



**HAL**  
open science

## Comportement électrique et tribologique des contacts glissants or/or d'un collecteur tournant type cil/bague

Corentin Ferreira, Aurore Brézard-Oudot, Manon Isard, Sophie Noël, Frédéric Houzé, Philippe Teste

### ► To cite this version:

Corentin Ferreira, Aurore Brézard-Oudot, Manon Isard, Sophie Noël, Frédéric Houzé, et al.. Comportement électrique et tribologique des contacts glissants or/or d'un collecteur tournant type cil/bague. 34èmes Journées Internationales Francophones de Tribologie, May 2023, Lille, France. pp. 44-46. hal-04128765

**HAL Id: hal-04128765**

**<https://centralesupelec.hal.science/hal-04128765>**

Submitted on 15 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Comportement électrique et tribologique des contacts glissants or/or d'un collecteur tournant type cil/bague

Corentin Ferreira<sup>1,2</sup>, Aurore Brézard-Oudot<sup>1</sup>, Manon Isard<sup>2</sup>, Sophie Noel<sup>1</sup>, Frédéric Houzé<sup>1</sup> et Philippe Testé<sup>1</sup>

1. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS – UMR 8507, Laboratoire de Génie Électrique de Paris, 91192, Gif-sur-Yvette, France

2. Everaxis Aerospace & Defence, 92350, Le Plessis-Robinson, France

## MOTS CLES

Contact or/or, contact électrique glissant, tribomètre

## INTRODUCTION

Les applications aéronautique et défense obligent à une grande fiabilité des collecteurs électriques tournants sur de longues durées de vies, ce qui demande une bonne compréhension du système tribologique et notamment du mécanisme d'usure en place. Le contact glissant d'un collecteur électrique tournant présenté dans cette étude permet au courant de circuler entre les structures fixe et rotative d'un système. Il est lubrifié avec une huile ester synthétique, et est composé d'un cil en alliage d'or de 0,4 mm de diamètre confiné dans un « Vé » d'une bague revêtue d'un alliage d'or dur de 40 mm de diamètre. La fiabilité du contact dans un tel système est notamment permise par la redondance des contacts cil/bague.

La majorité des essais visant à comprendre les phénomènes de contact tribologique et électrique est effectuée sur des modèles réduits de collecteurs tournants. Dans de nombreuses études [1][2], la compréhension des propriétés électriques et tribologiques du contact est obtenue en collectant la tension de contact au cours de l'essai et en analysant les états de surface après essai. Occasionnellement, le contrôle du coefficient de frottement pendant l'essai est également effectué. Par exemple, Holzapfel [3] a instrumenté un contact cil/bague permettant de suivre la résistance de contact, grâce à la méthode 4 pointes, parallèlement à la force de frottement au cours de l'essai.

Par ailleurs, de nombreux travaux ont été réalisés sur le contact électrique glissant métal-métal sans être spécifiques aux collecteurs tournants. Pour l'étude des contacts entre métaux, l'utilisation d'un tribomètre est courante. Antler [4] a étudié notamment le contact entre les métaux nobles. Dans ses travaux, il a utilisé un tribomètre pion/plan instrumenté pour suivre le coefficient de frottement et la résistance de contact pendant l'essai.

Dans cette étude, il a été fait le choix d'adapter un dispositif d'essai de type tribomètre, permettant de mesurer en parallèle les propriétés de frottement et la résistance de contact.

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental utilisé est le tribomètre TRB<sup>3</sup> du fabricant Anton Paar, permettant d'étudier le contact bille/disque dans des conditions de glissement pur. Pour être représentatif du contact réel, il a été nécessaire d'adapter ce tribomètre en termes de géométrie de contact et de passage de courant dans le contact (Figure 1).

Ainsi, la face d'un « Vé » de la bague est représentée par un disque revêtu suivant le même protocole que la bague. Quant à la bille de la configuration initiale du tribomètre, elle est remplacée par un cil, identique à celui d'un collecteur tournant, incurvé et monté sur un support spécifique. Le contact initial bille/disque du tribomètre est donc remplacé par un contact cil incurvé/disque dont les matériaux sont identiques au cas réel, mais dont la géométrie de contact et les pressions diffèrent (0,59GPa pour le contact cil incurvé/disque contre 0,28GPa dans le cas réel).

