

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique**

**Par :**

**BOUCHAKEL Latifa**

**HAMZA Kenza**

**BELKOLAI Hamza**

**THEME**

---

**Gamme d'usinage des ajustements glissant juste cas d'une poulie  
tournante sur un arbre en 42CrMo4**

---

**Soutenu le 25/06/2023 devant le jury composé de :**

Mr. HADJOU Madjid	President
Mr. BELAMRI Abdelatif	Encadrant
Mr. OURARI Kamel	Examineur

**2022/2023**

ةيبعشلا ةيطار قميدلا ةيرئازجلا ةيروهمجلا

Populaire et Démocratique Algérienne République

يملعلا ثحبلا و يالاعلا مبلعتلا قزو

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



## Déclaration sur l'honneur

### Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020 (\*)

Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : BELKOLAI

Prénom : Hamza

Matricule : 181833012921

Spécialité et/ou Option : Fabrication mécanique et productique

Département : Génie mécanique

Faculté : Technologie

Année universitaire : 2022/2023

Et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé: Gamme d'usinage des ajustements libres sans jeux cas d'une poulie sur un arbre tournant fait en 42 Cr Mo 4

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

...../...../.....

Signature de l'intéressé

(\*) Lu et approuvé

ةيبعشلا ةيطارقميدلا ةيرئازجلا ةيروهمجلا

Populaire et Démocratique Algérienne République

يملعلا ثحبلا و يلالعلا ميلعتلا قرؤو

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



## Déclaration sur l'honneur

### Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020 (\*)

Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : HAMZA  
Prénom : Kenza  
Matricule : 171733010745  
Spécialité et/ou Option : Fabrication mécanique et productique  
Département : Génie mécanique  
Faculté : Technologie  
Année universitaire : 2022/2023

Et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé: Gamme d'usinage des ajustements libres sans jeux cas d'une poulie sur un arbre tournant fait en 42 Cr Mo 4

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

...../...../.....

Signature de l'intéressé

(\*) Lu et approuvé

ةيبعشلا ةيطارقميدلا ةيرئازجلا ةيروهمجلا

Populaire et Démocratique Algérienne République

يملعلا ثحبلا و يلالعلا مبلعتلا قزو

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



## Déclaration sur l'honneur

### Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020 (\*)

Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : BOUCHAKEL

Prénom : Latifa

Matricule : 171733004394

Spécialité et/ou Option : Fabrication mécanique et productique

Département : Génie mécanique

Faculté : Technologie

Année universitaire : 2022/2023

Et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé: Gamme d'usinage des ajustements libres sans jeux cas d'une poulie sur un arbre tournant fait en 42 Cr Mo 4

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

...../...../.....

Signature de l'intéressé

(\*) Lu et approuvé

## **Remerciements**

*Nous remercions, en premier lieu, Dieu tout puissant, l'auteur de notre vie et la source de notre force pour nous avoir guidé et donné le courage et sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour. Nous adressons nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. On tient à remercier tout particulièrement notre encadrant Dr. BELAMRI Abdelatif. Pour nous avoir suivis et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire. Et on tient à remercier tous nos enseignants qui nous ont suivis tout au long de notre formation, et on tient aussi à remercier ceux qui travaillent au hall de technologie. Nous remercions les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Notre gratitude envers toute personne ayant contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Nous ne saurions terminer sans exprimer nos remerciements à tous nos camarades et amis du hall de technologie, avec qui nous avons vécu et partager que des bons moments.*

# Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents, pour leur amour, leur patience et leur soutien tout au long de ma vie. Leur influence et leur guidance ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Je suis également reconnaissant envers mes frères (Abdellah, Koceila, Riad), pour leur amour et leur encouragement tout au long de mon parcours académique. Leurs conseils et leur soutien ont été inestimables pour moi.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers mes amis, pour leur présence constante dans ma vie, pour les moments de joie et de partage, et pour leur soutien indéfectible. Je suis fier de les avoir à mes côtés et je les remercie pour leur amitié sincère et leur soutien. Mes copains de chambre (Massinissa, Walid, Nadir)

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui ont croisé ma vie, qui ont influencé mon parcours et qui ont contribué à mon développement en tant que personne. Vous avez tous une place spéciale dans mon cœur, et je vous remercie de m'avoir donné cette opportunité de partager mes connaissances et mes expériences avec vous

*HAMZA*

# Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents, pour leur amour et leur soutien tout au long de ma vie. Je suis également reconnaissante envers mes frères (Smail, Nadjim, Fatsah), et mes sœurs (Warda, Radia et son mari Abdellah et leur enfants « Mellina et Rachid ») pour leur amour et leur encouragement tout au long de mon parcours académique. Leurs conseils et leur soutien ont été inestimables pour moi.

Je tiens à remercier également mes amis, pour leur présence constante dans ma vie, leur soutien indéfectible et leur amitié sincère. Leurs encouragements et leurs sourires ont illuminé mon parcours académique et ont rendu cette expérience plus agréable.

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui ont été impliqués dans la réalisation de ce travail, y compris mes enseignants et mes collègues. Leurs contributions ont été inestimables pour la réussite de ce projet. Ce travail est dédié à toutes ces personnes importantes dans ma vie. En témoignage de ma gratitude.

*LATIFA*

# Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents, pour leur amour et leur soutien tout au long de ma vie. Je suis également reconnaissante envers mes frères (Makhlouf, Sadek, Khaled, Nadjib, Lounas, Abdelhak et sa femme lilia), et ma sœur (Sylia), les fils de mon frère (Abdenour, Ghilas), mon mari Ferhat et sa famille, pour leur amour et leur encouragement tout au long de mon parcours académique. Leurs conseils et leur soutien ont été inestimables pour moi.

Je tiens à remercier également mes amis (Rabiaa, Ahmed, Sylia, Lydia, Salima, Amine, Mehdi, Djafer, Lina, Latifa, Hamza, Zoubida, Thiziri), pour leur présence constante dans ma vie, leur soutien indéfectible et leur amitié sincère. Leurs encouragements et leurs sourires ont illuminé mon parcours académique et ont rendu cette expérience plus agréable.

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui ont été impliqués dans la réalisation de ce travail, y compris mes enseignants et mes collègues. Leurs contributions ont été inestimables pour la réussite de ce projet. Ce travail est dédié à toutes ces personnes importantes dans ma vie. En témoignage de ma gratitude.

*KENZA*

# Table des matières

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Table des matières**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**liste des abréviations**

**Introduction générale** ..... 1

**Problématique** .....2

## **Chapitre I : Notions de base usinage, ajustements, gamme d'usinage et traitement thermique**

**I.1 Usinage** ..... 3

I.1.1 Définition.....**Error! Bookmark not defined.**

I.1.2 Procédés d'usinage ..... 3

**I.2 Tolérance dimensionnelle** .....12

I.2.1 Cote nominale ..... 12

I.2.2 Cote limites ..... 12

I.2.3 Cote effective ou réelle ..... 12

I.2.4 Tolérance d'un arbre ..... 13

I.2.5 Ecart et tolérances d'un alésage ..... 13

**I.3 Les ajustements** ..... 10

I.3.1 Définition..... 10

I.3.2 Types d'ajustements ..... 10

I.3.3 Système d'ajustement ..... 11

**I.4 La gamme d'usinage** ..... 15

**I.5 Traitement thermique** .....15

I.5.1 Les étapes de traitement thermique ..... 17

**I.6 Rectification (tournage dur)** .....18

## Chapitre II : Choix du matériau, outils de coupe et les conditions de coupe

<b>II.1 Matériau et caractérisation de la microstructure</b> .....	19
II.1.1 Le matériau étudié .....	19
II.1.2 Influence des éléments d'addition : .....	20
II.1.3 Traitement thermique.....	21
<b>II.2 Les paramètres de coupe</b> .....	22
II.2.1 les conditions de coupe en tournage .....	22
<b>II.3 Gamme d'usinage des arbres</b> .....	24
II.3.1 Phase d'ébauche .....	24
II.3.2 Phase de finition .....	24
II.3.3 Arbre dans les transmissions de puissance .....	24
II.3.4 Les différents types arbres .....	25
II.3.5 Techniques de montage des éléments de machines sur les arbres .....	26
<b>II.4 La poulie</b> .....	27
II.4.1 Les types de poulies .....	27
II.4.2 Problèmes liés au montage des poulies .....	27
<b>II.5 Moyens et matériels utilisés</b> .....	28
II.5.1 Machine-outil .....	28
II.5.2 Outil de coupe .....	30

## Chapitre III : Partie expérimentale, résultats et discussions

III .1 Présentation du système .....	37
III .2 Calculs des ajustements .....	38
III .3 Gamme d'usinage .....	41
III.3.1 Gamme d'usinage de l'arbre .....	41
III.3.2 Gamme d'usinage des bagues .....	44
III.4 Résultats (pièces, conditions de coupe et copeaux obtenus) .....	46
III.4.1 Tableau illustrant les résultats obtenus pour le diamètre 30 .....	47
III.4.2 Tableau illustrant les résultats obtenus pour le diamètre 40 .....	48
III.4.3 Tableau illustrant les résultats obtenus pour le diamètre 45 .....	50
III.5 Perçage et l'alésage .....	51

III.6 Contrôle géométrique et dimensionnel des pièces .....	52
III.7 Création du système sur solidworks .....	54
III.7.1 Présentation du logiciel .....	54
III.7.2 Création de l'arbre .....	54
III.7.3 Création des bagues .....	54
III.7.4 Création de l'assemblage .....	55
III.8 Pièces réalisés dans l'atelier .....	56
III.8.1 L'arbre usiné .....	56
III.8.2 Les bagues usinées .....	56
III.9 La mise en plan des pièces du système .....	56
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>62</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

# Liste des figures

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Procédé de tournage .....	4
<b>Figure I.2</b> : Mouvements de coupe et d'avance en tournage .....	4
<b>Figure I.3</b> : Principe de formation du copeaux .....	5
<b>Figure I.4</b> : Surfaces de la pièce .....	6
<b>Figure I.5</b> : Opération de chariotage.....	6
<b>Figure I.6</b> : Opération de dressage. ....	7
<b>Figure I.7</b> : Opération de chanfreinage.....	7
<b>Figure I.8</b> : Opération d'alésage.....	8
<b>Figure I.9</b> : Opération de Perçage .....	9
<b>Figure I.10</b> : Position relative des écarts ISO .....	11
<b>Figure I.11</b> : Types d'ajustements .....	13
<b>Figure I.12</b> : Système de l'alésage normal H.....	13
<b>Figure I.13</b> : Système de l'arbre normal h .....	14
<b>Figure I.14</b> : Diagramme de base d'un traitement thermique de trempé.....	17

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Vitesse de coupe. ....	23
<b>Figure II.2</b> : Vitesse d'avance $V_f$ , Avance par tour $f$ .....	24
<b>Figure II.3</b> : Différents types d'arbres .....	25
<b>Figure II.4</b> : Montage clavette .....	26
<b>Figure II.5</b> : Cannelure .....	26
<b>Figure II.6</b> : Tour conventionnel Trens SN40C .....	29
<b>Figure II.7</b> : Plaquette carbure (revêtement multicouche).....	31
<b>Figure II.8</b> : Différentes matériaux d'outils en fonction de leur dureté .....	33
<b>Figure II.9</b> : Plaquette KNUX 160405R11 .....	33
<b>Figure II.10</b> : Plaquette VNMG 160404-MA. ....	34
<b>Figure II.11</b> : Les forets. ....	36
<b>Figure II.12</b> : Outil à aléser. ....	36

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : Schéma représentant le système étudié .....	37
<b>Figure III.2</b> : Schéma représentant les dimensions finales de l'arbre .....	41
<b>Figure III.3</b> : Schéma représentant les dimensions finales des bagues .....	44
<b>Figure III.4</b> : Perçage avec différents forets .....	51
<b>Figure III.5</b> : Opération d'alésage .....	52
<b>Figure III.6</b> : Contrôle géométrique et dimensionnel des pièces .....	53
<b>Figure III.7</b> : Arbre sur solidworks.....	54
<b>Figure III.8</b> : Bagues sur solidworks.....	55
<b>Figure III.9</b> : Assemblage des poulies sur solidworks. ....	55
<b>Figure III.10</b> : Arbre .....	56
<b>Figure III.11</b> : Création des bagues .....	56

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Appellation normalisée du 42CrMo4. ....	19
<b>Tableau 2</b> : Composition chimique moyenne du 42 Cr Mo 4. ....	20
<b>Tableau 3</b> : Caractéristiques mécaniques conventionnelles.....	20
<b>Tableau 4</b> : Température et milieu de traitement thermique. ....	22
<b>Tableau 5</b> : Les caractéristiques du tour Trens SN 40C.....	30
<b>Tableau 6</b> : Les caractéristiques techniques de la plaquette KNUX. ....	34
<b>Tableau 7</b> : Les caractéristiques techniques de la plaquette VNMG.....	35
<b>Tableau 8</b> : Résultats obtenus pour le diamètre 30.....	48
<b>Tableau 9</b> : Résultats obtenus pour le diamètre 40.....	49
<b>Tableau 10</b> : Résultats obtenus pour le diamètre 45.....	50
<b>Tableau 11</b> : Mesures du diamètre 30 .....	52
<b>Tableau 12</b> : Mesures du diamètre 40 .....	52
<b>Tableau 13</b> : Mesures du diamètre 45 .....	53
<b>Tableau 14</b> : Mesures des alésages .....	53

## Liste des abréviations

ARS	Acier rapide supérieur
Mc	Mouvement de coupe
Mf	Mouvement d'avance
Cn	Cote nominale
Ce	Cote effective
Cmax	Cote maximale
Cmin	Cote minimale
ee	Ecart effectif
Es	Écart supérieur
Ei	Ecart inférieur
JM	Jeu maximal
jm	Jeu minimal
It	Intervalle de tolérance
ISO	Organisation internationale de normalisation
AFNOR	Association française de normalisation
DIN	Institut allemand de normalisation
AISI	Institut américain du fer et de l'acier
NF EN 10027-1	Norme européenne de désignation des aciers
E	Module de Young
$\mu$	Module de glissement
R <sub>e</sub>	Limite D'élasticité
R <sub>m</sub>	Résistance à la traction
A%	Allongement à la rupture
HB	Dureté
C	Carbone
Cr	Chrome
Mo	Molybdène
Mn	Manganèse
Si	Silicium
W	Tungstène

P	Phosphore
V <sub>c</sub>	Vitesse de coupe
N	Vitesse de rotation
D	Diamètre
L	Longueur
f	Avance
V <sub>f</sub>	Vitesse d'avance
a <sub>p</sub>	Profondeur de passe
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxyde d'aluminium
TiN	Nitride de titane
TiC	Carbure de titane
CBN	Nitride de Bore Cubique
HSS	High Speed Steel
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Nitride de silicium

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'usinage des ajustements glissant juste est une technique d'usinage qui permet de créer des ajustements précis entre deux pièces, sans laisser de jeux indésirables entre elles. C'est une pratique cruciale dans le domaine de la fabrication mécanique. Assurant ainsi un fonctionnement optimal et une durabilité accrue des mécanismes, et éliminer les vibrations et les chocs subies par ces pièces.

Ce travail se concentre sur la gamme d'usinage en utilisant le matériau 42CrMo4. Le 42CrMo4 est un acier faiblement allié au chrome-molybdène, il est souvent utilisé dans la fabrication de pièces mécaniques de haute qualité. Ce matériau est réputé pour sa capacité à supporter des charges élevées. A travers trois chapitres, nous allons étudier les différentes techniques de ce processus d'usinage spécialisé.

Dans le premier chapitre, nous aborderons l'usinage dans son ensemble, en mettant l'accent sur le tournage et ses opérations, le perçage, l'alésage, ainsi que les ajustements et ses types. Nous étudierons également l'importance du traitement thermique pour optimiser les propriétés du matériau 42CrMo4 et garantir des dimensions précises des pièces usinées.

Le deuxième chapitre sera consacré au matériau 42CrMo4 lui-même, en vue de son importance dans notre travail abordé. Nous explorerons ses caractéristiques, telles que sa composition chimique, sa dureté et sa résistance mécanique, qui en font un choix privilégié pour la fabrication d'arbres et de poulies nécessitant une robustesse et une fiabilité élevées. Nous discuterons également des conditions de coupe spécifiques à ce matériau et des outils recommandés, ainsi que des techniques d'usinage adaptées pour obtenir des ajustements appropriés pour ces pièces.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons notre approche pour réaliser des ajustements précis, en nous concentrant sur le système de calcul des ajustements (H7g6). Nous expliquerons en détail notre gamme d'usinage, nous parlerons des différentes étapes, telles que l'ébauche, la semi-finition et la finition, nécessaires pour obtenir des ajustements précis et sans jeux. De plus, des illustrations seront présentées sur les concepts à l'aide de modèles de pièces usinées, notamment des arbres et des bagues, créés avec le logiciel solidworks.

L'objectif de ce travail est de fournir une compréhension approfondie de la gamme d'usinage des ajustements libres sans jeux en utilisant le matériau 42CrMo4. En explorant les opérations d'usinage spécifiques, les conditions de coupe adaptées, les techniques de calcul des ajustements et en utilisant

des modèles créés sur SolidWorks, nous espérons contribuer à l'amélioration des pratiques de fabrication et à la qualité des produits finaux dans l'industrie mécanique.

Notre travail consiste à démontrer les différentes techniques d'usinage et les paramètres clés à prendre en compte pour obtenir des ajustements précis entre une poulie tournante et un arbre en acier 42CrMo4

# **CHAPITRE I**

**Notions de bases : usinage, ajustements,  
gamme d'usinage et traitement  
thermique**

## I.1 Usinage

### I.1.1 Définition

L'usinage est la transformation d'une pièce brute, de matériau défini, en une pièce fonctionnelle de forme géométrique, de dimensions et d'état de surface spécifiés. Cette technique, dont on pourrait trouver les origines dans la pierre taillée, a connu un essor important au 19<sup>ème</sup> siècle suite à l'apparition du moteur. L'électricité a permis de fournir l'énergie nécessaire au travail des métaux, là où la force musculaire se limitait principalement au bois. Le 20<sup>ème</sup> siècle a vu l'essor de différentes techniques d'usinage jusqu'à aboutir aux machines à commande numérique et à l'usinage à grande vitesse.

L'usinage est une méthode de fabrication de pièces mécaniques par enlèvement de matière où un outil de coupe enlève de la matière à une pièce dans le but de générer une nouvelle surface. Il existe principalement deux types de configurations : la coupe orthogonale et la coupe oblique. Ces configurations sont appliquées aux procédés d'usinage qualifiés de traditionnels tels que le tournage, alésage, la rectification, le fraisage, le perçage. [1].

### I.1.2 Procédés d'usinage

#### 1. Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage qui consiste à enlever de la matière d'une pièce pour lui donner une forme cylindrique ou conique à l'aide d'un outil coupant appelé outil de tournage en acier rapide supérieur (ARS) ou en carbure. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). L'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce.

