



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Présenté par :

NOUIOUA Ahmed & SAADOUNE Adel

Thème

INFLUENCE DE LA GEOMETRIE DE L'OUTIL DE COUPE SUR LA QUALITÉ D'USINAGE

(APPLICATION AU TOURNAGE)

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
EL HADI Abdelmalek	MCA	Président
DAOUDARI Ameer	MAA	Encadreur
ROUABHI Yousef	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2022

Remerciement

Ce mémoire a pu le jour grâce à l'aide de nombreuses personnes à qui on tient à adresser nos reconnaissances et mes remerciements.

En premier lieu, on tient à remercier Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant toutes ces années d'études

En suit on adresse nous vifs et sincères remerciements à notre encadreur, DAOUDARI Ameur professeur à l'université de M'sila, pour sa patience, le sujet de ce mémoire, son enseignement, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

*On tient à remercier sincèrement les membres jury Dr.EL HADI Abdelmalek et Dr. ROUABHI Yousef à l'université de M'sila qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.
Ainsi que tous nos professeurs qui nous ont enseigné durant nos études à la faculté de technologie.*

Mes remerciements vont enfin à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin dans les recherches et à l'élaboration de ce mémoire.

Et nous exprimons également tous le bonheur du monde à nos collègues de promotion 2022/2023.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma famille, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude et qui n'a jamais cessé de son aide et son encouragement durant toute la période universitaire. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Toute la famille et mes amis.

Saadooune

Dédicace

*Je désire dédier les fruits de ce modeste travail
A celle qui est dans mon cœur, qui a veillé pour notre confort et qui a
sacrifié beaucoup pour notre réussite :*

Ma chère famille.

*A celui qui m'a toujours appris comment réfléchir avant d'agir, à
celui qui m'a
soutenu tout au long de ma vie scolaire et universitaire, à celui qui
n'a jamais épargné un effort pour mon bien,*

ET

*Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de
sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie
A mes chères amis et amies qui m'ont accompagné tout au long de ce
parcours universitaire :*

Ma binôme ADEL

*A tous les collègues de ma promotion.
A tous mes professeurs du primaire au supérieur.
Et à tous ceux qui me sont chères.
A ma bien aimée L'ALGERIE*

Nouioua

SOMMAIRE

Sommaire	
Table des figures	I
Liste des tableaux	IV
Liste des symboles	V
Introduction générale	VII

Chapitre I: Technologie de fabrication mécanique

I.1. Notions	1
I.2. Les Procédés de fabrication	2
I.2.1. Production par enlèvement de matière	2
I.2.2. Production par déformation	4
I.2.3. Production par fusion	5
I.2.4. Production par assemblage	6
I.3. Notions de tournage conventionnel	7
I.3.1. Définition	7
I.3.2. Les principales opérations de tournage	7
I.3.3. Machine-outil	8
I.3.4. Différents types des tours	9
I.4. Notions de fraisage conventionnel	12
I.4.1. Définition	12
I.4.2. Exemple d'opérations de fraisage	13
I.4.3. La machine-outil	14
I.4.4. Différents types de fraiseuse	15
I.5. Notions de perçage conventionnel	18
I.5.1. Définition	19
I.5.2. La machine-outil	19
I.5.3. Différents types de Perceuse	19
I.6. Les Procédés Non Conventionnelles	21
I.6.1. Introduction	21
I.6.2. Classification	21
I.6.3. Procédés à action mécanique	22
I.6.4. Procédés électrochimiques	24
I.6.5. Procédés thermiques	25
I.6.6. Usinage au Plasma	27
I.6.7. La fabrication additive	27
Conclusion	28

Chapitre II : Les outils de coupe

II.1. Notions	30
II.2. Les outils de coupe	30
II.3. Éléments de l'outil de coupe	31
II.3.1. Corps de l'outil	31
II.3.2. Partie active de l'outil	31
II.3.3. Face de dépouille	31
II.3.4. Arrêt tranchante principale	32

SOMMAIRE

II.3.5. Arrêt tranchante secondaire	32
II.3.6. Bec de l'outil	2
II.3.7. Plans de l'outil en main	32
II.3.8. Plans de l'outil en travail	33
II.3.9. Angles de l'outil. (Figure 2-2)	35
II.3.10. La géométrie de l'arête de coupe	36
II.3.11. Description géométrique du contact en tournage	37
II.4. Usure des outils de coupe	37
II.4.1. Phénomènes provoquant l'usure	37
II.4.2. Phénomènes physico-chimiques	39
II.4.3. Étude des différents paramètres influant sur l'usure.....	39
II.4.4. Principaux types d'usure des outils.....	40
II.4.5. Usure de la face en dépouille principale	40
II.5. Les types de matériaux utilisés pour les outils tournage	41
II.5.1. les aciers rapides supérieurs	42
II.5.2. Les Carbures Métalliques	43
II.5.3. Outils à carbure brasé	43
II.5.4. Outils à plaquettes carbures.....	43
II.5.5. Les céramiques Techniques.....	44
II.5.6. Les diamants industriels	44
II.6. Outils et opérations de fraisage : (les fraises).....	44
II.7. Les outils de coupe perçage.....	47
Conclusion	48

Chapitre III : Coupe des métaux

III.1. Notions	50
III.2. Exigences liées à l'usinage	50
III.2.1. Le procédé de tournage définition	51
III.2.2. Principe de travail	52
III.2.3. Principaux éléments d'une pièce en tournage.....	52
III.2.4. Les opérations de base	52
III.2.5. Mouvements relatifs outil-pièce.....	53
III.3. Les paramètres de coupe	54
III.3.1. La vitesse de coupe	55
III.3.2. La vitesse d'avance	61
III.3.3. La profondeur de passe	62
III.3.4. Les temps de fabrication	63
III.4. Formation du copeau	65
III.5. Efforts et puissance de coupe	68
III.5.1. Les composantes de l'effort de coupe.....	68
III.5.2. Paramètres d'influence.....	69
III.6. Système pièce/outil de coupe/machine-outil.....	69
III.6.1. Description du système pièce/outil de coupe/machine-outil.....	68
III.6.2. Éléments indépendants de l'opération d'usinage	70
III.6.3. Éléments dépendants de l'opération d'usinage.....	71
Conclusion	72

SOMMAIRE

Chapitre IV : Etude de l'état des surfaces

IV.1. Notions	74
IV.2. Facteurs intervenant sur l'état de surface	74
IV.3. Principaux défauts de surface	75
IV.3.1. Rugosité	76
IV.3.2. Les spécifications normalisées	76
IV.4. Mesure de la rugosité	77
IV.4.1 Appareils à palpeur	78
IV.4.2 Principe de mesure	79
IV.4.3 Le rugosimètre	79
IV.4.4 Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique (palpage)	84
Conclusion	85

Chapitre V: Elaboration et expérimentation

V.1. Notions	87
V.2. Présentation du mode de travail	87
V.3. Equipements utilisés	88
V.4. Préparation des pièces a pièces utilisées	98
V.4.1. Les compositions chimiques des pièces utilisées	99
V.5. Identification de l'expérience	100
V.6. Analyse et calcul d'erreur statistique	102
V.7. Résultats obtenus	102
Conclusion	107

Conclusion générale

Chapitre I : Technologie de fabrication mécanique

Figure I-1 Les différents procédés de mise en forme 1
 Figure I-2 différentes techniques d'usinage par enlèvement de matière et pièces réalisées ..3
 Figure I-3 la déformation des tôles5
 Figure I-4 Technique de frittage des poudres métalliques.....6
 Figure I-5 Composantes d'un tour.....9
 Figure I-6 Les tours parallèles à charioter et à fileter9
 Figure I-7 Les tours à copier.....10
 Figure I-8 Les tours semi-automatiques10
 Figure I-9 Les tours automatiques11
 Figure I-10 Les tours automatiques multibroches11
 Figure I-11 Les tours à commande numérique12
 Figure I-12 Exemple de pièce fraisée13
 Figure I-13 Quelques opérations de fraisage13
 Figure I-14 Une fraiseuse14
 Figure I-15 Fraiseuse horizontale15
 Figure I-16 Fraiseuse vertical15
 Figure I-17 Fraiseuse universelle.....16
 Figure I-18 les fraiseuses a commande numérique.....16
 Figure I-19 Fraiseuse 3 axes17
 Figure I-20 Fraiseuse 4 axes17
 Figure I-21 Fraiseuse 5 axes18
 Figure I-22 opération de perçage18
 Figure I-23 Composants La Perceuse19
 Figure I-24 Perceuses à colonne19
 Figure I-25 Perceuse radiale20
 Figure I-26 Schéma découpage à l'eau pur ou à l'eau + abrasif.....23
 Figure I-27 Principe de l'abrasion ultrasonore.23
 Figure I-28 Pièces usinées en graphite Pièces usinées en céramiques.24
 Figure I-29 Coupe par dissolution anodique.....24
 Figure I-30 Exemples de pièces ébavurées. Exemples de pièces usinées.25
 Figure I-31 Usinage à l'électroérosion à l'électrode.25
 Figure I-32 Principe de fonctionnement du Laser..25
 Figure I-33 Principe du coupage Plasma26
 Figure I-34 . Schéma du procédé de fusion sur lit de poudre26

Chapitre II : Les outils de coupe

Figure II-1 Eléments de l'outil.....31
 Figure II-2 Plans et angles en main sur les outils courants : outil à charioter droit.....32
 Figure II-3 Angle de direction d'arrêt de l'outil33
 Figure II-4 Angle d'inclinaison d'arrêt.....34
 Figure II-5 Angles des faces.35
 Figure II-6 Définition basique d'un outil en tournage.....36
 Figure II-7 Géométrie de l'arrêt de coupe36
 Figure II-8 Description géométrique de l'outil.....37

TABLE DES FIGURES

Figure II-9 Diagramme de combinaison des différents d'usure en fonction de la température	37
Figure II-10 la répartition des températures à proximité du bec de l'outil, pour un outil à plaquette céramique	38
Figure II-11 Mesures de l'usure de l'outil	41
Figure II-12 Outil de tournage en HSS	42
Figure II-13 Outils tourna en CARBURES	43
Figure II-14 Outils à carbure brasé	43
Figure II-15 Outils à plaquettes carbures	43
Figure II-16 Les céramiques	44
Figure II-17 Les diamants industriels	44
Figure II-18 Outils et Opérations de fraisage	45
Figure II-20 Fraises carbure monobloc	44
Figure II-19 Fraise avec pastilles amovibles	46
Figure II-21 Fraise à surfacer et fraise 2 tailles cylindrique	46
Figure II-22 Outils de fraisage	46
Figure II- 23 Des forets en carbure	47
Figure II- 24 Des forets en HSS	47

Chapitre III : Coupe des métaux

Figure III-1 Tournage	51
Figure III-2 Surfaces de la pièce	52
Figure III-3 Opération de base en tournage	53
Figure III-4 Mouvements de l'outil et de la pièce	53
Figure III-5 Configuration de la coupe orthogonale	54
Figure III-6 : procès de coupe	55
Figure III-7 Définition des trois variables ; vitesse de coupe diamètre , vitesse de rotation	60
Figure III-8 Procédé de Rabotage V_c est la même en chaque point de l'arête coupante	60
Figure III-9 Vitesse d'avance v_f	61
Figure III-10 L'avance f dans le cas de tournage	61
Figure III-11 Représentation de la profondeur de passe a_p	63
Figure III-12 Description géométrique de contact	64
Figure III-13 Description géométrique de la zone de la coupe	6
Figure III-14 Copeau continu	66
Figure III-15 Copeau cisailé	66
Figure III-16 Copeau discontinu	66
Figure III-17 Les composantes de l'effort de coupe	68

Chapitre IV Etude De L'état Des Surfaces

Figure IV-1 Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface	75
Figure IV-2 Principaux défauts de surface	76
Figure IV-3 symbole graphique de l'état de surface	76
Figure IV-4 Exemple de symbolisation	77
Figure IV-5 présentation schématique d'un appareil à palpeur	78
Figure IV-6 Rugosimètre avec patin	80
Figure IV-7 Rugosimètre avec patin	80

TABLE DES FIGURES

Figure IV-8 Appareille de mesure tridimensionnelle	81
Figure IV-9 Profilomètre laser.....	82
Figure IV-10 Principe de mesure interférométrique.....	83
Figure IV-11 Méthodes de Tolansky.....	84

Chapitre V Elaboration et expérimentation

Figure V- 1 Tour conventionnelle SN40C	86
Figure V- 2 Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer.....	87
Figure V-3 Certificat de composants de la matière première	88
Figure V-4 Appareil de mesures surface Taylor-Hobson Surtronic 10.....	90
Figure V-5 Thermomètre à infrarouge haute performance SKF	91
Figure V-6 barreau en acier rapide supérieur (ARS).....	92
Figure V-7 Angles du plan de coupe	92
Figure V-8 Les angles d'outils coupants	93
Figure V-9 A- Meule pour finition B-Meule pour ébauche	94
Figure V-10 Réalisation de l'un des angles de l'outil de coupe en ARS.....	94
Figure V- 11 Dessin de définition de la pièce	95
Figure V-12 Brut (Cylindre plein).....	96
Figure V-13 Photo expérience	98
Figure V-14 Photos des pièces échantillons	98
Figure V-15 Photos de l'usure des outils de coupe expérience	102

Chapitre III Coupe des Métaux

Tableau III-1 : Coefficients k pour les vitesses en tournage	56
Tableau III-2 : Plage de vitesses utilisables pour l'usinage (Exemple)	57
Tableau III-3 : Chariotage avec outil en acier rapide des aciers non alliés et faiblement alliés.....	57
Tableau III-4 : Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés faiblement alliés	58
Tableau III-5 : Chariotage avec outil en acier rapide des alliages légers et cuivreux	59
Tableau III-6 : Les différents types de copeaux	67

Chapitre V Elaboration et expérimentation

Tableau V-1 : Indication des valeurs prises pour chaque outil	85
Tableau V-2 : Caractéristiques de Thermomètre	91
Tableau V-3 : Caractéristiques mécaniques de l'acier C35	97
Tableau V-4 : Composition chimique de l'acier C35	97
Tableau V-5 : Valeurs de l'état surface en fonction du L'angle de coupe	99
Tableau V-6 : Valeurs normalisées et expérimentales.....	99

Liste des symboles

- α : Angle de dépouille
- β : Angle de taillant
- γ : Angle de coupe
- λ : Angle d'inclinaison de l'arête
- χ_r : Angle de direction de l'arête
- ψ_r : Angle de direction complémentaire
- δ_r : Angle de pointe
- **Mc** : Le mouvement de coupe
- **Ma** : Le mouvement d'avance
- **Mp** : Le mouvement de profondeur
- **Pre** : Plan de référence en travail
- **Pse** : Plan d'arête en travail
- **Pfe** : Plan de travail
- **Ppe** : Plan vers l'arrière en travail
- kr : Angle de direction d'arête de l'outil
- **Pr** : plan de référence
- **Ps** : plan d'arête
- **As** : Angle d'inclinaison d'arête de l'outil
- ϵ_r : Angle de pointe de l'outil
- **Ps'** : plan d'arête secondaire
- kr' : Angle de direction d'arête secondaire de l'outil
- kre : Angle de direction d'arête en travail
- λ_{se} : Angle d'inclinaison d'arête en travail
- **Po (Poe)** : plan orthogonal de l'outil (orthogonal en travail)
- **Pn (Pne)** : plan normal à l'arête
- **Pf** : plan de travail conventionnel (plan de travail Pfe)
- **Pp** : plan vers l'arrière de l'outil (plan vers l'arrière en travail Ppe)
- **ap** : profondeur de coupe
- **af** : engagement de l'arête
- f : avance
- h : épaisseur de coupe
- b : largeur de coupe
- b_D : largeur nominale de coupe
- κ_r : angle de direction d'arête
- D : point principal de l'arête

- **V_c** : vitesse de coupe
- **D** : le diamètre du cercle
- **N** : la vitesse de rotation
- **π** : constant = 3.14....
- **V_f** : La vitesse d'avance
- **f** : L'avance notée
- **a** : La profondeur de passe notée
- **R_t** : la rugosité théorique
- **R_a** : rugosité arithmétique
- **R** : Rayon de la pièce usinée (mm)

Le tournage est un procédé d'usinage essentiel dans l'industrie manufacturière, permettant de façonner des pièces en rotation. L'efficacité et la qualité de ce processus dépendent fortement de la géométrie de l'outil de coupe utilisé. Parmi les différents aspects de la géométrie de l'outil, l'angle de coupe joue un rôle primordial dans le travail en tournage. En effet cette thèse va se focaliser spécifiquement sur l'étude de l'influence de l'angle de coupe sur le travail en tournage, en mettant en avant cet aspect plus que les autres conditions.

Le premier chapitre de cette thèse porte sur l'étude de la technologie de l'industrie, fournissant une base solide de connaissances sur les principes fondamentaux du tournage et son importance dans la fabrication mécanique et industrielle. Cette section permet de comprendre le contexte général de l'étude.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude approfondie des outils de coupe. Il examine les différentes caractéristiques des outils de coupe, y compris leur conception, leurs matériels de construction, leur structure et leur fonctionnement. L'accent est mis sur l'importance de l'angle de coupe et son influence sur les performances de ce paramètre qui est l'outil de coupe.

La troisième partie de cette thèse est dédiée à la coupe des métaux. Elle explore les mécanismes de coupe, les forces impliquées, ainsi que les différents paramètres et variables qui influencent le processus de coupe comme le cas en tournage.

Le quatrième chapitre se concentre sur la rugosité des surfaces usinées. Il examine les différents types de rugosité et présente des méthodes de mesure et d'évaluation de ce paramètre. Cette section est essentielle et se situe au cœur de ce mémoire pour évaluer l'effet de l'angle de coupe sur la qualité des surfaces usinées.

Enfin, le cinquième et dernier chapitre traite de l'élaboration d'outils de coupe traités et de l'expérimentation, mettant l'accent sur l'étude spécifique des angles de coupe. Cette partie constitue aussi la partie centrale de la thèse, où des expérimentations seront menées pour évaluer les performances des outils de coupe avec différents angles de coupe, en termes de paramètres de coupe et de qualité des surfaces usinées.

En conclusion, cette thèse se concentre sur l'influence de la géométrie de l'outil de coupe sur le travail en tournage, en mettant particulièrement en avant l'importance de l'angle de coupe.

Les chapitres de la thèse fournissent une compréhension approfondie de la technologie de l'industrie, des outils de coupe, de la coupe des métaux, de la rugosité et de l'élaboration d'outils de coupe traités. Les résultats de cette recherche contribueront à une meilleure optimisation du processus de tournage en ajustant de manière adéquate les angles de coupe, conduisant ainsi à une amélioration significative des performances et de la qualité des pièces usinées dans l'industrie de la fabrication.

Chapitre I

Technologie de Fabrication

Mécanique

I.1. Notions

Effectivement, un procédé de fabrication est un ensemble de techniques utilisées pour transformer une matière brute en un objet fini. Ces techniques peuvent inclure des opérations telles que la coulée, l'usinage, la déformation plastique, le soudage, le moulage, l'impression 3D, etc.

Il est courant que plusieurs procédés de fabrication soient utilisés successivement pour obtenir la pièce ou l'objet final souhaité. Par exemple, un objet peut être d'abord fondu, puis forgé pour obtenir une forme brute, puis usiné pour en affiner les détails et finalement poli pour lui donner un aspect fini. [1]

Il est important de noter que les techniques d'assemblage, telles que la soudure, la visserie, le collage, ne sont pas considérées comme des procédés de fabrication à proprement parler, car elles interviennent après que les différentes pièces ont été fabriquées.

Les procédés de fabrication sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que l'industrie automobile, l'aéronautique, la construction navale, la métallurgie, la plasturgie, etc. Ils sont essentiels pour la production de toutes sortes d'objets, depuis les produits de consommation courante jusqu'aux composants de haute technologie. [1]

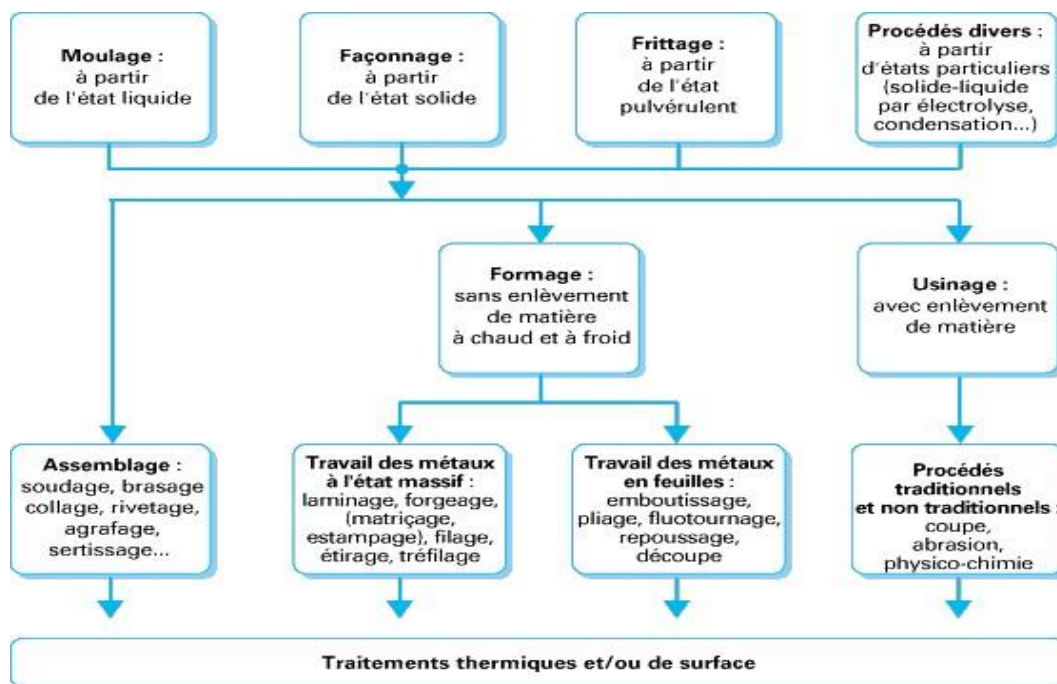


Figure I-1 : Les différents procédés de mise en forme

I.2. Les Procédés de fabrication

En effet, la transformation de la matière pour produire des objets utiles est une activité humaine fondamentale qui remonte à la préhistoire. Les premiers outils ont été fabriqués en taillant la pierre, le bois et l'os, et ont évolué au fil du temps en fonction des besoins et des avancées technologiques. Les techniques de transformation de la matière ont connu de nombreuses évolutions au fil du temps, de la découverte du feu à l'invention de la roue et de la métallurgie, jusqu'à l'ère de la haute technologie d'aujourd'hui.

L'enlèvement de matière est l'une des techniques les plus anciennes et consiste à retirer de la matière pour obtenir la forme souhaitée. Cette technique est utilisée dans des procédés tels que l'usinage par fraisage, par tournage, par perçage, ...etc. soit conventionnels ou non conventionnels. Elle est encore largement utilisée aujourd'hui dans de nombreuses industries.

La mise en forme des matériaux par déformation plastique, également connue sous le nom de formage, est également une technique ancienne qui consiste à déformer le matériau sans en retirer de la matière. Cette technique est utilisée dans des procédés tels que le forgeage, le laminage, le pliage, l'emboutissage, etc. Elle est également largement utilisée aujourd'hui.

Cependant, de nouvelles techniques de transformation de la matière ont vu le jour au fil du temps, notamment l'impression 3D, qui permet de créer des objets en ajoutant de la matière couche par couche, ou la fabrication additive, qui permet de créer des objets en fusionnant des couches de matériau avec un faisceau laser ou électrique. Ces techniques modernes ont ouvert de nouvelles possibilités dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie, la médecine, l'architecture, etc. [1]

I.2.1. Production par enlèvement de matière

En effet, l'usinage est un procédé de fabrication par enlèvement de matière qui consiste à obtenir la forme finale de la pièce en retirant des copeaux de matière.

Il existe différentes techniques d'usinage, parmi lesquelles on peut citer :

- **Le tournage** : qui consiste à faire tourner une pièce autour d'un axe et à la découper avec un outil de coupe pour obtenir une forme cylindrique ou conique.
- **Le fraisage** : qui consiste à déplacer une fraise (outil de coupe) sur plusieurs axes pour retirer de la matière et obtenir une forme complexe.
- **Le perçage** : qui consiste à percer un trou dans une pièce en retirant de la matière à l'aide d'un foret.

- **Le rabotage** : qui consiste à enlever de la matière d'une surface plane à l'aide d'un rabot.
- **La rectification** : qui consiste à obtenir une surface plane ou cylindrique très précise en enlevant de la matière avec une meule.
- **La perforation** : qui consiste à créer un trou dans une pièce en retirant de la matière à l'aide d'un foret ou d'une autre méthode d'usinage.
- **Le limage** : qui consiste à enlever de la matière à l'aide d'une lime pour obtenir une surface plane ou régulière.
- **L'électro-érosion** : qui consiste à retirer de la matière en utilisant une décharge électrique entre une électrode et la pièce à usiner.
- **Le découpage** : qui consiste à couper une pièce selon une forme définie en retirant de la matière. On peut citer l'oxycoupage, qui utilise un jet d'oxygène pour découper la pièce, le découpage laser, qui utilise un faisceau laser pour découper la pièce, le découpage jet d'eau, qui utilise un jet d'eau à haute pression pour découper la pièce, et le découpage plasma, qui utilise un jet de plasma pour découper la pièce.

