

<b>Titre de la thèse/Thesis title : NanoMécanique des matériaux tribologiques</b>
<b>Laboratoire d'accueil / Host Laboratory : Institut FEMTO-ST / département MN2S</b>
<b>Spécialité du doctorat préparé/Speciality : Science pour l'ingénieur, nano-caractérisation, tribologie</b>
<b>Mots-clefs / Keywords : Nanomécanique, tribologie, sciences des matériaux</b>
<b>Descriptif détaillé de la thèse / Job description</b>
<p><u>Introduction / contexte :</u></p> <p>Rechercher de nouvelles solutions aux problématiques énergétiques et environnementales se doit d'inclure la tribologie. Bien que d'importantes recherches eurent été menées en tribologie avec un grand nombre de nouveaux lubrifiants (revêtements, huiles, graisses), l'impact négatif du frottement et de l'usure sur l'économie et l'environnement reste important et des efforts sont encore nécessaires [1,2]. Cependant, le défi de la tribologie est qu'une compréhension complète des processus régissant le comportement tribologique et la durée de vie de l'usure, afin de les prédire, nécessite de comprendre la synergie existante entre la mécanique, la physico-chimie et la thermodynamique au sein du contact [3]. Le plus grand défi est "la complexité des mesures directes et l'inséparabilité de divers mécanismes multiphysiques dans les interfaces réelles" [4] qui doivent être traitées. Ceci est particulièrement vrai pour la tribologie des contacts lubrifiés à sec qui voient leur configuration (état des propriétés des surfaces en contact, et nature de l'interface) évoluer perpétuellement. Quelle que soit la pureté des matériaux composant les lubrifiants secs, une fois exposés à l'air, ils sont en contact avec des contaminations omniprésentes. Quelques études récentes ont montré de manière inattendue qu'une faible usure peut être le résultat d'une compétition physico-chimique complexe entre les matériaux en contact, ses contaminants internes (en volume et en surface) et externes (provenant de l'environnement gazeux), pour créer des interfaces lubrifiantes grâce à des réactions chimiques activées mécaniquement [5–10]. Ces réactions, qui se produisent parfois dans un état thermodynamique de non-équilibre [4], ont conduit à une auto-élaboration de matériaux composites multiphasés lubrifiants et/ou anti-usure (que nous appelons 3<sup>ème</sup> corps), au sein même du contact.</p> <p>Les propriétés mécaniques de ce 3<sup>ème</sup> corps sont très importantes car elles conditionnent la réponse en frottement, et donc le niveau de frottement et sa stabilité. Il est primordial de développer des stratégies d'accès aux propriétés mécaniques des matériaux interfaciaux créés lors du frottement, mais aussi des particules d'usures (3<sup>ème</sup> corps éjecté du contact). L'environnement très « chahuté » d'une trace de frottement ne permet pas l'utilisation d'approche traditionnelles [11,12] dans bon nombre de situations. En effet, les surfaces peuvent être rugueuses (quelques dizaines à quelques centaines de nanomètres) pour des épaisseurs de matériaux faibles, ou sous forme de « patch » pas nécessairement liés chimiquement au substrat, avec des élévations topographiques locales, etc. Les stratégies communément rencontrées dans la littérature restent très « conventionnelles » et utilisent principalement la nanoindentation (ex-situ et in-situ), la compression de micro-/nano-pilier sans être certain de satisfaire toutes les conditions adéquates à leur emploi [11]. Nous avons récemment développé [13], une approche basée sur la préhension contrôlée des particules d'usures. Il s'agit de prélever directement aux abords du contact les particules avec une micro-pince instrumentée et de faire subir des essais de compression permettant de remonter aux efforts et déformations. Les données obtenues nécessitent néanmoins une étude approfondie. Versatile, et fonctionnelle pour des particules, elle l'est moins pour 3<sup>ème</sup> corps sous forme de longues couches</p>

minces. Pour cela, nous proposons de compléter la micro-préhension, par le développement de l'approche de mesure de propriété mécanique par microscopie à force atomique (AFM) et notamment par l'utilisation du mode PeakForce QNM High Accuracy, disponible depuis cette année à l'institut FEMTO-ST. L'objectif est de développer une stratégie et une méthode de caractérisation des matériaux tribologiques permettant d'accéder aux propriétés élastiques, plastiques, et d'adhésion entre les différents matériaux. Ces données permettront d'alimenter des modèles numériques développés en parallèle au travers de collaborations, tels que des modèles par éléments discrets, notamment sur le dépôt mince lubrifiant à base de MoS<sub>2</sub> [14].