Pour le passage de courant, un câble est directement relié au cil fixe grâce au design du support spécifique. Du côté du disque, l'opération est plus complexe à cause de la rotation de ce dernier. À

l’instar du frottement d’un cil dans un « Vé » de la bague, la solution adoptée consiste à utiliser le flanc du disque en y faisant frotter un pinceau constitué d’un ensemble de cils. Pour mesurer la tension de contact au cours de l’essai, la méthode 4 pointes a été mise en place en ajoutant une deuxième connexion sur chaque échantillon. La tension de contact est acquise grâce à deux appareils : le tribomètre, permettant d’avoir des mesures directement synchronisées avec les données internes de ce dernier, et un système d’acquisition rapide, permettant de mieux comprendre les soudaines augmentations de tension.

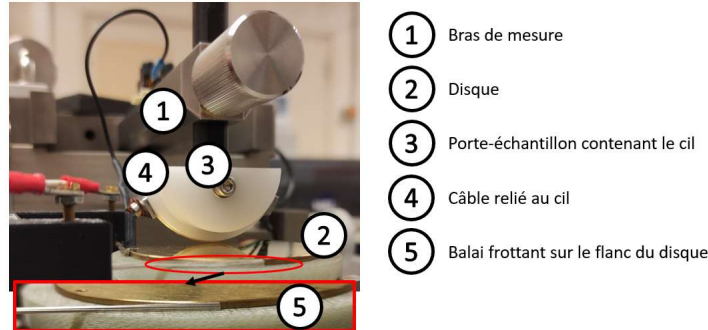


Figure 1: Photographie du tribomètre modifié

## RESULTATS & DISCUSSION

Les premiers résultats de mise en place de cet appareil modifié ont permis de dresser de premières hypothèses sur le mécanisme d’usure grâce à des essais de différentes durées, illustrées ici pour les conditions suivantes : Vitesse de rotation : 500RPM ; Charge : 0,25N ; Intensité : 100mA ; Nombre de tours : 50 000 ; Fréquence d’acquisition : 100Hz.

L’analyse des états de surface au MEB-EDX souligne une différence notable sur les éléments présents dans les traces d’usure du disque et du cil. Lors des essais courts, entre 300 et 1 200 tours, les débris issus de l’usure du cil sont majoritaires dans le contact (Figure 2.A – Blanc), alors que, lors des essais longs, 50 000 tours, ces débris sont rares voire inexistant par rapport à ceux issus de l’usure du disque (Figure 2.B – Rose). Les visuels 3D du cil après 50 000 tours, obtenus avec un profilomètre optique, montrent un aplatissement de la géométrie cylindrique du cil prouvant une usure de ce dernier. De plus, l’analyse EDX du cil après 50 000 tours montrent un transfert de matière du disque vers le cil formant une couche écrouie à la surface de ce dernier. Cela met en évidence qu’il y a une transition entre une usure initialement majoritaire du cil et une usure majoritaire du disque.

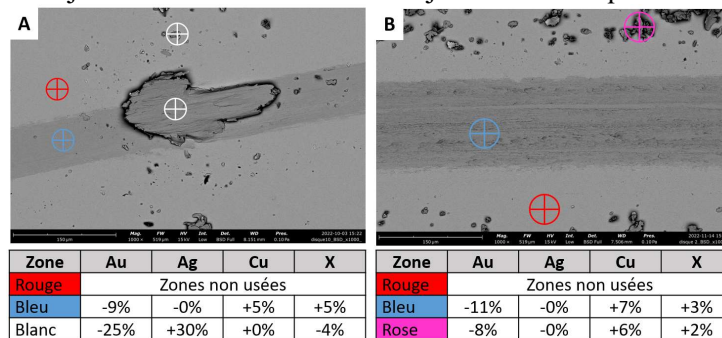


Figure 2: Observation au MEB-EDX des traces d’usure des disques – BSD – x1000 – A. Après 300 tours ; B. Après 50 000 tours

Les courbes du coefficient de frottement et de la résistance de contact en fonction du nombre de tours suivent le même type de tendance, en montrant qu’un événement se déroule dans les premières rotations (Figure 3). Une augmentation de l’amplitude du coefficient de frottement est corrélée avec la présence de pics de la résistance de contact. Cet événement peut être également lié à la transition d’usure. En effet, une forte usure du cil entraîne la formation de débris en surface. Ces débris provoquent, d’une part une double résistance de contact en série, et d’autre part une augmentation du risque de pertes de contact. C’est pourquoi l’amplitude du coefficient de frottement et de la résistance de contact augmentent. Avec le passage répétitif, ces débris issus du cil s’étalent, se fragmentent et se dispersent dans la trace d’usure du disque. L’écrouissage de la surface du cil entraîne une augmentation de l’usure

du disque jusqu'à ce qu'elle devienne majoritaire. Enfin, ces débris issus du disque se transfèrent sur le cil entraînant la formation d'une couche à la surface du cil. Ainsi, le frottement initial entre deux alliages d'or différents se transforme en un frottement entre deux alliages d'or similaires, celui du disque. Dès lors, le système tribologique a atteint un état stable.

