

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



UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER (LMD)

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie mécanique professionnel (Productive).
(GMp).

Thème

CONCEPTION ET FABRICATION MECANIQUE (CFM)
D'UN OUTIL PELLE (OUTIL DE TOURNAGE)
INCORPRE DANS FABRICATIO MECANIQUE.

Réalisé par :

- ZOUAOUI Oualid
- MAACHE Fares

Soutenu le : Juillet 2021, devant le Jury composé de :

Membres de jury :

- Mr. Chitour Mourad / Président.
- Mr. Ghelani Laala / Encadreur
- Mr. Khadraoui Fayçal / Co-encadreur.
- Mr. Berkia Abdelhak / Examineur.

2020-2021

Dédicace

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم
"ربّ أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت عليّ وعلى والدي وأن أعمل صالحا
ترضاه"

*À la science,
À nos parents,
À nos familles,
À nos amis.*

ZOUAOUI OUALID

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم
"ربّ أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت عليّ وعلى والدي وأن أعمل صالحا
ترضاه"

Je dédie ce modeste travail à:

- ✓ *Mon père et ma mère.*
- ✓ *Toute ma famille.*
- ✓ *Mes amis et mes collègues d'étude.*

*A tout ceux qui ont été à mes coté dans les
moments.*

MAACHE FARIS

Remerciements

Remerciement

*Notre remerciements avant, après, et à l'infini **DIEU** de nous entouré*

De ses grâce et claire de ses lumière, et nous avoir donné la patience,

Le courage, pour établir ce modeste travail.

Nous remercions chaleureusement notre cher encadreur et

Enseignant : Mr : Dr. GhELANIlaala

Nous remercions chaleureusement notre cher co-encadreur et

Enseignant : Mr : Dr. FAYCEL khadraoui

*Nous tenons à remercier l'enseignant : Dr. ABBOUDI Abdelaziz,
CHITOUR Mourad*

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à

Mr le directeur général de l'ECMK d'avoir accepté de nous recevoir, tous les cadres et employés du bâtiment 07.

Enfin, nous remercions tout ce qui, de près ou de loin, nous a soutenu et aider à réaliser ce travail et effectuer ce stage.

*Nous tenons également à remercier et à montrer toute la gratitude
"GENIE MECANIQUE"*

Nous remercions tous ceux qui méritent d'être cités sur cette page.

Sommaire

Liste des figures	1
Introduction générale	1
Chapitre I : Différents procédés de fabrication mécanique.	
I Introduction	2
II Type de fabrication mécanique	2
II.1 Obtention par enlèvement de matière.....	2
II.1.1 Tournage	3
II.1.1.1 Principe de tournage	3
II.1.2 Fraisage	4
II.1.2.1Fraiseuses	4
II.1.2.2Définition	5
II.1.2.3Principe de travail	6
II.1.2.4Modes de fraisage	6
(a) Fraisage de face	6
(b) Fraisage de profil.....	6
(c) Fraisage en opposition.....	7
(d) Fraisage en concordance ou « en avalant »	7
II.1.3 Perçage	8
II.1.3.1Principe de travail	8
II.1.4 Brochage	8
II.1.4.1 Utilisation du procédé de brochage	9
II.1.5 Rectification	10
II.1.5.1 Structure de la rectifieuse	10
II.1.5.2 Principe de la rectification.....	11
II.1.5.3 Principe et fonctionnement.....	11
II.1.6 Électroérosion	12
II.1.6.1Principe.....	12
II.2 Obtention sans enlèvement de matière	13
II.2.1 Obtention par déformation	13
II.2.1.1 Forgeage.....	13
II.2.1.1.1 Principe de forgeage	13
II.2.1.1.2 Machine de forgeage	14
II.2.1.2 Laminage	14
II.2.1.3 L'emboutissage	15
II.2.1.4 Estampage et matriçage	15
II.2.1.5 Extrusion	16
II.2.2 Obtention par fusion (moulage)	17
II.2.3 Obtention par frittage	18
II.2.3.1 Différents types de frittage	19
II.2.4 Obtention par assemblage	19
II.2.4.1 Définition de l'assemblage	19
II.2.4.2 Types d'assemblages	20
a) Assemblage complet ou partiel.....	20
b) Assemblage démontable ou non démontable	20

c) Assemblage élastique ou rigide	20
d) Assemblage par obstacle ou par adhérence	20
e) Assemblage direct ou indirect.....	21
II.2.4.3 Différent procédé d'Assemblage	21
a) Soudage.....	21
b) Collage.....	22
c) Rivetage	22
d) Agrafage	23

Chapitre II : Etude et conception des outils de tournage

I) Introduction	25
II) Généralité	25
1) Le tournage.....	25
2) Principe de tournage.....	25
III) Machine-outil	26
1) Classification des machines de tour	26
(a) Les tours parallèles à charioter et à fileter.....	26
(b) Les tours à copier	26
(c) Les tours semi-automatiques	26
(d) Les tours automatiques	27
(e) Les tours automatiques multibroches.....	27
(f) Les tours à commande numérique.....	27
2) Type de montage de la pièce en tournage	27
IV) Tournage de pièces métalliques	28
1) Différent formes de tournage	29
1) Tournage extérieur	29
2) Tournage intérieur.....	29
2) Les opérations de base en tournage.....	30
1) En chariotage	30
2) En dressage	30
3) En combinant	30
4) Enfin	30
3) Principaux usinages réalisables sur un tour.....	32
(a) Chariotage	32
(b) Dressage	33
(c) Chanfreinage	33
(d) Centrage	34
(e) Perçage	34
(f) Alésage	34
(g) Rainurage	35
(h) Tronçonnage	35
(i) Filetage et taraudage.....	36
(j) Tournage de forme	36

V) Les outils de coupe	36
1) Éléments d’outil	36
2) Modélisation de l’outil	37
3) L’outil de coupe	37
4) Matériaux de la partie active des outils	38
5) Géométrie de l’outil de coupe en tournage	39
6) Plans remarquables de l’outil	39
7) Plans de l’outil	39
a.1- Plans de l’outil en main	39
a.2- Plans de l’outil en travail	40
8) Angles de l’outil	41
9) Catégories des outils de coupe en tournage	42
1) Classification des outils de coupe (tournage).....	42
10) Différentes opérations d'usinage et leur type d'outils.....	42
VI) Matériaux pour outils de coupe	44
1) Matériaux utilisés	45
1) Aciers rapides	45
2) Carbures métalliques	46
3) Céramiques.....	46
4) Cermet	46
5) Le nitrure de bore cubique (CB)	47
6) Les diamants poly-cristallins (CD)	47
VII) Coupe des métaux.....	47
1) Définitions	47
2) Phénomènes physiques en usinage.....	47
3) Principe de la coupe des métaux	48
VIII) Paramètres techno-économiques d'usinage	49
1) Temps d'usinage	49
2) Coût d'usinage	50
3) Durée de vie d’un outil de coupe	50
IX) Mécanisme d’usure	52
(a) Processus d’abrasion	52
(b) Processus d’adhésion.....	52
(c) Processus de fissuration	53
2) Différents types d’usure de l’outillage	53
1) Usure en dépouille.....	53
2) Usure en entaille	54
3) Usure en cratère.....	55
4) Ecaillage de l’arête de coupe	55
5) Arêtes rapportées	56
6) Déformation plastique	57
7) Fissurations de l’arête de coupe ou usure en peigne	57
X) Dépendance entre l'usure et le temps	58

XI) Affûtage	59
1) Machine d'affûtage	59
XII) Outil de forme	60
1) Outil pelle.....	60
Chapitre III : Gamme d'usinage et modélisation numérique.	
Introduction	62
Description d'un outil pelle.....	62
Arête et faces de coupe et dépouille	62
Etapas de réalisation l'outil pelle.....	63
Dessin de définition.....	63
Gamme d'usinage	64
Etapas de réalisation d'un outil	64
Dessin (SolidWorks)	65
Introduction.....	65
Mise en plan	65
Caractéristiques d'un outil pelle	65
Abaques.....	65
Introduction.....	65
Principes de base de l'analyse.....	66
Contraintes de Von Mises	67
Simulation de l'outil (étude statique)	67
Maillage.....	68
Chargement de l'outil pelle	68
Résultats et discussion	69
Contraintes selon ZZ.....	69
Contraintes selon YY	70
Contraintes selon XX.....	70
Contraintes selon ZY	71
Contraintes selon ZX.....	71
Contraintes selon YX.....	72
Discussion.....	72
Conclusion Générale	73
Bibliographie.....	75
Annexes.....	80

Chapitre I : Différents procédés de fabrication mécanique.

Figure I.1 : Procédure de tournage	4
Figure I.2 : Fraiseuse universelle	5
Figure I.3 : Principe de fraisage	5
Figure I.4 : Schéma de fraisage de face	6
Figure. I.5 : Fraisage de profil	6
Figure. I.6 : Fraisage combiné	7
Figure I.7 : Fraisage en opposition	7
Figure I.8 : Fraisage en avalant	8
Figure I.9 : Schéma de perçage.....	8
Figure I.10 : Représentation les type (formes) d'outils de brochage	9
Figure I.11 : Rectifieuse plane.....	10
Figure I.12 : Rectifieuse cylindrique	11
Figure I.13 : Principe de rectification.....	11
Figure I.14 : Principe de l'usinage par électroérosion [10].	12
Figure I.15 : Forgeage libre	13
Figure I.16 : Réalisation d'un brut en forge libre	13
Figure I.17 : Pièces forgées	13
Figure I.18 : Presse hydraulique	14
Figure I.19 : Pièce d'acier en cours de Laminage	15
Figure I.20 : laminage des poutrelles.....	15
Figure I.21 : Principe de l'emboutissage [18].....	15
Figure I.22 : Principe de L'Estampage	16
Figure I.23 : Schématisation du processus d'extrusion	16
Figure I.24 : Procédé de Fonderie	17
Figure I.25 : Forme d'un moule à joint horizontal	18
Figure I.26 : Représentation schématique du processus de fabrication de la céramique	18
Figure I.27 : Les différents types de frittage	19
Figure I.28 : Schéma d'assemblage par soudage	21
Figure I.29 : Schéma d'assemblage par collage	22
Figure I.30 : Schéma d'assemblage par rivets.....	23
Figure I.31 : Schéma d'une agrafeuse manuelle professionnelle	23

Chapitre II : Etude et conception des outillages de tournage.

Figure II.1 : Procédure de tournage	26
Figure II.2 : Montage en lunette	28
Figure II.3 : Usinage externe sur tour.....	29
Figure II.4 : Principales opération de tournage interne sur tour.....	30

Figure II .5 : Opérations de base en tournage [9].	31
Figure II .6.A : Opérations de contournage	32
Figure II .6.B : travail d'enveloppe	32
Figure II .6.C : travail de forme	32
Figure II.7 : Schéma représenté l'opération de chariotage	33
Figure II.8 : Schéma d'élaboration de dressage.....	33
Figure II.9 : Opération de Chanfreinage.....	33
Figure II.10 : Opération de centrage.....	34
Figure II.11 : Opération de perçage.....	34
Figure II.12 : Schéma de réalisation d'un alésage.....	35
Figure II.13 : Schéma montré l'opération de rainurage.....	35
Figure II.14 : Opération de tronçonnage	35
Figure II.15 : Opération de filetage.....	36
Figure II.16 : Tournage de forme.	36
Figure II.17 : Caractéristiques géométriques de l'outil [12].....	37
Figure II.18 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage	37
Figure II.19. a : Choix d'un matériau d'outil	38
Figure II.19.b : Choix d'un matériau d'outil	38
Figure II.20 : Les plans caractéristiques de l'outil en A	39
Figure II.21 : Plans sur un outil en main	41
Figure II.22 : Angles du taillant (outil en main)	41
Figure II.23 : Différentes opérations d'usinage et leur type d'outils	43
Figure II.24 : Géométrie de la formation d'un copeau.	49
Figure II.25 : Critère d'usure VB	51
Figure II.26 : Processus d'usure par abrasion	52
Figure II.27 : Processus d'usure par adhésion	52
Figure II.28 : Usure en dépouille (abrasion).....	54
Figure II.29 : Usure en entaille (adhérence).	54
Figure II.30 : Usure en cratère (chimique).	55
Figure II.31 : Usure mécanique (Ecaillage).....	56
Figure II.32 : Usure par adhérence (Arête rapportée).....	56
Figure II.33 : Usure thermique (déformation plastique).....	57
Figure II.34 : Usure en peigne	58
Figure II.35 : Courbe d'usure par apport le temps.....	58
Figure II.36 : Affûteuse universelle.....	59
Figure II.37 : Outil pelle avec plaquette abrasée 3D	60
Figure II.38 : Schéma montré l'opération de rainurage. (pièce-outil pelle).	60

Chapitre III : Gamme d'usinage & modélisation numérique de l'outil pelle étudiée.

Figure III.1 : Schéma descriptive d'un outil de tour (Arête et faces de coupe et dépouille)	63
Figure III.2 : Schéma descriptive le Profil de l'outil de tour (outil pelle).....	63

Figure III.3 : Débitage de la matière première ((a) corps +(b) Partie active avec plaquette abrasé).	64
Figure III.4 : Outil pelle réalisée par SolidWorks.	67
Figure III.5 : Forme de maillage de l’outil pelle de tour	68
Figure III.6 : Mode de chargement.....	68
Figure III.7 : Influence des contraintes sur l’outil pelle.	69
Figure III.8 : Contraintes selon plan ZZ	69
Figure III.9 : Contraintes selon plan YY	70
Figure III.10 : Contraintes selon plan XX	70
Figure III.11 : Contraintes selon plan ZY.....	71
Figure III.12 : Contraintes selon plan ZX.....	71
Figure III.13 : Contraintes selon plan YX	72

Introduction générale

Introduction générale

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans une fourchette de tolérance donnée. D'un point de vue économique, le secteur industriel de l'usinage a une importance non négligeable puisqu'il produit environ 2,5 % du produit national brut d'un pays développé. L'usinage concerne au premier chef les matériaux métalliques et la plupart des objets métalliques d'utilisation courante ont subi une ou plusieurs opérations d'usinage. Ces opérations s'insèrent dans la succession des opérations de mise en forme à deux niveaux principalement soit comme opération de :

- Découpe d'une ébauche destinée à être laminée, forgée, emboutie...
- Mise à la cote de pièces préalablement moulées, frittées, embouties, ou assemblées par soudage ;

Elles peuvent alors précéder ou suivre des traitements thermiques et/ou de surface Il faut noter qu'une catégorie importante (d'un point de vue industriel et économique) de pièces usinées, avec très souvent de grandes difficultés techniques, est constituée des outillages de mise en forme. Lors de la conception d'une pièce, le constructeur doit veiller à ce que ses différentes formes soient réalisables afin éviter, plus tard, toute complication. De ce fait, la connaissance des différents procédés de fabrication qui existent se montre nécessaire. Le choix de la technique dépend, de la complexité de la pièce, les matériaux utilisés, le temps de réalisation, le coût de fabrication...etc.

Notre objectif, en procédant à ce travail, est d'utiliser les moyennes possibles pour la conception et la réalisation d'une fraise cylindrique 2T à queue conique , nous avons proposé une gamme d'usinage développée, à l'aide des mesures expérimentales fiable basé sur des logiciels numériques, Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur « CFAO » et des Machines-Outils à Commande Numérique «MOCN» [0].

Ce manuscrite est divisé en trois chapitres :

- Le 1^{er} chapitre : donne une idée générale sur les différents procédés d'usinage mécanique et rappels sur les notions de base de la fabrication mécanique ;
- Le 2^e chapitre : est réservé à l'étude approfondie des techniques de tournage, la géométrie ; la conception d'une fraise, et leur endommagement.
- Le 3^e chapitre donne une présentation générale de la gamme d'usinage et le profil des contraintes de **Von mises** appliquées sur l'arrête tranchante de **l'outil de tour(outil pelle)** considérée. Cette recherche sera parachevée par une conclusion générale.

Chapitre I :
Différents procédés de fabrication
mécanique.

I Introduction

Le mode est en évolution perpétuelle et par conséquent le domaine de la fabrication mécanique n'échappe pas à l'exception. Les procédés de fabrication par enlèvement de matière et sans enlèvement de matière par ses nouvelles techniques et techniques d'usinage ont permis de prendre le pas avec les autres domaines de fabrications [00].

La fabrication mécanique a une grande importance dans le domaine économique, elle participe à l'amélioration et au développement d'un pays et au développement des moyens de production locaux.

L'obtention des formes requises d'une pièce par enlèvement de matière est encore à ce jour le procédé de fabrication le plus répandu. Malgré les progrès réalisés par les procédés de mise en forme des matériaux (formage, fonderie...). L'usinage se révèle nécessaire pour l'obtention des produits finaux. L'objectif principal de l'usinage est l'augmentation du taux de productivité par la diminution du temps et du coût de production. Pour atteindre cet objectif on utilise les méthodes d'optimisations [1].

II Type de fabrication mécanique

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

Dans ce chapitre en va citer deux types procédés de fabrication mécanique

- Obtention par enlèvement de matière.
- Obtention sans enlèvement de matière.

II.1 Obtention par enlèvement de matière.

La mise en forme par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou coupe de matière et qui occupe une place de première importance en construction mécanique et dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité du travail réalisé.

L'usinage par enlèvement de matière consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement du métal à froid et sans déformation en utilisant un outil. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe.

L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

L'évolution des machines-outils et l'outil de coupe ont permis d'améliorer leur rendement, leur sécurité, leur rigidité, leur dynamique (vitesse, accélération), leur puissance, et leur productivité.

Dans une première partie, les bases essentielles en usinage sont de définir les différents modes obtention de pièces mécaniques. Comme on l'a présenté auparavant, il existe trois principaux types (tournage ; fraisage et rectification) dont deux qui mettent en jeu des outils de coupe à partir active possédant un à plusieurs arêtes tranchantes, par contre le troisième procédé il met en action un outil abrasif (meule).

Donc les types de solutions se présentent :

- Tournage
- Fraisage
- Brochage
- Rectification
- Électroérosion

II.1.1 Tournage

Le tournage est le procédé d'usinage qui permet l'obtention de pièces de révolutions (de forme cylindrique ou/et conique) à l'aide d'outils tranchants sur des machines appelées les tours.

II.1.1.1 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 (**Figure I.1**). 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) [2].

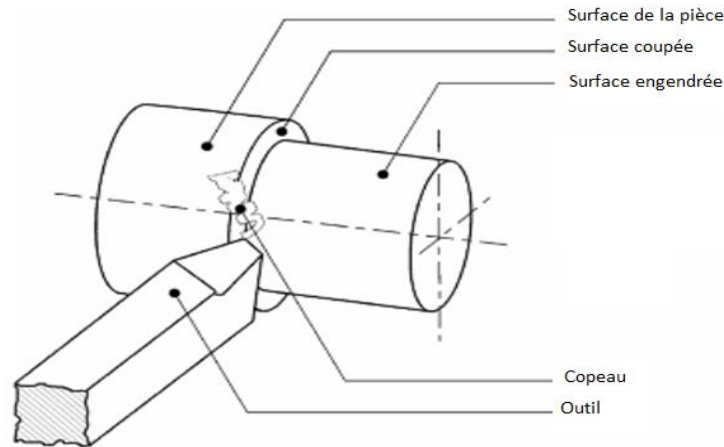


Figure I.1 : Procédure de tournage [2].

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 [3].

- $N = V_c / (\pi \cdot \phi)$ **I.1**

- $V_f = N \times f$ **I.2**

- ϕ : l'angle de direction d'avance.

II.1.2 Fraisage

II.1.2.1 Fraiseuses

Les fraiseuses servent 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 [4]. 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. (**figure I.2**). 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.) [5].

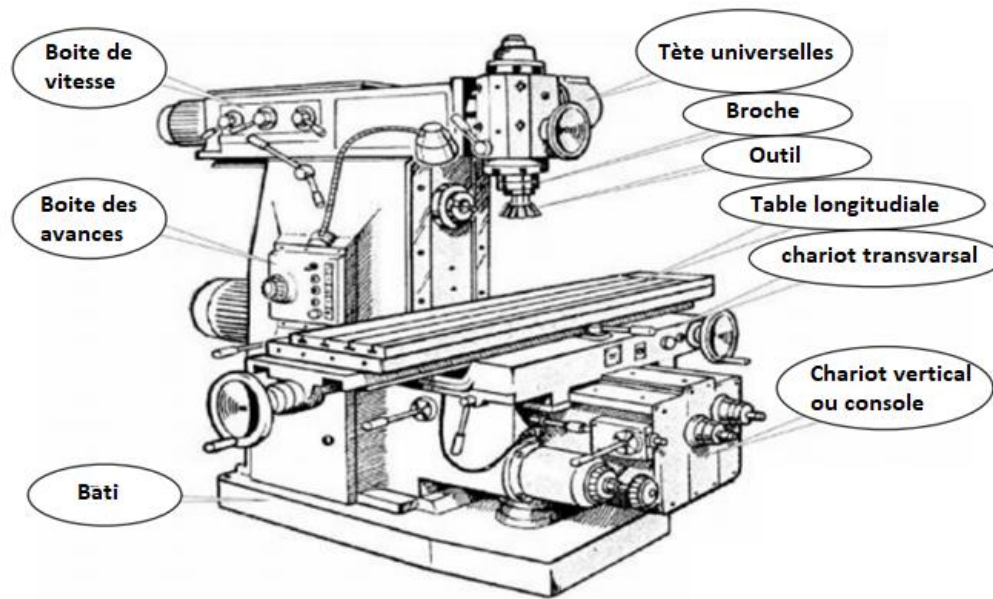


Figure I.2 : Fraiseuse universelle [6].