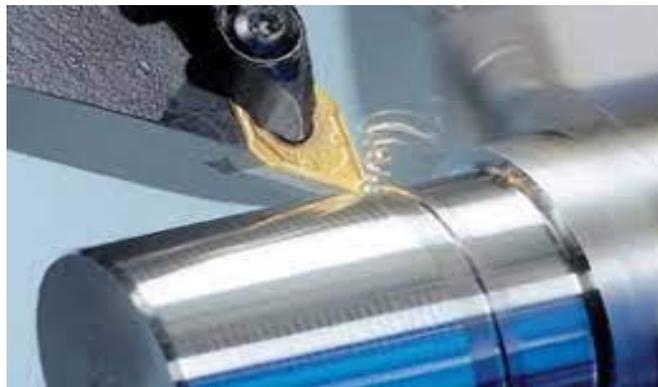


Figure I.1 : procédé de tournage

La combinaison de ces deux mouvements ainsi que la forme de la partie active de l'outil permettent d'obtenir des formes de révolution (cylindres, cônes, etc.) pour la pièce usinée, et l'interaction outil-matière donne naissance à un copeau [2].

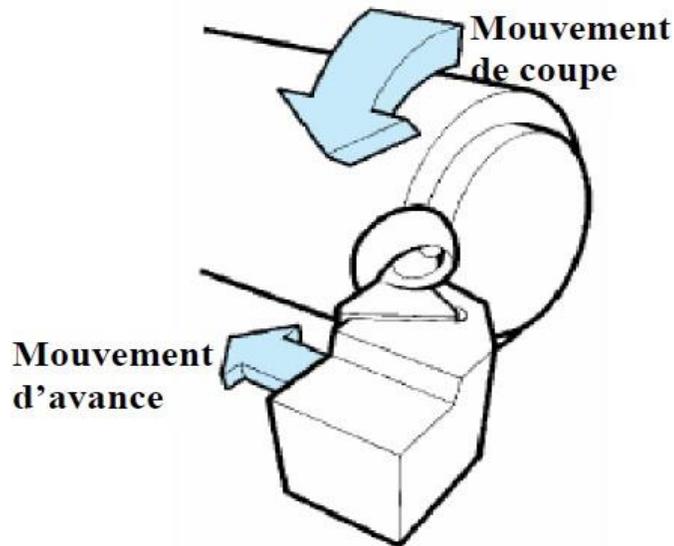


Figure I.2 : Mouvements de coupe et d'avance en tournage

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution de plusieurs forme (cylindre, cône, sphère, etc.). Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage [3].

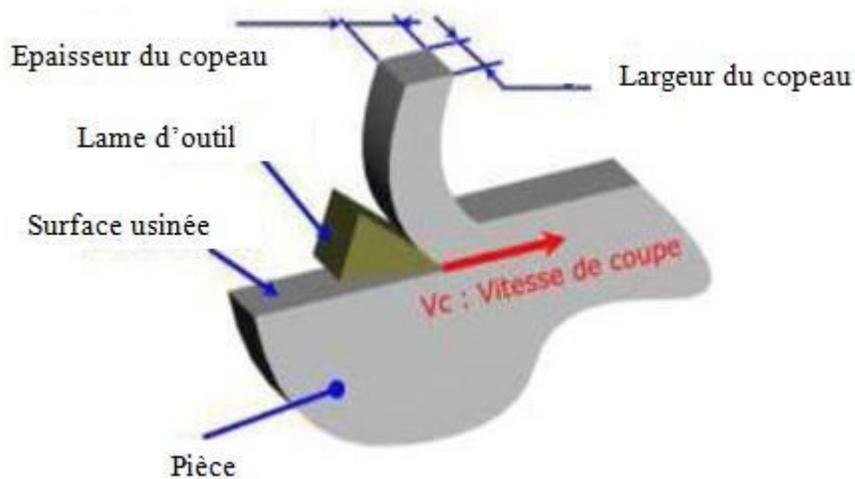


Figure I.3 : Principe de formation du copeaux

La pièce à usiner est maintenue par le mandrin et subit un mouvement de rotation, lequel est transmis par la broche. L'outil de coupe se déplace en translation selon deux directions perpendiculaires entre elles, appartenant à un plan parallèle à l'axe de la broche. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche tandis que le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à cet axe [4].

### Surfaces de la pièce

Les principaux éléments d'une pièce à usiner, la surface de la pièce sujette à l'usinage est appelée surface de la pièce. Elle peut être brute (résultant de différents procédés comme moulage, forgeage, laminage, etc..) ou obtenue par usinage au cours d'opérations précédentes [2].

La surface engendrée (ou surface usinée) est une surface désirée, générée par le processus d'enlèvement de matière (un outil de coupe au cours d'usinage). Les deux surfaces sont reliées par une surface engendrée intermédiaire (générée pendant l'usinage par une arête coupante) appelée surface coupée.

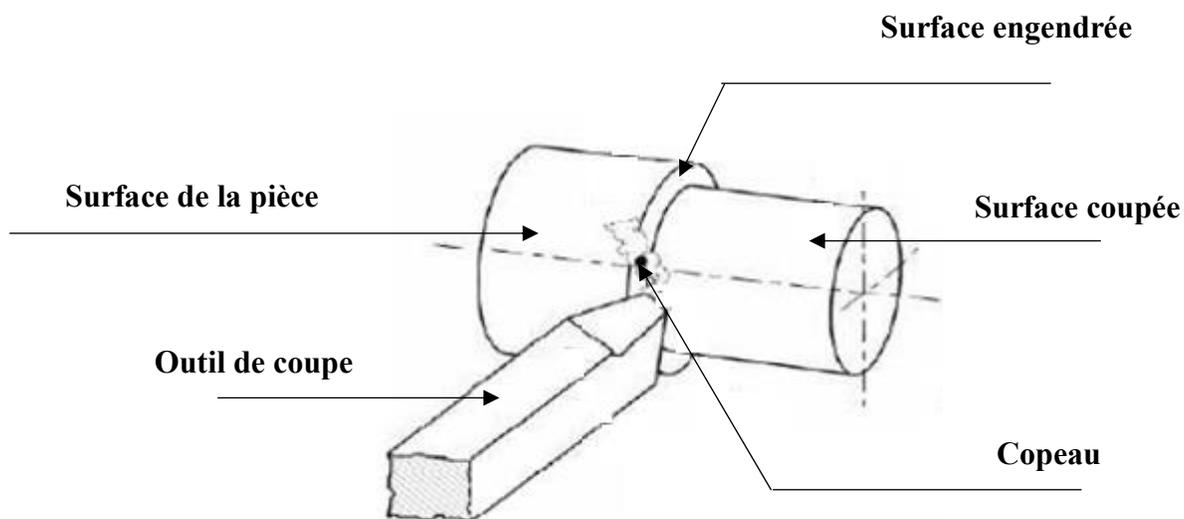


Figure I.4 : Surfaces de la pièce

## a. Les opérations de tournage

### Le chariotage

Est une opération de tournage réalisée sur un tour. Elle consiste à déplacer l'outil de coupe le long de la surface cylindrique de la pièce à usiner. L'outil de coupe peut être réglé pour enlever une petite ou grande quantité de matière, en fonction de la forme désirée pour la pièce à usiner. Le chariotage est une opération importante du tournage, car elle permet de réaliser des formes cylindriques ou conique de précision, telles que des arbres, tiges, axes ...etc.

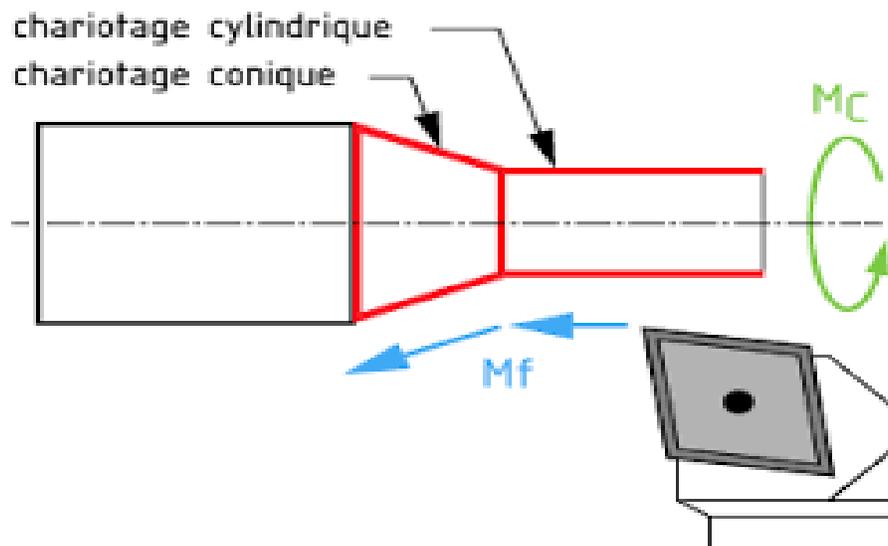


Figure I.5 : Opération de chariotage.

### Dressage

Le dressage est une opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche. Généralement réalisé au début d'usinage pour garantir une surface de référence fiable pour les opérations de tournage suivantes, telles que l'alésage ou le filetage.

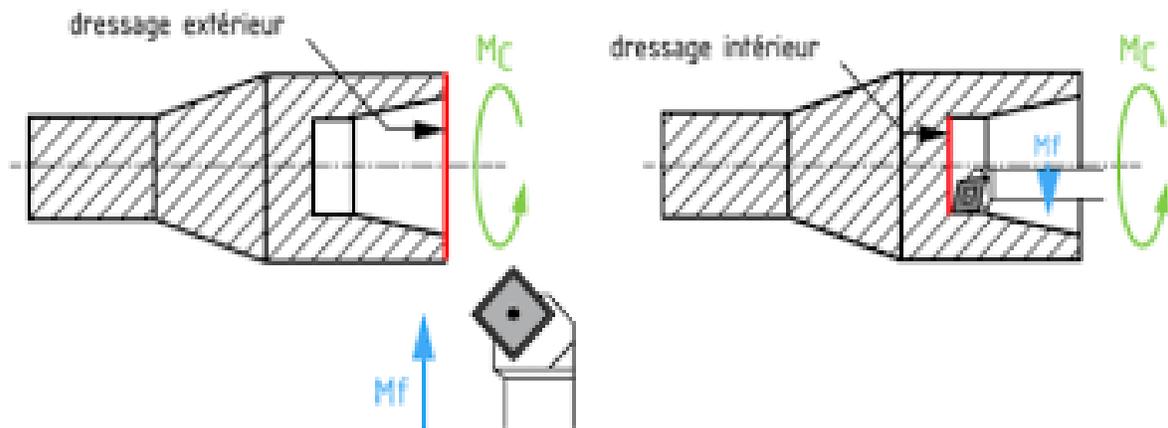


Figure I.6 : Opération de dressage.

### Chanfreinage

Le chanfreinage est l'opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif. Le chanfreinage est généralement effectué pour plusieurs raisons, notamment pour rendre les bords plus surs et moins tranchants, et pour faciliter l'assemblage des pièces.

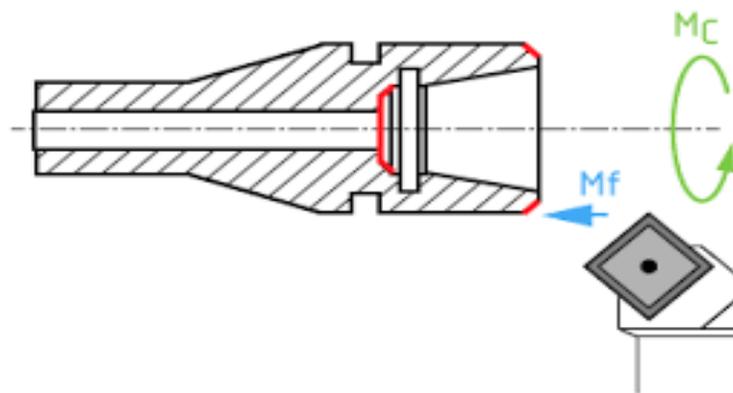


Figure I.7 : Opération de chanfreinage.

### Alésage

L'alésage est un processus de forage d'un trou cylindrique dans un matériau, généralement du métal, à l'aide d'un outil de coupe appelé alésoir. L'alésage est souvent utilisé pour produire des trous précis et de diamètre contrôlé, et peut être utilisé pour créer des surfaces intérieures lisses et uniformes pour les pièces mécaniques telles que les cylindres, les arbres. L'alésage peut être réalisé à la main ou

à l'aide de machines-outils telles que des tours, des perceuses et des fraiseuses [5].

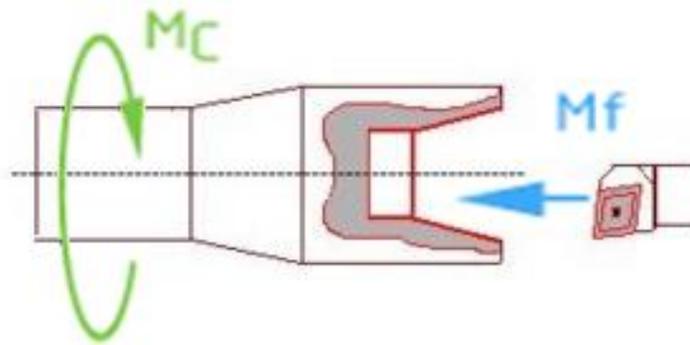


Figure I.8 : Opération d'alésage

## 2. Perçage

Le perçage est un procédé d'usinage permettant la réalisation d'un corps creux et cylindrique, dans un corps plein. L'opération d'usinage est réalisée à l'aide d'un outil composé d'une ou plusieurs arêtes de coupe suivant l'outil utilisé, et animé d'un mouvement de rotation et d'avance suivant un seul axe, l'axe Z (axe de l'avance). A propos, le perçage est l'une des principales opérations axiales d'usinage par enlèvement de matière avec un outil coupant. L'empreinte géométrique du corps usiné résultant de cette opération d'usinage est conditionnée par la géométrie de l'outil et notamment par son diamètre [6].

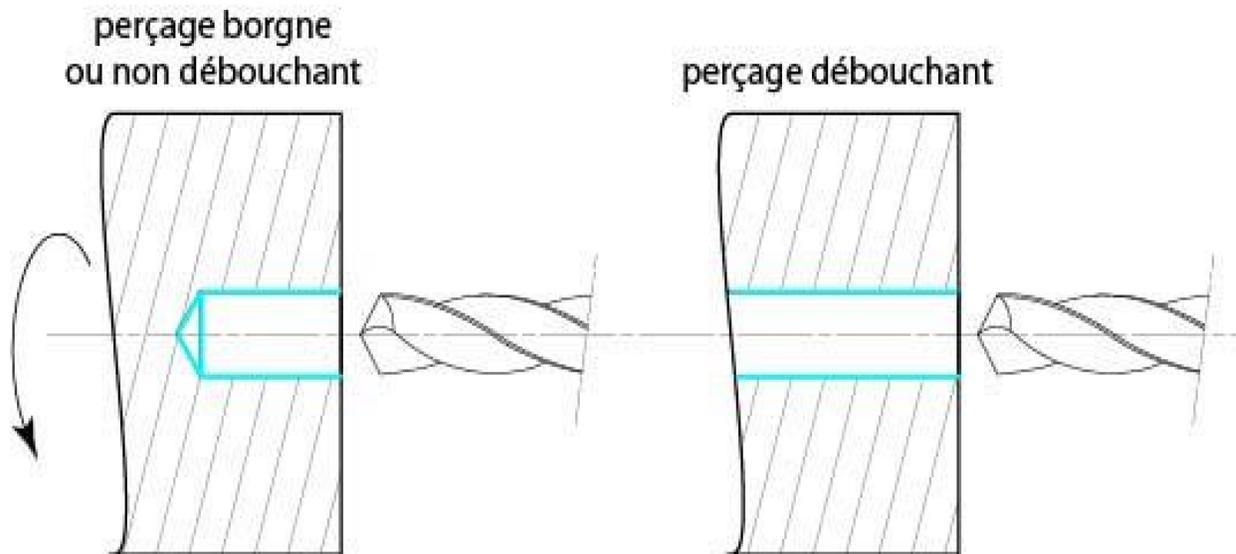


Figure I.9 : Opération de Perçage.

## I.2 Tolérance dimensionnelle

### I.2.1 Cote nominale

C'est la cote souhaitée ou celle de calcul par rapport à laquelle sont définies les cotes limites. Elle doit être la même pour l'arbre et l'alésage ou encore c'est la dimension par référence à laquelle sont définies les dimensions limites.

### I.2.2 Cote limites

Dans la pratique il est quasiment impossible d'usiner une pièce exactement à sa cote nominale par suite des incertitudes dans la fabrication (régime de coupe, incertitudes, ...), c'est pourquoi on fixe les cotes limites admissibles pour une précision donnée.

Ce sont les deux côtes extrêmes acceptables dites cotes maxi et cote mini, entre lesquelles doit se trouver la cote effective (ou réelle) pour que la pièce soit relativement précise et interchangeable (remplaçable), cette précision ou marge d'usinage est appelée tolérance de fabrication.

Supposons un cas de figure où la valeur nominale étant de 40 mm et les valeurs limites sont les suivantes :

- Pour l'arbre  $40 \begin{smallmatrix} +0.1 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$
- Pour l'alésage  $40 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ +0 \end{smallmatrix}$

### I.2.3 Cote effective ou réelle

C'est la cote d'exécution ou la cote réelle (de la pièce mesurée avec précision tolérable c'est-à-dire telle qu'elle est réalisée. Dans ce cas la cote effective mesurée ( $C_e$ ) doit être comprise entre les deux valeurs extrêmes  $C_{max}$  et  $C_{min}$ .

$$C_{min} \leq C_e \leq C_{max}$$

$$\text{- Pour l'arbre : } 39,80 \leq C_e \leq 40,10$$

$$\text{- Pour l'alésage : } 40,00 \leq C_e \leq 40,20$$

#### Écarts d'un arbre

L'écart est la différence algébrique entre les cotes effectives maxi, mini et la cote nominale. On distingue 3 types d'écart :

#### Écart effectif

Écart effectif = cote effective - cote nominale.

$$ee = Ce - Cn$$

$$ee = 39,9 - 40 = - 0,1$$

### **Ecart supérieur**

Écart supérieur = cote maxi - cote nominale

$$Es = Cmax - Cn$$

$$Es = 40,1 - 40 = + 0,1$$

### **Ecart inférieur**

Écart inférieur = cote mini - cote nominale

$$Ei = Cmin - Cn$$

$$Ei = 39,8 - 40 = - 0,2$$

Les écarts sont indiqués sur le dessin en mm, tandis que sur les tableaux des tolérances ils sont donnés en microns.

### **1.2.4 Tolérance d'un arbre**

La différence entre les écarts supérieur et inférieur est la valeur la plus importante, appelée tolérance de fabrication ou intervalle de tolérance désignée par  $it$  ; elle est une valeur absolue.

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Intervalle de} \\ \text{tolérance} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{supérieur} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{inférieur} \end{array} \right]$$

$$It = es - ei$$

$$It = (Cmax - Cn) - (Cmin - Cn) = Cmax - Cmin$$

$$\text{Donc : } It - Cmax - Cmin = es - ei$$

### **1.2.5 Ecart et tolérances d'un alésage**

Nous utilisons exactement les mêmes considérations d'un arbre pour les alésages sauf que les désignations en minuscule des arbres deviennent des majuscules pour les alésages.

