

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA -

FACULTE DU TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MECANIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

OPTION : PRODUCTIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par:

KECHICHE Fateh

BACHIRI Yahia

Intitulé

**ETUDE ET ELABORATION D'UN DISPOSITIF DE
MESURE D'USURE**

Soutenu devant le jury composé de:

ZAOUI Moussa

Université M'sila

Président

SEBHI Ammar

Université M'sila

Rapporteur

FARSI Chawki

Université M'sila

Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Remerciements

Je tiens tout d'abord remercier en premier lieu Allah, le tout puissant, de m'avoir donné autant de courage, de patience et de volonté pour atteindre ce but.

Je tiens à remercier mon encadreur monsieur SEBHI AMMAR da m'veoir proposé ce mémoire, pour ces encouragements pendant toute la période de préparation de ce mémoire.

Je remercie très vivement les membres de ma famille pour leur compréhension, encouragement et aide pendant toute la période de préparation de ce mémoire, et surtout mes chers parents.

Je remercie tous les agents de la bibliothèque de faculté de technologie.

Introduction générale :

Les dégradations générées par les processus tribologiques (usures des surfaces) sont un problème majeur pour l'industrie mécanique. Elles impliquent souvent la réparation voire le remplacement des systèmes. L'usure est un processus complexe qui suppose une approche multidisciplinaire incluant différentes sciences comme la mécanique, la physique, la chimie. La sollicitation de fretting est un cas particulier des endommagements tribologiques, elle est caractérisée par des déplacements alternés de très faibles amplitudes, inférieures à la largeur du contact. Les sollicitations de fretting sont habituellement observées dans les assemblages serrés soumis à des vibrations.

Tout au long de l'histoire de l'industrie, les ingénieurs et les techniciens ont été toujours préoccupés de développer et d'améliorer les outils de travail.

Le choix judicieux et convenable des paramètres à étudier pour concevoir ou pour fabriquer d'objets ou d'outil est très important. Parmi les paramètres qu'on doit prendre en considération le contact entre deux ou plusieurs corps qui travaillent en mouvement de vibration ou mouvement d'oscillation. Ce phénomène, qui est connu sous le nom de fretting wear (contact entre deux surfaces ou plus) est rencontré dans presque tous les dispositifs qui travaillent en rotation.

Pour comprendre ce phénomène qui est le fretting wear, on est donc censé de faire des essais d'usure sur des matériaux.

Ces essais peuvent être réalisés à l'aide de dispositif conçus pour ça.

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier, nous présentons l'usure dans le domaine de tribologie.

Dans le deuxième chapitre, l'explication du principe de fretting wear avec des dispositifs généraux.

Dans le troisième chapitre, explication d'un dispositif proposé pour l'étude d'usure.

Enfin, une conclusion générale.

Chapitre I :

tribologie

I.1 Introduction à la tribologie :

La tribologie étudie les phénomènes susceptibles de se produire lorsque deux corps en contact sont animés de mouvements relatifs. Elle recouvre, entre autres, tous les domaines du frottement, de l'usure et de la lubrification.

La prise en compte des phénomènes tribologiques devient un passage obligé dans de nombreux secteurs industriels (automobile, aéronautique, micro technologie, ...) pour répondre aux enjeux technologiques et économiques (production et maîtrise de l'énergie, modernisation et automatisation des technologies de fabrication, fiabilisation des produits).

Cette science est reconnue par son caractère pluridisciplinaire. En effet, la tribologie est une science interdisciplinaire couplant la mécanique, la science des matériaux et la physico-chimie des surfaces.

Bien que le frottement soit impliqué dans de nombreux phénomènes et inclut de nombreuses disciplines scientifiques, sa théorie semble en retard par rapport à la pratique. La science qui étudie le frottement se nomme la tribologie. Ce mot, construit à partir des racines grecques *tribein* (frotter) et *logos* (discours, étude), a été proposé en 1968 par G. Salomon pour désigner la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire entre deux systèmes matériels en contact animés ou non de mouvements relatifs.

La tribologie s'intéresse à l'étude et à l'interprétation scientifique des faits expérimentaux attenants aux surfaces et possède pour principal objectif le développement technique des contacts mécaniques. En effet, les propriétés dégradées des solides sont bien plus souvent causées par celles des surfaces que celles des volumes. Les enjeux de la tribologie sont de plusieurs natures : assurer le bon fonctionnement et la fiabilité des machines ou améliorer leur rendement et leur durée de vie, diminuer les bruits de fonctionnement liés aux contacts mécaniques, diminuer le coût d'obtention des surfaces frottantes, etc.

Il est important de reconnaître le caractère pluridisciplinaire de la tribologie où le terme de couplage multi-physique prend tout son sens avec la science des matériaux, la physico-chimie des surfaces, la mécanique des solides et des surfaces, la thermique et la thermodynamique, la thermochimie et la thermo-métallurgie.

I.2. Les surfaces de contacts :

Les contacts réels sont généralement complexes et mal définis. Pour modéliser les mécanismes de dégradation en fretting, les chercheurs ont rapidement choisi des géométries simplifiées et plus faciles à étudier, on trouve les trois configurations suivantes (Figure 1):

- le contact plan/plan
- le contact cylindre/plan
- le contact sphère/plan

La configuration plan-plan permet de maintenir des surfaces de frottement constantes quelle que soit l'usure des interfaces. Cependant, l'analyse mécanique montre que la distribution de pression et surtout de cisaillement se caractérise par une discontinuité indéterminée en bordure de contact. L'analyse est alors très complexe et il est difficile d'évaluer correctement le chargement qui est imposé au matériau. De plus, la mise en glissement engendre des mésalignements qui accentuent encore les effets de bords. A cette configuration sont donc préférées les contacts cylindre-plan et sphère-plan.

Tous deux sont décrits par l'analyse d'Hertz en indentation normale en appliquant les principes de l'élasticité linéaire. Les distributions des contraintes dans le plan du contact cylindre-plan glissant sont données [5] pour des conditions de déformation plane (analyse élastique). Les distributions des chargements élastiques dans le plan du contact sphère-plan glissant sont introduites puis explicitées sous une forme sympathique [6]. Des informations plus complètes sur la mécanique des contacts [7].

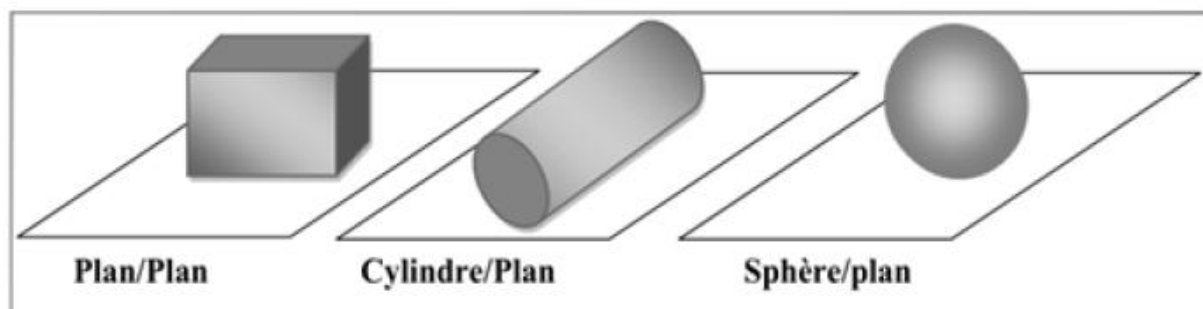


Figure 1 : configuration de contacts

I.3. L'usure :

L'usure physique dans le sens technique, est définie comme un processus caractérisé par une attaque mécanique, en première ligne par un frottement conduisant à une perte progressive de matière en surface d'un corps solide par séparation de petites particules, donc c'est un changement de forme. L'usure peut avoir lieu dans un mouvement relatif entre un objet et son milieu gazeux liquide ou solide. Le plus souvent l'usure est accompagnée par des phénomènes de corrosion où ces derniers ne sont pas clairs à séparer de l'usure. Même les connaissances et résultats obtenus pour les phénomènes d'usure n'ont pas une validité générale pour simplifier le danger de ce phénomène. Les pertes occasionnées par l'usure dans l'industrie mondiale s'élèvent annuellement à plusieurs millions de tonnes de métaux. A cause de l'usure, beaucoup de machines et équipements sont remplacés, le plus souvent, avec d'énormes dépenses. L'utilisation économique d'un métal est définie seulement par les différents essais d'usure et pour des sollicitations bien déterminées.

I.4. Les mécanismes d'usure :

Une liste non exhaustive de mécanismes d'usure peut être dressée. Ces phénomènes, repérés dans des cas différents de contacts, peuvent en théorie s'appliquer tous en même temps, certains étant prépondérants par rapport à d'autres en fonction des conditions imposées.

I.4.1. 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. [1]

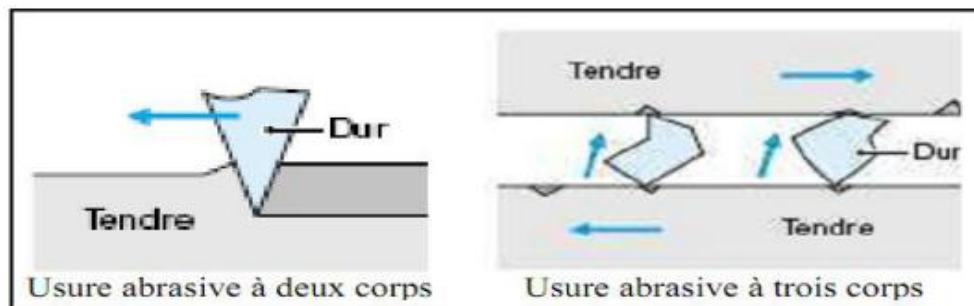


Figure 2 : Phénomènes élémentaires de l'usure abrasive d'après [20].