Ces techniques d'usinage sont très courantes dans l'industrie et permettent d'obtenir des pièces avec une grande précision et une grande qualité de surface. [1]



Figure 0I-2 : différentes techniques d'usinage par enlèvement de matière et pièces réalisées

I.2.2. Production par déformation

Effectivement, l'obtention par déformation plastique est une autre méthode de fabrication de pièces. Cette méthode consiste à déformer le matériau pour obtenir la forme désirée sans enlèvement de matière. Les exemples courants de procédés de déformation sont. [4]

- **Estampage** : qui consiste à utiliser une presse pour appliquer une force élevée à une pièce de matériau afin de la déformer dans une forme spécifique.
- **Matricage** : qui est similaire à l'estampage, mais qui utilise des moules pour créer des pièces plus complexes avec des formes internes et externes.
- **Tréfilage** : qui consiste à tirer un matériau à travers un trou pour le réduire en diamètre ou pour le transformer en une forme spécifique, telle qu'un fil.
- **Forgeage** : qui consiste à utiliser une presse pour appliquer une force élevée à une pièce de matériau pour la déformer dans une forme spécifique.
- **Hydro-formage** : qui utilise un fluide haute pression pour déformer la pièce de matériau dans une forme spécifique.
- **Laminage** : qui consiste à faire passer une pièce de matériau entre deux rouleaux pour la comprimer dans une forme spécifique.
- **Filage** : qui consiste à former un matériau sous forme de fil à partir d'un bloc de matière.
- **Cintrage** : qui consiste à utiliser une machine pour plier une pièce de matériau dans une forme spécifique.
- **Emboutissage** : qui consiste à utiliser une presse pour déformer une feuille de métal dans une forme spécifique.
- **Pliage** : qui consiste à plier une pièce de matériau dans une forme spécifique.
- **Extrusion** : qui consiste à forcer un matériau à travers une filière pour obtenir une forme spécifique.
- **Thermo pliage** : qui consiste à chauffer un matériau pour le rendre malléable, puis à le mouler dans une forme spécifique.
- **Thermoformage** : qui consiste à chauffer une feuille de matériau pour la rendre malléable, puis à la mouler dans une forme spécifique.
- **Repoussage** : qui consiste à marteler une feuille de matériau pour la déformer dans une forme spécifique. [4]

La Figure 1-3 mentionnée montre un exemple de coque de voiture obtenue par différentes techniques de déformation, qui peuvent être utilisées seules ou combinées pour obtenir des formes complexes avec une grande précision.



Figure I-3 : la déformation des tôles

I.2.3. Production par fusion [4]

- **Le frittage:** est une technique de fabrication qui consiste à chauffer un matériau sous forme de poudre à une température élevée, mais en dessous de son point de fusion, afin de le transformer en un solide compact en utilisant la pression. Ce procédé est souvent utilisé pour fabriquer des pièces céramiques, des pièces en métal dur, des aimants et des pièces en alliages spéciaux.
- **Le moulage:** quant à lui, est une technique de fabrication qui consiste à couler un matériau fondu, tel que le métal ou le plastique, dans un moule pour obtenir une pièce à la forme désirée une fois que le matériau est refroidi et solidifié. Cette technique est souvent utilisée dans l'industrie automobile, aéronautique et électronique pour fabriquer des pièces en métal et en plastique de haute précision.
- **Le forgeage liquide:** C'est une technique de fabrication qui consiste à chauffer un matériau, tel que l'aluminium, le cuivre ou le titane, à sa température de fusion et à le forger en utilisant une presse hydraulique ou un marteau-pilon pour obtenir la forme désirée. Cette technique est souvent utilisée pour fabriquer des pièces en métal de haute résistance pour l'industrie aérospatiale et militaire.
- **Le soudage:** est une technique de fabrication qui consiste à chauffer deux pièces de métal jusqu'à ce qu'elles deviennent liquides localement, puis à les fusionner pour les assembler en utilisant la chaleur et/ou la pression. Cette technique est couramment utilisée dans l'industrie de la construction, la réparation de machines et d'équipements lourds.
- **La fabrication additive:** également appelée impression 3D, est une technique de fabrication qui consiste à créer un objet en ajoutant des couches successives de matériau. Cette technique permet de produire des pièces très complexes, personnalisées et uniques en utilisant des matériaux tels que le plastique, le métal et la céramique. La fabrication additive est utilisée dans de nombreux secteurs, notamment l'automobile, l'aérospatiale, l'ingénierie biomédicale et la production de bijoux.

Cette Figure I-4 suivante montre un exemple de produits obtenue par différentes techniques de fusion



Figure I-4 : Technique de frittage des poudres métalliques

I.2.4. Production par assemblage

L'obtention par assemblage concerne les méthodes de groupement de pièces pour faire un ensemble voulu. Parmi ces techniques on cite. [4]

- **Vissage** : consiste à fixer deux pièces à l'aide d'une vis et d'un écrou.
- **Sertissage** : consiste à comprimer une pièce métallique autour d'une autre pièce pour les assembler.
- **Soudo-brasage** : technique combinant soudage et brasage, utilisée pour assembler des pièces de matériaux différents.
- **Brasage** : consiste à assembler des pièces en utilisant un métal d'apport fondu et qui se solidifie en refroidissant.
- **Clinchage** : consiste à presser et déformer une pièce pour l'assembler à une autre pièce sans ajout de matière.
- **Clipsage** : consiste à enclencher une pièce sur une autre pour les assembler.
- **Clouage** : consiste à assembler deux pièces en les reliant à l'aide de clous.
- **Agrafage clinquant** : consiste à fixer une pièce à une autre en laissant des agrafes métalliques dépasser sur les bords.
- **Sertissage à froid** : consiste à comprimer deux pièces métalliques pour les assembler sans ajout de matière.
- **Liaison par adhérence** : consiste à utiliser des colles ou des adhésifs spécifiques pour assembler des pièces.

I.3. Notions de tournage conventionnel

Le tournage conventionnel est une technique d'usinage polyvalente largement utilisée dans divers secteurs industriels pour créer des pièces avec des formes cylindriques, des surfaces lisses et des tolérances précises. En comprenant les notions de base du tournage conventionnel, vous serez en mesure de réaliser des opérations de tournage efficaces et de produire des pièces de qualité.

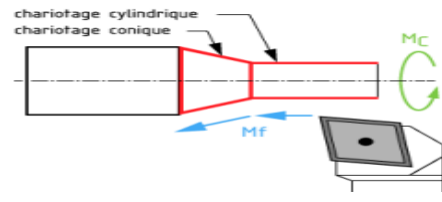
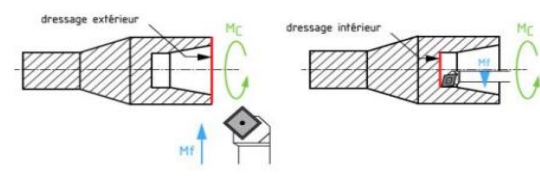
I.3.1. Définition

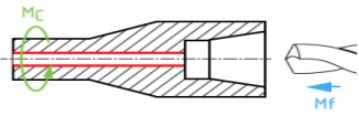
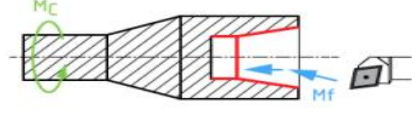
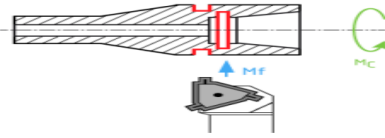
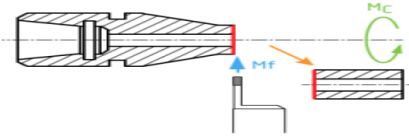
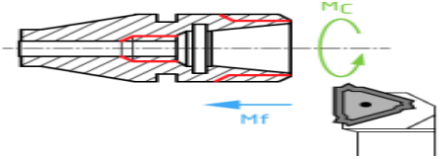
Le tournage est effectivement un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, etc.

Le principe du tournage est de faire tourner la pièce à usiner autour de son axe de rotation, tandis qu'un outil de coupe, appelé burin ou outil de tour, est déplacé le long de la pièce pour enlever de la matière. L'outil de coupe peut être orienté selon différents angles pour obtenir différentes formes de pièces.

Il existe plusieurs types de tournage, tels que le tournage conventionnel, le tournage automatique, le tournage à commande numérique (CNC),.....etc. Les machines-outils utilisées pour le tournage peuvent être des tours à métaux conventionnels, des tours automatiques ou des centres de tournage à commande numérique (CNC). [1]

I.3.2. Les principales opérations de tournage [24]

<p>Le chariotage : est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.</p>	
<p>Le dressage : est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche.</p>	

<p>Le perçage : est l'opération qui consiste à usiner un trou dans la pièce (débouchant ou borgne) à l'aide d'une forêt. Souvent, l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce.</p>	
<p>L'alésage : est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce.</p>	
<p>Le rainurage : est l'opération qui consiste à usiner une rainure (association de 3 plans) intérieure ou extérieure. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlip ou d'un joint torique.</p>	
<p>Le tronçonnage : est l'opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin de détacher un tronçon.</p>	
<p>Le filetage : est l'usinage consistant à réaliser un filetage extérieur ou intérieur.</p>	

I.3.3. Machine-outil

Le tour est une machine-outil conçue pour le travail unitaire et de petites séries. Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution. Durant le processus de tournage la pièce à usiner effectue des rotations dans le tour. L'outil de coupe opère longitudinalement ou bien transversalement par rapport à la pièce à usiner. Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance. Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.

[24]

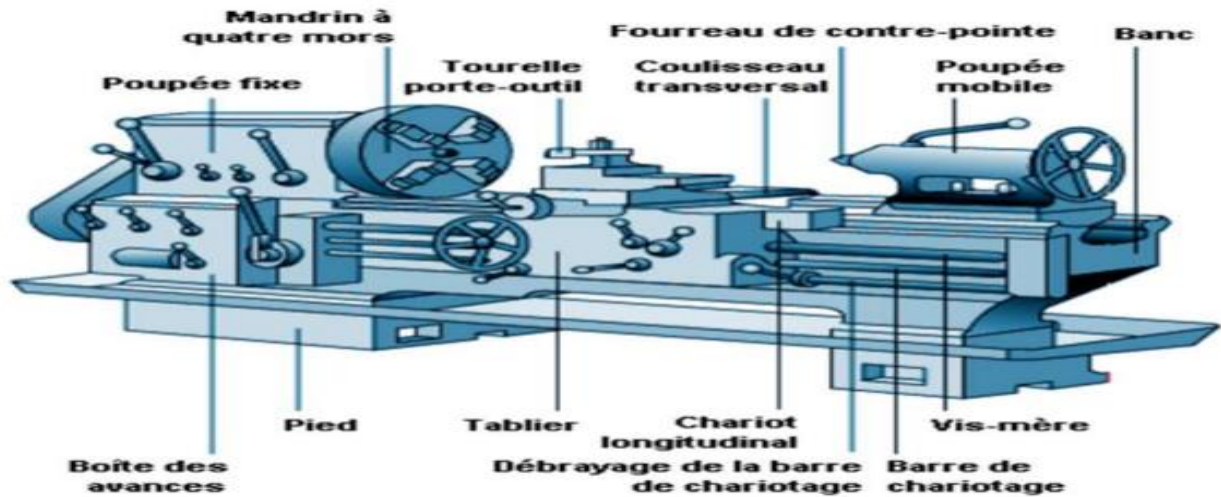
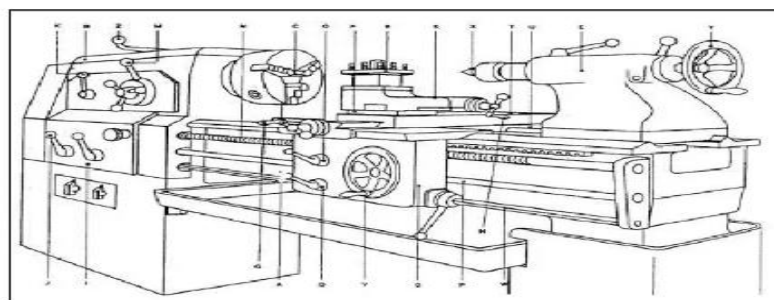


Figure I-5 : Composantes d'un tour

I.3.4. Différents types des tours

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), les tours ont évolué. Certains tours sont si complexes qu'ils peuvent être une alternative aux centres d'usinage. Voici les principaux types de tours. [1]

- **Les 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. [1]



A : Banc ou bâti
 B : Poupée fixe ou motrice
 C : Mandrin
 D : Trainard
 E : Poupée mobile
 F : Glissière orientable
 G : Manivelle de commande de T
 H : Manivelle de commande de S

I : Boîte de vitesses des avances
 J : Levier de changement de vitesse de la broche
 K : Levier inverseur du mouvement des avances
 M : Levier de changement de vitesse de la broche
 N : Vis mère
 O : Levier d'embrayage de l'écrin de la vis mère
 P : Barre de chariotage
 Q : Levier d'embrayage de la transmission du mouvement de la barre de chariotage au trainard

R : Tourelle porte-outil
 S : Chariot supérieur ou chariot porte-outil
 T : Chariot transversal
 U : Chariot principal ou inférieur
 V : Manivelle de commande de trainard
 W : Barre d'embrayage du mouvement de la barre de chariotage
 X : Contre-pointe
 Y : Volant de commande du déplacement de la contre-pointe
 Z : Levier d'embrayage générale et frein

Figure I-6 : Les tours parallèles à charioter et à fileter

- **Les tours à copier** : Ils permettent l'usinage de pièces par reproduction, à partir d'un gabarit, grâce à un système de copiage hydraulique qui pilote le déplacement du chariot transversal. C'est une machine assez flexible qui peut convenir pour des travaux de petites à grandes séries. La génératrice des surfaces de révolution peut être quelconque. [1]



Figure I-7 : Les tours à copier

- **Les 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. [1]



Figure I-8 : Les tours semi-automatiques

- **Les tours automatiques** : Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries.[1]



Figure I-9: Les tours automatiques

- **Les tours automatiques multibroches** : Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont 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. [1]



Figure I-10 : Les tours automatiques multibroches

- **Les 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 ordinateur 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. [1]



Figure I-11 : Les tours à commande numérique

I.4. Notions de fraisage conventionnel

Le fraisage conventionnel est une méthode d'usinage qui utilise une fraise rotative pour enlever des copeaux de matériau et donner forme à une pièce. C'est un processus polyvalent et largement utilisé dans l'industrie pour fabriquer des pièces avec précision et complexité.

I.4.1. Définition

C'est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par révolution, gravure. On trouve deux types de fraisage. [4]

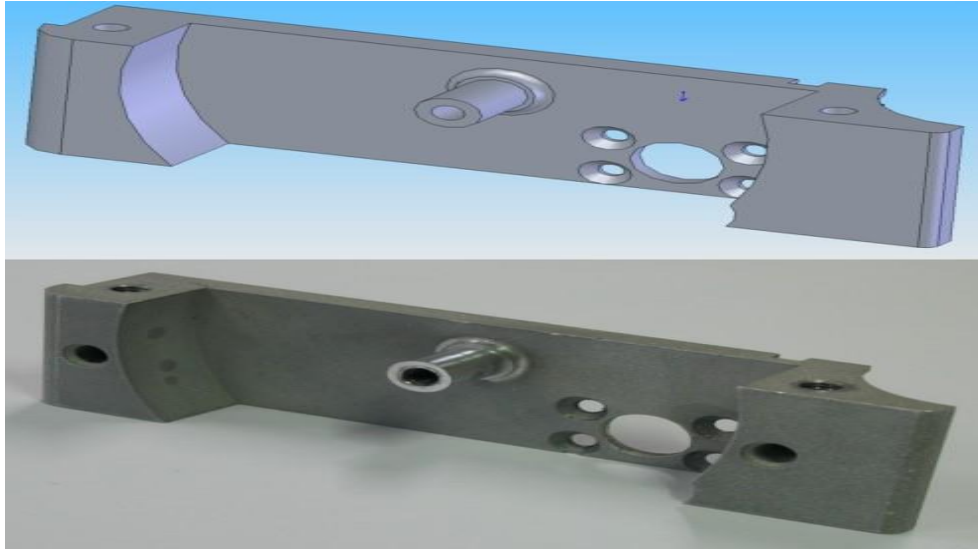


Figure I-12 : Exemple de pièce fraisée

le fraisage de profil où la surface à réaliser est parallèle à l'axe de la fraise, elle est réalisée par une génératrice de l'outil de coupe.

le fraisage en avalant ou en concordance où on le définit s'il y a travail en concordance lorsque la projection de l'effort de l'outil sur la pièce sur la direction du mouvement d'avance est dans le même sens que ce dernier.

On peut aussi différencier ces deux modes par la direction du mouvement de coupe et celui d'avance qu'ils soient dans un même sens (on parle de fraisage en concordance ou « en avalant »), ou dans des sens contraires (on parle de fraisage en op position ou « en amant »).

I.4.2. Exemple d'opérations de fraisage

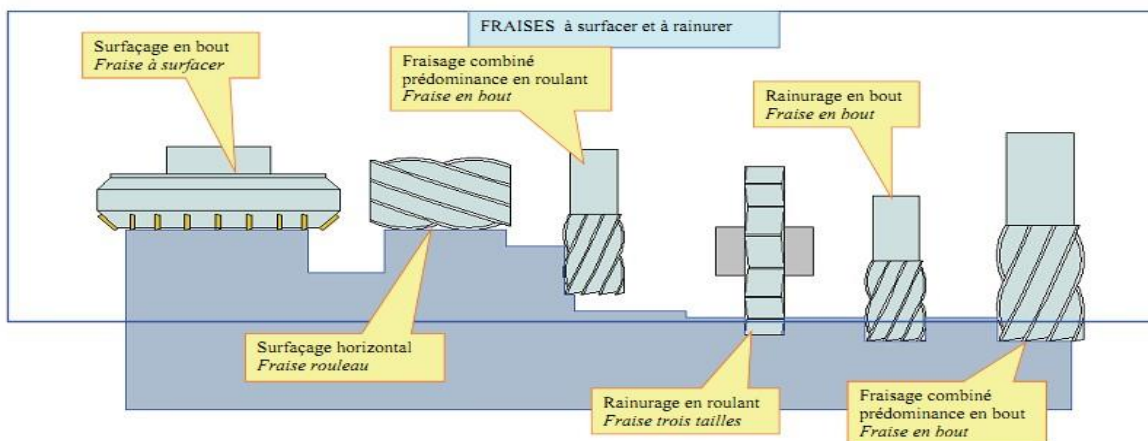


Figure I-13 : Quelques opérations de fraisage

En général le fraisage est destiné à la réalisation de surfaces planes, mais dans quelques cas spécifiques on peut obtenir des surfaces de tous type. Donc ce procédé permet de travailler des surfaces :

1. Plane.
2. De révolution.
3. Formes libres (surfaces gauches).

I.4.3. La machine-outil

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs de matière, à l'aide d'un outil coupant nommé fraise. En dehors de cet outil qui lui a donné son nom, une fraiseuse peut également être équipée de foret, de taraud ou d'alésoir.

La fraise munie de dents est mise en rotation et taille la matière grâce à sa rotation et au mouvement relatif de la fraise par rapport à la pièce. La forme de la fraise est variable ; elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise et la pièce sont montées sur des glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées X Y ou Z (on parle alors de fraiseuse trois axes). Par convention, l'axe Z est l'axe de rotation de la broche, les axes X et Y sont contenus dans un plan perpendiculaire à Z. [1]

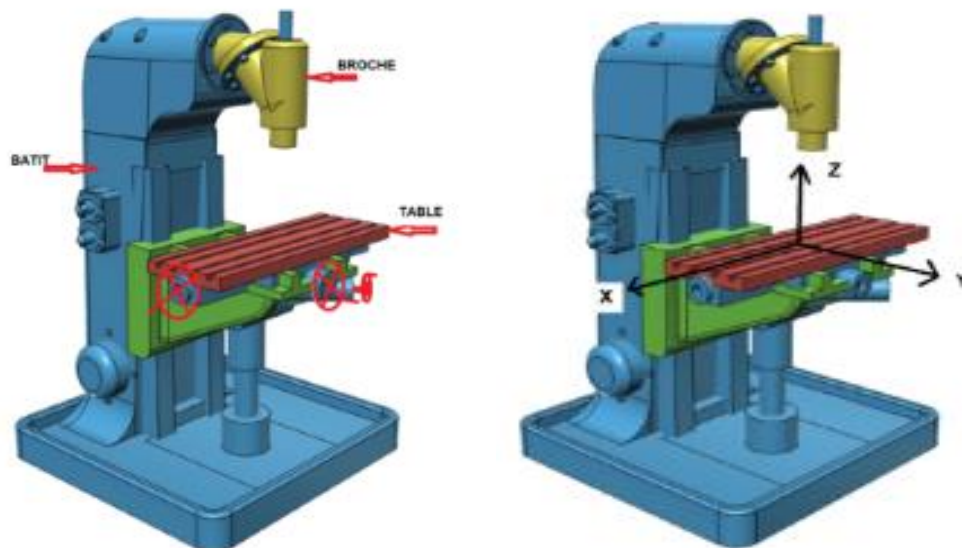


Figure I-14 : Une fraiseuse

I.4.4. Différents types de fraiseuse

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), Voici les principaux types de fraiseuses . [1]

- **Fraiseuse horizontale** : l'axe de la broche est parallèle à la table. Cette solution permet aux copeaux de tomber et donc de ne pas rester sur la pièce. De cette manière, on n'usine pas les copeaux, et la qualité de la pièce est meilleure. Mais ce type de montage était surtout destiné à installer des fraises 3 tailles ou fraises disques dans le but de réaliser des rainurages de profilés plats.

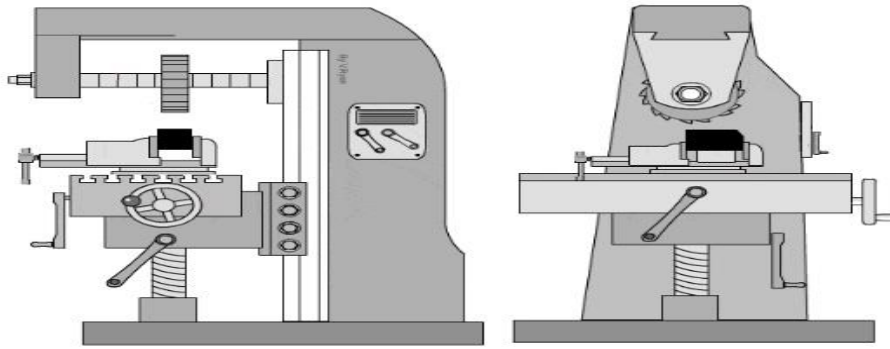


Figure I-15 : Fraiseuse horizontale

- **Fraiseuse vertical**

La fraiseuse verticale : l'axe de la broche est perpendiculaire à la table.

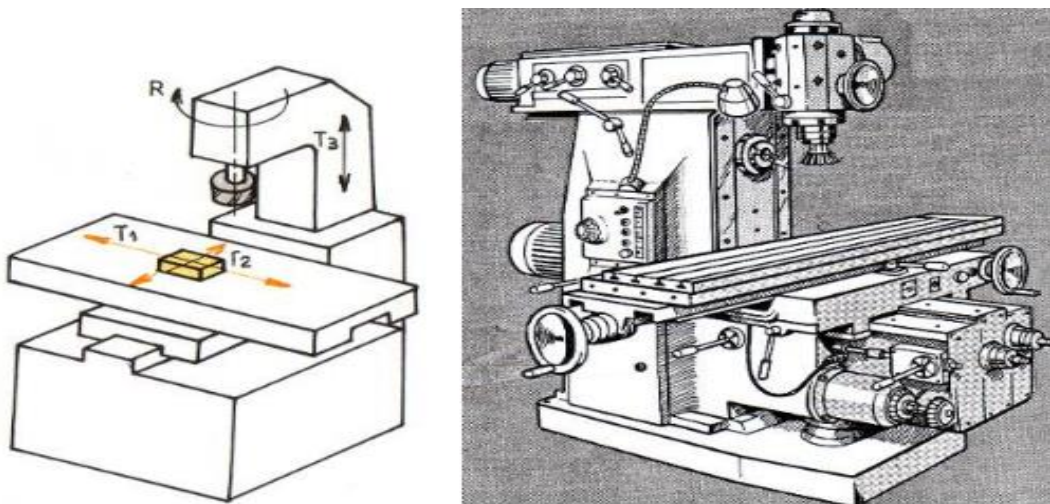


Figure I-16 : Fraiseuse verticale

➤ Fraiseuse universelle

La fraiseuse universelle : l'axe de la broche est réglable : tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre) ; tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (inclinée à 45°) ; tête articulée.