- Ecart effectif : EE

- Ecart supérieur : ES
- Ecart inférieur : EI
- Intervalle de tolérance : IT

$$IT = ES - EI = C_{max} - C_{min} = ES - EI$$

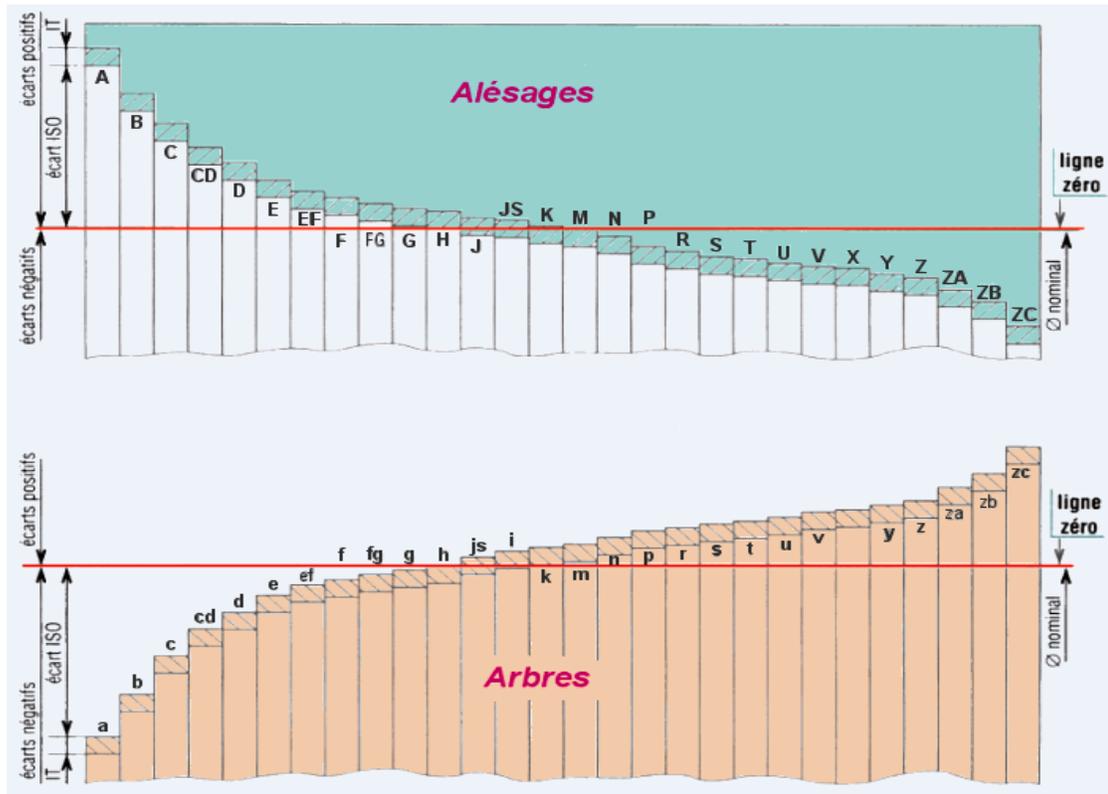


Figure I.10 : position relative des écarts ISO

### Cotes tolérances

On distingue une cote tolérance en diamètre indiquant le nominale et les deux écarts supérieur et inférieur de la façon suivante :

Exemples :

$$1. \text{ Arbre } \varnothing 40 \begin{matrix} + 0,01 \\ - 0,02 \end{matrix}$$

Diamètre nominal = 40 mm,  $es = + 0,01$  mm,  $ei = - 0,02$  mm

$$2. \text{ Alésage } \varnothing 50 \begin{matrix} + 0,02 \\ - 0,02 \end{matrix}$$

Diamètre nominal = 50 mm,  $ES = + 0,02$  mm,  $EI = - 0,02$  mm

$$3. \text{ Arbre } \varnothing 30 + 0,03$$

Diamètre nominal = 30 mm,  $es = +0,03$  mm,  $ei = 0,00$  mm

4. Alésage  $\varnothing 60 - 0,03$

Diamètre nominal = 60 mm,  $ES = 0,00$  mm,  $EI = -0,03$  mm

## I.3 Les ajustements

### I.3.1 Définition

C'est l'assemblage dont les deux pièces (contenu et contenant) ont la même cote nominale. L'ajustement est désigné par cette cote nominale suivie des symboles relatifs à chacune des deux pièces, en commençant par l'alésage.

Les pièces contenues et contenant ont la même dimension nominale mais des tolérances différentes offrant soit un jeu, soit un serrage, soit un jeu incertain. L'ajustage regroupe les actions visant à parfaire des pièces mécaniques et à les assembler dans le but de fabriquer un organe mécanique fonctionnel [7].

### I.3.2 Types d'ajustements

Le type d'ajustement est déterminé par les positions relatives des zones de tolérance des pièces à assembler. Si la différence entre la cote effective de l'alésage et celle de l'arbre est :

- Positive (Cote effective de l'alésage – Cote effective de l'arbre  $>0$ ) est dit avec jeu.
- Au contraire si la différence est négative (Cote effective de l'alésage – Cote effective de l'arbre  $<0$ ) nous avons le serrage.

Il existe trois types d'ajustement :

- Ajustement avec jeu (s'ils pénètrent librement).
- Ajustement avec serrage (s'il faut recourir à un procédé dynamique mécanique ou thermique pour assembler les deux éléments).
- Ajustement incertain (sur un même échantillon de couples de pièces, un certain nombre couples présenteront un serrage d'autres un jeu). [7]

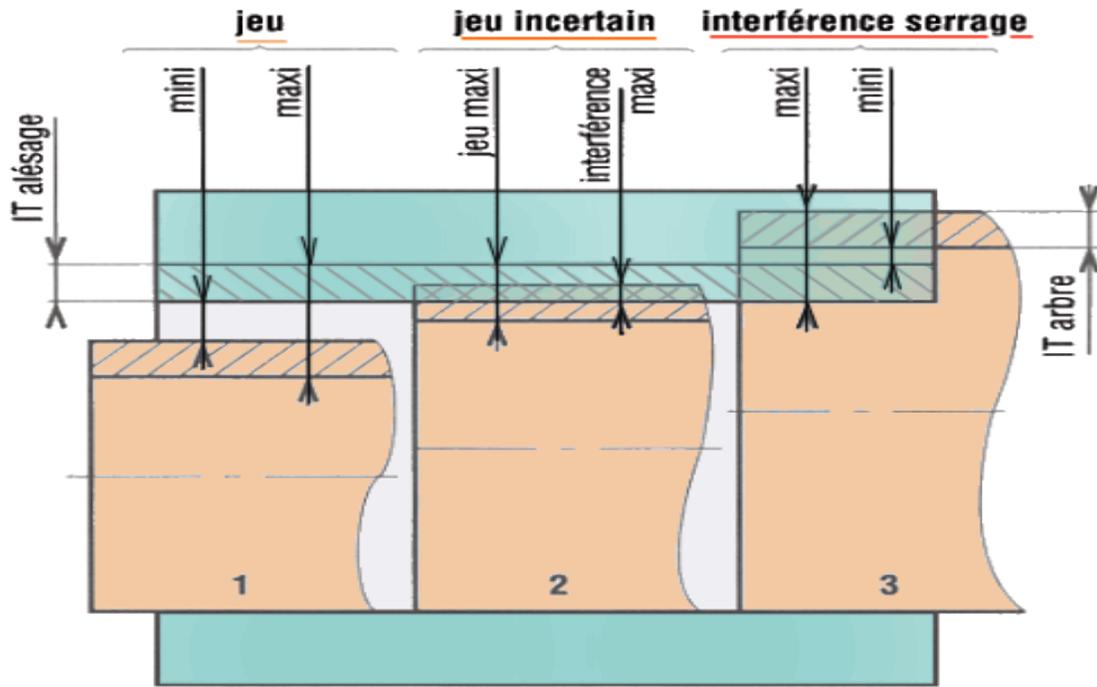


Figure I.11 : types d'ajustement

### I.3.3 Système d'ajustement

En vue de réduire le nombre d'outils à dimension fixe et des calibres de contrôle, on limite le nombre d'ajustement en utilisant l'un des deux systèmes.

#### a) Système à alésage normal

Système généralement utilisé dans lequel la position de la tolérance est donnée par la lettre H, il en résulte que la cote nominale de l'alésage est égale à la cote nominale.

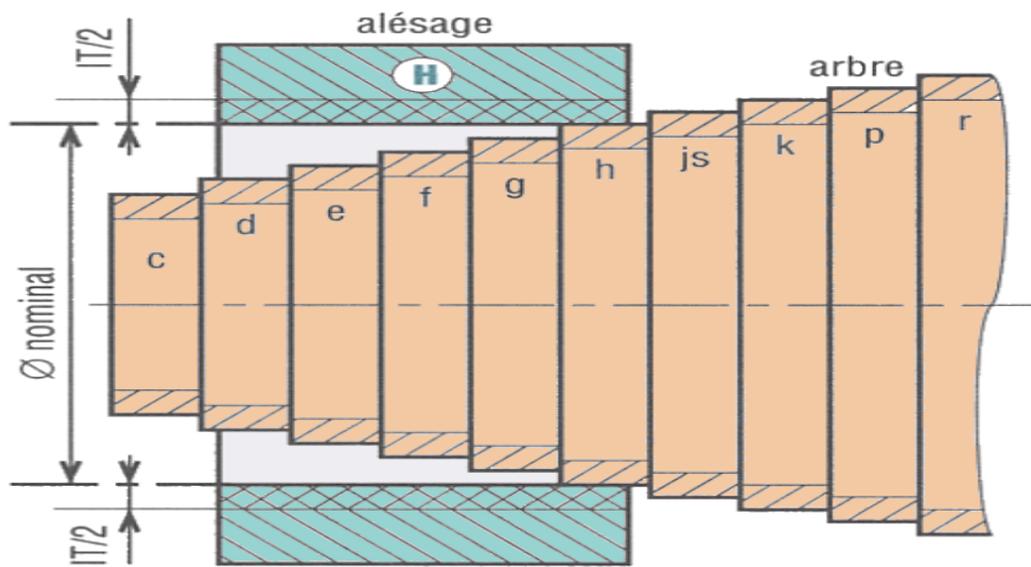


Figure I.12 : système de l'alésage normal H

### b) Système à l'arbre normal

Système peu utilisé, dans lequel la position de la tolérance est donnée par la lettre h, il en résulte que la cote maximale de l'arbre est égale à la cote nominale.

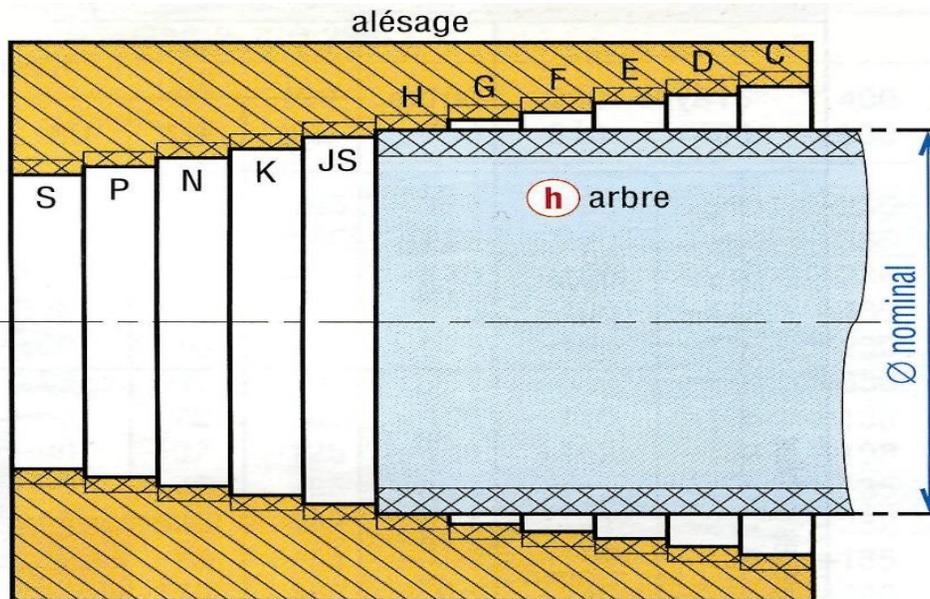


Figure I.13 : système de l'arbre normal h.

## I.4 La gamme d'usinage

### Définition

Est une feuille donnant l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinage d'une pièce en fonction des moyens d'usinage.

Le document résume l'étude et doit :

- Permettre l'identification de la pièce étudiée.
- Présenter très clairement la succession des phases.
- Préciser les surfaces usinées à chaque phase.
- Indiquer le temps alloué pour l'usinage de la pièce.

**L'ébauche** : elle permet d'enlever un maximum de matière en minimum de temps.

Durant ce type de travail, l'outil devra résister à des efforts de coupe importants : il est donc massif.

**La semi-finition** : elle permet d'avoir une bonne approche de la surface finale, d'assurer la régularité du copeau de finition et la précision géométrique de position.

**La finition :** elle doit être précédée d'une ébauche et d'une semi-finition. On en cherche le plus souvent une bonne qualité de surface : dimensions, forme et rugosité dans les tolérances permises par le dessin de définition. Les efforts sont plus faibles que pour une ébauche, l'outil est donc plus fin.

## I.5 Traitement thermique

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement, les traitements thermiques peuvent être classés par :

- Traitement dans la masse : (amélioration des propriétés de masse) trempe, revenu, recuit.
- Traitements superficiels : (amélioration des propriétés superficielles) durcissement par trempe après chauffage superficiel induction électromagnétique, flamme (chalumeau).

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps [8].

Les cycles de traitement thermique sont composés de plusieurs étapes :

- Cycle de chauffe.
- Maintenir en température.
- Refroidissement sous atmosphère contrôlée pour chaque matériau à traiter (acier, alliages, inox). Les cycles sont adaptés en termes de durée, température, vitesse de refroidissement.

Les paramètres importants des traitements thermiques pour chaque cycle :

- La vitesse et le mode de mise en température ;
- Le temps et la température de maintien ;
- La vitesse et le mode de refroidissement.

But de traitement thermique :

Améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorable à un emploi donné à partir des modifications suivantes :

- Augmentation de la résistance par la trempe et de la limite élastique  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $A\%$  en donnant une meilleure tenue de l'élément.

De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux avant de subir un forgeage.



Figure I.14 : Diagramme de base d'un traitement thermique de trempe

### I.5.1 Les étapes de traitement thermique

Les étapes du processus de traitement thermique comprennent le chauffage, la trempe et le refroidissement.

#### Chauffage

Le chauffage est la première étape d'un processus de traitement thermique. Il est fait pour modifier la structure des alliages lorsqu'ils sont chauffés à une température spécifique.

#### Trempe

La trempe est l'étape à laquelle la partie du métal chauffé change complètement de structure. La masse du métal déterminera le temps de la trempe.

En d'autres termes, le trempage se produit lorsqu'une partie du métal devient uniformément rouge car elle a été soumise à la chaleur pendant un certain temps.

#### Refroidissement

La troisième étape du traitement thermique est le refroidissement. Il modifie également la structure du métal trempé d'une composition chimique.

### I.6 Rectification (tournage dur)

La rectification est un procédé d'usinage sur machines-outils qui consiste à enlever la matière, sous forme de petits copeaux (grains), au moyen d'un outil particulier appelé meule. On fait appel à ce procédé pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surfaces et aux conditions de dureté des pièces.

La rectification d'une pièce mécanique est une opération destinée à améliorer sa précision dimensionnelle ainsi que son état de surface. Les deux principales techniques sont la rectification plane et la rectification cylindrique [9].

## **CHAPITRE II**

**Choix du matériau, outils de coupe et les conditions de coupe.**

## II.1 Matériau et caractérisation de la microstructure

### II.1.1 Le matériau étudié

Le choix du matériau s'est porté sur un acier de construction faiblement allié au chrome molybdène qui est particulièrement adapté pour les traitements de trempe et de revenu. Ce type d'acier est connu pour sa bonne trempabilité à l'huile ainsi que sa résistance élevée aux surcharges à l'état traité. Grâce à son usinabilité améliorée, il est très couramment utilisé en mécanique pour la fabrication de pièces de moyenne à forte section telles que des arbres, des vilebrequins, des pignons, En effet, cet acier permet de produire des pièces de grandes dimensions qui sont soumises à des contraintes importantes. Il est capable de fournir une dureté élevée et une résistance accrue à l'usure.

Les aciers faiblement alliés sont généralement utilisés à l'état trempé et revenu. Leur résistance mécanique dépend principalement de la trempe qui est caractérisée par un mode de décomposition particulier de l'austénite lors d'un refroidissement rapide. A l'état trempé, ces aciers contiennent un grand nombre de défauts cristallins ponctuels et de dislocations qui leur confèrent une résistance mécanique accrue. Cependant, leur ductilité tend à être réduite. Pour cette raison, les aciers faiblement alliés ne sont jamais utilisés à l'état trempé, mais subissent toujours des traitements de revenu. Ces traitements permettent de modifier et d'ajuster les propriétés mécaniques de l'acier : limite élasticité, résistance à la traction, ténacité, dureté et résilience aux besoins de l'utilisation [10].

#### Désignations normalisées

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
42 C D 4	42 Cr Mo 4	4140	42CrMo4 (1.7225)

**Tableau 1** : Appellation normalisée du 42CrMo4. [11]

**Composition chimique en %**

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0,38 - 0,45	0,90 - 1,20	0,15 - 0,30	≤ 0,035	0,60 - 0,90	≤ 0,035	0.40 max

**Tableau 2** : Composition chimique moyenne du 42 Cr Mo 4. [11]**Caractéristiques mécaniques**

Module de Young E (MPa)	Module de glissement $\mu$ (MPa)	Limite D'élasticité $R_e$ (MPa)	Résistance à la traction $R_m$ (MPa)	Allongement à la rupture A%	Dureté HB
210000	81000	570 à 900	800 à 1300	13 à 10	250 à 445

**Tableau 3** : caractéristiques mécaniques conventionnelles [12]**II.1.2 Influence des éléments d'addition**

Pour leurs emplois, ces aciers doivent posséder les propriétés suivantes :

- Une grande dureté, pour résister aux déformations lors du travail par enfoncement, ou par cisaillement du métal, ou par pénétration.
- Une bonne résistance à l'usure.
- Une absence de fragilité, notamment dans les utilisations pour lesquelles la pièce est soumise à des changements de température brusques et répétés.
- Une bonne trempabilité pour que la structure soit homogène sur une très grande épaisseur après traitements thermiques de trempe. Cet ensemble des propriétés peut être atteint par l'addition des éléments d'alliage. On distingue à cet effet :

**Effet du carbone**

Le carbone est l'élément d'alliage de l'acier ayant la teneur la plus importante et aussi celui qui a le plus d'influence. C'est un élément qui participe activement à la formation des carbures. C'est un élément à grand pouvoir abrasif. Il en résulte que l'augmentation de la teneur en carbone accroît la dureté, la charge à la rupture et la limite élastique, par contre l'allongement, la striction et la résilience diminuent.

