

## ÉTUDE DE L'INFLUENCE DU PARAMETRE CHARGE SUR LE COMPORTEMENT EN FROTTEMENT ET USURE DU COUPLE DYNAMIQUE SEC BRONZE-ACIER.

Djamel BEKHOUCHE<sup>1</sup>, Ali BOUCHOUCHA<sup>1</sup>, Hamid ZAIDI<sup>2</sup>, Youcef MOUADJI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie. Université Frères Mentouri – Constantine, Algérie

<sup>2</sup>Département génie Mécanique et systèmes complexes, branche Mécanique des solides, CNRS, Université de Poitiers, France

<sup>3</sup>Département de Génie Mécanique, Ecole Nationale Polytechnique Constantine, Constantine, Algérie

Reçu le 12 Juillet 2015 – Accepté le 12 novembre 2015

### Résumé

L'objet de cette étude est de mettre en évidence l'effet de paramètre charge sur le comportement en frottement et usure du couple glissant bronze-acier. Pour ce faire, un tribomètre pion sur cylindre est utilisé à l'air ambiant. Il s'agit d'un pion en bronze frottant à sec contre un cylindre tournant en acier. Les résultats obtenus, montrent que la charge normale a une influence significative sur le comportement tribologique du couple. En effet, la charge normale engendre une diminution du coefficient de frottement. En revanche, elle entraîne une augmentation de l'usure. Par ailleurs, des observations microscopiques des faces usées du pion et du disque montrent une prédominance de l'usure par adhésion et que le transfert de matière du pion vers le disque joue un rôle important et régie le comportement tribologique du couple étudié. La discussion des résultats obtenus s'appuie sur des observations réalisées au microscope optique et des analyses par profilomètre et des phénomènes observés lors du fonctionnement du couple.

**Mots Clés :** *Frottement, Usure, Transfert de matière, Adhésion.*

### Abstract

The purpose of this study is to highlight the effect of load parameter on the friction and wear behavior of the sliding bronze-steel couple. To do this, a peak-to-cylinder tribometer is used in ambient air. It is a bronze pawn rubbing dry against a rotating steel cylinder. The results obtained show that the normal charge has a significant influence on the tribological behavior of the couple. Indeed, the normal load causes a reduction in the coefficient of friction. On the other hand, it results in an increase in wear. Moreover, microscopic observations of the worn faces of the pin and the disc show a predominance of the wear by adhesion and that the transfer of material from the pin to the disk plays an important role and governs the tribological behavior of the couple studied. The discussion of the results obtained is based on optical microscope observations and profilometer analyzes and the phenomena observed during the operation of the couple.

**Keywords:** *Friction, Wear, Material Transfer, Adhesion.*

### ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على تأثير وضع الحمل على سلوك الاحتكاك وارتداء الصلب البرونزية انزلاق عزم الدوران. للقيام بذلك، يتم استخدام بيدق على اسطوانة tribometer في الهواء المحيط. وهو قطعة من البرونز تجف فرك ضد اسطوانة الصلب الدورية. وتشير النتائج إلى أن الحمل الطبيعي له تأثير كبير على السلوك tribological للزوجين. والواقع أن الحمل الطبيعي يسبب انخفاض معامل الاحتكاك. ومع ذلك، فإنه يؤدي إلى زيادة في إضافة Par usure. والملاحظات المجهرية النفايات جوه دبوس والقرص تظهر غلبة ارتداء لاصقة وأن نقل المواد من دبوس نحو القرص يلعب دورا هاما ويحكم السلوك tribological من الزوجين دراستها. ويستند مناقشة النتائج على الملاحظات بواسطة المجهر الضوئي والتحليل من قبل profilometer والظواهر التي لوحظت خلال عملية للزوجين.

**الكلمات المفتاحية :** *الاحتكاك، ارتداء، نقل الجماعي، الانضمام.*

**Nomenclature**

- E* module d'Young
- R* résistance à la traction
- A%* allongement
- HB* Dureté brinell
- $\lambda$  conductivité thermique
- P* la charge normale
- V* la vitesse de glissement
- W* l'usure