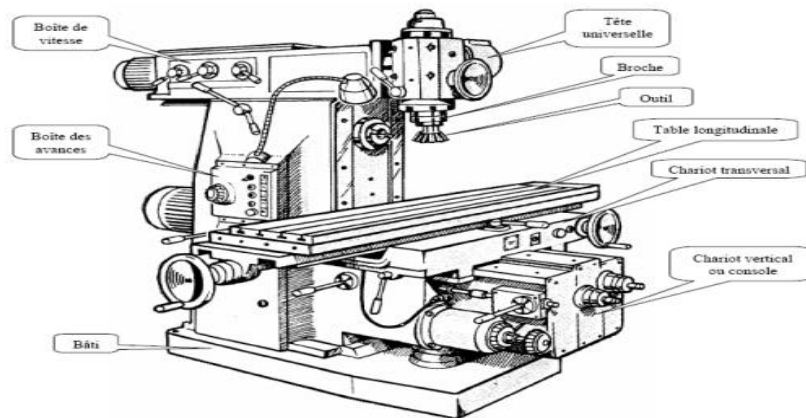


Figure I-17 : Fraiseuse universelle

➤ les fraiseuses a commande numérique

De nos jours, les machines à manivelles ont quasiment disparu, la commande numérique permet de faire bouger simultanément des axes qui étaient autrefois presque systématiquement fixes. Cela a entraîné une révision des classifications plus dépendantes des contraintes rencontrées au niveau des opérations d'usinage. [1]

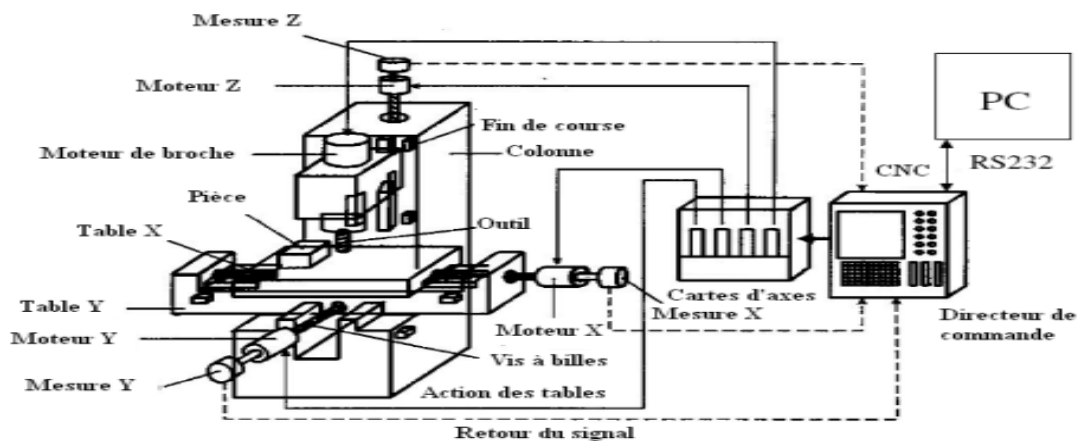


Figure I-18 : les fraiseuses a commande numérique

➤ Fraiseuse 3 axes

Broche Verticale. L'axe Z est vertical. Broche Horizontale. L'axe Z est horizontal.

Dans les 2 cas, la fraise est perpendiculaire à la table, c'est la table qui se trouve positionnée de façon différente.

Dans les cas de la broche horizontale, il y a une meilleure évacuation des copeaux et du liquide de lubrification qui, sinon, peut s'accumuler dans les parties creuses (communément appelées baignoires).[1]

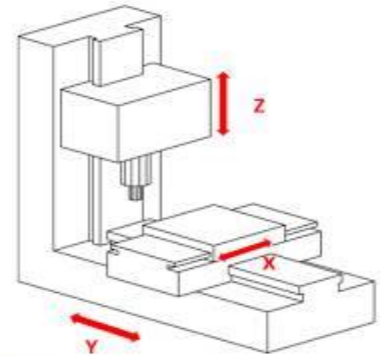


Figure 1-19 : Fraiseuse 3 axes

➤ Fraiseuse 4 axes

C'est souvent une fraiseuse 3 axes broche horizontale, dotée d'un plateau tournant. C'est une configuration très pratique en production industrielle mécanique (automobile, aviation etc.)

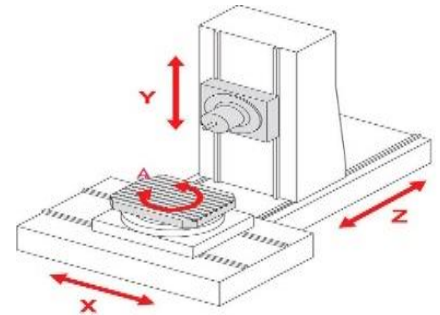


Figure I-20 : Fraiseuse 4 axes

➤ Fraiseuse 5 axes

On peut trouver sous cette catégorie plusieurs topologies de construction.

Une fraiseuse 5 axes comporte toujours 3 axes linéaires (X, Y, Z) et 2 axes rotatifs à choisir parmi A, B et C.

Les machines vont se différencier par la position des axes rotatifs. Les 3 types sont :

2 axes sur tête (c'est la tête qui comporte les axes B et C). Les axes X, Y et Z étant sur la table ou sur la tête, ce détail de configuration n'étant pas déterminant. Configuration très répandue, elle permet d'usiner à peu près tous les types de pièces, mais peut souffrir de problèmes de puissance ou de rigidité. Le boum de l'UGV (Usinage à Grande Vitesse) a beaucoup contribué au développement de cette topologie ; 2 axes sur table ; 1 axe sur tête.[5]

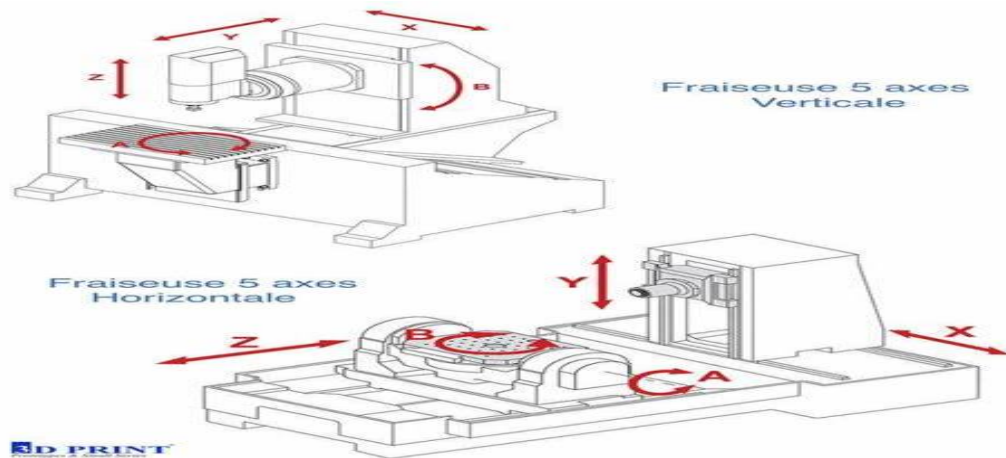


Figure I-21 : Fraiseuse 5 axes

➤ Broche d'une fraiseuse

La broche assure le mouvement de rotation à l'outil de coupe (fraise). La fraise doit être fixée sur la broche par l'intermédiaire d'une douille, d'un mandrin ou de sa partie conique (si la fraise possède un cône).

➤ Fraiseuse à reproduire

Machine permettant l'usinage de surfaces complexes sans traçage préalable et sans outillages spéciaux. Les premières machines basées sur le système du pantographe demandant une habileté toute particulière de l'opérateur, sont remplacées par des commandes automatiques obéissant à des données numériques. [1]

I.5. Notions de perçage conventionnel

Le perçage conventionnel est une opération d'usinage courante utilisée pour créer des trous cylindriques dans des matériaux. Il s'agit d'un processus de coupe dans lequel un foret rotatif est utilisé pour enlever le matériau et former le trou. Voici quelques notions importantes concernant le perçage conventionnel :

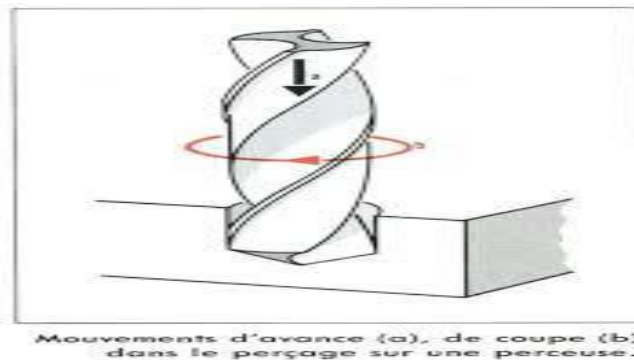


Figure I-22 : opération de perçage

I.5.1. Définition

Le perçage est un usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part ou bien ne pas déboucher. On parle alors de trou borgne.

Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse, une mèche sur un vilebrequin, la découpe entre un poinçon et une matrice, laser, électro-érosion, ultrasons, etc.

Ce trou peut servir à faire passer une pièce (un arbre, un tube), un fluide, ou peut encore être taraudé pour recevoir une vis.

[1]

I.5.2. La machine-outil

La Perceuse ou foreuse est une machine-outil qui sert à percer ou tarauder des trous dans différents matériaux à l'aide de forets. Les perceuses modernes sont l'aboutissement de plusieurs siècles de technologie. Les vilebrequins sont apparus dans les ateliers de menuisiers et chez les charpentiers vers le XVe siècle. Les perceuses manuelles à engrenage datent du XIXe siècle, et c'est vers la fin du XIXe siècle que sont apparues les premières perceuses électriques.[5]

I.5.3. Différents types de Perceuse

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités) :[1]

➤ Perceuse à percussion :

Une perceuse à percussion est équipée d'un mandrin dit « classique » qu'il soit à clé ou auto-serrant, sa fonction première de perceuse est accompagnée d'une fonction percussion afin de percer des matériaux dur tel que la brique ou le béton. Néanmoins pour des matériaux encore plus durs ou une utilisation plus intense il vaut mieux privilégier l'utilisation d'un perforateur.[1]

➤ Perceuses à colonne :

Les perceuses à colonne sont des machines-outils

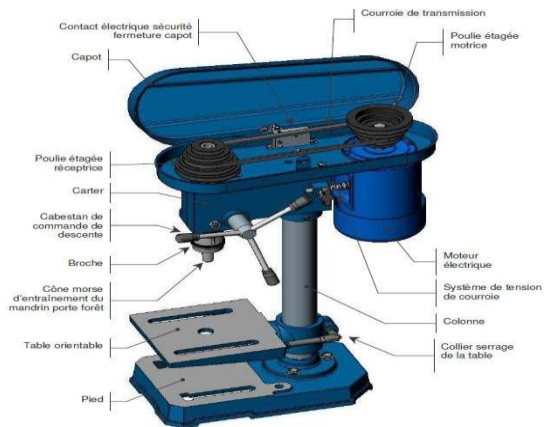


Figure I-23 Composants La Perceuse

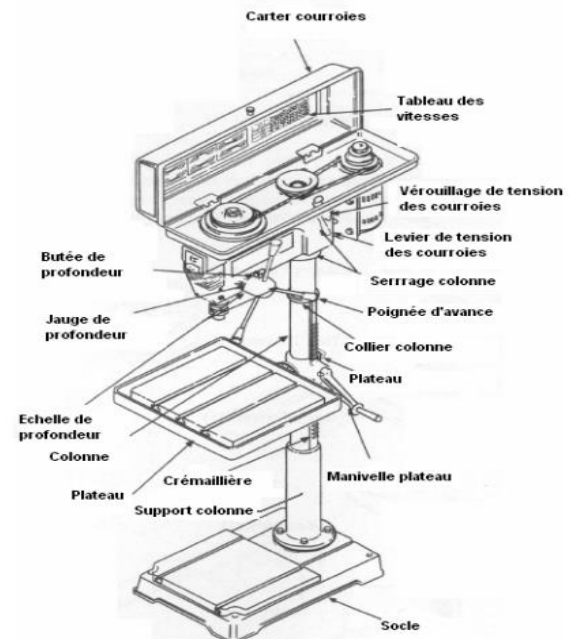


Figure I-24 : Perceuses à colonne

d'atelier utilisées pour des perçages verticaux précis et importants. Elles sont fixées sur un bâti, un établi ou au sol. Une perceuse à colonne est équipée d'un moteur électrique de quelques centaines de watts qui fait tourner une broche via une boîte de vitesses. On peut fixer un mandrin ordinaire ou des forets à queue conique à l'extrémité de la broche. La broche peut coulisser verticalement grâce à un volant, un levier ou par le moteur. [1]

La pièce à percer est maintenue fermement dans un étau fixé sur une table. La table peut coulisser et pivoter le long de la colonne pour permettre la fixation de grandes pièces sur le socle. Elle peut également tourner sur elle-même pour forer des trous sur une circonférence. Une latte graduée est fixée sur la broche pour mesurer la profondeur des trous, des fraisages, des chambrages et des lamages. Des butées peuvent être ajoutées sur la latte pour réaliser des opérations identiques. La vitesse de descente de la broche est généralement plus lente que celle de la remontée. La vitesse de la broche dépend du diamètre, de la nature des outils de coupe, de la lubrification et de la matière travaillée. Certains modèles de perceuses possèdent un circuit fermé de lubrification alimenté par une pompe. [1]

➤ Perceuse radiale :

C'est une machine-outil semblable à une perceuse à colonne mais dont la broche est montée sur un chariot couissant le long d'un bras pouvant pivoter avec la colonne comme axe.[1]

Elle peut être munie d'une tête ou d'une table inclinable permettant de percer selon des axes non verticaux.

Sur ce type de machine peuvent être réalisés également des lamages et des alésages. Pour les nombreuses opérations nécessitant une grande précision des trous se trouvant dans des positions plus variées on lui préfère l'aléuseuse ou l'aléuseuse-fraiseuse. [6]

➤ à socle magnétique :

C'est une machine-outil composée d'un corps de perceuse traditionnelle montée par l'intermédiaire d'un axe verticale sur une embase magnétique (un électroaimant) qui permet de fixer cette dernière sur les pièces que l'on doit percer. Elle s'utilise principalement en charpente métallique.

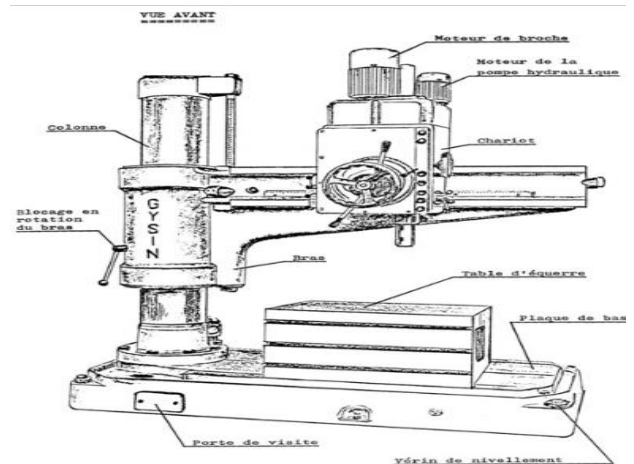


Figure I-25 : Perceuse radiale

Cette perceuse peut travailler avec des forets traditionnels équipée d'un adaptateur et d'un mandrin. Mais elle est prévue d'origine pour fonctionner avec des fraises (type trépan).

Cette perceuse doit toujours être utilisée avec une chaîne de sécurité afin d'éviter les chutes en cas de coupure de courant. [1]

➤ **Perceuse pneumatique :**

Perceuse utilisant l'air comprimé comme énergie. Elles sont souvent utilisées dans les garages de réparation automobile. Elles nécessitent d'être reliées à un réservoir d'air comprimé par l'intermédiaire d'un tuyau. [1]

I.6. Les Procédés Non Conventionnelles

Les procédés non conventionnels, également connus sous le nom de procédés d'usinage non traditionnels, sont des méthodes alternatives d'usinage utilisées pour façonner et modifier les matériaux. Contrairement aux procédés conventionnels tels que le fraisage, le tournage et le perçage, ces procédés non conventionnels utilisent des principes différents pour atteindre les résultats souhaités.

I.6.1. Aperçu

Ce n'est qu'en 1950 que l'on a commencé à travailler pour la première fois avec les procédés d'usinage électriques. Etant basés sur l'enlèvement de matière par décharge électrique, l'intérêt de cette techniques fut admise par tous les pays industrialisés [1].

On distingue l'application de ce procédé dans l'aéronautique, l'industrie nucléaire et surtout l'industrie automobile, et l'industrie électronique.

On parlera d'usinages non conventionnels en référence à des usinages ne faisant pas appel à la « coupe des métaux » définie dans le chapitre précédent. L'appellation « Procédés non-conventionnels » est utilisée pour désigner un ensemble de techniques de production relativement récentes. L'emploi a été rendu nécessaire par l'usage croissant de matériaux à caractéristiques mécaniques élevées, pour lesquels les procédés conventionnels étaient limités [1].

I.6.2. Classification

Parmi les procédés non conventionnels basés sur des facteurs tels que la chaleur, la lumière, l'eau, des solutions chimiques, l'énergie électrique, le vent et des processus abrasifs, voici certains types considérés comme étant à la base de ces procédés :

- **Procédés de travail mécaniques :**

- Jet d'eau : Utilisation d'un jet d'eau à haute pression pour couper, percer ou nettoyer des matériaux.
- Jet d'eau abrasif : Utilisation d'un jet d'eau à haute pression contenant des particules abrasives pour l'usinage ou le découpage de matériaux.
- **Procédés électrochimiques :**
 - Usinage électrochimique : Utilisation d'un courant électrique pour enlever des matériaux de pièces conductrices dans une solution électrolytique.
 - Ebavurage et meulage électrochimique : Utilisation d'une combinaison de forces mécaniques et d'effets électrochimiques pour enlever les bavures ou réaliser des opérations de meulage.
- **Procédés thermiques :**
 - Electro-corrosion : Utilisation d'un courant électrique pour provoquer une corrosion contrôlée, généralement pour enlever sélectivement des matériaux de surface.
 - Laser : Utilisation d'un faisceau laser concentré pour chauffer et vaporiser les matériaux, permettant la découpe, le soudage, le perçage, etc.
 - Plasma : Utilisation d'un gaz ionisé à haute température pour fondre ou vaporiser les matériaux, souvent utilisé dans la découpe et le revêtement.
- **Procédés chimiques :**
 - Décapage chimique : Utilisation de solutions chimiques pour éliminer sélectivement les couches indésirables de matériaux.
 - Traitement de surface : Utilisation de produits chimiques pour modifier la surface des matériaux, améliorant ainsi leur adhérence, leur résistance à la corrosion, etc.[4]

I.6.3. Procédés à action mécanique

I.6.3.1. jet d'eau et jet d'eau abrasif

Principe Le découpage au jet d'eau est un procédé de fabrication qui utilise un jet d'eau hyperbare pour découper la matière (Plastique, organique, métallique, composite, etc.).

Le découpage au jet d'eau peut être classé en deux principaux types, en fonction de l'utilisation ou non d'abrasifs dans le jet d'eau :

- a) Découpage au jet d'eau pur
- b) Découpage au jet d'eau abrasif

Ces deux types de découpage au jet d'eau offrent des avantages spécifiques en fonction des matériaux et des applications. Le découpage au jet d'eau pur est idéal pour les matériaux plus tendres et sensibles à la chaleur, offrant une coupe précise et sans déformation thermique.

Le découpage au jet d'eau abrasif est utilisé pour les matériaux plus durs, permettant une découpe rapide efficace.[5]

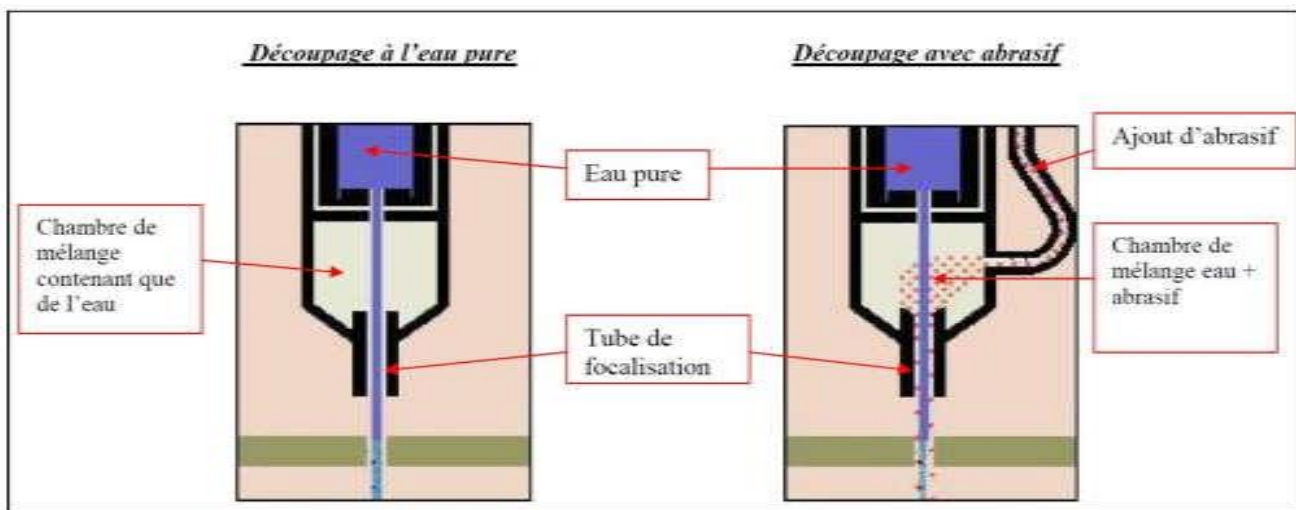


Figure I-26 :Schéma découpage à l'eau pur ou à l'eau + abrasif

I.6.3.2. Usinage ultrasonique

L'usinage par ultrasons est un procédé de reproduction de forme par abrasion particulièrement adapté à l'usinage des matériaux durs, fragiles et cassants (verres, céramiques, quartz, pierre précieuse, semi-conducteur...). [6]

Il s'appuie sur trois phénomènes physiques pour enlever la matière :

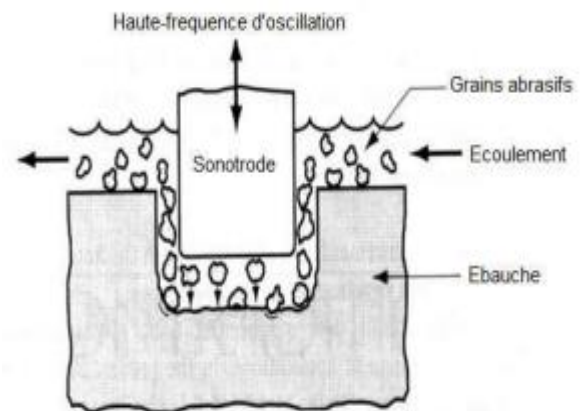


Figure I-27 : Principe de l'abrasion ultrasonore.

- le cisaillement,
- l'érosion,
- l'abrasion.

Ainsi cette méthode consiste à projeter des particules abrasives très dures sur la pièce à usiner, à l'aide d'une sonotrode, vibrant à fréquence ultrasonore.

Quelques exemples : Pièces usinées par ultrasons.



Figure I-28 : A -Pièces usinées en graphite.

B-Pièces usinées en céramiques.

I.6.4. Procédés électrochimiques

Le principe de cette méthode est que la pièce métallique, agissant en tant qu'anode (+), est connectée à une source de courant continu, tandis que l'outil agit comme cathode (-). Ensuite, une solution d'eau salée est appliquée sur les surfaces à usiner, ce qui attire les ions métalliques de la pièce à usiner.

L'outil fonctionne en tant qu'électrode. Ce processus est plus rapide que le traitement chimique conventionnel, mais il présente l'inconvénient de générer de l'hydrogène et de l'oxygène. Les boues générées doivent être recyclées en raison de leur caractère dangereux, contenant du fer(III) hydroxyde ($4Fe(OH)_3$). L'usure de l'outil ne se produit qu'au contact de l'électrolyte. [8]

➤ **Exemples de pièces obtenues par procédé électrochimique**

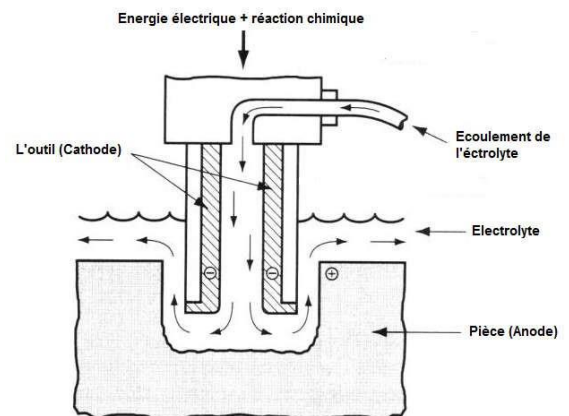


Figure I-29 Coupe par dissolution anodique.



Figure I-30 : A- Exemples de pièces ébavurées.



B-Exemples de pièces usinées

I.6.5. Procédés thermiques

I.6.5.1. Usinage par électroérosion

Le principe de l'usinage par électroérosion repose sur l'utilisation des décharges électriques (étincelages) qui engendrent des températures très élevées qui fondent ou évaporent le métal au voisinage de l'électrode.