**Effet du chrome**

Le chrome est un élément carburigène, il augmente la dureté, la trempabilité et favorise l'obtention

d'un grain fin. Des additions de chrome améliorent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion. Cet élément est très employé, en teneur variant de (0,25 à 30%), suivant l'application précise que l'on veut obtenir. Il se combine de préférence avec le carbone et le carbure qui en résulte, le type  $M_3C$ ,  $((Fe, CO)_3 C$ ,  $(Fe,Co)_7$ ,  $(Fe,Cr)_{23} C_6$ ), est un carbure mixte, dur et stable [12].

### **Effet du Molybdène**

Le molybdène est un élément d'addition principal dans la composition chimique étudiée. Il élève la résistance à la traction et à la fatigue, augmente la dureté et la trempabilité, tout en diminuant l'allongement. Sa présence conduit à la formation de petites particules résistantes à l'abrasion et évite le grossissement des grains austénitiques à haute température.

### **Effet du tungstène**

Le tungstène est un élément alphasène et carburigène. Il augmente la résistance à l'usure par abrasion. Le tungstène possède une vaste gamme de propriétés intéressantes. Ce métal très dense, a le point de fusion le plus élevé de tous les métaux ( $3410^{\circ}C$ ). Il se caractérise par un coefficient de dilatation thermique bas, une grande résistance à la traction à des températures élevées, une résistance supérieure à la corrosion et une bonne conductivité thermique et électrique. Le tungstène est un métal le plus dur des métaux réfractaires et le carbure de tungstène qu'il développe compte parmi les plus durs des carbures. Les carbures de tungstène sont peu sensibles au revenu d'où son avantage dans les aciers devant résister à chaud.

### **Effet du silicium**

Le silicium est un élément alphasène et un désoxydant, permet également d'améliorer la trempabilité de l'alliage et accroît la résistance à l'usure abrasive. La trempabilité est l'aptitude d'un acier à se transformer en martensite dans la masse d'une pièce. Grâce à cette propriété, on peut augmenter la dureté après traitement thermique d'un acier. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'une augmentation de dureté se fait très souvent au détriment de la ductilité. Il améliore la résistance à l'oxydation des aciers au chrome.

### **Effet du manganèse**

Le manganèse est un élément désoxydant et désulfurisant, tout comme le silicium, il augmente la trempabilité d'un acier et élève à la fois la limite d'élasticité et la ténacité. L'apport de manganèse fait décroître la conductivité thermique de l'acier le contenant, ce qui peut être un atout ou une faiblesse en fonction de l'utilisation voulue. Il se combine au soufre.

## **II.1.3 Traitement thermique**

Afin de changer les propriétés mécaniques des aciers ou alliages soumis à différentes contraintes,

l'industrie métallurgique utilise des traitements thermiques sur les matériaux après leur fabrication. Ces traitements impliquent de soumettre une pièce à des cycles prédéterminés de chauffage et de refroidissement afin de modifier la structure du matériau et d'améliorer ses caractéristiques mécaniques telles que la dureté, la ductilité et la limite d'élasticité. Pour les aciers faiblement alliés, cela implique généralement un cycle de trempe suivi d'un ou plusieurs revenus. [13-14]

	Température	Milieu
Recuit	725°-750°C	Air
Trempe	825°-875°C	Huile
Revenu	450°-650°C	Air

**Tableau 4 :** Température et milieu de traitement thermique.

## II.2 Les paramètres de coupe

Sont la vitesse de coupe, la vitesse d'avance et la profondeur de passe. Ces paramètres fondamentaux ont une influence significative sur les mécanismes de dégradation des outils de coupe.

Avant de réaliser une opération de tournage, il est nécessaire de bien choisir les conditions de coupe pour obtenir un bon résultat (précision, état de surface ...). Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les conditions de coupe notamment :

- Le type de la machine (mécanisme, gamme des vitesses, ...).
- La puissance de la machine.
- La matière de l'outil (ARS, carbure...).
- La matière usinée (acier, aluminium...).
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage...) [15].

### II.2.1 Les Condition de coupe en tournage

Les conditions de coupe mises en jeu pendant le tournage, hormis les caractéristiques de l'outil, sont [16]. :

#### Vitesse de coupe

Le choix de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) dépend de la nature de l'opération effectuée et du couple outil-matière (caractéristiques physiques et mécaniques du

matériau usiné et matériau usinant). En pratique, la vitesse de coupe est réglée par la vitesse de rotation de la pièce (notée  $N$  et exprimée en tour/mn). Cette vitesse dépend de la vitesse de coupe et du diamètre de la pièce à usiner.

La relation reliant la vitesse de coupe et la vitesse de rotation est donnée par l'Équation suivante :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

Avec :

$D$  : diamètre de la pièce

exprimée en mm ;  $V_c$  : vitesse de coupe [m/mn] ;

$N$  : vitesses de rotation [tour /mn].

D'où :

$$V_c = \frac{\pi D N}{1000}$$

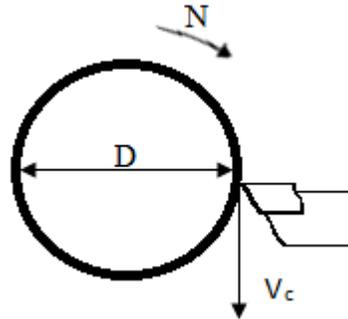


Figure II.1 : Vitesse de coupe.

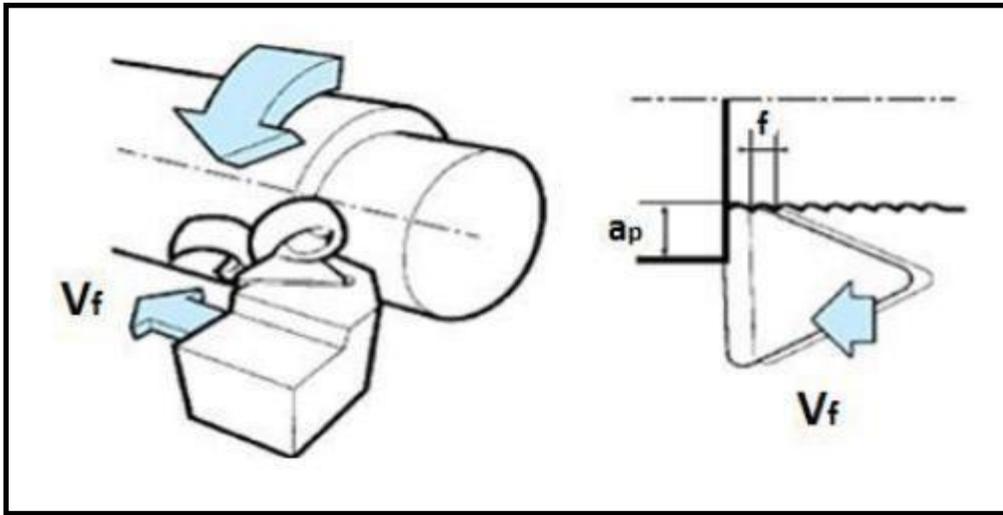
### L'avance par tour

L'avance correspond au déplacement de l'outil en fonction de la rotation de la pièce, pendant la formation de copeau. L'avance est notée  $f$  et exprimée en mm/tour. Comme pour la vitesse de coupe, en pratique, l'avance s'exprime en vitesse d'avance  $V_f$ . Cette dernière représente la vitesse à laquelle l'outil se déplace par rapport au bâti de la machine selon les axes longitudinal et transversal et en fonction du nombre de tours effectués par la pièce. Elle est donnée par l'Équation suivante :

$$V_f = f \times N \text{ (mm/min)}$$

Avec :

$V_f$  vitesse d'avance exprimée en mm/min.



**Figure II.2 :** Vitesse d'avance  $V_f$ , Avance par tour  $f$

### La profondeur de passe

La profondeur de passe représente la différence des rayons avant et après usinage (Profondeur de la matière à enlever). Elle est notée  $a_p$  et exprimée en mm [15].

## II.3 Gamme d'usinage des arbres

### II.3.1 Phase d'ébauche

C'est une opération en tournage qui consiste à enlever un maximum de matière en un minimum de temps. L'objectif est dans ce cas d'augmenter au maximum le débit de copeaux.

### II.3.2 Phase de finition

Pour ce type d'opération c'est la qualité de réalisation qui est importante : la surface doit être lisse, les côtes doivent être correctes. Comme les efforts en jeu sont plus faibles que pour une ébauche.

### II.3.3 Arbre dans les transmissions de puissance

Un arbre est une pièce rotative ou fixe, normalement de section circulaire, qui supporte généralement engrenages, poulies, volants manivelles, pignons de chaîne ou autre élément qui transmettent un mouvement ou une puissance [17].

### II.3.4 Les différents types d'arbres :

-Arbre de transmission : il transmet une puissance d'un moteur à une machine ou à un élément de machine.

Arbre de renvoi : il distribue un mouvement de rotation entre différents éléments. Les arbres tournants peuvent être de types suivants :

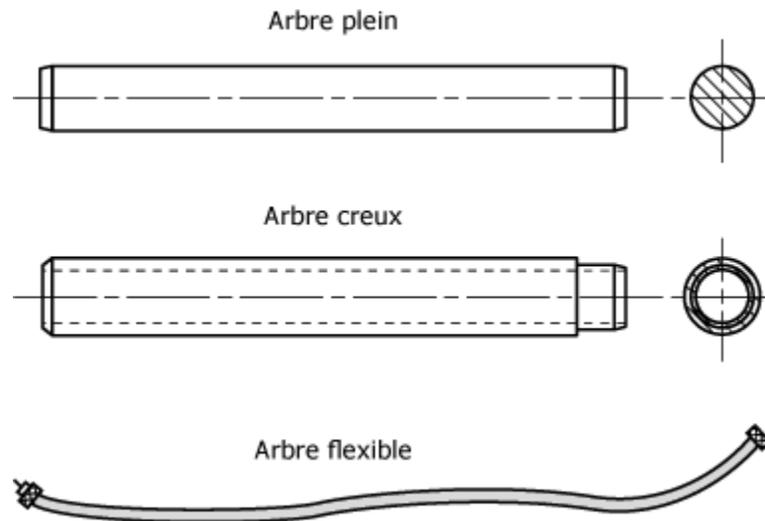
\*Arbres pleins

\*Arbres creux ou arbres flexibles

L'arbre est soumis à des contraintes de flexion et à des contraintes de torsion. On peut classer les arbres en deux catégories.

La catégorie d'arbres tournants :

- Porte les organes de commande,
- Reçoit et transmet le couple moteur aux machines ou aux équipements industriels.



**Figure II.3 :** Différents types d'arbre

### II.3.5 Techniques de montage des éléments de machines sur les arbres.

**Montage à clavette :**

La clavette est utilisée entre un arbre et un élément de machine (poulie,

engrenages...) et permet de transmettre un couple. C'est un moyen commode et économique destiné surtout aux montages qui tournent à basse vitesse, lorsqu'on doit fréquemment monter et démonter l'élément de l'arbre.

En générale, le montage à clavette est accompagné d'un serrage léger pour éviter l'excentricité et le jeu en rotation. [17]

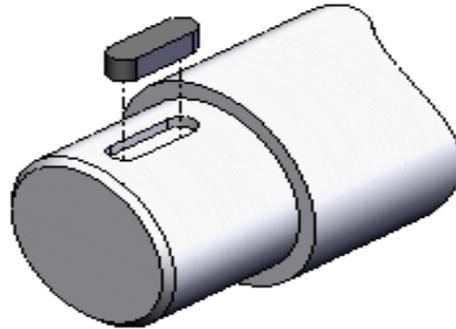


Figure II.4 : montage clavette.

### Montage cannelures

On peut définir le montage à cannelures comme étant un assemblage à clavettes multiples ou les clavettes font partie intégrante de l'arbre. [17]

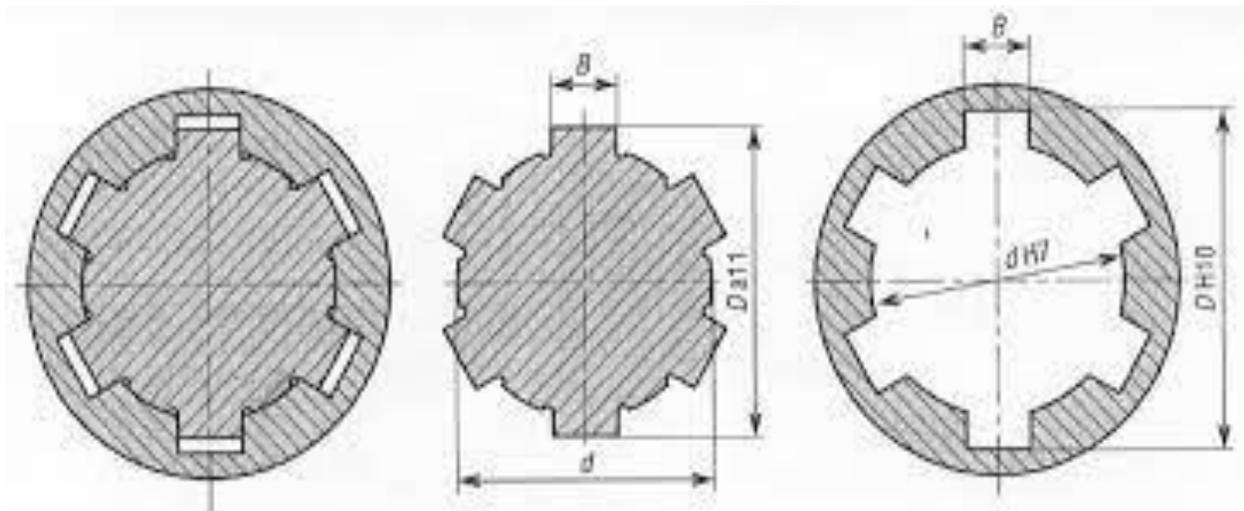


Figure II.5 : Cannelure.

## II.4 La poulie

Est un organe simple, c'est à-dire un dispositif de mécanique élémentaire.

Elle est constituée d'une pièce en forme de roue servant à la transmission du mouvement. La poulie est utilisée avec une courroie, une corde, une chaîne ou un câble et la forme de la jante étant adaptée aux cas d'utilisation [18].

### II.4.1 Les types de poulies :

Il existe trois types de poulies :

#### **Poulie simple fixe.**

La manière la plus simple d'utiliser une poulie est de l'ancrer dans un support, d'accrocher un poids à une extrémité de la corde et tirer de l'autre extrémité pour lever le poids.

#### **Poulie simple mobile.**

Une autre façon d'utiliser la poulie est de la fixer à la charge, de fixer une extrémité de la corde au support et de tirer sur l'autre extrémité pour lever la poulie et la charge. Cette configuration est appelée poulie simple mobile ou poulie inversée.

#### **Poulies composées.**

Quand on utilise des systèmes de plusieurs poulies qui travaillent ensemble, on dit qu'on a une configuration de poulie composée.

### II.4.2 Problèmes liés au montage des poulies.

1. **Jeu excessif** : lorsqu'il y a du jeu entre la poulie et l'arbre, cela peut entraîner des vibrations, un fonctionnement irrégulier et une transmission de puissance inefficace. Le jeu peut également provoquer une usure prématurée de la poulie, de l'arbre et la courroie ou du câble utilisée pour la transmission.
2. **Glissement** : le jeu entre la poulie et l'arbre augmente le risque de glissement de la courroie ou du câble. Cela peut entraîner une perte de puissance, une diminution de l'efficacité du système et une usure prématurée de la courroie ou du câble.
3. **Bruits et vibrations** : le jeu excessif peut provoquer des bruits anormaux pendant le

fonctionnement du système. De plus, les vibrations induites par le jeu peuvent causer des dommages supplémentaires aux composants environnants et affecter le bon fonctionnement des autres éléments de la machine.

4. Difficulté d'ajustement : lorsqu'il n'y a pas de jeu entre la poulie et l'arbre, l'ajustement devient plus critique. Il peut-être plus difficile d'obtenir un ajustement précis sans jeu, ce qui peut nécessiter des outils spéciaux ou des techniques d'ajustement plus précises.
5. Contrainte excessive : un montage sans jeu peut entraîner une contrainte excessive sur les composants, en particulier si la poulie est serrée trop fermement sur l'arbre. Cela peut entraîner une déformation de la poulie ou de l'arbre, une rupture de la courroie ou du câble, voire une défaillance catastrophique du système.
6. Coûts supplémentaires : un montage sans jeu peut nécessiter des opérations d'usinage plus précises et des composants de qualité supérieure pour garantir un ajustement précis. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires liés à la fabrication, à l'achat de composants de haute précision et à des opérations d'ajustement plus complexes.

## **II.5 Moyens et matériels utilisés.**

### **II.5.1 Machine-outil :**

On utilise pour notre recherche pratique un tour conventionnel parallèle universel.

Le tour est une machine-outil utilisée pour façonner des pièces cylindriques en utilisant un outil de coupe, elle est capable de tourner des pièces en métal, en plastique ou en bois pour leur donner des formes cylindriques précises, filetages ou des rainures. Le tour est couramment utilisé dans l'industrie manufacturière.



**Figure II.6 :** Tour conventionnel Trens SN40C.

Le tableau suivant représente les caractéristiques du tour conventionnel.

Diamètre admis au-dessus du banc	400 mm
Diamètre admis au-dessus du chariot	220 mm
Diamètre maximum à charioter dans le rompu	600 mm
Largeur du rompu en amont du plateau de serrage	230 mm
Hauteur des pointes au-dessus du banc	200 mm
Distance entre pointes	1060 mm
Longueur de tournage SN 40C	1000 mm
Couple de torsion permis	1200 N.m
Poids maximal de la pièce à usiner	300 kg
Poids maximal entre pointes	200 kg
Moteur électrique type	AC monophasé

Puissance	2000 W
Vitesse d'avance rapide	2840 mm/min
Mandrin de serrage universel à 3 ou 4 mors	200 mm
Nombre de degré d'avance	38

**Tableau 5** : Les caractéristiques du tour Trens SN 40C.

### II.5.2 Outil de coupe

#### ARS :

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont élaborés à partir d'un acier faiblement allié subissant un traitement thermique. Il est toujours utilisé pour certains types d'outils comme les forêts, ou les outils nécessitant un angle de tranchant très faible.

Ils ne permettent pas une vitesse de coupe élevée car un échauffement trop important élimine la trempe de l'outil, et crée donc un effondrement rapide de l'arête de coupe.

Fabrication : par coulée en coquille ou par métallurgie des poudres.

Composition : 0,7 % de Carbone minimum 4 % de Chrome, Tungstène, Molybdène, Vanadium Cobalt pour les plus durs.

#### Carbures :

Les outils carbures sont les plus utilisés actuellement. Il en existe de toutes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d'usinage. Ils se présentent sous la forme d'une plaquette que l'on vient fixer sur un porte outil. Le remplacement de la plaquette est donc très rapide.

Ils sont souvent revêtus d'un carbure plus dur. On obtient ainsi une plaquette dont le noyau est tenace et dont la surface extérieure est très dure.

Fabrication : par frittage de poudre, puis revêtement

Composition : Noyau en carbure de tungstène ( $T^\circ$  de fusion  $2600^\circ$ )

Ou en carbure de titane ( $3100^\circ$ ), ou tantale ( $3780^\circ$ ) ou molybdène ( $3500^\circ$ ) Liant : cobalt : le plus courant ou nickel.