I.4.2. 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. [2]

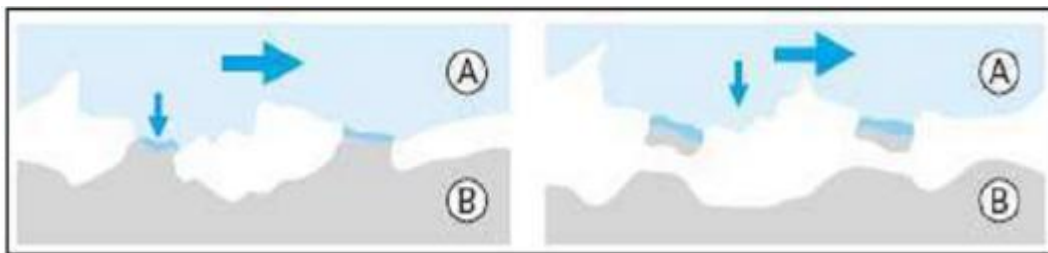


Figure 3 : Phénomènes élémentaires de l'usure adhésive d'après [20]

I.4.3. Usure corrosive (ou tribochimique) :

L'endommagement est ici dominé par des réactions chimiques, et les produits de corrosion sont enlevés par action mécanique. Il y a formation de films inter faciaux compactés.

I.4.4. Usure par fatigue :

Il y a formation de fissures dans les matériaux en présence, sous l'effet de gradients de contraintes cycliques. Les fissures se propagent vers la surface et il y a détachement de « grosses » particules dont la taille peut atteindre le millimètre.

On parlera particulièrement d'égrènement lorsqu'il y a formation de trous correspondant à la microstructure initiale des matériaux. Il y a « déchaussement » au niveau des joints de grains d'un métal par exemple.

On parle de délamination lorsque les déformations plastiques répétées des premiers corps conduisent à des fissures en sous-surface, parallèles à la surface. Il y a propagation des fissures le long du plan de cisaillement maximum. [3] et [4]

I .4.5.Usure par fretting:

Une situation d'usure en fretting correspond au contact de deux corps soumis à un déplacement alterné de faible amplitude, générant des débris et/ou des dégradations de surface à l'intérieur du contact. Une particularité du chargement de fretting est d'imposer au matériau un chargement cyclique alterné associé à la sollicitation tangentielle. Dans certains cas, des fissures orientées perpendiculairement à la surface peuvent apparaître à l'extérieur du contact, pour un nombre de cycles élevé aussi bien pour des matériaux ductiles que fragiles (phénomène de fatigue de surface). Si les débris d'usure générés dans l'interface ne peuvent pas être évacués rapidement à l'extérieur (contacts fermés), ils peuvent créer des dysfonctionnements ou des dégradations particulières (difficulté de démontage des assemblages due au colmatage des interfaces, usure abrasive...). Dans le cas d'une atmosphère créant une corrosion des débris d'usure, on parle de fretting-corrosion.

I .5. Les facteurs d'usure :

I .5.1. Mode de contact : [8]

La forme géométrique des pièces avant utilisation permet de distinguer :

- des contacts ponctuels (par exemple : sphère sur plan)
- les contacts linéaires (par exemple : cylindre mâle dans cylindre femelle)
- les contacts surfaciques (par exemple : plan sur plan)

Le mode de contacts géométriques influe sur le rôle que les différentes pièces jouent tout au long de la durée d'utilisation de la mécanique.

I .5.2. État de surface micro géométrique : [8]

Ce facteur a été séparé du précédent (mode de contact) en raison de son importance industrielle et des difficultés métrologiques que présente son contrôle.

Nous avons supposé que la forme géométrique des solides en contact parfaite. En réalité, du fait de la nature physique des différents procédés des défauts géométriques. Le procédé de mesure permet de définir la forme idéale, la microgéométrie et les aberrations microgéométriques.

I .5.3. La charge : [8]

C'est un facteur important dont dépend le processus d'usure, C'est la résultante des projections sur la normale, en chaque point de contact, nous préférons préciser la charge plutôt que la pression qui n'est pas souvent connue par le calcul qu'avec une grossière approximation.

I .5.4. La vitesse : [9]

la vitesse d'usure V_w (m^3/m) est exprimée par le rapport du volume enlevé V_w sur la distance de glissement L_{gl} .

$$V_w = \frac{dV_w}{dL_{gl}}$$

Selon la loi d'Archard, établie de façon empirique, le volume de matière enlevée par usure V_w est proportionnel à la force normale F_N et la distance de glissement L_{gl} . De plus, il est inversement proportionnel à la dureté H du matériau.

$$V_w = K_w \frac{F_N \cdot L_{gl}}{H}$$

K_w : coefficient d'usure.

Cette loi garde sa validité tant que les variations de températures dues aux frottements restent négligeables.

$$V_w = K_w \frac{F_N \cdot L_{gl}}{H}$$

Il existe des méthodes qui permettent de mesurer la vitesse d'usure en continu pendant l'essai, par exemple, en suivant le déplacement du crayon ou la quantité de matière enlevée, mais le plus souvent, on détermine le volume usé en fin d'essai seulement. En divisant par la durée de l'essai, on obtient alors la vitesse d'usure moyenne.

I .5.5. La nature des matériaux : [8]

Il s'agit de la composition chimique de la structure métallurgique et des propriétés mécaniques des métaux et alliages et plus particulièrement des couches superficielles. En effet, les problèmes d'usure mettent en jeu les surfaces et plus précisément, les interfaces et les couches superficielles des corps en contact.

1.5.6. Les environnements :

La température et la pression de l'air Parmi les facteurs qui ont influencé d'usure.

I.6. Les tribomètres :

I .6.1. Introduction :

Les tribomètres c'est un dispositif pour mesurer le frottement et l'usure, cette technologie de base utilisée dans la plupart des enquêtes tribologiques. Un tribomètre soigneusement sélectionné peut simuler toutes les caractéristiques essentielles d'un problème d'usure ou de frottement, sans les difficultés associées à l'expérimentation sur le matériel réel. A l'inverse, un tribomètre mal conçu ou sélectionné peut fournir entièrement faux résultats de sorte qu'une connaissance approfondie des caractéristiques de tribomètres est indispensable à tout programme de test tribologique. Il y a une grande variété de tribomètres disponibles et les caractéristiques de base des principaux groupes de tribomètres.

Le but d'un tribomètre est de fournir simulation de friction et d'usure dans des conditions contrôlées. Le frottement et l'usure sont très sensibles à des facteurs tels que les variations de température, de charge ou de l'humidité, il est donc essentiel de fournir un appareil où tous ces facteurs peuvent être soigneusement contrôlés et surveillés. Il y a également l'avantage pratique de faciliter l'expérimentation sans les difficultés qui accompagnent les études d'usure et de frottement se produisant sur l'équipement d'origine. Par exemple, l'usure entre les cylindres et les pistons est d'une importance économique considérable. Les essais en grandeur sur les moteurs à combustion interne sont limités par le temps et les ressources afin que les tests de lubrifiant beaucoup préliminaire est effectuée sur des machines de test simplifiées. Une autre raison de l'utilisation de tribomètres est qu'ils peuvent être conçus pour permettre une mesure précise de la friction, l'usure et des paramètres associés (par exemple , la température) d'une manière qui est impossible avec les dispositifs industriels classiques. Cet aspect de tribomètres est de plus en plus important que les nouvelles technologies permettent l'application de moyens plus sophistiqués d'observation et de mesure.

Pas toutes les études tribologiques exigent l'application de tribomètres typiques avec un contact dynamique. Dans certains cas, en particulier celles relatives aux aspects fondamentaux de la tribologie, ces tribomètres traditionnels ne sont pas utilisés.

Au lieu de cela, les caractéristiques de base de la friction, l'usure ou de lubrification sont simulés par des procédés physiques, qui sont censées fournir un modèle expérimental de phénomènes tribologiques. Un exemple de cette approche est l'étude de la déformation de la

matière en vue d'enquêter sur les aspects mécaniques de l'usure, les mécanismes de déformation à savoir aspérité.

Le but de ce type d'expérience est d'obtenir des informations sur les mécanismes d'usure et de frottement, qui sont normalement cachés de l'observation directe ou de la mesure.

I .6.2. Caractéristiques de base d'un tribomètre :

Les tribomètres qui permettent l'expérimentation dans un laboratoire, dans certains cas, l'équipement industriel peut être modifié pour permettre des mesures tribologiques, par exemple, porter des essais sur des assemblages de corde et poulie fil réelle ou le moteur à pleine échelle essais. En dehors de l'implication générale des tribomètres sont conçus pour un laboratoire, il y a une grande variation dans la conception et la technologie tribomètre. Selon la Société des tribologistes et ingénieurs en lubrification.

I .6.3. Les principaux types de tribomètre :

I .6.3.1. Tribomètre d'Olsson:

Olsson a proposé une solution très intéressante pour caractériser les phénomènes tribologiques aux interfaces Outil/Pièce/Copeau lors d'une opération d'usinage (Figure 4) En effet, un pion instrumenté (A) en effort est placé juste après un outil de coupe(C) qui va régénérer la surface de frottement (D). Ce dernier frotte sur une surface chimiquement activée. Les pressions locales sont de l'ordre 15 MPa ce qui reste faible par rapport aux pressions en usinage. Le tribomètre d'Olsson présente également un inconvénient dû à l'outil de coupe qui régénère la surface. En effet, l'outil introduit un flux de chaleur lié à l'action de coupe. Par conséquent, le pion frotte sur une surface possédant une température initiale différente de la température ambiante. De plus cette température initiale dépend de la vitesse de coupe (= vitesse de frottement). La caractérisation du frottement par ce dispositif impose donc un dispositif complémentaire permettant de connaître la température initiale. A titre de comparaison, le dispositif de Hedenquist ne possède pas de tel problème.

