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'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Construction Mécanique

Thème

Etude, conception et analyse de fabrication d'un tribomètre à disque

Proposé et dirigé par :

Mr DJERIDI Rachid

Réalisé par :

Mr OUDNI Mohamed

Member de jury

Mr DJEBAILI Said

Mr BELDI Mustapha

Promotion : 2018/2019

Remerciement

Je remercie avent tout le bon dieu de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour finir ce travail.

Je tiens à remercier mon promoteur Mr.Djeridi pour son aide, le temps qu'il a consacré pour moi et son orientation et encadrement et surtout pour sa patience tout au long de ce travail.

Je suis aussi a reconnaissant à tout les enseignants qui ont contribué à ma réussite.

Je remercie également les membres de jury qui feront l'honneur de juger mon travail, d'apporter leurs réflexions suggestions scientifiques.

Mes remercîments les plus chaleureux s'adressent à ma familles et surtout mes parents qui sont la source de cette réussite et qui m'ont soutenu et encourager pour aller ou bout de ce travail.

Mes dernier remerciement s'adressent à tout ceux qui ont contribué de prés ou de loin a la réalisation de ce travail.

Dédicace

«En vérité, le Chemin importe peu, la volonté d'arriver suffit à tout».

Albert Camus.

On dédie ce modeste travail de fin d'étude à :

Ceux qu'on aime le plus au monde, ***a mis très chers parents*** *qui nous ont apporté leur soutien, dans les moments difficiles avec un tant d'amour et d'affection et qui ont souffert sans se plaindre afin qu'on atteigne ce niveau, que le bon Dieu leur accorde une longue vie.*

A la mémoire de ***KH.L***

A toute ***ma famille****, qui nous ont toujours encouragés et soutenu dans les moments les plus durs, on vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, vous protège et vous garde.*

A mes ***chers Amis****, pour leurs aides sans limites et leurs présences permanentes, à nos côtés, leurs soutiens et compréhension, que Dieu le tout puissant les protège et les gardent.*

OUDNI Mohamed

Sommaire

Liste des figues

Liste des tableaux

Liste des symboles

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur la tribologie

I. Introduction : 2

I.1 La tribologie : 2

I.2 La surface de contact 3

I.2.1 Définition : 3

I.3 Mode de contact 3

I.4 L'usure 4

I.4.1 Les différents types d'usure 4

I.4.1.1 Usure par adhésion 4

I.4.1.2 L'usure par abrasive 5

I.4.1.3 Usure par fatigue 6

I.4.1.4 Usure par réaction tribochimique 6

I.4.1.5 Usure par corrosion 7

I.4.2 Paramètres influençant l'usure 7

I.4.2.1 La température 7

I.4.2.2 La vitesse 8

I.4.2.3 La charge 8

I.4.3 Lois d'usure 8

I.5 Le frottement 9

I.5.1 Types de frottement 9

I.5.1.1 Frottement de pivotement : 9

I.5.1.2 Frottement de roulement : 10

I.5.1.3 Le frottement de glissement : 10

I.5.2 Le frottement statique et dynamique 11

I.5.2.1 Le frottement statique 11

I.5.2.2 Le frottement dynamique (cinématique) 11

I.5.2.3 Loi de frottement 12
I.6 Lubrifiant 12
I.7 Tribomètre et configuration de contact 12
I.8 Revue de quelques tribomètres 13
I.8.1 Tribomètre de type pion-disque 13
I.8.2 Tribomètre à contact linéique de type cylindre-plan ou disque-disque 18
I.8.3 Tribomètre Bille-Plan 21
I.9 Bilan sur les tribomètres spécifiques existants 21
I.10 Conclusion 22

Chapitre II: Etude et conception d'un tribomètre à disque

II. Introduction 23
II.1 FAST descriptif du tribomètre : 23
II.2 Les contraintes 24
II.3 Les solutions préliminaires 24
II.3.1 Génération de mouvement 24
II.3.2 Le système fonctionne comme suit 25
II.3.3 Nomenclature du dispositif 26
II.3.4 Principe de fonctionnement 28
II.3.5 Schéma technologique 29
II.4 Les cotations fonctionnelles 30
II.4.1 Le but de cotation fonctionnelle 31
II.4.2 Calcul de la chaine de cote 31
II.4.3 Le critère de localisation 31
II.4.4 Condition de montage 32
II.4.5 Choix du matériau 33
II.5 Calcul les réactions d'appui 34
II.6 Dimensionnement de l'arbre de transmission 37
II.6.1 Tensions dans les brins de la courroie 37
II.6.2 Détermination des réactions d'appuis 41
II.6.3 Calcul des efforts internes 42
II.6.4 Moment de torsion de l'arbre de transmission 45
II.7 Choix des roulements 46
II.7.1 Roulement au palier B : 46

II.7.1.1 Calcule de la charge dynamique équivalente PB 46
II.7.1.2 Calcul de la durée de vie du roulement au palier B 47
La durée de vie en million de tours : 47
La durée de vie en heures 48
Calcul de rapport de transmission 48
II.7.2 Roulement au palier C : 49
II.7.2.1 Calcul de la charge dynamique équivalente PC 49
II.7.2.2 Calcule de la durée de vie du roulement au palier C 49
II.7.2.2.1 La durée de vie en million de tours 49
II.7.2.2.2 La durée de vie en heures 50
II.7.2.3 Calcul de la vitesse maximale de rotation 50
II.7.2.4 Pour le roulement au palier B 50
II.8 Extensomètre 51
II.8.1 Introduction 51
II.8.2 Principe des jauges 52
II.8.3 Principaux types de jauges 53
II.8.4 Le pont de Wheatstone 53
II.8.5 Les différentes configurations du pont de Wheatstone 54
II.8.5.1 Montage en quart de pont 54
II.8.5.2 Montage en demi-point : Dans ce cas deus jauges est actif 54
II.8.5.3 Montage en pont complet 54
II.8.6 Equilibre de pont de Wheatstone 55
II.8.6.1 Collage des jauges 55
II.8.6.2 Quelques types de jauge de contraintes 56
II.9 Conclusion 56

ChapitreIII: Analyse de fabrication d'un tribomètre à disque

III. Introduction 57
III.1 Les machines 57
III.1.1 Fraisage 57
III.1.2 Les outils de fraisage 58
III.2 Le perçage : 58
III.3 Le tournage 59
III.3.1 Les différents outils de tournage : 59

Sommaire

III.4 Contrôle de la position de la pièce par rapport à l'outil 60
III.4.1 Référentiel : 60
III.5 Etude de l'isostatisme 61
III.5.1 Mise en position de la pièce 61
III.5.2 Principe 61
III.6 Les différentes cotes de fabrication 61
III.6.1 Repérage des surfaces 62
III.6.2 Le graphe de liaison 62
III.6.2.1 Les contraintes dimensionnelles 62
III.6.2.2 Les tolérances géométriques 63
III.6.2.3 Contraintes technologiques 63
III.6.2.4 Les contraintes économiques 63
III.7 Définition des opérations élémentaires 63
III.8 Gamme d'usinage 65
III.8.1 Analyse d'un dessin de définition 66
III.8.2 Phase et sous-phase 66
III.8.3 Rôle de la gamme d'usinage 66
III.8.4 Comment rédiger la gamme d'usinage : 66
Conclusion générale 81

Liste des Figures

Figure I.1 : Différents modes de contact. 4
Figure I.2: Conséquence d'usure par adhésion 5
Figure I.3: Conséquence d'usure par abrasion 6
Figure I.4 : Conséquence d'usure par fatigue..... 6
Figure I.5 : Conséquence d'usure par Corrosion..... 7
Figure I.6 : frottement de pivotement..... 10
Figure I.7 : frottement de roulement. 10
Figure I.8 : frottement glissement. 11
Figure I.9 : nature de contacte (a) contact ouvert, (b) contacte fermé. 13
Figure I.10 : Banc d'essai pour étudie l'usure des matériaux d'outillage de forgeage 14
Figure I.11 : Schéma de principe du tribomètre pion-disque du. 16
Figure I.12 : Tribomètre développée par [13] vus générale et prise de frottement. 18
Figure I.13 : Configuration galet/piste du tribomètre développé par. 19
Figure I.14 : Architecture du tribomètre développé par. 20
Figure I.15 : Image du tribomètre Bille – Plan. 21
Figure II.1 : FAST descriptif du tribomètre. 23
Figure II.2 : Moteur électrique. 24
Figure II.3 : Tribomètre a disque 3D. 25
Figure II.4 : Tribomètre a disque..... 26
Figure II.5 : Arbre de transmission. 28
Figure II.6 : Schéma technologique du tribomètre à disque. 29
Figure II.7 : Les jeux de fonctionnement pour l'arbre de transmission 30
Figure II.8 : la localisation entre deux trous éloignés 31
Figure II.9 : montage de deux pièces a deux axes éloignés 32
Figure II.10 : Dessin de définition des pièces le symbole M signifie que les tolérances de localisation mentionnée qui été calculées à l'état maximal de matière..... 33
Figure II.11 : Les réactions d'appui de la poutre porte poids..... 34
Figure II.12 : Diagramme des efforts tranchants..... 35
Figure II.13 : Diagramme des moments fléchissant. 35
Figure II.14 : Diagramme effort tranchant. 37
Figure II.15 : Diagramme des moments fléchissant. 37
Figure II.16 : transmission par courroie. 38
Figure II.17 : Représentation des efforts et réactions d'appuis. 41
Figure II.18 : Représentation des efforts et réaction d'appuis. 42
Figure II.19 : Représentation des efforts interne dans le1ertronçon..... 42
Figure II.20 Représentation des efforts interne dans le 2er tronçon. 43
Figure II.21 : Représentation des efforts interne dans le 3er tronçon..... 44
Figure II.22 : Diagramme des efforts. 45
Figure II.23 : Roulement à bielles 46
Figure II.24: schéma d'une jauge de contrainte 52
Figure II.25 : Principe de la jauge de contrainte 52
Figure II.26 : le pont de Wheatstone 53
Figure II.27 : Montage en en quart de pont 54
Figure II.28 : Montage en demi-pont 54

Liste des Figures

Figure II.29 : Montage pont complet 55
Figure II.30 : Schématisation d'une jauge collée sur une structure 55
Figure II.31: type de jauge 56
Figure III.1 : les défirent position d'usinage 58
Figure III.2 : fraiseuse a axe verticale 58
Figure III.3 : Tour conventionnel 59
Figure III.4 : les outils de tournage 59
Figure III.5 : représentation des axes sur les machines. 60
Figure III.6 : les 6 degré de liberté de la pièce à usine. 61
Figure III.7: graphe logique de la méthode développée 67

Liste des tableaux

Tableau I-1: Caractéristiques de tribomètre pion-disque de Bramley 1989 15
Tableau I-2 : Caractéristiques du tribomètre pion disque du Vergne 2001..... 17
Tableau I-3 : Caractéristiques du tribomètre pion disque Marouane Marzouki 2005. 18
Tableau I-4 : Caractéristiques du tribomètre disque cylindre Sallit 2000..... 19
Tableau I-5 : Caractéristiques du tribomètre Inman et al 2008..... 20
Tableau I-6 : Récapitulation sur les tribomètres présentés. 22
Tableau II-1:Propriétés mécaniques de l'acier X40. 34
Tableau II-2 : Propriétés mécaniques de 34CrMo4..... 34
Tableau II-3: Propriétés mécaniques d'Acier Z200C12. 34
Tableau III-1 : Le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, la qualité et de la rugosité..... 64
Tableau III-2 : Tableau des tolérances géométriques..... 65

Liste des symboles

Liste des symboles

N : Charge normale appliquée [N]

V : Vitesse de glissement [m/s]

T : Température [°C]

μs : Coefficient de frottement statique (sans dimension)

μd : Coefficient de frottement dynamique (sans dimension

μ, f : Coefficient de frottement

ΔV : Volume arraché

K : Coefficient d'usure,

Fn : charge appliquée [N],

L : Distance de glissement [mm]

H : Dureté du matériau le plus tendre dans le contact

N_X : effort normal [N]

T_Y : l'effort tranchant [N]

M_Z : moment fléchissant [N.mm]

$\mathcal{T}$: effort tangentielle [N]

ω : Vitesse de rotation de l'arbre menant,

d: Diamètre de la roue menée [mm],

A : entraxe [mm]

i: Rapport de transmission si on néglige le glissement

ε : Coefficient de glissement relatif

P: Puissance en (Watt)

V: Vitesse linière en (m/s)

α : Angle en [rad]

g : La gravité [kg/m]

Z : La tension de courroie [N]

L_{tr} : La durée de vie en [million de tours]

L_h : La durée de vie en [heures]

N_{max} : La vitesse maximale de rotation du roulement en [Tr/min]

Introduction générale

Introduction générale

La tribologie s'intéresse aux contacts des surfaces en interaction statique ou dynamique, au frottement, à l'usure et à la lubrification. Elle a été officialisée en 1967 par un comité de (l'Organisation pour la coopération et le développement économique) qui a été, en quelque sorte, un précurseur du développement durable.

L'usure est l'une des causes de la destruction des matériaux et des pertes de performances mécaniques des équipements. Toute réduction de l'usure peut conduire non seulement à des économies importantes de matière, mais également contribuer à la protection de l'environnement en limitant les émissions de particules contenant des éléments nocifs.

Le frottement de son coté, est l'une des principales causes d'usure et de dissipation d'énergie dans les systèmes mécaniques. Une meilleure maitrise du frottement peut permettre des économies importantes d'énergie.

La lubrification est l'un des moyens les plus efficaces actuellement connue pour réduire le frottement et contrôler l'usure. Elle consiste à créer entre les surfaces en mouvement un film mince (entre 0,1 et 100 µm) de gaz, liquide, ou solide. Ce film assurera la séparation des surfaces et facilitera le mouvement en dépensant moins d'énergie possible et en prévenant les endommagements.

La tribologie est encore une science qui s'appuie largement sur des résultats de simulation en laboratoire, avec des équipements qui coûtent chers. C'est dans le but de disposer d'une machine adéquate à l'étude de ces matériaux que nous sommes lancés dans la conception d'un tribomètre à disque.

Le travail élaboré dans ce mémoire est composé de trois chapitres, le premier fait l'objet d'une présentation des généralités sur la tribologie en présentant quelques phénomènes de frottement et d'usure au contact de deux surfaces en mouvement. Le deuxième chapitre traitera de l'étude et de la conception d'un tribomètre avec l'ensemble des opérations de fabrication en passant par sa conception et sa réalisation. Dans ce chapitre on doit être capable de dimensionner les éléments, choisir les matériaux ainsi que la méthode de fabrication la plus efficace et la plus économique. Le dernier chapitre traite de l'analyse de fabrication du tribomètre à disque.

Chapitre I

Généralités sur la tribologie

I. Introduction :

D'une manière générale, en ingénierie mécanique, on observe que le choix des matériaux pour réaliser un composant est souvent orienté par des considérations qui n'ont pas ou peut avoir avec la tribologie.

- Les propriétés mécaniques, électriques ou magnétique ;
- La résistance à la corrosion ;
- Le poids, le cout.

Ces données sont, le plus souvent le souci prioritaire des concepteurs, qui s'attachent davantage aux propriétés volumiques des matériaux qu'aux propriétés surfaciques. Il est vrai que les informations concernant les propriétés volumiques sont beaucoup plus accessibles que les propriétés tribologiques, qui ne peuvent généralement pas s'exprimer par des valeurs ou des relations simples et dépendent largement des applications des conditions d'utilisation.

I.1 La tribologie :

La tribologie englobe le frottement, l'usure et la lubrification entredeux pièces en mouvement relatif. On définit un tribo-système comme deux ou plusieurs surfaces en contact, et qui interagissent suivent les paramètres suivants :

- Les paramètres mécaniques **(**la vitesse et la nature du contact, ainsi que le mode de mouvement).
- Les paramètres intrinsèques du matériau **(**la composition chimique, la résistance a la rupture, la limite élastique, la dureté).
- Le paramètre environnement qui met en évidence (l'influence conjuguée de la température, de l'humidité, ainsi que l'agressivité chimique).
- La surface : les matériaux mis en jeu, la topographie (rugosité) et la géométrie de contact.
- Sollicitation de contact : charge, vitesse et température.
- L'ambiance : c'est-a-dire l'environnement et la lubrification.
- Le mode déplacement.

La tribologie intéresse tous les domaines d'activités. L'univers qui nous entoure 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 trouve aussi bien dans les articulations humaines que dans celle des satellites ; en micromécanique que 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. C'est donc une préoccupation permanente et universelle. [1]

I.2 La surface de contact

I.2.1 Définition :

En tribologie, la surface ne se limite pas uniquement à la notion d'aire d'appuis des corps, mais concerne plus généralement les éléments du contact qui influent sur le frottement, c'est-à-dire sur les contraintes mécaniques, les températures et lubrifiant, débris d'usure. Ces éléments sont les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des matériaux en présence, les caractéristiques géométriques incluent, par extension, la forme des pièces. [2]

I.3 Mode de contact

Il s'agit de définir la nature et la géométrie du contact (Figure I.1). Ces informations participeront en particulier à l'évaluation du champ de contraintes imposé au contact. Elles permettront aussi d'avoir une première idée sur les modes de lubrification à mettre en œuvre par nature du contact. La géométrie du contact caractérise la forme des surfaces qui limitent les solides au voisinage de la zone de contact. On constate que l'ensemble des contacts que l'on rencontre en génie mécanique peut se regrouper en trois grandes familles :

- Les contacts de types ponctuels (typiquement sphère/plan) ;
- Les contacts linéiques (typiquement cylindre/plant) ;
- Les contacts surfaciques (typiquement parallélépipède/plan).

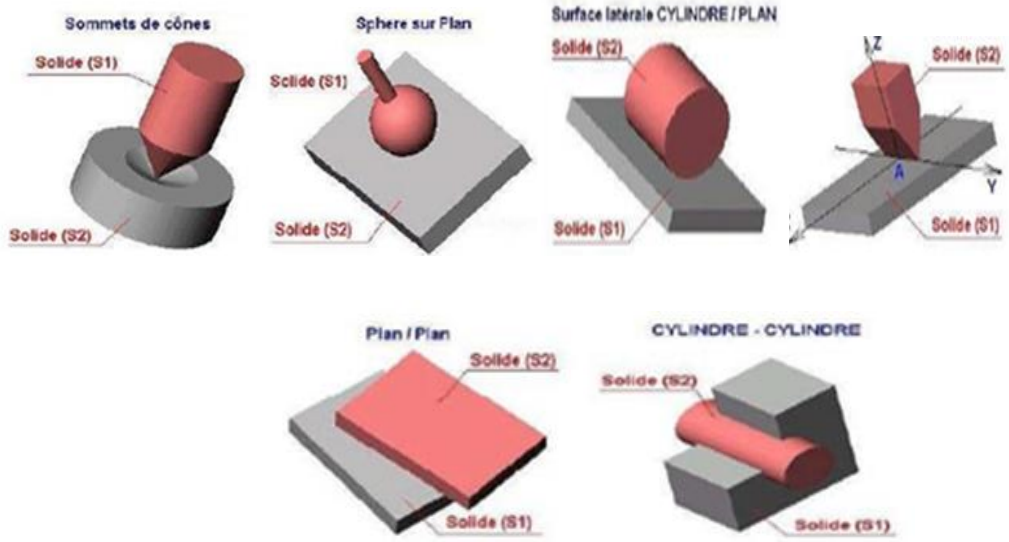


Figure I.1 : Différents modes de contact.

I.4 L'usure

L'usure représente le processus de perte de matière de la surface des deux éléments du contact à la suite d'un mouvement relatif. Quelques fois, les pertes ne sont pas progressives mais se déclenchent après un certain nombre de cycle de sollicitations (comme par exemple dans l'usure par fatigue). Les types d'usure peuvent être classés comme suit [3]:

- Usure par adhésion,
- Usure par abrasion,
- Usure par fatigue,
- Usure par corrosion,
- Usure par réaction tribochimique.

I.4.1 Les différents types d'usure

I.4.1.1 Usure par adhésion

C'est le type le plus couramment rencontré, le matériau d'une pièce est transféré et solidement soudé par l'autre. Les pièces peuvent être immobilisées par grippage. En effet, lorsque les deux surfaces sont en mouvement relative, l'énergie dissipée par frottement, alliés aux très fortes pressions ponctuelles suffit pour provoquer un écoulement plastique localisé du métal et souder les aspérités en contact. Les deux surfaces dénudées adhérent soit par solubilité et diffusion, on dit alors qu'il y a soudure chaud, soit par absorption : c'est la soudure froide.

Figure I.2: Conséquence d'usure par adhésion

I.4.1.2 L'usure par abrasive

L'usure abrasive se définit comme la perte progressive du matériau à sa surface par action mécanique d'un abrasif. Les surfaces présentent des sillons de profondeurs variables, parallèles au déplacement. Le volume des débris croit linéairement avec la charge appliquée et la distance parcourue. Les particules arrachées de la pièce la plus tendre peuvent être transférées mécaniquement sur la plus dure mais sans y adhérer très solidement. On distingue deux configurations principales : l'abrasion à deux corps et l'abrasion à trois corps.

- L'abrasion à deux corps, dans laquelle la pièce la plus dur lime (râpe) la plus tendre.
- L'abrasion à trois corps, dans laquelle des éléments plus durs que les deux pièces s'incrustent dans la pièce la moins dure,

L'aspect des sillons fournit de précieuses indications :

- S'ils sont brillants et très peu profonds, les aspérités de la pièce antagoniste en racle les couches d'oxydes.
- S'ils sont isolés, et brusquement interrompus, les particules dures introduites entre les surfaces se sont plus moins incrustées.
- S'ils sont ininterrompus et rayent la pièce dure, des particules abrasives sont enchâsses dans la pièce tendre.
- S'ils sont ininterrompus et marquent la pièce tendre ; la pièce antagoniste plus dur est trop rugueuse.

Figure I.3: Conséquence d'usure par abrasion

I.4.1.3 Usure par fatigue

C'est la rupture du matériau due à des contraintes répétées exercée par des irrégularités sur la surface .L'usure par fatigue est lente et habituellement masquée par l'abrasion ou l'adhésion, induite par le frottement de roulement ou de roulement avec glissement sous fortes charges répétées, on la rencontre essentiellement dans les engrenages et les roulements dont elle constitue le mode normal de destruction. Il existe cependant un certain nombre de manifestations extérieures qui permettent, dans certains cas un suivi des pièces en service. L'apparition de fissures s'amorçant en sous-couche ou en surface, en des sites qu'il n'est pas toujours facile de prévoir. Ces fissures aboutissent à termes de piqures ou écaillages qui peuvent nuire gravement au fonctionnement du système et même engager un processus divergent aboutissant à une rupture catastrophique. Les endommagements dus à la fatigue de contact peuvent être répartis en deux familles suivant leurs causes principales : fatigue d'origine mécanique et fatigue d'origine thermique.

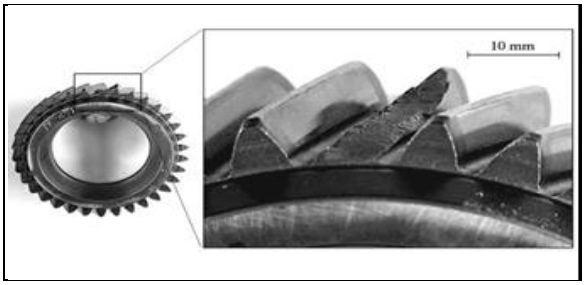


Figure I.4 : Conséquence d'usure par fatigue

I.4.1.4 Usure par réaction tribochimique

En présence d'un environnement réactif, du fait des pressions et des températures élevées imposées au contact, des réactions entre l'environnement et le matériau constituant la surface peuvent se produire. Elles sont essentiellement de trois types :

- Réaction chimiques des métaux constituant les surfaces avec l'oxygène produisant une couche d'oxyde qui limite l'ampleur du contact métallique si elle est suffisamment adhérente et résistante pour les sollicitations mécaniques.
- Oxydation de débris mécanique dans certaines conditions de frottement.
- Cette couche protectrice peut se fragmenter et se détruire sous l'action des contraintes mécaniques ou par fatigue superficielle et donner naissance à des débris.

I.4.1.5 Usure par corrosion

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. 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 [3].

Figure I.5 : Conséquence d'usure par Corrosion.

I.4.2 Paramètres influençant l'usure

Le phénomène d'usure dépend de quelques paramètres qui influencent, on distingue :

I.4.2.1 La température

La température favorise les réactions inter-faciales et au-delà d'un certain seuil déclenche des mécanismes fluage et de diffusion qui augmentent fortement le risque de création de liaison

étendues pouvant conduire au grippage, pour prendre en compte l'effet de la température, on se réfère généralement à la température de fusion des matériaux Tf.

Celle-ci caractérise la cohésion des matériaux comme l'énergie superficielle ou la plupart des caractéristiques mécaniques et intervient donc comme paramètre de référence pour évaluer l'influence de ces propriétés. Pour un choix des matériaux dans les applications à haute température, on utilise les conclusions suivantes:

- L'adhésion d'un matériel sur lui-même devient conséquente à partir de 0,3 a à' Tf.
- Les oxydes ont une température critique d'adhésion supérieure à celle des métaux : 0,45Tf <Ta<0,65Tf.
- Les couples oxydes/métal adhérent à une température intermédiaire entre celle des couples métal/métal : 0,4Tf<Ta<0,65Tf

I.4.2.2 La vitesse

L'effet principal de la vitesse est d'agir sur la température superficielle, la température maximale atteinte étant celle du métal ayant plus bas point de fusion. Si la charge faible n'entraine pas de destruction immédiate, cet accroissement de température en surface.

I.4.2.3 La charge

Il existe une charge critique au-delà de laquelle l'usure croit considérablement sous faible charge, le volume usé est sensiblement proportionnel à la charge, l'augmentation de la charge de traduit d'abord par un accroissement du nombre de points de contact, et ensuite par accroissement de la taille des jonctions [4].

I.4.3 Lois d'usure

A notre connaissance, le premier travail sur l'usure date du XVIII siècle. Il concernait la perte de poids des pièces de monnaies anglaises. Ce n'est qu'en 1953, que la loi d'Archad tente de relier la vitesse d'usure avec la vitesse de glissement et les caractéristiques mécaniques de l'un des corps en contact. Cette loi utilisée suggère que le taux d'usure par adhésion à sec exprimé en pertes de volume ΔV (ou de mass) par unité de distance parcourue est exprimé par la relation d'Archad suivante:

$$\Delta V = K.\ Fn/H.L$$

Avec : ΔV : Volume arraché, H : Dureté du matériau le plus tendre dans le contact, K : Coefficient d'usure, Fn : charge appliquée, L : Distance de glissement et

I.5 Le frottement

I.5.1 Définition

Le frottement désigne les phénomènes qui naissent dans les zones superficielles deux corps s'appuyant l'un sur l'autre en se déplaçant l'un par rapport à l'autre.

La science des frottements (tribologie) est compliquée par le fait que les frottements ne sont pas dus une interaction élémentaire mais résultent de causes diverses, principalement des forces électromagnétique et de l'interface d'échange entre les atomes des surfaces en contact. Dans la majorité des cas, le frottement peut intervenir :

- Entre deux solides et on parle alors (frottement sec).
- Enter un solides et un fluide et on parle alors de (frottement visqueux).

On distingue deux types de frottement, le frottement statique et le frottement dynamique.

Les frottements interviennent dans la grande majorité des phénomènes de la vie courant. Ils sont parfois exploités (par exemple pour le freinage le sciage, le polissage, le lavage,…etc,). Le frottement a des conséquences fâcheuses et nous sommes en général conscients de ces inconvénients : source d'usure, perte d'énergie et de rendement, gaspillage de matière première, échauffement,… etc. Un frottement correct dans une liaison mécanique est lorsque le déplacement relatif n'entraine ni usure exagérée ni modification des structures ou élévation de température dommageable [5].

I.5.1 Types de frottement

I.5.1.1 Frottement de pivotement :

Il se passe quand un point donné de solide A coïncide avec un point donné de solide antagoniste 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 (Q est la charge normale).

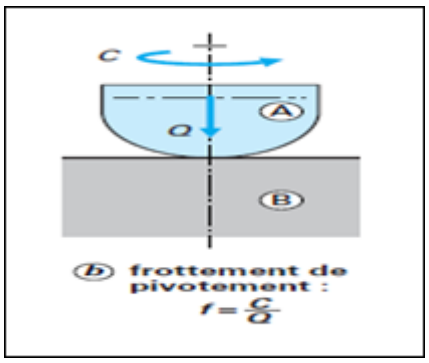


Figure I.6 : frottement de pivotement.

I.5.1.2 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.

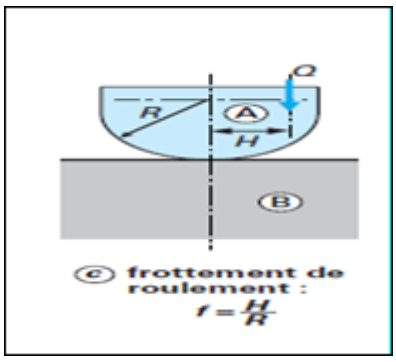


Figure I.7 : frottement de roulement.

I.5.1.3 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. Sa loi inspirée de ses expériences fut oubliée pendant deux siècles, avant d'être découverte par Amontons vers 1700, puis par Coulomb vers 1800.

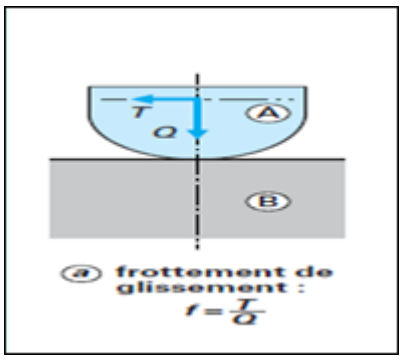


Figure I.8 : frottement glissement.

I.5.2 Le frottement statique et dynamique

I.5.2.1 Le frottement statique

Le frottement statique est une force qui tend à garder un corps en état (une force FFS qui empêche un mouvement de démarrer) apparent du corps et du coefficient de frottement statique 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 ce dernier [6].

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

$$f_c \leq \mu_s \, N$$

I.5.2.2 Le frottement dynamique (cinématique)

Le frottement cinématique 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 par rapport à l'autre). L'importance du frottement cinématique varie en fonction du coefficient de frottement cinématique qui, tout comme le coefficient de frottement statique, varie selon le type de matériaux en contact, et le poids apparent du corps en mouvement [7].

Mathématiquement, le frottement cinétique f_c est égal au coefficient de frottement cinématique multiplié par la charge Q $f_c=\mu_c \, Q$

I.5.2.3 Loi 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 [8].

I.6 Lubrifiant

La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettent de réduire le frottement et l'usure entre deux éléments en contact sont en mouvement l'un par rapport a l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion.

Pour atteindre ces objectifs, on sépare les surfaces en mouvement par un matériau intermédiaire dont la propriété principale est d'avoir une résistance au cisaillement faible ; on substitue au frottement direct entre les corps solide le frottement interne dans ce corps intermédiaire. En général, on classe les lubrifiants en trois grandes catégories :

- Les poudres sèches (solides) ;
- Les graisses (pâteuses ou semi-liquides) ;
- Les huiles (liquide).

Leurs rôles sont multiples :

- Diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie ;
- Eliminer les impuretés et les débris d'usure ;
- Transmettre de l'énergie ou de la chaleur ;
- Amélioré l'état de surface des pièces usinées.

I.7 Tribomètre et configuration de contact

Un tribomètre est un banc d'essai dédié à l'étude du comportement tribologique entre deux corps frottant et en mouvement relatif, en tenant compte des interactions du système tribologique. Ainsi, en laboratoire, le tribomètre constituent les dispositifs mécaniques qui différent généralement des mécanismes concernés par l'application étudiées. Parmi les

configurations expérimentales, la nature de contact est un paramètre particulièrement important. On distingue :

- Les contacts ouverts ou l'une de surface de frottement n'est pas en permanence en contact avec la seconde (figure I.9.a).
- Les contacts fermés ou les deux surfaces frottent en recyclant la même piste de frottement (figure I.9.b) [9].

Selon les objectives expérimentaux, le contact ouvert ont présenté plus d'avantages que le contact fermé : il permet une meilleure évacuation des débris d'usure, favorises la réactivité des surfaces ainsi que leurs refroidissement [10]. Plusieurs configuration de contact exploites dont les principales sont

- Le contact ponctuel (sphère /sphère, sphère/plan,…est.).
- Le contact linéaire (cylindre/plan).
- Le contact surfacique (plan/plan, rotule /plan,…etc.).
- Le contact conforme (cylindre/cylindre) ou contact formel (cylindre dans cylindre creux).