II.1.2.2 Définition

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière. Il est caractérisé par le recours à une machine-outil appelée fraiseuse et l'utilisation d'un outil de coupe spécial (à arêtes multiples) appelé fraise (**figure I. 3**). La fraiseuse est particulièrement adaptée à l'usinage des surfaces plates et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tout type de formes mêmes complexes. La coupe en fraisage s'effectue habituellement avec des dents placées sur le périphérique et / ou sur l'extrémité d'un disque ou d'un cylindre [7].

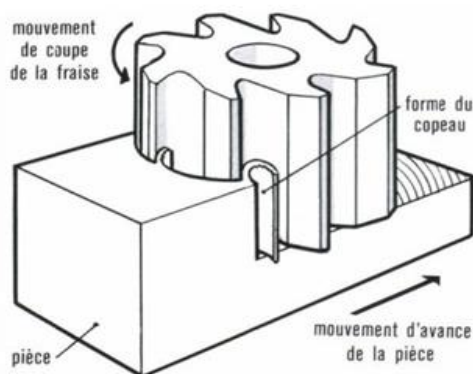


Figure I. 3 : Principe de fraisage.

II.1.2.3 Principe de travail

Lors d'une opération de fraisage, l'enlèvement de la matière – sous forme de copeau – résulte de la combinaison de deux mouvements : le mouvement de rotation de l'outil sur son axe d'une part et le mouvement d'avance de la pièce suivant trois axes orthogonaux d'autre part [7].

II.1.2.4 Modes de fraisage

On distingue deux modes : le fraisage de face et le fraisage de profil.

(a) Fraisage de face

Dans ce mode, l'axe de la fraise est perpendiculaire au plan fraisé (**figure I.4**). C'est un procédé d'obtention des surfaces planes où l'on ne retrouve aucune trace de la forme de la génératrice de la fraise. Ce mode de fraisage est également appelé « fraisage en bout » [7].

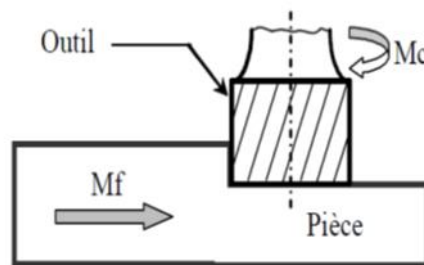


Figure I.4 : Schéma de fraisage de face.

(b) Fraisage de profil

Dans ce mode, la génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée (**figure I.5**). C'est un procédé d'obtention des surfaces planes où quelconques dans des positions diverses. Ce mode de fraisage est également appelé « fraisage en roulant » [7].

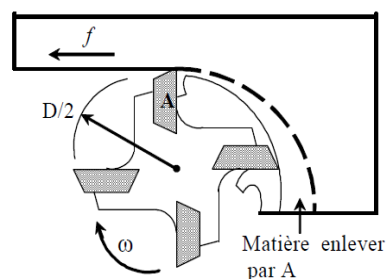


Figure. I.5 : Fraisage de profil.

On peut également effectuer un fraisage combiné, c'est-à-dire de face et de profil en même temps. C'est le cas des fraises 2 tailles, 3 tailles, travaillant simultanément en bout et en roulant : c'est le fraisage combiné (**figure. I.6**)[7].

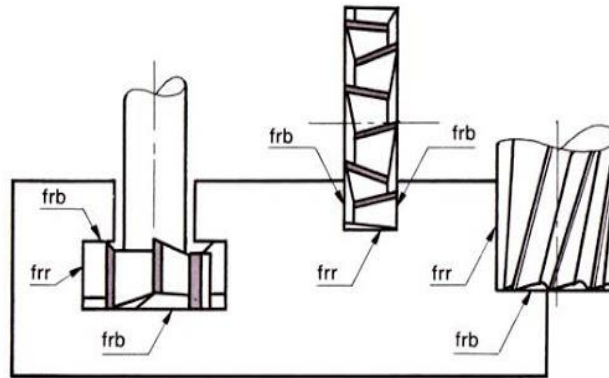


Figure. I.6 : Fraisage combiné.

Lors d'une opération de fraisage de profil et selon le sens de rotation de l'outil par rapport à la pièce, Il existe deux manières de procéder :

(c) Fraisage en opposition

La direction d'avance de la pièce est à l'opposé du sens de rotation de la fraise dans la zone de coupe. L'épaisseur des copeaux est nulle au départ, puis maximale à la fin de la passe (**figure I.7**).

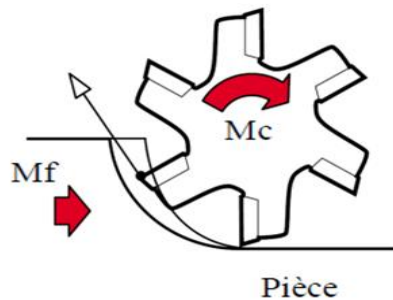


Figure I.7 : Fraisage en opposition.

(d) Fraisage en concordance ou « en avalant »

Dans le cas de fraisage en avalant, la direction d'avance est la même que le sens de rotation de la fraise. L'épaisseur de copeau va donc diminuer jusqu'à être égale à zéro à la fin de la passe (**figure I.8**) [7].

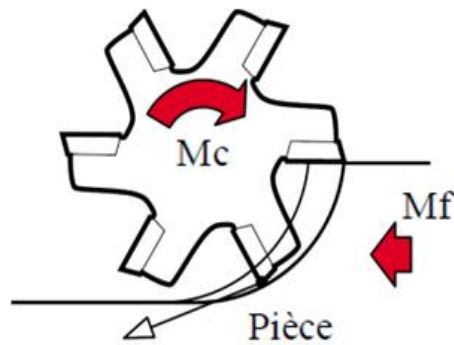


Figure I.8 : Fraisage en avalant.

II.1.3 Perçage

Le terme de perçage regroupe toutes les méthodes ayant pour objet d'exécuter des trous cylindriques dans une pièce avec des outils de coupe par enlèvement de copeaux (**figure I.9**). En plus du perçage de trous courts et du forage de trous profonds, ce concept inclut également diverses opérations d'usinage consécutives, telles que brochage, alésage, réalésage et certaines formes de finition comme le calibrage et le galetage [7].

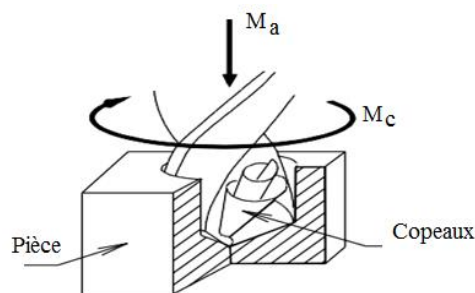


Figure I.9 : Schéma de perçage .

II.1.3.1 Principe de travail

L'enlèvement de la matière lors de l'opération de perçage s'effectue par la combinaison d'un mouvement rotatif et d'un mouvement d'avance linéaire. Pour le perçage de trous courts sur les machines conventionnelles, ce double mouvement de rotation et d'avance est donné à l'outil. Mais l'utilisation de tours universels CN et CNC à toute fois conduite à recourir de plus en plus fréquemment à la combinaison d'une pièce en rotation et d'un foret qui ne tourne pas [7].

II.1.4 Brochage

Le brochage est un procédé d'usinage qui consiste à enlever la matière par coupe à l'aide d'un outil à dents multiples étagées qui se déplace parallèlement à la surface à usiner. L'outil utilisé est appelé broche et la machine est appelée brocheuse. L'opération de brochage

est effectuée généralement en une seule passe rectiligne dans laquelle sont incluses les opérations d'ébauche et de finition. Le temps de coupe est relativement court. Les broches sont des outils de formes constituées d'une série de dents travaillant successivement, chaque dent à son arête de coupe décalée de la précédente d'une distance de l'épaisseur du copeau. le brochage permet d'effectuer tous les usinages intérieurs à cannelures, les rainures de clavettes, etc., et même les rainures hélicoïdales ainsi que des profils extérieurs l'ensemble des dents génère le profil fini à partir du profil brut, par le passage de la broche, au travers de la pièce (broche d'intérieur) ou devant la pièce (broche d'extérieur) suivant le mouvement de coupe rectiligne.

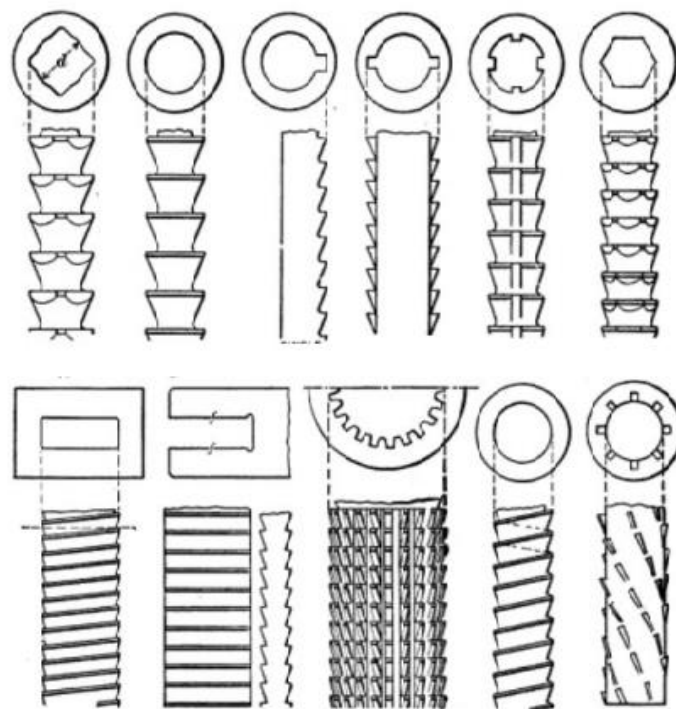


Figure I .10 : Représentation les type (formes) d'outils de brochage.

II.1.4.1 Utilisation du procédé de brochage

Le brochage n'est souvent envisagé en dehors de l'industrie automobile, que pour résoudre des problèmes de rainures de clavettes ou de cannelures. Cependant il offre par rapport aux autres méthodes d'usinage de nombreux avantages. L'opération de brochage est une opération d'un coût unitaire faible. Les frais d'outils et d'outillages sont peu élevés pour le brochage intérieur et relativement plus important pour le brochage extérieur. Cependant ils sont rapidement amortis dès que les séries atteignent quelques milliers de pièces [8].

II.1.5 Rectification

La rectification est un procédé d'usinage à enlèvement de copeaux. Il se fait par un outil rotatif à tranchants multiples appelé meule (bande abrasive) constituée de particules coupantes agglomérées par un liant, chaque particule enlève un petit copeau quand l'une de ses arêtes se présente sur la pièce. Il s'agit de rectifier donc d'approcher une surface d'une forme parfaite (en général : plan, cylindre de révolution ou cône). Cette opération se fait généralement à grande vitesse ou le copeau est de très petite section, il n'est pas tranché mais gratté. L'amélioration de l'état de surface est obtenue en utilisant des abrasifs de plus en plus fins. L'opération de rectification se réalise sur une machine dite, rectifieuse [8]. Ces trois techniques sont des techniques de finition des pièces, par abrasion (ou meulage), jusqu'à l'obtention de surfaces en « poli miroir ». L'état de surface obtenu est excellent (rugosité de l'ordre de $Ra = 0,1 \mu\text{m}$) et la précision des cotes aussi (de l'ordre de $1 \mu\text{m}$) [9].

II.1.5.1 Structure de la rectifieuse

Selon les besoins industriels et les tâches de chaque pièce mécanique, les rectifieuses sont aussi nommées selon le type de tâche qu'elles accomplissent. Les plus couramment utilisées sont :

- Rectifieuse plane **figure. I.11** ;
- Rectifieuse cylindrique **figure. I.12**. [9].

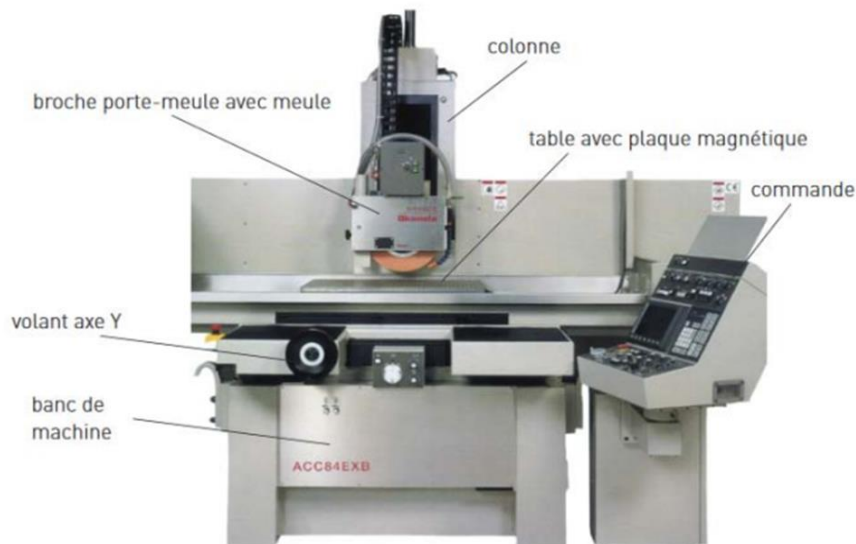


Figure I .11: Rectifieuse plane.

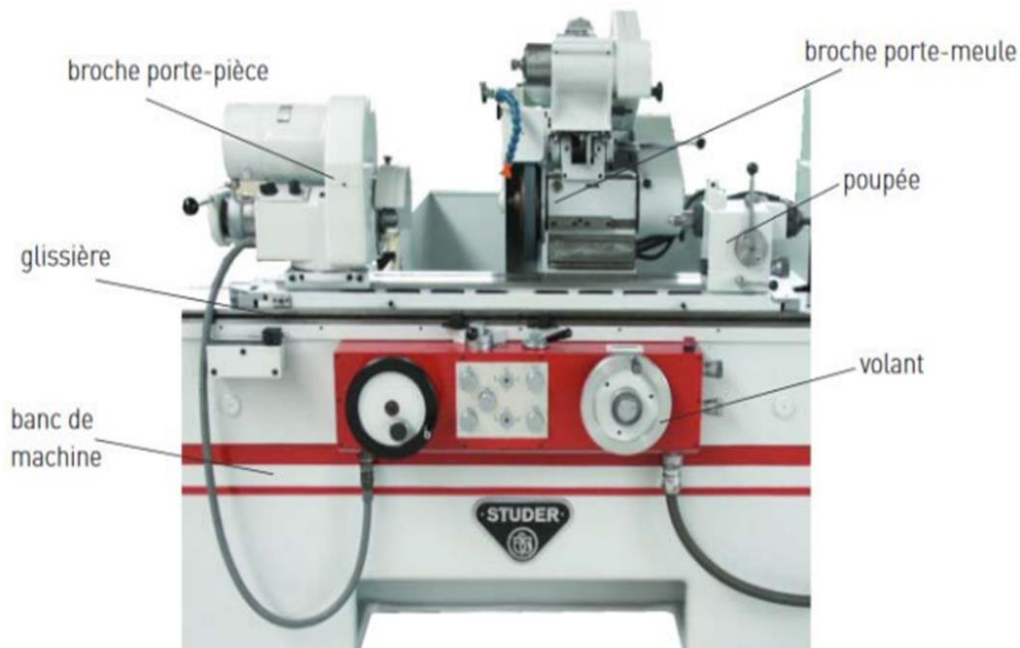


Figure I .12: Rectifieuse cylindrique

II.1.5.2 Principe de la rectification (figure I.13)

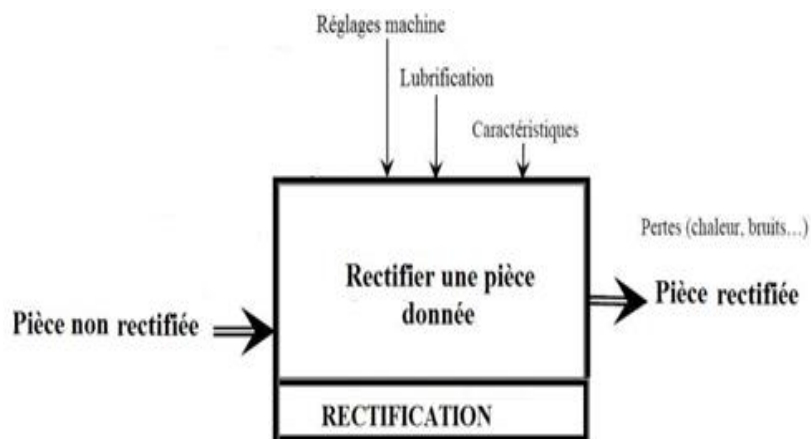


Figure I.13 : Principe de rectification.

II.1.5.3 Principe et fonctionnement

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

II.1.6 Électroérosion

II.1.6.1 Principe

L'enlèvement de matière est obtenu par des décharges électriques entre une électrode pièce et une électrode-outil [9]. L'électroérosion est un procédé d'enlèvement de matière permettant d'usiner tous types de matériaux à condition qu'ils puissent conduire l'électricité : la seule condition à assurer étant la création d'un canal de plasma entre les électrodes. Des matériaux conducteurs, semi-conducteurs (silicium), ou peu conducteurs (céramiques telles que : Si_3N_4 -TiN [9]) peuvent être mis en œuvre. La création d'un canal de plasma, entre l'outil et la pièce, parcouru par un courant électrique important entraîne la fusion de la matière aux extrémités de la pièce et de l'outil. L'extinction du plasma provoque l'éjection de la matière en fusion, le creusement de la pièce, ainsi que l'usure de l'outil. En multipliant le nombre de décharges tout en déplaçant l'outil par rapport à la pièce, on parvient à creuser celle-ci de manière importante. Pour favoriser un rythme régulier de décharges, l'entrefer est maintenu sous un flux de liquide diélectrique, dont le renouvellement permet l'évacuation des débris de matières ré-solidifiés après l'éjection. La qualité des décharges dépend en effet de la valeur de l'entrefer et de son état physique, notamment du recouvrement du caractère isolant du liquide. [10]

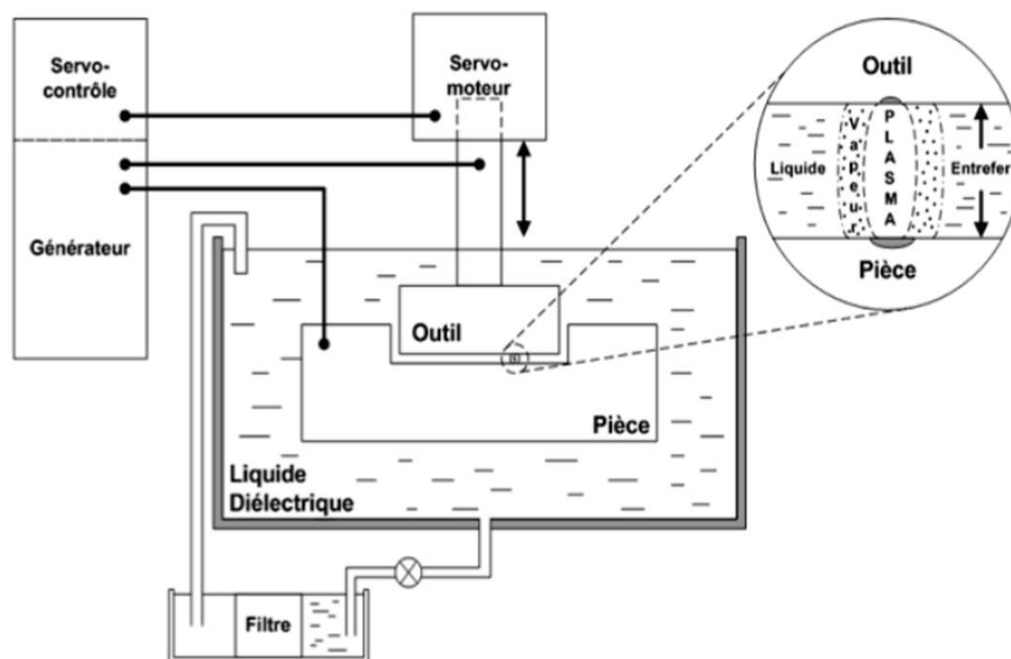


Figure I .14: Principe de l'usinage par électroérosion [10].

II.2 Obtention sans enlèvement de matière

II.2.1 Obtention par déformation

II.2.1.1 Forgeage

Le forgeage est un procédé de mise en forme par déformation plastique, il consiste à déformer les pièces à chaud sous l'effet de forces extérieures, avec des outils généralement très simples [12].