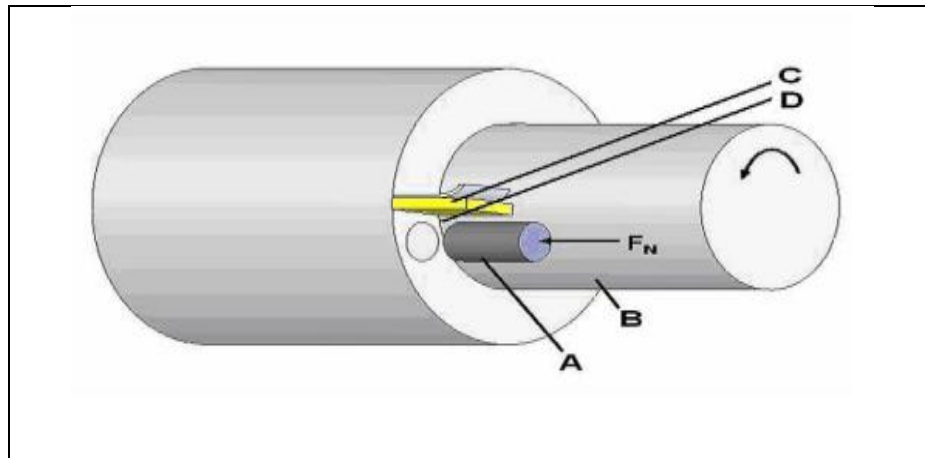


Figure 4 : Principe du tribomètre d'Olsson A : pion, B : cylindre,
C : outil de régénération, D : surface régénérée

I .6.3.2.Tribomètre Grzesik:

Grzesik et Zalisz, ont développé un dispositif dérivé des cas classiques, permettant une longue distance de frottement afin de mesurer la résistance à l'usure des revêtements pour des outils de coupe. Ce dispositif utilise un contact cylindre (pion)-plan (pièce). Il donne en temps réel, les forces de frottement et l'usure linéaire du couple pion-pièce en fonction de la distance de glissement. Ce dispositif permet de réaliser des essais de frottement avec des vitesses de glissement relativement élevées allant jusqu'à 180 m/min. Par contre les pressions sont insuffisantes. La Figure 5 illustre le principe de ce tribomètre.

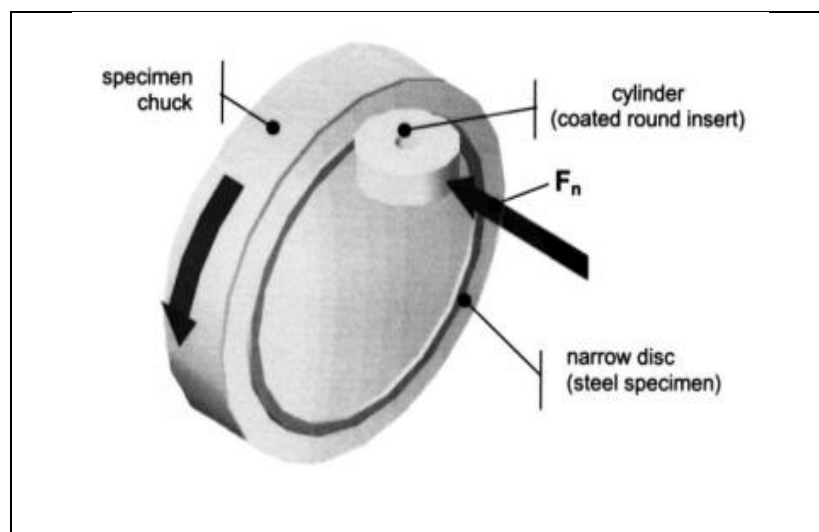


Figure 5 : Principe du tribomètre Grzesik

I .6.4. Principe de tribomètre :

Tribomètres peuvent utiliser les deux modes linéaires et rotatifs de mouvement dans une large gamme. Après que l'échantillon est monté, une force normale connue est appliquée sur une broche ou une balle. Ceci est généralement fait avec l'utilisation d'une force de poids mort. Le contact de la broche ou une bille avec la surface à étudier, qu'il s'agisse génère le mouvement linéaire ou rotatif, la flexion du bras élastique est détectée par un capteur de force à haute résolution comme on le voit sur la figure 6, ces informations sont ensuite converties par le logiciel équipé du tribomètre au coefficient de friction approprié.

En outre, le volume perdu permet de calculer le débit du matériau d'usure.

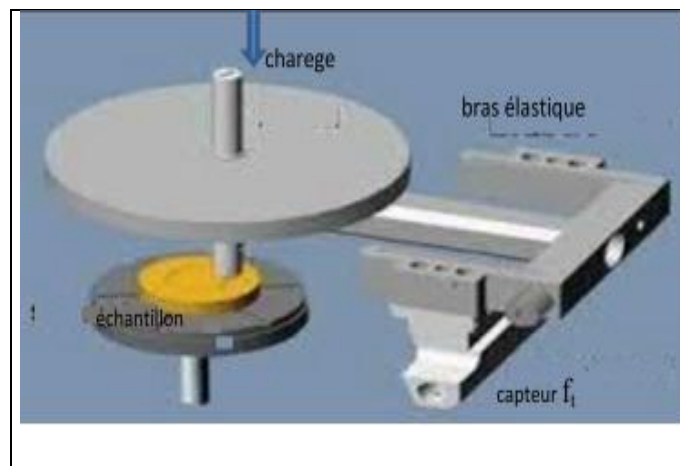


Figure 6 : Principe de fonctionnement d'un tribomètre

I.6.5. le domaine d'utilisation des tribomètres :

➤ **Mesure de force en utilisant différents types Strain Gauge :**

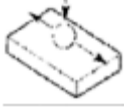
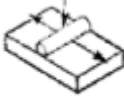
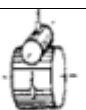
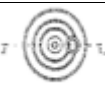
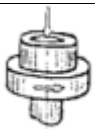
La jauge de contrainte est le principal composant d'une cellule de charge / capteur permettant la mesure d'une sortie de tension provoquée par un changement de la résistance du circuit. Ceci est utilisé pour représenter des informations utiles, y compris presseur, la force, le couple, la position, etc. Ils comptent sur un modèle de film résistif monté sur le support de la matière. Comme la feuille est soumise à une contrainte, sa résistance change. Cette

variation de résistance est mesurée au moyen d'un circuit en pont de Wheatstone. Le circuit est excité à l'aide d'une alimentation en courant continu et divers conditionnement de signal. Puis, comme une charge est appliquée au capteur, la variation de résistance provoque le pont de Wheatstone pour devenir asymétrique et entraîne un signal de sortie. En règle générale, cette sortie est en millivolts et est amplifié par l'électronique de conditionnement de l'ordre de 5 à 10 volts.

Malheureusement, la plupart de ces modèles suivent les préceptes de la commodité pratique plutôt que les principes de l'expérimentation tribologique. Malgré le nombre de modèles disponibles de la gamme actuelle d'options pour l'expérimentation utile est plus limitée. Le nombre de tribomètres qui ont été régulièrement utilisées par les groupes de recherche est beaucoup plus petit.

Tous les tribomètres contiennent un contact d'usure, qui est l'objet de tests effectués, ce qui constitue la base de l'appareil. Le tribomètre moyen contient également divers équipements auxiliaires fournissant le mouvement, en imposant la charge et la fourniture de lubrifiant ou de l'atmosphère de gaz spécial. Tribomètres plus avancés sont équipés d'instruments pour mesurer le coefficient de frottement, les taux d'usure et souvent aussi une température. En dehors de ces caractéristiques de base, tribomètres diffèrent considérablement dans la conception et la fonction.

Le premier facteur qui nécessite une large gamme de tribomètres est la variété de porter des contacts qui se produisent dans les situations réelles qui doivent être simulées. Usure se produit dans des conditions de glissement pur, roulement pur, combiné au roulement et le glissement, l'impact, l'abrasion, l'érosion et la cavitation. Chaque forme de porter le mouvement exige un tribomètre spécialement conçu, comme le montre le Tableau suivants :

Contact	Tribomètre	Caractéristiques de test	Référence	
	tribomètre Unidirectionnel alternatif pion /plan	✓ Contact ponctuel ✓ Test du lubrifiant et du matériau	KUO-88	Evolution des performances d'additifs réducteurs de frottement en fonction de la température du test
	tribomètre Unidirectionnel alternatif cylindre /plan	✓ Contact linéique ✓ Zone de frottement large ✓ Test du lubrifiant et du matériau	JOH-95	Evolution des performances d'additifs réducteurs de frottement en fonction avec la température et la durée du test.
	tribomètre cylindre / cylindre	✓ Contact ponctuel ✓ Test du lubrifiant et du matériau	YAM-91	Etude des performances de mélanges d'additifs
	tribomètre Timken cylindre / plan	✓ Test du lubrifiant et du matériau ✓ Test anti-usure à charge constante ✓ Test extrême – pression avec montée en charge.	WES-46	Influence de la viscosité des huiles l'usure des pièces
	Tribomètre 4 Billes	✓ Contact ponctuel à 3 points ✓ Test anti-usure à charge constante ✓ Test extrême – pression avec montée en charge.	ROU-89	Mesure de l'usure en fonction de la charge appliquée
	Tribomètre rotatif pion/plan	✓ Contact ponctuel ✓ Test du lubrifiant et du matériau	JAM-71	Etude de lubrifiants solides.
	Tribomètre rotatif plan/plan	✓ Contact surfacique ✓ Large zone de frottement	GEO-79	Etude de l'usure en fonction du nombre de passage.
	Tribomètre rotatif plan/plan (Même axe)	✓ Contact surfacique ✓ Tests à chaud	MIL-58	performance du MoS 2 fonction de la température du test.
	Tribomètre Falex pion/ blocs en vé	✓ Contact ✓ Test anti-usure à charge constante ✓ Test extrême – pression avec montée en charge.	HOL-98	Procédure anti- usure. Etude des lubrifiants pour le tréfilage.

