
OFFRE DE STAGE M2

Sujet du stage : Microstructure et comportement mécanique : étude des aciers médiévaux multicouches

Condition d'éligibilité : l'étudiant.e qui sera retenu.e devra être inscrit.e dans une université ou école francilienne.

Mots clefs : métallurgie, alliages ferreux, propriétés mécaniques.

Lieu : Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay : Université Paris-Saclay, CNRS, ICMMO, SP2M, 17 avenue des Sciences, 91400 Orsay.

Responsabilité scientifique et contacts :

Emilie Bérard (ICMMO - emilie.berard@universite-paris-saclay.fr)

Clotilde Berdin (ICMMO - clotilde.berdin@universite-paris-saclay.fr)

Thierry Baudin (ICMMO - thierry.baudin@universite-paris-saclay.fr)

Alexandre Disser (IRAMAT - alexandre.disser@cea.fr)

Durée souhaitée : 5 mois (entre Février 2027 et Juillet 2027 de préférence)

Sujet du stage :

Des travaux antérieurs basés sur une lecture croisée de sources textuelles et matérielles, ont démontré qu'une grande variété d'alliages ferreux était utilisée pour la fabrication d'armement ou d'outils (épées, armures, couteaux ...) au Moyen Âge en Europe occidentale. En particulier, des microstructures composites combinant plusieurs lopins d'alliages ferreux aux propriétés différentes (« fer pur », aciers, fer phosphoreux ...) ont été mises en évidence de manière récurrente. Si elles attestent de savoir-faire spécifiques, d'importantes questions demeurent quant aux propriétés recherchées par les artisans, justifiant d'une mise en œuvre d'un haut degré technique. L'hypothèse la plus couramment avancée s'appuie sur l'usage des objets : ces structures composites amélioreraient les propriétés mécaniques du métal en combinant la ductilité du fer et la dureté de l'acier. D'autres hypothèses soulignent plutôt des contraintes techniques de fabrication : elles faciliteraient la mise en forme du métal dur en sandwich dans du métal mou ou témoigneraient d'une opération de recyclage des métaux. Enfin dans le domaine de l'armement, une fonction esthétique est aussi avancée, notamment dans le cas spécifique de l'acier damassé, soulignant son effet visuel. Malgré de premières études, le comportement mécanique des alliages ferreux anciens demeure peu exploré. Des recherches plus étendues dans ce domaine s'avèrent nécessaires pour comprendre les choix faits par les artisans mais aussi pour préciser

la fonction technique et sociale des objets (usage fonctionnel/d'apparat, degré de résistance...). Ces réflexions sont actuellement fortement limitées par le caractère invasif des mesures couramment réalisées en métallurgie mécanique, nécessitant de disposer d'éprouvettes de taille sacrificiables centimétrique. Ce protocole demeure difficilement applicable dans le cas d'objets patrimoniaux.

Pour y remédier, il est possible de recourir à une approche basée sur l'étude de répliques, c'est-à-dire d'objets ou d'échantillons « modèles » et d'échantillons produits par des artisans selon des méthodes comparables aux procédés médiévaux. L'objectif du stage sera de mieux comprendre la relation entre les propriétés des métaux d'un multicouche et les propriétés de l'objet.

Les activités du stagiaire comprendront des analyses microstructurales, des tests de dureté et de traction réalisés sur des éprouvettes homogènes, multicouches, composées d'aciers à différents taux de carbone puis sur des alliages issus d'archéologie expérimentale (IRAMAT) et fabriqués spécifiquement en amont du stage. Ces matériaux sont représentatifs de l'hétérogénéité des alliages multicouches anciens. Les tests mécaniques permettront de comparer plusieurs caractéristiques (module de Young, limite d'élasticité ...). La déformation des matériaux hétérogènes pourra être suivie par des mesures de champ en optique afin de comprendre les transferts de charge entre les différentes zones. On évaluera la résistance des matériaux à la rupture par la réalisation d'essais SENT (single edge notched tensile test) et l'observation des surfaces de rupture au MEB (microscope électronique à balayage). Les activités de caractérisations expérimentales seront complétées par des modélisations numériques par éléments finis permettant de mieux comprendre le rôle des différentes couches dans les propriétés de l'assemblage.

Calendrier de travail envisagé :

Février 2027 : Caractérisations microstructurales des éprouvettes

Mars - Avril 2027 : Essais mécaniques et modélisations numériques

Mai 2027- Juin 2027 : Synthèse des résultats et rédaction du rapport

Descriptif du profil recherché :

Etudiant en sciences des matériaux avec des compétences en métallurgie mécanique. Un intérêt pour les sciences du patrimoine ou les sciences archéologiques sera grandement apprécié.

Informations complémentaires :

Si les activités du stagiaire seront principalement basées à l'ICMMO, des déplacements ponctuels pourront être effectués à l'IRAMAT (Institut de Recherche sur les Archéomatériaux) basé au CEA de Saclay.

L'ICMMO est desservi en transports en commun (RER ligne B en direction de Saint-Rémy-les-Chevreuse, descendre à la station Le Guichet puis prendre le bus Transdev 9) ou en voiture. Des pistes cyclables jalonnent l'ensemble du Plateau de Saclay et des garages à vélo sont accessibles à proximité des gares RER de Massy-Palaiseau, Le Guichet et Gif-sur-Yvette. Le CEA Saclay est desservi par les mêmes réseaux de transports.

Ce stage est financé par Le DIM Patrimoines matériels – innovation, expérimentation et résilience (PAMIR).

<https://www.pamir.fr/projets-soutenus/mimecam/>