

Proposition de sujet de thèse – 2025/2028

Optimisation des propriétés tribologiques par la maîtrise des mécanismes d'endommagement à l'interface des matériaux sous haute pression

Introduction

Les performances des systèmes mécaniques dépendent fortement des propriétés tribologiques des surfaces en contact, notamment en conditions extrêmes comme celles rencontrées dans les procédés d'hyperdéformation ou dans les assemblages critiques par friction (aéronautique, moteurs). Malgré les avancées, les mécanismes d'endommagement initiaux – en particulier à la limite de l'adhérence – restent mal compris, notamment à l'échelle multi-matériau et multi-échelle. Cette thèse propose de répondre à cette problématique en analysant les phénomènes d'interaction tribologique entre des matériaux à fort contraste mécanique, en particulier le couple cuivre/acier, en conditions de glissement sec sous haute pression.

Contexte scientifique et état de l'art

Ce projet de thèse s'inscrit dans la continuité d'une collaboration active entre les départements IMPACT (D2) et T-PRIOM (D3) du LEM3, initiée dès 2012. Les travaux antérieurs [1] ont permis d'identifier deux phénomènes clés dans les essais de frottement à sec et en conditions quasi-statiques : (i) la formation d'une zone hyperdéformée dans le cuivre et (ii) la genèse d'un troisième corps sur la contre-surface en acier. Ces constats, bien que significatifs, n'ont pas encore été étudiés de manière systématique en fonction des conditions de contact et de l'état de surface.

Le développement récent d'un tribomètre spécifique au LEM3 [2], capable de reproduire des conditions de frottement sévères, offre un cadre expérimental unique pour investiguer ces phénomènes [3]. Ce dispositif permet d'évaluer l'influence de la pression normale apparente, du glissement relatif et de la rugosité initiale sur l'évolution des transformations tribologiques de surface (ITS) [4] et la genèse du troisième corps [5]. L'étude de la tribologie à sec dans les procédés d'hyperdéformations a été amorcée dans la thèse de Chloé Franoux [6]. Mais l'influence de l'état de surface sur la situation d'adhérence-glissement reste à étudier. Ainsi, la modification des surfaces ; notamment par texturation laser ou gravage ionique ou par traitements thermochimiques peuvent se révéler être des pistes d'étude dans ce projet [7].

Problématique et objectifs

La problématique centrale est de comprendre comment les conditions du contact initial (pression, rugosité, géométrie de surface) influencent la formation et l'évolution des transformations tribologiques de surface et du troisième corps dans un système bimatériaux fortement contrasté (cuivre/acier). En particulier, il s'agit de :

- Identifier les mécanismes responsables de la formation du troisième corps et de l'endommagement initial.
- Étudier l'influence des états de surface imposés (poli, rectifié, sablé, structuré) sur les comportements tribologiques.
- Développer une modélisation du contact tribologique en tenant compte de la géométrie et des propriétés mécaniques/thermomécaniques des surfaces en interaction.
- Évaluer l'impact de ces phénomènes sur la fiabilité des procédés industriels, en particulier les assemblages par boulonnage.

Méthodologie

Le travail s'appuiera sur une démarche expérimentale et numérique combinée :

1. Campagne expérimentale :

- Réalisation d'essais de frottement sur tribomètre en conditions contrôlées (pression, vitesse, température).
- Caractérisation des surfaces avant et après essai (SEM, EBSD, AFM) pour identifier les transformations microstructurales.
- Analyse de la morphologie et de la composition du troisième corps.

2. Maîtrise de l'état de surface :

- Préparation de la contre-surface avec différentes rugosités : polissage miroir, rectification, sablage, structuration laser ou autre.
- Étude de l'influence de la topographie initiale sur la localisation des efforts et la formation de zones hyperdéformées.

3. Modélisation tribologique :

- Mise en place d'un modèle analytique ou numérique (par éléments finis) du contact à l'interface.
- Intégration des effets de la rugosité, de la plasticité locale et du transfert de matière (formation du 3e corps).

Retombées attendues et perspectives

Les résultats attendus de cette recherche auront des retombées importantes :

- Scientifiques : meilleure compréhension des mécanismes tribologiques en conditions extrêmes, validation de modèles prédictifs.
- Technologiques : optimisation des procédés d'hyperdéformation à froid, amélioration de la durabilité des interfaces mécaniques.
- Industrielles : transfert potentiel vers des applications aéronautiques (assemblages critiques dans le cadre d'autres couples de matériaux).