Par exemple, un tribomètre populaire conçu pour tester les lubrifiants sous contraintes de contact extrêmes est l'appareil «quatre balles» qui consistent en une combinaison pyramidale de billes d'acier pressée avec trois balles stationnaire et la quatrième rotation. En revanche, un tribomètre destiné à tester le coefficient de frottement d'une surface dure constituée d'un tapis roulant d'angles afin de déterminer le coefficient de frottement de la pente qui est nécessaire pour glisser.

Les variations dans l'échelle des paramètres de fonctionnement de base, tels que la vitesse et l'amplitude de glissement ont aussi une influence fondamentale sur la conception d'un tribomètre.

La plupart des tribomètres fonctionnent à des vitesses de glissement dans la plage comprise entre 0,001 à 1 [m /s] et sont conçus pour l'usure par abrasion, usure adhésive, usure de délaminage, l'usure de la fatigue ou d'autres mécanismes d'usure connexes. Cependant, certains tribomètres doivent fonctionner à des vitesses de glissement en dehors de cette fourchette. Par exemple, des études d'usure de fusion en métaux exigent des vitesses de glissement très élevées ou plus et une conception différente de tribomètre est requis. Dans les études de fretting, bien que fretting soit une forme de mouvement alternatif coulissant, l'amplitude en cause est très faible dans la plage comprise de sorte que la construction d'un appareil d'usure de contact est significativement différente d'un tribomètre conçu pour étudier coulissant macroscopique. Ainsi, bien qu'il y ait un certain nombre de tribomètres qui sont décrits comme ayant une gamme complète de fonctions de test, par exemple la «machine d'essai d'usure universel», machines de test presque tous connus ont une gamme limitée d'applications.

Tribomètres sont généralement conçus pour couvrir une gamme spécifique de mécanismes d'usure ou des conditions d'exploitation et sont généralement impropres ou inefficaces pour des conditions expérimentales qui sont en dehors de leur plage de fonctionnement prévue. En termes généraux, tribomètres peuvent commodément être classés dans les groupes qui sont basés sur des mécanismes d'usure ou les conditions de fonctionnement.

➤ **Tribomètre pour partiellement contacts lubrifié :**

Cette classe de tribomètres est probablement le plus grand et le plus largement développée comme beaucoup d'intérêt commercial est investi dans un appareil qui peut commodément évaluer les lubrifiants. Des exemples de configurations les plus couramment utilisés dans les appareils de l'usure par glissement sec ou partiellement lubrifié sont illustrés schématiquement suivants :

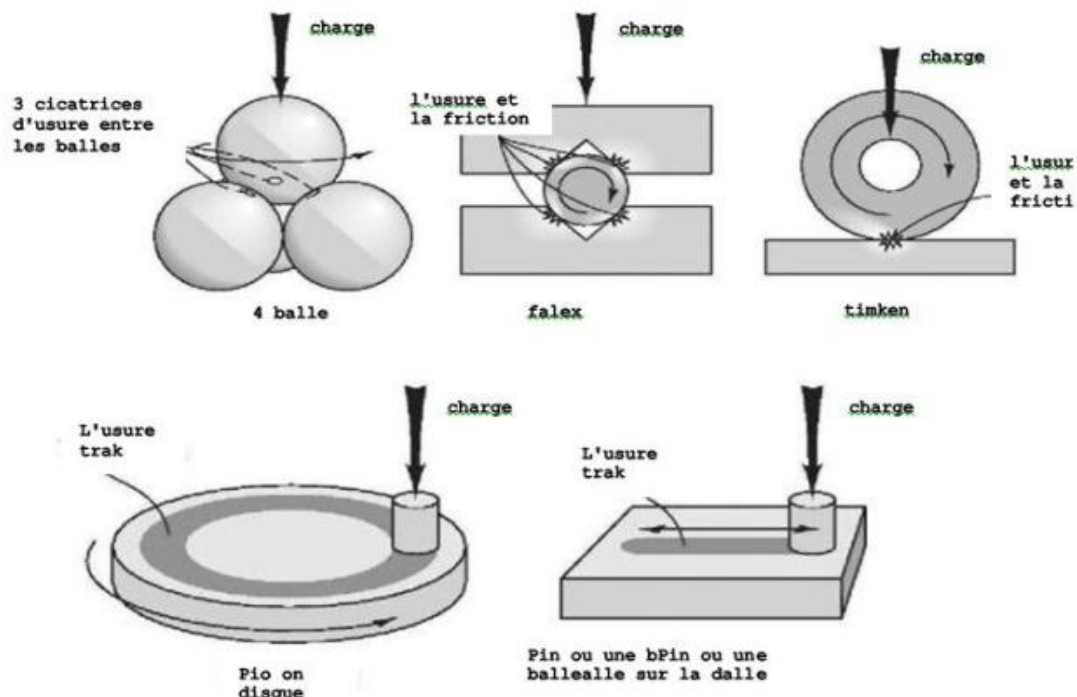


Figure 7 : Représentation schématique des exemples de configurations de base utilisées dans les simulations de contacts glissants secs ou partiellement lubrifiés.

➤ **Tribomètre pour abrasive, érosion et cavitation usure :**

Cette classe de tribomètres EST radicalement différente dans la conception des tribomètres utilisés pour étudier les contacts glissants secs ou partiellement lubrifiés. IL peut, cependant, être quelques exceptions. D'autre part, dans des études de trois corps de l'usure par abrasion et érosion, il est nécessaire de traiter un flux de particules abrasives. Dans les tests d'usure par érosion des particules abrasives sont généralement propulsés par l'air, du gaz ou jet de liquide

contre l'échantillon stationnaire tandis que l'usure par abrasion dans les tests de l'échantillon peut être déplacée afin d'obtenir un écoulement des particules abrasives sur sa surface.

Dans tribomètres d'usure érosive, la sélection des paramètres de buse est la vitesse des particules abrasive importantes et les trajectoires peuvent influencer sur les données obtenues. Par exemple, il a été constaté que, dans tribomètres où les particules, la rugosité de la surface intérieure de la buse doit être soigneusement contrôlée. Une buse trop rugueuse provoque les particules de flux émanant de la buse. Des études ont également de cavitation usure nécessite un appareil spécialisé. Cavitation peut être induite par le mouvement rapide d'un échantillon d'essai dans un fluide ou plus commodément. Les principaux types d'appareils pour l'étude d'abrasive, érosive et l'usure de cavitation sont schématiquement illustrés à la figure 8.

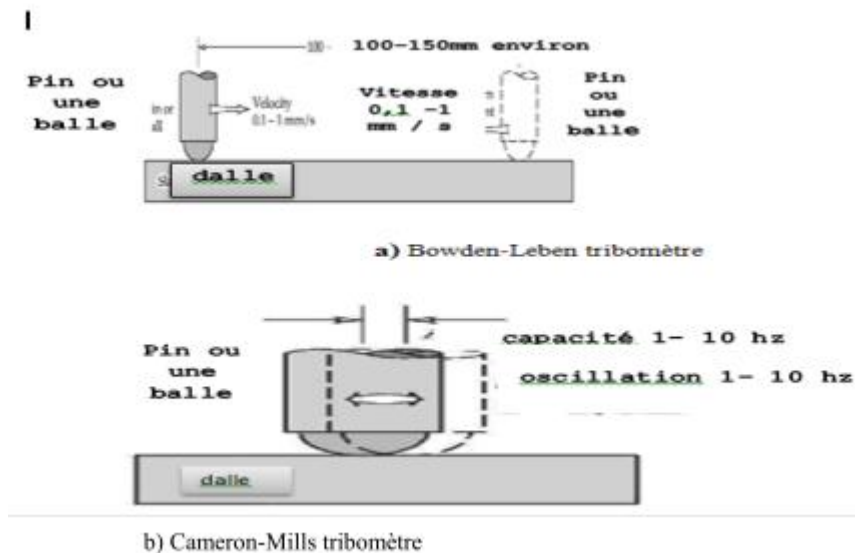


Figure 8 : Schémas des tribomètres utilisé dans les études d'abrasif, érosive et l'usure de la cavitation

➤ **Tribomètre pour condition non-ambiantes :**

La tribologie des contacts dynamiques situés dans des conditions non-ambiantes. liquides moteur-fusée à propergol nécessitent des roulements. La performance du moteur à combustion interne adiabatique ou moteur hypersonique avancée dépend du développement de revêtements à faible frottement pour la céramique fonctionnant à des températures élevées et la compréhension claire de la tribologie en céramique à des températures élevées est nécessaire pour tout progrès à faire. La fiabilité des composants de dépendance vis à vis sur

l'usure contrôlée et friction nécessite tribologie de contacts dynamiques dans une grande variété d'environnements non-ambiants.

Un tribomètre pour des conditions non-ambiantes permet les mesures tribologie standard pour être menées dans des environnements extrêmes, par exemple à haute ou basse température ou sous vide, etc. Les mécanismes de base du contact dynamique, le stress de contact et vitesse de glissement, restent inchangés par la présence de conditions non ambiantes.

