

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



Mémoire de
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Science et technologie
Filière : Génie mécanique
Spécialité Fabrication mécanique et productique
Présenté par : Mehria Abd Elhak
Talhi Abd Elmalek
Thème

**Étude comparative du comportement en frottement
sec et usure d'un alliage de laiton et d'aluminium**

Soutenu publiquement le : 13/06/2022 Devant le jury :

Nom et Prénom	Grade / Qualité	Etablissement
BELLOUFI Abderrahim	Prof. Président	UKM Ouargla
ABDELKRIM Mourad	MCA Rapporteur	UKM Ouargla
REZGUI Imane	MCA Examineur	UKM Ouargla
BOUGOFFA M. Seyf Eddine	Dr. Co-Encadreur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

Remerciements

Tout d'abord on remercie infiniment le bon Dieu ALLAH puissant de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il nous a donné tout le long de nos études.

On présente nos sincères remerciements avec nos profonds respects à notre promoteur le Professeur Mourad Abdelkrim pour leur suivi encouragement et encadrement

On tient à remercier le Professeur Belloufi Abderrahim, de UKM Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance. On tient également à remercier Madame Rezgui Imane de UKM Ouargla, à sa contribution à l'examinations de ce travail.

On tient aussi remercier chaleureusement le Docteur BOUGOFFA Mohammed Seyf Eddine pour ses encouragements, sa bienveillance, ses conseils précieux ainsi que toute l'aide qu'il nous a apporté tout au long de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude et de notre admiration. Merci pour tous.

Merci beaucoup et toute notre gratitude à nos collègues.

Dédicaces

A nos parents

*Aux êtres qui nous sont les plus chers
Devant tous les sacrifices que vous avez consentis
pour nous,
Aucune dédicace ne saurait exprimer la grandeur
des sentiments que nous avons pour vous.*

Resumé

L'usure par frottement est un phénomène destructif. Compte tenu des conditions de chargement, des propriétés du matériau et du milieu environnant, le frottement peut provoquer de l'usure en combinant quatre mécanismes classiques (oxydation, adhésion, fatigue en surface et abrasion). Cette étude porte sur la tenue à l'usure de l'alliage de laiton et aluminium. L'étude évalue et compare le comportement en frottement et en usure des alliages de laiton et d'aluminium sous conditions de glissement à sec. Le comportement tribologique a été étudié et comparé. L'investigation expérimentale a été réalisée sur un banc d'essai en service de type pion sur disque équipé de dispositif porte pion permettant la mesure simultanée et sans interférence des efforts normal durant l'opération d'usure. Ces tests consistaient à mesurer la perte d'usure, la rugosité et les variations de température de contact. Les expériences sont effectuées sous une charge et une vitesse de glissement variables. Des observations par microscopie électronique à balayage MEB des surfaces usées pour chaque matériau ont été réalisées et comparées.

Les résultats ont montré que les surfaces des échantillons répondent différemment selon la nature du matériau et les conditions de fonctionnement. L'objectif de l'étude était de développer une meilleure compréhension du comportement à l'usure des matériaux non ferreux (laiton et aluminium). De plus, les résultats de le banc d'essai peuvent aider à fournir des prototypes pour résoudre des problèmes industriels.

Mots clés : Tribologie ; Frottement ; Usure ; Rugosité ; Taux d'usure.

Abstract

Wear by friction is a destructive phenomenon. Considering the loading conditions, the properties of the material and the surrounding environment, friction can cause wear by combining four classic mechanisms (oxidation, adhesion, surface fatigue and abrasion). This study focuses on the wear resistance of brass and aluminum alloy. The study evaluates and compares the friction and wear behavior of a brass and aluminum alloy under dry sliding conditions. The tribological behavior has been studied and compared. The experimental investigation has been carried out on a test bench with a lathe machine where the device tool holder is manufactured and mounted on a test bench and a rotating disc, varying the normal load exerted on the disk by the axis and the speed of rotation of the disk. These tests consisted of measuring the loss of wear. Experiments are performed under varying load and sliding speed. SEM scanning electron microscopy observations of worn surfaces for each material were performed and compared.

The results showed that the surfaces of the samples respond differently depending on the nature of the material and the operating conditions. The objective of the study was to develop a better understanding of the wear behavior of non-ferrous materials (brass and aluminum). In addition, the results of industrial layout can help provide prototypes to solve industrial problems.

Keywords: Tribology; Friction; Wear; Roughness; Wear rate.

ملخص

التآكل بالاحتكاك ظاهرة مدمرة. بالنظر إلى ظروف التحميل وخصائص المواد والبيئة المحيطة ، يمكن أن يتسبب الاحتكاك في التآكل من خلال الجمع بين أربع آليات كلاسيكية (الأكسدة والالتصاق وتعب السطح والتآكل). تركز هذه الدراسة على مقاومة التآكل للنحاس وسبائك الألومنيوم. تقيم الدراسة وتقارن سلوك الاحتكاك والتآكل للنحاس الأصفر وسبائك الألومنيوم في ظل ظروف الانزلاق الجاف. تم دراسة ومقارنة السلوك الترابيولوجي ، وقد تم إجراء التحقيق التجريبي على طاولة اختبار مع آلة مخرطة حيث يتم تصنيع حامل أداة الجهاز وتركيبه على منضدة اختبار وقرص دوار ، مما يؤدي إلى تغيير الحمل الطبيعي المبذول على القرص حسب المحور وسرعة دوران القرص. تتكون هذه الاختبارات من قياس فقدان التآكل. يتم إجراء التجارب تحت حمولة متفاوتة وسرعة انزلاق. تم إجراء ومقارنة ملاحظات المجهر الإلكتروني لمسح SEM للأسطح البالية لكل مادة.

أظهرت النتائج أن أسطح العينات تستجيب بشكل مختلف حسب طبيعة المادة وظروف التشغيل. كان الهدف من الدراسة هو تطوير فهم أفضل لسلوك التآكل للمواد غير الحديدية (النحاس و الألومنيوم). بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تساعد نتائج التخطيط الصناعي في توفير نماذج أولية لحل المشكلات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: ترابيولوجي؛ احتكاك؛ ارتداء؛ خشونة؛ معدل الارتداء.

Tables de matière

Resumé	i
Liste des symboles	vi
Introduction générale	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre I : Etude Bibliographique	Erreur ! Signet non défini.
I. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
II.1 Définition de la tribologie.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Système tribologique	Erreur ! Signet non défini.
II.2.1 Les paramètres du système tribologique :	Erreur ! Signet non défini.
II.2.2 Surface du contact	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3 Principaux défauts de surfaces	Erreur ! Signet non défini.
II.2.4 Le contact.....	7
II.2.4.1 Différents types de géométries de contact étudié.....	8
II.5 Influence des différents paramètres sur le comportement du contact..	Erreur ! Signet non défini.
II.5.1 Influence du matériau.....	Erreur ! Signet non défini.
II.5.3 Influence de la charge et la vitesse.....	9
II.5.4 Influence du milieu environnant	Erreur ! Signet non défini.
II.5.5 Influence de la microgéométrie.....	Erreur ! Signet non défini.
III. Le frottement.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1 Lois empiriques du frottement.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2 Classification des phénomènes de frottement.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1 Frottement sec utilisé	Erreur ! Signet non défini.
IV. L'usure	Erreur ! Signet non défini.
IV.1 Evaluation de l'usure	Erreur ! Signet non défini.
IV.2 Lois d'usure adhésive	Erreur ! Signet non défini.
IV.3 Lois d'usure abrasive.....	Erreur ! Signet non défini.
VI. Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre II : Matériaux et Méthode expérimental	Erreur ! Signet non défini.
Partie I : Présentation Et Caractérisation Des Matériaux Etudies	19
I. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
II. Description des matériaux utilisés	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Les matériaux non ferreux étudiés :	20
II.2.2 Alliage de laiton	20
III. Préparation des échantillons d'étude	21
VI. Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Tables de matière

Partie II : Techniques expérimentales	22
I. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
II. Objectif du travail.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1 Expérience sur le banc d'essai	Erreur ! Signet non défini.
III.1.1 Dispositive expérimentale.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.2 Présentation du porte pion.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.3 Paramètres d'essais	Erreur ! Signet non défini.
III.1.4 Procédure expérimentale des essais d'usure	25
III.2 Techniques des mesures et des analyses	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1 Le calcul du Taux d'usure	25
III.2.2 Procédure d'observation de la structure	27
III.2.3 Analyse par microscopie électronique à balayage	Erreur ! Signet non défini.
III.2.4 Rugosimètre	Erreur ! Signet non défini.
III.2.5 Mesure de la température de contact.....	Erreur ! Signet non défini.
IV. Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre III : Résultats et Discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
I. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
II. Frottement et usure	Erreur ! Signet non défini.
II.1 Influence de paramètre de temps sur la perte de masse	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Influence de la charge normale sur la perte de masse de l'aluminium et laiton	Erreur ! Signet non défini.
II.3 Influence de la vitesse de glissement sur la perte de masse de l'aluminium et laiton	Erreur ! Signet non défini.
II.4 Evolution de température de contact sous différent de charge normale..	Erreur ! Signet non défini.
II.5 Evolution de température de contact sous différent de vitesse de glissement	Erreur ! Signet non défini.
II.6 Influence de rugosité de surface initiale sur la perte de masse	35
II.7 Observation en MEB des surfaces usé :	Erreur ! Signet non défini.
II.8 Evolution des taux d'usure K.....	Erreur ! Signet non défini.
1. Avec différent des charges normales	38
2. Avec différent des vitesses de glissements	38
III. Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale	40
Références Bibliographiques.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des symboles

Liste des symboles

f :	Coefficient de frottement	[--]
F_n :	Force normale au contact	[N]
F_t :	Force tangentielle au contact	[N]
h_{\min} :	Hauteur minimale	[μm]
H :	Dureté du pion	[HV]
K :	Coefficient d'usure	[$\text{mm}^3/\text{N.m}$]
L :	Longueur de glissement	[m]
Δm	Différence entre la masse initiale et finale	[g]
:		
n :	Nombre de tour	[tr/min]
P :	Pression de contact	[MPa]
r :	Rayon du disque	[m]
R_a :	Rugosité moyenne arithmétique	[μm]
R_q :	Rugosité moyenne quadratique	[μm]
S :	Paramètre de Sommerfeld	[m]
t :	Temps	[s]
V :	Vitesse linéaire de glissement	[m.s^{-1}]
ΔV :	Volume de matière perdue	[mm^3]
d :	La densité	[g/cm^3]

Introduction générale

Les agressions dues à l'usure sont un problème commun en ingénierie, que la pièce, le dispositif, le système, soient en contact avec des solides ou liquides. En général, l'endommagement causé par l'usure peut être atténué, voire évité, par la substitution de matériaux plus résistants. Cependant, de tels matériaux ont un coût souvent très élevé. Ainsi, des matériaux non ferreux (laiton ou aluminium) sont largement utilisés dans des applications où une grande résistance à l'usure s'avère nécessaires [1–3]. L'usure est l'une des raisons fondamentales qui conduisent à une dégradation de la matière et à une perte de performance mécanique d'équipement. Elle dépend également de plusieurs facteurs tels que le changement des paramètres environnement, matériaux, et tribologiques qui sont interdépendants les uns des autres comme la charge, la vitesse, l'état des surfaces [4–7]. Par ailleurs, il existe de nombreuses méthodes de test tribologique [8]. Les plus courantes pour les études fondamentales utilisent des tribomètres de laboratoire : teste pion-disque, essai bloc sur cylindre. Dans ce sens, et afin de prédire le comportement à l'usure, certains chercheurs [9–11] ont comparé différents essais d'usure qui ont été réalisés dans les mêmes conditions mais en utilisant différentes configurations telles que: cylindre croisé sur cylindre, bloc sur anneau et goupille sur disque. Ils ont conclu que les essais d'usure en laboratoire peuvent fournir une bonne mesure du frottement et du comportement à l'usure des alliages, uniquement si les essais d'usure sur le terrain et en laboratoire montrent des mécanismes d'usure similaires. Il n'existe que quelques études [12,13] comparantes le comportement des matériaux en laboratoire et en conditions réelles et ces études sont différentes selon leur domaine d'intérêt.

