

Effet de l'indice d'irrégularité de la rugosité sur l'aire réelle de contact, le frottement et l'usure : Vers une analyse tomographique multi-résolutions

H. Zahouani¹, R. Vargiolu¹, MT. Do², H. Procopiou³

1. Université de Lyon, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes. UMR 5513. ECL-ENISE - ENTPE. France

2. LUNAM, Ifsttar, AME-EASE, 44344 Bouguenais, France.

3. Université Paris I, Panthéon-Sorbonne. Protohistoire Égéenne-UMR 7041ArScAn. Institut d'Art et d'Archéologie. Paris. France

Mots clés :

Rugosité, Indice d'irrégularité, analyse multi-fractale, Frottement, Usure

Introduction

La structure géométrique de la rugosité peut être étudiée statistiquement dans une large gamme de longueurs d'onde, de l'échelle nanométrique à la longueur de l'échantillon. La rugosité a toujours été considérée comme une grandeur aléatoire dont les paramètres statistiques sont représentatifs de la rugosité tels que la variance des hauteurs de la rugosité, les pentes locales et les courbures. Cependant, plusieurs études montrent que tous ces paramètres statistiques dépendent fortement de l'échelle d'analyse. Le caractère irrégulier d'une surface apparaît alors comme une propriété globale qui reflète en fait des propriétés locales très particulières comme la non dérivabilité de la fonction topographique $z(x, y)$. En effet, les dispositifs de mesure de la topographie possèdent tous une résolution latérale limite qui rend inaccessible les valeurs des dérivées partielles, quand elles existent. Dans un espace Euclidien, la mesure de la longueur d'une ligne, de l'aire d'une surface ou du volume d'un corps, est indépendante de l'unité de mesure choisie, cette propriété reste non vérifiée pour tout objet de la nature. Les surfaces rugueuses par exemple conservent cet aspect rugueux lorsqu'on augmente le grossissement sous lequel on les observe, ainsi la notion de mesure de longueur de surface où de volume devient dépendante de l'unité de mesure, ce qui laisse penser que la longueur réelle d'un contour rugueux devient infinie si le pas de mesure tend vers zéro !! Ceci a une incidence importante sur la notion de pente et les rayons de courbure des sommets des rugosités. Par conséquent, pour caractériser la rugosité des surfaces, nous nous intéressons à des classes de fonctions continues mais non différentiables.

Modèle multi-fractal de la rugosité[1]

Différents travaux de la littérature montrent que le paramètre de contact local, tel que l'aire la surface de contact, la pression de contact et la force de frottement, dépend de l'échelle de longueur de la rugosité en termes de première ou d'un dérivé de fréquence de rugosité spatiale élevée.

Afin d'analyser l'effet de l'irrégularité de la rugosité dans l'échelle de longueur des problèmes de contact, du frottement et de l'usure, nous introduisons des modèles de génération de surfaces irrégulières par la théorie fractale. Un modèle de contact et de frottement basé sur la transformée de Fourier de l'équation de Boussinesq été développé. Les résultats montrent que l'échelle de rugosité et l'énergie d'adhésion modifient la raideur de contact, le taux de portance et le frottement. L'introduction de la vitesse dans le le modèle de frottement montre l'influence de l'indice d'irrégularité de la rugosité sur le coefficient de frottement dans une large gamme de vitesses de glissement, figure (1).

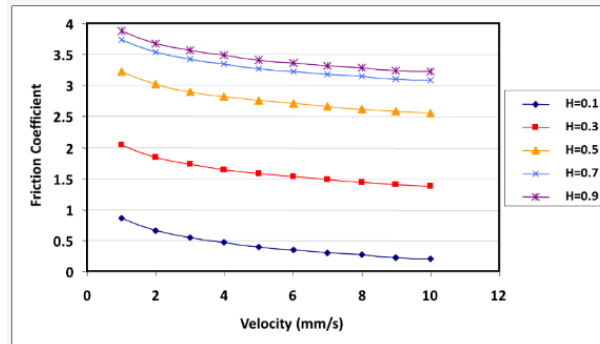


Fig.1. Effet de l’indice d’irrégularité (H) sur le coefficient de frottement d’une sphère en PDMS sur des surfaces modèles fractales en acier