Considérations de conception du tribomètre imposée par des conditions non-ambiantes se rapportent à l'isolement de l'observateur, l'instrumentation, la charge et des systèmes contre les effets néfastes d'un environnement extrême. Un exemple courant de cette exigence est l'isolation thermique adéquate de l'arbre d'entraînement et le moteur électrique à partir d'un tribomètre fonctionnant à des températures élevées ou sous vide. Les composants de forage soumis à des températures élevées doivent être fabriqués à partir de matériaux résistants à la température tels que les céramiques ou les superalliages de nickel avec des revêtements de barrière thermique (TBC). Une conception soignée est souvent nécessaire pour veiller à ce que la friction et l'usure des transducteurs peut enregistrer des données précises tout en étant protégé contre les effets nocifs de la température, des produits chimiques corrosifs, les radiations et les champs magnétiques. La conception de la chambre expérimentale doit permettre l'exécution des expériences à des conditions précisément maintenues, par exemple à des températures élevées, dans un vide élevé, tandis que les systèmes d'entraînement et de mesure sont situés à l'extérieur de la chambre. Il est également important de veiller à ce que les données enregistrées ne sont pas soumis à aucun biais des champs magnétiques par exemple, ou les vibrations émanant de l'environnement de test.

➤ **II.8 Tribomètre pour les contacts glissants :**

Un problème fondamental associé à l'expérimentation en tribologie est que plusieurs processus se produisent simultanément dans tout contact dynamique qui empêche l'étude de tout processus unique. Un exemple courant est l'étude d'un contact coulissant lubrifié par une huile contenant des additifs. Dans ces contacts procédés mécaniques de déformation plastique produisant des particules d'usure sont combinés avec des procédés chimiques impliqués dans

la formation du film protecteur résultant du frottement et l'usure générale des caractéristiques. La réaction chimique entre les additifs lubrifiants et la surface usée est affectée d'une manière connue par la chaleur de friction et de l'activation mécanique provoquée par déformation plastique. Si des informations fondamentales sur le mécanisme d'interaction chimique entre lubrifiant et surface usée est nécessaire, il est souvent nécessaire de mettre au point des modèles expérimentaux spéciaux où les effets de complication de la friction et l'usure sont enlevés. Des considérations similaires sont applicables à de nombreux autres procédés connus pour contribuer à la friction et l'usure tels que les mécanismes et tribomètres utilisés dans ces études sont décrites dans cette section adhérence.

Chapitre II :

Fretting wear

II.1. Définition

Le terme fretting désigne généralement une situation dans laquelle un mouvement oscillatoire de faible amplitude se produit entre deux surfaces en contact. Ces déplacements sont en général très faibles en comparant à la taille du contact.

Le fretting concerne toutes les industries et installations industrielles soumises à des vibrations. On peut citer les industries :

Aéronautiques, biomédicales, industries nucléaires, génie civil, les constructions mécaniques et contacts électriques.

Les paramètres qui influencent le comportement des matériaux en fretting sont :

L'amplitude de débattement.

La charge appliquée.

La température en contact.

La fréquence.

L'environnement.

Les matériaux en contact.

Le nombre de cycles.

Les dommages identifiés sur les surfaces qui sont pas tous au même niveau: l'usure induisant la formation d'oxydes et de débris, les rayures, les transferts de forme, la déformation plastique, la fissuration en sous-couche et la fissuration en surface.

Lorsque les faibles débattements résultent de vibrations externes appliquées à des surfaces qui ne sont pas soumises à des déplacements imposés, on parle de fretting-wear. Si le déplacement est la conséquence de la déformation de l'une des deux structures en contact soumise à une sollicitation cyclique.

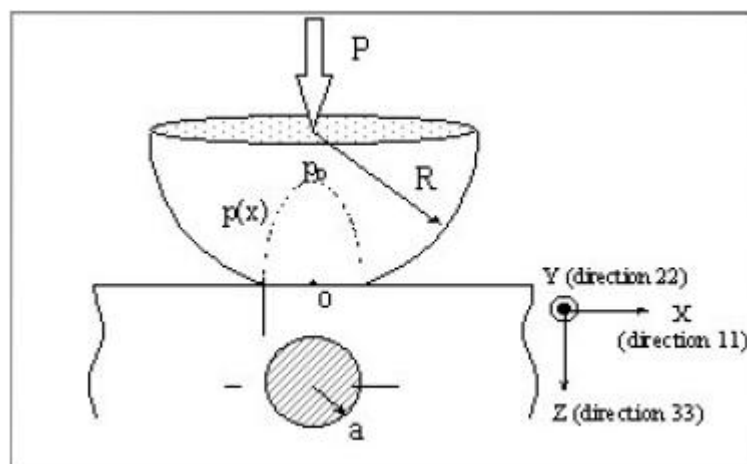


Figure 9: Schéma général du modèle : Sphère/Plan [10]

II.2.Types de fretting :

Le fretting est une forme d'usure qui est propre aux mécanismes soumis à de petits déplacements tangentiels rapides ou à des vibrations sous forte charge. Il se produit entre deux surfaces en contact. Le phénomène concerne les matériaux métalliques et non-métalliques.

Pendant que les surfaces frottent, de fins oxydes abrasifs se forment, et contribuent ainsi à rayer les surfaces [11]. Ce phénomène peut provoquer plusieurs sortes de détériorations :

II.2.1. le fretting corrosion :

C'est un frottement sous petits débattements (quelques μm à quelques centaines μm) entre deux surfaces en contact dans un milieu corrosif.

II.2.2. le fretting wear :

il s'agit d'usure lors de vibrations externes (déplacements de très faible amplitude appliquées aux surfaces en contact qui ne sont pas soumises à des déplacements imposés.

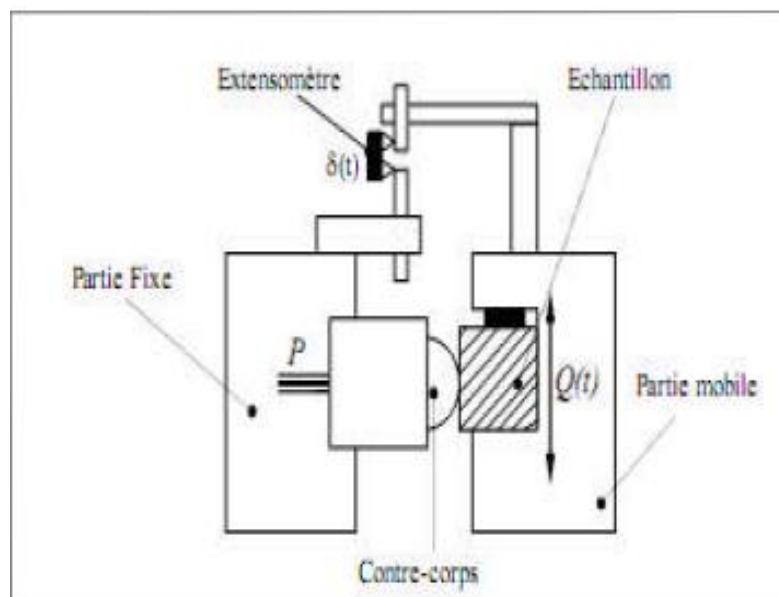


Figure 10 : Bancs d'essai du fretting wear [17] [18]

II.2.3. le fretting fatigue : ce terme est employé lorsque des phénomènes de fatigue se produisent au niveau des contacts soumis au fretting.

Le principe de ce type est une éprouvette de traction qui est soumise à des sollicitations de traction répétée. Sur ses faces, des patins (plan, cylindre-sphère) sont appliqués avec une force normale fixée. C'est la déformation relative entre l'éprouvette de traction et le système de fixation des échantillons frottant qui génère la sollicitation du contact.

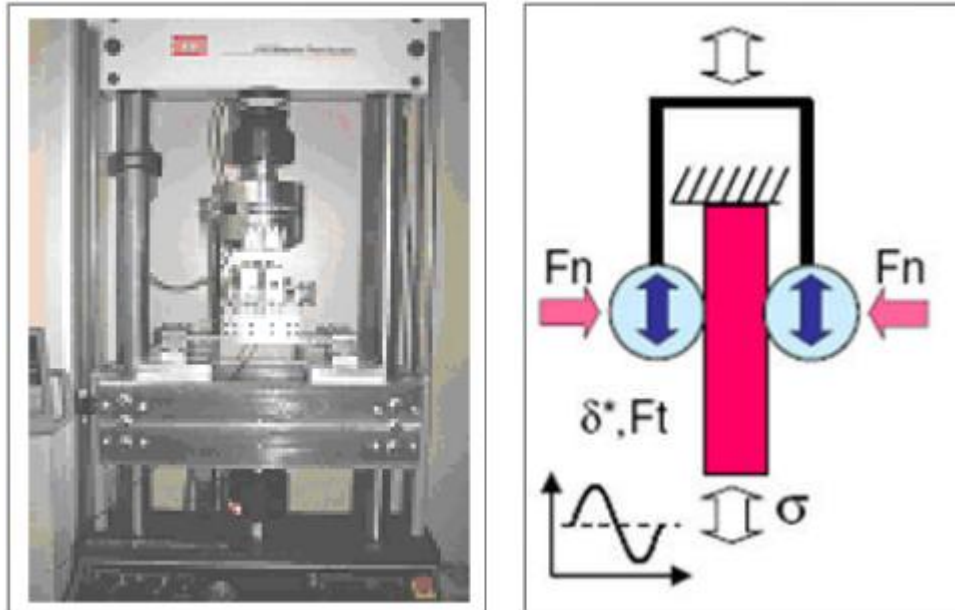


Figure 11 : Bancs d'essai du fretting fatigue [19].

Les principaux paramètres qui influencent sur le comportement des matériaux en fretting sont les suivants :

- amplitude des déplacements relatifs entre les surfaces,
- charge appliquée,
- température au niveau du contact,
- environnement,
- type de matériau en contact,
- type de vibrations,
- fréquences des oscillations,
- nombre de cycles,
- état et traitement des surfaces.

