

REPUBLIQUE ALGERINNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMERI DE TIZI-OUZO

FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Construction Mécanique

Thème

ETUDE ET RÉALISATION D'UN
TRIBOMÈTRE VERTICAL
PION SUR DISQUE

Proposé et dirigé par :

M^r DJEBALI

Réalisé par :

M^{elle} AMRANI Dalida

M^r HADDID Ghiles

Promotion : 2012 /2013

Remerciements



Un projet de fin d'études, n'est pas une grande mer à nager ? , il y a quatre mois on se trouvait au bout milieu de cet océan, essayant d'entrevoir la terre et tentant d'effectuer nos premiers mouvements sur cette eau inconnue.

C'est M^{ER} DJEBALI (notre promoteur) qui a pris le temps de nous guider tout au long de cette aventure et a su nous transmettre l'envie de nous lancer seuls sur certaines voies par fois sans issue à recommencer sans perdre espoir, alors nous tenons à lui exprimer toute notre gratitude.

Au sens propre comme sens figuré ,nos autres partenaires de nage ont été : M^{ER} LARBI et M^{ER} BILEK ,ils ont fait preuve d'une très grande disponibilité et ont partagé avec nous leurs expériences sur la construction mécanique ,leur confiance nous a permis de dépasser de nombreux obstacles imprévus ,les déchiffrer et nous inciter à prendre des risques ,même si nous nous abandonnions ,nous reprenons à nager. Sans oublier que leurs travaux ont été pour nous une grande source d'inspiration et nous sommes honoré du temps qu'ils ont consacré pour la lecture de ce modeste travail.

Un grand merci à tout le personnel du hall de technologie à savoir : AHCENE, SOFIANE, KAMEL, FARID ET SAMIR

Ma gratitude va également à M^{ER} SERSAB pour ces précieux conseils sur la manière de mener à bien ce mémoire, aussi M^{ER} KHELIFAOUI pour son aide

Dédicaces



Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à mes chères parents HAMID et FARIDA ,mes sœurs : Z,T,N,F,S ,mes frères : J,R; même si pour eux le langage mécanique est un monde mystérieux ,ils n'ont pas hésiter à accepter mon rythme et rependre présent à tout moment, alors je leur dédie ce travaille.

Je le dédie aussi à tous mes amis ;

A mon binôme et sa famille

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réussite.

Dalida

Je dédie ce modeste travaille à :

Mes parents et toute ma famille

Mes amis surtout les constructeurs

Ma binôme et sa famille

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réussite.

Ghiles

Sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I : Aspect sur la tribologie

I.1 introduction	02
I.2. Une brève histoire de la tribologie.....	02
I.3 Définition	05
I.4 le but de la tribologie	06
I.5 le système tribologique	08
I.6 Le circuit tribologique	10
I.7 Impact de la tribologie	11
I.8 essais tribologiques	12
1.8.1 Normalisation des essais	12
1.8.2 Essais tribométriques	13
1.8.3 Exemples d'application	15
I.9 conclusion	15

Chapitre II : Géométrie des surfaces

II.1 introduction.....	16
II.2 Définition.....	16
II. Structure d'une surface usinée	16
III. Types de surface	17
III.1.Surface d'un corps	17
III.2. Surface géométrique.....	17
III.3. Surface spécifiée	17
III.4. Surface réelle.....	18
IV. Les ordres de défauts d'une surface géométrique.....	18
IV.1.Défauts de forme	18
IV.2.Défauts d'ondulation	18
IV.3.Rugosité	19
IV.3.1.Principe des mesures.....	20
IV.3.1.1.Rugosimètre mécanique.....	20
IV.3.1.2.Interféromètres	20
IV.3.1.3.Exemple de mesures de rugosité	22

IV.4.Mécanique du contact	23
IV.5.Géométrie des aspérités	25
IV.5.1.Contact sur une aspérité	25
IV.5.2.Contact ponctuel ou linéique	25
Conclusion.....	27

Chapitre III : Frottement et usure

III 1 Introduction	28
III 2 le frottement	28
III.2-1 Définitions	28
III.2-2 les différents types de frottement	28
III.2-2-1. Frottement de pivotement	28
III.2-2-2. Frottement de roulement	29
III.2-2-3 le frottement de glissement	29
III.2-3. le frottement statique et dynamique.....	31
III.2-3-1. le frottement statique	31
III.2-3-2.Frottement cinétique	31
III.2-4. Le coefficient de frottement	31
III.2-4-1. Importance du coefficient de frottement	32
III.2-4-2 comportement du coefficient du frottement	32
III.2-4-2-1 : Vitesse de glissement	32
III.2-4-2-2 : chemin de glissement parcouru	33
III.2-4-2-3 : état de surface	33
III.2-4-2-4 : les différents types de frottement	33
III.2-4-2-5 : La température	33
III.2-5 : loi du frottement	33
III.3.Usure	35
III.3.1.Objectif.....	35
III.3.2Introduction	35
III.3.3Définition de l usure	35
III.3.4.Mécanismes d'usure.....	36
III.3.4.1Usure abrasive	36
III.3.4.2.Usure adhésive	37
III.3.4.2.1..Les paramètres influant sur l'usure adhésive.....	37

III.3.4.3.Usure par fatigue	37
III.3.4.3.Usure corrosive (ou tribochimique)	38
III.3.4.4.Usure par érosion	38
III.3.4.5.Usure par cavitation	39
III.3.4.6.Usure par fretting	40
III.3.5.Conclusion.....	40

Chapitre IV : Extensometrie

1 Introduction	41
2 jauges d'extensomètries	41
3 Principe des jauges	42
4-Principaux types de jauges	43
5-le pont de Wheatstone	43
6-installation des jauges.....	45
6-1 préparation de la surface d'épreuve.....	45
6-2 fixation des jauges.....	45
7- le capteur.....	45
Introduction	46

Chapitre V : Réalisations

Introduction.....	47
I. diagnostique.....	47
I.1. fonction 1 : fixer le banc au sol.....	47
I.2.fonction 2 : transmettre le mouvement de rotation à l'éprouvette cylindrique.....	50
I.2.1 groupe 1 entrainement de la broche.....	50
I.2.2 groupe 2 guidages de la broche porte éprouvette.....	54
I.2.3 groupe 3 fixation du disque.....	56
I.3 fonction 3 appliquer le charge et la maintenir constante.....	58
I.4 fonction 4 mesurer les données	61
II. capteur de force.....	63
II.1.premier capteur.....	63
II.2 .deuxième capteur.....	63
III. Réalisation.....	65
Introduction.....	65
III.-1 choix des matériaux	65

III-2-les opérations suivies.....	66
III.3.le mode operatoire.....	66
Conclusion.....	66

Conclusion générale	67
----------------------------------	-----------

Bibliographie

Annexes

Liste des symboles

μ : Coefficient de frottement

v : Vitesse

Q_{Si} : Débit source interne

Q_e : Débit externe

Q_i : Débit interne

Q_{SE} : Débit source externe

Q_w : Débit d'usure

Q_r : Débit de recyclage

Q_s : Débit source

C : Couple

Q : Charge

H : Distance

r : Rayon

R_a : Rugosité moyenne

R_q : Rugosité quadratique moyenne

F_N : Effort normal

F_T : Effort tangentielle

$q(s)$: La distribution

A : Aire de contact

P : La charge appliqué

F : Force appliqué

f_s : Le frottement statique

f_c : Le frottement cinétique

R : La résistance électrique

ρ : La résistivité du matériau

L : La longueur du fil

S : La section du fil

ϵ : La déformation

K : Facteur de gauge

N: Nombre de tours par minute

D : Le diamètre de la pièce

V_c : Vitesse de coupe

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Impacts de la tribologie sur la société

Tableau I.2 : Types de contacts utilisés sur tribomètres et abrasimètres

(D'après la norme NF T 51-108)

Listes des figures

Figure 1 : Crapaudine de porte, Mésopotamie 2500 ans avant J-C

Figure 2 : Bas-relief restauré à Kouyunjik, Assyrie, 700 avant J. C

Figure 3 : Représentation schématique d'un tribosystème

Figure 4 : Représentation schématique du circuit tribologique dans le cas d'un contact entre deux solides

Figure 5 : La façon dont de la grande Bretagne estime économiser par ans grâce à l'application des plus importants principes scientifiques et technologiques de la tribologie

Figure 6 : Les configurations classiques des concepts géométriques simples

Figure 7 : Vue théorique en coupe d'une surface

Figure 8 : Exemples de surface réelle

Figure 9 : Période de défauts d'ondulation

Figure 10:Grandeurs de rugosité normalisées

Figure 11 : Profil total

Figure 12 : Série de traces d'un profilomètre mécanique obtenues sur un réseau de

diffraction**Figure 13 :** Principe du dispositif de michelson avec l'objectif O, la surface de référence R (miroir fixe), le prisme diviseur P et la surface de l'objectif S

Figure 14 : Champ de bosses d'une surface de $1 \times 1 \text{ mm}^2$ mesurée par un Interféromètre

Figure 15 : Tracés bidimensionnels de hauteur pour (a) $y=0.58\text{mm}$ et (b) $y=0\text{mm}$

Figure 16 : Types de contact

Figure 17 : Relations géométriques

Figure 18 : Rayon moyen d'une aspérité

Figure 19 : Contact sur une aspérité

Figure 20 : Schéma d'une jauge de contraint

Figure 21 : Principe de la jauge de contrainte

Figure 22 : Le pont de Wheatston

Figure 23: Montage en Quart de pont

Figure 24 : Montage en demi-pont

Figure 25 : Montage en pont complet

Figure 26 : Le capteur réalisé

Figure 27 : Fixer le banc au sol

Figure 28 : entrainement de la broche

Figure 29 : Guidage de la broche porte éprouvette

Figure 30 : Fixation du disque

Figure 31 : Appliquer la charge et la maintenir constante

Figure 32 : Mesurer les données

Introduction Générale

Introduction générale

Une part importante de l'énergie consommée dans les systèmes mécaniques se perd par les phénomènes de frottement et usure, car ils y existent malgré notre déplaisir. De nombreuses applications nécessitent l'utilisation de pièces ayant des propriétés superficielles spécifiques, telles qu'une grande dureté et une bonne résistance au contact.

Afin de réduire ces pertes qui représentent 6 à 10% du produit national brut des pays industrialisés (30% des causes d'avarie des systèmes mécaniques) les surfaces en contact doivent présenter de bonnes caractéristiques tribologiques.

Il existe divers types d'essai tribologiques, parmi les quels, nous pouvons citer les plus couramment utilisés pour les études fondamentales en utilisant des tribomètres de laboratoire : essai pion/disque, essai bloc sur cylindre, essai unidirectionnel ou essai à mouvement alterné sur plaque.

Suite aux travaux entrepris par nos camarades de la promotion 2009/2010 (en utilisant l'analyse de la valeur) qui résident dans l'amélioration et la correction de quelques imperfections dans le système de chargement d'un banc d'essai d'usure (tribomètre pion/disque), du laboratoire de mécanique des structures et énergétique, conçu en 2006, réalisé en 2007 et validé en 2008 par les étudiants du département de génie mécanique, il nous a été proposé de réaliser un prototype de cette conception améliorée. La particularité de ce nouveau tribomètre est le chargement vertical par gravitation et une nouvelle configuration du capteur des efforts normaux et tangentiels de frottement.

Cet équipement devrait permettre au LMSE de lancer un programme expérimental dans le domaine de la tribologie dans le but de mieux approcher le phénomène d'usure des surfaces par frottement.

Pour ce faire, nous avons subdivisé notre travail en:

I- élément de tribologie

II- géométrie des surfaces

III- frottement et usure

VI- extensométrie

V- étude et réalisation du dispositif.

Chapitre I

Aspect sur la

tribologie

1-1 Introduction :

Un frottement intervient lorsque deux surfaces en contact sont mises en mouvement l'une par rapport à l'autre, produisant une force qui s'oppose à ce mouvement en question [1].

Ce phénomène est étudié par une discipline regroupant science et technologie et qui intéresse aussi tous les domaines d'activité car l'univers technique qui nous environne est essentiellement régi par des contacts ; on l'appelle la tribologie.

La tribologie s'est tout d'abord intéressée principalement au volume des matériaux en contact par la détermination des lois de comportement du frottement et d'usure (approche mécanique). La tribologie des surfaces a fait son apparition qui est associée à la physico-chimie des surfaces (approche matériaux). La tribologie des interfaces (approche complémentaire mécanique/matériaux) est apparue par la suite. Cette dernière notion a permis une meilleure compréhension des mécanismes de frottement et d'usure [5].

Cependant, que pouvons-nous dire de la tribologie ? Que cache –t-il ce mot magique ?

1-2. Une brève histoire de la tribologie :

C'est vrai qu'on cherche à tout prix de réduire le frottement, seulement, il faut reconnaître qu'il ne présente pas que des aspects négatifs. Ainsi, la tenue de route d'une automobile dépend directement du frottement entre les pneumatiques et la route. De même sans l'existence du frottement, l'homme serait incapable de marcher [3]. Enfin, si l'homme a appris à maîtriser le feu, c'est bien grâce à des pièces de bois frottées l'une contre l'autre [4].

D'après les tribologues l'histoire de la tribologie remonte à des centaines, voir même des milliers, d'années avant J-C. Pour illustration, nous citons ci- dessous quelques exemples.

Des éléments en pierres datés de 2500 ans avant J-C retrouvés en Mésopotamie (fig.-1), ont montré que les premiers paliers fabriqués par l'homme sont les crapaudines [3].

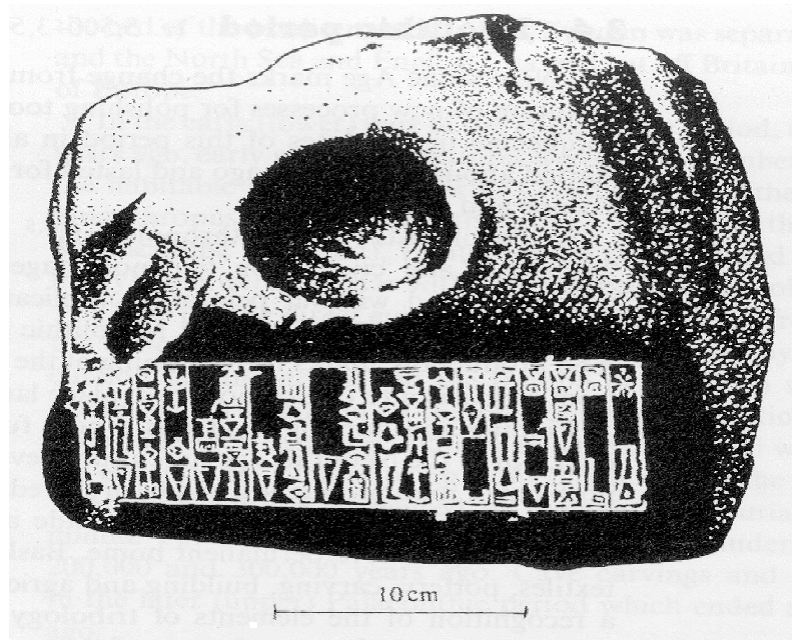


Figure 1 : Crapaudine de porte, Mésopotamie 2500 ans avant J-C. [3]

Remplacement des glissières par des rouleaux pour déplacer des charges et bénéficier ainsi du facteur de frottement de roulement plus faible que celui de glissement, en Egypte vers 3000 avant J.C.

(fig. 2)

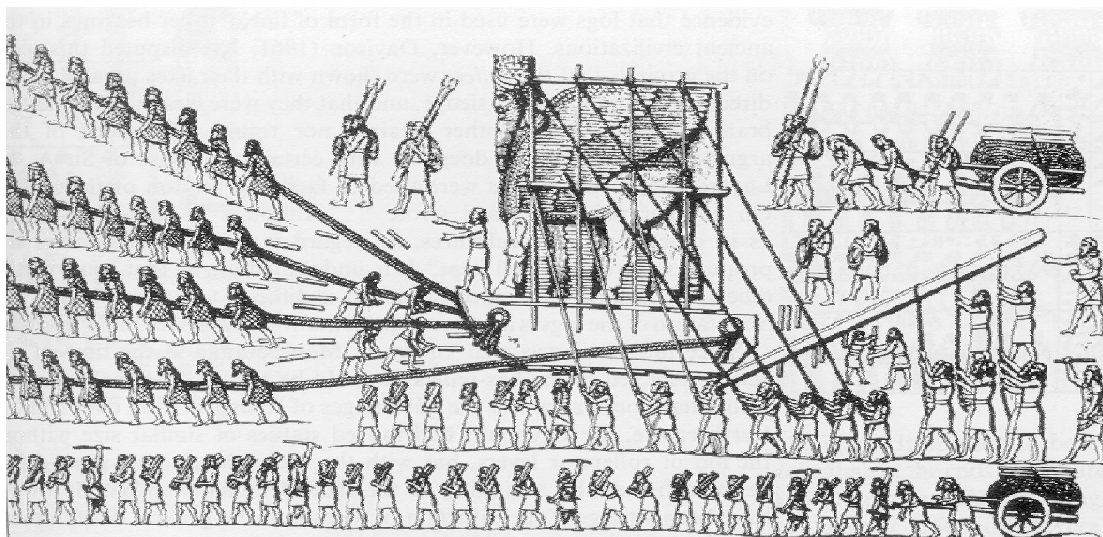


Figure 2 : Bas-relief restauré à Kouyunjik, Assyrie, 700 avant J. C. [3].

Notions de frottement pendant la période gréco-romaine (400 à 300 avant J.C.) :

Au moyen âge, après une longue période de régression technique, les progrès dans les technologies liés au contact vont reprendre. Ils porteront sur l'utilisation d'huiles végétales ou animales pour la lubrification, sur l'apparition des concepts de paliers pour les matériels agricoles, l'horlogerie, les équipements de mise en œuvre des nouvelles énergies (moulins à vent ou hydrauliques). Des métaux seront utilisés pour la réalisation de palier et des équipements résistants à l'usure seront imaginés.

