

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE MECANIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : FABRICATION MECANIQUE ET
PRODUCTIQUE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Etude et contribution à l'élaboration d'une gamme de
fabrication d'un demi boîtier d'un accouplement AFG 40
d'un laminoir à chaud pour tôles et bandes**

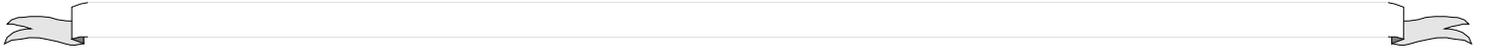
Présenté par : *Serradj Amira*

Encadrant : *Dr. Chelia Azzedine* MCA Université Badji mokhtar - annaba-

Jury de Soutenance :

Dr. BENCHIEB SLIMENE	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Président
Dr. CHELIA AZZEDINE	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Encadrant
Dr. MENAIL YOUNES	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Examineur
Dr. RAHMAOUI ZAKARIA	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023



REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force de survivre, ainsi que le courage de surmonter toutes les difficultés.

Je tiens à exprimer mes remerciements à mon encadrant *Mr CHELLIA Azzedine*

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Un grand merci à tous les professeurs du département Génie Mécanique, particulièrement ceux que j'ai eu le plaisir de m'avoir aidée durant la période de ma formation.

À tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, trouvent ici toute ma gratitude.

DEDICACE

Je dédie ce travail à ma mère, mon autre moitié dans la vie avec tous ses sacrifices,

Et à mon père que Dieu le guérisse pour son-soutien et ses efforts durant mon
parcours universitaire, que Dieu lui accorde une longue et belle vie santé.

A mes frères Hamdi, Ikram, Hada, Nabila, Houria, Hassan qui sont toujours là pour
moi, ainsi qu'à Alam Hanin ma nièce, que Dieu la protège,

Tous mes meilleurs vœux de bonheur éternel À mes supporters et à mes proches
dans ce monde,

A mes amis Bouthiena, Sabrina, Abir, Roumissa, khaoula et à toutes les personnes
que je respecte.

Je ne peux pas en dire assez pour exprimer mes remerciements et ma gratitude à
tous mes camarades de classe, à tous ceux qui m'ont donné la force d'avancer et

Encouragez de près ou de loin.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	2
DEDICACE.....	3
Introduction générale.....	1
Chapitre I.....	2
I-1-Généralités sur l’usinage :	2
I-2- But de l’usinage :	2
I-3- Procédés d’usinage :	3
I-3-1-Fraisage :	4
I-3-1-1-Différents types de fraiseuses :	4
I-3-1-2-Procédés de fraisage :	5
I-3-1-3-Les paramètres de coupe en fraisage :	6
I-3-1-4-Fraisage en avalant et en opposition :	8
I-3-2-Le tournage :	9
I-3-2-1-Principe de tournage :	9
I-3-2-2-Les tours :	10
I-3-2-3-Classification des machines de tours :	11
I-3-2-4-Déférentes opérations de tournage :	12
I-3-2-5-Support et entraînement des pièces sur un tour :	15
I-3-2-6- Conditions de coupe :	16
I-3-2-7-Paramètres géométriques de coupe :	18
I-3-2-8-Eléments d’outil :	19
I-3-2-9-Les matériaux à outil :	21
I-3-2-10-Opération d’usinage et ses facies :	25
I.4 Conclusion	26
Chapitre II.....	27
II.1. Introduction	32
II.2 position géographique du complexe :	32
II.3. Présentation des AMM.....	33
II.4. Le processus d’usinage :	34
II.4. Organigramme des AMM.....	35
II.5. Atelier mécanique, atelier d’usinage 250 :	35
Chapitre III.....	37
III.1 Introduction.....	38

III.2 Choix de sujet :	38
III.3 Présentation de la pièce :	38
III.3.1 Définition des accouplements :	38
III.3.1.4 Dessin d'ensemble :	41
III.3.2.1 Définition de la pièce choisie :	45
III.3.2.3 Choix de matière :	46
III.4 Mode d'obtention d'ébauche :	47
III.5 Le Routage d'usinage ou niveau des AMM :	49
III.6 Etapes d'usinage de la pièce au niveau de l'entreprise	51
III.6.1. Phase 10 : Débitage	51
III.6.2. Phase 20 : Tournage.....	51
III.6.3 Phase 30 : Taillage des engrenages intérieurs :	52
III.6.4 Phase 40 : Fraisage :	53
III.6.5: Phase 50 : Taraudage :	54
III.6.6: Phase 60 : contrôle finale	54
III.7 Détermination Type de production :	55
III.7.1Détermination du type de notre production.....	55
1. Calcul de gain de matière due au choix du mode d'obtention de l'ébauche.....	55
III.8 Traitement thermique proposé :	57
III.8.1 Recuit complet :	57
III.8.2 Traitement thermique superficiel :	57
III.9 La gamme d'usinage :	58
Conclusion générale.....	77
Conclusion.....	78
Références bibliographiques :	79

Liste des figures

Figure I. 1 : fraiseuse universelle [3]	4
Figure I. 2 : fraiseuse à C.N [4]	4
Figure I. 3 : fraiseuse à reproduire à pantographe [4]	5
Figure I. 4 : fraisage en bout [5]	5
Figure I. 5: fraisage en roulant [5]	6
Figure I. 6: fraisage combiné [6]	6
Figure I. 7 : contours interne en avalant [7]	8
Figure I. 8: contours externes en avalant	8
Figure I. 9 : contours internes en opposition [7]	9
Figure I. 10: Opération de tournage [8]	9
Figure I. 11.a: composantes de tour [9]	10
Figure I. 12 : chariotage [10]	12
Figure I. 13 : opération de chariotage en tournage [11]	12
Figure I. 14: Dressage [10]	13
Figure I. 15 : Alésage [10]	13
Figure I. 16 : Perçage [10]	13
Figure I. 17 : Rainurage [10]	13
Figure I. 18: chanfreinage [10]	14
Figure I. 19 : Tronçonnage [10]	14
Figure I. 20: Filetage [10]	14
Figure I. 21 : montage en l'air [10]	15
Figure I. 22 : montage mixte [10]	15
Figure I. 23 : montage entre-pointes [10]	15
Figure I. 24 : Les choix des paramètres de coupe [12]	16
Figure I. 25 : Vitesse de coupe [13]	16
Figure I. 26 : Vitesse d'avance V_f [13]	17
Figure I. 27 : les profondeurs de passe [13]	18
Figure I. 28 : configuration de coupe [14]	18
Figure I. 29 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [15]	19
Figure I. 30 : Mouvement relatif outil/ pièce en tournage [16]	20
Figure I. 31 : Angles du taillant (outil en main) [16]	21
Figure I. 32 : Angles du taillant (outil en travail) [16]	21
Figure I. 33 : Disposition des matériaux d'outil selon la ténacité et la dureté	22
Figure I. 34 : Matériaux à outil de coupe en fonction des paramètres de coupe [17]	22
Figure I. 35 : Opérations d'usinages en tournage [18]	25
Figure I. 36 : Opérations d'usinages en fraisage [18]	25
Figure II. 1: Organigramme de l'entreprise	32
Figure II. 2 : Découpage zonal des AMM	33
Figure II. 3 : Plan pour l'atelier d'usinage	36

<i>Figure III. 1 : Schéma cinématique des types d'accouplement</i>	38
<i>Figure III. 2 : Accouplements AFG 40</i>	39
<i>Figure III. 4: Dessin de définition du demi-boitier</i>	42
<i>Figure III. 5 : Dessin de définition du couvercle</i>	43
<i>Figure III. 6 : Dessin de définition du Moyeu</i>	44
<i>Figure III. 7 : Dessin de définition de la Bague de centrage</i>	45
<i>Figure III. 8 : La pièce choisie 1/2 boitier</i>	45
<i>Figure III. 9 : Transmission d'un tapis roulant</i>	46
<i>Figure III. 10 : Préchauffage de l'Acier dans un Four à gaz</i>	48
<i>Figure III. 11 : Illustration des opérations de forgeage sur Marteau pilon</i>	48
<i>Figure III. 12 : Scie mécanique (EBS3604)</i>	51
<i>Figure III. 13 : Tour (1M63B)</i>	51
<i>Figure III. 14 : Machine à tailler les engrenages LS180CNC</i>	52
<i>Figure III. 15 : Pièce après perçage</i>	53
<i>Figure III. 16 : illustrations d'une opération de taraudage</i>	54
<i>Figure III. 17 : Pied à coulisse</i>	54
<i>Figure III. 12 Palmer (Micromètre)</i>	54
<i>Figure III. 13 Cycle de recuit</i>	57

Liste des tableaux

<i>Tableau I. 1 : les vitesses de coupe en fonction de la matière</i>	7
<i>Tableau II. 1: découpage zonale des AMM</i>	34
<i>Tableau II. 2: Conditions de coupe « taillage des engrenages »</i>	52
<i>Tableau II. 3: Programme CNC « taillage des engrenages »</i>	52
<i>Tableau II. 4: Programme CNC de perçage sur la fraiseuse</i>	53
<i>Tableau III. 1 : les pas pour les diamètres des vis les plus courantes</i>	64

Introduction générale

Historiquement, la recherche sur l'usinage s'est concentrée sur deux aspects : le premier aspect concerne le développement technologique qui permet d'améliorer la productivité ainsi que la qualité des pièces finies, le deuxième aspect est la modélisation qui permet la prédiction des efforts de coupe, des champs de température et des propriétés des surfaces finies. Cependant, le processus de fabrication, en particulier l'usinage, joue un rôle important sur la qualité et l'intégrité des surfaces réalisées. La complexification constante des systèmes de fabrication et la concurrence amènent les technologies d'usinage à se développer rapidement. Les machines deviennent de plus en plus rapides et puissantes dans le but d'obtenir des gains de productivité.

La connaissance de l'impact que peut avoir l'usinage de la surface d'un produit fini à forte valeur ajoutée est d'un intérêt primordial pour les ingénieurs et les scientifiques. Les défis principaux sont alors la prédiction du copeau formé, des évolutions de la microstructure, du comportement mécanique et du comportement en corrosion des matériaux usinés. De nombreuses études adoptant des approches numériques et expérimentales ont été réalisées dans l'objectif d'analyser la formation du copeau. Par contre, beaucoup moins d'attention a été portée sur le lien entre les conditions d'usinage appliquées et les propriétés physico-chimiques des surfaces usinées qui en dépendent (rugosité de la surface, contraintes résiduelles induites, transformation de phase, recristallisation, dureté, structures de dislocation...).

L'étude de l'influence de cette dernière, ainsi que la lubrification du contact de surface contribuent à l'amélioration des performances et la durée de vie des mécanismes. Beaucoup d'études furent entreprises pour mieux comprendre, et maîtriser l'influence des paramètres de rugosité sur les systèmes mécaniques, D'où la nécessité de la caractérisation topographique des surfaces en présence, dont dépend la représentation aussi fidèle et complète du lubrifiant. La qualité des états de surface est l'un des aspects les plus pertinents des opérations d'usinage, puisqu'elle représente la phase finale dans le cycle de production pour l'amélioration du degré de finition des surfaces et les propriétés dimensionnelles et géométriques des pièces mécaniques. Donc, il est important de se rendre compte de l'influence des différents facteurs impliqués dans le processus de la coupe afin de choisir les paramètres appropriés qui permettent d'atteindre la qualité des surfaces désirée et qui dépend de la géométrie de l'outil, des conditions de coupe et des phénomènes mise en jeu lors de la coupe.

Le travail consiste à apporter une contribution à l'élaboration d'une gamme de fabrication d'un demi-boîtier d'un accouplement AFG40. C'est une pièce en Acier 35NCD16.

Le mémoire est partagé en trois chapitres :

Chapitre I : Etude bibliographique : Généralités sur l'usinage des métaux. Ce chapitre, présente des généralités concernant les différents procédés d'usinage des métaux et surtout l'usinage par tournage et ses différentes opérations.

Chapitre II : Présentation de l'entreprise.

Chapitre III : Élaboration de la gamme de fabrication du demi-boîtier.

Chapitre I

Etude bibliographique

I-1-Généralités sur l'usinage :

L'usinage est une famille de technique de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, l'usinage nécessite un MODOP (Machine-outil-Dispositif-Outil- Pièce). Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance). Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance). Les procédés d'usinage sont extrêmement variés. On distingue assez souvent les procédés d'usinage mécanique dits traditionnels, des procédés d'usinage non traditionnels : ces derniers désignent les procédés apparus après 1945 en grande partie dans le but d'usiner des matériaux se prêtant difficilement aux techniques d'usinage classique. De nos jours, des machines-outils à commande numérique (MOCN), c'est-à-dire asservies par un système informatique (FAO), permettant d'automatiser partiellement ou totalement la procédure. [1]

I-2- But de l'usinage :

L'usinage entre dans la gamme de fabrication d'une pièce mécanique. Elle est définie par un plan portant une cotation exhaustive. Celle-ci a pour but de définir les dimensions de la pièce finie, la précision, la géométrie ainsi que l'état de surface de l'ensemble des surfaces qui constituent la pièce usinée.

À chaque phase de la gamme de fabrication, le concepteur et/ou l'usineur choisissent le type d'usinage à réaliser, la machine, l'outil ainsi que le support de pièce permettant l'obtention de tous les éléments de cotation de la surface considérée. D'une manière générale, les formes des surfaces usinées peuvent être planes ou de révolution. Les principaux usinages sont le fraisage (surfaces planes) et le tournage (surfaces de révolution).

Avec l'apparition de la commande numérique, il est désormais possible d'usiner une multitude de surfaces courbes. Toutefois, il convient de noter que les outils utilisés sont sensiblement les mêmes que pour les machines traditionnelles et que leurs trajectoires sont constituées de segment de droites et d'arcs de cercles. L'usinage a un coût : temps de travail, surépaisseur de matière à enlever, usure de la machine-outil, consommables (outil, lubrifiant, courant électrique), stockage. On ne pratique

donc que les usinages nécessaires.

On distingue seize fonctions principales qui peuvent remplir la surface d'une pièce. Elles font partie de la cotation d'état de surface :

- Surface de contact avec une autre pièce
- Frottement de glissement lubrifié (FG)
- Frottement à sec (FS)
- Frottement de roulement (FR)
- Frottement de fluide (FF)
- Résistance au montage (RM)
- Etanchéité dynamique avec et sans joint (ED)
- Etanchéité statique avec et sans joint (ES)
- Ajustement fixé avec contrainte (AC)
- Adhérence, collage (AD)
- Surface libre, indépendante
- Face de coupe d'un outil (OC)
- Résistance aux efforts alternes (EA)
- Résistance à la corrosion (RC)
- Destinée à recevoir un revêtement, peinture (RE)
- Destinée à recevoir un dépôt électrolytique (DE)
- Mesure (ME)
- Aspect (AS) Ces fonctions vont définir :
 - Les dimensions finales de la pièce avec les tolérances
 - La cotation de forme et la géométrie des surfaces usinées
 - L'état de surface requis (rugosité). C'est l'ensemble de ces éléments de cotation qui va déterminer le type d'usinage à effectuer, ses paramètres, la finition nécessaire, le contrôle à effectuer. [1]

I-3- Procédés d'usinage :

Les opérations d'enlèvement de matière par outils coupants représentent, encore aujourd'hui, une part très importante des procédés de mise en forme des matériaux. Dans l'usinage des matériaux on a plusieurs types d'usinage, mais dans ce chapitre on présentera que deux types d'usinage qui sont très importants dans la réalisation des pièces (fraisage, tournage) et qui sont basés sur l'enlèvement de la matière. [2]

I-3-1-Fraisage :

L'opération de fraisage est sans aucun doute l'une des plus polyvalentes, permettant l'obtention de surfaces planes précises et aussi dans le cas des fraiseuses à commande numérique, de profils complexes et de surfaces 3D. Dans ce type de mise en forme, l'outil est entraîné en rotation par la broche de la machine, et un déplacement relatif est effectué entre la pièce et l'outil de coupe afin de produire sur la pièce la forme désirée. Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de tournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. On note qu'il existe plusieurs types de fraiseuses. [2]

I-3-1-1-Différents types de fraiseuses :

Le fraisage s'effectue sur différents types de machines :

I-3-1-1-1-Fraiseuses universelles :

Cette machine (Figure I.1) sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans l'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche, il suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière : les copeaux.

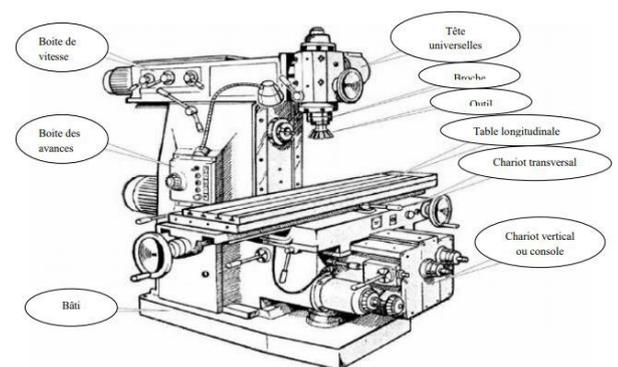


Figure I. 1 : fraiseuse universelle [3]

I-3-1-1-2-Fraiseuse de production :

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologique nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé (Fig. I.2). La fraiseuse à commande numérique est une fraiseuse connectée à un système de commande numérique. [4]



Figure I. 2 : fraiseuse à C.N [4]

I-3-1-1-3-Fraiseuses spéciales (à reproduire, multibroches, etc.) :

Les fraiseuses à reproduire permettent de reproduire suivant deux ou trois axes la forme représentée par un modèle (ou gabarit). Un pantographe permet une reproduction en réduction ou avec symétrie. (Fig. I.3). Un palpeur est assujéti, par un dispositif hydraulique ou électrique, à suivre le profil d'un gabarit et à transmettre ses déplacements à une table porte-pièce. Ces machines sont utilisées essentiellement pour les travaux à l'unité (outillages de presse, coquilles métalliques, etc.). [4]

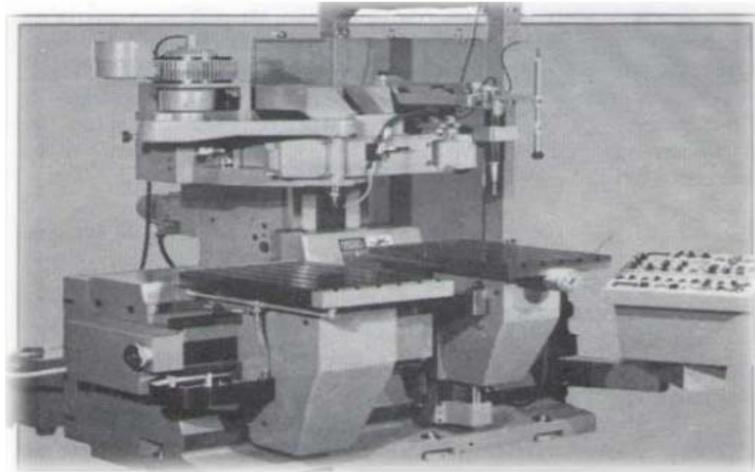


Figure I. 3 : fraiseuse à reproduire à pantographe [4]

I-3-1-2-Procédés de fraisage :

I-3-1-2-1-Fraisage en bout :

L'axe de la fraise est placé perpendiculairement à la surface à usiner (Fig. I.4). La fraise coupe avec son diamètre, mais aussi avec sa partie frontale. Les copeaux sont de même épaisseur, ainsi la charge de la machine est plus régulière. La capacité de coupe est supérieure à celle réalisée par le fraisage en roulant. La qualité d'état de surface est meilleure. [5]

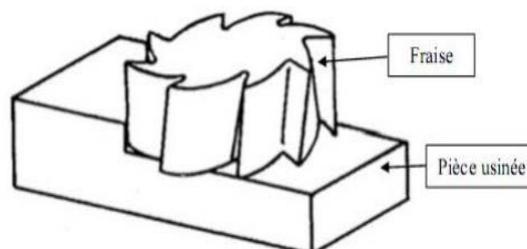


Figure I. 4 : fraisage en bout [5]

I-3-1-2-2-Fraisage en roulant :

Pour ce type de fraisage en roulant, l'axe de la fraise est placé parallèlement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre (Fig. I.5). La charge de la machine en est irrégulière, surtout lors de l'emploi de fraises à denture droite. Les à-coups provoqués par cette façon de faire donnent une surface ondulée et striée. Pour pallier ces défauts, on utilisera une fraise à denture hélicoïdale. L'amélioration enregistrée s'explique ainsi : la denture est chargée/déchargée progressivement. [5]

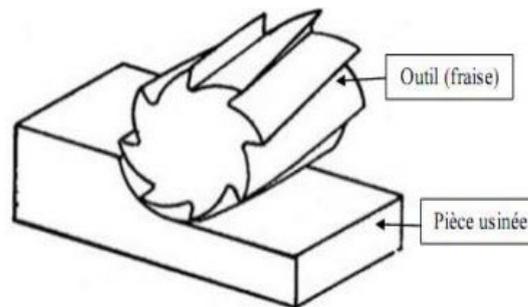


Figure I. 5: fraisage en roulant [5]

I-3-1-2-3-Fraisage combiné :

Pour le fraisage combiné, la fraise coupe avec son diamètre et sa partie frontale (Fig. I.6). [6]

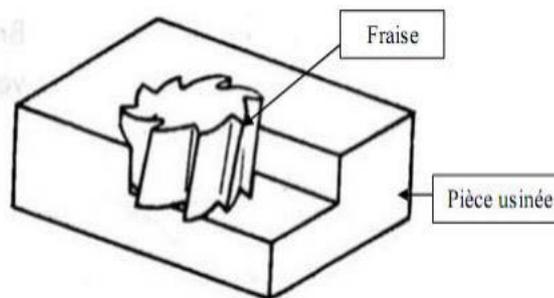


Figure I. 6: fraisage combiné [6]

I-3-1-3-Les paramètres de coupe en fraisage :

Pour réaliser une opération d'usinage, il faut régler la machine en définissant les paramètres de coupe. Ce sont ces paramètres qui permettront à la machine de générer les mouvements de coupe et d'avance afin d'usiner la pièce. Ces paramètres sont :

- Vitesse de coupe (V_c).
- Avance par dent (on notera f_z).