II.3. Dispositif de fretting :

II.3.1. Dispositif de fretting radial :

Le schéma ci-dessous (Figure 12) montre un dispositif de fretting radial [12] qui a été développé à partir d'une machine hydraulique de traction-compression.

Ce dispositif a été conçu pour une configuration de contact sphère sur plan. Le plan (1) (éprouvette supérieure) est fixé sur le support supérieur à la cellule de charge (3), la sphère (2) (éprouvette inférieure), à son tour, sur le piston (4) qui est soumis au mouvement oscillatoire. La déformation cyclique entre les deux surfaces en contact est mesurée par l'extensomètre (5), le processus de fretting entier est automatisé et la variation de la charge normale en fonction de la déformation peut être enregistrée en fonction des cycles.

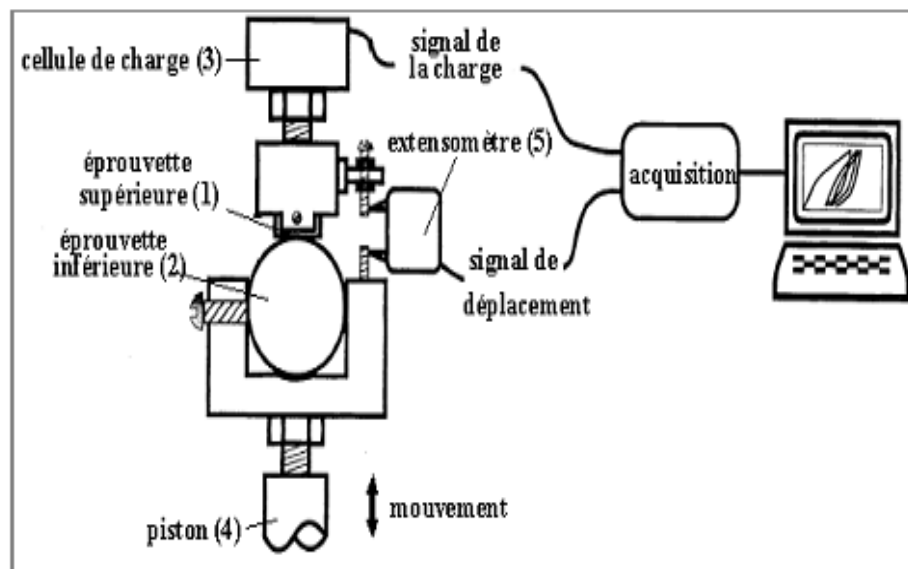


Figure 12 : Dispositif de fretting radial [12]

II.3.2. Dispositif de fretting composé :

La figure ci-dessous est un dispositif de fretting composé [13] (Figure 13), la surface (de contact) entre les corps en contact n'est pas perpendiculaire à la direction du mouvement du piston, mais peut être inclinée par rapport à cette direction avec de différents angles.

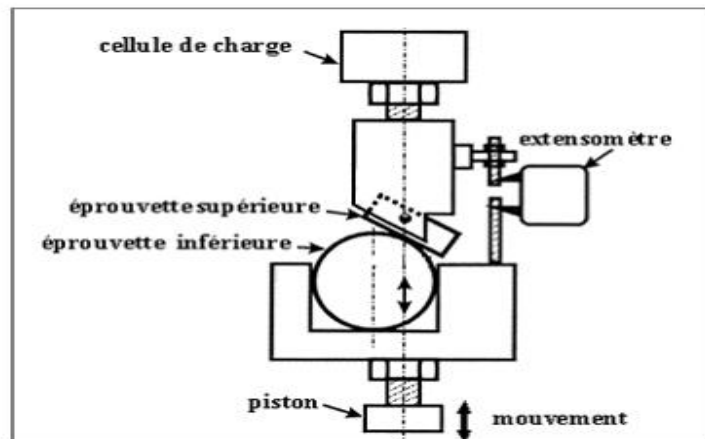


Figure 13 : Dispositif de fretting composé.

II.3.3 Dispositif de fretting tangentiel :

Le schéma (Figure 14) montre un dispositif de fretting tangentiel (mode I) [14]. Cette machine d'essai emploie un électro-déclencheur pour un déplacement entre les spécimens d'essai. Ces derniers peuvent être de formes et de dimensions variées. La valeur maximale de la course de fretting dépend de la fréquence d'essai et de l'amplitude de la force de frottement (la valeur maximale utilisée sur ce dispositif est de 200 μm à 200 Hz).

L'éprouvette inférieure peut être chauffée par des réchauffeurs à résistance pour permettre les essais à hautes températures. Ce dispositif se compose de trois unités principales : L'unité de commande, le banc de simulation et l'acquisition avec le traitement de données. La charge normale est appliquée à l'éprouvette supérieure à l'aide d'un ressort comprimé par un axe soutenu par une armature rigide, le système qui applique la charge normale comporte un capteur de force pour mesurer cette charge. une chambre d'isolement qui permet d'imposer de l'atmosphère différente d'essai y compris la commande de l'humidité relative. L'unité d'acquisition de données permet l'acquisition en temps réel des paramètres de fretting mesurés.

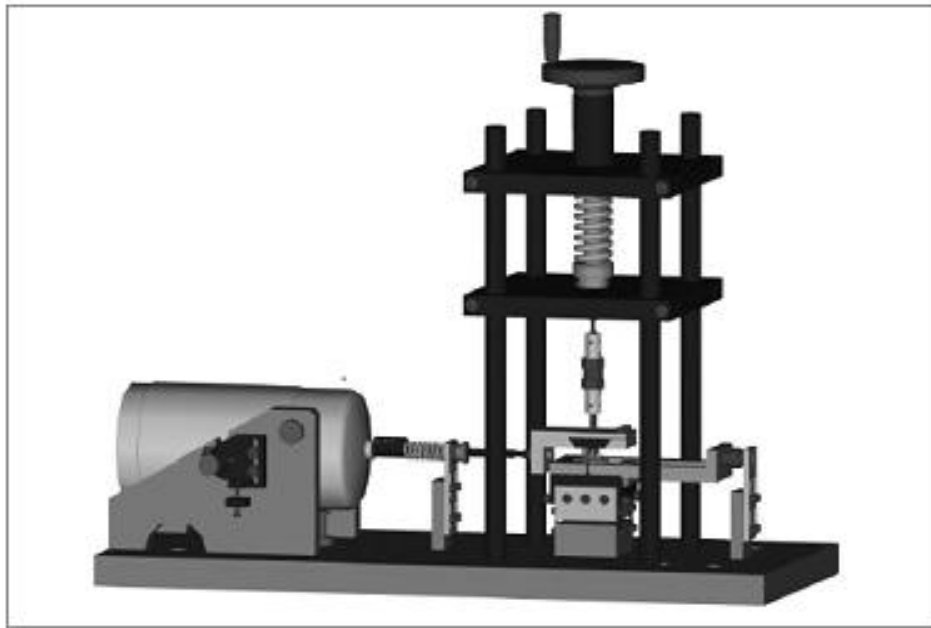


Figure 14 : Dispositif de fretting tangential.

II.3.4 Le Vibro-Cryo-Tribomètre :

Le schéma ci- dessous (Figure 15) montre un Vibro-Cryo-Tribomètre (V.C.TM) [15], la configuration de contact utilisée est sphère sur plan, ce dispositif applique une force normale ; à l'aide de poids, et une force tangentielle à l'éprouvette plan, reproduisant ainsi le phénomène de fretting. Cela par un servomécanisme qui peut engendrer ; soit une force tangentielle (mesurée par un capteur piézoélectrique), soit un mouvement oscillatoire (mesuré par un capteur de déplacement) ou encore une force accélérée. Les spécimens en contact peuvent être mis dans un milieu d'air, d'eau distillée ou bien du liquide de nitrogène, l'étude de différents lubrifiants est possible par l'ajout d'une goutte du lubrifiant à étudier avant l'essai.

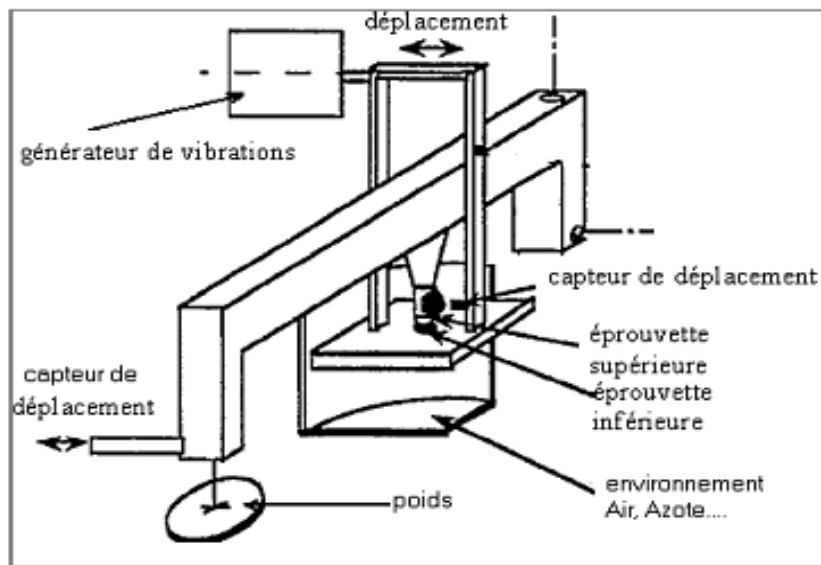


Figure 15 : Le Vibro-Cryo-Tribomètre.

