

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

HAMMOUM MOAD

DJOUDI YACINE

Thème

Etude technologique et conception d'un tribomètre type pion disque

Soutenu le 20-06-2022 devant le jury composé de :

Mr.	BRADAI. M. A	Président
Mr.	YOUNES R.	Rapporteur
Mr.	IDIR. A	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022

Remerciements

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nos vifs remerciements sont destinés à Mr R.YOUNES, notre promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Sans oublier l'équipe du hall de technologie de l'université de Bejaia,

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de nos sincères gratitudee.

Enfin, un merci particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

Dédicaces

Dédicace

Dédicace

La mémoire de toutes les personnes qui nous ont quittées

Je dédie ce mémoire aux personnes qui me sont les plus chers :

À mon père, la plus belle marque de reconnaissance et d'encouragement que je puisse lui offrir est ma réussite.

A ma très chère maman l'être le plus noble qui a sacrifié les plus belles années de sa vie pour mon bien être.

Ma chère sœur : Hadjar

Mon Cher frère : Badradine

Mes grands-parents.

Mes amis .

Tous ceux qui m'ont aidé et ont semé dans mon cœur un grain de plus de courage et d'espoir par un fait, un geste, une parole ou un conseil je dis :

MERCI.

HAMMOUM Mouad

Dédicace

Dédicace

À la mémoire de mon cher père qui me regarde du ciel <Allah yerhimek >
Quoi je dise ou quoi je fasse, je ne saurai point te remercier comme il se doit, je te
dédie ce travail modeste, j'espère que du monde qui est sien maintenant il
apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance pour tous les sacrifices
qu'il a fait pendant toute sa vie, puisse Dieu, le tout puissant, l'être dans sa sainte
miséricorde.

À ma chère maman

Tu as été toujours là pour moi, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide
et ta présence a été toujours ma source de force pour affronter les différents
obstacles

À ma chère sœur

Sarah

À mon cher frère

Amine

À toute ma famille et à tous ceux qui m'ont aidés pour la réalisation de ce mémoire je
vous présente mon sincère respect et toute ma gratitude.

Dédicace

Djouidi Yacine

Sommaire

	<i>Introduction générale :</i>	9
<i>I</i>	<i>Chapitre I : recherche bibliographique</i>	
<i>I.1</i>	<i>Introduction :</i>	11
<i>I.2</i>	<i>Tribologie :</i>	11
<i>I.3</i>	<i>Système tribologie :</i>	12
<i>I.3.1</i>	<i>Rôle du troisième corps :</i>	12
<i>I.3.2</i>	<i>Frottement :</i>	13
<i>I.3.3</i>	<i>Impotence du frottement :</i>	13
<i>I.3.4</i>	<i>La théorie du frottement :</i>	13
<i>I.3.5</i>	<i>Frottement statique et dynamique (cinétique) :</i>	14
<i>I.4</i>	<i>L'usure :</i>	15
<i>I.4.1</i>	<i>Evolution de l'usure :</i>	16
<i>I.4.2</i>	<i>Les origines de l'usure :</i>	16
<i>I.4.3</i>	<i>Type d'usure :</i>	17
<i>I.4.3.1</i>	<i>L'usure adhésive :</i>	17
<i>I.4.3.2</i>	<i>L'usure abrasive :</i>	17
<i>I.4.3.3</i>	<i>L'usure par fatigue :</i>	19
<i>I.4.3.4</i>	<i>Usure par érosion :</i>	19
<i>I.5</i>	<i>Mesure tribométrique :</i>	20
<i>I.6</i>	<i>Expérimentation en tribologie :</i>	21
<i>I.7</i>	<i>Partie 2 :</i>	22
<i>I.7.1</i>	<i>Exemple tribomètre :</i>	22
<i>I.7.1.1</i>	<i>Pion-cylindre :</i>	22
<i>I.7.1.2</i>	<i>Pion-disque rotatifs :</i>	23
<i>I.7.1.3</i>	<i>Machine d'abrasion (pin-test) :</i>	26
<i>I.7.2</i>	<i>Problèmes spécifiques des mesures tribologiques :</i>	26
<i>I.7.2.1</i>	<i>Vibrations :</i>	26
<i>I.7.2.2</i>	<i>Étalonnage des capteurs et assurance qualité :</i>	27
<i>I.8</i>	<i>Conclusion :</i>	27

II *Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion disque.*

II.1	<i>Introduction :</i>	29
II.2	<i>Description du tribomètre :</i>	29
II.3	<i>Nomenclature :</i>	31
II.3.1	<i>Nomenclature du banc :</i>	31
II.4	<i>Conception d'un tribomètre :</i>	31
II.4.1	<i>Plaque d'assemblage :</i>	31
II.4.2	<i>Le moteur électrique :</i>	32
II.4.3	<i>Le disque :</i>	34
II.4.4	<i>Le pion :</i>	34
II.4.5	<i>Le support pion :</i>	36
II.4.6	<i>Port support pion :</i>	37
II.4.7	<i>Le stabilisateur :</i>	39
II.4.8	<i>Thermocouple type k :</i>	40
II.5	<i>Dynanometre 50N:</i>	40
II.6	<i>Conclusion :</i>	41

III *Chapitre III : Conception et réalisation d'un tribomètre type pion disque.*

III.1	<i>Introduction :</i>	42
III.2	<i>Présentation du tribomètre :</i>	42
III.2.1	<i>Nomenclature du banc :</i>	43
III.3	<i>Système d'acquisition des forces tangentiel :</i>	43
III.3.1	<i>Jauge de contrainte :</i>	43
III.3.2	<i>Le convertisseur analogique-numérique ou CAN :</i>	44
III.3.3	<i>Module amplificateur de charge HX711 :</i>	45
III.3.4	<i>Afficheur LCD 2*16 :</i>	46

Sommaire

III.3.5	<i>Composante d'une jauge :</i>	47
III.3.6	<i>Principe du pont de Wheatstone :</i>	47
III.4	<i>Mesure de frottement et acquisition des données :</i>	48
III.5	<i>Méthode de mesure :</i>	48
III.6	<i>Rugosité des surfaces de frottement des disques :</i>	49
III.7	<i>L'extensomètre à jauge :</i>	49
III.8	<i>Condition aux limites des tests tribologique effectués :</i>	49
III.8.1	<i>Elaboration des échantillons :</i>	49
III.9	<i>Représentation du dispositif d'usure :</i>	50
III.10	<i>Résultats :</i>	51
III.10.1	<i>Comparaison des résultats :</i>	53
III.11	<i>Perceptives :</i>	54
III.11.1	<i>Test tribologique-érosion :</i>	54
III.11.2	<i>Chambre de régulation de température :</i>	56
III.11.3	<i>Effet du champ électrique sur le frottement :</i>	57
III.12	<i>Conclusion :</i>	59

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1	Schéma d'un tribosystème	12
Figure I.2	Contact entre deux solides en présence de frottement.	14
Figure I.3	Les phases principales d'usure	16
Figure I.4	Schéma de l'usure adhésive à la surface antagoniste avec arrachage de la matière	17
Figure I.5	Usure abrasive à 2 corps	18
Figure I.6	Usure abrasive à 3 corps	18
Figure I.7	Usure par fatigue	19
Figure I.8	Perte de matière par érosion	20
Figure I.9	Principe du tribomètre d'Hedenquist	23
Figure I.10	Vue d'ensemble du tribomètre «LORIOT» et de son instrumentation	24
Figure I.11	Schéma du tribomètre « LORIOT »	25

Chapitre II

Figure II.1	Vue 3d d'un tribomètre de type pion disque.	30
Figure II.2	Représentations schématique du tribomètre.	31
Figure II.3	Mise en plan du corps d'assemblage.	32
Figure II.4	Mise en plan d'un moteur électrique.	33
Figure II.5	Mise en plan du disque rotatif.	34
Figure II.6	Mise en plan de l'éprouvette.	35
Figure II.7	Mise en plan de face extérieur du support pion.	36
Figure II.8	Mise en plan de la face intérieur du support pion	37
Figure II.9	Mise en plan du support porte éprouvette.	38
Figure II.10	Mise en plan du stabilisateur	39

Liste des figures

Figure II.11	Thermocouple type K	40
Figure II.12	Dynamometre 50n.	41

Chapitre III

Figure III.1	Tribomètre pion sur disque.	43
Figure III.2	Jauge de contrainte.	44
Figure III.3	Convertisseur analogique numériques.	45
Figure III.4	Amplificateur de charge HX711.	46
Figure III.5	Afficheur LCD.	47
Figure III.6	Pont de Wheatstone.	47
Figure III.7	Le cheminement du signal de sortie depuis sa sortie du capteur jusqu'à l'ordinateur.	48
Figure III.8	Echantillon utilisé	50
Figure III.9	Évolution de la température en fonction du temps	53
Figure III.10	Évolution du coefficient de frottement en fonction du temps	54
Figure III.11	Représentation schématique du système vibratoire ultrasonique utilise pour la cavitation	55
Figure III.12	Test d'érosion	56
Figure III.13	Chambre de régulation de température	57
Figure III.14	Vue générale du dispositif expérimental et de la chaine de mesure	58
Figure III.15	Emplacements des deux pôles + et -	59

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre II :

Tableau II.1 Caractéristique du moteur électrique EFF2

Chapitre III :

Tableau III.1 Variation du coefficient de frottement en fonction du temps (10N)

Tableau III.2 Variation du coefficient de frottement en fonction du temps (15N)

Introduction générale

Introduction générale

Les contacts entre deux corps qu'ils soient statiques ou dynamiques, constituent la base de toutes les liaisons des mécanismes. Souvent, entre les éléments en contact apparaît un mouvement relatif ou une tendance vers ce mouvement ce qui produit des micro-glissements à l'interface du contact. L'existence de ceux-ci impose de s'intéresser aux problèmes des forces de frottement induites sur la surface et qui se rajoutent aux forces normales entre les éléments en contact. Par conséquent, le mouvement relatif à l'interface d'un contact peut constituer une source supplémentaire de frottement qui joue un rôle important dans l'endommagement des surfaces.

Le frottement provoque la détérioration des surfaces antagonistes, cette dernière peut prendre différentes formes : déformation plastique, usure, fatigue de contact, etc. Pour assurer une bonne fiabilité du contact et améliorer les performances, il faut étudier les distributions des forces sur l'aire de contact et le champ des contraintes produit par celles-ci. Les actions mécaniques de contact entre les solides sont en général classées en deux catégories : les contraintes normales et les contraintes tangentielles qui s'opposent respectivement aux déplacements normaux et tangentiels.

Aujourd'hui sur la base de considérations aussi bien écologiques, dans un contact sec avec et sans passage du courant électrique, il y a un besoin croissant d'une limitation adéquate de l'usure et l'oxydation des éléments en contact. Pour cela, il y a une demande évidente industrielle pour des matériaux résistants à appliquer dans des conditions tribologiques complexes et de préférence sans lubrification comme dans les réseaux électrifiés. La prévention de l'usure par le graissage, le remplacement de l'élément usé qui nécessite des travaux d'entretien, des dépenses et le coût de l'immobilisation. [1]

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'une étude expérimental dont l'objectif est la détermination des transformations tribologiques du pion sur le disque à l'aide d'un tribomètre.

Dans cet esprit, le contenu de ce projet de fin de cycle abouti dans 3eme chapitre.

Le premier chapitre présente dans la première partie des généralités sur la tribologie et aussi le processus de l'usure et le frottement. Dans la deuxième partie on illustre les types de système tribométrique existant. Les problèmes spécifiques des mesures tribologiques ainsi que l'étalonnage des capteurs pour l'assurance qualité.

Dans le deuxième chapitre, on a exposé le tribomètre utilisé, les dimensions et la géométrie.

Introduction générale

Du contact pion-disque. Ainsi que les différents composants nécessaires pour la réalisation de notre tribomètre et leurs caractéristiques géométriques et dimensionnelles.

Au troisième et dernier chapitre, on a présenté en premier lieu les composants nécessaires pour la réalisation du pont de Wheatstone et ensuite interpréter les résultats expérimentaux de la température du pion, le flux de chaleur généré par frottement, la force tangentielle et le coefficient de frottement pour une vitesse de rotation (200 rpm) et charge normale (10N ~15 N)

À la fin de ce chapitre, on a effectué une comparaison entre les deux résultats expérimentaux.

Chapitre I :

Recherche bibliographique

Chapitre I : recherche bibliographique

1.1 Introduction :

Le besoin industrielle pour l'amélioration de la résistance aux frottements et à l'usure des pièces mécaniques ou des structures, sont toujours en croissance. Ils se justifient notamment par la volonté de réduire les pertes considérables liées au phénomène de frottement et l'usure.

La tribologie est une science qui s'intéresse aux frottements des surfaces qui sont en contact lors d'un mouvement relatif. Elle englobe l'étude de l'usure et la lubrification. [2]

Le frottement et l'usure sont des phénomènes qui joue un rôle très important dans le comportement tribologique des matériaux des différents dispositifs industriels, tels que le système de freinage automobile et ferroviaire, des guidages en rotation comme les roulements et paliers lisses, ou en translation, de la transmission de puissance par obstacle ou par friction et beaucoup d'autres systèmes.

Le comportement tribologique des surfaces frottantes qui en résulte durant le fonctionnement se traduit par des modifications géométriques, transformations physicochimiques, des enlèvements de matière ou encore par une élévation de température. Plusieurs paramètres jouent un rôle primordial dans le comportement tribologique des couples, tels que, la charge normale appliquée, la vitesse de glissement, la nature des matériaux utilisés et leurs états métallurgiques. Ils ont une influence significative sur la dureté, la microstructure des couples de matériaux et peut influencer aussi sur le taux d'usure des matériaux et par conséquent sur la fiabilité et la durée de vie de fonctionnement du système industriel. [3]

1.2 Tribologie :

La tribologie traite des problèmes de contact, de frottement, d'usure et de lubrification. La tribologie intéresse tous les domaines d'activité car l'univers technique qui nous environne est essentiellement régi par des contacts. Ils contribuent au fonctionnement des liaisons entre solides que ce soit dans les systèmes vivants ou dans les machines, dans les mécanismes les plus élémentaires comme les plus complexes. On en trouve aussi bien dans les articulations humaines que dans celles des satellites, en micromécanique comme dans les engins de travaux publics, dans la mise en forme des matériaux comme dans les organes de transmissions d'énergie ou de guidage. Pré occupation permanente et universelle, la tribologie se caractérise aussi par son inter-disciplinarité et fait appel à de nombreuses sciences fondamentales telles

Chapitre I : recherche bibliographique

que la physique, la chimie, la mécanique des solides, la mécanique des fluides et les sciences des matériaux...etc. [4]

1.3 Système tribologie :

On définit un contact tribologique ou tribosystème comme étant composé de trois éléments principaux (Figure I.1) :

Deux solides A et B qui sont en contact : les premiers corps

Le milieu interfacial (L) désigné sous le terme de troisième corps

Le milieu ambiant (E) sépare partiellement ou totalement les deux matériaux en contact et possède des propriétés différentes de celles des premiers corps.

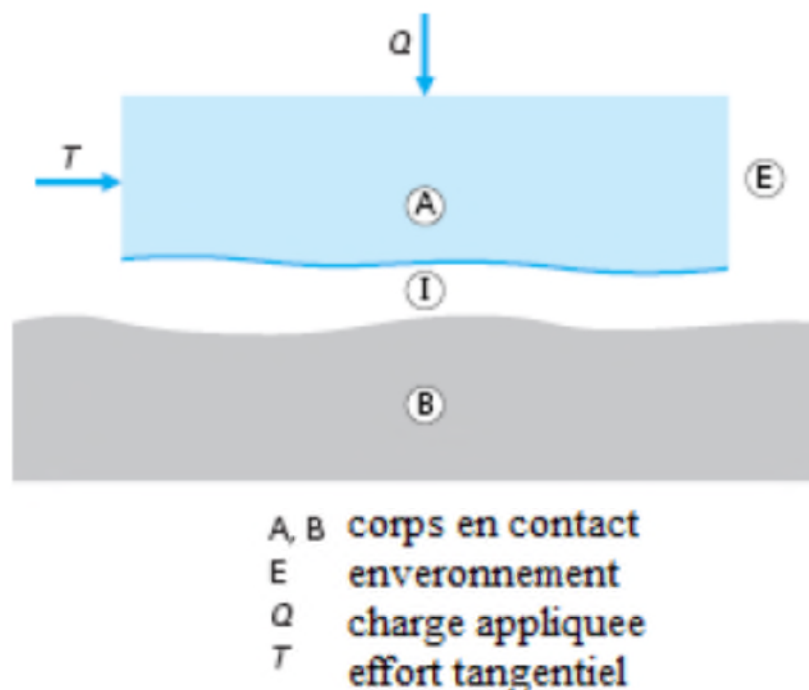


Figure I.1 : Schéma d'un tribosystème [5]

1.3.1 Rôle du troisième corps :

Le troisième corps est défini comme la zone où la composition chimique est différente de celle des premiers corps, et l'épaisseur dans laquelle la différence de vitesse entre les premiers corps sont accommodés, ce qui met en avant son caractère lubrifiant. Ce milieu interfacial permet aussi la séparation totale ou partielle des premiers corps. [6]

Chapitre I : recherche bibliographique

1.3.2 Frottement :

Le frottement est une ‘résistance’ freinant tout mouvement relatif entre deux solides qui sont en contact. L’effort qui tend à ralentir ce mouvement est appelé ‘effort de frottement’, il est de sens opposé au déplacement. Il se manifeste par une dissipation d’énergie thermique entre les deux corps en contact glissant.

Si les deux corps sont solides, nous avons un frottement solide, et si l’un des corps est fluide ; le frottement est dit fluide. Lorsque les deux solides frottent directement sans interposition d’un lubrifiant on parle de ‘frottement sec’. C’est le type le plus présent autour de nous : rails et roues des chemins de fer, pantographes et caténares, freins et plusieurs d’autres applications. [7]

1.3.3 Importance du frottement :

Le frottement à une importance pratique évidente, il est à l’origine des phénomènes d’usure décrit par la suite. Il transmet une force tangentielle à la surface de contact entre deux solides serrés l’un contre l’autre. Dans un premier temps, les solides restent en immobilité relative, au-delà d’une certaine intensité de la force, ils glissent. Le glissement dissipe de l’énergie et use les surfaces. Par ailleurs parce qu’il entrave le libre mouvement aux interfaces, le frottement peut significativement affecter le fluage et la déformation du matériau dans de nombreux procédés d’utilisations des métaux.