Ces paramètres sont choisis en fonction du type d'usinage, de la matière de la pièce et de l'outil.

I-3-1-3-1-La vitesse de coupe :

C'est la vitesse de coupe (V_c) de l'outil par rapport à la pièce. Elle s'exprime en (m/min).

Les facteurs influant :

Les qualités de la matière à usiner c'est-à-dire la nature de la pièce à usiner (matière, forme, ...)

Les qualités de coupe de l'outil c'est-à-dire la nature de la partie de l'outil tranchante.

La lubrification.

La machine utilisée.

La durée de vie souhaitée pour l'outil.

Le choix du paramètre de la vitesse de coupe est important dans une production car :

- Plus elle est faible, plus le temps d'usinage est important.

Matière de la pièce	Outil en acier rapide supérieure	Outil à plaquette carbure rapportée
Acier	20 m/min	80 m/min
Aluminium	80 m/min	160 m/min
Laiton	50 m/min	140 m/min

Tableau I. 1 : les vitesses de coupe en fonction de la matière

• Si elle est trop importante, il y a augmentation de la quantité de chaleur résultante de la coupe, diminuant ainsi la dureté de la pointe de l'outil et celui-ci s'use.

Le choix judicieux d'une vitesse de coupe est donc un compromis entre la rapidité de production et la durée de vie de l'outil.

La valeur de la vitesse de coupe est choisie d'après des tableaux simplifiés (en fonction des matériaux de la pièce et de l'outil) ou d'après un catalogue fourni par les fabricants d'outils.

Quelques valeurs à titre indicatif :

I-3-1-3-2- Vitesse d'avance :

La vitesse d'avance en fraisage est la vitesse de déplacement de la pièce par rapport à l'outil. V_f est exprimée en millimètre par minute (mm/min). Elle est donnée par :

$$V_f = F \times N \times Z$$

Avec :

- N la fréquence de rotation en tr/min.
- Z le nombre de dent de la fraise (dent /tour).
- F l'avance par dent en mm/dent.

I-3-1-3-3-Profondeur de passe :

C'est l'épaisseur de matière enlevée à chaque passage de l'outil. Un passage d'outil s'appelle une passe. ap est choisi à l'aide d'un catalogue d'outil.

I-3-1-4-Fraisage en avalant et en opposition :

Différentes variables influencent le choix pour le fraisage en avalant ou en opposition. Dans certains cas ce choix ne peut être fait qu'en essayant. Les éléments suivants jouent un rôle dans le choix de la méthode de fraisage :

- Type de matière, des métaux non-ferreux, des matières plastiques, le bois massif, le Médium, des plaques décoratives, le HPL, etc. Chaque matière se comporte différemment.
- Le diamètre de la fraise. Dans certains cas l'inversion du sens de fraisage peut générer une meilleure finition, notamment les fraises à faible diamètre donnent parfois un meilleur résultat dans certaines matières plastiques, quand elles fraisent en avalant. [7]

I-3-1-4-1-Le fraisage en avalant :

En général des métaux doivent être fraisés en avalant. Des matières plastiques sont normalement fraisées en opposition. Parfois des matières plastiques durs sont mieux fraisées en avalant, surtout lorsque les diamètres des fraises sont faibles (moins de 4 mm).

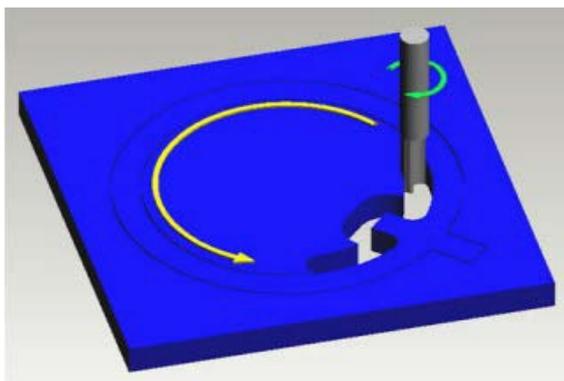


Figure I. 7 : contours interne en avalant [7]

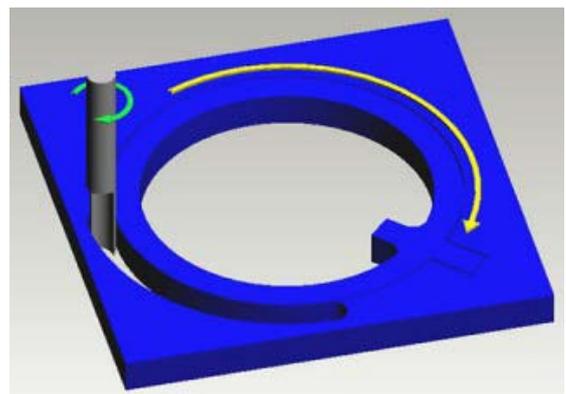


Figure I. 8: contours externes en avalant

I-3-1-4-2- Fraisage en opposition :

Le bois et des produits dérivés de bois sont presque toujours fraisés en opposition. Les métaux ne sont jamais fraisés en opposition. Les matières plastiques se trouvent entre ces deux extrêmes. Des matières plastiques mous sont toujours fraisées en opposition. Des matières plastiques qui sont durs tels que le HPL et le PMMA, sont parfois mieux fraisés en avalant, notamment lorsqu'il

s'agit de diamètres de fraises inférieurs à 4 mm. Nous conseillons toujours faire des essais avant de décider pour l'une ou l'autre stratégie. [7]

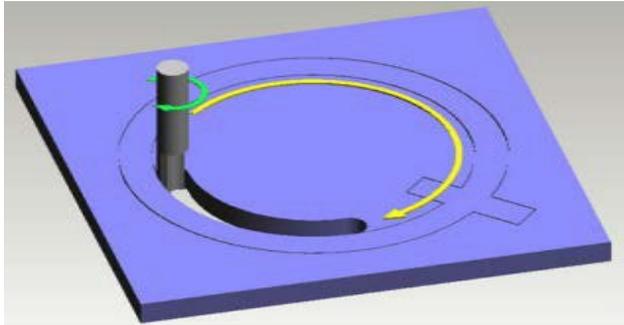


Figure I. 9 : contours internes en opposition [7]

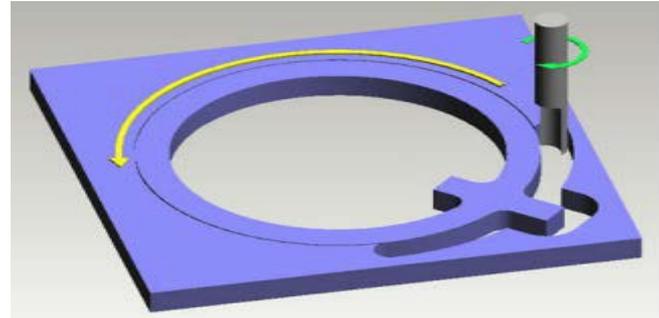


Figure I.9 : contours externes opposition

I-3-2-Le tournage :

I-3-2-1-Principe de tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, 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 (Fig. I.10). La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes). [8]

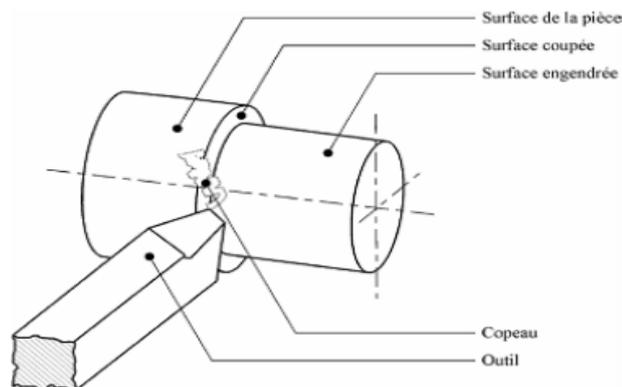


Figure I. 10: Opération de tournage [8]

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe V_c) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance V_f). La fréquence de rotation de la broche est donnée par l'équation suivante :

$$V_f = f \times n \times z$$

I-3-2-2-Les tours :

Le tour (Fig. I.11. a) permet de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce (Fig. I.8.b), généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche. [9]

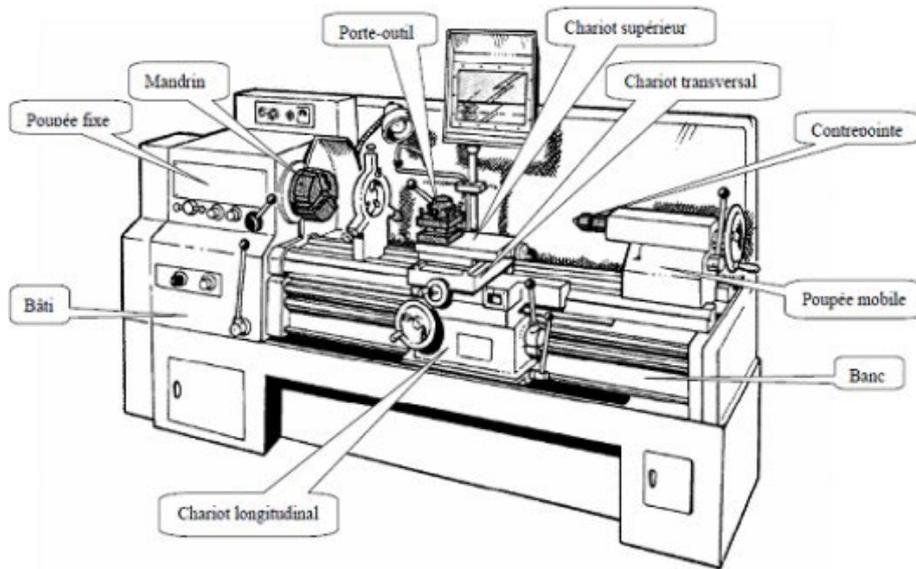


Figure I. 11.a: composantes de tour [9]

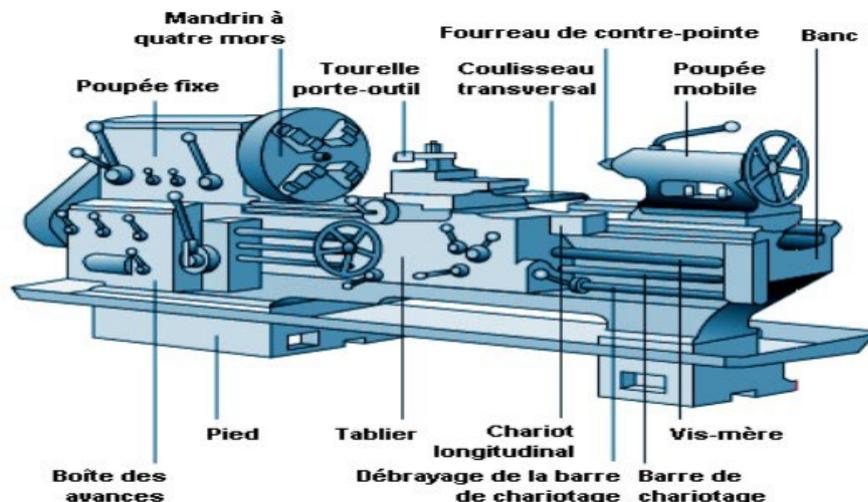


Figure I. 11.b : Schéma descriptif du dispositif de tournage [9]

I-3-2-3-Classification des machines de tours :

Les machines-outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont :

I-3-2-3-1-Les tours parallèles à charioter et fileter :

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou de petites et moyennes séries sur des pièces très simples. Ces tours sont peu flexibles. Seules les surfaces dont les génératrices sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche sont réalisables en travail d'enveloppe. [10]

I-3-2-3-2-Les tours à copier :

Ils permettent l'usinage de pièces par reproduction, à partir d'un gabarit, grâce à un système de copiage hydraulique qui pilote le déplacement du chariot transversal. C'est une machine assez flexible qui peut convenir pour des travaux de petites à grandes séries. La génératrice des surfaces de révolution peut être quelconque. [10]

I-3-2-3-3-Les tours semi-automatiques :

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale indexable munie de 6 postes d'outils animés d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série. [10]

I-3-2-3-4-Les tours automatiques :

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries. [10]

I-3-2-3-5-Les tours automatiques multibroches :

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectué un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches. [10]

I-3-2-3-6-Les tours à commande numérique :

Les machines à commandes numériques typiques sont en fait des tours et des fraiseuses conventionnelles qui sont actionnées par des moteurs électriques et comme le nom le dit, commandés numériquement et dont la trajectoire est contrôlée par un ordinateur. On peut retrouver comme machine-outil CNC : un tour, centre d'usinage, une fraiseuse, une rectifieuse, machines à identifier les pièces, en fait n'importe quelle machine que l'on peut programmer. Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce. Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces. La flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives. [10]

I-3-2-4-Déférentes opérations de tournage :

I-3-2-4-1-Chariotage :

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure (Fig. I.12).

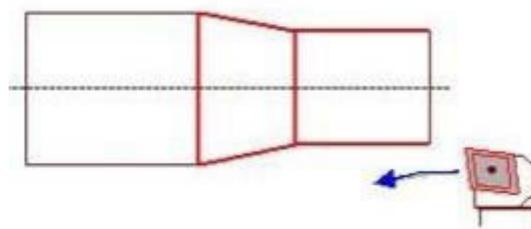


Figure I. 12 : chariotage [10]

En tournage, le chariotage (Figure I.13) est une opération consistant à usiner sur un tour un cylindre d'un certain diamètre par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce Z. Les paramètres de coupe sont l'avance (f), la profondeur de passe (ap) et la fréquence de rotation (N). [11]

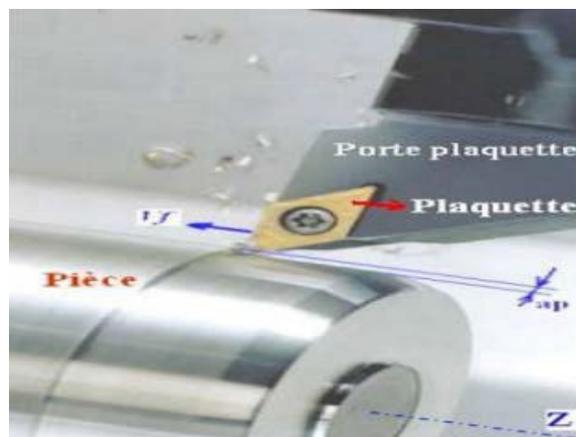


Figure I. 13 : opération de chariotage en tournage [11]

I-3-2-4-2-Dressage :

C'est une opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure (Fig. I.14). [10]

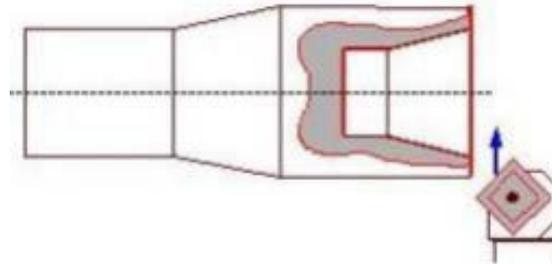
**I-3-2-4-3-Alésage:**

Figure I. 14: Dressage [10]

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure (Fig. I.15).