L'électroérosion est un procédé d'usinage moderne offrant quantité d'avantages. La pièce et l'outil sont placés de telle sorte qu'ils ne sont pas en contact. Il reste un espace qui est alors comblé avec du liquide isolant.

On fait passer un courant électrique entre la pièce et l'outil. Une étincelle se forme et un petit cratère se forme. L'érosion constante permet l'usinage de la pièce. [6]

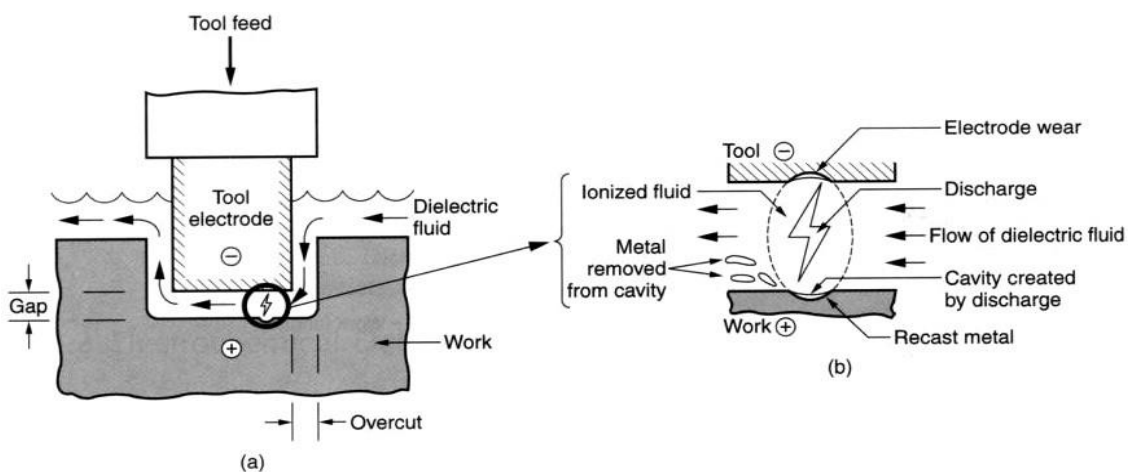


Figure I-31 : Usinage à l'électroérosion à l'électrode. [4]

I.6.5.2. Usinage au Laser

La découpe laser est un procédé de fabrication qui consiste à découper la matière grâce à une grande quantité d'énergie générée par un laser et concentrée sur une très faible surface. Cette technologie est majoritairement destinée aux chaînes de production industrielles, mais peut également convenir aux boutiques, aux établissements professionnels et aux tiers-lieux de fabrication.» La gravure laser se fait avec la même technologie, mais en utilisant une puissance laser réduite. [7]

Il y a différents types de milieux actifs. Le milieu actif peut être solide (Ex. Laser YAG), liquide (Colorants/Dye) ou gazeux (Ex. Laser CO2, Laser Excimère, Vapeur de cuivre), YAG et CO2 sont les deux types de lasers les plus utilisés en traitement des matériaux (découpe, soudage, marquage, etc.).

Ces différents types de milieux actifs conditionnent la longueur d'onde du laser (ex : Infra rouge, Visible (rouge, vert, bleu), Ultra-violet). [6]

LASER signifie amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement:

L : Light **A** : Amplification **S** : by Stimulated **E** : Emission **R** : of Radiation

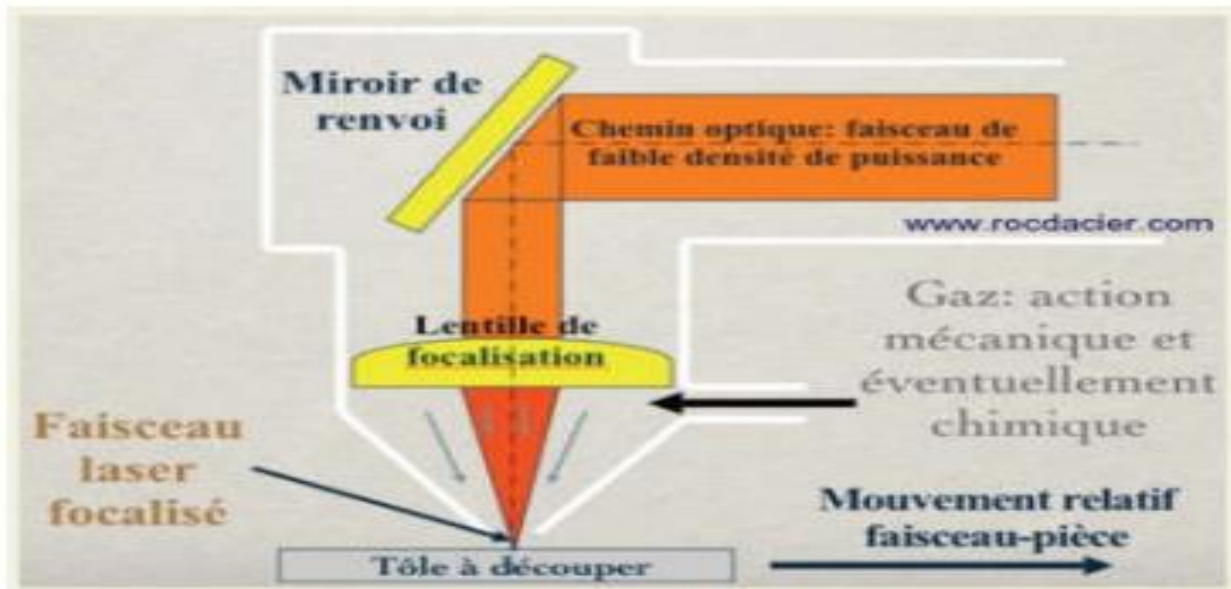


Figure I-32 : Principe de fonctionnement du Laser.

I.6.6. Usinage au Plasma

Le principe du PLASMA est un procédé de découpe par fusion localisée où un jet de gaz ou d'air comprimé est utilisé pour chasser le métal porté à une température de fusion. L'arc électrique génère une température d'environ 18000°C. Le terme "PLASMA" est utilisé lorsque la matière gazeuse n'est plus composée d'atomes et de molécules, mais d'ions et d'électrons qui se forment lors de la scission des molécules et des atomes. Cet état est atteint lorsque certaines conditions sont réunies, telles que la présence de gaz, une pression élevée et une température élevée. On considère le plasma comme le quatrième état de la matière. [5]

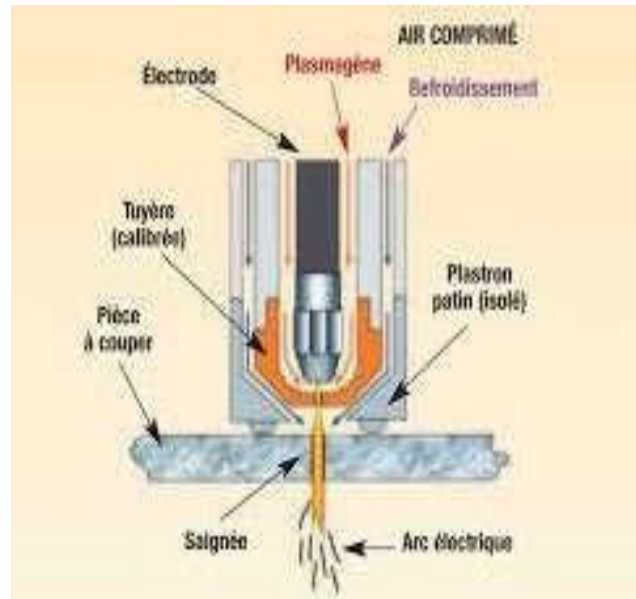


Figure I-34 : Principe du découpe Plasma

I.6.7. La fabrication additive

La fabrication additive est un nouveau procédé qui permet de produire des pièces (objets) volumiques. Le procédé se fait couche par couche à partir d'un modèle issu d'une conception sur logiciel de CAO tel que « Soli Works ». Initialement destinés pour le prototypage et maquettage, les procédés de fabrication additive répondent actuellement à des demandes de pièces fonctionnelles métalliques ou en matériaux composite à matrice métallique ou polymère. Cependant, la gamme des matériaux proposés reste limitée et utilisée en particulier dans les secteurs de l'industrie automobile, aéronautique et médicale. [9]

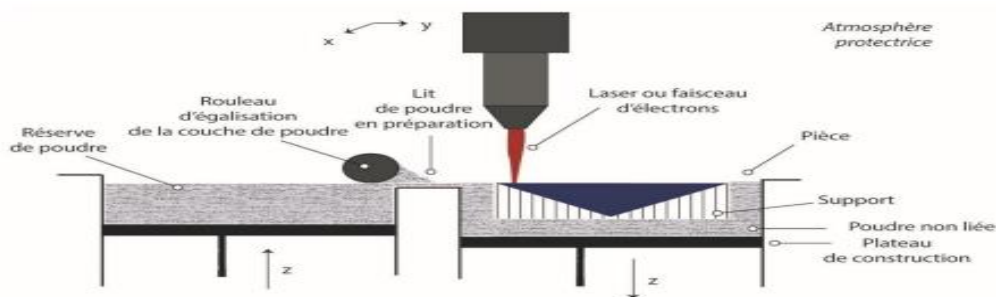


Figure I-36 : Exemple de pièce obtenue par fabrication additive

CONCLUSION

Les procédés de fabrication mécanique sont essentiels dans de nombreux secteurs industriels, offrant des solutions pour transformer les matières brutes en objets finis. Ces procédés comprennent les techniques de production par enlèvement de matière, par déformation, par fusion et d'assemblage.

Les procédés non conventionnels, tels que le jet d'eau, l'usinage ultrasonique et les procédés électrochimiques, permettent de travailler des matériaux difficiles à usiner ou de réaliser des formes complexes. Ils offrent des possibilités avancées pour répondre aux exigences croissantes de production.

La production par enlèvement de matière permet d'obtenir des pièces avec précision et qualité de surface, grâce à des techniques telles que le fraisage, le tournage, la rectification et le perçage.

La production par déformation plastique offre la possibilité de créer des formes complexes sans retirer de matière, utilisant des procédés comme l'estampage, le forgeage, le laminage et l'emboutissage.

La production par fusion implique la fusion du matériau pour obtenir la forme souhaitée, utilisant des techniques telles que le frittage, le moulage, le forgeage liquide, le soudage et l'impression 3D.

L'assemblage regroupe différentes pièces pour former un ensemble, utilisant des techniques de vissage, de soudage, de brasage et d'adhérence.

Les procédés de fabrication mécanique permettent de répondre aux besoins de diverses industries, en offrant des possibilités avancées, une précision accrue et une grande qualité dans la production d'objets. Avec les avancées technologiques, ces procédés continuent d'évoluer et d'ouvrir de nouvelles opportunités pour l'innovation et le développement de produits plus performants et plus complexes.

Chapitre II

Les outils de coupe

II.1. Notions

Le choix d'un matériau et d'une nuance de coupe est un facteur important pour la réussite d'une opération d'usinage.

Pour effectuer un bon choix pour une application donnée, il convient d'avoir une connaissance de base des propriétés des matériaux de coupe et de leurs performances. Les critères de choix incluent la matière à usiner, le type et la taille de la pièce, les conditions d'usinage et l'état de surface requis pour chaque opération.

Les matériaux de coupe ont des propriétés différentes en termes de dureté, de ténacité et de résistance à l'usure. Ils sont divisés en un grand nombre de nuances dotées de propriétés spécifiques.

De manière générale, les matériaux de coupe doivent posséder les propriétés suivantes :

- Dureté : résistance à l'usure en dépouille et à la déformation.
- Ténacité : résistance à la rupture.
- Neutralité chimique : absence de réaction chimique avec la matière usinée.
- Stabilité chimique : résistance à l'oxydation et à la diffusion.
- Résistance aux variations thermiques brusques.

II.2. Les outils de coupe

Les outils coupants sont des instruments destinés à travailler la matière par enlèvement sous forme de copeaux [10]. Il existe une très grande variété d'outils de coupe : différents types de géométries, de matériaux et de revêtements. Malgré leur destination ainsi que leur aspect extérieur différent, n'importe quel outil comporte une partie active, c'est à dire celle qui enlève directement le copeau. La partie active de tous les outils de coupe, quel que soit sa forme ressemble à un outil de tournage classique. Tandis que les dents des outils de coupe spéciaux, tels que la meule a des grains dont les arêtes enlèvent les copeaux. [10]

On exige de l'outil d'avoir les propriétés suivantes :

- La pression d'exécution de la forme de la pièce à usiner.
- La précision des cotes à usiner.
- L'état de surface de la pièce à usiner.
- L'efficacité influence sur le rendement du travail.

- La solidité (stabilité).
- Le prix de revient bas.

II.3. Éléments de l'outil de coupe

Les principaux éléments des différents outils sont semblables. Un outil de coupe peut être caractérisé par une géométrie d'arête et une orientation dans l'espace définie par des angles de coupe normalisés. [14]

Généralement, dans un outil de coupe on trouve les éléments suivants (Figure2-1) : [7]

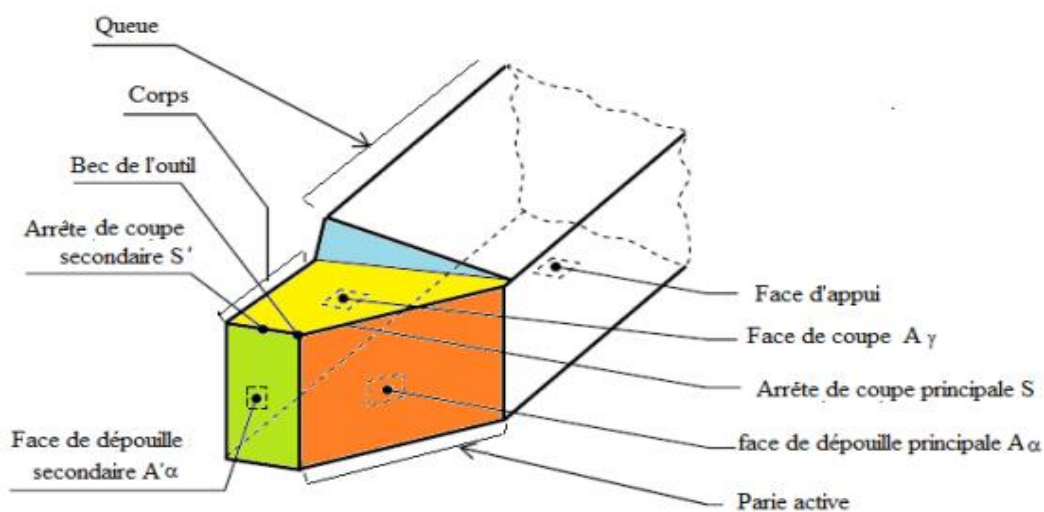


Figure II-1 : Eléments de l'outil

II.3.1. Corps de l'outil

C'est la partie de l'outil qui porte les éléments composants l'outil (éléments coupants où les plaquettes) et qui sert à sa fixation et à sa mise en position sur la machine.

II.3.2. Partie active de l'outil

C'est la partie qui intervienne directement dans l'opération de coupe. La partie active de l'outil est composée de la face de coupe, des faces en dépouille et des arrêts tranchantes. [7]

Face de coupe : A γ

C'est la surface sur laquelle glisse le copeau lors de la coupe.

II.3.3. Face de dépouille A α

C'est la surface devant laquelle passe la surface coupée par l'outil. En distingue la face en dépouille principale et la face en dépouille secondaire. La face en dépouille principale est celle

- 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. [7]

II.3.8. 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.[8]

II.3.9. Angles de l'outil. (Figure II-2)

II.3.9.1. Angles d'arête de l'outil en main

Angle de direction d'arête de l'outil κ_r (Figure II-3) c'est l'angle aigu mesuré dans le plan de Référence P_r entre le plan d'arête P_s et le plan de travail P_f . Il est mesuré de P_f vers P_s et dans le sens où la trace de P_s dans P_r s'éloigne du bec de l'outil.[7]

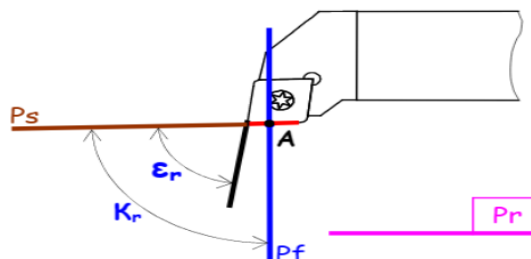


Figure II-3 : Angle de direction d'arrêt de l'outil

Angle d'inclinaison d'arête de l'outil λ_s (Figure 2-4) : angle aigu mesuré dans le plan d'arête P_s , entre l'arête et le plan de référence P_r . Il est positif lorsqu'en s'éloignant de la pointe de l'outil, l'arête se trouve en dessous du plan P_r . [10]

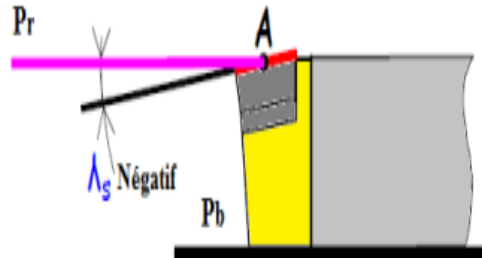


Figure II-4 : Angle d'inclinaison d'arête

- Angle de pointe de l'outil ϵ_r : C'est l'angle mesuré dans le plans P_r , entre le plan d'arête P_s et le plan d'arête secondaire P_s' .
- Angle de direction d'arête secondaire de l'outil k' : C'est l'angle, mesuré dans le plan P_r , entre le plan conventionnel de travail P_f et la projection de l'arête secondaire dans le plan de référence de l'outil P_r .

Les angles de direction d'arête de l'outil, de pointe de l'outil et de direction d'arête secondaire de l'outil sont liés par la relation :

$$k_r + \epsilon_r + k_r = 180^\circ.$$

Equation 1

II.3.9.2. Angle d'arête de l'outil en travail

- Angle de direction d'arête en travail k_{re} : c'est l'angle mesuré dans le plan P_{re} , entre les plans P_{fe} et P_{se} . La convention de sens adoptée pour k_{re} est la même que pour l'angle k_r
- Angle d'inclinaison d'arête en travail λ_{se} : c'est l'angle mesuré dans le plan P_{se} , entre l'arête et le plan P_{re} . La convention de signe pour l'angle λ_{se} est la même que pour l'angle λ_s . [7]

II.3.9.3. Angles des faces.

La position des faces de coupe et de dépouille est définie dans des plans de sections particuliers qui passent tous par un point considéré de l'arête (Figure II-5). Lorsqu'on fait une section de l'outil par ces plans et quel que soit le plan considéré pour définir la section on trouve [7] :

- Angle de dépouille α : angle aigu entre la face de dépouille $A\alpha$ et le plan d'arête Ps (Pse).
- Angle de taillant β : angle aigu entre la face de coupe $A\gamma$ et la face de dépouille $A\alpha$.
- Angle de coupe γ : angle aigu entre la face de coupe $A\gamma$ et le plan de référence Pr (Pre).[7]

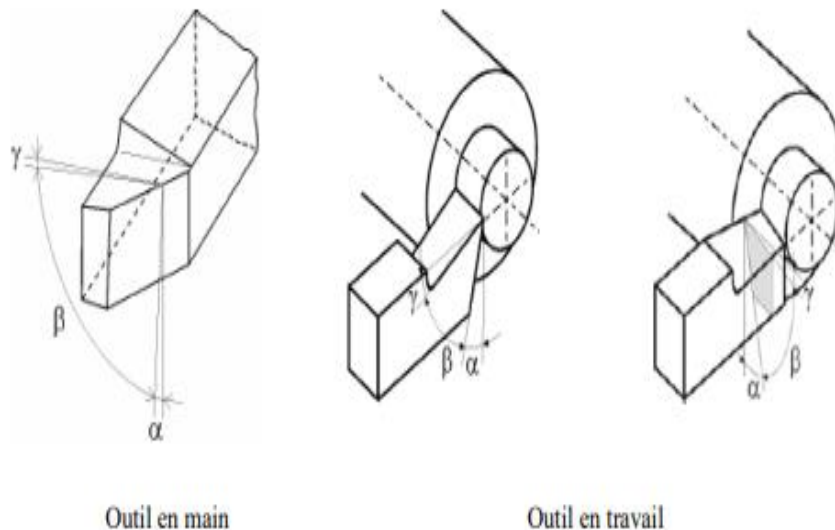


Figure II-5 : Angles des faces.

Dans un même plan de section, que ce soit dans le système de l'outil en main ou de l'outil en travail, ces trois angles sont liés par la relation : $(\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ)$ [11]

Ces angles sont définis selon le besoin dans un des plans de section suivants :

- Po (Poe) : plan orthogonal de l'outil (orthogonal en travail), plan perpendiculaire au plan de référence Pr (Pre) et au plan d'arête Ps (Pse), au point considéré de l'arête (Figure II-6)

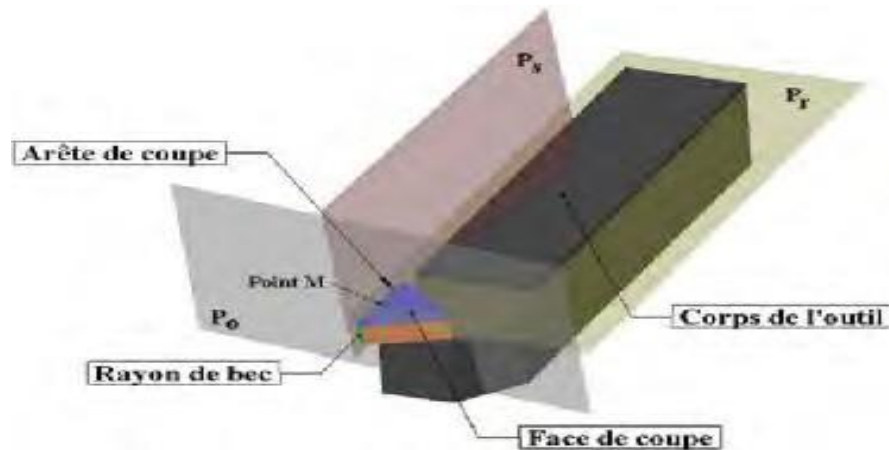


Figure II-6 : Définition basique d'un outil en tournage.

- P_n (P_{ne}) : plan normal à l'arête, plan perpendiculaire à l'arête au point considéré ($P_n = P_{ne}$)
- P_f : plan de travail conventionnel (plan de travail P_{fe})
- P_p : plan vers l'arrière de l'outil (plan vers l'arrière en travail P_{pe}). [11]

II.3.10. La géométrie de l'arête de coupe

La plupart des modèles de coupe tridimensionnelle caractérisent l'outil suivant trois plans distincts matérialisés par la face de coupe et les faces de dépouilles principale et secondaire (Figure II-7. a) [15]. En réalité, la zone de coupe de l'outil est constituée de 3 plans raccordés par deux rayons (Figure II- 7.b) : le rayon de bec r_ϵ et le rayon d'acuité R de l'arête de coupe, qui est souvent négligée dans un grand nombre de modèles. [14]

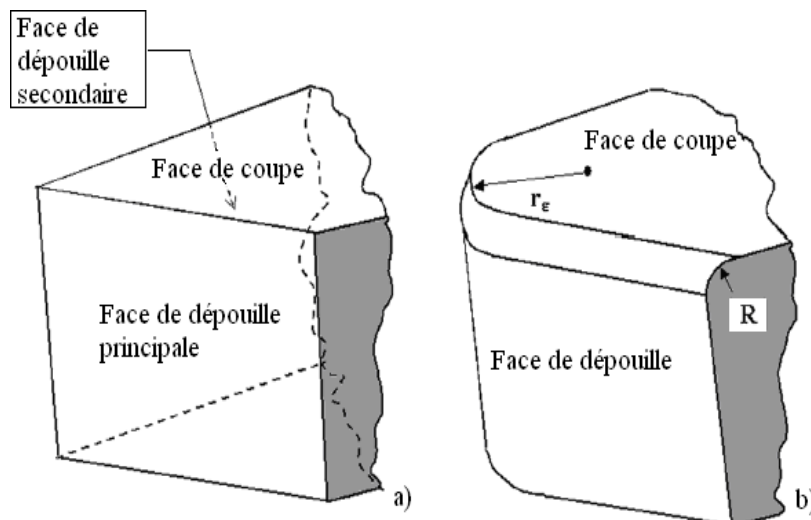


Figure II-7 : Géométrie de l'arrêt de coupe

II.3.11. Description géométrique du contact en tournage

La surface tridimensionnelle de contact entre l'outil et la pièce est relativement complexe. La définition suivante (Figure II-8) découpe la surface de contact à partir d'une ligne directrice (ou ligne d'arête) et d'une ligne d'esquisse (ou ligne de coupe).[14]

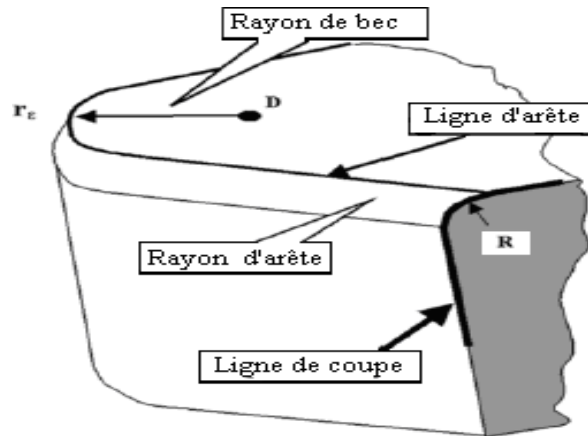


Figure II-8 : Description géométrique de l'outil

II.4. Usure des outils de coupe

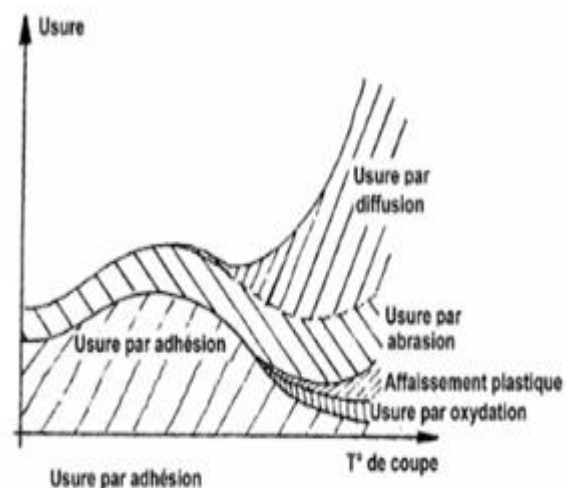
Les principaux types d'usure des outils de coupe sont les suivants :

II.5. Phénomènes provoquant l'usure

D'une façon générale l'usure de deux matériaux en contact est due à des phénomènes d'ordre mécanique et physico-chimique

Ces phénomènes dépendent essentiellement de la température de coupe et selon König (Professeur à l'Université Technique d'Aix-la-Chapelle), se divisent comme le montre la (figure II-9) suivante. [9]

Figure II-9 : Diagramme de combinaison des différents processus d'usure en fonction de la température



II.5.1.1. Phénomènes mécaniques

Les phénomènes mécaniques jouent un rôle important dans l'usure des outils de coupe. Voici quelques-uns des phénomènes mécaniques impliqués :

II.5.1.2. Usure par abrasion mécanique

L'usure par abrasion est essentiellement due aux frottements copeau/outil et aux frottements outil/pièce.