Le frottement ne devrait pas être toujours comme indésirable, sa présence nécessaire pour le succès ou l’optimisation de nombreuses opérations [8]

1.3.4 La théorie du frottement :

Lorsque deux solides sont en contact, il y a des forces de contact qui s’exercent. D’après le principe des actions réciproques, la force exercée par le solide 1 sur le solide 2 est opposée à la force exercée par le solide 2 sur le solide 1.

L’origine physique de ces forces réside dans les déformations microscopiques qui ont lieu dans la zone de contact. Le modèle du solide indéformable n’est qu’une approximation géométrique : il y a nécessairement des déformations, même si elles sont invisibles, qui expliquent les forces.

Chapitre I : recherche bibliographique

La force de contact est séparée en deux composantes, une composante normale, c'est-à-dire perpendiculaire à la surface de contact, et une composante tangentielle, que l'on appelle la force de frottement. [9]

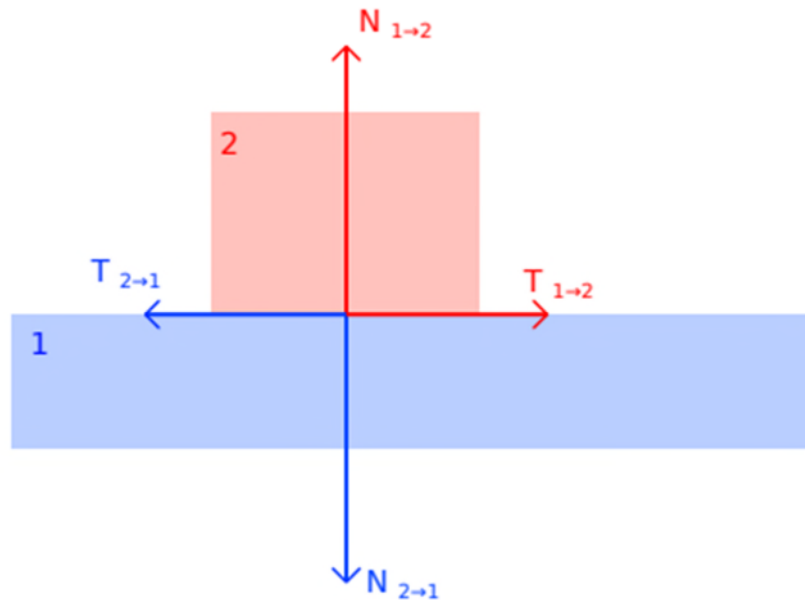


Figure I.2 : Contact entre deux solides en présence de frottement

1.3.5 Frottement statique et dynamique :

Le frottement statique repose sur les mêmes mécanismes que le frottement dynamique mais il est généralement plus élevé. En effet, les forces adhésives ont tendance à augmenter avec le Temps de contact en raison de mécanismes à plus long terme comme la diffusion solide. Ceci conduit à une augmentation de la contribution adhésive au frottement.

La température peut fortement influencer les propriétés de surface des matériaux en glissement, favorise des transformations physico-chimiques et microstructurales et modifier la rhéologie des éléments inter faciaux présents dans le contact. L'énergie générée par le frottement de deux corps solides est convertie en chaleur. [11]

Chapitre I : recherche bibliographique

1.4 L'usure :

L'usure concerne les mécanismes chimiques et mécaniques qui sont responsables d'une perte ou d'un déplacement de matière généralement dus au frottement entre deux surfaces. Après un essai tribologique, l'observation des deux corps au niveau du contact permet de définir le type d'usure auquel ils ont été soumis. Typiquement, les mécanismes d'usure considérés sont les suivants : adhésion, abrasion, chimique, fatigue et érosion. L'usure implique généralement un ou plusieurs de ces phénomènes. Seulement deux types d'usures seront abordés ici, l'usure adhésive et l'usure abrasive. L'usure par fatigue concerne surtout le contact par roulement, l'usure par érosion implique un enlèvement de matière par l'impact de particules à hautes vitesses et l'usure chimique est essentiellement due à la corrosion.

D'un point de vue macroscopique, les déformations peuvent être causées par les aspérités du matériau le plus raide, provoquant labourage, fracture ou arrachement de matière. Dans ces cas une trace résiduelle ou encore des débris sont généralement visibles à l'œil nu dans le matériau le plus tendre. Dans le cas d'un contact métallique, si les surfaces sont relativement rugueuses l'énergie nécessaire pour déformer la surface représente la contribution majoritaire à la force de friction. [12]

1.4.1 Evolution de l'usure :

L'usure est un processus qui évolue avec le temps. Pour une charge et une vitesse de glissement constantes, l'évolution de l'usure est représentée graphiquement par la courbe de la (Figure I.3). Elle montre trois stades d'usure qui sont :

Première partie (phase I) : c'est la période initiale d'usure, elle dure un peu de temps par rapport à la durée de frottement. Elle est caractérisée par le régime transitoire du système tribologique avec un taux d'usure élevé, qui, par la suite, diminue progressivement. Cette étape est appelée le rodage du système.

Deuxième partie (phase II) : elle dure plus longtemps. Elle se caractérise par une stabilité de frottement et un taux d'usure faible. Elle se produit en fin de rodage. Comme ce stade évolue, l'usure s'intensifie progressivement ce qui endommage la surface.

Troisième partie (phase III) : la vitesse d'usure augmente fortement, vieillissement du solide. [13]

Chapitre I : recherche bibliographique

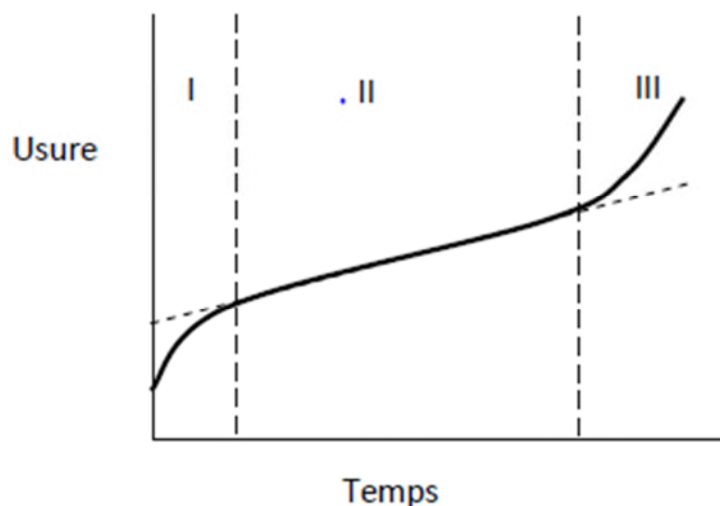


Figure I.3 : Les phases principales d'usure

I.4.2 Les origines de l'usure :

- Les déformations plastiques :
 - Création, déplacement de dislocations
 - Rayures
- La fissuration :
 - Brutale, progressive
 - Propagation
- Les transformations physico-chimiques des surfaces ;
 - Transformation de phase : amorphisations
 - Réactions chimiques
- Adhésion : transfert à l'échelle atomique, grippage, micro grippage.
 - Transferts à l'échelle atomique
 - Evolution "boule de neige", micro-grippage, grippage. [14]

I.4.3 Type d'usure :

Les principaux types d'usure sont :

I.4.3.1 L'usure adhésive :

L'usure par adhésion est associée à la formation de joints d'adhérence aux points de contact situés sur les aspérités des surfaces de deux corps frottant. La résistance de la jonction

Chapitre I : recherche bibliographique

adhésive est fonction de la nature physico-chimique des matériaux en contact. Sous l'effet du cisaillement, un transfert de matière entre les deux corps se met en place.

Dans le cas de liaisons d'adhésion peu résistantes, le transfert de matière est limité et l'usure reste douce. L'usure adhésive est donc à la fois d'origine mécanique et physicochimique.

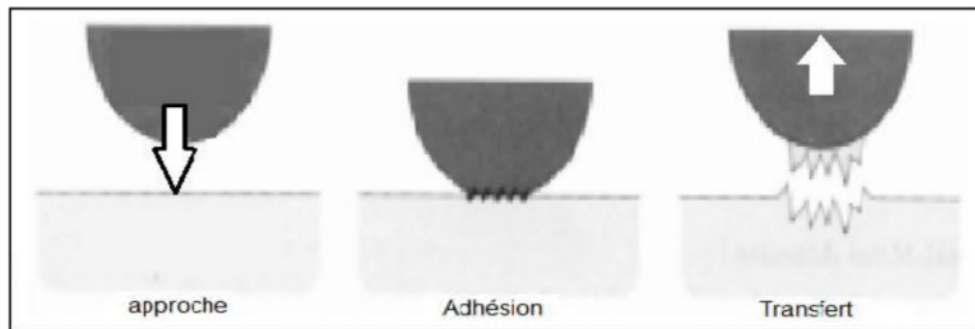


Figure I.4 : Schéma de l'usure adhésive à la surface antagoniste avec arrachage de la matière. [15]

I.4.3.2 L'usure abrasive :

L'usure par abrasion se caractérise par la présence dans le contact d'un état de surface rugueux ou par pénétration dans le matériau le plus tendre de particules dures provenant des débris d'usure du contact ou constitués de la poussière du milieu. Ce mécanisme de dégradation qui fait intervenir dans les premiers instants uniquement les corps antagonistes, devient une usure à trois corps. Cette forme d'usure se manifeste par des polissages, des griffures, des arrachements de particules et des micro-labourages. Ce dernier se manifeste par des rayures à la surface du matériau le plus tendre sans arrachement de matière mais provoquant sur les bords du sillon une déformation plastique. Ce phénomène est essentiellement de nature mécanique. Pour lutter contre l'usure abrasive, il faut durcir les matériaux en contact, surtout la surface. [16] L'abrasion de deux corps où les aspérités de la surface plus dure cisailent les aspérités de la surface plus faible (figure I.5)

Chapitre I : recherche bibliographique

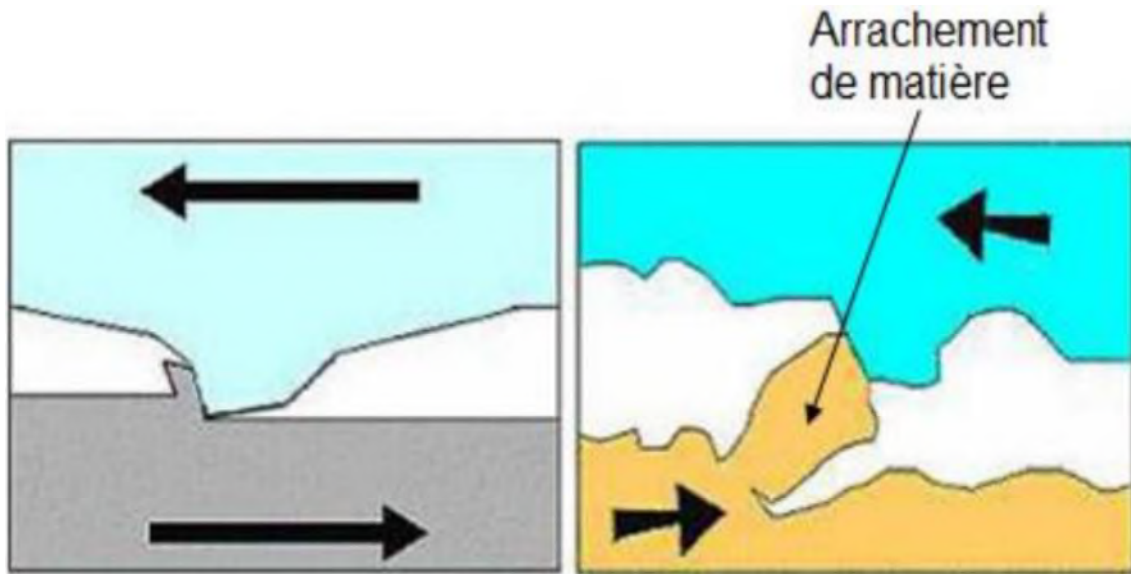


Figure I.5 : Usure abrasive à 2 corps [15]

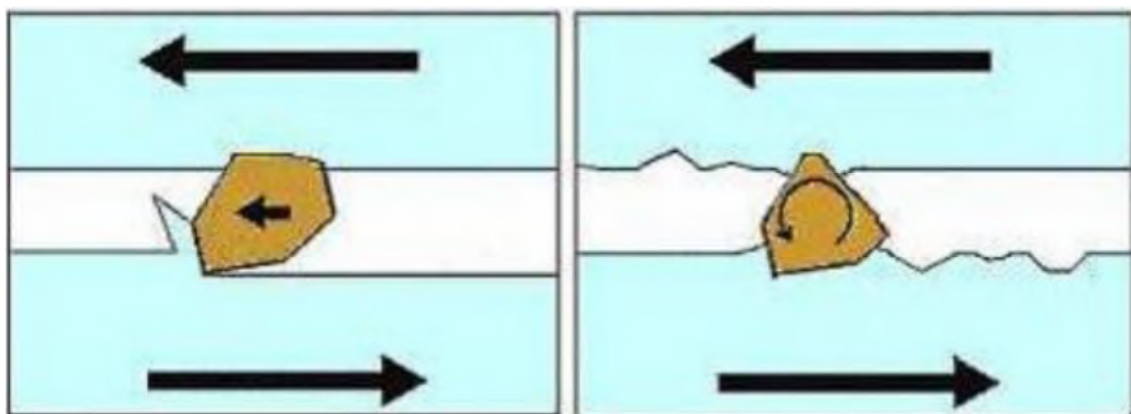


Figure I.6 : Usure abrasive à 3 corps.

1.4.3.3 L'usure par fatigue :

L'usure par fatigue se manifeste par la création et la propagation de fissures, des écailles et des changements de structure métallurgique, selon des processus différents dépendant du type et de la nature de matériau considéré. Dans le cas des matériaux ductiles (matériaux métalliques ou polymères), la rupture par fissuration (ou par délamination) se produit en sous-couche, parallèle à la surface de frottement, dans les zones où les contraintes de cisaillement sont maximales. La répartition de ces contraintes est indiquée par la théorie d'Hertz. Cela conduit à la formation d'écailles dans les zones de frottement. Pour les matériaux à comportement fragile, les fissures se produisent dans les zones les plus chargées en tension. On est en présence du dépassement d'un seuil de rupture. Elles se propagent perpendiculairement à la surface. L'usure par fissuration est favorisée par l'accroissement des

Chapitre I : recherche bibliographique

contraintes mécaniques superficielles (normales et tangentielles) et, par la réactivité chimique de l'environnement étant moindre, qui est susceptible d'agir sur les processus de propagation de fractures. [16]

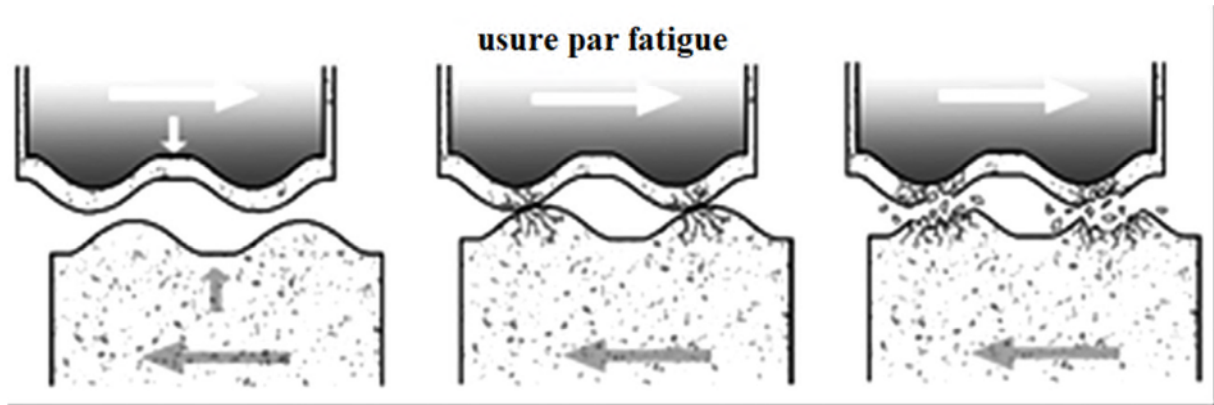


Figure I.7 : Usure par fatigue

1.4.3.4 Usure par érosion :

L'érosion fluide :

–Erosion d'impact : Est due aux contraintes présentes sur la surface d'un corps solide lors du contact avec le jet du fluide. Ces contraintes peuvent atteindre des valeurs suffisamment grandes pour provoquer des fissures ; ces dernières s'agrandissent et conduisent au détachement des particules du matériau.

–Les phénomènes de cavitation : Qui apparaissent sur les surfaces des couples de frottement sont présents sous différentes formes ; ils peuvent conduire au détachement de particules du matériau.

L'érosion solide :

L'érosion solide est due au passage d'un courant de fluide sur la surface du solide ; ceci produit un détachement de particules du solide.