La période de la Renaissance est marquée par un développement dans tous les domaines et naturellement aussi en tribologie. Les premières contributions écrites sont attribuées à Léonard de Vinci (1452-1519), qui fut le premier à réaliser des mesures de frottement et à proposer la notion de coefficient de frottement. Il est, sans nul doute, le premier tribologue [4].

Par la suite, Guillaume Amontons met en évidence la relation de proportionnalité entre la force de frottement et la force appliquée, ainsi que l'indépendance entre la force de frottement et la surface apparente de contact. Ces travaux furent confortés par Philippe de la Hire et Antoine Parent qui initient l'idée d'angle de frottement. Plus tard, John Théophile Desaguliers (1683-1744) insuffle le concept d'adhérence entre 2 corps. La définition du coefficient de frottement et d'angle de frottement est complétée par Leonhard Euler, évoquant une distinction entre le frottement statique et le frottement dynamique.

C'est Augustin Coulomb qui pendant plus de 150 ans fera référence en particulier avec ses travaux sur le frottement de glissement. Il propose une dépendance entre le frottement, l'adhésion et la déformation des surfaces.

Avec l'avènement du machinisme, la révolution industrielle et les premiers puits de pétrole, apparaissent les premiers lubrifiants minéraux et solides et en particulier le graphite et le disulfure de molybdène.

Les contributions de Jean Louis Marie Poiseuille, de Nikolai Petrov et spécialement d'Osborne Reynolds dominèrent cette période de développements techniques accélérés.

Leurs travaux furent principalement axés sur le frottement en régime hydrodynamique et élastohydrodynamique. Dans ces conditions, les surfaces en frottement sont séparées par un film lubrifiant.

Heinrich Rudolph Hertz présente une approche géométrique qui permet de modéliser les contraintes et les déformations dans le contact. La théorie d'Hertz qui s'applique à un contact idéal entre 2 pièces en absence de lubrifiant permet les calculs de l'aire théorique du contact et de la répartition de la pression dans le contact.

Cette vision est idéalisée et en 1938, Holm met en avant l'idée d'un contact plus complexe, à partir de travaux sur la résistance électrique de contact, dans lesquels il associe le frottement aux déformations des aspérités en contact ainsi que la possibilité de soudure entre aspérités. Plus tard, dans les années 50, Bowden et Tabor élaborent la notion d'aire réelle de contact, plus petite que l'aire définie par Hertz, variant avec la pression et formée par les sommets des aspérités en contact. Les travaux de Rabinowich ont permis un développement complémentaire par la prise en compte des propriétés adhésives des surfaces en plus des déformations. Ainsi, progressivement, l'introduction du phénomène d'adhésion dans le modèle tribologique s'opère.

En 1970, le modèle à 3 corps énoncé par Maurice Godet, définit le contact comme une association de volumes, qui est désormais unanimement accepté.

Aujourd'hui la tribologie prend une place importante dans le programme pédagogique de l'enseignement et considéré comme un module essentiel dans de nombreuses filières.

1-3 définition :

Le nom tribologie a été créé en Angleterre ; il a été utilisé pour la première fois dans le rapport présenté le 23 novembre 1965 au *Minister of State for Education and Science* et publié en février 1966. Ce nom vient du grec τριβειν (tribein : frotter) et λόγος (logos : parole, étude ou science) [3]. Certains ouvrages disent que ce nom a été proposé en 1968 par l'anglais **G. Salomon**. Il n'apparaît qu'en 1974 dans le dictionnaire français.

La tribologie est l'étude ou la science du frottement qui regroupe l'étude de frottement (résistance à un déplacement imposé) ; l'usure (perte de matière qui induit a

la dégradation de surfaces) et la lubrification (interposer un fluide entre les deux corps en contact) [3] [4] [5].

La tribologie intervient dans de nombreux domaines (aéronautique, automobile, prothèses médicales, etc.), car il est important de réduire au maximum la valeur des frottements pour deux raisons. Tout d'abord, plus le coefficient de frottement est important, plus les déperditions en énergie sont fortes, ce qui n'est pas souhaitable pour le fonctionnement d'un moteur par exemple. Ensuite, plus le coefficient de frottement est grand, plus l'usure est importante [6].

1-4 le but de la tribologie :

La tribologie entre en jeu de façon significative dans de nombreux domaines industriels : conservation de l'énergie, un compte rendu du département de l'énergie américain estimait que le développement de la tribologie pouvait réduire la consommation énergétique de ce pays de 11%. Elle veille aussi à assurer :

- Le bon fonctionnement et la fiabilité des machines;
- Diminuer le coût d'obtention des surfaces frottantes ;
- Améliorer le rendement et la longévité des machines ;
- Assurer la sécurité des biens et des personnes, particulièrement dans le domaine du transport ;
- Contribuer à la santé publique et au confort, par exemple en diminuant les bruits, très nombreux, liés aux contacts mécaniques [5].

Le tableau I.1 montre que la tribologie trouve ses applications dans deux grands domaines: celui des systèmes mécaniques et celui de la mise en œuvre des matériaux.

Tableau I.1 : Impacts de la tribologie sur la société [7].

Systèmes mécaniques	Mise en œuvre des matériaux
<p>Vivant: animal, homme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Membranes biologiques - Prothèses biomécaniques - Cartilages - Dentisterie <p>Organes de machines</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paliers, roulements - Segments - Cames, engrenages, freins - Joints - Systèmes électriques - Systèmes magnétiques <p>Terre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Génie civil - Mouvements des sols - Tremblements de terre - Ecoulement des glaciers - Ski <p>Maintenance</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité - Durée de vie 	<p>Types de matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Artificiels: métaux, polymères - Céramiques, Composites - Naturels <p>Adhérence, collage</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composites, textiles, fibres matrices <p>Déformations plastiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laminage, filage, extrusion - Emboutissage, découpage - Outillages de coupe, polissage <p>Lubrifiants</p> <p>Traitements des surfaces</p>

1-5 le système tribologique :

Un système tribologique est un ensemble composé d'éléments en interaction statique ou dynamique dans le but de transmettre l'énergie, l'étanchéité statique ou dynamique, freinage et guidage.

Il se caractérise par plusieurs contacts à travers lesquels se transportent les efforts, la chaleur ainsi que l'électricité.

Il représente quatre éléments montrés par la figure suivante :

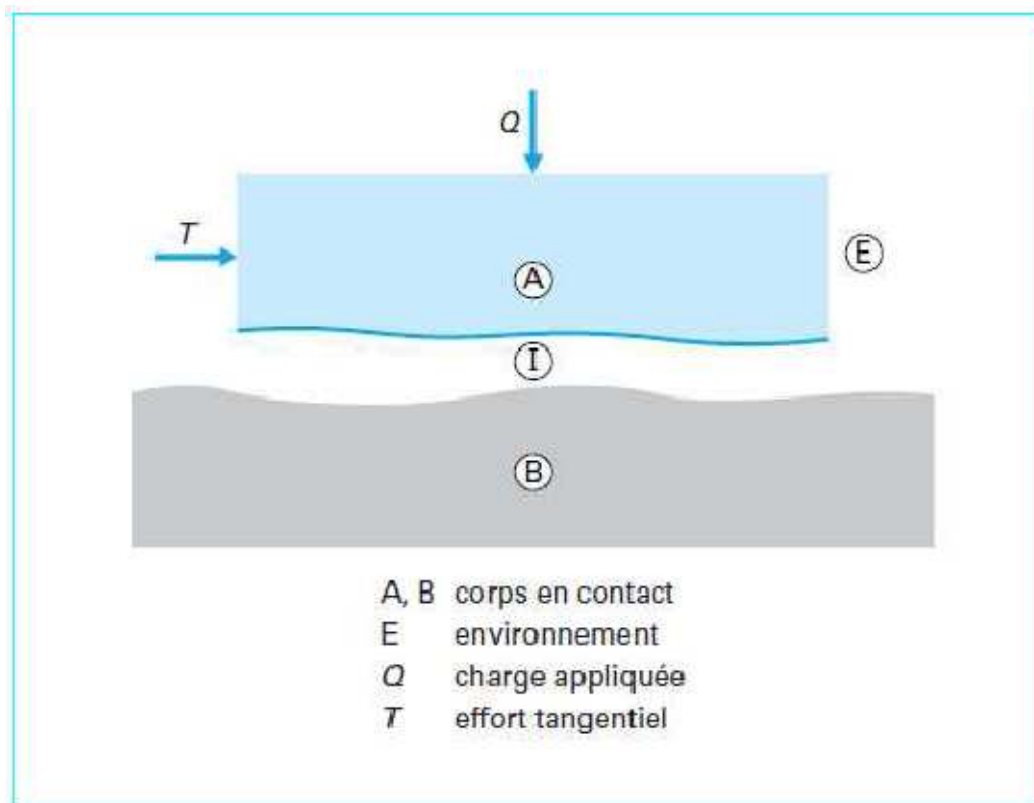


Figure 3 : Représentation schématique d'un tribosystème [7]

Sur cette figure, on aperçoit un milieu interfacial (I) désigné sous le nom de troisième corps (c'est l'agglomération des '*particules élémentaires*' qui se détachent d'un ou des deux premiers corps. Ces particules peuvent être piégées ou refoulées du contact.

Au sens matériaux, comme étant la zone qui marque une nette discontinuité de composition très près de la surface, et comprend des 'écrans' de faible épaisseur ainsi que des particules solides circulant dans le contact pour former un film continu ou discontinu.

Au sens cinématique, comme étant l'épaisseur au travers de laquelle la différence de vitesse entre les deux premiers corps est accommodée. Le troisième corps est dit '*naturel*' lorsqu'il est formé par l'un ou les deux premiers corps. On peut injecter un troisième corps dit '*artificiel*' comme le graphite par exemple qui sépare partiellement ou totalement les matériaux en contact qu'on appelle les premiers corps (A et B sur la figure). Ces matériaux délimitent le contact à travers lequel les efforts sont transmis. Ils interviennent par leurs structures et leurs propriétés thermo – mécaniques.

Les contraintes locales sont générées par le chargement normal et le déplacement tangentiel imposé, et affectent le volume du matériau à une profondeur (pénétration de 50 μm en général)

Les premiers corps A et B soumis à des torseurs cinématique (vitesse) et dynamique (force et moment) sont limités par des couches superficielles à caractéristique spécifique souvent mal connues tant des points de vue géométrique que physicochimique, mécanique ou structurel, et qui évoluent en cours de fonctionnement.

Le symbole (E) correspond à l'environnement qui constitue l'ambiance de fonctionnement du contact.

REMARQUE : les premiers corps et le troisième corps représentent le mécanisme qui constitue le triplet tribologique qui permet à son tour de décrire les interactions entre les différents éléments qui entourent le contact.

1-6 Le circuit tribologique :

Au cours du frottement, les particules du troisième corps sont constamment en mouvement. Cette circulation de matière à l'intérieur et à l'extérieur du contact indique le *circuit tribologique*, concept proposé par Y. Berthier pour comprendre la relation entre le troisième corps et l'usure dans un contact donné. Il s'agit d'une représentation en deux dimensions des débits de troisième corps dans un contact élémentaire (figure 4)

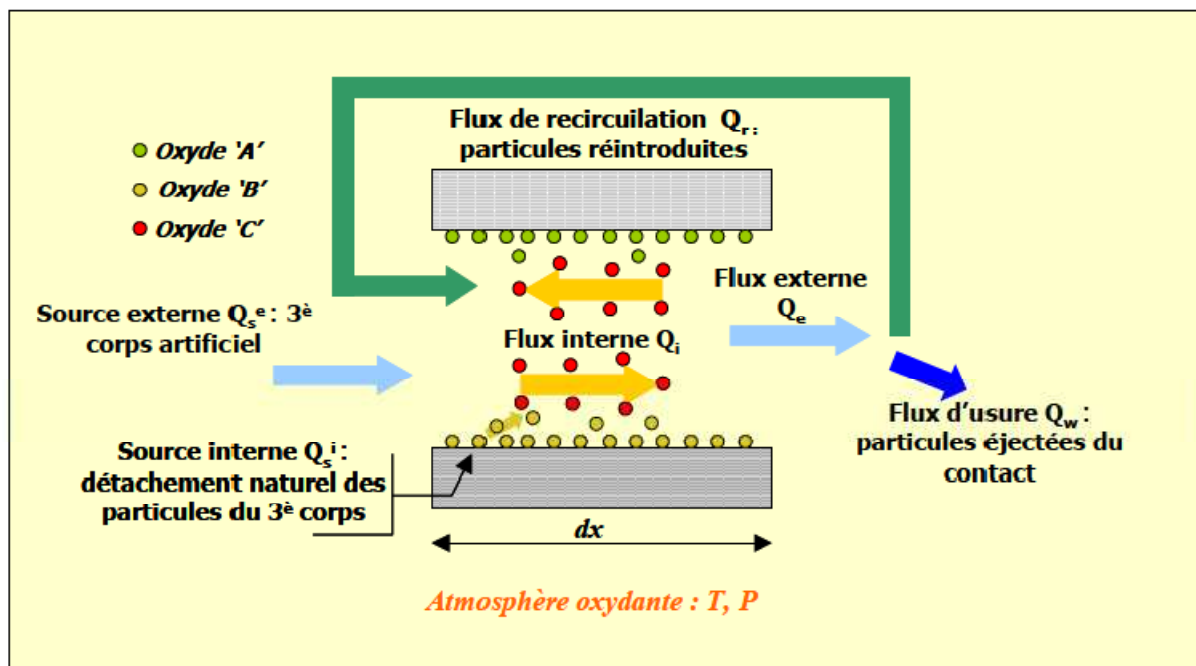


Figure 4 : Représentation schématique du circuit tribologique dans le cas d'un contact entre deux solides.[7]

Des particules peuvent se détacher des premiers corps du fait de leur dégradation. Il s'agit d'une source interne qui conduit à la formation d'un troisième corps naturel dans le contact (Q_{Si}). L'introduction d'un troisième corps artificiel (lubrifiant solide ou liquide) correspond à une source externe (Q_{SE}). Ces particules de troisième corps peuvent rester piégées dans le contact (comme Q_i , représente la circulation du troisième corps dans le contact) ou bien être évacuées hors du contact (comme Q_e qui s'échappe du contact). Il se divise en deux composantes : un flux de recirculation (Q_r) lorsque les particules sont réintroduites dans le contact et un flux

d'usure (Q_w) lorsque les particules sont définitivement perdues pour le contact et ne participent plus à l'accommodation de vitesse.

Si aucun lubrifiant n'est apporté au contact ce qui se traduit par $Q_{se}=0$, le terme du flux source (Q_s) ne représente que le flux source interne. O. DALVERNY écrit ainsi les relations d'équilibre des débits pour différents types de circuits tribologiques (conservation de la quantité de matière) : [9]

$$\text{Circuit ouvert : } \begin{cases} Q_i = Q_s - Q_e \\ Q_u = Q_e \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} Q_i = Q_s - Q_u \\ Q_u = Q_e \end{cases}$$

$$\text{Circuit fermé : } \begin{cases} Q_i = Q_s - Q_e + Q_r \\ Q_u = Q_e - Q_r \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} Q_i = Q_s - Q_u \\ Q_u = Q_e - Q_r \end{cases}$$

1-7 Impact de la tribologie :

La tribologie présente différents aspects :

Aspect scientifique

Avec la tribologie on essaie d'examiner en détail des processus irréversibles de la mécanique. On essaie aussi de donner une explication des effets complexes de la dissipation de l'énergie de friction dans des matériaux, et de l'usure induite.

Aspect multidisciplinaire

La tribologie ne concerne pas uniquement les physiciens, chimistes et spécialistes en sciences des matériaux intéressés par les propriétés de surface des matériaux. Elle inclut aussi le travail des ingénieurs qui utilisent des "surfaces interactives" pour la transmission du mouvement, force, travail, dans divers types de machines.

Aspect économique

Le "Jost Report" (où le terme Tribologie est apparu pour la première fois) estimait que par l'application des plus importants principes scientifiques et technologiques de la tribologie, la Grande Bretagne pourrait économiser 515 millions de dollars par an (1965), de la façon suivante:

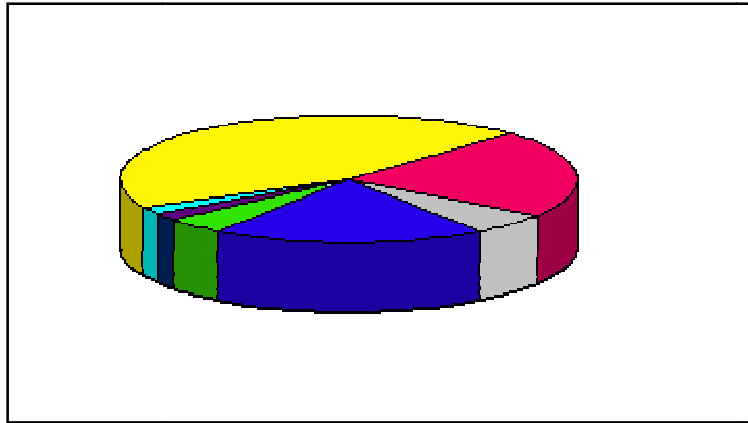


Figure 5 : la façon dont de la grande Bretagne estime économiser par ans grâce à l'application des plus importants principes scientifiques et technologiques de la tribologie [8].


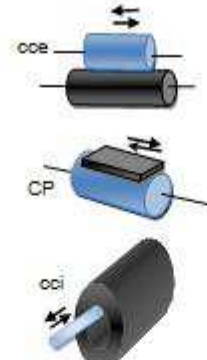
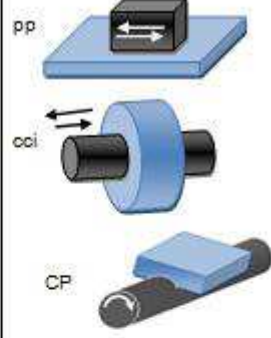
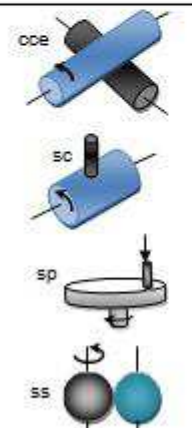

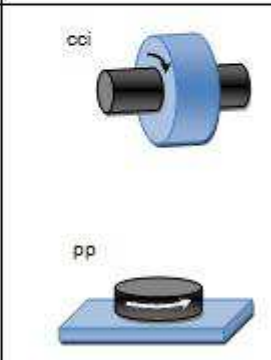
- Réduction de la consommation d'énergie grâce à la diminution des frottements.
- Diminution des pertes dues aux arrêts.
- Diminution des coûts de maintenance et remplacement des pièces.
- Diminution du coût des lubrifiants.
- Réduction de la main d'œuvre par une meilleure lubrification.
- Diminution des investissements grâce à la fiabilité des installations.
- Economie due à un meilleur rendement mécanique.