II.2.1.1.1 Principe de forgeage

Le forgeage consiste à exercer un effort important sur un lopin de métal chauffé ou non pour le contraindre à prendre la forme désirée. On distingue plusieurs techniques : estampage, matriçage, extrusion, laminage, forgeage libre. Le principal avantage du forgeage sur les autres techniques est d'améliorer les caractéristiques mécaniques du métal mis en œuvre. En effet Sous l'effet de la pression, les particules de métal vont se déformer et les « grains » de matière vont s'orienter suivant certaines directions. Il en résulte un fibrage de la pièce forgée, qui aura donc de meilleures caractéristiques dans ces directions, notamment une meilleure tenue en fatigue (efforts alternés et répétés) [13]. Les différentes techniques de forgeage influencent toute la mise en forme. En effet, le type de procédé conditionne la vitesse de déformation, la température de la billette et les cadences de production. On retrouve ainsi le forgeage par estampage, par matriçage, par emboutissage, par extrusion, laminage et la forge libre [14].

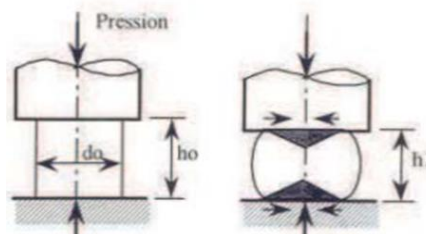


Figure I .15 : Forgeage libre [15].



Figure I .16: Réalisation d'un brut en forge libre. Figure I .17: Pièces forgées [13].

II.2.1.1.2 Machines de forgeage

En considère trois types de machine :

- Presses hydrauliques.
- Presses mécaniques ;
- Presses à vis [15].

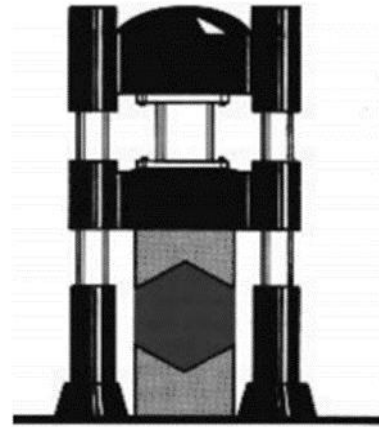


Figure I .18: Presse hydraulique [15].

On retrouve ainsi le forgeage par estampage, par matriçage, par emboutissage, par extrusion, laminage et la forge libre.

II.2.1.2 Laminage

Le laminage consiste à réduire progressivement l'épaisseur d'un bloc de métal chauffé en le faisant passer entre deux rouleaux. Suivant les profils à réaliser le métal chauffé va passer dans une série de plusieurs laminoirs (jusqu'à plus de 30) dans lesquels la section va être progressivement réduite, et la vitesse accélérée (jusqu'à plus de 100m/s en sortie). Cette technique est utilisée pour la réalisation de tôles, poutrelles et fils en très grande quantité [16].

Il est à noter que le laminage peut s'effectuer à chaud ou à froid selon la nature et le profil du produit fini. Le laminage à froid (100 à 200°C) est généralement réservé aux produits plats tels que tôles d'acier doux de petite épaisseur. Tandis que, le laminage à chaud s'effectue par le passage du métal dans un four de réchauffage (plus de 1300 °c pour l'acier) et est acheminé [17].

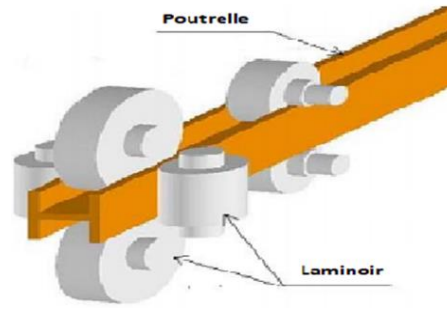


Figure I .19 : Pièce d'acier en cours de Laminage. **Figure I .20 :** laminage des poutrelles.

II.2.1.3 L'emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique des métaux, cette déformation consiste en un allongement ou un rétrécissement local de la tôle, cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle mince appelée flan en une pièce de forme bien déterminée à l'aide d'un outillage simple (Un poinçon, une matrice et un serre flan) et avec une application d'une pression maîtrisée [18].

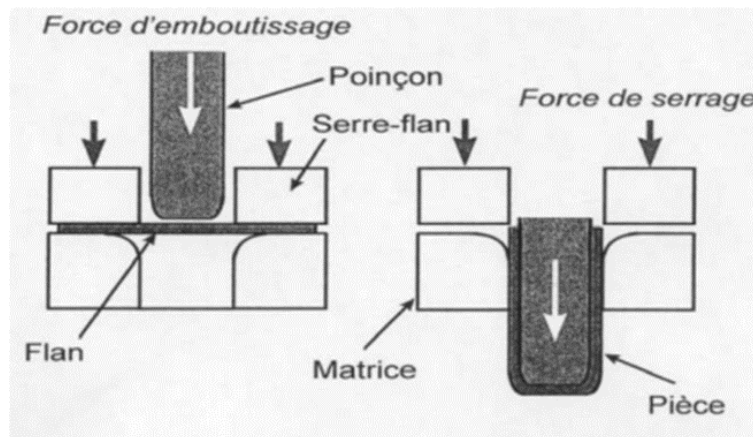


Figure I .21: Principe de l'emboutissage [18].

II.2.1.4 Estampage et matriçage

L'estampage est le forgeage mécanique des aciers, tandis que le matriçage est le forgeage mécanique des métaux non ferreux. Un lopin de métal chauffé et calibré (avec des dimensions précises) se déforme pour remplir les deux demi-empreintes de deux matrices appliquées l'une contre l'autre sous l'action d'une forte pression ou d'une série de chocs.

Employé pour les fabrications de série. Le loin de départ est comprimé entre deux matrice de manière à remplir les empreintes (appelées gravures). Suivant la complexité de la pièce, la déformation et réaliser en une ou plusieurs passes [19].

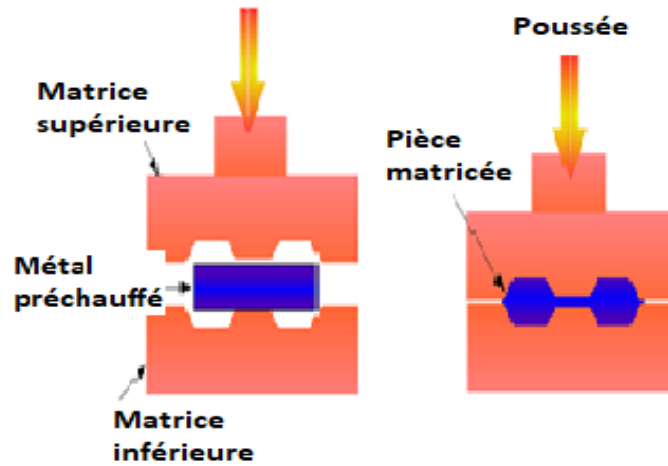


Figure I .22: Principe de L'Estampage [19].

II.2.1.5 Extrusion

L'extrusion est le procédé de transformation d'un matériau se trouvant sous des formes diverses, en un produit continu de section transversale bien définie. Cette section, généralement constante est obtenue en obligeant la matière à s'écouler dans un orifice de forme adaptée au profil final souhaité. La filière dans laquelle le matériau est poussé peut avoir plusieurs formes, en fonction de la section que l'on veut obtenir. L'extrusion est très utilisée pour l'aluminium. Dans ce cas, le matériau sous forme de billette est chauffé entre 450° et 500 °C avant d'être poussé dans l'orifice de la filière par le piston [20].

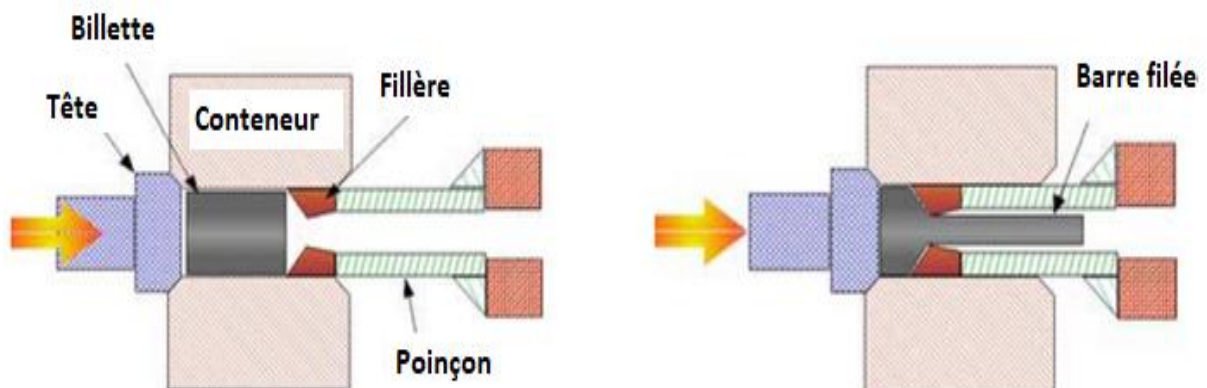


Figure I .23 : Schématisation du processus d'extrusion [21].

II.2.2 Obtention par fusion (moulage)

Les pièces et organes constituant les machines proviennent de sources diverses de fabrication tels que forgeage, usinage, fonderie etc.

La technique de fonderie est la plus souvent utilisée car elle est non seulement économique mais :

- Elle permet de produire des pièces de formes complexes difficilement réalisables par usinage ou par d'autres procédés.
- La série des pièces est identique.
- Obtention de pièces massives telles que bâtis, volants etc.



Figure I .24: Procédé de Fonderie.

Le procédé de moulage ou fonderie permet de réaliser des pièces métalliques brutes. Il consiste à réaliser des pièces par coulée du métal en fusion dans un moule qui comporte l'empreinte de la pièce à obtenir, le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule.

Il existe principalement deux techniques de moulage : en sable ou métallique

Les moules peuvent être :

- Permanent ;
- Non permanent [21].

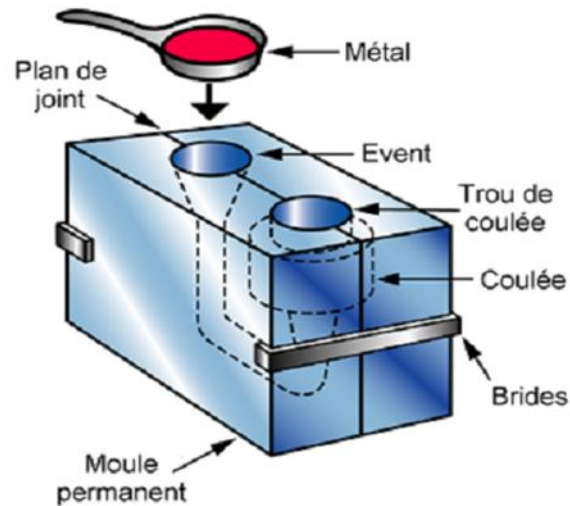


Figure I .25 : Forme d'un moule à joint horizontal.

II.2.3 Obtention par frittage

Le frittage, terme générique englobant tous les processus physiques permettant le passage d'un matériau pulvérulent à un matériau ayant une certaine tenue mécanique, peut dans certains cas, s'établir naturellement, sans l'action d'une contrainte extérieure, simplement par augmentation de la température. Le cycle d'élaboration d'une céramique est représenté schématiquement dans la (**Figure I .26**).

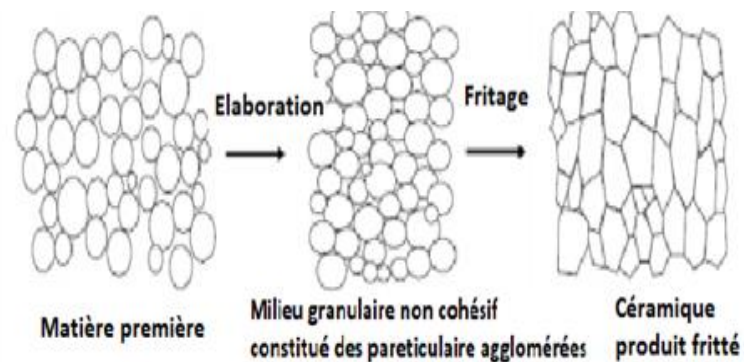


Figure I .26 : Représentation schématique du processus de fabrication de la céramique [22].

Le frittage peut être décrit comme étant la consolidation par action de chaleur d'un agglomérat granulaire plus ou moins compact, avec ou sans fusion d'un ou plusieurs constituants. La microstructure des poudres compactées varie pendant cette opération. Une densification est caractérisée par une diminution de la porosité qui se traduit par un retrait

volumique et une croissance de la taille des grains Au cours du traitement, si l'agitation thermique est suffisante pour permettre la diffusion de la matière, deux phénomènes coexistent simultanément : le soudage des grains et le grossissement, responsable de la réduction de surface. Les deux types de frittage les plus utilisés sont :

- Frittage en phase solide (conventionnel)
- Frittage en phase liquide [22].

Pour qu'on puisse faire évoluer un système, il faut absolument lui fournir de l'énergie. Cette énergie sert à activer le transport d'atomes par diffusion qui aboutit à une diminution de l'enthalpie. En d'autre termes cette énergie est moteur des mécanismes de frittage et n'est pas d'une seule nature toute au long du processus. On distingue ainsi :

- l'énergie de surface
- l'énergie liée à l'existence d'un gradient de défaut physique ;
- l'énergie liée aux équilibres entre les phases [23].

II.2.3.1 Différents types de frittage

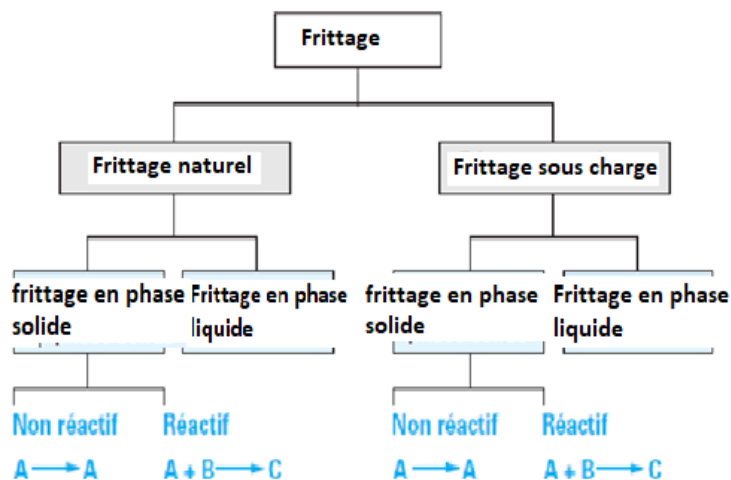


Figure I.27 : Les différents types de frittage [23].

II.2.4 Obtention par assemblage

II.2.4.1 Définition de l'assemblage

Une solution constructive d'assemblage a pour fonction de lier des pièces les unes aux autres, en utilisant différents moyens d'assemblage : par organes filetés, par collage, par soudages ...

Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément les assemblages. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, on assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, sans générer d'efforts parasites. Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale [24].

Fonctions d'assemblage :

Un assemblage est une liaison mécanique qui évite le déplacement relatif entre plusieurs pièces (à l'échelle macroscopique). Cette liaison, au positionnement plus ou moins précis, peut être temporaire ou permanente. L'assemblage permet la transmission des contraintes en supportant différents types (flexion, torsion...) et mode (statique, dynamique, chocs...etc.) de sollicitations. Généralement, c'est au niveau d'un assemblage que la rupture a lieu.

II.2.4.2 Types d'assemblages

On distingue différents types d'assemblage :

a) Assemblage complet ou partiel

- Assemblage complet : aucun mouvement possible entre les pièces assemblées.
- Assemblage partiel : mouvement(s) possible(s) entre les pièces assemblées.

b) Assemblage démontable ou non démontable (permanent)

- Assemblage démontable : il est possible de supprimer la liaison sans détériorer les pièces ou les éléments liés.
- Assemblage non démontable (permanent) : impossible de supprimer la liaison sans provoquer la détérioration des pièces ou des éléments liés.

c) Assemblage élastique ou rigide :

- Assemblage élastique : un déplacement d'une pièce provoque la déformation d'un élément élastique (ressort, caoutchouc).
- Assemblage rigide : l'assemblage n'est élastique dans aucune direction de déplacement.

d) Assemblage par obstacle ou par adhérence

- Assemblage par obstacle : un élément fait obstacle mouvement entre deux pièces.
- Assemblage par adhérence : l'assemblage est obtenu par le phénomène d'adhérence dû au frottement entre les pièces.

e) Assemblage direct ou indirect

- Assemblage direct : la forme des pièces liées sont directement en contact. Il n'y a pas d'élément intermédiaire.
- Assemblage indirect : l'assemblage nécessite un ou des éléments intermédiaires [25].

II.2.4.3 Différent procédé d'Assemblage

II.2.4.3.1 Soudage

Le soudage est un procédé d'assemblage par fusion des parties des deux pièces en contact. Cette mise en fusion est faite par chauffage, par pression, ou par une combinaison des deux. Le soudage par chauffage est la méthode la plus employée aujourd'hui. Le soudage assure la continuité des pièces à assembler contrairement au rivetage, sertissage, collage ou boulonnage qui présentent des discontinuités physiques ou chimiques (**figure I .28**).

Dans le cas particulièrement important des matériaux métalliques, on distingue trois techniques d'assemblages par soudage peuvent être ainsi clairement définies :

- **Soudage** : opération qui consiste à provoquer la fusion de proche en proche des bords des pièces à assembler, généralement de natures très voisines. L'emploi d'un métal d'apport peut être utilisé ;
- **Brasage** : opération qui consiste à assembler deux pièces métalliques de natures identiques ou différentes par capillarité d'un métal d'apport dans un joint à recouvrement. Ce dernier a un point de fusion toujours inférieur à ceux des métaux de base qui ne fondent pas durant l'opération ;
- **Soudobrasage** : technique qui se rapproche du soudage par son mode opératoire (joint réalisé de proche en proche) et du brasage (utilisation de métal d'apport dont le point de fusion est inférieur à ceux des deux métaux de base) [26].

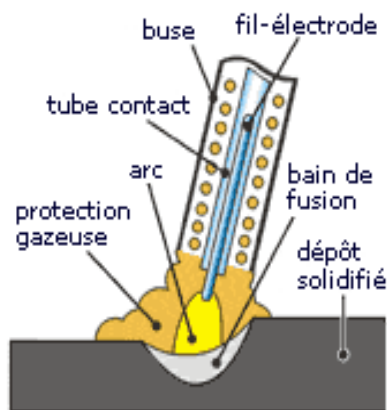


Figure I .28 : Schéma d'assemblage par soudage .

II.2.4.3.2 Collage

On peut définir le collage comme le procédé permettant de maintenir de façon durable et solide deux substrats entre eux. La liaison entre ces deux supports est alors d'origine chimique, et non mécanique. La colle est déposée sur le ou les substrats, Mais pour obtenir de bonnes performances, la colle doit être compatible avec le support. L'adhésion sur un solide fait ainsi intervenir deux notions principales (**figure I .29**) :

- L'interaction liquide solide, qui caractérise l'adhésion ;
- Le mouillage, qui caractérise l'étalement du liquide sur le solide [26].

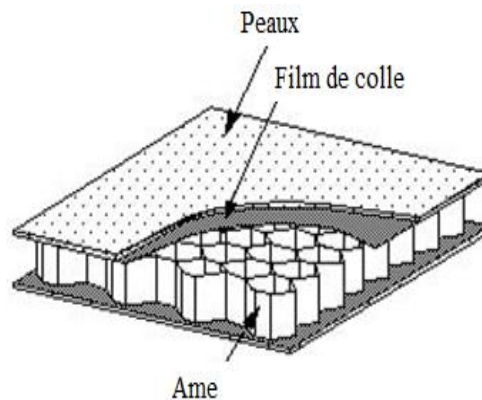


Figure I .29 : Schéma d'assemblage par collage .

II.2.4.3.3 Rivetage

Le rivetage est un assemblage de pièces à l'aide de rivets. C'est un assemblage définitif, c'est-à-dire non démontable sans destruction de l'attache (voir **figure I.30**). Quoiqu'il existe depuis peu un type de rivet imprimant une empreinte hélicoïdale, lors du montage, dans son logement, permettant ainsi un démontage et un remontage ultérieur sans destruction du rivet.

Un autre procédé beaucoup plus élaboré est le rivetage par fluage radial : ce système est de nos jours le plus fiable des assemblages rivetés.

Les avantages du rivetage par rapport aux autres types d'assemblages sont :

- Il n'y a pas de risque de changement de structure de matériau (trempe) comme dans le cas du soudage ;
- Il n'y a pas de retrait ;
- Assemblages rivetés sont faciles et sûres à contrôler et aussi faciles et peu coûteux à réaliser sur chantier, l'assemblage peut être démonté, si besoin, en ôtes les têtes (en détruisant le rivet)[26].

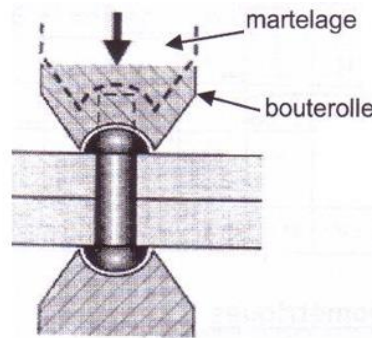


Figure I.30 : Schéma d'assemblage par rivets.