Ces formes d'érosion se manifestent en général par des fissures sur les matériaux fragiles, et par des piqûres et rayures sur les matériaux ductiles, en prenant en compte l'angle et la vitesse d'attaque du fluide (figure I.8). [14]

Chapitre I : recherche bibliographique

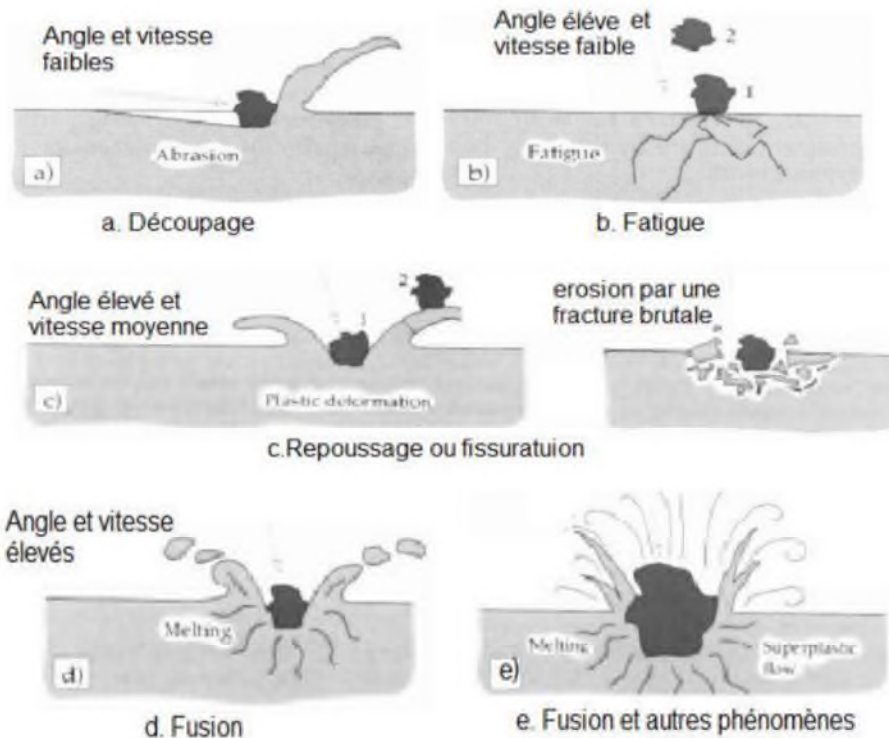


Figure I.8 : Perte de matière par érosion [15]

1.5 Mesure tribométrique :

La tribométrie s'intéresse à la mesure des forces de frottement. L'appareil « pion sur disque » mesure le taux d'usure à sec et en milieu humide. L'échantillon est placé sur un disque tournant à une vitesse angulaire choisie. Une bille fixée à une tige pouvant se déplacer verticalement, est appuyée sur la surface à étudier pour un nombre fixe de rotations du disque. La force tangentielle et la force verticale sont mesurées, ce qui permet ensuite d'évaluer le taux d'usure et le coefficient de friction. [17]

1.6 Expérimentation en tribologie :

Le coût et les difficultés techniques en vue d'obtenir des mesures fiables des valeurs de frottement et d'usure en service, favorisent le développement d'essais de simulation en laboratoire. Le choix entre plusieurs méthodes pour lesquelles les conditions d'essais sont liées à deux alternatives fondamentales :

Essais de simulation pour lequel les conditions d'essais, le choix des matériaux et le type d'échantillons sont déterminés par une situation tribologique réelle.

Essais modèle où les conditions, ainsi que les matériaux et les échantillons sont adaptés et simplifiés pour analyser les endommagements et modéliser le système tribologique.

Chapitre I : recherche bibliographique

Il y a deux raisons majeures pour entreprendre des essais d'usure et de frottement. D'une part, une mesure des performances d'un produit ou d'un composant est souhaitée en fonction de la conception et des matériaux utilisés pour la construction. D'autres parts, les performances d'un nouveau matériau ou d'un traitement de surface doivent être établies pour délimiter leur compétitivité commerciale. [17]

Chapitre I : recherche bibliographique

I.7 Partie 2

I.7.1 Exemple tribomètre :

I.7.1.1 Pion-cylindre :

La solution proposée, par Hedenquist et al. [19] Consiste à donner un mouvement d'avance à un pion cylindrique (revêtu) qui frotte sur un cylindre rotatif en acier (Figure I.9).

Dans cette configuration, le pion est continuellement en contact avec une surface nouvelle.

Cependant, plusieurs améliorations peuvent être introduites à ce système pour se rapprocher des conditions de contact produites lors de l'usinage. Dans la configuration telle qu'il est conçu, le système ne permet pas une régénération de la surface de frottement comme dans le cas de l'usinage. De plus, la pression maximale autorisée ne dépasse pas 15 MPa. En terme de facilité d'expérimentation, ce dispositif nécessite de régénérer la surface après chaque essai dans des conditions très fines afin d'obtenir un état de surface négligeable devant les sillons générés par frottement. Ceci rend le temps de manipulation assez long. Enfin, la longueur des barres utilisables étant limitée et le pas de l'hélice étant grand, le temps d'essai est très limité.

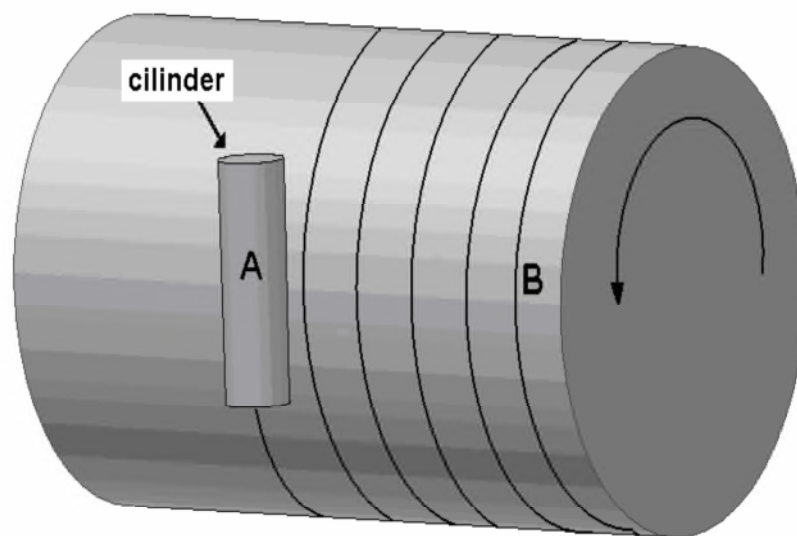


Figure I.9 : Principe du tribomètre d'Hedenquist

Chapitre I : recherche bibliographique

I.7.1.2 Pion-disque rotatifs :

Les essais de frottement continu ont été réalisés sur un tribomètre de type pion/disque développé au LaMCoS de l'INSA de Lyon (Figure I.10). Ce dispositif, appelé tribomètre « Lorient », est utilisé pour l'étude de l'influence de la température sur le comportement tribologique de couples de matériaux. Les spécificités de ce tribomètre résident d'une part, dans l'implantation d'un système de chauffage sous le disque permettant d'imposer une température au contact et, d'autre part, dans le couplage avec un spectromètre de masse analysant les dégagements gazeux au contact.

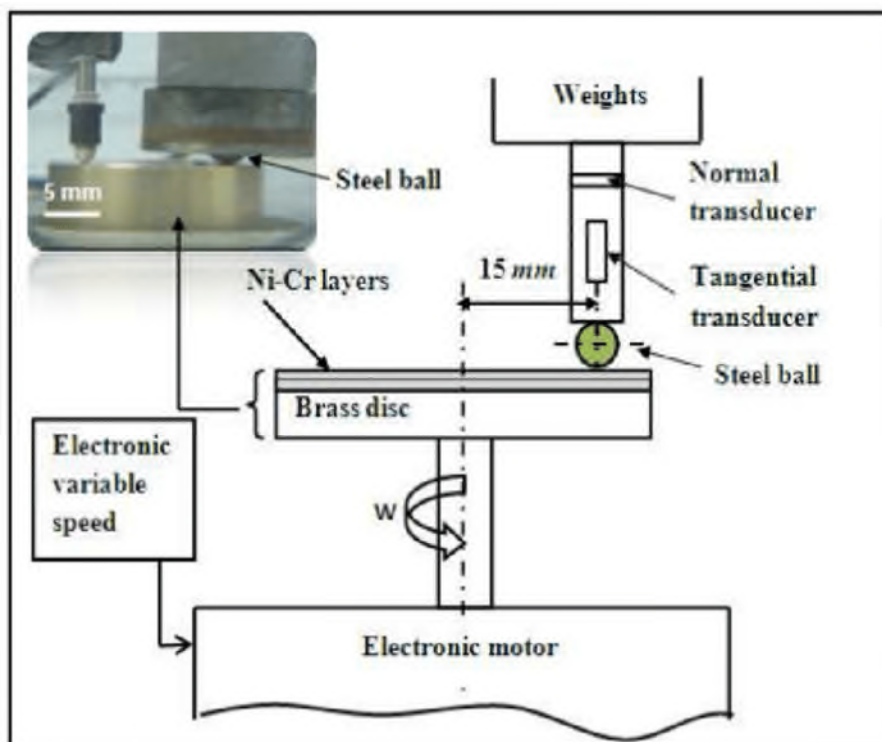


Figure I.10 : Vue d'ensemble du tribomètre «loriot» et de son instrumentation

Capacité :

Le tribomètre « Lorient » permet la réalisation d'essais de frottement continu dans la gamme d'utilisation suivante :

La vitesse maximale de rotation du moteur entraînant le disque est de 1200 tr.min⁻¹, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 9,8 m.s⁻¹ pour un rayon de frottement moyen de 78 mm,

Chapitre I : recherche bibliographique

La pression est imposée par un système hydraulique capable de produire un effort normal maximal de 500 N autorisant, pour un pion de diamètre 16 mm, une pression de contact apparente de 0,3 MPa,

La température imposée par le dispositif de chauffage au disque peut atteindre une valeur de consigne maximale de 515°C

Instrumentation :

Le suivi de l'évolution des grandeurs thermiques et tribologiques au cours de l'essai est assuré par l'instrumentation du tribomètre présentée en Figure I.11 :

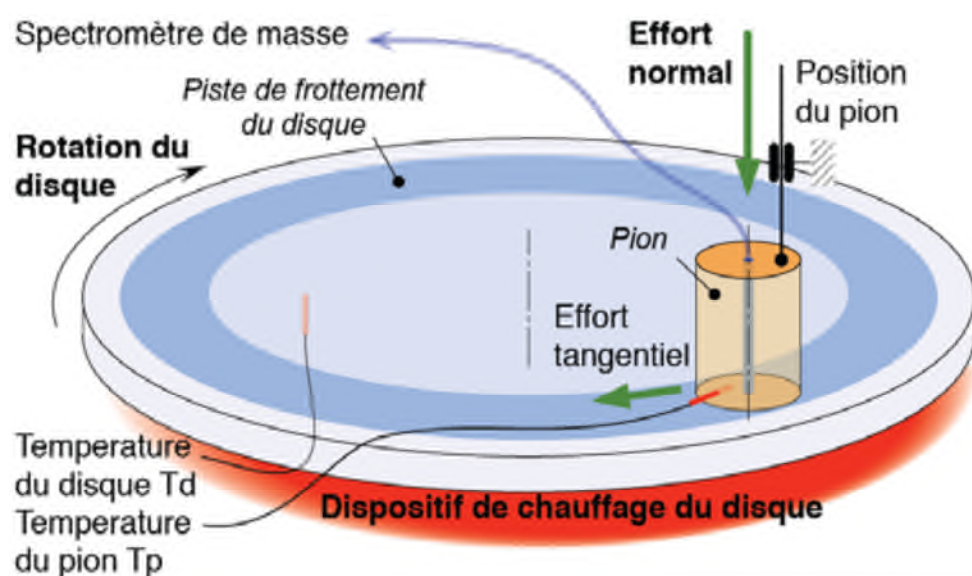


Figure I.11 : Schéma du tribomètre « Lorient »

La composante tangentielle de l'effort du pion sur le disque est mesurée par un capteur de force et permet de calculer le coefficient de frottement μ connaissant l'effort normal imposé, Les températures des éprouvettes sont suivies par deux thermocouples. Le thermocouple assurant la mesure de température dans le pion TP est positionné sur le rayon moyen de frottement égal à 78 mm et à 2 mm sous la surface de contact. Le thermocouple assurant la mesure de température de masse dans le disque TD est situé sur un rayon de 54 mm. Il assure le contrôle du chauffage, la position du pion par rapport à un repère fixe lié au bâti est mesurée par l'intermédiaire d'un capteur LVDT.

Les dégagements gazeux au contact ont été analysés par un spectromètre de masse. Le prélèvement des gaz se fait par un capillaire de diamètre 125 μm inséré dans un trou de 3 mm de diamètre percé dans le centre du pion et débouchant au contact. Le mode d'analyse utilisé est le mode 'Mesure d'intensité' : il permet le suivi au cours du temps des intensités

Chapitre I : recherche bibliographique

correspondant aux rapports m/z choisis. Les essais étant réalisés sous air, les gaz analysés sont l'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂) avec des rapports m/z respectifs de 18 et 44. La présence d'air ne permet pas l'analyse du monoxyde de carbone dont le rapport m/z de 28 correspond également au diazote N₂ de l'air. [20]

1.7.1.3 Machine d'abrasion (Pin-Test) :

Pour la méthode d'essai d'abrasion de la goupille, deux spécimens de goupille sont nécessaires. L'une est constituée du matériau à tester. L'autre est constituée d'un matériau de référence. Chaque goupille est positionnée perpendiculairement la surface abrasive, qui est généralement montée sur, ou supportée par un disque circulaire plat, une autre surface plate, ou la surface cylindrique d'un tambour. La machine d'essai permet un mouvement relatif entre la surface abrasive et la surface de la broche. La trace d'usure d'une goupille décrit une trajectoire continue, sans chevauchement, telle qu'une spirale, une hélice ou une courbe en dents de scie, de préférence avec un déplacement entre les passages successifs suffisant pour permettre à l'autre goupille de tracer une trace parallèle dans l'espace intermédiaire. L'échantillon de la goupille est pressé contre la surface abrasive avec une charge spécifiée au moyen de poids morts ou d'un autre système de charge approprié. La rotation de la goupille autour de son axe pendant l'essai est facultatif. Notez cependant que les résultats avec et sans rotation de la tige ou avec différents systèmes de chargement peuvent différer.

La quantité d'usure est déterminée en pesant les deux spécimens avant et après l'essai. Les valeurs de perte de masse doivent être converties en pertes de volume en utilisant les meilleures valeurs disponibles des densités des spécimens.

L'utilisation des changements de longueur pour indiquer le degré d'usure n'est pas recommandée aux fins de cette méthode d'essai, et aucune procédure de traitement de ces données n'est incluse dans cette méthode d'essai.

Les résultats de l'usure sont présentés sous forme de perte de volume et de volume d'usure normalisé par rapport à la charge normale appliquée, à la longueur de la trajectoire d'usure et à l'usure moyenne de l'échantillon de référence sur le même type d'abrasif. L'usure du spécimen de référence est incluse dans le calcul afin de corriger les variations d'abrasivité. [21]

Chapitre I : recherche bibliographique

1.7.2 Problèmes spécifiques des mesures tribologiques :

1.7.2.1 Vibrations :

Les vibrations et bruits générés par l'instabilité du frottement est un problème qui préoccupe de nombreux tribologues, non seulement par leurs conséquences sur l'environnement (bruit lors du freinage), mais également par les perturbations sur les mesures elles-mêmes. La génération de l'instabilité dépend à la fois des variations de la force de frottement en fonction du temps et de la rigidité du système (raideur des supports et raideur du contact). Les mesures de vibrations par des accéléromètres permettent d'avoir une première idée sur l'instabilité de frottement avant de faire des mesures de déformations et de bruit aérien. [22]

1.7.2.2 Étalonnage des capteurs et assurance qualité :

Les données fournies par les différents capteurs doivent être converties pour être utilisées pour déterminer l'orientation. La transformation adéquate est obtenue grâce à une étape d'étalonnage réalisée en trois temps. Tout d'abord, les accéléromètres sont étalonnés, le capteur étant tenu dans des positions statiques. Ensuite, les magnétomètres sont étalonnés, alors que le capteur est mis en rotation de manière à obtenir le plus de mesures différentes possibles. Finalement, la direction du champ magnétique terrestre à la position d'utilisation du capteur est acquise.

Dans la suite, les différents composants sont considérés parfaitement positionnés sur le circuit imprimé. En pratique ce n'est évidemment pas le cas et il faudrait idéalement estimer les erreurs d'alignement entre les différents capteurs. Néanmoins, ceci n'est pas facile à réaliser et l'hypothèse simplificatrice permet d'obtenir des résultats satisfaisants pour notre application. [23]

L'un des points délicats de l'assurance de la qualité en métrologie est le choix de la traçabilité de la chaîne d'étalonnage, autrement dit, du raccordement du moyen de mesure à la chaîne d'étalonnage nationale. Le système national d'étalonnage mis en place pour assurer le raccordement des références et des instruments de mesure aux étalons nationaux est fondé sur des laboratoires officiellement accrédités par le COFRAC- Section étalonnage [24]

1.8 conclusion :

Ce chapitre a fait l'Object des généralités sur la tribologie (frottement et usure), on a opté a démontré les différents types de phénomène de l'usure et le frottement que ce produit on

Chapitre I : recherche bibliographique

contact de deux surface on mouvement. Mettre un troisième corps entre les deux surfaces en contact permet une meilleure solution pour minimiser le frottement et l'usure. Dans cette partie d'étude bibliographique,

On a montré qu'un tribomètre standard n'existe pas : une multitude de tribomètre sont conçus pour des essais tribologiques plus aux moins complexes.

La conception d'un tribomètre dans l'ingénierie dépend essentiellement des résultats attendus par les essais à réaliser. Des capteurs et des systèmes de commande ou de contrôle des différents paramètres peuvent être associés au tribomètre et cela pour répondre aux exigences de l'expérimentateur

Chapitre II :

*Étude technique d'un tribomètre type pion
disque.*

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.1 Introduction :

Les pions utilisés lors de cette expérience présentent des taux d'usure et des coefficients de frottement relativement élevés lorsqu'elles glissent à sec contre des surfaces en acier. Dans ce chapitre on va épeler les différents composants nécessaires pour la fabrication du tribomètre et par la suite comment se fait la réalisation et la mise en marche d'un tribomètre pion-disque qui permet de prendre des mesures et d'effectuer facilement des tests d'usure et de récupérer les données en temps réel. Ce tribomètre est équipé d'un capteur à jauges de contraintes, d'un pont de Wheatstone, pour mesurer la force normale et la force tangentielle pendant le processus d'usure.