1-8 essais tribologiques :

1- 8-1 Normalisation des essais :

La normalisation des essais en tribologie présente de nombreuses difficultés en raison de la complexité des phénomènes de frottement et d'usure. Ces essais normalisés peuvent cependant servir, à mieux comprendre les phénomènes tribologiques, par exemple, à établir une base commune pour évaluer les performances d'un nouveau couple de matériaux.

Les méthodes d'essai sont classées en fonction du type de contact et des mouvements relatifs des corps en présence. La norme française NF T 51-A08 présente les trois contacts (ponctuel, linéaire, surfacique) obtenus par combinaisons appropriées de sphères, de cylindres, de plans, avec mouvement alternatif ou continu (tableau.2.).

	Contacts ponctuels	Contacts linéaires	Contacts de surfaces apparentes
Mouvement alternatif			
Mouvement continu			

cce : cylindre-cylindre (extérieur), cci : cylindre-cylindre (intérieur),
 Sc : sphère-cylindre, sp : sphère-plan, CP : cylindre-plan,
 ss : sphère-sphère, pp : plan-plan

Tableau I.2 : Types de contacts utilisés sur tribomètres et abrasimètres (D’après la norme NF T 51-108).

1-8-2 Essais tribométriques :

Il existe de nombreuses méthodes d'essais tribométriques qui nous donnent une caractérisation du frottement, de la lubrification et de l'usure.

Un tribomètre est un dispositif d'essais utilisé pour caractériser le comportement d'un couple de matériaux dans des conditions données lors d'un déplacement relatif.

On utilise des concepts géométriques simples dans les études du comportement tribologique. Les configurations classiques sont:

- Essai pion sur disque à mouvement de rotation continu
- Essai pion sur cylindre
- Essai pion à mouvement alterné
- Essai 4 billes

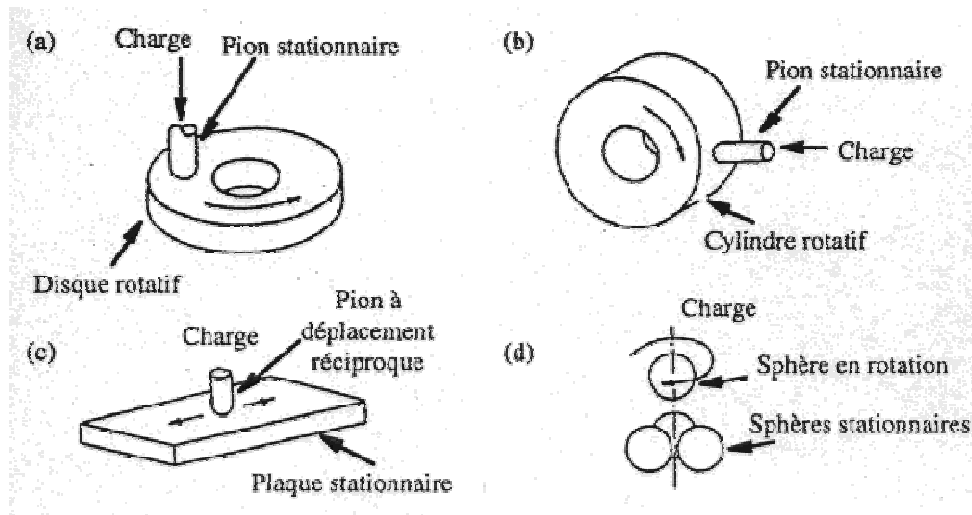


Fig.6 Les configurations classiques des concepts géométriques simples [10]

Les informations suivantes sur les conditions d'essais sont indispensables parce que souvent les conditions sont différentes de celles rencontrées dans l'application considérée :

- l'équipement utilisé (géométrie des contacts)
- les dimensions du pion et de l'échantillon
- le couple de matériaux en contact
- les traitements de surfaces
- l'état des surfaces
- la force normale appliqué F_n
- la pression normale apparente (hertzienne) P_a
- la distance de glissement
- la durée t (ou nombre de cycles, fréquence)
- la vitesse v
- la température ambiante de l'essai T
- l'humidité relative $HR\%$
- l'atmosphère
- la lubrification
- le nombre de tests

1 8-3- Exemples d'application :

Si on prend l'essai pion sur disque, il a servi dans plusieurs études ;

- A l'école des mines de paris, pour obtenir le grade de docteur, présenté par Melissa DELQUE "influence de la microstructure sur le comportement tribologique des dépôts composites projetés plasma" ;[7]

- Au Laboratoire LMSE, Université M. Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie

Pour des recherches menées par **Djebali Saïd , Larbi said et Bilek ali** dans le but "**d' Etude de l'influence des paramètres tribologiques dans un contact Pion/Disque**"[11].

1-9 conclusion :

Pour conclure, la tribologie est connue pour ses aspects positifs (faire du feu en frottant du bois, les processus d'usinage comme le polissage, de fabrication comme la soudure par friction) aussi bien que pour ses aspects négatifs (l'usure et les particules d'usure, les bruits engendrés et les vibrations, la durée de vie des pièces, la perte de fiabilité des systèmes).

Pendant mes recherches et ma récoltes d'informations j'ai pu constater que, parler de la tribologie, c'est connaître la richesse du monde, en résumé elle est présente à tout instant.

Chapitre II

Géométrie des

surfaces

Introduction :

Tout matériau solide isolé est nécessairement limité par une surface du fait de son volume fini. À la différence de la notion mathématique de surface correspondant à un espace strictement bidimensionnel, la description physique de la surface d'un matériau s'intéresse à une zone de transition qui est constituée de quelques couches atomiques à la frontière entre le cœur du matériau et le vide, une atmosphère gazeuse ou un autre matériau dense, solide ou liquide. La surface d'un matériau doit donc être considérée comme un milieu quasi bidimensionnel avec une extension spatiale très limitée dans la direction normale. Les termes de surface et d'interface sont souvent associés, mais ce dernier est usuellement employé dans le cas de la frontière d'un matériau solide avec un autre milieu dense.

I. Définition

En tribologie, la surface ne se limite pas uniquement à la notion d'aire d'appui des corps, mais concerne plus généralement les **éléments du contact qui jouent un rôle sur le frottement**, c'est-à-dire sur les contraintes mécaniques, les températures, le comportement du troisième corps (lubrifiant, débris d'usure...). Ces éléments sont les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des matériaux en présence, les caractéristiques géométriques incluant, par extension, la forme des pièces.

II. Structure d'une surface usinée

Surface d'un solide qui le sépare du milieu ambiant, elle est caractérisée par sa structure physico- chimique et par sa géométrie. Une surface usinée est une zone complexe qui recouvre la masse du solide comme une peau. Ses propriétés, différentes de celles du corps du solide, jouent un rôle fondamental dans le comportement tribologique d'un couple cinématique. Une surface possède également une épaisseur, qui s'étend de l'extérieur jusqu'à l'intérieur du solide.

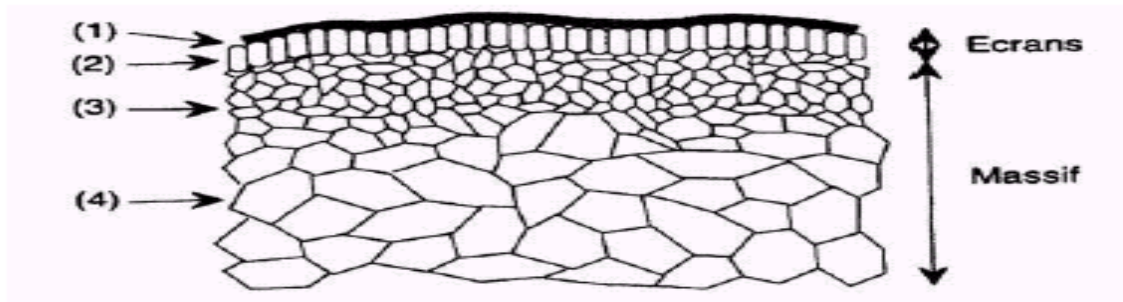


Fig.7 : vu théorique en coupe d'une surface

- (1) : Les couches adsorbées
- (2) : Modification de la composition
- (3) +(2) : Modification de la structure
- (4) : Matériau de base

III. Types de surface

La normalisation précise les termes (types) de surface à utiliser :

III.1. Surface d'un corps

Elle est constituée par l'ensemble des points qui délimitent la portion de l'espace où se trouve la matière de ce corps.

III.2. Surface géométrique

C'est la surface parfaite, idéale. Sur le dessin, elle est définie géométriquement par le bureau d'études, à l'aide de cotes nominales.

III.3. Surface spécifiée

Elle résulte de la surface géométrique, transformée par le bureau des études qui prescrit des limites de réalisation de cette surface à l'aide de symboles et de valeurs numériques en complément des cotes nominales du dessin.

III.4. Surface réelle

C'est celle qui est obtenue au cours de la fabrication.

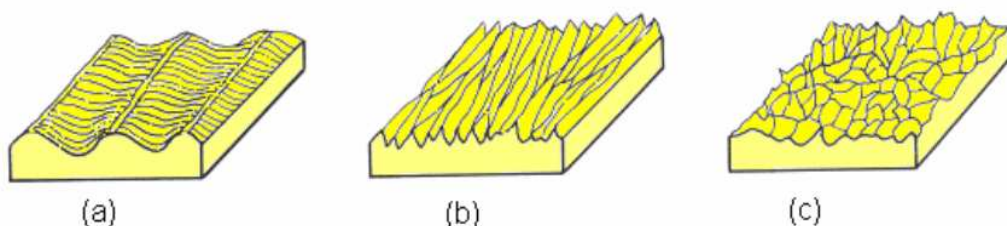


Fig.8. exemples de surface réelle

III.5. Surface mesurée

Elle résulte de l'exploration de la surface réelle par des instruments de mesure. Le degré d'approximation de la surface mesurée par rapport à la surface réelle dépend de la technique, de mesure appliquée, de la précision de l'instrument de mesure utilisé et de la nature même de la surface réelle.

IV. Les ordres de défauts d'une surface géométrique

On sait que les cotes dimensionnelles des pièces sont sujettes à tolérances, mais les surfaces proprement dites sont aussi affectées par des irrégularités qui jouent un grand rôle dans le fonctionnement des mécanismes. On a classé les irrégularités selon l'échelle qu'il faut choisir pour les observer.

IV.1. Défauts de forme

Les défauts de forme ou erreurs macrogéométriques, dites de premier ordre, proviennent des déformations de la pièce et de la machine-outil lors de l'usinage, telles que: les défauts de planéité, cylindricité, parallélisme, perpendicularité. La période x des défauts de forme est de plusieurs ordres de grandeur plus grande que leur amplitude y . Les défauts de forme se rapportent à la surface géométrique. On les mesure avec les instruments de métrologie comme le pied à coulisse ou le micromètre.

IV.2. Défauts d'ondulation

Les irrégularités du deuxième ordre consistent en ondulations régulières engendrées par des vibrations de la pièce ou de la machine, les ondulations sont apparentes à l'œil nu.

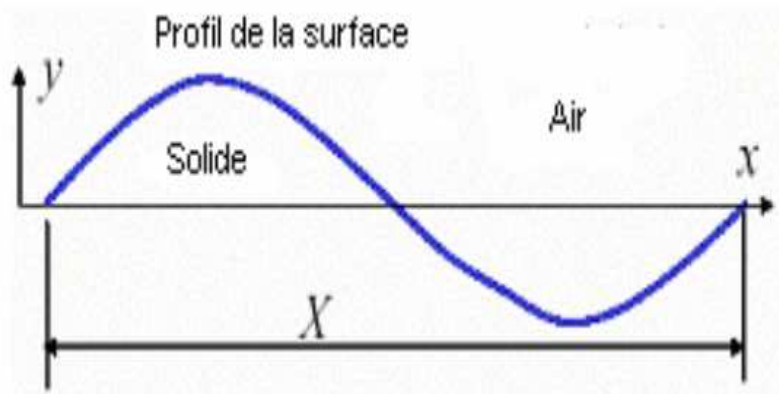


Fig.9. Période de défauts d'ondulation.

La période λ des défauts d'ondulation (figure 9) et de quelques ordres de grandeur plus grande que leur amplitude y soit de 0,1 à 50 μm .

IV.3. Rugosité

Ces micros ondulations, dues à des vibrations de haute fréquence, accompagnent le passage des outils coupants et l'enlèvement de la matière. Le 3^e ordre correspond à des stries ou sillons, défauts périodiques ou pseudopériodiques de pas A_R voisin de 0,1 mm, le 4^e ordre provient des arrachements qui, eux, sont aperiodiques.

Une surface réelle résulte de la superposition de la rugosité et des défauts de forme.

Vu son importance fonctionnelle, on exprime la rugosité par des grandeurs normalisées :

- Rugosité moyenne R_a
- Rugosité quadratique moyenne R_q

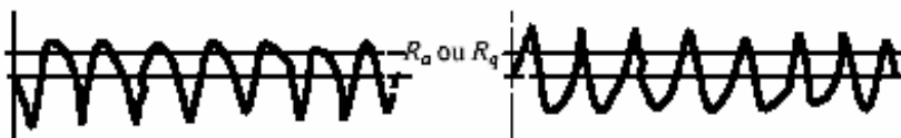


Fig.10. Grandeurs de rugosité normalisées

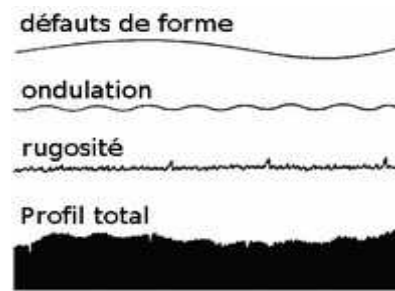


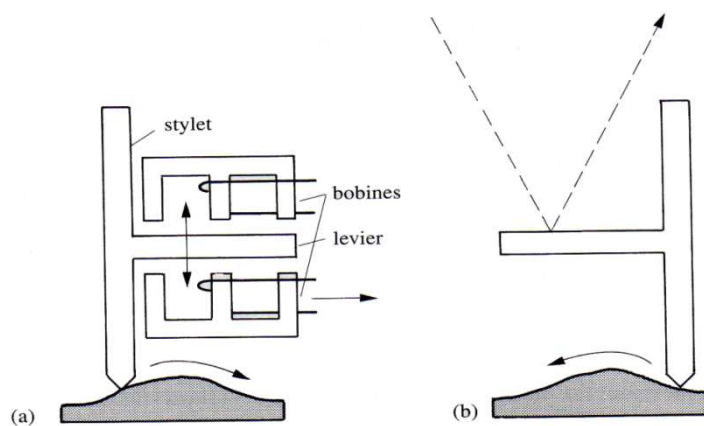
Fig.11. Profil total

Il est clair que toutes les opérations de mise en forme ou de mise à la cote d'une pièce mécanique jouent un rôle déterminant sur la nature des couches superficielles.

IV.3.1.Principe des mesures : [11]

IV.3.1.1.Rugosimètre mécanique :

Les instruments les plus répandus sont les rugosimètres mécaniques, avec lesquels la variation de la rugosité d'une surface est déterminée à l'aide d'un palpeur mécanique qui balaye la surface (Fig.12).



Principe d'un profilomètre mécanique avec (a) un système inductif en ferrite et (b) un système optique avec réflexion d'un faisceau de lumière. [11]

Le mouvement vertical du stylet qui est mécaniquement en contact avec la surface est capté soit par un système inductif soit par un système optique avec réflexion d'un laser sur le levier. La (fig.12) donne un exemple d'une image pseudo-3D d'un réseau de diffraction. La variation en hauteur z est mesurée en fonction de la direction x . L'effet pseudo-3D est obtenu par la visualisation de traces successives par

le déplacement en direction y . En déplaçant le stylet ou le laser sur un tracé ou successivement sur toute la surface, on obtient l'image de la topographie de la surface.

Le signal mesuré est enregistré de façon digitale par un ordinateur ; on peut alors visualiser le résultat sur un écran et calculer des paramètres de rugosité. Le rayon de courbure du stylet détermine la résolution latérale d'une telle mesure.

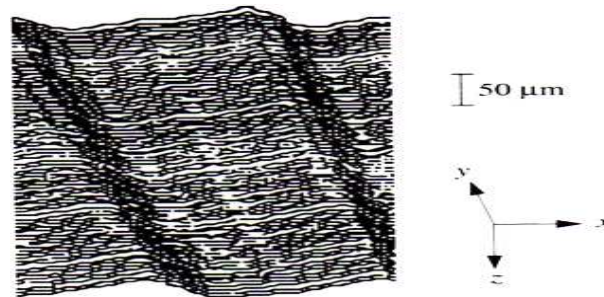


Fig.12.Série de traces d'un profilomètre mécanique obtenues sur un réseau de diffraction.

IV.3.1.2.Interféromètres :

Un autre type d'instrument pour la caractérisation de la topographie est optique : on applique le principe d'interférence de la lumière monochromatique ou laser d'une longueur d'onde $\lambda = 589$ nm déterminée par une source à vapeur de sodium. L'interférence de la lumière peut être mesurée par plusieurs méthodes dont les plus connues sont les méthodes de Michelson et de mirau (fig.14 et 15). Ces dispositifs se distinguent par le fait qu'on évite tout contact avec l'échantillon en utilisant respectivement un prisme P ou un miroir diviseur M pour créer deux rayons, dont un qui est réfléchi sur la référence R et l'autre qui est réfléchi par la surface S de l'échantillon.

