

Sujet de stage : simulation expérimentale et numérique du martelage pour l'étude des techniques d'élaboration d'objets métalliques patrimoniaux

Lieu : Université Paris-Saclay, CNRS, ICMMO, SP2M, 17 avenue des Sciences, 91400 Orsay.

Encadrants : Emilie Bérard (emilie.berard@universite-paris-saclay.fr), Clotilde Berdin (clotilde.berdin@universite-paris-saclay.fr) et Thierry Baudin (thierry.baudin@universite-paris-saclay.fr)

Durée souhaitée : entre 3 et 5 mois

Description : Ce stage porte sur la caractérisation de matériaux métalliques déformés par martelage. L'approche est basée sur la mise en œuvre de différentes techniques d'analyses couplée aux résultats d'une simulation numérique.

Dans le domaine des sciences du patrimoine, les investigations physico-chimiques constituent de précieux outils pour déterminer les procédés d'élaboration des objets. Néanmoins, les analyses métallographiques couramment réalisées ont le désavantage de nécessiter la réalisation de prélèvements. Cette opération demeure rarement autorisée dans le cas de pièces muséales ou limitée à l'étude d'échantillons de faible taille, qui ne rend compte que d'une information localisée et qualitative des techniques de martelage. Aussi, ce stage s'intéressera à une autre approche, basée sur la simulation expérimentale et numérique du martelage en laboratoire pour caractériser les techniques de martelage d'objets métalliques patrimoniaux réalisés en alliages ferreux.

L'étude commencera par l'élaboration d'éprouvettes modèles de compositions chimiques similaires aux objets muséaux étudiés. Les lingots seront laminés à différents taux de réduction puis subiront un recuit de recristallisation. Une partie des éprouvettes sera ensuite soumise à un essai mécanique de martelage. Ensuite, des analyses microstructurales (analyses métallographiques, EBSD (Electron BackScatter Diffraction), mesures de microdureté) seront réalisées afin de caractériser la microstructure et la microtexture du métal (densité de dislocations, taille des grains ...). Les éprouvettes serviront également d'alliages de référence pour l'exploitation de mesures SR-DRX (Diffraction des Rayons X sous Rayonnement Synchrotron) qui seront réalisées au synchrotron SOLEIL en mai 2024 sur des pièces d'armures médiévales complètes (mesures réalisées sur la ligne DiffAbs en collaboration avec les laboratoires LAPA-NIMBE (CNRS/CEA) et LM2T (CEA), tous deux basés au CEA Saclay et le Musée de l'Armée). A ce titre, les éprouvettes seront analysées dans les mêmes conditions que les objets muséaux.

Les résultats expérimentaux obtenus sur les éprouvettes serviront par la suite à utiliser et améliorer une simulation par éléments finis du martelage mise en place lors d'un précédent stage. Elle permettra une modélisation de l'essai mécanique de martelage réalisé et une description locale des déformations plastiques. L'objectif final sera d'identifier des indicateurs inédits sur les techniques de martelage, susceptibles de varier en fonction de la période, du type d'objet fabriqué ou encore des régions de production.

En fonction de l'état d'avancement du stage, les résultats obtenus sur les éprouvettes seront couplés à ceux d'une étude acoustique qui sera réalisée sur les mêmes alliages à l'IRCAM (L'Institut de Recherche et Coopération Acoustique/Musique), en collaboration avec le C2RMF (Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France). Il s'agira ici d'étudier l'impact de l'état

métallurgique sur les propriétés acoustiques. Cette étude sera menée en parallèle d'un travail de doctorat qui s'intéresse au rôle du martelage dans la fabrication des percussions anciennes en bronze et son impact sur les propriétés acoustiques¹.

Profil recherché et compétences attendues : Etudiant en sciences des matériaux. Avoir un intérêt pour les sciences du patrimoine serait un plus.

¹ Thèse de César Delomosne en collaboration avec le C2RMF, l'UVSQ, le Musée de la musique, Cité de la musique – Philharmonie de Paris, l'IRCAM-STMS et l'ICMMO, soutenus par la Fondation des Sciences du Patrimoine.