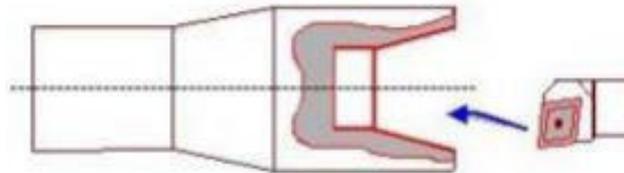


Figure I. 15 : Alésage [10]

I-3-2-4-4-Perçage :

C'est une opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt (Fig. I.16). [10]

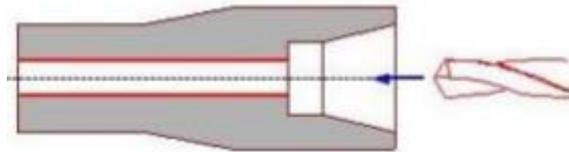


Figure I. 16 : Perçage [10]

I-3-2-4-5-Rainurage :

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un Circlips ou d'un joint torique par exemple (Fig. I.17). [10]

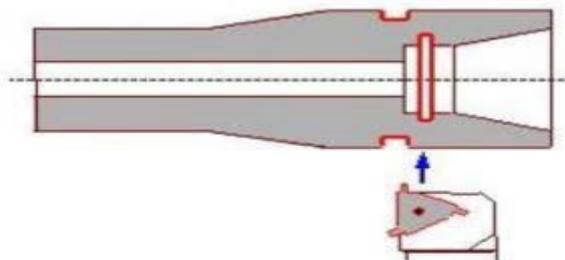


Figure I. 17 : Rainurage [10]

I-3-2-4-6-Chanfreinage :

C'est une opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle. Vif (Figure I.18). [10]

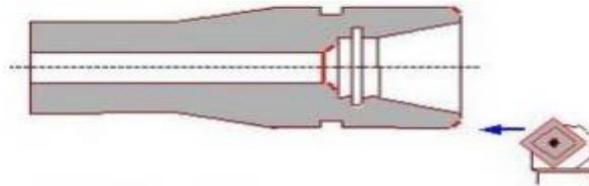


Figure I. 18: chanfreinage [10]

I-3-2-4-7-Tronçonnage :

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon (Fig. I.19). [10]

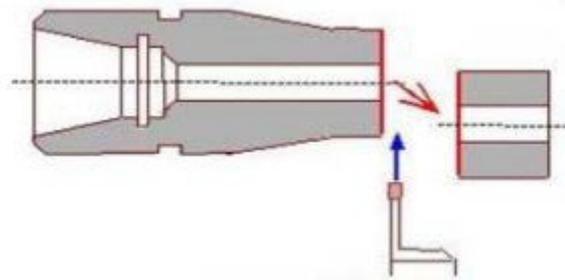


Figure I. 19 : Tronçonnage [10]

I-3-2-4-8-Filetage :

C'est une opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur (Fig.I.20). [10]

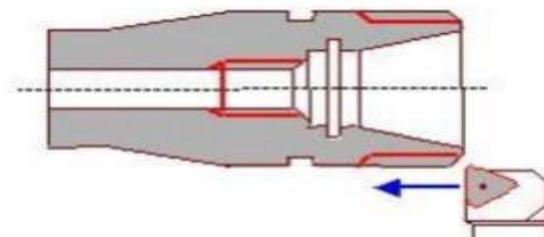


Figure I. 20: Filetage [10]

I-3-2-5-Support et entraînement des pièces sur un tour :

Il existe trois principaux montages de la pièce à usiner sur le tour :

I-3-2-5-1-Montage en l'air :

C'est un montage sur mandrin effectué pour les pièces courtes ($L < 4D$). Une des extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre reste libre. [10]

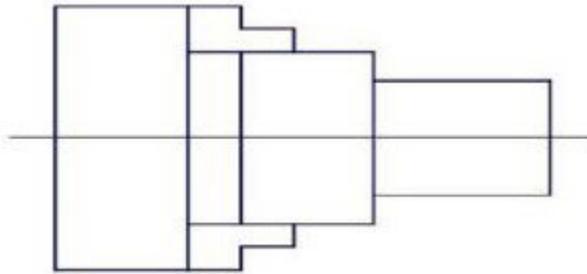


Figure I. 21 : montage en l'air [10]

I-3-2-5-2-Montage mixte :

Il est utilisé pour des pièces relativement longues ($4D < L < 8D$). Une des deux extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre extrémité est soutenue par de la poupée mobiles. [10]

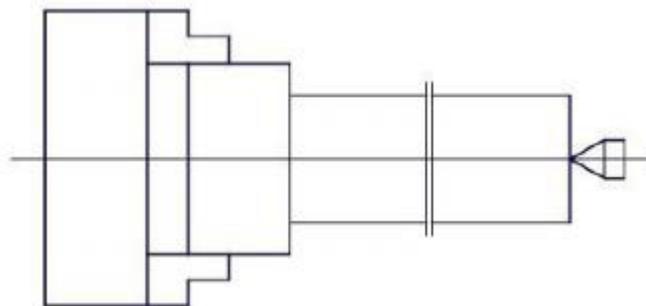


Figure I. 22 : montage mixte [10]

I-3-2-5-3-Montage entre-pointes :

Pour l'usinage des pièces longues ($L > 8D$), on utilise le montage entre pointes. La pièce est soutenue par ses deux extrémités par deux pointes plus lunette. [10]

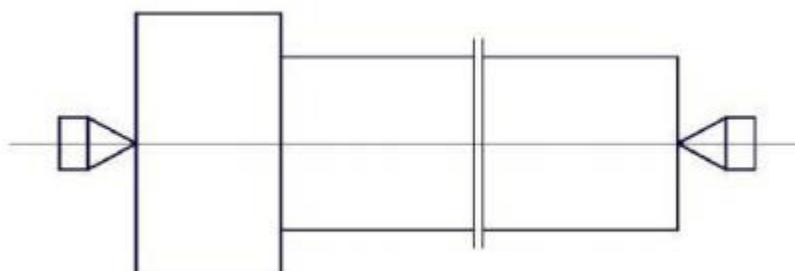


Figure I. 23 : montage entre-pointes [10]

I-3-2-6- Conditions 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...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement. [12])

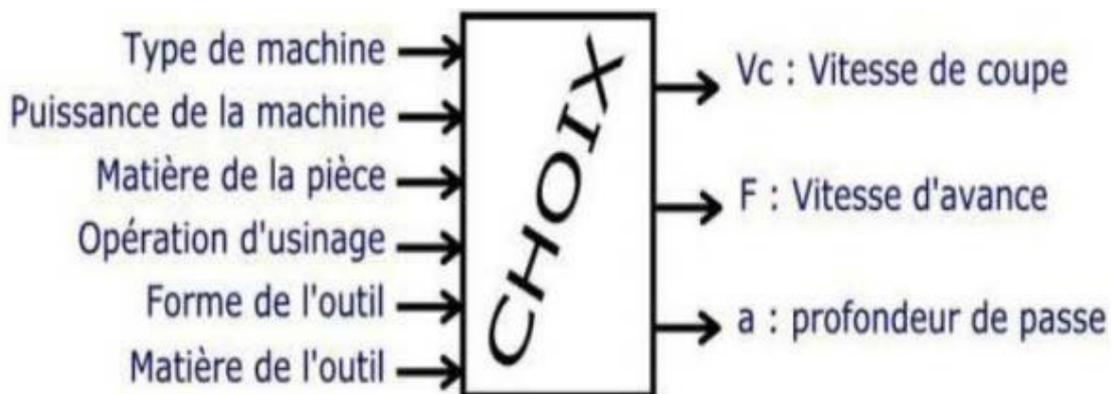


Figure I. 24 : Les choix des paramètres de coupe [12]

I-3-2-6-1-Vitesse de coupe :

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse angulaire ω , cette vitesse étant communiquée par la broche de la machine vers la porte pièce. La vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil est donnée par la formule suivante :

$$V_c \text{ (m/min)} = D/2 \text{ (m)} \times \omega \text{ (rad/ min)}. [13]$$

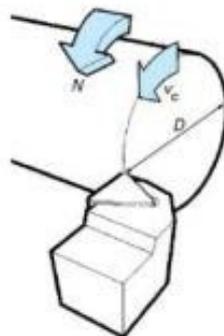


Figure I. 25 : Vitesse de coupe [13]

La fréquence de rotation de la broche est donnée par l'expression suivante :

I-3-2-6-2-Vitesse d'avance V_f et avance par tour f :

La vitesse d'avance V_f (mm/min) que la figure (Figure I.26) montre, est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour f (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influence non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance V_f est donnée par la formule suivante :

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

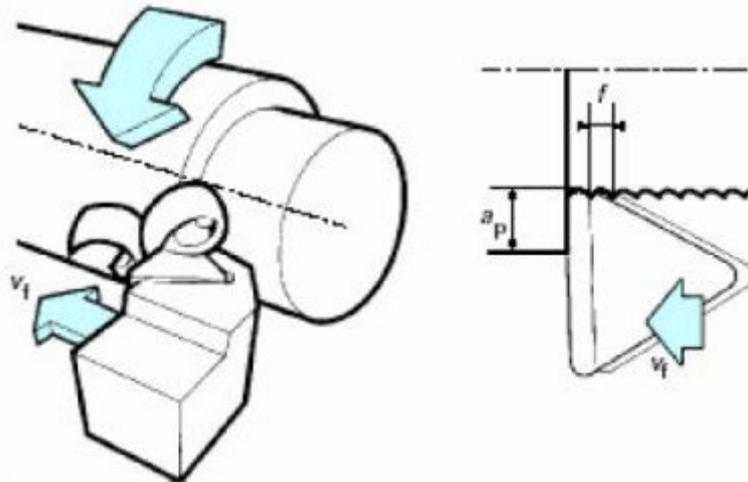


Figure I. 26 : Vitesse d'avance V_f [13]

I-3-2-6-3-Profondeur de passe « a » :

La profondeur de passe notée a en (mm), correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage. La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil. [13]

$$N \left(\frac{\text{tr}}{\text{min}} \right) = \frac{1000vc \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{\pi D(\text{mm})}$$

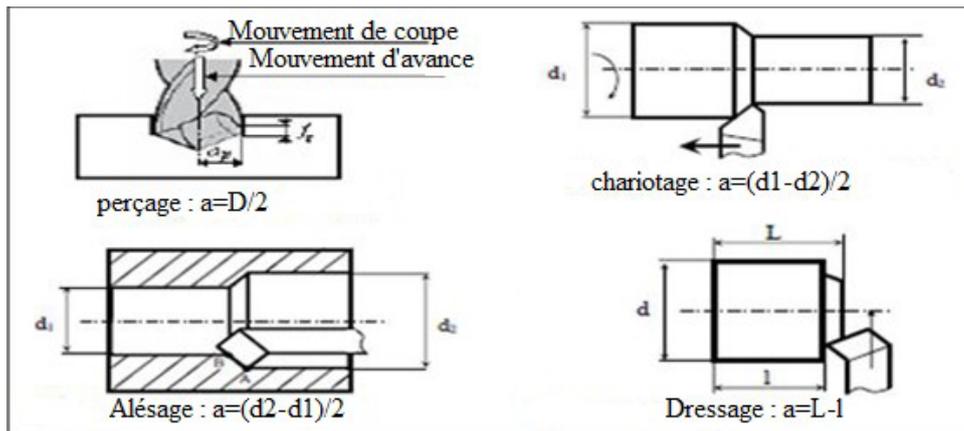


Figure I. 27 : les profondeurs de passe [13]

I-3-2-7-Paramètres géométriques de coupe :

La distance entre la surface de la pièce et la surface engendrée est appelée profondeur de coupe *aaaa*. Cependant, afin d’arriver à la dimension finale de la pièce, on doit souvent effectuer plusieurs passes. La passe est définie comme la couche de matière de la pièce qui doit être enlevée par un passage unique de l’outil de coupe. La partie de matière usinée entre la surface de la pièce et la surface finale désirée (après avoir effectué toutes les passes nécessaires) est appelée surépaisseur d’usinage. On appelle la coupe, la couche de matière qui est enlevée par une action unique de la partie active et transformée en copeaux. Ces différents paramètres sont illustrés à la figure (Figure I.28). [14]

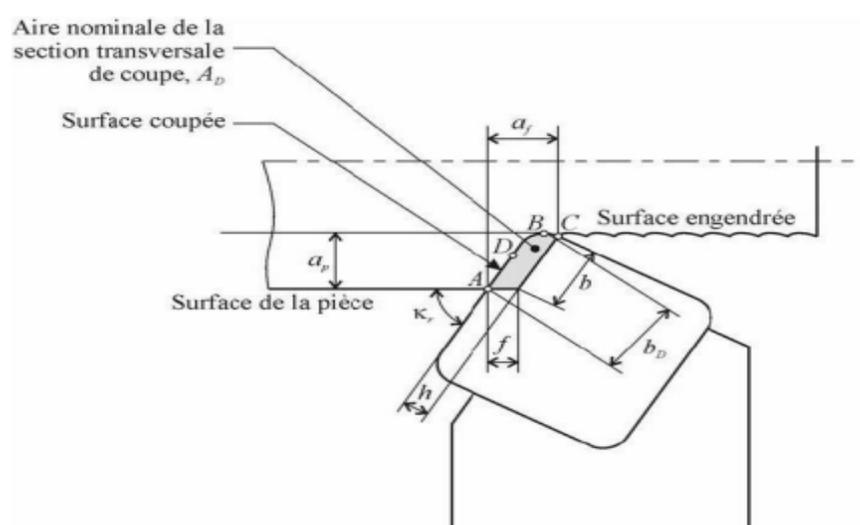


Figure I. 28 : configuration de coupe [14]

I-3-2-8-Eléments d'outil :

Il existe une grande diversité d'outils de coupe. Toutefois, les principaux éléments des différents outils sont semblables. Ainsi, afin de simplifier la compréhension de différents éléments définissant un outil quelconque, nous nous baserons sur un outil de coupe en tournage. Les définitions peuvent ensuite être déduites pour tout autre type d'outil. [14]

I-3-2-8-1-Faces et arêtes de l'outil :

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil et peut comporter une ou plusieurs parties actives, intersection de deux surfaces (*Figure I.29*). La partie active peut être constituée du même matériau que le corps, on parle alors d'outils monoblocs (carbures et aciers rapides) ou d'un matériau différent (inserts rapportés ou plaquettes pour les carbures, les cermets, les céramiques, les polycristallins de bore ou de diamant). La (figure 28) précise le vocabulaire relatif aux différentes parties actives d'un outil de tournage. En plus de cette description de la géométrie locale des outils, il existe une norme (ISO 1831) permettant de décrire les différentes parties constitutives des outils de tournage à plaquettes rapportées, systématiquement utilisés aujourd'hui. Cette description indique une large part des caractéristiques des outils, à l'exception de la géométrie locale des brise-copeaux frittés sur les faces de coupe, et à l'exception de la composition des plaquettes et de leurs revêtements. Ce sont en fait les deux points clés qui font la spécificité des fabricants d'outils (impossible à normaliser). [15]

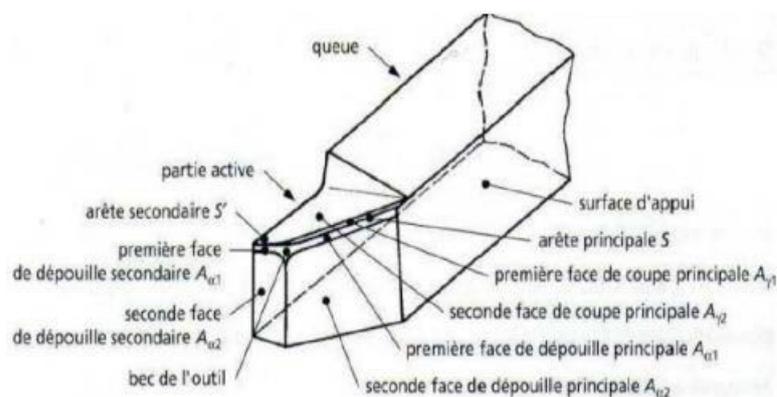


Figure I. 29 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [15]

La partie de l'outil impliquée directement dans la coupe est appelée taillant. Elle est limitée par trois faces, la face de coupe le long de laquelle glisse le copeau et les deux faces de dépouille (principale et secondaire) le long desquelles passent les surfaces coupée et engendrée. On appelle une arête un bord de la face de coupe destiné à l'enlèvement de matière. Dans un outil de tournage simple, on peut distinguer une arête principale, intersection entre la face de coupe et la face de dépouille principale, et une arête secondaire, intersection entre la face de coupe et la face de

dépouille secondaire. La jonction des arêtes principale et secondaire forme le bec de l'outil. Il peut être droit, arrondi ou représenter l'intersection vive des deux arêtes. Généralement, un outil possède un mouvement de coupe et un mouvement d'avance. On en déduit des lors un vecteur résultant du mouvement relatif outil/ pièce exprime par le vecteur V_e . A partir de là, on peut définir deux systèmes d'angles d'un outil de coupe.

On définit soit les angles d'outil « en main » par rapport à la direction supposée de coupe V_e (repère nécessaire à la fabrication des outils), soit les angles d'outils « en travail » par rapport à la direction réelle de coupe (repère nécessaire pour connaître les angles effectifs durant la coupe). A l'aide de ces repères, on établit une série de plans et d'angles normalisés permettant de décrire la géométrie locale des outils. [15]

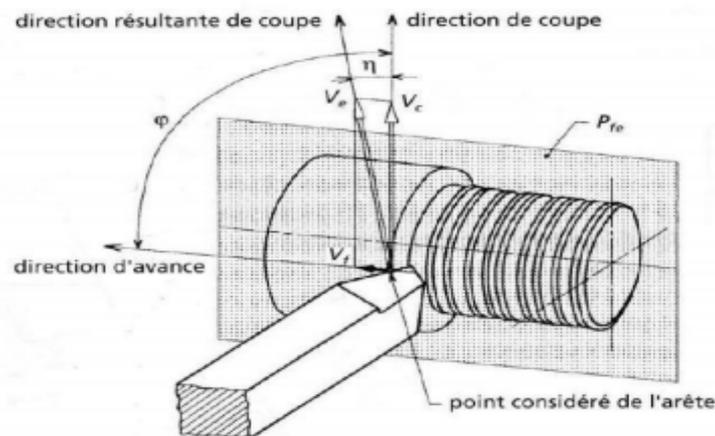


Figure I. 30 : Mouvement relatif outil/ pièce en tournage [16]

I-3-2-8-2-Angles de l'outil :

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes. La (Figure I.31) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux, l'angle de dépouille α , l'angle de taillant β et l'angle de coupe γ . [16]

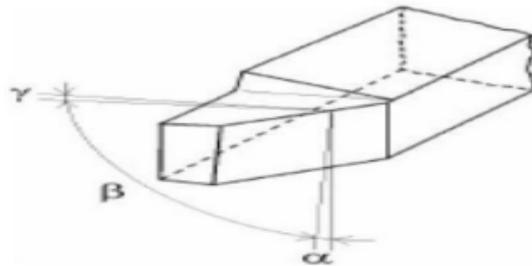


Figure I. 31 : Angles du taillant (outil en main) [16]

La (Figure I.32) illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail : outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).

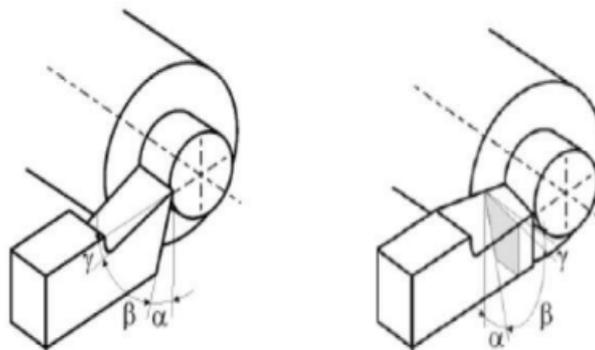


Figure I. 32 : Angles du taillant (outil en travail) [16]

Globalement, l'angle de dépouille α influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe γ a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc. L'angle de taillant β affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à 90° [8]. $\alpha + \gamma + \beta = 90$ Dans le cas où la somme est supérieure à 90° , on parle de coupe négative (γ négatif). [16]

I-3-2-9-Les matériaux à outil :

L'usinage des métaux ou des polymères nécessite l'utilisation de matériaux coupants ayant d'excellentes propriétés, une bonne dureté à haute température vue les frottements permanent outil/pièce et outil/copeau, de résistance à l'usure et de stabilité chimique.

Les premiers outils étaient en acier rapide où le corps et la partie active d'outil étaient en une seule barre, quand l'outil est usé, on l'affûtait. Le venu de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux, le barreau en acier rapide ne remplit pas les exigences technologiques voulues. C'est l'apparition des outils en carbures métalliques, les céramiques, les CBN et le diamant qui a rendu possible l'exploitation industrielle de ces techniques. Les principales matières utilisées pour les outils de coupes modernes sont représentées dans la (Figure I.33).

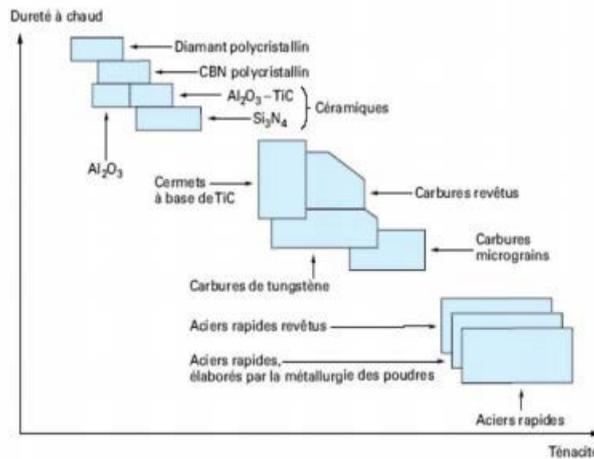


Figure I. 33 : Disposition des matériaux d'outil selon la ténacité et la dureté

Des conditions optimales d'usinage sont à rechercher pour un outil et une pièce donnée. Cette recherche ne peut être établie que par un protocole expérimental très rigoureux. La (Figure I.34) présente les nuances d'outils coupants et leurs domaines d'application.

