

Lois d'usure à l'échelle nanométrique

**Responsable de Master : Olivier Noel (IMMM-Le Mans) ; Co-responsable : D. Mounier (IMMM-Le Mans) ; Co-responsable : P-E Mazeran (UTC-Compiègne).
Collaboration Internationale avec l'Autriche.**

L'usure des matériaux génère des pertes économiques considérables aussi bien en termes de détérioration et ruine des systèmes mécaniques, qu'en termes de dissipation d'énergie. On estime le coût des pertes dues au frottement et à l'usure à près de 3% du PIB¹. L'augmentation du coût de l'énergie, la raréfaction des ressources fossiles, les choix politiques d'abandon de l'énergie nucléaire laissent présager la fin définitive de l'énergie bon marché. Par ailleurs, l'usure a un impact environnemental indirect important (rejet de CO₂, utilisation et retraitement des lubrifiants, problèmes posés par les particules d'usure, rejet de soufre et de phosphore par les moteurs thermiques...).

Le sujet de thèse proposé a pour finalité une meilleure compréhension des mécanismes d'usure à l'échelle nanométrique. Il participe également au développement d'une nouvelle approche expérimentale pour déterminer les propriétés nano-mécaniques des surfaces.

Pour cela il est nécessaire de mettre en œuvre un protocole expérimental original basé sur le mode circulaire AFM (Inventeur : O. Noel et P-E Mazeran – Brevet International Le Mans Université et CNRS), permettant la génération, en un temps raisonnable, d'un chemin de nano-usure significatif^{2,3}. Ce protocole présente des avancées marquantes par rapport aux travaux de la littérature et plus particulièrement ; i) Une vitesse de glissement extrêmement élevée (mm/s) générant une usure limitée à la circonférence d'un cercle et permettant de quantifier de manière fiable le volume de matière usée. Ceci en expulsant les particules d'usure de la zone frottée limitant ainsi la présence de troisième corps dans l'interface de contact ; ii) Une mesure simultanée de la force de frottement et de l'usure permettant de mettre en évidence les corrélations entre frottement et usure ; iii) Des essais permettant de solliciter le matériau dans toutes les directions du plan permettant ainsi de mettre en évidence l'éventuelle anisotropie de l'usure ; iv) Des sollicitations en extrême surface permettant de tester l'extrême surface des matériaux et ainsi les effets des traitements de surfaces ou de couches minces, ceci dans des conditions variées (air, milieu liquide, atmosphère contrôlée...). Un traitement original d'images AFM tridimensionnelles du chemin de nano-usure a été développé pour déterminer quantitativement le volume usé à ces échelles. Le suivi des forces de frottement pendant le processus d'usure peut être également réalisé par un traitement judicieux du signal de torsion du cantilever AFM.

Sur le plan fondamental, l'usure des matériaux est par essence même difficile à générer et à caractériser en raison de la faiblesse des taux d'usure et de la dimension des particules générées. Elle reste donc relativement mal connue au regard de son importance économique et sanitaire et nécessite d'être mieux étudiée et comprise aussi bien d'un point de vue scientifique que d'un point de vue pratique. Par ailleurs, l'extrapolation des lois d'usure macroscopiques est plus que délicate car les processus impliqués à l'échelle nanométrique sont différents.

Sur le plan scientifique, nous développerons notre approche expérimentale en réalisant de manière méthodique des essais d'usure sur des échantillons métalliques.

Ce projet se poursuivra potentiellement par une thèse.

Bibliographie :

1. J.M. Belot et B. Rigaut, Importance économique de l'usure. CETIM info., 141 (1994) 29-32.

2. Noël, O., Vencl, A., Mazeran, P.-E., *Exploring wear at the nano-scale with the circular mode AFM*, *Belstein Journal of Nanotechnology* (2017)
3. Vencl, P-E Mazeran, S. Bellafkih, O.Noël, Assessment of wear behaviour of copper-based nanocomposite at the nanoscale, *Wear* 414–415 (2018) 212–218

Wear laws at the nanoscale

Master Responsible (IMMM-Le Mans) : Olivier Noel ; Co-Supervisor : D. Mounier (IMMM-Le Mans) ; Co-Supervisor : P-E Mazeran (UTC). International Collaboration with Austria.

The wear of materials generates considerable economic losses in terms of deterioration and ruin of the mechanical systems, as well as in terms of energy dissipation. The cost of losses due to friction and wear is estimated at close to 3% of GDP¹. The increase in the cost of energy, the scarcity of fossil fuels, the political choices to abandon nuclear energy suggest the definitive end of cheap energy. In addition, wear has a significant indirect environmental impact (CO₂ emissions, use and reprocessing of lubricants, problems caused by wear particles, sulfur and phosphorus emissions by thermal engines, etc.).

The purpose of the project thesis is to get a better understanding of nanoscale wear mechanisms. It also involves the development of a new experimental approach to determine the nano-mechanical properties of surfaces. For this, it is necessary to implement an original experimental protocol based on the AFM circular mode (Inventors: O. Noel and PE Mazeran - International Patent Le Mans University and CNRS), allowing the generation, in a reasonable time, of a significant nano-wear path^{2,3}.

This protocol presents significant advances compared to the approaches reported in the literature. Especially: i) The implementation of extremely high sliding speeds (mm/s), which results in limited circumferential wear of a circle and allowing reliable quantification of the volume of the worn material. This is done by expelling the wear particles from the rubbed area thus limiting the presence of third body in the contact interface; ii) Simultaneous measurement of the friction force and the wear to reveal the correlations between friction and wear; iii) Probing the material in all directions of the plane thus making it possible to highlight the possible anisotropy of the wear; iv) Application of extreme surface stresses to test the extreme surface of materials and thus the effects of surface treatments or thin layers of oxides or contaminants, and this under various conditions (air, liquid medium, controlled atmosphere ...).

An original treatment of three-dimensional AFM images of the nano-wear path has been developed to quantitatively determine the volume used at these scales. The monitoring of the friction forces during the wear process will also be achieved by judicious processing of the AFM cantilever torsion signal.

Fundamentally, the wear of materials is inherently difficult to generate and characterize due to the low wear rates and the size of the particles generated. It therefore remains relatively poorly known in terms of its economic and health importance and needs to be better studied and understood from both a scientific and a practical point of view. Moreover, the extrapolation of macroscopic wear laws is more than delicate because the processes involved at the nanoscale are different.

On the scientific side, we will develop our experimental approach by methodically performing wear tests on metal samples.

This project will potentially lead to a thesis.

References:

1. J.M. Belot et B. Rigaut, Importance économique de l'usure. CETIM info., 141 (1994) 29-32.
2. Noël, O., Vencl, A., Mazeran, P.-E., *Exploring wear at the nano-scale with the circular mode AFM*, *Belstein Journal of Nanotechnology* (2017)
3. Vencl , P-E Mazeran , S. Bellafkih , O.Noël, Assessment of wear behaviour of copper-based nanocomposite at the nanoscale ,*Wear* 414–415 (2018) 212–218