II.5.1.3. Usure par déformation plastique

L'usure par déformation est due en fait à l'affaissement de l'arête de coupe sous l'action des efforts de coupe et ceci d'autant plus rapidement que la température à proximité du bec de l'outil augmente.

La Figure II-10 suivante représente, d'après un document Hertel, la répartition des températures à proximité du bec de l'outil, pour un outil à plaquette céramique. [9]

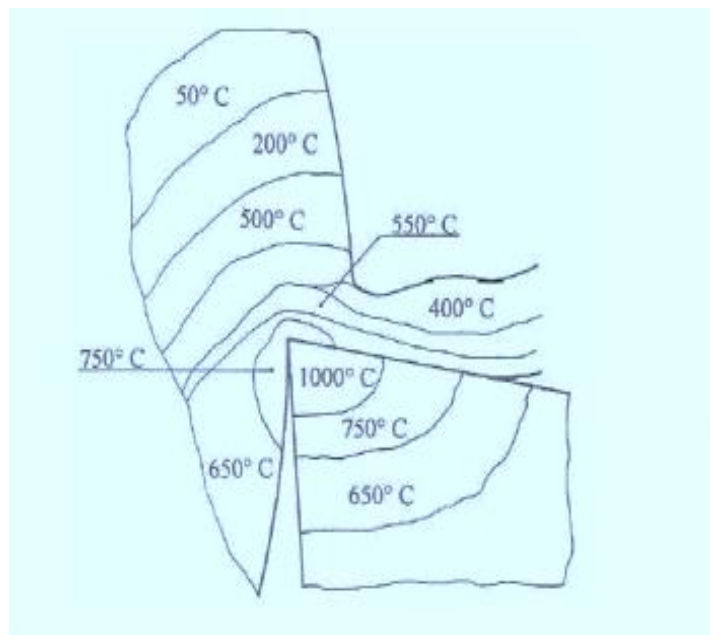


Figure II-10 : la répartition des températures à proximité du bec de l'outil, pour un outil à plaquette céramique

II.5.1.4. Usure par fissuration

La fissuration de l'arête tranchante, donc sa fragilisation apparaît surtout lors de travail aux chocs (coupe discontinue), c'est pourquoi elle n'est pas référencée par König.[9]

II.5.2. Phénomènes physico-chimiques

II.5.2.1. Usure par diffusion

Ce type d'usure, essentiellement due à la température, apparaît lors de l'emploi de vitesses de coupe trop élevées.

II.5.2.2. Usure par corrosion

Ce type d'usure est due à la corrosion provoquée par le contact des deux matériaux constituant la pièce et l'outil et particulièrement sous l'effet des lubrifiants. [9]

II.5.3. Étude des différents paramètres influant sur l'usure

D'une façon générale on étudie l'influence des paramètres fondamentaux suivants :

- Conditions de coupe. :
- Vitesse de coupe Section du copeau
- Lubrification
- Couple matériau usiné / matériau de l'outil.

II.5.3.1. Influence des conditions de coupe

a) Influence de la vitesse de coupe

La vitesse de coupe a une grande influence sur l'usure car la température à l'interface pièce/outil augmente avec la vitesse. Du fait que plusieurs phénomènes sont liés à la température, la vitesse de coupe agit sur ces différents phénomènes.

b) Influence de la section du copeau

Plus la section du copeau est grande, plus les efforts nécessaires à la coupe sont élevés et plus la température au voisinage de l'arête tranchante augmente.

Remarque :

Des essais de coupe ont montré que l'avance avait une action prépondérante par rapport à la profondeur de passe.

c) Influence de la lubrification

L'influence de la lubrification étant assez complexe, on la caractérise souvent par l'absence ou la présence de lubrification lors des essais.

Dans le cas où il y a présence de lubrification, on spécifie si le lubrifiant employé est un lubrifiant de graissage pour faciliter le glissement du copeau sur la face de coupe de l'outil, ou si

le lubrifiant est un lubrifiant de refroidissement pour diminuer la température dans la région du bec de l'outil. [9]

d) Influence du couple matériau pièce / matériau outil

Le matériau de la pièce intervient par ses propriétés mécaniques, surtout par sa résistance à la rupture.

Le matériau de l'outil intervient, lui aussi, par ses propriétés mécaniques, mais aussi, par ses propriétés physico-chimiques, entre autres par ses propriétés thermiques. [9]

II.5.4. Principaux types d'usure des outils

II.5.5. Usure de la face en dépouille principale

a) Usure frontale

L'usure frontale ou usure en dépouille se caractérise par l'apparition d'une bande brillante le long de la face en dépouille principale due en particulier au frottement de la pièce sur cette face

Cette usure est d'une grande importance, car elle influe sur les dimensions de la pièce à cause du recul de l'arête qu'elle provoque et sur l'état de surface de la pièce à cause du frottement. L'usure frontale est caractérisée par le symbole VB (voir figure page suivante Figure II-11) [9]

b) Usure en entaille

C'est une forme particulière d'usure de la face en dépouille qui se manifeste à l'endroit où l'arête principale quitte le contact avec la pièce (voir figure page suivante Figure II-11).

c) Usure de la face de coupe

L'usure de la face de coupe est caractérisée par l'usure en cratère.

Ce type d'usure est essentiellement dû au frottement du copeau sur la face de coupe. Elle se manifeste par l'apparition d'une "curvette" sur la face de coupe.

L'usure en cratère se trouve plus spécialement sur les outils en carbure.

Cette usure revêt une grande importance car elle modifie l'angle de coupe.

Elle est caractérisée par KT profondeur du cratère, KB largeur du cratère, KM distance du centre du cratère (voir figure page suivante). Figure II-11 [9]

d) Usure de la face en dépouille secondaire

Elle se caractérise par l'apparition de sillons sur la face en dépouille secondaire, due principalement à l'emploi de faibles avances lors d'une passe de finition. Toute modification de la forme du bec de l'outil à cause de l'usure, entraîne un frottement de la face en dépouille secondaire sur la surface usinée. Ceci provoque, sur la face en dépouille secondaire, la reproduction des sillons faits par le bec de l'outil sur la surface usinée, ce qui a pour effet d'augmenter la rugosité de la surface réalisée Figure II-11. [9]

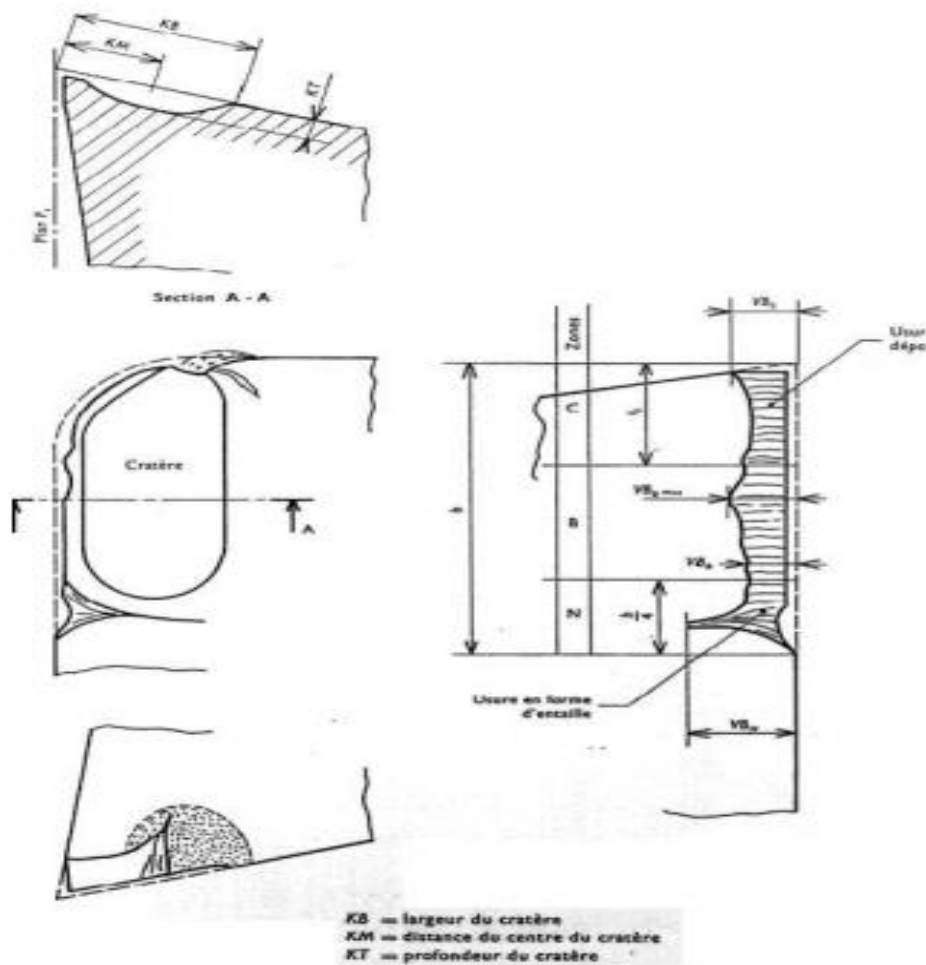


Figure II-11 Mesures de l'usure de l'outil

II.6. Les types de matériaux utilisés pour les outils tournage

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.
- 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.
- existe différents Matériaux utilisé pour la fabrication des outils de tournage :

II.6.1. les aciers rapides supérieurs

L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers d'outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : high speed steel, abrégé HSS. [5]

Les aciers rapides sont généralement utilisés pour leurs propriétés de dureté élevées (> 60 HRC) et leur niveau de résilience acceptable (propriété d'un matériau à résister à la propagation de fissures). Ils présentent en général une forte résistance à l'usure du fait de leur fort alliage et de la présence significative d'éléments producteurs de carbures durs tels que le tungstène et le vanadium.[5]



Figure II-12 : Outil de tournage en HSS

II.6.2. Les Carbures Métalliques

Les carbures de coupe sont des mélanges pulvérulents de carbure de tungstène et de titane



Figure II-13 : Outils tournage en CARBURES

très durs agglomérés dans du cobalt. Cette dureté naturelle n'est presque pas réduite à chaud (70 HR à 800°) ce qui permet des vitesses de coupe très élevées : 4 fois celles des aciers rapides et 16 fois celles des aciers au carbone. Fragiles et d'un affûtage lent et difficile, ils permettent des travaux d'ébauche et de finition sur les aciers durs à des vitesses de coupe allant de 50 à 200 m/min.

II.6.3. Outils à carbure brasé

Ces outils ont un corps en acier ordinaire avec une plaquette carbure brasée directement dessus. Ils sont utilisés tant pour les travaux d'ébauche à grande vitesse de coupe que pour les travaux de finition, on peut les affûter en fonction de l'usinage recherché et l'état de surface désirée. Ce montage permet également

de protéger la plaquette en carbure qui supporte mal les chocs et sa durée de vie peut en être un peu prolongée.[5]



Figure II-14 : Outils à carbure brasé

II.6.4. Outils à plaquettes carbures

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min).

Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le



Figure II-15 : Outils à plaquettes carbures

plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner.[5]

II.6.5. Les céramiques Techniques

Ce sont des composés d'oxyde d'alumine très durs agglomérés dans des oxydes de chrome comme liant, frittés à 1800°C. Concurrentes des carbures avec une dureté naturelle à chaud de 82 HR, sans formation de copeau sur l'outil, avec des vitesses de coupe très élevées (100 à 800 m/min), ils sont sensible aux chocs et aux vibrations. Les plaquettes de céramiques ne peuvent pas être brasées mais soigneusement ajustée et fixées mécaniquement sur le corps d'outil. Elles sont non affûtables, mais comme pour les carbures, elles présentent plusieurs arêtes de coupe à usage successif.[5]



Figure II- 16 : Les céramiques

II.6.6. Les diamants industriels

Les diamants industriels, sertis à l'extrémité d'une tige d'acier, peuvent être utilisés pour le travail du cuivre, du bronze, de l'aluminium à très grande vitesse de rotation et faible avance pour obtenir un aspect de surface proche du miroir [5] .



Figure II-1 7: Les diamants industriels

II.7. Outils et opérations de fraisage : (les fraises)

Le fraisage est un procédé d'usinage qui permet de réaliser des pièces prismatiques complexes à partir d'une pièce brute en retirant de la matière à l'aide d'outils appelés fraises. Les fraises ont une ou plusieurs dents coupantes qui permettent d'enlever la matière en effectuant un mouvement de rotation.[6]

On peut distinguer différents types d'outils de fraisage, adaptés à différentes applications :

- **Les fraises cylindriques** : elles ont une forme cylindrique et sont utilisées pour usiner des surfaces planes et des rainures.

- **Les fraises à queue d'aronde** : elles sont utilisées pour réaliser des queues d'aronde, c'est-à-dire des assemblages à tenon et mortaise.
- **Les fraises à surfacer** : elles permettent d'usiner des surfaces planes avec une grande précision et une finition de surface de qualité.
- **Les fraises à rainurer** : elles sont utilisées pour réaliser des rainures de différentes largeurs et profondeurs.
- **Les fraises à fileter** : elles permettent de réaliser des filetages, c'est-à-dire des pas hélicoïdaux sur des pièces cylindriques.
- **Les fraises à chanfreiner** : elles sont utilisées pour réaliser des chanfreins, c'est-à-dire des biseaux sur les bords des pièces.

Il existe également des fraises spéciales pour des applications spécifiques, telles que les fraises à lamer pour réaliser des alésages de précision, ou les fraises à copier pour usiner des formes complexes en suivant un modèle. [1]

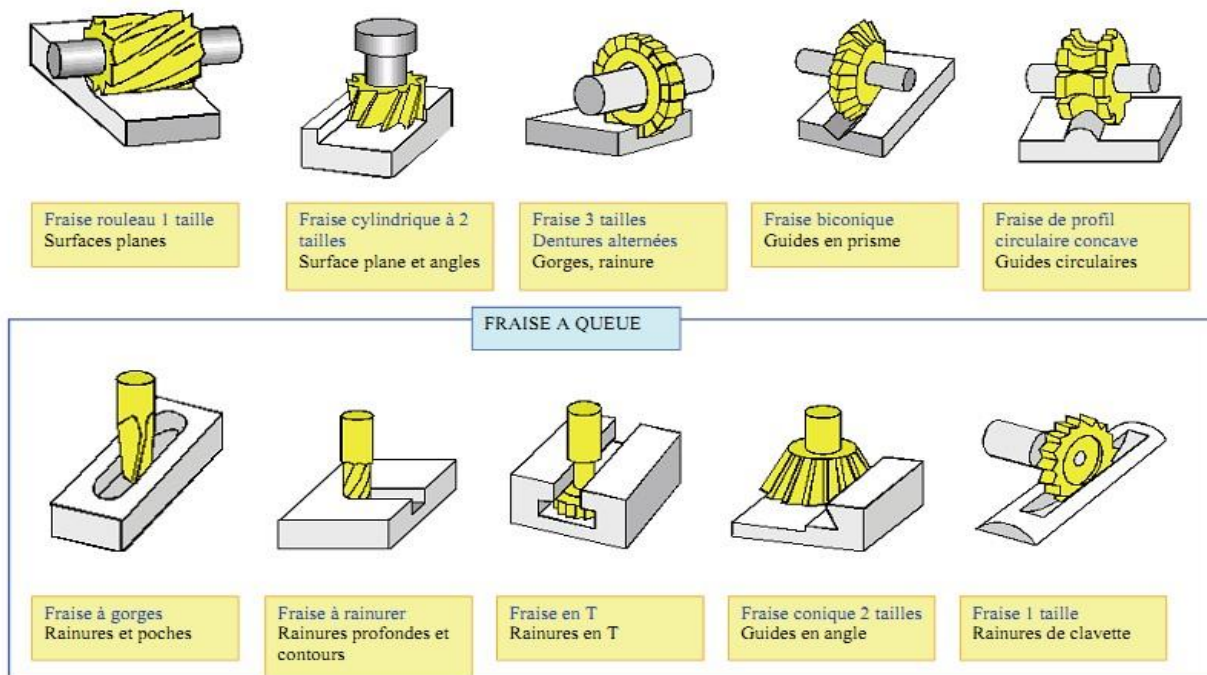


Figure II-18 : Outils et Opérations de fraisage



Figure II-19 : Fraise avec pastilles amovibles



Figure II-20 : Fraises carbure monobloc

Les outils utilisés lors des opérations de fraisage sont multiples. on trouve pour chaque opération un outil spécifique surtout en ce qui concerne l'usinage des formes. Les outils de fraisage existent dans une grande variété de formes en fonction des conditions particulières des opérations effectuées.[6]

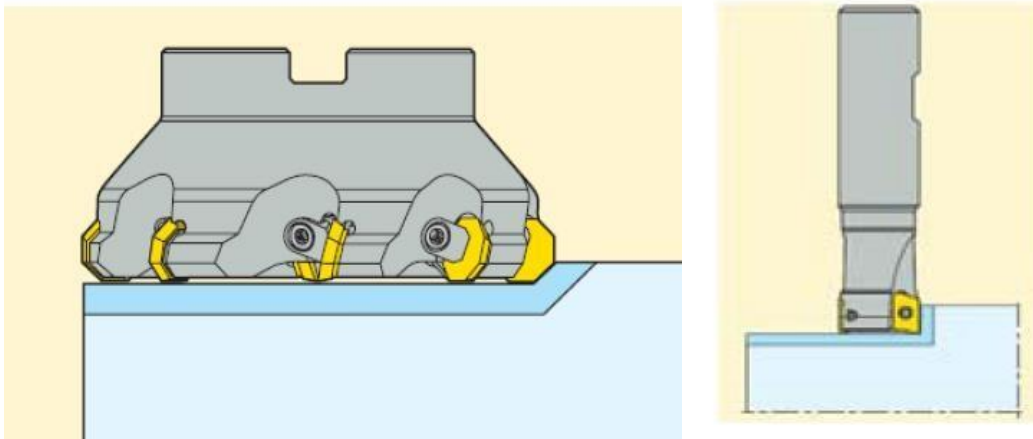


Figure II-21 : Fraise à surfacer et fraise 2 tailles cylindriques

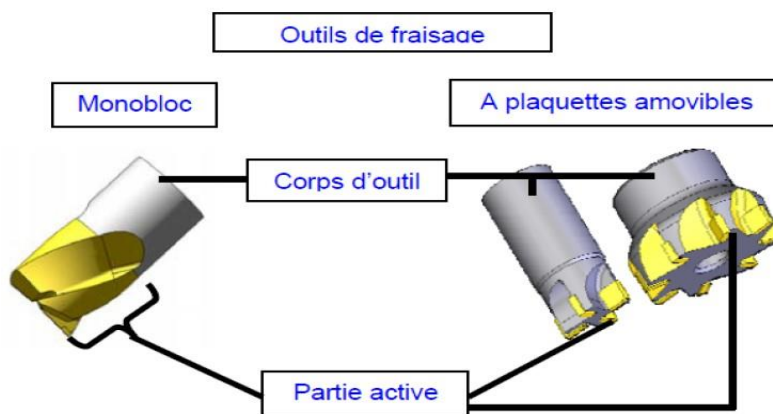


Figure II-22 : Outils de fraisage

II.8. Les outils de coupe perçage

Les outils de perçage comportent tous une machine tournante (le plus souvent un moteur, mais parfois une manivelle pour le perçage à main, voire anciennement une corde enroulée autour de l'axe pour les scies à arc), un dispositif de couplage (mandrin), et un outil d'enlèvement de matière, le tout pouvant être libre (outil portatif) ou affixé à un bâti avec des accessoires (par exemple sur une perceuse à colonne, ou sur un tour). Le plus souvent, la pièce à percer est fixée et l'outil mobile, mais il peut arriver que l'on fixe le foret et fasse tourner la pièce, pour des perçages concentriques au tour par exemple.[1],[6]



Figure II-23 : Des forets en HSS



Figure II-24 : Des forets en carbure

CONCLUSION

Les outils de coupe jouent un rôle crucial dans les opérations d'usinage. Le choix du matériau et de la nuance de coupe est essentiel pour assurer des performances optimales. Les matériaux de coupe doivent posséder des propriétés telles que la dureté, la ténacité, la neutralité chimique, la stabilité chimique et la résistance aux variations thermiques.

Les outils coupants se présentent sous différentes formes, géométries, matériaux et revêtements. Qu'ils soient destinés au tournage, au fraisage, au perçage ou à d'autres opérations, tous les outils de coupe comportent une partie active qui enlève directement les copeaux. Ils doivent répondre à des exigences telles que la pression d'exécution, la précision des côtes, l'état de surface de la pièce et l'efficacité pour assurer un rendement optimal.

Les principaux éléments des outils de coupe comprennent le corps de l'outil, la partie active de l'outil avec la face de coupe, les faces en dépouille et les arrêts tranchants, ainsi que le bec de l'outil. Différents plans et angles définissent la géométrie de l'outil, tels que le plan de référence, le plan d'arête, le plan de travail et le plan vers l'arrière. Ces éléments et géométries jouent un rôle crucial dans la performance de l'outil et l'obtention des résultats souhaités.

L'usure des outils de coupe est un phénomène inévitable, provoqué par des facteurs mécaniques et physico-chimiques tels que l'abrasion, la déformation plastique, la fissuration, la diffusion et la corrosion. La compréhension de ces phénomènes d'usure est essentielle pour améliorer la durée de vie et l'efficacité des outils de coupe.

Très brièvement, les outils de coupe et leur choix approprié, ainsi que la gestion de leur usure, sont des éléments essentiels pour assurer des opérations d'usinage réussies et efficaces. Une connaissance approfondie des propriétés des matériaux de coupe, des géométries d'outil et des phénomènes d'usure permettra d'optimiser les performances et d'obtenir des résultats de haute qualité dans les processus d'usine

Chapitre III

Coupe des Métaux

III.1. Notions

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière à l'aide d'une machine-outil destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans un intervalle de tolérance donné. 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 en premier lieu les matériaux métalliques et la plupart des objets métalliques d'utilisation courante qui ont subi déjà une ou plusieurs opérations de mise en forme. La mise en forme par usinage concerne également, mais de manière moins conséquente en général, toutes les autres classes de matériaux (céramiques, polymères, bois et matériaux dérivés, matériaux composites, verres, semi-conducteurs, etc.), selon des modalités spécifiques, dépendant des caractéristiques du procédé et du matériau.