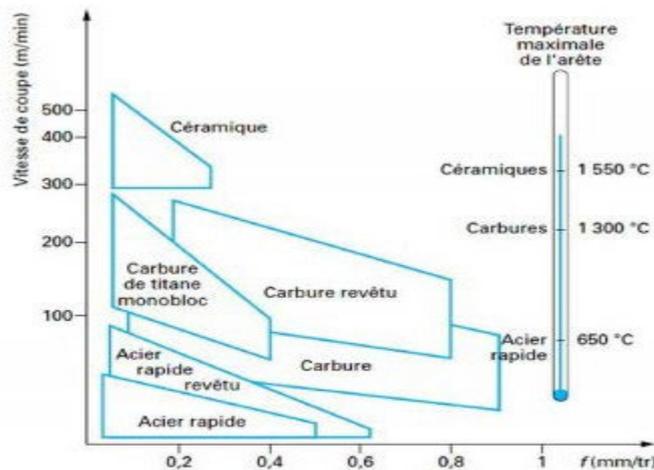


Figure I. 34 : Matériaux à outil de coupe en fonction des paramètres de coupe [17]

I-3-2-9-1-Aciers rapides :

La base des outils AR (acier rapide) ou ARS (aciers rapides supérieurs) est un acier faiblement allié qui a subi un traitement thermique, plusieurs outils en RAS sont disponibles, on les distingue par leur composition métallurgique, en général ils ont une teneur en carbone de 0,7 à 1,6 %, en Tungstène de 12 à 20 %, en molybdène de 3,5 à 10 % et des traces de vanadium et Cobalt pour

avoir plus de duretés. L'usinage par les outils en ARS s'effectue à faible vitesse de coupe pour éviter l'échauffement trop important et aussi éviter que l'outil de perdre ses caractéristiques (la trempe dispersée), une usure rapide de l'arête soit observée.

Les vitesses de coupe pour ce type varient entre 25 et 35 m/mn pour les aciers. Leur dureté varie entre 60 et 70 HRC, et sera maintenue jusqu'à 550 °C. (Figure II.14).

Actuellement, ce matériau est utilisé seulement pour certains outils comme les forêts ou les outils à faible angle tranchants. [17]

I-3-2-9-2-Carbures métalliques :

Les principaux composants des outils en carbures métalliques sont le carbure de tungstène (phase α), et le carbure de titane, de tantale ou le niobium (phase γ) et d'un élément de liaison entre les grains de carbure (taille de 0.2 à 1 μm) généralement du cobalt (phase β) de l'ordre de 8 à 20%.

L'ajout du carbure de titane de tantale ou de niobium permet d'augmenter les propriétés à haute température (jusqu'à 1000°C) en réduisant le frottement, donc un choix de vitesses de coupe très importantes allant jusqu'à 100 m/min, Cet élément procure aussi à l'outil une durée de vie supérieure à celle des outils en AR ou ARS. La dureté des outils en carbure est de l'ordre de 80 à 90 HRC.

Aujourd'hui, ces outils sont de plus en plus utilisés, comme plaquettes brasées (fixation permanente) ou plaquettes amovibles par fixation mécanique (fixation non permanente), cette dernière permet l'utilisation de plaquettes à plusieurs faces de coupe. [17].

I -3-2-9-3-Carbures revêtus :

Les carbures métalliques frittés (obtenus par frittage) non revêtus présentent beaucoup d'avantages mais l'inconvénient majeur est sa faible ténacité. Ces propriétés sont inversement proportionnelles aux quantités de ses composants. Afin de remédier à ce problème, les outils à plaquettes en carbures revêtus ont été mis en œuvre où ils ont appliqué un matériau de revêtement, dont les plus utilisés sont :

- Nitrure de titane TiN
- Oxyde d'aluminium Al₂O₃
- Oxyde d'aluminium Al₂O₃
- Carbure de titane TiC
- Carbonitrure de titane TiCN
- Alumino-nitrate de titane TiAlN.

Chaque élément de revêtement apporte à l'outil une aptitude meilleure dans un domaine particulier. Il est possible d'appliquer plusieurs couches de différents matériaux de revêtement pour

combiner leurs différents avantages. [17]

I-3-2-9-4-Céramiques :

Les outils en céramique sont généralement des plaquettes frittées d'alumine Al_2O_3 ou de Nitrure de silicium Si_3N_4 dits plaquettes Sialon ou d'oxyde de chrome Cr_2O_3 . Ils possèdent de bonnes caractéristiques thermomécaniques, ils sont favorables à l'usinage en coupe continue, mais à éviter dans le cas de coupe discontinue où l'outil présente des défauts d'ébréchure du bord des plaquettes et un craquage thermique car des outils fragiles. Ces outils acceptent un usinage à une vitesse de coupe de 500 m/min pour les aciers, et gardent ses caractéristiques jusqu'à des températures de 1200°C, donnant un excellent état de surface des pièces usinées. [17]

I-3-2-9-5-Cermets :

Les outils Cermets sont en carbures, en nitrures, en carbonitrure ou en borure avec un liant de grains un métal ou un alliage ferreux (cobalt, nickel, nickel - fer, nickel – chrome, etc.). Ils ont par rapport aux métaux durs conventionnels une densité faible avec une dureté et une résistance à l'usure plus élevées. Leurs duretés sont de l'ordre de 1500 à 2000 HV. Ils ne perdent pas leur capacité à chaud en usinage à grande vitesse ou aux températures extrêmes allant jusqu'à 1000°C.

Les cermets sont destinés pour les opérations de finition et l'usinage de précision qui sollicitent un travail à grandes vitesses de coupe et à faibles avances. [17]

I-3-2-9-6-Nitrure de bore cubique NBC :

CBN est un matériau très dur prévu pour l'usinage des aciers trempés, des fontes et d'alliages à base de nickel ou cobalt. Il n'oxyde pas à haute température contrairement au diamant. Pour travailler avec ce matériau, il faut être très rigoureux au niveau des conditions de coupe (machine stable, grande rigidité et un arrosage permanent durant l'usinage). Les plaquettes en nitrure de bore sont destinées principalement à la finition des pièces de précisions. [17]

I-3-2-9-7-Diamant :

Le diamant est fortement utilisé comme composant des meules en abrasif, ou des grains sertis ou brasés sur un corps pour les outils tranchant à arête unique réservée à des travaux de finition et de réaffûtage de meules, il est instable à haute température, à 650°C il se transforme en graphite. Il convient parfaitement à l'usinage des alliages d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables...etc. [17]

I-3-2-10-Opération d'usinage et ses facies :

En industrie les ateliers de fabrication mécanique sont dotés d'un parc de machines outil qui est à la disposition du bureau d'études et méthode, afin de planifier les modes opératoires pour l'obtention de pièces finies. Chaque machine-outil est prédestinée pour des opérations d'usinages bien définies où on observe des faciès propres à chaque opération. [18]

I-3-2-10-1-En tournage :

Sur un tour on dispose de deux classes d'outils :

- Outils intérieurs.
- Outils extérieurs.

La (Figure I.35) représente les différentes opérations d'usinage pouvant être exécutées sur les tours.

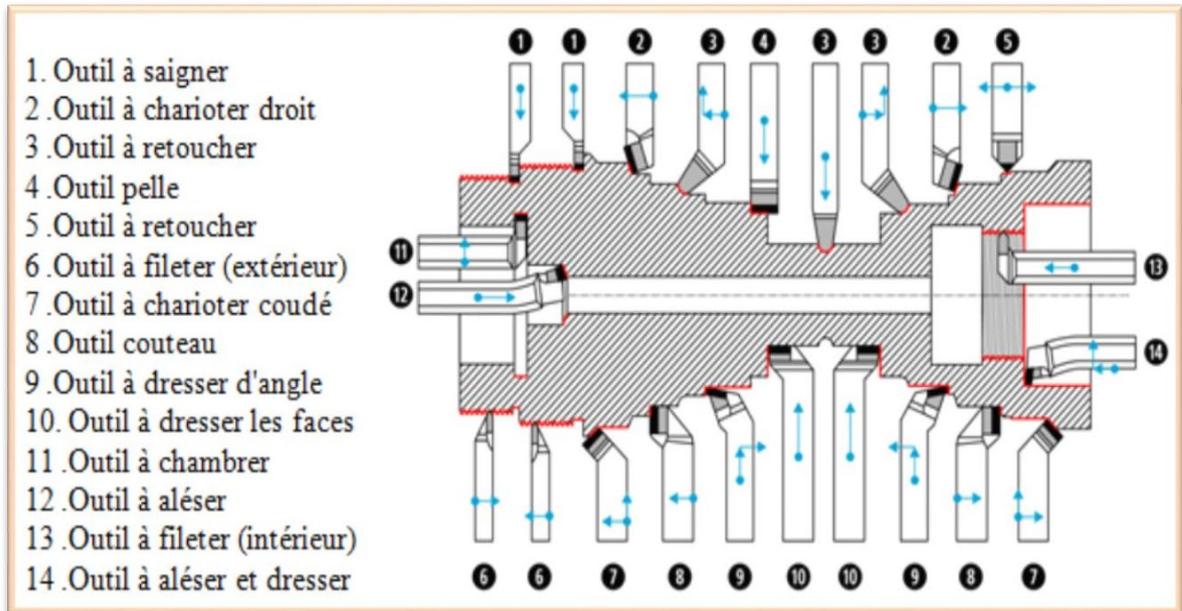


Figure I. 35 : Opérations d'usinages en tournage [18]

I-3-2-10-2-En fraisage :

Les diverses opérations d'usinage qui peuvent être exécutées sur une fraiseuse sont représentées dans la (Figure I.36).

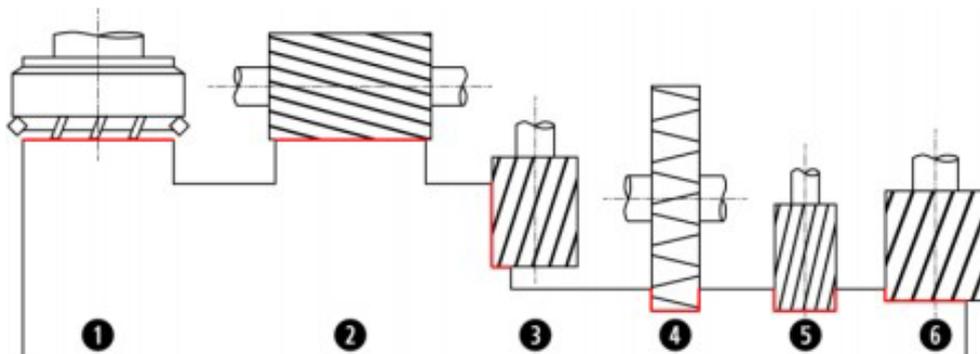


Figure I. 36 : Opérations d'usinages en fraisage [18]

1. Surfaçage de face
2. Surfaçage de profil
3. Surfaçage - dressage prédominant profil
4. Rainurage 3 tailles
5. Rainurage 2 tailles
6. Surfaçage - dressage prédominant face

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous, avons discuté du phénomène de l'usinage en général et de son importance, et de certaines méthodes utilisées dans l'industrie mécanique, soit l'usinage par enlèvement de matière ou la mise en forme.

Nous avons également parlé des paramètres de coupe et des 'outils de coupe et sont différentes matières utilisées dans le processus d'usinage, qui ont un impact direct sur la rugosité de la surface de coupe. [19]

Chapitre II
Présentation de L'entreprise

II.1. Introduction

Le complexe d'El-Hadjar représente un facteur économique pour le pays par la diversité de ses unités et ses installations de transformation du minerai de fer. L'entreprise nationale de sidérurgie a été créée en 1964 pour servir l'économie du pays et répondre aux besoins du marché en matière de produits métalliques. La sidérurgie reste la base du développement industriel d'un pays. Elle s'occupe de transformation de matière première et du passage de la fonte vers l'acier. Le complexe sidérurgique principal centre d'activités sidérurgiques en Algérie est responsable de l'ensemble des opérations nécessaires à l'exploitation des ateliers et des installations existantes qui le constituent, il s'agit de la production de la fonte et de l'acier sous forme de tôles et de pipes.

II.2 position géographique du complexe :

Le complexe sidérurgique est situé à 12 km au sud de ville d'Annaba et occupe une surface de 800 ha, répartie comme suit :

- ✓ Surface de couverte (Atelier = 300 ha).
- ✓ Surface de stockage = 300 ha.
- ✓ Surface de service = 200 ha.

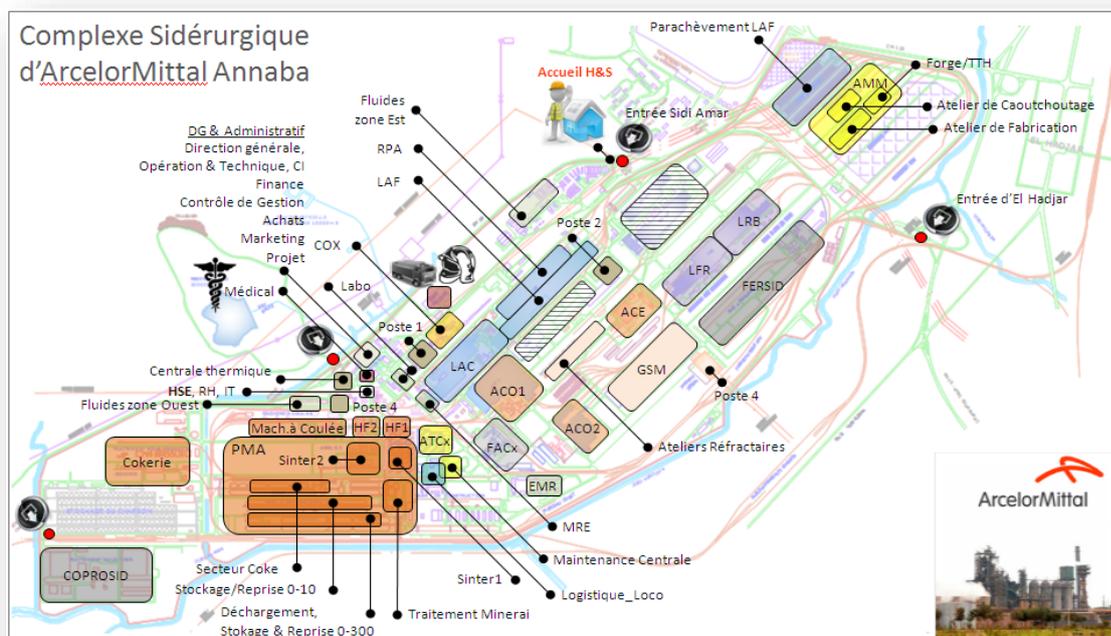


Figure II. 1: Organigramme de l'entreprise

II.3. Présentation des AMM

Dans le souci de répondre aux besoins accrus en pièce de rechange, l'entreprise nationale de sidérurgie s'est dotée en 1993 de nouvelles capacités de production, les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) constituant une filiale de SIDER. Les A.M.M ont pour vocation principal de répondre aux besoins de l'industrie sidérurgique et mécanique aussi bien en : pièces de rechanges consommables, ensembles mécaniques neufs, mais aussi rénovation et réparations. Leurs capacités tant matérielles qu'humaines, les mettent en position de satisfaire les besoins aussi bien sur le marché local qu'à l'export, la pétrochimie, les industries de transformation et autres. Les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) sont situés dans l'enceinte du complexe sidérurgique IMITAL SIDER. Ils sont reliés au réseau routier, ferroviaire national et maghrébin ainsi qu'au port commercial d'ANNABA. Leurs ateliers s'étalent sur un terrain d'une superficie de 36 hectares et se composent d'un ensemble d'ateliers et de bâtiments auxiliaires :

- Un atelier mécanique ou usinage de $16128m^2$
- Un atelier de forge de $5256 m^2$
- Un parc à fer central de $2160 m^2$
- Un atelier de caoutchoutage $3200 m^2$
- Des bâtiments auxiliaires (Bâtiment Administratif, Techno Commercial, etc....)

Le potentiel humain des A.M.M est composé d'ingénieurs, de techniciens et d'opérateurs hautement qualifiés ayant accumulés plusieurs années d'expérience dans les différentes spécialités de la mécanique (études, méthodes de programmation, forage, traitement thermique, tournage, fraisage, alésage, etc....).