De plus, cette thèse contribuera à la consolidation des compétences locales sur les tribomètres avancés et la caractérisation des transformations de surface, tout en renforçant la coopération entre les départements D2 et D3 du LEM3 ainsi qu'avec l'Institut Jean Lamour de Nancy (collaboration sur la préparation des surfaces).

Références bibliographiques

- [1] Pougis, A., et al. (2013). Dry friction of steel under high pressure in quasi-static conditions. *Tribology International*, 67, 27–35.
- [2] Franoux, C., et al. (2022). Tribomètre et procédé de mesure de propriétés tribologiques. Brevet INPI FR2201441.
- [3] Massion, R., et al. (2022). Enhancement of a Tribometer Device Dedicated to Quasi-Static Friction Conditions Under High Pressure. *Tribology Letters*, 70(2).
- [4] Hutchings, I. M., & Shipway, P. (2017). *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- [5] Godet, M. (1984). The third-body approach: A mechanical view of wear. *Wear*, 100(1–3), 437–452.
- [6] Franoux, C. (2023). Contribution expérimentale au frottement sec dans les procédés d'hyperdéformation : application au couple cuivre/acier. Thèse, Université de Lorraine.
- [7] Pavlik, A., et al. (2020). Improving the surface durability of patterned AISI 316LM steels by nitriding treatment for dry friction sliding. *Tribology International*, 146.

Ecole doctorale

En tant que doctorant, vous serez inscrit à l'Université de Lorraine et ferez partie de l'école doctorale C2MP (Chimie, Mécanique, Matériaux, Physique : Chimie, Mécanique, Matériaux, Physique). Vous aurez l'opportunité de bénéficier d'un large éventail de formations au cours de votre doctorat.

Laboratoire d'accueil

Le Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) de l'Université de Lorraine, associé au CNRS et aux Arts et Métiers, est un centre de recherche de renommée internationale. Avec plus de 250 membres, dont environ 70 doctorants, il offre un environnement scientifique dynamique et pluridisciplinaire. Structuré en trois départements et doté de plateformes technologiques de pointe (MécaRhéo, MicroMat, Procédés), le LEM3 permet de mener des recherches à la fois fondamentales et appliquées. Chaque année, il produit près de 150 publications et fait soutenir une vingtaine de thèses. Faire un doctorat au LEM3, c'est intégrer un laboratoire d'excellence, bénéficier d'un encadrement de qualité et contribuer à des projets innovants, à fort impact scientifique et industriel et répondant aux grands défis sociétaux actuels. <https://lem3.univ-lorraine.fr/>

Vous aurez, plus particulièrement, accès aux plateaux techniques de tribologies et d'hyperdéformations appartenant à la plateforme Procédés labellisée INFRA+ et LUE (ce sont deux labels de qualité de l'Université de Lorraine qui atteste de l'expertise et de la maîtrise de différents outils expérimentaux et technologiques). <https://lem3.univ-lorraine.fr/plateforme-procedes/>

Equipe d'accueil

Vous ferez partie de l'axe « développement et optimisation de procédés en lien avec les microstructures » du département 2 (IMPACT) et de l'équipe Thermomécanique du Contact Rapide du département 3 (T-PRIOM).

Direction de la thèse : Pr. Roxane Massion (experte en hyperdéformations), Dr-Ing. Julien Vincent (IR CNRS, expert en instrumentation)

Encadrement scientifique : Pr. Sylvain Philippon (expert en tribologie)

Contrat doctoral

La présente thèse fera l'objet d'un financement dans le cadre d'un contrat doctoral, accordé pour une durée de trois ans. Ce contrat, établi conformément à la réglementation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, assure au doctorant un statut de personnel contractuel de droit public et une rémunération mensuelle lui permettant de se consacrer à temps plein à ses travaux de recherche. Par ailleurs, le doctorant pourra, s'il le souhaite, effectuer des missions complémentaires d'enseignement au sein de l'Université de Lorraine (IUT GMP Metz ou ENIM). Ces activités pédagogiques, réalisées dans la limite fixée par la réglementation, offriront non seulement une première expérience dans l'enseignement supérieur, mais également un complément de rémunération.

Candidature

Les postulants devront être titulaires d'un M2 Recherche ou d'un diplôme d'ingénieur équivalent avec comme spécialité la mécanique ou la science des matériaux. Une expérience dans le domaine expérimental est souhaitable. Une bonne expression écrite en français et en anglais est souhaitée.

CV détaillé, lettre de motivation et relevés de notes de master sont à envoyer à roxane.massion@univ-lorraine.fr et julien.vincent@univ-lorraine.fr. Des lettres de recommandation ne sont pas nécessaires, mais veuillez inclure les coordonnées de vos références.