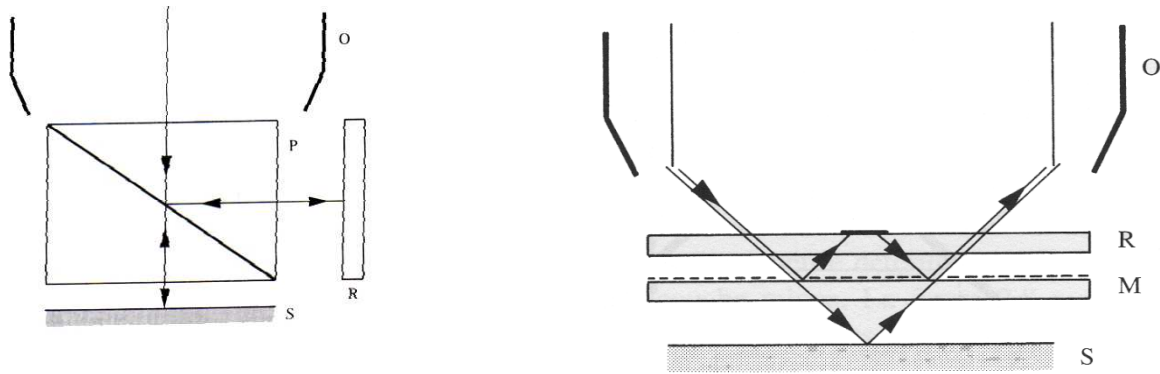


Fig.13.Principe du dispositif de michelson avec l’objectif O, la surface de référence R (miroir fixe), le prisme diviseur P et la surface de l’objectif S.

IV.3.1.3.Exemple de mesures de rugosité :

On donne un exemple d’une mesure bidimensionnelle d’une surface de champ de bosses mesurée avec un rugosimètre à laser sur une surface de 1mm². Ce champ a été obtenu par un bombardement avec de petites sphères métalliques.

Le système d’acquisition permet d’illustrer la rugosité de toute la surface, mais aussi sur des tracés choisis par l’utilisateur comme illustré aux (a) et (b) pour les positions y=0 mm et y=0.58mm.

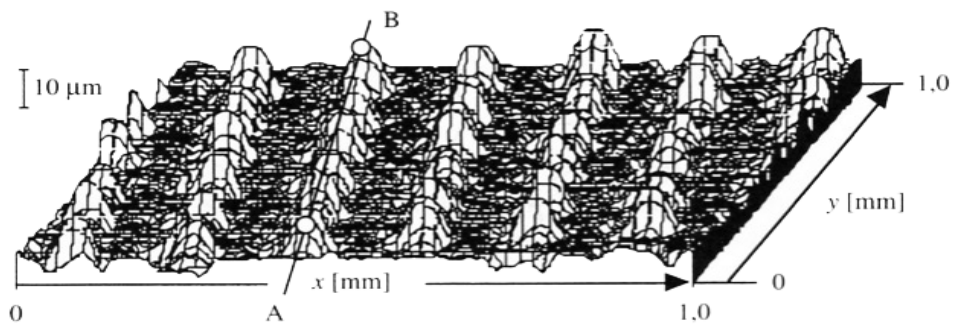


Fig.14.Champ de bosses d’une surface de 1×1 mm² mesurée par un interféromètre.

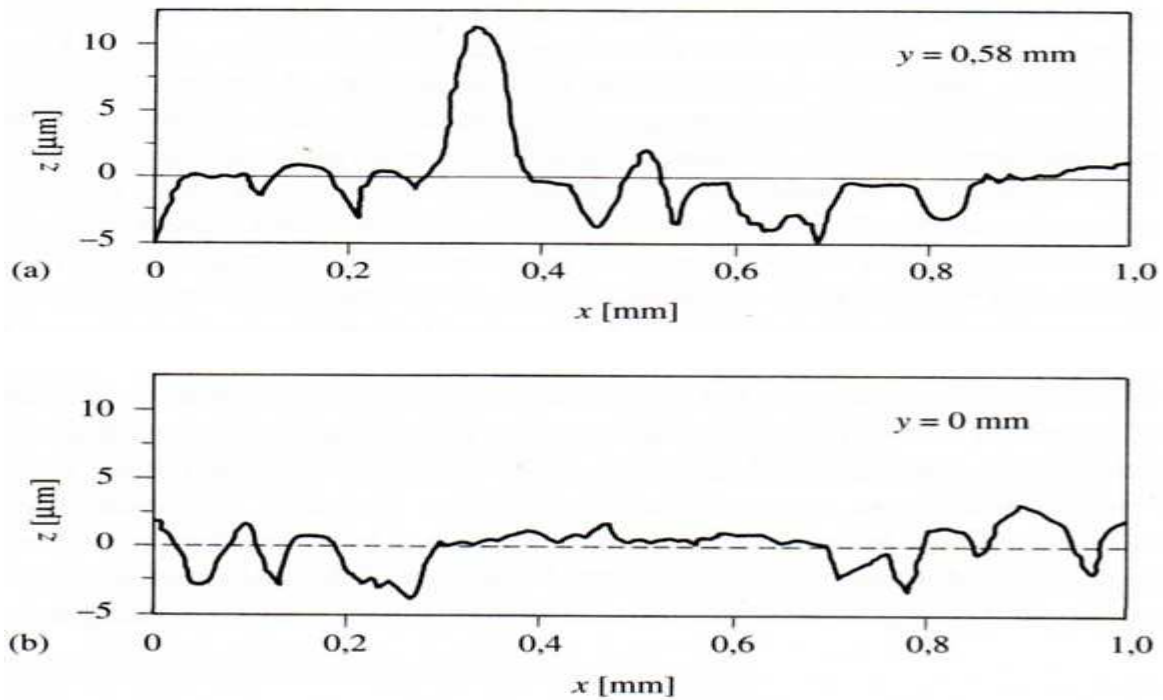


Fig.15. Tracés bidimensionnels de hauteur pour (a) $y=0,58\text{mm}$ et (b) $y=0\text{mm}$.

IV.4.Mécanique du contact

Dans cette section, on considère le contact statique de deux corps chargés par une force normale unique. Les buts de ces études sont les suivants: il s'agit de calculer l'aire de contact entre deux solides, la pression de contact entre les solides et la distribution des contraintes à l'intérieur des solides, en utilisant les lois de la mécanique des milieux continus. Les types de contact entre les surfaces varient avec la géométrie des solides en contact (plan/ plan, cylindre/ plan, sphère /plan). Ils se ramènent aux trois types suivants Contact surfacique, contact linéaire et contact ponctuel

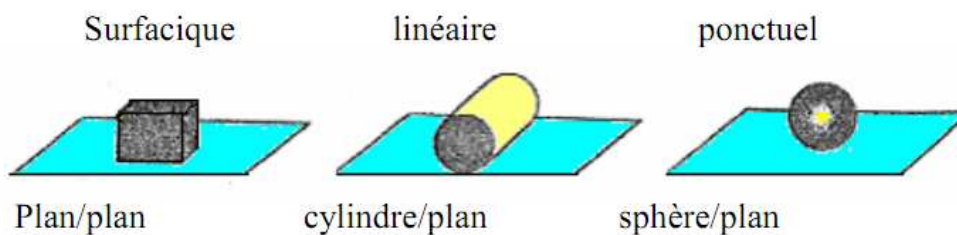


Fig.16.Types de contact

IV.5.Géométrie des aspérités

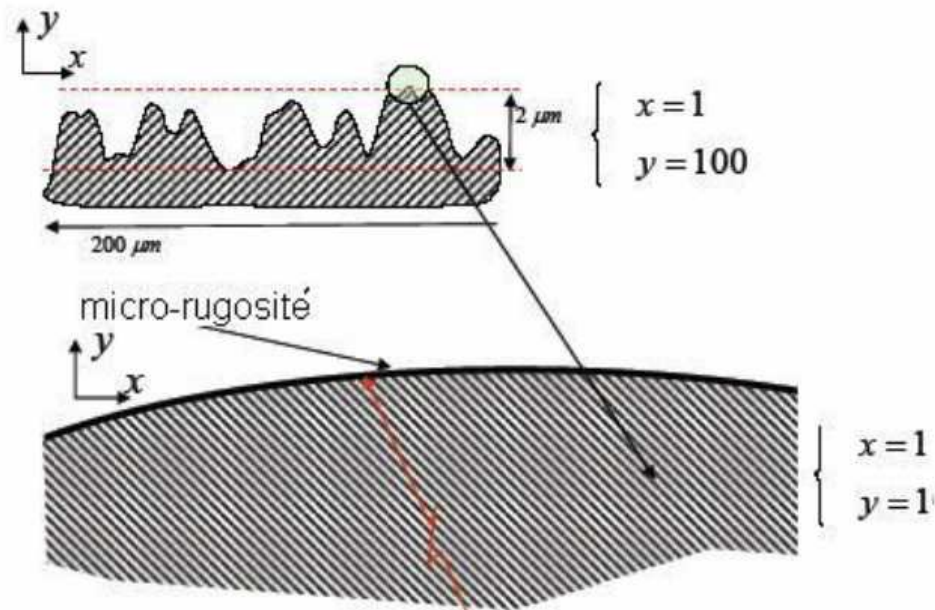


Fig.17. Relations géométriques

Le rayon moyen r_m peut être relié au paramètre R_a par la relation empirique :

$$r_m = \frac{Sm}{4\pi r^2 Ra}$$

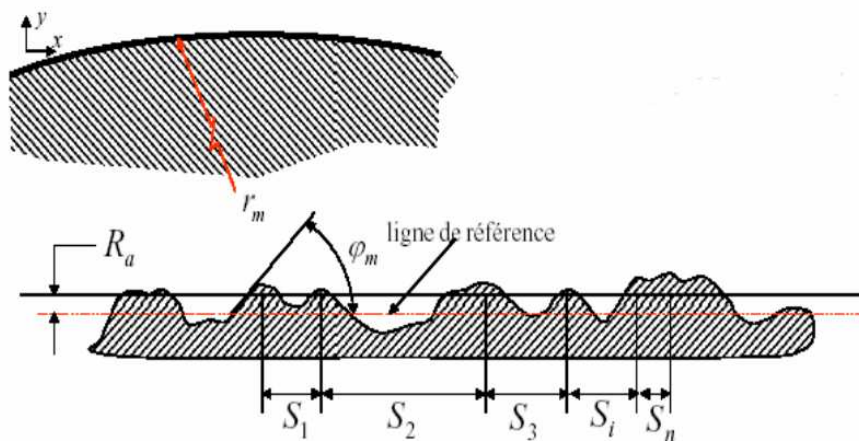


Fig.18. Rayon moyen d'une aspérité

IV.5.1.Contact sur une aspérité

Quand deux solides sont en contact, ils se touchent par le sommet de leurs aspérités. Ils feront d'abord contact par une aspérité. Au début du contact $N=0$ et les deux aspérités vont tout simplement s'effleurer et se touchent par un point ou une ligne

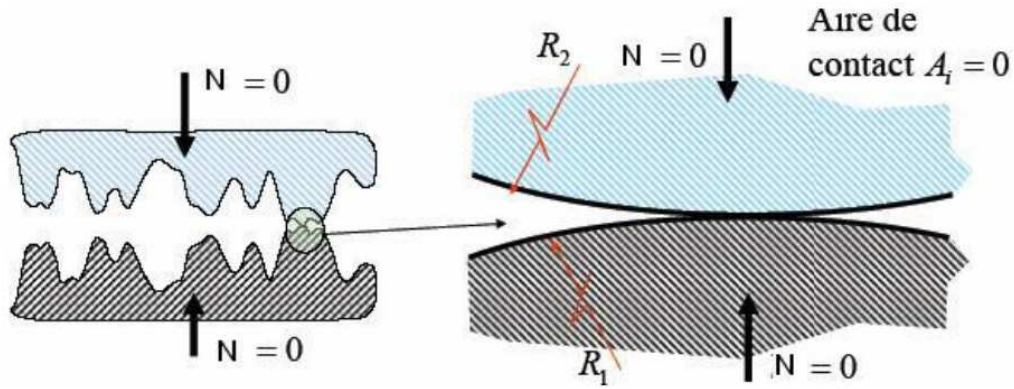
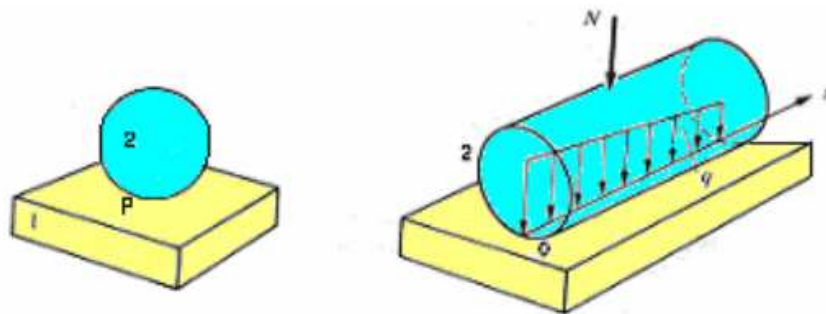


Fig.19.Contact sur une aspérité

IV.5.2.Contact ponctuel ou linéique

Deux solides non conformes se touchent apparemment en un point ou selon une ligne de contact. Si une force N est transmise de l'un à l'autre on dit que la charge de contact est ponctuelle dans le premier cas, linéique dans le second. La charge de contact se répartit le long de la ligne de contact.

Désignons par q la charge linéique répartie le long d'une ligne de contact de longueur l



Contact ponctuel

Contact linéique

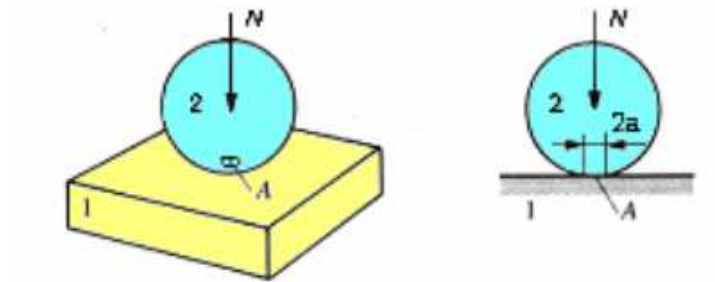
On a :

$$N = \int_0^l q(s) ds$$

La distribution $q(s)$ dépend des déformations locales. L'aire de contact étant A , la pression de contact est :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{N}{A} = \infty$$

C'est un résultat évidemment absurde. En réalité les solides se déforment au voisinage du contact de manière à former une surface d'aire finie



Aire de contact d'une bille sur un plan

Conclusion :

La précision avec laquelle le profil géométrique est reconstitué est une base de connaissance importante à la compréhension des résistances passives au mouvement et les mécanismes engendrés par le travail de frottement des surfaces.

Chapitre III

frottement et

usure

III 1 Introduction :

Pour faire glisser deux corps solides l'un sur l'autre, il faut exercer une force dans la direction du mouvement relatif dite force de **frottement** ; en outre, l'observation des corps après un mouvement relatif important révèle le plus souvent que leur volume a diminué dans la zone de contact : c'est le **phénomène d'usure** [11].

III 2 le frottement :

Dès les débuts de l'humanité, on a été préoccupé par le frottement qui est omniprésent dans notre vie quotidienne: par exemple lorsqu'on marche, qu'on démarre une voiture, qu'on freine [4].

2-1 Définitions :

Le frottement est un phénomène complexe qui provient des interactions entre les aspérités microscopiques existant à la surface des corps en contact. Dans tous les cas, il engendre une force qui s'oppose à un mouvement prêt à s'établir ou déjà établi [12], provoquant la création de contraintes mécaniques superficielles et la dissipation de chaleur. En général, il entraîne l'usure plus ou moins rapide des corps en contact, et par conséquent la modification de leurs surfaces.

Quel que soit son type, le frottement a pour cause première deux types de force :

- la force de cohésion : c'est la force qui lie entre elles les molécules d'un corps.
- la force d'adhésion : c'est la force qui accroche les liquides aux solides.

2-2 les différents types de frottement :

2-2-1. Frottement de pivotement :

Il se passe quand un point donné de A coïncide avec un point donné de B pendant tout le mouvement qui s'obtient à partir d'un couple C. Le coefficient de frottement est homogène à une longueur et égal à C/Q .

Voir la figure

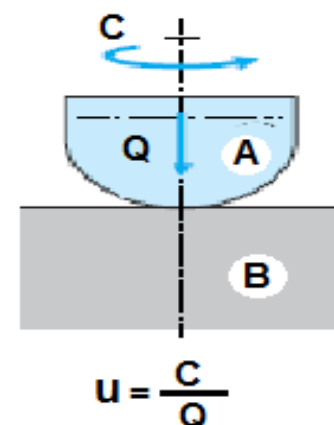


Figure 1 : Frottement de pivotement.

2-2-2. Frottement de roulement :

Lorsqu'un point ou une ligne de contact de A et B joue le rôle de centre instantané de rotation, le mouvement peut s'obtenir en déplaçant la direction de la force Q parallèlement à elle-même d'une longueur H. Le coefficient de frottement de roulement qui est un scalaire est égal à H/R . Voir la figure

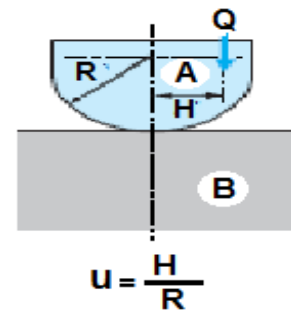


Figure 2 : Frottement de roulement.

2-2-3 le frottement de glissement :

C'est le type de frottement le plus fréquent ; il se produit lorsqu'on déplace deux corps solides l'un par rapport à l'autre sans les faire rouler. C'est Léonard de Vinci qui s'intéressa vers 1500, au glissement des corps sur les plans inclinés,

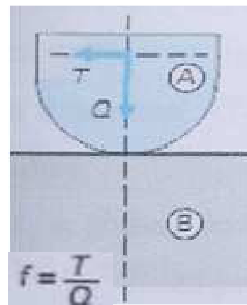


Figure 3: Frottement de glissement

Sa loi inspirée de ses expériences fut oubliée pendant deux siècles, avant d'être découverte par Amontons vers 1700, puis par Coulomb vers 1800, et publiée à l'Académie des sciences.