**1. INTRODUCTION**

Le comportement tribologiques des matériaux en contact dépendent de plusieurs paramètres tribologiques qui sont interdépendants les uns des autres comme l'effort normal, la vitesse de glissement, la dureté du matériau, etc. Ceci rend l'étude du frottement et de l'usure au niveau du laboratoire assez spécifique, puisqu'il est difficile de reproduire, du point de vue expérimental, les mêmes conditions que celles dans lesquelles évolue un équipement industriel. Il existe de nombreuses méthodes d'essais tribologiques [1]. Les plus courantes pour les études fondamentales utilisent des tribomètres de laboratoire : essai pion-disque, essai bloc sur cylindre, essai unidirectionnel ou essai à mouvement alterné sur une plaque et l'essai des quatre sphères. Par ailleurs, le comportement tribologique des couples de matériaux dépend aussi des films présents à l'interface [2]. Ces phénomènes sont complexes, dépendent des conditions externes et varient largement d'un matériau à l'autre [3]. Les films d'oxyde ainsi formés jouent un rôle important dans le comportement en frottement et usure des matériaux en contact. Des travaux [4,5] ont montré que les films d'oxyde de surface sont bénéfiques au processus de friction et d'usure. De plus, le frottement et l'usure sont largement affectés par la nature et les propriétés de ces films. Or, contrairement au frottement, l'usure est un processus sensible qui peut varier d'un facteur deux ou plus, pour de faibles changements dans les conditions expérimentales [6].

Cet article présente l'étude de l'influence de la charge normale sur le comportement tribologique du contact tournant sec bronze-acier. Les expériences ont été faites dans une ambiance atmosphérique, de façon à privilégier certains mécanismes, et confirmer l'interprétation globale sur l'effet de facteur charge.

**2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

Comme il est peu aisé de reproduire les conditions réelles, même à faible échelle, l'étude a été transposée par l'adaptation d'un tribomètre pion sur cylindre monté sur un tour (figure 2). Les expériences se sont déroulées à sec dans une ambiance atmosphérique. Le cylindre (figure 1.a) est de diamètre extérieur égal à 45mm est emboîté entre deux cylindres en téflon (porte disque) pour la fixation dans le mandrin de tour et le pion (figure 1.b) a une forme cylindrique de longueur 20mm et de diamètre égal à 8mm.

Le pion appuyé contre le cylindre par une charge normale *P*. Les matériaux utilisés pour les disques et les pions sont respectivement le bronze et l'acier. La surface de contact est polie à l'aide d'un papier abrasif d'un grade variant entre 400 et 2000. La température ambiante est environ 22°C. La charge normale *P* appliquée prend les valeurs 7; 15; 18; 23 et 33 N (à l'aide des masses mortes), la vitesse linéaire *V* est égale à 2.4m/s. La force de frottement *F* est enregistrée grâce à un capteur de force fixé sur le bras du tribomètre. Le coefficient de frottement  $\mu = F / P$ . Quant à l'usure *W*, elle est obtenue par pesage des échantillons à l'aide d'une microbalance de  $10^{-5}$  g avant (*m<sub>i</sub>*) et après (*m<sub>f</sub>*) chaque essai:  $\Delta m = m_i - m_f$ . Chaque essai dure 2400 s.

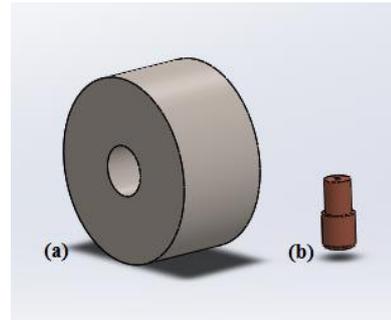


Figure 1 : (a) pion, (b) cylindre

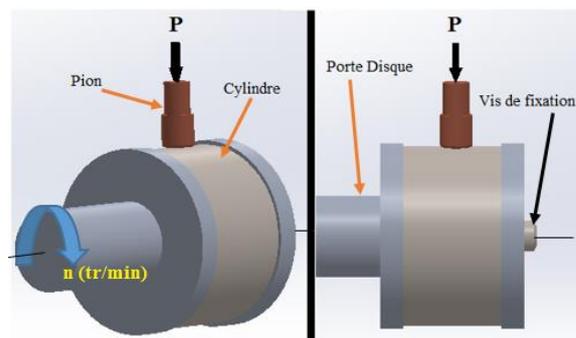


Figure 2 : contact pion-cylindre

**3. MATERIAUX UTILISES**

Les tableaux ci-dessous donnent les compositions chimiques et les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés.

Tableau 1 : composition chimique des matériaux du couple

Matériaux	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Pb	Zn
20MnCr5	0.22 max	0.4	1.4	0.025	0.035	1.3	/	/	/	/
CuSn7 Zn4 Pb7	/	/	/	/	/	/	Reste	6 à 8 max	5 à 7 max	2 à 5 max

*Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques de l'acier et du bronze*

Matériaux	R [MPa]	E [MPa]	A%	HB	$\lambda$ [W/(m.K)]
20MnCr5	750	600	17	152-250	41
CuSn7 Zn4 Pb7	260	120	12	70-90	58