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la combinaison de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe et le mouvement d'avance. Il existe deux manières pour générer la surface recherchée : soit par le travail de forme, soit par le travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme, c'est la forme de l'outil qui conditionne la surface finalement obtenue. Dans le cas du travail d'enveloppe, c'est la trace de l'arête de l'outil qui travaille (le point générateur) qui donne la surface finale. [19]

III.2. Exigences liées à l'usinage

Les procédés de mise en forme des matériaux par enlèvement de matière n'ont cessé d'être remis en question afin de répondre aux exigences industrielles imposées, qu'elles soient économiques ou écologiques, etc. Aujourd'hui, l'ingénieur de fabrication se doit donc de pouvoir répondre à une multitude de questions afin de réaliser rapidement des pièces mécaniques avec la qualité demandée et à moindre coût. [8]

Par exemple, Parmi les questions qui se pose dans le cas de l'usinage :

- Quel type de machine faut-il utiliser et suffira-t-elle en termes de puissance et de précision ?
- Quelles sont les conditions de coupe à utiliser pour minimiser l'endommagement des outils ou du matériau usiné ?
- Quelles sont les solutions à adopter lors de la conception des outils et dans quels matériaux doivent-ils être fabriqués pour améliorer leur durée de vie et/ou la qualité des états de surface des pièces usinées ?
- Quelles sont les propriétés mécaniques de la pièce après usinage ?
- Est-il possible d'usiner sans apport de lubrifiant ?

Il y aurait encore un nombre considérable de questions à poser, dont il est difficile d'établir une liste

exhaustive. L'état d'avancement des connaissances sur le plan fondamental ne peut pas apporter de réponse à toutes ces questions. En revanche, la technologie et les techniques d'usinage ont permis de faire évoluer et d'optimiser la production.

Depuis la révolution industrielle du début du siècle dernier, les machines-outils ont considérablement évoluées afin de répondre à des exigences telles qu'un meilleur rendement, une plus grande sécurité, une meilleure rigidité, de plus grandes vitesses de déplacement, une puissance accrue, une amélioration de la productivité, une diminution de l'usure des outils, etc.

En contrepartie, l'amélioration de toutes ces performances fait ressortir un ensemble de phénomènes dont l'ignorance ne remettait pas en cause la fabrication traditionnelle des pièces mais dont l'importance ne peut être ignorée pour des conditions d'usinage à Grandes Vitesses où les vitesses de rotation, des outils de fraisage par exemple, deviennent très importantes.[8]

III.2.1. Le définition du procédé tournage

Le tournage (Figure III-1) est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils de coupe à arête unique [9]. Il s'effectue sur des machines- outils dites tours.[10]

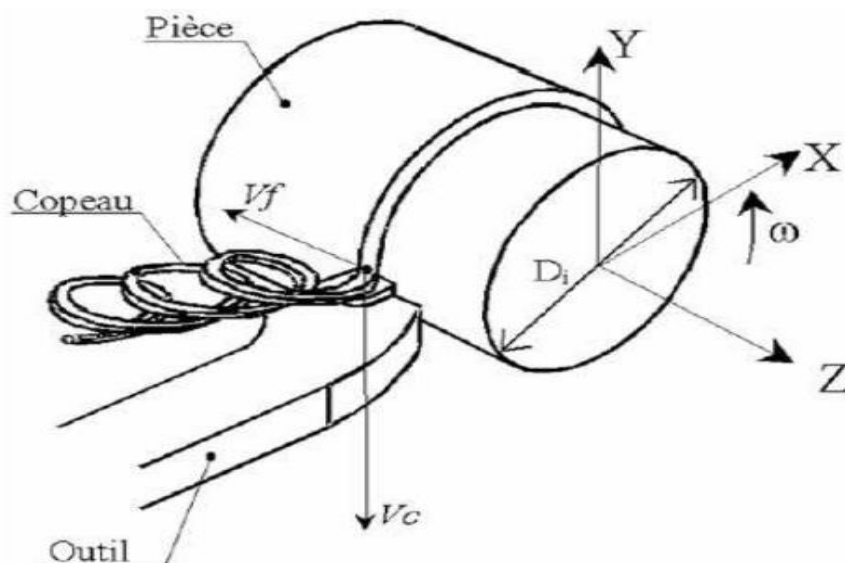


Figure III-1 : Tournage

III.2.2. Principe de travail

Pendant le tournage, la pièce tourne autour de son axe, tandis que l'outil s'engage dans sa surface à une

profondeur déterminée. L'outil est animé d'un mouvement d'avance continu parallèle où perpendiculaire à l'axe de la pièce.[10]

III.2.3. Principaux éléments d'une pièce en tournage

La (Figure III-2) illustre les principaux éléments d'une pièce à usiner et d'un outil. La surface de la pièce sujette à l'usinage est appelée 'surface de la pièce'. Elle peut être brute (résultant de différents procédés Comme moulage, forgeage, laminage, etc.) Ou obtenue par usinage due à des 'opérations

Précédentes. La 'surface engendrée' (ou surface usinée) est une surface désirée, générée par le processus d'enlèvement de matière (un outil de coupe au cours d'usinage). Les deux surfaces sont reliées par une surface engendrée intermédiaire (générée pendant l'usinage par une arête coupante) appelée 'surface coupée'. [11]

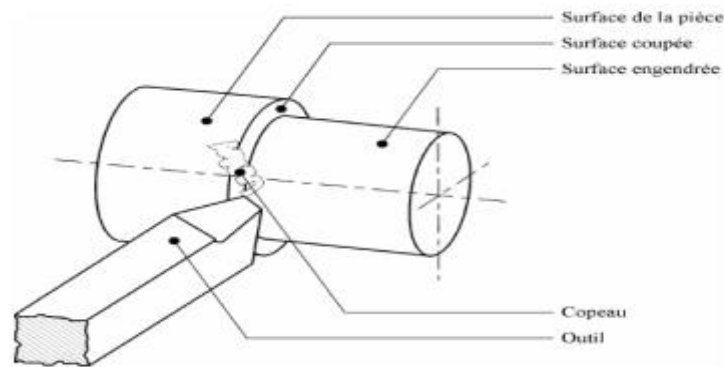


Figure III-2 : Surfaces de la pièce.

III.2.4. Les opérations de base

On peut illustrer quatre opérations de base pour le procédé de tournage (Figure III-4). Donc on peut citer :

- Tournage longitudinal ou chariotage (Figure III-3; 1).
- Tournage transversal ou Dressage (Figure III-3; 2).
- Tournage de cônes (Figure III-3; 3).
- Contournage (Figure III-3; 4).

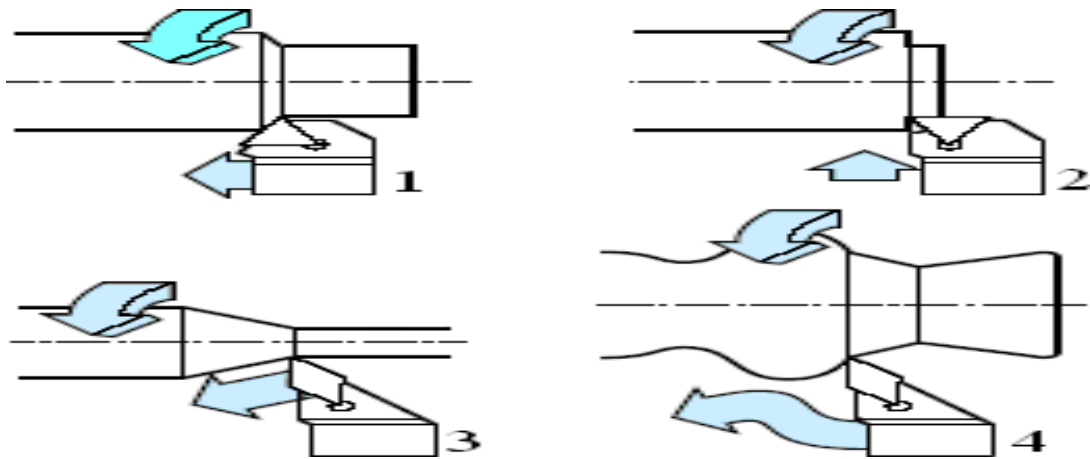


Figure III-3 : Opération de base en tournage

Pour faciliter le choix des outils et des paramètres de coupe, il est courant de dissocier l'usinage des pièces complexes en profils de coupe élémentaires, comme cela a été précédemment énuméré [9]

Le dressage est une opération clé dans l'usinage qui permet d'obtenir des surfaces planes, d'éliminer les imperfections, de préparer la pièce pour d'autres opérations et de contrôler les dimensions et la géométrie, contribuant ainsi à la qualité et à la précision des pièces usinées.

Lors d'une opération de dressage (voir Figure III-4), la pièce est soumise à un mouvement de coupe qui se fait par rotation, tandis que l'outil se déplace en translation rectiligne perpendiculaire à l'axe de rotation. La combinaison de ces deux mouvements orthogonaux permet de réduire la longueur de la pièce et de générer des plans orthogonaux à l'axe [9]. Dans une opération de dressage, le profil de rugosité de la surface usinée, en fonction du diamètre de la pièce, est déterminé par l'avance et la géométrie de l'outil de coupe [8]

III.2.5. Mouvements relatifs outil-pièce

Un examen approfondi du mécanisme de la coupe nous conduit à observer qu'il procède grâce à trois mouvements. [11]

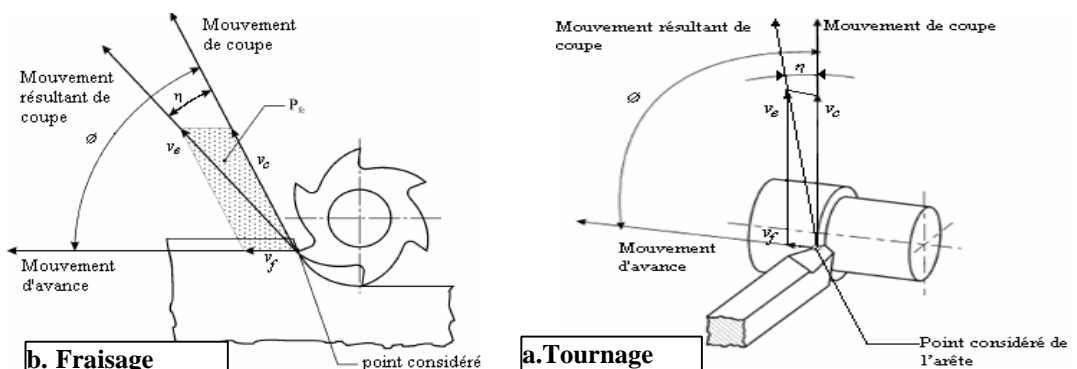


Figure III-4 : Mouvements de l'outil et de la pièce

a) Mouvement de coupe M_c

Le mouvement de coupe est un mouvement relatif principal entre l'outil et la pièce. Il participe

directement au détachement de la matière sous forme de copeaux pendant la course de travail. [11]

b) Mouvement d'avance M_a

Au mouvement de coupe, vient s'ajouter un autre mouvement relatif entre l'outil et la pièce, le mouvement d'avance, nécessaire à la génération de la surface de la pièce. Il peut être composé de plusieurs mouvements mais seulement de façon à ce qu'au moins une de ses composantes soit rectiligne. Le mouvement d'avance a pour but de décaler latéralement une quantité 'f' dite avance, pour que l'outil puisse à la nouvelle course de travail détacher d'autres copeaux.

Le mouvement de coupe et le mouvement d'avance combinés constituent le mouvement résultant de coupe (v_c), alors que l'angle contenu entre ces deux mouvements est appelé angle de direction d'avance (\emptyset) (Figure III-5). [11]

c) Mouvement de pénétration M_p

C'est le mouvement qui détermine l'épaisseur de la couche de métal à enlever à chaque opération qui prend le nom de passe. [11]

III.3. Les paramètres de coupe

Lors d'un usinage par enlèvement de matière, on se retrouve, dans la majorité des cas, dans la configuration suivante :

Une lame d'outil pénètre dans la matière et enlève un copeau.

L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner.

Ces mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil, ...) on doit régler les paramètres de la coupe.[12]

Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de la coupe, notamment :

- le type de machine (tournage, fraisage, perçage) ;

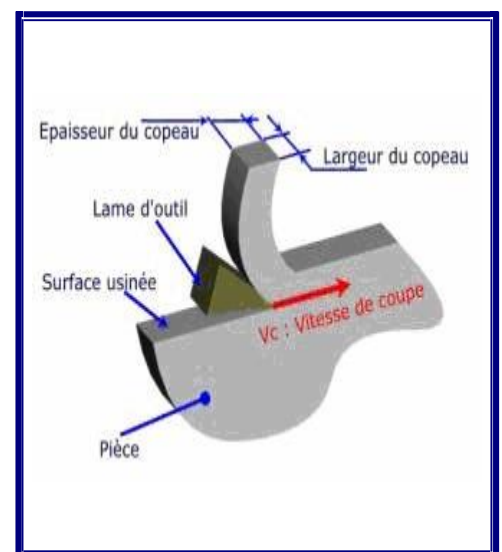


Figure III-5 : Configuration de la coupe orthogonale

- la puissance de la machine ;
- la matière usinée (acier, aluminium) ;
- la matière de l'outil (ARS, carbure) ;
- le type de l'opération (perçage, chariotage, surfacage). [19]

L'objectif final est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions. Pour cela il faut déterminer certains paramètres spécifiques :

- la vitesse de coupe : V_c
- la vitesse d'avance : F
- la profondeur de passe : a .

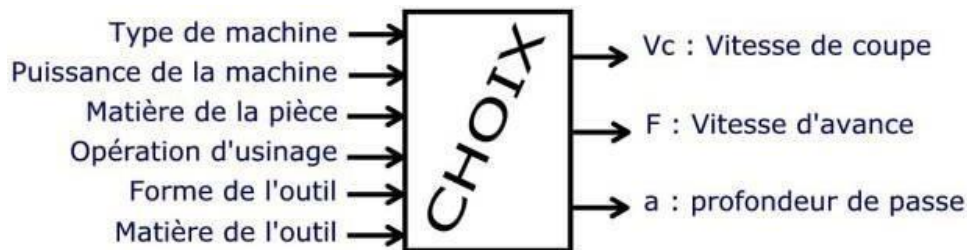


Figure III-6: procès de coupe

III.3.1. La vitesse de coupe V_c

La vitesse de coupe V_c , est une vitesse instantanée du point considéré de l'arête par rapport à la pièce.

Cela correspond au déplacement de l'arête de coupe par rapport à la pièce. Il ne faut pas confondre V_c et F . Unité: V_c en m/min.

Dans tout problème d'usinage, il est nécessaire pour des raisons technologiques et économiques de déterminer la valeur de V_c la mieux adaptée au travail à réaliser. [11]

Ces valeurs ont été déterminées expérimentalement par des laboratoires spécialisés dans les essais de coupe.

Le choix de la vitesse de coupe dépend de nombreux paramètres dont les principaux sont :

- la durée de l'outil entre deux affûtages ;
- la nature et l'état du métal à usiner ;
- la nature de l'outil ; la lubrification ;
- le mode de travail de l'outil, pour un outil de rabotage travaillant dans les mêmes conditions, On choisira une valeur de V_c plus faible pour limiter les effets néfastes du choc à chaque passe.
- la section du copeau ($S \text{ mm}^2 = f \text{ mm} \times a \text{ mm}$).
- a : profondeur de passe ; f : avance.

Pour faire un choix judicieux de V_c il est nécessaire de tenir compte des paramètres précédents.

Les conditions de coupe imposées dans les tableaux sont données pour une durée de vie d'outil (entre deux affûtages ou rotation de plaquette) de 60 à 90 minutes.

Seuls des essais peuvent permettre de déterminer les conditions de coupe optimales. La forme des outils influence le choix de la vitesse de coupe. [1]

Les tableaux des vitesses en tournage sont donnés pour l'usinage à l'outil à charioter, pour les autres outils, il faut multiplier la vitesse trouvée par le coefficient k .

Tableau III-1 : Coefficients k pour les vitesses en tournage

Outils	k
à charioter	1
couteau	0,8
à tronçonner	0,5
à aléser	0,7
à fileter	0,3

III.3.1.1. Étapes précédant le choix de V_c

Avant de choisir la vitesse de coupe (V_c), il est important de suivre certaines étapes préliminaires. Tout d'abord, il faut choisir le matériau de coupe, qu'il s'agisse d'un revêtement en nitrure d'aluminium (AR) ou de carbure. Ce choix dépend principalement de plusieurs facteurs, notamment :

- Le type de travail à effectuer, qu'il s'agisse d'une ébauche (Eb), d'une demi-finition (1/2 F), d'une finition (F) ou d'une retouche.
- La quantité de pièces à usiner.
- Le matériau à usiner.
- La puissance disponible sur la broche de la machine.

Après avoir sélectionné le matériau de coupe approprié, il convient ensuite de choisir la vitesse de coupe (V_c). Cette sélection doit être basée sur deux critères principaux : la rugosité demandée et le rayon de bec (r_ϵ) [8].

III.3.1.2. Le Choix de V_c

Les tableaux proposent pour chaque ligne une plage de vitesses utilisables

(Exemple. tableau 3-2).[13]

Exemple : Choix de V_c

Tableau III-2 : Plage de vitesses utilisables pour l'usinage (Exemple)

a	f	V_c 60 à 90 min
1 à 4	0,2 à 0,4	60 à 45

Les vitesses données (sauf pour les fontes) correspondent à un travail lubrifié.

Tableau III-3: Chariotage avec outil en acier rapide des aciers non alliés et faiblement alliés, et des fontes grises [15]

Aciers	Résistance à la rupture N/mm ²	Conditions de coupe			Outils acier rapide				Tour	
		Prof. de passe a (mm)	(Avance) f (min/tr)	V de coupe m/min durée d'outil 60 à 90 mn	Nuance abrévée W-D-V-C	Angle de coupe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm × mm)	Puissance (kW)	
Recuit	< 400°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	65 à 60	6-5-2	20°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	60 à 45			0,8	16 × 16	1 à 4	
		4 à 8	0,4 à 0,8	45 à 30			1,2	25 × 25	4 à 10	
Recuit	400 à 600°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	55 à 52	6-5-2	18°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	52 à 36			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	36 à 26			1,2	25 × 25	3 à 5	
Recuit	600 à 750°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	50 à 45	6-5-2	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	46 à 30			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	30 à 25			1,2	25 × 25	3 à 5	
Trempe revenu	750 à 900°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	40 à 35	2-9-1-8	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	35 à 25			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	25 à 20			1,2	25 × 25	3 à 5	
Trempe revenu	900 à 1 100°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	28 à 22	2-9-1-8	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	22 à 17			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	17 à 14			1,2	25 × 25	3 à 5	
Fontes	État	Dureté (HB)								
Ft 10-15	Ferritique recuite	< 150°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	70 à 65	6-5-2	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	65 à 50			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	50 à 35			1,2	25 × 25	2 à 6
Ft 20	Perlite ferrite moulée	160 à 200°	0,2 à 1	52 à 45		12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	45 à 35			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	35 à 20			1,2	25 × 25	2 à 3
Ft 30	Perlite moulée	180 à 220°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	45 à 40	12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	40 à 30			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	30 à 15			1,2	25 × 25	2 à 3
Ft 35	Perlite fine moulée	220 à 260°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	30 à 28	12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	28 à 22			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	27 à 15			1,2	25 × 25	2 à 3

Tableau III-4 : Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés faiblement alliés et des fontes grises [15]

Aciers	Résistance à la rupture (hbar)	Conditions de coupe			Outil carbure (plaquette à jeter)				Tour
		Prof. de passe a (mm)	Avance f (min/tr)	V. de coupe m/min durée d'outil 30 à 45 mn	Nuance ISO	Angle de coupe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm × mm)	Puissance (kW)
Recuit	< 40	0,2 à 1	0,1 à 0,2	280 à 270	P 20		0,2	12 × 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	270 à 180	P 30		0,8	16 × 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	180 à 130	P 40		1,6	25 × 25	20 à 35
Recuit	40 à 60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 250	P 10	14	0,2	12 × 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	250 à 160	P 20	14	0,8	16 × 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	160 à 120	P 30	14	1,6	25 × 25	20 à 30
Recuit	60 à 75	0,2 à 1	0,1 à 0,2	200 à 190	P 10	6	0,2	12 × 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	190 à 130	P 20	6	0,8	16 × 16	3 à 15
		4 à 8	0,4 à 0,8	130 à 90	P 30	12	1,6	25 × 25	15 à 30
Trempe revenu	75 à 90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	180 à 170	P 10	6	0,2	12 × 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	170 à 120	P 20	6	0,8	16 × 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	120 à 80	P 30	12	1,6	25 × 25	10 à 30
Trempe revenu	90 à 110	0,2 à 1	0,1 à 0,2	170 à 160	P 10	0	0,2	12 × 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	160 à 115	P 10	6	0,8	16 × 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	115 à 75	P 20	6	1,6	25 × 25	10 à 30
Trempe recuit	110 à 130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	160 à 150	P 01	0	0,2	12 × 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	150 à 100	P 10	6	0,8	16 × 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	100 à 65	P 20	6	1,6	25 × 25	10 à 20
Trempe revenu	130 à 145	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 105	P 01	0	0,2	12 × 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	105 à 75	P 10	0	0,8	16 × 16	2 à 8
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 50	P 20	6	1,6	25 × 25	8 à 20
Fontes	Dureté (HB)								
Ft 10-15	< 150	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 240	K10-M10	-7	0,4	12 × 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	240 à 190	K10-M10	-7	0,8	16 × 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	190 à 130	K20-M20	-7	1,6	25 × 25	10 à 30
Ft 20	160 à 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	190 à 180	K10-M10	-7	0,4	12 × 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	180 à 140	K10-M10	-7	0,8	16 × 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	140 à 100	K20-M20	-7	1,6	25 × 25	10 à 20
Ft 30	180 à 220	0,2 à 1	0,1 à 0,2	140 à 130	K10-M10	-7	0,4	12 × 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	130 à 110	K10-M10	-7	0,8	16 × 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	110 à 80	K20-M20	-7	1,6	25 × 25	10 à 20
Ft 35	220 à 260	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 100	K10-M10	-7	0,4	12 × 12	< 1
		1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 85	K10-M10	-7	0,8	16 × 16	1 à 7
		4 à 8	0,4 à 0,8	85 à 60	K20-M20	-7	1,6	25 × 25	7 à 15

Tableau III-5 :Chariotage avec outil en acier rapide des alliages légers et cuivreux. Durée d'outil 60 à 90 min [15]

Alliages légers	Dureté (HB)	Conditions de coupe			Outil	
		Prof. de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe m/min		
Légers sans silicium	15	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1 000 à 900	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	900 à 800		
	90	4 à 8	0,4 à 0,8	800 à 700		
Légers avec silicium (≤ 5 %)	90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	800 à 700		20 à 30°
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	700 à 650		
	160	4 à 8	0,4 à 0,8	650 à 600		
Légers avec silicium (≤ 13 %)		0,2 à 1	0,1 à 0,2	600 à 500		20 à 30°
		1 à 4	0,2 à 0,4	500 à 450		
		4 à 8	0,4 à 0,8	450 à 400		
Alliages cuivreux						
Bronzes Laitons Maillechorts	60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	130 à 110	6 à 15°	
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	110 à 80		
	100	4 à 8	0,4 à 0,6	80 à 70		
Cupro-aluminium Cupro-nickels	130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	120 à 100	6 à 15°	
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 75		
	200	4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 70		

III.3.1.3. Vitesse linéaire d'un point en rotation

Dans le cas du mouvement circulaire, la vitesse de coupe est une fonction de la vitesse de rotation 'N' et du diamètre 'D' de l'élément en rotation. Pour le tournage, il faut prendre le diamètre du cercle qui se trouve sur le point de l'arête de coupe le plus éloigné de l'axe de rotation.

$$V_c = \frac{\pi D N}{1000} \text{ [m/min]} \quad \text{Équation 1}$$

La vitesse de coupe est un paramètre fondamental pour la formation du copeau. Elle dépend de la configuration d'usinage, du procédé et du couple outil/matière. La définition de la vitesse de coupe est très importante car elle détermine la vitesse de rotation de la pièce.[14]

$$V_c = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \text{ [tr/min]} \quad \text{Équation 2}$$

Où D (mm) est le diamètre final de la pièce (Figure III-7).

Il convient d'observer que la vitesse de coupe n'est constante que si la vitesse de broche et le diamètre de la pièce demeurent inchangés. Or, pour une productivité maximale et une meilleure qualité des surfaces obtenues, il est souhaitable de maintenir la vitesse de coupe constante.[9]

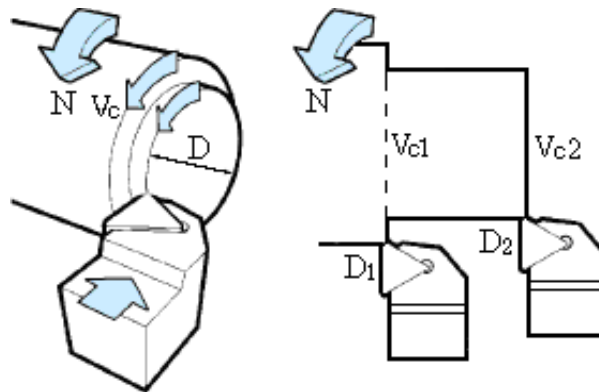


Figure III-7: Définition des trois variables ; vitesse de coupe v_c , diamètre D , vitesse de rotation N .