#### Travaux envisagés :

La thèse se déroulera au sein du département MN2S de l'institut FEMTO-ST (Besançon, France, <https://www.femto-st.fr/en/Research-departments/MN2S/Presentation>). Les travaux envisagés focaliseront sur l'analyse des propriétés mécaniques des 3<sup>ème</sup> corps générés dans un contact lubrifié à sec par un dépôt mince (MoS<sub>2</sub>) ayant frotté dans divers environnements (vide, air, air contaminé). Nous avons une expérience très importante sur le MoS<sub>2</sub> [5,14–18]. Le SnO<sub>2</sub>, dont nous maîtrisons la déposition [19] est un cas d'étude très intéressant car il est sensible à des contaminants très spécifiques qui impactent significativement ses performances tribologiques (frottement et usure). Le SnO<sub>2</sub> pourra donc faire office de matériau modèle pour valider l'approche. Le cas applicatif restera le MoS<sub>2</sub>. Il s'agira de développer les méthodes d'analyses aux petites échelles permettant de relier les propriétés mécaniques des 3<sup>ème</sup> corps à leur nature physicochimique et microstructurelles, et au comportement frottement/usure.

#### L'objectif est double :

- 1- Développer une méthode générique de caractérisation et d'analyse mécanique des 3<sup>èmes</sup> corps aux échelles nanométriques par AFM et prélèvement/caractérisation contrôlé in-situ. Nous sommes pionniers actuellement dans les approches in-situ avec prélèvement localisés. Le prélèvement étant fonctionnel, l'étudiant serait principalement utilisateur en interaction avec le département AS2M de l'institut FEMTO-ST
- 2- Avoir un premier lien quantitatif entre propriétés mécanique des 3<sup>èmes</sup> corps, leur nature chimique (lien avec l'environnement d'essai), et le coefficient de frottement. Un couplage, selon une méthode d'investigation éprouvée, avec les analyses de surfaces par Microscopie Electronique à Balayage (MEB), et chimique des environnement (spectrométrie de masse durant les essais) et des surfaces (XPS, Raman) sera utilisé pour compléter les mesures mécaniques.

#### **Références bibliographiques / Bibliography**

- [1] K. Holmberg, A. Erdemir, Influence of tribology on global energy consumption , costs and emissions, *Friction*. 5 (2017) 263–284.
- [2] Mr. Ryan, H. res. 916 - Recognizing the impact of tribology on the United States economy and competitiveness in providing solutions to critical technical problems in manufacturing, energy production and use, transportation vehicles and infrastructure, greenhouse ga, The House of Representatives, 2016.
- [3] S.S. Perry, W.T. Tysoe, Frontiers of fundamental tribological research, *Tribol. Lett.* 19 (2005) 151–161. <https://doi.org/10.1007/s11249-005-6142-8>.
- [4] A.I. Vakis, V.A. Yastrebov, J. Scheibert, L. Nicola, D. Dini, C. Minfray, A. Almqvist, M. Paggi, S. Lee, G. Limbert, J.F. Molinari, G. Anciaux, R. Aghababaei, S. Echeverri Restrepo, A. Papangelo, A. Cammarata, P. Nicolini, C. Putignano, G. Carbone, S. Stupkiewicz, J. Lengiewicz, G. Costagliola, F. Bosia, R. Guarino, N.M. Pugno, M.H. Müser, M. Ciavarella, Modeling and simulation in tribology across scales: An overview, *Tribol. Int.* 125 (2018) 169–

199. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.005>.
- [5] G. Colas, A. Saulot, N. Bouscharain, C. Godeau, Y. Michel, Y. Berthier, How far does contamination help dry lubrication efficiency?, *Tribol. Int.* 65 (2013) 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2012.12.011>.
- [6] G. Colas, A. Saulot, D. Philippon, Y. Berthier, D. Leonard, Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy investigation of the chemical rearrangement undergone by MoS<sub>2</sub> under tribological conditions, *Thin Solid Films*. 588 (2015) 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.051>.
- [7] G. Colas, A. Saulot, D. Philippon, Y. Berthier, D. Léonard, Tribochemical competition within a MoS<sub>2</sub>/Ti dry lubricated macroscale contact in ultrahigh vacuum: a Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry investigation, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 10 (2018) 20106–20119. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b02999>.
- [8] X. Chen, T. Kato, M. Nosaka, Origin of superlubricity in a-C:H:Si films: A relation to film bonding structure and environmental molecular characteristic, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 6 (2014) 13389–13405. <https://doi.org/10.1021/am502416w>.
- [9] N. Argibay, T.F. Babuska, J.F. Curry, M.T. Dugger, P. Lu, D.P. Adams, B.L. Nation, B.L. Doyle, M. Pham, A. Pimentel, C. Mowry, A.R. Hinkle, M. Chandross, In situ tribochemical formation of self-lubricating diamond-like carbon films, *Carbon N. Y.* 138 (2018) 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.06.006>.
- [10] P.-H. Cornuault, G. Colas, A. Lenain, R. Daudin, S. Gravier, On the diversity of accommodation mechanisms in the tribology of Bulk Metallic Glasses, *Tribol. Int.* 141 (2020) 105957. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105957>.
- [11] R.R. Chromik, Y. Zhang, Nanomechanical testing of third bodies, *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* 22 (2018) 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2018.05.001>.
- [12] D. Siniscalco, O. Arnould, A. Bourmaud, A. Le Duigou, C. Baley, Monitoring temperature effects on flax cell-wall mechanical properties within a composite material using AFM, *Polym. Test.* 69 (2018) 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.009>.
- [13] R. Hannouch, V. Reynaud, G. Colas, J. Rauch, J. Agnus, O. Lehmann, F. Marionnet, C. Clévy, In-situ SEM Microrobotics for Versatile Force/Deformation Characterization: Application to Third-Body MoS<sub>2</sub> Wear Particles, *J. Micro Bio Robot.* submitted (2024).
- [14] G. Colas, S. Pajovic, A. Saulot, M. Renouf, P. Cameron, Adhesion Measurements in MoS<sub>2</sub> Dry Lubricated Contacts to Inform Predictive Tribological Numerical Models: Comparison Between Laboratory-Tested Samples and Ball Bearings From The NIRISS Mechanism, in: *Conf. Proc. 17th Eur. Sp. Mech. Tribol. Symp.*, Hatfield, UK, 2017. <http://esmat.eu/esmatpapers/pastpapers/pdfs/2017/colas.pdf>.
- [15] G. Colas, A. Saulot, C. Godeau, Y. Michel, Y. Berthier, Decrypting third body flows to solve dry lubrication issue - MoS<sub>2</sub> case study under ultrahigh vacuum, *Wear*. 305 (2013) 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.06.007>.
- [16] G. Colas, P. Serles, A. Saulot, T. Filleter, Strength measurement and rupture mechanisms of a micron thick nanocrystalline MoS<sub>2</sub> coating using AFM based micro-bending tests, *J. Mech. Phys. Solids*. 128 (2019) 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2019.04.007>.
- [17] P. Serles, H. Sun, G. Colas, J. Tam, E. Nicholson, G. Wang, J. Howe, A. Saulot, C.V. Singh, T. Filleter, Structure-Dependent Wear and Shear Mechanics of Nanostructured MoS<sub>2</sub> Coatings, *Adv. Mater. Interfaces*. 7 (2020). <https://doi.org/10.1002/admi.201901870>.
- [18] P. Serles, E. Nicholson, J. Tam, N. Barri, J.B. Chemin, G. Wang, Y. Michel, C.V. Singh, P. Choquet, A. Saulot, T. Filleter, G. Colas, High Performance Space Lubrication of MoS<sub>2</sub> with Tantalum, *Adv. Funct. Mater.* 2110429 (2022) 1–10. <https://doi.org/10.1002/adfm.202110429>.
- [19] A. El Mohajir, M.A. Pour Yazdi, A. Krystianiak, O. Heintz, N. Martin, F. Berger, J.-B. Sanchez, Nanostructuring of SnO<sub>2</sub> Thin Films by Associating Glancing Angle Deposition and Sputtering Pressure for Gas Sensing Applications, *SSRN Electron. J.* (2022) 1–15.
- [20] T. Arif, G. Colas, T. Filleter, Effect of Humidity and Water Intercalation on the Tribological Behavior of Graphene and Graphene Oxide, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 10 (2018) 22537–