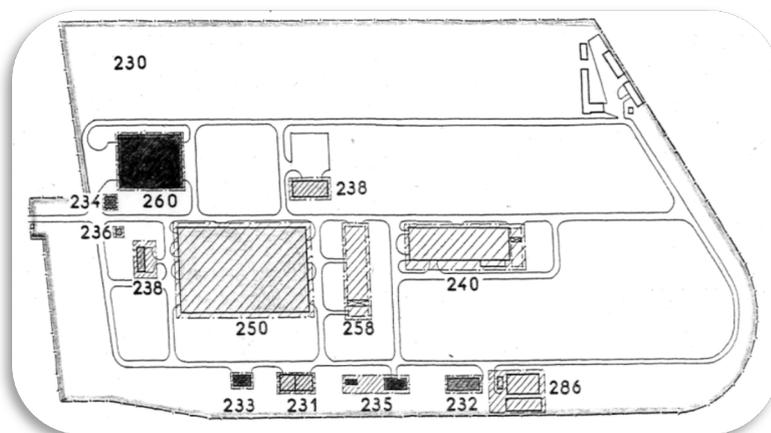


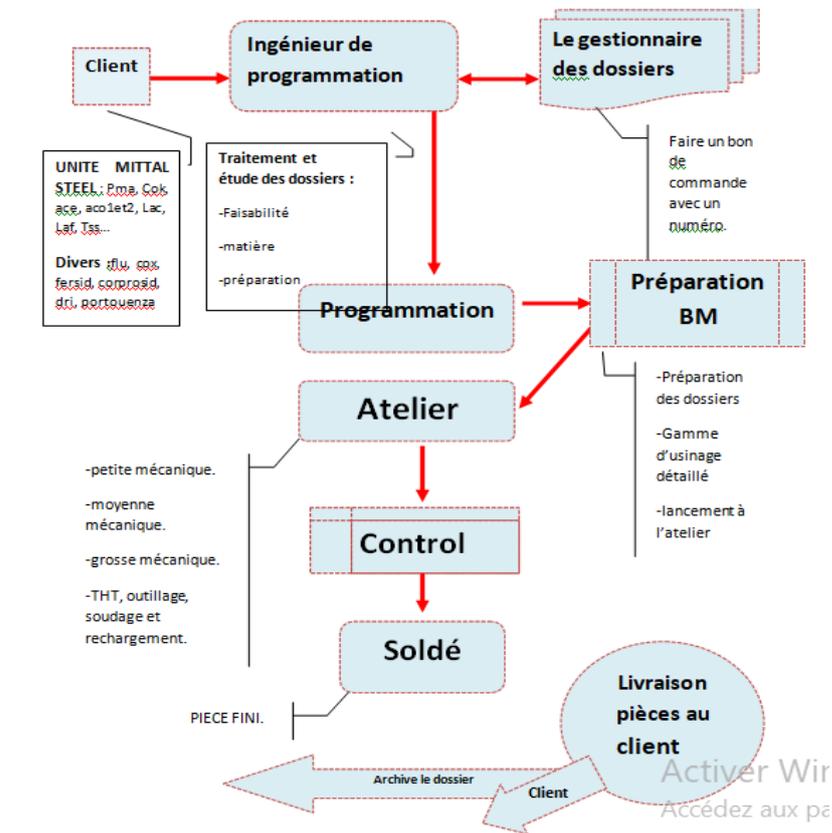
Figure II. 2 : Découpage zonal des AMM

Tableau II. 1: découpage zonale des AMM

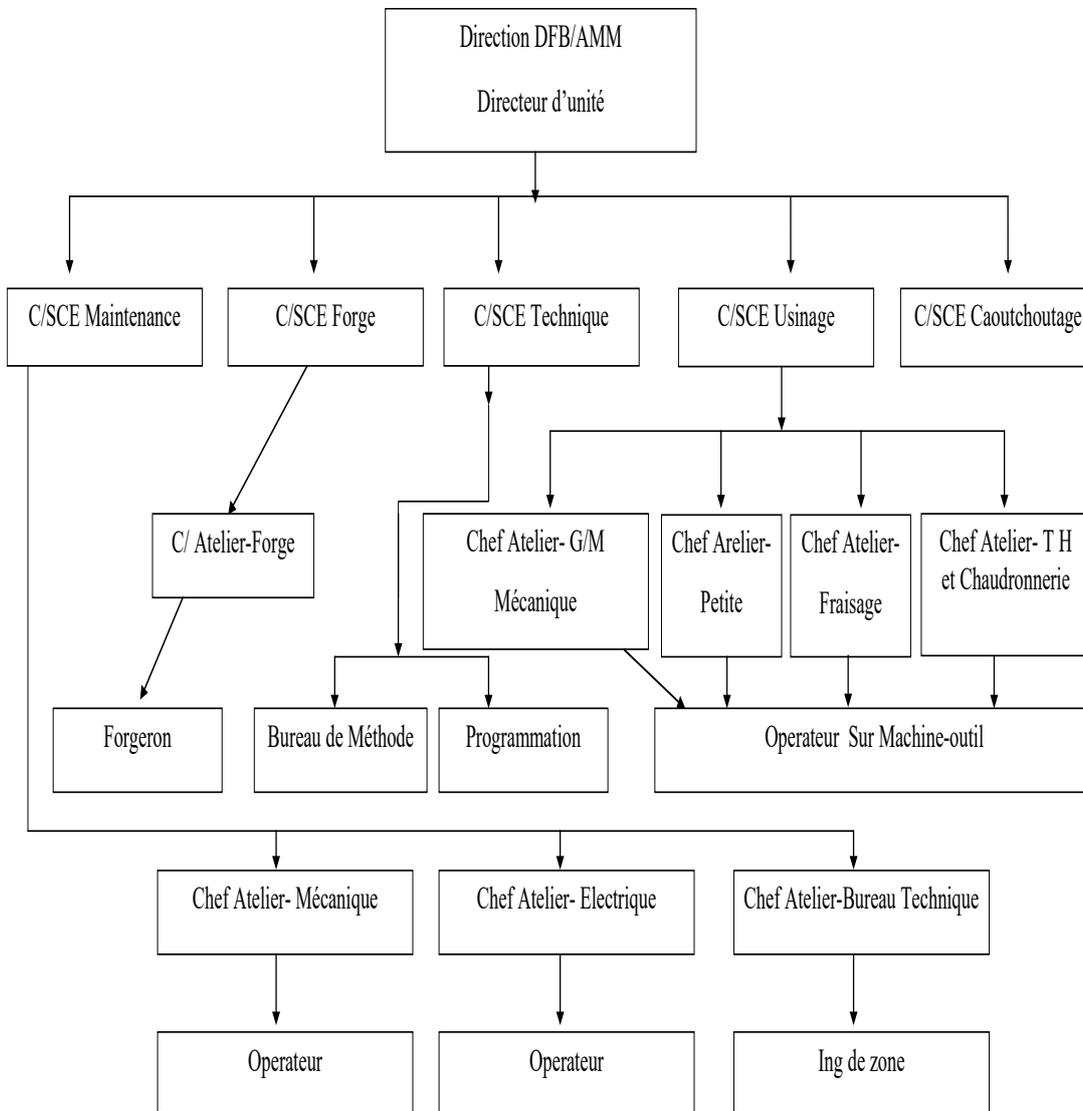
23 0	AMM-service communs.	234	Station de pompage du condensat.
23 8	Services administratifs.	258	AMM- parc à fer central.
23 1	Sous-traitance de distribution Électrique.	233	Chaufferie.
24 0	AMM-Forage.	286	Magasins centraux.
23 2	Station des compresseurs	236	Station de pompage des eaux usées
25 0	AMM-Usinage.	260	AMM-Caoutchoutage

II.4. Le processus d'usinage :

Pour fabriquer une pièce au niveau AMM qu'elle arrive de l'extérieur AMM ou qu'elle est destinée ou besoin des AMM, le cheminement suit toujours la même procédure. Voici ce Cheminement :



II.4. Organigramme des AMM



II.5. Atelier mécanique, atelier d'usinage 250 :

Equipé de 250 machines toutes spécialité (tournage, fraisage, taillage, rectification, affutage, rechargement, soudage, oxycoupage et traitement thermique)

Conçu pour la réalisation unitaire ou en petites séries de pièces mécaniques à partir d'ébauches de forge, de fonderie et produits laminés. Equipé d'une centaine de machines-outils conventionnelles et à commande numérique destinée à la fabrication et à la rénovation d'équipements mécaniques.

Cet atelier regroupe un ensemble de machines universelles, réparties en six secteurs de production :

- Grosse Mécanique de 2.592 m², sous ponts roulants de 16 et 32 T
- Moyenne Mécanique de 2.160 m², sous ponts roulants de 10 et 16 T
- Petite Mécanique de 2.592 m², sous ponts roulants de 10 T.
- Outillage
- Oxycoupage et rechargement
- Secteur Traitement thermique

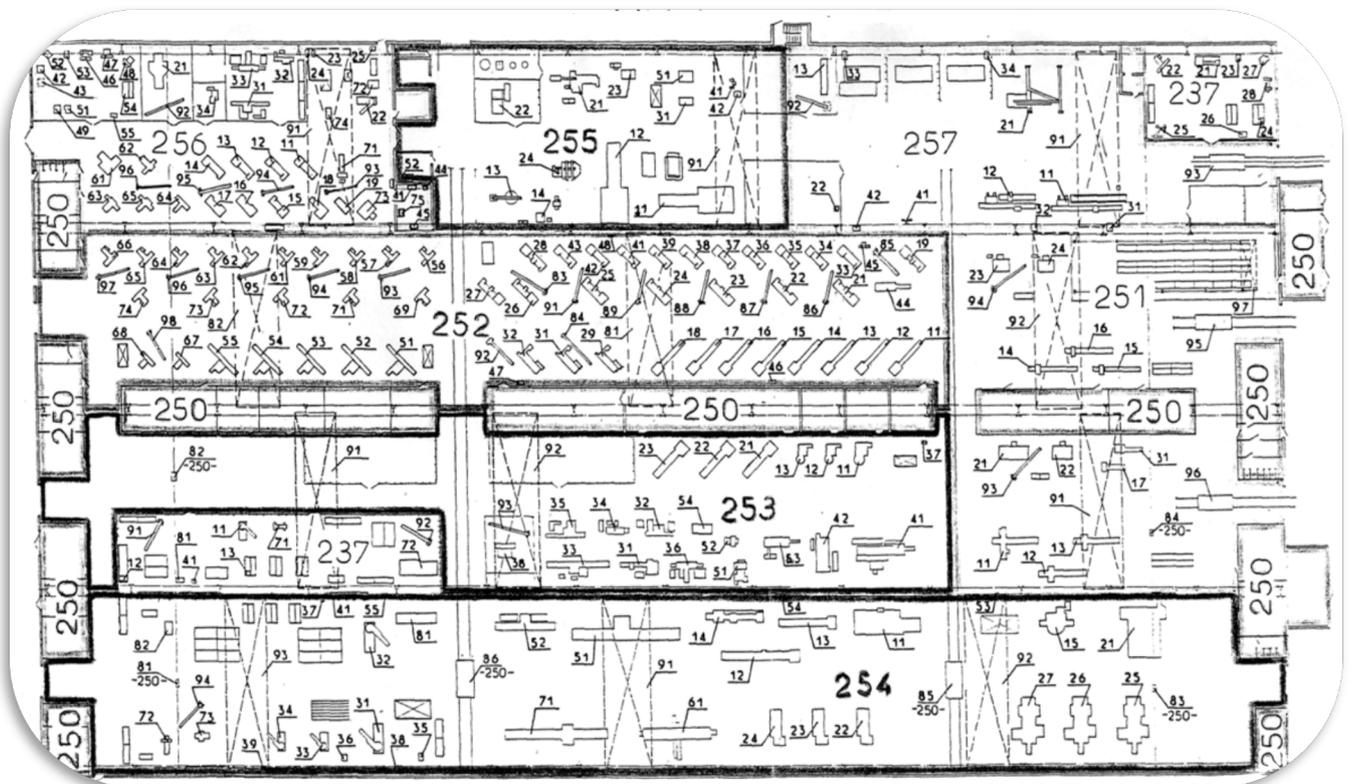


Figure II. 3 : Plan pour l'atelier d'usinage.

Chapitre III
***Élaboration de la gamme de
fabrication du Demi-boitier
de l'accouplement AFG40***

III.1 Introduction

Dans cette partie, nous allons présenter l'étude de la gamme d'usinage réalisée au niveau des AMM et nous essayons d'apporter des améliorations sur la base d'une étude constructive tenant compte de la recommandation technique basé sur les données du dessin de définition et le concept de fonctionnement du demi-boîtier.

III.2 Choix de sujet :

Le but principal du stage pratique est d'apprendre et gagner de l'expérience et des connaissances. Lors de notre formation au complexe El-Hadjar et plus particulièrement dans les AMM, qui fait la prestation en matière de fabrication de pièces mécanique. nous avons choisi une pièce fabriquée durant la période de notre séjour. Bien que nous n'ayons pas suivi toutes les étapes de sa fabrication, mais nous avons recueilli les informations les plus importantes qui appartiennent à la pièce.

Notre choix de cette pièce a été basé sur la méthode de fabrication, que nous avons vue, contient certaines des erreurs que nous aborderons pour l'amélioration dans ce chapitre.

III.3 Présentation de la pièce :

III.3.1 Définition des accouplements :

Les accouplements sont des mécanismes destinés à assurer, en permanence, la liaison en rotation entre deux arbres.

III.3.1.1 Les type des accouplements :

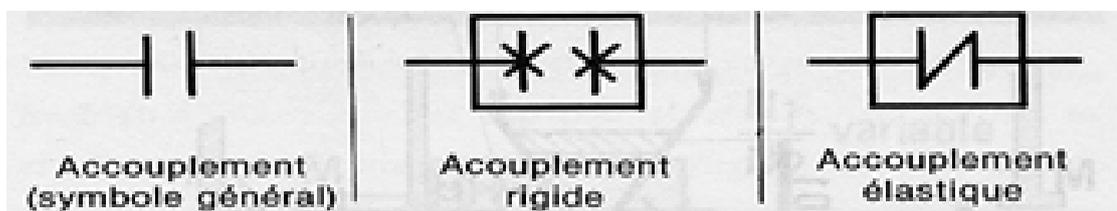


Figure III. 1 : Schéma cinématique des types d'accouplement

Les accouplements dentés à double articulation de la série AFG 40 compensent les écarts angulaires ainsi que les décalages parallèles et axiaux des arbres non alignés. Les accouplements AFG 40 sont particulièrement adaptés à une utilisation dans des conditions de fonctionnement difficiles.

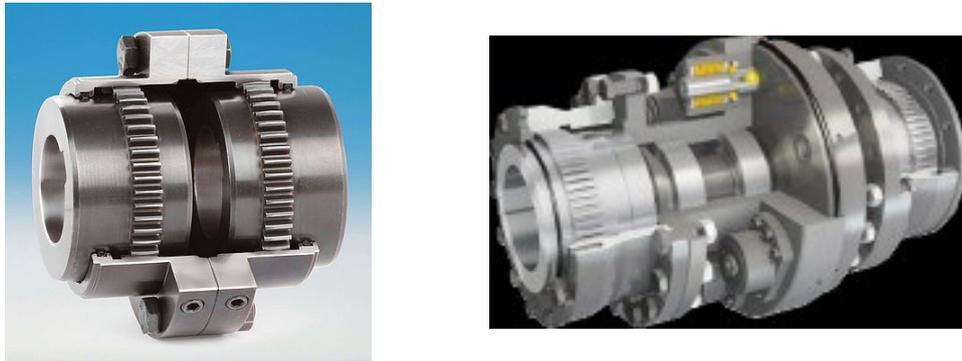


Figure III. 2 : Accouplements AFG 40

III.3.1.2 Les avantages des accouplements :

- Forces de réaction réduites en cas de désalignement d'arbre.
- Utilisation dans les deux sens de rotation (inversion de marche) et montage vertical possibles.
- Longue durée de vie et maintenance réduite.
- Dimensions compactes pour une utilisation dans des espaces exigus.
- Utilisation possible en présence de violents à-coups de charge, avec de grandes réserves de sécurité.
- Utilisation possible en atmosphère explosible ; certification selon 2014/34/UE (ATEX).

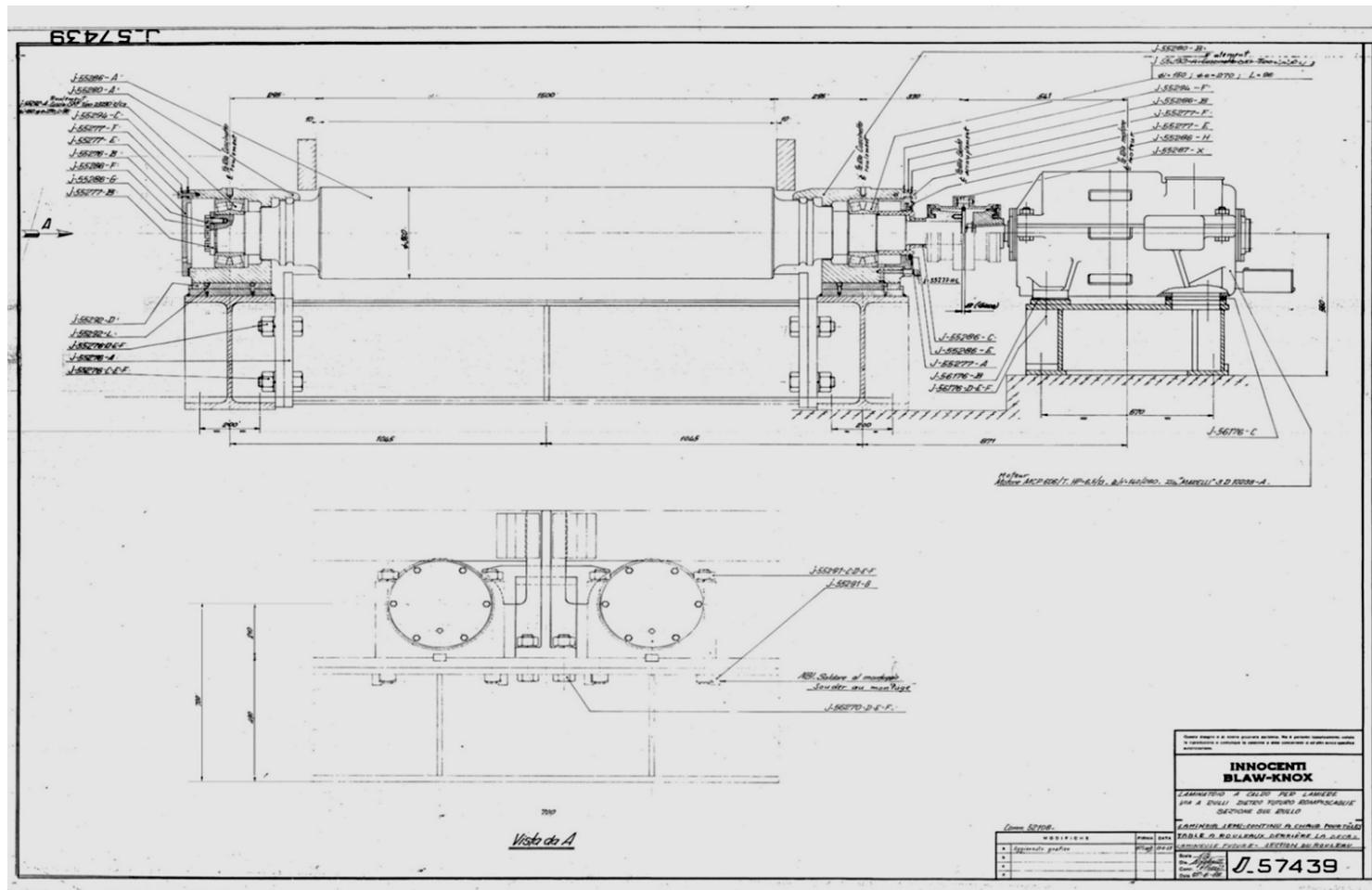
La denture du AFG 40 est lubrifiée avec de l'huile ou de la graisse. Pour assurer l'étanchéité de l'espace autour de la denture, des joints à double lèvre sont utilisés. Ces joints DUO offrent une double sécurité contre la sortie du lubrifiant et la pénétration de saleté dans l'espace autour de la denture. Ainsi, voter accouplements bénéficie d'une longue durée de vie.

III.3.1.3 Le principe de fonctionnement des accouplements :

L'accouplement transmet la rotation de moteur vers le rouleau avec le principe suivant ,le moteur électrique est tourne et il fait tourner avec lui le moyeu 1 et le dernier tourne le boitier 1et comme la boîtier 1 assemblée avec le boitier 2 donc la rotation transmet vers le boitier 2 et après vers le moyeu 2 et dernièrement transmet vers le rouleau qui tourne avec la même vitesse de rotation de l'entrée (rotation de moteur) finalement on a la bague de centrage entre les deux boîtier pour centrée les deux dernières.

III.3.1.4 Dessin d'ensemble :

L'accouplement est suitée entre le moteur électrique et le rouleau.

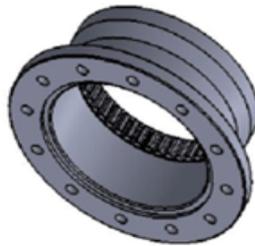
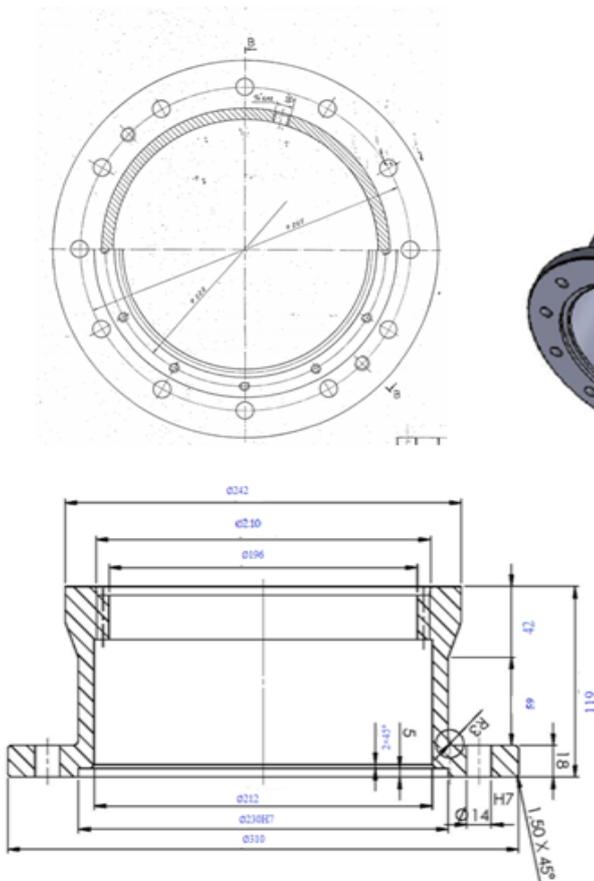


Cet accouplement dispose de plusieurs pièces :

1. Boitier
2. Couvercle
3. Moyeu
4. Bague de centrage



III.3.2 Dessin de définition du demi boitier :



Caractéristiques de La Dentures		
Module	M	3,5
Nombre de Dent	Z	58
Angle de Profil	α	20°
Coefficient de deport	X3	+0,24
Diam Primitif	D_p	203
Diam de tele	$Df3$	
Diam de de fond	$Df3$	
Pas	P	
Epaisseur de Dent	\widehat{S}	5,15
Diametre des Rouleaux	D	8,867
Difference Limite des pas circonferentiel voisins	δ_p	0,06
Erreur Limite cumulee au pas circonferiel	$\delta_{p\Sigma}$	0,16
piece Conjuguee		BM 111438M01A et M02A

03	01	Demi Boitier		35NCD6		
REP	QUANT.	DESIGNATION		MATIERE	POIDS	OBSERVATION
NOMENCLATURE						
A	04/07/19	ÉTABLISSEMENT DU PLAN		F. FARHI		
ARCH	IND	DATE	DESIGNATION	DESSINE	VÉRIFIE	WISE
Ce document est la propriété de SIDER EL HADJAR il ne doit être ni communiqué ni copié sans autorisation						
IMETAL SIDER EL HADJAR ALGERIE						
ECH:	SECTEUR:	LAC	IMPUTATION :	463		