II.2 Description du tribomètre :

Dans le but de déterminer les caractéristiques tribologiques de notre pion, des tests dans des conditions de frottement à sec ont été effectués sur un tribomètre de type pion-disque conçu et réalisé à l'université Abderrahmane Mira de Bejaia. Cette réalisation entre dans le cadre de la recherche et de développement dans le domaine de l'instrumentation et de mesure tribologique. Le tribomètre permet de réaliser des tests tribologiques en configuration pion/disque.

La représentation du dispositif expérimental des essais de frottement est donnée dans la (Figure II.1).

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

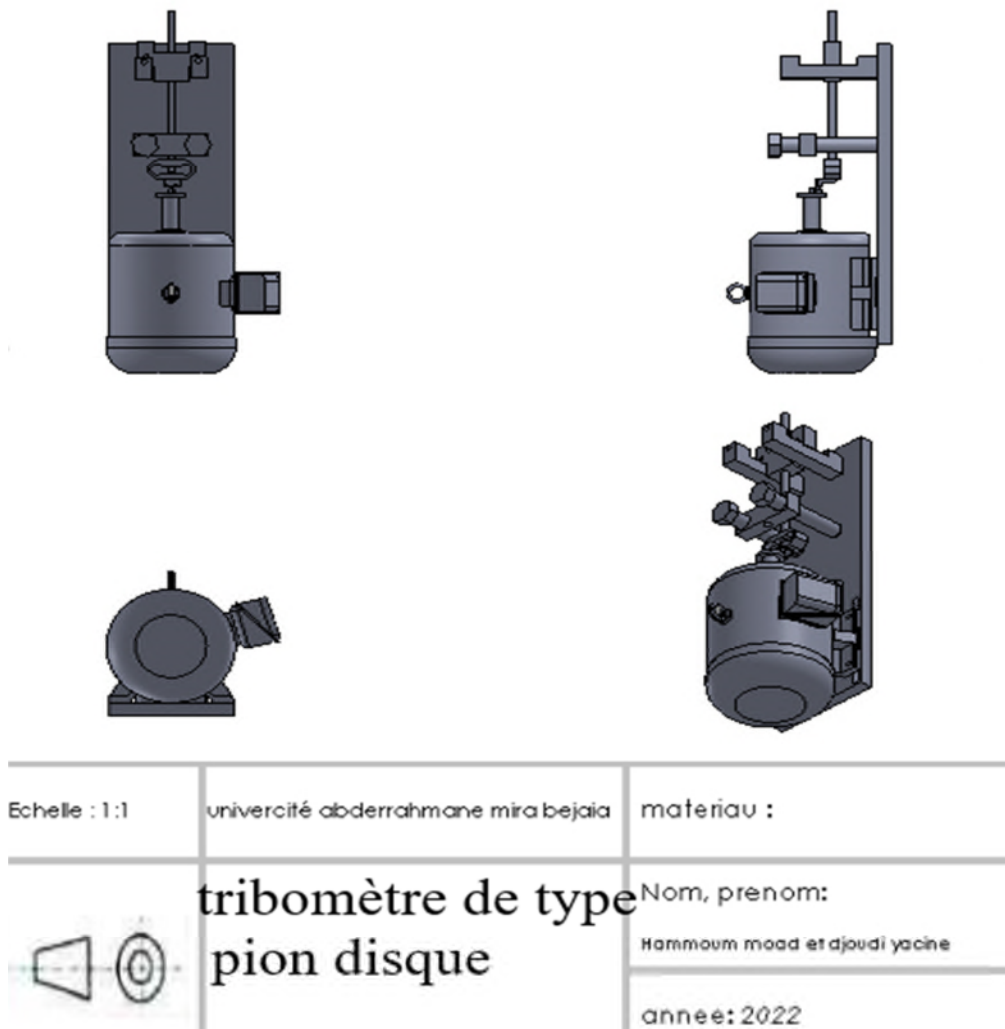


Figure II.1 : Vue 3d d'un tribomètre de type pion disque.

Le tribomètre assure le frottement avec une configuration de contact de type pion disque. Pendant que le disque tourne en position horizontale, le pion immobile supporte la charge normale en contact verticale avec le disque.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

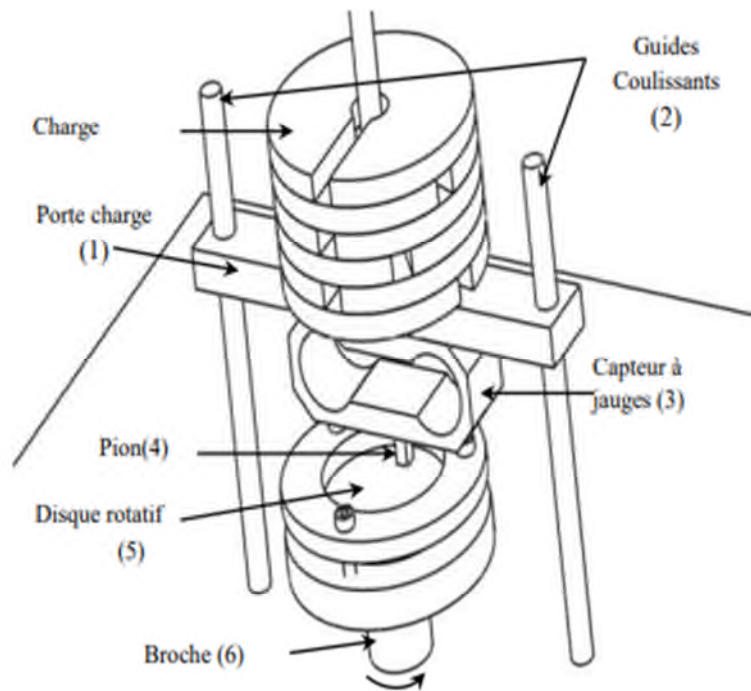


Figure II.2 : Représentations schématique du tribomètre.

La mise en charge est réalisée par un système de masse. La charge est appliquée dans la direction verticale posée sur le support du capteur (1) guidé en translation sur deux glissières (2). Le support transmet à son tour l'effort au capteur (3) qui le transmet au pion (4) en contact avec le disque (5) fixé sur la broche libre en rotation (6) entraînée par un moteur électrique à courant alternatif triphasé (8). L'un des avantages du tribomètre est la possibilité de modifier la masse du support sans changer la charge appliquée et ce via la masse morte (11). Il permet aussi d'appliquer des charges très faibles.

II.3 Nomenclature :

ASTM G-99 113.

II.3.1 Nomenclature du banc :

1-Bâti, 2- Plaque coulissante, 3- axes, 4- bague de guidage, 5- Poutre, 6- Porte capteur, 7- Capteur de force, 8- Disque, 9- Pion, 10- Charge, 11- vis de manœuvre, 12- Plaque, 13- masse morte, 14- liaison glissière, 15- moteur électrique, 16- poulie, 17- Câbles, 18- volant, 19- Poignée.

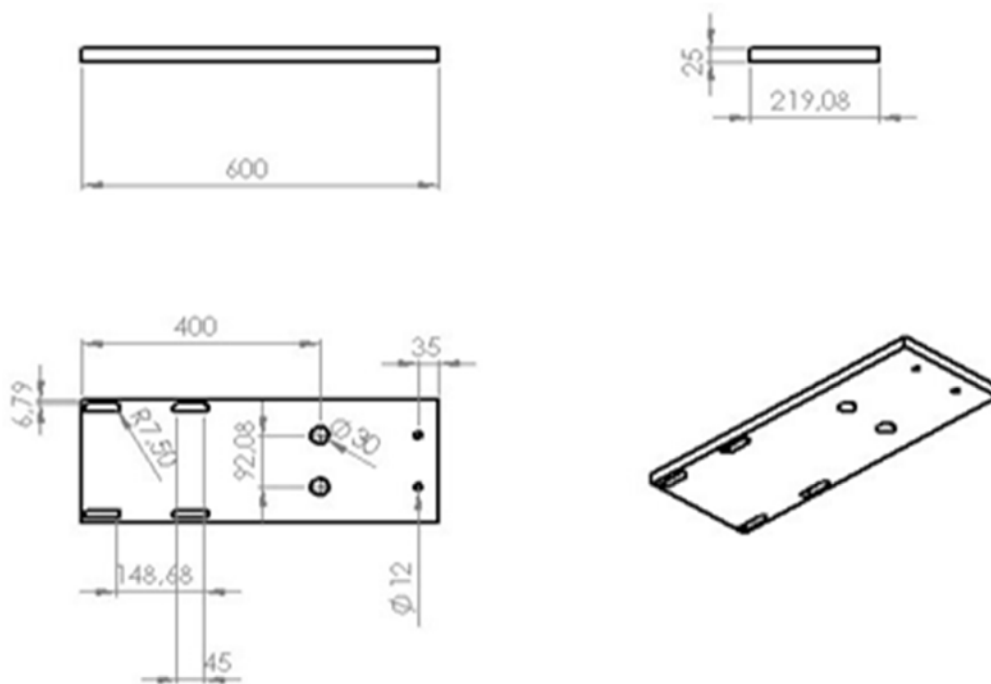
II.4 Conception d'un tribomètre :

Le tribomètre se constitue principalement de :

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.4.1 Plaque d'assemblage :

Est une plaque en acier de 600 millimètre de longueur, 219.08 millimètre de largeur et 25 millimètre d'épaisseur elle comporte deux perçage supérieur de diamètre 12 avec un écart de 92.08 millimètre qui traverse la plaque de part en part , deux perçage au milieu supérieur de diamètre 30 millimètre et de même écart et finalement quatre trou oblong dans la partie inférieure de 45 millimètre de longueur termine de deux demi cylindre de rayon 7.5 millimètre.



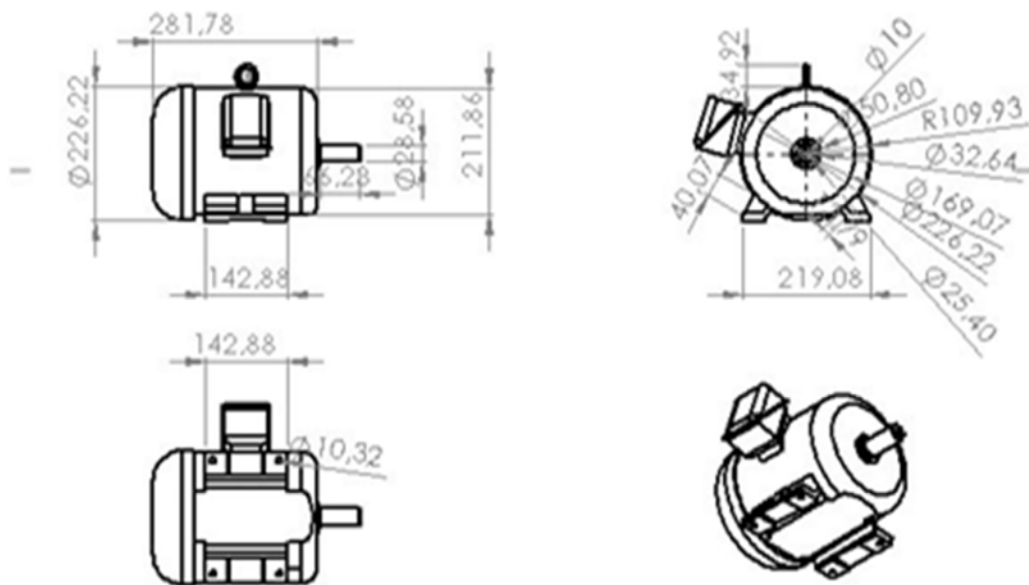
Echelle : 1:1	université ab-derrahmane mira bejaia	matériau :
	corp	Nom, prenom: Hammoum moad et djoudi yacine
		annee: 2022

Figure II.3 : Mise en plan du corps d'assemblage.

II.4.2 Le moteur électrique :

Contient un bobinage de fil électrique, un stator (la partie fixe du moteur) et un rotor (la partie mobile). L'alimentation du bobinage par un courant électrique induit un champ magnétique. Les pôles du rotor tourne alors librement, en continu : les pôles positifs attirent les négatifs, et inversement positif, le moteur électrique convertit l'énergie électrique en énergie mécanique.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque



Echelle : 1:1	université abderrahmane mira bejaia	materiau :
	moteur électrique	Nom, prenom: Hamroum moad et djouli yacine
		annee: 2022

Figure II.4 : Mise en plan d'un moteur électrique.

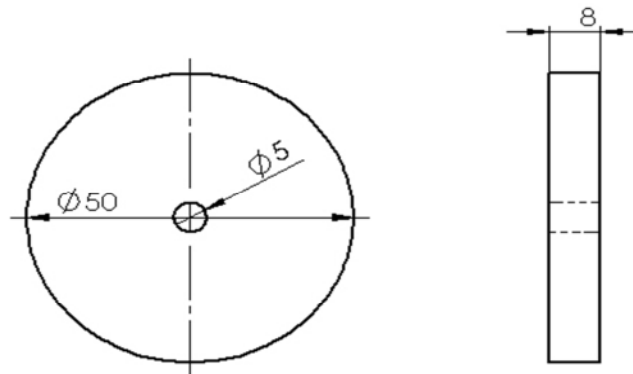
MOT. 3 ~ № J08084369					
JM 100 LA 2 B3					
EXECUTION					
V	Hz	A	kW	min^{-1}	$\cos \theta$
230/400	50	10.4/6.01	3	2860	0.87
277/480	60	10.4/6.01	3.6	3430	0.87

Tableau II.1 : Caractéristique du moteur électrique EFF2.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.4.3 Le disque :

Le disque rotatif : est une pièce en acier dur d'une épaisseur de 3 millimètre et de rayon de 50 millimètre il comporte un perçage au milieu d'un diamètre de 5 millimètre, matériau utiliser est acier Z₂₀₀ Cr₁₂ traité.



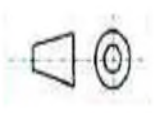
Echelle : 1:1	université abderrahmane mira bejaia	matériau :
	disque	Nom, prenom: Hammoum moad et djoudi yacine
		annee: 2022

Figure II.5 : Mise en plan du disque rotatif.

II.4.4 Le pion :

C'est un pion de 19mm de longueur et composé de deux parties une partie supérieure est de diamètre de 12mm celle qui va subir les frottements et la 2ème partie inférieure est de diamètre 6mm sera fixer sur le support pion, matériau utiliser est inox X₆Cr₁₈Ni₈.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

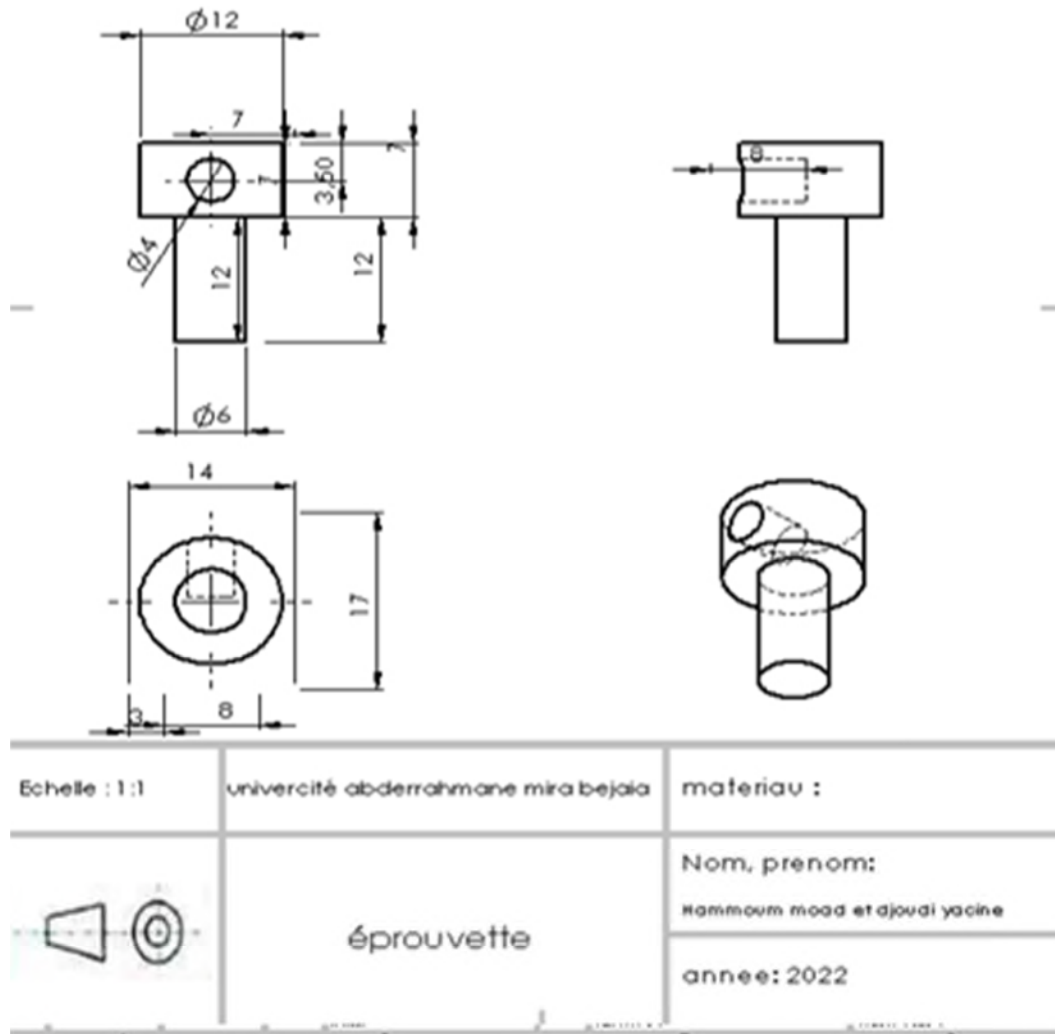


Figure II.6 : Mise en plan de l'éprouvette.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.4.5 Le support pion :