22544. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b03776>.

- [21] T. Arif, S. Yadav, G. Colas, C.V. Singh, T. Filleter, Understanding the Independent and Interdependent Role of Water and Oxidation on the Tribology of Ultrathin Molybdenum Disulfide (MoS<sub>2</sub>), *Adv. Mater. Interfaces*. 6 (2019). <https://doi.org/10.1002/admi.201901246>.
- [22] T. Arif, G. Wang, R.N.S. Sodhi, G. Colas, T. Filleter, Role of chemical vs. physical interfacial interaction and adsorbed water on the tribology of ultrathin 2D-material/steel interfaces, *Tribol. Int.* 163 (2021) 107194. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107194>.

### **Profil demandé / Applicant profile**

Master 2 ou cursus Ingénieur en mécanique/science des matériaux ; physique du solide

Preferred selection criteria:

- Connaissance en caractérisation des surfaces et des matériaux (physico-chimie, topographie, microstructure, et mécanique)
- Connaissance en microscopie à force atomique
- Expérience en conduite d'essais expérimentaux et analyse de données
- Connaissance en tribologie est un plus

Personal characteristics:

- Autonomie
- Goût pour le travail d'équipe
- Goût pour le travail expérimental

### **Financement : MESRI Etablissement**

Dossier à envoyer pour le 27/05/2024

Début du contrat : 1<sup>er</sup> Octobre 2024

Salaire mensuel brut : 1975€

### **Direction de la thèse:/ Thesis Supervisor**

**Franck BERGER**, [franck.berger@univ-fcomte.fr](mailto:franck.berger@univ-fcomte.fr)

### **Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)**

**COLAS Guillaume** (co-directeur, [guillaume.colas@femto-st.fr](mailto:guillaume.colas@femto-st.fr))

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Lettre de motivation
- A minima 1 lettre de recommandation
- Bulletin de note du cursus Master, avec le classement si possible

**Titre de la thèse/Thesis title : NanoMechanics of Materials for Tribology**

**Laboratoire d'accueil / Host Laboratory : Institut FEMTO-ST / département MN2S**

**Spécialité du doctorat préparé/Speciality : engineering sciences, nanocharacterization, tribology**

**Mots-clefs / Keywords : Nanomechanics, tribology, material sciences**

**Descriptif détaillé de la thèse / Job description**

Introduction / context:

Developing new solutions to solve energy and environmental problems must include tribology. Although significant research has been carried out in tribology, with a large number of new lubricants (coatings, oils, greases), the negative impact of friction and wear on the economy and the environment remains significant, and efforts are still needed [1,2]. However, the challenge of tribology is that a complete understanding of the processes governing tribological behavior and wear life, in order to predict them, requires an understanding of the existing synergy between mechanics, physical chemistry and thermodynamics within the contact [3]. The greatest challenge is "the complexity of direct measurements and the inseparability of various multiphysical mechanisms in real interfaces" [4] that must be considered. This is particularly true of the tribology of dry-lubricated contacts, whose configuration (properties of the surfaces in contact, and the nature of the interface) is constantly evolving. Whatever the purity of the materials making up dry lubricants, once exposed to air they come into contact with ubiquitous contaminants. Some recent studies have unexpectedly shown that low wear may be the result of a complex physico-chemical competition between the materials in contact, their internal contaminants (in volume and surface) and external contaminants (from the gaseous environment), to create lubricating interfaces through mechanically activated chemical reactions [5–10]. These reactions have led to the self-elaboration of multiphase lubricating and/or anti-wear composite materials (which we call 3<sup>rd</sup> bodies), within the contact itself.