II.3.5 Dispositif de fretting torsionnel :

Le schéma (Figure 16) montre un dispositif de fretting de torsion [16], la configuration des spécimens de contact utilisée est sphère sur plan, ce dernier est chargé contre la sphère, à travers le bras de levier (a), à l'aide des poids (e). Un moteur électrique pas à pas permet d'engendrer une rotation angulaire (θ) transmise à la sphère par l'arbre (b). Un capteur (f) permet de mesurer le déplacement angulaire en contactant le plat (g) attaché à la sphère par l'intermédiaire de l'arbre (b). L'angle (α) entre le spécimen plan et l'axe de rotation de la sphère peut être varié.

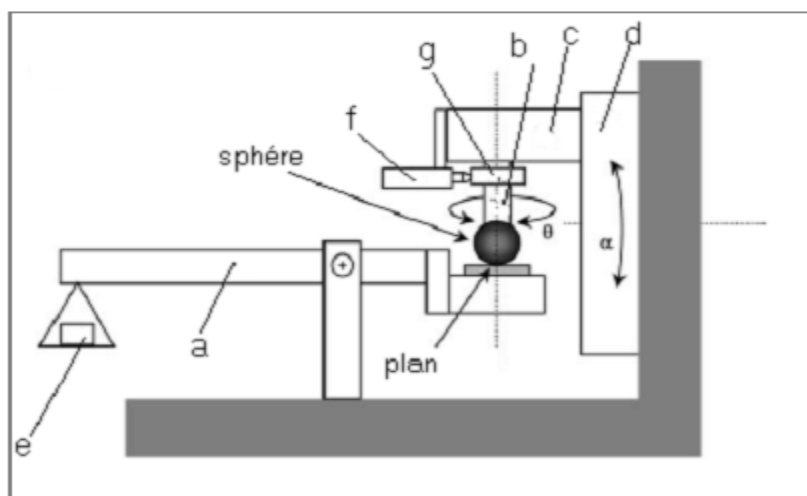


Figure 16 : Dispositif de fretting de torsion

Chapitre III :

Partie de réalisation

III.1. La réalisation

III.1.1.Généralités

L'usure est la cause principale du déclassement des objets et des machines. C'est tout un phénomène de fatigue impliquant une succession de processus de dégradation de surface qui apparaît entre deux surfaces en contact dynamique avec un mouvement oscillant de petite amplitude.

Ce mode de dégradation est présent dans tout contact mécanique (branchements de boulons, flûtes, assemblages, rivets, etc.) soumis à un champ de vibration. Les conséquences de cette dégradation superficielle peuvent prendre diverses formes, ce qui conduit parfois à bloquer les systèmes mécaniques. En revanche, cela entraîne souvent l'apparition de fissures qui peuvent induire une réputation brutale et catastrophique d'espèces.

Et comme approche pour étudier et pour mieux comprendre ce phénomène de fretting, un dispositif d'usure, est réalisé avec lequel il est possible d'étudier les différents paramètres qui influencent pendant ce phénomène.

III .1. 2. L'objectif

L'objet de la fabrication de ce dispositif est l'étude du phénomène d'usure entre les différents matériaux

III.2. Description :

Le dispositif proposé dans notre thèse est réalisé pour nous indiquer les valeurs d'usure surfaciques entre une surface circulaire en rotation avec une tige en acier (ordinaire). Ce dispositif permet le changement de masses pour donner différents pression de contact.

Ces pressions agissent avec une souplesse, selon les ressorts. Ce disque est entraîné par un moteur électrique à travers une transmission par courroie, cette vitesse est de 120 [tr/min] (vitesse de rotation de disque de rayon $r = 40$ [mm]).

La surface du disque est lisse après tournage, la tige de contact est d'un diamètre $d_t = 8$ [mm].

L'utilité de cette installation pour connaître l'usure surfacique à une période de temps de rotation de disque, plus que le temps de contact est long plus l'usure est grande.

III.2.1 Le dispositif proposé de fretting wear (usure par rotation):

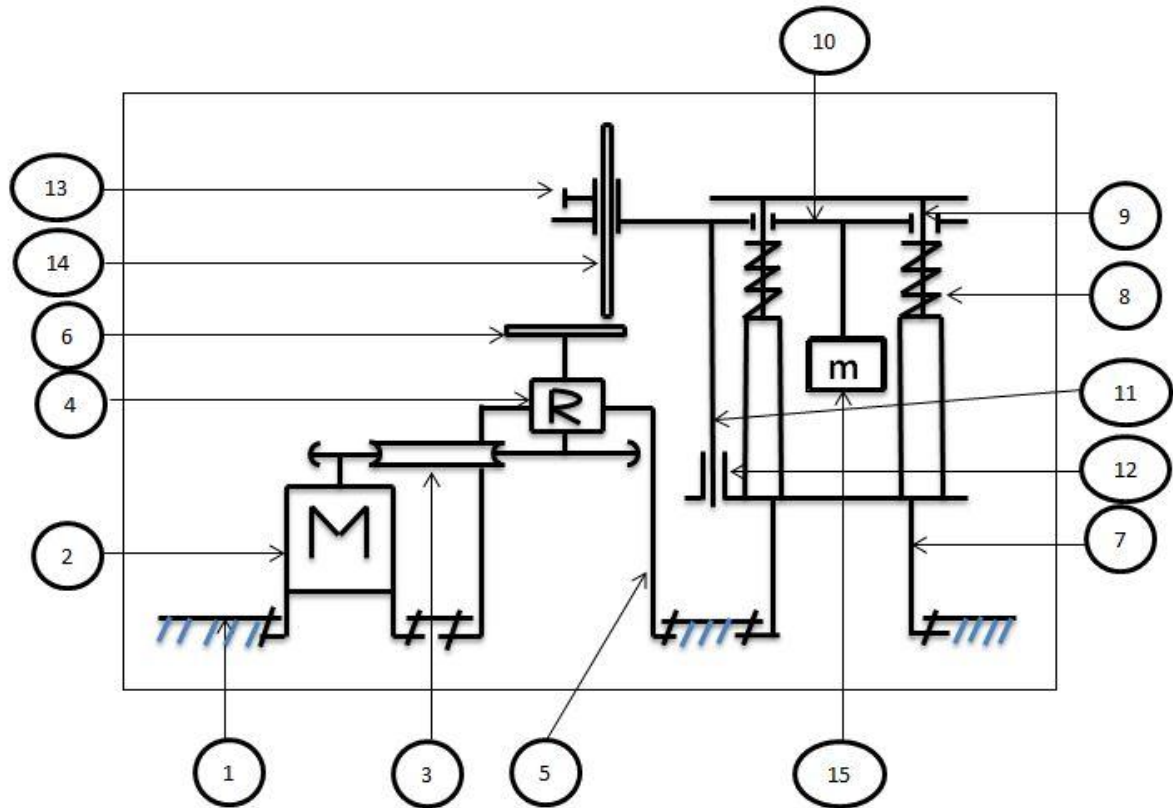


Figure 17 : Schéma cinématique d'un dispositif.

III.2.2. Les organes principaux du dispositif:

Le bâti : 1

C'est un corps sur lequel se pose et se fixe tous les éléments. Ces éléments sont: Le moteur électrique, le réducteur, et le support de la tige. Il est suffisamment lourd pour s'opposer aux sollicitations aux vibrations.

Dimension de bâti :

$L=620$ [mm],

$l=190$ [mm],

$e=30$ [mm].

Le moteur électrique: (2)

C'est un moteur asynchrone triphasé à cage qui fournit le mouvement de rotation vertical à l'arbre qui supporte une polie de diamètre $d_m = 40$ [mm].

Caractéristique du moteur électrique :

Vitesse de rotation $n = 1480$ [tr/min].

La puissance $p = 180$ [w].

$c = 2$ μ f.

Une courroie : (3)

Courroie trapézoïdale O-650E, Pour transmission du mouvement rotationnel entre le moteur électrique et le réducteur.

Le réducteur : (4)

C'est un réducteur vertical pour diminuer la vitesse de rotation du moteur à $v = 120$ [tr/min], la transmission du mouvement entre le moteur électrique et le réducteur par une courroie qui placée dans une polie de moteur électrique vers la polie de réducteur de diamètre

$d_r = 125$ [mm].

Double réduction ; l'un de la courroie et l'autre du réducteur à engrenage.

Support de réducteur : (5)

Est une table qui supporte le réducteur se trouvant sur le bâti.

Disque de rotation : (6)

Un disque de fer de diamètre d_d [mm] et d'épaisseur $e = 7$ [mm] qui permet des vitesses périphérique différentes suivant le rayon du centre de rotation et l'adaptation d'autres matériaux d'essais.

Support de la tige : (7)

Est une table qui supporte la tige (figure 18), sur un chariot mobile sur le bati.



Figure 18 : support de la tige

Les ressorts: (8)

Ces ressorts sont de forme cylindrique de compression. Leur rôle est de faire repousser l'arbre de glissement (9).

Arbre de glissement (1) : (9)

L'arbre de glissement est de diamètre $d_1=20$ mm. Cette arbre est support le ressort (8) et qui sert comme guide de glissante (10).

Guidage de glissante : (10)

Est un mécanisme qui glisse sur deux arbres est suivit par un arbre de glissement (11) qui lui même glisse sur la bague.

Arbre de glissement (2) : (11)

Cet arbre est fixé sur le guidage glissant, cette dernière glisse sur une bague.

La bague : (12)

Est une bague qui sert comme guide en translation entre l'arbre de glissement (2).

Système vis-écrou : (13)

Est un système pour mettre en contact les deux matériaux d'essais (installer la tige sur le disque).

La tige : (14)

Est une tige de fer de diamètre $d_t = 8$ mm. Fixé par Système vis-écrou sur la guidage glissant et contact sur le disque.