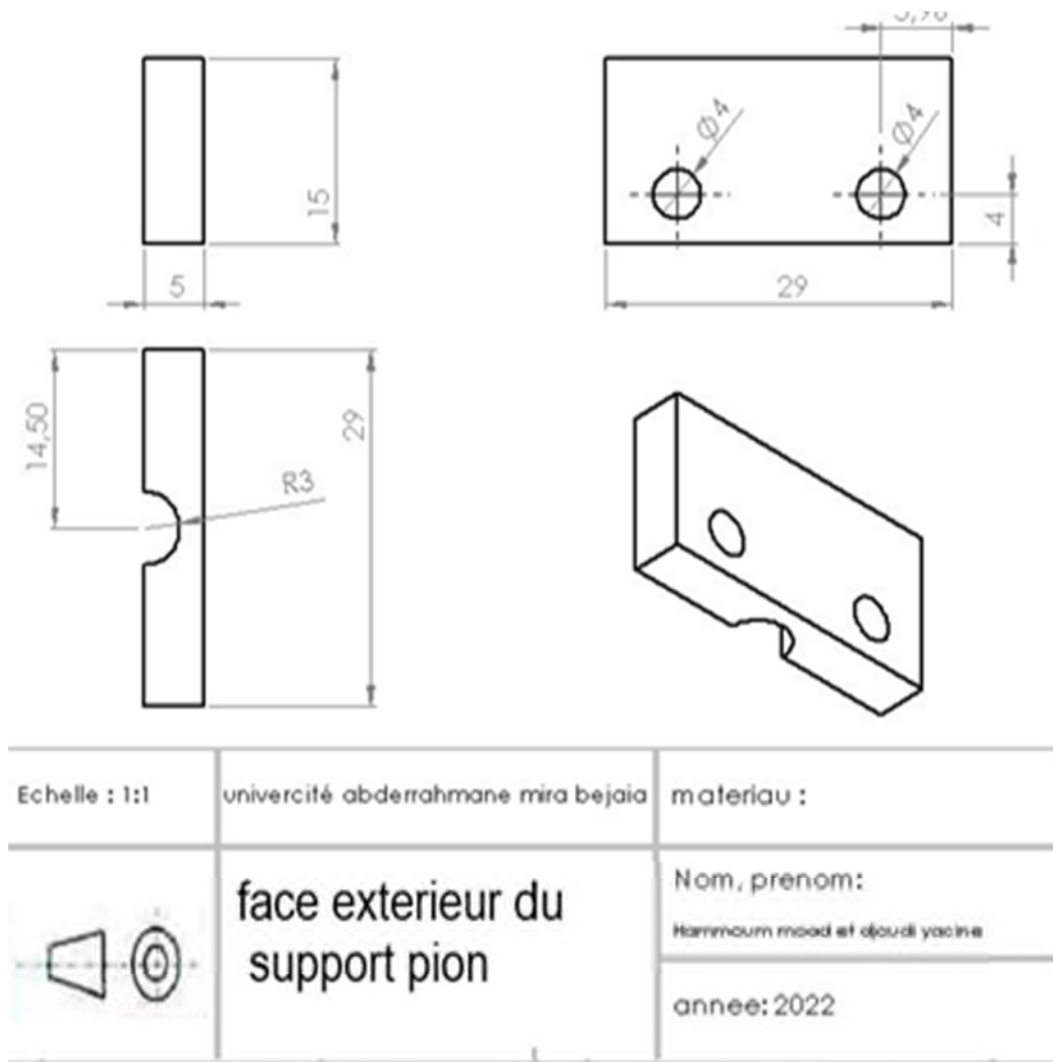


Figure II.7 : Mise en plan de face extérieure du support pion.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

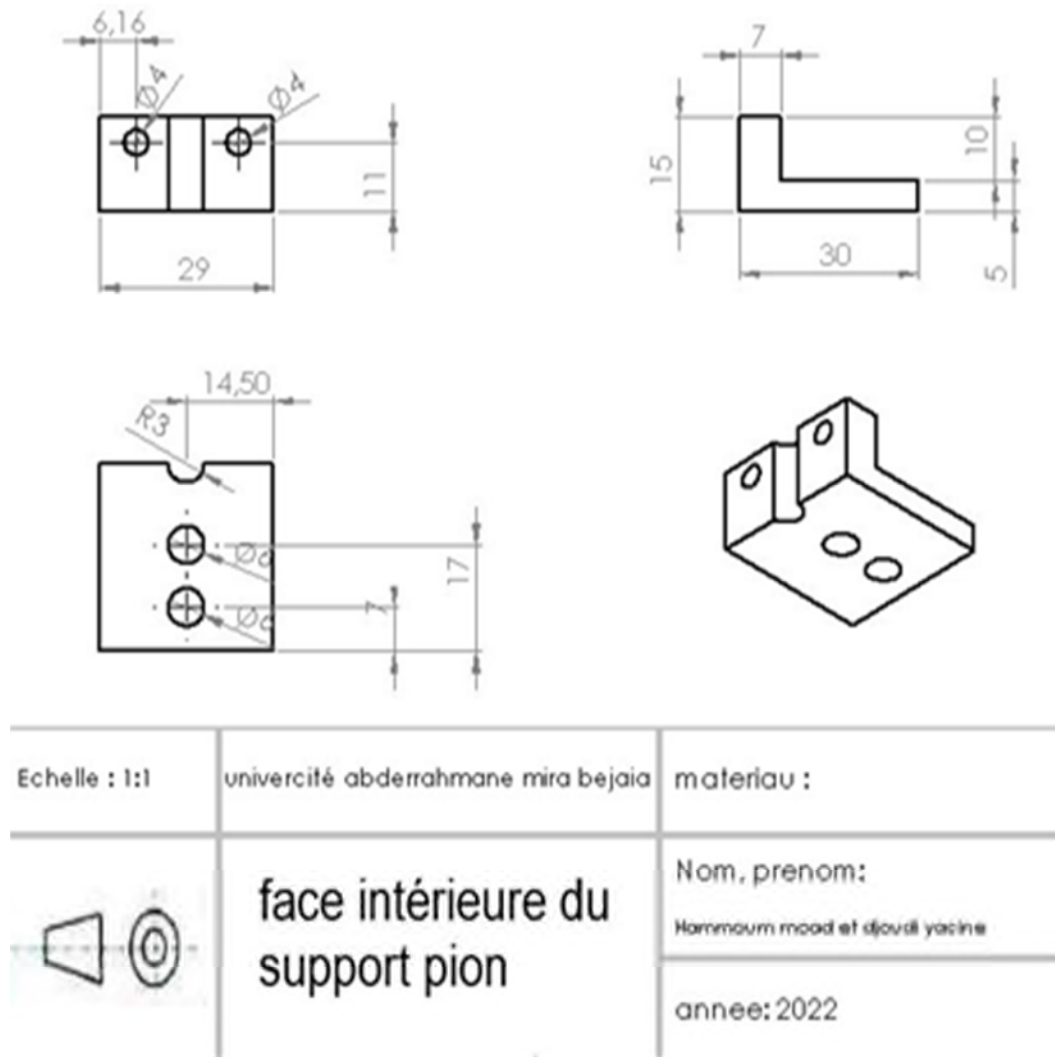


Figure II.8 : Mise en plan de la face intérieure du support pion.

Est constituée de deux pièces liées par des vis. La pièce extérieure du support est une pièce de 29 millimètres de largeur, 15 millimètres de hauteur et 5 millimètres d'épaisseur. Elle se compose de deux cercles horizontaux de 4 millimètres qui traversent l'épaisseur de la pièce et un demi-cercle vertical au milieu de la pièce de rayon 3 millimètres. En ce qui concerne la deuxième pièce, c'est une pièce en forme de L (figure 9) d'une hauteur et largeur similaires à la première pièce. Quant à sa longueur, elle est de 30 millimètres sur une hauteur de 5 millimètres et de 7 millimètres sur le reste de la hauteur.

II.4.7 Port support pion :

C'est une pièce de longueur : 40 mm terminée par un demi-cercle de rayon : 20 mm, deux perçages à la partie inférieure de la pièce (2*6 mm et de profondeur : 10 mm) la partie supérieure un perçage de 14 mm de diamètre et une profondeur : 15 mm.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

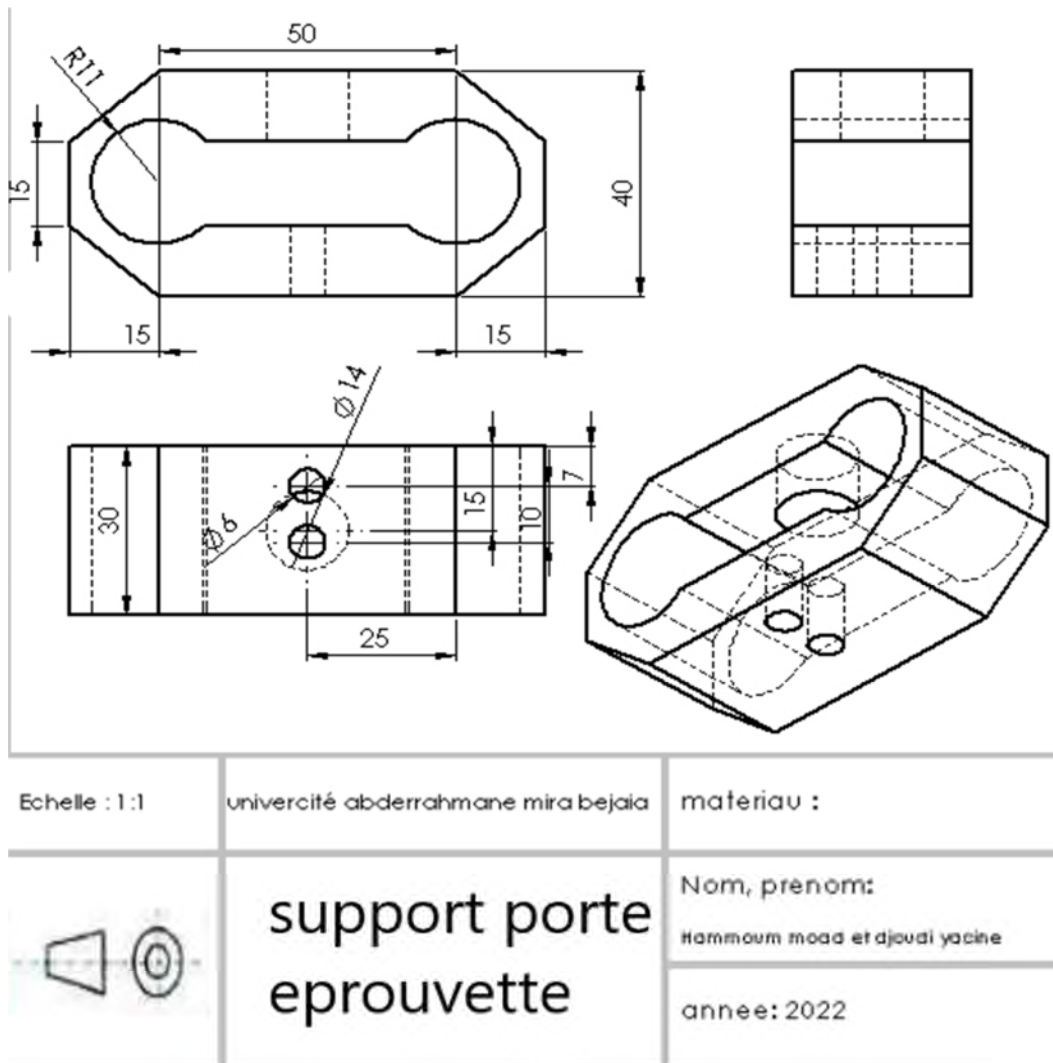


Figure II.9 : Mise en plan du support porte éprouvette.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.4.7 Le stabilisateur :

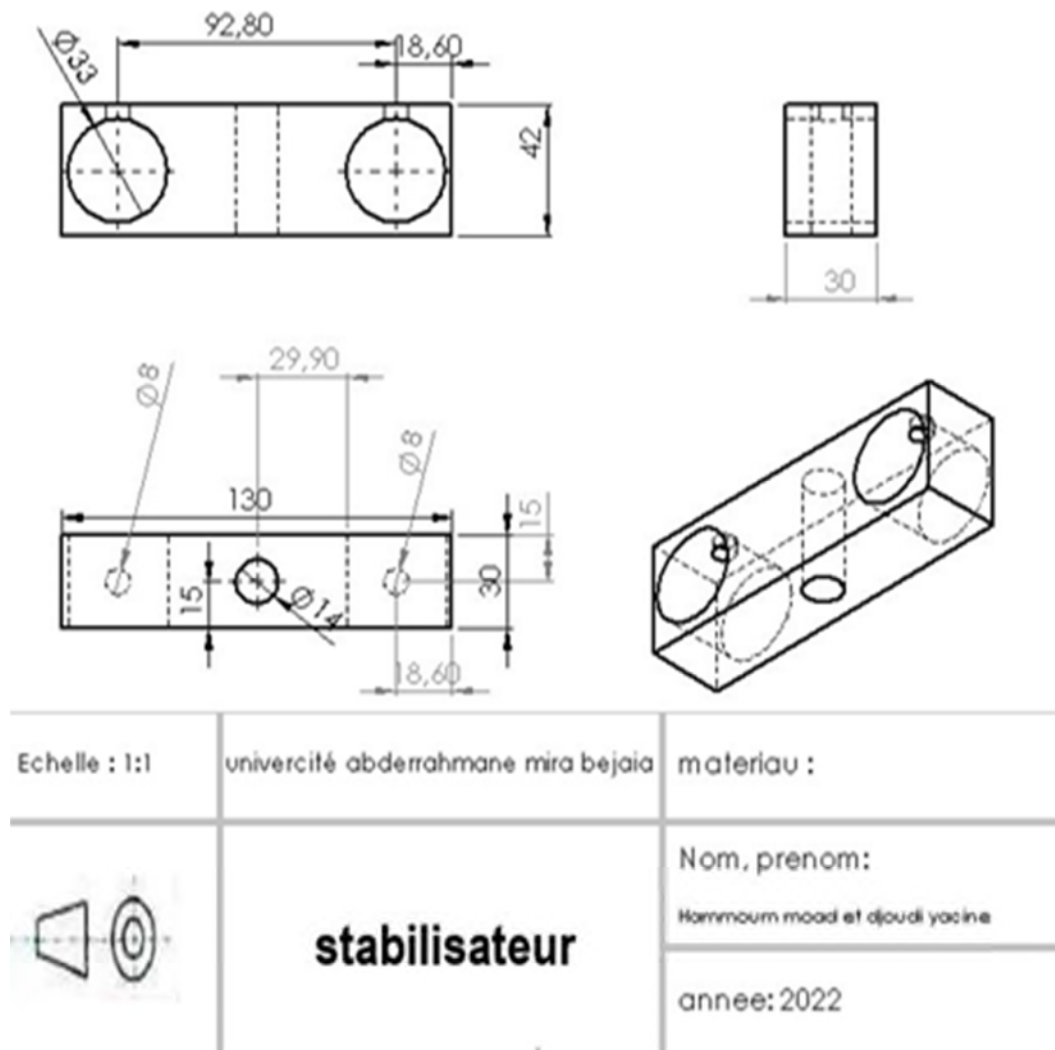


Figure II.10 : Mise en plan du stabilisateur.

est une pièce de 130 millimètre de largeur, 42 millimètre de hauteur et 30 millimètre d'épaisseur elle est composée de deux perçage de 33 millimètre de diamètre séparer d'un écart de 92.08 millimètre qui traverse l'épaisseur de la pièce est un perçage vertical de part en part au centre de la pièce de diamètre 14 millimètre ainsi que deux autre perçage de 8 millimètre qui traverse la hauteur de la pièce jusqu'au deux perçage horizontaux.

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

II.4.8 Thermocouple type k :

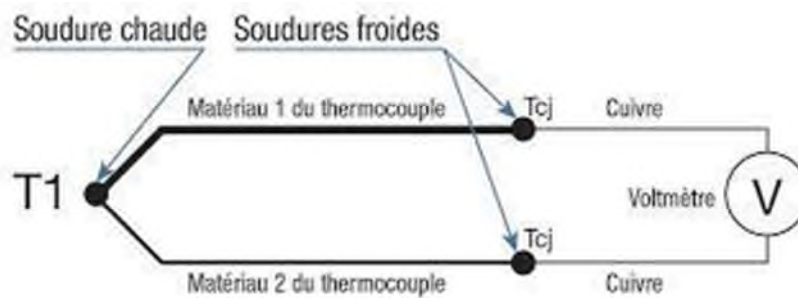


Figure II.11 : Thermocouple type K.

Le thermocouple de type K est le thermocouple le plus utilisé actuellement. Les thermocouples de type K sont conçus principalement pour les mesures de température générales dans des atmosphères les plus courantes. La température maximale d'utilisation en continue est d'environ 1100 ° C, bien qu'au-delà de 800°C l'oxydation engendre une dérive du capteur et il sort progressivement de sa classe de tolérance. Toutefois il peut être utilisé à court terme jusqu'à 1200°C.

Bien que le type K soit largement utilisé en raison de sa large plage de température et de son faible coût, il n'est pas aussi stable que les autres thermocouples couramment utilisés. Lors de cycles de température.

Pour notre étude on perce un trou sur le pion qui permet l'introduction d'un thermocouple pour mesurer la température à 2mm du contact.

II.5 Dynamomètre 50N :

Ce dynamomètre est un appareil qui mesure les forces de traction et de compression. Il s'agit d'un dynamomètre portable servant à mesurer les forces de traction et de compression, et pouvant être installé sur un banc d'essai. La plage du dynamomètre atteint 50 N. ce qui fait de lui pour notre cas de mesurer la force tangentielle

Chapitre II : étude technique d'un tribomètre type pion-disque

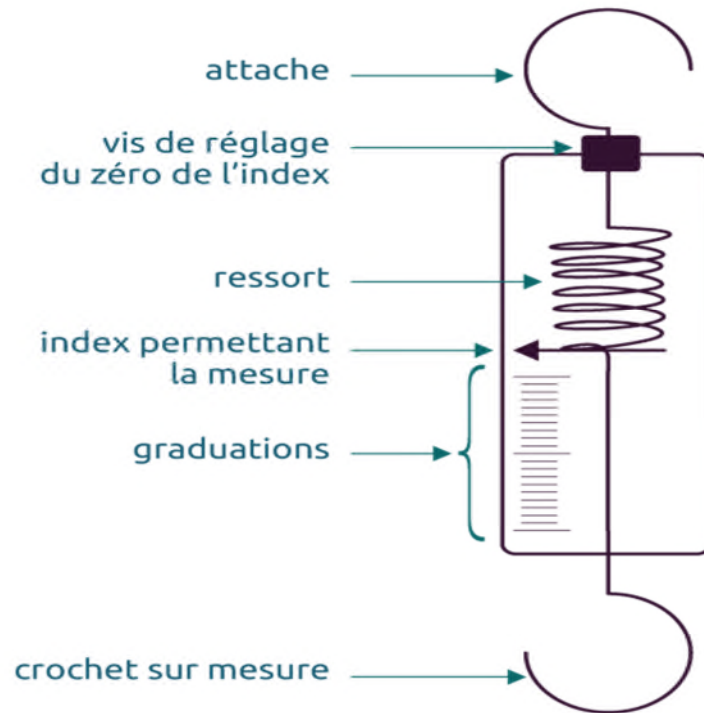


Figure II.12 : Dynanometre 50N.