Figure III. 4 : Dessin de définition du demi-boitier

Dessin de définition du couvercle

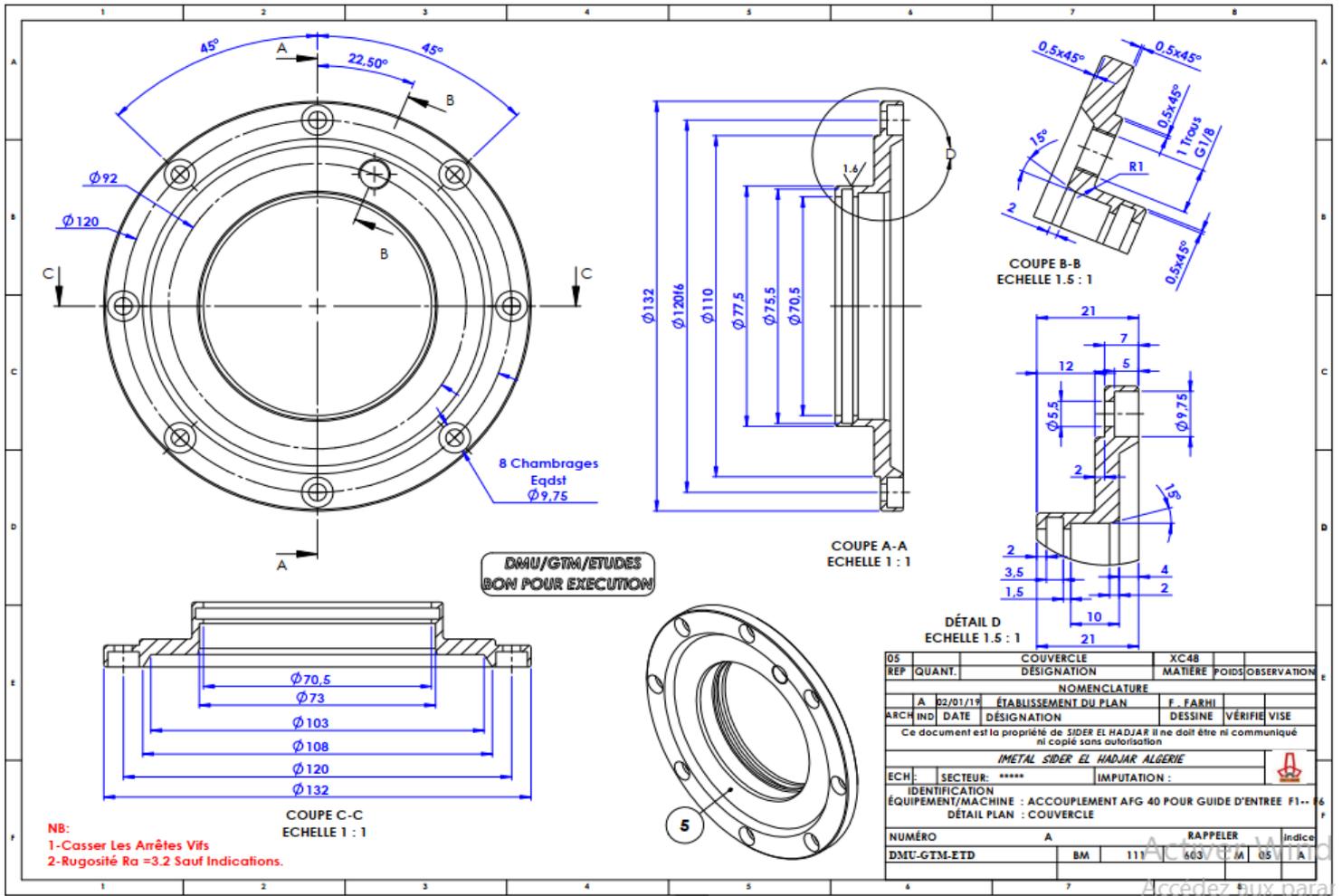


Figure III. 5 : Dessin de définition du couvercle

- Dessin de définition du le Moyeu :

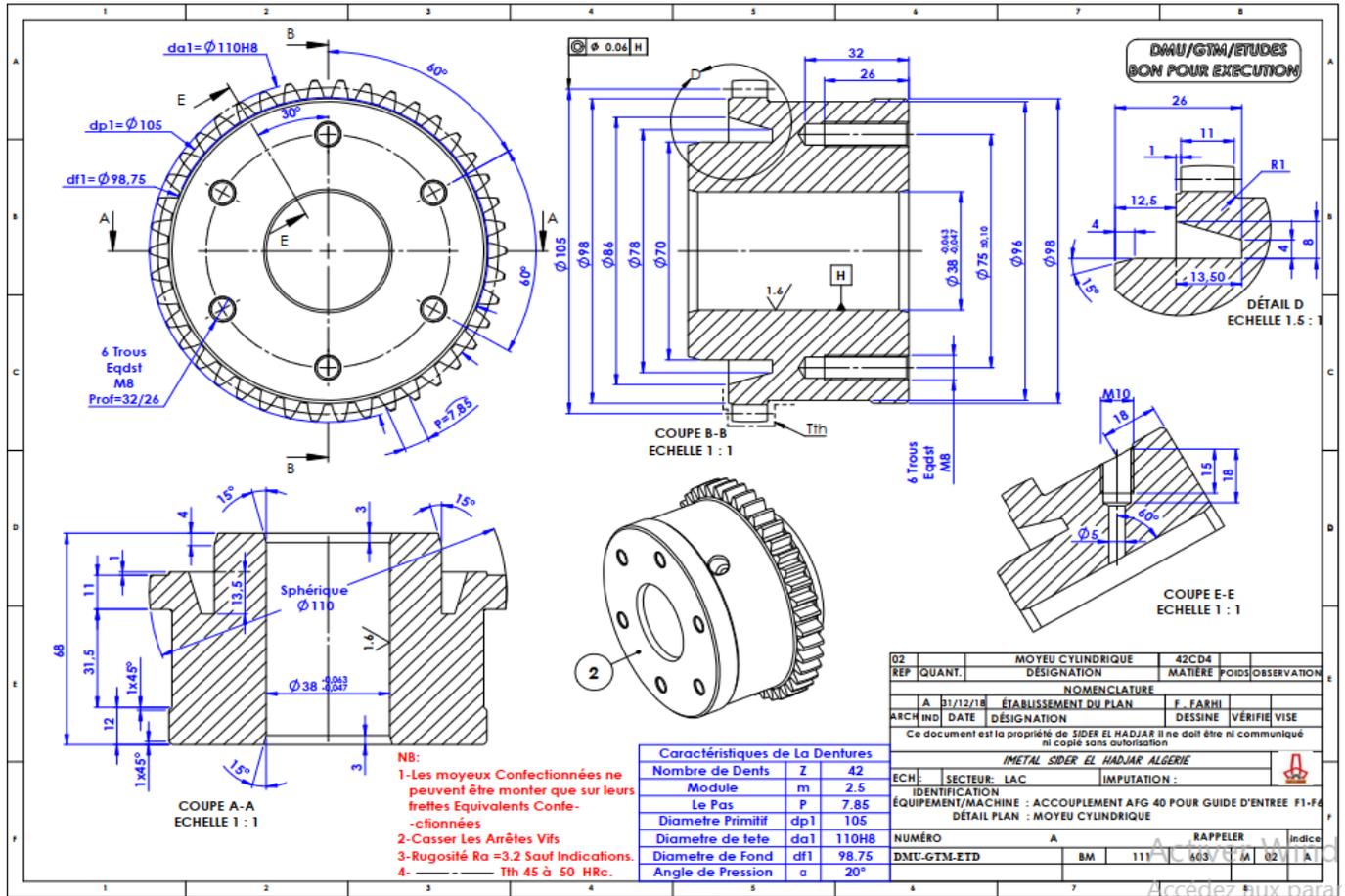


Figure III. 6 : Dessin de définition du Moyeu

- Dessin de définition de la Bague de centrage :

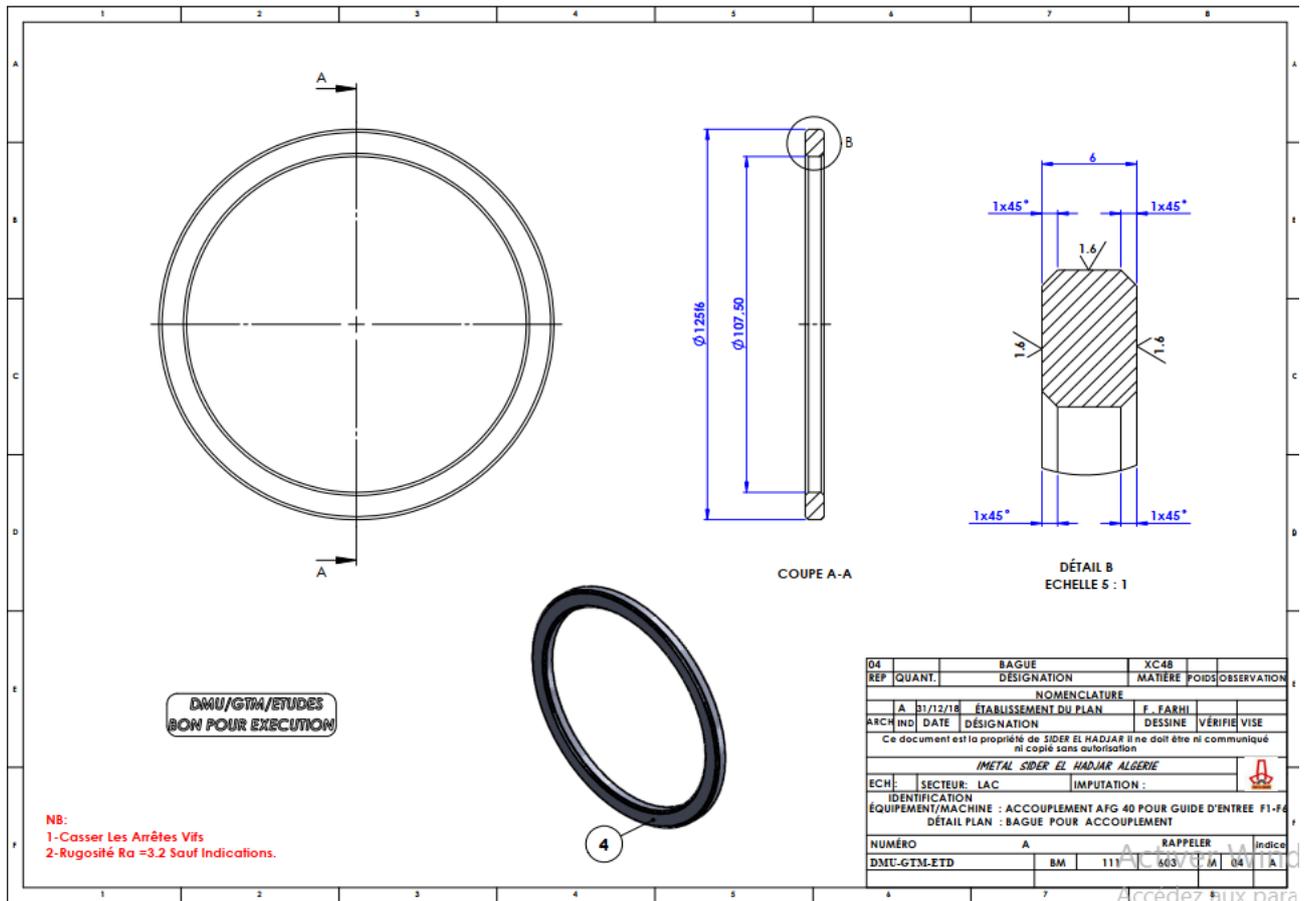


Figure III. 7 : Dessin de définition de la Bague de centrage

III.3.2.1 Définition de la pièce choisie :

- La pièce choisie durant notre stage s'appelle «1/2 boitier». C'est une pièce cylindrique de nuance 35NCD16.

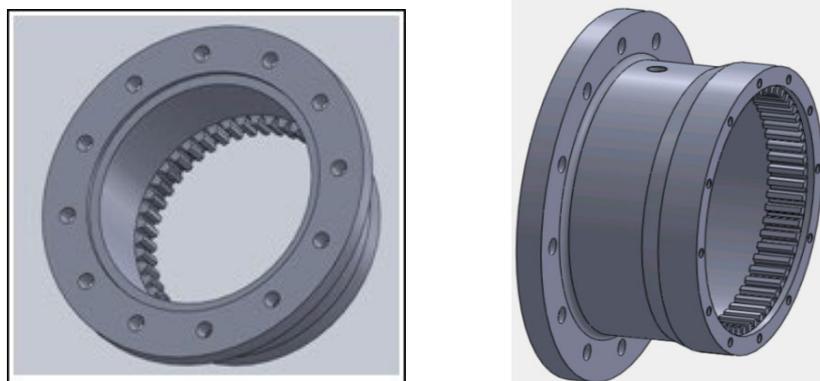


Figure III. 8 : La pièce choisie : (1/2 boitier).

III.3.2.2 Le Rôle de la pièce dans d'ensemble :

Le rôle de la pièce est d'emboîter le moyeu afin de transmettre le mouvement de rotation du moteur au rouleau.

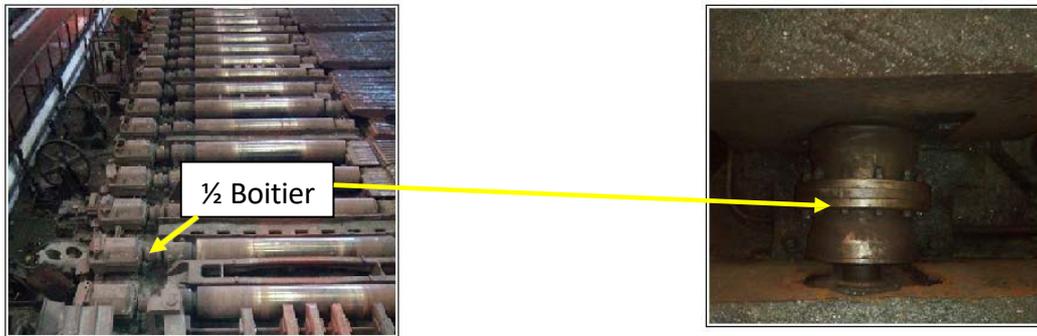


Figure III. 9 : Transmission d'un tapis roulant.

III.3.2.3 Choix de matière :

III.3.2.3 .1 Généralités

Le choix de la matière est en fonction :

Des forces de transmissions très importantes entre le couple moteur et le rouleau de la bande ;

- du procédé de la mise en forme de l'ébauche (forgeage) ;
- la capacité de production (production unitaire) ;
- de son cout.

Pour notre cas on a choisi l'aciers 35NCD16

III.3.2.3 .2 Désignation : 35 NCD16

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10083-1
35NCD16	36NiCrMo16	4337	34Ni Cr Mo16 (1.6773)

III.3.2.3 .3 Les compositions chimiques :

Nuance	Type d'acier	% carbone	% nickel	% chrome	% molybdène
36NiCrMo16	Faiblement alliée	0.36	4	2.5	Des traces de molybdène

III.3.2.3 .4 Les caractéristiques mécaniques :

Nuance	Densité kg/m ³	Forgeage C°	Recuit C°	Dureté HB
35NiCrMo16	7.8	900-1100	680	285

III.3.2.3 .5 Domaines d'applications :

Pièces fortement sollicitées soumises à de très gros efforts de fatigue : organes de transmission, pignons, machines-outils, ...etc.

III.3.2.3 .6 Propriétés :

Acier de traitement dans la masse au nickel - chrome - molybdène, autotrempant très forte trempabilité permettant d'atteindre des caractéristiques mécaniques très élevées tout en offrant le maximum de sécurité (niveau de résilience élevé)

III.4 Mode d'obtention d'ébauche :

Le choix de l'ébauche au sein de l'entreprise passe par un atelier de forge. La barre d'acier subit un préchauffage dans un four à gaz à une certaine température pour lui donner une malléabilité. L'utilisation du manipulateur (transporteur) pour déplacer les barres du four vers le marteau pilon. Ce dernier implique un dispositif de frappe pour diminuer le diamètre de la barre.

Après le choix du mode d'obtention de l'ébauche de la pièce vient l'étape de fabrication qui a lieu dans l'atelier de mécanique des AMM et y passent à travers toutes les étapes de fabrication et de contrôle jusqu'à l'obtention de la pièce finie. La forme finale de la pièce nécessite le passage par plusieurs étapes.



Figure III. 10 : Préchauffage de l'Acier dans un Four à gaz



Figure III. 11 : Illustration des opérations de forgeage sur Marteau pilon

III.5 Le Routage d'usinage ou niveau des AMM :

N° Phase	Operations	Instruments de Mesures	Outils	MO	Le temps d'usinage
	Débitage : -Recevoir 08 Ebauches -Forges Q330 mm ; L=140 -Matière : 35NCD16	Pied à coulisse + règle			15m
10	Tournage : Montage en l'aire -Dresser la phase -Charioter Ø310 mm ; L=119mm -Charioter Ø246mm ; L=101mm ; + chanfrein =1.5×45°/Ø310 - A L=42 Réaliser une Gorge (Ext) Ø230 ; B=59 ; R=5 -à L=28 / 246 ; Réaliser chanfrein =14*29°.44 ; R=5 - Percer et aléser Ø196±0,3 ; débouchant - Aléser ø210H8 +0,072 ; L=5 -Tourner la pièce : -Mise longueur L=119 -Aléser ø212, L=88 ; R=3 -Aléser ø230H7 (+0.046) L=5 - Chanfrein =2*45°/ Ø212 ; L=46		- à dresser - à Charioter - Outil de Gorge - à charioter - à charioter - à dresser - alésoir	Tour parallèle 1M63B	07h
20	Contrôle	Pied à coulisse			

30	Taillage : - Exécuter le Taillage à denture intérieure droite $M=3.5$; $Z=58$; $dp=203$; $h=7$; $Da=196+0.3$; $b=26$		Outil pignon	Tailleuse d'engrenage LS	4h
40	Contrôle				
50	Fraisage : - Brider la pièce - percer 12 trous $\varnothing 14H7$ débouchant sur la face A ; L'entraxe $\varnothing 265$ Percer 12 Trous $\varnothing 6,8$; $L=30$; L'entraxe $\varnothing 226$ Sur la Face B ; L'angle $\alpha=30$ - à $L=30$ Sur $\varnothing 230$ La face F Percer (1) Trou $\varnothing 11.75$ Débouchant dans l'alésage		Forêt	Fraiseuse CNC	5h
60	Contrôle				
70	Taraudage : -tarauder 12 trous M8 ; $L=25$ -Tarauder (02) trous M12 Débouchant -Tarauder (01) trou 1/4G Débouchant		Taraud M08 M12	Taraud	4H
80	Contrôle				

III.6 Etapes d'usinage de la pièce au niveau de l'entreprise

A l'intérieur de l'atelier mécanique, les différentes opérations de fabrication et contrôle des pièces sont terminées. L'atelier contient des sections spéciales pour chaque phase. Dans chaque section, les pièces sont envoyées selon la gamme de fabrication, où le processus de fabrication est effectué sur des machines conventionnelles ou numériques. Après chaque processus les pièces passent par un contrôle pour mesurer les dimensions et l'état de surface jusqu'à ce qu'elles atteignent la phase finale.

III.6.1. Phase 10 : Débitage

Couper les pièces par la scie mécanique selon les dimensions demandées au bureau de méthode



Figure III. 12 Scie mécanique (EBS3604)

III.6.2. Phase 20 : Tournage

Dans la phase de tournage son exécutées les différentes surfaces de révolution (chariotage, dressage, alésage...etc.) par des outils en carbure métallique de nuance P30 sur un tour conventionnel (1M63B)



Figure III.13 : Tour (1M63B).

Les conditions de coupe utilisées en tournage :

Les conditions de coupe dans le tournage sont également choisies selon l'expérience de l'opérateur et l'usinage est effectué à sec.