III.3.1.4. Cas du mouvement de coupe rectiligne

Le mouvement de coupe rectiligne est généralement alternatif, car il ne peut être continu. A chaque course de travail, la vitesse augmente depuis zéro jusqu'à la valeur maximale. Ce sont les longueurs d'échappée l de l'outil (Figure III-8) qui sont réservées à cette augmentation. On admet alors que la vitesse est constante pendant toute la course de travail C et qu'elle correspond à la vitesse moyenne. [10]

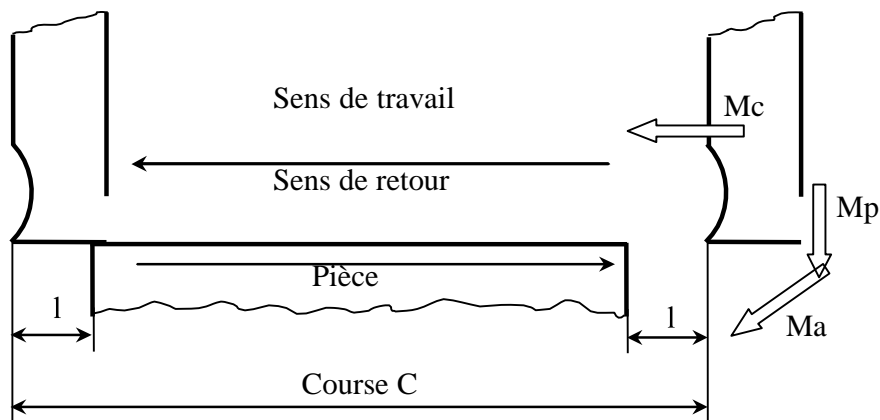


Figure III-8 : Procédé de Rabotage : V_c est la même en chaque point de l'arête coupante

En mouvement alternatif (rabotage par exemple), un battement comprend une course de travail (détachement du copeau) et une course de retour (à vide). On admet que la course travail et la course retour sont effectuées dans des temps égaux.

Le nombre de battements par minute est désigné par N [Bat/min] et la course C par [mm], la longueur de travail parcourue par l'outil sera :

$$e = C \times N \text{ [mm/mn]}$$

Équation 3

Vu que la course de travail est égale à la course retour et que les deux courses sont effectuées dans des temps égaux, d'où le temps $t = 1/2$. Ce qui nous donne une vitesse de coupe :

$$V_c = e / t = 2 \times C \times N \times 10^{-3} \quad \text{Équation 4}$$

III.3.2. La vitesse d'avance V_f (et avance par tour f)

La vitesse d'avance V_f , est une vitesse instantanée du mouvement d'avance du point considéré de l'arête de coupe par rapport à la pièce (Figure III-9). Elle est exprimée soit en mm/min soit en mm/tour.

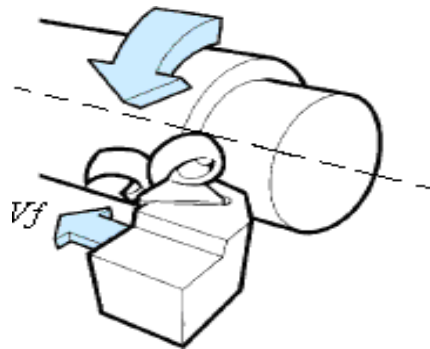
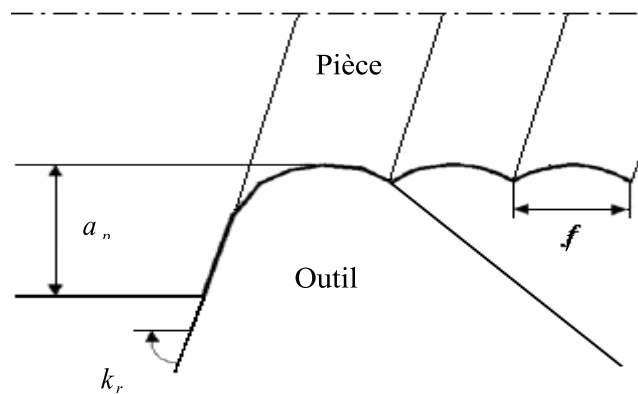


Figure III-9 : Vitesse d'avance v_f

L'avance (Figure III-10) notée f , correspond à la différence de déplacement de l'outil entre deux itérations ou deux révolutions (une révolution de la pièce dans le cas du tournage).[14]

Figure III-10 : L'avance f dans le cas de tournage



Si l'avance est discontinue, par exemple dans le cas du rabotage, la vitesse d'avance n'est pas définie [11] de manière spécifique. Cela signifie qu'il n'y a pas de valeur précise attribuée à la vitesse d'avance dans ce type d'opération. En revanche, dans le cas du tournage, la vitesse d'avance (v_f) est calculée en multipliant

L'avance (f) en millimètres par la vitesse de rotation (N) en tours par minute. [9]

Ainsi, pour le tournage, on peut exprimer la relation entre la vitesse d'avance (v_f), l'avance (f) et la

vitesse de rotation (N) par l'équation suivante : $v_f \text{ (mm/min)} = f \text{ (mm)} * N \text{ (tr/min)}$

On distingue trois sortes d'avance. [10]

1. **Avance longitudinale** : On appelle avance longitudinale si l'outil se déplace parallèlement à l'axe de l'ébauche.
2. **Avance transversale** : On appelle avance transversale si l'outil se déplace perpendiculairement à l'axe de l'ébauche.
3. **Avance oblique** : On appelle avance oblique si l'outil se déplace sous un angle par rapport à l'axe de l'ébauche. L'avance peut être désignée par :
 - Avance par tour "ftr"
 - Avance par battement "fbat"
 - Avance par dent "fz"
 - Avance par minute "fmin"

Elle s'exprime respectivement par :

- Millimètre par tour "mm/tr", lors du tournage, fraisage, perçage, ...etc.
- Millimètre par battement "mm/bat", lors du rabotage, mortaisage, ...etc.
- Millimètre par dent "mm/dent", lors du fraisage, brochage, ...etc.
- Millimètre par minute "mm/min", dans tous les cas d'usinage.

L'avance représente une donnée clé pour la qualité de la surface usinée, elle influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent.[9]

III.3.3. La profondeur de passe a_p .

La profondeur de passe (Figure III-11) notée a_p , correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage.

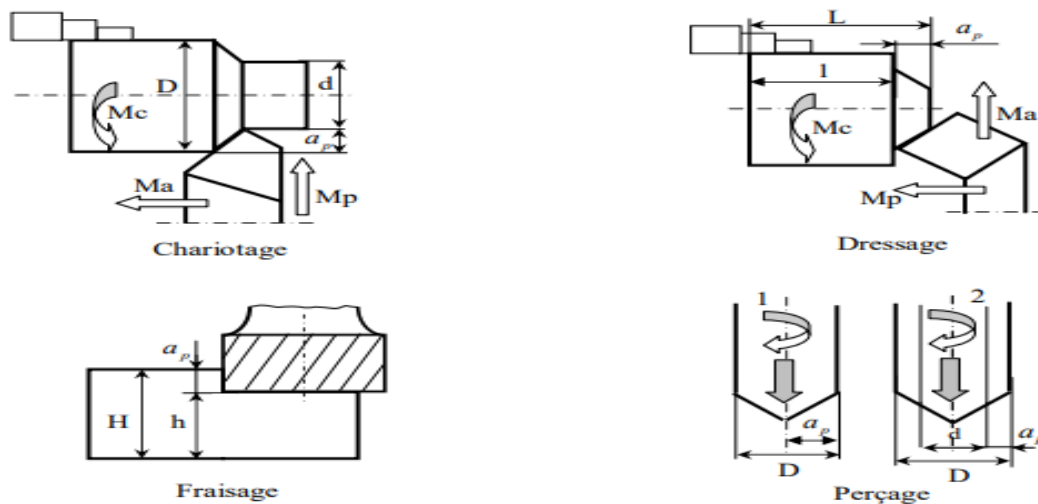


Figure III-11 : Représentation de la profondeur de passe a_p .

La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil.[9]

Il vaut mieux enlever les surépaisseurs d'usinage sans faire beaucoup de passes. Pourtant, quand on prend une profondeur de passe très grande, la précision d'usinage diminue à cause de la présence des efforts de coupe très élevés. Dans ces cas, des vibrations apparaissent et l'état de surface devient plus mauvais.

D'habitude, on choisit la profondeur de passe en dépendance des surépaisseurs d'usinage et de la rugosité superficielle demandée. Aussi le nombre de passe dépend de la rigidité des système "machine-outil – pièce – outil". Si ce système a une faible rigidité, ou si on usine des pièces ayant le diamètre assez petit et la longueur assez grande, on choisit dans ce cas une profondeur de passe faible.[10]

La profondeur de passe et l'avance vont influencer aussi la formation du copeau car elles modifient la section du copeau et donc l'énergie nécessaire au cisaillement de la matière.[14]

III.3.4. Les temps de fabrication [10].

- Temps manuels « T_m »** ; c'est la durée d'un travail physique ou mental dépendant uniquement de l'opérateur, il est exprimé en centième de minutes [Cmin].
- Temps technico-manuels « T_{tm} »** ; c'est la durée pendant laquelle le travail dépend des actions composantes et simultanées de l'opérateur et de la machine.
- Temps masqué « T_z »** ; c'est la durée d'un travail humain ou machine accompli pendant l'exécution d'un travail prédominant.
- Temps série « T_s »** ; c'est la durée des opérations nécessaires pour équiper le poste, ainsi que celles intervenant lors du montage de poste de travail.

- e. **Temps fréquentiel** « Tf » ; c'est la durée d'une action, ou d'un ensemble d'actions qui modifie périodiquement le déroulement du cycle.
- f. **Temps technologique** « Tt » ; c'est la durée pendant laquelle le travail effectué dépend uniquement des moyens matériels.

III.3.4.1. Définition de la ligne d'arête

La ligne d'arête permet de définir en partie la surface de contact entre l'outil et la pièce. Elle est découpée en une zone rectiligne et une zone curviligne (Figure III-12). Les dimensions de ces

zones dépendent des paramètres géométriques de l'outil tels que l'angle de direction d'arrêt k_r et le rayon du bec r_ϵ mais aussi des paramètres cinématiques de coupe tels que la profondeur de passe a_p et l'avance f . [14]

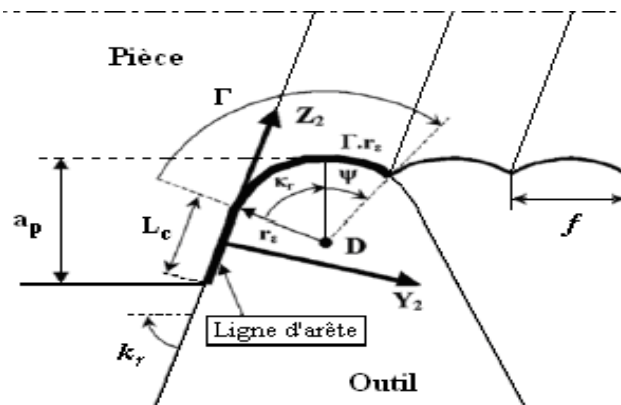


Figure III--12 : Description géométrique de contact

Ainsi, la longueur de contact de la partie rectiligne de l'arête L_c peut s'exprimer par [14]:

$$L_c = \frac{a_p + r_\epsilon (\cos(k_r) - 1)}{\sin(k_r)} \quad \text{Équation 5}$$

La longueur de la partie curviligne de l'arête en contact avec la matière dépend de l'angle de contact Γ :

$$\Gamma = k_r + Y \quad \text{Équation 6}$$

Où Y est l'angle complémentaire de contact sur la face de dépouille secondaire (Figure III-13) :

$$Y = \arccos \left(\frac{\sqrt{r_\epsilon^2 - \frac{f^2}{4}}}{r_\epsilon} \right) \quad \text{Équation 7}$$

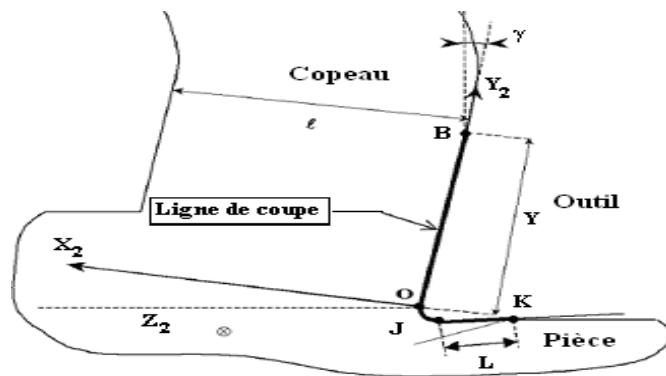
La longueur de contact totale L_{cT} s'exprime finalement sous la forme :

$$L_{cT} = L_c + r_\epsilon \Gamma \quad \text{Équation 8}$$

III.3.4.2. Définition de la ligne de coupe.

La ligne de coupe permet de compléter la définition de la surface de contact entre l'outil et la pièce. Elle est délimitée par trois zones : la zone BO (face de coupe), la zone OJ (acuité d'arête) et la zone JK (face de dépouille) (Figure III-13). Géométriquement, la ligne de coupe est définie par la longueur Y entre les points B et O, puis par la longueur L entre les points J et K. le raccordement entre ces deux droites est déterminé par le rayon d'acuité R.[15]

Figure III-13 : Description géométrique de la zone de la coupe



La longueur Y apparaît comme une inconnue du problème et sera évaluée à partir de considérations d'équilibre. La longueur de contact outil / pièce suivant la dépouille principale L est estimée à partir de la pression hydrostatique P_0 en O, du module de young E de la pièce, de la vitesse de coupe V_c de la vitesse d'avance V_f et du rayon d'acuité R

$$L = \frac{K_A P_0 (1 + V_f)(1 - R)}{E(1 + V_c)} \quad \text{Équation 9}$$

Où, K_A et V_f sont des paramètres correctif

III.4. Formation du copeau

La coupe (formation du copeau) est un processus physique complexe qui s'accompagne de déformations plastiques et élastiques ; elle donne lieu à un frottement important (outil-pièce), au dégagement de chaleur, à la formation d'une arête rapportée (copeau adhérent sur le bec de l'outil), à l'enroulement et au retrait du copeau, au durcissement de la pièce (surface usinée écrouie) et à l'usure de l'outil (détérioration de la partie active de l'outil). [14]

La formation du copeau joue un rôle important sur la rugosité de la surface usinée. Les formes du copeau varient suivant les conditions d'usinage.

L'usinage des métaux plastiques (aciers) donne lieu à trois types de copeaux : continu, cisailé et discontinu.

On obtient aussi le copeau fragmenté produit par l'usinage de métaux peu plastiques (fontes, bronzes,...). [14]

- **Le copeau continu** : Il apparaît lorsque l'acier est usiné à une grande vitesse. Il s'écoule alors en forme d'une bande longue.

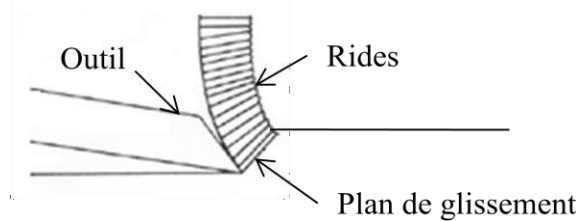


Figure III-14 : Copeau continu

- **Le copeau cisailé** : Il s'obtient lorsque l'usinage de l'acier se fait à vitesse moyenne. La face du copeau en regard de l'outil est lisse, alors que sa face opposée porte des entailles qui définissent la direction bien marquée des éléments isolés fortement liés les uns aux autres.

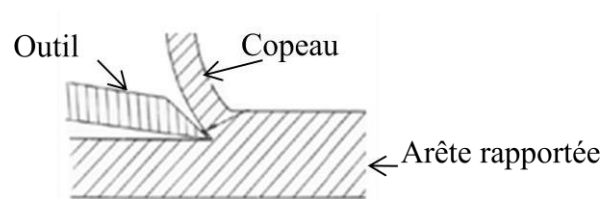


Figure III-15 : Copeau cisailé

- **Le copeau discontinu** : Il s'obtient lors de l'usinage des métaux durs et peu ductiles, à faible vitesse de coupe. Il est composé d'éléments séparés, déformés plastiquement, peu liés ou pas liés du tout entre eux. [14]

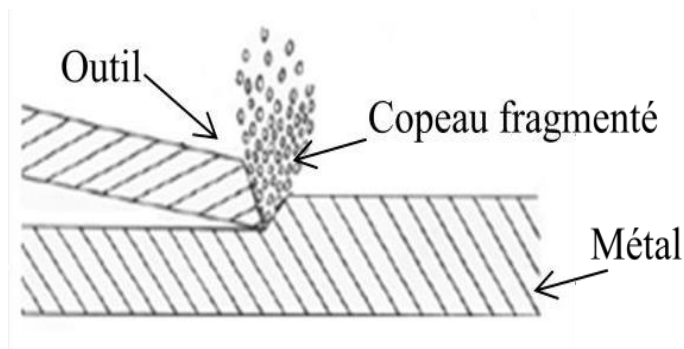
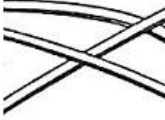






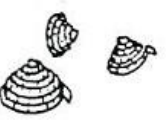
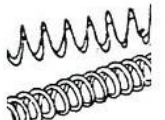







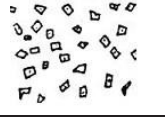



Figure III-16 : Copeau discontinu

Tableau III-6 : Les différents types de copeaux

Types de copeaux	Formes		
1 : Copeau ruban	11 : Long 	12 : Court 	13 : Enchevêtré 
2 : Copeau tubulaire	21 : Long 	22 : Court 	23 : Enchevêtré 
3 : Copeau spirale	31 : Plat 	32 : Conique 	
4 : Copeau hélicoïdal en rondelle	41 : Long 	42 : Court 	43 : Enchevêtré 
5 : Copeau hélicoïdal conique	51 : Long 	52 : Court 	53 : Enchevêtré 
6 : Copeau élémentaire	61 : Enchevêtré 	62 : Détaché 	
7 : Copeau aiguille			
8 : Copeau en arc			

III.5. Efforts et puissance de coupe

En usinage par la coupe, la formation du copeau ne peut avoir lieu sans une force requise et par conséquent, une puissance de coupe P_c requise à la broche. Cette dernière est assurée par le moteur électrique de la machine-outil d'une puissance P_m légèrement supérieure compte tenu du rendement mécanique η induit par les pertes par frottement des mécanismes de transmission de mouvements. [36]

La connaissance des efforts de coupe F_c et de la Puissance de coupe P_c s'avère très utile car elle permet :

- Le dimensionnement des montages d'usinage
- Le contrôle du serrage de la pièce et de l'outil
- Le choix de la machine-outil par rapport au critère de puissance P_m
- Le contrôle et la régulation des paramètres de coupe pour une meilleure adaptation du régime de coupe.
 - Dans le cas où la possibilité de choix de la puissance de la machine il faut calculer P_c et prendre celle dont $P_m \geq P_c/\eta$.
 - Dans le cas où la possibilité de choix de la MO n'est pas offerte, il y a lieu de modifier les paramètres de coupe afin d'aboutir à la relation $P_c \leq P_m \cdot \eta$

III.5.1. Les composantes de l'effort de coupe

Dans l'exemple d'une opération de chariotage sur tour, l'effort de coupe peut être décomposé suivant les trois directions principales Ce qui donne :

- F_t : Effort tangentiel en direction du mouvement de coupe
- F_a : Effort axial en direction du mouvement d'avance
- F_r : Effort radial en direction du mouvement de pénétration

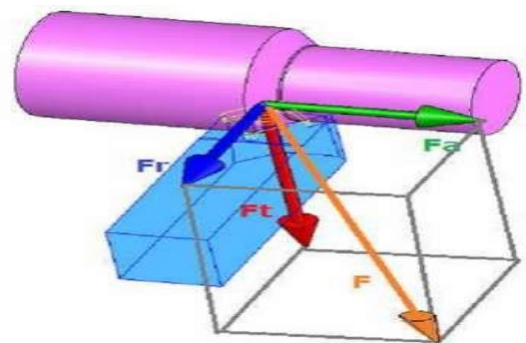


Figure III-17 : Les composantes de l'effort de coupe.

Effort radial en direction du mouvement de pénétration

La répartition est variable selon le genre d'outil et sa configuration géométrique. Approximativement, elle est estimée à :

- $F_a = (0,3-0,6) \cdot F_t$
- $F_r = (0,1-0,4) \cdot F_t$

$$F = \sqrt{(0,45 \cdot F_t)^2 + (0,25 \cdot F_t)^2 + (F_t)^2}$$

La résultante serait alors

Par rapport à la valeur, on assimile doc F à F_t

$$: F = 1.2 * F_t \approx F_t$$

III.5.2. Paramètres d'influence

Les paramètres d'influence sur les efforts de coupe sont très nombreux mais les plus importants sont :

- le procédé de coupe (tournage, fraisage, perçage,...)
- la nature du métal à usiner (caractérisé par R_t ou K_s)
- l'avance f (mm/tr.dent) ou l'épaisseur du copeau h_m
- la profondeur de passe a (mm)
- le type d'outil défini par l'angle d'attaque K_r
- l'angle de coupe γ

D'autres paramètres sont susceptibles d'influence plus ou moins nuancée (lubrification, état de l'outil.)

Malgré l'influence de la vitesse de coupe sur l'effort, elle n'est prise en compte que dans le calcul de la puissance du fait que l'on ne dispose pas d'un grand choix (page réduite). Néanmoins il faut éviter le domaine de l'apparition de l'arête rapportée . [36]

III.6. Système pièce/outil de coupe/machine-outil

Lors de l'usinage, la machine-outil est nécessaire. Celle-ci est un ensemble complexe mettant en œuvre :

- Un ou plusieurs procédés,
- Des éléments de sa partie fixe comme le bâti et la glissière,
- Des éléments de sa partie mobile comme la broche et les arbres tournants dans les paliers.

La machine-outil, étant un véritable système, doit être étudiée comme tel et a un comportement dynamique dont ne saurait rendre compte l'étude séparée de chacun de ses éléments.

Tous les éléments constituant cette machine-outil, qu'ils soient actifs ou passifs, interagissent..

III.6.1. Description du système pièce/outil de coupe/machine-outil:

Plusieurs auteurs se sont intéressés sur la description de ce système pièce/outil de coupe/machine-outil (POM) et plusieurs recherches ont été faites. L'ensemble s'est accordé à ce que la machine-outil possède une partie indépendante et une partie dépendante de l'opération d'usinage. [29]

Aussi, tous les travaux peuvent être classés en 2 types :

- Descriptives,
- Applications expérimentales.

III.6.2. Éléments indépendants de l'opération d'usinage :

On peut citer les éléments suivants :

- Bâti,
- Ensemble chariot-glissière,
- Broche,
- Commande d'avance,
- Commande de puissance,
- Directeur de commande.

Bâti : Son rôle est multiple. D'une part, il sert d'intermédiaire entre le sol et les éléments actifs de la machine, et d'autre part, il réalise la liaison entre la pièce à usiner et les outils de coupe. [39]

Ensemble chariot-glissière : Il confère au chariot un seul degré de liberté correspondant à une translation. Il est communément convenu que la liaison idéale chariot-glissière doit être sans jeu et ne fait intervenir qu'un frottement de type hydrodynamique.

Broche : C'est un corps tournant qui possède un seul degré de liberté par rapport à la structure de la machine. La machine comporte les paliers qui retirent à la broche cinq degrés de liberté. Ces paliers ont une grande importance pour la qualité de la machine. Ils doivent être rigides et ne doivent présenter que de très faibles jeux, afin d'éviter des mouvements relatifs non souhaités entre la broche et le bâti (donc entre la broche et la pièce).

Commande d'avance : Elle comporte en général un moteur et une transmission mécanique de mouvement entre un élément de structure (fixe ou mobile) et le chariot. C'est donc la commande d'avance qui retire au chariot son sixième degré de liberté.

Commande de puissance : Elle pose des problèmes qui ont pour origine la liaison entre le moteur et la broche. Essentiellement deux techniques sont utilisées. La courroie qui paraît être arrivée au bout de son potentiel tant en vitesse qu'en puissance transmise et la transmission directe qui présente des problèmes sérieux dus à l'encombrement qu'elle impose à la broche ou à l'ensemble moteur-broche quand ils sont montés en ligne. [29]

Directeur de commande : Il a pour rôle d'animation de l'ensemble de la machine. En particulier, c'est lui qui assure le déplacement relatif de l'outil par rapport à la pièce selon la trajectoire prévue. Il est responsable aussi du maintien des conditions de coupe à leurs valeurs programmées.

III.6.3. Éléments dépendants de l'opération d'usinage

On peut citer les éléments suivants :

- pièce,
- outil de coupe,
- porte-outils de coupe,
- porte-pièces.

Pièce : Elle est considérée comme une partie intégrante du système d'usinage car en effet, il ne sert à rien d'avoir une machine de très grande rigidité et de très haute qualité si la pièce à usiner se déforme sous l'effet des efforts de coupe ou de bridage.

Les pièces peuvent être considérées en 3 catégories :

- Pièces massives,
- Pièces flexibles,
- Autres.

➤ **Outil de coupe** : Il peut être unique ou multiple. Il constitue une partie essentielle dans l'étude du comportement statique et dynamique d'une machine-outil.

Les outils de coupe sont repartis en trois catégories :

- Indéformables,
- Souples,
- Intermédiaires.