Par conséquent, il est nécessaire d'évaluer et d'explorer l'efficacité de l'investigation expérimentale en laboratoire d'un point de vue industriel, ce que la présente étude vise à réaliser.

Notre travail consiste à étudier le comportement des matériaux non ferreux en usure et frottement. Le banc d'essai est un tour horizontal sur lequel on peut fixer le disque que l'on veut faire tourner et aussi fixer le porte pion sur la tourelle pour assurer le contacte disque-pion. Cette étude est un exemple unique de la façon dont les méthodes d'essais tribologiques dans un laboratoire permettent à l'utilisateur de

Introduction générale

simuler avec précision des conditions d'application industrielle pour obtenir une représentation précise des comportements tribologique sous conditions en laboratoire et industrielles et pour mieux relier la recherche universitaire avec l'industrie.

Le présent mémoire se compose de trois chapitres :

- Le premier chapitre comporte une étude bibliographique et une présentation des mécanismes de frottement et d'usure d'une manière générale et particulièrement celle des matériaux ferreux et non ferreux.
- Dans le deuxième chapitre nous présentons les matériaux étudiés : les propriétés microstructurales des matériaux non ferreux, puis nous présentons la méthode expérimentale et les techniques de mesure.
- Le troisième chapitre présenté les résultats expérimentaux obtenus en test d'usure (banc d'essai). Cette investigation expérimentale conduit à déterminer la température de surface de contact et la perte de masse obtenue lors des essais tribologiques.
- Une conclusion générale clôt ce mémoire en faisant ressortir les principaux résultats.

Chapitre I : Etude Bibliographique

I. Introduction

Les problèmes liés aux tribologies sont nombreux et variés, ils concernent : les frottements, l'étude des contacts solide et l'usure fait partie des problèmes importants du point de vue théorique, points de vue pratiques, économiques et environnementaux. Par exemple, environ 3% du total mondial est utilisée pour reconstruire des pièces défectueuses porter. Au début du vingtième siècle, cette science s'appuyait sur l'étude des volumes, avec une domination des concepts de la mécanique permettant d'établir des lois de comportement. Au milieu du vingtième siècle, la mécanique de contact s'est tournée vers l'étude des surfaces grâce aux concepts de la physique des surfaces [14]. Ce chapitre fournit une synthèse bibliographique des généralités sur la tribologie.

I.1 Définition de la tribologie

La tribologie est la science qui étudie l'ensemble des phénomènes qui ont lieu lorsque des corps en contact sont mis en mouvement relatif. C'est une science pluridisciplinaire faisant intervenir des notions de mécanique, de physicochimie et de science des matériaux en général. La tribologie s'intéresse aussi aux diverses méthodes qui permettent de donner un « bon comportement » à ces contacts, Son étude est primordiale afin de :

- Assurer le bon fonctionnement et la fiabilité des machines, et diminuer le coût d'obtention des frottements.
- Améliorer le rendement et la longévité des machines. et assuré la sécurité des biens et des personnes, particulièrement dans le domaine des transports
- Contribuer à la santé publique et au confort, par exemple en diminuant les bruits, très nombreux, liés aux contacts mécaniques [15].

I.2 Système tribologique

Un système tribologique est constitué de la surface de deux composants en mouvement l'un contre l'autre et de leur environnement. Le type, la progression et l'ampleur de l'usure sont déterminés à la fois par les matériaux des composants et leur

niveau de finition, les matières intermédiaires, les influences du milieu et les conditions de fonctionnement [16].

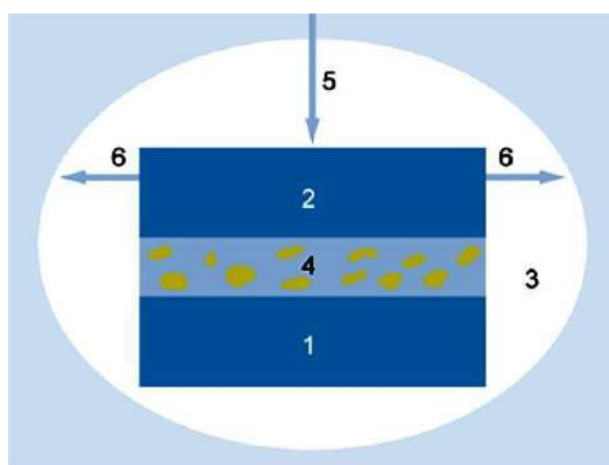


Figure I. 1: Système tribologique. [16]

1. Composant de base.
2. Composant opposé.
3. Influences du milieu : température, humidité relative, pression.
4. Matières intermédiaires : huile, graisse, eau, particules, contaminants.
5. Charge.
6. Déplacement.

* (1) et (2) : appelés premier corps

* (4) : appelé troisième corps.

I.2.1 Les paramètres du système tribologique :

Le système tribologique est contrôlé par des paramètres dont les principaux sont :

Paramètres de fonctionnement : Mouvement, géométrie, la charge et la durée.

Paramètres d'environnement : Milieu (température...), lubrifiant, vibrations.

Paramètres matériaux : Propriétés physico-chimiques, mécaniques, surface.

Paramètres tribologiques : Coefficient de frottement, usure, 3ième corps.

Caractérisation : Analyse par profilomètre par MEB et EDS, par DRX.

I.2.2 Surface du contact

Le paramètre état de surface recouvre deux aspects fondamentaux de description du contact :

- L'état de surface micro géométrique.
- L'état de surface physico-chimique.

En réalité, le terme surface représente une couche d'épaisseur comprise entre 10^{-2} et 10^{-6} mm. La composition chimique et les propriétés mécaniques de cette zone peuvent être très différentes de celles du cœur du matériau. La surface peut être recouverte de films contaminant (gaz adsorbés, produits organiques), d'oxydes et dans le cas de métaux, peut être écrouie. La présence de ces écrans va modifier le comportement tribologique des corps en contact.

Les surfaces réelles sont constituées par les superpositions de plusieurs couches de nature, de structure et de composition pouvant être très différentes du métal de base. Leur présence et leur importance dépendent essentiellement du mode d'élaboration et de l'environnement, ces couches peuvent évoluer en cour de service [19].

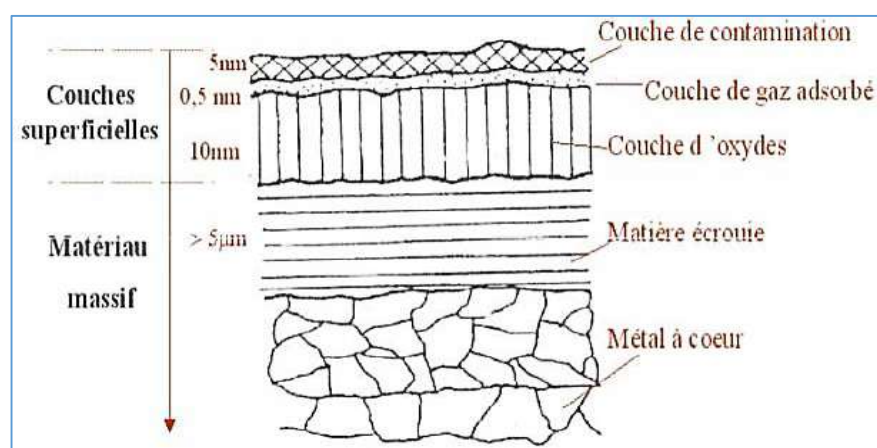


Figure I. 2 : Vue théorique d'une surface [20]

I.2.3 Principaux défauts de surfaces

Les défauts possibles d'une surface peuvent être divisés en quatre catégories, en allant du plus grand au plus Environnement. Il s'agit de préciser le milieu dans lequel évolue le contact car il intervient sur le comportement tribologique du système par :

-Sa nature (liquide ou gaz, composition chimique).

-Sa température, son débit éventuel.

- Ses propriétés mécaniques et physiques, qui interviendront dans le comportement mécanique du contact, dans l'énergie mise en jeu et dans sa dissipation.

-Ses propriétés chimiques : la réactivité du milieu ambiant avec les matériaux constituant les solides en contact est à l'origine de la création ou de la destruction des films superficiels, dont la présence peut modifier considérablement le comportement du contact.

Défaut d'ordre 1 : Ils correspondent aux défauts géométriques des surfaces : planéité, rectitude, circularité.

Défaut d'ordre 2 : Ils sont relatifs aux ondulations, sortes de collines et de vallées successives, inscrites dans le profil et engendrées par les vibrations, déformations des machines, traitements thermiques.

Défaut d'ordre 3 : Ce sont les stries de rugosité, sortes de sillons tracés avec régularité dans le relief des ondulations par les outils de coupe.

Défaut d'ordre 4 : Plus irrégulières, parfois accidentels, ils correspondent à des arrachements, fente [15].

II.2.4 Le contact

Le contact statique entre deux solides ne s'effectue donc pas sur la surface apparente commune aux deux solides, mais sur un ensemble de zones discrètes (aussi appelées aspérités) dont la somme des aires donne la surface réelle de contact. La recherche en tribologie porte sur l'étude de la dynamique des interfaces avec la prise de conscience du rôle fondamental des éléments interfaciaux dans un contact [23]. Dans le cas d'un frottement de glissement, les zones de contact sont sans cesse renouvelées. Le rapport aire réelle sur aire apparente peut varier de façon significative : il est alors plus facile de raisonner en termes de force appliquée plutôt que de pression. La surface réelle de contact est sensible à la charge appliquée. De nombreuses études se sont intéressées à la variation de l'aire réelle de contact en

fonction du mode de déformation des aspérités : élastiques pour le modèle d'Archard [24], élasto-plastiques pour le modèle de Greenwood-Williamson [25].

I.2.4.1 Différents types de géométries de contact étudié

Il s'agit de définir la nature et la géométrie du contact. Ces informations participeront à l'évaluation du champ de contraintes imposé au contact. Elles permettront aussi d'avoir une première idée sur les modes de contacts sec ou lubrifié. Le contact peut être de nature : solide/solide, liquide/solide, liquide + particules/solide, liquide + vapeur/solide. La géométrie du contacte caractérise la forme générale des surfaces qui limitent les solides aux voisinages de la zone de contact.

Le type de contact étudié est le contact (plan/plan et sphère/plan) [19].

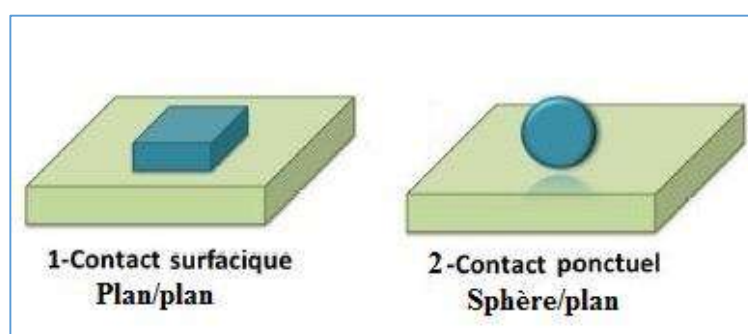


Figure I. 3 : Types de contacts étudiés

Dans le cas d'un frottement de glissement, les zones de contact sont sans cesse renouvelées.

Le rapport aire réelle sur aire apparente peut varier de façon significative : il est alors plus facile de raisonner en termes de force appliquée plutôt que de pression. La surface réelle de contact est sensible à la charge appliquée.