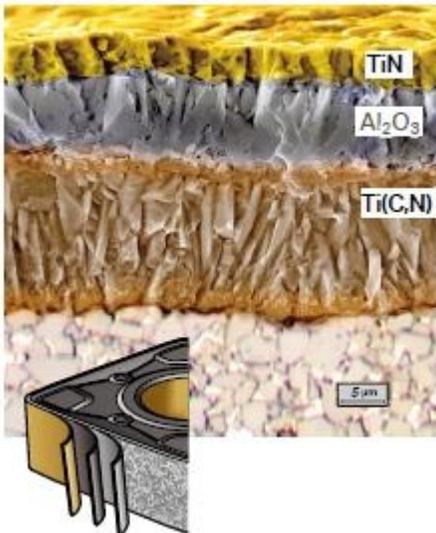
Revêtement en oxyde d'aluminium (céramique appelée corindon :  $Al_2O_3$ )

### Carbures revêtus :

Les propriétés de nuances des carbures non revêtus constituent un compromis entre la résistance à l'usure et la ténacité. Ces qualités varient en sens inverse selon le pourcentage des constituants. Les carbures revêtus sont mis au point dans le but d'associer une résistance élevée à l'usure de la surface des plaquettes et une haute ténacité du substrat. Les matériaux déposés en revêtement sont très nombreux. Les plus courants sont :

- Nitrure de titane TiN
- Oxyde d'aluminium  $Al_2O_3$
- Carbure de titane TiC

Chacune de ces couches apporte à l'outil une amélioration dans un domaine particulier. Les dépôts multicouches sont réalisés afin de combiner les différents avantages (Figure 3). Ces couches sont obtenues généralement par CVD (CHIMICAL VAPOR DIPOSITION) ou par PVD (PHYSICAL VAPOR DIPOSITION) [20].



**Figure II.7 :** revêtement multicouche [19].

### Cermets :

Ce nom vient de céramique-métal car il représente les carbures ayant des particules de Titane, de carbonitride de Titane ou de nitrure de Titane.

Ces outils doivent être alliés à du carbure de Molybdène pour augmenter leur ténacité.

Ils sont utilisés pour des grandes vitesses de coupe associées à de faibles avances, donc pour de la finition.

Le matériau étant fragile, il ne faut pas d'interruption de coupe (plan de joint...) [20].

**Céramiques :**

Ce sont, pour les outils de coupe, les oxydes et les nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium.

Les céramiques ont une grande dureté (donc une faible ténacité) avec une grande stabilité à haute température et aucune réaction avec la matière usinée.

Les céramiques permettent un grand débit de matière, mais nécessitent une grande stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et une méthode d'usinage adaptée (approche de l'outil) [20].

**Nitrure de Bore Cubique (CBN) :**

Le CBN offre une très grande dureté, c'est le matériau le plus dur après le diamant. Il comporte l'avantage par rapport au diamant de ne pas s'oxyder à haute température. Il est aussi utilisé pour faire des meules de rectification, pour usiner les pièces dures...

Son utilisation requiert

- Une machine stable
- Une grande rigidité de la pièce et de la porte pièce
- Un arrosage.

**Diamant**

L'utilisation du diamant est fortement répandue comme constituant des meules, ou des grains de réaffûtage des meules.

Il a un faible coefficient de frottement ce qui limite l'apparition d'arête rapportée (donc peut d'encrassement).

Par contre, son énorme inconvénient réside dans sa non-stabilité à haute température. Un diamant soumis à une température de plus de 650 ° se transforme en un vulgaire morceau de graphite... On ne peut donc pas l'utiliser pour les matériaux ferreux.

Par contre, il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à basse température : alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résine thermodurcissable [20].

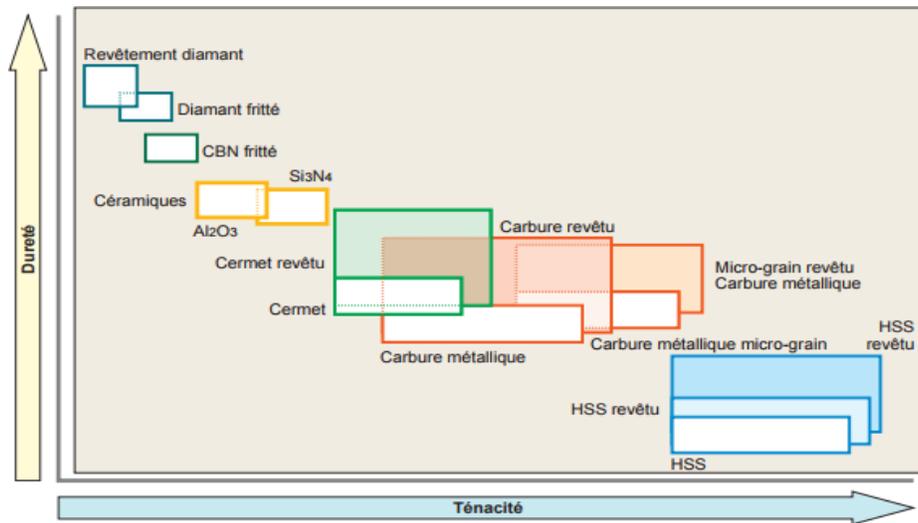


Figure II.8 : Différents matériaux d’outils en fonction de sa dureté [21].

**Outil d’ébauche**

Plaquette en carbure avec un angle de dépouille de 0°. Elles disposent d’arêtes très résistantes et sont le premier choix pour le tournage extérieur. Leur grand rayon de bec offre une importante force de coupe, une meilleure fiabilité et des avances plus élevées. L’angle d’attaque de 55° dirige les forces dans le sens radial et dans le sens axial, ce qui réduit l’usure en entaille de la plaquette et nécessite une puissance moins élevée. L’efficacité de l’usinage tient à la vitesse et au débit des copeaux, pour améliorer la productivité, il faut ainsi minimiser les vibrations et effectuer des arrêts programmés courts. Afin d’augmenter la durée de vie de l’outil, il convient d’accentuer la profondeur de passe pour réduire le nombre de passes, augmenter l’avance pour réduire le temps de coupe et diminuer la vitesse de coupe pour réduire la chaleur.

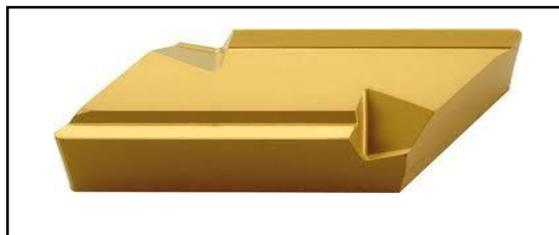


Figure II.9 : Plaquette KNUX 160405R11

Forme	KNUX
Type d’opération	Tournage

Dimension	160405
Matière	Carbure
Désignation ISO	KNUX 160405R-11
Matière à usiner	ACIER, INOX
Epaisseur	4.76 mm
Longueur	16 mm
Rayon de la plaquette	0.4 mm
Angle de dépouille	0°
Angle et forme de plaquette	55°
Angle de coupe	12°
Classe de tolérance	M
Nombre d'arêtes de coupe	2
Type de plaquette	Négative
Revêtement	Oui

**Tableau 6 :** Les caractéristiques techniques de la plaquette KNUX.

### Outil de semi-finition et finition

L'outil utilisé pour la semi-finition et la finition est un outil avec une plaquette VNMG-M en carbure, avec brise-copeaux, pour l'usinage des matériaux en acier et en INOX.



**Figure II.10 :** Plaquette VNMG 160404-MA.

Forme	VNMG
Type d'opération	Tournage
Dimension	160404-MA
Matière	Carbure
Désignation ISO	VNMG 160404-M
Matière à usiner	ACIER, INOX
Epaisseur	4.76 mm
Longueur arête	16 mm
Rayon de la plaquette	0.4 mm
Angle de dépouille	0°
Angle et forme de plaquette	35°
Angle de coupe	12°
Classe de tolérance	M
Nombre d'arêtes de coupe	4
Type de plaquette	Négative
Revêtement	Oui

**Tableau 7** : Les caractéristiques techniques de la plaquette VNMG.

### Outil de perçage :

Est un outil qui sert à faire ou usiner des trous. Il en existe différents types suivants la géométrie du perçage à réaliser et les matériaux usines, un foret travaille en coupant la matière à son extrémité.



**Figure II.11** : les forets.

### **Outil d'alésage**

Est un outil de coupe semblable à un foret. Il permet de calibrer avec précision un trou cylindrique (alésage) ébauché à l'aide d'un foret, contrairement au foret qui enlève le métal à son extrémité, l'alésoir possède des lèvres longitudinales (rectilignes ou hélicoïdales) parfaitement affûtées qui enlèvent le métal en augmentant très légèrement le diamètre du trou.

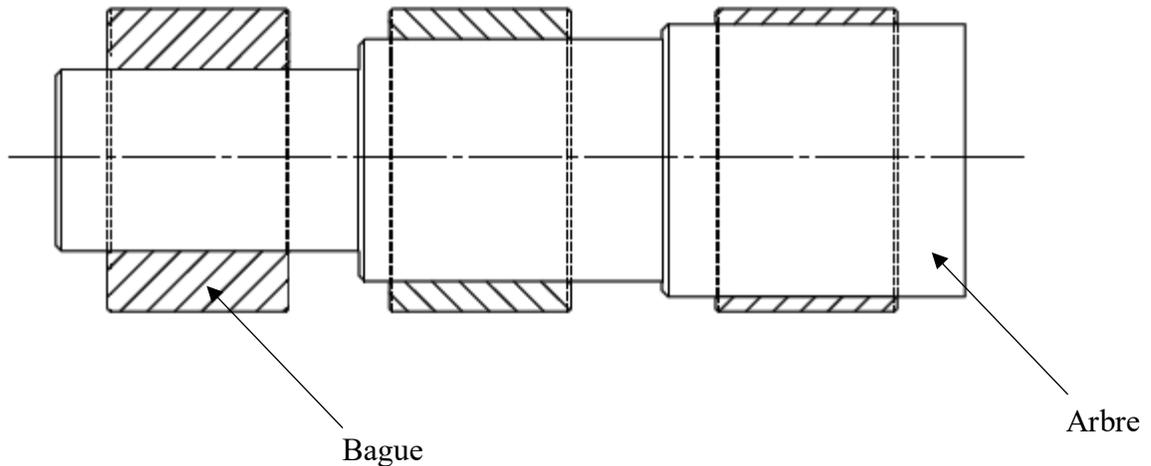


**Figure II.12** : outil à aléser.

**Chapitre III**  
**Partie expérimentale, résultats et**  
**discussions**

## Partie Expérimentale

### III. 1 Présentation du système



**Figure III.1** : Schéma représentant le système étudié.

Le système choisis pour notre étude est une poulie tournant sur un arbre fait en acier faiblement allié (42 Cr Mo 4), la poulie est une machine simple mais puissante qui permet de modifier la direction de l'effort et de diminuer l'effort physique nécessaire pour déplacer une charge. En combinaison avec une corde et un support approprié, elle offre un avantage mécanique en répartissant la force sur une plus grande distance, facilitant ainsi les travaux de levage et de déplacement.

#### Usinage de l'arbre

On découpe l'arbre avec une scie mécanique de 200 mm de longueur et de diamètre 50 mm.

L'arbre doit avoir les diamètres finals suivants : (30, 40, 45) mm

L'arbre doit avoir des chanfreins et deux faces dressées.

#### Usinage des poulies

On découpe les pièces sur une scie mécanique alternative de 30 mm de longueur et de diamètre 50 mm

Les poulies doivent avoir les diamètres intérieurs finals:(30, 40, 45) mm, Les poulies doivent avoir des chanfreins

### III.2 Calculs des ajustements

Dans le cas d'une poulie libre sans jeu ou la bague doit tourner autour de l'arbre on peut choisir un ajustement avec un jeu très faible, et dans notre cas l'ajustement le plus adapté est l'ajustement (H7 g6)

**H7 g6** : est une spécification mécanique utilisée pour définir la taille et le jeu entre un arbre et un alésage. Il permet un assemblage fonctionnel avec un léger jeu pour assurer un mouvement libre des pièces tout en évitant un jeu excessif. C'est un ajustement couramment utilisé dans de nombreuses applications mécaniques.

**a) Diamètre de 30 H7 g6**

**Pour l'alésage de  $\varnothing 30 \begin{smallmatrix} +21 \\ 0 \end{smallmatrix}$**

$$\text{Diamètre Maxi} = CN + ES$$

$$30 + 0.021 = 30.021\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = CN + EI$$

$$30 + 0 = 30\text{mm}$$

$$It = ES - EI$$

$$0.021 - 0 = 0.021\text{mm}$$

**Pour l'arbre de  $\varnothing 30 \begin{smallmatrix} -7 \\ -20 \end{smallmatrix}$**

$$\text{Diamètre Maxi} = CN + es$$

$$30 + (-0.007) = 29.993\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = CN + ei$$

$$30 + (-0.020) = 29.98\text{mm}$$

$$It = es - ei$$

$$-0.007 - (-0.020) = 0.013\text{mm}$$

**Calcul du jeu**

Jeu maxi = cote maxi (alésage) – cote mini (arbre)

$$\text{Jeu maxi} = 30.021 - 29.98 = 0.041\text{mm}$$

Jeu mini = cote mini (alésage) - cote maxi (arbre)

$$\text{Jeu mini} = 30 - 29.993 = 0.007\text{mm}$$

$JM > 0$ ,  $j_m > 0$  donc l'ajustement est avec jeu (jeu très faible)

**b) Diamètre de 40 H7 g6**

Pour l'alésage de  $\text{Ø } 40 \begin{matrix} +25 \\ 0 \end{matrix}$

$$\text{Diamètre Maxi} = CN + ES$$

$$40 + 0.025 = 40.025\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = CN + EI$$

$$40 + 0 = 40\text{mm}$$

$$It = es - ei$$

$$It = 0.025 - 0 = 0.025\text{mm}$$

Pour l'arbre de  $\text{Ø } 40 \begin{matrix} -9 \\ -25 \end{matrix}$

$$\text{Diamètre Maxi} = CN + ES$$

$$40 + (-0.009) = 39.991\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = CN + Ei$$

$$40 + (-0.025) = 39.975\text{mm}$$

$$It = es - ei$$

$$It = -0.009 - (-0.025) = 0.016\text{mm}$$

**Calcul du jeu**

Jeu maxi = cote maxi (alésage) – cote mini (arbre)

$$40.025 - 39.975 = 0.05\text{mm}$$

Jeu mini = cote mini (alésage) - cote maxi (arbre)

$$40 - 39.991 = 0.009\text{mm}$$

JM > 0, jm > 0

Donc l'ajustement est avec jeu (jeu très faible)

### c) Diamètre de 45 H7 g6

Pour l'alésage de  $\varnothing 45 \begin{matrix} +25 \\ 0 \end{matrix}$

$$\text{Diamètre Maxi} = \text{CN} + \text{ES}$$

$$45 + 0.025 = 45.025\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = \text{CN} + \text{EI}$$

$$45 + 0 = 45\text{mm}$$

$$It = \text{ES} - \text{EI}$$

$$It = 0.025 - 0 = 0.025\text{mm}$$

Pour l'arbre de  $\varnothing 45 \begin{matrix} -9 \\ -25 \end{matrix}$

$$\text{Diamètre Maxi} = \text{CN} + \text{es}$$

$$45 + (-0.009) = 44.991\text{mm}$$

$$\text{Diamètre mini} = \text{CN} + \text{ei}$$

$$45 + (-0.025) = 44.975\text{mm}$$

$$It = \text{es} - \text{ei}$$

$$It = (-0.009) - (-0.025) = 0.016\text{mm}$$

### Calcul du jeu

Jeu maxi = cote maxi (alésage) - cote mini (arbre)

$$45.025 - 44.975 = 0.05\text{mm}$$

Jeu mini = cote mini (alésage) - cote maxi (arbre)

$$45 - 44.991 = 0.009\text{mm}$$

JM > 0, jm > 0

Donc l'ajustement est avec jeu (jeu très faible)

### III.3 Gamme d'usinage

Cette partie est consacrée à la proposition des gammes d'usinage relatives aux pièces considérées dans cette étude. Le contenu de ces gammes couvre les principales étapes de fabrication. Nécessitant un paramétrage des opérations à exécuter.

La gamme d'usinage doit représenter toutes les opérations à effectuer pour la réalisation de la pièce finale, elle doit contenir les phases, sous phase, la machine utilisée, les outils, les conditions de coupe, les outils de contrôle, et les croquis.

#### III.3.1 Gamme d'usinage de l'arbre

Le schéma suivant représente les dimensions finales de l'arbre de transmission.