II.2.4.3.4 Agrafage

L'assemblage par agrafe présente une légère précontrainte et est quasiment étanche aux liquides et à l'air. Le pliage s'effectue en trois étapes : à 30°, 75° et 90°. La structure de la surface ne sera pas endommagée et la machine s'adapte automatiquement aux différentes épaisseurs de tôle. Elle permet de façonner les bords des éléments en tôle. Ensuite une tôle assemblée par agrafage sur bords relevés est placée sur l'agrafe. De la sorte on peut assembler au minimum deux pièces l'une avec l'autre (**Figure I.31**) [26].



Figure I.31 : Schéma d'une agrafeuse manuelle professionnelle.

**Chapitre II :
Etude et conception des outils
De tournage.**

I) Introduction

L'usinage c'est l'ensemble des activités et des moyens mis en œuvre pour permettre la création de bien matériels, produire c'est transformer.

L'usinage d'une pièce demandé l'utilisation des machines tel que le tour et fraiseuse qui sont plus employés pour obtenir une pièce selon des normes précises. Cette technique de coupe transforme une partie de la matière noble en copeaux (appelés aussi déchets) qui sont inutilisables, malgré ses défauts elle reste toujours une façon (un procédé) de fabrication importante pour réussir une pièce demandée. Donc l'outil de coupe est un organe de machine-outil qu'en cours d'opération agit directement sur l'ébauche par enlèvement de matière pour produire une surface conforme à celle spécifiée sur le dessin de définition

Ce chapitre présente le cadre général de nos travaux. Il s'agit de fournir au lecteur une vision du contexte dans lequel s'inscrivent ces travaux de thèse, ainsi qu'une première approche de ce qui a été réalisé, alors ce chapitre en va voir la procédé de tournage et étude la conception des outils de tournage (outil pelle).

I) Généralité

1) Tournage

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique [4]. Tournage concerne l'ensemble des opérations réalisées sur des tours.

On réalise par ce type d'usinage toutes les surfaces de révolution, y compris les plans, lorsque la trajectoire du point générateur est située dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Dans le tournage conventionnel les outils de coupe ont une seule arête tranchante. La coupe est obtenue par engagement de cette arête dans la matière

On distingue deux classes distinctes d'opérations de tournage :

- les opérations de tournage extérieur.
- les opérations de tournage intérieur [5].

2) Principe de tournage

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme (M_c) et est généralement tenue par mandrin. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions qui sont perpendiculaires entre elle et 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 broche [5].

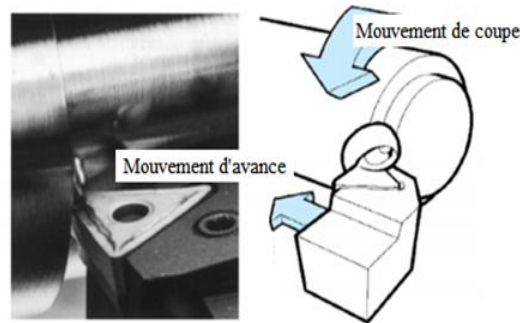


Figure II.1 : Procédure de tournage [5].

II) Machine-outil

Une machine-outil est une machine capable de maintenir un outil et de lui imprimer un mouvement afin de tailler, découper, déformer un matériau. Cette machine peut donc être utilisée comme moyen de production.

1) Classification des machines de tour

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

(a) Tours parallèles à charioter et à 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.

(b) 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.

(c) Tours semi-automatiques

Ce sont des tours équipés d'un trainard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale indexable munie de 6 postes d'outils animée 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.

(d) 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.

(e) 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 effectuées 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.

(f) Tours à commande numérique

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 [6].

2) Type de montage de la pièce en tournage

En tournage, les différents montages sont :

- Montage en l'air sur mandrin à trois mors qui convient pour le tournage extérieur ou intérieur des pièces courtes.
- Montage entre pointes ou tournage en lunette qui convient pour le tournage extérieur des pièces longues et flexibles. On utilise des lunettes qui sont des supports auxiliaires

Dans ce montage, l'axe de la pièce doit coïncider en permanence avec l'axe de la broche de tour

- Montage mixte [7].

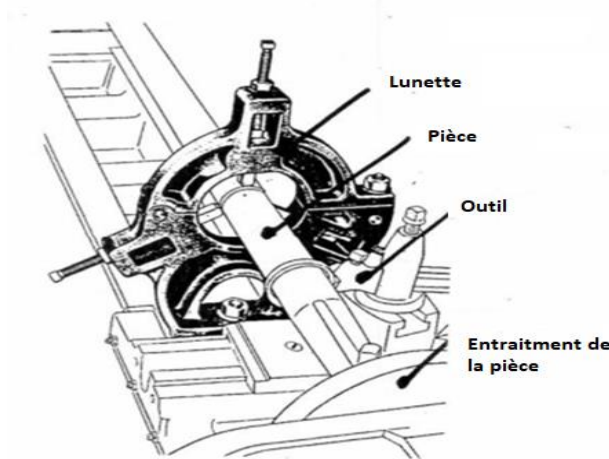


Figure II .2 : Montage en lunette [7].

III) Tournage de pièces métalliques

Le chariotage d'une pièce métallique brute en tournage conventionnel se fait typiquement en cinq opérations :

1. Écroûtage du brut : on enlève la couche extérieure, qui a un mauvais état de surface et contient de nombreux défauts (calamine, corrosion, fissures, inclusions, écrouissage important, ...) ; il s'agit d'une passe d'environ 0.5 à 1 mm
2. Contrôle du diamètre obtenu (au pied à coulisse voire au micromètre), ce qui permet de déterminer combien il faut enlever de matière pour arriver à la cote visée.
3. Passes d'ébauche d'une profondeur de plusieurs mm, pour enlever la matière.
4. Contrôle du diamètre avant finition.
5. En tournage extérieur, on peut souvent dissocier les pièces complexes en profils de coupe élémentaires pour le choix des outils et des paramètres de coupe.

Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base :

- Tournage longitudinal, ou chariotage
- Dressage

Passe de finition, d'une profondeur inférieure à 0.5 mm mais supérieure au copeau minimum, afin d'avoir une bonne tolérance dimensionnelle et un bon état de surface [8].

1) Différent formes de tournage

Le but du tournage est de réaliser des formes de révolution tels que cylindres, cônes, tores et autres formes de révolution complexes [9].

1) Tournage extérieur

On distingue (**Figure II .3**) :

- Tournage longitudinal (chariotage, axe z), réalisation d'un diamètre ;
- Tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement ;
- Tournage par profilage ou contournage, réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique ;
- Tournage de gorges, dégagements ;
- Filetage, réalisation d'un pas de vis ;
- Tronçonnage.

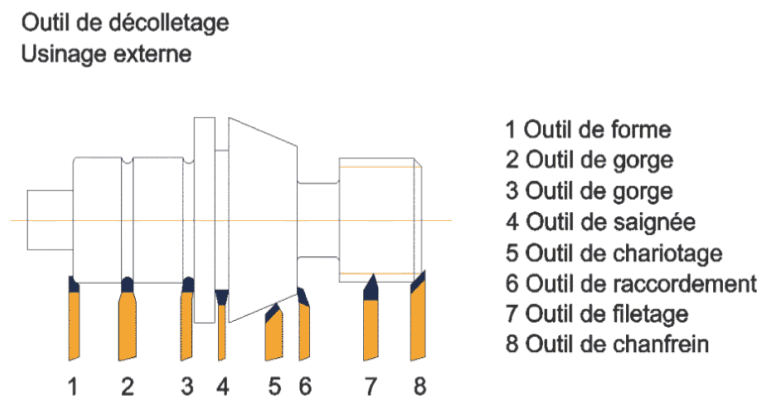


Figure II.3 : Usinage externe sur tour.

2) Tournage intérieur

Usinage interne sur tour (**Figure II .4**) :

- Alésage ;
- Dressage ;
- Tournage intérieur par contournage ;
- Tournage de dégagement, gorges ;
- Taraudage, réalisation
- d'un filetage intérieur ;
- Chambrage.

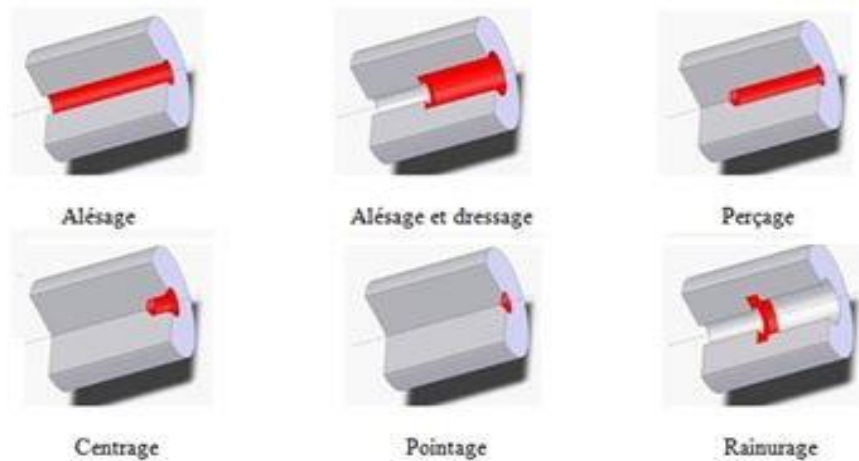


Figure II .4 : Principales opération de tournage interne sur tour.

2) Opérations de base en tournage

- Tournage de cônes.
- Contournage.

- 1) **En chariotage**, le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce.
- 2) **En dressage**, le mouvement d'avance est une translation rectiligne de l'outil perpendiculaire à l'axe, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère un plan orthogonal à l'axe.
- 3) **En combinant** les deux types de déplacements précédents (avance de l'outil en translation rectiligne oblique/axe), on génère des cônes de révolution.
- 4) **Enfin**, en donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque (profil de contournage), on peut obtenir une forme de révolution quelconque. Les tours à commandes numériques de contournage permettent de suivre de tels profils, définis géométriquement par des combinaisons d'éléments simples (segments, cercles...) ou analytiquement par une fonction, ou encore point par point dans le cas de profils non définis mathématiquement [9].

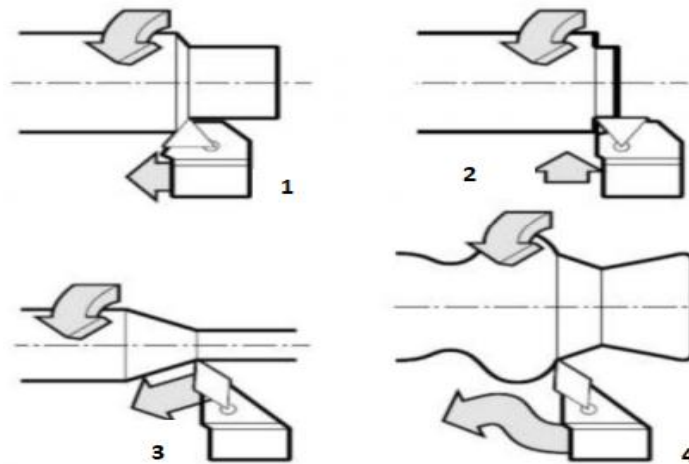


Figure II .5 : Opérations de base en tournage [9].

Le profil ainsi défini numériquement remplace le concept de gabarit de copiage.

Sur un tour CNC, les cas précédents deviennent en fait des cas particuliers du contournage. (**Figure II.6.A**)

Ses différentes opérations correspondent à un usinage dit « de génération » ou « d'enveloppe ».

La forme obtenue, à l'échelle macro géométrique, ne doit rien à la forme de l'outil qui l'a générée (**figure II.6.B**).

En d'autres termes, la forme obtenue dépend uniquement de la trajectoire de l'outil, à la rugosité près.

À l'opposé, les gorges, filetages, etc., sont obtenues par reproduction dans la pièce du profil de l'outil et sont qualifiées d'usinage « de forme » [9].

(**Figure II.6.C**).

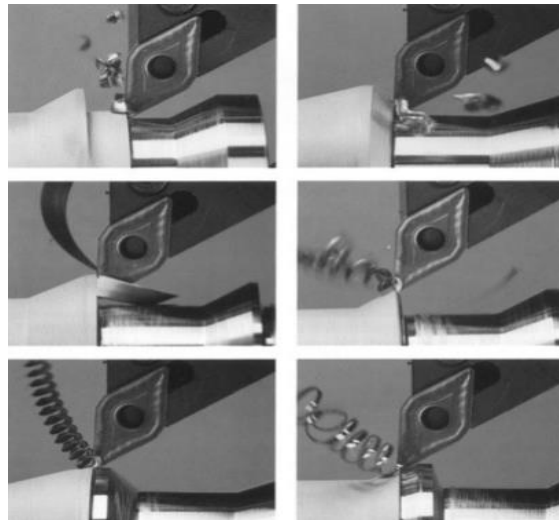


Figure II .6.A : Opérations de contournage [9]

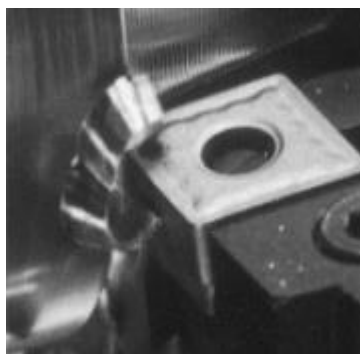


Figure II .6.B : Travail d'enveloppe [9].



Figure II .6.C : Travail de forme [9].

3) Principaux usinages réalisables sur un tour

- Tournage cylindrique extérieur avec pointe et contre-pointe (entre pointes), appelé chariotage, avec passes de dégrossissage et de finition ;
- Dressage avec passes de dégrossissage et de finition ;
- Chariotage conique ou tournage conique par orientation du chariot porte outil avec passes de dégrossissage et finition ;
- Filetage, tronçonnage, perçage et tournage intérieur (alésage).

(a) Chariotage

Le chariotage donne une surface latérale cylindrique, l'alésage, une surface intérieure cylindrique ou cambrage. (**Figure II.7**)

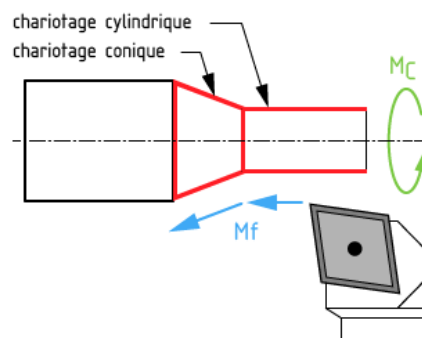


Figure II.7 : Schéma représenté l'opération de chariotage.

(b) Dressage

Le dressage donne des surfaces planes perpendiculaires à l'axe, extérieur ou intérieur (**Figure II.8**).

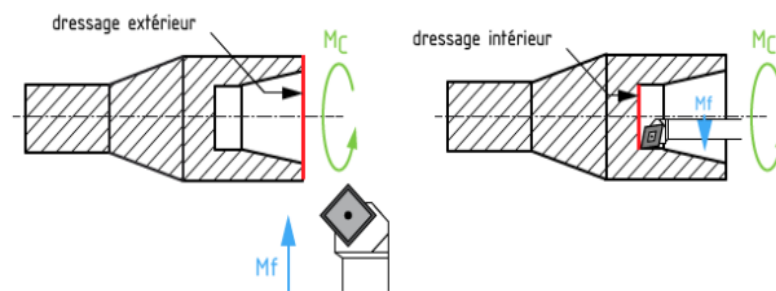


Figure II.8 : Schéma d'élaboration de dressage.

(c) Chanfreinage

Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif (voir **Figure II.9**).

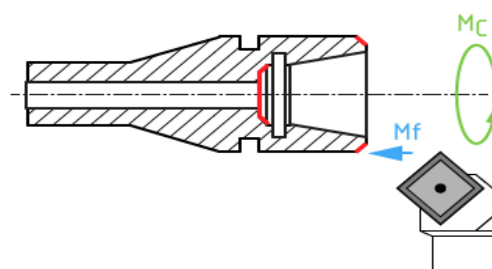


Figure II.9 : Opération de Chanfreinage.

(d) Centrage

L'opération consiste à usiner à l'extrémité de la pièce à dresser un centre qui servira de logement à la pointe. Les axes des deux centres doivent se confondre avec l'axe géométrique de la pièce (**Figure II.10**).

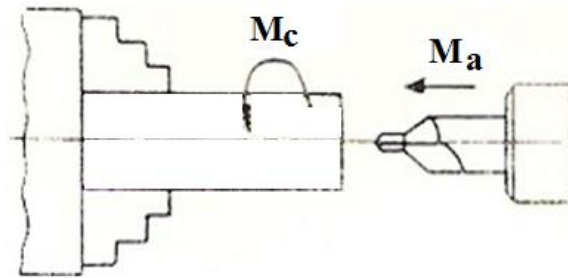


Figure II.10 : Opération de centrage.

(e) Perçage

Le terme de perçage regroupe toutes les méthodes ayant pour objet d'exécuter des trous cylindriques dans une pièce avec des outils de coupe par enlèvement de copeaux. En plus du perçage de trous courts et du forage de trous profonds, ce concept inclut également diverses opérations d'usinage consécutives, telles que brochage, alésage, réalésage et certaines formes de finition comme le calibrage et le galetage (**figure II.11**).

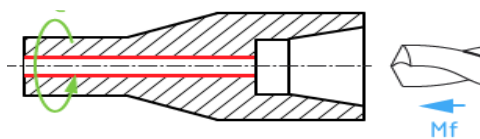


Figure II.11 : Opération de perçage

(f) Alésage

Lorsque le trou a été percé avec assez de précision, on peut calibrer au diamètre voulu avec un alésoir, ce qui est une opération rapide mais qui nécessite l'outil exactement approprié au diamètre ; cette méthode n'est en général employée que jusqu'à 20, voire 30 mm de diamètre. Sinon on utilise un grain d'alésage réglable assurant une très bonne précision du trou en position mais qui nécessite plusieurs passages, donc plusieurs porte outils: 1 ou 2 à

partir d'un trou percé, 2 ou 3 pour un trou brut de fonderie. Il existe des têtes à aléser portant un seul outil réglable en diamètre soit manuellement, soit par la CN ; dans ce dernier cas, on peut réaliser des opérations de surfacage et d'alésage à différents diamètres ayant éventuellement un profil non rectiligne (**figure II.12**).

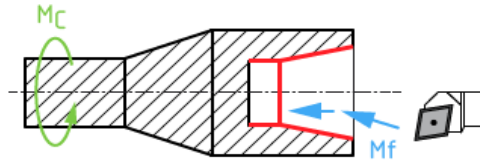


Figure II.12 : Schéma de réalisation d'un alésage.

(g) Rainurage

Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique par exemple (**figure II.13**).

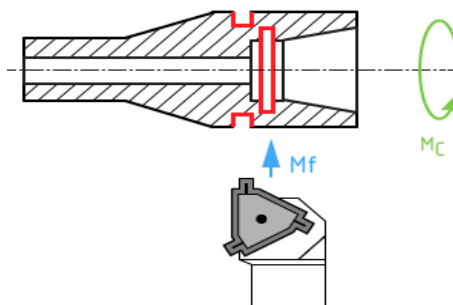


Figure II.13 : Schéma montrant l'opération de rainurage.

(h) Tronçonnage

Le tronçonnage consiste à sectionner une barre ou à détacher la pièce du reste de la barre. Le saignage consiste à usiner des gorges ou saignées sur la surface de la pièce (**figure II.14**).

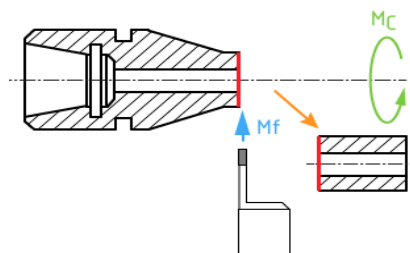


Figure II.14 : Opération de tronçonnage.

(i) Filetage et taraudage

L'outil, dont le déplacement est longitudinal, creuse sur la pièce des rainure hélicoïdales laissant leur relief le filet, suivent la forme de l'outil on obtient un filet triangulaire, trapézoïdale, rond, carré (**figure II.15**).

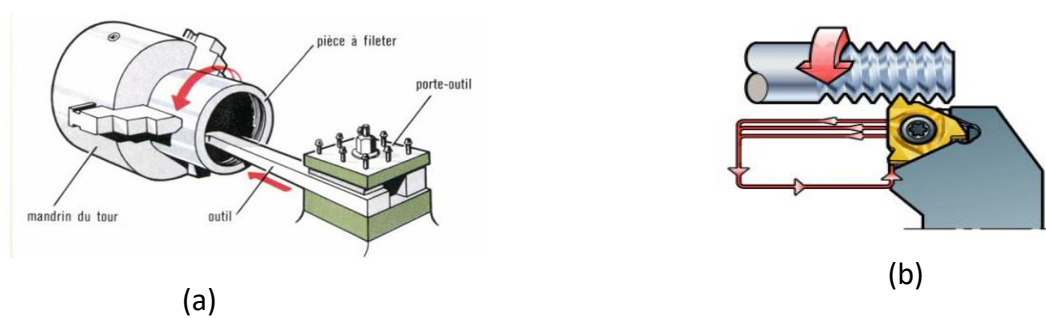


Figure II.15 : Opération de filetage : a) intérieur (taraudage), b) extérieur (filetage).