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a illustre les diffèrent composant nécessaire pour l'élaboration de notre tribomètre.

A travers ce chapitre on a spécifié les caractéristiques de chaque composants afin d'assurer le bon montage pour notre système.

Chapitre III :
*Conception et réalisation d'un
tribomètre type pion disque.*

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre la première démarche à suivre est la réalisation du prototype final du tribomètre après l'assemblage des composants déjà illustrés dans le chapitre précédent. La procédure à suivre dans ce chapitre est la construction d'un bac au niveau du dispositif pion disque dans le but d'effectuer un test d'érosion après avoir effectué ce test. Un autre composant a été élaboré pour but de varier la température qui est la chambre de régulation de température.

Afin de déterminer la force tangentielle deux méthodes ont été utilisées, la première se fera à travers un dynamomètre et la deuxième en utilisant la jauge de contrainte est reliée au pont de Wheatstone, parmi les composants nécessaires pour la construction de ce pont le convertisseur analogique numérique, le module amplificateur de charge HX711, un lecteur LCD....etc.

Après la réalisation des tests et l'obtention des valeurs de la force tangentielle, l'objectif visé est de calculer le coefficient de frottement qui est défini implicitement par $\mu = \frac{F_t}{F_n}$ Afin de valider les résultats obtenus.

III.2 Présentation du tribomètre :

La machine présentée dans notre projet a été conçue et réalisée au sein de notre université se range dans la catégorie des machines du type rotatif. Elle possède une avance certaine en matière de simplicité, de commodité de fonctionnement, facilite la préparation des éprouvettes. Elle a été conçue pour la recherche scientifique et l'enseignement. Elle est prévue pour utiliser des charges plus importantes que les machines classiques, et conçue en premier lieu pour des essais sans lubrification.

Le dispositif à valider est un tribomètre pion-disque vertical. Il permet d'étudier le frottement et l'usure des couples de matériaux. Son principe consiste à appliquer une charge verticale sur un pion immobile en contact avec la face plane d'un disque en rotation.

Lors de l'essai de frottement un capteur à jauges de contrainte enregistre les valeurs de l'effort tangentiel et de l'effort normal grâce aux déformations des jauges.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

III.2.1 Nomenclature du banc :

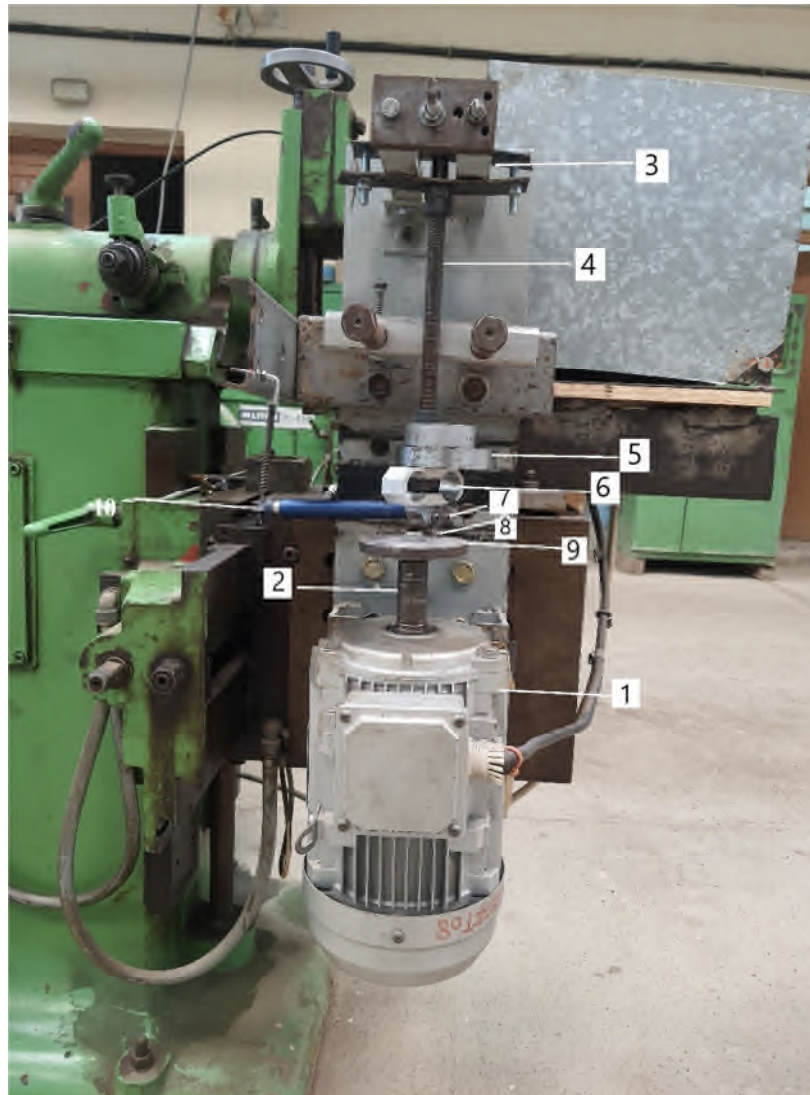


Figure III.1 : Tribomètre pion sur disque.

1-moteur, 2-arbre moteur, 3- élément de forme U, 4-tige filetée, 5-poids, 6- support porte éprouvette, 7- porte pion, 8- pion, 9- disque, 10-dynamometre de 50N

III.3 Système d'acquisition des forces tangentielles :

III.3.1 Jauge de contrainte :

Les jauges d'extensométrie (ou jauge de contrainte figure III.2) sont les capteurs résistifs les plus employés lorsqu'il s'agit de déterminer les faibles déformations d'une structure soumise à des contraintes mécaniques. Autrement dit les jauges de contraintes sont des fils électriques dont la résistance varie avec les déformations subies. Une des difficultés de l'utilisation des jauges d'extensométrie réside dans leur sensibilité à la température. En effet, cette grandeur

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

d'influence peut engendrer sur une jauge, des variations de résistance de la jauge du même ordre de grandeur que celles engendrées par les déformations à mesurer.

Aussi, la correction des effets de la température est un des points clés de la qualité des mesures par jauges d'extensométrie.

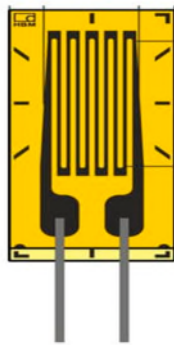


Figure III.2 : Jauge de contrainte.

III.3.2 Le convertisseur analogique-numérique ou CAN :

Un microcontrôleur est l'équivalent d'un petit ordinateur. Il contient un microprocesseur (unité centrale) associé à différentes mémoires et des interfaces lui permettant de communiquer avec l'extérieur, et bien sûr une horloge pour cadencer l'ensemble.

L'alimentation électrique peut être fournie par le port USB ou une alimentation externe qui délivre 5V.

Arduino peut être utilisée pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou peut être connecté à un ordinateur pour communiquer et superviser en utilisant des logiciels de programmation (flash, labview, etc.)

La carte "ARDUINO uno" que nous avons utilisée figure 1, assure une liaison entre la chaîne d'acquisition et l'ordinateur pour acquérir les données des essais tribologiques.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.



Figure III.3 : Convertisseur analogique numériques.

III.3.3 Module amplificateur de charge HX711 :

Le circuit intégré HX711 aussi appelé "*Load Cell Amplifier*" (amplificateur de charge) est utilisé pour mesurer une cellule de charge et, par conséquent, mesurer un poids. En connectant l'amplificateur sur un microcontrôleur, il est alors possible de lire résistance de la cellule de charge

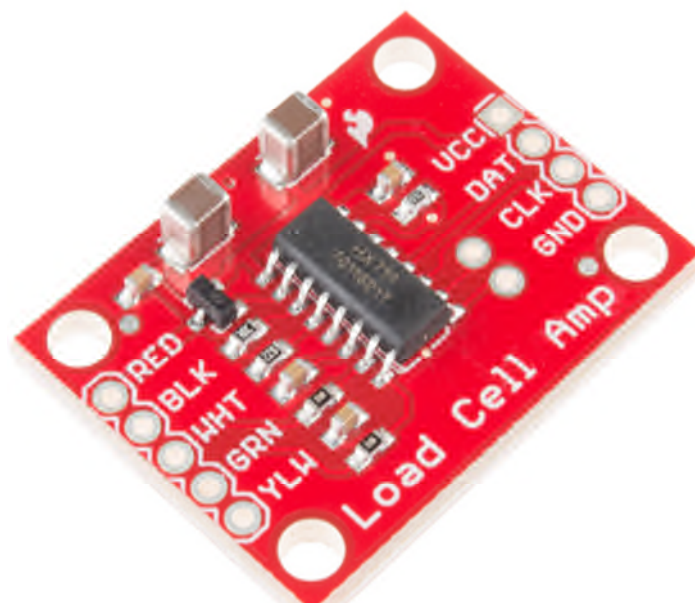


Figure III.4 : Amplificateur de charge HX711.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

*III.3.4 Afficheur LCD 2*16 :*

Afficheur LCD 2 x 16 caractères rétro-éclairé se raccordant via le bus I2C sur un microcontrôleur Arduino.

Le module se raccorde sur une carte compatible Arduino Pi via 4 broches au dos de l'écran.

Manuel d'utilisation et exemple de programme avec Arduino en français

Alimentation : 5 Vcc

Interface I2C (adresse 0x27)

Caractères blancs sur fond bleu

Contraste ajustable via potentiomètre

Dimensions : 80 x 38 x 18 mm

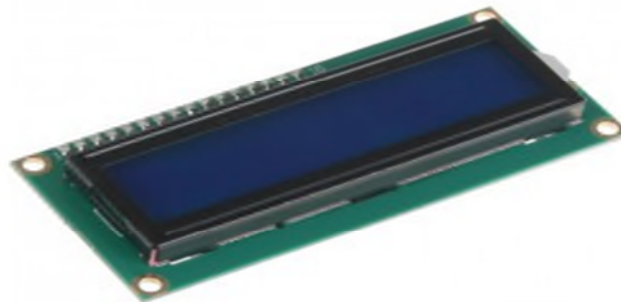


Figure III.5 : Afficheur LCD.

III.3.5 Composante d'une jauge :

Dans le cas général, une jauge est constituée d'une grille formée par un conducteur filiforme de résistivité ρ , section S et de longueur nL , L étant la longueur d'un brin et n leur nombre ; n est généralement compris entre 10 et 20 pour les jauges métalliques et égale à 1 pour les jauges semi conductrices.

Le conducteur est fixé sur un support isolant. Ce support est habituellement une plaque rectangulaire en résine époxyde. Les brins rectilignes du fil résistant sont parallèle les parties courbes ainsi que les bornes sont renforcées pour être de résistance électrique négligeable.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

III.3.6 Principe du pont de Wheatstone :

Le pont de Wheatstone est un appareil qui permet de mesurer de façon très précise la valeur des résistances et des condensateurs

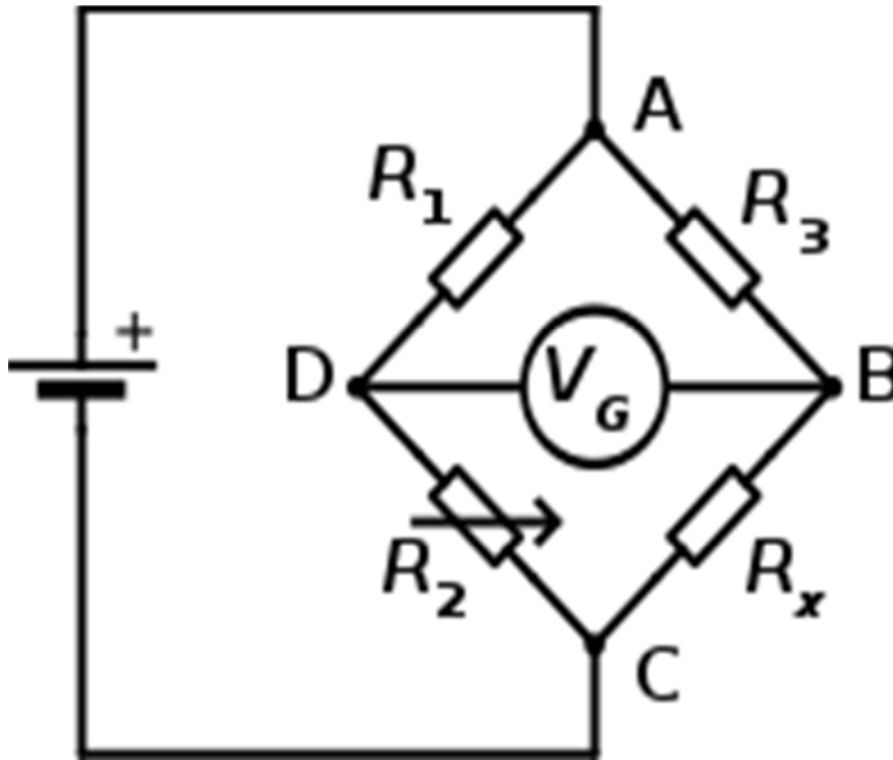


Figure III.6 : Pont de Wheatstone.

Le pont de Wheatstone est un ensemble de quatre résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_4 branchées l'une à l'autre suivant les quatre côtés d'un carré. Le pont est alimenté par une tension continue $V = V_B - V_D$ appliqué entre les points B et D.

Le pont est dit, équilibré si les points A et C sont au même potentiel, pour cela il faut que :
 $R_1 R_3 = R_2 R_4$.

Si on rompt cet équilibre en donnant aux résistances des petites variations dR_1 , dR_2 , dR_3 et dR_4 , il apparaît entre A et C une différence de potentiel $\Delta V = V_C - V_A$ dite tension de déséquilibre, elle est donnée par la relation :

$$\frac{\Delta V}{V} = \left[\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) - \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} \right) + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} \right) - \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \right] * V * \frac{r}{(1+r)^2}$$

Avec : $r = \frac{R_2}{R_1}$

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

III.4 Mesure de frottement et acquisition des données :

Le processus d'acquisition des données du frottement a été effectué par une chaîne d'acquisition qui contient un capteur à jauge de contraintes, un conditionneur, une carte de conversion analogique numérique et un ordinateur sur lequel l'évolution du coefficient de frottement est affichée et enregistrée en temps réel. Le cheminement du signal de sortie depuis sa sortie du capteur jusqu'à l'ordinateur est donné par la (Figure III.7).

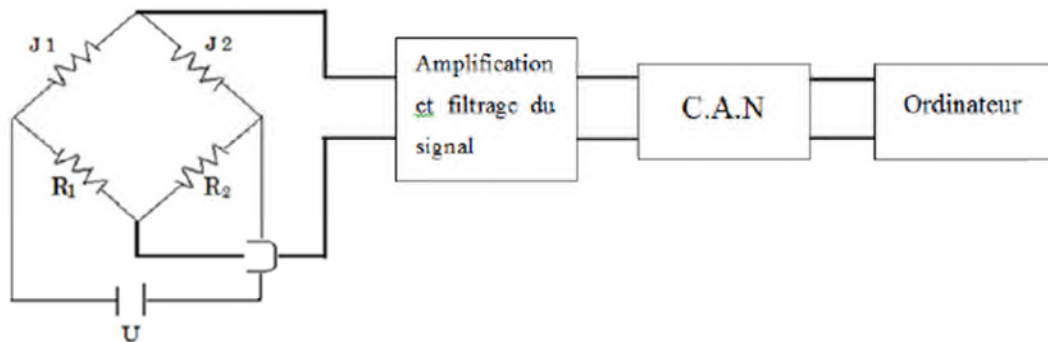


Figure III.7 : Le cheminement du signal de sortie depuis sa sortie du capteur jusqu'à l'ordinateur.

La mesure de la force normale et tangentielle est obtenue grâce à un capteur à base des jauges de contraintes. Il permet d'obtenir l'évolution du coefficient de frottement en continu du couple pion/disque. Deux capteurs à jauges sont installés sur le corps du capteur pour mesurer la force normale et la variation de la force de frottement.

III.5 Méthode de mesure :

Prenons pour la résistance R1 la résistance collée sur la structure R2, R3 et R4 étant des résistances étalonnées dont on peut choisir les valeurs.

Réalisant l'équilibre avant le chargement. Après le chargement de la structure la résistance

R1 = R varie suivant la relation :

$$\frac{\Delta R}{R} = K * \frac{\Delta L}{L} = K * \varepsilon$$

Tandis que les autres résistances demeurent inchangées. A l'aide de la relation précédente nous déduisons la déformation :

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V}\right) (1+r)^2}{K.V.r}$$

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

Une autre méthode consiste à équilibrer le pont c'est-à-dire ($\Delta V = 0$) en faisant varier les résistances étalonnées : R1, R2 et R4.

Dans ce cas la relation précédente nous donne :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{K} \left[-\left(\frac{\Delta R2}{R2}\right) + \left(\frac{\Delta R3}{R3}\right) - \left(\frac{\Delta R4}{R4}\right) \right]$$

III.6 Rugosité des surfaces de frottement des disques :

Le rugosimètre sert à déterminer rapidement la rugosité des surfaces. Le rugosimètre mesure la profondeur de la rugosité moyenne Rz et la valeur de l'écart arithmétique moyen Ra en μm . Ce rugosimètre, d'utilisation facile, permet un control rapide des surfaces. Il entre en contact avec la surface en quelques secondes et mesure directement Ra ou Rz.