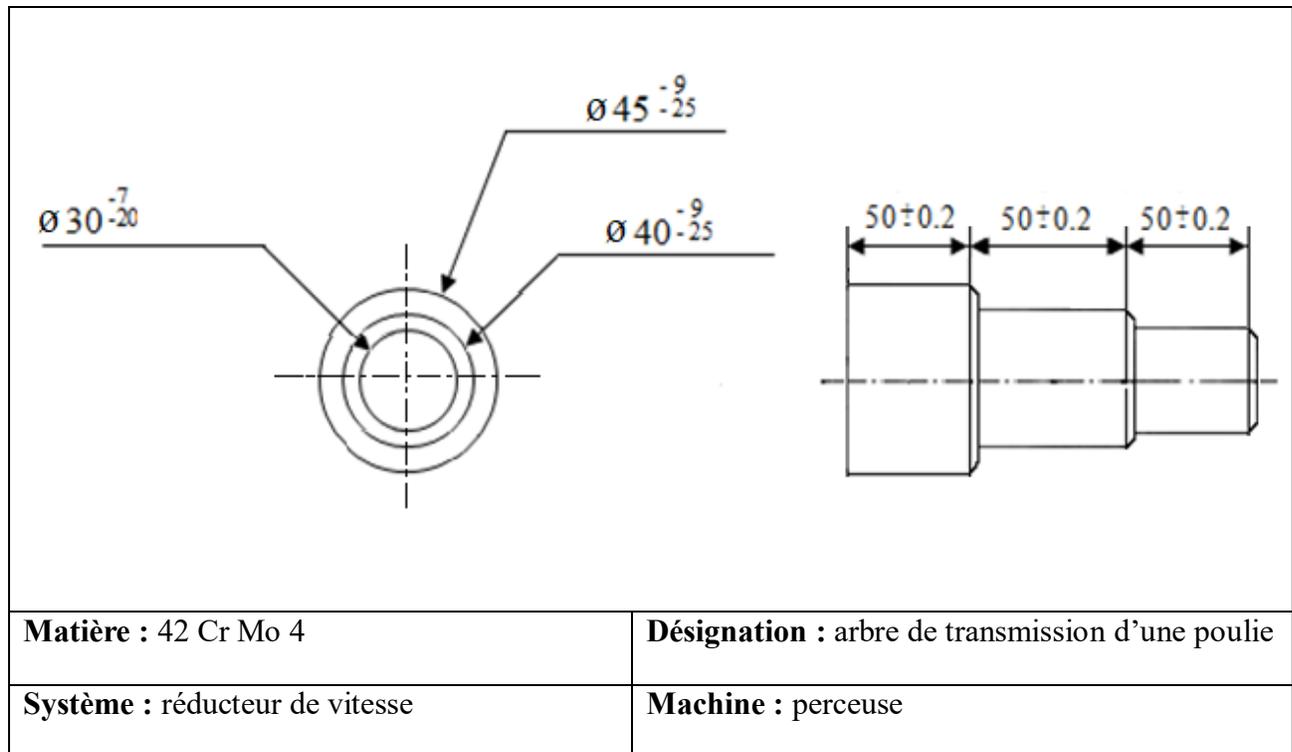
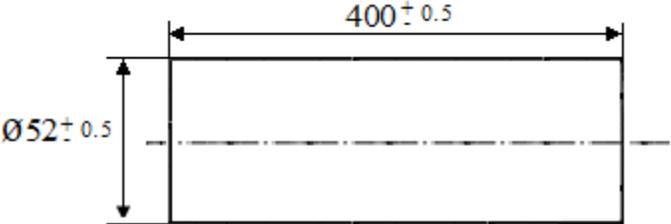
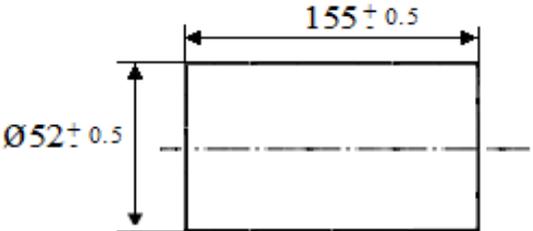
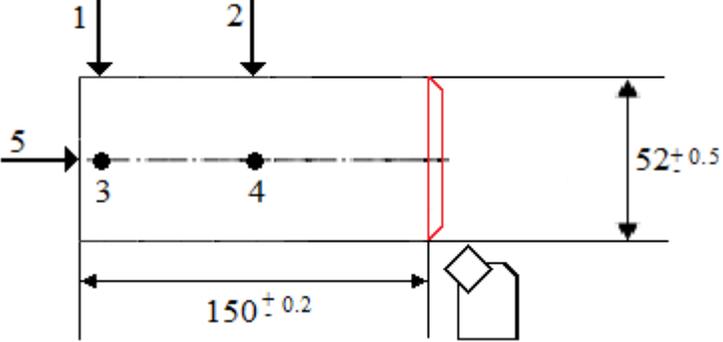


Figure III.2 : schéma représentant les dimensions finales de l'arbre

N° de phase	Opération	Machine/ outil / porte pièce / contrôle	Croquis
0	Contrôle de brut	Pied à coulisse Palmer	
100	Débitage	Scie mécanique / P à C	
200	<b>Tournage</b> <b>Sous phase 210 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dressage</li> <li>• Chanfrein</li> </ul>	<b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C, 3 mors dur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Outil de dressage et chanfreinage</li> </ul> Vc = 80 m/min F = 0.2 mm/tour  <b>Pied à coulisse</b>	

**Sous phase 220**

Chariotage

L= 50 mm,

D= Ø 30

**Tour conventionnel**  
**Trens SN40C, 3 mors**  
**dur**

- Outil de chariotage  
 KNUX 160405R11
- Outil de finition  
 VNMG 160404-MA

**Ebauche**

$V_c = 120$  m/min

$f = 0.2$  mm/tour

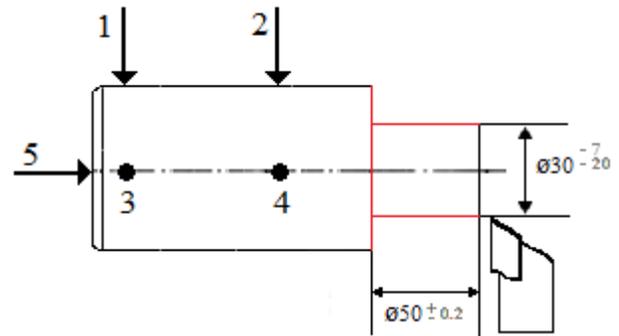
**Finition**

$V_c = 150$  m/min

$f = 0.11$  mm/tour

**P à C**

**Palmer**



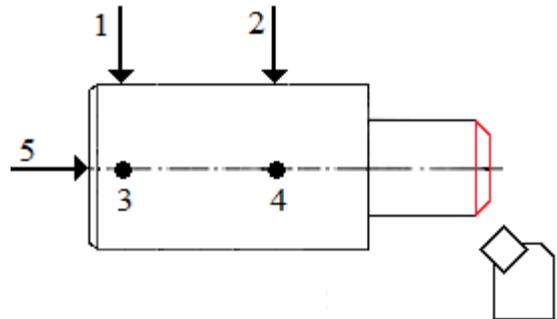
**Sous phase 230**

- Dressage
- Chanfrein

- Outil de dressage et  
 chanfreinage

$V_c = 80$  m/min

$f = 0.2$  mm/tour



**Sous phase 240**

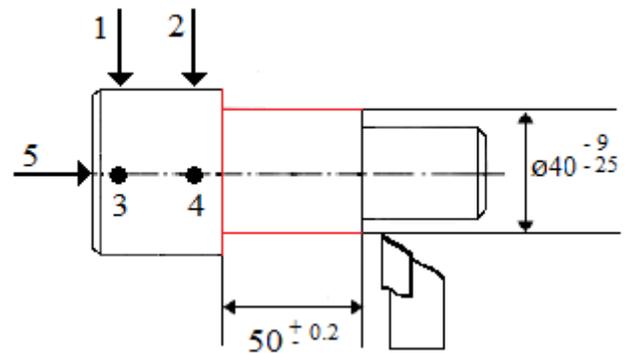
- Chariotage  
 (diamètre 40)
- Ebauche
- Semi-finition
- Finition

**Tour conventionnel**  
**Trens SN40C, 3 mors**  
**dur**

- Outil de chariotage  
 KNUX 160405R11
- Outil de finition  
 VNMG

**Pied à coulisse**

**Palmer**

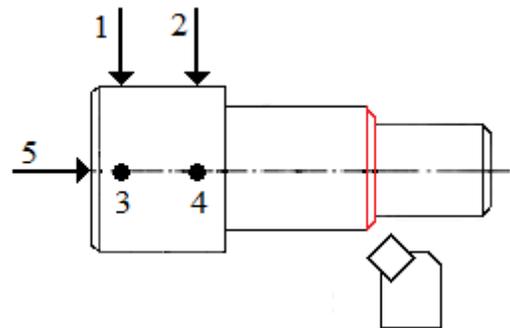


**Sous phase 250**

- Chanfrein

- Outil de chanfreinage

$V_c = 80 \text{ m/min}$



**Sous phase 260**

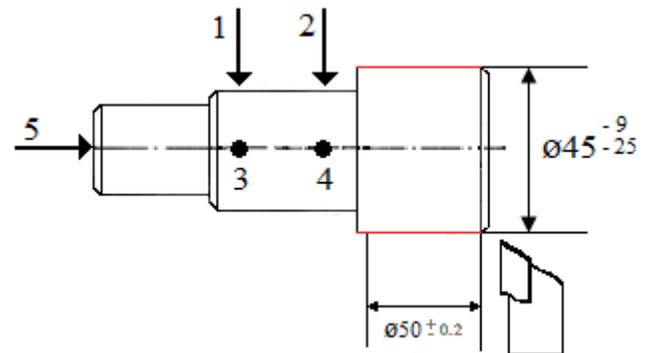
- Chariotage (diamètre 45)
- Ebauche
- Semi-finition
- Finition

**Tour conventionnel**  
**Trens SN40C, 3 mors doux**

- Outil de chariotage KNUX 160405R11
- Outil de finition VNMG

**Pied à coulisse**

**Palmer**

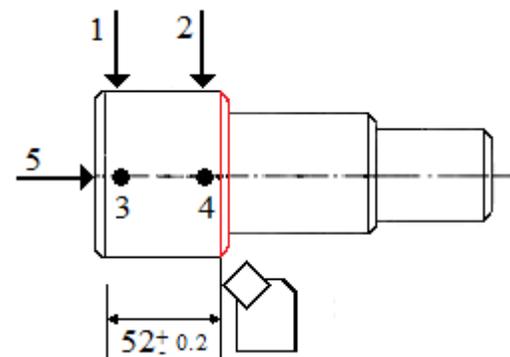


**Sous phase 270**

- Chanfrein 9

**Tour conventionnel**  
**Trens SN40C, 3 mors doux**

- Outil de chanfreinage



III.3.2 Gamme d'usinage des bagues

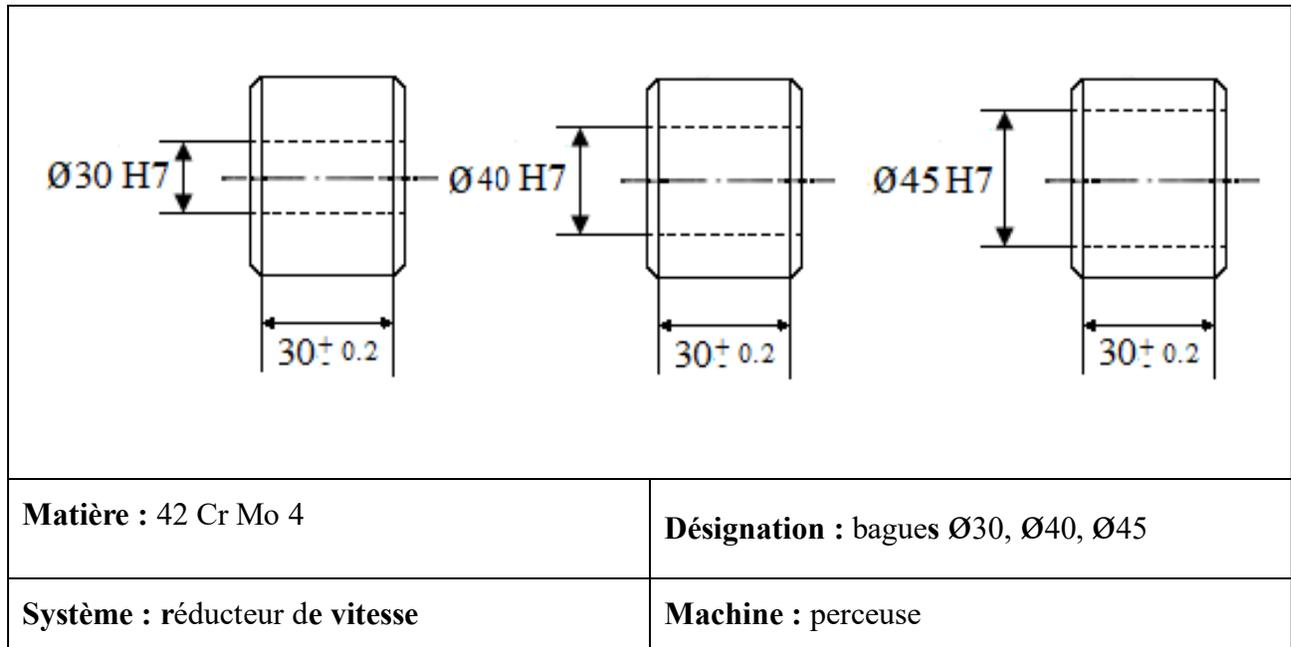
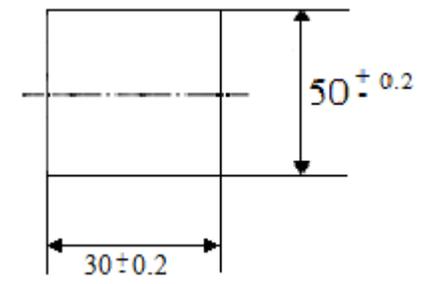
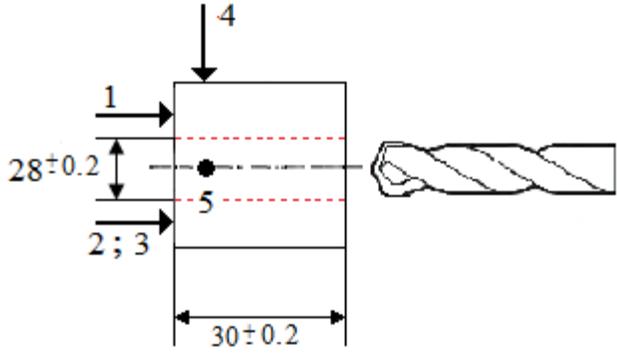
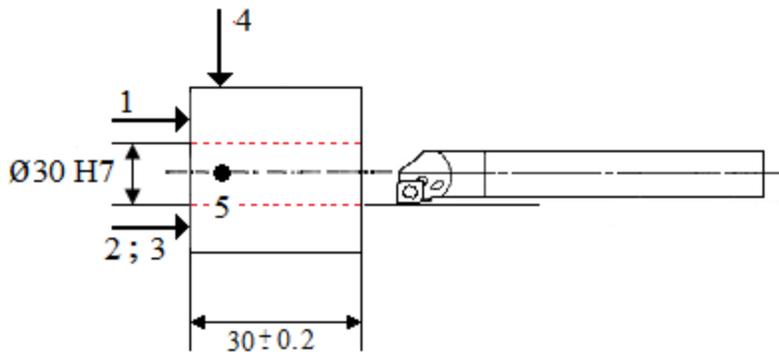
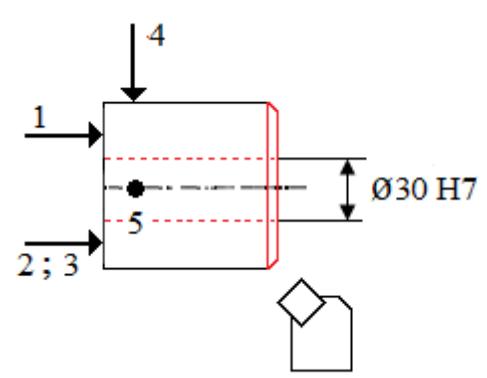
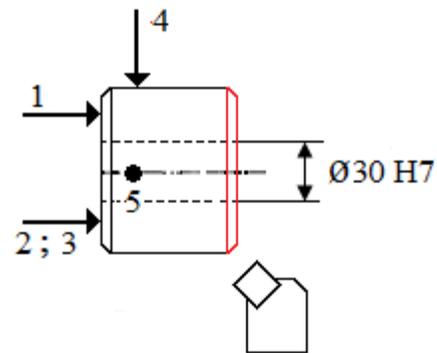


Figure III.3 : schéma représente les dimensions finales des bagues.

N° de phase	Opération	Machine/ outil / porte pièce / contrôle	Croquis
0	Contrôle de brut	Pied à coulisse Palmer	
100	<b>Tournage</b> <b>Sous phase 110</b> Chariotage L = 100 mm D = 50 mm	<b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C, 3 mors dur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Outil de chariotage KNUX 160405R11</li> </ul>	

200	<b>Débitage</b>	<b>Scie mécanique</b> / P à C	
300	<p><b>Tournage</b></p> <p><b>Sous phase 310</b></p> <p><b>Perçage en ébauche</b> D = 28 mm</p> <p><b>Sous phase 320</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alésage D = 30 mm</li> </ul> <p><b>Sous phase 330</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dressage</li> <li>Chanfrein</li> </ul> <p><b>Sous phase 340</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dressage</li> <li>Chanfrein</li> </ul>	<p><b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C, 3 mors dur</b></p> <p>Foret : Ø12, Ø18, Ø28 Vc = 60 m/min</p> <p><b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C,</b> <b>mandrin 3 mors doux</b></p> <p>Outil à alésage</p> <p><b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C,</b> <b>mandrin 3 mors doux</b></p> <p>Outil de dressage et chanfreinage</p> <p><b>Tour conventionnel</b> <b>Trens SN40C,</b> <b>mandrin 3 mors doux</b></p>	  

Outil de dressage et  
chanfreinage /P à C



### III.4 Résultats (pièces, conditions de coupe et copeaux obtenus)

Durant notre travail pratique, nous avons réalisé des essais d'ébauche, semi-finition et finition afin d'obtenir les diamètres souhaités avec une très grande précision, pour cela nous avons besoin de choisir les conditions de coupe appropriées : vitesse de coupe (en fonction du matériau à usiner, outil de coupe et opération à réaliser), profondeur de passe et l'avance, et calculer la vitesse de rotation et la vitesse d'avance.

Les tableaux ci-dessous représente les résultats obtenus, copeaux et états de surface

Les résultats obtenus sont illustrés ci-dessous

**III.4.1 Tableau illustre les résultats obtenus pour le diamètre 30 (arbre)**

Les passes	Les conditions de coupe	Diamètre	Ap	Illustration des résultats	L'état de surface
Phase ébauche 1 <sup>er</sup> passe	Vc = 120m/min N = 924.87tr/min f = 0.2mm/tr	Di = 41.30mm Df = 39.87mm	1.5mm		
2eme passe	Vc = 120m/min N = 958.04tr/min f = 0.2mm/tr	Di = 39.87mm Df = 36.80mm	3mm		
3eme passe	Vc = 120m/min N = 1037.96tr/min f = 0.2mm/tr	Di = 36.80mm Df = 34.92mm	2mm		
4eme passe	Vc = 120m/min N = 1093.84tr/min f = 0.2mm/tr	Di = 34.92mm Df = 33.70mm	1mm		

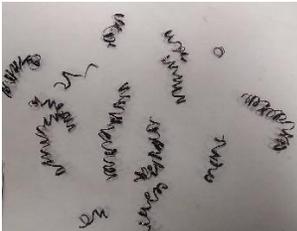
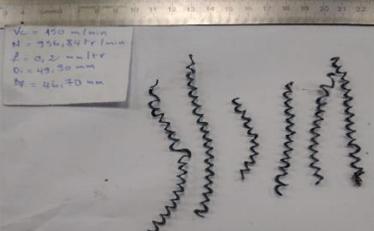
5eme passe	$V_c = 100\text{m/min}$ $N = 944.53\text{tr/min}$ $f = 0.08\text{mm/tr}$	$D_i = 33.70\text{mm}$ $D_f = 32.20\text{mm}$	1.5mm		
Phase Semi finition 1 <sup>er</sup> passe	$V_c = 120\text{m/min}$ $N = 1186.84\text{tr/min}$ $f = 0.08\text{mm/tr}$	$D_i = 32.20\text{mm}$ $D_f = 31.10\text{mm}$	1mm		
2eme passe	$V_c = 120\text{m/min}$ $N = 1228.82\text{tr/min}$ $f = 0.08\text{mm/tr}$	$D_i = 31.10\text{mm}$ $D_f = 30.40\text{mm}$	0.7mm		
Finition	$V_c = 150\text{m/min}$ $N = 1571.40\text{mm}$ $f = 0.08\text{mm/tr}$	$D_i = 30.40\text{mm}$ $D_f = 29.99\text{mm}$	0.4mm		

Tableau 8 : résultats obtenus pour le diamètre 30

### III.4.2 Tableau illustre les résultats obtenus pour le diamètre 40

Les passes	Conditions de coupe	Diamètre	ap	Illustration des résultats	L'état de surface
Phase ebauche 1 <sup>er</sup> passe	$V_c = 120\text{m/min}$ $N = 765.86\text{tr/min}$ $f = 0.2\text{mm/tr}$	$D_i = 49.90\text{mm}$ $D_f = 46.40$	3mm		