The mechanical properties of this 3<sup>rd</sup> body are very important, as they affect the friction response, and therefore the level of friction and its stability. It is essential to develop strategies for accessing the mechanical properties of the interfacial materials created during friction, and also of the wear particles (3<sup>rd</sup> body ejected from the contact). The highly "chaotic" environment of a friction track does not allow the use of traditional approaches [11,12] in large number of cases. Indeed, surfaces can be rough (a few tens to a few hundreds of nanometers) for low material thicknesses, or in the form of "patches" not necessarily chemically bonded to the substrate, with local topographic elevations, and so on. The strategies commonly encountered in the literature remain "conventional" and mainly use nanoindentation (ex-situ and in-situ) and micro/nano-pillar compression, without being certain of satisfying all the appropriate conditions for these techniques. [11]. We recently developed [13] an approach based on controlled gripping of wear particles. The particles are sampled directly in the vicinity of the contact with an instrumented micro-gripper, and compression tests are carried out to determine stresses and strains. However, the data obtained require further study. Versatile and functional for particles, it is not as effective for 3<sup>rd</sup> bodies in the form of long thin layers. To this end, we are proposing to complement our micro-comprehension by developing an approach for measuring mechanical properties using atomic force microscopy (AFM), and in particular by using the PeakForce QNM High Accuracy mode, available since this year at the FEMTO-ST institute. The aim is to develop a strategy and a method for characterizing tribological materials, providing access to elastic, plastic, and adhesion properties of the different materials presents inside

the contact interface. These data will be used to feed numerical models developed in parallel through collaborations, such as discrete element models, notably for MoS<sub>2</sub>-based lubricant thin deposition. [14].

#### Proposed work:

The thesis will be carried out in the MN2S department of FEMTO-ST Institute (Besançon, France, <https://www.femto-st.fr/en/Research-departments/MN2S/Presentation>). The work envisaged will focus on analyzing the mechanical properties of 3rd bodies generated in a dry lubricated contact by a thin coating (MoS<sub>2</sub>) that underwent friction in various environments (vacuum, air, contaminated air). We have extensive experience with MoS<sub>2</sub> [5,14–18]. The SnO<sub>2</sub> material, whose deposition we have mastered [19], is a very interesting case study, as it is sensitive to very specific contaminants which have a significant impact on its tribological performance (friction and wear). SnO<sub>2</sub> can therefore be used as a benchmark material to validate the approach. The application case will remain MoS<sub>2</sub>. The aim is to develop small-scale analysis methods linking the mechanical properties of the 3rd bodies to their physicochemical and microstructural nature, and to their friction/wear behavior.

#### The objectives are :

- 1- Develop a generic method for the characterization and mechanical analysis of 3rd bodies at nanometric scales using AFM and controlled in-situ sampling/characterization. We are currently pioneering in-situ approaches with localized sampling. As the sampling is functional, the student will mainly interact with the AS2M department at FEMTO-ST to use the existing device.
- 2- Establish a first quantitative link between the mechanical properties of the 3rd bodies, their chemical nature (linked to the test environment), and the coefficient of friction. Coupling, using a well-proven investigation method, with surface analysis by Scanning Electron Microscopy (SEM), and chemical analysis of the environment (mass spectrometry during testing) and surfaces (XPS, Raman) will be used to complement the mechanical measurements.