(j) Tournage de forme

Consiste à exécuter des pièces de révolution complexe : sphère, cylindre, plan, cône... (**figure II.16**).

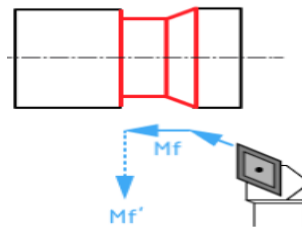


Figure II.16 : Tournage de forme.

IV) Les outils de coupe

a machine et la pièce à usiner.

La partie active d'un outil est foncée dans la pièce et se déplace mécaniquement par rapport à celle-ci façon à éliminer la surépaisseur sous forme de copeau [10].

1) Éléments 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 [11].

2) Modélisation de l'outil

L'outil de coupe est l'élément qui enlève la matière. Il existe une très grande variété d'outils de coupe avec différents types de géométries, de matériaux et de revêtements. Dans ces travaux, une configuration d'outil simple sera adoptée. La partie active est simple, sans brise copeau sur la face de coupe et sans préparation d'arête particulière [12].

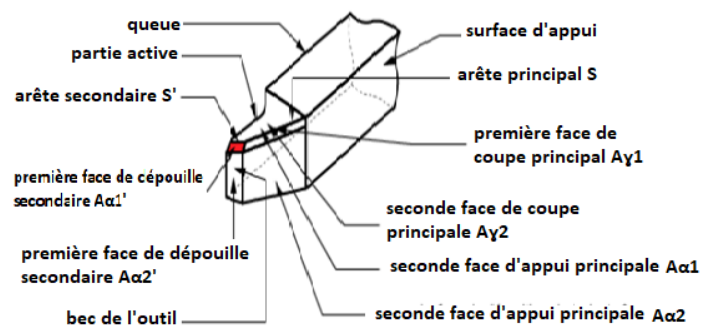


Figure II .17 : Caractéristiques géométriques de l'outil [12].

3) L'outil de coupe

Un outil de coupe est constitué d'une queue (partie par laquelle est maintenu le porte-outil de machine) et 'une partie active appelée encore corps en matériau de l'outil. l'élément essentiel de par partie active est de coupe principale qui est l'intersection de face de coupe et de la face de dévissage principale [13].

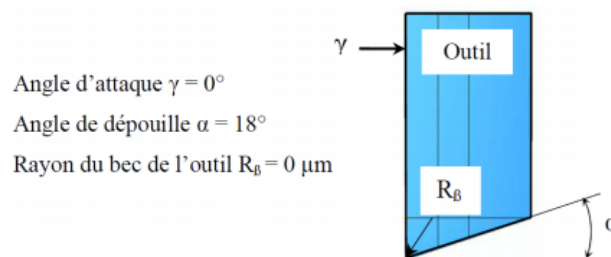


Figure II.18 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [13].

4) Matériaux de la partie active des outils

Pour choisir le matériau d'un outil, il faut prendre en compte la matière à usiner et le type d'opération à effectuer (**figure II .19.a**). Les carbures métalliques sont les matériaux les plus communément utilisés pour la partie active d'un outil. On peut en voir les applications dans la (**figure II.19.b**) [14].

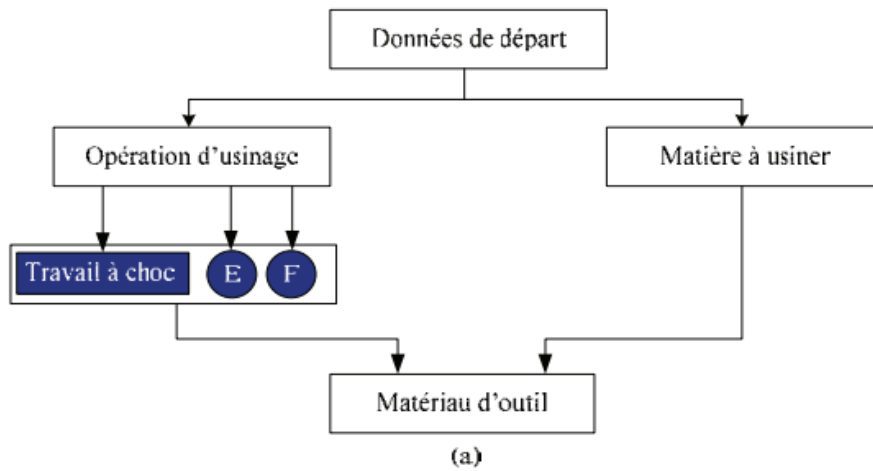


Figure II .19.a : Choix d'un matériau d'outil : a) facteurs essentiels. [E = ébauche ; F = finition.] [14].

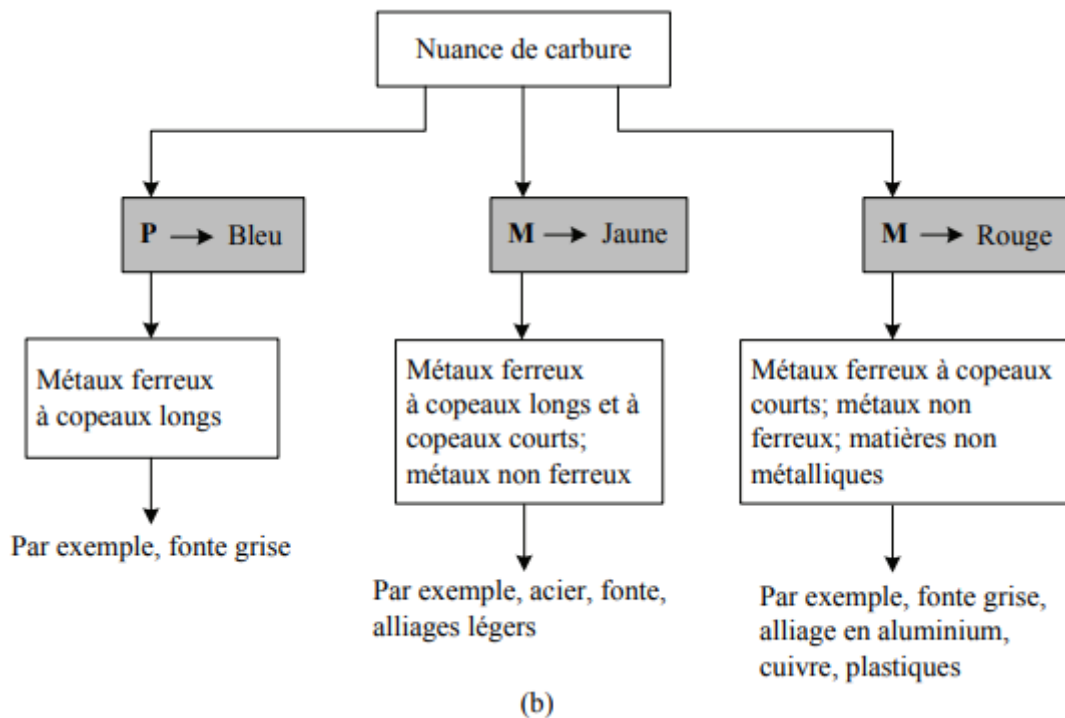


Figure II .19.b : Choix d'un matériau d'outil : b) applications des carbures métalliques. [M et P = codes de nuances de carbone ISO [14].

5) Géométrie de l'outil de coupe en tournage

Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et par différents paramètres géométriques comme : les angles de coupe, l'acuité d'arête, le brise copeaux, et le rayon de bec. La géométrie des outils est étudiée pour assurer une formation aisée des copeaux, offrir une arête de coupe robuste et fragmenter les copeaux en éléments d'une longueur acceptable [15].

6) Plans remarquables de l'outil

La production des copeaux s'effectue par la combinaison de trois déplacements

- Déplacement de coupe.
- Déplacement d'avance.
- Déplacement de profondeur.

Si on considère un point A de l'arête tranchante [16].

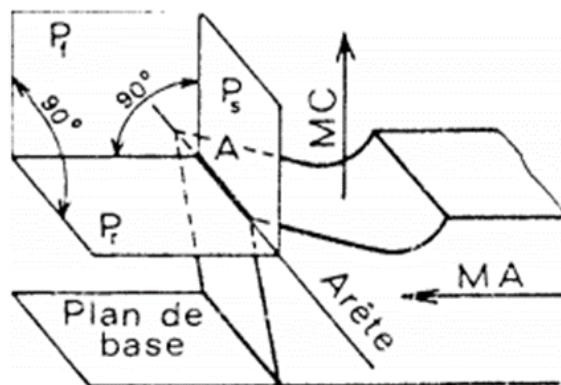


Figure II .20: Les plans caractéristiques de l'outil en A [16].

7) Plans de l'outil (Figure II .21)

a.1- Plans de l'outil en main

- Plan de référence de l'outil, P_r : plan passant par le point considéré de l'arête et contenant l'axe de l'outil (pour un outil tournant) ou parallèle au plan de base servant de face d'appui au corps de l'outil (pour un outil classique).
- Plan d'arête de l'outil, P_s : plan tangent à l'arête, au point considéré, et perpendiculaire au plan de référence de l'outil P_r .
- Plan de travail conventionnel, P_f : plan perpendiculaire au plan de référence de l'outil P_r , au point considéré de l'arête, et parallèle à la « direction supposée d'avance » de l'outil.

- Plan vers l'arrière de l'outil, P_p : plan perpendiculaire au plan de référence de l'outil P_r et au plan de travail conventionnel P_f , au point considéré de l'arête.

a.2- Plans de l'outil en travail

- Plan de référence en travail, P_{re} : plan perpendiculaire au point considéré de l'arête, à la direction de la vitesse résultante de coupe, c'est-à-dire à la direction instantanée du mouvement résultant du mouvement de coupe et du mouvement d'avance simultanés en ce point.
- Plan d'arête en travail, P_{se} : plan tangent à l'arête, au point considéré et perpendiculaire au plan de référence en travail P_{re} . Ce plan contient la direction de la vitesse résultante de coupe.
- Plan de travail, P_{fe} : plan contenant la direction de la vitesse de coupe et la direction de la vitesse d'avance au point considéré de l'arête. Ce plan est perpendiculaire au plan de référence en travail P_{re} .
- Plan vers l'arrière en travail, P_{pe} : plan perpendiculaire au plan de référence en travail P_{re} et au plan de travail P_{fe} , au point considéré de l'arête [17].

À partir de ses plans on peut définir des systèmes d'angles selon chaque section voulue en notant toujours les désignations d'angles suivants :

- α : angle de dépouille principal
- β : angle de taillant
- γ : angle de coupe
- ψ : angle de direction complémentaire de l'arête

Pour distinguer les angles de coupe d'un plan à l'autre, on attribue l'indice du plan choisi pour chaque angle observé dans sa section.

Exemple : Sur le plan P_f , les angles observés sont : α_f , β_f et γ_f . [17].

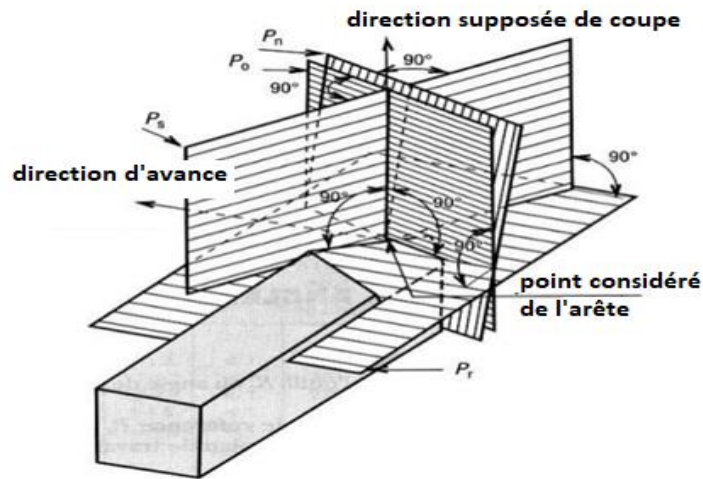


Figure II .21 : Plans sur un outil en main [17].

8) 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 II .22) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux du taillant, l'angle de dépouille α , l'angle de taillant β et l'angle de coupe γ .

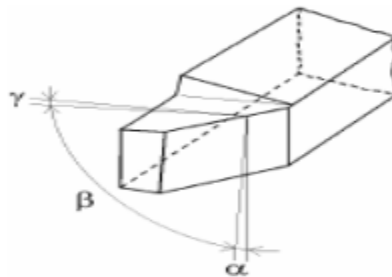


Figure II .22 : Angles du taillant (outil en main) [18].

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° .

$$\alpha + \gamma + \beta = 90^\circ \quad (\text{II-1})$$

Dans le cas où la somme est supérieure à 90° , on parle de coupe négative (γ négatif) [18].

9) Catégories des outils de coupe en tournage

1) Classification des outils de coupe (tournage)

Les machines-outils utilisent une grande gamme d'outils d'usinage et cela Classer selon :

- **Type d'opération et la forme de surface de la pièce a réalisé :**

1. Outils à arrête unique

Ce type d'outils a la particularité d'avoir une seule arrête tranchante, ils sont uniquement utilisés en tournage et en rabotage (Étau limeur), leur pointe est généralement arrondie pour former un rayon de bec d'outil.

2. Outils à arrête multiples :

Ces outils comme leur nom l'indique possèdent plusieurs arrêtes tranchantes et sont de forme cylindrique. On les utilise dans les opérations de parcage, d'alésage et de fraisage où le mouvement de coupe est leurs attribué.

- **Sur un tour on dispose de deux classes d'outils**

1. Outils intérieurs.

2. Outils extérieurs [19].

1) Différentes opérations d'usinage et leur type d'outils

1. Outil à saigner ;

2. Outil à charioter droit ;

3. Outil à retoucher ;

4. Outil pelle ;

5. Outil à retoucher ;

6. Outil à fileter (extérieur) ;

7. Outil à charioter coudé ;

8. Outil couteau ;

9. Outil à dresser d'angle ;

10. Outil à dresser les faces ;

11. Outil à chambrer ;

12. Outil à aléser ;

13. Outil à fileter (intérieur) ;

14. Outil à aléser et dresser [19].

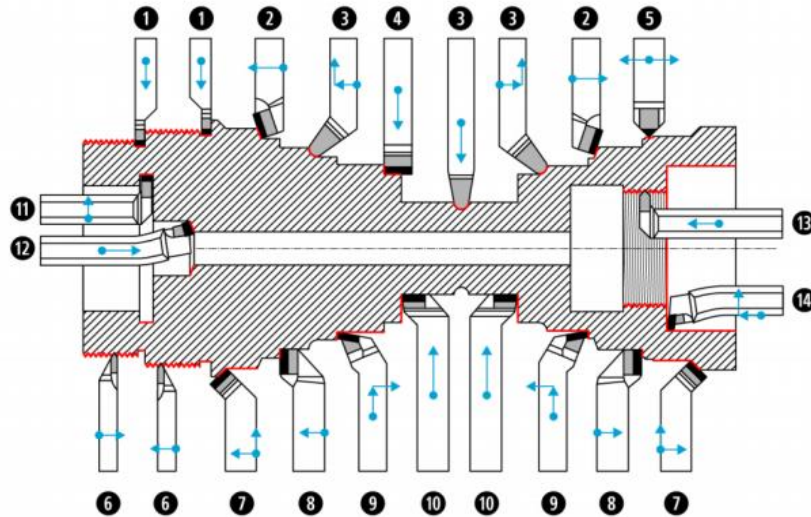
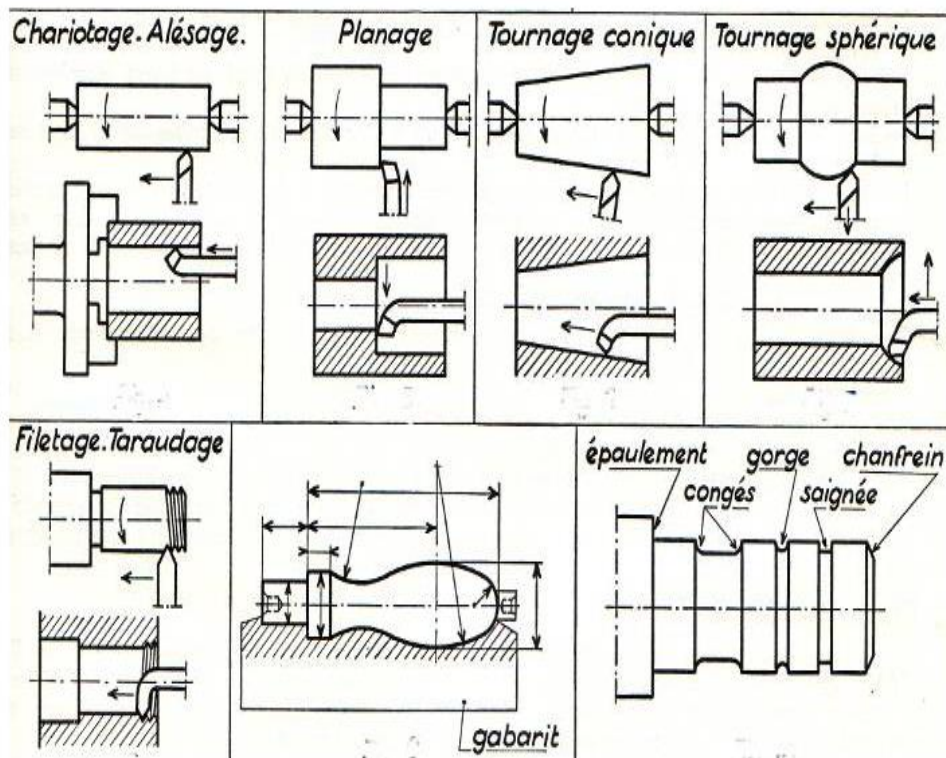
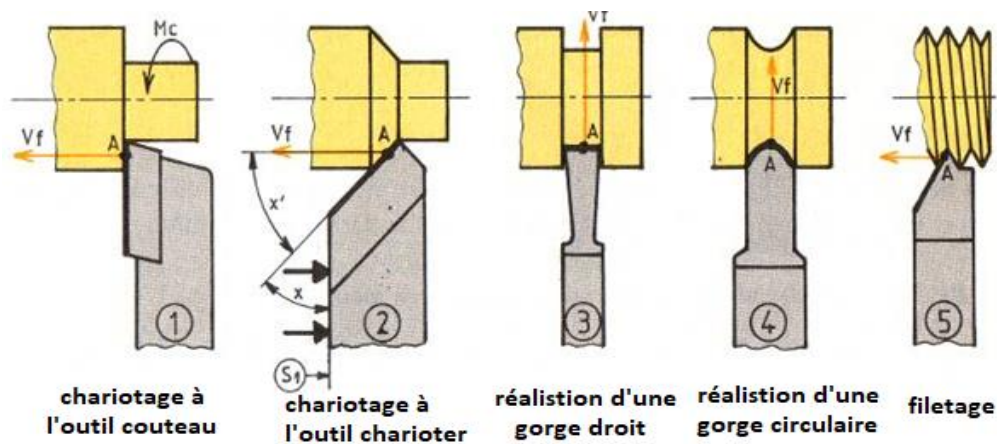


Figure II .23 : Différentes opérations d'usinage et leur type d'outils [19].

- Formes tournées [20].



Outils courants au tour : [20].**VI) Matériaux pour outils de coupe**

Le rendement économique des machines-outils dépend essentiellement des performances des outils de coupe. En plus des conditions d'utilisation de l'outil, celles-ci sont fonction des propriétés du matériau qui constitue l'arête de coupe : ténacité et résistance à l'abrasion. D'une manière générale, un matériau est d'autant plus tenace que les contraintes, statiques ou dynamiques (chocs), provoquant sa rupture sont plus élevées. Plus précisément, on caractérise cet aspect des matériaux de coupe par leur ténacité K_{Ic} , facteur critique d'intensité de contrainte, provoquant la propagation de fissure, leur contrainte de rupture en flexion σ_{rf} ou leur résilience (rupture par chocs) (**Tableau II.1**) [21].

La partie active des outils de coupe et donc les matériaux servant à leur constitution doivent posséder certaines propriétés :

- Une bonne résistance mécanique au frottement - résistance à l'usure ;
- Une bonne résistance aux chocs – ténacité ;
- Une bonne résistance à la pénétration – dureté ;
- Une bonne résistance à la chaleur - garder ces propriétés à haute température (par exemple dureté à chaud) ;
- Une bonne résistance à la pression ;
- Une grande stabilité chimique vis-à-vis du matériau usiné et de l'atmosphère environnante (air, liquide de coupe, etc) ;
- Une faible adhésion avec le matériau usiné sous haute pression et haute température ;

- Un bas prix d'achat et de mise en forme, ainsi que l'abondance des éléments de composition [22].