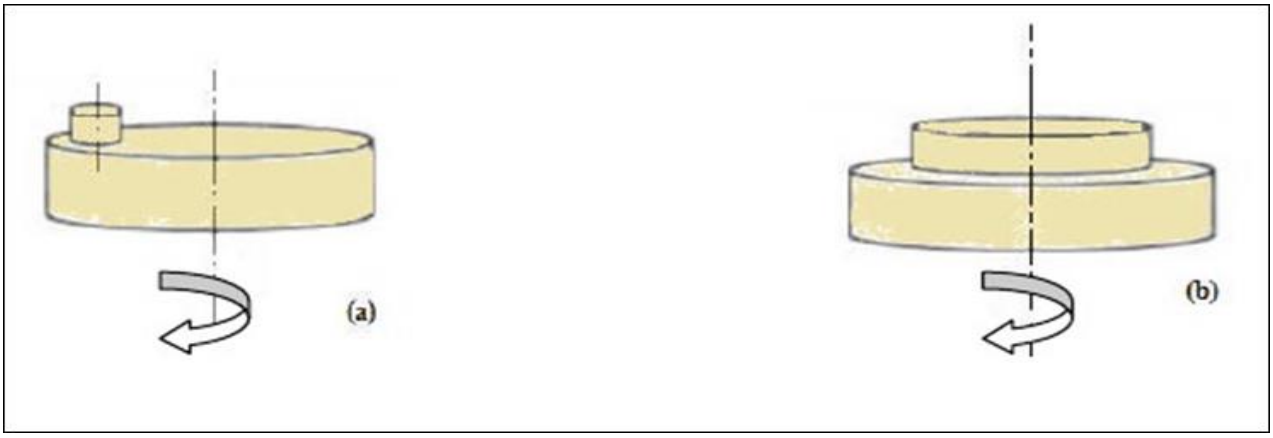


Figure I.9 : Nature de contact (a) contact ouvert, (b) contact fermé.

I.8 Revue de quelques tribomètres

I.8.1 Tribomètre de type pion-disque

Ce type tribomètre est le plus utilisé dans l'étude des problèmes tribologiques. La configuration du contact est le plus souvent un pion fixe qui frotte sur un disque entrainé en rotation. La forme de la partie frottant du pion peut varier (hémisphérique, surface plane). La

sollicitation thermique du contact est généralement obtenue par un chauffage du disque. Le chargement mécanique s'effectue par l'usage du poids mort appliquées le pion ou par la compression d'un ressort et la mesure de la force de frottement est fournie par un capteur de force [9].

A titre d'exemple, la (figure I.10) présente le principe d'un tribomètre utilisé par Bramley 1989 [11]. Il s'agit de l'adaptation et de l'instrumentation d'un tour dans une configuration pion (fixe) disque (tournant) dans le but d'optimiser le choix de lubrifiants et déterminer des lois est monté sur les mors du tour. Le pion est monté sur le porte-outil. Il est testé pour différentes muances de matériaux. Le contact adopté est ouvert. Les caractéristiques de ce tribomètre sont résumées dans le (Tableau I.1).

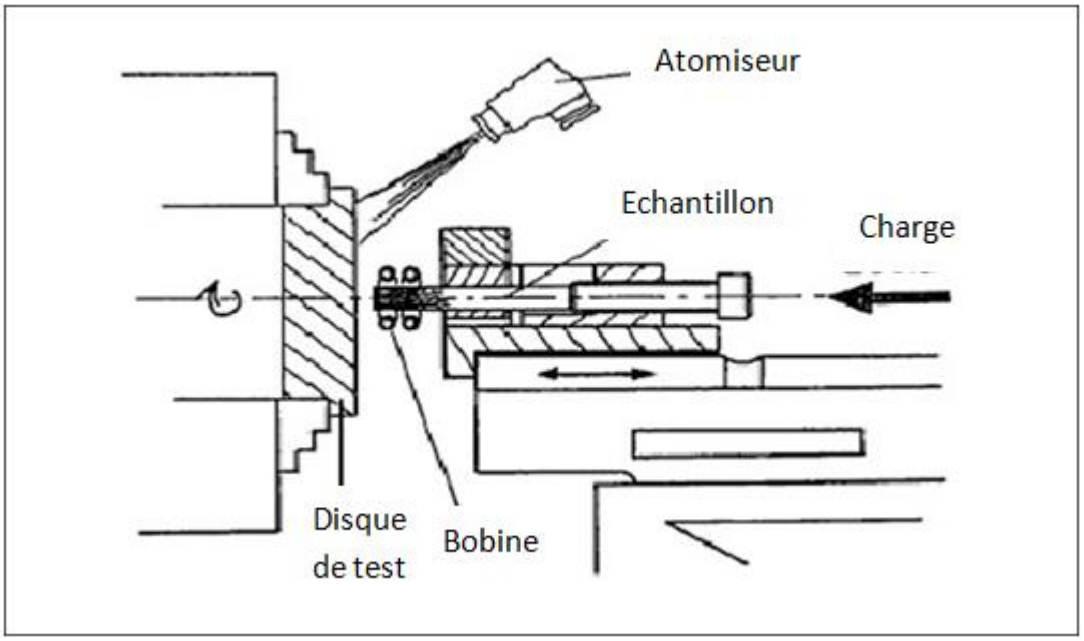


Figure I.10 : Banc d'essai pour étudie l'usure des matériaux d'outillage de forgeage Bramley 1989.

Condition opératoire	Ambiance	Chauffage par indication Température de l'essai 20a 100C
	Contact	Ouvert avec lubrification
	Mouvement	Circulaire
	Vitesse de la broche	De 10 à 300 tr :min
	Chargement normale	0,25 a 40N a chaud 0,25a 100N a 20C
Meures	Force normal et tangentiel Porte de masse du disque	

Tableau I-1: Caractéristiques de tribomètre pion-disque de Bramley 1989.

Le centre de Recherche Outillages, Matériaux et Procédés (CROMP) en France a Développé un tribomètre en choisissant le même type de contact par vergene 2001 [12]. Le tribomètre est utilisé Pour simuler n'importe quel type de procédé, en particulier le matriçage à chaud. Il n'est pas destiné à reproduire les efforts engendrés pendant une opération de forgeage, mais à retrouver les mêmes mécanismes de dégradations que ceux observés sur les outillages. Le pion, de forme hémisphérique avec un rayon de courbure de 20 mm, représente l'outil et est maintenu à température ambiante. Par contre, le disque, représentant le matériau à mettre en forme, est porté à haute température. L'homogénéité de la température à la surface du disque a été vérifiée par le positionnement de thermocouples sur toute la longueur du diamètre.

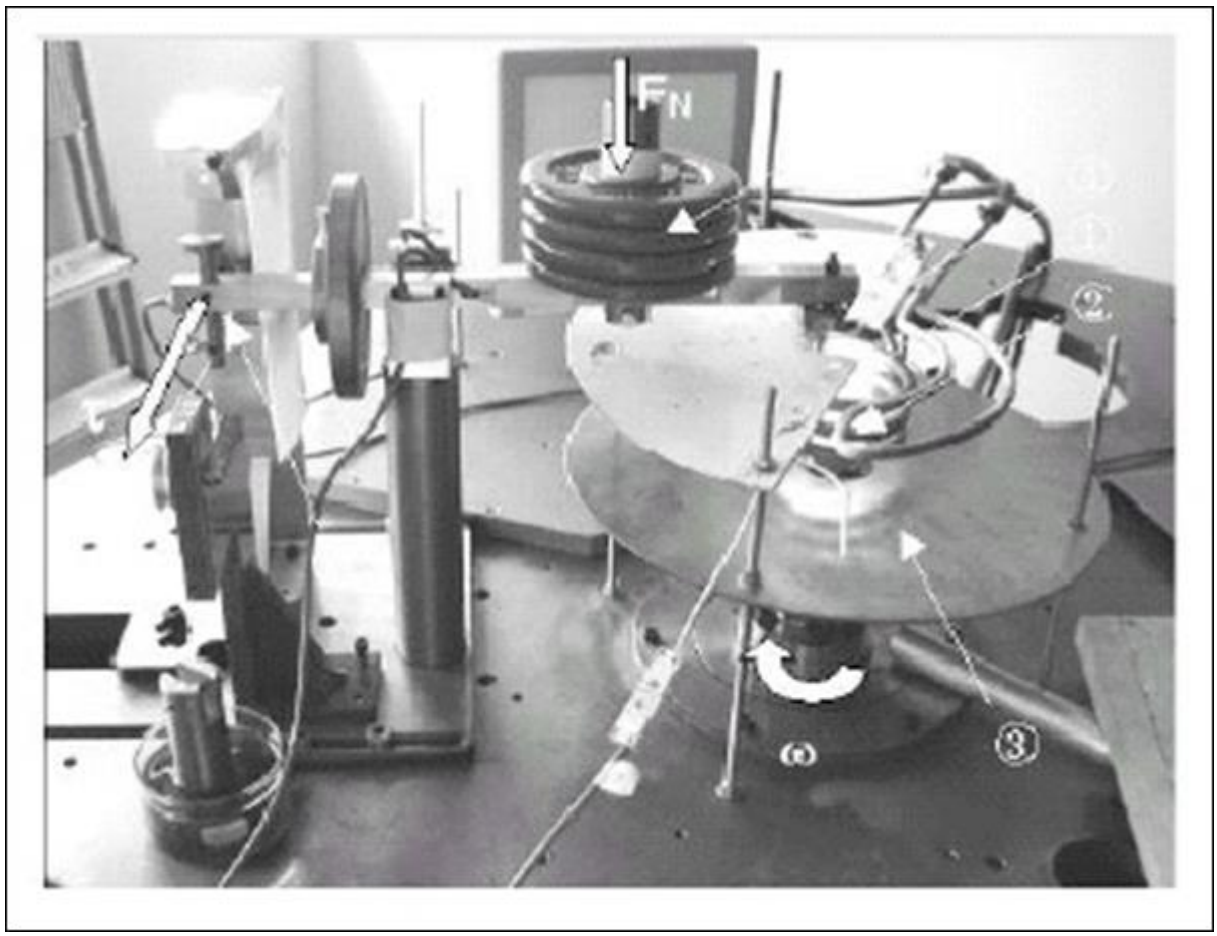


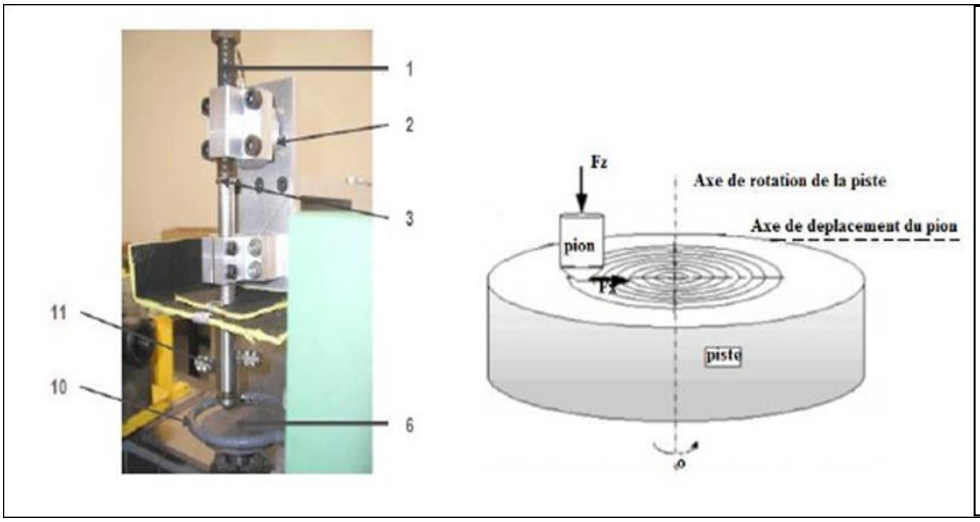
Figure I.11 : Schéma de principe du tribomètre pion-disque du Vergne 2001.

Pour étudier le couplage entre fatigue thermique et usure, Vergne a mené des essais de frottement sur des éprouvettes préalablement fatiguées. Le principe consiste à chauffer une éprouvette tubulaire par une spire d'induction. Les pions ont subi 7500 cycles de fatigue thermique. Un cycle de fatigue thermique correspond à 1,2 secondes de chauffage jusqu'à 650°C, puis un refroidissement à 100°C pendant 17 secondes. Les éprouvettes issues du banc de fatigue thermique sont constituées d'un cylindre creux de diamètre extérieur 30 mm et le diamètre intérieur de 10 mm permettant la circulation d'eau nécessaire au refroidissement. Les caractéristiques globales de l'ensemble des bancs sont données dans le (Tableau I.2).

Condition opératoire	Ambiance	Air du laboratoire Chauffage par induction Température de l'essai 20a 100C
	Contact	Ponctuel: pion à extrémité hémisphérique Linéaire : pion cylindrique des éprouvettes de fatigue thermique. Plan : pion a extrémité de pion
	Mouvement	Circulaire
	Fréquence de rotation	De 10 à 300 tr /min
	Chargement normale	0,25 a 40N a chaud, 0,25a 100N a 20C
Mesures	Effort résistante Déplacement verticale du bras porte pion Température du disque et de pion	

Tableau I-2 : Caractéristiques du tribomètre pion disque du Vergne 2001.

Un dernière exemple de tribomètre de type pion- disque est celui développé par Marouane Marzouki[13]. Ce tribomètre possède une configuration plan-plan sans lubrification que représente le contact entre l'outil et le flan. L'originalité réside dans le renouvellement continuel de la surface de contact avec le disque. Le pion mené en translation rectiligne à l'aide d'un actionneur linéaire. Le disque est une tôle que reprisent le produit a mette en forme. Il est chauffé à l'aide d'une spire a inductions et entrainé en rotation par un moteur électrique asynchrone (figure I.12). La trajectoire du contact du forme spirale d'Archimède est donnée la (figure I.12). Elle est obtenue grâce à un asservissement de la vitesse de rotation de la piste en fonction de la position du pion. La surface de contact avec le disque est donc ainsi continuellement renouvelée au cours de l'essai. La force normale est mesurée par un capteur de compression, la force tangentielle est mesurée par un couple-mètre. Les caractéristiques globales du Banc sont résumées dans le (Tableau I.3).



1) Système de chargement

2) Capteur effort de frottement,

3) Capteur effort normale,

4) Piste,

10) Prise a induction,

11) porte pion.

Figure I.12 : Tribomètre développée par Marouane Marzouki 2005 vus générale et prise de frottement**.**

Condition opératoire	Ambiance	Chauffage du disque par induction et refroidissement du pion par circulation d'eau Température de l'essai de 4OOa 700°C
	Contact	Ouvert de type plan-plan
	Mouvement	Circulaire à trajectoire de spirale Sollicitation continue du pion
	Vitesse de glissement	Evalue de 25 à 100mm/s au cours d'un essai
	Chargement normale	
Mesures	Effort normal Couple résistif	

Tableau I-3 : Caractéristiques du tribomètre pion disque Marouane Marzouki 2005.

I.8.2 Tribomètre à contact linéique de type cylindre-plan ou disque-disque

Par rapport aux tribomètres de type pion - disque, la configuration de contact de type cylindre-plan présente l'avantage d'une ligne de contact qui reste invariable au fur et à mesure de l'essai. Le mouvement entre les corps antagonistes est du glissement pur. Pour étudier l'usure de l'acier40CrMoV13 préchauffé dans la plage de température 700- 850°C, un tribomètre de configuration disque - disque dont les axes de rotation sont perpendiculaires est

conçu (Figure I.13) Sallit 2000 [10]. L'étude concerne l'effet de la température et le rôle des couches d'oxydes sur le comportement tribologique du matériau des matrices de forage. Le dispositif permet, d'une part de considérer la synergie facteur thermique de dégradation, tels que l'usure a chaud ou la fatigue thermique. Il est constitué d'un galet frotteur (Acier 40Cr Mo V13) et d'un cylindre chaud (Acier au carbone C35E) simulant respectivement l'outil et le produit. Le cylindre chauffé par induction est maintenu en rotation durant les essais. Un capteur de force permet d'enregistre la force tangentielle, à partir de laquelle est détermine le coefficient de frottement. Le taux d'usure est mesuré par la variation de masse du galet au cours du test. Les caractéristiques globales du banc sont résumées dans le (Tableau I.4).

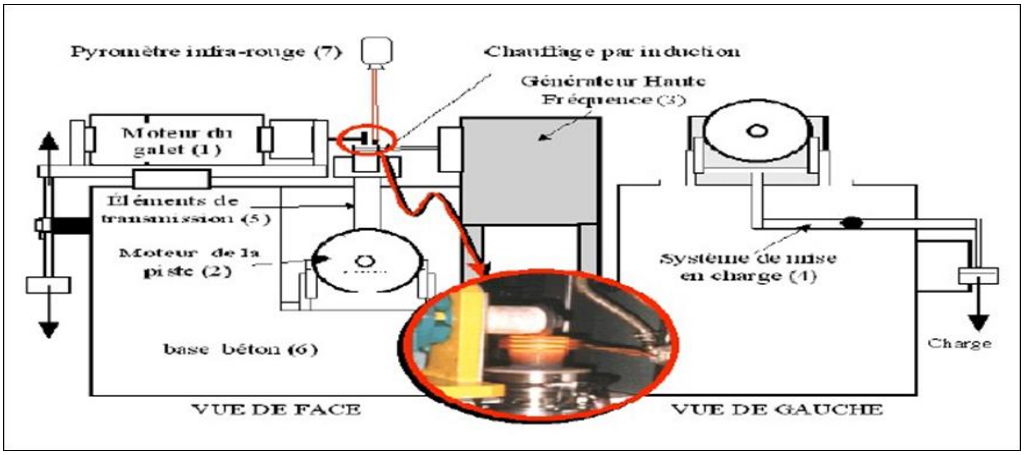


Figure I.13 : Configuration galet/piste du tribomètre développé par Sallit 2000 [10].

Condition opératoire	Ambiance	Chauffage par induction Température de l'essai de l'ambiante 1200°C
	Contact	Linière
	Mouvement	Circulaire Sollicitation continue du disque
	Vitesse de glissement	Evalue de 25 à 100mm/s cours d'un essai
	Chargement normale	
Mesures	Parte de masse de galet Force normal et tangentielle Température de surface par pyrométrie	

Tableau I-4 : Caractéristiques du tribomètre disque cylindre Sallit 2000.

Un second exemple est le tribomètre développé par Inman dans une configuration de contact cylindre-plan, figure I-12 [14]. Il est destiné à l'étude de l'usure oxydante d'outils de

mise en forme à chaud. Le cylindre et le plan sont maintenus tous les deux dans un four résistif. L'essai est réalisé à une température constante avec une charge constante. Le cylindre est entrainé en rotation, le plan à un mouvement de translation linéaire. Les caractéristiques générales du banc sont données par le (Tableau I.5).

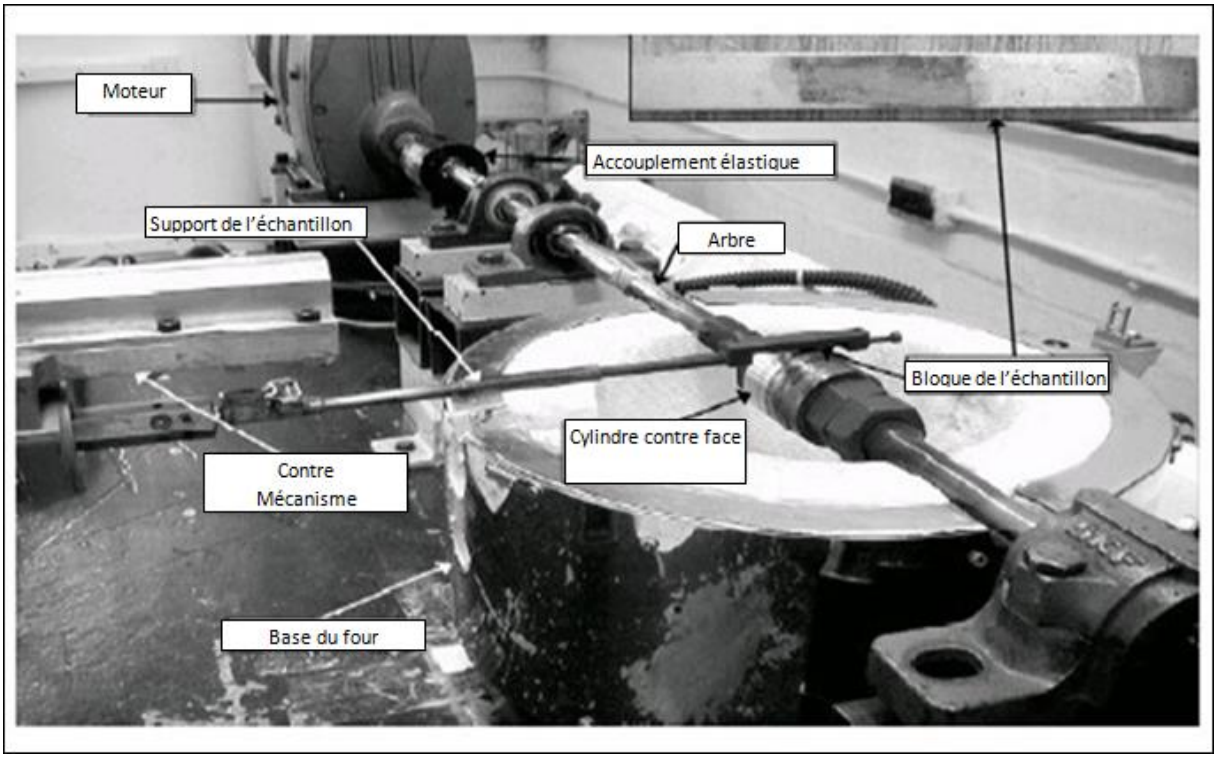


Figure I.14 : Architecture du tribomètre développé par Inman et al 2008.

Condition opératoire	Ambiance	Chauffage par induction Température de l'essai 600°C
	Contact	Plant : pion à bout plan
	Mouvement	Rotation du cylindre et linaire réciproque du plan sollicitation continue du plan
	Vitesse de glissement	0,340m/s
	Chargement normale	Charge constant 7N
Mesures	Couple résistif Déplacement Température de cylindre	

Tableau I-5 : Caractéristiques du tribomètre Inman et al 2008**.**

I.8.3 Tribomètre Bille-Plan

Comme un dernier exemple de tribomètre est celui présenté sur la (Figure I.15) Ce tribomètre est utilisé pour l'étude l'usure des élastomères. Le frottement est réalisé à l'aide d'un indenter sphérique (bille). Le disque d'élastomère est mis en rotation à l'aide d'un moteur piloté par un modeleur directement contrôlé par un programme spécifique. La bille étant excentrée du centre de rotation à un diamètre constant, une vitesse de glissement (Vg) est alors associée à chaque vitesse de rotation imposée (ω). Le frottement correspond à glissement pur cyclique [15].

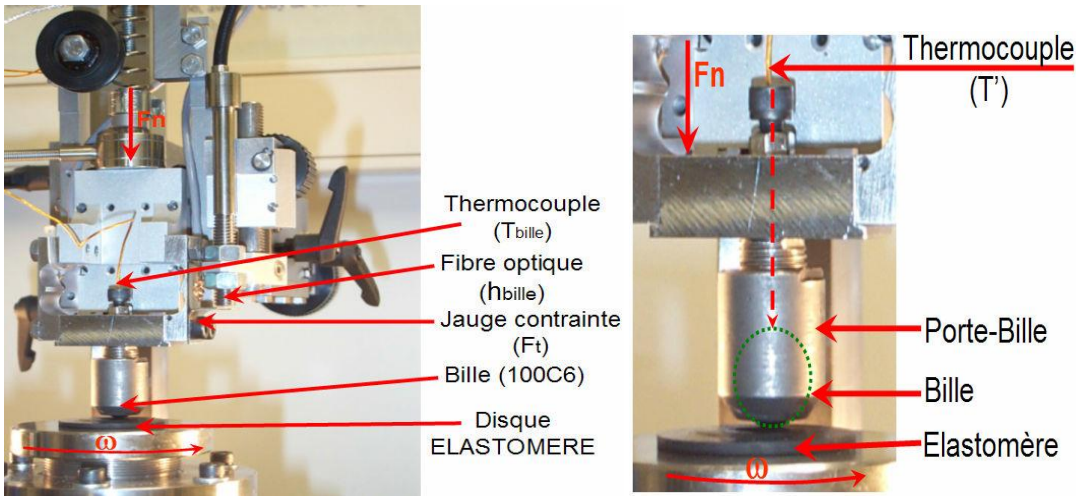


Figure I.15 : Image du tribomètre Bille – Plan.

I.9 Bilan sur les tribomètres spécifiques existants

Cette présentation montre que chaque tribomètre a été réalisé spécifiquement dans le cadre d'études du comportement tribologique d'outils en visant des objectifs d'études bien définis, notamment vis-à-vis des couplages entre la tribologie, la thermique, la fatigue et la physicochimie. Parmi les configurations présentées, chacune a résolu un problème propre : production des vitesses de glissement très élevées, interaction entre la fatigue thermique, le frottement et l'usure, prise en compte de l'effet de l'environnement et renouvellement en permanence de la surface de contact (Tableau I.6). Chaque configuration correspond à une simplification de la configuration de contact et des sollicitations rencontrées en mise en forme et certaines limitations vis-à-vis de la représentativité du procédé industriel.

Référence	Domain d'utilisation	Originalités
Bramley	Forgeage	Essais de frottement à grande vitesse avec lubrification du contact
sallit2001	Moulage, forgeage, laminage	essais de fatigue thermique et/ou tribologique
Vergne2001	Matriçage	Essais tribologique sur pion préalablement fatigue par un cylindre thermique
Inman et al	Laminage	Essais de frottement avec maintien des oxydes dans le contact
Marouane Marzouki 2005	Emboutissage	Essai de frottement avec contact et renouvellement permanent de la surface de frottement

Tableau I-6 : Récapitulation sur les tribomètres présentés

I.10 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 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 associes au tribomètre et cela pour répondre aux exigences de l'expérimentateur.

Chapitre II

Etude et conception d'un tribomètre à disque

II. Introduction

Dans ce chapitre basé sur l'étude de l'ensemble des opérations de conception de tribomètre, on trouvera invariablement une machine ou un système mécanique indispensable à son fonctionnement. L'ingénieur en conception de systèmes mécaniques définit l'architecteur du produit, réalise la conception technique. Il est capable de dimensionner les éléments, puis l'ensemble, de choisir les matériaux et les méthodes de fabrication les plus efficaces et économiques. Il dispose des connaissances nécessaires pour calculer, prédire, simuler et analyser le comportement du système conçu.

II.1 FAST (fonction analyse système technique)descriptif du tribomètre :

Un tribomètre est un appareil utilisé dans des laboratoires de recherche pour réaliser les essais d'usure

L'essai tribologique d'un couple de matériaux au contact doit être réalisé en fixant les différents paramètres tribologiques et en assurant le mouvement de glissement à la surface de contact. La vitesse de glissement variable d'un essai à un autre. Le frottement est caractérisé par un coefficient, appelé coefficient de frottement, à enregistrer. Cet enregistrement passe par la mesure de l'effort tangentiel développée à la surface de contact. En effet, ce coefficient est déterminé comme rapport entre l'effort tangentiel T, et l'effort normal N (effort de pression).

Les différentes fonctions techniques de notre tribomètre sont données par le FAST descriptif suivant

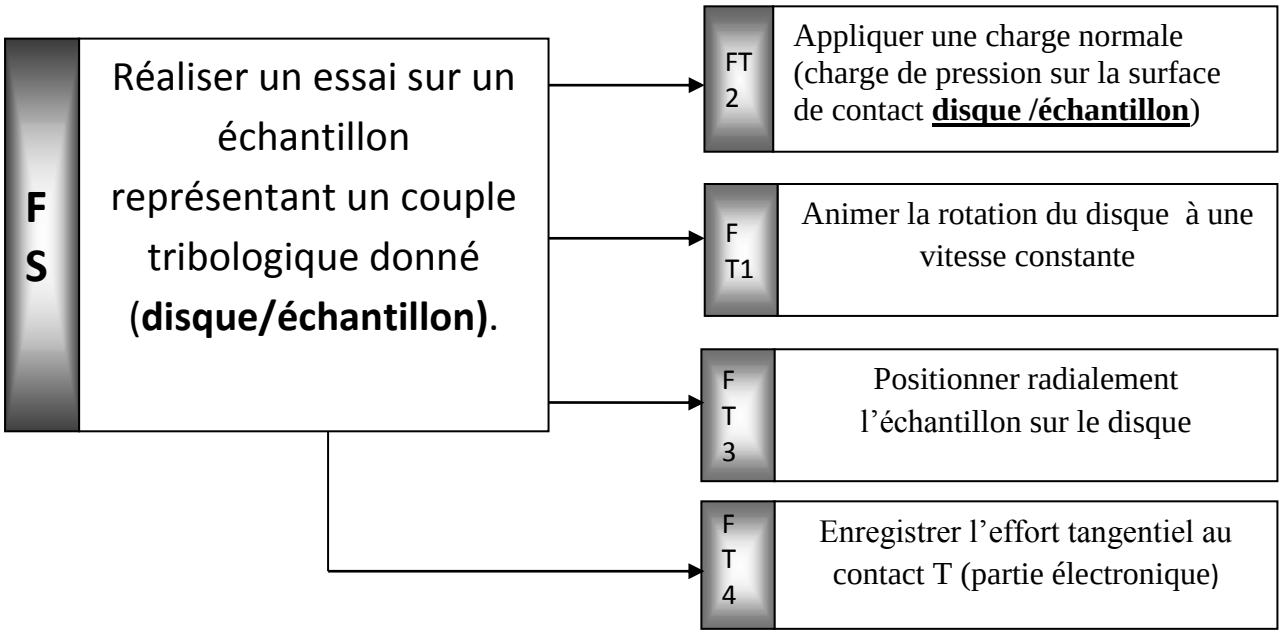


Figure II.1 : FAST (fonction analyse système technique) descriptif du tribomètre.

La description générale des fonctions techniques FT1, FT2 et FT3 est obtenue par la représentation de schéma cinématique du tribomètre (Figure II.1). Sur ce schéma, on montre les multiples liaisons entres les pièces essentielles qui constituent l'appareil. Les fonctions techniques sont, donc, obtenues par la conception des pièces et la réalisation des liaisons mécaniques entre ces pièces.

II.2 Les contraintes

La réalisation d'une telle machine impose certaines contraintes, leurs principale cause est de répondre aux exigences, et de faire un compromis entre les moyens matériels existants dans notre université et ces exigences.

D'une autre part, il faut toujours tenir compte de deux paramètres qui influencent la reproductivité du tribomètre conçu, et qui sont :

- Chercher à minimiser le cout
- Simplifier la conception

II.3 Les solutions préliminaires

II.3.1 Génération de mouvement

Le moteur est de type asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault. Il génère un mouvement rotatif avec une vitesse de rotation constante (1420 tr/mn) et une puissance nominale de 2800W. [16]

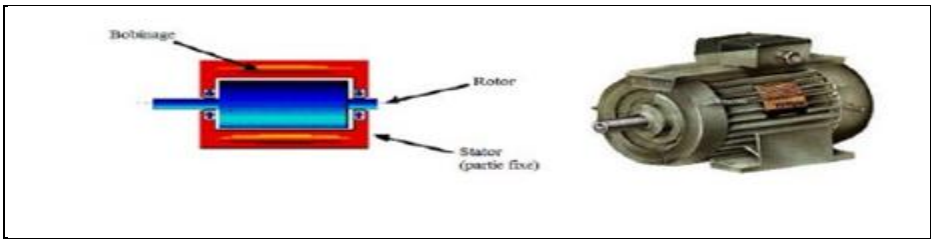


Figure II.2 : Moteur électrique.

II.4 Le système fonctionne comme suit

Le moteur électrique (26) donné un mouvement de rotation à l'arbre de transmission par le système poulie courroie au disque (10) de diamètre 300 mm, d'épaisseur 10 mm .ce dernier fixée sur l'arbre de transmission (11) avec un boulon.

La force normale est appliquée grâce à un système de chargement des masses porte poids (7) accrochées sur la barre port poids (6), cet élément est guidé en translation par un chariot (3)posé sur son support (2).ce chariot guidé par deux barre guide (5).la position de porte échantillon (28) réglée par un mouvement de translation du chariot en utilise la manivelle (8).Le mouvement de rotation de manivelle transformée en mouvement de translation au chariot système vis (4) écrou(3) .