III.6.3 Phase 30 : Taillage des engrenages intérieurs :

Après l'achèvement du processus de tournage, la pièce passe par l'étape de taillage des engrenages intérieur sur la machine à tailler les' engrenage par outil pignon en acier rapide



Figure III. 14 Machine à tailler les engrenages LS180CNC

Les conditions de coupe utilisées :

Tableau II. 2 : Conditions de coupe « taillage des engrenages »

Les conditions	Ebauche	Finition
Vitesse de rotation (tour/min)	60	90
Avance (mm/tour)	0.4	0.2

Tableau II. 3 : Programme CNC « taillage des engrenages »

Numéro de bloc	Le programme CNC
N10	G00 G90 M88 M41 M58
N20	G00 G90 X400
N30	G00 G90 G71 X200
N40	G91 G76 W400 R360 U29 V52 H3.5 E0.25 F0.4 S60 M13 M93
N50	G91 G75 W300 R360 F0.2 S90 M44
N60	G91 G73 F50 M45
N70	G90 G70 M58 M94
N80	G00 G90 X400 M30 M99

III.6.4 Phase 40 : Fraisage :

Après la coupe, la pièce passe par le processus de perçage : on perce les 12 trous débauchant sur la surface A et d'autres 12 trous à la surface B.

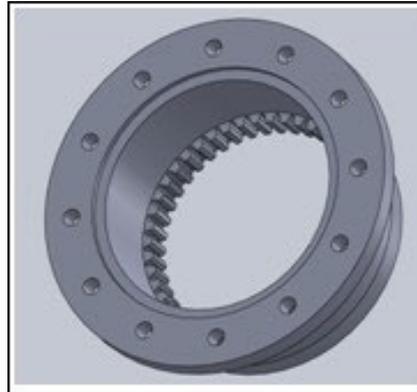


Figure III. 15 Pièce après perçage

Les conditions de coupe utilisées en perçage au niveau de l'entreprise

Le choix des conditions de coupe est effectué selon l'expérience de l'opérateur et non pas selon les recommandations du bureau de méthode.

Tableau II. 4 Programme CNC de perçage sur la fraiseuse

Numéro de bloc	Programme CNC
N10	X-200.00 Y-200 Z-50.00
N20	X+200.00 Y+200 Z+0.00
N30	TOOL DEF 1 L+0.00 R+7.00
N40	S500.00
N50	Q1 +5.00
N60	Q2 +30.00
N70	X+122.500 Y+0.00 Z+100.00 F9999 M03
N80	Z+10.00
N90	CYCL DEF 1.0
N100	CYCL DEF 1.1 DIS-10.00
N110	CYCLE DEF PROF-Q2
N120	CYCLE DEF PASSE-Q1 T 0.00
N130	CYCLE DEF 1.3 F100.00
N140	M03
N150	LBL1
N160	CC X+0.00 Y0.00
N170	ICPA+30.00 DR+RO F9999 M99
N180	LBL1 REP10
N190	LBL0
N200	L Z+100.00 RO F9999 M02

III.6.5: Phase 50 : Taraudage :

Après le perçage des trous on effectue le taraudage manuellement.



Figure III. 16 illustrations d'une opération de taraudage

III.6.6: Phase 60 : contrôle finale

Finalement :



Figure III. 17 Pied à coulisse



Figure III. 18 Palmer (Micromètre)

III.7 Détermination Type de production :

Le type de production est déterminé en fonction de volume du programme annuel et des caractères du produit à fabriquer. il y a trois types de production :

a) Production en masse :

Les produits sont fabriqués sous discontinuité pendant plusieurs années, l'indice caractéristique de ce type de production est exécution d'une phase fixée sur la plupart des portes de travail.

Dans ce type de production on utilise des MO automatique simple (tour mono broche, multibroche), des MO pour réaliser une famille de pièces et comportant plusieurs tels d'usinage autonome qui permettent la fabrication de plusieurs pièces plus de 10 000 pièces.

b) Production en série :

Elle se subdivise en trois sous-groupes :

❖ Petite série :

C'est un travail de 10 à 100 pièces dans ce type on recherche les solutions et les moyennes les plus économiques, donc il faut penser à minimiser les temps manuels, les temps morts par moyen simple de mise en position, des outils, système de blocage...

❖ Moyenne série :

On travaille pour cela une analyse de fabrication élaborée le plus possible avec contrat de chaque phase détaillée.

❖ Grande série :

De 1000 à 10000 pièces, on établit, pour cela une analyse de fabrication détaillée avec contrat de chaque phase plus le problème de la réduction du prix de revient diminue.

c) Production unitaire :

On exécute les produits de larges nomenclatures en petite quantité qui ne se répètent pas complètement ou bien dans un temps défini. Dans la production unitaire on établit une analyse de fabrication simple et on calcule le travail T_c .

III.7.1 Détermination du type de notre production

1. Calcul de gain de matière due au choix du mode d'obtention de l'ébauche

Le choix du mode de fabrication de l'ébauche dépend de :

- La nature de la pièce (destination, rigidité, usure)
- Du programme (du nombre d'ébauche à fabriquer)
- Les dimensions de la forme et du poids de la pièce
- De la précision et de la qualité de surfaces de l'ébauche.

Calcul du Poids de la pièce brute :

$$P = V_b \times \rho$$

V_b : le volume de la pièce brute.

Calcul du poids du demi-boitier :

$$D = 330\text{mm} \quad L = 140\text{mm} \quad \rho = 7.85 \text{ kg/dm}^3$$

Volume de l'ébauche : $V = S \times L$

$$S = \pi \times (D)^2 / 4$$

$$S = 3.14 \times (3,3)^2 / 4 = 8,54 \text{ dm}^2$$

$$V = 8.54 \times 1.4$$

$$V = 11.956 \text{ dm}^3$$

$$P = V \times \rho = 8.54 \times 7.85 = 67 \text{ kg}$$

- Le poids de la pièce brute = 67kg
- Le poids de la pièce finie = 50 kg
- Le poids gagné pour une seule pièce = poids de la pièce brute – le poids de la pièce finie

$$= 67 - 50 = 17 \text{ Kg}$$

III.8 Traitement thermique proposé :

III.8.1 Recuit complet :

Ce traitement consiste à chauffer l'acier à une température appropriée et à traverser ensuite le domaine de transformation par un refroidissement lent effectué de préférence dans le four ou toute autre installation bien isolée thermiquement. Le refroidissement lent se poursuit généralement aux basses températures. Le but du recuit peut affiner le grain, adoucir l'alliage, d'améliorer l'usinabilité.

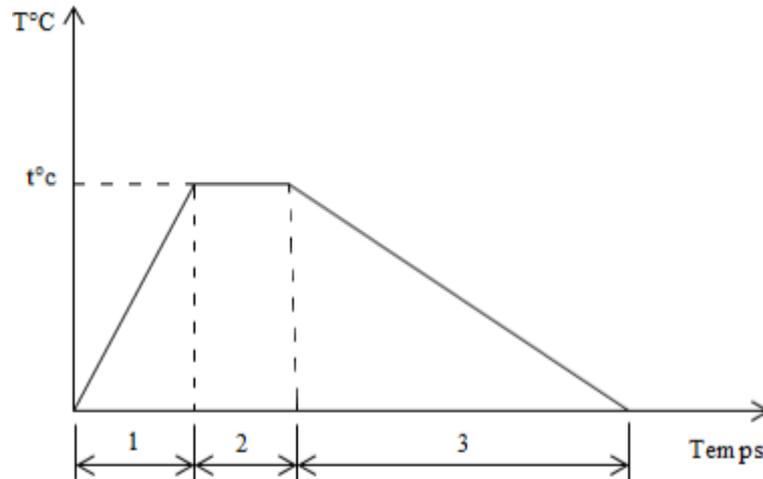


Figure III. 19 Cycle de recuit

III.8.2 Traitement thermique superficiel :

Les traitements thermiques superficiels sont des techniques de traitement thermique d'un matériau visant à conférer à certaines pièces mécaniques des caractéristiques mécaniques différentes à cœur ou en surface. En effet, dans de nombreux cas, les pièces mécaniques sont soumises à des sollicitations de type :

- Usure
- Frottement
- Fatigue
- Corrosion

Ces phénomènes sollicitent les couches externes qui nécessitent parfois des traitements, dont il existe plusieurs types.

1) Définition de la trempe superficielle :

C'est un traitement thermique réalisé en surface. La trempe est réalisée localement sur une mince couche superficielle maximum 3 mm toute en laissant intacte la couche sous-jacente.

2) Les avantages de la trempe superficielle :

- Augmentation de la dureté de la couche superficielle.
- Amélioration de la résistance de la couche superficielle.
- Amélioration de la limite de l'usure de la couche superficielle

III.9 La gamme d'usinage :

- Calcul du régime de coupe :

Dressage ébauche :

Choix de l'outil : outil adresser en carbure.

Choix de la l'avance : $f=0.8\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=2\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $v_c=130\text{m/min}$.

Calcul de nombre de tour N ;

$$N=1000*v_c/\pi*d$$

$$N=1000*130/3.14*330$$

$$N=125.45 \text{ tr/min.}$$

Nombre de tour corrigé $N=130 \text{ tr/min}$

Calcul de la vitesse de coupe ;

$$VC=\pi*d*n/1000$$

$$VC=3.14*330*130/1000$$

$$VC=134.706 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 130 \times 0.8 = 104 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L=l_u + l_{eng} + l_{deg}$$

$$L=119+2=121\text{mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=121/104=1.16\text{min}$$

l_u : la longueur à usiner.

l_{eng} : l'engagement.

l_{deg} : dégagement.

A : l'avance

N_c : nombre de tour corrigé.

Tournage :**Chariotage ébauche :**

Choix de l'outil : outil à charioter en carbure.

Choix de l'avance : d'après le tableau $F=0.8\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=1.6\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=130\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*130/3.14*310$$

$$N=133.55$$

Nombre de tour Corrége $N=150\text{ tr/min}$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c=\pi*d*n/1000$$

$$V_c=3.14*310*150/1000$$

$$V_c=146.01\text{m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A=N \times f=150 \times 0.8=120\text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L=l_u+l_{eng}+l_{deg}$$

$$L=119+2=121\text{mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=121/120=1.01\text{min}$$

Chariotage en finition :

Choix de l'outil : outil à charioter en carbure.

Choix de l'avance : d'après le tableau $F=0.8\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=0.18\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=150\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*150/3.14*246$$

$$N=194.18984\text{tr/min}$$

Nombre de tour Corrége $N=150\text{ tr/min}$.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c=\pi*d*n/1000$$

$$V_c = 3.14 * 246 * 150 / 1000$$

$$V_c = 115.866 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 150 \times 0.8 = 120 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg}$$

$$L = 101 + 2 = 103 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = L / A = 103 / 120 = 0.85 \text{ min}$$

Perçage :

Choix de l'outil : foret Ø13 en ARS

Choix de l'avance : d'après le tableau $F_z = 0.13 \text{ mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p = 13 \text{ mm}$.

Choix de la vitesse de coupe : d'après le tableau : $V_c = 20 \text{ m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N = 1000 * v_c / \pi d$$

$$N = 1000 * 20 / 3.14 * 13$$

$$N = 489.95$$

Nombre de tour Corrége $N = 500 \text{ tr/min}$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \pi * d * n / 1000$$

$$V_c = 3.14 * 13 * 500 / 1000$$

$$V_c = 20.41 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 500 \times 0.13 = 65 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg}$$

$$L = 119 + 2 = 121 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = L / A = 121 / 65 = 1.85 \text{ min}$$

Alésage :

⇒ Pour Ø210

Choix de l'outil : outil à aléser en carbure.

Choix de l'avance : d'après le tableau $F = 0.5 \text{ mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p = 1.5 \text{ mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=18\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*18/3.14*210$$

$$N=27.29\text{tr/min}$$

Nombre de tour Corrège $N=32\text{ tr/min}$.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c=\pi*d*n/1000$$

$$V_c=3.14*32*210/1000$$

$$V_c=21.1008\text{m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 32 \times 0.5 = 16 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L=lu + leng +ldeg$$

$$L=5+2=7\text{mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=7/16=0.43\text{min}$$

⇒ Pour $\varnothing 212$

Choix de l'outil : outil à aléser en carbure.

Choix de l'avance : d'après le tableau $F=0.5\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=1.5\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=18\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*18/3.14*212$$

$$N=27.04\text{tr/min}$$

Nombre de tour Corrège $N=32\text{ tr/min}$.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c=\pi*d*n/1000$$

$$V_c=3.14*32*212/1000$$

$$V_c=21.30176\text{m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 32 \times 0.5 = 16 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L=lu + leng +ldeg$$

$$L=88+2=90\text{mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=90/16=5.6\text{min}$$

⇒ Pour Ø230

Choix de l'outil : outil à aléser en carbure.

Choix de l'avance : d'après le tableau $F=0.5\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=1.5\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=18\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*18/3.14*230$$

$$N=24.92\text{tr/min}$$

Nombre de tour Corrége $N=32\text{ tr/min}$.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c=\pi*d*n/1000$$

$$V_c=3.14*32*230/1000$$

$$V_c=23.11\text{m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A=N \times f=32 \times 0.5=16\text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L=l_u+l_{eng}+l_{deg}$$

$$L=5+2=7\text{mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=7/16=0.43\text{min.}$$

Taillage :

Régime débauche :

Choix de l'outil : fraise a coteau DTS

Choix de l'avance : d'après le tableau $F=0.17\text{mm/tr}$.

Choix de la profondeur de passe $a_p=3.375\text{mm}$.

Choix de la vitesse de coupe $V_c=25\text{m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*25/3.14*196$$

$$N=40.62\text{tr/min}$$

Nombre de tour Corrège N=50 tr/min.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \pi \cdot d \cdot n / 1000$$

$$V_c = 3.14 \cdot 50 \cdot 196 / 1000$$

$$V_c = 30.772 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f \times Z = 50 \times 0.17 \times 58 = 493 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg}$$

$$L = 26 + 2 = 28 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = L / A = 26 / 493 = 0.05 \text{ min}$$

Frisage :

Perçage :

Choix de l'outil : foret Ø14 débouchent.

Choix de l'avance : d'après le tableau F=0.6mm/tr.

Choix de la vitesse de coupe $V_c = 20 \text{ m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N = 1000 \cdot v_c / \pi d$$

$$N = 1000 \cdot 20 / 3.14 \cdot 14$$

$$N = 454.95 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour Corrège N=500 tr/min.

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \pi \cdot d \cdot n / 1000$$

$$V_c = 3.14 \cdot 500 \cdot 14 / 1000$$

$$V_c = 21.980 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 500 \times 0.6 = 300 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg}$$

$$L = 119 + 2 = 121 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = L / A = 121 / 300 = 0.40 \text{ min}$$

Pour Ø 8.5 :

Choix de l'outil : foret Ø6.8en ARS

Choix de l'avance : $f= 0.2$ mm/tr

Choix de la profondeur de passe : $a_p= 3$ mm

Choix de la vitesse de coupe : $V_c= 20$ m/min

Calcul de nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*20/3.14*6.8$$

$$N=936.76\text{tr}/\text{min}$$

Nombre de tour corrigé : $N_c = 800$ tr/min.

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 800 \times 0.2 = 160\text{mm}/\text{min}$$

Taraudage :

Choix de l'outil : Taraud M08 et Taraud M12

Choix de l'avance : f taraudage= pas du filet

Φ vis	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
Pas	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5

Tableau III. 1 : les pas pour les diamètres des vis les plus courantes

f taraudage(1)= 1.25 mm/tr

f taraudage(2)= 1.75 mm/tr

Pour M08 :

Choix de la vitesse de coupe : 10 m/min

Calcul du nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*10/3.14*10$$

$$N=318.47\text{tr}/\text{min}$$

Nombre de tour corrigé : $N=320$ tr/min

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 320 \times 1.25 = 400 \text{ mm}/\text{min}$$

Temps de coupe :

$$L= l_u + l_{eng} + l_{deg} = 25 + 2 + 2 = 29 \text{ mm}$$

$$T_t=T_c=L/A=29/400=0.06\text{min}$$

Pour M12 :

Choix de la vitesse de coupe : 10 m/min

Calcul du nombre de tour N :

$$N=1000*v_c/\pi d$$

$$N=1000*12/3.14*12$$

$$N=324.32\text{tr/min}$$

Nombre de tour corrigé : $N=320 \text{ tr/min}$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 320 \times 1.75 = \mathbf{400} \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

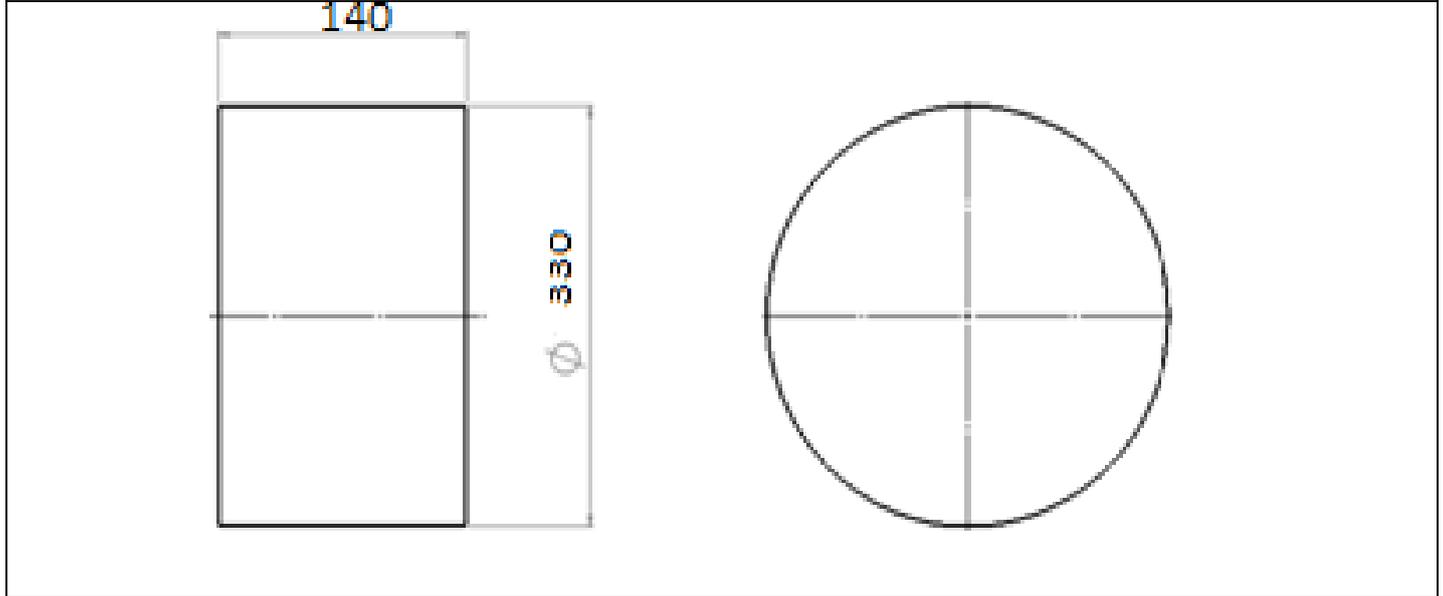
$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 25 + 2 + 2 = 29 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = L/A = 29/400 = 0.06\text{min}$$

Contrat de phase N°100	Ensemble : Accouplement AFG 40
	Elément : BOITIER
	Matière : 35NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire

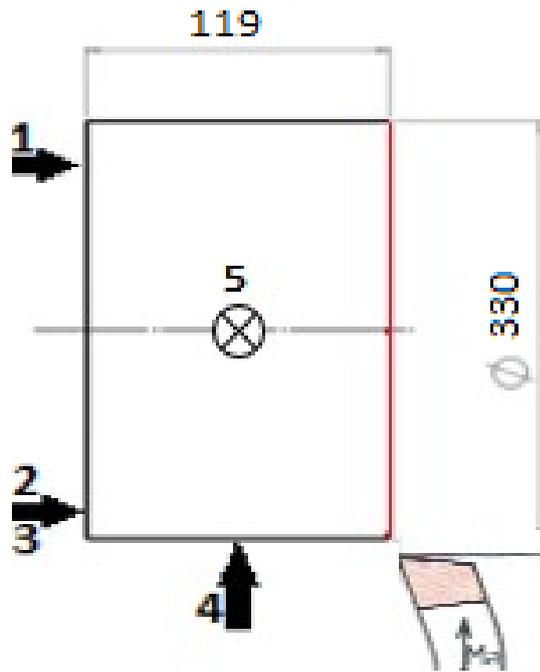
Désignation : atelier de contrôle

Machine-outil : poste de contrôle



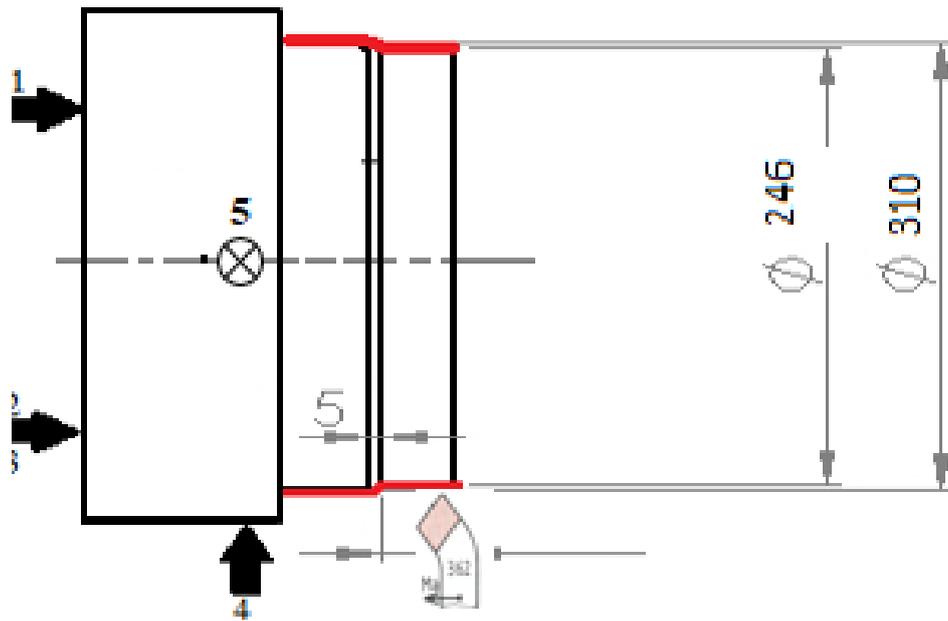
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
Contrôle de La Pièce brute forgée	Pied à coulisse + règle	/	/	/	/	/

Contrat de phase N°200 Sous phases :210	Ensemble : Accouplement AFG40
	Elément : Boitier
	Matière : 35NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire
Désignation : Tournage (dressage)	
Machine-outil : Tour parallèle 1M63B	



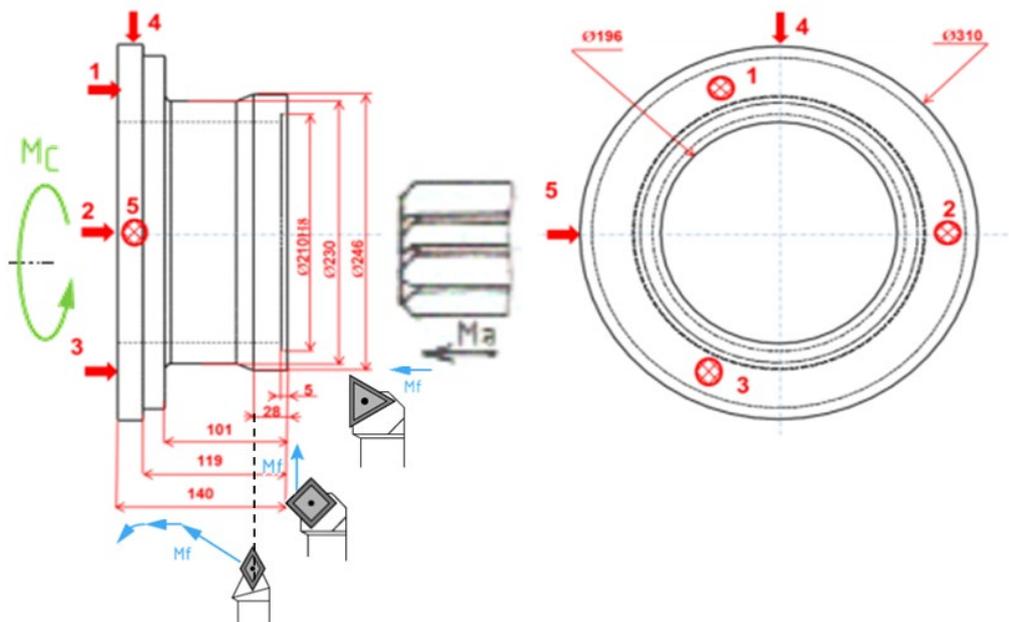
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap	f	V	N	Tm
		m	mm/tr	m/m	Tr/m	
Dresser la face	Montage en l'air					
	-montage mandrin trois mors -outil à dresser en carbure -control pied à coulisse	2	0.8	134.70	130	1.16

Contrat de phase N°200 Sous phases :211	Ensemble : Accouplement AFG40
	Elément : Boîtier
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire
Désignation : tournage (chariotage)	
Machine-outil : tour parallèle 1M63B	



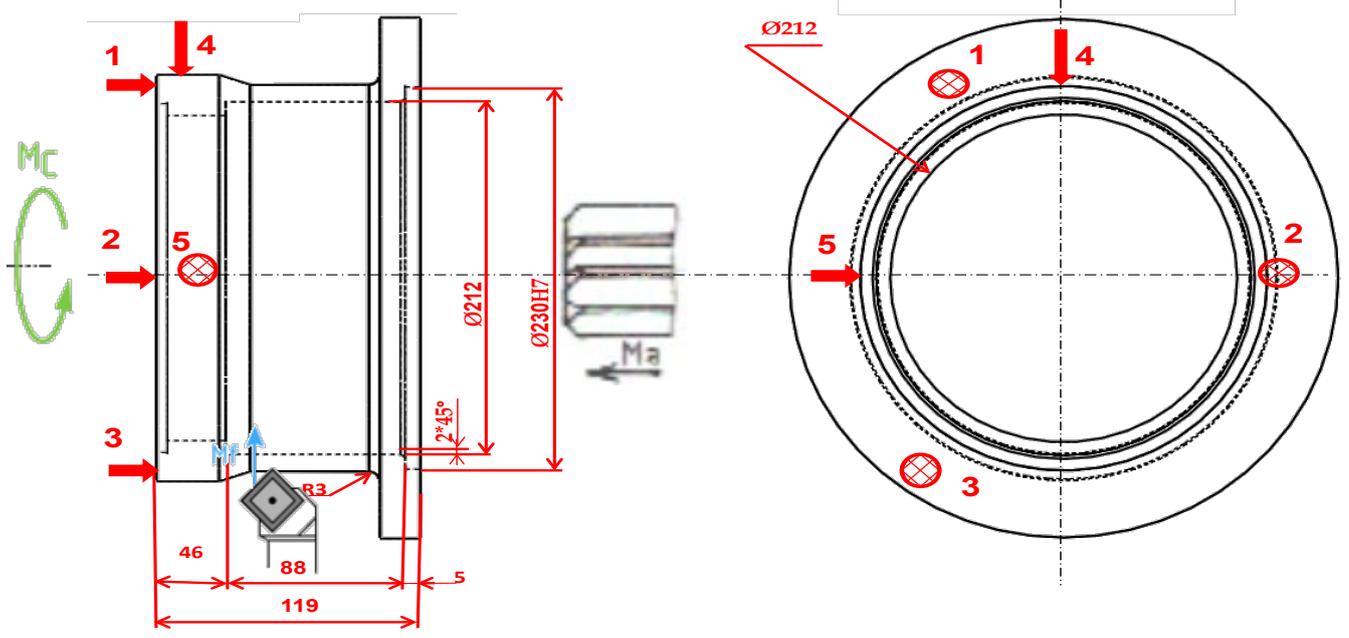
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap	F	V	N	Tm
		m	mm/tr	m/m	Tr/m	mn
-Charioter Ø310mm ; L=119mm -Charioter Ø246 ; L=101mm avec chanfrein $\alpha = 1.5 \times 45^\circ / \text{Ø } 310$	Montage en l'air -outil à charioter.	1.	0.	146.	15	1.0
		6	8	44	0	1
		0.1	0.8	115.	25	0.8
		8		55	0	5

Contrat de phase N°200 Sous phases:212, 213, 214	Ensemble : Accouplement AFG40
	Elément : Boitier
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire
Désignation : tournage	
Machine-outil : tour parallèle 1M63B	



Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap	f	V	N	Tm
		m	mm/tr	m/m	Tr/m	mn
--Charioter Ø310mm ; L=119mm -Charioter Ø246mm ; L=101mm ; +chanfrein=1.5×45°/Ø310 - A L=42 Réaliser une Gorge (Ext) Ø230 ; B=59 ; R=5 -à L=28 / 246 ; Réaliser chanfrein =14*29°.44 ; R=5 - Percer et aléser Ø196±0,3 ; débouchant - Aléser ø210H8 +0,072 ; L=5	Montage en l'air	1.	0.	144.	20	1.0
	-outil à charioter en carbure	5	8	44	0	1
	- Outil de Gorge	0.1	0.0	115.	250	0.8
	- à charioter	8	8	55		5
	- à charioter				500	
- à dresser						
-alésoir		13	0.13	20.41	32	1.85
		1.5	0.5	21.10		0.43

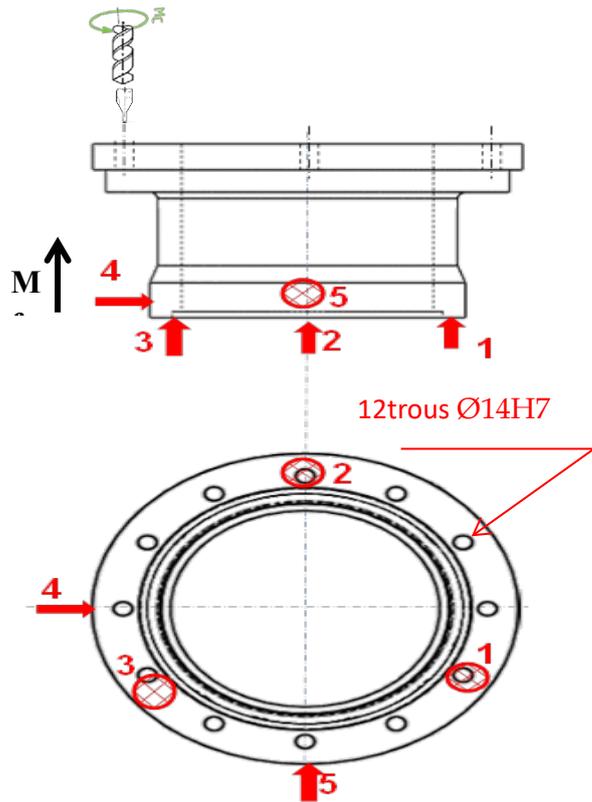
Contrat de phase N°200 Sous phases :220	Ensemble : Accouplement AFG40
	Elément : Boitier
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire
Désignation : tournage	
Machine-outil : tour parallèle 1M63B	



Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/ mm	N Tr/m m	Tm mn
-Mise longueur=119 -Aléser $\varnothing 212$, L=88 ;R=3 -Aléser $\varnothing 230H7 (+0.046)$ L=5 Chanfrein =2*45°/ $\varnothing 212$;L=46	Montage en l'air					
	- outil à dresser	1.5	0.5	21.64	32	5.6
	- Outil alésoir	1.5	0.5	233.5	32	0.43

Contrat de phase N°300	Ensemble : Accouplement AFG40					
	Elément : Boitier					
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié					
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire					
Désignation : Taillage						
Machine-outil : Tailleuse d'engrenage LS						
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
-Exécuter le Taillage a denture intérieur droit M=3.5;Z=58;dp=203;h=7 ; Da=196+0.3 ; b=26	Montage en l'air -outil pignon	3.3 75	0.1 7	30.7 7	50	0.0 5

Contrat de phase N°400 Sous phases :410	Ensemble : Accouplement AFG40
	Elément : Boitier
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire
Désignation : fraisage	
Machine-outil :	



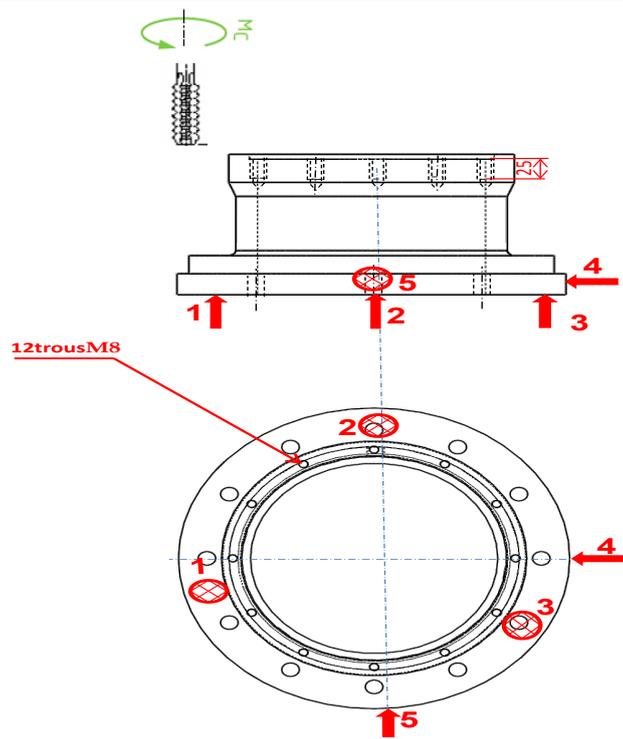
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
--Brider la pièce -percer 12 trous ø14H7 débouchant sur la face A ; L'entraxe ø265	-forêt perçage	/	0.6	20	50 0	0.4 0

Contrat de phase N°400 Sous phases :430	Ensemble : Accouplement AFG40					
	Elément : Boitier					
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié					
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire					
Désignation : fraisage						
Machine-outil :						
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
-Percer (1) Trou $\varnothing 11.75$ Débouchant dans l'alésage						

Contrat de phase N°500	Ensemble : Accouplement AFG 40
	Elément : Boitier
	Matière : 35 NCD16 Acier faiblement allié
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire

Désignation : Taraudage

Machine-outil :



Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap m m	f mm/ tr	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
Tarauder 12 trous M8 ; L=25 -Tarauder (02) trous M12 Débouchant -Tarauder (01) trou 1/4G Débouchant	taraud	/	/	/	/	/

Contrat de phase N°600	Ensemble : Accouplement AFG 40					
	Elément : Boitier					
	Matière : 35NCD16 Acier faiblement allié					
Nom : SERRADJ Amira	Programme : unitaire					
Désignation : traitement thermique						
Machine-outil : trempe superficielle						
Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	ap mm	f mm/t r	V m/m m	N Tr/m m	Tm mn
Réaliser le traitement thermique superficiel : la dureté 43 HRS Trempe + revenu à 500 °C	/	/	/	/	/	/

Conclusion générale

Conclusion

L'aptitude à l'usinage d'un matériau peut s'apprécier par certaines caractéristiques à partir d'essais instrumentés. La connaissance de celles-ci permet de concevoir ou d'améliorer les gammes d'usinage, de choisir la matière la mieux adaptée à la pièce à réaliser, d'assurer un meilleur suivi de matière, de réduire le nombre de non-conformités, d'obtenir de nouvelles productions ainsi que de réduire les coûts de production et de maintenance des outils.

Le stage pratique nous a permis de sélectionner la pièce « Demi-Boitier », qui fait partie d'un organe de transmission (réducteur) au niveau des Ateliers Maghrébins de Mécanique (AMM) du complexe Sider-El-Hadjar.

Nous avons choisi cette pièce, car son processus de fabrication coïncidait avec le séjour de notre stage. Malgré nous n'avons pas suivi toutes les étapes de sa fabrication, mais nous avons recueilli les informations les plus importantes appartenant à la pièce.

On a proposé aux AMM d'utiliser la technique de forgeage à matrices, car celle-ci représente une solution permettant un gain considérable en matière première et en temps d'usinage.

Références bibliographiques :

- [1] : M. Tchadja Kagnaya, contribution à l'identification des mécanismes usure d'un WC-6%Co en usinage et par une approche tribologique et Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des mines de paris.
- [2] : René Kamguem, inspection automatique et sans contact de la rugosité des pièces usinées. Thèse par articles présentée à l'école de technologie supérieure université de québec.
- [3] : Bougheloum Oussama, Étude et contribution à l'élaboration d'une gamme de fabrication (d'un moyeu / Frette) d'un accouplement Zapex 220, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2020.
- [4] : Gaëtan Albert, identification et modélisation du torseur des actions en fraisage, Thèse de doctorat, école doctorale des sciences physique et l'ingénieur.
- [5] : Salhi Ryad, Analyse et amélioration de la gamme d'usinage du demi-boitier d'un organe de transmission, Mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [6] : R. Butin, M. Pinot, « Fabrication Mécanique Technologie, Tome 3 », Foucher, Paris.
- [7] : Gilles Prod'Homme, « Commande Numérique des Machines-Outils », Technique de l'Ingénieur, Traité Génie Mécanique, B 7130, pp.3, 1997.
- [8] : D. Veeramani, Y. Gau, « Technologie de la Machine-outil », éd. CIP Tram élan, 1997.
- [9] : makerslide-machine.com
- [10] : A. Touine, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [11] : Rocdacier, « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011.
- [12] : R. Mohammad, Etude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec. Mise en place de critères d'aide à la décision du changement de plaquette. Application au cas de l'ébauche de turbines de pompage. Thèse de doctorat de l'université de toulouse.
- [13] : Alexandre Toumine, « Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [14] : Alain Passeron, « Tournage », Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [15] : M. Rahou, F. Sebaa, Automatisation des Instruction d'Usinage Cas Paramètres de Coupe, Mémoire de Master Université, Abou Baker Belkaid, Tlemcen, 2007.
- [16] : J.P. Corde bois, Coll, Fabrication Par Usinage, DUNOD, Paris 2003.
- [17] : « Cours de Fabrication », Génie Mécanique, 2005
- [18] : Fabrication Mécanique - Cours gratuit de génie mécanique.
<https://fabrication1.blogspot.com/2013/05/generalite-sur-lusinage.html>
- [19] : université lille1 – préparation de production en productique mécanique- étude de fabrication et Analyse d'usinage («3pm-EFAU)

Annexe

-Tableau des conditions de coupe en tournage pour différents nuances :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Tournage d'Extérieur				Tournage Filetage	
		Acier Rapide		Carbure		Acier Rapide	Carbure
	Avance f en mm/tr	0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet	
P	Acier Non Allié	50	40	250	200	35	120
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130	20	80
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100	15	60
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120	20	75
M	Acier inoxydable	25	20	150	130	20	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60	20	30
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80	15	40
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70	25	40
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400	150	230
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200	90	110
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100	45	60
Vitesse de coupe Vc en m/min							

- Tableau des conditions de coupe en fraisage pour différents nuances :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Fraisage				Fraisage filetage
		Acier Rapide		Carbure		Carbure
	Avance f en mm/dent/tour	0.03 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet
P	Acier Non Allié	50	40	140	120	150
	Acier Faiblement Allié	30	25	100	80	130
	Acier Fortement Allié	20	15	80	70	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	90	80	120
M	Acier inoxydable	20	15	100	90	150
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	100	90	120
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	80	70	100
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	40	35	100	90	120
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	500	400	300
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	300	200	250
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	80	100
Vitesse de coupe Vc en m/min						

- Tableau des conditions de coupe en perçage pour différents nuances :

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 Sphéroïdale (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 V_c en m/min				

- Tableau des conditions de coupe en alésage pour différents nuances :

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 V_c en m/min				