I.5 Influence des différents paramètres sur le comportement du contact

Les paramètres prédominants, dans tout type de contact, sont :

- Les matériaux; - la cinématique du contact; - la charge; - la vitesse; - l'environnement; - La microgéométrie.

I.5.1 Influence du matériau

La nature des matériaux des surfaces en contact a un rôle décisif dans le comportement général du système tribologique. Selon les fonctions tribologiques que doit assurer le contact, le choix des matériaux dépendra de leurs propriétés mécaniques et physicochimiques.

I.5.2 Influence de la cinématique du contact

La cinématique décrit le mouvement entre les deux surfaces en contact. Il existe trois types de cinématique : roulement, glissement et pivotement.

Le comportement du système tribologique peut être fortement affecté par la fréquence des sollicitations (continues, alternées ou répétées) qui se manifeste par des phénomènes de fatigue ou des difficultés du maintien du film lubrifiant.

I.5.3 Influence de la charge et la vitesse

La charge et la manière dont elle est appliquée permettent d'évaluer la nature et le niveau des contraintes auxquelles les couches superficielles sont soumises. Le comportement du contact dépend de son intensité et de son évolution au cours du temps.

Au début, la charge P n'est pas assez forte pour produire un frottement important. Or son augmentation impose une pression sur la surface de contact qui produit un frottement considérable, donc un coefficient de frottement important. Physiquement, l'augmentation de cette force produit une résistance entre les deux surfaces pour freiner la rotation du disque [26], cette résistance est due particulièrement, à l'état de surface [27]. Elle augmente l'usure.

La vitesse consiste à préciser les différents éléments de l'ensemble des vitesses et moments cinétique appliqué au contact, soit la nature et la cinématique du mouvement. Suivant les composantes de ce torseur mise en jeu au niveau du contact.

I.5.4 Influence du milieu environnant

Le milieu dans lequel évolue le contact a une grande influence sur le comportement tribologique du système. Cette influence dépend de :

- sa nature : liquide ou gaz ; - sa température ; - ses propriétés mécaniques et physiques: qui interviennent dans le comportement mécanique du contact ; - ses propriétés chimiques : la réactivité du milieu ambiant avec les matériaux constituant les solides en contact.

1.5.5 Influence de la microgéométrie

La microgéométrie est l'un des éléments d'appréciation de l'aire réelle de contact. Celui-ci met en jeu non seulement les aspects microgéométriques, mais aussi les interactions moléculaires inter-faciales et les forces de surface qui sont largement tributaires de la physicochimie de la surface [29].

1.6 Le frottement

Résistance au mouvement durant le glissement ou le roulement. Il est important de distinguer deux cas de frottement :

-Frottement statique : dans lequel la force appliquée est insuffisante pour produire un mouvement et est en relation avec le coefficient de frottement statique.

-Frottement dynamique : lié au Coefficient de frottement dynamique, apparaît lorsqu'un glissement Imminent se produit [30].

1.6.1 Lois empiriques du frottement

Le frottement sec est le parent pauvre de la tribologie d'après la littérature, cette pauvreté est due essentiellement aux divers aspects qui suivent :

- Le nombre élevé de paramètres influents qui peut atteindre facilement les six cents paramètres.
- Le caractère singulier de chaque système tribologique.
- La non uniformité des phénomènes à l'échelle du contact.
- L'évolution temporelle des phénomènes.

Les premiers travaux que l'on connaît sur le frottement sont ceux de Léonard de Vinci au début du 16ème siècle (1452 -1519). Mais, il faut attendre deux cents ans pour que ces travaux aient un statut académique. Puis Coulomb en 1780, ont été les

premiers à formuler les lois du frottement solide que nous connaissons actuellement [31].

Les lois d'Amontons se résument en deux postulats :

La force de frottement est proportionnelle à la force normale.

La force de frottement ne dépend pas de l'aire apparente de contact.

La première loi d'Amontons montre qu'il n'y aura pas de glissement entre deux solides en contact, tant que la force tangentielle F_t , nécessaire pour déplacer le solide, est inférieure à une force minimale F_s . Lorsque la force tangentielle atteint cette valeur seuil, la solide glisse.

$$F_s = \mu_s \cdot F_n \quad (\text{I.1})$$

Où : μ_s est le coefficient de frottement statique.

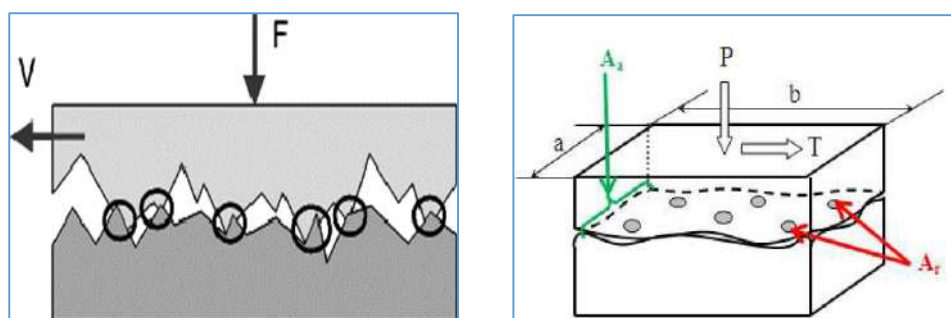
Une fois le solide mis en mouvement, une force F_d est nécessaire pour maintenir le glissement à vitesse constante. L'expérience montre que cette force est également proportionnelle à la charge normale appliquée :

$$F_d = \mu_d F_n \quad (\text{I.2})$$

μ_d : définit le coefficient de frottement dynamique, μ_d est généralement plus petit que μ_s .

$$\mu_d \leq \mu_s \quad (\text{I.3})$$

Selon la deuxième loi, l'aire apparente de contact n'influe pas sur la force de frottement F_t . Ce résultat très contre-intuitif a défié l'imagination des scientifiques plusieurs siècles avant que Bowden et Tabor [30] en 1950, proposent une explication tenant compte de l'effet de la rugosité des surfaces en contact (Figure I.12), paramètre non considéré dans la théorie d'Amontons – Coulomb.



P : Charge appliquée ; T : Effort tangentiel de frottement ;

Figure I. 4 : Contact tribologique de deux surfaces [32].

I.6.2 Classification des phénomènes de frottement

Il existe trois types de frottement : Le frottement sec, le frottement hydrodynamique et le frottement onctueux. Mais, notre étude expérimentale est consacrée au frottement sec.

I.6.2.1 Frottement sec utilisé

Le frottement sec, utilisé dans nos travaux, désigne l'ensemble des phénomènes qui naissent dans la zone de contact entre deux corps, en l'absence de lubrification, et qui s'opposent au glissement de ces corps. S'il y a glissement relatif entre les deux corps en contact, on parle de frottement dynamique, sinon le frottement est dit statique. La compréhension des mécanismes entrant en jeu est restée longtemps très lacunaire, malgré l'intérêt porté à ce problème depuis déjà de nombreuses années. Ce n'est que ces dernières décennies, grâce à l'accumulation de données expérimentales et d'études théoriques réalisées, que des progrès importants ont été faits [33].

Cependant, des progrès importants ont été réalisés à la suite des travaux de Holm en 1938, qui montrent que les aspérités en contact se déforment plastiquement et peuvent se souder, ainsi la force de frottement est directement liée aux contraintes de cisaillement des jonctions formées. Le modèle de Bowden et Tabor suppose que le frottement sec entre deux surfaces rugueuses est dû essentiellement à deux processus physiques fondamentaux, le cisaillement des micros jonctions adhésives formées au niveau des points de contact et le labourage des surfaces par les aspérités. La force du

frottement sec est ainsi la somme d'une force de cisaillement due à l'adhésion et d'une force de déformation due au labourage [34].

$$F_t = F_{ad} + F_{def} \quad (I.4)$$

1.7 L'usure

Les études sur L'usure se sont multipliées ces trois dernières décennies. Les phénomènes d'usure qui naturellement, ont un lien direct avec la dégradation des matériaux ont été classés d'après la nature physique du processus mis en jeu. On distingue ainsi aujourd'hui :

- Quatre types d'usure principaux : abrasion, adhésion, corrosion et fatigue
- Quatre types d'usure secondaires : érosion, fretting, impact et cavitation.
- Les définitions de ces types d'usure sont toujours discutées et elles n'ont jamais été l'objet de normes. On ne sait pas prédire avec précision l'usure en frottement sec [35].
- L'usure est la perte progressive de matériau due à l'interaction de surfaces en mouvement relatif (l'une par rapport à l'autre).
- L'usure est la perte de matériau d'une surface qui frotte sur une autre.
- L'usure est la perte de la matière subie par chaque surface frottant [36].

Afin de quantifier l'usure, on peut utiliser plusieurs types de formulations.

La première consiste à définir le coefficient d'usure K par la loi d'Archard [29] :

$$V = \quad (I. 5)$$

Ou : V : correspond au volume usé,

F_n : à la charge appliquée au contact,

d : à la distance parcourue et H : à la dureté du corps étudié.

Nous avons préféré retenir une seconde formulation, sans la dureté, qui définit un coefficient d'usure K en mm^2/N .

$$V = K \cdot F_n d \quad (I. 6)$$

$$\text{Ou } K = \quad (I. 7)$$

Cette seconde formulation est une loi plus générale qui correspond mieux à l'utilisation de deux matériaux de duretés différentes. Donc l'usure peut être définie comme l'enlèvement de matériau à partir de surfaces solides à la suite d'une action mécanique.

I.7.1 Evaluation de l'usure

Si l'usure est un phénomène bien identifié, elle n'a en revanche pas d'unité légale puisque ce n'est pas une grandeur physique, mais un phénomène. Elle représente la dégradation d'un contact, entraînant, dans un certain nombre de cas, une perte de fonction. Une étude, datant du XVIIème siècle, sur l'usure des pièces de monnaies écossaises établit une équivalence directe entre perte de masse et perte de fonction.

Dans l'année 1950, Archard établit expérimentalement une relation permettant d'estimer pour un contact pion- disque le volume de matériau usé V dans le cas d'un contact glissant à vitesse constante et pour des matériaux de dureté très différente :

$$V = K \cdot d \cdot F_n \quad (I.8)$$

En fonction d'un coefficient d'usure k sans dimension, de la force normale appliquée F_n de la dureté ou de la contrainte d'écoulement H du matériau le plus mou et de la distance de glissement.

La loi d'Archard s'exprime également sous la forme :

$$V = K \cdot F_n \cdot d \quad (I.9)$$

Avec ; K : coefficient d'usure (mm^2/N) ; V : volume de matière perdue (mm^3) ;

F_n : charge appliquée (N) ; d : distance de glissement (mm)

I.7.2 Lois d'usure adhésive

L'usure adhésive fait appel à des notions de physico-chimie. Il y a formation de liaisons (Intermoléculaires, interatomiques) à l'interface. On parle d'usure douce lorsqu'on a cisaillement de ces liaisons. L'usure sévère (aussi appelée « grippage ») apparaît lorsqu'il y a arrachement de matière de l'une des surfaces. D'où la formation d'un « film de transfert », collée à la surface antagoniste

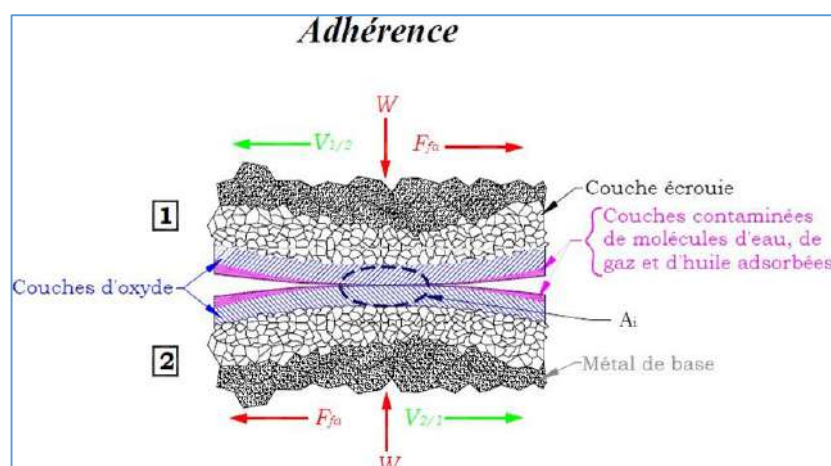


Figure I. 5 : Mécanisme de l'usure adhésive [26]

Holm en (1946) a quantifié le volume usé sous la forme :

$$V = \quad (I.10)$$

Avec ; V : volume de matière enlevée ; F_n : charge appliquée ; d : distance glissement ; C : constante (sans dimension) dépendante des matériaux en contact et leur état de propreté de surface.