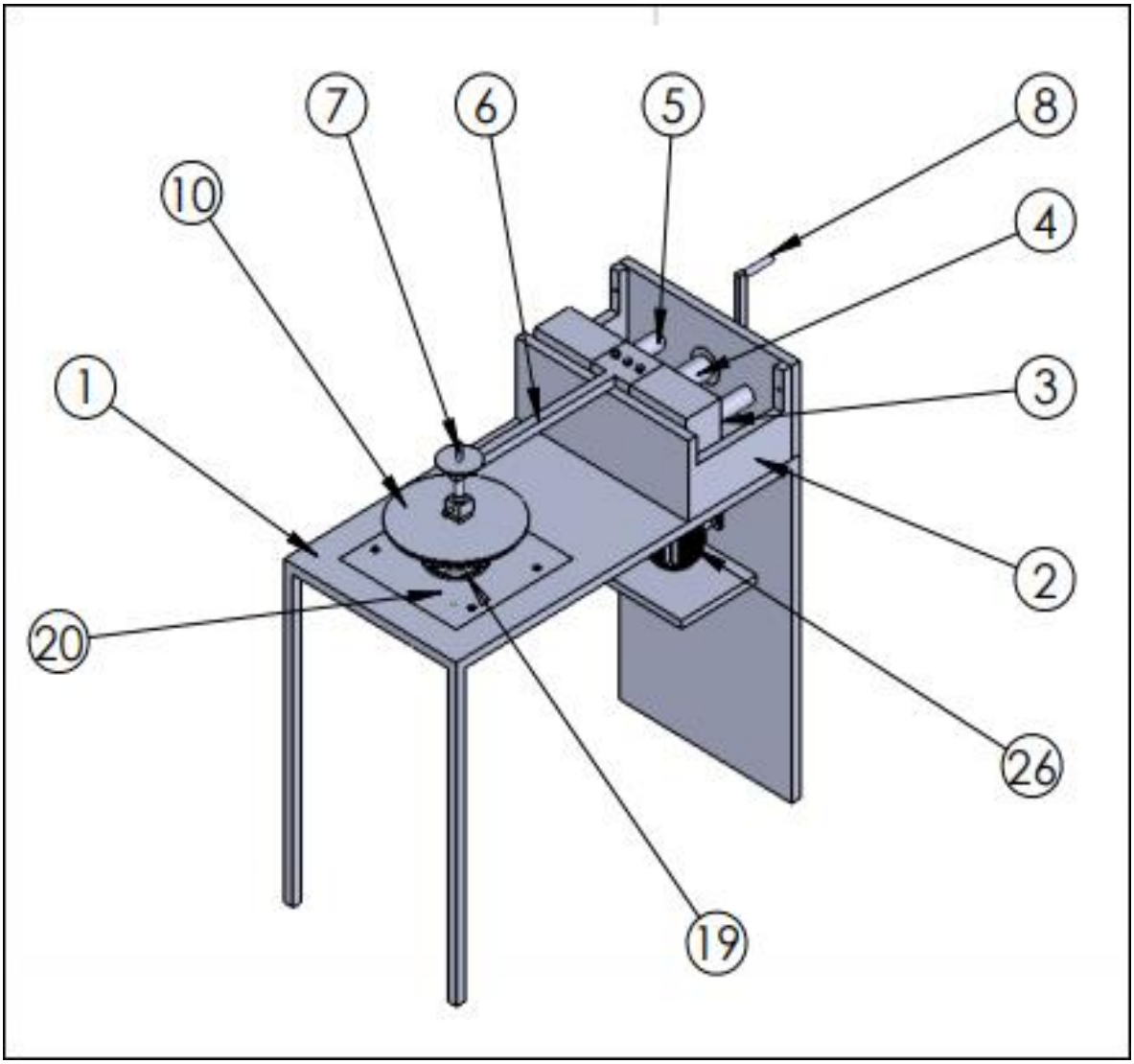


Figure II 3 : Tribomètre a disque en 3D

II.4.1 Nomenclature du dispositif

1. Table	2. Port chariot	3.Chariot
4. Tige filetée	5. Barre guide	6. Barre porte poids
7. Porte poids	8. Manivelle	9. Circlips
10. Disque	11. Barre de transmission	12. Poulie
13. Rondelle	14. Roulement	15. Courroie
16. Bague	17.Vis M16 pou poulie	18.Couvercle bas
19. Couvercle haut	20. Support table	21.Poulie moteur
22. Vis M10 hexagonale	23.Vis M8 hexagonale	24. Ecrou M10
25. Vis M10 CHC	26. Moteur	27. Clavette
28. Porte échantillons		

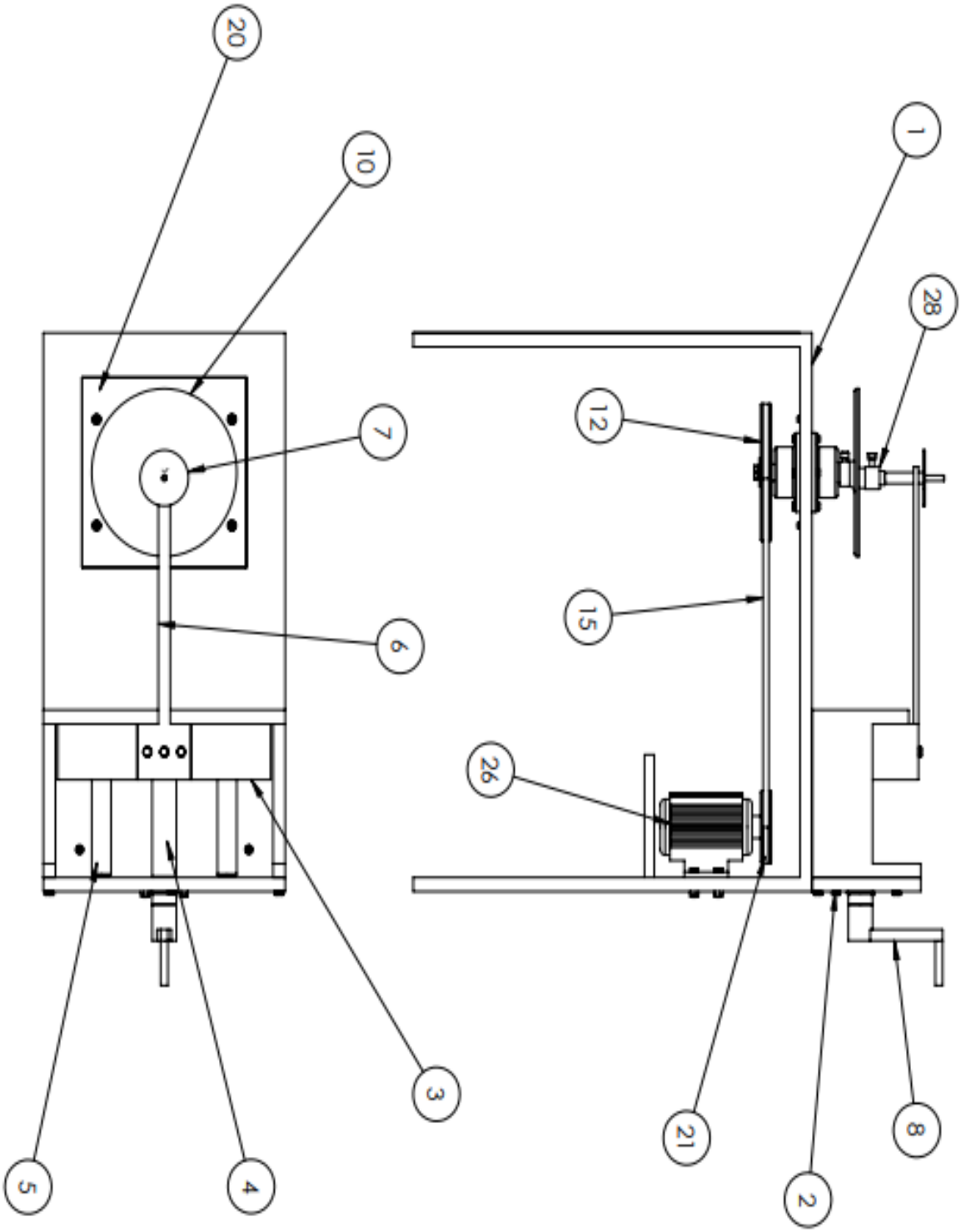


Figure II.4 : Tribomètre a disque.

II.4.2 Principe de fonctionnement

Le mouvement de rotation est transmis de l'arbre moteur vers l'arbre porte de disque (11). Cette dernière est guidée en rotation par deux roulements à billes à contact radial (14).

Le montage des deux roulements est présenté sur la (figure II.3) on a choisi le montage à arbre courte.

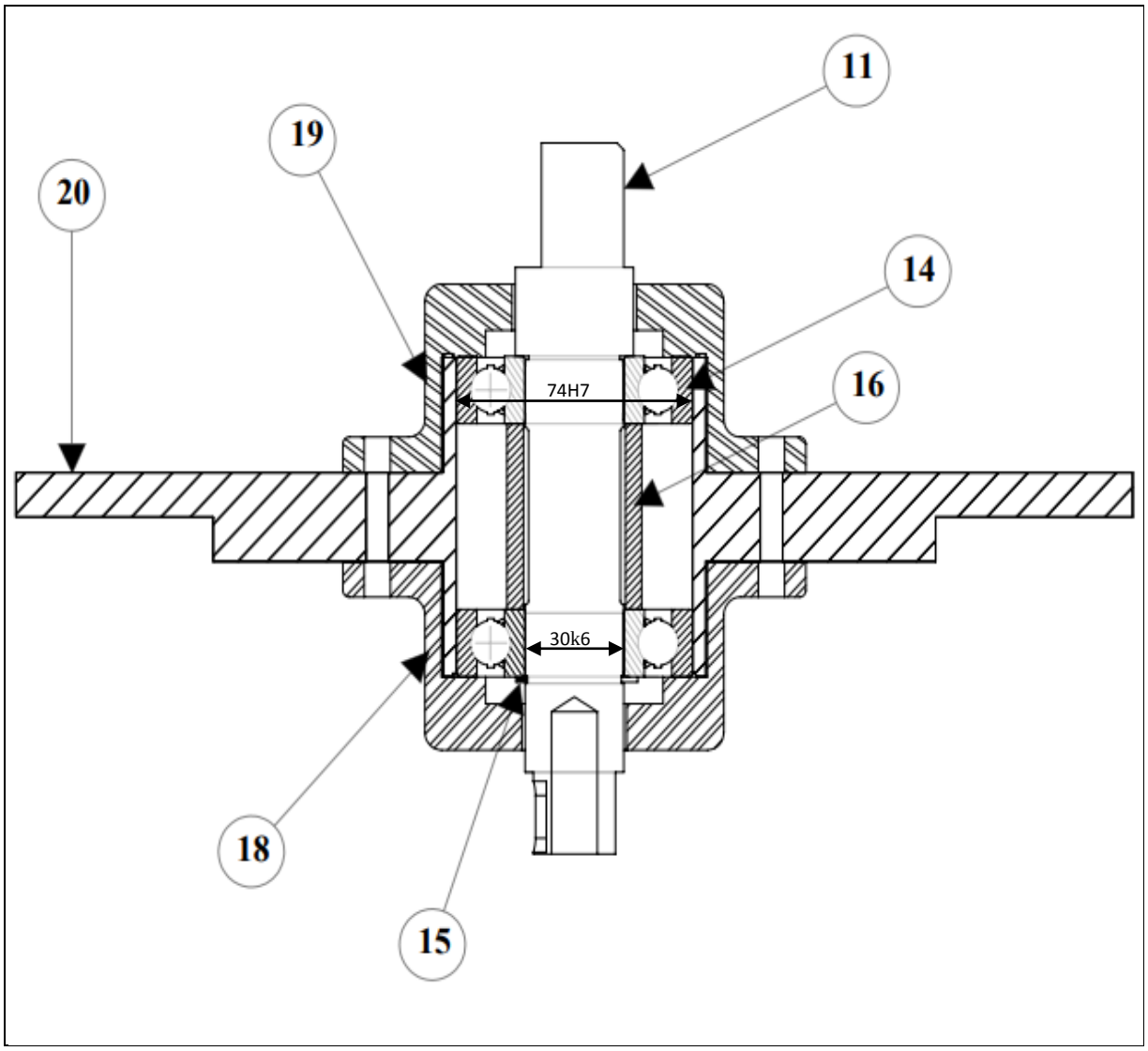


Figure II.5 : Arbre de transmission.

II.4.3 Schéma technologique

Le Schéma technologique montre comment est envisagée la construction, il permet de comparer plusieurs solutions technologiques, il s'emploie pour une étude technologique et les liaisons complètent apparaissent.

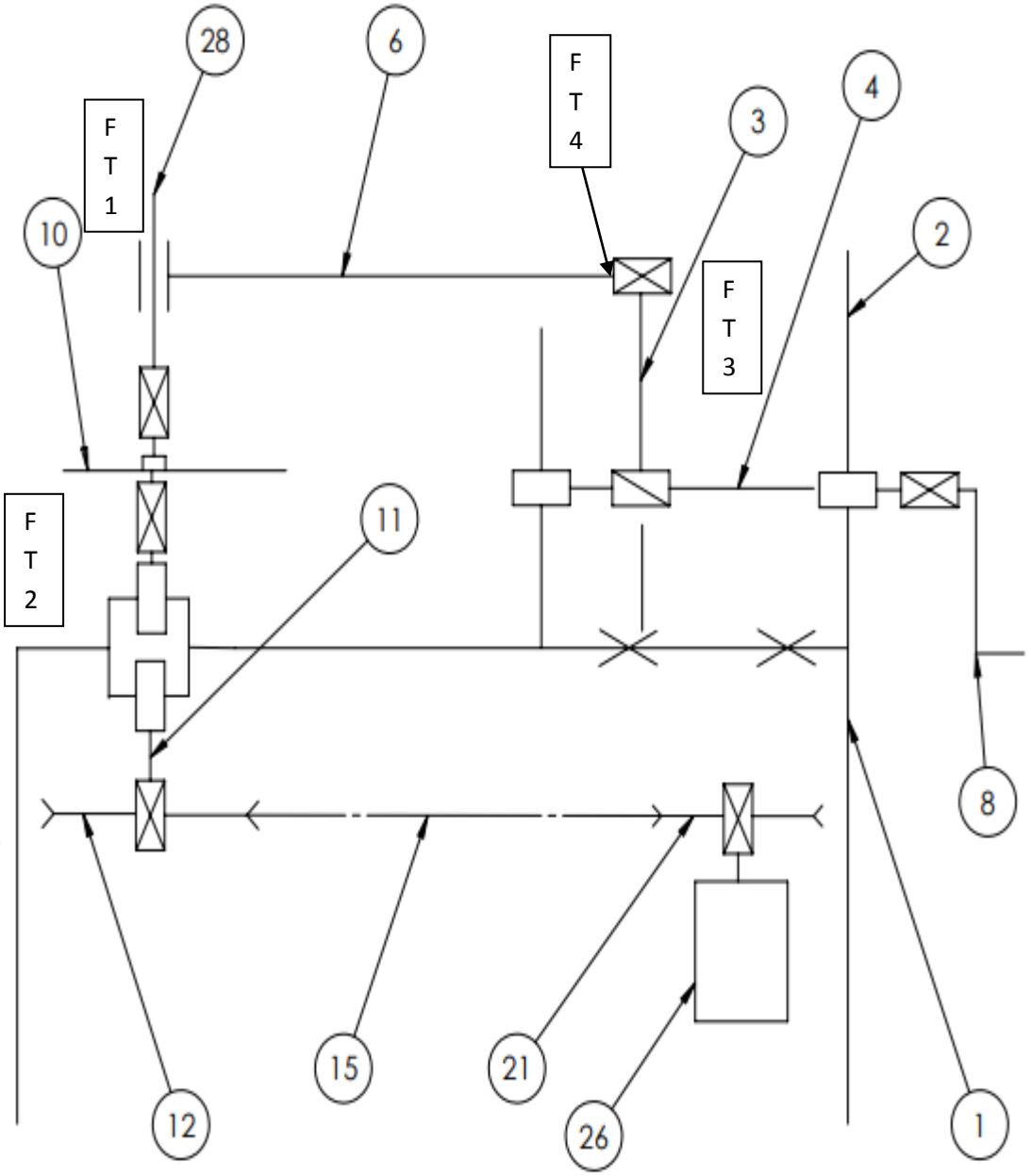


Figure II.6 : Schéma technologique du tribomètre à disque.

II.5 Les cotations fonctionnelles

Tout ensemble mécanique demande une analyse complète afin de mettre en évidence les conditions nécessaires à son bon fonctionnement. Une étape importante de cette analyse est la cotation fonctionnelle qui permet :

- De faire un choix raisonné entre les diverses diamantions géométrique implique dans le fonctionnement ces dimension sont appelées les dimensions fonctionnelles
- De cote et tolérance les dimensions fonctionnelle. Une fois cotées et tolérances les pièces pour être fabriquées

La cotation fonctionnelle est donc une étape indispensable entre la conception d'un

Et peuvent être aussi des conditions de résistance de déformation d'encombrement de poids de montage ou de fonctionnement

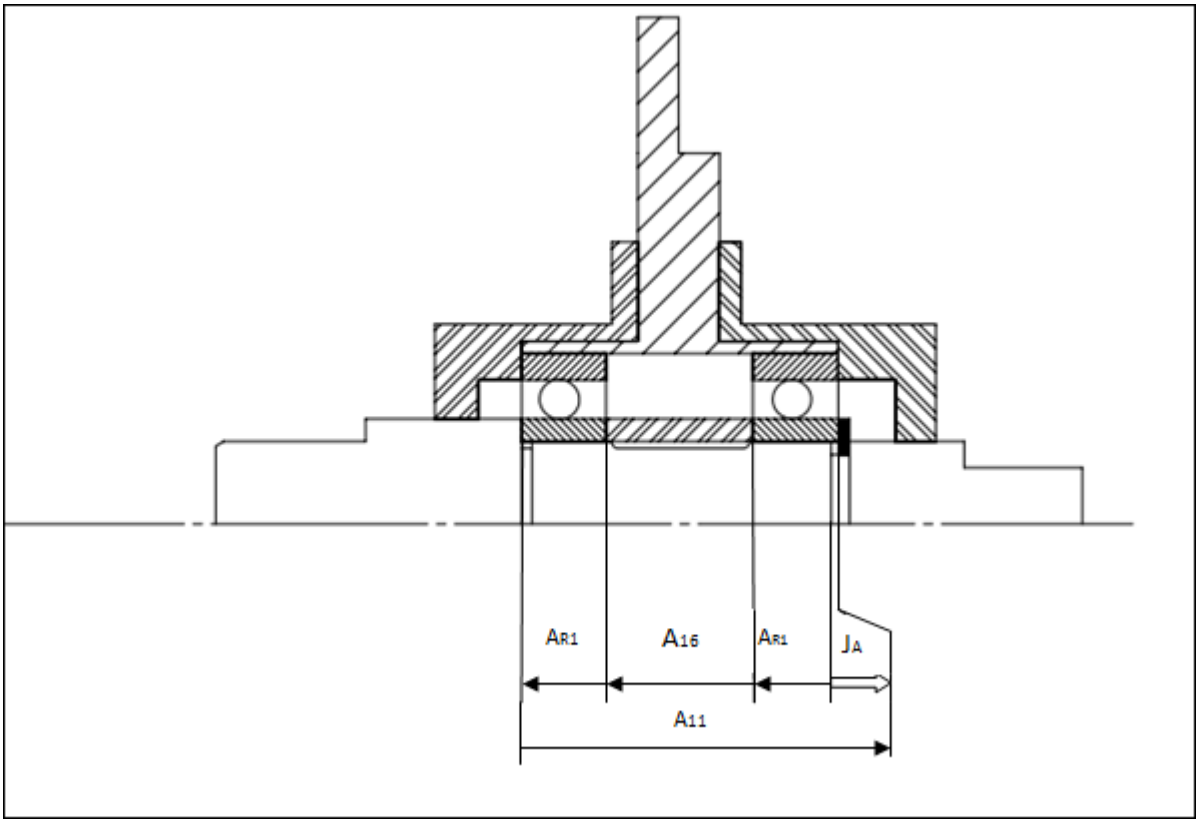


Figure II.7 : Les jeux de fonctionnement pour l'arbre de transmission.

II.5.1 Le but de cotation fonctionnelle

Assure le bon fonctionnement de système

II.5.2 Calcul de la chaine de cote

- Cote condition J_A

$J_A max = 0,4$

$J_A min = 0$

$A_{R1} = 19^{\pm 0,01}$

$A_{R2} = 19^{\pm 0,01}$

$A_{16} = 52^{\pm 0,1}$

$IT\ A_{11} = IT\ J_A - \sum IT = 0,4 - (0,02 + 0,02 + 0,2) = 0,3 - 0,26 = 0,16$

$A_{11max} = A_{R1\ min} + A_{R2\ min} + A_{16\ min} + J_{A\ max}$

$A_{11max} = 90,28$

$A_{11min} = A_{11max} - IT\ A_{11} = 90, 12$

$$\mathbf{A11 = 90^{+0,28}_{+0,12}}$$

II.5.3 Le critère de localisation

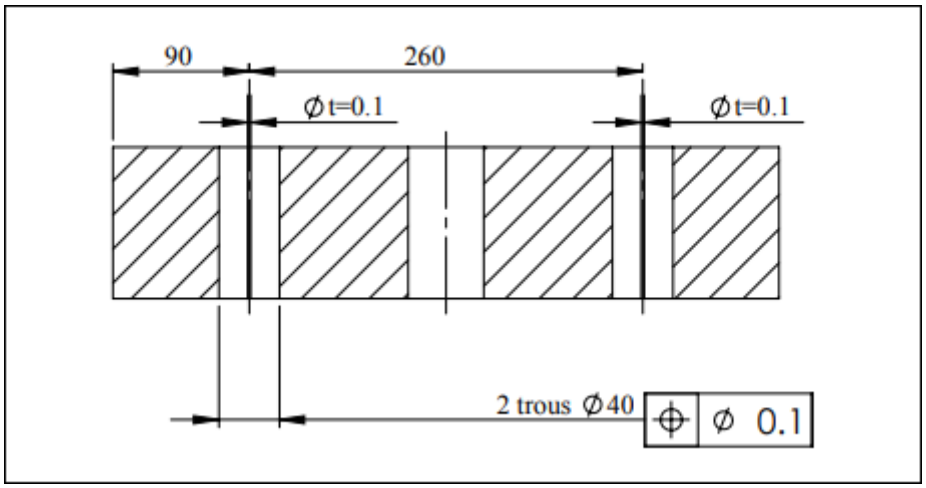


Figure II.8 : la localisation entre deux trous éloignés

L'axe des deux trous 40 doit être compris dans deux cylindres de diamètre de 90 et 260 encadrées

II.5.4 Condition de montage

Soit les deux pièces 1 et 2 de la figure qui doivent s'emboiter l'un dans l'autre malgré leur disposition critique ou les alésages sont rapprochés et les arbres éloignés

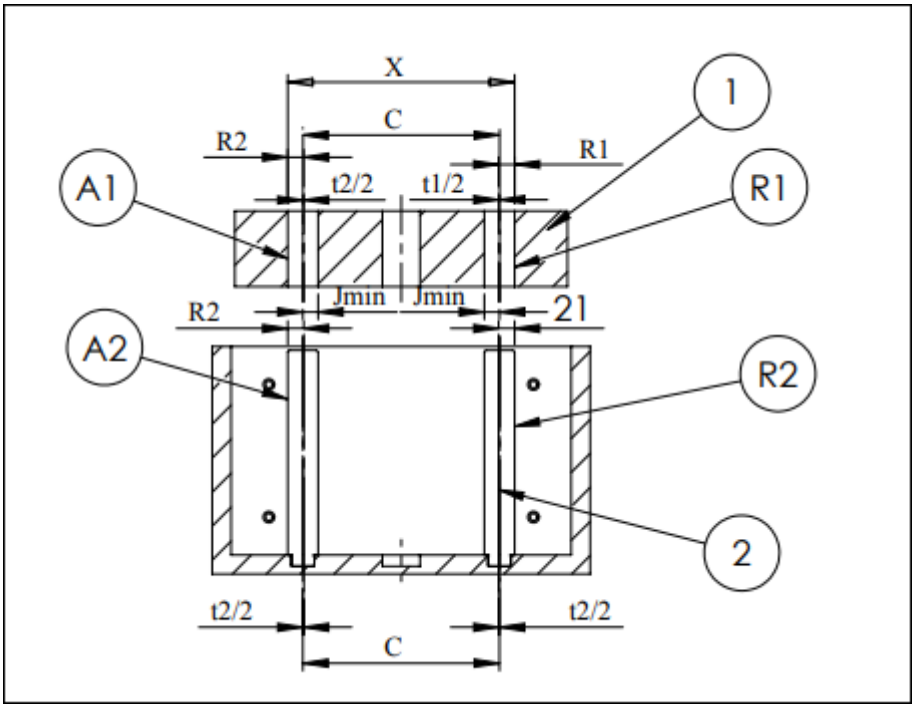


Figure II.9 : montage de deux pièces a deux axes éloignés

Les deux pièces sont monté dons les conditions les plus défavorable permirent toujours leur assemblage ces conditions sont :

Les ajustements sont dans leur état maximal de matière ce qui donne les jeux minimaux Jmin

40H7 $=40_{0}^{+0,027}$

40g6= $40_{-0,075}^{-0,032}$

J min =D min – d max = 40,0 – 39,968 = 0,032

J max = D max – d min 40,027- 39,925= 0,102

Les pièces sont à leur défaut de localisation maximal t1 et t2 avec les alésages rapprochés éloigne conformément à ces conditions défavorables la (figure II.20) montre les pièces d'après leur assemblage extrême ou les génératrice (A1, B1) et (A2, B2) viennent respectivement se confondre. La cote X séparant ces génératrices peut s'exprimer séparément sur les deux pièces :

Pièce 1 : X =C – t1 + 2R1

Pièce 2 :X =C + t2 + 2R2

Donc t1+t2 = 2R1 - 2R2 = J min

La somme des tolérances de localisation de deux éléments conjuguée (arbre, alésage) égale au jeu minimal de l'ajustement de base

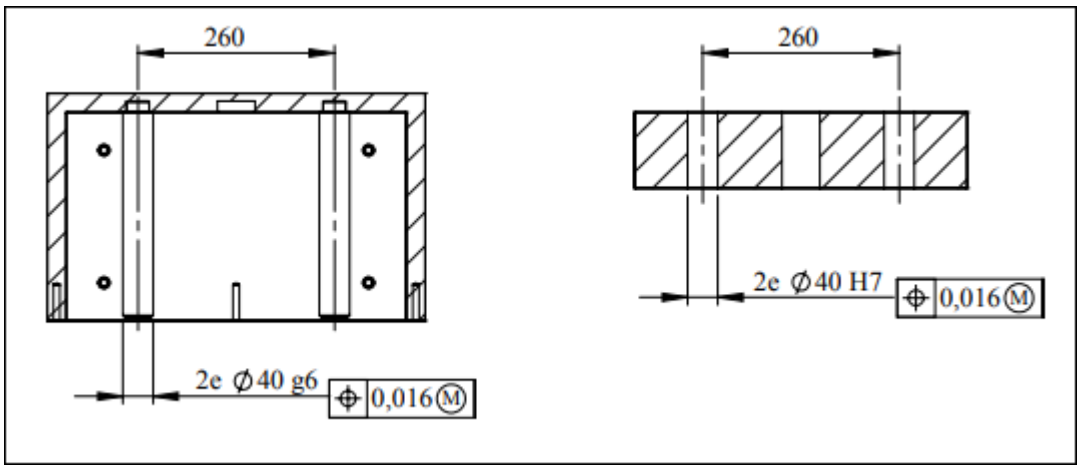


Figure II.10 : Dessin de définition des pièces le symbole M signifie que les tolérances de localisation mentionnée qui été calculées à l'état maximal de matière

II.5.5 Choix du matériau

L'acier utilisé est un acier faiblement allié désigné par la formule X40CrMoV5-1 selon la norme AFNOR [17]. Il est souvent référé par sa désignation américaine AISI H13 (Tableau I-7).

- **Caractéristiques mécaniques**

Elles se résument respectivement dans le tableau suivant :

Propriétés	**T_{mbt}**
Module de Young E (Mpa)	210000
Coefficient de poisson	0,3
Limite élastique$R_{0,2}$ (Mpa)	1280
Résistance maximale à la traction R_m (Mpa)	1500

Tableau II-1: Propriétés mécaniques de l'acier X40.

- **Acier 34CrMo4 (35CD4)**

Caractéristiques mécaniques

Propriétés	T_{mbt}
Module de Young E (Mpa)	210000
Coefficient de poisson	0,28
Limite élastique$R_{0,2}$ (Mpa)	800
Résistance maximale à la traction R_m (Mpa)	1200

Tableau II-2 : Propriétés mécaniques de 34CrMo4.

- **Acier Z200C12**

Caractéristiques mécaniques

Propriétés	T_{mbt}
Module de Young E (Mpa)	210000
Coefficient de poisson	0,3
Limite élastique$R_{0,2}$ (Mpa)	/
Résistance maximale à la traction R_m (Mpa)	/

Tableau II-3: Propriétés mécaniques d'Acier Z200C12.

II.6 Calcul les réactions d'appui

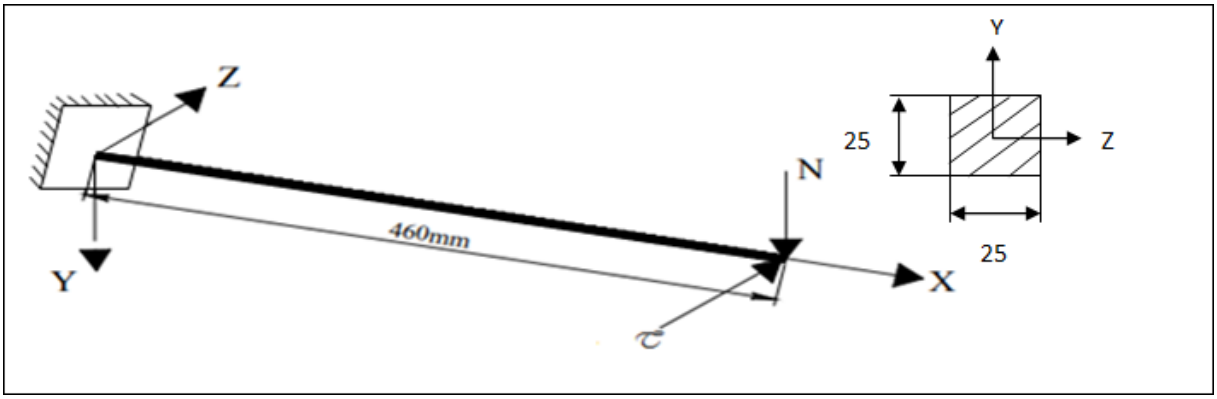


Figure II.11 : Les réactions d'appui de la poutre porte poids.

a) **Sur le plan (XOY) :** $0 \leq x \leq 460mm$

L'équation d'équilibre est donnée selon la formule suivante :

$\sum F_{ext}=0$

$T_Y - N = 0$ Ce qui donne :

$T_Y = N$

D'où la valeur de l'effort tranchant $T_Y = 200N$

Construisons les diagrammes des efforts internes pour cela

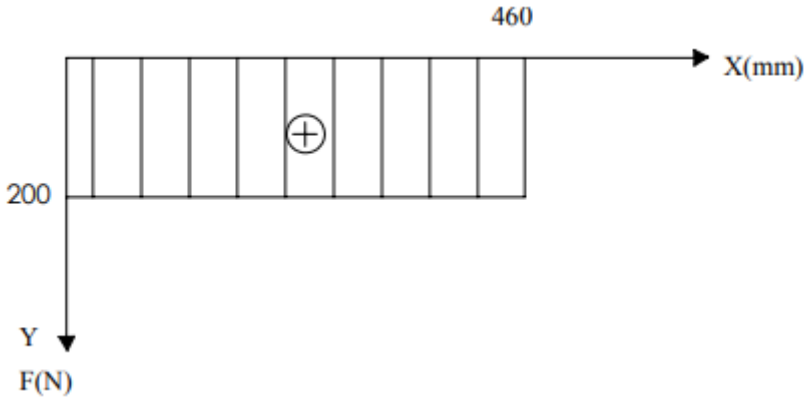


Figure II.12 : Diagramme des efforts tranchants.

b) Sur le plan (XOZ) : $0 \leq x \leq 460$mm

L'expression du moment fléchissant maximum à l'encastrement :

$$M_Z = N * L$$

$M_Z = -0.20 * 0.46 = 0.092\ Kn.m$

$M_Z = -92000N$

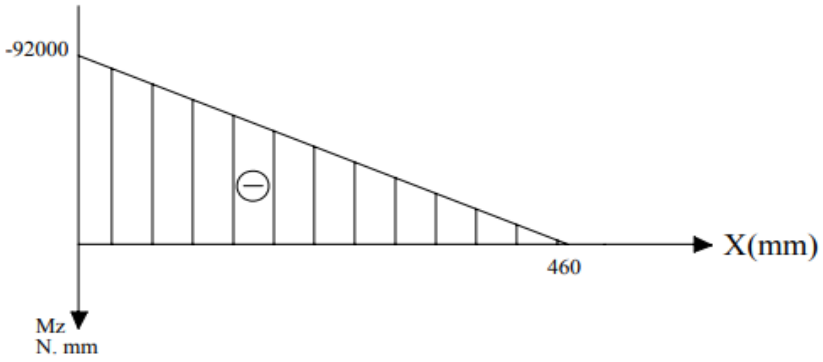


Figure II.13 : Diagramme des moments fléchissant.