1) Matériaux utilisés

	Module d'élasticité (GPa)	Résistance à la rupture en flexion (MPa)	Coefficient de dilatation linéique ($10^{-6} K^{-1}$)	Dureté Vickers (HV_{30})
Aciers rapides				
HS 6-5-2	217		12,5	800 à 920
HS 2-9-1-8	217		12	950 à 1100
Carbures métalliques				
WC+ Co K10	630 à 650	1500 à 1600	5,5	1600 à 1800
WC+ TiC+ Ta(Nb) C+ CoP10	530 à 550	1000 à 1500	6	1500 à 1700
Céramiques				
Alumine (Al_2O_3)	400	400 à 600	8	2400
Alumine+zircone($Al_2O_3+ZrO_2$)	365	600 à 800	9 à 10	1700
Alumine+Whiskers SiC (Al_2O_3+SiC)	390	700 à 900	7 à 8	1800 à 2000
Alumine+carbure de Ti (Al_2O_3+TiC)	410	700 à 900	8 à 8,5	2200 à 2600
Nitride de silicium (Si_3N_4)	310	800 à 1000	3	1500 à 1600
Cermets				
TiCN+Mo ₂ C+WC+VC+TaC+NbC+ (Ni, Co)	390	1500 à 2000	7 à 8	1500 à 1700
Diamants				
Diamant naturelmonocristal	1140	(1)	3,1	>9000
Diamant synthétique... PCD poly cristallin(2)	920	920	3,6 à 6	5000 à 8000
Nitride de bore cubique CBN poly cristallin(2)	680	570	5	2500 à 4000

Tableau II.1 : Propriétés physiques de quelques matériaux de coupe [21].

1) Aciers rapides

Le mérite de l'invention des aciers rapides revient aux Américains Taylor et Whites en 1903 [35]. Il est important de souligner que pour chaque nuance d'acier rapide, il existe une limite à la qualification à la matière (par exemple, un outil de fraisage en nuance HS 6-5-2 ne pourra pas usiner dans des conditions d'usinage industriellement viable un acier de dureté supérieure à 350 HB). Malheureusement, il est très difficile d'établir des règles par défaut car ces valeurs dépendent du type d'outil (foret, fraise, alésoir ...) entre autres ; seuls les essais couple outil/matière peuvent mettre en évidence ces limites.

Différentes familles :

- Aciers rapides au tungstène ;
- Aciers rapides au molybdène ;

- Aciers rapides sur carbures ;
- Aciers rapides désulfurés ;
- Aciers rapides élaborés par métallurgie des poudres [23].

2) Carbures métalliques

La famille des carbures métallique est née en 1923, ce sont des alliages frittés à base de carbure de tungstène (WC) des carbures de titane (TiC), de carbure de tantale (TaC) lié par le cobalt (Co). Ils permettent une vitesse de coupe dans l'acier jusqu'à 300m/mn, leur dureté varie au voisinage de 9HRC. Dès 1930 de nouveaux matériaux de type (Ti, Mo) C-Ni/Co/C ; Ta C-Ni ; (Ti, Ta) C-Co ; Tic-Vc-Ni/Fe ; ont été développés mais n'ont jamais pu concurrencer les carbures classiques à base de (WC). [9]. Les premiers carbures revêtus sont apparus sur le marché en 1969, le revêtement consistait une couche mince (quelques microns d'épaisseur) de TiC obtenu par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et permet d'accroître la résistance à l'usure en dépouille de l'outil. Au début de l'année 1970 apparut le revêtement TiN qui permettait de combattre l'usure en cratère d'où le développement aussitôt du revêtement bicouches (TiC + TiN), puis le revêtement de Ti(C, N), une troisième couche d'alumine (Al₂O₃) est apparu qui s'est montré efficace comme barrière à la diffusion du fer vers l'outil .et enfin d'autres types de revêtement ont été développés (salions ZrO₂, SiC). Les premières applications des carbures de coupe se sont faites sous forme de plaquettes à braser sur des corps d'outils en acier ordinaire, la partie active de ces outils étant réaffûtée au fur et à mesure de son usure [24].

On dispose de deux classes de carbures métalliques ce sont :

- Carbures métalliques sans revêtement.
- Carbures métalliques avec revêtement [24].

3) Céramiques

Ils sont comme les carbures, des matériaux obtenus par frittage. Mais les carbures métalliques sont remplacés ici par des éléments à base d'alumine pure (Al₂O₃) c'est la solution la plus ancienne sous forme de poudre Al₂O₃ ; avec utilisation comme liant l'oxyde de chrome. La solution la plus récente utilise une poudre à base de nitrure de bore. Donc c'est un corps très dur 60 HRC (Al₂O₃) et 72 HRC (à base de nitrure de bore) [25].

4) Cermet

Ce sont des outils à plaquettes en cermet amovibles. Le nom cermet vient de céramique –métal car il représente les carbures ayant des particules de titane .de carbonitride de titane ou

nitride de titane. Les applications typiques sont la finition des aciers inoxydables, des fontes, des aciers à bas carbone et des aciers ferriques [26].

5) Nitrure de bore cubique (CB)

C'est une matière très dure, adaptée au tournage d'acier trempé, de fonte en coquille et d'alliages à base de nickel ou de cobalt. Les impératifs sont ici très rigoureux au niveau des conditions de coupe et de l'arête de coupe. La productivité et la longévité sont nettement supérieures à celles des plaquettes céramiques ou en carbure, lorsqu'elles sont utilisées correctement. Les plaquettes en nitrure de bore cubique sont destinées en premier lieu à la finition [27].

6) Diamants poly-cristallins (CD)

Ils ont un domaine d'utilisation complètement différent, étant donné qu'ils sont totalement inappropriés pour les métaux contenant du carbone. Ils sont utilisés en finition et demi finition pour les métaux non ferreux et les matières non métalliques [27]

VII) Coupe des métaux

1) Définitions

La coupe est l'interaction entre l'outil et la pièce à usiner, il en résulte de ce contactent des résidus (déchets) appelés copeaux. Au contact de l'outil en mouvement et la pièce brute où semi-finie, commence l'écoulementdu copeau.

2) Phénomènes physiques en usinage

Les effets physiques observés en usinage sont classés en quatre catégories : mécaniques, thermiques, chimiques et tribologiques. Les quatre phénomènes physiques sont dépendants l'un de l'autre et interfèrent par leurseffets. La puissance et la robustesse de la machine, le montage et le mode de fixation despièces, et même les aptitudes des opérateurs sur la machine, affectent également les résultatsd'usinage. Tout en agissant sur ces paramètres, afin de donner de bonnes conditions de travailà l'outil, ce dernier se détériore et devient défailant.

L'opération d'usinage est observée par la production de copeaux donnant lieu à desprocessus physiques qui sont à l'origine des :

- Modifications cristallines ;
- Déformations élastiques, plastiques puis rupture de matière à usiner.
- Le contacte entre l'outil et la pièce donne aussi un frottement importé causant ainsi :
- Un dégagement de chaleur ;
- Des microsoudures ;

- La formation d'arête rapportée sur la face de coupe de l'outil.

L'analyse et le traitement correct des conditions de coupe, de la forme de la partie active de l'outil, de la nuance et d'autres facteurs permettent aux opérateurs d'atteindre un processus de coupe productive et rentable.

3) Principe de la coupe des métaux

La coupe du métal s'effectue lorsqu'un outil dur et acéré est introduit dans un matériau plus souple. Les forces qu'engendre cette interférence créent une zone de cisaillement qui détache une petite quantité de métal, appelé copeau, de la pièce de base. On peut voir à la Figure ci-dessous (**Figure II.24**), l'interface de la géométrie outil/copeau/pièce lors de la formation d'un copeau. On peut voir trois zones principales soit :

Zone 1 : zone de séparation du métal en deux fractions par l'arête de coupe au point (O). Cette section de l'outil est une zone confinée en un point embryonnaire de sortie de copeau sous de fortes pressions hydrostatiques et aussi c'est elle qui est le point générateur de la surface usinée. Vu les efforts de compression importants, il en résulte des élévations de température qui avoisinent les 600°C. [7]

Zone 2 : zone de formation du copeau où on observe un changement brutal d'orientation et de vitesse d'écoulement de la matière, de la direction de la vitesse de coupe V_C au sens d'écoulement du copeau, en provoquant un glissement plastique limité par l'espace (LEHQ) et un important flux de chaleur transmis à l'outil. [6]

Zone 3 : zone de glissement à l'interface copeau face de coupe, il a été constaté dans des études expérimentales et numériques, qu'un phénomène d'adhésion freine considérablement l'écoulement de la matière causant un cisaillement plastique de la matière. Le frottement copeau / face de coupe est assez intense qu'il génère une chaleur d'environ les 750°C, ajoutant celle de la zone de cisaillement primaire, elle peut atteindre la température de fusion du matériau usiné. [10]

Zone 4 : cette zone est localisée à l'interface face de dépouille / surface usinée, où un frottement de glissement est observé, donnant naissance à des phénomènes d'adhésion conduisant à un cisaillement plastique de faible intensité par rapport à la zone 3. Une forte pression sur la surface usinée est accompagnée d'un état de surface et une rugosité médiocre. [6,7]

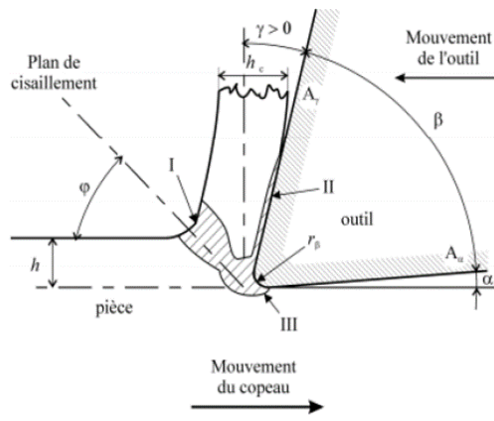


Figure II .24 : Géométrie de la formation d'un copeau.

VIII) Paramètres techno-économiques d'usinage

Le coût d'usinage et le temps d'usinage sont les paramètres techno-économiques d'usinage. Ces les paramètres qui déterminent l'important économique des pièces usinées.

1) Temps d'usinage

Le temps d'usinage unitaire est le temps nécessaire à la réalisation d'une passe sur une pièce. Il s'exprime par la relation :

$$T_u = t_m + t_{cs} \left(\frac{t_m}{T} \right) + t_h \text{ (min)} \quad (\text{II.2})$$

- t_{cs} (temps outil) : temps de changement d'outil y compris le temps de réaffûtage si nécessaire,
- T : durée de vie de l'outil de coupe ;
- t_h : temps auxiliaires (montage et démontage pièce, prise de passes) ;
- t_m (Temps technologique) : temps de machine (temps de coupe avec une avance).

Temps technologique d'usinage d'une pièce :

$$t_m = \left(\frac{L}{v_f} \right) \quad (\text{II.3})$$

$$t_m = \frac{\pi \times D \times (X + l_1 + l_2 + 2\sqrt{a(D-a)})}{1000 \times f_z \times z \times v_c} \quad (\text{II.4})$$

2) Coût d'usinage

Généralement, la formule du coût d'usinage sous la forme :

$$\text{Coût total} = \text{Frais fixes} + \text{Coût machine} + \text{Coût outil}$$

Le coût d'usinage unitaire est le coût nécessaire à la réalisation d'une passe sur une pièce, il s'écrit comme suit :

$$C_u = (C_0 \times t_m) + (C_0 \times t_{cs}) + C_t \times \left(\frac{t_m}{T} \right) + C_0 \times (t_h) \quad (\text{II.5})$$

Avec :

- C_u : Coût d'usinage unitaire ;
- C_0 : Coût de machine en \$/ min ;
- C_t : Coût d'une arrête de coupe en \$/ arrête.

3) Durée de vie d'un outil de coupe

Compte tenu de la complexité du phénomène, il n'existe pas de loi mathématique simple permettant de calculer la "durée de vie" de l'outil. La durée de vie d'un outil est caractérisée par le temps mis pour atteindre la valeur limite du critère d'usure considérée dans des conditions de coupe données.

Généralement on choisit comme critère d'usure l'un des trois critères suivants :

- Défaillance brutale due à la déformation plastique de l'arête. Ce critère n'est employé que pour les outils en acier rapide ou les outils en céramique ;
- Usure frontale, employé pour tous les outils, caractérisés soit par l'usure frontale moyenne soit par l'usure frontale maximale ;
- Usure en cratère, employé seulement pour les outils en carbure métallique, caractérisé par la profondeur du cratère.

La durée de vie est mesurée sur l'usure en dépouille dans la zone b (**figure II.25**) VB en mm,

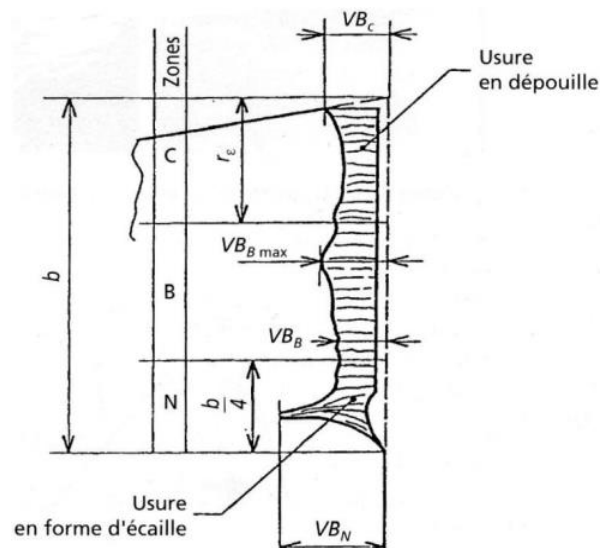


Figure II.25 : Critère d'usure VB.

En fait la durée de vie de l'outil est fonction des différents paramètres, soit:

- Conditions de coupe ;
- Matériau et la géométrie de l'outil ;
- Matériau et l'état physique de la pièce ;
- Lubrification.

Généralement seules les conditions de coupe sont prises en considération et on établit des lois d'usure pour des outils parfaitement définis pour un matériau usiné donné et dans des conditions de lubrification déterminées.

On arrive donc des lois d'usure de la forme :

$$T = f(V_c, f, a_p) \text{ (II.6)}$$

Remarque :

La vitesse de coupe étant en fait le paramètre le plus important on trouve aussi des lois d'usure sous la forme :

$$T = f(V_c) \text{ (II.7)}$$

IX) Mécanisme d'usure

L'usure des outils est la conséquence de divers mécanismes décrits ci-dessous.

1. (a)- Processus d'abrasion

Lors de l'usinage, la matière (pièce usinée et copeau) frotte avec des pressions de contacts importantes sur l'outil. Suivant la constitution physico-chimique et la structure (répartition et agencement des composants de l'alliage : forme, dimension, arrangement) la matière est plus ou moins abrasive par rapport à l'outil (**figure II.26**). Si la matière comporte des constituants durs (écrouissage, aluminate, nitrure, carbure, oxyde par exemple) et que ces derniers sont plus durs que l'outil, il y aura usure par abrasion de l'outil.

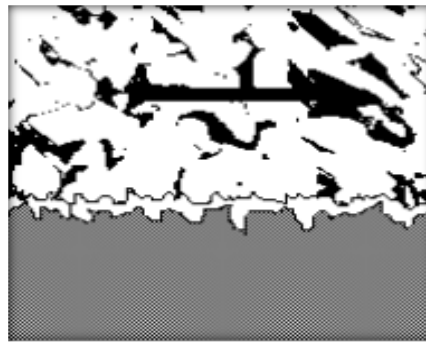


Figure II.26 : Processus d'usure par abrasion.

1. (b)- Processus d'adhésion

Cette usure est due aux états de surface du copeau, de la pièce et de l'outil. En effet lors de l'usinage, ces entités frottent les unes contre les autres. Or les rugosités et microrugosités de ces surfaces, par contact et sous l'influence des fortes pressions engendrées par l'usinage, vont générer des microsoudures (**Figure II.27**).

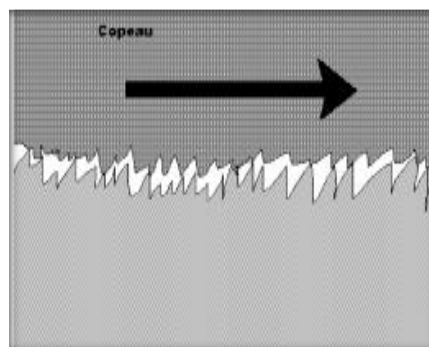


Figure II.27 : Processus d'usure par adhésion.

Ces microsoudures se créent et se rompent très rapidement au cours de l'usinage. Ce processus continu génère :

- l'apparition d'arêtes rapportées si les microsoudures sur l'outil sont plus résistantes que celles du copeau ;
- l'usure de l'outil si la microsoudure sur le copeau est plus résistante que celle de l'outil, Cette usure est très faible et généralement négligeable.

1. (c)- Processus de fissuration

Lors de l'usinage, l'outil est soumis à de très importantes contraintes thermiques et mécaniques. Les contraintes thermiques à l'interface copeau / outil peuvent atteindre le millier de degré. De plus, la déformation plastique du matériau engendre, par réaction, des contraintes qui provoquent flexions et vibrations de l'outil. En effet, les matériaux usinés sont, par nature, rarement homogènes. Il y a donc variation rapide des contraintes. La combinaison des hautes températures (choc thermique en début d'usinage) et des vibrations peut provoquer des fissures au sein de l'outil.

2) Différents types d'usure de l'outillage

En fonction des conditions de coupe, l'usure peut se produire suivant la surface de dépouille, suivant la surface d'attaque ou suivant les deux surfaces en même temps.

1) Usure en dépouille

Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil et provoque une bande striée parallèle à l'arête de coupe (**figure II.28**). Elle influe sur l'état de surface de la pièce usinée et sur la précision dimensionnelle de l'usinage car elle modifie la position de l'arête de coupe. C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible VB. Les valeurs indiquées se rapportent généralement à une tenue d'outil (Durée de vie T=15 min). VB critique = 0,6 mm en ébauche et 0,3 mm en finition. Cela est dû à une vitesse de coupe excessive ou à une mauvaise position angulaire de l'outil (face de coupe / pièce)

□ Mesures correctives

- Choisir une nuance présentant une meilleure résistance à l'usure.
- Réduire la vitesse de coupe.

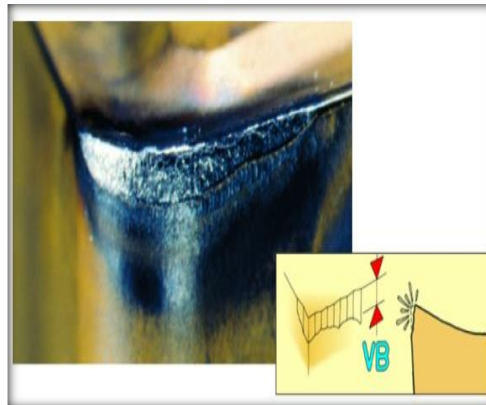


Figure II.28 : Usure en dépouille (abrasion).

2) Usure en entaille

Ce type d'usure se caractérise par une entaille localisée tant sur la face de coupe que sur la face de dépouille, au niveau de la profondeur de coupe voir (**Figure II.29**). Il est provoqué par l'adhérence (soudage par pression du copeau) et la déformation. Il est courant dans l'usinage des aciers inoxydables et superalliages réfractaires. Ce genre d'usure due à des phénomènes métallurgiques (calamine des pièces forgées, différence de taille de grain des pièces moulées)

Remarque : cette usure en entaille est souvent accompagnée d'une usure en dépouille.

□ Mesures correctives

- Accroître la rigidité de l'arête de coupe.
- Réduire l'avance.

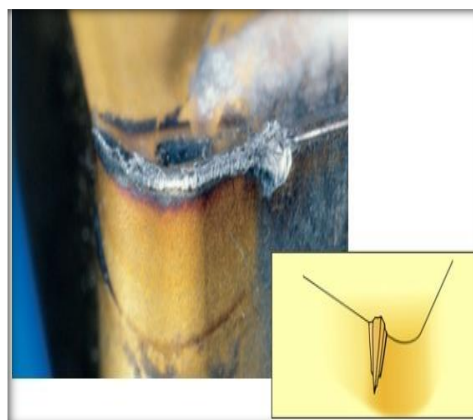


Figure II.29 : Usure en entaille (adhérence).

3) Usure en cratère

C'est une usure en creux sur la face de coupe, caractérisée par la profondeur de cratérisation (indice K_T). Lors de l'usinage, la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoquent une diffusion importante (réaction chimique) de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion (**Figure II.30**).



Figure II.30 : Usure en cratère (chimique).

L'usure est souvent constatée sur les outils carbures, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil. Généralement l'usure due à une vitesse de coupe excessive ou à une avance trop faible.

Mesures correctives :

- Utiliser des nuances de métal dur revêtu ;
- Choisir des plaquettes à géométrie positive ;
- Réduire la vitesse de coupe ou augmenter l'avance.

4) Ecaillage de l'arête de coupe

L'écaillage ou la rupture de l'arête survient en cas de surcharge des contraintes de traction mécanique. Celles-ci sont dues à différentes causes telles que le martèlement des copeaux, une profondeur de coupe ou une avance excessive, des inclusions de sable dans la matière de la pièce, des vibrations ou une usure excessive de la plaquette (**Figure II.31**).



Figure II.31 : Usure mécanique (Ecaillage).

□ **Mesures correctives**

- Choisir une nuance plus tenace.
- Utiliser une plaquette présentant une géométrie d'arête plus stable.
- Réduire l'avance en début de coupe, en cas d'écaillage par impact de copeaux.
- Choisir une géométrie brise-copeaux différente.
- Modifier l'angle de direction d'arête de l'outil.
- Faire une préparation d'arête de coupe (rodage de l'arête de 0,04 mm par exemple).