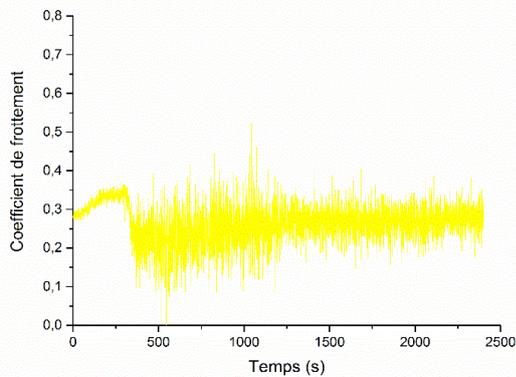
## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 Influence du paramètre temps sur le frottement

En examinant la courbe de la figure 3, nous constatons l'existence de deux zones distinctes :

- une phase transitoire (de rodage) qui dure de 6 à 10 minute (selon P) et au cours de laquelle  $\mu$  augmente, atteint un maximum puis diminue. La valeur de  $\mu_{max}$  diminue quand P augmente, car la mise en adaptation est plus rapide lorsque P est élevée (surface réelle de contact devient suffisante pour supporter P).

- une phase établie, atteinte par stabilité des conditions de fonctionnement à l'interface (nombre de particules d'usure arrachée devient constant). L'allure de la courbe confirme cette interprétation.

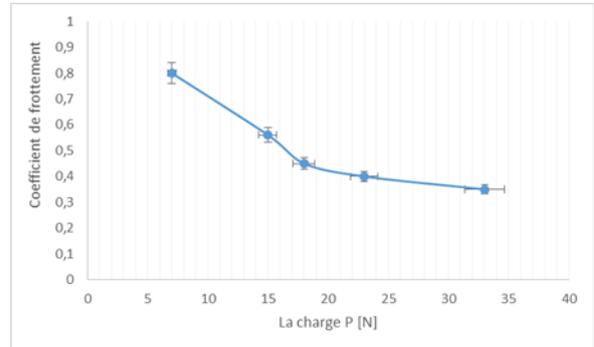


*Figure 3 : Evolution du frottement  $\mu$  en fonction du temps ( $P=33$  N,  $V=2,4$  m/s)*

Durant la période initiale les contacts sont de nature métallique, ainsi que les transferts. Il y a très peu de débris d'usure (l'aire réelle de contact très réduite) dans le contact. Avec le temps cette aire augmente par fluage, les débris se forment et les conditions de frottement deviennent stables; ce qui facilite le glissement entre les deux surfaces et le coefficient de frottement atteint une valeur quasi constante.

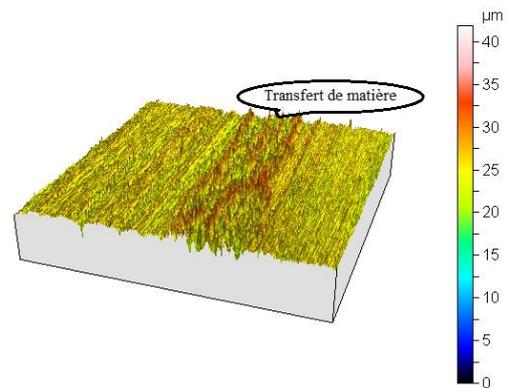
### 4.2 Influence de la charge normale sur le coefficient de frottement

La figure 4 présente la variation de  $\mu$  en fonction de la charges P. Nous remarquons que le coefficient de frottement diminue rapidement entre 7 N et 18 N et montre une diminution modérée jusqu'à la charge 33 N et a tendance de se stabiliser.



*Figure 4 : Evolution du frottement  $\mu$  en fonction de la charge normale ( $V= 2,4$  m/s)*

D'une manière générale, l'augmentation de la charge conduit à une diminution du coefficient de frottement [7], ceci est dû principalement au mécanisme de transfert du pion vers le disque (figure 5). En effet, aux faibles charges les surfaces s'accrochent par imbrication (enchevêtrement) des aspérités des antagonistes, augmentant ainsi l'adhérence des surfaces en contact. Par contre, quand la charge augmente, la force tangentielle augmente aussi, les déformations plastiques deviennent de plus en plus importantes (figure 6), la chaleur générée par frottement mécanique et la température de contact s'accroissent favorisant ainsi l'oxydation des surfaces et génère un film d'oxyde jouant le rôle de lubrifiant. De plus, le détachement des particules de bronze et leur transfert sur la contre face favorise le glissement.