La pratique du frottement de glissement permet de distinguer plusieurs phénomènes susceptibles de s'opposer au glissement tel que :

L'adhérence :

□ Soit une caisse posée sur le sol, en équilibre. L'action du sol (0) sur la caisse (1) peut être modélisée par une action surfacique ou par l'action ponctuelle équivalente.

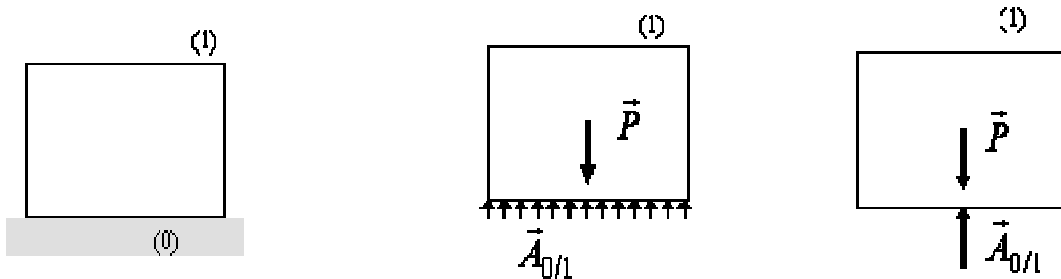


Figure 4 : Application d'une charge P [10].

On exerce une force horizontale sur la caisse : **elle reste immobile.**

L'équilibre est impossible avec l'action $\vec{A}_{0/1}$ verticale obtenue précédemment.

L'action du sol sur la caisse s'incline et se déplace vers la droite.

Si l'on augmente la valeur de la force de poussée \vec{F} , l'action du sol s'incline de plus en plus et son point d'application se déplace de plus en plus vers la droite. Tant qu'il n'y a pas de mouvement, on dit qu'il y a **adhérence** [10].

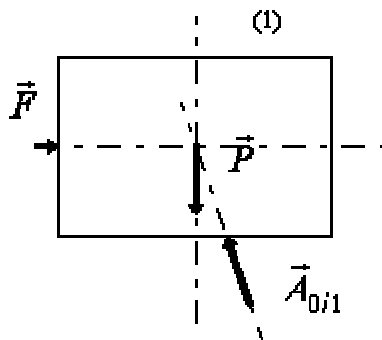


Fig5 : Application d'une force F [10].

2-3. le frottement statique et dynamique [1], [6], [11] :**2-3-1. le frottement statique :**

Le frottement statique est une force qui tend à garder un corps en état statique (une force FFS qui empêche un mouvement de démarrer). Elle dépend du poids apparent du corps et du coefficient de frottement statique (défini par μ_s), évalué en fonction de la nature des surfaces en contact.

Lorsqu'une force est appliquée sur un objet au repos, la composante parallèle à la surface de la force est compensée par la force de frottement statique jusqu'à la valeur maximale de cette dernière.

Mathématiquement, le frottement statique f_s est plus petit ou égal au coefficient de frottement statique μ_s multiplié par le poids apparent P.

$$f_s \leq \mu_s N$$

2-3-2. Frottement cinétique

Le frottement cinétique est la force qui tend à freiner un corps glissant sur une surface. Cette force FFC est égale et de sens opposé à la force motrice nécessaire pour maintenir le corps en mouvement uniforme (survient lorsque deux surfaces glissent l'une contre l'autre). L'importance du frottement cinétique varie en fonction du coefficient de frottement cinétique qui, tout comme le coefficient de frottement statique, varie selon le type de matériaux en contact, et le poids apparent du corps en mouvement.

Mathématiquement, le frottement cinétique f_c est égal au coefficient de frottement cinétique μ_c multiplié par le poids apparent P.

$$f_c = \mu_c N$$

2-4. Le coefficient de frottement :

On peut définir le coefficient de frottement 'μ' comme le rapport de la force tangentielle 'T' sur la force normale 'N' supportée par le contact:

$$\mu = T/N$$

Le coefficient de frottement μ n'est pas une propriété du matériau mais de l'ensemble du système tribologique [6]. C'est une grandeur exprimant l'intensité de l'interaction entre deux corps en contact. Il correspond à une perte énergétique et varie entre 0 et 10. Les valeurs supérieures à 1 peuvent être rencontrées dans les conditions telles que le vide.

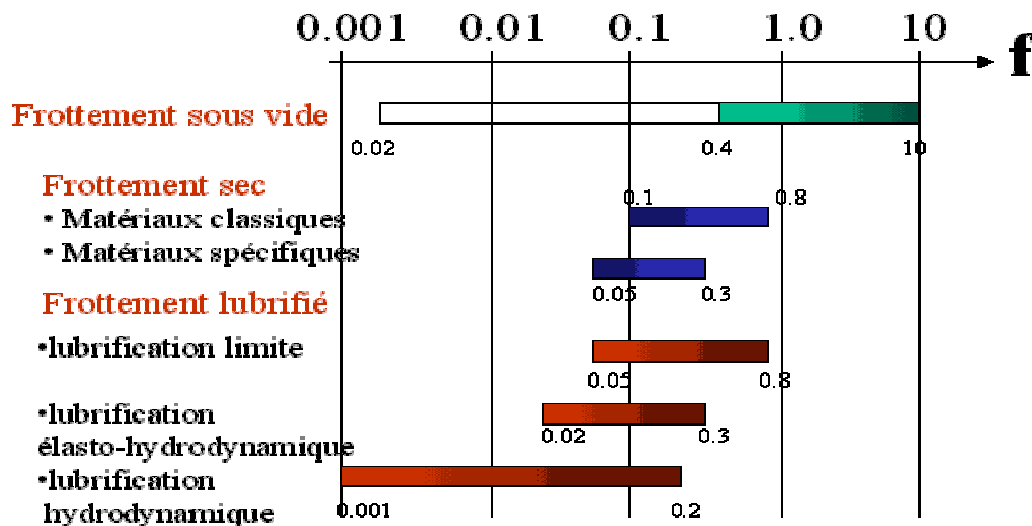


Fig. 6 : Les valeurs de coefficients de frottement [10].

2-4-1. Importance du coefficient de frottement :

La maîtrise du coefficient de frottement est un critère déterminant pour la fiabilité et la sécurité de fonctionnement de certains composants tels que les assemblages frettés, vissés. Ainsi le rôle de certains traitements de surfaces est-il principalement dévolu au contrôle des couples de serrage sur les éléments de visserie, de boulonnerie.

2-4-2 comportement du coefficient du frottement :

Les principaux paramètres qui interviennent sont :

2-4-2-1 : Vitesse de glissement :

Le coefficient de frottement est différent au moment où deux corps solides se déplacent l'un par rapport à l'autre (ce qu'on appelle le coefficient de frottement dynamique μ_d) ou lorsque ces deux corps s'arrêtent (ce qu'on appelle le coefficient de frottement statique μ_s)

2-4-2-2 : chemin de glissement parcouru :

Le coefficient de frottement est dynamique, il dépend des matériaux, des conditions expérimentales et de l'état de surface.

2-4-2-3 : état de surface :

Plus les surfaces sont très rugueuses, plus le coefficient de frottement est Grand.

2-4-2-4 : les différents types de frottement :

Le coefficient de frottement est plus grand dans le cas du frottement de glissement car la forces d'adhésion et de labourage sont importantes, mais il est plus faible dans le frottement de roulement ou de pivotement.

2-4-2-5 : La température :

La dureté du métal tombe rapidement, quand la température s'élève au de-là de 500⁰C ce qui entraine une augmentation forte du coefficient de frottement.

D'autres paramètres influent sur le comportement du coefficient de frottement tel que le temps, la charge appliquée et les conditions de travail.

2-5 : loi du frottement :

Léonard de Vinci, Amontons puis Coulomb ont exprimé les lois de base du frottement ;

Léonard de Vinci (1452-1519) postula que la force que l'on doit appliquer pour permettre le glissement d'un corps est proportionnelle à la charge et ne dépend pas de la surface de contact.

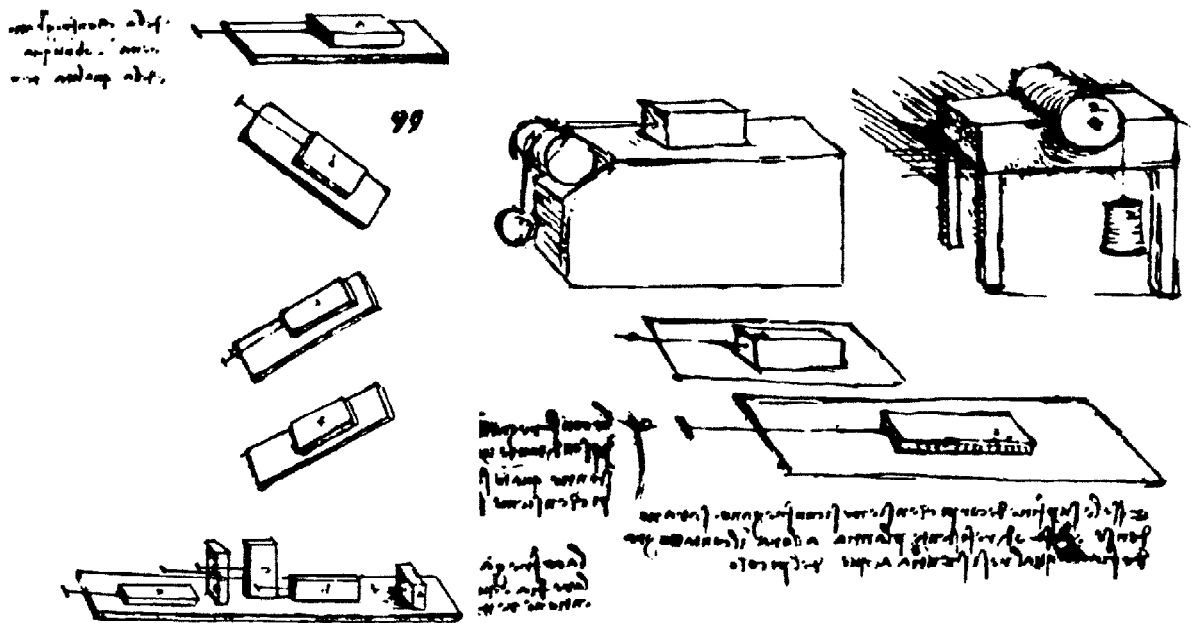


Fig.7 : Dispositifs d'essai pour étudier le frottement, Léonard de Vinci [3].

Amontons-Coulomb mettent au point des lois en frottement sec et en lubrification limite.

-Le frottement est indépendant de la surface de contact apparente entre les corps solides, comme l'indique la figure II.8.

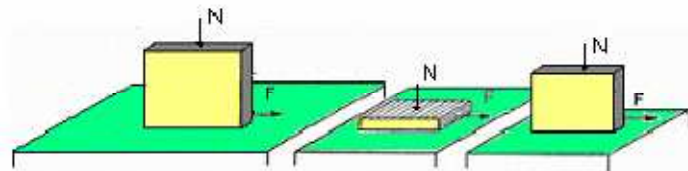


Figure .8 : Différentes surfaces de contact d'un corps [5].

- Le frottement est proportionnel à la force tangentielle (figure II.9).

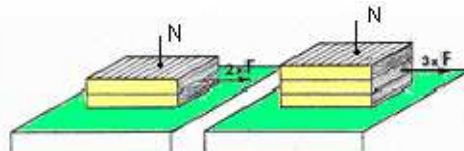


Figure 9 : Proportionnalité du frottement avec la force tangentielle.[5]

III.2.Usure :**III.2.1.Objectif**

La durée de vie des composants mécaniques est très souvent limitée par les endommagements des surfaces actives de ces composants. Ce chapitre est consacré à la description des principaux mécanismes physiques, chimiques et mécaniques à l'origine de ces endommagements et à celle de l'influence des paramètres les plus significatifs qui interviennent pour enclencher ou entretenir ces mécanismes.

III.2.2.Introduction

L'usure correspond à la « perte progressive de matière de la surface active d'un corps, par suite du mouvement relatif d'un autre corps sur cette surface ». Du point de vue du mécanicien, la notion d'usure est beaucoup moins restrictive car elle s'applique plus généralement à tout évènement conduisant à une perte de fonction des composants ou systèmes, ce point de vue corroborant d'ailleurs les définitions plus communes qui associent à l'usure la détérioration due à l'usage. . La perte de fonction correspond aux dysfonctionnements qui peuvent résulter : - des évolutions dimensionnelles, géométriques des pièces, telles que l'accroissement des jeux dû à une perte de cote (dégradation de la précision...) ou au contraire, le colmatage des interfaces par l'accumulation de débris (blocage, coincement...); - des phénomènes de dégradation des surfaces (rayures, sillons, cavités, excroissances...)

III.2.3Définition de l'usure

Dans la science des matériaux, l'usure désigne le phénomène de dégradation des couches superficielles d'un solide sous l'action mécanique du milieu extérieur. Cette dégradation est souvent associée aux phénomènes chimiques dus à la corrosion, elle peut prendre la forme d'une perte de masse, de cote, de forme, ou encore d'une modification de la structure. L'étude des phénomènes d'usure est un des domaines de la tribologie. L'étude de l'usure est alors largement laissée aux spécialistes des sciences des matériaux. Ceux-ci développent des îlots de connaissance (en réalisant des essais de frottement et d'usure au besoin, sur des cas particuliers), plutôt qu'une compréhension globale du phénomène d'usure.

III.2.4.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

III.2.4.1.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.

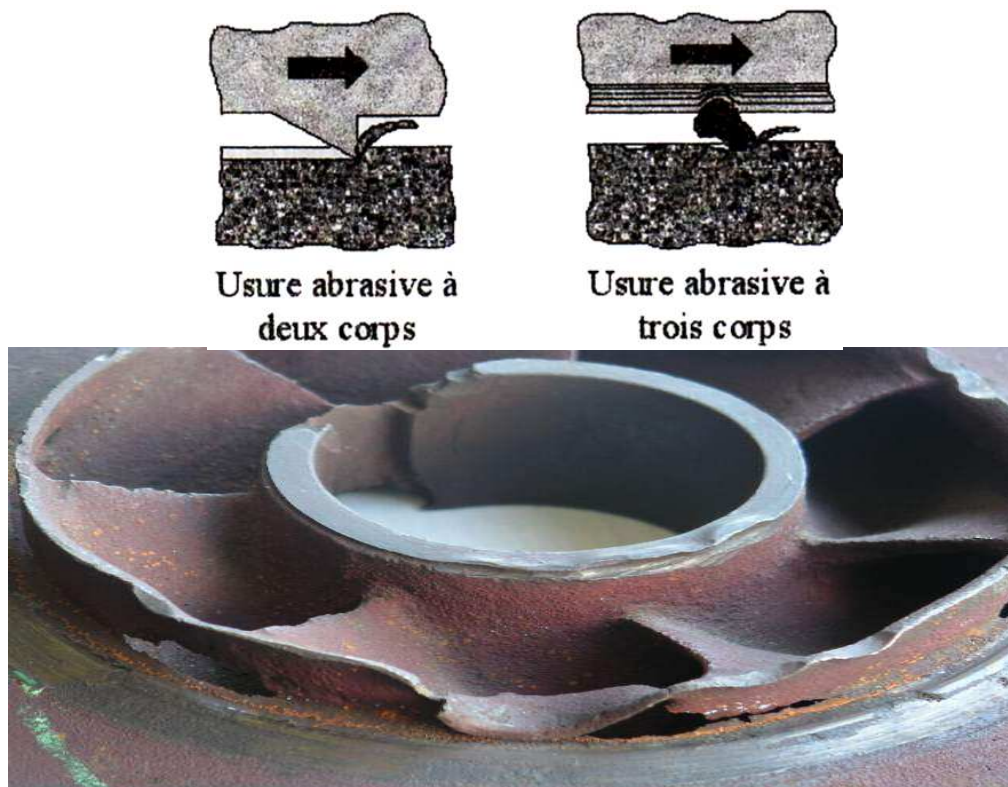


Fig. 3 : Mécanisme d'usure abrasive. [7]

III.2.4.2. 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 » collé à la surface antagoniste

III.2.4.2.1. Les paramètres influant sur l'usure adhésive

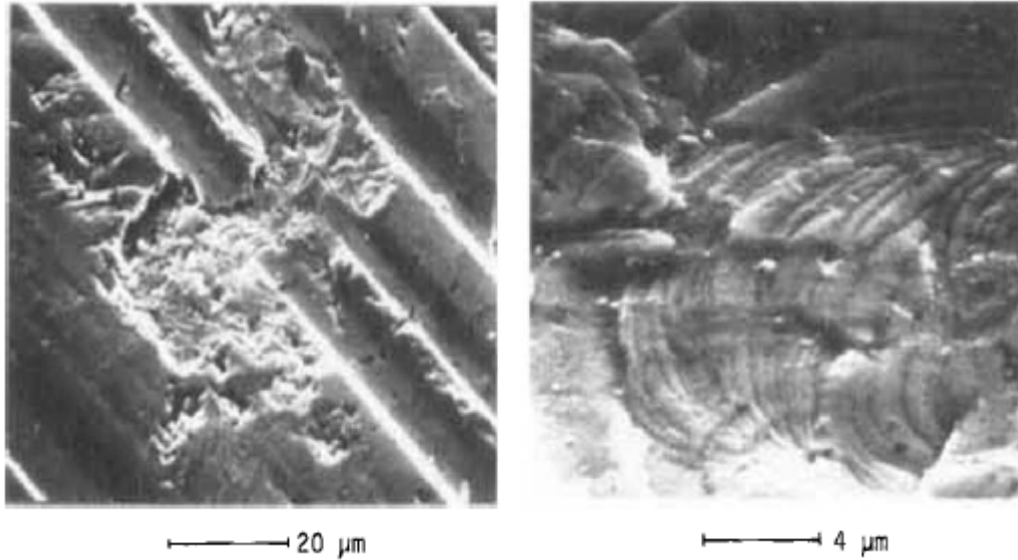
L'adhésion dépend essentiellement de l'aire réelle de contact, elle est fortement influencée par les paramètres fonctionnels de la situation tribologique concernée et par la nature et les propriétés des matériaux mis en présence.

