

Étude de l'usure des mécanismes d'horlogerie antiques : application à la restauration du « Tellurium » (1819)

E. Aguila¹, R. Vargiolu², H. Zahouani²

1. Atelier CHRONOS, Conservation et restauration d'horlogerie et d'objets scientifiques

2. Univ Lyon, Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Surfaces, UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, ENI de St Etienne, 69134 ECULLY France

MOTS CLES

Tribologie, horlogerie, restauration, usure des mécanismes, état de surface, analyse multi-échelle

INTRODUCTION

La restauration d'horlogerie antique est une discipline particulièrement concernée par des problématiques de frottement et d'usure. Lors de la restauration de ces mécanismes complexes, les restaurateurs sont régulièrement confrontés à la remise en état de pièces usées, tels que des trous et des pivots, mais ils doivent aussi faire le choix des lubrifiants devant assurer au système mécanique un fonctionnement sans détérioration des pièces.

Dans le cadre d'un projet de restauration, le « Tellurium » (1819) du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) a fait l'objet d'une étude tribologique. Il s'agit d'un instrument scientifique qui appartient à la famille des planétaires mécaniques. Ce dispositif mécanique complexe permet d'un point de vue pédagogique de comprendre les trajectoires de la terre et de la lune autour du soleil.

Dans ce travail, il s'agissait d'identifier les phénomènes d'usure des mécanismes trous/pivots en fonction des lubrifiants afin d'apporter au restaurateur de meilleures préconisations sur la remise en fonction de ces mécanismes d'horlogerie.



Figure 1: Vue partielle du mécanisme du Tellurium

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Pour étudier l'usure des pivots du tellurium, nous avons choisi d'utiliser trois véritables mécanismes d'horlogerie du XIXème siècle et de les faire fonctionner d'une manière comparable au Tellurium. Contrairement à l'utilisation d'un dispositif de simulation du contact pivot/platine, comme un tribomètre, ce choix permet reproduire parfaitement le mécanisme du Tellurium avec des choix matériaux quasi similaire à ceux de la période concernée. Afin d'assurer des mouvements mécaniques similaires à ceux du tellurium, les trois mécanismes ont été préparés. Cette étape de modification a nécessité plus d'une semaine de travail en atelier d'horlogerie.

Le choix des lubrifiants s'est limité à trois produits : cire microcristaline, huile minérale d'horlogerie et huile synthétique. Pour chacun des trois mécanismes deux mouvements ont été utilisés, ce qui permet d'étudier deux huiles simultanément ou une huile et un contact à sec. Le protocole expérimental a consisté à appliquer une goutte d'huile dans les huiliers et à les activer une fois par jour pendant deux mois. Soit 70 cycles pour 60 jours, ce qui correspond à plus de deux ans de fonctionnement d'une horloge.

L'étude quantitative de l'usure des pivots a été réalisée en utilisant un dispositif interférométrique de mesure sans contact des états de surface. Cet outil permet de mesurer la topographie des surfaces avec une haute résolution latérale (100 nm) et verticale (1nm). A partir des fichiers de mesures obtenus, la caractérisation des surfaces a été réalisée par une méthode d'analyse multi-échelle utilisant la théorie des ondelettes 2D.

RESULTATS

D'un point de vue qualitatif, l'observation de l'usure des pivots au microscope binoculaire a montré une usure importante pour le fonctionnement à sec et pour la cire microcristalline avec dans les deux cas la formation d'une couche de débris d'usure.

Les résultats quantitatifs obtenus par interférométrie et par ondelette 2D permettent d'affiner plus précisément ces observations. D'une part ils ont montré que les pivots dits de référence étaient parfaitement polis, avec un état de surface dont les amplitudes avoisinent quelques dizaines de nanomètres. D'autre part, ils ont mis en évidence qu'indépendamment du lubrifiant l'usure se manifeste principalement sur les pivots soumis à de fortes contraintes et de faibles vitesses (< 5 tours/min). A l'opposé, les pivots soumis à de plus faibles contraintes et à des vitesses plus élevées (> 2500 tours/min) ne présentent quasiment aucun signe d'usure. Ce résultat important montre que la contrainte de sollicitation mécanique des pivots est un des facteurs majeurs dans ce phénomène d'altération de l'état de surface des pivots.

Concernant la quantification de l'usure des pivots en fonction des lubrifiants, les résultats montrent qu'aucun des trois lubrifiants n'est adapté à une utilisation permettant de ne pas avoir d'usure satisfaisante sur les pivots. Pour aller plus loin, il faudrait multiplier les essais avec de nouveaux lubrifiants.

CONCLUSION

Ce travail a permis d'apporter une nouvelle contribution dans le domaine de l'étude de l'usure des systèmes mécaniques antiques d'horlogerie. En effet l'originalité du protocole expérimental mis en place et les résultats obtenus permettent pour la première fois d'étudier l'usure de pivots en fonction des lubrifiants, de la vitesse et des contraintes appliquées. La poursuite de ce travail, permettra à terme d'évaluer plus précisément les mécanismes d'usure et de choisir les lubrifiants les plus adaptés.



Figure 2: Mécanisme horloger dit "mouvement de Paris"



Figure 3: Usure de pivot après fonctionnement

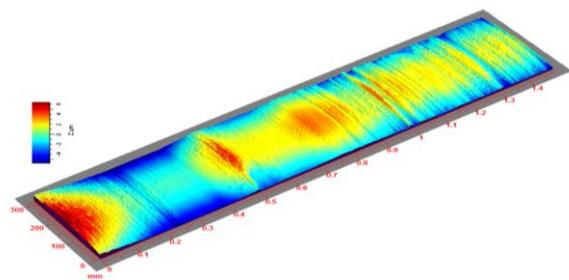


Figure 4: Mesure 3D de l'usure des pivots