L'effort N est suivent l'axe (OX), l'effort T est suivent l'axe (OZ)

c) Les expressions des efforts pour une section courante (a*b)

Dans le plan (XOY) :

$T_Y = N = 200N$

$M_z = N * L = -92000\ N$

Pour (XOZ) :

$T_z = \mathcal{T}$

$T_Y = \mathcal{T} * L$

L'étude des diagrammes respectifs montre qu'il a une section dangereuse à l'encastrement avec :

$T_z = \mathcal{T} = ?$

$M_Y = \mathcal{T} * L = ?$

Puisque la section droite de la poutre est rectangulaire nous pouvons utiliser la formule de la contrainte maximale dont l'expression est donnée par :

$$\sigma_{X_{max}} = \frac{M_Y * Z}{I_Y} + \frac{M_Y * Y}{I_Z}$$

Sachant que :

$$\begin{cases} a = 25mm \\ Y = \dfrac{a}{2} \\ I_Y = \dfrac{a^4}{12} \\ I_z = \dfrac{a^4}{12} \end{cases}$$

Par la suite nous avons après le remplacement de ces paramètres dans l'expression de la contrainte max :

$$\sigma_{X_{max}} = \frac{M_Y * \frac{a}{2}}{\frac{a^4}{12}} + \frac{M_Y * \frac{a}{2}}{\frac{a^4}{12}} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{X_{max}} = \frac{6M_Y}{a^3} + \frac{6M_Y}{a^3} \leq [\sigma]$$

On remplace les expressions du moment M_Y ainsi que; $a\ et\ b$, on obtient :

$$\sigma_{X_{max}} = \frac{6 * \mathcal{T} * L}{25^3} + \frac{92000}{25^3} \leq 6593{,}47N/mm^2$$

D'où : $\mathcal{T} \leq 6593{,}47N$

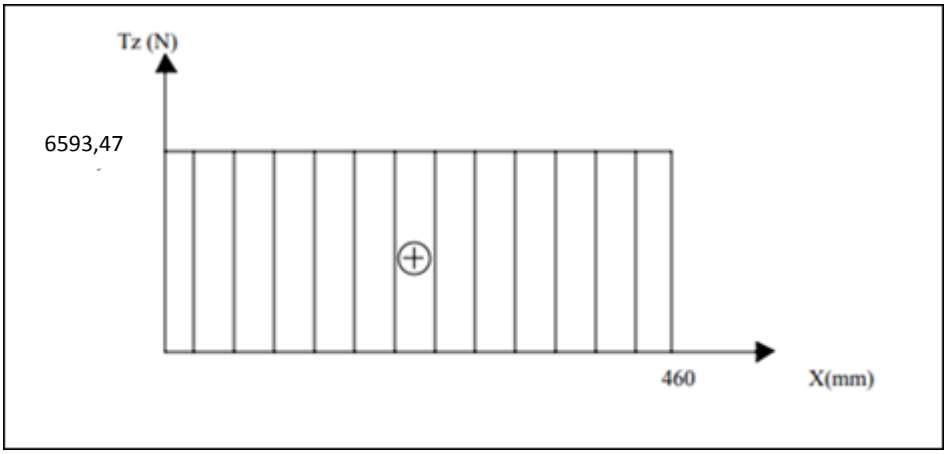


Figure II.3 : Diagramme effort tranchant.

Ce qui donne le moment :

$$M_Y = 6593{,}47N * 460 = 3032996{,}2\ N.mm$$

Son diagramme est le suivant :

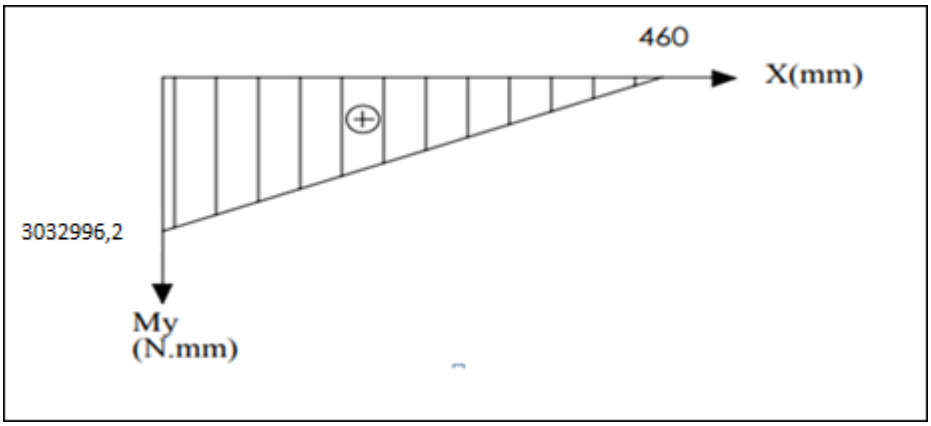


Figure II.15 : Diagramme des moments fléchissant.

II.7 Dimensionnement de l'arbre de transmission

Pour dimensionnement de l'arbre de transmission il faut d'abord calculer la tension des courroies.

II.7.1 Tensions dans les brins de la courroie

La transmission par courroie est une transmission par frottement à lier flexible. Considérons deux poulies de deux diamètre d_1 et d_2 calées sur deux arbre parallèle éloignés d'une distance A reliées par un lien flexible (courroie, câble) [18].

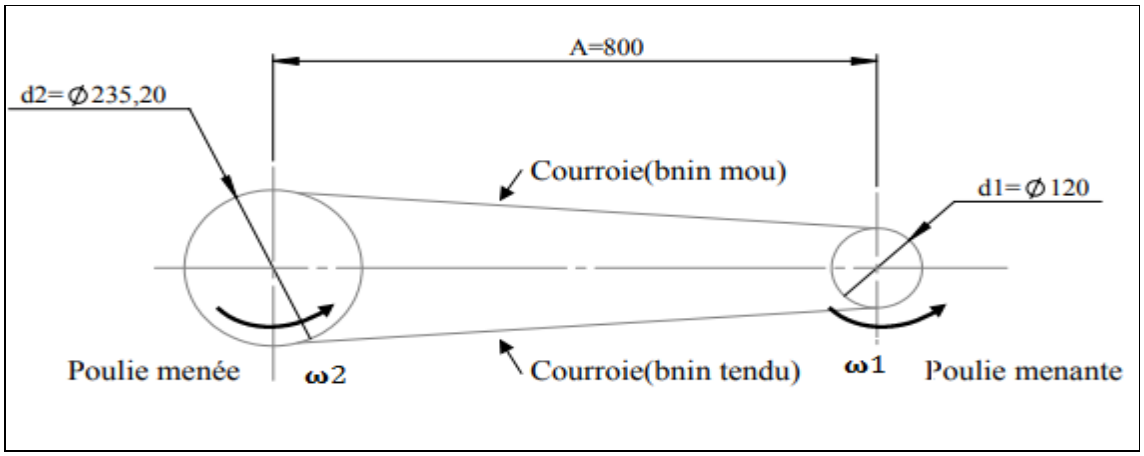


Figure II.4 : Transmission par courroie.

ω1 : Vitesse de rotation de l'arbre menant,

ω2 : Vitesse de rotation de l'arbre mené,

d_1 : Diamètre de la roue menant,

d_2 : Diamètre de la roue menée,

A : entraxe,

i: Rapport de transmission si on néglige le glissement, $i=\frac{\omega 1}{\omega 2}=\frac{d_2}{d_1}=\frac{d_2}{(1-\varepsilon)d_1}$,

ε : Coefficient de glissement relatif.

- **Tension de pose T_0 :**

La tension de pose définit l'adhérence de la courroie aux poulies. Elle peut être obtenue par l'élasticité naturelle de la courroie ou a d'un enrouleur fixe.
La tension de pose est la même dans les deux brins.

- **Tension de marche t et T**

Tension de marche le couple moteur $C_1=F*d_1$ pour une courroie gardant en service de la même langueur l'extension d'un brin provoque le même raccourcissement de l'autre c'est-à-dire que l'augmentation de la tension de brin manent (tendu) entre la diminution correspondent de la tension de brin mené (mou) alors que la somme des tensions reste constante.

$\begin{cases} T = T_0 + F \\ t = T_0 - F \end{cases}$ Avec $F=\frac{C_1}{d_1}$ d'où Z=T+t

Ce phénomène traduit par la formule de PONCELET :

$t+T=2T_0$

$T_0=\frac{t+T}{2}$

La relation entre t et T

$$\begin{cases} t = \frac{P}{V}\frac{1}{(e^{f\alpha}-1)} + \frac{\gamma_i}{g}V^2 \\ T = \frac{P}{V}\frac{e^{f\alpha}}{(e^{f\alpha}-1)} + \frac{\gamma_i}{g}V^2 \\ T_0 = \frac{t+T}{2} \end{cases}$$

P: Puissance en (Watt)

V: Vitesse linière en (m/s)

f : Coefficient de frottement

α : Angle en (rad)

γ_i :

g : La gravité

- **Application numérique**

$d_1 = 120$mm, d_2= 235.2mm, P =2, 8 KW, N=1420 tr /m, A=800mm, f=0,2

$\boldsymbol{\gamma}=\frac{d_2-d_1}{A}=\frac{235,2-120}{800}$=0,14

$\alpha=\pi-\boldsymbol{\gamma}$ =3,14-0,14=3

Calcul de la vitesse linière :

Nous avons la vitesse linéaire et le rayon respectivement : V=R*; R=$\frac{d_1}{2}$

Avec la vitesse angulaire exprimée en $rd/_S$ dont la formule est : $\boldsymbol{\omega}=\frac{2\pi N}{60}$

$V=\frac{d_1}{2}\frac{2\pi N}{60}=\frac{d_1\pi N}{60}=\frac{120*10^{-3}*3,14*1420}{60}$=8,91 m/s

V=8, 91m/s

0

$$\begin{cases} t = \frac{P}{V}\frac{1}{(e^{f\alpha}-1)} + \frac{\gamma_i}{g}V^2 \\ T = \frac{P}{V}\frac{e^{f\alpha}}{(e^{f\alpha}-1)} + \frac{\gamma_i}{g}V^2 \\ T_0 = \frac{t+T}{2} \end{cases} \quad 0 \quad \varepsilon$$

Où :

$$\begin{cases} t = \frac{P}{V}\frac{1}{(e^{f\alpha}-1)} \\ T = \frac{P}{V}\frac{e^{f\alpha}}{(e^{f\alpha}-1)} \end{cases}$$

$$t = \frac{2800}{8,91}\frac{1}{(e^{0,2*3}-1)} = 382,24N$$

$$T = \frac{2800}{8,91}\frac{e^{0,2*3}}{(e^{0,2*3}-1)} = 696,50N$$

$$T_0 = \frac{t+T}{2} = \frac{382,24+696,50}{2} = 593,35N$$

T_0=593,35N

$$\begin{cases} T = T_0 + F \\ t = T_0 - F \end{cases}$$

- **Calcul de F**

$$F = \frac{C_1}{d_1} = \frac{P}{d_1\,\omega}$$

$$F = \frac{2800}{120*10^{-3}*\frac{2*3,14*1420}{60}}$$

F=156,99N

$$\begin{cases} T = 539,35 + 156,99 = 696,34N \\ t = 539,35 - 156,99 = 382,35N \end{cases}$$

T=696, 34N

t=382, 35N

- **La tension totale de la courroie**

Z=T+t =696,34 + 382,35=1078,69N

Z=1078,69N

II.7.2 Détermination des réactions d'appuis

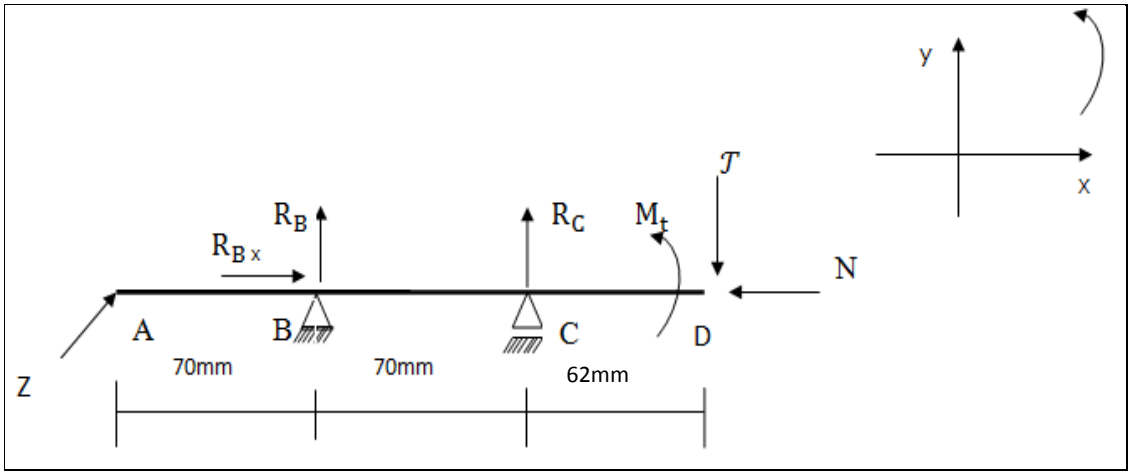


Figure II.5 : Représentation des efforts et réactions d'appuis.

Z=1078,69N

R=150 mm

$T_z=\mathcal{T}=6593,47N$

$M_t= \mathcal{T}$*R=6593,47*150=989020,5N.mm

À l'équilibre :

$\sum F_{ext}/z=0 \iff$ Z=1078,69N

$\sum F_{ext/Y}=0 \iff R_{BX}$=N=200N

$\sum F_{ext/Y}= \iff \mathcal{T}=R_{BX}+R_c$

$\sum M/B=0 \iff$ -(70+60)+R_c*70

$R_c=\frac{\mathcal{T}(70+62)}{70}=\frac{6593,47*132}{70}$=12433,4 N

R_c=12433,4N

$R_{BY} = \mathcal{T} - R_c$=6593,47 -12433,4= -5839,93N

R_{BY}=-5839,93N

La réaction sur l'appui B est négative, donc elle doit être orientée vers le bas.

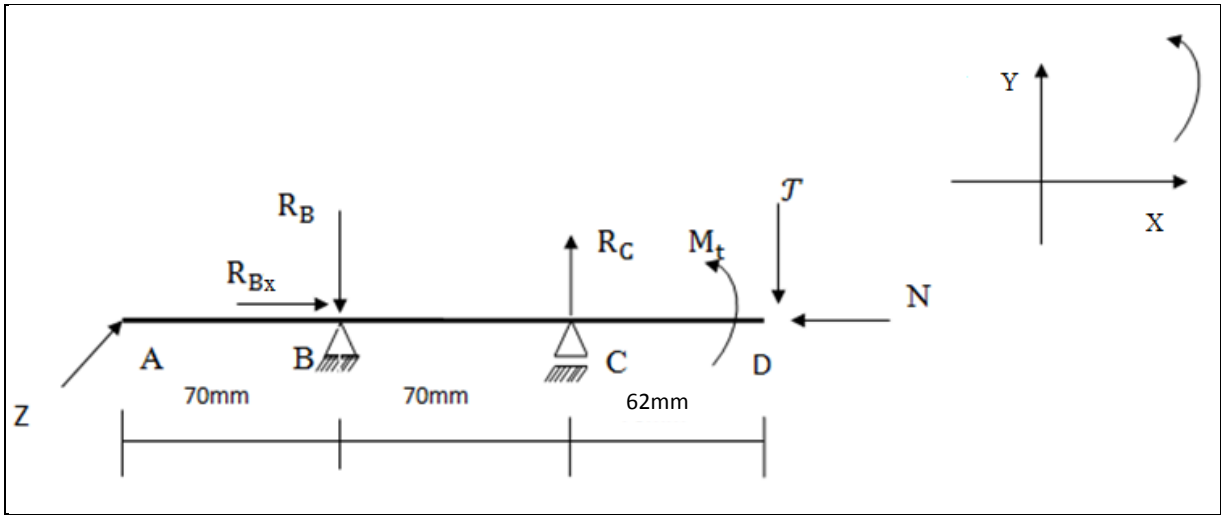


Figure II.6 : Représentation des efforts et réaction d'appuis.

II.7.3 Calcul des efforts internes

La détermination des efforts internes se fait pat la théorie des sections, on étudiera tronçon par tronçon, sachant que le porte-poids est soumis à la flexion déviée.

1erTronçon [DC] : $0 \leq x \leq 62$

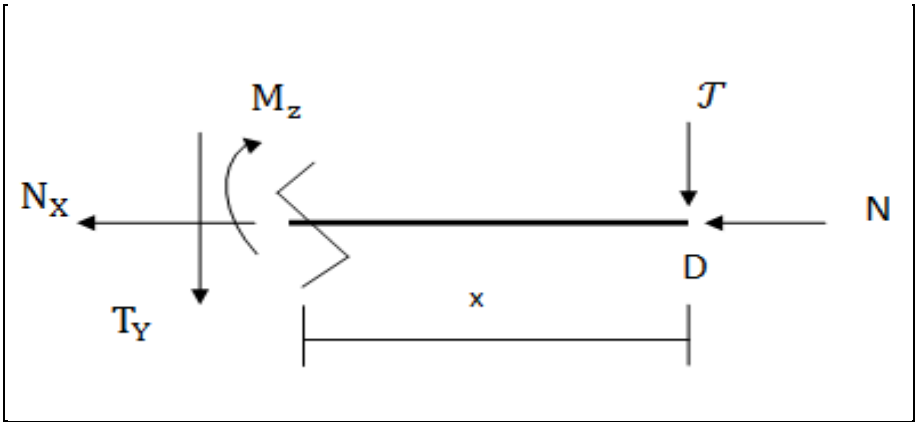


Figure II.7 : Représentation des efforts interne dans le**1er**tronçon.

1. **Effort normal (N)**

N_X=-N=-200N

2. **Effort tranchant T_Y**

T_Y =-$\mathcal{T}$=-6593,47N

3. Moment de flexion

$$\begin{cases} x = 0 \\ x = 62\text{mm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_z = 0 \\ M_z = 8 * 10^{+4} \end{cases}$$

2erTronçon [CB] : $62 \leq x \leq 132$

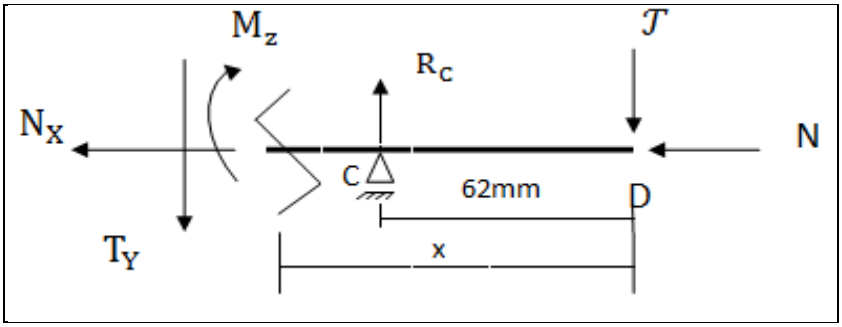


Figure II.20 Représentation des efforts interne dans le **2er** tronçon.

1. Effort normal (N)

N_X=-N=-200N

2. Effort tranchant T_Y

$T_Y = R_c - \mathcal{T}$ = 12434 ,48 – 6593,47 = 5839,93N

T_Y= 5839,93N

3. Moment de flexion :

M_z= - $\mathcal{T}$*x + R_c (x - 62)= - 6593,47 x + 12433,4 x – 12433,4*62

M_z= 5839 ;93x –770870,8

$$\begin{cases} x = 62\text{mm} \\ x = 132\text{mm} \end{cases} \begin{cases} M_z = -408795{,}14\text{Nmm} \\ M_z = 0 \end{cases}$$

3erTronçon [AB] : $62 \leq x \leq 132$

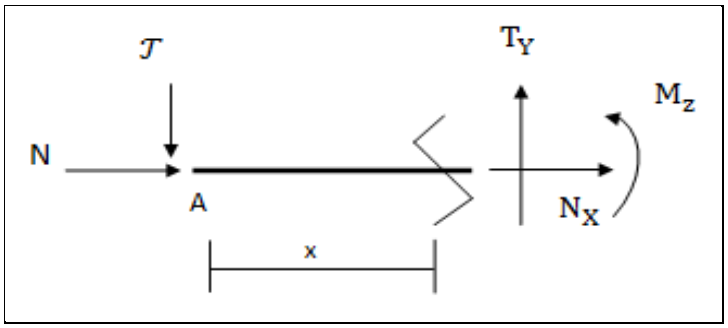


Figure II.21 : Représentation des efforts interne dans le **3er** tronçon.

$$\begin{cases} N_{X=}0 \\ T_Y = 0 \\ M_z = 0 \end{cases}$$

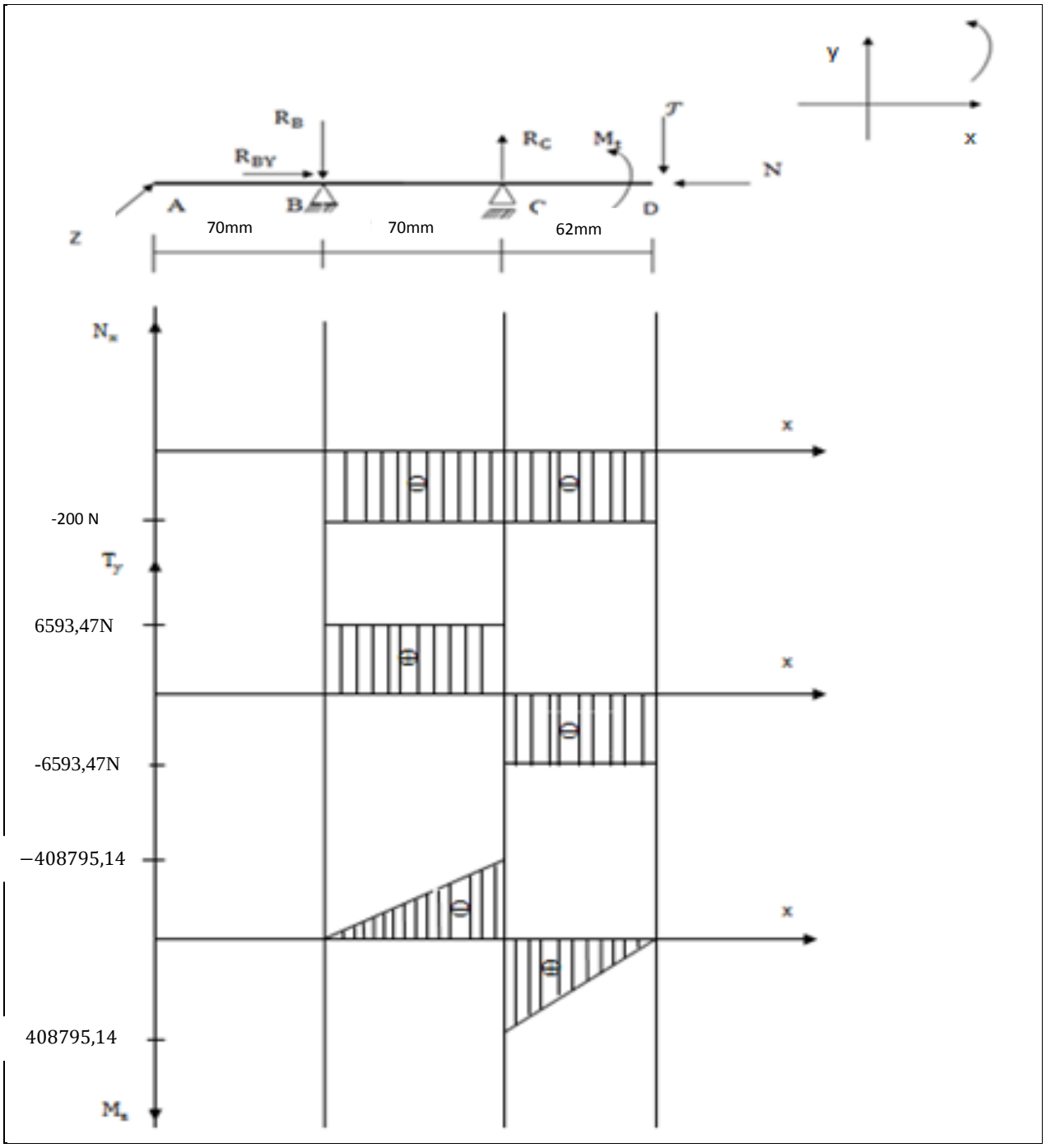


Figure II.22 : Diagramme des efforts.

II.7.4 Moment de torsion de l'arbre de transmission

Le moment de torsion (Mt) dons notre cas est engendré par la force tangentielle Ft=Z l'expression de Mt est donnée par :

Mt= Ft*r

Mt= Z*D/2= Z*r

Ft =Z : la tension de courroie

R : rayon de la barre de transmission

Mt= 1078,69*15=16180,35 N.mm

Mt=16180,35 N.mm

II.8 Choix des roulements

II.8.1 Roulement au palier B :

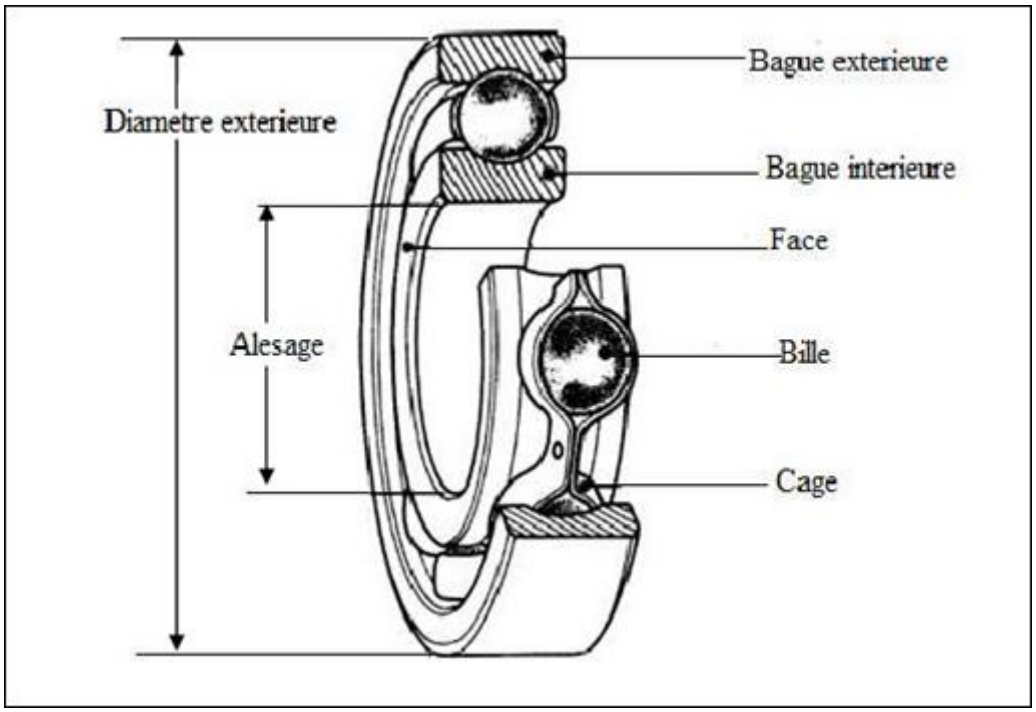


Figure II.23 : Roulement à bielles

II.8.1.1 Calcule de la charge dynamique équivalente P_B

Lorsque un roulement est soumis simultanément à une force radiale et a une force axiale, la charge dynamique équivalente est donnée par :

$$P_B = X * R_B + Y * R_{BX}$$

R_B : Force radial en N

R_{BX} : Force axial en N

X : Facteur radial

Y : Facteur axial

L'utilisation d'un roulement à bille oblique a une rangée de bille de type 30 BT02 nous donne :

X= 0,35

Y=0,57

A.N

P_A =0,35*5839,93+0,57*200

Donc **P_B = 2157,97N**

- La charge dynamique de base C=15600 N
- La charge de base statique, C_0 =11000 N
- d: diamètre intérieur du roulement avec : d=30mm
- D : diamètre extérieur du roulement avec : D=72 mm
- B : largeur du roulement avec : B=19 mm

II.8.1.2 Calcul de la durée de vie du roulement au palier B

La durée de vie en million de tours :

La durée de vie en million de tours pour un roulement à bille est donnée par la forme suivant :

$$L_{tr}=\left(\frac{C}{P}\right)^{K}$$

L_{tr} : La durée de vie en million de tours

C : la charge dynamique équivalente en N

P : la charge dynamique de base en N

K =3 : pour les roulements à billes

A .N :

C=15600 N

P=788,43N

K=3

$L_{tr}=(\frac{15600}{788,43})^3$ million de tours.

Donc **L_{tr}=377,77millions de tours**

La durée de vie en heures

La durée de vie en heures pour roulement à bille est donnée par la formule suivent :

$$\mathbf{L_h=\frac{10^6}{60N}\left(\frac{C}{P}\right)^K}$$

L_h : La durée de vie en heures

N : vitesse en Tr/min. (avec N =2860Tr/min)

A.N :

N_1=1420Tr /min.

Calcul de rapport de transmission

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{N_2}{N_1}$$

$N_2=\frac{d_1*N_1}{d_2}=\frac{1420*120}{235,2}$ = 724,5tr/min

$$\mathbf{L_h=\frac{10^6}{60*724,5}\left(\frac{15600}{788,43}\right)^3}$$

Donc :**L_h =8690,5heures**

II.8.2 Roulement au palier C :

II.8.2.1 Calcul de la charge dynamique équivalente P_C

Lorsque un roulement soumis a uniquement a une force radiale c'est-a-dire que la force axiale est nulle, la charge dynamique équivalente est égale a la force radial, alors on prend :

$\mathbf{P_C = R_C}$

Donc $\mathbf{P_C = 12433,4N}$

II.8.2.2 Calcule de la durée de vie du roulement au palier C

II.8.2.2.1 La durée de vie en million de tours

La durée de vie en million de tours pour un roulement à bille est donnée par la forme suivant :

$$\mathbf{L_{tr} = \left(\frac{C}{P}\right)^K}$$

$\mathbf{L_{tr}}$: La durée de vie en million de tours

C : la charge dynamique équivalente en N

P : la charge dynamique de base en N

K =3 : pour les roulements à billes

A .N :

C=15600 N

P=12433,4N

K=3

$L_{tr} = \left(\frac{15600}{12433,4}\right)^3$ million de tours.