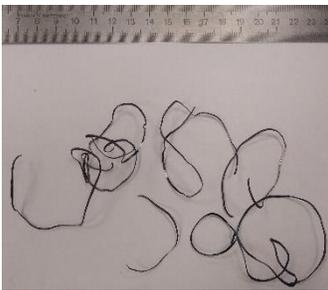
2eme passe	$V_c = 150\text{m/min}$ $N=1029.54\text{tr/min}$ $f = 0.2\text{mm/tr}$	$D_i=46.40\text{mm}$ $D_f=43.94\text{mm}$	2.5mm		
3eme passe	$V_c = 150\text{m/min}$ $N=1087.18\text{tr/min}$ $f = 0.2\text{mm/tr}$	$D_i=43.94\text{mm}$ $D_f=42.6\text{mm}$	1mm		
4eme passe	$V_c=150\text{m/min}$ $N=1121.37\text{tr/min}$ $f=0.08\text{mm/tr}$	$D_i=42.60\text{mm}$ $D_f=41.10\text{mm}$	1.5mm		
Phase semi finition	$V_c=150\text{m/min}$ $N=1162.30\text{tr/min}$ $f=0.08\text{mm/tr}$	$D_i=41.10\text{mm}$ $D_f=40.40\text{mm}$	0.7mm		
Phase Finition	$V_c=160\text{m/min}$ $N=1261.27\text{tr/min}$ $f=0.08\text{mm/tr}$	$D_i=40.40\text{mm}$ $D_f=39.97\text{mm}$	0.4mm		

Tableau 9 : résultats obtenus pour le diamètre 40

**III.4.3 Tableau illustre les résultats obtenus pour le diamètre 45**

Les passes	Condition de coupe	Diamètre	Ap	Illustration des résultats	L'état de surface
Phase ébauche 1 <sup>er</sup> passe	Vc = 120m/min N = 747.06tr/min f = 0.2mm/tr	Di=51.13mm Df = 49mm	2mm		
2eme passe	Vc = 120m/min N = 779.83tr/min f = 0.2mm/tr	Di = 49mm Df=46.45mm	2.5mm		
Semi finition	Vc = 150m/min N=1027.91tr/min f = 0.08mm/tr	Di=46.45mm Df=45.40mm	1mm		
Finition	Vc = 160m/min N=1121.79tr/min f = 0.08mm/tr	Di = 45.40m Df=44.98mm	0.4mm		

**Tableau 10** : résultats obtenus pour le diamètre 45

Les premiers essais d'ébauche que nous avons effectués, nous avons utilisé les conditions de coupe suivantes : VC = 80, 100 m/min

F = 0.2 tr/min

ap = 2 mm

### III.5 Perçage et l'alésage

Nous avons réalisé un alésage pour trois bagues de diamètre intérieur ( $\varnothing 30$ ,  $\varnothing 40$ ,  $\varnothing 45$ ) avec les étapes suivantes :

Préparation de l'équipement :

- Un tour conventionnel
- Des forets :  $\varnothing 12$ ,  $\varnothing 18$ ,  $\varnothing 28$ ,  $\varnothing 38$
- Un alésoir

Fixation de la pièce : nous avons fixé solidement la pièce sur le tour à l'aide d'un mandrin.

Les conditions de coupe pour chaque opération (perçage, alésage)

#### Perçage

- $V_c = 60\text{m/min}$
- $N = 350\text{tr/min}$



Figure III.4 : perçage avec différents forets

#### L'alésage

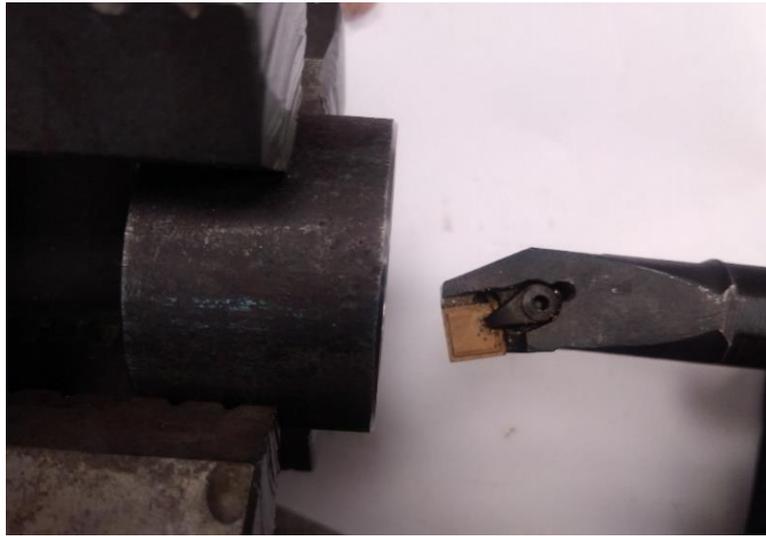
Phase d'ébauche

- $V_c = 70\text{m/min}$
- $N = 350\text{tr/min}$
- $f = 0.2\text{mm/tr}$

Phase de finition

- $V_c = 100\text{m/min}$

- $N = 710 \text{tr/min}$
- $f = 0.08 \text{mm/tr}$



**Figure III.5** : opération d'alésage

### III.6 Contrôle géométrique et dimensionnel des pièces

Pour assurer que la pièce est valide et fonctionnelle il est obligé de faire des contrôles géométriques et dimensionnels à l'aide des outils de mesure tel que le pied à coulisse, Palmer. Et pour cela nous avons utilisé un pied à coulisse à aiguille, les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux ci-dessous :

Mesure de $\Phi$ 30	1 <sup>er</sup> point	2eme point	3eme point	Moyenne	Diamètre à prendre
Ligne 1	30mm	29.98mm	29.99mm	29.99mm	29.99 mm
Ligne 2	29.99mm	30mm	30mm	29.99mm	
Ligne 3	30mm	29.97mm	29.99mm	29.98mm	

**Tableau 11** : mesures du diamètre 30

Mesure de $\Phi$ 40	1 <sup>er</sup> point	2eme point	3eme point	Moyenne	Diamètre à prendre
Ligne 1	39.97mm	39.98mm	39.98mm	39.98mm	39.97 mm
Ligne 2	39.98mm	39.97mm	39.97mm	39.97mm	
Ligne 3	39.98mm	39.99mm	39.95mm	39.97mm	

**Tableau 12** : mesures du diamètre 40

Mesure de $\Phi$ 45	1 <sup>er</sup> point	2eme point	3eme point	Moyenne	Diamètre à prendre
Ligne 1	45mm	44.99mm	44.98mm	44.99mm	44.98 mm
Ligne 2	44.99mm	45mm	44.97mm	44.98mm	
Ligne 3	44.98mm	44.97mm	44.99mm	44.98mm	

**Tableau 13** : mesures du diamètre 45

	1 <sup>er</sup> point	2eme point	3eme point	Moyenne
$\Phi$ 30	29.99mm	30mm	30.01mm	30 mm
$\Phi$ 40	39.99mm	40.01mm	39.98mm	39.99mm
$\Phi$ 45	44.99mm	44.99mm	45.01mm	44.99mm

**Tableau 14** : mesures des alésages



**Figure III.6** : contrôle géométrique et dimensionnel des pièces.

## III.7 Création du système sur solidworks

### III.7.1 Présentation du logiciel

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises [22].

### III.7.2 Création de l'arbre

La création de l'arbre à plusieurs étapes à suivre en utilisant des outils de dessin tels que des lignes, des cercles. Premièrement nous avons choisi l'outil cercle et nous avons attribuer le diamètre 45 mm à l'aide de l'outil cotation intelligente, nous avons extruder cette esquisse pour lui donner une forme tridimensionnelle, puis on a ajouté des chanfreins pour éliminer les arêtes vives. En suivant ces étapes on crée les autres diamètres (40, 30 mm).

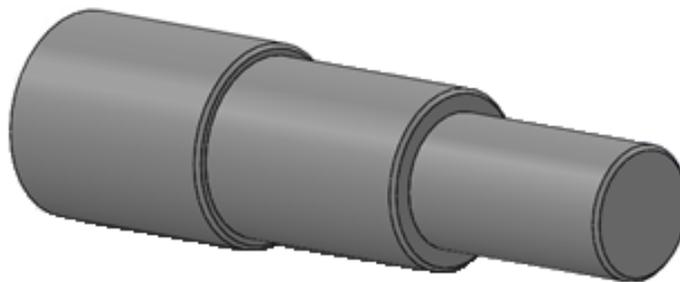
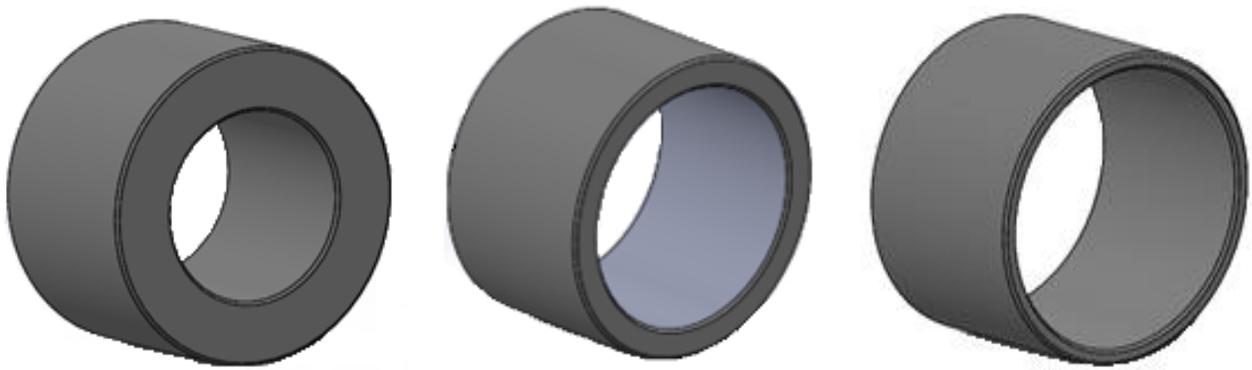


Figure III.7 : arbre sur solidworks.

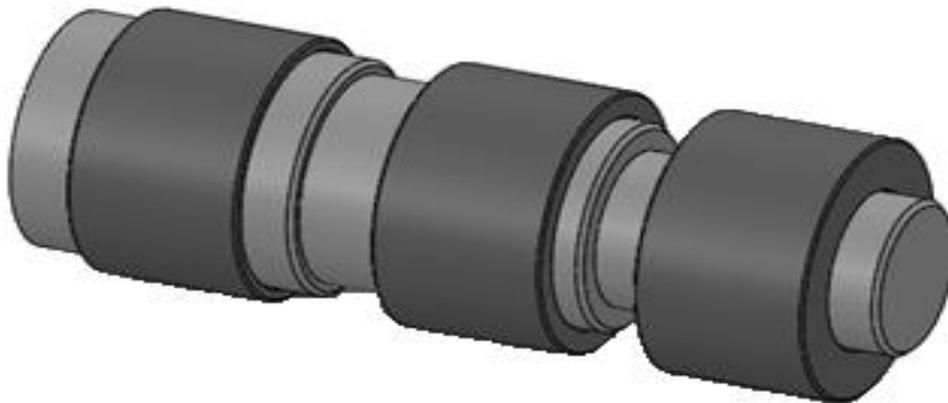
### III.7.3 Création des bagues

On a créé la poulie à l'aide de l'outil cercle et l'outil cotation intelligente, puis on utilise la fonction d'extrusion à l'intérieur (révolver boss/base), et on ajoute des chanfreins intérieurs et extérieurs.



**Figure III.8 :** Bagues sur solidworks.

#### III.7.4 Création de l'assemblage



**Figure III.9 :** assemblage des poulies sur solidworks.

## III.8 Pièces réalisés au niveau l'atelier

### III.8.1 L'arbre usiné



Figure III.10 : arbre

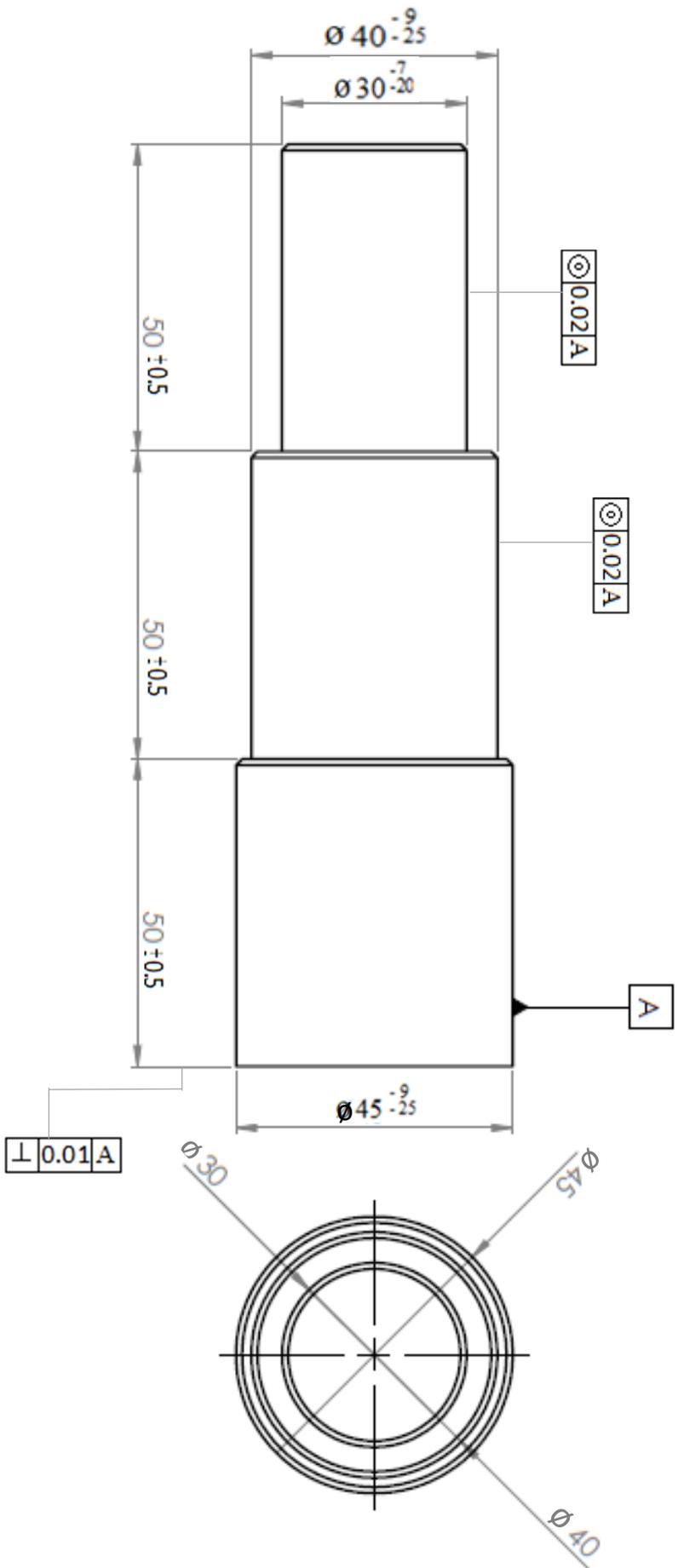
### III.8.2 Les bagues usinées



Figure III.11 : création des bagues.

## III.9 La mise en plan des pièces du système

Les schémas suivants présentent la mise en plan des pièces constituant notre système



UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJALA

M2 FMP

ECHELLE

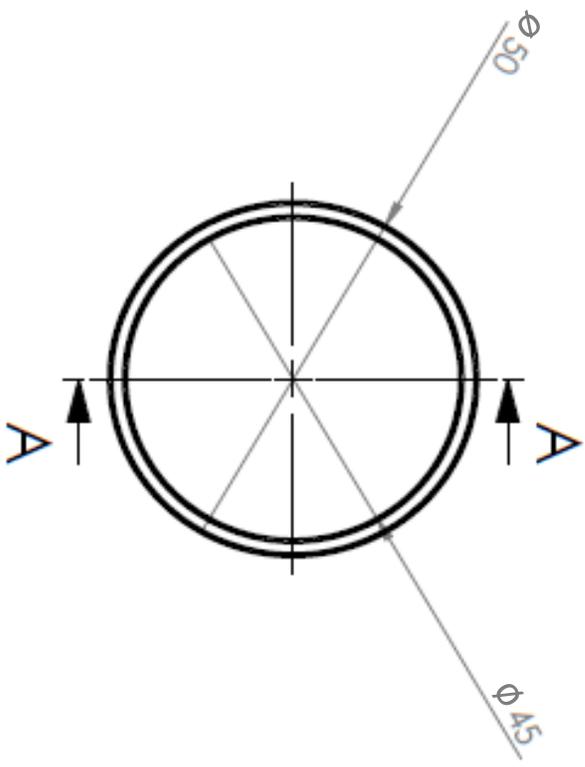
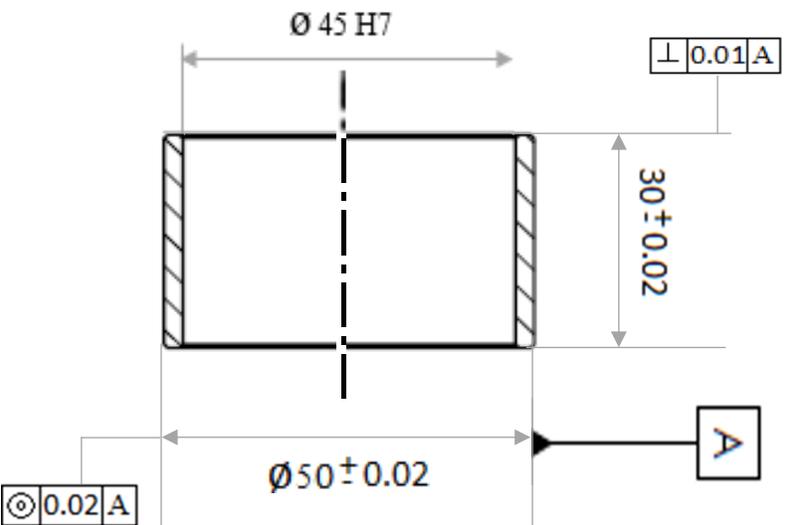
1/1