En 1953 Archard a présenté un modèle très plausible du processus glissant qui permet la définition de la constante C . Il a supposé que lorsque deux aspérités entrent en contact et forment une jonction il existe une constante de probabilité K qu'une particule de débris. La probabilité qu'une quelconque jonction conduit à la formation d'une particule de débris transféré, supposée être égale à K , et, dans l'hypothèse où une telle particule est un hémisphère de diamètre x , le volume (V) d'usure par distance de glissement (d) est donnée par la relation :

$$V = (K \cdot F_n \cdot d) / H \quad (I.11)$$

Cette relation peut être considérée comme la loi fondamentale de l'usure adhésive, et k le coefficient d'usure sans dimension. L'équation Holm-Archard est simple et intéressante du fait qu'elle est linéaire et basée sur une relation d'énergie. Supposant un coefficient d'usure constant, plus nous introduisons d'énergie dans l'interface $F_n \cdot d$, plus important est le volume d'usure.

I.7.3 Lois d'usure abrasive

L'usure abrasive est un phénomène mécanique qui représente l'endommagement des surfaces par des aspérités (abrasion à deux corps) ou des particules « dures » (abrasion à trois corps). On différenciera le labourage (déplacement de matière et formation de bourrelets), prédominant pour les matériaux ductiles, de la coupe (enlèvement de matière), particulièrement repérée pour des matériaux fragiles

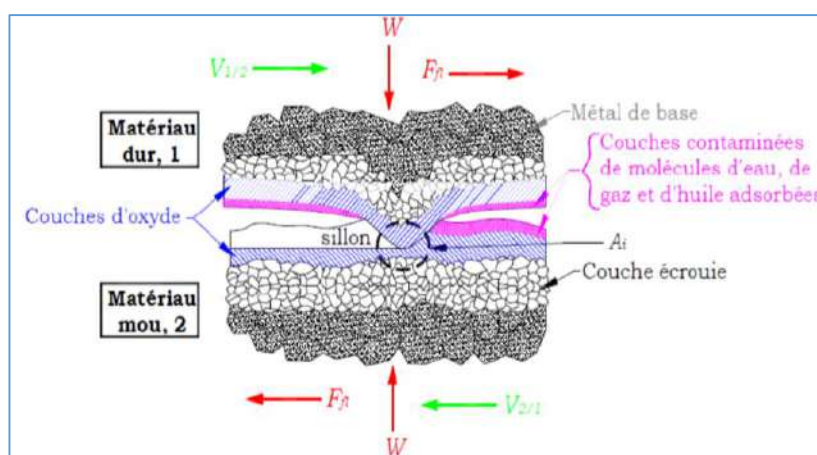


Figure I. 6 : Mécanisme de l'usure abrasive [26]

La nature de l'usure abrasive est précisée par le mode d'acheminement de l'aspérité dans le contact : soit l'aspérité est fixée à l'une des surfaces, et l'on parle alors d'abrasion à deux corps, soit l'aspérité est mobile par rapport aux deux surfaces, et l'on parle alors d'abrasion à trois corps [31].

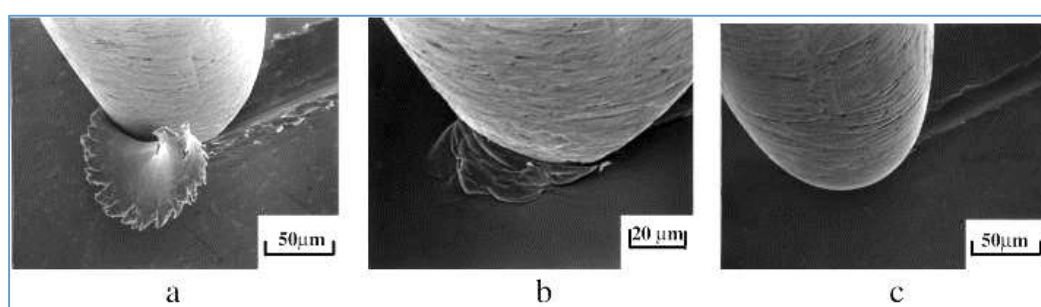


Figure I. 7 : Trois modes différents d'usure abrasive observés par MEB : (a) découpage, pion en acier sur laiton; (b) entrainement de matière ou tartinage, pion en acier sur acier inoxydable; (c) labourage pion en acier sur laiton [38].

De ce cas, nous pouvons exprimer l'usure adhésive sous la forme :

$\pi.H$: représente la constante d'usure adhésive K

Pour l'usure abrasive, il est commode de sélectionner la forme la plus simple de l'équation de l'usure même si sa signification physique devient moins apparente. Ainsi nous écrivons

$$V = \quad (I.12)$$

Où : π : représente la constante d'usure adhésive K

Pour l'usure abrasive, il est commode de sélectionner la forme la plus simple de l'équation de l'usure même si sa signification physique devient moins apparente. Ainsi nous écrivons

$$V = \quad (I.13)$$

Où : K_{abr} est le coefficient d'usure abrasive.

I.8 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions de la tribologie. Pour une meilleure compréhension des conditions d'usure et l'évolution de la topographie des surfaces en fonction de la pression de contact et de la vitesse de glissement, notre démarche devra s'atteler à des plans d'expériences sur banc d'essai et avant cela, nous devons aborder la présentation et la caractérisation des matériaux utilisés.

Chapitre II : Matériaux et Méthode expérimental

Chapitre II : Matériaux et Méthode expérimental

II.1 Présentation Et Caractérisation Des Matériaux Etudies

II.2 Introduction

Les matériaux non ferreux sont largement utilisés dans les applications où une grande résistance à l'usure et la corrosion s'avère nécessaire. Cependant, leurs propriétés telles la dureté et la tenue à l'usure par frottement ne sont pas toujours bien déterminés.

II.3 Description des matériaux utilisés

II.3.1 Matériau du disque étudié

Pour les essais d'usure sur le tour utilisant une configuration pion-on-disque, la fonte FG 25 a été utilisé comme disque (fixé sur le tour) d'un diamètre de 380 mm. EN-GJL-250 utilisé dans l'industrie automobile comme disques de frein. Il est également utilisé pour les couvercles de corps de pompe, de boîtiers électriques, de blocs-cylindres de moteur à combustion interne, de corps de soupape et de pièces moulées décoratives.



Avant l'essai

Après l'essai

Figure II. 1 : Photos du disque (EN-GJL-250)

La composition chimique donnée dans le tableau II.1.

Tableau II. 1: composition chimique de EN-GJL-250 [20]

Composition chimique	C	Si	Mn	Cu	Sc	Ni
Teneur en poids (%)	3.5	2.2	0.9	0.3	1.01	0.3

Chapitre II : Matériaux et Méthode expérimental

Et les caractéristiques mécaniques suivantes :

Limite rupture : 800Mpa, Allongement : 10% et Masse volumique : 8.7g/cm³

II.3.2 Les matériaux non ferreux étudiés :

La sélection de l'aluminium et du laiton pour évaluer les caractéristiques d'usure a été faite au vu de leur importance industrielle.

Alliage d'aluminium

L'alliage d'aluminium 7075 (AW7075) est un alliage d'aluminium avec du zinc comme élément d'alliage principal. Il possède d'excellentes propriétés mécaniques et présente une bonne ductilité, une résistance élevée, une ténacité et une bonne résistance à la fatigue.

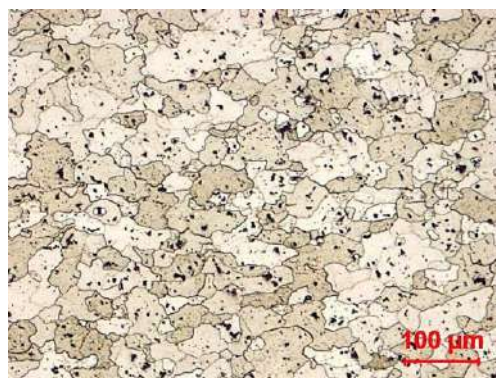


Figure II. 2. Microstructures telles que reçues d'un alliage d'aluminium 7075 (AW7075) [31]

Les compositions chimiques données dans le tableau II.5

Tableau II. 2. Composition chimique de l'aluminium [20]

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Autres	Aluminium
AA7075	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.03	99.50

Et les caractéristiques mécaniques suivantes : Masse volumique :2.81 g/cm³.

Alliage de laiton

L'analyse métallographique du pion en laiton ($CuZn39Pb2$) montre la présence des deux phases : α constituée de dendrites claires riches en cuivre et β qui apparait en brun foncé. Les taches noires observées sur la photographie représentent le plomb.

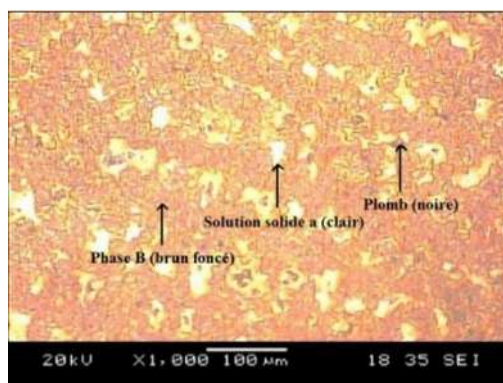


Figure II.3 : Photo MEB du laitton

Les compositions chimiques données dans le tableau II.6

Tableau II. 3 : composition chimique de l'alliage de laitton [20]



Composition chimique	Cu	Sn	Zn	Ni	Fe	Al	Pb	autre
Teneur en poids (%)	reste	0.05	39	0.2	0.05	0.02	0.005	0.1

Et les Caractéristiques mécaniques suivantes : Masse volumique : 8.4g/cm^3

III.4 Préparation des échantillons d'étude :

Les échantillons de forme cylindrique préparés au niveau d'atelier fabrication mécanique de la faculté de Génie Mécanique USTHB sont ceux du tableaux 4.

Tableau II. 4 : Caractéristiques des matériaux non ferreux (Expérience sur le banc d'essai)

Matériaux	Photo (avant l'essai)	Poids (g)
Alliage d'aluminium		23,4192
Alliage de laitton		49,26471

II.5 Techniques expérimentales

II.5.1 Expérience sur le banc d'essai

II.5.1.1 Dispositif expérimentale

Sur un banc d'essai figure II.4. (Tour conventionnelle) on place un disque en acier dur dans le mandrin, et sur le porte outil un dispositif porte pion réaliser afin d'observer la perte de masse (paramètre qui permet d'approcher le taux d'usure) pour deux pions de différents alliages laiton et aluminium à charge et vitesses différentes.