Donc $\mathbf{L_{tr} = 1,97 millions\ de\ tours}$

II.8.2.2.2 La durée de vie en heures

La durée de vie en heures pour roulement à bille est donnée par la formule suivent :

$$\mathbf{L_h}=\frac{\mathbf{10^6}}{\mathbf{60}N}\left(\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{P}}\right)^{\mathbf{K}}$$

L_h : La durée de vie en heures

N : vitesse en Tr/min. (avec N_2 =724,5Tr/min)

A.N :

N_2 =724,5Tr/min

$$\mathbf{L_h}=\frac{\mathbf{10^6}}{\mathbf{60*724,5}}\left(\frac{\mathbf{15600}}{\mathbf{12433,4}}\right)^{\mathbf{3}}$$

Donc **:** $\mathbf{L_h}$ **=45,43heures**

II.8.2.3 Calcul de la vitesse maximale de rotation

II.8.2.4 Pour le roulement au palier B

Pour D≥30, l'expression de la vitesse maximale de rotation du roulement, s'écrit sous la forme suivent :

$$\mathbf{N_{max}}=\frac{\mathbf{A*K}}{\mathbf{D-10}}\ \mathbf{(Tr/min).}$$

N_{max} : La vitesse maximale de rotation du roulement en (Tr/min)

D : diamètre extérieure du roulement en (mm)

K : facteur correcteur

A.N :

D=72mm

K=1

A=50*10^4.

$\mathbf{N_{max}} = \frac{50*10^4*1}{72-10}$ **(Tr/min).**Donc : $\mathbf{N_{max}}$ **=8064,52Tr/min**

II.9 Extensomètre

II.9.1 Introduction

C'est par la mesure des déformations (ε) et des forces qu'il est possible de calculer des contraintes (σ) ; parfois on utilise les jauge pour mesurer ces déformations qui sont très petites, (ε) d'ordre (mv) on doit les amplifier en utilise un amplificateur de signale.

Dans notre tribomètre les jauge extensomètre placées sur la face de la poutre (barre porte poids) (06) au point de son encastrement ceci dans le but de mesurée l'effort tangentielle ou coure de contacte (disque /échantillon), ce dernier permettra d'évaluer le coefficient de frottement $f = \frac{T}{N}$

- **jauges d'extensomètres**

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 (ΔR/R) et 'allongement unitaire (ΔL/L) du conducteur.

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

R= ρl/s

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 (figure II.23) 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.

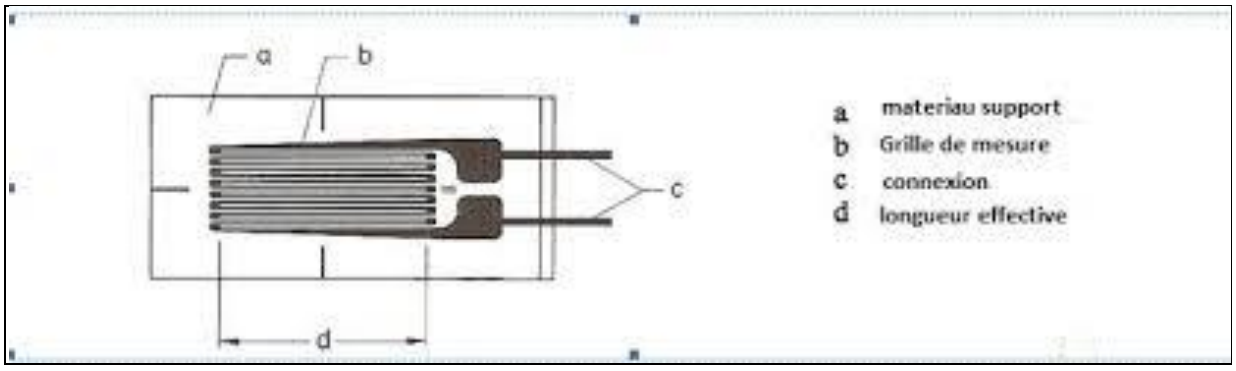


Figure II.8: schéma d'une jauge de contrainte

II.9.2 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 que la surface sur laquelle la jauge est collée. 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 suivant:

$$\Delta R/R = \Delta\rho/\rho + \Delta L/L - \Delta s/s$$

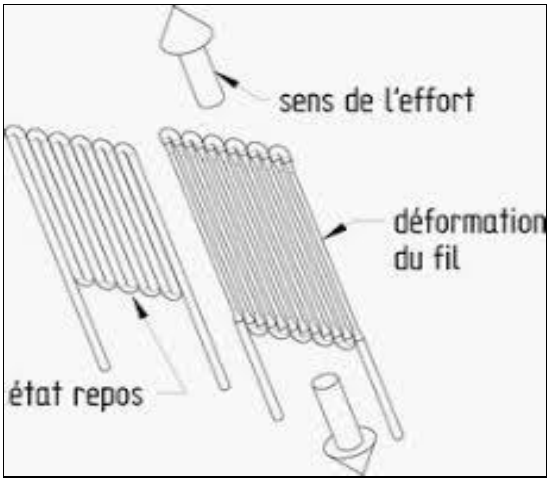


Figure II.25 : Principe de la jauge de contrainte

II.9.3 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 ;

II.9.4 Le pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone est constitué de quatre branches avec une tension d'excitation U, appliquée aux bornes du pont. La mesure de la variation de résistance permet d'accéder à la valeur de l'allongement relatif de la mesure de direction parallèle au fil de jauge.

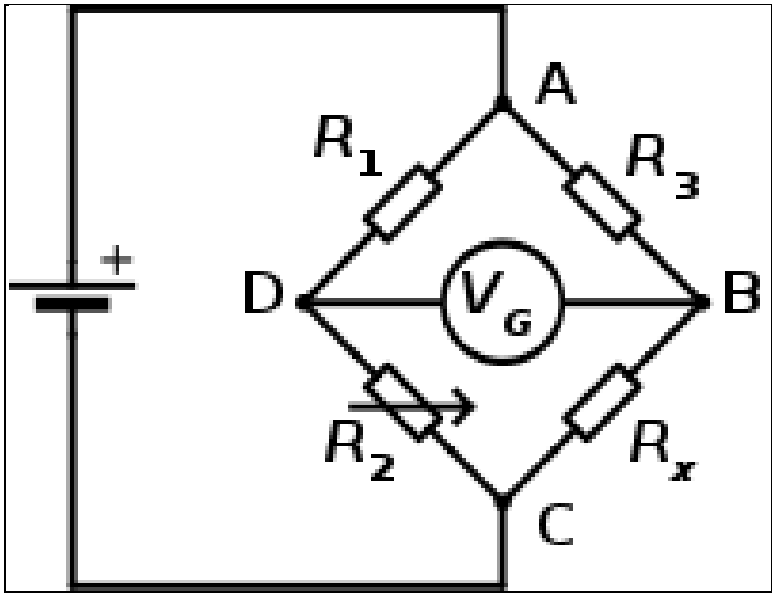


Figure II.9 : le pont de Wheatstone

En utilisant les lois de Kirchhoff on montre que la variation de la tension de sortie ΔE est liée aux variations de résistance par la formule :

$$\Delta E = \frac{U}{4}\left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4}\right)$$

Selon la configuration choisie, on remplace une, deux ou les quatre résistances du pont par des jauges.

II.9.5 Les différentes configurations du pont de Wheatstone

Les jauge son déposées de manière à ce que le signal soit le plus grand possible, la disposition dépend du type d'essai. Selon le niveau de signal et l'amplification souhaitée nous choisissons une des trois configurations du pont de Wheatstone suivant :

II.9.5.1 Montage en quart de pont

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

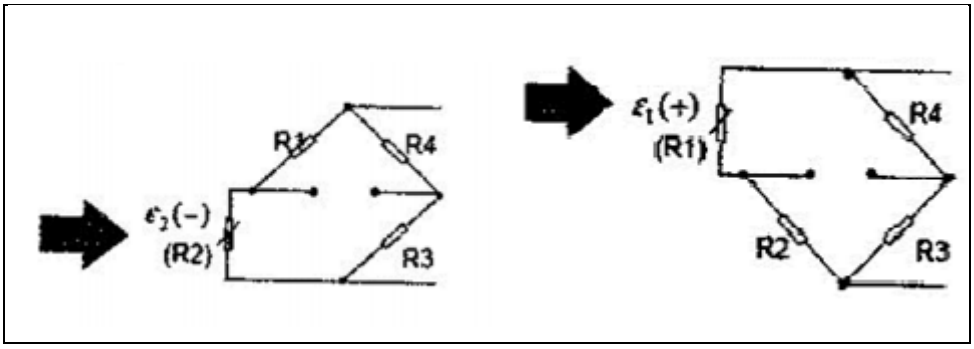


Figure II.27: Montage en en quart de pont

II.9.5.2 Montage en demi-point : Dans ce cas deus jauges est actif

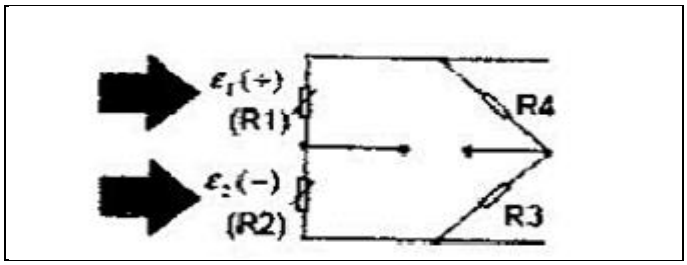


Figure II.10 : Montage en demi-pont

II.9.5.3 Montage en pont complet

Ici c'est toutes les jauges qui sont actives

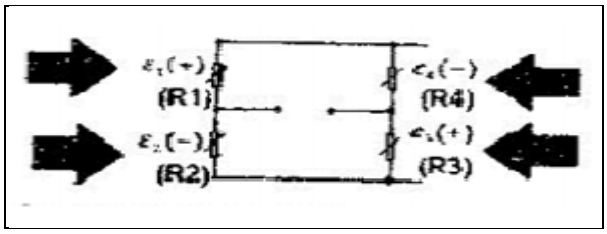


Figure II.11 : Montage pont complet

II.9.6 Equilibre de pont de Wheatstone

A l'équilibre, avant que la jauges ayant remplacé ne soient sollicitées, la tension a la sortie du pont est nulle. On dit que le pont est équilibré. Cette condition si les produits des résistances des branches opposées sont égaux.

Cette condition s'écrit :

Condition d'équilibre du pont : $\Delta E=0$ si $R_1R_3=R_2R_4$

- **Remarque :** la condition d'équilibre ne dépend que des résistances du pont : les jauges sont disposées de manière ce que le signal soit le plus possible, la disposition dépend du type d'essai

II.9.6.1 Collage des jauges

Avant de coller la gauge, la surface doit être traitée, la jauge doit ensuite être recouverte avec une couche protectrice.

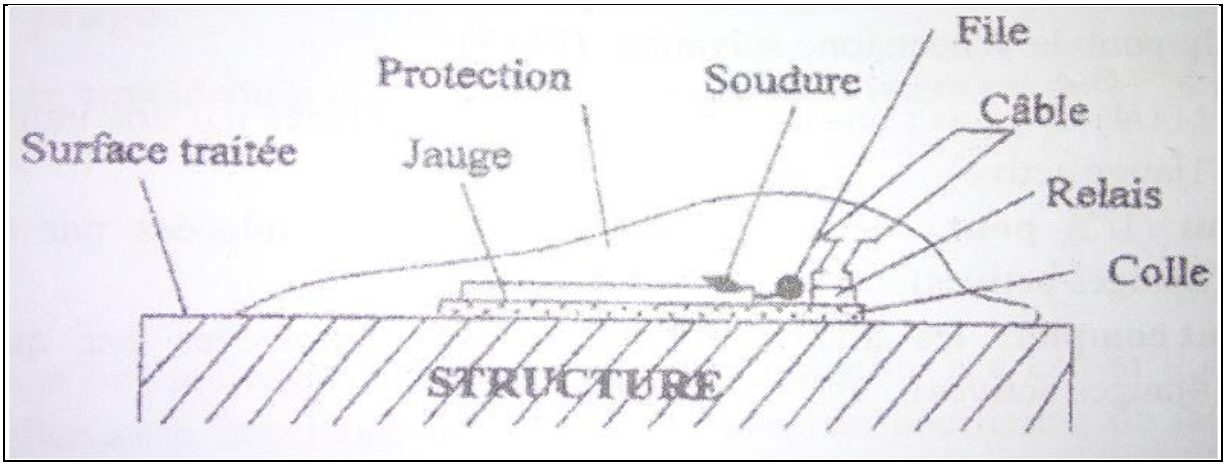


Figure II.12 : Schématisation d'une jauge collée sur une structure

II.9.6.2 Quelques types de jauge de contraintes

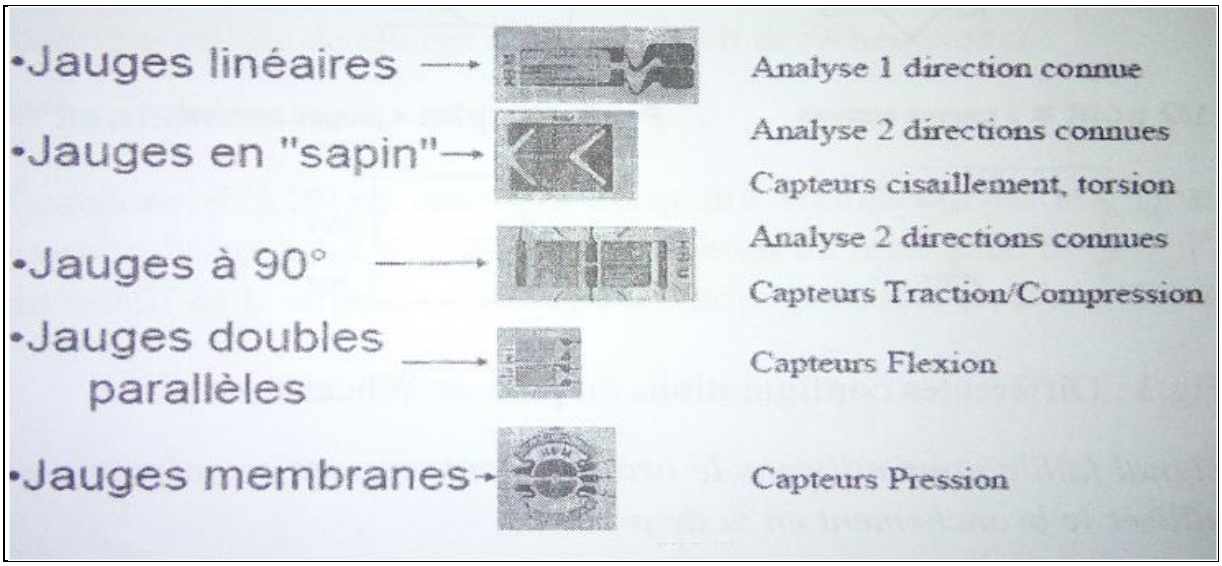
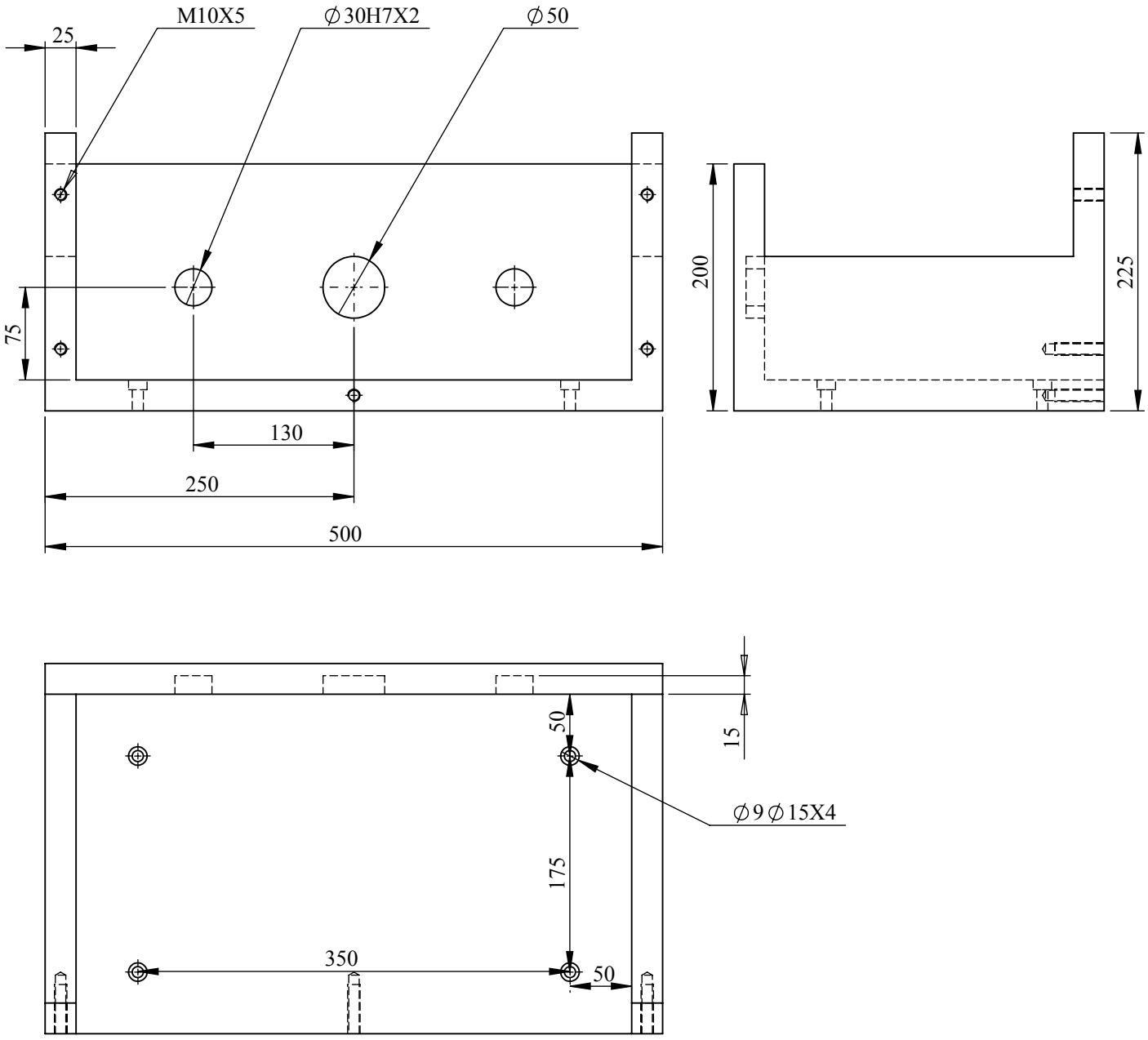


Figure II.13: type de jauge

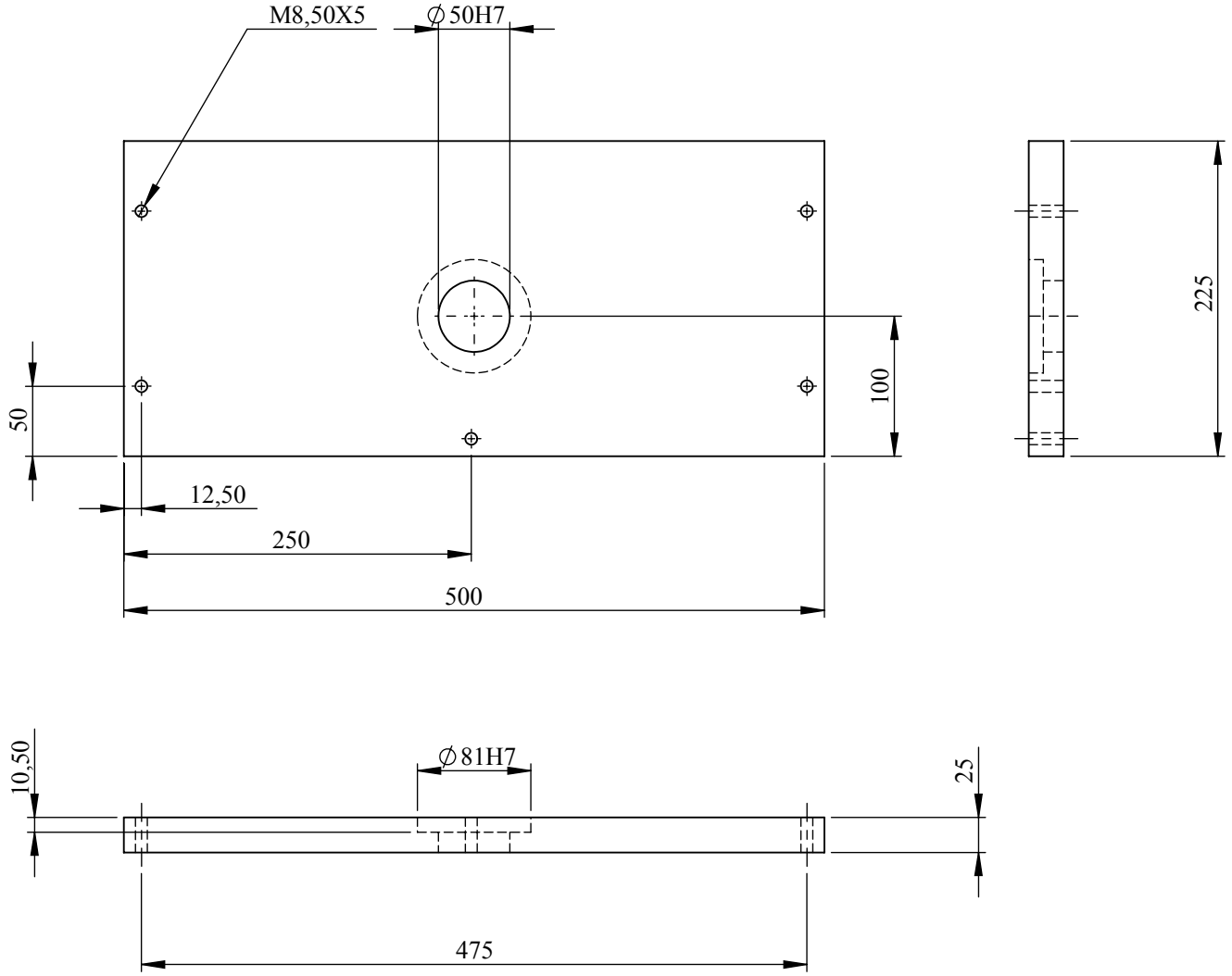
II.10Conclusion

Dans ce chapitre, étude de conception d'un tribomètre à disque, spécifique se range dans les machines de type alternatif. Le banc d'essai a une configuration disque échantillon qui simule, respectivement le contact outil lopin. Elle possède une avance certaine en matière de simplicité de commodité de fonctionnement, facilité de la préparation des éprouvettes.

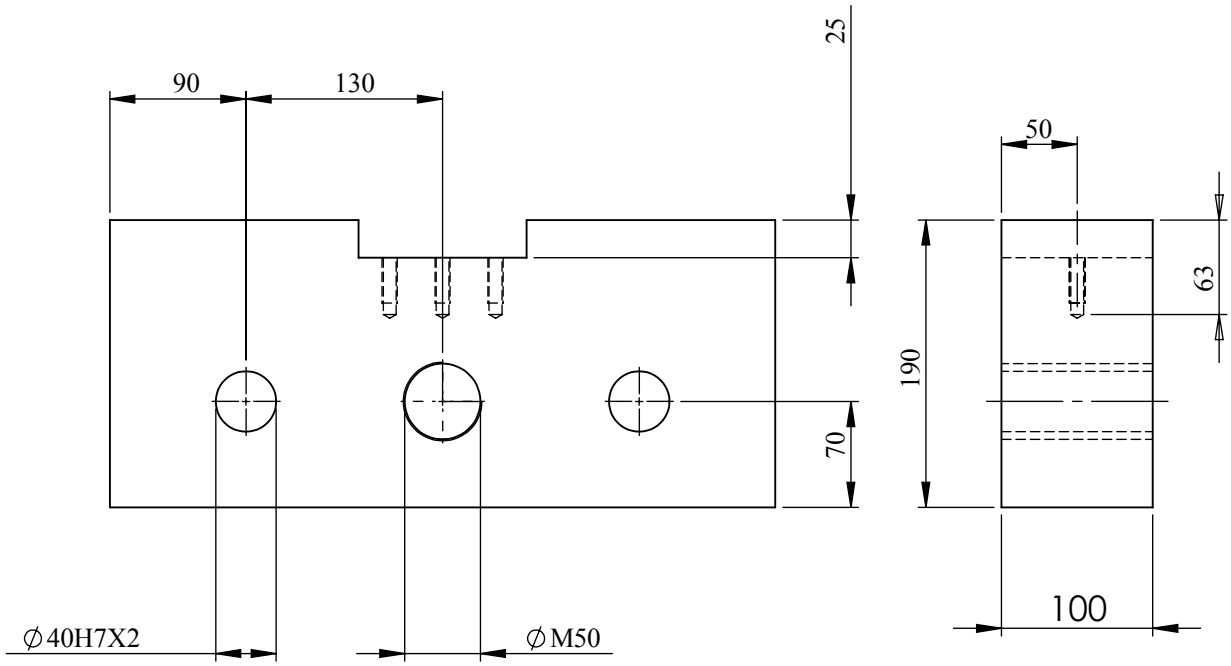
L'architecture du tribomètre, ses spécifiés techniques et fonctionnelles sont présentées et les caractéristiques obtenues permettent de mener des études dans un spectre large de vitesses de glissement et de chargement.

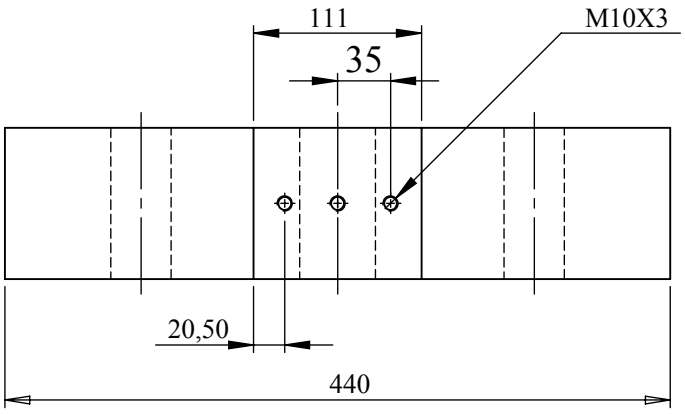


01	02	Porte chariot	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:1:5		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

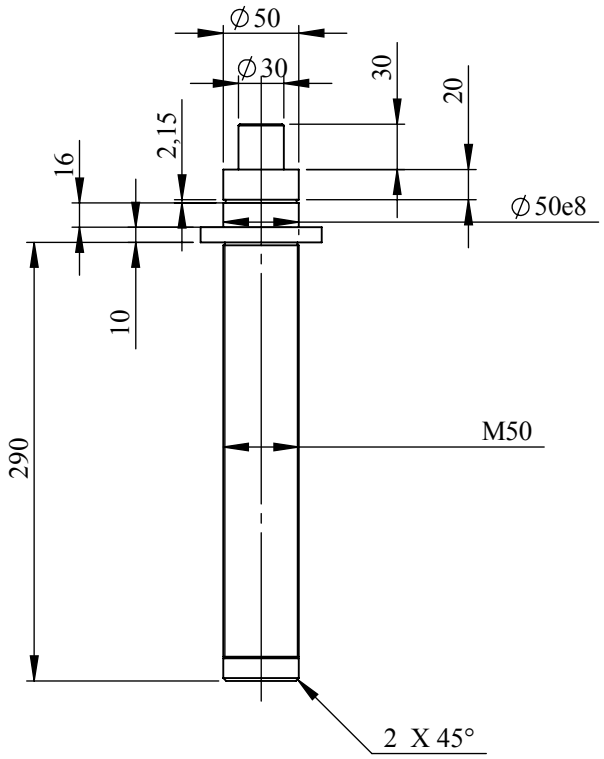


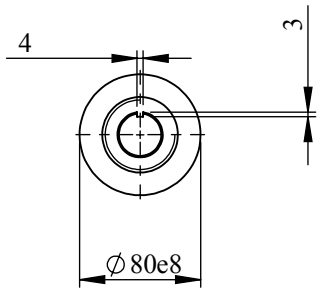
01	02	Porte chariot	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:5		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



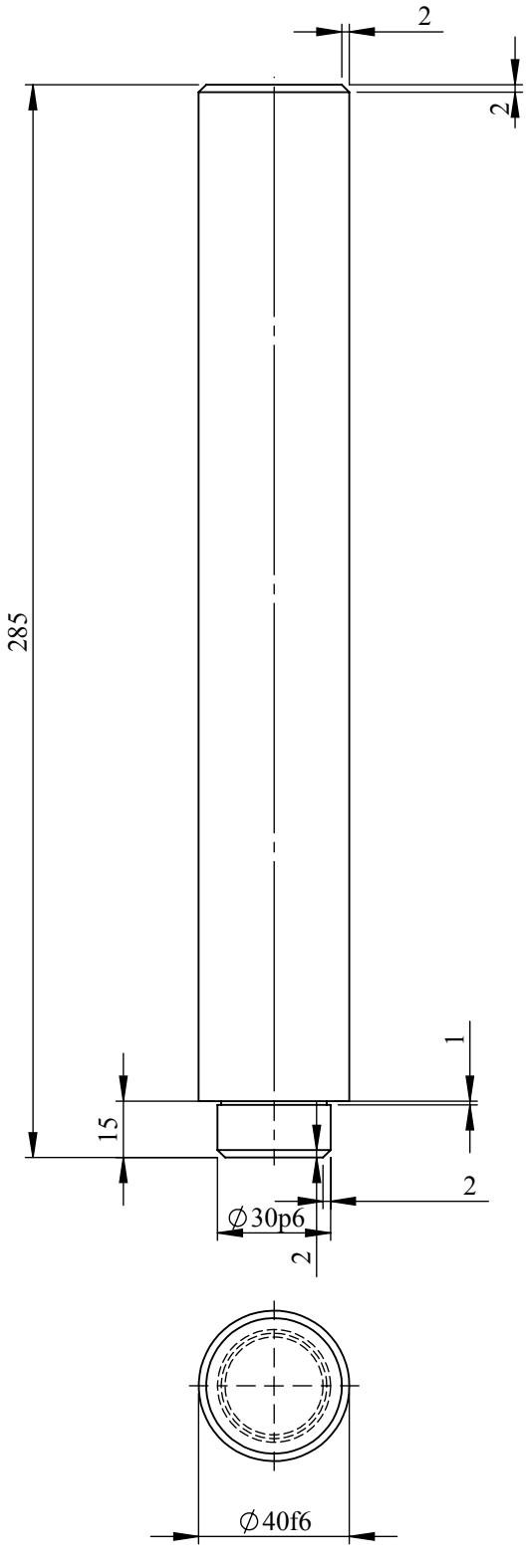


01	03	Chatiot	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



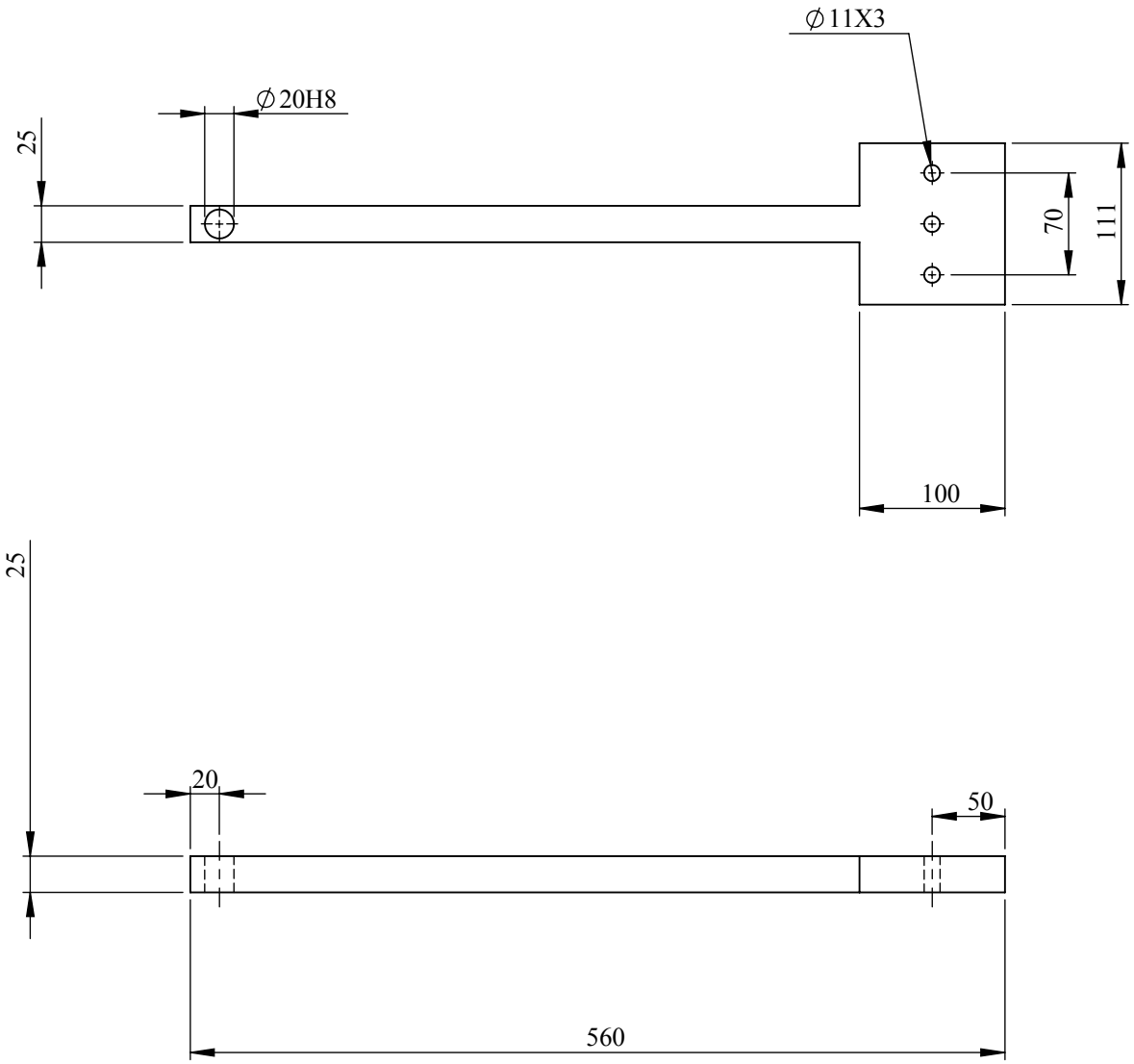


01	04	Tige filteté	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:5		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

