

# PERFORMANCE ET FIABILITE DES ALLIAGES METALLIQUES AMORPHES BASE CU-ZR POUR DES APPLICATIONS TRIBOLOGIQUES

S. BARLEMONT<sup>1</sup>, G. COLAS<sup>2</sup>, P-H. CORNUAULT<sup>1</sup>, P. LAFFONT<sup>3</sup>, R. DAUDIN<sup>3</sup>, et A. LENAIN<sup>4</sup>

1. SUPMICROTECH, Université de Franche-Comté, CNRS, Institut FEMTO-ST, 25000 Besançon, France

2. Université de Franche-Comté, CNRS, Institut FEMTO-ST, 25000 Besançon, France

3. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, SIMaP, 38402 Saint-Martin d'Hères, France

4. Vulkam Inc. Amorphous metal micro casting, 38610 Gières, France

## MOTS CLES

Alliages Métalliques Amorphes, contreface, environnement, troisième corps, micromécanique

## INTRODUCTION

Les alliages métalliques amorphes (AMA) sont des alliages métalliques de composition complexe fabriqués par un processus de refroidissement rapide depuis l'état liquide, de manière à obtenir un matériau à l'état solide qui présente la structure d'un verre. Les AMA ont un fort potentiel d'applications industrielles en micromécanique en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques [1] (en particulier une limite élastique et une déformation élastique élevées), combinées à un très faible retrait et une excellente résistance à la corrosion. Un certain nombre d'études s'intéressent en particulier à la fabrication de micro-engrenages en AMA [2]. Cependant, les domaines micromécaniques ciblés requièrent des considérations tribologiques, en raison du rôle important du frottement et de l'usure aux micro-échelles.

## MATERIAUX ET METHODES

La présente étude vise à étudier les performances des AMA en matière de frottement et d'usure en vue d'applications industrielles futures dans le domaine des micro-mécanismes. Des AMA base Cu-Zr ont été choisis pour la combinaison de leur bonne formabilité (Glass Forming Ability, GFA) et de leurs bonnes propriétés mécaniques, en particulier leur ductilité. Diverses configurations expérimentales ont été exploitées afin d'explorer le comportement tribologique des AMA base Cu-Zr de manière représentative à l'échelle macroscopique. Tout d'abord, des configurations de glissement et de roulement ont été utilisées avec des conditions de contact variables. De plus, les conditions environnementales ont été prises en compte et plus particulièrement l'impact de l'humidité relative (RH). Enfin, des frotteurs de matériaux différents (laiton, bronze, aciers) ont été utilisés pendant les essais, afin d'analyser l'impact de la nature de la contreface et d'identifier les contre-matériaux prometteurs d'un point de vue tribologique.

Pendant les essais de frottement, le coefficient de frottement (COF) a été calculé en considérant l'énergie dissipée par cycle de frottement, et les volumes d'usure ont été mesurés après frottement sur les deux contrefaces à l'aide d'un microscope optique à focale variable. Une compréhension approfondie des mécanismes d'usure et des réactions tribochimiques a été élaborée par rugosimétrie 3D, microscopies optique et électronique à balayage (MEB), analyses EDS et XPS.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats mettent en évidence une grande répétabilité des essais de frottement réalisés avec les AMA, ainsi qu'une large gamme de COF et de taux d'usure qui dépendent fortement du contre-matériau et des conditions de contact.

Contrairement à une majorité de matériaux (dont les métaux traditionnels et les céramiques), la dureté n'a pas un rôle prépondérant sur l'usure des AMA, comme le suppose la loi d'Archard. En revanche, cette étude montre un impact déterminant des réactions tribochimiques sur le comportement tribologique des AMA. Le COF et l'usure sont le résultat de phénomènes de transferts de matière, résultant en l'établissement d'un troisième corps dans le contact. La présente étude montre que ce transfert de matière est fortement dépendant du film d'oxydes natifs à la surface de l'AMA (majoritairement composé de  $ZrO_2$  et  $CuO$ ), et des oxydes provenant de la contreface (par exemple le  $Fe_2O_3$  pour une contreface en acier AISI 52100, ou le  $ZnO$  pour une contreface en laiton) (Figure 1a) [3]. Un second résultat majeur de cette étude concerne l'importance de l'humidité relative (RH) de l'air ambiant sur le contact tribologique [4]. En effet, le COF diminue de 0,95 à 0,55 pour une RH passant de 20% à 80% lors d'essais de frottement de plaques en AMA contre des billes en acier AISI 52100 (Figure 1b). Cette dépendance à l'humidité s'explique par des changements de morphologie du 3<sup>ème</sup> corps issu de la bille en acier par transfert de matière : en environnement sec, le 3<sup>ème</sup> corps est rugueux et éparse, tandis qu'en environnement humide, le 3<sup>ème</sup> corps est lisse et compact. La résistance à l'usure de l'AMA est ainsi améliorée lorsque RH est élevée.