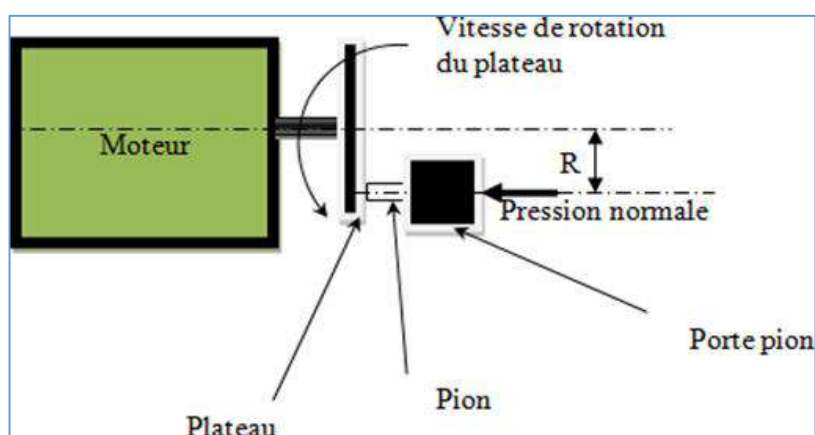


Figure II. 4 : Schémas d'usure Banc d'essais

III.1.2 Présentation du porte pion

Le Porte pion représenté sur la figure (II.5). a été préfabriqué à l'atelier mécanique de université de Ouargla, il comporte un tube (1) dans lequel loge un ressort de compression (2) et coulisse un cylindre (3) percé à l'extrémité pour porter pion (4) et l'échantillon.

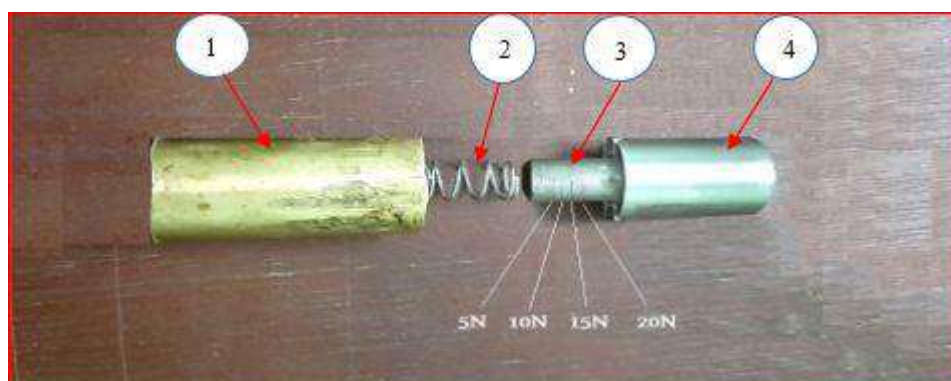


Figure II. 5 : Photo du porte pion

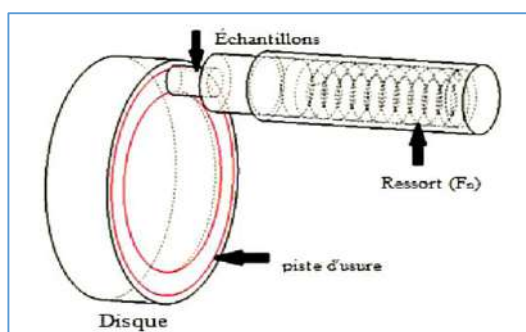


Figure II. 6. Schémas du porte pion utilisé

Le porte pion (1) a été fixé sur la tourelle (2) d'un tour universel horizontal (5) comme le montre la figure II.7. Son fonctionnement est basé sur le principe d'un ressort de compression qui exerce une pression sur le pion (3) engendrant ainsi une force normale F_n au contact de la surface du disque (4) en rotation, fixé sur le mandrin.

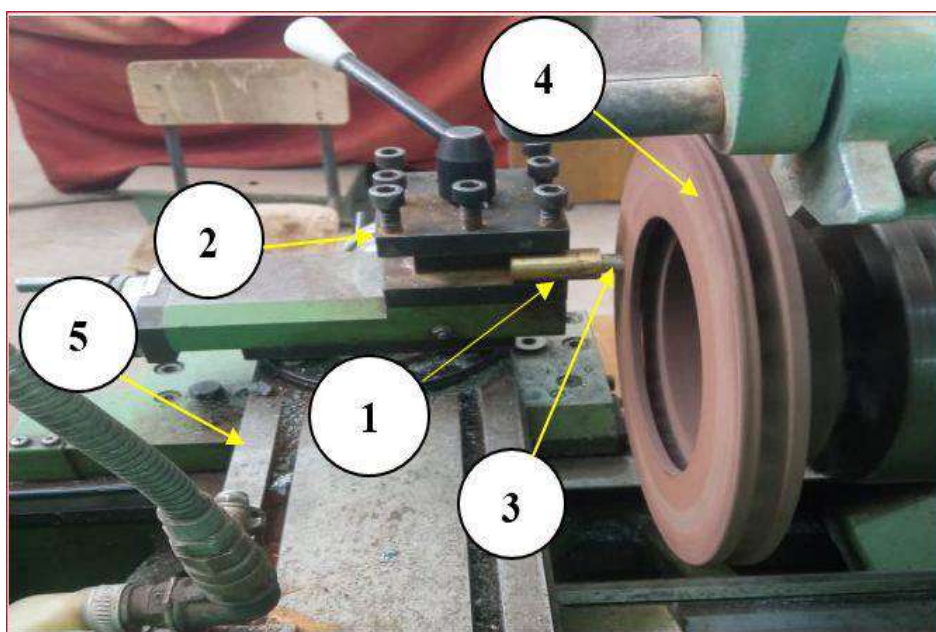


Figure II. 7 : Dispositif expérimental (pion-disque)

Le contact glissant entre le pion et le disque, induit par la force F_n appliquée sur le pion en contact direct avec la surface du disque en rotation, entraîne une usure du pion et fait apparaître une piste circulaire de frottement sur le disque autour de l'axe de rotation

III.1.3 Paramètres d'essais

Les essais font varier trois paramètres :

1. La vitesse : V [m/s]

- $D = 2R$ (R étant la distance entre le centre du pion et l'axe de rotation du disque) et qui est fixé à 115, 118, 107 mm pour les matériaux non ferreux (aluminium et alliage de laiton)
- N : Vitesse de rotation (sur le tour on choisira trois vitesses : $V_1 = 50$; $V_2 = 65$; 90 [tr/min])
- Donc:

$$V_1 =$$

$$V_2 =$$

$$V_3 =$$

- La variation de la vitesse se répercutera sur la distance parcourue L tel que :
 $L =$
- N_t : nombre de tours pour un temps
- Durée du test pour chaque échantillon : $t = 30\text{min}$

2. La distance parcourue

$$D_1 =$$

$$D_2 =$$

$$D_3 =$$

3. La force appliquée : F_n [N]

Qui aura les valeurs suivantes : 5N, 10N, 15N, 20N, chaque force sera appliquée à tous les échantillon (qui est soumis à 3 vitesses de rotation). Les essais sont réalisés à température ambiante (25°C).

III.1.4 Procédure expérimentale des essais d'usure

Les essais se sont déroulés de la manière suivante :

Avant essai

- Numérotation des pions ;
- Nettoyage des éprouvettes avec l'éthanol ;
- Pesée des pions à l'aide d'une balance électronique sensible à $10^{-4} g$;
- Mesure des états de surfaces des pions et des disques ;
- Montage du pion et du disque sur le tour ;
- Réglage de l'orthogonalité du montage entre le pion et le disque ;

Après l'essai

- Démontage des éprouvettes ;
- Dégraissage des éprouvettes à l'éthanol ;
- Pesée des pions ;
- Mesure des états de surfaces et mesure température de contact pendant le test;
- Analyse des résultats des perte de masse et température de contact.

III.2 Techniques des mesures et des analyses

III.2.1 Le calcul du Taux d'usure

La longueur du ressort a été mesurée en utilisant le pied à coulisse à l'état naturel sans aucune application de forces extérieures, puis le porte-échantillon réalisé (avec ses trois parties : 1 tube, 2 ressort de compression, 3 coulisse un cylindre) a été placé à l'intérieur du banc de test de ressort. Ensuite, les forces ont été appliquées successivement, et lorsqu'une force est appliquée au porte-échantillon, la longueur de la compression du ressort correspondant à la force appliquée est mesurée à l'aide du pied à coulisse, puis toutes les mesures sont enregistrées.



Figure II. 8 : Banc de test de ressort

La peser des échantillons a été effectuée sur une Balance de précision numérique Sartorius au niveau de Laboratoire de Rayonnement et Plasmas et Physique des Surfaces, Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Université de Ouargla.



Figure II. 9 : Balance de précision numérique Sartorius

La perte de masse (Δm) de l'échantillon est considérée comme un paramètre d'usure évoluant en fonction du temps. Pour déterminer (Δm) les pions ont été pesés avant et après les essais à l'aide d'une balance digitale de précision (0.0000) de marque Sartorius, dont l'erreur est de l'ordre de 10^{-4} g, la perte de masse est calculée comme suite :

$$\Delta m = m_i - m_f \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

m_i : masse initiale de l'échantillon (mg).

m_f : masse de l'échantillon (mg) après un temps d'usure sec.

Le taux d'usure est donné par la formule (I.9.loi d'Archard).

III.2.2 Procédure d'observation de la structure

Avant toute observation de la structure, on procède à un polissage qui est une phase principale dans la métallographie. En effet, pour pouvoir observer les détails microscopiques de la structure, il faut éliminer les rayures pour pouvoir accéder au coeur du matériau, qui n'a pas nécessairement les mêmes propriétés. Ce procédé consiste à utiliser des papiers avec des particules abrasives, sorte de toile émeri, de papier à verre, mais avec une taille de particules plus fine et maîtrisée, en général en carbure de silicium (SiC).



Figure II. 10 : Papiers à verres

III.2.3 Analyse par microscopie électronique à balayage

Des observations par Microscopie Electronique à Balayage (MEB) sont réalisées au niveau de CRAPC Université de Ouargla sur les faciès d'usure, pour analyser leur aspect microgéométriques et microstructurale.



Figure II. 11 : microscopie électronique à balayage MEB 6360 couplé à l'EDS

III.2.4 Rugosimètre

Les mesures de rugosité ont été effectués au département des génie mécanique université de ouargla sur un rugosimètre. Le profil de rugosité est mesuré sur une distance de 8mm. Nous avons mesuré la rugosité des échantillons à l'état initial. Ensuite nous avons effectué les mesures pour les échantillons après les essais.



Figure II. 12 : Rugosimètre

III.2.5 Mesure de la température de contact

Les valeurs de température de contact enregistrées par le thermomètre infrarouge de la marque UNI-T, UT 301 C, permettent de mesurer une (T) de -18 à 550 °C.



Figure II. 13: Thermomètre infrarouge de la marque UNI-T, UT 301 C

Figure. II.16 montre la position du pyromètre par rapport au disque dans le banc d'essai (tour universel)

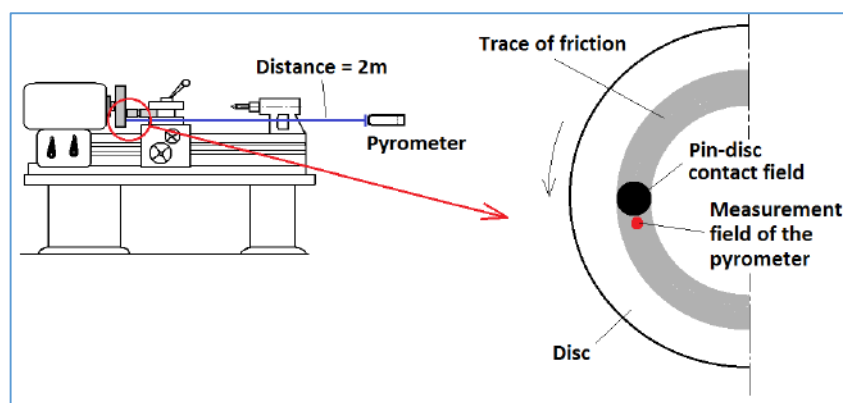


Figure II.14: Illustration de la position du pyromètre par rapport au disque

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les propriétés microstructurales des matériaux non ferreux, effectuées avant les tests tribologiques. Les différentes caractérisations décrites dans ce chapitre constituent la base de toutes les interprétations des résultats expérimentaux qui vont être présentées dans la suite de ce mémoire. Ce chapitre traite de l'étude expérimentale de l'usure et du frottement des matériaux non ferreux (aluminium et alliage de laiton). Cette étude expérimentale a été effectuée sur un banc d'essai grâce au dispositif de porte pion en faisant varier la force normale et la vitesse de rotation du disque pour chaque essai.

