



Proposition de thèse de doctorat

Comportement et performance tribologiques des verres métalliques massifs

Environnement de travail

Le doctorant effectuera ses travaux au **Département de Mécanique Appliquée** de l'Institut Femto-ST¹ à **Besançon**, et plus particulièrement au sein du groupe « **Tribologie, Fonctionnalisation et Caractérisation des Surfaces** » (**TFCS**). Ce groupe de recherche rassemble une dizaine de personnes (chercheurs, ingénieurs, doctorants et post-doctorants) qui sont spécialistes en tribologie (étude du frottement et de l'usure). Le groupe TFCS possède une grande expertise dans l'étude du comportement tribologique de tous types de matériaux liés à une large variété d'applications industrielles, et dispose de **nombreux outils de caractérisation** de surface ainsi que de **dispositifs expérimentaux** dédiés à l'étude du frottement et de l'usure (des tribomètres) qui sont développés en interne.

La ville de Besançon, située à proximité de la Suisse et à 2h30 de Paris ou Lyon, est le centre d'une aire urbaine très dynamique d'environ 250 000 habitants. Proclamée 1^{ère} ville verte de France, elle jouit d'une qualité de vie citadine très reconnue.

Contexte

Les verres métalliques massifs, ou **alliages métalliques amorphes (AMA)**, sont des matériaux émergents qui sont obtenus par un procédé de fabrication innovant consistant à refroidir extrêmement rapidement un alliage métallique initialement porté à l'état liquide. Il en résulte un alliage non-cristallin qui présente des **propriétés mécaniques exceptionnelles** comparées à celles des alliages cristallins classiques [1,2] : limite d'élasticité extrêmement haute, dureté élevée, grande capacité de déformation...etc. De ce fait, les AMA sont des matériaux très prometteurs pour un vaste panel d'applications principalement liées aux microtechniques et touchant des secteurs industriels variés (spatial, horlogerie, biomédical...etc). Néanmoins, l'utilisation de ces matériaux reste encore limitée à l'échelle industrielle car leur **comportement tribologique est encore mal compris et peu prédictible**. Une attente industrielle forte existe donc afin de fiabiliser les performances tribologiques des AMA.

Le groupe TFCS étudie le comportement et les performances tribologiques des AMA via une approche expérimentale [3], et en étroite collaboration avec Vulkam² qui est l'unique société européenne à produire en série des AMA de compositions variées. Le doctorant viendra renforcer l'équipe projet liée à cette étude dans le cadre du **projet ANR TriboRAMA** qui a débuté en février 2020. Il effectuera ainsi l'essentiel de ces travaux à l'Institut Femto-ST, mais travaillera en très forte interaction avec les sociétés Vulkam et AFULudine³ ainsi qu'avec le laboratoire SIMaP⁴, qui sont tous partenaires du projet.

¹ <https://www.femto-st.fr>

² <https://www.vulkam.com>

³ <https://afuludine.com>

⁴ <https://simap.grenoble-inp.fr>



Missions et objectifs de la thèse

L'objectif ultime du travail de thèse sera d'optimiser la **fiabilité tribologique (frottement et usure) des AMA** en vue de leur utilisation dans des applications où ils sont soumis à des actions de contact. Pour ce faire, il s'agira d'améliorer notre compréhension des mécanismes physiques mis en jeu lors du frottement de ces matériaux particuliers. La démarche proposée s'appuie sur un dialogue entre :

- **L'analyse des signaux mécaniques** mesurés au cours d'**essais de frottement en glissement et en roulement** qui seront conduits à l'aide de 2 dispositifs expérimentaux instrumentés. Ces essais seront réalisés sur diverses nuances d'AMA et en faisant varier les conditions de contact (pression, vitesse). Le post-traitement des données expérimentales sera réalisé à l'aide de scripts Matlab qu'il s'agira de programmer et de logiciels déjà développés en interne.
- **La Caractérisation des modifications de surface** induites par le frottement (usure, endommagements, changements structuraux et physicochimiques) via diverses techniques d'analyse disponibles au laboratoire (MEB, DRX, rugosimétrie 3D, FTIR, XPS, AFM...).

Par la suite, et à partir des résultats obtenus sur les AMA « bruts », l'optimisation des performances tribologiques sera évaluée via 2 stratégies distinctes, en fonction des nuances considérées :

- **La fonctionnalisation en volume des AMA** par croissance partielle et contrôlée de nano-précipités cristallins, en partenariat avec le laboratoire SIMaP.
- **La fonctionnalisation en surface des AMA** par greffage de molécules organiques, en partenariat avec la société AFULudine qui est spécialisée dans ce domaine.

In fine, les travaux doivent permettre d'identifier les nuances d'AMA (bruts ou fonctionnalisés) et les gammes de conditions de contact associées, qui permettront d'atteindre la fiabilité tribologique recherchée.

Perspectives pour le doctorant

Le doctorant bénéficiera d'une expérience professionnelle dans les domaines : **matériaux, (micro)mécanique, caractérisation des surfaces, et post-traitement de données**. Ces compétences sont très recherchées dans les **services R&D** de nombreux industriels mais également dans les laboratoires de recherche académiques si le doctorant désire s'orienter vers une carrière de **chercheur**. S'il le souhaite, le doctorant aura également la possibilité d'effectuer des vacances d'enseignement en mécanique/matériaux. Enfin, les travaux en interaction avec les 2 sociétés partenaires offriront au doctorant une ouverture sur le monde industriel.

Compétences recherchées

Disciplines clefs : Mécanique, Matériaux, Surfaces, Traitement du signal.

Aptitude à travailler en équipe – Précision et rigueur – Goût pour les travaux expérimentaux – Capacité à rendre compte des travaux – Autonomie et initiative – Motivation et enthousiasme – Bon niveau d'Anglais

Informations et candidature

- Les candidatures sont à adresser par mail à Pierre-Henri CORNUAULT : pierre-henri.cornuault@ens2m.fr
- Contrat de 3 ans à partir d'octobre 2020. Salaire net : env. 1700 € / mois + vacances d'enseignement si souhaitées mais non obligatoires (env. 200 € net / mois).

Références :

1. Greer, A.L. Metallic glasses...on the threshold. *Mater. Today* **2009**, *12*, 14–22.
2. Inoue, A. Bulk Glassy Alloys: Historical Development and Current Research. *Engineering* **2015**, *1*, 185–191.
3. Cornuault, P.-H.; Colas, G.; Lenain, A.; Daudin, R.; Gravier, S. On the diversity of accommodation mechanisms in the tribology of Bulk Metallic Glasses. *Tribol. Int.* **2020**, *141*.