III.7 L'extensomètre à jauge :

L'extensomètre est une technique permettant de déterminer par la mesure en un point quelconque de la surface libre d'un solide, les composantes du tenseur de déformation à partir duquel on déduit le tenseur des contraintes les jauges extenso métriques ou jauges de déformations sont des capteurs passifs traduisant en variation de résistance leur propre déformation qu'est en principe égale à celle de la structure à l'endroit où elles sont collées.

Le domaine des déformations mesurable avec une précision pouvant atteindre 0,1 % s'étend de $\pm 10^{-5}$ à $\pm 0,2$.

La limite inférieure est fixée par le bruit de fond de la jauge et des circuits associés la limite supérieure est celle imposée par l'élasticité de la jauge et de la colle de fixation.

III.8 Condition aux limites des tests tribologique effectués :

III.8.1 Elaboration des échantillons :

Les échantillons utilisés ont été usinés sur le tour parallèle au niveau du hall de technologie où on a effectué :

Un dressage, pour avoir un bon état de surface.

Un épaulement, dans le but de fixer les pièces, lors de la projection.

Un chanfreinage, dans le but d'avoir un contact parfait entre l'échantillon et la surface antagoniste.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

Les échantillons élaborés présentent la forme de pions et sont représentés dans la (la figure III.8)

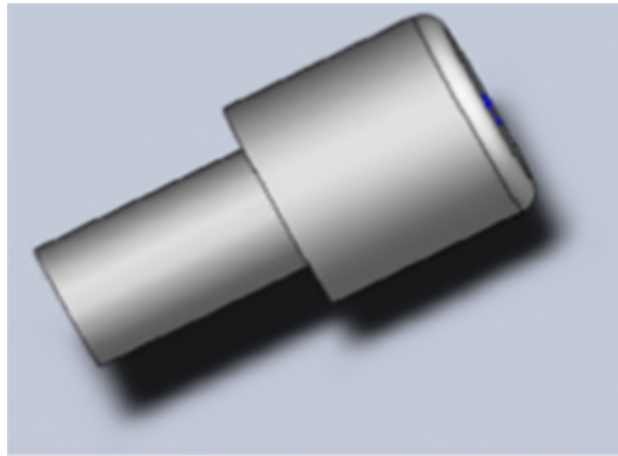


Figure III.8 : Echantillon utilisé.

III.9 Représentation du dispositif d'usure :

Afin d'assurer les tests d'usure, on a réalisé un dispositif tribomètre type pion disque représenté ci-dessus, le disque est de nuance 25CrMo4 trempé d'une dureté de 50HRC et de rugosité de Ra de 2.5 μm , le disque est tournant à une vitesse qu'on peut manipuler (de 100 tr/min jusqu'à 200 tr/min),

Afin de réunir toutes les conditions nécessaires pour la réalisation de tests d'usure significatifs soutenue par l'obtention de résultats fiables permettant une comparaison du comportement en matière de perte des masses des échantillons. Nous avons essayé de gérer les paramètres influents sur l'usure comme suit :

Avant de commencer les tests, on doit nettoyer notre échantillon des éléments additifs prendre la masse initiale (M_0) de l'échantillon à l'aide d'une balance analytique de précision 0,1 mg ;

Nettoyer le disque avec une solution alcoolique ;

Observation des phénomènes d'usure à l'aide d'un microscope optique afin de caractériser les traces d'usures.

A) les charges appliquées :

On a appliqué des charges lors des tests d'usure pour les différents échantillons les charges appliquées (10N, 15N)

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

B) La vitesse :

Le travail s'est effectué à deux vitesses pour chacune des charges appliquées à savoir :

A 90 tr/min

A 180 tr/min

C) lubrification :

Les tests d'usure ont été réalisés sans lubrification. Les tests à sec nous permettent de déterminer les coefficients de frottement les plus extrêmes.

III.10 Résultats :

Temps (s)	Températures (c°)	FT (N)	Vitesse de rotation (rpm)	CF
0	Température initial 26.6c°	0	0	0
5	36.7	0.5	200	0,0625
10	41.5	1	200	0,125
15	42.8	2	200	0,25
20	50	2.5	200	0,3125
25	51.6	3	200	0,375
30	54	3.25	200	0,40625
35	77.4	4	200	0,5
40	84.0	4	200	0,5
45	107.2	4.25	200	0,52875

TABLEAU III.1 : Variation du coefficient de frottement en fonction du temps (10N).

Dans ce premier tableau ont illustré les résultats obtenus pour une force normale de 10 N :

Vitesse de rotation du disque est de : 200 rpm

Moyen de prise de température : sonde reliée à un thermocouple

Mesure de la force tangentielle : dynamomètre

Prise de résultat : chaque 5 minutes

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

Le Calcul du coefficient de frottement se fait la loi ci-dessous :

$$\mu = \frac{FT}{FN \times 0.8}$$

μ : Coefficient de frottement

FT : force tangentiel

FN : force normal

Application numérique pour 5 minutes :

FT=0.5 N

FN=10 N

$$\mu = \frac{0.5}{10 * 0.8} = 0.0625 N$$

Temps (s)	Températures (c ⁰)	FT (N)	Vitesse de rotation (rpm)	CF
0	Température initial 25c ⁰	0	0	0
5	42	1.5	200	0,125
10	49,2	2	200	0,166667
15	54	2,25	200	0,1875
20	58	3	200	0,25
25	62,4	3,5	200	0,291667
30	66	4	200	0,333333
35	69	5	200	0,416667
40	73,2	5,5	200	0,458333
45	79	5,75	200	0,479167

TABLEAU III.2 : Variation du coefficient de frottement en fonction du temps (15N)

Dans ce deuxième tableau ont illustre les résultats obtenu pour une charge verticale de 15 N :

Vitesse de rotation du disque est de : 200 rpm

Moyen de prise de température : sonde relia à un thermocouple

Mesure de la force tangentielle : dynamomètre

Prise de résultat : chaque 5 minute

Application numérique pour 5 minutes :

FT=1.5 N

FN=15 N

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

$$\mu = \frac{1.5}{15 * 0.8} = 0.125 N$$

Remarque :

D'après les résultats obtenus lors des calculs on peut déduire que les coefficients de frottement est dépendant de la force tangentielle ainsi que la force normale

III.10.1 Comparaison des résultats :

Après la réalisation des essais on peut constater que l'évolution de la température est proportionnelle au temps. la différence de résultat de la température varie selon la force normale appliqué (figure III.9).

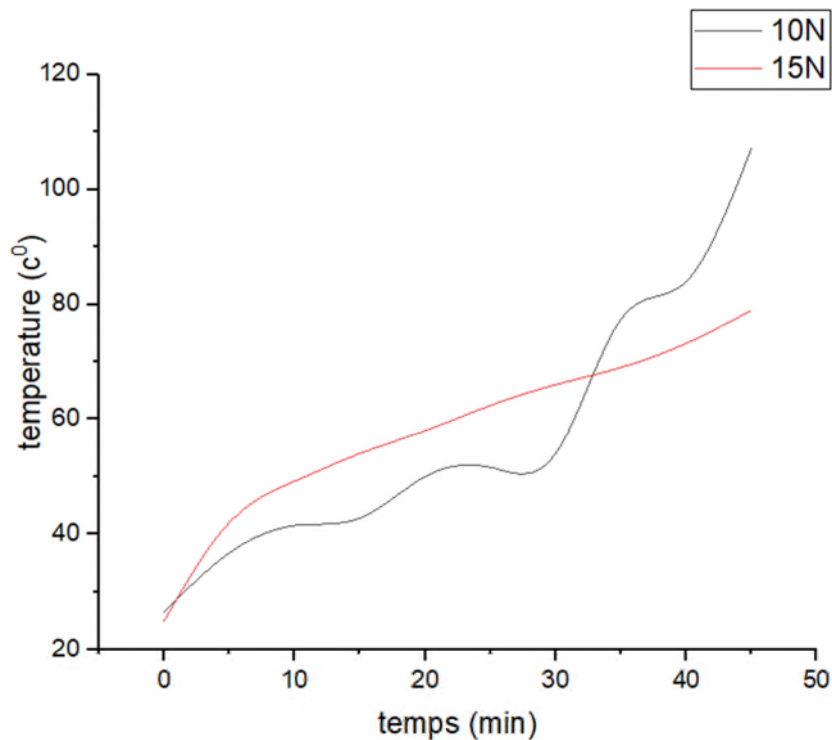


Figure III.9 : Évolution de la température en fonction du temps.

Pour le coefficient de frottement les résultats obtenus reflètent l'influence de la force normale et tangentielle sur le calcul des coefficients de frottement ainsi que le facteur temps qui joue un rôle important dans le calcul du coefficient de frottement

D'après nos résultats on peut conclure que (Figure III.10) :

De 0 min jusqu'à 12 min : le coefficient de frottement augmente de façon lente dans l'essai de 10 N inversement dans l'essai de 15 N

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

De 12 min jusqu'à 45 min : l'évolution du coefficient de frottement dans les deux essais est considéré comme constante

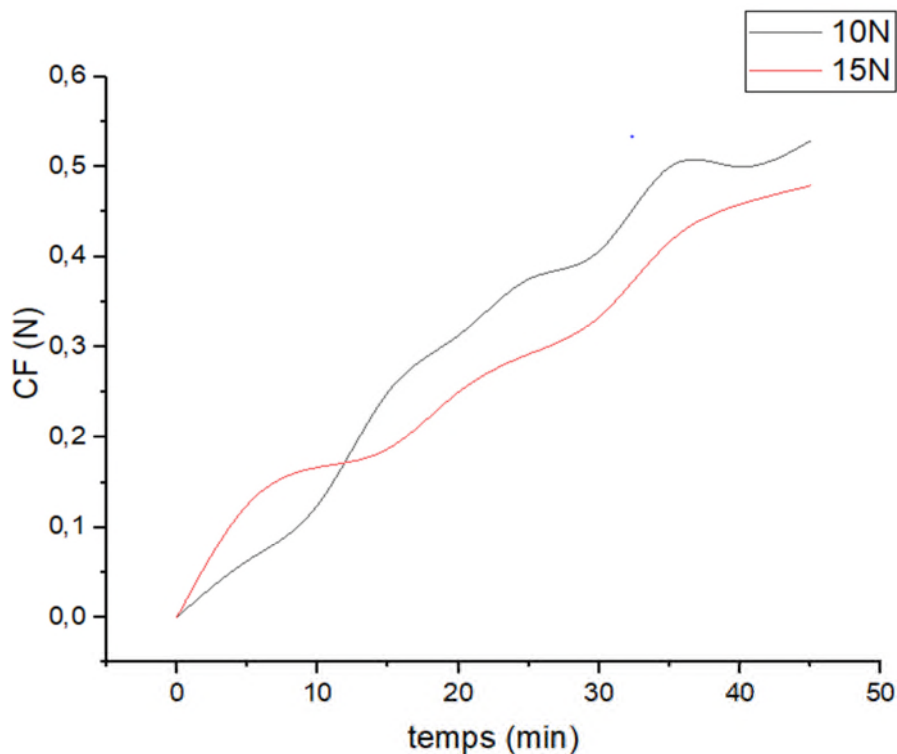


Figure III.10 : Évolution du coefficient de frottement en fonction du temps.

III.11 Perceptives :

III.11.1 Test tribologique-érosion :

Les essais de résistance à l'érosion par cavitation ont été réalisés conformément à la norme ASTM G32 [L. 29]. La distance entre la pointe de la sonotrode et l'échantillon était de $1 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, le milieu dans lequel la cavitation était induite était de l'eau distille, voir (Figure III.11)

L'analyse de la résistance à l'érosion par cavitation a consisté en des échantillons testés avec une pression de 0,01 mg. Dans l'étude actuelle, le temps d'exposition total a duré 3 heures. Pour obtenir des résultats d'érosion fiables, les résultats d'érosion fiables, les surfaces testées ont été traitées uniformément. Les revêtements tels que pulvérisés ont été finis par meulage et la rugosité équivaut à $R_a < 5,28 \text{ } \mu\text{m}$, $R_t < 38,3 \text{ } \mu\text{m}$, $R_z < 28,5 \text{ } \mu\text{m}$ et $R_{Sm} < 0,125 \text{ } \mu\text{m}$.

Les mécanismes d'érosion par cavitation des surfaces érodées ont été examinés à des intervalles de temps déterminés de l'essai de cavitation. Les paramètres de rugosité de surface

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

Ra, Rt, Rz, RSm ont été déterminés à l'aide du profileur de surface (surtronic S-128, Taylor-Hobson, ISO 4287). Les paramètres de rugosité des surfaces érodées ont été mesurés dans les profils obtenus dans deux directions perpendiculaires. Enfin des analyses SEM (scanning electron microscopy) des surfaces endommagées et des coupes transversales des revêtements ont été réalisées.

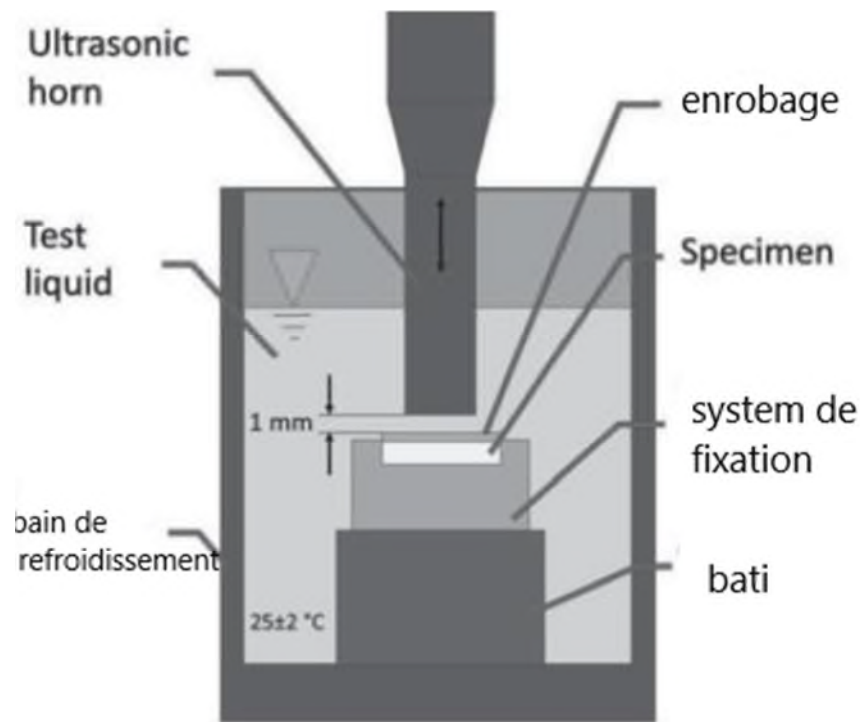


Figure III.11 : Représentation schématique du système vibratoire ultrasonique utilisé pour la cavitation.

Pour l'étude de la résistance à l'érosion par cavitation, le tribomètre a été adapté en isolant par le téflon, le pion et le disque du reste du mécanisme, pour que l'échange thermique est seulement entre le pion et le disque.

L'érosion est un mode de dégradation qui se caractérise par une perte d'épaisseur des composants métalliques en aciers non ou faiblement alliés. Cette dégradation s'installe au contact de l'eau ou de la vapeur humide circulant à grande vitesse. Elle est susceptible d'entraîner la rupture des composants affectés. Dans notre cas on a conçu un bac qui sert à effectuer le test d'érosion en premier lieu on remplit le bac avec de l'eau et de la silice avec une granulométrie de 10 μm et par la suite on fait tremper le composant pion disque dans cette solution afin de déterminer le taux d'érosion de ces derniers.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

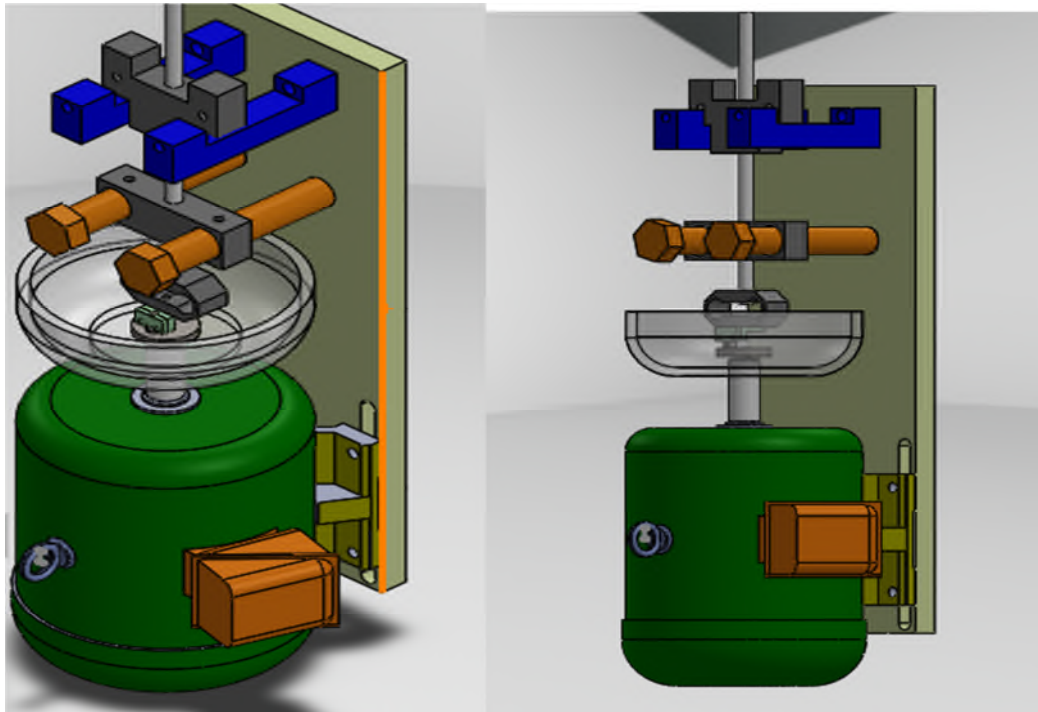


Figure III.12 : Test d'érosion.