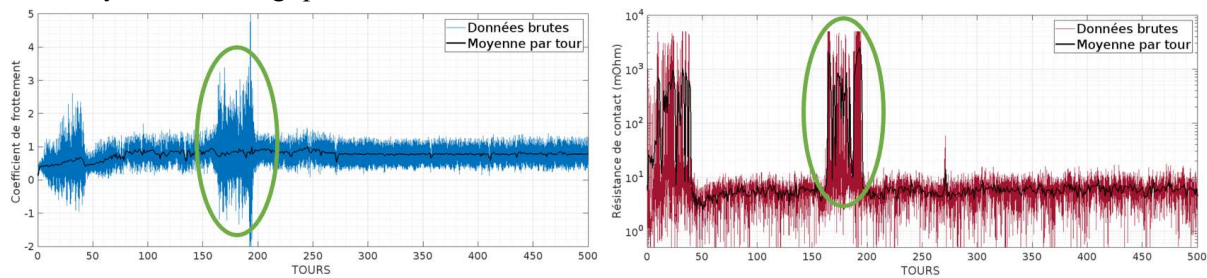


Figure 3: Coefficient de frottement et résistance de contact en fonction de la distance (zoom sur les 500 premiers tours) – Vitesse de rotation : 500RPM ; Charge : 0,25N ; 50 000 tours ; Intensité : 100mA ; Fréquence d'acquisition : 100Hz

## CONCLUSION

Cet article présente un nouveau dispositif simplifié permettant d'étudier les propriétés électriques et tribologiques des contacts glissants cil/bague d'un collecteur tournant. Ce dispositif a été adapté à partir d'un tribomètre initialement configuré pour un contact bille/disque, modifié en une configuration représentative des matériaux du cas réel, mais en simplifiant la géométrie de contact et en surévaluant la pression de contact. La connexion électrique double du cil et du disque offre la possibilité de mesurer la résistance du contact par la mesure 4 pointes. Ainsi, ce dispositif permet l'acquisition simultanée du coefficient de frottement et de la résistance de contact pendant l'essai.

Les premiers résultats obtenus ont permis de dresser une hypothèse sur le mécanisme d'usure du contact qui peut être résumé comme suit :

1. Les premières rotations entraînent une usure majoritaire du cil conduisant à un transfert de matière du cil vers le disque. La formation de débris à l'interface implique une augmentation des risques de perte de contact et a une influence directe sur la résistance de contact et le coefficient de frottement.
2. Avec le frottement, les débris du cil se dispersent et se fragmentent dans la trace d'usure du disque, ce qui entraîne progressivement un écrouissage de la surface du cil.
3. L'usure majoritaire du cil se transforme en une usure majoritaire du disque, entraînant la formation de débris issus du disque.
4. Le transfert de matière du disque vers le cil implique la formation d'une couche à la surface du cil. Le frottement initial entre deux alliages d'or différents se transforme en frottement entre deux alliages similaires.

Cette hypothèse doit être maintenant développée par des investigations supplémentaires tels que des essais plus courts pour mieux comprendre la phase de rodage, et donc comprendre l'ajustement des surfaces avant d'atteindre l'état d'équilibre. D'autres essais complémentaires viseront à étudier l'impact de divers paramètres tels que la vitesse de rotation, la lubrification, la force normale ou l'intensité de courant.

## Références

- [1] E. Chevallier (2014) « Définition d'indices de qualité du contact glissant métallique : Signatures électriques de l'état de surface », Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne
- [2] T. Ueno, M. Aoyagi, K. Sawa et al. (2014) « Fundamental study of electrical sliding contacts comprising a Au-coated slip ring and Au-brush », ICEC, pp. 1-6.
- [3] C. Holzapfel (2019) « Test categories for characterization of sliding electrical contacts », IEEE Holm, pp. 309-316.
- [4] M. Antler (1964) « Processes of metal transfer and wear », Wear, **58** (2), pp. 181-203.