Les paramètres influant sur l'usure adhésive sont :

- La charge
- L'environnement
- La vitesse de glissement
- L'action combinée de la charge et de la vitesse
- La température

III.2.4.3. Usure par fatigue

Elle est liée à l'action d'un mouvement cyclique et à la capacité des matériaux à absorber les énergies de déformation et les contraintes thermiques générées par frottement. L'usure par fatigue se manifeste par des fissures, des écailles et des changements de structure métallurgique. Les comportements face à ce mécanisme d'usure dépendent de la nature du matériau. Dans le cas de matériaux ductiles (matériaux métalliques ou polymères), la rupture par fissuration (ou mécanisme de délaminage) a lieu en sous-couche, parallèlement à la surface de frottement, dans les zones où les contraintes de cisaillement sont maximales. La théorie de Hertz permet d'estimer la répartition des contraintes de cisaillement en sous-couche. L'analyse des transferts thermiques sur la microstructure (déplacement des lacunes, des dislocations, des plans de glissement, l'effet des joints de grains...) explique la formation de fissure associée à un écrouissage ou à un adoucissement de la surface



Apparence d'une surface endommagée par fatigue

III.2.4.3. Usure corrosive (ou tribochimique)

C'est un système à trois composantes, où interviennent la réactivité chimique entre les surfaces, la réactivité chimique avec le milieu environnant et la réactivité physico-chimique avec les débris. Ce type de dégradation résulte d'une seule ou de plusieurs réactions chimiques sous l'effet d'agents corrosifs (environnement, lubrifiant) et des contraintes mécaniques pendant le frottement. Suivant l'état structural superficiel, il se crée des oxydes réactionnels dépendant de l'environnement. Suite au frottement entre les surfaces, la rupture des aspérités qui s'oxydent conduit à des débris en général très stables et très durs. Ces derniers jouent alors un rôle abrasif et viennent dégrader les surfaces antagonistes et donc entretenir l'usure. Par contre, il est possible de rencontrer une configuration moins agressive par la formation de films d'oxydes adhérents à la surface d'un des antagonistes et suffisamment résistants au cisaillement pour jouer un rôle protecteur.

III.2.4.4. Usure par érosion :

L'usure par érosion est causée par des impacts de particules solides ou liquides contre la surface d'un solide. Ce mécanisme d'usure dépend des propriétés des matériaux en présence, de l'angle d'impact, de la vitesse d'impact et de la taille de la particule.

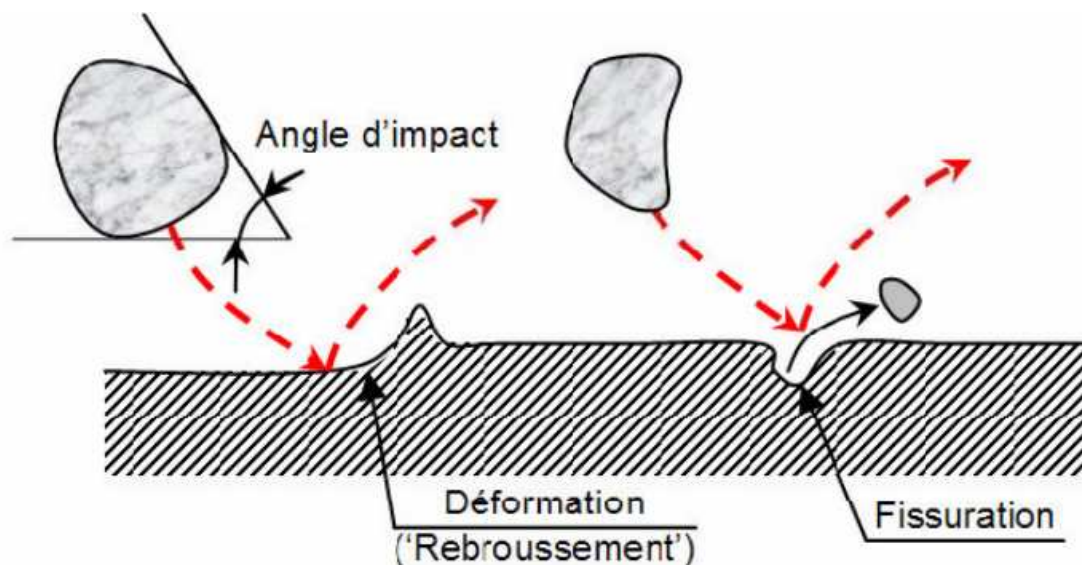
L'érosion à faible angle d'incidence provoque un enlèvement de matière par la formation de copeaux. Lorsque l'angle augmente, à faible vitesse, des impacts répétés peuvent provoquer une propagation lente de fissures dans le matériau.

Si la vitesse est plus importante, des déformations plastiques apparaissent, le bourrelet ainsi formé est ensuite enlevé par l'impact d'autres particules. Dans les mêmes conditions, en fonction de propriétés du matériau érodé, la fissuration peut engendrer l'enlèvement de matière.

À grande vitesse et grand angle d'incidence, la particule peut fusionner avec le matériau érodé. Dans des cas extrêmes—comme la collision d'une météorite avec une planète—et pour des matériaux particuliers, la particule incidente fusionne même avec le solide érodé et provoque des projections de débris au voisinage de l'impact.

À l'échelle atomique, l'impact entre un atome et un atome d'un cristal peut provoquer l'enlèvement de ce dernier.

L'usure par érosion possède donc beaucoup de similitude avec l'usure abrasive.



III.2.4.5. Usure par cavitation

La cavitation apparaît lorsque le liquide atteint, au voisinage d'une surface, sa pression de vapeur saturante.

Il crée alors une cavité ne pouvant rester stable dans le milieu.

Elle impluse donc et produit une onde de choc créant sur la surface des contraintes très élevées qui se traduisent souvent par l'apparition de faciès en forme de cratère.

III.2.4.6.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.

III.2.5.Conclusion :

Les frottements interviennent dans la grande majorité des phénomènes physiques de la vie courante. Ils sont parfois exploités (par exemple pour le freinage, le sciage, le polissage, le lavage, etc.), mais ils ont également des conséquences fâcheuses (telle que l'usure, perte d'énergie et de rendement, échauffement, etc.) pour les êtres vivants et de nombreuses applications technologiques et économiques.

Chapitre IV

Extensometrie

Extensométrie :**1 Introduction :**

C'est par la mesure des déformations (ϵ) et des forces qu'il est possible de calculer des contraintes (σ) ; par fois ces déformations sont très petites, il est donc quasiment impossible de les mesurer directement sans amplification ,c'est pourquoi on fait appel à la jauge de contraintes.

2 jauges d'extensométries :

L'origine des jauges à résistance électrique trouve sa source dans une série d'expériences conduites par **William Thomson** au sujet des propriétés électromécaniques des métaux.

Une de ses découvertes était que la résistance électrique de certains fils varie lorsqu'ils sont étirés. Depuis, ce phénomène à été quantifié comme étant le facteur de jauge qui est le rapport entre la variation de résistance unitaire ($\Delta R/R$) et 'allongement unitaire ($\Delta L/L$) du conducteur.

Une jauge est constituée d'un très fin fil conducteur collé sur un support dont la résistance

$$R = \frac{\rho L}{s}$$

Où : R : est la résistance électrique

ρ : La résistivité du matériau

L : la longueur du fil

S : la section du fil

Ce fil est agencé sous forme sinusoïdale formant une grille de mesure(figure1) collées sur un support isolant, ce dernier est collé sur la pièce dont on veut mesurer les allongements et qui transmet les déformations à la grille.

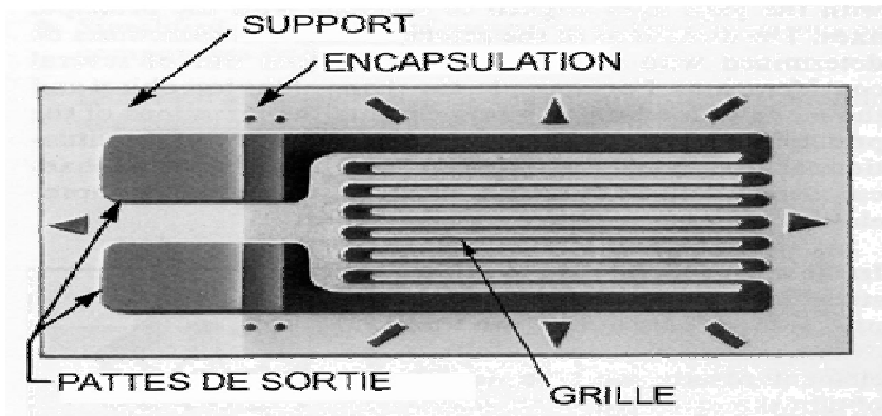


Fig. 20 : schéma d'une jauge de contrainte

3 Principe des jauges :

La jauge de contrainte repose sur le principe d'un fil que l'on déforme et qui est placé longitudinalement par rapport à la déformation et il subit les mêmes déformations que la surface sur laquelle la jauge est collée. En agissant par traction ou flexion sur le fil, celui-ci devient plus ou moins long par rapport à son état repos. Cette variation de longueur modifie la résistance électrique du fil. On mesure alors cette variation de résistance entre l'état repos et l'état sous contrainte. Ainsi, on a la relation suivante :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta s}{s}$$

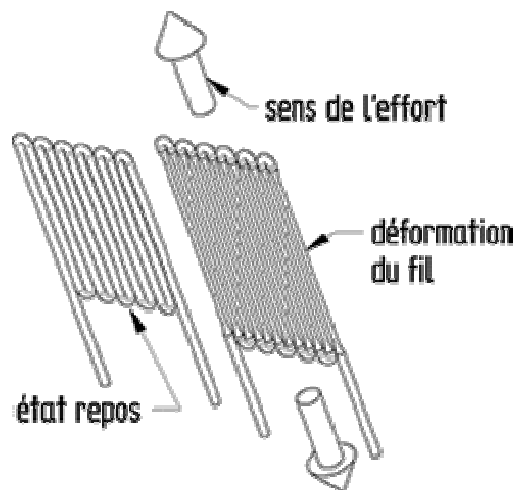


Fig. 21 : Principe de la jauge de contrainte

4-Principaux types de jauges :

On trouve sur le marché quatre principaux types de jauges :

1. jauges à fil tramé
2. jauges à trame pelliculaire
3. jauges à élément semi-conducteur que l'on retrouve aussi sur micro puce
4. jauges soudables pour application à haute température

5-le pont de Wheatstone :

La mesure ne peut s'effectuer directement car les variations de conductibilité de la jauge sont trop faibles pour être mesurées directement avec un ohmmètre. Il est nécessaire de faire un montage en pont de Wheatstone qui est un appareil permettant de mesurer de façon très précise la valeur des résistances et des condensateurs dont le principe est le suivant :

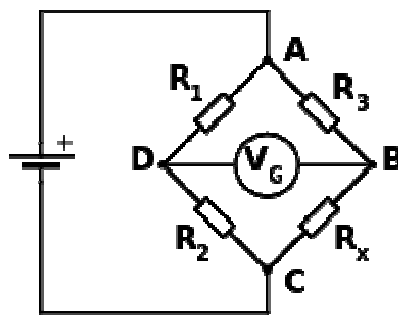


Fig. 22 : le pont de Wheatstone

Soit un circuit constitué de quatre résistances R_1, R_2, R_3, R_4 montées en pont. On alimente par une source électromotrice V_e suivant la diagonale AC. À l'équilibre la tension V_G est nulle mais la variation d'une quelconque des résistances fait apparaître une tension V_G entre B et D.

Pour de très faibles variations (de l'ordre du microhm pour les jauges de contrainte), la sortie V_G est proportionnelle aux variations relatives $\Delta R/R$ de chacune des résistances d'où V_G est donné par la relation suivante :

$$V_G = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_x}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_x + R_1 R_x} V_e$$

Avec : $V_e = \dots$

Alors : $V_G = \dots$

: La déformation

Il existe différents types de montages :

1- montage en quart de pont :

Dans ce type de montage une seule jauge est active d'où soit :

Ainsi : $V_G = \frac{\epsilon_2(-)}{4}$ ou alors $V_G = \frac{\epsilon_1(+)}{4}$ ainsi $V_G = \frac{\epsilon_2(-)}{4}$

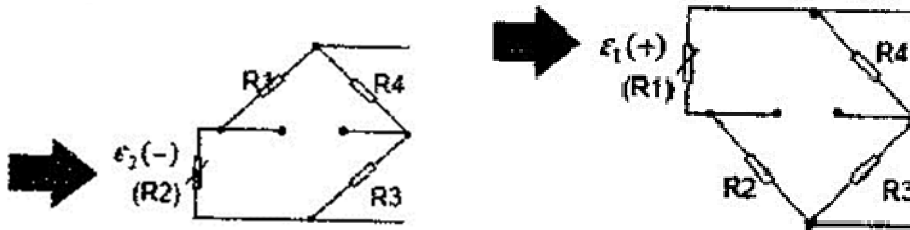


Fig.23: montage en Quart de pont

2- montage en demi-pont :

Dans ce cas deux jauges sont actives : $V_G = \frac{\epsilon_1(+)}{2}$ alors $V_G = \frac{\epsilon_2(-)}{2}$

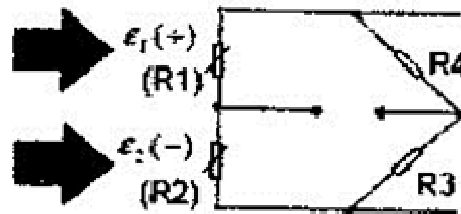


Fig. 24 montage en demi-pont

3-montage en pont complet :

Ici c'est toutes les jauges qui sont actives : $V_G = \frac{\epsilon_1(+)}{4} + \frac{\epsilon_2(-)}{4} + \frac{\epsilon_3(+)}{4} + \frac{\epsilon_4(-)}{4}$

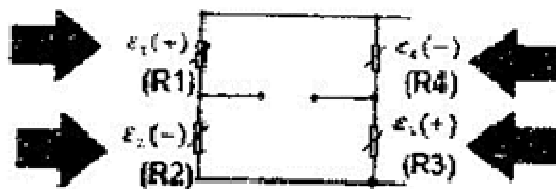


Fig.25 : montage en pont complet

6- Installation des jauges :

6-1 Préparation de la surface d'épreuve :

Choisir un point sur la surface extérieure du capteur, la polir avec du papier abrasif dur, mi- doux puis doux afin d'obtenir une rugosité aussi bonne que possible.

Ensuite la nettoyer avec des compresses sèches puis imbibées de Acétone C2 H3 Cl3 jusqu'à ce qu'il ne reste aucune impureté.

6-2. fixation des jauges :

Les jauges sont fixées avec une colle spéciale à jauges en respectant les étapes suivantes :

- Prendre un ruban adhésif et lui fixer la jauge avec une pincette.
- Accrocher le ruban d'un côté seulement sur la surface capteur.
- Etaler la colle au point choisi avec un petit morceau de téflon, déposer la jauge en appliquant une légère pression pendant trois minutes à l'aide de polymère.

-Retirer soigneusement le ruban adhésif de façon à ne pas détériorer et la jauge et ses fils conducteurs.

-Fixer le relais ou la cosse de la même manière que la jauge.

-Souder à l'étain à deux fils conducteurs à chaque relais du coté sortie pour assurer le raccordement avec le pont de Wheatstone.

-Protéger les jauges et leurs cosses en étalant sur elles un caoutchouc fluide isolant et transparent sous forme de colle et de le laisser sécher suffisamment.

7- le capteur :

Un capteur est constitué de jauges de déformation identiques. Le capteur se distingue de l'instrument de mesure (qui dispose d'un affichage ou d'un système de stockage des données) par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable.

Les capteurs sont les éléments de base des systèmes d'acquisition de données. Leur mise en œuvre est du domaine de l'instrumentation.

Dans notre cas deux capteurs ont été prévus, ils nous permettent de mesurer simultanément les efforts normal et tangentiel.

Conclusion :

Avant application de la charge, le pont de Wheatstone est initialement équilibré, c'est-à-dire $\Delta E=0$. La tension de sortie ΔE du pont peut alors être relevée en fonction des charges appliquées.

Il est donc utilisé pour la mesure des déformations grâce à sa propriété d'équilibre d'une part et la possibilité d'amplification du signal suivant la disposition des jauges dans le montage d'autre part.

Chapitre V

Réalisation

Introduction :

Ce chapitre représente le principal objectif de notre projet. Elle se compose de 2 chapitres ; le premier est consacré à l'étude critique des solutions proposées par nos camarades de la promotion 2010, concepteur de ce dispositif et dans le second chapitre nous présentons le choix des matériaux utilisés ainsi que les différents procédés de réalisation des pièces composant le tribomètre. Les dessins de définition, le dessin d'ensemble, le principe de fonctionnement et le mode opératoire du mécanisme sont aussi donnés dans ce chapitre.

I. Diagnostique :

Après examen du dessin d'ensemble du tribomètre plusieurs problèmes et contraintes ont été relevés. Ceci, nous a conduits dans certains cas à sur-dimensionner certaines pièces pour cause de non disponibilité de matière et dans d'autres cas, à modifier les solutions proposées. Ces nouvelles solutions tiennent compte des moyens effectifs dont nous disposons. Nous reprenons ci-après, l'ensemble des solutions retenues correspondantes aux fonctions techniques du mécanisme.

I.1.Fonction 1 : Fixer le banc au sol

Pour cette fonction deux solutions ont été proposées, et le choix s'est porté sur la solution n°2 [Figure 42][5].

I.1.2. Solution réalisée : (c'est la même solution retenue).

Nomenclature du dispositif

1. Bâti
2. Semelle
3. Plaque de fixation
4. 8, 21. Boulon
5. Pieds de la table
6. Ecou
7. Vis de réglage de la mise à niveau
9. Support
10. Sol
11. Table
12. Vis
13. Tiroir

14. Poigner
15. Joint élastique
16. Cornière
17. Système de guidage
18. Accouplement
19. Moteur
20. Cage

Principe de fonctionnement

Le bâti (1) est monté sur la semelle (2) qui est fixée sur la cage (20), cette dernière est fixée sur la table (11) à l'aide des boulons (21).