Chapitre III : Résultats et Discussion

I. Introduction

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus par tests d'usure. Les essais sont effectués sous conditions environnementales ambiantes en configuration pion on disque. Cette étude conduit à mettre en évidence les effets de la durée du frottement, la vitesse, l'effort normal et la rugosité de surface sur la réponse tribologique de contact. Pour chaque paramètre, nous allons analyser les résultats expérimentaux et interpréter les comportements observés en s'appuyant sur divers techniques d'expertise.

II. Frottement et usure

Dans cette partie nous analysons la perte de masse, taux d'usure, température de contact des échantillons en fonction du temps et la distance parcourue, et sous différent de la charge, la vitesse, et la rugosité de surface.

II.1 Influence du temps sur la perte de masse

L'évolution de la perte de masse de l'aluminium et l'alliage de laiton en fonction de temps est indiquée par la figure III.1. Le test d'usure a été effectué à la charge normal 10N et la vitesse de glissement 0.40 m/s.

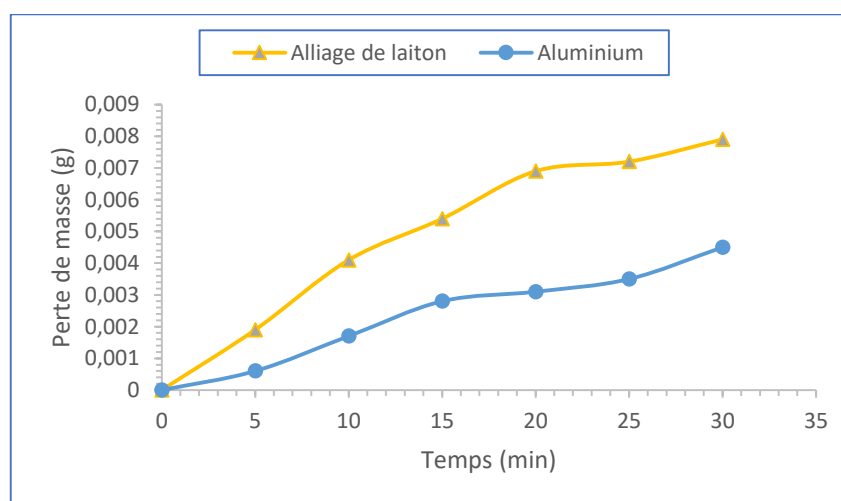


Figure III. 1: Evolution de la perte de masse de l'aluminium et laiton en fonction de temps

On remarque que la perte de masse de deux alliages augmente avec le temps. En plus la perte de masse d'alliage de laiton augmente plus rapidement que l'aluminium.

II.2 Influence de la charge normale sur la perte de masse de l'aluminium et laiton

La figure III.2 montre la variation de la perte de masse de l'aluminium et laiton en fonction des charges. L'essai de frottement a été effectué à différent des charges et vitesse de glissement constant 0.40 m/s.

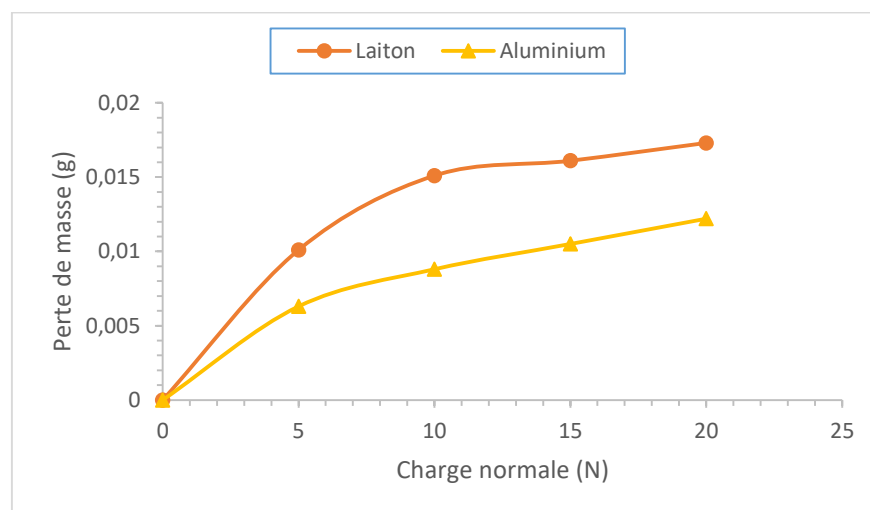


Figure III.2: Evolution de la perte de masse des matériaux étudiées sous différent des charges

D'après cette courbe on remarque que la perte de masse de deux alliages augmente avec l'augmentation de la charge. En plus la perte de masse d'alliage de laiton augment plus rapidement que l'aluminium .

II.3 Influence de la vitesse de glissement sur la perte de masse de l'aluminium et laiton

Dans les courbes si dessus nous remarquons que le comportement de Δm de l'aluminium et de laiton est croissant, et on remarque aussi que plus la vitesse de rotation du disque est importante ($V_1=0.30\text{m/s}$ et $V_2=0.40\text{m/s}$ $V_3=0.50\text{m/s}$) plus nous avons une grande perte de masse signe d'une usure adhésive plus importante, cette perte de masse augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation car la pente de droite pour V_1 est plus élevée que celle de V_2 .

La figure III.3 montre la variation de la perte de masse de l'aluminium et laiton en fonction de vitesse de glissement. L'essai de frottement a été effectué à différent de vitesse de glissement et charge normale constant 10N.

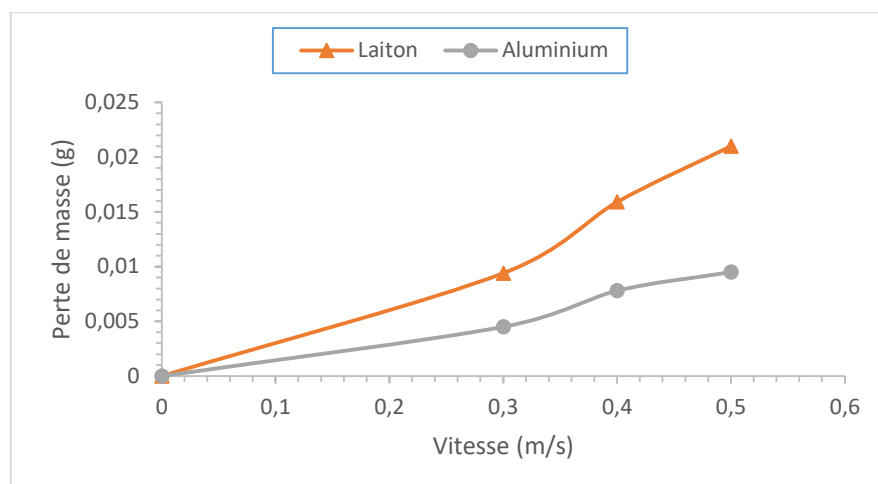


Figure III.3: Evolution de la perte de masse des matériaux étudiés sous différent des vitesses

On remarque que la perte de masse de deux alliages augmente avec l'augmentation de la vitesse. En plus, la perte de masse d'alliage de laiton augmente plus rapidement que l'aluminium.

II.4 Evolution de température de contact sous différent de charge normale

Les figures III.4 et III.5 montrent l'évolution de la température de contact de l'aluminium et laiton respectivement sous différent de charge normale.

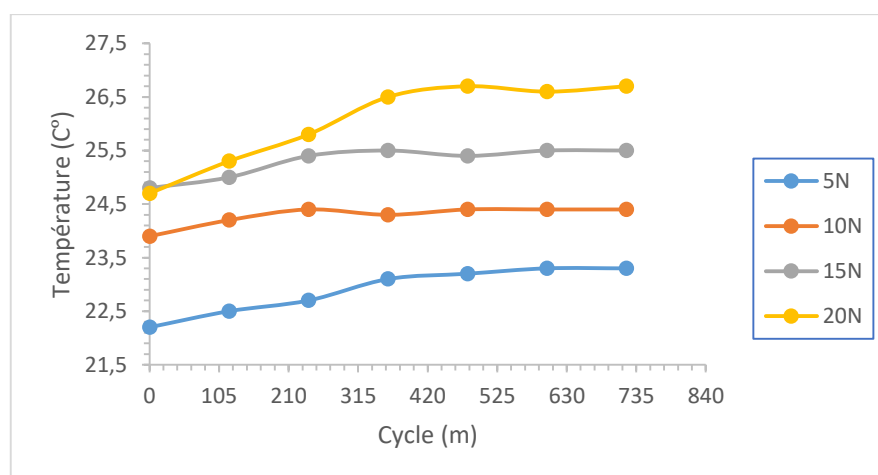


Figure III.4: Evolution de température de contact de l'aluminium sous différent des charges

Nous remarquons que lorsque la force de frottement augmente, la température augmente progressivement aussi avec la distance parcouru.

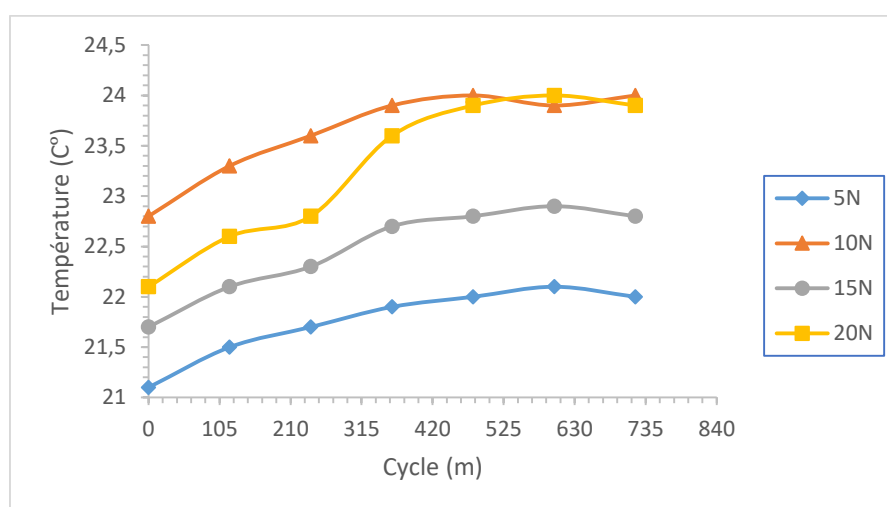


Figure III.5: Evolution de température de contact de laiton sous différent des charges

On remarque que lorsque la force de frottement est augmentée la température est augmentée aussi avec la distance parcouru .

II.5 Evolution de température de contact sous différent de vitesse de glissement

Les figure III.6 et III.7 illustre la variation de la température de contact de l'aluminium et de laiton respectivement sous différent de vitesse de glissement, la charge appliquée est 10N.