#### **Références bibliographiques / Bibliography**

- [1] K. Holmberg, A. Erdemir, Influence of tribology on global energy consumption , costs and emissions, *Friction*. 5 (2017) 263–284.
- [2] Mr. Ryan, H. res. 916 - Recognizing the impact of tribology on the United States economy and competitiveness in providing solutions to critical technical problems in manufacturing, energy production and use, transportation vehicles and infrastructure, greenhouse ga, The House of Representatives, 2016.
- [3] S.S. Perry, W.T. Tysoe, Frontiers of fundamental tribological research, *Tribol. Lett.* 19 (2005) 151–161. <https://doi.org/10.1007/s11249-005-6142-8>.
- [4] A.I. Vakis, V.A. Yastrebov, J. Scheibert, L. Nicola, D. Dini, C. Minfray, A. Almqvist, M. Paggi, S. Lee, G. Limbert, J.F. Molinari, G. Anciaux, R. Aghababaei, S. Echeverri Restrepo, A. Papangelo, A. Cammarata, P. Nicolini, C. Putignano, G. Carbone, S. Stupkiewicz, J. Lengiewicz, G. Costagliola, F. Bosia, R. Guarino, N.M. Pugno, M.H. Müser, M. Ciavarella, Modeling and simulation in tribology across scales: An overview, *Tribol. Int.* 125 (2018) 169–199. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.005>.
- [5] G. Colas, A. Saulot, N. Bouscharain, C. Godeau, Y. Michel, Y. Berthier, How far does contamination help dry lubrication efficiency?, *Tribol. Int.* 65 (2013) 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2012.12.011>.
- [6] G. Colas, A. Saulot, D. Philippon, Y. Berthier, D. Leonard, Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy investigation of the chemical rearrangement undergone by MoS<sub>2</sub> under