Le moteur (19) est fixé par les boulons (4) verticalement sur la plaque métallique (3) qui est soudée à la cage (20).

Pour la mise à niveau de la table (11) on a prévu des vis de réglage (7) et des écrous (6) soudées au dessous des pieds de la table (5) (système Vis/écrou).

Pour amortir les vibrations on a prévu des joints élastiques (15) entre la cage (20) et la table (11).

Figure 27 : Fixer le banc au sol

Fonction N°2 : Transmettre le mouvement de rotation à l'éprouvette cylindrique

Cette Fonction principale est réalisée avec trois groupes de fonctions techniques :

Groupe 1 : entraînement de la broche**V.2.1 solution proposée : [figure 43][5]**

Nomenclature du dispositif

1. Arbre moteur
2. Broche porte éprouvette
3. Manchon
4. Manchon
5. Elastomère
6. Goupille

Principe de fonctionnement

Le mouvement de rotation qui arrive de l'arbre moteur (1) est transmis à la broche porte éprouvette (2) par l'intermédiaire des goupilles (6).

Les manchons (3) et (4) sont bloqués en translation par les deux goupilles (6). L'élastomère (5) assure l'élasticité de l'accouplement, minimise les vibrations et corrige l'angle d'inclinaison entre les deux manchons et par conséquent l'arbre du moteur (1) et la broche porte éprouvette (2).

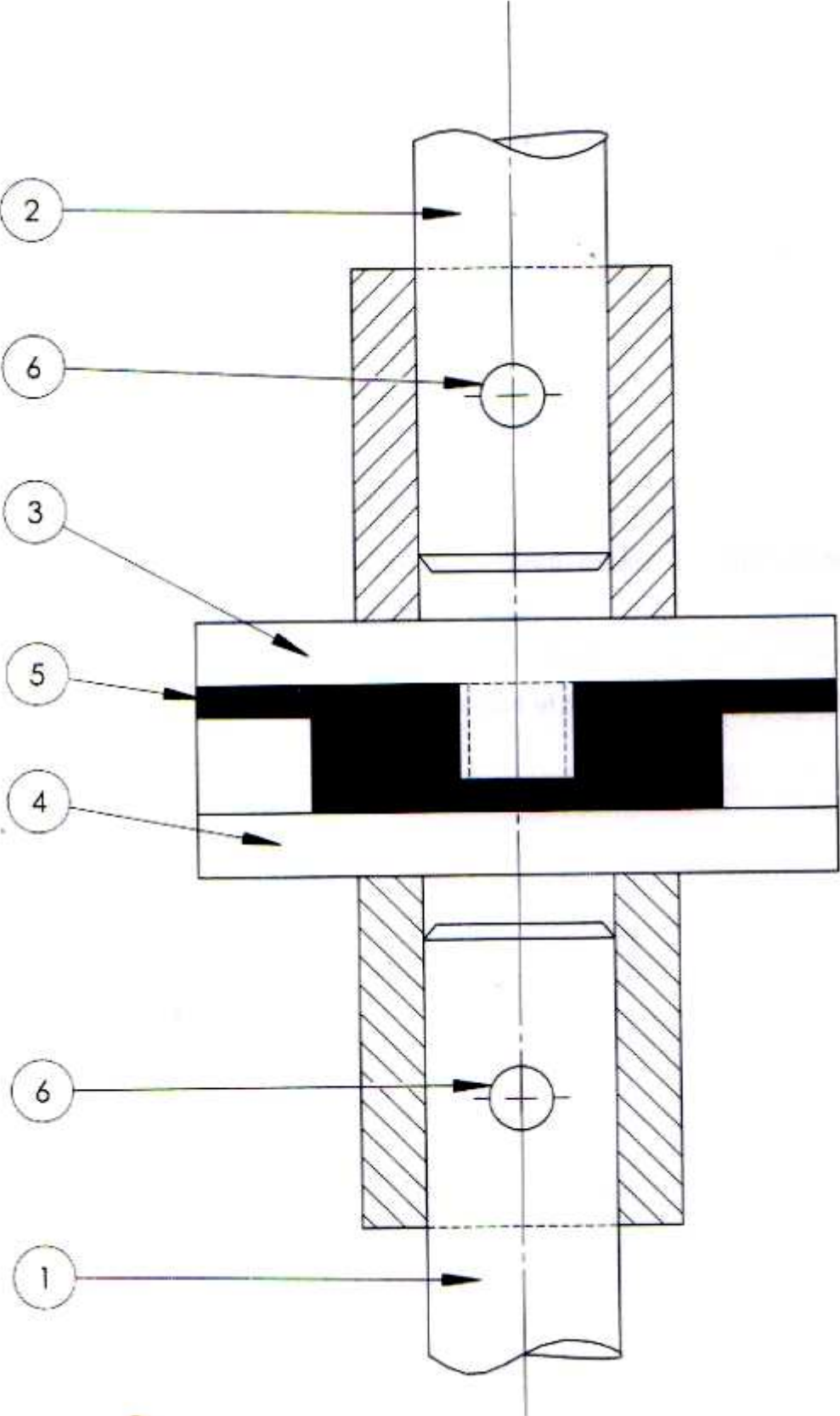


Figure 28 : entrainement de la broche

Solution réalisée :

La solution est presque la même solution proposée. Cependant nous avons procédé à quelques modifications de formes et de positions de quelques pièces.

Nomenclature du dispositif :

1. arbre moteur
2. manchon
- 3.élastomère
4. manchon
5. broche porte éprouvette

Principe de fonctionnement :

Le mouvement de rotation qui arrive de l'arbre moteur (1) est transmis à la broche porte éprouvette (5) par l'intermédiaire des manchons (2) et (4).

L'élastomère (3) assure l'élasticité de l'accouplement, minimise les vibrations et corrige l'angle d'inclinaison entre les deux manchons et par conséquent l'arbre du moteur (1) et la broche porte éprouvette (5).

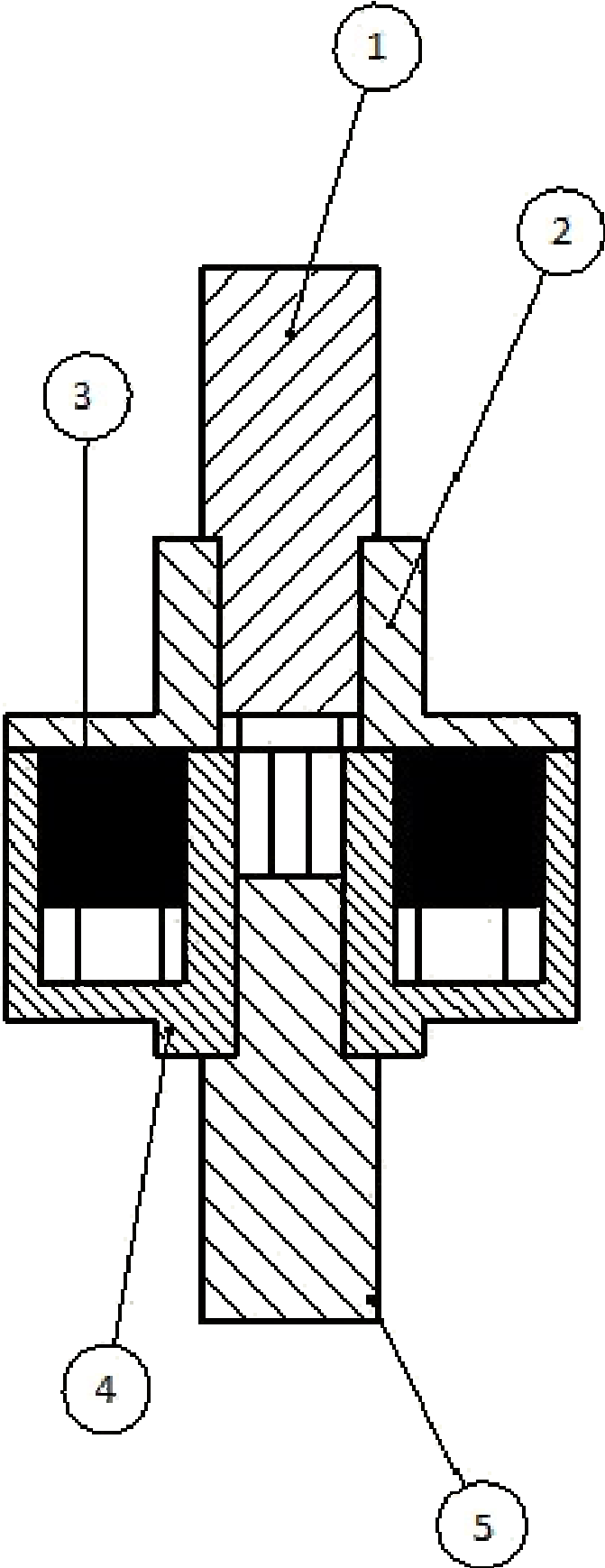


Figure 29 : entrainement de la broche

Groupe N°2 : Guidage de la broche porte éprouvette : [figure 46] [5]

Guidé la broche porte éprouvette (le disque) par un palier, fixé sur la table.

Nomenclature du dispositif

1. Broche porte éprouvette
2. Boitier
3. Roulement à billes à contact radial
4. Couvercle
5. Couvercle
6. anneau
7. Boulon
8. Joint spi
9. Vis
10. Circlips

Principe de fonctionnement

Le mouvement de rotation est transmis de l'arbre moteur vers la broche porte éprouvette (1). Cette dernière est guidée en rotation par des roulements à billes à contact radial (3).

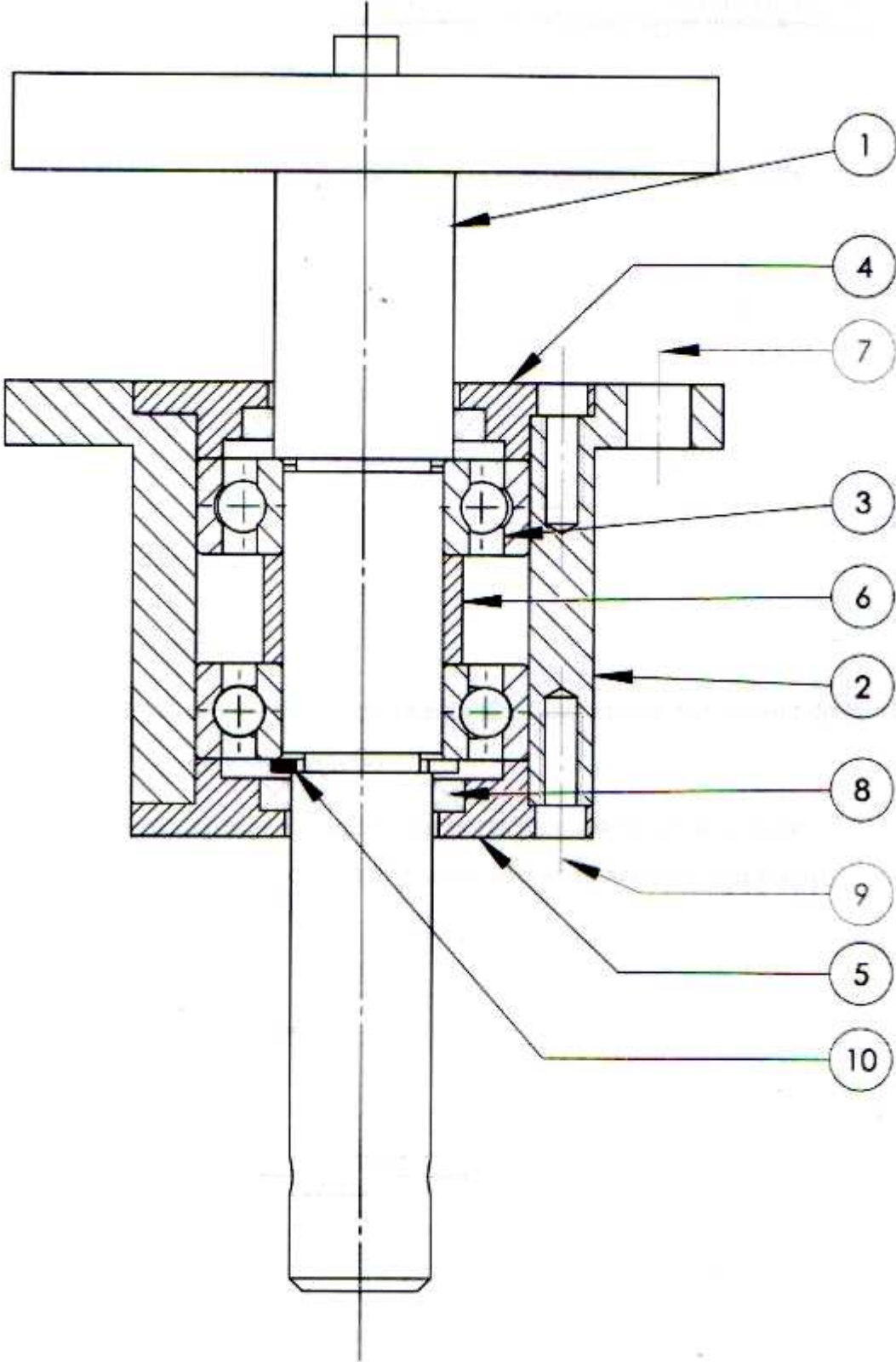


Figure29 : Guidage de la broche porte éprouvette

Groupe N°3 : fixation du disque

Le dispositif de fixation de l'éprouvette transmet le mouvement à l'éprouvette.

Solution proposé : [figure 47] [5]

C'est la solution retenu

Nomenclature du dispositif

1. disque
2. Broche porte éprouvette
3. Le système de guidage
4. Ergot
5. Vis
6. Rondelle

Principe de fonctionnement

Le disque (1) est monté sur la broche porte éprouvette (2). Il est centré sur le bout de la broche et fixé à cette dernière à l'aide de la vis (5). L'ergot (4) qui est monté avec serrage sur la broche porte éprouvette (2) empêche l'éprouvette (1) de tourner durant l'essai sous l'action d'un couple résistant supérieur au couple de serrage.

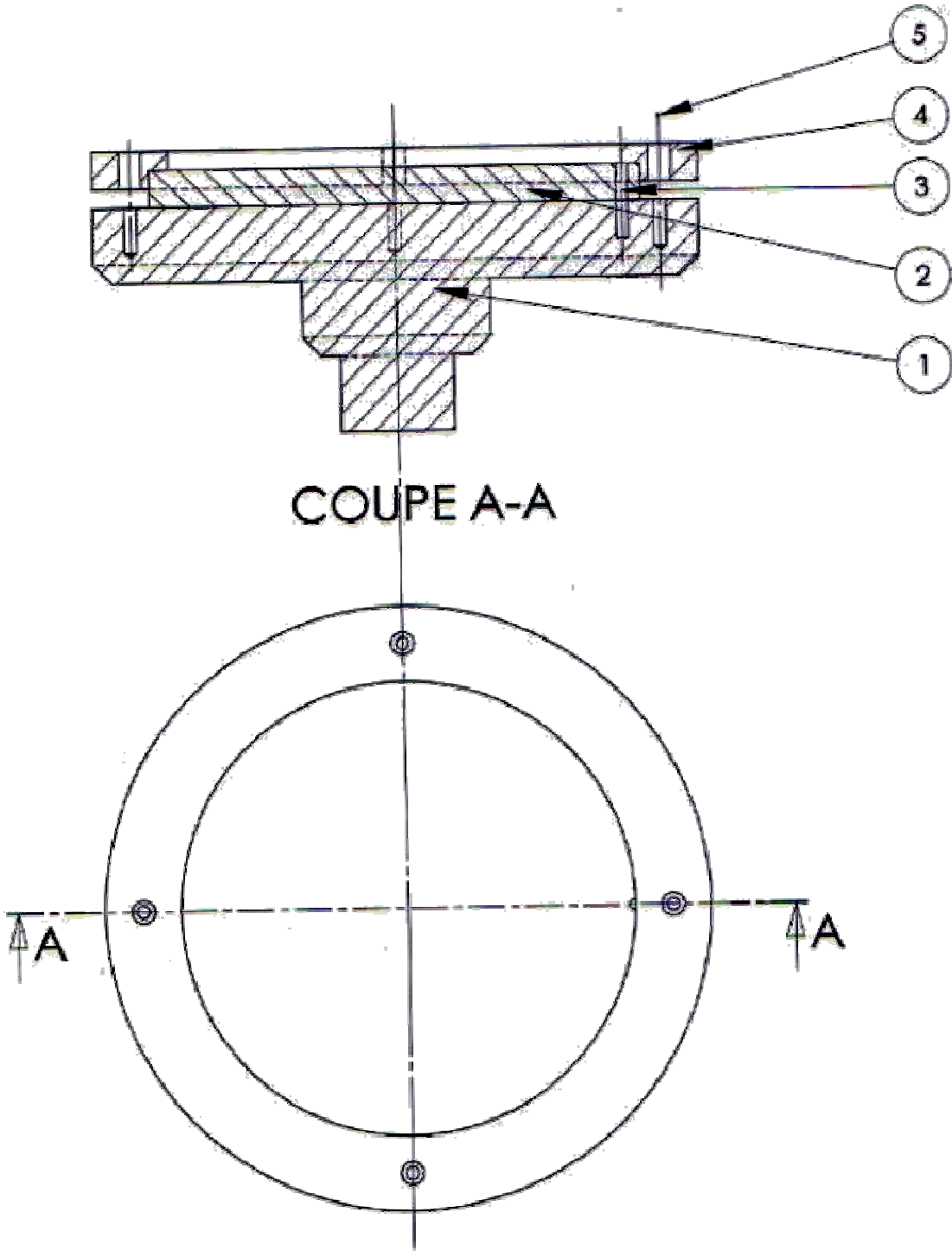


Figure 30 : fixation du disque

Fonction N°3 : Appliquer la charge et la maintenir constante**Solution N°2 : [figure 52] [5]**

Nomenclature du dispositif

1. Semelle
2. Glissière 2
3. Base
4. Glissière 1
5. Plaque métallique
6. Pion
7. Porte capteur
8. Poutre
9. Glissière
10. 17, 21, 22, 27, 29. Vis
11. Ecrou
12. Montant 2
13. Roulement
14. Circlipse
15. Couvercle
16. Axe poulie
18. Montant 2
19. Bâti
20. Volant
23. Axe fileté
24. Porte balance
25. Contre poids
26. Balance
28. Indice d'équilibre
30. Porte pion
31. Capteur
32. Plaque métallique 2
33. Dispositif de chargement

34. Masse

35. Câble

36. Poulie

Principe de fonctionnement

En posant la masse (34) sur le dispositif de chargement (33) qui est fixé sur la poutre (8), cette dernière est guidée en translation (verticale) à l'aide des glissières cylindriques (9) fixées sur les deux montants (12) et (18) jusqu'à avoir le contact pion/disque, l'effort sera transmis au pion sous l'effet de la pesanteur, par l'intermédiaire du dispositif porte capteur (7), et le porte pion (30).