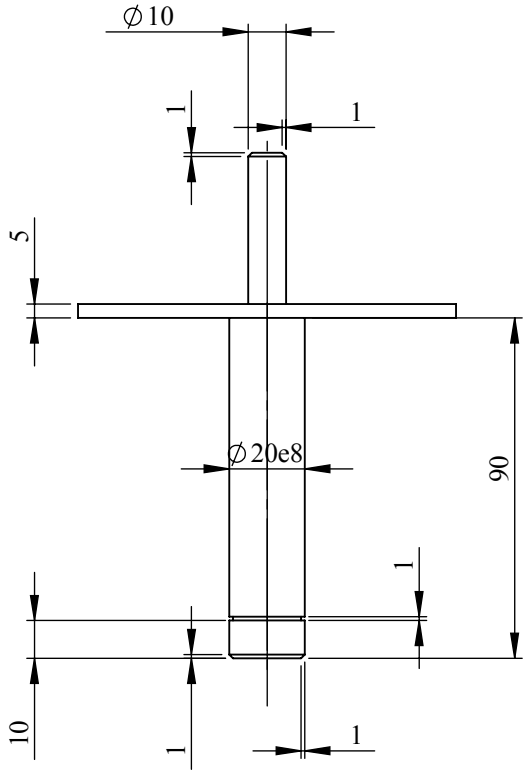


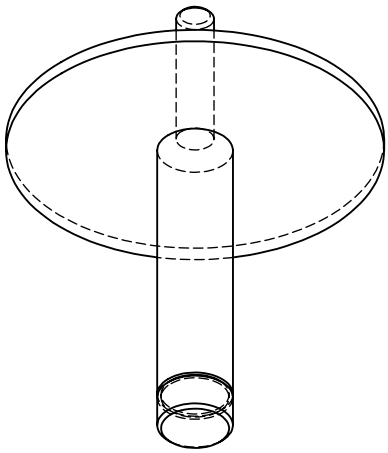
Rodé
Ra 0,4

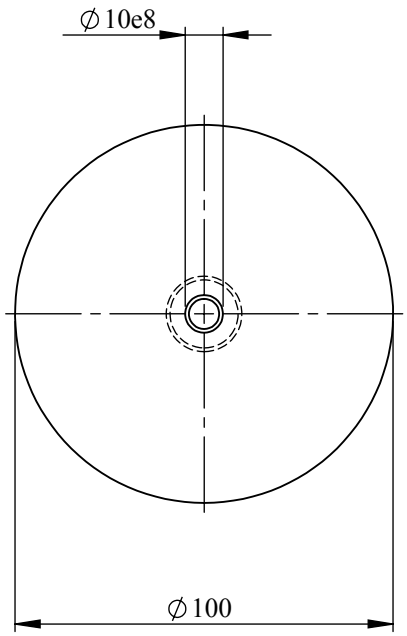
02	05	Barre guide	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO-FGC-GM		08-10-2019



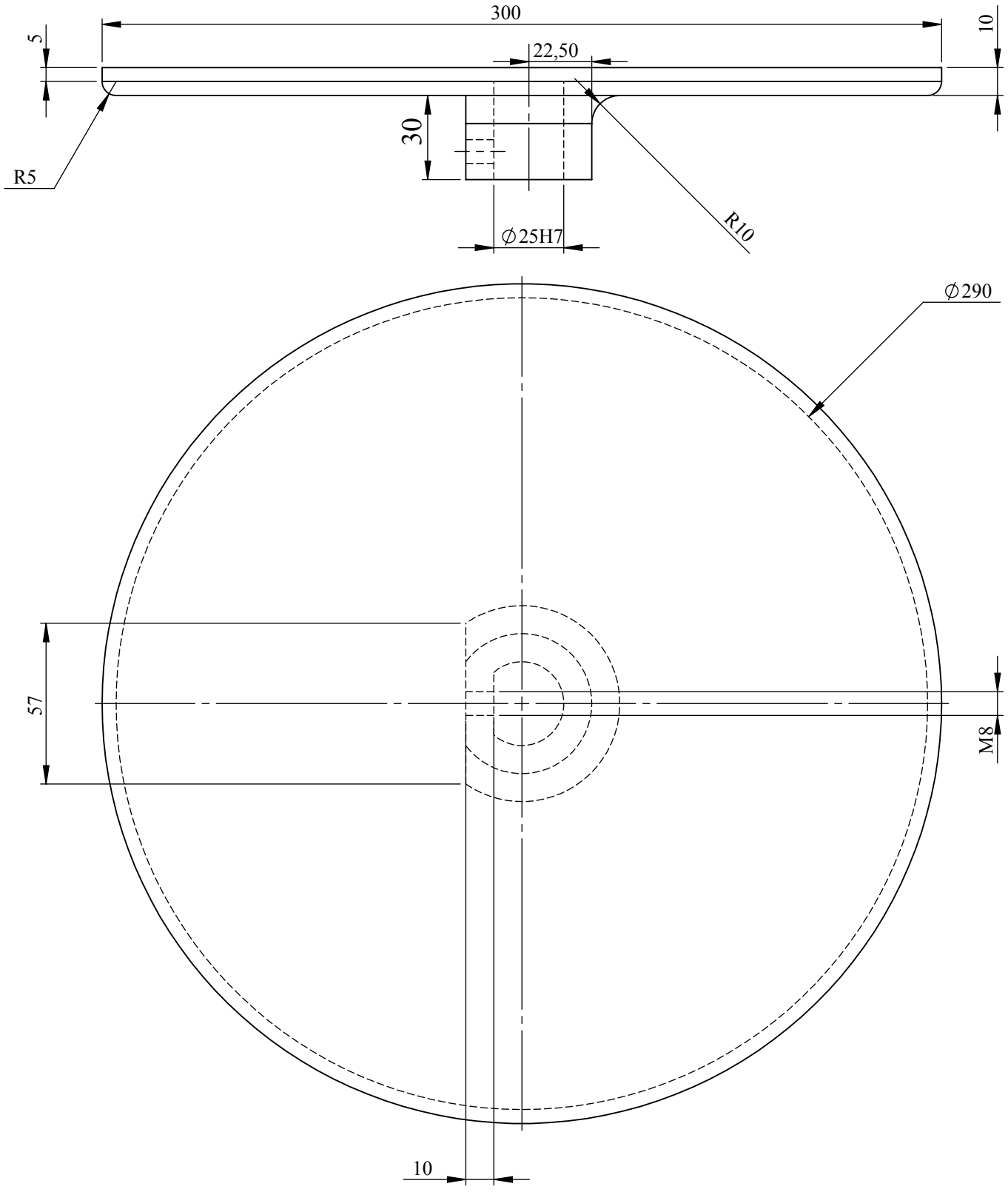
01	06	Barre porte poids	X40CrMV5-1	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:1:5		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



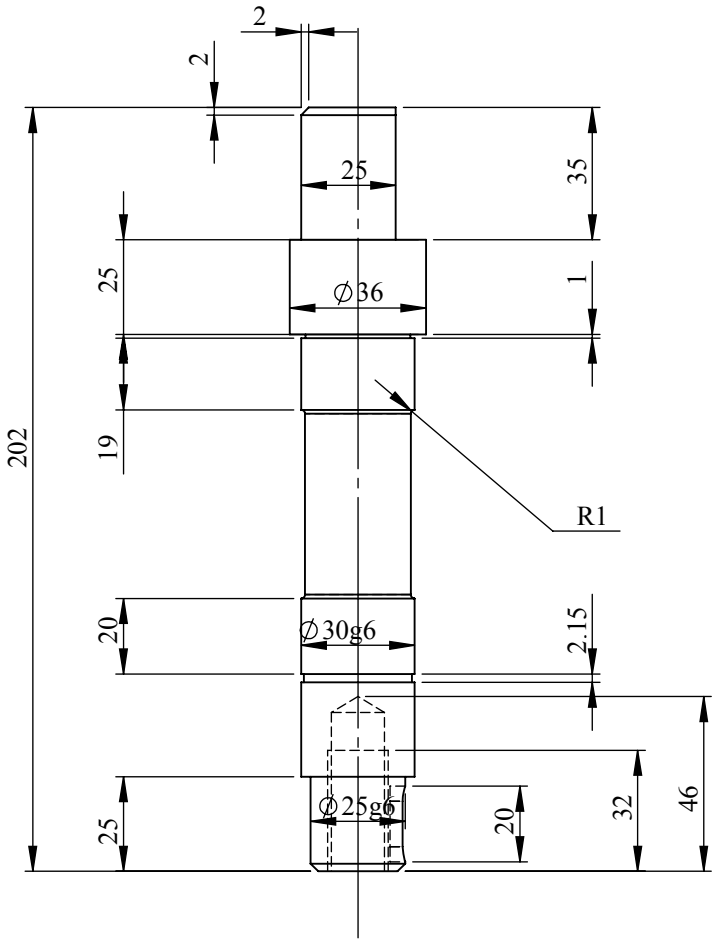


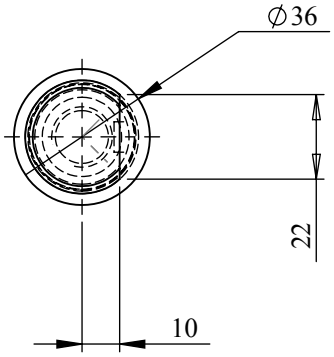


01	07	Porte poids	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



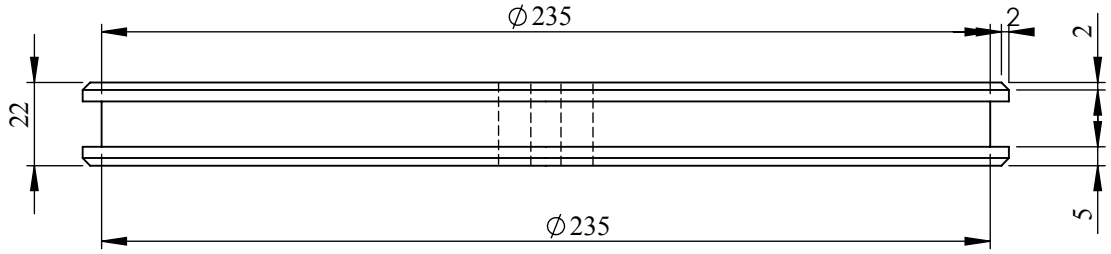
01	10	Disque	acier Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

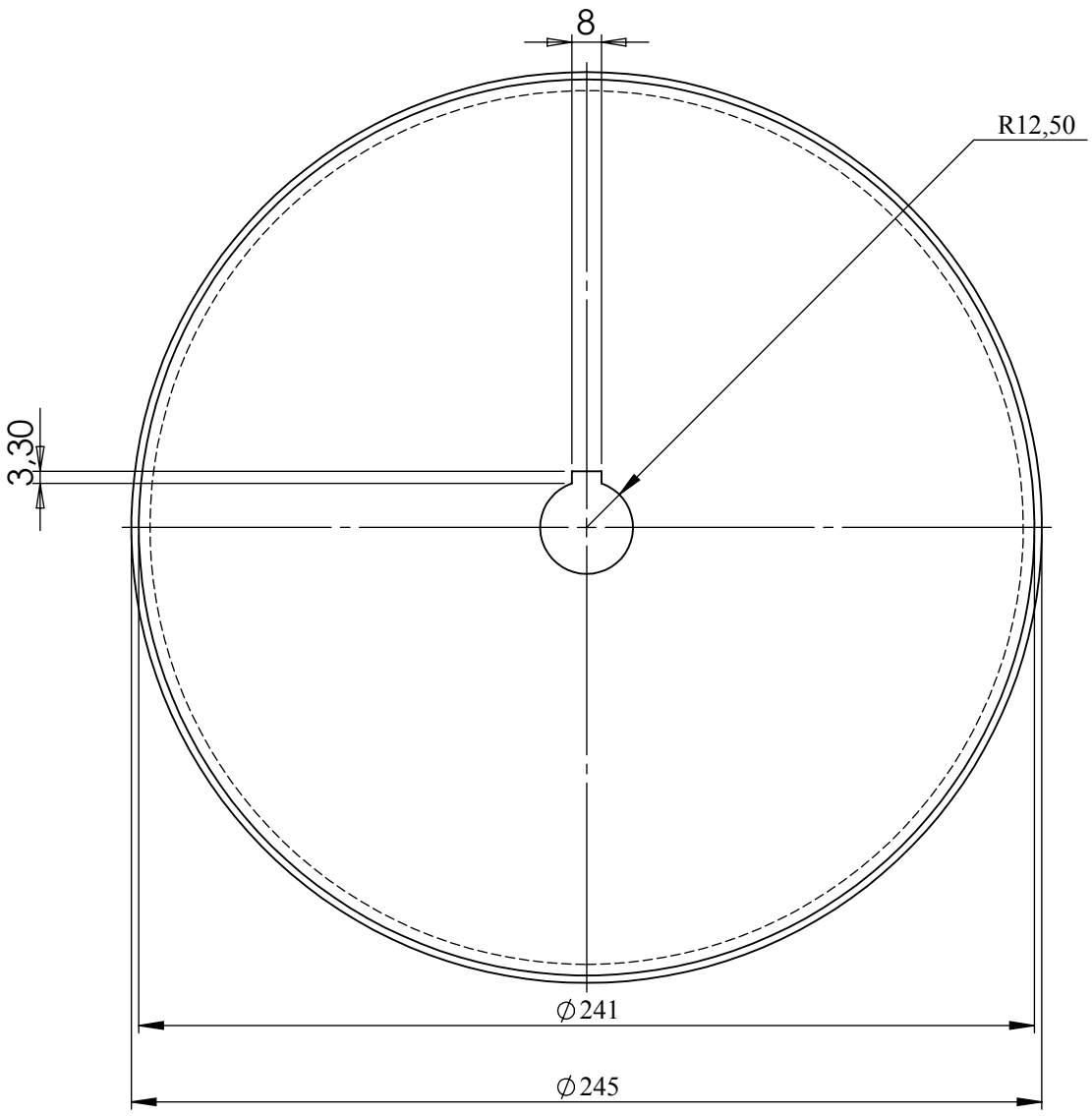




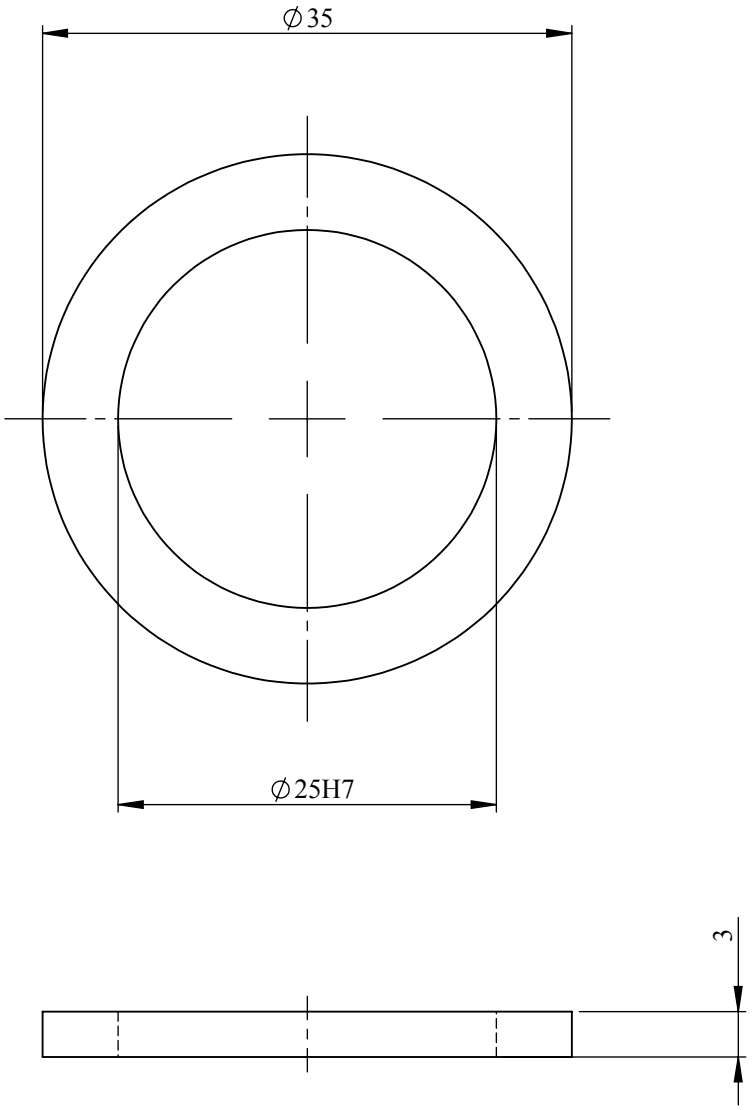
Tournage
Ra 3,2

01	11	Barre de transmition	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

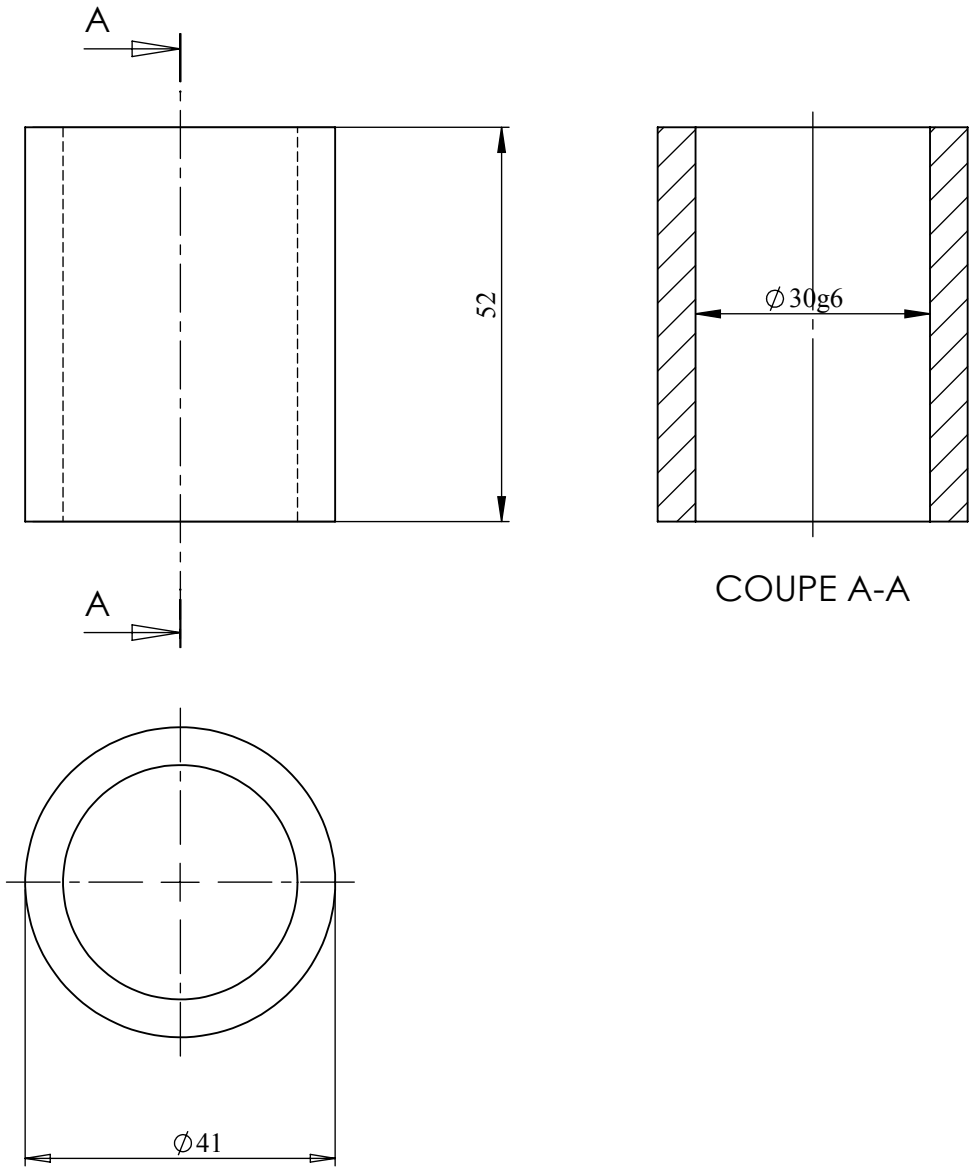




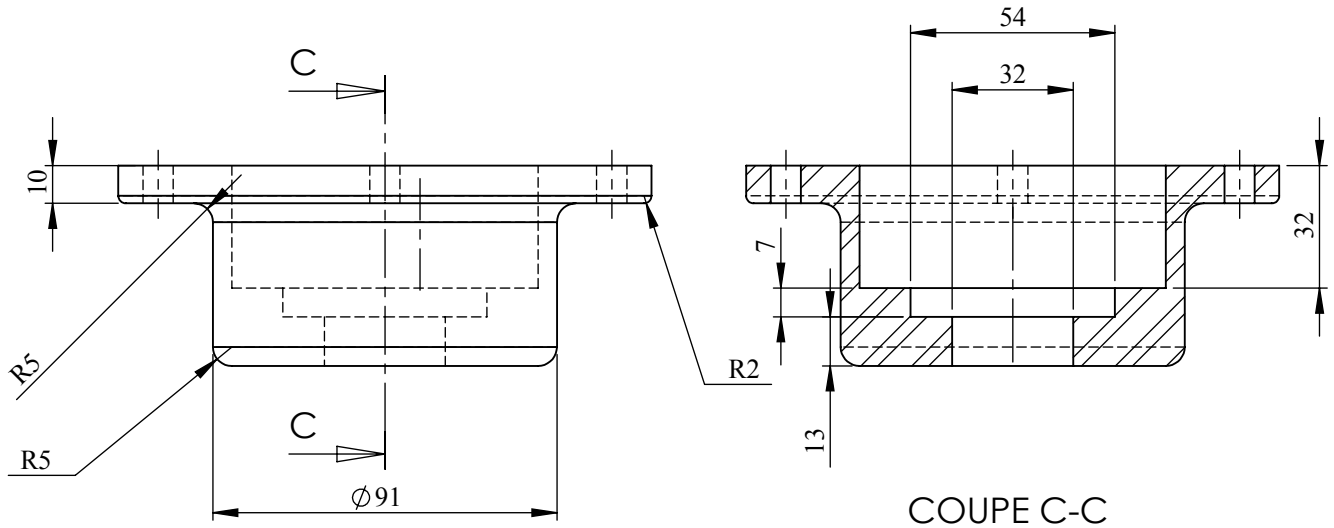
01	12	Poulie	Aluminium	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



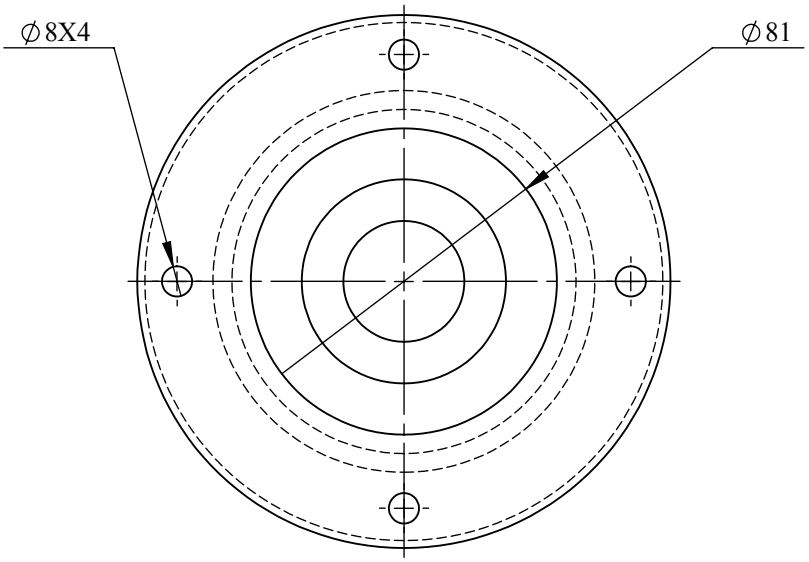
01	13	Rondalle	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:2:1		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



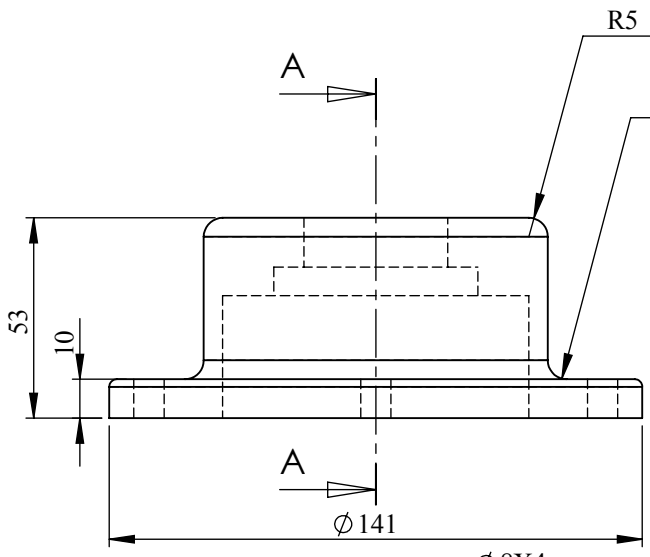
01	16	Bague	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:1:1		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

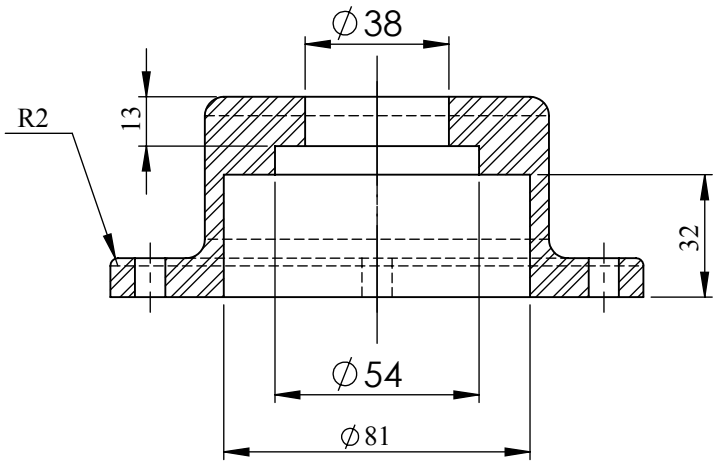


COUPE C-C
ECHELLE 1 : 2

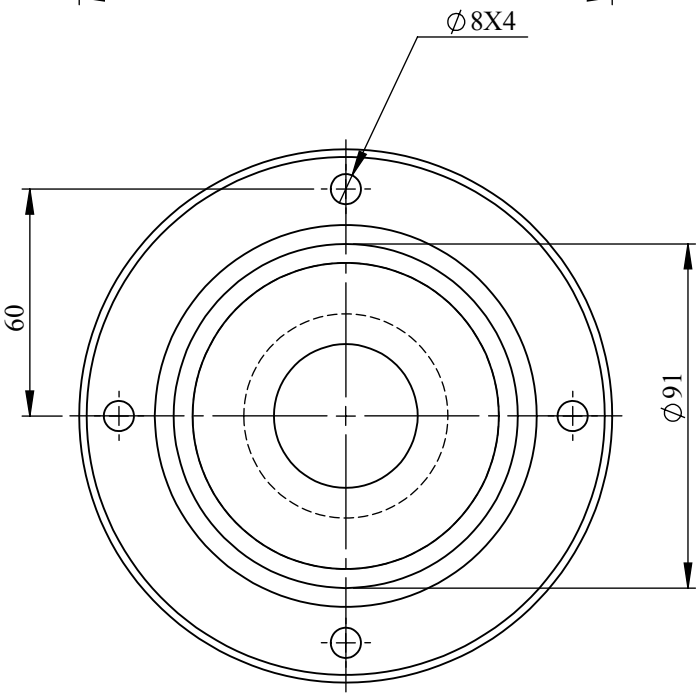


01	18	Couvircle de bas	Aluminium	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