- tribological conditions, *Thin Solid Films*. 588 (2015) 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.051>.
- [7] G. Colas, A. Saulot, D. Philippon, Y. Berthier, D. Léonard, Tribochemical competition within a MoS<sub>2</sub>/Ti dry lubricated macroscale contact in ultrahigh vacuum: a Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry investigation, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 10 (2018) 20106–20119. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b02999>.
- [8] X. Chen, T. Kato, M. Nosaka, Origin of superlubricity in a-C:H:Si films: A relation to film bonding structure and environmental molecular characteristic, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 6 (2014) 13389–13405. <https://doi.org/10.1021/am502416w>.
- [9] N. Argibay, T.F. Babuska, J.F. Curry, M.T. Dugger, P. Lu, D.P. Adams, B.L. Nation, B.L. Doyle, M. Pham, A. Pimentel, C. Mowry, A.R. Hinkle, M. Chandross, In situ tribochemical formation of self-lubricating diamond-like carbon films, *Carbon N. Y.* 138 (2018) 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.06.006>.
- [10] P.-H. Cornuault, G. Colas, A. Lenain, R. Daudin, S. Gravier, On the diversity of accommodation mechanisms in the tribology of Bulk Metallic Glasses, *Tribol. Int.* 141 (2020) 105957. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105957>.
- [11] R.R. Chromik, Y. Zhang, Nanomechanical testing of third bodies, *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* 22 (2018) 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2018.05.001>.
- [12] D. Siniscalco, O. Arnould, A. Bourmaud, A. Le Duigou, C. Baley, Monitoring temperature effects on flax cell-wall mechanical properties within a composite material using AFM, *Polym. Test.* 69 (2018) 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.009>.
- [13] R. Hannouch, V. Reynaud, G. Colas, J. Rauch, J. Agnus, O. Lehmann, F. Marionnet, C. Clévy, In-situ SEM Microrobotics for Versatile Force/Deformation Characterization: Application to Third-Body MoS<sub>2</sub> Wear Particles, *J. Micro Bio Robot.* submitted (2024).
- [14] G. Colas, S. Pajovic, A. Saulot, M. Renouf, P. Cameron, Adhesion Measurements in MoS<sub>2</sub> Dry Lubricated Contacts to Inform Predictive Tribological Numerical Models: Comparison Between Laboratory-Tested Samples and Ball Bearings From The NIRISS Mechanism, in: *Conf. Proc. 17th Eur. Sp. Mech. Tribol. Symp.*, Hatfield, UK, 2017. <http://esmat.eu/esmatpapers/pastpapers/pdfs/2017/colas.pdf>.
- [15] G. Colas, A. Saulot, C. Godeau, Y. Michel, Y. Berthier, Decrypting third body flows to solve dry lubrication issue - MoS<sub>2</sub> case study under ultrahigh vacuum, *Wear*. 305 (2013) 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.06.007>.
- [16] G. Colas, P. Serles, A. Saulot, T. Filleter, Strength measurement and rupture mechanisms of a micron thick nanocrystalline MoS<sub>2</sub> coating using AFM based micro-bending tests, *J. Mech. Phys. Solids*. 128 (2019) 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2019.04.007>.
- [17] P. Serles, H. Sun, G. Colas, J. Tam, E. Nicholson, G. Wang, J. Howe, A. Saulot, C.V. Singh, T. Filleter, Structure-Dependent Wear and Shear Mechanics of Nanostructured MoS<sub>2</sub> Coatings, *Adv. Mater. Interfaces*. 7 (2020). <https://doi.org/10.1002/admi.201901870>.
- [18] P. Serles, E. Nicholson, J. Tam, N. Barri, J.B. Chemin, G. Wang, Y. Michel, C.V. Singh, P. Choquet, A. Saulot, T. Filleter, G. Colas, High Performance Space Lubrication of MoS<sub>2</sub> with Tantalum, *Adv. Funct. Mater.* 2110429 (2022) 1–10. <https://doi.org/10.1002/adfm.202110429>.
- [19] A. El Mohajir, M.A. Pour Yazdi, A. Krystianiak, O. Heintz, N. Martin, F. Berger, J.-B. Sanchez, Nanostructuring of SnO<sub>2</sub> Thin Films by Associating Glancing Angle Deposition and Sputtering Pressure for Gas Sensing Applications, *SSRN Electron. J.* (2022) 1–15.
- [20] T. Arif, G. Colas, T. Filleter, Effect of Humidity and Water Intercalation on the Tribological Behavior of Graphene and Graphene Oxide, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 10 (2018) 22537–22544. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b03776>.
- [21] T. Arif, S. Yadav, G. Colas, C.V. Singh, T. Filleter, Understanding the Independent and Interdependent Role of Water and Oxidation on the Tribology of Ultrathin Molybdenum Disulfide (MoS<sub>2</sub>), *Adv. Mater. Interfaces*. 6 (2019). <https://doi.org/10.1002/admi.201901246>.
- [22] T. Arif, G. Wang, R.N.S. Sodhi, G. Colas, T. Filleter, Role of chemical vs. physical interfacial interaction and adsorbed water on the tribology of ultrathin 2D-material/steel interfaces,

**Profil demandé / Applicant profile**

Master 2 (or Engineering equivalent) in mechanics, materials sciences, surface sciences, physics of solid

Preferred selection criteria:

- Knowledge of surface and materials characterization (physical chemistry, topography, microstructure, and mechanics)
- Knowledge of atomic force microscopy
- Experience in experimental testing and data analysis
- Knowledge in tribology in a plus

Personal characteristics:

- Autonomy
- A taste for teamwork
- A taste for experimental work

**Financement : MESRI Etablissement**

Dossier à envoyer pour le 27/05/2024

Début du contrat : 1<sup>er</sup> Octobre 2024

Salaire mensuel brut : 1975€

**Direction de la thèse:/ Thesis Supervisor**

**Franck BERGER, [franck.berger@univ-fcomte.fr](mailto:franck.berger@univ-fcomte.fr)**

**Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)**

**COLAS Guillaume (co-directeur), [guillaume.colas@femto-st.fr](mailto:guillaume.colas@femto-st.fr)**

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Cover letter
- At least 1 reference letter
- Transcript from Master, with ranking if available