'harmoniques et les solitons acoustiques dans des matériaux présentant des hétérogénéités.</li> <li>• Quantifier les effets non linéaires pour mieux comprendre leurs implications dans la dynamique vibratoire.</li> <li>• Identifier des signatures acoustiques associées à différents types de défauts internes.</li> </ul> </li> <li><b>3. Validation expérimentale par CND multiéchelle :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser/développer des techniques d'imagerie acoustique (microscopie acoustique, spectroscopie Brillouin, ...) pour observer et valider les phénomènes acoustiques prédits.</li> <li>• Optimiser les méthodes de détection en exploitant les interactions multi-physiques pour améliorer la résolution et la sensibilité.</li> </ul> </li> </ol>

	<p><b>4. Intelligence artificielle appliquée aux couplages multi-physiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre des algorithmes de machine learning pour analyser les données acoustiques issues des couplages phonon-photon et classifier les signatures en fonction des types de défauts. pour classifier et interpréter les signatures acoustiques.</li> <li>• Développer des outils prédictifs pour estimer l'évolution des défauts dans le temps.</li> </ul> <p><b>5. Analyse des mécanismes de dissipation :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantifier les pertes énergétiques liées aux défauts et interfaces dans des matériaux hétérogènes.</li> <li>• Comprendre le rôle des couplages multi-physiques dans les phénomènes de dissipation et leur impact sur la durabilité des structures.</li> </ul>
<b>Mots clefs :</b>	Acoustique non-linéaire, Interactions phonon-photon, Modélisation multi-échelle, Contrôle Non Destructif, matériaux hétérogènes, intelligence artificielle.
<b>RESPONSABLE(S)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Directeur de thèse :</b> M. Jean-Marie JOUVARD – Professeur (<a href="mailto:jean-marie.jouvard@u-bourgogne.fr">jean-marie.jouvard@u-bourgogne.fr</a>)</li> <li>• <b>Co-encadrant :</b> M. Seif Eddine HAMDY – Maître de Conférences (<a href="mailto:Seif-Eddine.Hamdi@u-bourgogne.fr">Seif-Eddine.Hamdi@u-bourgogne.fr</a>)</li> </ul> <p>Laboratoire ICB – Département PMDM UMR 6303 CNRS/Université de Bourgogne Europe 1 Allée des Granges Forestier – 71100 Chalon-sur-Saône</p>
<b>MOYENS / LIEU</b>	Laboratoire ICB (Site Chalon sur Saône)
<b>PROFIL DU CANDIDAT(E)</b>	Diplôme d'ingénieur ou de master en acoustique, physique, mécanique, science des matériaux ou dans un domaine connexe.

## PMDM DEPARTMENT: PROCESS METALLURGY DURABILITY MATERIALS THESIS PROJECT PROPOSAL

<b>TITLE</b>	<b>Multi-Physical Coupling of Phonon-Photon Interactions and Acoustic Nonlinearities for Non-Destructive Testing of Heterogeneous Materials.</b>
<b>CONTEXT</b>	<p>The study of phonon-photon couplings and nonlinear acoustic phenomena represents a promising approach to characterizing and understanding the vibrational and optical behaviors of heterogeneous materials. These couplings, particularly in media with defects, interfaces, or heterogeneities, have a direct influence on energy dissipation phenomena and the vibrational dynamics of in-service structures.</p> <p>Despite recent advancements in modeling and acoustic imaging, the mechanisms underlying the precise modeling of these interactions and their application to detecting and characterizing internal defects in materials remain largely unexplored. Current non-destructive testing (NDT) techniques often face limitations in providing detailed characterization of heterogeneous materials, especially at micro- and nanometric scales. This PhD project aims to overcome these challenges by integrating multi-scale modeling, experimental validation, and deep learning-assisted analysis tools.</p>
<b>OBJECTIVES /DESCRIPTION</b>	<p><b>1. Modeling Phonon-Photon Interactions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Develop theoretical models to simulate the propagation of phonons and their interactions with photons in anisotropic or heterogeneous materials.</li> <li>• Investigate the effects of defects, interfaces, and anisotropies on these interactions.</li> </ul> <p><b>2. Characterization of Nonlinear Acoustic Phenomena:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Characterize nonlinear effects such as harmonic generation and acoustic solitons in materials with heterogeneities.</li> <li>• Quantify nonlinear effects to better understand their implications on vibrational dynamics.</li> <li>• Identify acoustic signatures associated with different types of internal defects.</li> </ul> <p><b>3. Experimental Validation through Multi-Scale NDT:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilize and develop acoustic imaging techniques (e.g., acoustic microscopy, Brillouin spectroscopy) to observe and validate predicted acoustic phenomena.</li> <li>• Optimize detection methods by exploiting multi-physical interactions to improve resolution and sensitivity.</li> </ul>

	<p><b>4. Deep learning Applied to Multi-Physical Couplings:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implement machine learning algorithms to analyze acoustic data from phonon-photon couplings and classify signatures based on defect types.</li> <li>• Develop predictive tools to estimate the evolution of defects over time.</li> </ul> <p><b>5. Analysis of Dissipation Mechanisms:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantify energy losses associated with defects and interfaces in heterogeneous materials.</li> <li>• Understand the role of multi-physical couplings in dissipation phenomena and their impact on the durability of structures.</li> </ul>
<b>KEYWORDS:</b>	Nonlinear acoustics, phonon-photon interactions, multi-scale modeling, non-destructive testing, heterogeneous materials, deep learning.
<b>SUPERVISORS</b>	<p><b>PhD Advisor: Prof.:</b> Jean-Marie JOUVARD (<a href="mailto:jean-marie.jouvard@u-bourgogne.fr">jean-marie.jouvard@u-bourgogne.fr</a>)</p> <p><b>Co-Supervisor: AP.</b> Seif Eddine HAMDI (<a href="mailto:Seif-Eddine.Hamdi@u-bourgogne.fr">Seif-Eddine.Hamdi@u-bourgogne.fr</a>)</p> <p>ICB – PMDM Department, UMR 6303 CNRS/University of Burgundy Europe, 1 Allée des Granges Forestier – 71100 Chalon-sur-Saône</p>
<b>LABORATORY</b>	ICB – PMDM Department, UMR 6303 CNRS/University of Burgundy Europe, Chalon-sur-Saône
<b>CANDIDATE PROFILE</b>	Master's or engineering degree in acoustics, physics, mechanics, materials science, or related fields.