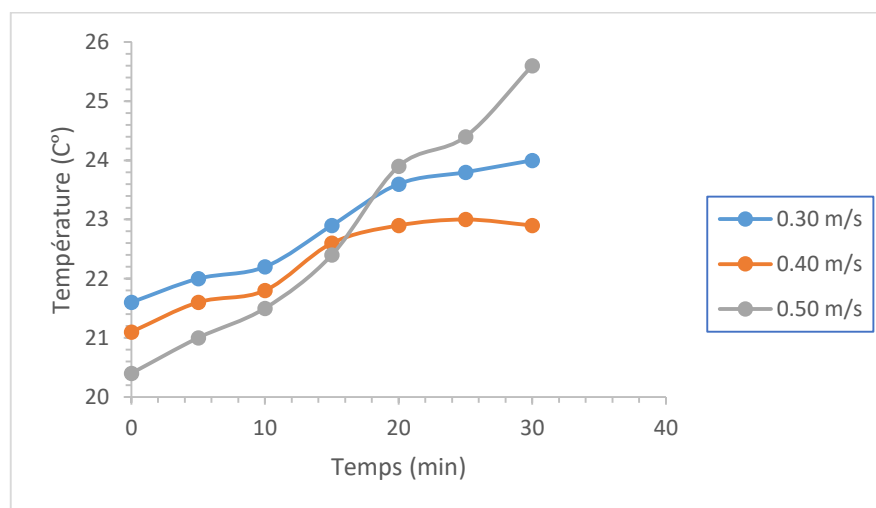


Figure III.6: Evolution de la température de contact de l'aluminium sous différent de vitesse

On constate qu'avec l'augmentation de la vitesse de frottement, la température de l'aluminium augmente .

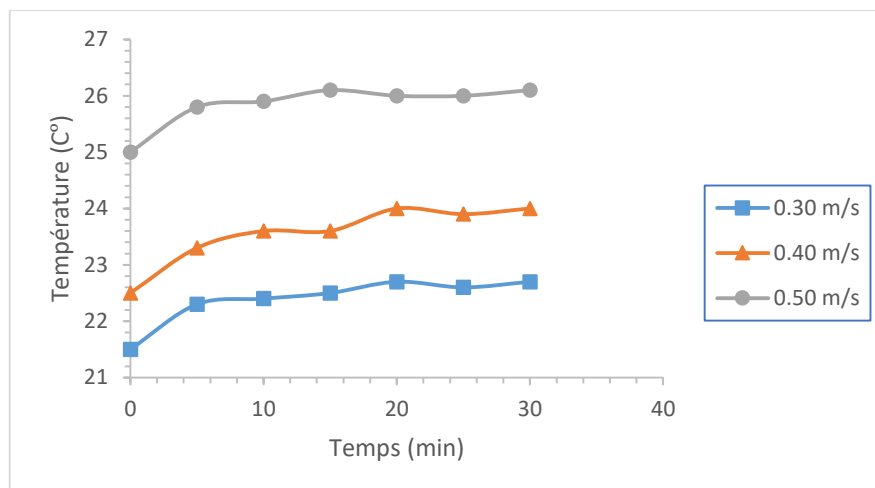


Figure III.7: Evolution de la température de contact de laiton sous différent de vitesse

On remarque que lorsque la vitesse de frottement est augmentée, la température d'alliage de laiton augmente aussi au cours de temps.

II.6 Influence de rugosité de surface initiale sur la perte de masse

Les courbes de la figure III.8 et III.9 montrent la variation de la perte de masse de l'aluminium et de laiton respectivement à différents degrés de rugosité de surface initiale. L'essai de frottement a été effectué à une charge de 10N et une vitesse de glissement constante de 0.40 m/s.

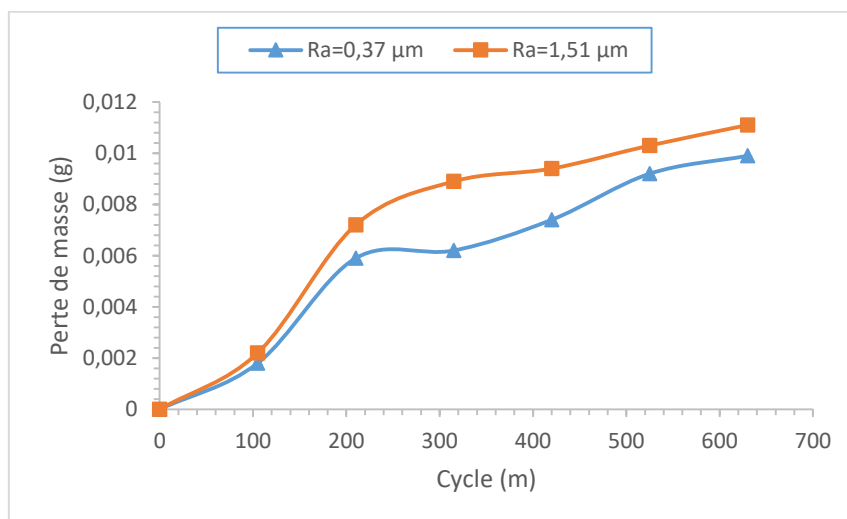


Figure III.8: Evolution de la perte de masse de l'aluminium à différents degrés de rugosité

Nous concluons que lorsque la rugosité de surface est augmentée, la perte de masse d'aluminium devient plus importante.

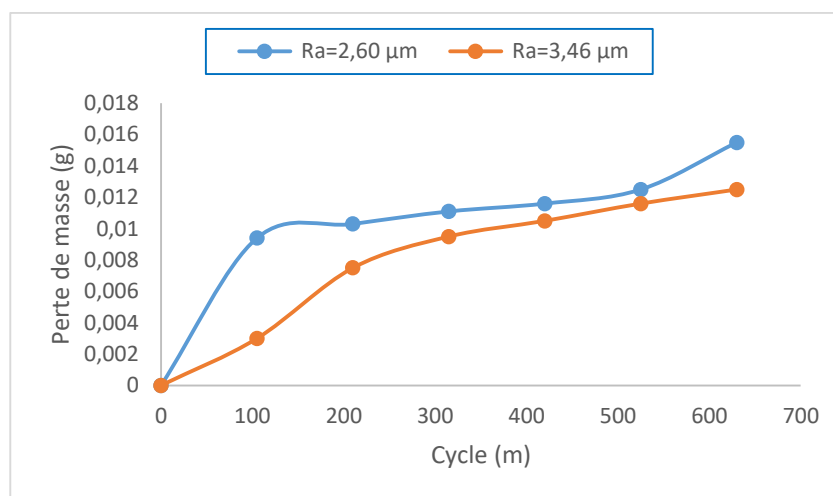


Figure III. 9: Evolution de perte de masse de laiton à différent de rugosité

On remarque aussi que lorsque la rugosité de surface est importante la perte de masse d'alliage de laiton est augmente .

II.7 Observation en MEB des surfaces usé :

L'observation au MEB des faciès d'usure des pions (aluminium et laiton), à la fin de l'essai, montre la formation des sillons labourés dans le sens de glissement (figure III.10 et III.11).

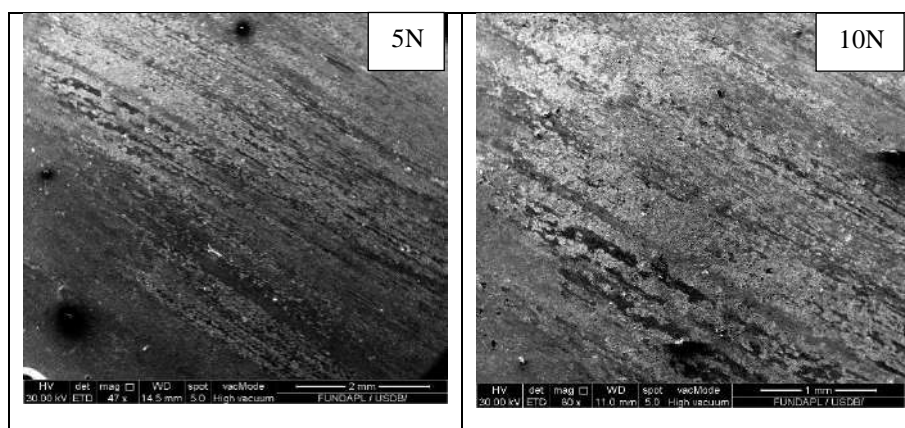


Figure III.10: Micrographies MEB de l'aluminium à différentes des charges

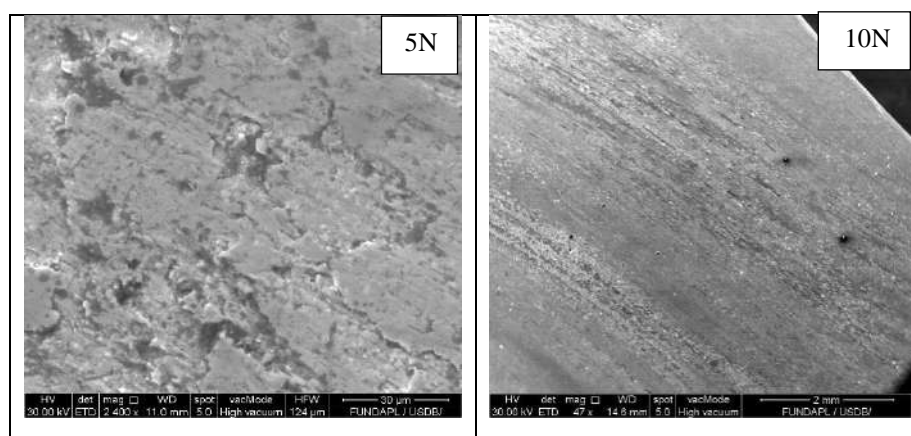


Figure III.11: Micrographies MEB de laiton à différentes des charges

L'accroissement de la charge normale, engendre une augmentation de l'aire réelle de contact et du transfert de matière. 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 aluminium et laiton) par les transformations, due aux échauffements superficiels. Ces observations sont quelque peu cohérentes avec ce que d'autres chercheurs ont trouvé [42, 43].

II.8 Evolution du taux d'usure (K)

Le taux d'usure (k) est défini par la formule (I.9) qui a été calculé pour 30 minute d'essai. La perte de masse (M_p) a été convertie en perte de volume (V_p) en utilisant la densité de l'aluminium $2,81 \text{ g/cm}^3$ et la densité de laiton $8,44 \text{ g/cm}^3$ [44, 45].

Les conditions expérimentales détaillées sont présentées dans le tableau III.2. Les densités représentées dans le tableau III.1.

Tableau III. 1: La densité des trois matériaux.

Matériaux	Aluminium	Laiton
Densité (g/cm^3)	2.81	8.44

Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Avec différent des charges normales

Les tableau III.2 représente l'évolution de taux d'usure (K_1) de l'aluminium et laiton sous différent de charges normales.

Tableau III. 2: Evolution de taux d'usure de l'aluminium et laiton sous différent de charges

Les charges	Taux d'usure $K_1 10^{-10}$ (cm ² /N)	Taux d'usure $K_1 10^{-9}$ (cm ² /N)
	Aluminium	Laiton
$F_{n1} = 5N$	9,9	4,26
$F_{n1} = 10N$	6,79	2,17
$F_{n4} = 15N$	4,78	1,89
$F_{n4} = 20N$	4,13	1,45

L'étude comparative du comportement du l'aluminium et du laiton à l'usure a montré que ce dernier présente une moindre résistance à l'usure par rapport au l' aluminium.

2. Avec différent des vitesses de glissements

Le tableau III.3 représente l'évolution de taux d'usure de l'aluminium et laiton sous différent de de vitesses de glissement.

Tableau III.3: Evolution de taux d'usure sous différent de vitesses de l'aluminium et laiton

Les charges	Taux d'usure $K_1 10^{-10}$ (cm ² /N)	Taux d'usure $K_1 10^{-9}$ (cm ² /N)
	Aluminium	Laiton
$V_1=0.30$ m/s	5,57	1,67
$V_2=0.40$ m/s	6,89	2,92
$V_3=0.50$ m/s	8,65	3,41

De ce qui précède, on peut déduire que l'aluminium présente une meilleure résistance à l'usure comparé au laiton. De même, si la force normale augmente le taux d'usure diminuer et si la vitesse de rotation du disque augmente le taux d'usure augmente. Ceci est valable pour les matériaux étudiés.