*Figure 5 : vue en profilomètre 3D de la face usée du disque ( $V= 2.4$  m/s,  $P= 23$  N)*

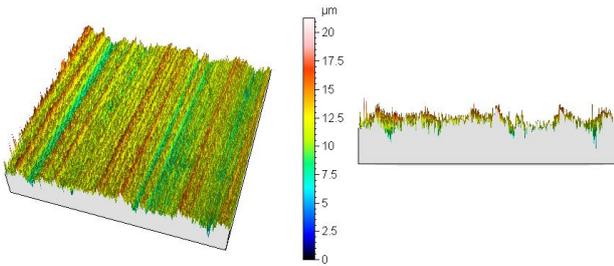


Figure 6 : vue en profilomètre 3D de la face usée du pion  
( $V= 2.4\text{m/s}$ ,  $P= 33\text{N}$ )

#### 4.3 Influence de la charge normale sur l'usure

L'évolution de l'usure  $W$  en fonction de la charge est représentée graphiquement par la figure 7. Nous remarquons que l'usure augmente presque linéairement avec  $P$ .

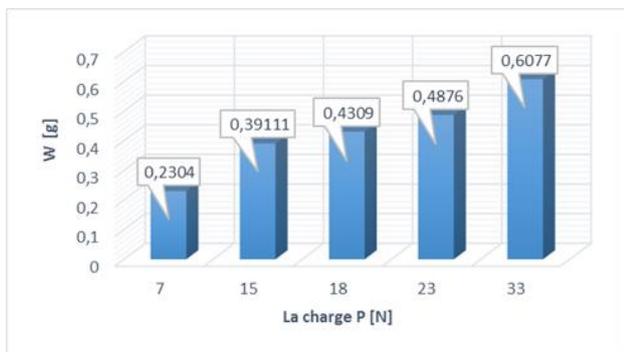
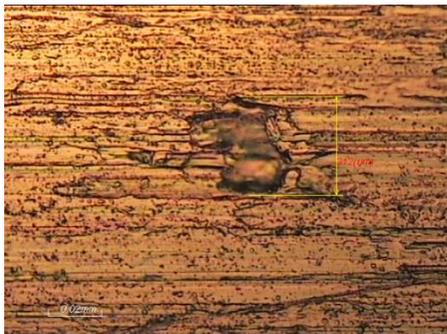


Figure 7 : Evolution de l'usure en fonction de la charge  
( $V= 2.4 \text{ m/s}$ )

L'accroissement de la charge normale, engendre une augmentation de l'aire réelle de contact et du transfert de bronze. Durant le fonctionnement de ce couple, nous avons observé l'apparition à l'interface de deux types de débris issus de l'usure des antagonistes. Les gros débris, aussitôt formés, ces débris sont évacués hors-piste de friction. En revanche, les débris de taille plus fines sont interposés à l'interface et participent au processus d'usure par abrasion en accélérant l'enlèvement de la matière. En effet, les débris broyés s'agglomèrent et recouvrent la surface, provoquant une usure de plus en plus intense. De plus, dans ces conditions, l'augmentation de la charge provoque la destruction de la surface (pion en bronze)(figure 8), par les transformations, due aux échauffements superficiels.



(a)



(b)

Figure 8 : vue en microscopie optique de la face usée du pion (a) 18 N, (b) 33 N ( $V= 2.4\text{m/s}$ )

#### CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'apporter une réponse à certaines questions relatives au frottement et usure d'un pion en bronze soumis à une charge normale pour un contact glissant à sec contre un disque en acier.

Il ressort que la charge normale a un effet significatif sur le comportement en frottement et usure du couple. En effet, quand la charge augmente, le frottement diminue. Par contre, l'usure augmente.

Le transfert du bronze sur la surface du disque influence directement le comportement tribologique du couple. En fait, il facilite le glissement entre les deux surfaces et joue le rôle d'un film lubrifiant solide.

#### REFERENCES

- [1] G. Zambelli, L. Vincent, Matériaux et contacts, une approche tribologique, Presse polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 1998.
- [2] H. Da Hai, M. Rafael, A novel electrical contact material with improved self-lubrication for railway current collectors, Wear 249 (2001) 626-636.
- [3] D. Paulmier, A. Bouchoucha, H. Zaidi, influence of the electrical current on wear in a sliding contact copper-chrome steel, and connection with the environment, Vacuum, 41(1990) 2213-2216.
- [4] Z.L. Hu, Z. Chen, J.T Xia, G.Ding, Effect of PV factor on the wear of carbon brushes for micromotors, Wear 265 (2008) 336-340
- [5] Z.L. Hu, Z. Chen, J.T Xia, Study on surface film in the wear of electrographite brushes against copper commutators for variable current and humidity, Wear, 264 (2008) 11-17.
- [6] N. Soda, T. Sasada, Mechanism of lubrication by surrounding gas molecules in adhesive wear, ASME. J. Lubr. Technol, 100, 492, 1978.
- [7] Y. Mouadji, Effets du courant électrique sur le mécanisme de croissance de la couche d'oxyde à l'interface des contacts électrodynamiques cuivre-

graphite et graphite-graphite, thèse de doctorat.  
Université Frères Mentouri, Constantine, 2013.