5) Arêtes rapportées

Les arêtes rapportées résultent d'une accumulation de métal de la pièce usinée sur la face de coupe, en particulier dans le cas de matériaux difficilement usinables. Il arrive parfois que cet apport de métal se détache et détériore l'arête de coupe. Il mène en outre à des états de surface médiocres. Le phénomène est dû à une vitesse de coupe et une avance trop faible ou des angles de coupe non appropriés (**Figure II.32**)



Figure II.32 : Usure par adhérence (Arête rapportée).

□ **Mesures correctives**

- Accroître la vitesse de coupe ;
- Utiliser des métaux durs revêtus ou des cermets ;
- Choisir une géométrie d'arête positive ;
- Travailler avec arrosage.

6) Déformation plastique

Elle est occasionnée par une sollicitation trop importante de l'arête de coupe (matériaux usinés trop durs) en combinaison avec des températures d'usinages élevées. La zone de déformation plastique du matériau dépassée (**Figure II.33**).



Figure II.33 : Usure thermique (déformation plastique)

□ **Mesures correctives**

- Réduire la vitesse de coupe ;
- Réduire l'avance ;
- Utiliser une nuance de métaux durs plus résistante à l'usure.

7) Fissurations de l'arête de coupe ou usure en peigne

Lorsque l'arête de coupe subit des refroidissements brusques, des fissures perpendiculaires à l'arête apparaissent. Ce type de fissure est fréquent en cas de coupes interrompues, ce qui est courant en fraisage. L'utilisation de l'arrosage aggrave ce phénomène (**Figure II.34**).



Figure II.34 : Usure en peigne.

□ **Mesures correctives**

- Utiliser une nuance présentant une meilleure résistance aux chocs thermiques ;
- Contrôler l'arrosage.

X) Dépendance entre l'usure et le temps

La relation entre la valeur de l'usure et le temps représentée par la courbe (**Figure II.35**) peut-être divisée en trois périodes :

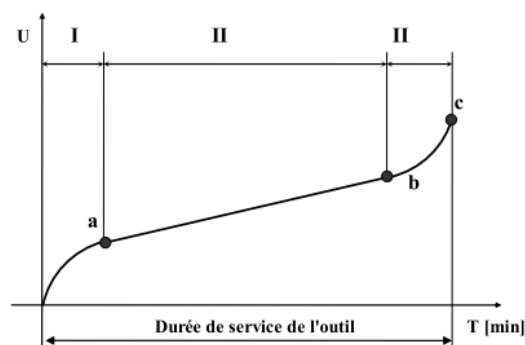


Figure II.35 : Courbe d'usure par rapport au temps.

- **Période I** : Usure initiale ou rodage (à éviter pour les réglages) ;
 - **Période II** : Usure normale ou domaine normal d'utilisation de l'outil ;
 - **Période III** : Usure accélérée (catastrophique) danger de rupture.
- (a) **La première période** : est celle du rodage (usure initiale) qui donne lieu à une usure intense, plus les surfaces de frottements sont nettes, et plus l'évolution de l'usure est faible dans le même intervalle de temps.
- (b) **La deuxième période** : est celle de l'usure normale, elle est définie par la progression de l'usure en fonction de la durée de travail pendant la deuxième période, l'augmentation de l'usure en unité de temps est une constante.

(c) **La troisième période** : est celle où l'usure atteint un certain degré. Les conditions de coupe et de frottements changent pour établir la troisième période qui est celle de l'usure accélérée (usure catastrophique).

Le temps des deux premières périodes où l'outil peut travailler sans réaffûtage constitue la durée de service de l'outil qui est le temps de travail.

XI) Affûtage

L'affûtage est une opération d'usinage par abrasion qui consiste à donner ou à rendre à l'arête ou aux diverses arêtes tranchantes d'un outil de coupe la forme et l'état de surface nécessaires à leur bonne utilisation. L'affûtage est par conséquent une opération de meulage qui intervient tant au stade de la fabrication de l'outil qu'au stade de son utilisation.

Son importance vient du fait que la façon dont l'outil est usiné pour obtenir la forme voulue de sa ou de ses arêtes tranchantes a au moins autant d'influence sur le rendement de cet outil que les caractéristiques du métal le constituant. L'utilisation d'un outil mal ou trop rapidement affûté conduit toujours à une chute de production de la machine utilisatrice. Il faut en conséquence que la qualité de l'affûtage prime sur sa rapidité et éviter ainsi qu'une faible économie réalisée sur l'affûtage se traduise en fin de compte sur la machine utilisatrice par une perte d'argent beaucoup plus importante que cette économie par suite :

- de réaffûtages plus fréquents ;
- d'un rejet prématuré du ou des outils ;
- d'un accroissement du pourcentage de pièces rejetées.

1) Machine d'affûtage

Les machines employées pour l'affûtage des outils de coupe à dents multiples sont des machines de type universel et classique voir (**Figure II.36**).



Figure II.36 : Affûteuse universelle.

Elles comportent comme organes essentiels :

- Une tête porte-meule réglable en hauteur et orientable par pivotement dans le plan horizontal ;
- Une table porte-pièce animée d'un mouvement longitudinal alternatif et d'un mouvement transversal en outre la table peut être orientée à divers angles dans le plan horizontal.

Mais maintenant il ne fait plus aucun doute les outils de coupe mis en œuvre sur les machines-outils de conceptions les plus récentes exigent une qualité et une régularité de l'affûtage ayant nécessité de transférer l'habileté et l'expérience des affûteurs à la commande numérique.

XII) Outil de forme

L'outil de tour désigne un des nombreux outils utilisés, avec un porte-outil, sur un tour. La plupart du temps la pièce tourne à une vitesse calculée (vitesse de rotation en tours par minute) accompagnée d'une avance travail (en mètres par minute). Les outils de tournage mécanique existent dans une grande variété de formes en fonction des conditions particulières des opérations effectuées.

Outil pelle

Cet outil permet d'usiner une rainure de grande largeur, les petites largeurs sont utilisées pour le rainurage destiné à recevoir un joint, un circlips, etc.



Figure II.37 : Outil pelle avec plaquette abrasée 3D

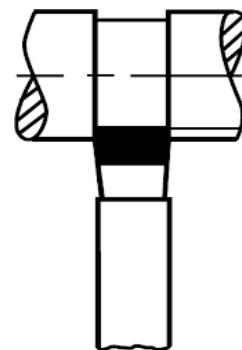


Figure II.38 : Schéma montré l'opération de rainurage. (pièce-outil pelle).

Chapitre III :
Gamme d'usinage & modélisation
numérique.

I) Introduction

Concevoir et fabriquer un produit plus performant, plus robuste, à prix diminué, avec un temps de main d'œuvre, de conception et de fabrication diminué, figurent parmi les objectifs de qualité de toute entreprise compétitive. L'offre d'un produit doit se faire rapidement. Le temps devient une option stratégique. La réalisation d'une aide à l'opérateur participe à cet objectif au même titre que le décloisonnement du travail et la mise en œuvre d'une meilleure synchronisation dans la productivité. De nos jours, ces objectifs peuvent être atteints, en utilisant des techniques de conception et de fabrication ultra sophistiquées appelées la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur). Ce logiciel intègre depuis quelques années

des modules spécifiques à la fabrication (Case-works - Surf Came). Toutes les tâches classiques comme la création de chaînes de cotes ou l'écriture de programmes machines sont automatisées, ce qui allège considérablement le travail. En pratique, les gammes sont toujours validées expérimentalement avant de lancer la production. Cette phase de test est réalisée sur des préséries. Elle demande beaucoup d'investissements en temps et en moyens : réaliser les pièces brutes et les éléments du montage, usiner les pièces, contrôler les surfaces, ... En cas de non-conformité, il faut alors modifier la gamme, voire même modifier la conception de la pièce, ce qui allonge énormément les temps de mise au point. L'intégration des erreurs géométriques et des aspects dynamiques dans la chaîne de CFAO permet de limiter fortement le risque de mauvaises conceptions.

II) Description d'un outil pelle

1) Arête et faces de coupe et dépouille

Un outil coupant de forme (fraise cylindrique 2T) est constitué d'une partie active : c'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal (voir **figure III.1**). Elle est caractérisée par sa forme et son matériau. Sa durée de vie doit être plus grande que celle du métal à travailler.

L'élément essentiel de la partie active de l'outil est formé par :

- (1) **Arête de coupe** : est formée par l'intersection des faces de coupe et de dépouille ;
- (2) **Face de coupe** : C'est celle sur laquelle s'appuie et glisse le coupeau ;
- (3) **Face de dépouille** : C'est la face qui se trouve en regard de la surface qui vient d'être travaillée.

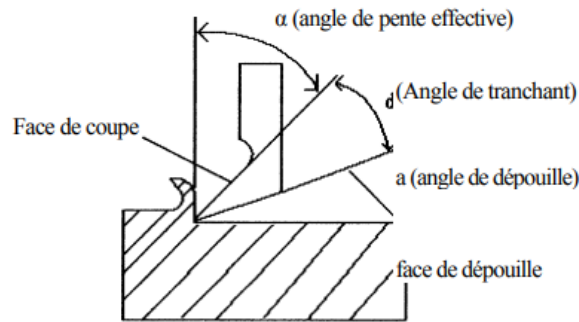


Figure III.1 : Schéma descriptive d'un outil de tour (Arête et faces de coupe et dépouille).

2) Etapes de réalisation l'outil pelle (outil de tour)

Suite aux analyses effectuées sur la pièce modèle (La nuance et la dureté), on procède de leur réalisation en élaborant leur gamme de fabrication à savoir :

- (1) Dessin de définition ;
- (2) Gamme d'usinage ;

1) Dessin de définition

Dessin établis par les services de préparation du travail des usines. Ils indiquent le procédé de fabrication choisi et tous les renseignements nécessaires à sa réalisation. En particulier, en respectant les côtes fonctionnelles données par le dessin de définition, ils comportent des côtes, dites surabondantes ou complémentaires, destinées à faciliter le travail des exécutants ainsi que le choix des bases de référence (axe ou plan) qui conditionnent le procédé adopté, le profil de la fraise de forme est ci-dessous et les détails « voir les détails dans l'annexe » .

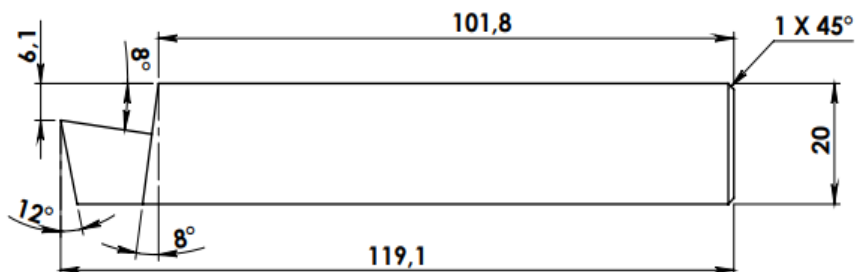


Figure III.2 : Schéma descriptive le Profil de l'outil de tour (outil pelle).

2) Gamme d'usinage

Pour réaliser notre pièce modèle (fraise de forme) on a suivi les différentes phases « voir les détails dans l'annexe » :

3) Etapes de réalisation d'un outil pelle

1^e Etape : Débitage (phase n°10) « voir les détails dans l'annexe » :

Couper les deux matières (morceaux) :

- (a) **corps** : Acier rapide (ARS) 45 : 25×25×123mm ; selon le dessin.
- (b) **Partie active avec plaquette abrasé** : Carbure YT15A118 : 16×17.8×6 mm ;

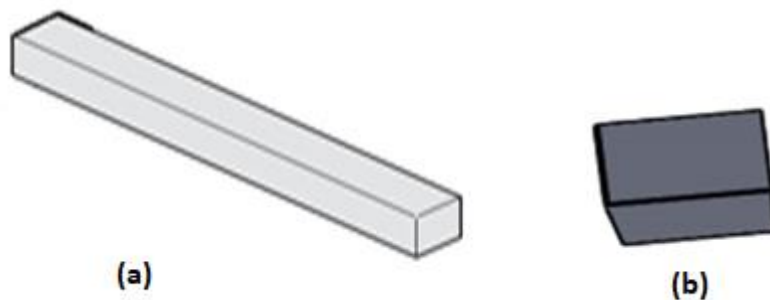


Figure III.3 : Débitage de la matière première ((a) corps +(b) Partie active avec plaquette abrasé).

2^{ème} Etape (phase n°20 sous phase n° 21 jusqu'à n° 32) « voir les détails dans l'annexe » :

Surfaçage (Fraisage en bout +Fraisage en roulant) selon le dessin de définition :

3^{ème} Etape (phase n°20 sous phase n° 33 jusqu'à n° 42) « voir les détails dans l'annexe » :

Assurer les cotes de la partie active de l'outil

Fraisage en roulant en opposition+ chanfrein

4^{ème} Etape (phase n° 50) « voir les détails dans l'annexe » :

Contrôle des cotes

5^{ème} Etape (phase n° 70) « voir les détails dans l'annexe » :

.Sablage

6^{ème} Etape (phase n° 80) « voir les détails dans l'annexe » :

Soudage (Assemblage corps-plaquette (brasage)),

7^{ème} Etape (phase n° 90) « voir les détails dans l'annexe » :

Affûtage (Angel de coupe),

8^{ème} Etape :

Contrôle finale de l'outil.

9^{ème} Etape :

Chromage.

III) Dessin (SolidWorks)

1) Introduction

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de modélisation volumique paramétré, basée sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows, connu pour sa convivialité. Vous pouvez créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés avec ou sans contraintes tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception. Un modèle SolidWorks est entièrement intégré par rapport aux mises en plan et aux assemblages qui le référencent. Les changements introduits dans le modèle sont entièrement reflétés dans les mises en plan et les assemblages qui lui sont associés. Inversement si vous effectuez des changements dans le contexte d'une mise en plan ou d'un assemblage, ces changements sont reflétés dans le modèle. Les relations géométriques telles que les relations parallèles, perpendiculaires, horizontales, verticales, concentriques et coïncidentes sont des exemples de contraintes supportées par SolidWorks.

Des équations peuvent également être utilisées pour établir des relations mathématiques entre les paramètres.

2) Mise en plan

- Longueur totale = 120mm ;
- La partie active = 17.8 mm ;

3) Caractéristiques d'un outil pelle

- corps : Acier rapide (ARS) 45 : 25×25×123mm ;
- Partie active avec plaquette abrasé : 16×17.8×6 mm
- Module de Young = 21000 ;
- Coefficient de poisson = 0.3.

IV) Abaqus

1) Introduction

Abaqus est un outil de modélisation puissants permettant de concevoir de façon dynamique tous types d'éléments, depuis les dessins du styliste à la surface finale, prête pour les processus de fabrication. Ce logiciel nous permet de générer des courbes 3D, et les déformer, et d'analyser de façon statique et dynamique tous les éléments générés. Le module COSMOS/WORKS est conçu pour traiter des pièces 3D solides provenant d'Abaqus.

- Abaqus Simulation est un système d'analyse de conception totalement intégré à Abaqus.

- Abaqus Simulation permet d'obtenir, à partir d'un seul écran, des solutions d'analyse fréquentielles, thermiques, de contraintes, de flambement et d'optimisation. Grâce à ses solveurs rapides Abaqus Simulation permet de résoudre rapidement des problèmes de grande ampleur, sur votre ordinateur personnel. Est proposé en plusieurs configurations pour répondre à vos besoins d'analyse.
- Abaqus Simulation raccourcit le délai de mise sur le marché en réduisant le temps et le travail nécessaires pour définir la solution optimale.

2) Principes de base de l'analyse

Le logiciel utilise la méthode des éléments finis (FEM, pour FiniteElement Method). Cette méthode est une technique numérique d'analyse de conception. Elle est considérée comme la méthode standard d'analyse, du fait de sa généralité et de sa capacité à être traitée par l'informatique. La méthode des éléments finis divise un modèle en un grand nombre de petites entités de formes simples appelées éléments, et remplace ainsi un problème complexe par un ensemble de problèmes simples qui doivent être résolus simultanément. Les éléments partagent des points communs appelés nœuds. Le processus qui consiste à diviser le modèle en petites entités est appelé maillage. Le comportement de chaque élément est connu dans tous les cas possibles de support et de chargement. La méthode des éléments finis utilise des éléments de différentes formes. La réponse en chaque point d'un élément est interpolée à partir de la réponse au niveau de ses nœuds. Chaque nœud est complètement décrit par un nombre de paramètres dépendant du type d'analyse et de l'élément utilisé. Dans le cas des analyses structurelles, la réponse d'un nœud est décrite en général par trois translations et trois rotations, Ces capacités à se déplacer sont appelées degrés de liberté (DDL). Une analyse utilisant la méthode des éléments finis est appelée Analyse par éléments finis (FEA). Dans une analyse de contraintes, le solveur détermine les déplacements de chaque nœud, puis calcule les déformations et enfin les contraintes. Le maillage est une étape fondamentale de l'analyse de conception. Le logiciel génère un maillage s'appuyant sur une taille d'élément globale, une tolérance globale ainsi que sur les spécifications locales de contrôle du maillage. Le contrôle du maillage vous permet de définir différentes tailles d'élément pour les composants, faces, arêtes et sommets. Pour ce faire, le logiciel évalue une taille d'élément globale en tenant compte du volume du modèle, de sa surface et d'autres paramètres géométriques. La taille du maillage généré (nombre de nœuds et d'éléments) dépend de la géométrie et des dimensions du modèle, de la taille des éléments, de la tolérance de maillage, du contrôle du maillage et des spécifications de contact. Dans les premières étapes de l'analyse de conception, où des

résultats approximatifs peuvent être suffisants, vous pouvez spécifier une taille d'élément plus importante pour atteindre plus rapidement une solution. En général, une petite taille d'élément est nécessaire pour obtenir des résultats plus précis.

Le maillage génère des éléments volumiques tétraédriques 3D, des éléments coque triangulaires 2D et des éléments poutre 1D. Un maillage est composé d'un type d'éléments à moins qu'il ne s'agisse d'un maillage mixte. Les éléments volumiques sont naturellement bien adaptés pour les modèles volumineux. Les éléments coque sont naturellement bien adaptés pour la modélisation de pièces minces (de tôlerie) et les poutres et les barres conviennent à la modélisation d'éléments mécano-soudés.

3) Contraintes de Von Mises

Le critère de Von Mises est basé sur la théorie de Mises-Hencky, connue aussi sous le nom de la théorie de l'énergie de distorsion maximale. En utilisant les contraintes principales σ_1 , σ_2 , et σ_3 , la contrainte de **Von Mises** s'exprime comme suit :

$$\sigma_{\text{VonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)}$$

La théorie prévoit qu'un matériau ductile commence à céder lorsque la contrainte de VonMises atteint un niveau égal à la contrainte limite. Dans la plupart des cas, la limite d'élasticité est utilisée comme contrainte limite. Cependant, le logiciel vous permet d'utiliser la limite de rupture en traction ou de définir votre propre contrainte limite.

$$\sigma_{\text{VonMises}} \geq \sigma_{\text{limite}}$$

La limite d'élasticité dépend de la température. La valeur spécifiée pour la limite d'élasticité doit tenir compte de la température du composant. Le coefficient de sécurité en un endroit est calculé comme suit : Coefficient de sécurité (CS) = $\sigma_{\text{limite}} / \sigma_{\text{vonMises}}$

4) Simulation de l'outil pelle de tour (étude statique)

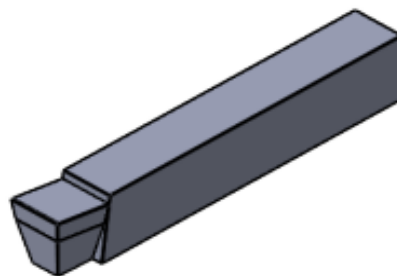


Figure III.4 : Outil pelle réalisée par SolidWorks.

5) Maillage

L'objet du maillage est de discrétiser géométriquement le domaine d'analyse de manière à pouvoir ultérieurement associer une formulation éléments finis au support géométrique. Concrètement cette discrétisation s'effectue par la création d'objets de type maillage (points, lignes, surfaces, volumes) à l'aide des opérateurs géométriques.

La technique à suivre est presque toujours la même :

- Construction des points ;
- Construction des lignes à partir des points ;
- Construction des surfaces à partir des lignes ;
- Construction des volumes à partir des surfaces.

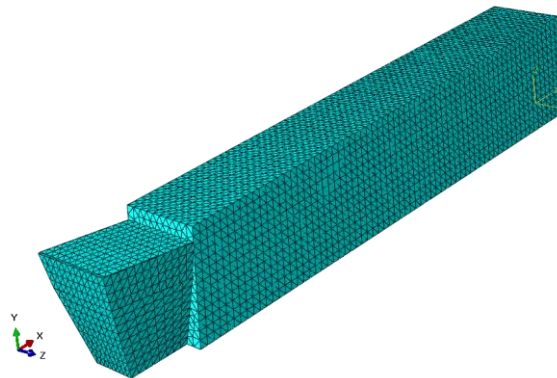


Figure III.5 : Forme de maillage de l'outil pelle de tour.