L'étude comparative du comportement de l'aluminium et du laiton à l'usure a montré que ce dernier présente une moindre résistance à l'usure par rapport au l'aluminium. D'où le choix de ce matériau pour l'analyse de l'évolution de l'usure, avec la condition la plus sévère de charge (20 N). Des essais à différents vitesse et

Chapitre III : Résultats et Discussion

charge sont effectués pour suivre l'évolution de la déformation plastique en volume du pion et du taux d'usure. Ces essais sont conduits dans les mêmes conditions opératoires.

On constate aussi que la rugosité affecte le comportement à l'usure des matériaux étudiés. Cet effet est indiqué par le rapport de la perte de masse sur la masse initiale. Les résultats de cette étude sont cohérents avec ce que cette recherche [39] a trouvé.

III. Conclusion

L'observation des surfaces des échantillons montrent que le mécanisme d'usure activé est celui par abrasion et un transfert de métal du matériau le moins dur vers le matériau le plus dur. Les résultats des essais ont montré que :

La perte de masse augmente avec l'effort normal, la vitesse de rotation et la rugosité de surface initial et présente la même allure pour l'aluminium et l'alliage en laiton.

La perte de masse augmente avec la distance de glissement et suit une loi linéaire notamment pour laiton. La pente de la droite a tendance à augmenter pour la charge élevée signe d'une usure par abrasion plus importante.

La température de surface de contact augmente avec l'augmentation de l'effort normal de contact et de la vitesse.

Conclusion générale

L'étude de l'usure des matériaux reste un problème difficile malgré les progrès considérables accomplis, d'où l'intérêt de ce travail de mémoire qui va contribuer à la bonne compréhension du comportement au frottement et à l'usure de l'aluminium et laiton.

L'étude bibliographique a montré que la microgéométrie de la surface, les paramètres tribologiques, la nature microstructurale du matériau et ses propriétés mécaniques jouent un rôle déterminant dans le phénomène d'usure. Pour cela, ces facteurs ont constitué la base de notre étude comparative du comportement à l'usure des matériaux étudiés dans le banc d'essai.

Différents paramètres ont été analysés : durée de sollicitation, vitesse de glissement, effort normal, rugosité du contrecorps et température. Par ailleurs, une analyse quantitative de la réponse tribologique en fonction de ces différents paramètres a été menée en se basant sur l'approche d'Archard.

L'observation des surfaces des échantillons montrent que le mécanisme d'usure activé est celui par abrasion et un transfert de métal du matériau le moins dur vers le matériau le plus dur.

Les résultats des essais ont montré que :

- La perte de masse augmente avec l'effort normal et la vitesse de rotation et présente la même allure pour l'aluminium et laiton
- La perte de masse augmente avec la distance de glissement et suit une loi linéaire notamment pour laiton. La pente de la droite a tendance à augmenter pour la charge élevée signe d'une usure par abrasion plus importante.
- De grandes rayures parallèles continues, qui reflètent l'usure abrasive à deux corps.
- De petites rayures enchevêtrées réparties sur toute la surface usée. Les analyses au niveau des pistes d'usure montrent une morphologie perturbée. Elles prouvent aussi la coexistence de l'abrasion à deux et à trois corps et la prédominance de celle à deux corps.

Conclusion générale

- L'influence de la rugosité de surface initiale sur la perte de masse est plus importante pour laiton que pour l'aluminium.
- Dans les mêmes conditions de fonctionnement, le comportement observé pour le banc d'essai suggère que le mécanisme d'usure lors des tests est le même pour chaque matériau.
- L'augmentation de la dureté et/ou la diminution de la concentration du liant dans l'échantillon a un effet direct sur l'amélioration de la résistance à l'usure du matériau considéré.

Pour conclure de façon plus globale sur ce travail, nous avons montré clairement qu'il existe une relation forte de comparaison expérimentale de nos alliages et leurs résistances à l'usure. En effet, un matériau avec un fort écrouissage, a une dureté très élevée, les endommagements sont très faibles car il n'y a pas de bourrelets latéraux et le retour élastique est très faible. Cette conclusion a été parfaitement vérifiée par l'étude expérimentale respective des divers alliages qui se classent par performance croissante.

Références Bibliographiques

1. Momeni, A., et al., *Effect of chemical composition and processing variables on the hot flow behavior of leaded brass alloys*. 2015. **626**: p. 1-8.
2. Kumar, P.V., G.M. Reddy, and K.S.J.D.T. Rao, *Microstructure, mechanical and corrosion behavior of high strength AA7075 aluminium alloy friction stir welds—Effect of post weld heat treatment*. 2015. **11**(4): p. 362-369.
3. Behera, A. and A.K.J.M.T.P. Sahoo, *Wear behaviour of Ni based superalloy: A review*. 2020. **33**: p. 5638-5642.
4. Matlin, M., et al., *Effect of ratio of hardnesses, load, and roughness parameters on approach in elastoplastic contact of rough surfaces of flat parts*. 2016. **37**(4): p. 320-323.
5. Sayah, T., et al., *Microstructure et sclérométrie à effet d'usure d'alliages durs de type: ni-Cr-B-Si-CW*. 2005. **93**(7-8): p. 271-277.
6. Sayah, T., S. Lebaili, and G.J.R.d.M. Marcon, *Microstructure and abrasion resistance of Ni-Cr-B-Si alloys*. 2005. **102**(2): p. 147-152.
7. Sayah, T., et al., *Structure métallurgique et comportement à l'abrasion d'alliages durs de type: Ni-Cr (10%)-B-Si*. 2005. **93**(7-8): p. 279-287.
8. Zambelli, G., L.J.P.p. Vincent, and S. universities of Switzerland, *Materials and Contacts: A Tribological Approach*. 1998.
9. Cruzado, A., M. Urchegui, and X.J.W. Gómez, *Finite element modeling of fretting wear scars in the thin steel wires: application in crossed cylinder arrangements*. 2014. **318**(1-2): p. 98-105.
10. Yousif, B.F. and N.S.J.T.O. El-Tayeb, *On tribo-test machine integrating pin-on-disc and block-on-ring*. 2007. **2**(2): p. 50-53.
11. Leonardi, M., et al., *A pin-on-disc study on the dry sliding behavior of a Cu-free friction material containing different types of natural graphite*. 2020. **442**: p. 203157.
12. Singh, J., S.S. Chatha, and B.S.J.J.o.M.P. Sidhu, *Abrasive wear behavior of newly developed weld overlaid tillage tools in laboratory and in actual field conditions*. 2020. **55**: p. 143-152.
13. Valtonen, K., et al., *Comparison of laboratory wear test results with the in-service performance of cutting edges of loader buckets*. 2017. **388**: p. 93-100.
14. Jafari, A. and R.A.J.F. Hattani, *Investigation of parameters influencing erosive wear using DEM*. 2020. **8**(1): p. 136-150.
15. Amyar, B., *Métrie dimensionnelle. T1: éléments de base*. 2010.
16. Codet, M., et al., *Effets mécaniques introduits par la formation et la présence de films en surface*. 1972.
17. Berthier, Y.J.W., *Experimental evidence for friction and wear modelling*. 1990. **139**(1): p.77-92.
18. Lepesant, P., *Mécanismes d'accommodation et débits de premiers et de troisième corps à haute température: étude et modélisation phénoménologique*. 2013.
19. Gras, R., *Tribologie: Principes et solutions industrielles*. 2008: L'Usine nouvelle.
20. Barrau, O., *Étude du frottement et de l'usure d'acier à outils de travail à chaud*. 2004.
21. Boulanger, J., *Tolérances et écarts dimensionnels, géométriques et d'états de surface*. 1991: Ed. Techniques Ingénieur.
22. Testers, P.S.J.S., *SURFACE MEASUREMENT SURFTEST SJ-201/SJ-301*. **178**: p. 393.
23. Frêne, J.J.M. and industries, *La tribologie de l'antiquité à nos jours*. 2001. **2**(4): p. 263-282.

Références Bibliographiques

24. Chazalon, P., *Etudes des variations de la résistance électrique du contact Balai-Bague de l'alternateur*. 2013, Châtenay-Malabry, Ecole centrale de Paris.
25. Da Silva Botelho, T., *Contribution à l'étude du comportement élastoplastique de surfaces métalliques rugueuses revêtues d'un métal de faible dureté*. 2004, Poitiers.
26. Bouchoucha, A., S. Chekroud, and D.J.A.s.s. Paulmier, *Influence of the electrical sliding speed on friction and wear processes in an electrical contact copper–stainless steel*. 2004. **223**(4): p. 330-342.
27. Määttä, A., P. Vuoristo, and T.J.T.I. Mäntylä, *Friction and adhesion of stainless steel strip against tool steels in unlubricated sliding with high contact load*. 2001. **34**(11): p. 779-786.
28. Gras, J.B.e.R., *Influence de la charge sur le comportement tribologique des revêtements*.
Essais de frottement, Tenue à l'usure. Revue Mécanique-Electricité, 1969. **29**: p. 9-28.
29. Mathieu, H.J., E. Bergmann, and R. Gras, *Analyse et technologie des surfaces: couches minces et tribologie*. Vol. 4. 2003: PPUR presses polytechniques.
30. BOUREBIA, M., *Influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs répercussions sur un contact mécanique*. 2010, Université de Annaba-Badji Mokhtar.
31. Georges, J.-M., *Frottement, usure et lubrification: tribologie ou science des surfaces*. 2000: CNRS éditions.
32. Clavel, M. and P.J.H. Bompard, *Endommagement et rupture des matériaux 1*. 2009.
33. Czichos, H., *Tribology: a systems approach to the science and technology of friction, lubrication, and wear*. Vol. 1. 2009: Elsevier.
34. GEORGES, J.J.S.e.t.d.l.i., *Frottement, usure et lubrification*. Paris: Eyrolles et CNRS Editions, 2000, 424 p.
35. Meng, H. and K.J.W. Ludema, *Wear models and predictive equations: their form and content*. 1995. **181**: p. 443-457.
36. Dhers, J., *Usure, avaries, corrosion, facteurs de destruction des matériels industriels*. 1978: Technique et vulgarisation.
37. Kapsa, P. and M.J.T.d.l.i.G.m. Cartier, *Usure des Contacts Mécaniques. Manifestations de l'usure*. 2001(BM5067): p. BM5067. 1-BM5067. 13.
38. Hokkirigawa, K. and K.J.T.i. Kato, *An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear*. 1988. **21**(1): p. 51-57.
39. Bougoffa, M.S.E., et al., *Dry Sliding Friction and Wear Behavior of CuZn39Pb2 and AA7075 Under Industrial and Laboratory Conditions*. 2021. **7**(2): p. 1-17.
40. Eddine, B.M.S. and M. Noura, *A Comparative Study on the Tribological Behavior of SAE-AISI 1055 Steel and Brass (CuZn39Pb2) a Pin on Disc Type of Contact*. in *Defect and Diffusion Forum*. 2019. Trans Tech Publ.
41. Federici, M., et al., *Effect of roughness on the wear behavior of HVOF coatings dry sliding against a friction material*. 2016. **368**: p. 326-334.
42. Sivasankaran, S.J.A.M.S., *Optimization on dry sliding wear behavior of yellow brass using face centered composite design [J]*. 2019. **6**(1): p. 80-96.
43. Cevik, E., et al., *An investigation on dry sliding wear behaviour of pressure infiltrated AA1050-XMg/B4C composites*. 2018. **25**(1): p. 67-73.
44. Stachowiak, G. and A.J.E.T. Batchelor, *Fatigue wear*. 2006: p. 595-619.
45. Kumar, H., et al., *Friction and wear behaviour of Ni-Cr-B hardface coating on 316LN stainless steel in liquid sodium at elevated temperature*. 2017. **495**: p. 431-437.