La masse : (15)

Est une masse suspendue sur la traverse de glissement pour créer le contact mécanique.

III.3. dessin d'ensemble d'un dispositif :

III.4. photo de dispositif :

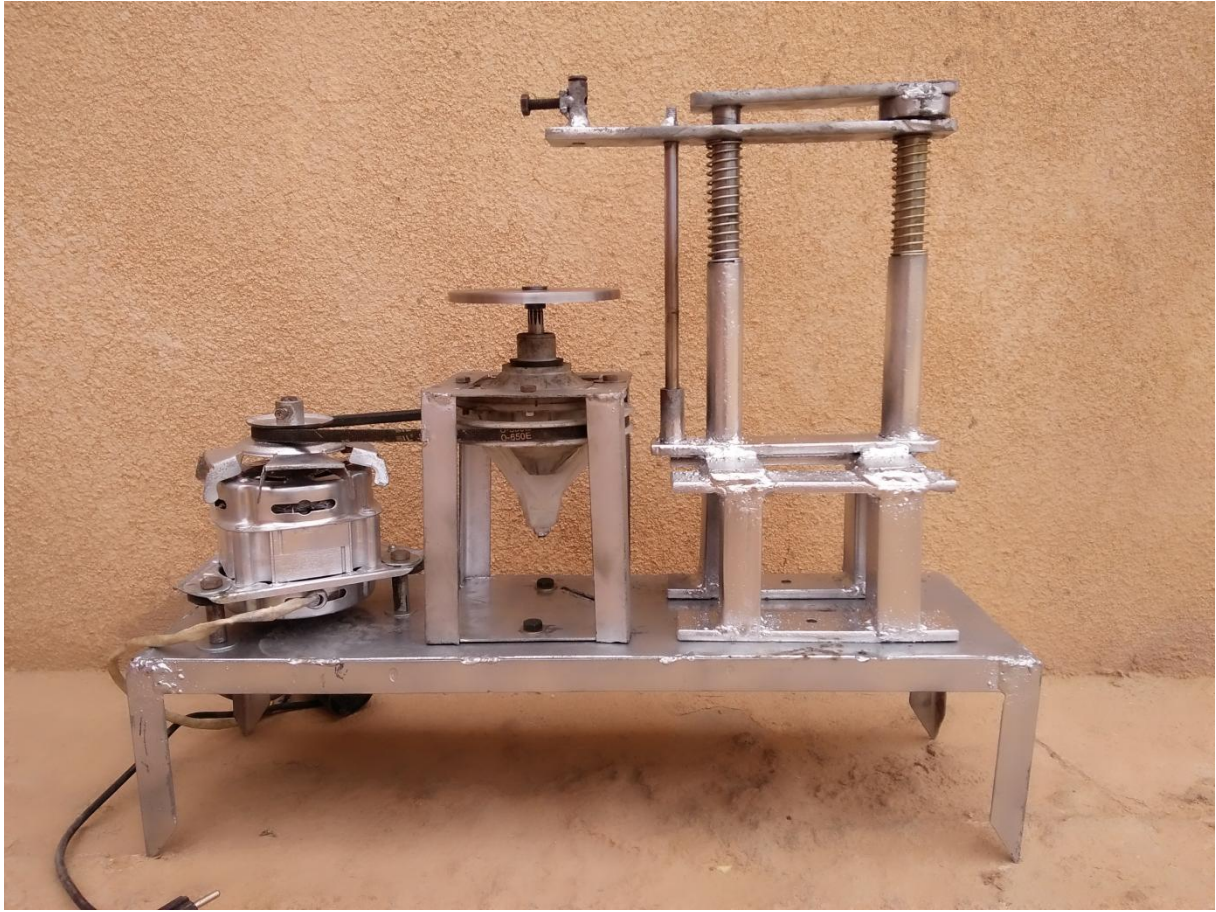


Figure 19 : dispositif de fretting wear

Conclusion :

Le travail que nous avons présenté dans ce thème concerne l'étude et élaboration d'un dispositif de fretting wear. Ce dispositif permis au futur étudiants, après vérification et essais de mettre en évidence le phénomène de l'usure dont, on prend en considération plusieurs paramètres liés en contact, telles que : la charge appliquée, le nombre de tour, la nature de la matière.

Cette étude nous a permis d'une part d'améliorer nos connaissances dans la technologie de l'industrie et d'autre part de compenser le manque de moyens dans ce domaine au niveau du laboratoire des sciences de matériaux.

En effet, le domaine pratique nous a permis d'améliorer nos connaissances scientifique, et le combler le manque pratique ressentit durant notre cursus.

Enfin, on espère par ce modeste travail avoir contribué à enrichir notre laboratoire en matière de dispositifs expérimentaux.

Il est préférable que ce travail sera pris en charge dans l'avenir par d'autres étudiants pour améliorer certains paramètres.

Références bibliographiques:

- [1] GEORGES J.-M. Frottement, usure et lubrification. Paris : Eyrolles et CNRS Editions, 2000, 424 p. (Sciences et techniques de l'ingénieur).
- [2] BOWDEN F.P., TABOR D. Friction and Lubrification of Solids, Part II. Oxford : Clarendon press, 1964, 544 p.
- [3] DUBOURG M.-C., BERTHIER Y., VINCENT L. Cracking under fretting fatigue : damage prediction under multiaxial fatigue. Journal of Strain Analysis, 2002, vol 37 (special issue), n°6, pp. 519-533.
- [4] LEMAITRE J., CHABOCHE J.-L. Mécanique des matériaux solides. 2 nd ed. Paris : Dunod Bordas, 1988, 544 p.
- [5] M'Evan, E. Stresses in elastic cylinders in contact along a generatrix. Phil. Mag., (1949), 40, 454-459.
- [6] Hamilton, G. M. Explicit equations for the stresses beneath a sliding spherical contact. Proc. Instn. Engrs., (1983), 197C, 53-59.
- [7] Hills, D. A., & Nowell, D. Mechanics of fretting fatigue. Solid mechanics and its Applications, (1994), 30, 236p.
- [8] Jean BLOUET. « Usure » technique d'ingénieur. BM- 586. Pp : 1.
- [9] livre de SAID BENSADA et M.T.BOUZIANE , de titre : « TRIBOLOGIE, PRINCIPES ET MATERIAUX »
- [10] Elleuch K., Comportement en fretting d'alliages d'aluminium – Effet de l'anodisation, Thèse Ecole Centrale de Lyon, N° 2002 – 06 (2002).
- [11] Gedeon, M. Fretting Corrosion. Technical Tidbits, Brushwellman engineering materials, (2002). vol. 4(3).
- [12] M. .H Zhu , Z. R. Zhou. An experimental study on radial fretting behaviour, Tribology International 34 (2001) 321-326.
- [13] M. .H Zhu, Z. R. Zhou, Ph. Kapsa., L. Vincent. An experimental investigation on composite fretting mode, Tribology International 34 (2001) 733-738.
- [14] M. C. Gaspar. A. Ramalho. Fretting behaviour of galvanised steel, wear (252) 199-209.
- [15] A. Koenen, Ph. Vermoux, R. Gras, J. Blouet, J.M. Dewulf, J. M. Monicault. A machine for fatigue and fretting wear testing in cryotechnical and normal environment, wear 197 (1996) 192-196.
- [16] B.J. Briscoe A. Chateauminois. Measurements of friction- induced surface strains in a steel / polymer contact, Tribology International 35 (2002) 245-254.
- [17] S. Fouvry, Ph. Kapsa, C. Langlade, A.B. Vannes, J.M. Vernet, L. Vincent, fretting usure & fretting fissuration, (2006).
- [18] G.Yantio, Comportement tribologique d'un alliage de titane traité et / ou revêtu en fretting à débattement libre, Thèse doctorat (2007)
- [19] Étude de la propagation de fissuration sous chargement de Fretting sur Éprouvette précontrainte, École Centrale Lyon – LTDS, (2009).

Résumé :

De nombreux assemblages mécaniques sont soumis à des déplacements entre les pièces en contact (conditions dites « fretting »). Les micros glissements générés entre les surfaces provoquent des dégradations susceptibles d'altérer fortement la fiabilité et la durabilité des structures dans lesquelles ces organes sont impliqués. Ce type d'avarie se rencontre dans toutes les liaisons quasi statiques. Les mécanismes d'endommagement par fretting sont bien connus : effritement, fissuration, rupture, corrosion ou transformations structurales, usure avec formation de débris, usure adhésive pouvant conduire au grippage.

Parmi les types d'usure qu'on peut rencontrer est l'usure connue sous le nom de fretting wear.

Pour étudier ce phénomène, il est indispensable de posséder des dispositifs destinés pour de telles études.

Mots clés : fretting, usure,

ملخص:

تتعرض العديد من التجميعات الميكانيكية للإزاحة بين القطع المتماسكة "التلثم بسبب الاحتكاك". تتسبب الإزاحات المجهرية الناشئة بين سطوح التماس في أضرار وتؤدي موثوقية ومتانة الهياكل التي تشترك فيها العناصر. هذا النوع من الضرر يحدث بشكل تقريبا ثابت وآلية التلف بسبب هذا التلثم يبدأ بتشققات متنامية تنتهي بالكسر، صدأ أو تحول بنية المادة، تلثم مع تكوين الفتات وتلثم لاصق يمكن أن يؤدي إلى إلتحام العناصر المتماسة.

ومن بين أنواع التآكل التي يمكن مواجهتها و المعرفة باسم مفسد إرتداء. لدراسة هذه الظاهرة، من الضروري أن تكون أجهزة معدة لمثل هذه الدراسات.

الكلمات المفتاحية : الاحتكاك، إرتداء، التآكل،