III.11.2Chambre de régulation de température :

Une chambre de régulation de température est un dispositif permettant le réglage de la température elle est de forme cubique de $0.0049 m^2$ dote de deux résistances chauffantes de 200 watt chaque une d'elle peut atteindre une température de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ l'objectif de l'installation de cette chambre est de réaliser des tester en commençant par une température voulue afin de déduire l'effet de la température sur le comportement tribométrie du pion sur disque.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

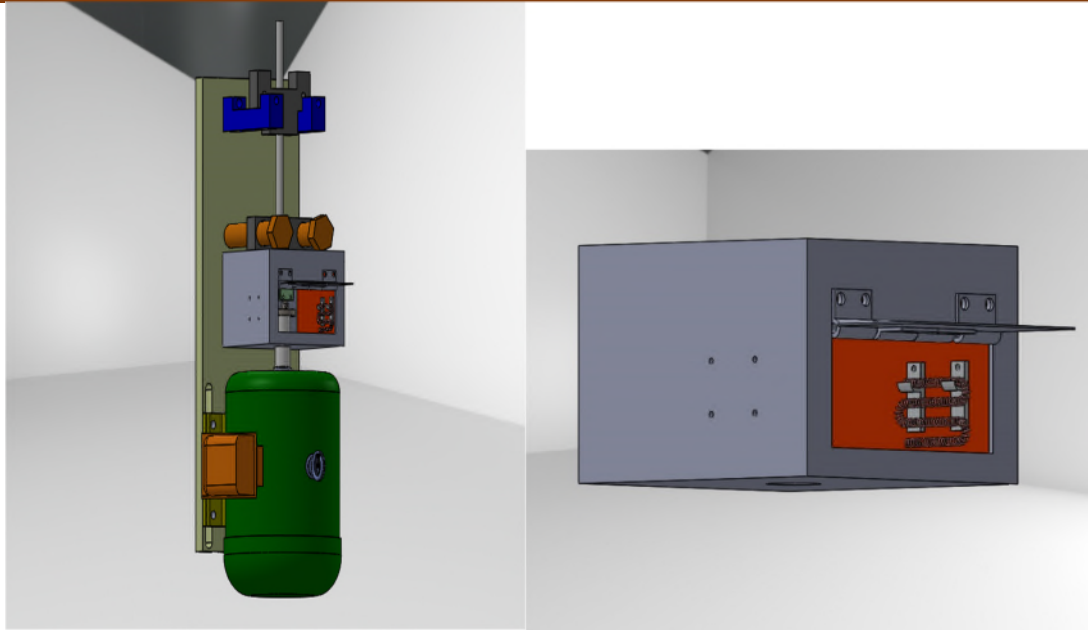


Figure III.13 : Chambre de régulation de température.

III.11.3 Effet du champ électrique sur le frottement :

Le transfert du courant électrique à travers le contact crée un champ électrique dont la valeur est proportionnelle à l'intensité du courant et à la résistance électrique de contact. Cette dernière est inversement proportionnelle à la charge normale. Le champ électrique augmente lorsque la charge diminue, par conséquent, l'influence du courant sur le comportement en frottement, surtout du graphite, augmente quand la charge diminue. D'autre part, la direction du champ de contact est influencée par la vitesse de glissement quand le disque est en graphite. En effet, pour de faibles valeurs de cette vitesse, le champ est perpendiculaire au contact. A grande vitesse, le champ a une composante parallèle au plan de glissement.

Le taux d'oxydation est contrôlé par la diffusion à travers les couches superficielles. Elle dépend de la densité des défauts et de l'intensité du champ électrique de contact.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

L'épaisseur critique de rupture du film peut avoir lieu soit par cisaillement soit par rupture électrique.

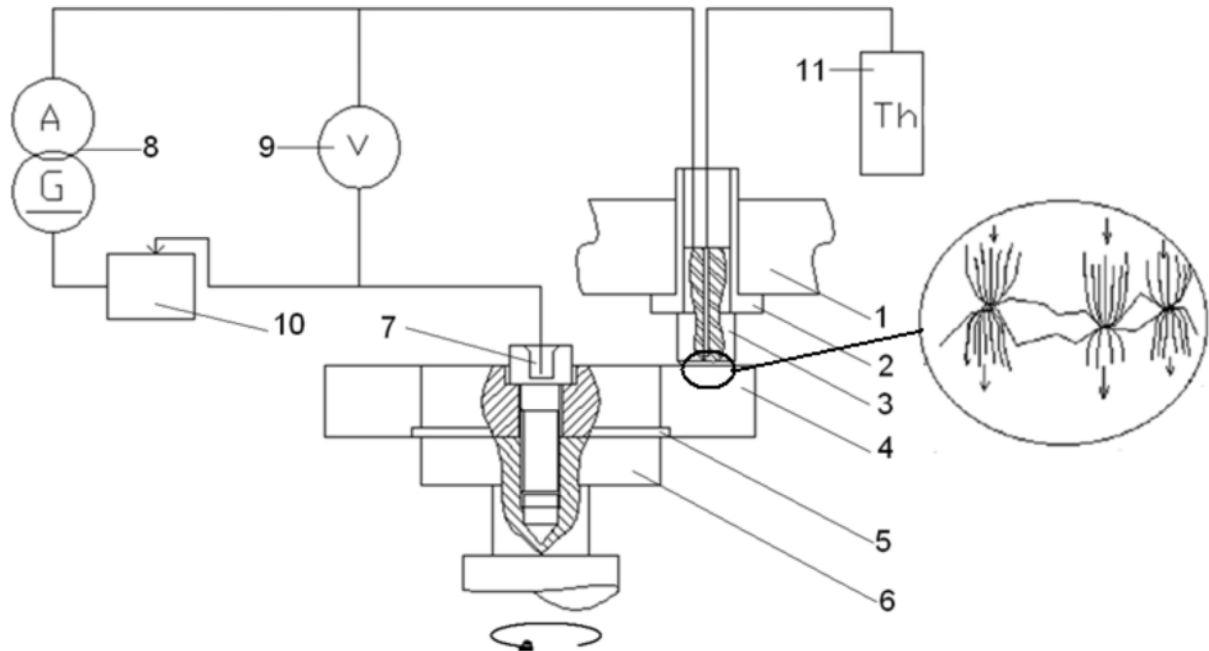


Figure III.14 : Chaîne cinématique du tribomètre et de la chaîne de mesure, 1 bras, 2 isolant porteur en téflon, 3 pion, 4 disque, 5 isolant disque en téflon, 6 arbre du réducteur, 7 contact tournant à Hg, 8 alimentation en courant continu, 9 voltmètre, 10 rhéostat, 11 thermocouple.

Pour comprendre l'effet du passage de courant sur les frottements une expérience a été réalisée dans ce cadre. La complexité du dispositif à engendrer des problèmes pour réaliser le teste, afin de résoudre ces problèmes des méthodes ont été entreprise.

Pour le pôle positif la procédure est simple car il sera accrocher sur le pion directement vu que le pion est fixe d'autre part le problème survient sur le pôle négatif qui doit être accroché sur le disque afin de résoudre ce problème une méthode est entreprise qui est l'ajout d'un roulement au-dessous du disque et comme ce dernier est un conducteur de courant le pôle négatif lui sera accrocher et le disque tournera librement.

Chapitre III : Conception d'un tribomètre type pion-disque.

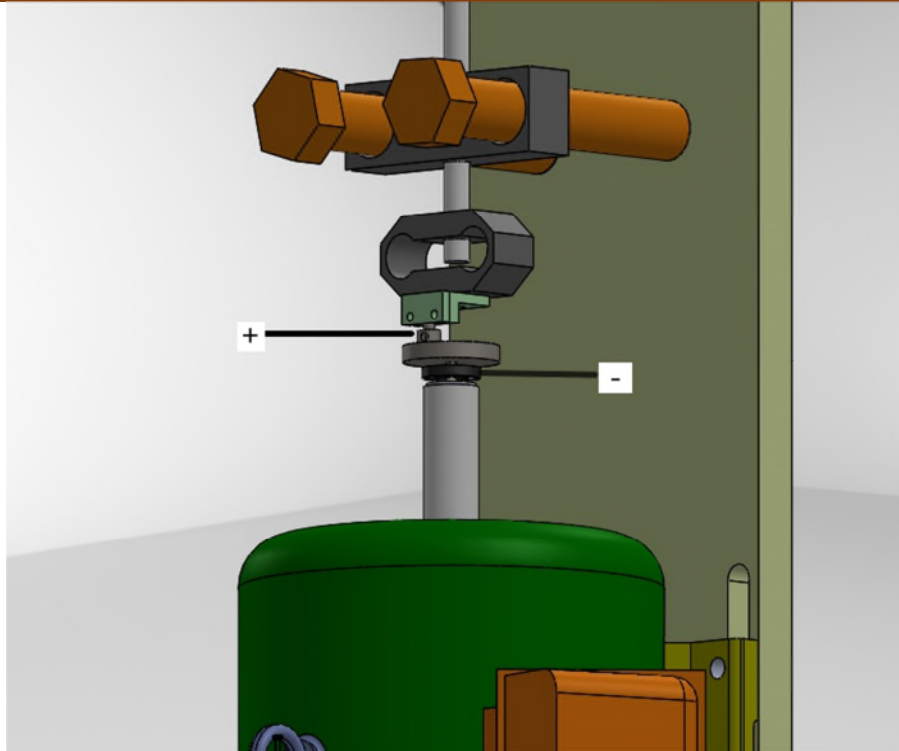


Figure III.15 : Emplacements des deux pôles +et –

III.12 conclusion :

Les études expérimentales menées sur le frottement sec ont mis en évidence la complexité du phénomène tribologique et le nombre de paramètres existants. C'est paramètre représentent, d'une part, les conditions de glissement telles que la vitesse de glissement, la force normale ou encore les températures à l'interface et d'autre part, les caractéristiques des solides en contact telle que la nature des matériaux et l'état de surfaces de glissement. Tous ces paramètres s'imbriquant entre eux et dépendent les uns des autre constituent la problématique de la détermination du coefficient de frottement μ .

Les essais de frottement des différentes forces normales qu'on a appliqué, ont permis de faire une comparaison différentielle des comportements tribologiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les objectifs assignés à cette étude, à savoir la validation expérimentale du tribomètre type pion-disque sont atteints. Diverses opérations de mise au point du dispositif sont menées avant le lancement des essais. Ce dispositif permettra aux futurs étudiants, après vérification et essais de mettre en évidence le phénomène de l'usure dont on prend en considération plusieurs paramètres liés au contact, telles que : la charge appliquée, le nombre de tour, la nature de la matière. Notre étude est composée des parties essentielles qu'un mécanicien concepteur doit maîtriser :

- Réaliser la cotation fonctionnelle nécessaire au fonctionnement du mécanisme,
- Un bon choix des matériaux suivants les conditions d'utilisations.

Ce travail nous a permis de manipuler différents appareils tels que : une chaîne d'acquisition, un convertisseur analogique numérique, différents constituants d'un tribomètre, capteur de forces, jauges de contraintes...Etc, d'autre part il nous a permis de découvrir l'immense univers de la tribologie et tous les paramètres qui interagissent dans un contact entre deux corps en mouvement relatif. Concernant ce dernier point nous avons relevé quelques remarques relatives au comportement tribologique d'un couple de matériaux, au coefficient de frottement et au phénomène d'usure. Il a été constaté que le coefficient de frottement et le phénomène d'usure augmentent avec l'augmentation de la vitesse de glissement et la perte de masse augmente avec la distance parcourue. Pour le contact inox/acier l'augmentation de la perte de masse est ralentie au bout d'un certain temps ce qui correspond à une perte de matière des surfaces frottantes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **Y. MOUADJI**, Effets du courant électrique sur le mécanisme de croissance de la couche d'oxyde à l'interface des contacts électrodynamiques cuivre-graphite et graphite-graphite), Thèse de doctorat, université de Constantine, 2014.
- [2] **O. BARRAU**, Etude du frottement et de l'usure d'acier à outils de travail à chaud, these de doctorat , institut national polytechnique de Toulouse, 2004.
- [3] **B Bhushan**, Modern tribology handbook, chapter: frictional heating and contact températures, œuvre, 2001.
- [4] **H. J. MATHIRU, E. BERGMANN, R. GRAS**, œuvre d'Analyse et technologie des surfaces couches minces et tribologie, 2003.
- [5] **M. CARTIER, P. KAPSA**, œuvre d'usure des contacts mécaniques – éléments de tribologie, 2001.
- [6] **A. LEBDAI, Y. BOUGHELEM**, Étude du comportement tribothermique, memoire PFE, université Jijel, 2020.
- [7] **A. CORNET, J. P. DEVILLE**, œuvre de Physique et ingénierie des surfaces, EDP Sciences, 1998.
- [8] **H. SILEM**, Etude de l'effet de la charge normale appliquée sur le comportement tribologique des couples métalliques, mémoire PFE, Université de M'sila, 2016.
- [9] **F,LEGRAND**, Frottement solide, 2013.
- [10] [d.solide/charbonnieres/mecanique/132_lois_du_frottement_sec_lois_de_coulomb.html](http://d.solide.charbonnieres/mecanique/132_lois_du_frottement_sec_lois_de_coulomb.html)
- [11] **DENAPE, N. LARAQI**, Aspect thermique du frottement : mise en évidence expérimentale et éléments de modélisation, Mécanique&Industries,œuvre, Pages (563-579), 2000.
- [12] Instrumentation CIRA, (metrologie), 2007.
- [13] **B. BHUSHAN** , Introduction to tribology John Wiley & Sons, Royaume-Uni, 2013.
- [14] **M. BRAUNOVIC, V. V. KONCHITS and N. K. MYSHKIN**, Electrical Contacts : Fundamentals, Applications and Technology, New York CRC press, 2006.
- [15] **N. CHEKIR**, Validation d'un tribomètre pion/disque vertical, mémoire PFE, universite Mouloud Mammeri de tizi ousou, 2015.

Références bibliographiques

- [16] **G. PETITET**, Contribution à la compréhension des mécanismes élémentaires d'usure douce des élastomères charges réticules, these de doctorat, ecole centrale de Lyon France, 2003.
- [17] **R. HOLM**, oeuvre de Electric Contacts : Theory and Application, Springer, oeuvre, 1967.
- [18] **E. BERNARD**, Adhérence, mécanique et tribologie des revêtements composites, these de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 2006.
- [19] **A. DORINSON ET K.C. LUDEMA**, œuvre technique de l'ingénieur, Mechanic and chemistry in lubrication, tribology, Elsevier, Amsterdam, 1986.
- [20] **X. D; L Ka; L. Lee;C. Lee**, Détermination of Stress Distribution on the Tool Rake Face using a Composite Tool, oeuvre de Machine Tools and Manufacture Vol. 35 , pp. 373-382, 1995.
- [21] **A.-L. BULTHE**, Caractérisation expérimentale du contact frottant disque garniture sous sollicitations sévères de freinage. Prise en compte des interactions tribologie, these de doctorat, l'Ecole Centrale de Lille et l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 2006.
- [22] **R. a. I. BLICKENSDEFER**, A Pin-on-Drum Abrasive Wear Test and Comparison with Other Pin Tests, Testing and Evaluation, p. 516–526, 1988.
- [23] **technique de l'ingénieur** , Frottement et usure, référence internet 42464 2nd édition.
- [24] H. A. Information, -AXIS COMPASS SENSOR SET," Honeywell.
- [25] **B. BHUSHAN J, WILEY & Sons**, œuvre d'Introduction to tribology (2e éd.), Royaume-Uni, 2013.

Résumé

Résumé :

Ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances aussi importantes que vitales pour un ingénieur en génie mécanique. En effet, non seulement nous avons acquis un important volume de connaissances sur la tribologie et l'usure, mais nous avons aussi eu la chance de pouvoir nous initier à l'analyse de la valeur, cet outil d'aide à la conception qui est des plus importants, et dont la renommée internationale confirme son efficacité.

Ce projet a été pour nous une grande occasion de faire notre premier pas dans le monde de la conception et d'entrevoir les défis que l'on peut y rencontrer, dans le sens où nous étions amenés à améliorer un banc d'essai d'usure qui nous était totalement méconnu auparavant.

Le tribomètre conçu a pour fonction de 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.

Abstract:

This work has allowed us to acquire knowledge that is as important as it is vital for a mechanical engineer. Indeed, not only did we acquire a large amount of knowledge on tribology and wear, but we also had the chance to learn about value analysis, this most important design tool, whose international reputation confirms its effectiveness. This project was a great opportunity for us to take our first step into the world of design and to glimpse the challenges that can be encountered there, in the sense that we had to improve a wear test bench that was totally unknown to us before

This project was a great opportunity for us to take our first step into the world of design and to glimpse the challenges that can be encountered there, in the sense that we had to improve a wear test bench that was totally unknown to us before. The tribometer designed is for measuring friction and wear, the basic technology used in most tribological investigations. A carefully selected tribometer can simulate all the essential characteristics of a wear or friction problem without the difficulties associated with experimenting on real equipment.

ملخص :

سمح لنا هذا العمل باكتساب المعرفة التي لا تقل أهمية عن كونها حيوية لمهندس ميكانيكي. في الواقع ، والارتداء فحسب ، بل أتاحت لنا أيضًا فرصة التعرف على تحليل القيمة ، وهي أداة مساعدة التصميم هذه الأكثر أهمية والتي تؤكد سمعتها الدولية فعاليتها.

كان هذا المشروع فرصة رائعة لنا لاتخاذ خطواتنا الأولى في عالم التصميم وإلقاء نظرة خاطفة على التحديات التي يمكن مواجهتها هناك ، بمعنى أنه كان علينا تحسين منصة اختبار للارتداء لم تكن معروفة لنا من قبل. إن مقياس الاحتكاك المصمم له وظيفة قياس الاحتكاك والتآكل ، وهذه التكنولوجيا الأساسية المستخدمة في معظم التحقيقات الترابطية. يمكن لمقياس تريبوميتر تم اختياره بعناية محاكاة جميع الخصائص الأساسية لمشكلة التآكل أو الاحتكاك ، دون الصعوبات المرتبطة