Le volant (20) assure le déplacement horizontal de la base (3) qui est guidée dans les rainures formées par les glissières (2) et (4) nous permet de choisir la piste d'essai et la maintenir par la vis (21).

Le contre poids (25) qui est monté sur la balance (26), le câble (35), l'indice d'équilibre (28) et la poulie (36) sont utilisés pour réaliser l'équilibre avant le chargement.

Le contact est maintenu avec la même valeur de la charge tout au long de l'essai grâce à la masse (34) qui agit toujours sur la poutre (8) sous l'effet de la pesanteur.

Figure 31 : Appliquer la charge et la maintenir constante

Fonction N°4 : Mesurer les données [figure 54] [5]

C'est la solution retenue.

Nomenclature du dispositif

1. Dispositif de chargement
2. Porte capteur
3. Porte pion
4. disque
5. Broche porte éprouvette (disque)
6. L'élément capteur
7. pion
8. Semelle
9. Fil des jauges (mesure T)
10. Fil des jauges (mesure N)
11. Chaîne d'acquisition
12. Câble
13. Micro-ordinateur

Principe de fonctionnement

Avec l'application de la charge au contact des deux éprouvettes (pion (7)/disque (4), l'élément capteur (6) subit une déformation élastique, sous l'effet des efforts normal et tangentiel, cette déformation sera captée par les jauges extensométriques collées judicieusement à des endroits bien précis sur l'élément capteur (6), sous forme d'un signal électrique enregistré par la chaîne d'acquisition (11). Les données ainsi recueillies seront transférées au micro-ordinateur (13) pour y être traitées.

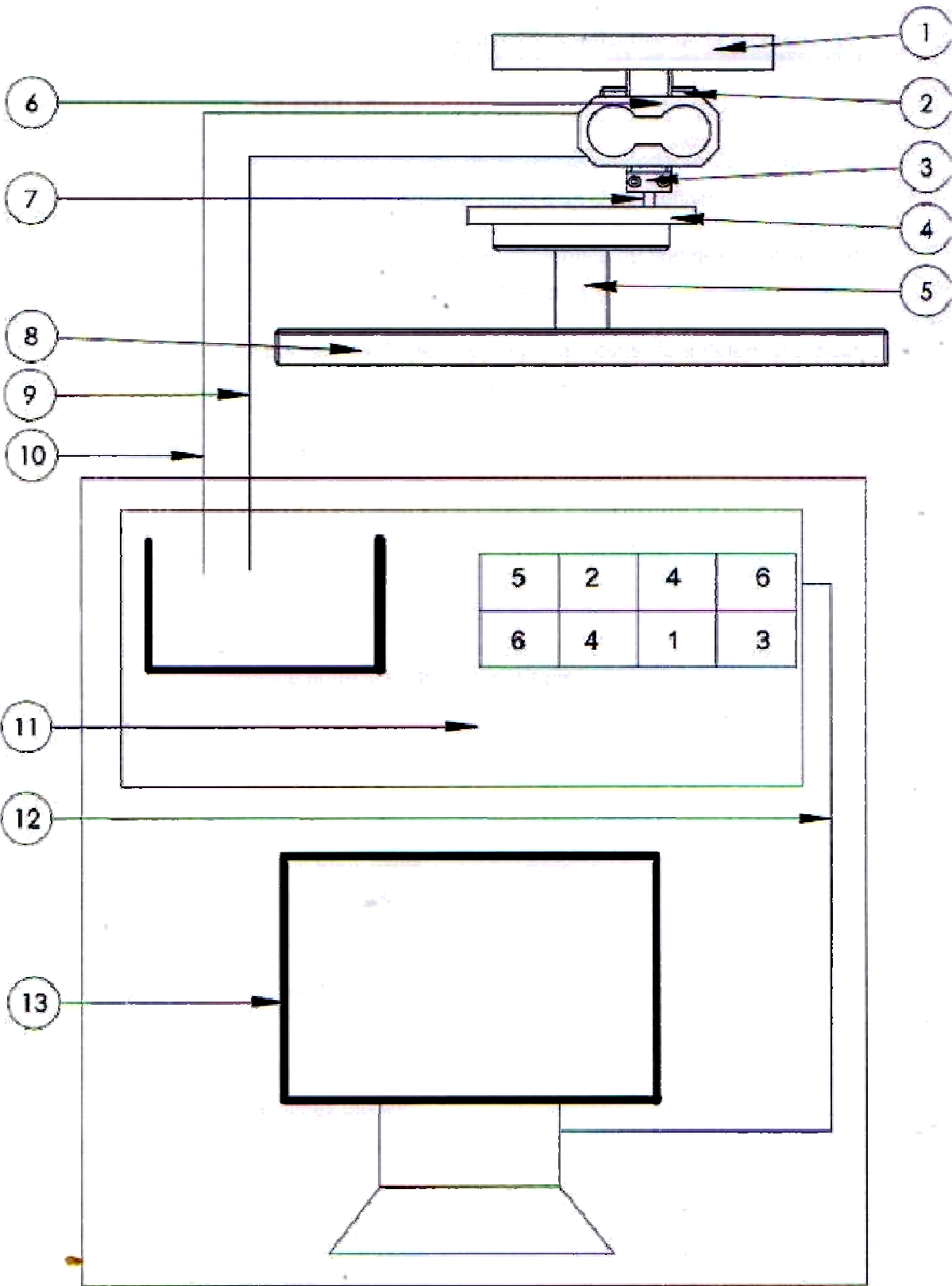


Figure 31 : Mesure des données

II- Capteur de forces :

II.1. Premier capteur

Pour ce capteur, on utilise deux ponts à quatre jauges qui sont fixées sur son corps d'une manière à ce que l'effort normal n'aura pas d'influence sur la mesure de l'effort tangentiel et vis versa.

La figure suivante illustre la disposition des jauges sur l'élément capteur :

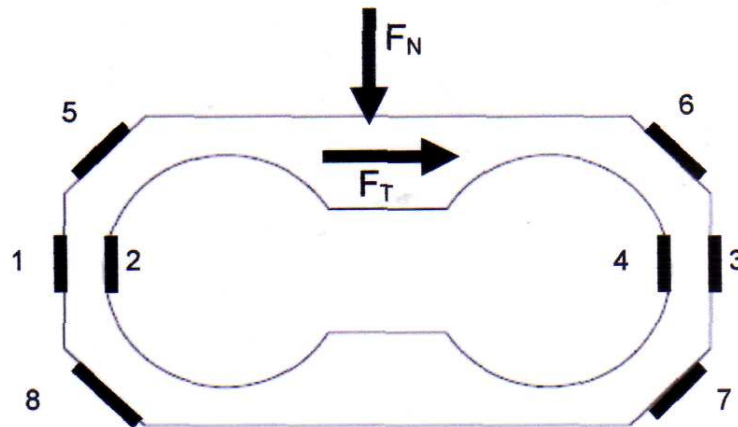


Fig.6: la disposition des jauges sur le premier capteur

* Les jauges utilisées pour mesurer l'effort normal sont ; 1, 2, 3 et 4. Sous l'effet de l'effort normal F_N , les jauges 1 et 3 vont se dilater, alors que les jauges 2 et 4 se compriment.

* Les jauges utilisées pour mesurer l'effort tangentiel sont ; 5, 6, 7 et 8. Sous l'effet de l'effort tangentiel F_T , les jauges 6 et 8 vont se dilater, alors que les jauges 5 et 7 se compriment.

II.2. Deuxième capteur :

Dans cette solution, on utilise deux demi-points, l'un mesure l'effort normal et l'autre mesure l'effort tangentiel.

Les quatre jauges sont fixées sur le corps du capteur d'une façon à ce que l'effort normal n'aura pas d'influence sur la mesure de l'effort tangentiel et vis

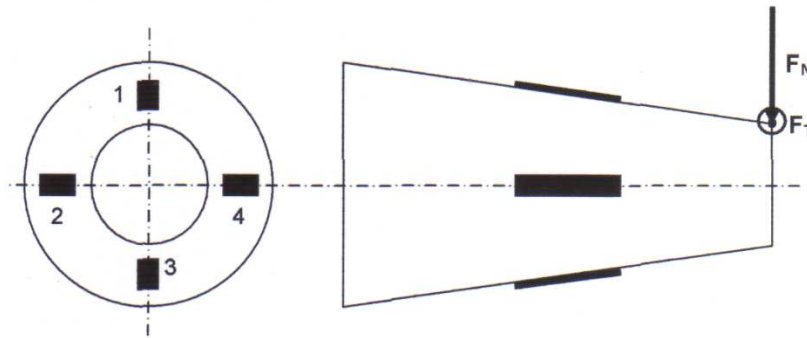


fig.7.la disposition des jauges sur le deuxième capteur

* Les jauges utilisées pour mesurer l'effort normal sont 1 et 3. Sous l'effet de l'effort normal F_N , la jauge 3 se dilate, alors que la jauge 1 se comprime.

* Les jauges utilisées pour mesurer l'effort tangentiel sont 2 et 4. Sous l'effet de l'effort tangentiel F_T , la jauge 4 se dilate, alors que la jauge 2 se comprime.

Afin de beaucoup plus fragiliser le capteur et d'avoir des résultats précis nous avons opté pour le capteur suivant :

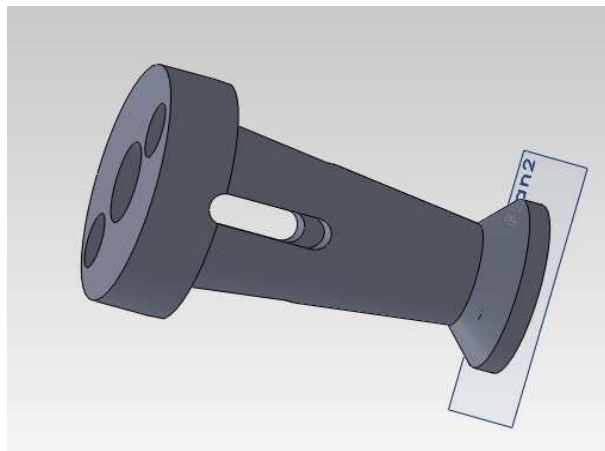
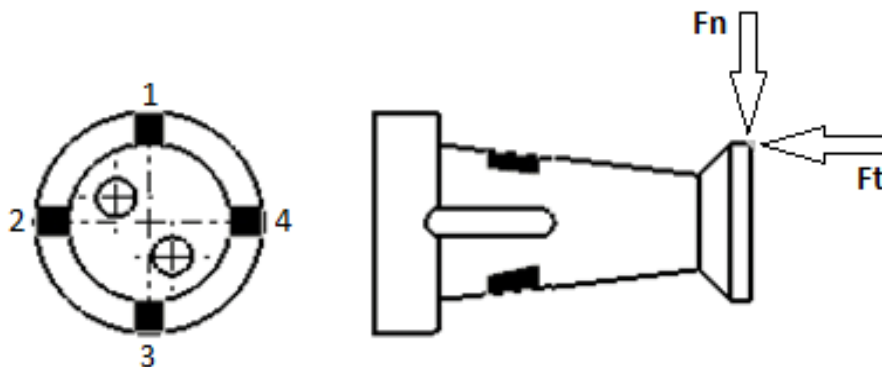


Fig. 26 : le capteur réalisé

III. Réalisation

Introduction :

Le laboratoire existe depuis 1980 et possède un équipement qui fonctionne jusqu'à ce jour grâce à un bon entretien du personnel technique du hall et du département de génie mécanique ;le laboratoire vielle à ce que les étudiants suivent un excellent parcours et d'avoir un baguage solide pour leur avenir. Ce qui est notre cas.

Au cours de notre parcours dans LMSE nous avons suivi plusieurs opérations pour réaliser toutes les pièces constituant notre dispositif.

Ce qui concerne la vitesse de coupe nous avons fait appel à la formule suivante :

$$V_c = \frac{\pi DN}{1000}$$

Avec :

N: nombre de tours par minute

D : le diamètre de la pièce

III-1 choix des matériaux :

Le choix des matériaux est très important soit pour faciliter notre réalisation soit de permettre au laboratoire d'avoir un bon dispositif qui repend au besoin des étudiants et d'une longue durée.

Les matériaux utilisés sont les suivants :

A60 : qui est un acier d'usage général dont la résistance à la traction est de 600MPa ;

XC48 : acier de construction non allié pour traitements thermiques.

Z200 : acier fortement allié.

42CD4 : acier faiblement allié.

Alliage d'aluminium.

Bronze

III.2-les opérations suivies :

Les principales opérations de mise en forme sont :

- Le découpage
- Le tournage
- Le fraisage
- Le perçage
- Le soudage

III.3.Le mode opératoire

Après la réalisation du banc et l'étalonnage du capteur, son mode opératoire est le suivant :

1. Vérifier la mise à niveau du banc
2. Fixer la poutre de guidage en haut à l'aide d'une vis, afin de travailler dans de bonnes conditions
3. Fixer le disque sur la broche à l'aide d'une couronne et trois vis de fixation.
4. Fixer le pion sur le porte pion à l'aide de deux vis de fixation
5. Choisir et fixer la piste d'essai en tournant le volant
6. Libérer la poutre de guidage pour descendre
7. Réaliser l'équilibre à l'aide du contre poids
8. Mettre en marche le moteur et choisir une vitesse de rotation
9. Mettre en marche la chaîne d'acquisition des données
10. Poser les masses sur le dispositif de chargement

Conclusion :

Au cours de la réalisation de ces opérations, nous avons appris à manipuler ces machines, même avec les difficultés que nous avons eues, nous n'avons pas hésité à enrichir nos connaissances.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Pour étudier le frottement, il faut non seulement posséder de grandes connaissances scientifiques, mais aussi de posséder du matériel indispensable, des machines d'essais spécialisées, appareils de mesures, d'observation ou d'analyse de toutes sortes.

Parmi ces appareils : un tribomètre pion sur disque, l'étudier et le réaliser était l'objet de notre thème de projet de fin d'étude.

Grâce à cette réalisation, nous avons mis en pratique toutes nos connaissances requises tout au long de notre cursus universitaire, et aujourd'hui nous pouvons dire en toute fierté que nous partons de l'université MMTO avec un bagage solide et avec une expérience pratique dans la plus part des procédés de fabrication de pièces aussi nous familiariser au logiciel SolidWorks, ce qui représentera sans doute un atout considérable dans notre future vie professionnelle.

De nombreuses difficultés ont été rencontrées tout au long de l'exécution de ce travail, mais nous avons su nous affranchir et mettre à la disposition des chercheurs du LMSE et des étudiants de GENIE MECANIQUE, non seulement un dispositif qui est un tribomètre pion sur disque mais aussi un nouveau capteur avec une nouvelle forme comme moyen d'étude expérimentale dans le domaine de la tribologie.

Avec les modifications que nous avons apportées à la conception remise à savoir le surdimensionnement des pièces et quelques changements apportés aux solutions proposées par nos camarades de la promotion 2010, nous espérons avoir atteint l'objectif assigné.

Enfin, nous souhaitons bon courage à ceux qui vont valider ce tribomètre, et nous sommes disponibles pour toutes suggestions permettant l'amélioration de ce dispositif.

Bibliographie

Bibliographie

[1] : La tribologie – Approche physique du frottement

Lydéric Bocquet

Université Lyon 1- IUF

lyderic.bocquet@univ-lyon1.fr

<http://lpmcn.univ-lyon1.fr/~lbocquet>

[2] : Introduction à la Tribologie Module C11-4

Documents d'accompagnement du cours / I

[4] : « Conception d'un dynamomètre destiné à mesurer le coefficient de frottement sec dans des conditions dynamiques »

L. Faure(*), S. Philippon (**), A. Lodygowski (***), G. Voyiadjis (***),

A. Rusinek (**), P. Chevrier(**) and E. Dossou (*)

[5] : MANE Hend et MEZDAD Samir « Utilisation de la méthode d'analyse de la valeur d'amélioration pour la conception d'un tribomètre »

[6] : Microsoft encarta2009

[7] : ABDELHAMID Salim & TAGUENITESTANE Madjid << Mise au point et validation d'un tribomètre pion sur disque >> thèse d'ingénieur, Université M.MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2008.

[8] : GILLES PETITET << Contribution à la compréhension des mécanismes élémentaires d'usure douce des élastomères charges réticules>> thèse doctorat, Ecole centrale de Lyon, 2003.

[9] : Olivier BARRAU << Étude du frottement et de l'usure d'acier à outils de travail à chaud >> Thèse de doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2004.

[10] : Internet : <http://fr.wikipedia.org>

<http://fr.wikibooks.org>

<http://www.encyclopedie-enligne.com>

<http://www.yopdf.com> <http://www.osun.org>

[11] : Eric Feyder « étude expérimentale.mecanique du contact »

[12] : ELHADI ABDELMALEK «INFLUENCE DES PARAMETRES MECANIKES LORS DE L'ENDOMMAGEMENT PAR LES PHENOMENES TRIBOLOGIQUES DES COUPLES DES MATERIAUX XC48/XC55 ET A60/XC55 » Université Med Boudiaf de M'silla Département de Génie Mécanique

[13] : « Application des données tribologiques des matériaux » par Mathias WOYDT
Diplômé en Métallurgie