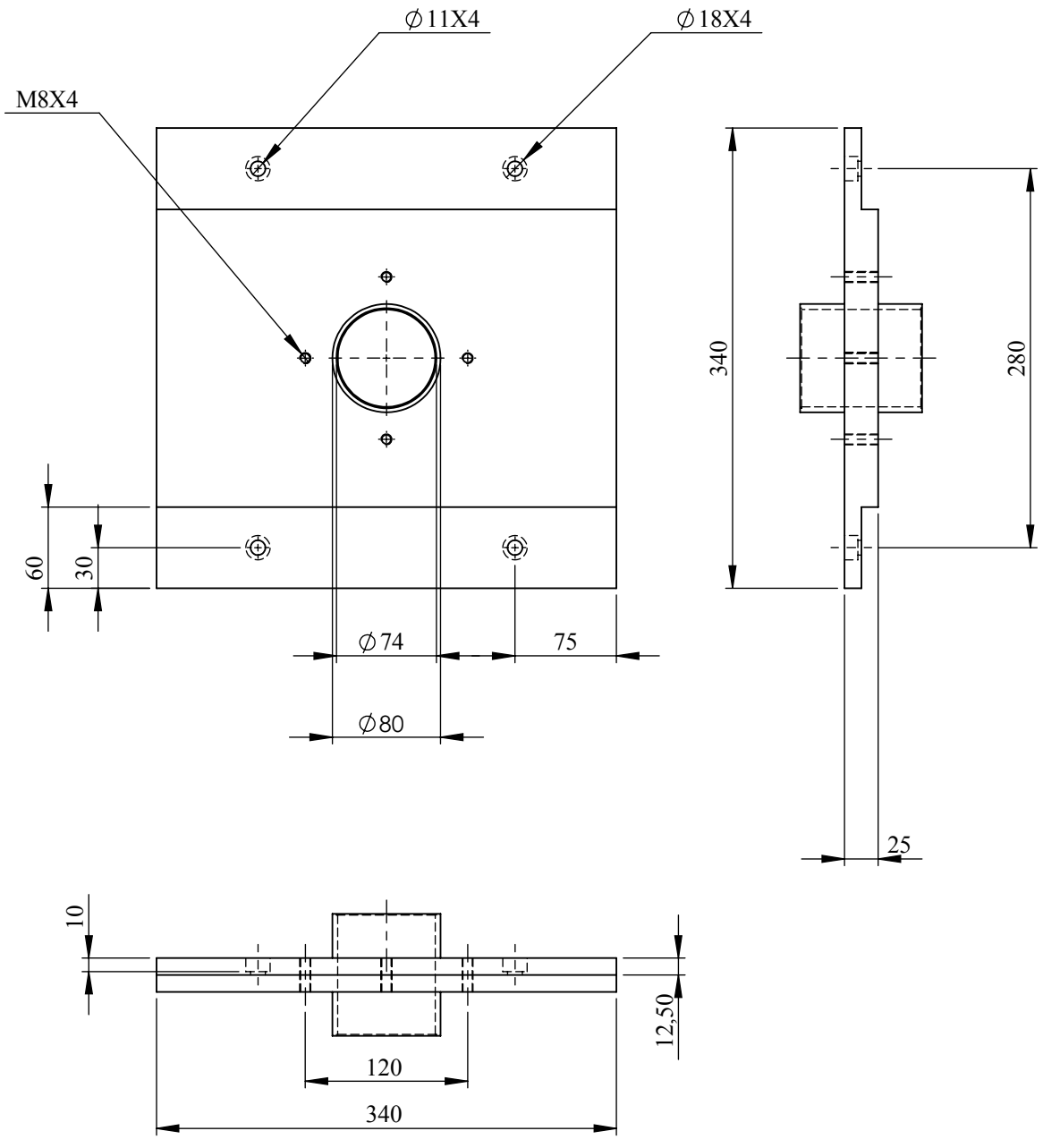




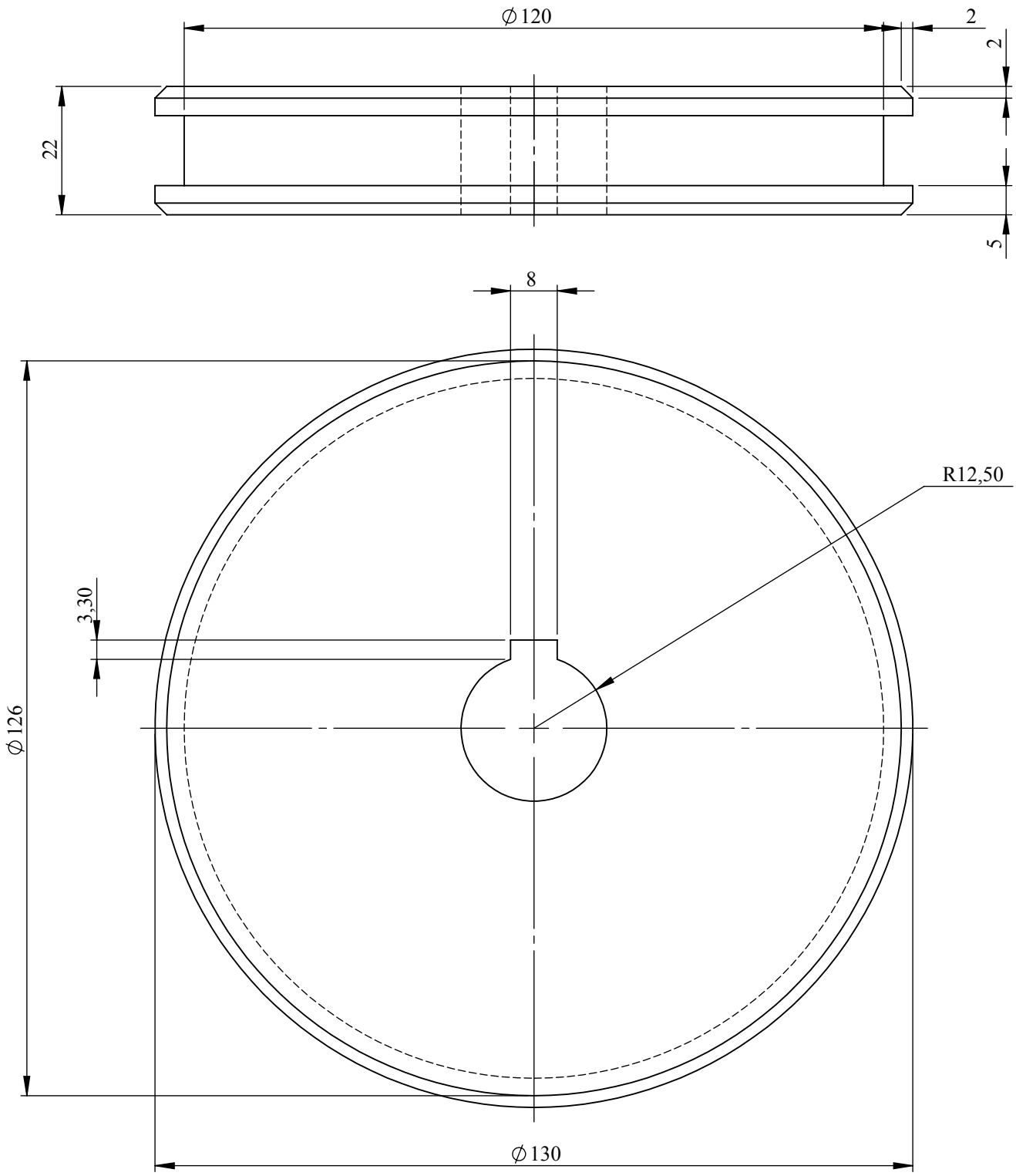
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2



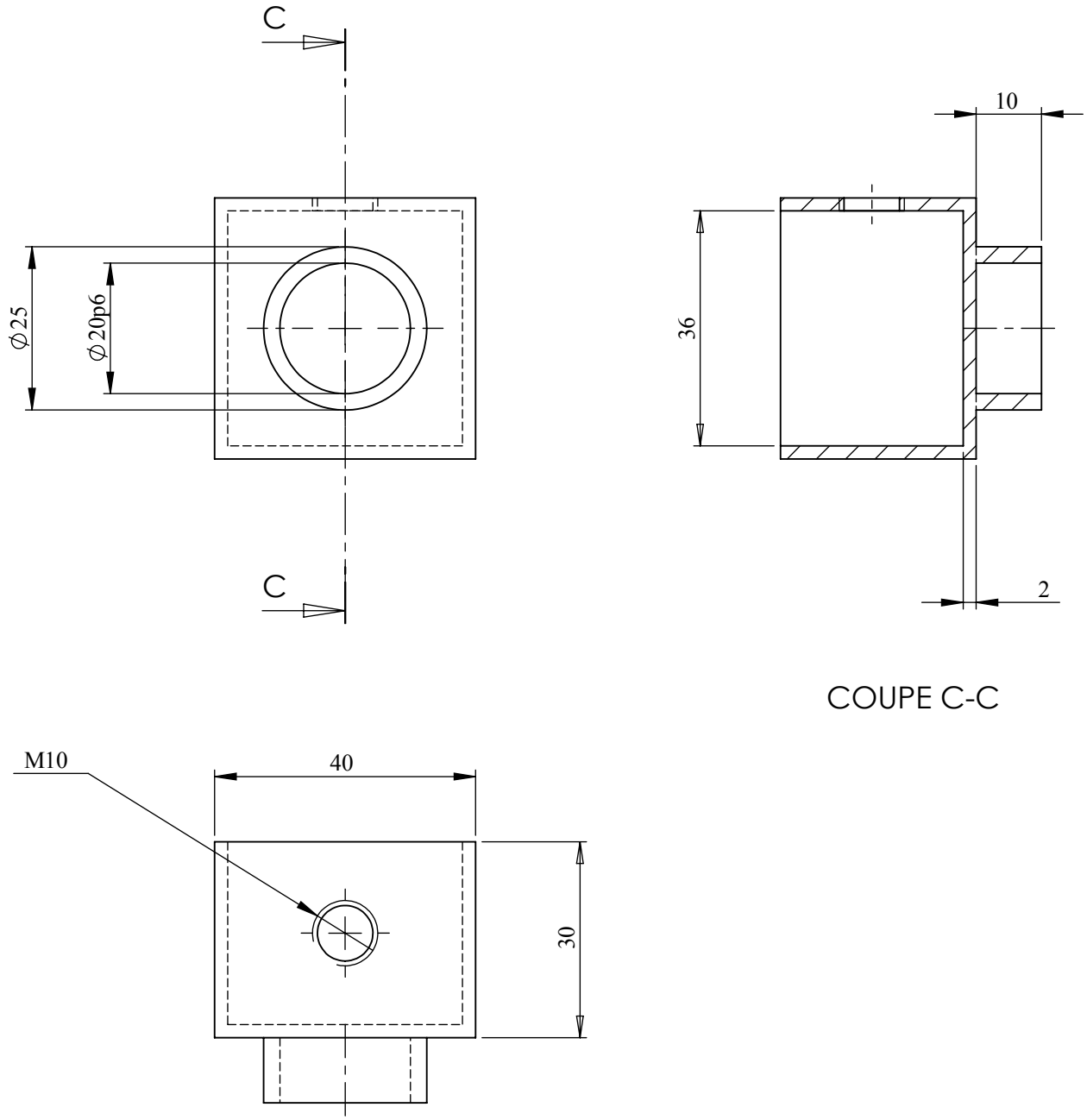
01	19	Couvercle de haut	Aluminium	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echalle:1:2		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



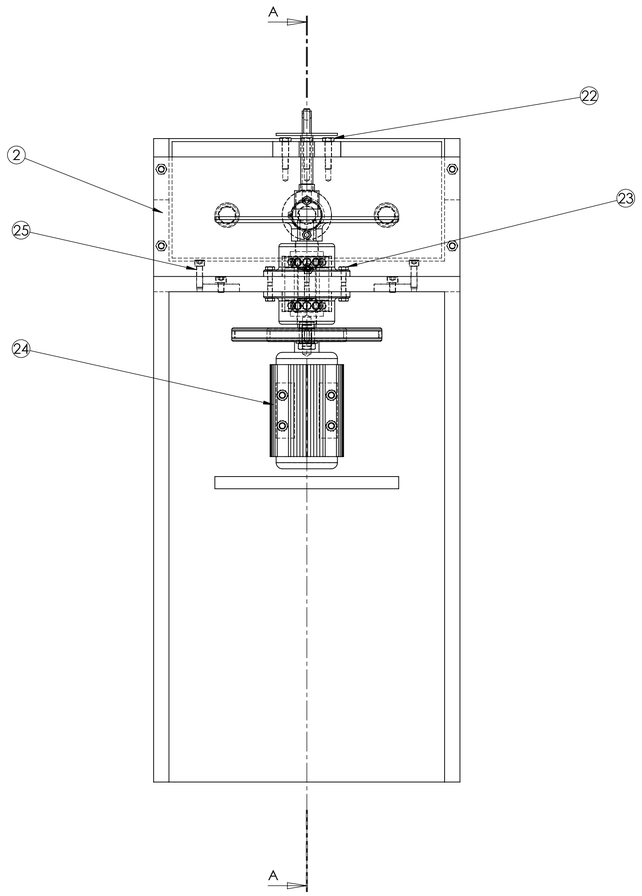
01	20	Support table	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:5		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31

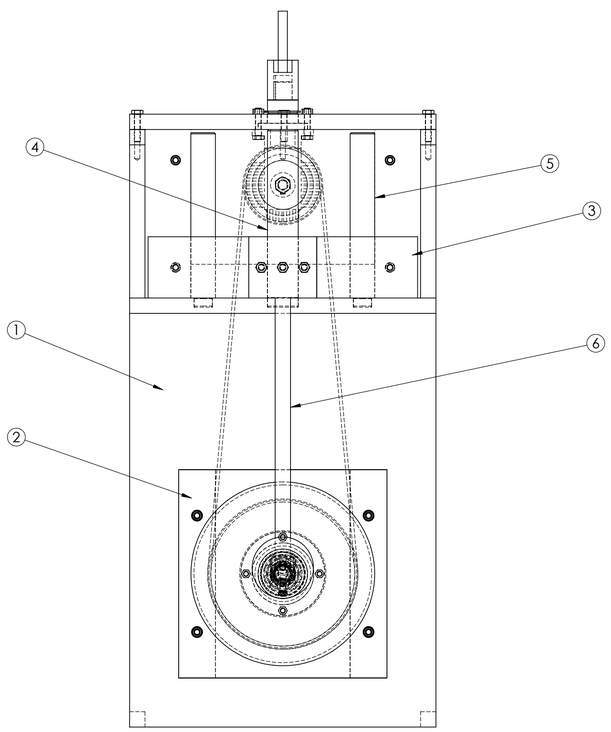


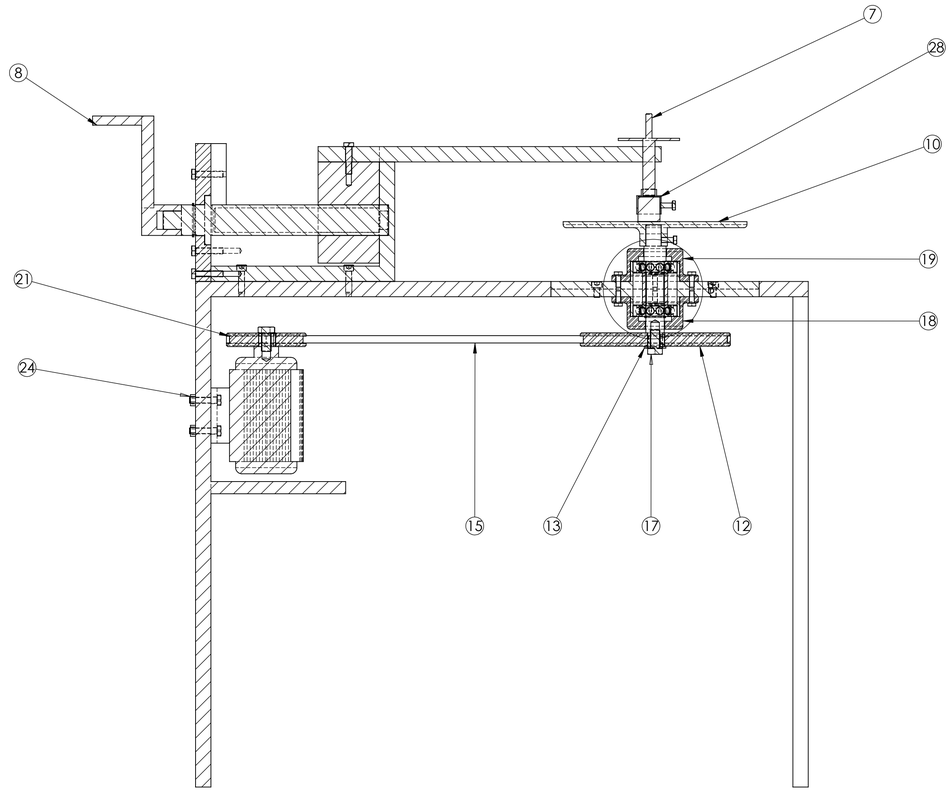
01	21	Poulie moteur	Aluminium	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:1		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31



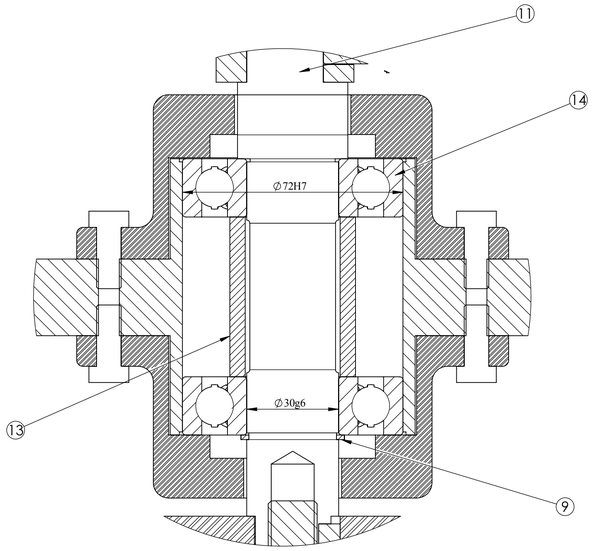
01	28	Porte échantillon	34CrMo4	
Nbr	Rep	Désignation	Matiére	Observation
Echelle:1:1		**TRIBOMETRE A DISQUE**		Réalise par: OUDNI Mohamed
				Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-CM		2019-10-31







COUPE A-A



DÉTAIL B
ECHELLE 1 : 1

Rep	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
28	1	Port échantient	34CrMo4	
27	1	Clavette		
26	1	Moteur electrique		
25	8	Vis M10 CHC		
24	4	Ecrou M10		
23	8	Vis M8 hexagonale		
22	12	Vis M10 hexagonale		
21	1	Poulie moteur	Aluminium	
20	1	Support table	34CrMo4	
19	1	Couvercle de haut	Aluminium	
18	1	Couvercle de bas	Aluminium	
17	2	Vis M16 pour poulie		
16	1	Bague	34CrMo4	
15	1	Couroit	34CrMo4	
14	2	Roulement		
13	1	Rondelle		
12	1	Poulie	Aluminium	
11	1	Brre de transmition	34CrMo4	
10	1	Disque	34CrMo4	
9	2	Circlips	34CrMo4	
8	1	Manivelle	34CrMo4	
7	1	Porte poids	34CrMo4	
6	1	Barre porte poids	X40CrMoV5-1	
5	2	Barre guide		
4	1	Tige fileté	34CrMo4	
3	1	Chariot	34CrMo4	
2	1	Porte chariot	34CrMo4	
1	1	Table	34CrMo4	

Echelle:1:5	**TRIBOMETRE A DISQUE**		
	UMMTO-FGC-CM		Pro:2019
A1	OUDNI Mohamed		Master II

Chapitre III

Analyse de fabrication d'un tribomètre à disque

III. Introduction

La composition d'un dossier de fabrication prend en compte plusieurs étapes. A partir du dessin de définition (document, condition de coupe, condition à respecter pendant l'usinage) passant par certaines étapes de constitution d'avant-projet afin d'arriver à la composition de la gamme d'usinage où la dernière étape on doit rédiger le dossier de fabrication. Dans ce chapitre on présentera les procédés à utiliser pour la réalisation du mécanisme puis les étapes d'usinage de chaque pièce avec des définitions générales sur la gamme d'usinage et en fin on terminera avec la rédaction de cette gamme.

III.1 Les machines

Les machines sont classées en deux catégories **:**

- **Fraisage :** L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules…
- **Tournage :** La pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce : pour réaliser des pièces de révolution.

Bien entendu, des industriels fabriquent des tours, où les outils peuvent tourner, ou des centre de fraisage où les pièces peuvent être entraînés en rotation… ce sont des machines hybrides, mixtes, ou machine multiaxe.

III.1.1 Fraisage

Dans le cas du fraisage : l'outil tourne, la pièce se déplace. Les centre de fraisage comportent généralement 3 axes (que l'on peut commander individuellement pour faire des formes complexe : hélices…) et un plateau tournant pour présenter toutes les faces de la pièce devant la broche. On peut aussi imaginer de monter l'outil au bout un bras de robot. Voir exemple ci-contre. L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules…

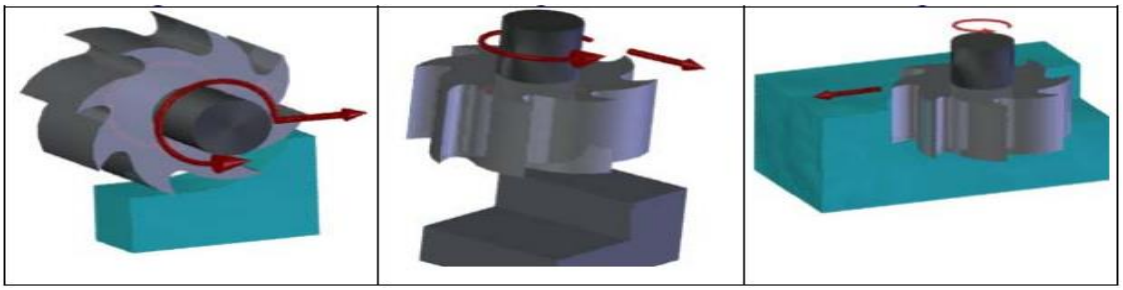


Figure III.1 : Les défirent position d'usinage.

Figure III.2 : Fraiseuse a axe verticale.

III.1.2 Les outils de fraisage

- **Fraise deux tailles ARS :** Usinages de plans. La fraise est en ARS. Cette fraise, une des plus courante, est remplacée par des fraises carbure.
- **Fraise deux tailles à plaquettes rapportées :** Fraise carbure, de défonçage. Cette fraise permet des ébauches rapides, mais ne permet pas de plonger dans la matière (pas de « coupe au centre »)
- **Fraise 3 tailles :** Fraise pour usiner les rainures. 3 plans sont usinés dans une seule passe.
- **Fraise à surfacer:** Fraise carbure à surfacer pour usiner des grands plans [19].

III.2 Le perçage :

Le perçage est une forme de fraisage avec une caractéristique particulière : l'outil doit plonger dans la matière. Il faut donc qu'il soit capable de couper au centre (zone ou la vitesse de coupe est nulle). Le foret le plus courant est en ARS, il peut être revêtu d'une couche de carbure (couleur or), mais il existe des fraises à percer, l'arête de coupe étant formée de deux plaquettes se chevauchant au centre, afin de pouvoir couper le centre du trou.

III.3 Le tournage

La pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce ; Cette opération permet de réaliser des pièces de révolution

Figure III.3 : Tour conventionnel.

III.3.1 Les différents outils de tournage :

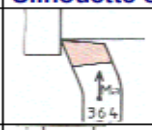
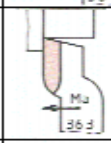
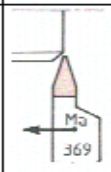
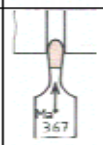
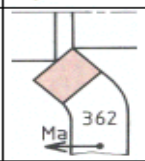
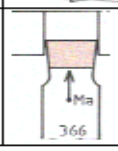
Outil	Norme	Silhouette outils ARS
Outil à dresser d'angle	NFE 66 364	
Outil couteau	NFE 66 363	
Outil à fileter	NFE 66 369	
Outil à saigner	NFE 66 367	
Outil à charioter	NFE 66 362	
Outil pelle	NFE 66 366	

Figure III.4 : les outils de tournage.

III.4 Contrôle de la position de la pièce par rapport à l'outil

Le moyen le plus simple est le vernier : tambour gradué sur lequel on lit les déplacements de l'outil. C'est l'opérateur qui contrôle la position de l'outil, et qui arrête l'avance de l'outil lorsque la position est atteinte. Ces machines s'appellent les machines conventionnelles. Les pièces fabriquées sont limités à des formes simples. Ces machines sont de plus en plus rares dans l'industrie, car elles sont peu productives. On les trouve dans les ateliers de réparation. La machine la plus courante est la machine à commande numérique. Un codeur permet de connaître la position de l'outil, et une boucle d'asservissement permet de contrôler l'alimentation des moteurs d'avance pour atteindre la position désirée. Ces machines nécessitent donc une programmation pour être mise en œuvre, mais la programmation devient de plus en plus transparente grâce aux logiciels de FAO (fabrication assistée par ordinateur) qui génèrent le programme à partir du fichier CAO de la pièce, ou grâce à une nouvelle génération de machine dites « par apprentissage » [21].

III.4.1 Référentiel :

Les machines étant dirigées par un programme, il est important d'avoir une définition commune des références et des axes.

L'axe Z est toujours l'axe tournant. Z+ doit éloigner la pièce de l'outil :

- l'axe de rotation de l'outil en fraisage
- l'axe de rotation de la pièce (mandrin) en tournage
- L'axe X est l'axe du plus grand déplacement
- L'axe Y forme un repère direct avec X et Z.

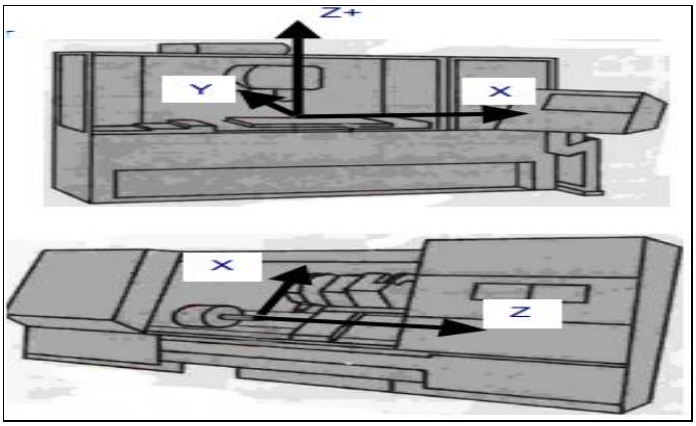


Figure III.5 : représentation des axes sur les machines.

III.5 Etude de l'isostatisme

Le montage d'usinage doit remplir plusieurs rôles :

- Positionner : toutes les pièces d'une série de la même façon,
- Maintenir : la pièce pendant l'usinage (l'empêcher de se déplacer, de fléchir ou de vibrer).

III.5.1 Mise en position de la pièce

Un solide dans l'espace peut se déplacer suivant 6 directions. L'objectif du montage est donc de bloquer (positionner) ces 6 mouvements : 3 rotations et 3 translations. Représentation avec des normales de repérage (correspondant à des liaisons ponctuelles).

III.5.2 Principe

Pour positionner totalement un solide,

- il faut 6 repérages élémentaires,
- il faut que chaque repérage élimine un mouvement,

Si le nombre de repérage est inférieur à 6, le repérage est partiel Si le nombre de repérage est supérieur à 6, le repérage est hyperstatique [21].

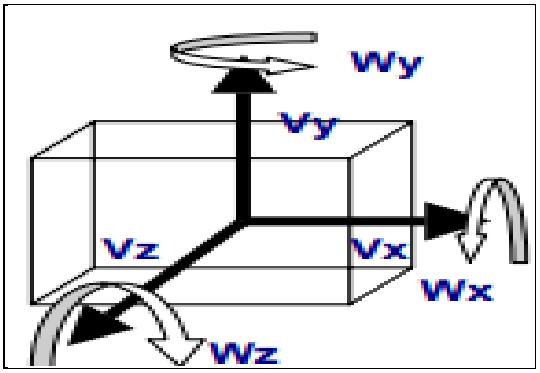


Figure III.6 : les 6 degré de liberté de la pièce à usine.

III.6 Les différentes cotes de fabrication

- **Cote machine (Cm) :**Ce sont des cotes séparant une surface de mise en position (ou l'axe de la pièce en tournage) et la surface usinée. La cote machine est obtenue par réglage de l'outil par rapport au référentiel de mise de mise en position de la pièce.
- **Cote outil (Co)** :

La forme de la surface usinée est définie par la forme de l'outil. En position de la pièce.

- **Cote appareil (Ca):**

Les cotes sont définies directement par le montage d'usinage.

- **Transfert de cote :**

Le Bureau d'étude réalise la cotation du dessin de fabrication en fonction de la cotation fonctionnelle. La position des cotes n'est donc pas toujours appropriée pour la fabrication (voir les exemples ci-dessus). Le cas le plus favorable, est lorsqu'il y a concordance entre les cotes fabriquées et les côtes du bureau d'étude : on appelle ces cotes les cotes directes.

Le transfert de côte est le moyen de calcul permettant de déterminer les cotes utiles à la fabrication.

On remplace la cote que l'on veut transférer par une vectrice condition, puis on trace la chaîne de cote correspondante. Il ne reste qu'à résoudre l'équation issue de la chaîne de cote [21].

III.6.1 Repérage des surfaces

Le bureau des méthodes doit étudier et comprendre le dessin de définition ensuite, il passe au repérage des surfaces (brutes et usinées).

Le choix du repérage des surfaces usinées et brutes se fait par :

B_i : surfaces brutes (**i** : nombre naturel qui désigne le nombre de surfaces brutes.)

1, 2, 3, 4, … : surfaces usinées [21].

III.6.2 Le graphe de liaison

Ce graphe met en évidence la cotation fonctionnelle entre les surfaces, et la concentration des contraintes sur certaines surfaces et suivant les trois axes (ox, oy, oz). Ce graphe permet aussi de déterminer les transferts de cotes quand deux surfaces ne possèdent pas de côtes de liaison, et que l'une d'elles sert de référentiel. Il est divisé en plusieurs parties :

III.6.2.1 Les contraintes dimensionnelles

Ce sont des cotes de liaison entre des surfaces exigées par le dessin de définition, avec des intervalles de tolérances bien précis.

III.6.2.2 Les tolérances géométriques

C'est l'intervalle maximal admissible à l'intérieur duquel peuvent varier les caractéristiques géométriques d'une pièce. Les tolérances géométriques peuvent être de forme, de position, d'orientation ou de battement.

III.6.2.3 Contraintes technologiques

Les plus importantes sont les reprises imposées par la cotation (cotes, spécifications, état des surfaces etc…).

Les différentes opérations de réalisation sont :

- **Ebauche (E) :** permet d'approcher la cote en enlevant le maximum de matière.
- **Demi-finition (F/2) :** permet d'obtenir la forme et la précision géométrique.
- **Finition (F) :** termine toutes les spécifications imposées par le dessin de définition du produit.

Elles dépendent des moyens utilisés pour la fabrication. Elles consistent à protéger l'équipement de l'atelier, le respect des exigences du bureau d'études et l'augmentation de la qualité du produit est en rapport direct avec le prix.

III.6.2.4 Les contraintes économiques

Le coût de la fabrication et la durée de l'usinage, l'usure des outils, nous imposent de faire les meilleurs choix sur la fabrication, de façon à minimiser le coût de revient à l'unité [21].

III.7 Définition des opérations élémentaires

Dans la colonne «Repérage des surfaces » : on désigne la surface usinée à l'aide du graphe des liaisons et du dessin de définition.

Dans la colonne «Cotes de liaisons aux surfaces » : on indique les cotes de liaison aux autres surfaces (brutes ou usinées) et dans la colonne « Spécifications » : on indique

L'intervalle de tolérance (IT), rugosité (Ra) et spécifications particulières (de forme, de position et d'orientation).

On mentionne chaque donnée dans la colonne prévue du tableau une fois que les cotes de liaison et les spécifications sont mentionnées, on détermine le nombre d'opérations

élémentaires pour chaque surface en fonction des spécifications. Le tableau (7) donne le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, la qualité et la rugosité. Plus la spécification est précise, plus le nombre d'opérations élémentaires augmente [21].

Cotes de longueur (≤200 mm)	IT ≥ 0,5	Une opération d'usinage (F)
	0,05 < IT < 0,5	Deux opérations d'usinage (E, F)
	IT ≤ 0,05	Trois opérations d'usinage (E, 1/2F, F)
Cotes diamétrales obtenues à l'outil d'enveloppe	Qualités:12, 13, …	Une opération d'usinage (F)
	Qualités: 8, 9, 10, 11	Deux opérations d'usinage (E, F)
	Qualités: 6, 7	Trois opérations d'usinage (E, 1/2F, F)
Ra ≥ 6,3	Une opération d'usinage (F)	
0,8 < Ra < 6,3	Deux opérations d'usinage (E, F)	
Ra ≤ 0,8	Trois opérations d'usinage (E, 1/2F, F)	

Tableau III-1 : Le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, la qualité et de la rugosité.

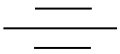
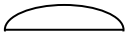
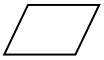
Tolérances d'orientation				**Tolérances de position**		
Symbole						
Signification	Inclinaison	Parallélisme	Perpendic	Localisati	Coaxialité	symétrie
	Axes, plan, cylindre	Axes, plan, cylindre	Axes, plan, cylindre	Axes	Cylindre, alésage	plan
Tolérances de forme						
Symbole						
signification	Surface quelconque	Ligne quelconque	planéité	rectitude	Cylindricité	Circularité
	surface	Profil ou contour	plan	Axe, arête	Cylindre, alésage	Ligne circulaire
Tolérances de battement						
Les tolérances de battement s'appliquent aux surfaces de révolution. Elles permettent d'exprimer les exigences fonctionnelles de surfaces telles que : flasque d'embrayage, roue de friction, galet de roulement, jante de roue.			**symbole**			
			signification	Battement simple	Batte-ment total	

Tableau III-2 : Tableau des tolérances géométriques**.**

III.8 Gamme d'usinage

L 'objectif de la gamme est de définir l'ordre des opérations d'usinage et les différentes prises de pièces associées.

Les contraintes sont nombreuses :

- Utilisation du parc machine présent ;
- Utilisation des outils présents ;
- Respect des spécifications du dessin de définition ;
- Coût minimum [20].

III.8.1 Analyse d'un dessin de définition

Etudier dans l'ordre :

- Le nombre de pièces à réaliser ;
- La matière ;
- Les formes globales de la pièce ;
- Tracer en rouge les surfaces usinées ;
- Analyser les spécifications suivant les trois axes : valeurs des IT, spécifications géométriques, surfaces fonctionnelles ;
- Choisir la prise de pièce pour chaque phase.

III.8.2 Phase et sous-phase

Chaque phase correspond à un poste d'usinage donné Une fraiseuse, un tour …

- Les sous phases : correspondent à une série d'usinage sans démonter la pièce
- Les opérations : correspondent aux différents usinages Chaque changement d'outil.

