

OFFRE DE STAGE M2

Contribution au développement d'une méthode opto-acoustique pour la caractérisation de pièces d'armures anciennes en alliages ferreux

Mots clefs : armure médiévale, objet du patrimoine, coefficient de poisson, ultrasons laser, modes de Lamb à vitesse de groupe nulle (ZGV), évaluation, contrôle non destructifs, archéométaballurgie.

Lieu : Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM)

Responsabilité scientifique et contact : Samuel Raetz (LAUM, samuel.raetz@univ-lemans.fr), François Gautier (LAUM), Thibault Vicente (LAUM), Emilie Bérard (Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, ICMMO, emilie.berard@universite-paris-saclay.fr)

Durée souhaitée : 5 à 6 mois (entre Février 2026 et Août 2026)

Descriptif du stage :

A la fin du Moyen Âge et au début de l'époque moderne, les armures étaient fabriquées à partir d'alliages ferreux de composition hétérogène. De nombreuses questions demeurent sur la nature du métal utilisé ainsi que les gestes techniques de mise en forme (traitements thermomécaniques) réalisés par les armuriers pour garantir la résistance des pièces. Les examens physico-chimiques usuellement réalisés du métal fournissent des informations de grand intérêt sur ces questions mais nécessitent un contact avec l'objet ou la réalisation de prélèvement, rarement autorisés dans le cas de pièces muséales. Le projet propose de développer un système de mesure opto-acoustique pour analyser l'hétérogénéité des alliages ferreux présents dans les pièces d'armure, par la mesure locale du coefficient de Poisson. Il s'inscrit dans une collaboration entre deux laboratoires, le LAUM (Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans) et l'ICMMO (Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay). La méthode repose sur l'utilisation d'une technique d'ultrasons laser, permettant de générer et mesurer, de manière non invasive et sans connaissance préalable de l'épaisseur locale des plaques, des modes similaires à des résonances d'épaisseur, appelés modes de Lamb ZGV (pour Zero-Group Velocity). La sensibilité de la méthode devra aussi permettre de distinguer différentes nuances d'alliages ferreux (fer, acier, fer phosphoreux, etc.) et de souligner la présence de défauts tels des soudures ou des délaminations.

Le stage permettra d'explorer les conditions expérimentales optimales via des tests en laboratoire sur différentes nuances d'acier homogène contrôlées, des échantillons archéologiques, ainsi qu'une pièce de reproduction. L'étude combinera une approche expérimentale et une modélisation numérique visant à analyser les effets de variation locale d'épaisseur et d'hétérogénéité des propriétés mécaniques, toutes deux permettant d'évaluer la sensibilité de la méthode retenue.

Calendrier de travail envisagé : Les premières semaines seront consacrées à la prise en main des notions théoriques relatives aux modes de Lamb ZGV ainsi qu'à leur génération et détection par laser (modulé ou impulsionnel), à travers une étude bibliographique qui sera valorisée dans le rapport final. En parallèle, des premières simulations numériques seront développées sous COMSOL afin d'approfondir la compréhension des concepts théoriques et de préparer l'étude numérique des effets de variation locale sur les modes de Lamb ZGV. Dans un second temps, le montage expérimental envisagé (génération par laser continu modulé et mesure interférométrique avec détection synchrone) sera mis en œuvre. Un contrôle automatique simple (sans interface utilisateur) sera également développé. Ce montage sera d'abord testé sur des plaques d'aluminium, puis sur différentes nuances d'acier homogènes. Les résultats expérimentaux seront analysés et comparés aux simulations numériques. Enfin, des essais seront réalisés sur des échantillons archéologiques et sur la pièce de reproduction, en parallèle de l'étude numérique sur les effets de variation locale d'épaisseur et d'hétérogénéité des propriétés mécaniques d'une plaque.

Descriptif du profil recherché : Étudiant(e) en Master 2 recherche ou en dernière année d'école d'ingénieur, disposant d'une bonne connaissance de la propagation des ondes élastiques dans les solides, d'un intérêt marqué pour les mesures expérimentales et d'une bonne maîtrise des chaînes de mesure. Une solide compétence en traitement du signal sur ordinateur (Python ou MATLAB) est requise. Des connaissances en optique et/ou des compétences en simulation numérique par éléments finis constituent un atout.

Informations complémentaires

Le stage sera basé au LAUM. Afin de se familiariser avec la nature et les propriétés des alliages ferreux anciens, un déplacement à l'ICMMO pourra être envisagé.

Soutien financier

La personne retenue bénéficiera d'une gratification de stage, en conformité avec les exigences légales. Ce projet a obtenu le soutien financier du CNRS à travers les programmes interdisciplinaires de la MITI.