Pièce 1 :  
arbre

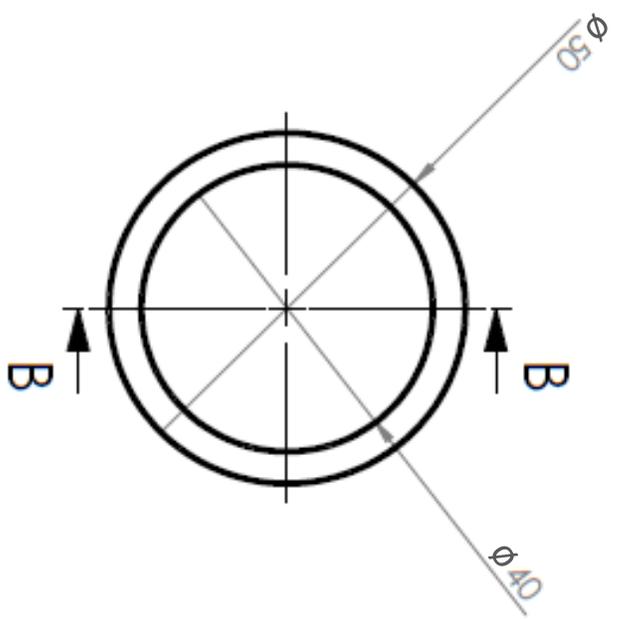
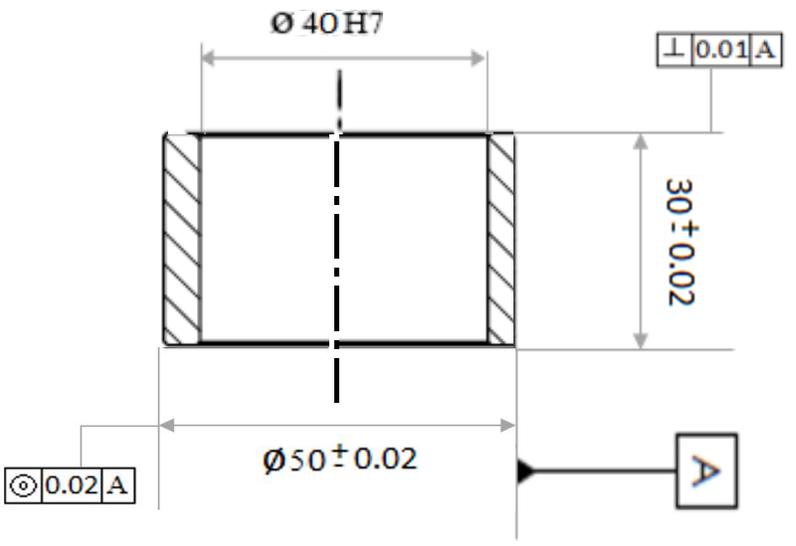
Matière :  
42 Cr Mo 4

A4

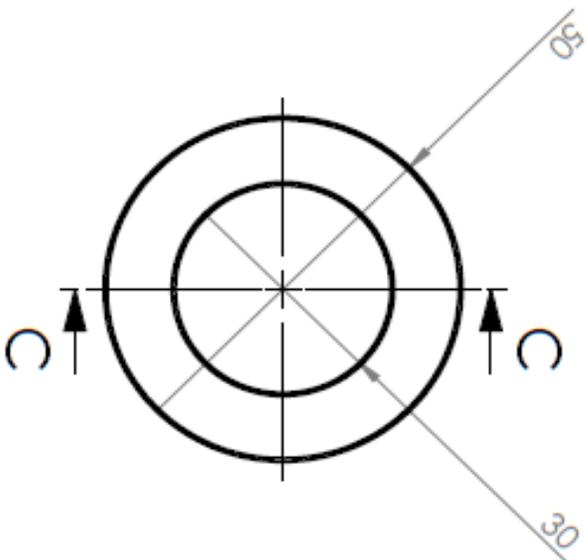
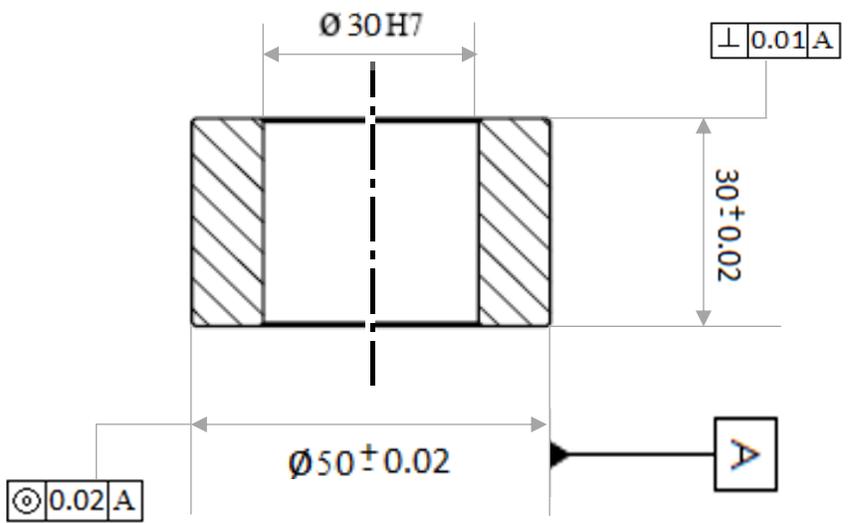
27/05/2023



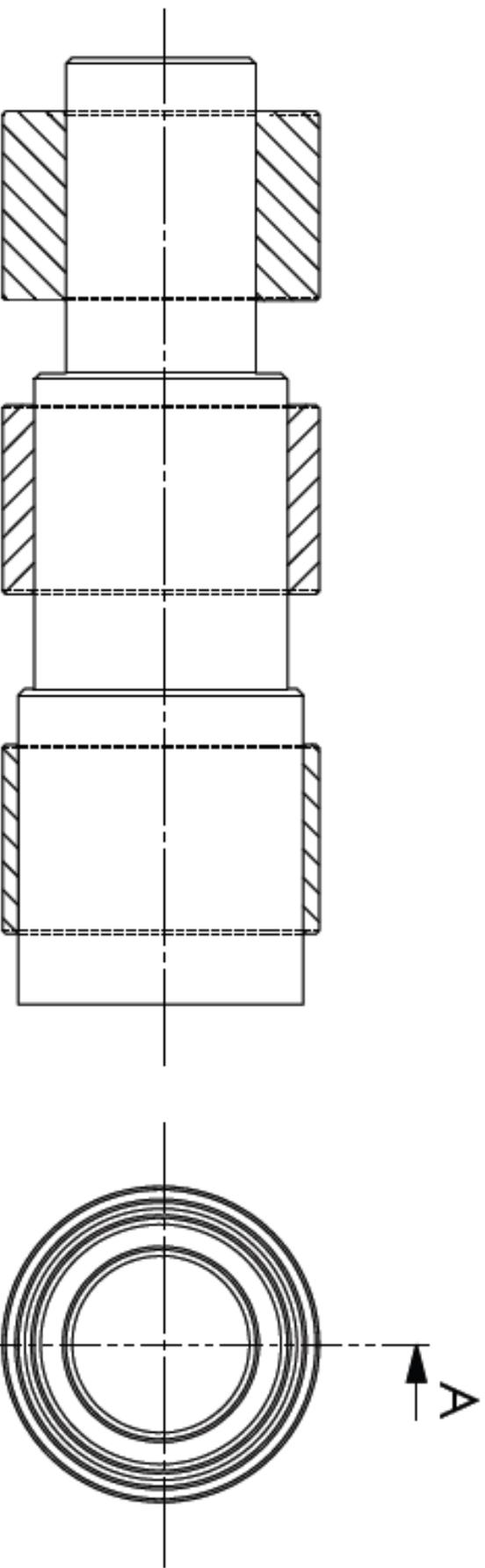
	UNIVERSITE ABDELAHMANE MIRRA BEJALA	M2 FMP
ECHELLE 1/1	Pièce 2 : <b>poulie de diamètre 45</b>	Matière : 42 Cr Mo 4
A4		27/05/2023



	UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJALA	M2 FMP
ECHELLE 1/1	<b>Pièce 3 :</b> <b>poulie de diamètre 40</b>	Matière : 42 Cr Mo 4
A4		27/05/2023



 	UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJAJA	M2 FMP
ECHELLE 1/1	<b>Pièce 4 :</b> <b>poulie de diamètre 30</b>	Matière : 42 Cr Mo 4
A4		27/05/2023



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Part1	arbre	1
2	Part2	poulie de diamètre 45	1
3	Part3	poulie de diamètre 40	1
4	Part4	poulie de diamètre 30	1

		UNIVERSITE ABDE RAHMANE MIRA BEJAJA
ECHELLE 1/1	<b>Assemblage :</b> <b>arbre poulies</b>	
A4	M2 FMP	Matière : 42 Cr Mo 4
		27/05/2023

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Dans ce travail, qu'on a consacré totalement pour la technique de gamme d'usinage des ajustements glissant juste, on a exploré les différentes opérations d'usinage en utilisant le matériau 42CrMo4. Plusieurs vitesses de coupes ainsi que diverses avances ont été adoptées afin de mener une bonne analyse sur l'usinage de l'acier 42CrMo4.

Notre travail se devise en trois chapitres, le premier chapitre présente des généralités sur l'usinage, les ajustements, la gamme d'usinage et le traitement thermique.

Dans le deuxième chapitre, notre choix est porté sur le matériau 42CrMo4, en raison de sa résistance et de sa ténacité, ce qui l'idéalise pour la fabrication d'arbres et de poulies. Pour la réalisation de ce travail, on a examiné les caractéristiques spécifiques de ce matériau, les conditions de coupes et les tolérances requises pour assurer des ajustements très précis. De plus nous avons adapté un système de calculs des ajustements (H7g6) permettant ainsi de garantir des résultats précis et fiables.

En fin le troisième chapitre se concentre sur l'usinage des pièces en 42CrMo4. Nous avons aussi détaillé les différentes étapes de la gamme d'usinage, en partant de l'ébauche vers la finition, sans qu'on oublie le fait qu'on a utilisé le logiciel SolidWorks pour la modélisation des pièces présentés, et on termine par présenter les résultats et les mesures obtenues durant notre travail pratique.

Pour bien conclure, ce travail a porté sur le processus d'usinage des ajustements glissant juste en 42CrMo4 en profondeur. Grâce à notre étude sur l'opération d'usinage, des caractéristiques du matériau et des calculs des ajustements, nous avons mis en évidence l'importance d'une approche précise et stricte pour l'obtention de pièces mécaniques de hautes qualités. En poursuivant des avancées dans ce domaine, nous contribuerons à l'amélioration contenue des techniques d'usinage et à la fabrication de pièces de plus en plus précises et fiables.

## **Références bibliographiques**

### Références bibliographiques

- [1] **FELDER**, " Procédés d'usinage ", Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, B 7000 / 1-16.
- [2] [2]. **Passeron**, Tournage, Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [3] **J.P. Cordebois, Coll**, Fabrication Par Usinage, DUNOD, Paris 2003.
- [4] **A. Toumine**, Cours de Fabrication, Usinage par Enlèvement de copeaux, 2007
- [5] **Claude BARLIER**, Memotech plus-usinage des matériaux métalliques ; éditeur : castella, collection : memotech, 2010.
- [6] **Julien THIT**, Contribution à l'étude expérimental et la modélisation de l'usinage des matériaux difficiles pour le procédé de forage profond avec système BTA, thèse de doctorat, université de Lorraine, 2013.
- [7] **André CHEVALIER**, guide du dissinateur industriel, hachette technique, 2004.
- [8] **S. BENZAADA**, cour traitement thermique classification et désignation des aciers et fontes.
- [9] **Joseph JACOB, Y. MALISSON, D. RICQUE**, guide pratique de l'usinage volume 2, éditeur : hachette, collection : guide pratique, 2006.
- [10] : **Farhat Zemzemi, Joël Rech, Wacef Bensalem, Philippe Kapsa, Abdelwaheb Dogui**, Analyse du frottement aux interfaces pièce-outil-copeau au cours de l'usinage d'un acier 42CrMo4, LTDS, UMR 5513 CNRS-ECL-ENISE-ENSMSE, 58 rue Jean Parot 42000 Saint Etienne France 2 LGM, ENIM, rue Ibn Aljazzar 5019 Monastir Tunisie 3 LTDS, UMR 5513 CNRS-ECL-ENISE-ENSMSE 36 avenue Guy de Collongue Ecully cedex 69134, France.
- [11] : **Acier Détail Découpe. (S.d.) 42CD4** – acier allié traité thermiquement.
- [12] : Documentation technique de la BCR, Bibliothèque de la BCR Oued-Rhiou.
- [13] **S. DENIS, J. C. Chevrier and G. Beek**, Etude des contraintes résiduelles introduites par la trempe dans des cylindres en TA6ZrD (685), Journal of the Less Common Metals, vol. 69 (1980) pp. 265-276.
- [14] **A. SADOK and Z. Semari**, Influence des traitements de revenu sur les caractéristiques mécaniques d'un acier rapide, Annales de Chimie Science des Matériaux, vol. 26 (2001) pp. 13-20.

- [15] : **B. Vielle**, méthode et fabrication, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS.
- [16] : **A. Belloufi**, Cours Procédés de Fabrication, Master Maintenance Industriel, Université d'Ouargla, 2010.
- [17] : **Drouin G, gou M, they P., vinet R.**, élément de machine 2eme Edition, édition de l'école polytechnique de Montréal, 1986
- [18] : **Frédéric Kapala**, IUFM de Franche-Comté - 12 décembre 2005.
- [19] **P. POLLET** Usinabilité en fraisage d'un acier 42CrMo4 traité calcium, mémoire de PFE, (2000), ENSAM de Metz.
- [20] Cour fabrication mécanique Licence de Technologie et Mécanique (2004-2005)
- [21] **Mitsubishi** ; Catalogue.
- [22] : [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_FR.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_FR.pdf)

# **Annexes**

**Annexe A** : valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe (tournage)

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Tournage d'Extérieur		Tournage Filetage
		Carbure		Carbure
		0.05 à 0.2	0.2 à 03	f=pad du filet
P	Acier Non Allié	250	200	120
	Acier Faiblement Allié	150	130	80
	Acier Fortement Allié	120	100	60
	Acier Moulé Faiblement Allié	150	120	75
M	Acier inoxydable	150	130	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	80	60	30
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	100	80	40
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	90	70	40
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	550	400	230
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	250	200	110
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	120	100	60
Vitesse de coupe Vc en m/min				

**Annexe B** : valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe (perçage)

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	30	45	70
	Acier Faiblement Allié	20	40	60
	Acier Fortement Allié	15	35	40
	Acier Moulé Faiblement Allié	10	30	70
M	Acier inoxydable	12	20	40
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	25	50	80
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	15	30	80
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	25	50	80
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	40	60	100
Vitesse de coupe Vc en m/min				

**Annexe C : valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe (alésage)**

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Alésage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	12	14	21
	Acier Faiblement Allié	9	12	18
	Acier Fortement Allié	6	11	12
	Acier Moulé Faiblement Allié	5	9	21
M	Acier inoxydable	4	6	12
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	8	15	24
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	5	9	24
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	8	15	24
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	18	27	30
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	18	27	30
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	12	18	30
Vitesse de coupe Vc en m/min				

**Annexe D : Principaux ajustements**

Principaux ajustements			Arbres*	H 6	H 7	H 8	H 9	H 11
Pièces mobiles l'une par rapport à l'autre	Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, etc.).		c				9	11
	Cas ordinaire des pièces tournant ou glissant dans une bague ou palier (bon graissage assuré).		d				9	11
	Pièces avec guidage précis pour mouvements de faible amplitude.		e		7	8	9	
Pièces immobiles l'une par rapport à l'autre	Démontage et remontage possible sans détérioration des pièces	L'assemblage ne peut pas transmettre d'effort	Mise en place possible à la main	f	6	6-7	7	
			Mise en place au maillet	g	5	6		
			Mise en place à la presse	h	5	6	7	8
	Démontage impossible sans détérioration des pièces	L'assemblage peut transmettre des efforts	Mise en place possible à la main	js	5	6		
				k	5			
			Mise en place au maillet	m		6		
				p		6		
			Mise en place à la presse	s			7	
				u			7	
x			7					

## Annexe E :

Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 121 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223

## Annexe F :

Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a 11	- 270 - 330	- 270 - 345	- 290 - 370	- 290 - 400	- 300 - 430	- 300 - 470	- 380 - 530	- 410 - 600	- 580 - 710	- 620 - 950	- 1 030 - 1 240	- 1 350 - 1 560	- 1 650 - 1 900
c 11	- 60 - 120	- 70 - 145	- 80 - 170	- 95 - 205	- 110 - 240	- 130 - 280	- 150 - 330	- 180 - 390	- 230 - 450	- 280 - 530	- 330 - 620	- 400 - 720	- 480 - 840
d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350	- 230 - 385
d 10	- 20 - 60	- 30 - 78	- 40 - 98	- 50 - 120	- 65 - 149	- 80 - 180	- 100 - 220	- 120 - 250	- 145 - 305	- 170 - 355	- 190 - 400	- 210 - 440	- 230 - 480
d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570	- 230 - 630
e 7	- 14 - 34	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 148	- 110 - 162	- 125 - 182	- 135 - 198
e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214	- 135 - 232
e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265	- 135 - 290
f 6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 73	- 58 - 88	- 62 - 98	- 68 - 106
f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 94	- 58 - 108	- 62 - 119	- 68 - 131
f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 58 - 137	- 62 - 151	- 68 - 165
g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43	- 20 - 47
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54	- 20 - 60
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25	0 - 27
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 34	0 - 40
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89	0 - 97
h 9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
h 10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	0 - 210	0 - 230	0 - 250
h 11	0 - 90	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360	0 - 400
h 12	0 - 140	0 - 180	0 - 220	0 - 270	0 - 300	0 - 390	0 - 460	0 - 540	0 - 630	0 - 720	0 - 810	0 - 890	0 - 970
i 6	+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 7	+ 13 - 9	+ 14 - 11	+ 16 - 13	+ 16 - 14	+ 18 - 18	+ 20 - 20
p 5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5	± 12,5	± 13,5
p 6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16	± 18	± 20
p 9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
p 11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
k 6	+ 6 0	+ 8 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
m 5	+ 6 + 2	+ 8 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	+ 63 + 23
n 6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68

## **Résumé**

Notre projet a pour objectif principal d'étudier la gamme d'usinage d'un système arbre-poulie en utilisant le matériau 42 Cr Mo 4, le but est de déterminer les paramètres optimaux pour des tolérances précises et un ajustement parfait.

Ce projet se divise en trois chapitres, le premier chapitre concerne l'étude théorique et les notions de base sur l'usinage et ses différentes opérations, les ajustements et ses types, la gamme d'usinage, et enfin le traitement thermique. En suite le deuxième chapitre qui concentre sur le matériau 42 Cr Mo 4 et ses caractéristiques chimiques et mécaniques, et explique le choix des paramètres de coupe et les outils et la machine a utilisée pour la réalisation des pièces. En fin le troisième chapitre qui présente la partie pratique, la gamme d'usinage qui couvre les principales étapes de fabrication. Nécessitant un paramétrage des opérations à exécuter, il présente également le travail pratique réaliser au niveau de l'atelier, et la conception des pièces sur le logiciel SolidWorks, et en fin il présente les résultats et les mesures obtenus.

En fin une conclusion qui résume l'ensemble des travaux présentés et des perspectives aux futurs travaux sont proposés.

## **Abstract**

The main objective of our project is to study the machining range of a shaft-pulley system using the material 42 Cr Mo 4, with the aim of determining the optimum parameters for precise tolerances and a perfect fit.

This project is divided into three chapters, the first of which deals with the theoretical study and basic notions of machining and its various operations, fits and their types, the machining range, and finally heat treatment. The second chapter focuses on the material 42 Cr Mo 4 and its chemical and mechanical characteristics, and explains the choice of cutting parameters and the tools and machines used to produce the parts. Finally, the third chapter presents the practical part, the machining sequence covering the main manufacturing stages. Requiring a parameterization of the operations to be carried out, it also presents the practical work carried out in the workshop, and the design of the parts on SolidWorks software, and finally it presents the results and measurements obtained.

At the end, a conclusion summarizing all the work presented and prospects for future work are proposed.