III.8.3 Rôle de la gamme d'usinage

La gamme d'usinage résume l'étude et doit :

- Permettre l'identification de la pièce étudiée
- Présenter très clairement la succession des phases
- Précariser les surfaces usinées a cheque phase

III.8.4 Comment rédiger la gamme d'usinage :

- Numérotation la gamme : il y a autant de gamme que de pièce dans l'ensemble a fabriquer.
- Identifier la pièce d'âpres les indications du dessin : Elément (nom de la pièce), matière, état brut, la machine a utilisé, outillage…ets.
- Etablir un dessin simplifié de la pièce avec quelque cote remarquable et le repérage des surface usine pur facilite la lecture de la gamme.
- Spécifier chaque phase, d'âpres la gamme.

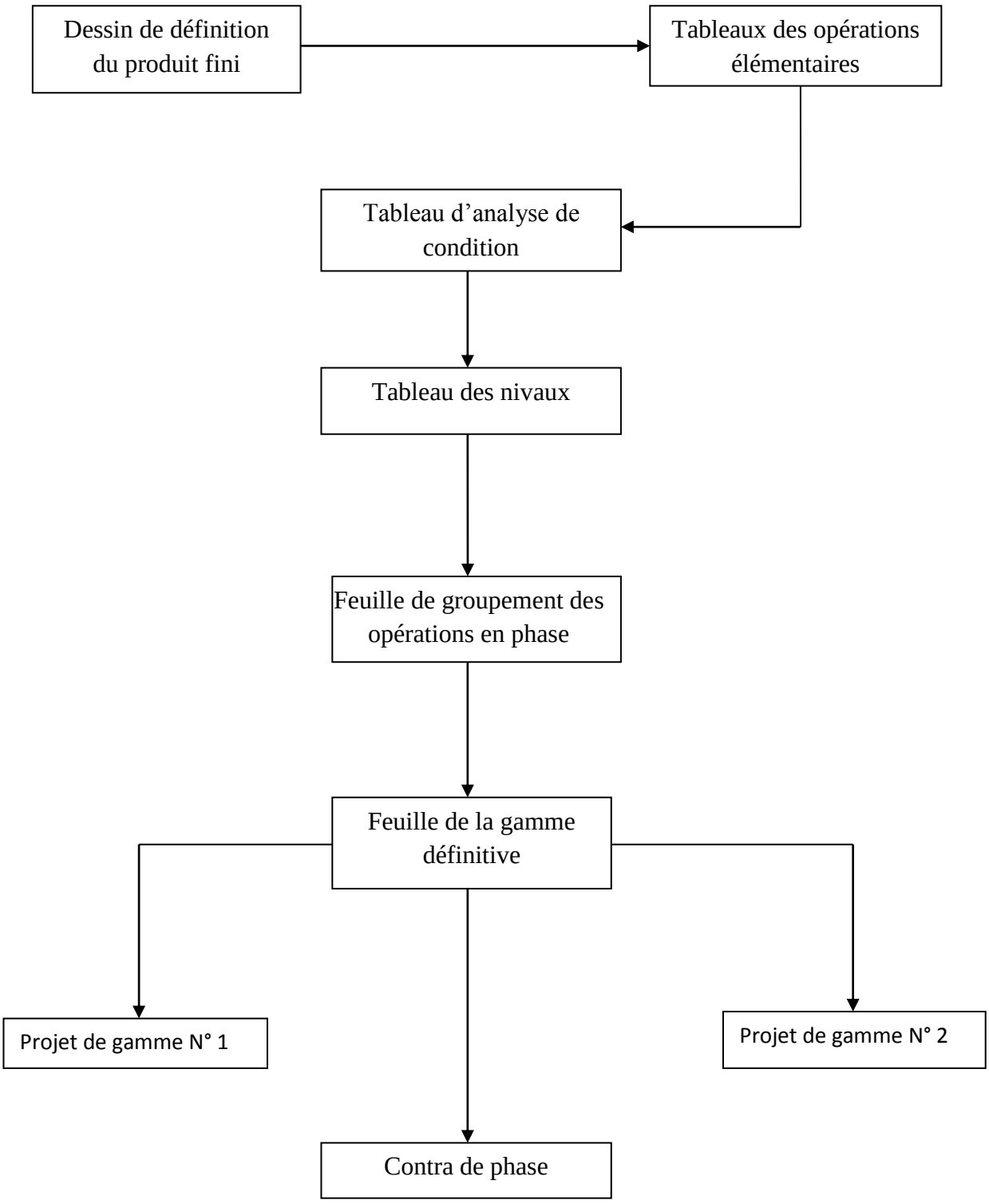
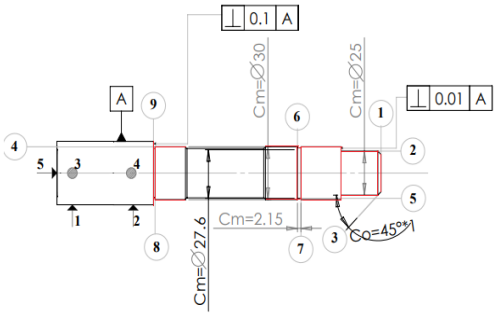
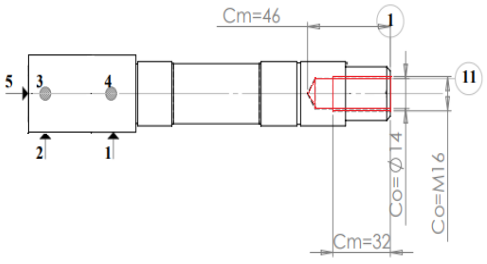
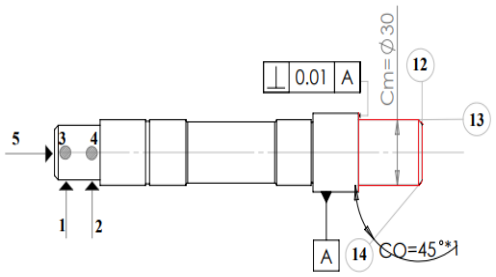
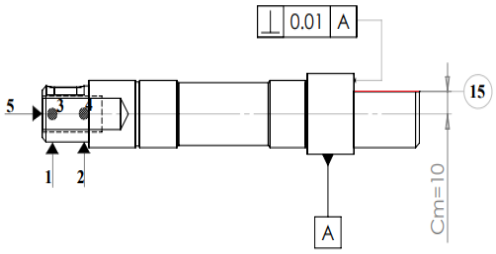
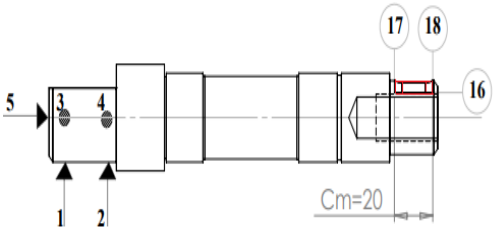
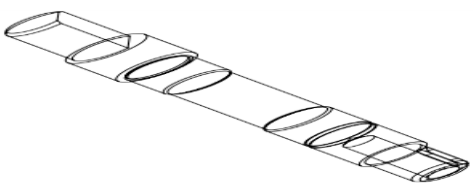
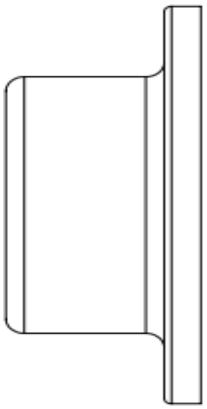
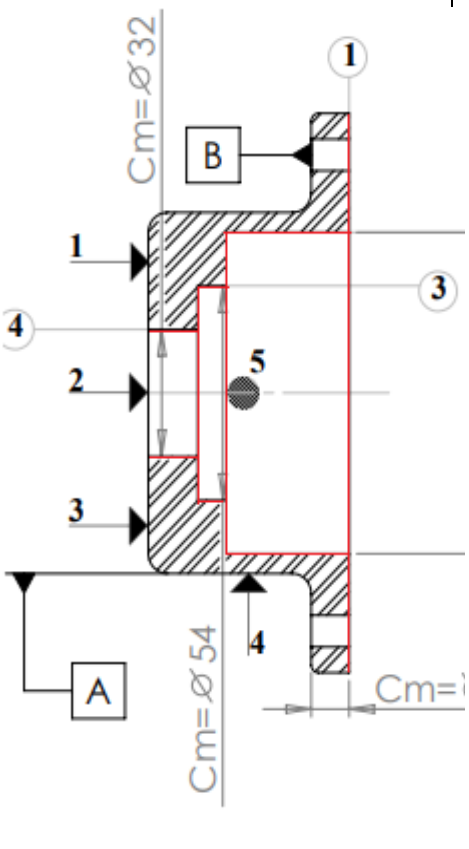
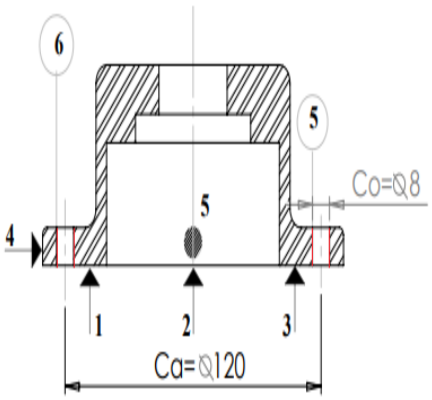
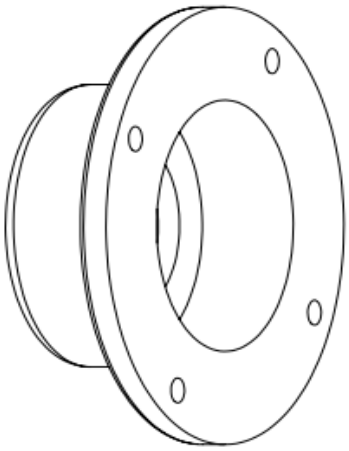


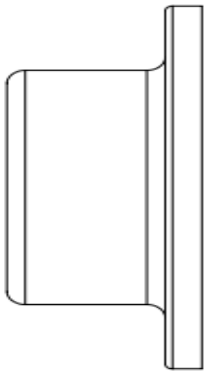
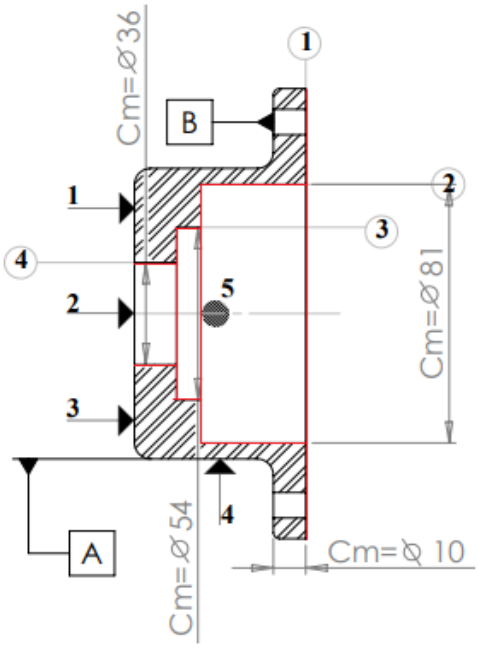
Figure III.7: graphe logique de la méthode développée.

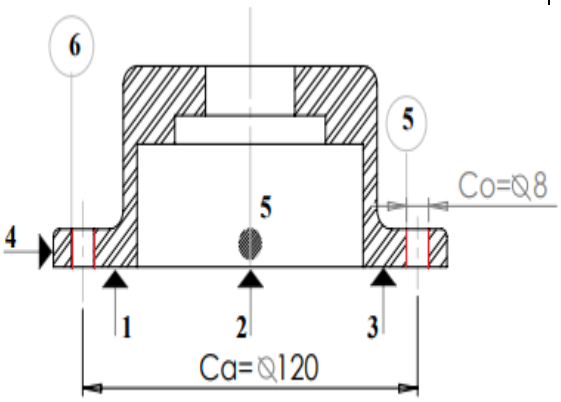
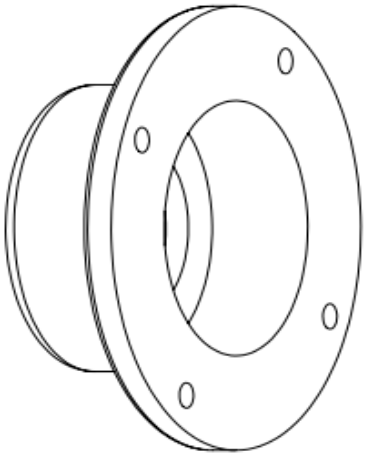
Nom de la pièce a réalisiez		Barre de transmission		
N° de phase	La désignation des phases sous phase et opération	Machine	Outil de coupe	Croquis de la pièce ses devriez usinage
100	Contrôle de brute	Poste de contrôle	Pied à coulisse	
200	Tournage **210 :** Dressage de surface (1) de la pièce (11) une pièce en montage représentée par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) **211:** Epaulement De surface (2) Cm=⌀25 **212:** chariotage de la surface(4) Cm=⌀ 30 **213 :** Chanfreine Co=45°*1 214 : gorge de la surface (5, 6,7) Cm=⌀27,6 Co=2,15 **214:**La gorge (5,8,9) Cm=⌀28 Co=1	Tour parallèle	Outil coudé à 45° à dresser Outil couteau Outil a signé	
	220 : faire trous taraudé (11) sur la surface (1)lapièce en montage définir par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) Co=M16 Cm=32 Cm=46	Tour parallèle	Foret à centrer Foret ⌀15	
	230 : dressage de surface (12)			

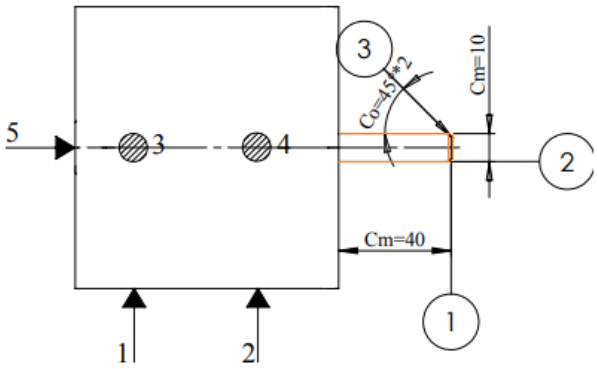
	de la pièce (11) une pièce en montage représentée par -centrages long en 4N(1, 2,3,4) - bute 1N(5) Cm=202 **231** : Épaulement de surface (13) Cm=⌀30 **312** : Chanfreine (14) Co=45°*1	Tour parallèle	Outil coudé à 45° à dresser Outil couteau	
300	Fraisage **310 :** surfaçage (15) sur la pièce (11) une pièce en montage défini par -centrages long en 4N(1, 2,3,4) - bute 1N(5) Cm=10	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacé	
	320 : faire la rainure de clavète (16) de la pièce (2) pièce en montage défini par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) Co=⌀8	Fraiseuse verticale	Foret de ⌀8	
400	Contrôle de la pièce	Atelier de contrôle	Pied à coulisse Jauge de profondeur Montage de contrôle de la tolérance géométrique (⊥) (montage comparateur)	

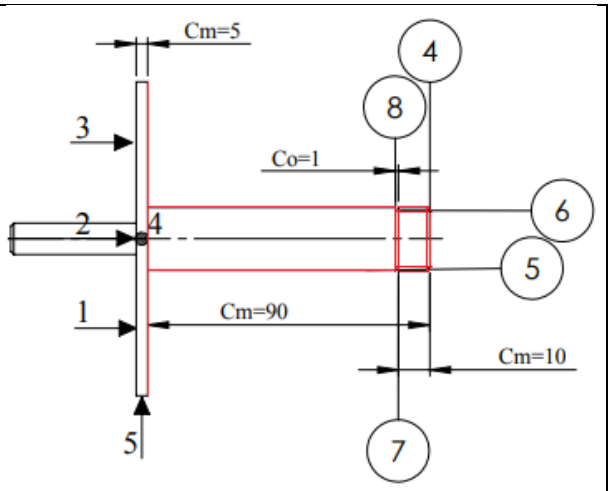
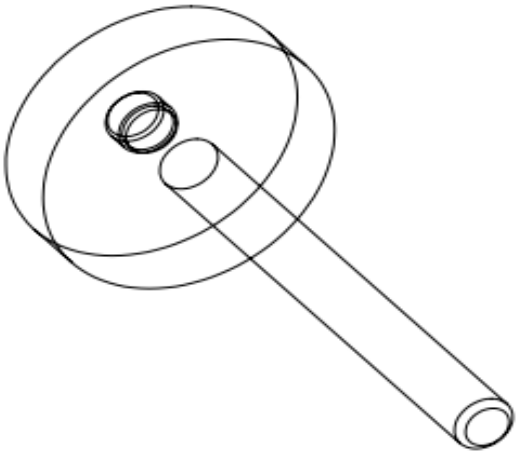
Nom de la pièce a réalisiez			Couvercle de bas	
N° de phase	La désignation des phases sous phase et opération	Machine	Outil	Croquis de la pièce ses devriez usinage
100	Contreclé de brute	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	
200	Tournage **210 :** dressage de surface (1) la pièce (18) en montage représentée par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) **211 :** Alésage de surface(2) Cm=⌀81 **212 :** Alésage de surface(3) Cm=⌀54 **213 :** Alésage de surface(4) Cm=⌀32	Tour parallèle	Outil coudé a dressé Outil à aléser	

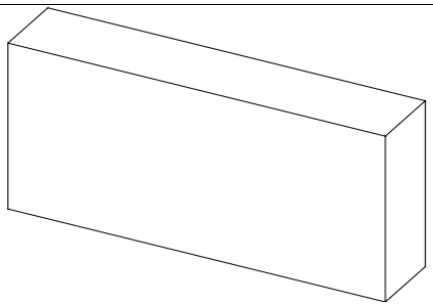
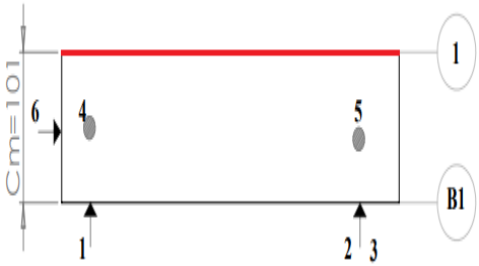
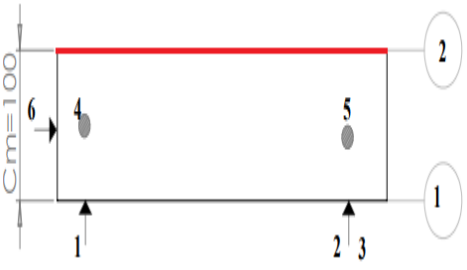
300	Perçage **310 :** faire 4 perçages (5, 6,7,8) sur la surface B définie par : -centrage court 2N (4,5) -Appius plant 3N(1,2,3) Co=⌀8	Perceuse à colonne	Foret de ⌀8	
400	Contrôle de pièce	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	

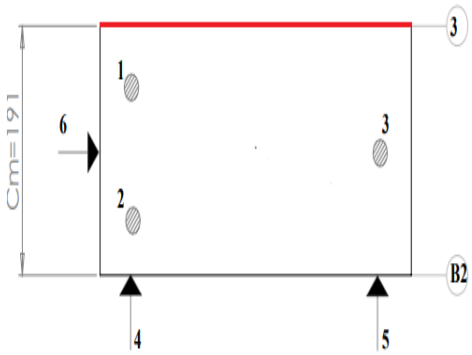
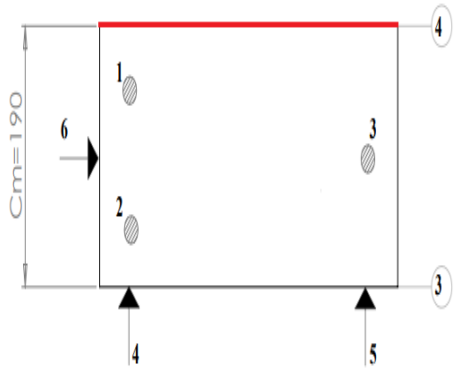
Nom de la pièce a réalisiez			Couvercle de haut	
N° de phase	La désignation des phases sous phase et opération	Machine	Outil	uis de la pièce ses devriez usinage
100	Contreclé de brute	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	
200	Tournage **210 :** dressage de surface (1) la pièce (19) en montage représentée par -centrages long en 4N(1, 2, 3, 4) - bute 1N(5) **211 :** Alésage de surface(2) Cm=⦰81 **212 :** Alésage de surface(3) Cm=⦰54 **213 :** Alésage de surface(4) Cm=⦰32	Tour parallèle	Outil coudé a dressé Alésoir	

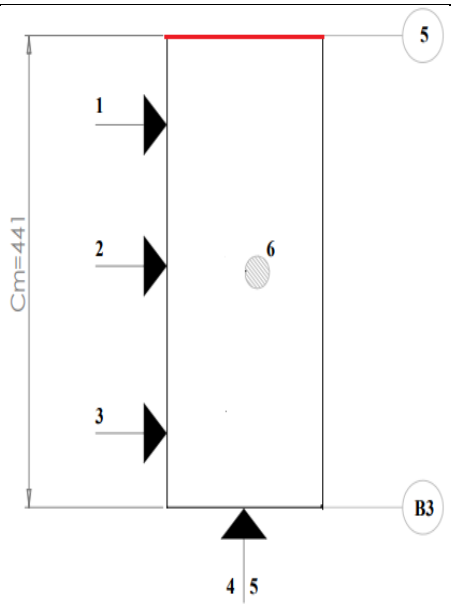
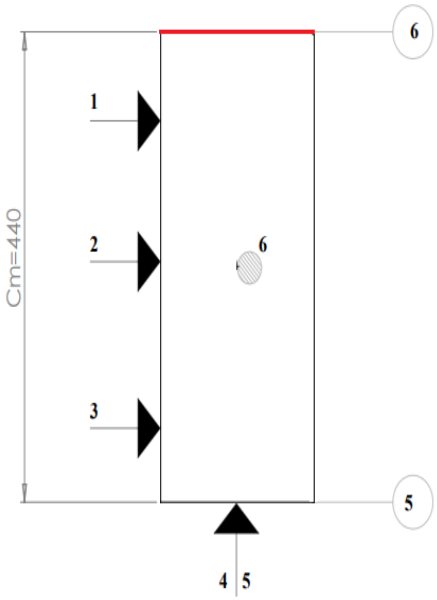
300	Perçage **310 :** faire 4 perçages (5,6,7,8) sur la surface B définie par : -centrage court 2N (4,5) -Appius plant 3N(1,2,3) Co=⌀8	Perceuse à colonne	Foret de ⌀8	
400	Contrôle de pièce	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	

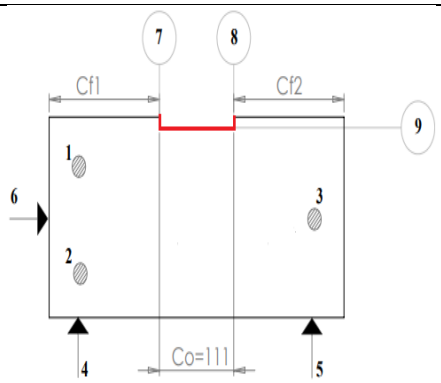
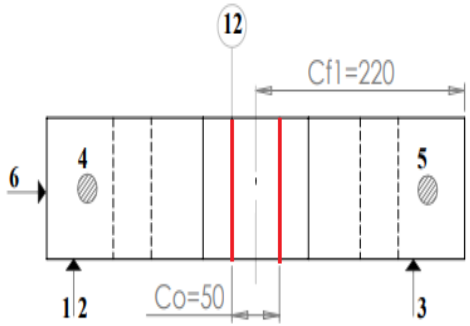
Nom de la pièce a réalisiez		Port poids		
N° de phase	La désignation des phases sous phase et opération	Machine	Outil	Croquis de la pièce ses devriez usinage
100	Contrôle de brute	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	
200	Tournage **210 :** Dressage de surface (1) de la pièce (3) une pièce en montage représentée par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) **211:** chariotage de surface (2) Cm=⦰10 **212 :** Chanfreine (3)	Tour parallèle	Outil coudé à 45° à dresser Outil couteau	

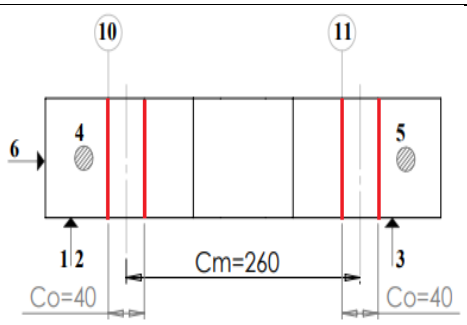
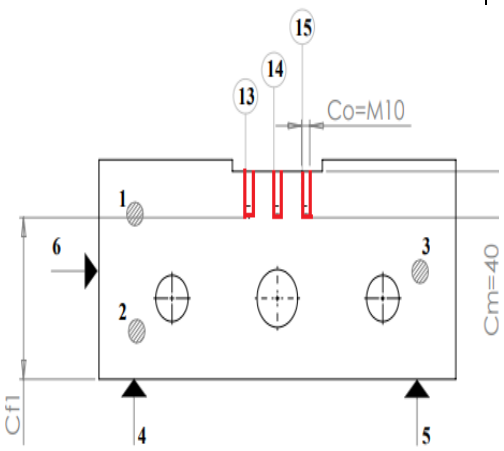
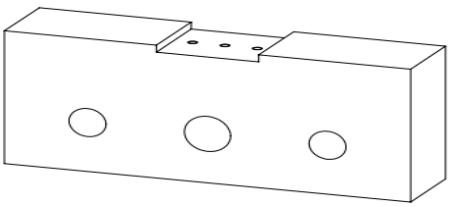
	220 : Dressage de surface (4) de la pièce (3) une pièce en montage définie par -centrages long en 4N(1,2,3,4) - bute 1N(5) **221 :** chariotage de surface (5) Cm=20 **222 :**Gorge de surface (6 .7.8) Co=1 Cm=18	Tour parallèle	Outil coudé à 45° à dresser Outil couteau	
300	Contrôle de la pièce	Atelier de contrôle	Pied a coulisse	

Nom de la pièce a réalisiez		Chariot		
N° de phase	La désignation des phases sous phase et opération	Machine	Outil	Croquis de la pièce ses devriez usinage
100	Contrôle de brute	Atelier de contrôle	Pied à coulisse	
200	Fraisage **210 :** Surfaçage de la surface (1), est la pièce (3) en montage sur la fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm=101	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	
	Fraisage **220 :** Surfaçage de la surface (2), est la pièce (3) en montage sur la fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	

	(4,5) - une bute (6) Cm=100			
	Fraisage **230 :** Surfaçage de la surface (3), est la pièce (1) en montage sur la fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm=191	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	
	Fraisage **240 :** Surfaçage de la surface (4), est la pièce (1) en montage sur la fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1, 2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm 190	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	
	Fraisage **250 :** Surfaçage de la surface (5), est la pièce (1) en montage sur la	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	

	fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm=441			
	Fraisage **260 :** Surfaçage de la surface (6), est la pièce (1) en montage sur la fraiseuse verticale - appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm 400	Fraiseuse verticale	Fraise à surfacer	
	Fraisage **270 :** Surfaçage de la surface (7,8 ,9), est la pièce (1) en montage sur la fraiseuse verticale		Fraise à surfacer	

	- appui plant sur la surface en 3 normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Cm=111			
300	**310 :** Perçage est taraudé de la pièce monte sur la perceuse définie par - appui plant sur la surface en (1) normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Co=⦰50mm	Perceuse à colonne	Foret à centrer Forets ⦰10 ⦰30 ⦰46 Taraud M50	
	320 : Deux perçage de la pièce monte sur la perceuse définie par - appui plant sur la surface en (1) normale (1,2,3) - appui linier (4,5)	Perceuse à colonne	Foret ⦰10 ⦰30 ⦰40	

	- une bute (6) Co=⦰40mm Cm=160mm			
	330 : Trois perçage de la pièce monte sur la perceuse définie par - appui plant sur la surface en (1) normale (1,2,3) - appui linier (4,5) - une bute (6) Co=⦰10mm Cm=160mm	Perceuse à colonne	Foret à centrer Forets ⦰8 ,5 Taraud M10	
400	Contrôle de la pièce	Atelier de contrôle	Pied à coulisse Jauge de profondeur Les talant lisse double (TLD)	

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons présenté dans ce thème concerne l'étude et conception d'un tribomètre a disque. Ce dispositif permis au futur étudiants, après vérification et essais de mettre en évidence le phénomène de l'usure dont, on prend en considération plusieurs paramètres liés 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 maitriser :

- Un bon choix des matériaux suivants les conditions d'utilisations,
- Un Choix judicieux des formes des pièces pour assurer les différentes liaisons mécanique est facilité la fabrication de ces pièces.
- Réaliser la cotation fonctionnelle nécessaire au fonctionnement du mécanisme.

Cette étude nous a permis d'une part d'améliorer nos connaissances dans la technologie de l'industrie et d'autre part de compenser le manque de moyens dans ce domaine au niveau du laboratoire des sciences de matériaux. En effet, le domaine pratique nous a permis d'améliorer nos connaissances scientifiques, et combler le manque pratique ressentit durant notre cursus.

Enfin, on espère par ce modeste travail avoir contribué à enrichir notre laboratoire en matière de dispositifs expérimentaux. Il est préférable que ce travail soit pris en charge dans l'avenir par d'autres étudiants pour améliorer certains paramètres.

Références bibliographiques

Bibliographiques

[1] Hans Jorg Mathieu, Erich Bergmann, René Gras.

≪ 4. Analyse et technologie des surfaces ≫ (Livre).

[2] A.Ouadouri, F.Bazizane : Projet de fin d'étude : étude de phénomène des dégradations de surface conception d'un banc d essai de fretting U.M.M.T.O

[3]Rafik Marhej : Impacte de la taille du contact sur le comportement tribologique de contact soumis a des sollicitations de fretting. Thèse de doctorat INSA de Lyon 2008

[4]J.ayel ; Revue I.F.P VOL XXXI n°3 mai-juin 1974

[5]R.Neuveu : Usure avaries et corrosion. Technique et vulgarisation 1978

[6] La tribologie : Approche physique du frottement Lydéric Bocquet Université Lyon 1- IUF lyderic.bocquet@univ-lyon1.fr http://lpmcn.univ-lyon1.fr/~lbocquet

[7] : Eric Feyder : « Étude expérimentale. Mécanique du contact »

[8] : Microsoft encarta2009

[9]Kachaou Mohamed : Influence de couplage frottement oxydation sur l'usure d'un acier a outil de travail a chaud. Thèse de doctorat ECLille et ENISfax 2010

[10] Sallit200 :Thèse de doctorat ≪conception et réalisation d'un tribomètre à haut température≫

Soutenance en 2000 à l'université de Compiègne

[11] Bramley et al 1989 : Banc d'essais pour étudier l'usure des matériaux d'outillage de forgeage à chaud

Soutenance en 1989

[12] vergne 2001 **:** ≪étude de frottement et de l'usure d'acier à outil, tribomètre pion sur disque ≫, Thèse de doctorat**,** université de Toulouse. 2001

Références bibliographiques

[13]Marouane Marzouki 2005 **:** ≪ Tribomètre à haut température: conception et réalisation d'un banc d'essai à chaud ≫ Thèse de doctorat, université de Compiègne **(**2005)

[14]Inman et al 2008 : Thème : Etude, conception et proposition d'un tribomètre adéquat pour la Caractéristique des dépôts Tribomètre à contact linéique de type cylindre-plan, article de soutenance 2013 université de bejaia

[15] J.M. DEGRANGE, 'Influence des propriétés viscoélastiques sur le comportement tribologique d'élastomères chargés de type NBR', Thèse de Doctorat (2005), Ecole Centrale de Lyon

[16] SAW USOCOM : Motovariateurs mécanique version 07/2005 Catalogue

[17]A. Rabey : Base de choix des aciers .Office technique pour utilisation de l'acier .19979 Livre

[18]HAMOUR : Calcule de poulie courroie Coure L3 de construction mécanique module CM 2016

[19] :R. Butin, M. Pinot, « Fabrications mécaniques », Tome II, Les Editions Foucher, 1981

[20] :F.Nait merzeg, Mémoire fin d'étude « Établissement de la gamme d'usinage de support glissant d'un retrochargeur type 4120. Université Mouloud Mammeri tizi ouzou promotion juin 2009

[21] : A.BELAMRI et C. ATTOU, Mémoire fin d'étude cycle ingénieur, « Étude et conception d'un mécanisme de tension de courroies pour le bus de la SNVI ».Université A. Mira Bejaia promotion juin 2011.