Cette étude met donc en évidence la possibilité d'optimiser le comportement tribologique des AMA pour une application spécifique en fonction du matériau antagoniste et des conditions environnementales.

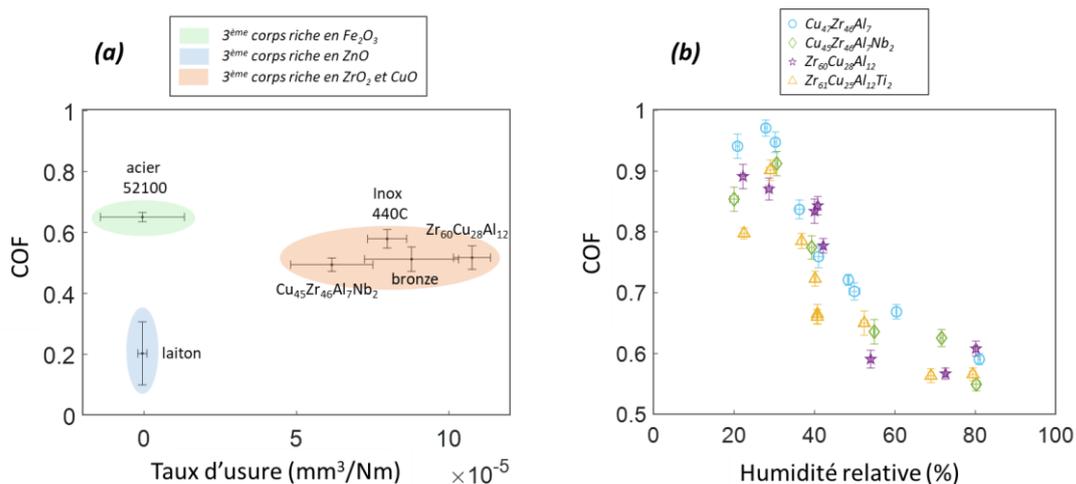


Figure 1 : Taux d'usure et COF pour des essais de glissement bille-plan impliquant des plaques en AMA  $Cu_{45}Zr_{46}Al_7Nb_2$  et des billes de différents matériaux (identifiés sur le graphe), avec indication de la composition du 3<sup>ème</sup> corps dans la trace d'usure de la plaque (a). Evolution du COF en fonction de l'humidité relative de l'air ambiant pour différents AMA frottant contre des billes en AISI 52100 (b).

## REFERENCES

- [1] A.L. Greer (2009) « *Metallic Glasses... On the threshold* », *Materials Today*, **12** (1-2), pp. 14-22.
- [2] A. Inoue, B. Shen, A. Takeuchi (2006) « *Fabrication, properties and applications of bulk glassy alloys in late transition metal-based systems* », *Materials Science and Engineering*, **441**, pp. 18-25.
- [3] S. Barlemont, G. Colas, A. Lenain, P-H. Cornuault (2023) « *Effect of the countermaterial on the tribological behavior of  $Cu_{45}Zr_{46}Al_7Nb_2$  bulk metallic glass* », *Wear*, article in press.
- [4] S. Barlemont, P. Laffont, R. Daudin, A. Lenain, G. Colas, P-H. Cornuault (2023) « *Strong dependency of the tribological behavior of CuZr-based bulk metallic glasses on relative humidity in ambient air* », *Friction*, **11** (5), pp. 785-800.