Application à la problématique de l’usure

Dans la problématique de l’usure, ce travail introduit le caractère multi-fractal de la texture des surfaces. La dimension fractale est étudiée dans la gamme d’analyse multi-résolution par ondelettes continues, figure (2). L’exemple de la figure (3) montre l’application de l’approche multi résolution pour l’étude de l’effet du polissage accéléré sur les échelles de la topographie et l’adhérence des granulats routiers. Dans chaque bande de longueur d’onde la dimension fractale est quantifiée à différents stades de l’usure. L’ensemble cette approche sera illustré par des exemples en archéologie en bio-tribologie du cartilage.

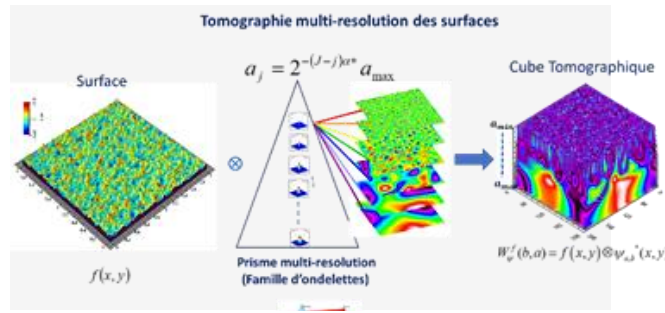


Fig.2 Analyse multi-résolution de la topographie des surface et détermination du cube tomographique

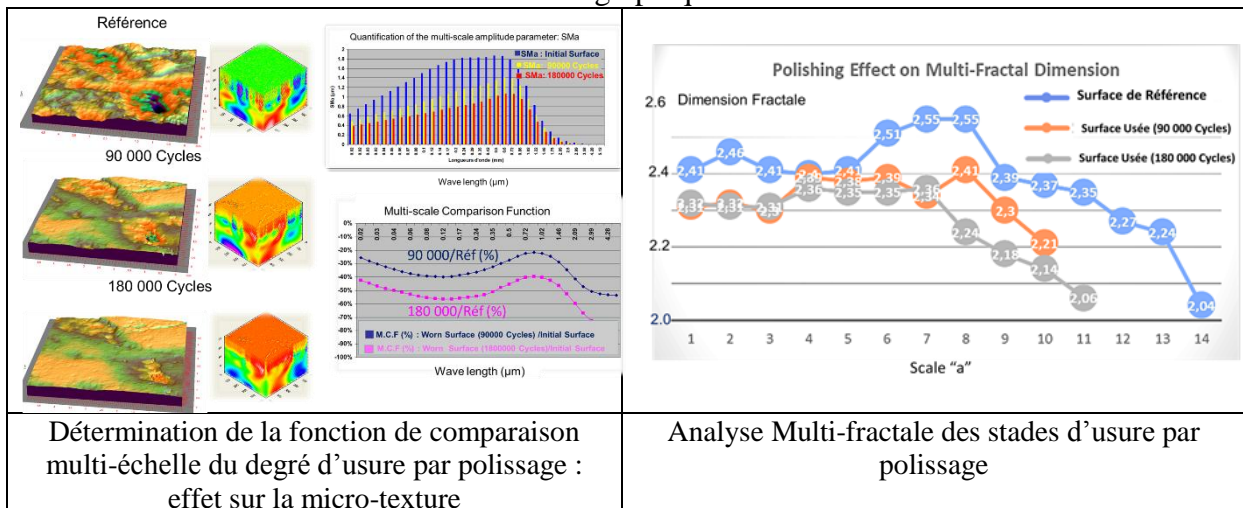


Fig.3 Effet du polissage accéléré sur les échelles de la topographie et l’adhérence des granulats routiers

Références

- Zahouani.H, EL Mansori.M, “Multi-scale and Multi-Fractal of Abrasive Wear Signature of Honing Process” Wear of Materials, (2017), Wear, Volumes 376–377, Part A, 15 April 2017, Pages 178-187