6) Chargement de l'outil pelle de tour

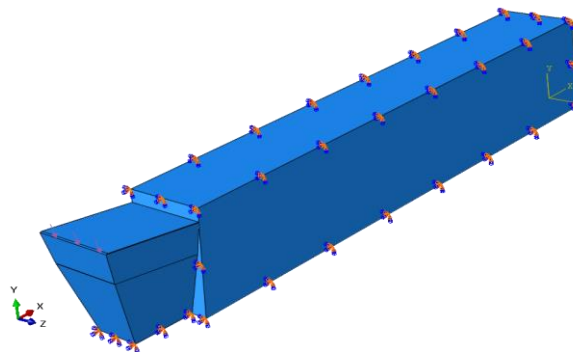


Figure III.6 : Mode de chargement.

7) Résultats et discussion

Nous avons fait une coupe selon l'axe ZZ, pour montrer les zones dangereuses sur l'arrête de coupe. La zone la plus dangereuse est indiquée sur l'arrête (zone rouge). Cet endroit à éviter, on doit l'arrondir ou éviter l'angle vif, pour diminuer l'intensité de contraintes dans cette zone. Les zones dangereuses se situent sur les goujures et ainsi sur les listels, C'est pour cette raison nous devons prendre en considération ces zones pendant le traitement thermique.

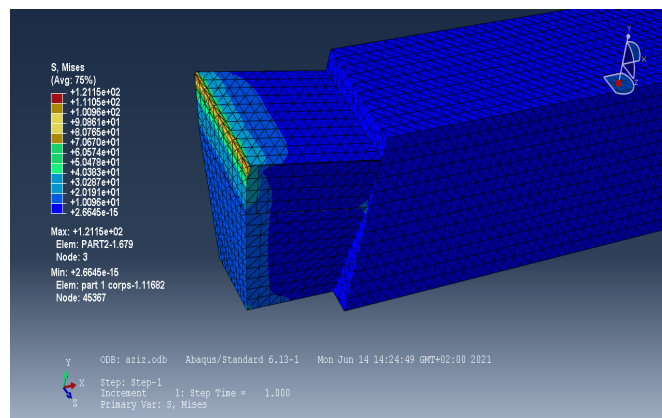


Figure III.7 : Influence des contraintes sur l'outil pelle.

1) Contraintes selon ZZ

Dans ce cas nous avons considéré une seule dent.

Contrainte de Von Mises :

- **Min** : -2.6391×10^1 N/mm² (MPa),
- **Max** : 1.7857×10^1 N/mm² (MPa).

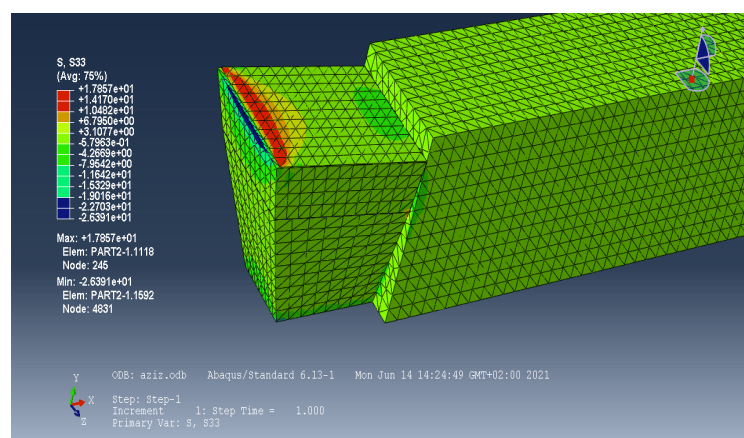


Figure III.8 : Contraintes selon plan ZZ.

2) Contraintes selon YY

Contrainte de Von Mises :

- **Min** -1.808e+2 N/mm² (MPa)
- **Max** 3.0815e+1 N/mm² (MPa).

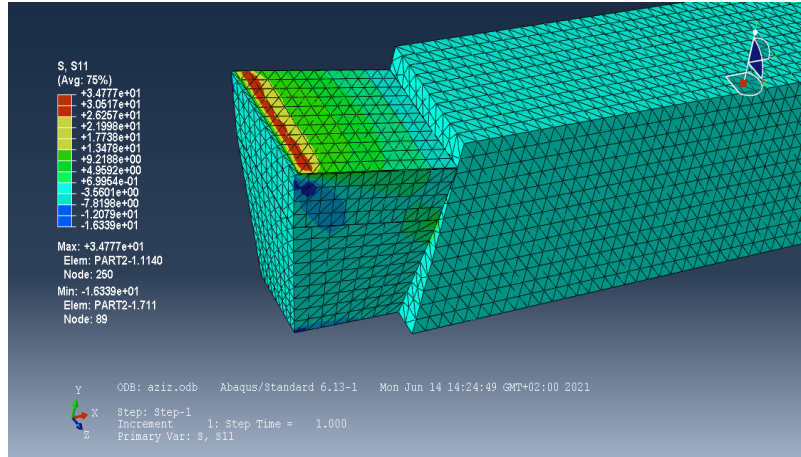


Figure III.9 : Contraintes YY.

3) Contraintes selon XX

Contrainte de Von Mises :

- **Min** : -1.6339e+1 N/mm² (MPa) ,
- **Max** : 3.4777e+1 N/mm² (MPa).

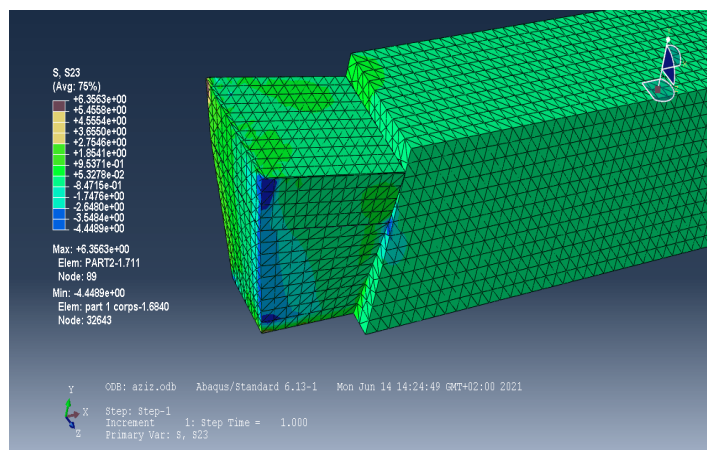


Figure III.10 : Contraintes XX.

4) Contraintes selon ZY

Contrainte de Von Mises :

- **Min** : -4.4489e+0 N/mm² (MPa)
- **Max** : 5.3663e+0 N/mm² (MPa).

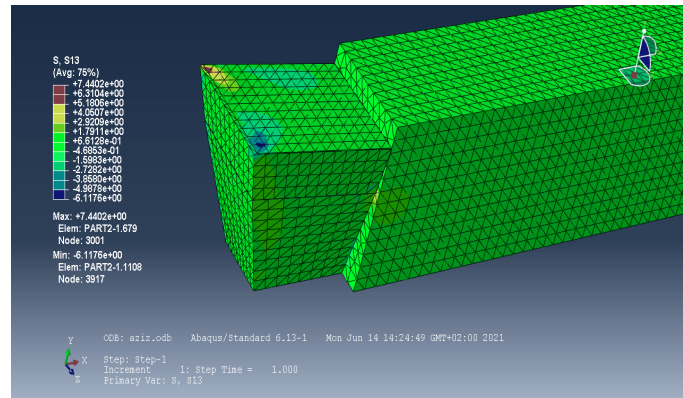


Figure III.11 : Contraintes ZY.

5) Contraintes selon ZX

Contrainte de Von Mises :

- **Min** : -6.4402e+0 N/mm² (MPa)
- **Max** : 7.345e+0 N/mm² (MPa).

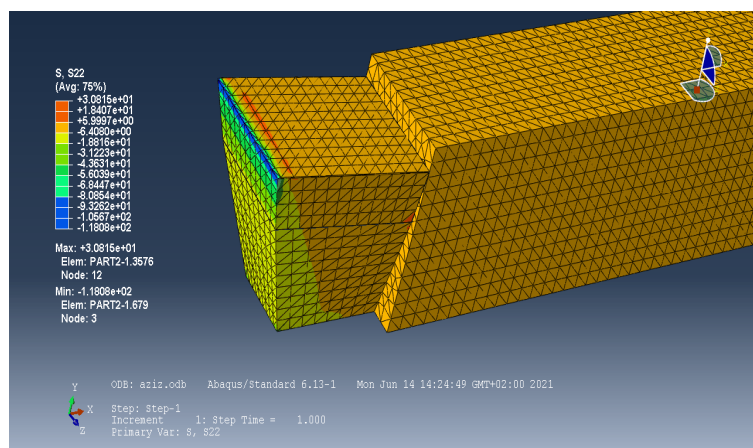


Figure III.12: Contraintes ZX.

6) Contraintes selon YX

Contrainte de Von Mises :

- **Min** : -1.2923×10^1 N/mm² (MPa),
- **Max** : 2.4823×10^1 N/mm² (MPa).

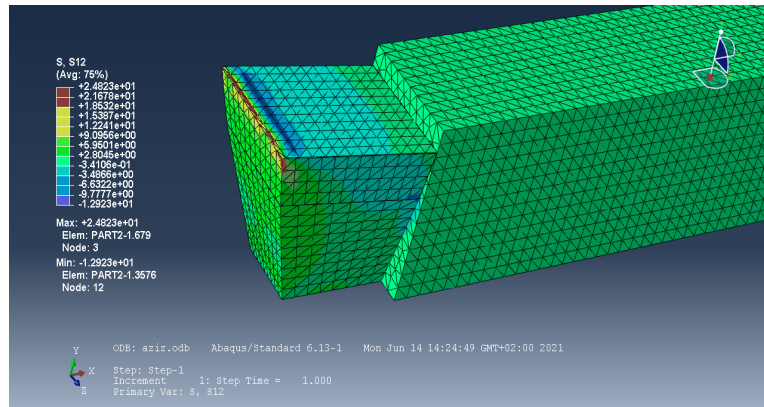


Figure III.13 : Contraintes YX.

V) Discussion

Sur les figures illustrées ci-dessus, nous avons montrés les contraintes de **Von mises** et le déplacement sur l'arête tranchante de l'outil de tour (outil pelle). Cette dernière a subie des efforts de coupe au moment d'usinage. Les zones rouges s'usent avant les autres zones et cette usure survient après un nombre des pièces réalisé prescrites dans la gamme d'usinage. Donc, nous devons **éviter les angles vifs**.

Conclusion générale

L'apparition de l'usinage par enlèvement de copeaux, le secteur de la machine-outil a tourné une page de son histoire. Les pièces sont désormais usinées très rapidement, avec une précision toujours croissante. Seulement, l'usinage ne représente que 15% du temps total de production. Changement d'outils, acheminement de la pièce, etc...

Pour une performance maximale, l'usinage doit prendre en compte non seulement le temps d'usinage proprement dit (temps copeaux), mais également, et surtout, le temps hors d'usinage, qui représente à lui les 85% restants du temps de cycle total de production.

C'est pourquoi on essaye d'obtenir maintenant des pièces de moulage ne nécessite pas d'usinage. Cela est possible avec les plastiques, mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'égaliser celles de l'acier des alliages d'aluminium.

Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut citer le processus de fabrication par enlèvement de copeaux qui offrent une grande importance dans la gamme d'usinage. La pièce usinée par enlèvement de matière est d'une précision supérieure. Tout d'abord les efforts de coupe sont réduits. Donc, la pièce subit moins de déformation. Ensuite les calories sont dissipées dans les copeaux avant d'avoir le temps de pénétrer dans la pièce. Moins de sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originale.

Références

CHAPITRE I : DIFFERENTS PROCEDES DE FABRICATION MECANIQUE

Mémoire de master / conception et fabrication mécanique (CFM) d'une fraise cylindrique en bout 2t, à queue conique par technique d'enlèvement de matière / (Réalisé par : OUCIF Nadji -GHARBI Rami) / UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA / Année universitaire : 2019-2020.

Polycopié de coupe des métaux en fabrication mécanique et productique / Dr. BENNEGADI Mohammed El Larbi / Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF Faculté de Génie Mécanique)

- [1] Mémoire de master etude de fabrication d'une pièce «jumelle »et modélisation sous SolidWorks / présenté par : DJEMILI LOTFI / UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA)
- [2] A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.2010.
- [3] A. Touine, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [4] 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.
- [5] Gaëtan Albert, identification et modélisation du torseur des actions en fraisage, Thèse de doctorat, école doctorale des sciences physique et l'ingénieur.
- [6] R. Butin, M. Pinot, «Fabrication Mécanique Technologie, Tome 3», Foucher, Paris
- [7] Mémoire de master / conception et fabrication mécanique (cfm) d'une fraise cylindrique en bout 2t, à queue conique par technique d'enlèvement de matière / (Réalisé par : OUCIF Nadji -GHARBI Rami) / UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA / Année universitaire : 2019-2020.
- [8] Polycopié de cours / Spécialité : MECANIQUE- Master 1 / Matière Techniques de Fabrication Conventionnelles et Avancées / Réalisé par : Dr : El hachemi BAHLOUL / Année universitaire 2017/2018
- [9] cours fabrication mécanique / les différents procédés d'obtention des pièces / PTSI – SII / P. CHAUVIN
- [10] Guillaume Girardin. Développement d'un procédé d'usinage par micro électroérosion. Autre. Université Claude Bernard - Lyon I, 2012. Français. ffnNT : 2012LYO10315ff. fftel-00873543
- [11] Polycopié de Technologie de Base / Réalisé par Docteur MEZIANE EL Hadj Université HassibaBenbouali de Chlef / Novembre 2017
- [12] Polycopié de cours MatièreTechniques de Fabrication Conventionnelles et Avancées Réalisé par : Dr : El hachemi BAHLOUL UNIVERSITE BATNA 2Année universitaire 2017/2018
- [13] Polycopié de Technologie de Base / Réalisé par Docteur MEZIANE EL Hadj Université HassibaBenbouali de Chlef / Novembre 2017

- [14] Mémoire modélisation des procédés de mise en forme de composantes d'un train d'atterrissage d'avion Application au procédé de forgeage à chaud à matrices fermées / Kadiata Ba 2015 / université LAVAL
- [15] Mémoire présente en vue l'obtention du diplôme de master / analyse et amélioration de la gamme d'usinage du demi-boîtier d'un organe de transmission / présenté par : SALHI RYAD / UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA / Année : 2017/2018
- [16] Polycopié de Technologie de Base / par Docteur MEZIANE EL Hadj Université Hassiba Ben Bouali de Chleff / Novembre 2017
- [17] Polycopié de cours Matière Techniques de Conventionnelles et Avancées Réalisé par : Dr : El hachemi BAHLOUL UNIVERSITE BATNA 2 /Année universitaire 2017/2018
- [18] Mémoire de fin d'étude / Thème : Conception d'un outil de découpage de la bande élastique pour la cage à roulements du moteur électrique –ENEL / Présenté par : (Addoum Abderrahmane /Bahloul Amir) / Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou / 2018.
- [19] Cours fabrication mécanique / les différents procédés d'obtention des pièces / PTSI – SII / P. CHAUVIN
- [20] Cours de technologie de base / Université Abdelkader Mira – Bejaïa / S. SFARNI
- [21] [21] Polycopié de cours matière techniques de Fabrication Conventionnelles et Avancées Réalisé par : Dr : El hachemi BAHLOUL UNIVERSITE BATNA 2 / Année universitaire 2017/2018
- [22] thèse de master / titre : élaboration et caractérisation d'une céramique diélectrique a base de palygorskite / Présentée par : DJELLALI BRAHIM / UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES / 2015/2016.
- [23] Mémoire de magister / élaboration de l'intermétallique (Fe-Al) utilisé comme renfort particulière dans les matériaux composites / présenté par : KAHINA KHELOUI / UNIVERSITÉ MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU / Année 2010-2011
- [24] Mémoire / Caractérisation des assemblages structuraux en construction métallique selon l'ec3 / présente par : TAKOUACHET MOUNIR / UNIVERSITE M'ENTOURAI CONSTANTINE / 2008
- [25] Mémoire / Conception d'une machine automatique d'assemblage des rouleaux de transporteurs / Présenté par : GHARBI KHAOULA / UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA / 2015/2016.
- [26] mémoire de master / conception et fabrication mécanique (CFM) d'une fraise cylindrique en bout 2t, à queue conique par technique d'enlèvement de matière / (Réalisé par : OUCIF Nadji -GHARBI Rami) / UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA / Année universitaire : 2019-2020.

CHAPITRE II : ETUDE ET CONCEPTION DES OUTILS DE TOURNAGE

- [1] Mémoire de mastre / l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier xc48 / présente par : (Bougoffa Ramez Med Lamine) / Université Badji Mokhtar Annaba / année : 2017/2018.

- [2] Coupe des métaux / S. Bensaada
- [3] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme : master/ optimisation des efforts et de la puissance de coupe en utilisant la méthode de taguchi, lors du tournage de l'acier AISI D3 avec des outils en carbure et en céramique : présent Zitouni Mokhtar / Université Larbi Ben m' Hidioum-El-Bouaghi / 2017 / 2018.
- [4] Mémoire de master / optimisation multi-passe des régimes de coupe en chariotage / par (Debbache Abdellatif ; Benglia Mohammed Bakar) / Université Kasdi Merbah Ouargla / juin 2011
- [5] Mémoire de master / l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier xc48 / présente par : (Bougoffa Ramez, Med Lamine) / Université Badji Mokhtar Annaba / année : 2017/2018.
- [6] Rocardier, « cours sur le tournage - usinage cours technologie» 2011
- [7] Mémoire de master / modalisation et simulation des mécanismes aux interfaces pièce-outil-copeaux xc48 / présenté par : chakirsara – laidikarima / université blida 1 / 2015/2016
- [8] <https://fr.slideshare.net/laylazerhoun/tp-tournage>
- [9] Mémoire de master / étude de l'influence des paramètres de coupe sur la précision de l'état de surface obtenue par usinage en tournage / réalisé par : (issaadi madjid-merabtine amira) / université de mouloud mammeri de tiziouzou / 2015.
- [10] Mémoire de master / modalisation et simulation des mécanismes aux interfaces pièce-outil-copeaux xc48 / présenté par : chakirsara – laidikarima / université blida 1 / 2015/2016.
- [11] j. Vergnas, « usinage : technologie et pratique », génie mécanique Dunod, Isbn 2-04-011186-7, bordas, paris 1982
- [12] [12] mémoire de master / étude des méthodes de contrôle des machines outilles conventionnelles / présenté par : Soufi Sami / université de m'sila / 2015 / 2016.
- [13] Mémoire de master / l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier xc48 / présente par : (Bougoffa Ramez, Med Lamine) / Université Badji Mokhtar Annaba / année : 2017/2018.
- [14] Fabrication avancée et méthodes industrielles – du dossier produit au dossier fabrication, tome 1 / Christian Mascle, Walerywygowski / sbn 978-2-553-01630-1 (version pdf) / presses internationales polytechnique, 2012
- [15] Mémoire de master / l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier xc48 / présente par : (Bougoffa Ramez, Med Lamine) / université Badji Mokhtar Annaba / année : 2017/2018.
- [16] S. Bensaada, coupe des métaux, université Mohamed Khider – Biskra –Algérie.
- [17] Mémoire de master / étude de l'influence des paramètres de coupe sur la précision de l'état de surface obtenue par usinage en tournage / réalisé par : (Issaadi Madjid-Merabtine Amira) / université de mouloud mammeri de Tizi Ouzou / 2015.
- [18] A. Belloufi, « cours procédés de fabrication », master maintenance industrielle, université kasdimerbah ouargla.2010

- [19] Polycopié de coupe des métaux en fabrication mécanique et productique / dr. Bennegadi Mohammed El Larbi / université des sciences et de la technologie D'oran Mohamed Boudiaf.
- [20] <https://notech.franceserv.com/tournage.html>
- [21] Thèse de doctorat / étude du comportement en usure des outils de coupe en fonction du revêtement / Par : ACHOUR Ali / Université m'entourai – Constantine /
- [22] Mémoire de master / Optimisation Multi-Passe des Régimes de Coupe En Chariotage / par (Debbache Abdellatif ; Benglia Mohammed Bakar) / université Kasdi Merbah Ouargla / juin 2011
- [23] Thèse de doctorat / étude du comportement en usure des outils de coupe en fonction du revêtement / Par : ACHOUR Ali / Université m'entourai – Constantine /
- [24] Thèse de doctorat / Etude des nouveaux matériaux de coupe et leur aptitude à l'usinage / Par : Slimane MEKHILEF / UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA /
- [25] S. BENSAADA, Coupe des métaux, Université Mohamed Khider – Biskra – Algérie.
- [26] Mémoire de master / l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier xc48 / présente par : (Bougoffa Ramez, Med Lamine) / Université Badji Mokhtar Annaba / année : 2017/2018.
- [27] Mémoire de master / Etude de l'influence des paramètres de coupe sur la précision de l'état de surface obtenue par usinage En tournage / Réalisé par : (ISSAADI Madjid- MERABTINE AMIRA) / université de mouloud Mammeri de Tizi Ouzou / 2015.

Annexes