➤ **Porte-outil de coupe** : Il assure la liaison entre l'outil de coupe et la machine-outil. La notion de l'interface confère aux porte-outils des caractéristiques particulières de raideur et d'amortissement qui sont très dépendantes de la qualité et de l'état d'usure de l'interface.

➤ **Porte-pièces** : Il assure le maintien en position de la pièce par rapport à l'élément auquel elle est rattachée. Les actions qu'ils exercent sur la pièce contribuent à la fois à la déformer et à la renforcer. Sur le plan dynamique, la prise en compte globale de l'ensemble est nécessaire sauf dans le cas des pièces particulièrement déformables ne pouvant pas être soutenues. [29]

CONCLUSION

La coupe de métaux est un processus important dans de nombreux domaines industriels, tels que la construction, la fabrication automobile et l'aérospatiale. Les angles de coupe jouent un rôle crucial dans le processus de coupe des métaux, car ils déterminent la qualité de la coupe, la durée de vie de l'outil de coupe et la résistance à l'usure de l'outil.

L'angle de coupe est l'angle formé entre le bord de coupe et la surface de la pièce à usiner. Il existe plusieurs types d'angles de coupe, tels que l'angle de dépouille, l'angle de relief et l'angle de coupe. L'angle de dépouille est l'angle formé entre la surface de la pièce et la face latérale de l'outil de coupe. L'angle de relief est l'angle formé entre la surface de la pièce et la face arrière de l'outil de coupe. L'angle de coupe est l'angle formé entre la face d'attaque de l'outil de coupe et la surface de la pièce.

Le choix de l'angle de coupe dépend du matériau de la pièce à usiner, de la géométrie de l'outil de coupe et de la méthode de coupe utilisée. Les angles de coupe corrects peuvent améliorer l'efficacité de la coupe, réduire la force de coupe et prolonger la durée de vie de l'outil de coupe. En revanche, des angles de coupe incorrects peuvent entraîner une mauvaise qualité de coupe, une durée de vie réduite de l'outil de coupe et une augmentation de la force de coupe.

En conclusion, les angles de coupe jouent un rôle important dans le processus de coupe des métaux. Le choix des angles de coupe appropriés est essentiel pour obtenir une bonne qualité de coupe, prolonger la durée de vie de l'outil de coupe et réduire la force de coupe.

Chapitre IV

Etude de l'état

des surfaces

IV.1. Notions

Plusieurs travaux ont été réalisés pour essayer de relever les facteurs qui influent sur l'état de surface, sur le comportement tribologique des pièces dans un mécanisme . Il a été montré qu'il existe une relation étroite entre les procédés de fabrication des pièces mécaniques et la qualité des surfaces en service. Ces dernières années ont vu une grande évolution des techniques de finition des surfaces des pièces , mais le premier souci du fabricant c'est d'obtenir des pièces de qualité qui répondent aux exigences techniques et fonctionnelles tout en minimisant le coût de fabrication.

Cette étude permet de montrer l'importance du procédé de finition des surfaces, et son impact sur la qualité. Trois surfaces ont été finies par les procédés suivants :

Le tournage très utilisé, connu pour sa grande productivité, disponibilité de l'outillage, et qui est relativement économique.

La rectification ayant pour avantage l'amélioration de la qualité de surfaces, mais qui reste toujours un moyen de finition très coûteux. Le procédé de traitement mécanique superficiel en l'occurrence le brunissage (galetage à la bille), qui est une technique de finition par déformation plastique superficielle, caractérisée par sa grande productivité et son coût réduit. Il connaît plusieurs avantages tels que: l'amélioration de l'état de surface et les caractéristiques mécaniques superficielle.

La structure superficielle lors de l'usinage de métaux par enlèvement de copeaux est Déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la face usinée. Elle

Varie essentiellement selon le routage d'usinage, les conditions de coupe, et la Matière en œuvre. et la rigidité d'un système d'usinage. [1]

IV.2. Facteurs intervenant sur l'état de surface

En mécanique, l'état de surface est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées [16] [17], Parmi les divers facteurs qui affectent l'état de surface d'une pièce mécanique, les facteurs dominants sont la géométrie de l'outil de coupe, l'avance, et les vibrations relatives entre l'outil et la pièce [18] [17]. À l'aide de la méthode Ichikawa, la Figure IV-1 montre les différents facteurs qui peuvent influencer sur l'obtention de l'état de surface désirée dans le cas d'usinage.

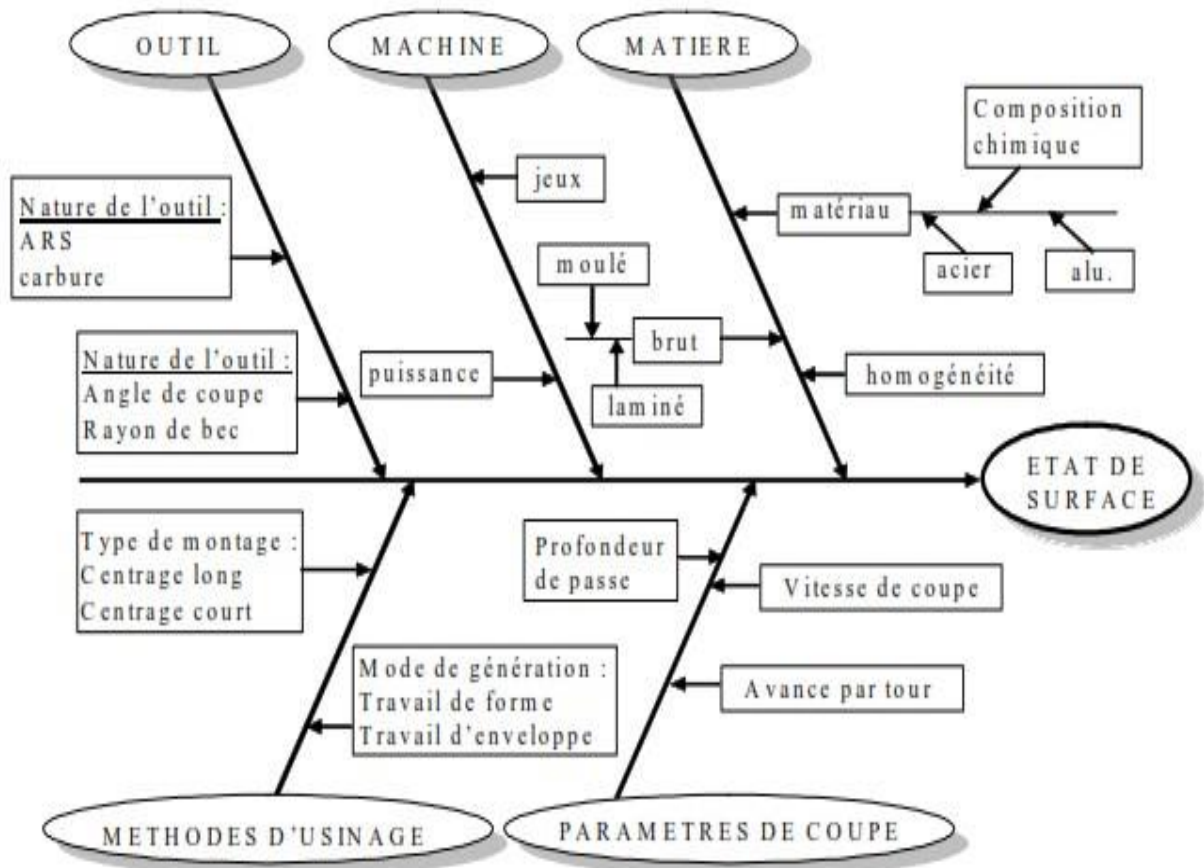


Figure IV-1 Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface

IV.3. Principaux défauts de surface

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions notamment des caractéristiques de ses états de surface. En général les défauts de surface jouent un rôle important pour une pièce à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. On ne s'intéresse ici qu'aux défauts géométriques, qui sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (Figure IV-2) [19] [17]

- Défauts du premier ordre : Ce sont des défauts de forme (écart de rectitude, écarts de circularité), défaut apériodique.
- Défauts du deuxième ordre : Ils sont caractérisés par une ligne ondulée à un caractère périodique du essentiellement à des vibrations de basses fréquence de la pièce et de l'outil générateur.
- Défauts du troisième et quatrième ordre : Ils caractérisent la rugosité de la surface, les défauts du 3ème ordre sont constitués par des stries ou sillons, ce type de défaut à un caractère périodique ou pseudo périodique. Par contre les défauts du quatrième ordre sont constitués par des arrachements, fente, piqûre, etc. Ce type de défaut a un caractère

apériodique. [25]

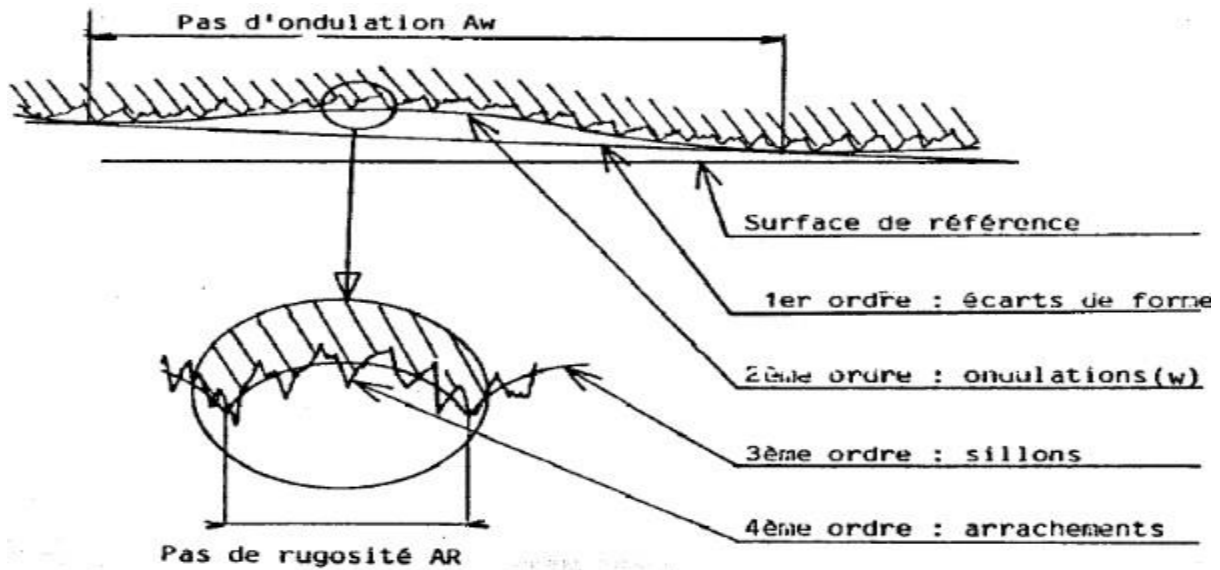


Figure IV-2 : Principaux défauts de surface (19)

IV.3.1. Rugosité

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique. Si les surfaces usinées ne sont pas parfaites, c'est parce qu'elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, etc.

Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.).

Plus l'indice de rugosité est faible, plus l'état de surface est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [33]

IV.3.2. Les spécifications normalisées

Sur les dessins de définition, les états de surface peuvent faire l'objet de spécification.

Un symbole graphique est utilisé :

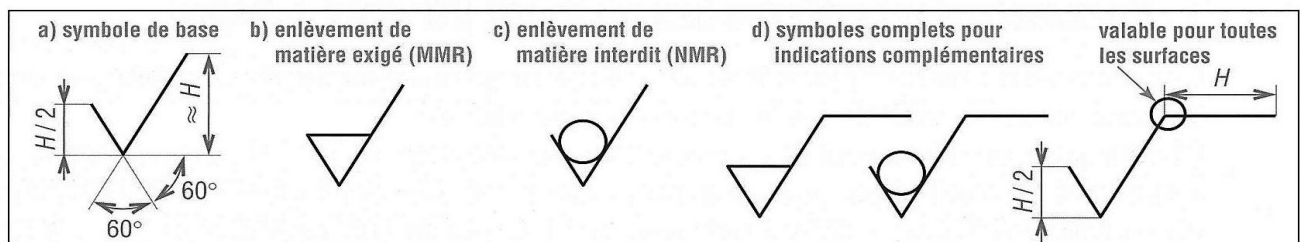


Figure IV-3 : symboles graphiques de l'état de surface [19]

Ce symbole est complété d'indications relatives au paramètre de rugosité retenu, au procédé de fabrication éventuellement,...

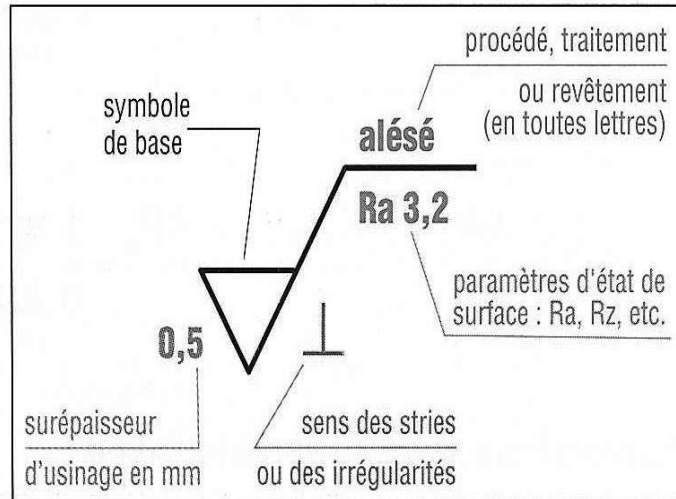


Figure IV-4 : Exemple de symbolisation

IV.4. Mesure de la rugosité

Le développement des instruments de mesure de surfaces a commencé dès 1919, par un dispositif mécanique simple, attribuer à Schmalz c'est le premier instrument destiné à l'usage d'engineering. C'est Berndt qui en 1924 eu l'idée de l'utilisation des méthodes optiques pour la mesure de surface, suivit plus tard (en 1928) par Andrews. La mesure de surface a toujours été un grand souci dans tous les pays du monde. Dès 1930 en URSS Limnik a élaboré de nouvelles méthodes spécifiques basés sur l'interférométrie pour mesurer l'état de surface. Le premier appel à la normalisation des surfaces à été lancé aux Etats-Unis par Harrison en 1930. Cet appel à inciter Abatt en 1933 à développer un instrument de mesure de surface qui a pour principe la technique dites de palpage, malgré la lenteur de son développement qui a duré plusieurs années et l'hésitation de son emploi au début de sa conception, aujourd'hui cette technique est utilisée couramment. Plus tard en 1935 l'analyseur de surface conçu par la Cie de développement de brosse de Cleveland a eu plus de succès que l'instrument d'Abbat parce qu'il avait un enregistreur de diagrammes. En 1934 en Allemagne KARL ZEISS a conçu plusieurs instruments optiques de mesure de surface. En Angleterre en 1939 Schlesinger a étudié les problèmes liés à la spécification des surfaces convenables, ses travaux ont été édités en 1940 et publier dans des articles en 1942. L'instrument de mesure des surfaces le plus réussi a été l'autocollimateur pour la mesure de la planéité plutôt que de la rugosité [20]

IV.4.1 Appareils à palpeur

Dans l'industrie le moyen le plus utilisé est l'appareil de mesure d'état de surface à palpeur, avec contact de ce dernier sur la surface à caractériser (profilomètre mécanique 2D). Suivant son degré de perfectionnement, ce type d'équipement permet la mesure de tous ou parties des paramètres d'états de surface. En effet, l'évaluation des paramètres de profil primaire et d'ondulation nécessite une référence de guidage externe. représente, de façon schématique, un appareil à palpeur dont les différents composants sont définis ci-après : [20]

Chaîne de mesure : chaîne fermée qui comprend tous les éléments mécaniques reliant la pièce à mesurer et la **pointe du palpeur**.

Référence de guidage : composant de l'appareil qui génère le plan d'intersection et guide le capteur dans ce plan selon une trajectoire théoriquement exacte (profil de référence), qui est généralement une ligne droite

Unité d'avance : composant de l'appareil qui déplace le capteur le long de la référence de guidage, ce dernier transmettant la position horizontale de la pointe du palpeur sous forme de coordonnée horizontale du profil

Capteur : composant de l'appareil qui contient l'élément de palpation, avec la pointe du palpeur, et le transducteur

Élément de palpation : élément qui transmet le déplacement de la pointe du palpeur au transducteur ;

Pointe du palpeur : élément constitué d'un cône nominalelement circulaire ayant un angle défini et d'une extrémité nominalelement sphérique avec un rayon défini ;

Transducteur : dispositif qui convertit les coordonnées verticales du profil tracé par rapport au profil de référence en un signal utilisé dans l'appareil ;

Amplificateur : dispositif qui effectue une transformation du signal dans l'appareil sans provoquer de modification intentionnelle du profil

Convertisseur analogique-numérique (ADC) : dispositif qui convertit le signal de l'appareil en valeurs numériques. [20]

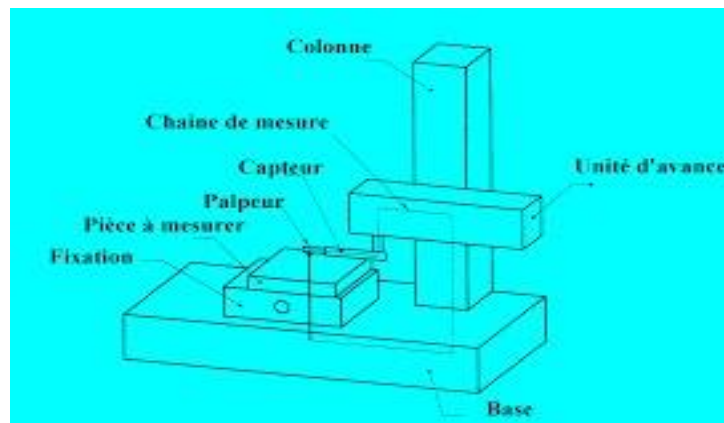


Figure IV-5 : présentations schématiques d'un appareil à palpeur

IV.4.2 Principe de mesure

Un convertisseur inductif différentiel (transducteur) transforme en une tension proportionnelle la composante verticale des mouvements d'un palpeur qui se déplace sur la surface rugueuse. Le profil de la surface analysée est enregistré. Le capteur est associé à un ensemble électronique qui effectue l'amplification, l'échantillonnage, l'acquisition et la conversion du signal, il est alors transmis vers un micro-ordinateur, qui calcule les paramètres de rugosité. Cet instrument a fait l'objet de nombreuses publications qui décrivent des possibilités d'amélioration de ses performances. La sensibilité peut être abaissée à quelques centièmes de nanomètre et le bruit instrumental à 0.03 nm. Le stylet (pointe de palpeur) peut avoir diverses formes et en particulier, celle d'un cône dont la pointe a un rayon de 0.5 μm . la force d'appui bien réglée, peut être inférieure à 10 μN

La résolution spatiale dépend de la pente des défauts et de la géométrie du stylet ; elle a une limite théorique de 0.1 μm . la fidélité de mesure (écart entre deux mesures consécutives sur la même zone d'un échantillon) est de l'ordre de quelques centièmes de nanomètre sur la valeur rms de la rugosité. [20]

IV.4.3 Le rugosimètre

Le rugosimètre est un instrument de mesure avec contact. Son palpeur parcourt la surface à mesure afin d'en extraire différentes mesures concernant les paramètres de rugosité et d'ondulation dans certains cas.

Les rugosimètres sont des instruments maniables à faible investissement, ce qui en fait l'un des appareils les plus accessibles pour inspecter les surfaces de vos produits. Il existe toutefois différents types de rugosimètre. [20]

IV.4.3.1 Le rugosimètre avec patin

C'est l'entrée de gamme. Le palpeur de cet appareil est guidé par un patin, de cette manière, il ne permet de mesurer qu'une surface plane. Avec un patin, le palpeur ne peut mesurer que les paramètres de rugosité. Le patin permet de guider le palpeur, mais sa présence peut affecter l'exactitude de la mesure sur certains type de surface. Toutefois, le patin rend l'appareil robuste et facile à transporter. [20]

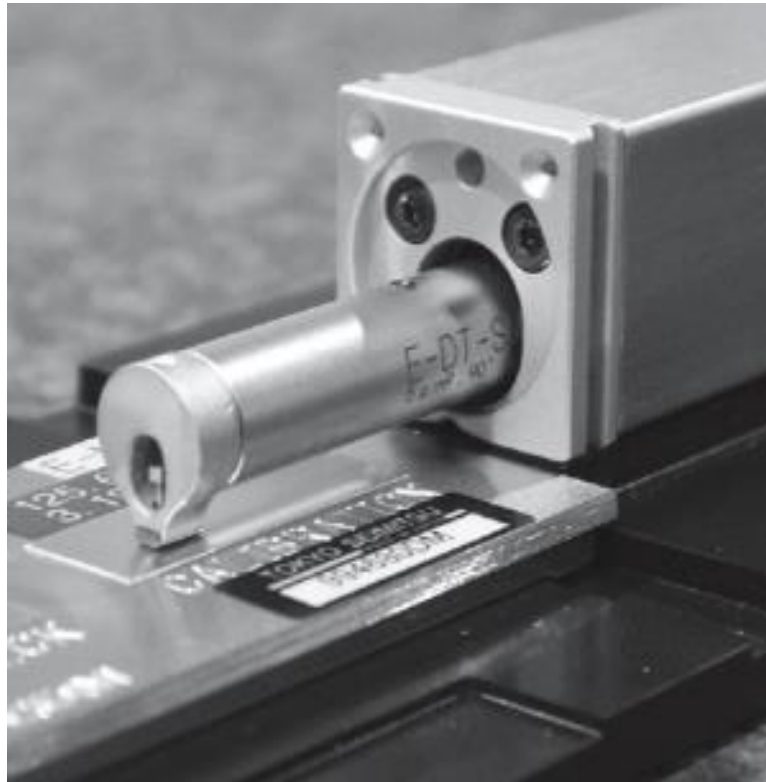


Figure IV-6 : Rugosimètre avec patin

IV.4.3.2 Le rugosimètre sans patin

À l'inverse, les rugosimètres avec palpeur sans patin utilisent un guide interne de l'appareil pour contrôler le palpeur. Ce guide interne est capable d'effectuer de gérer des surfaces plus complexes.

Les rugosimètres sans patin sont souvent un choix préférable puisque le guide interne permet au palpeur d'obtenir de bien meilleurs résultats C'est également un excellent choix pour effectuer des mesures sur des empreintes Plastiform



Figure IV-7 : Rugosimètre avec patin

IV.4.3.3 Mesure tridimensionnelle

La caractérisation de l'état d'une surface ne peut se limiter à l'analyse d'une trajectoire. L'objectif recherché est la caractérisation et l'analyse de l'intégralité d'une surface ou d'une portion de surface est pour connaître son relief, sa texture et ses défauts de surface. Les avancées technologiques repoussent toujours la connaissance et la mesure des états de surface. Ces dernières années ont vues un grand développement d'équipements destinés à la quantification de la topographie de surface, grâce à l'évolution

- des appareils de mesure à contact (ajout d'un troisième axe de mesure).
- de la microscopie à haute résolution.
- du traitement de l'information et du traitement d'image.

La mesure tridimensionnelle des états de surface dépasse le cadre du contrôle qualité des surfaces sur des produits industriels. L'image tridimensionnelle permet d'augmenter les possibilités d'analyse de la texture des surfaces. Elle est destinée davantage à la recherche et à l'expertise et permet ainsi d'optimiser la fonction pour laquelle est destinée une surface, frottement, adhérence, étanchéité, lubrification, écoulement, etc. Les problèmes rencontrés dans la mesure du profil de surface sont négligeables par rapport à ceux rencontrés dans la mesure tridimensionnelle qui sont communs à tous les instruments et sont comme suit :

- A. Maintenir des données de la hauteur précise entre les trajectoires.
- B. Adopter un model numérique approprié.
- C. Adopter un model d'échantillonnage qui permet a assez de zones d'être suffisamment couvertes avec un temps et un prix raisonnable.
- D. Maintenir une résolution suffisante pour détecter les défauts et autres caractéristiques non-standards [4]



Figure IV-8 : Appareil de mesure tridimensionnelle

IV.4.3.4 Profilomètre laser

Ces méthodes sont très proches de la méthode par contact, à savoir qu'elles nécessitent l'exploration de la surface au moyen d'une série de trajectoires parallèles régulièrement espacées par déplacement de l'échantillon ou de la source. Les coordonnées Z sont acquises à l'aide d'un capteur optique à source laser. La méthode peut être coaxiale ou basée sur le principe de la triangulation suivant que le faisceau émis et le faisceau réfléchi suivent le même trajet ou une trajectoire différente. La figure IV.3 illustre le principe d'un profilomètre laser. La méthode coaxiale nécessite un système de déplacement vertical permettant l'asservissement du point de focalisation du faisceau laser sur la surface. L'exploitation des données, calcul des paramètres et visualisation de la surface, se fait avec les mêmes outils que ceux utilisés par la méthode avec contact . [19]



Figure IV-9 : Profilomètre laser

IV.4.3.5 Méthodes de mesure interférométrique

L'interférométrie est habituellement utilisée pour la mesure d'une longueur donnée par comparaison de deux chemins optiques. La figure IV.4 montre d'une façon simplifiée ce principe[20]

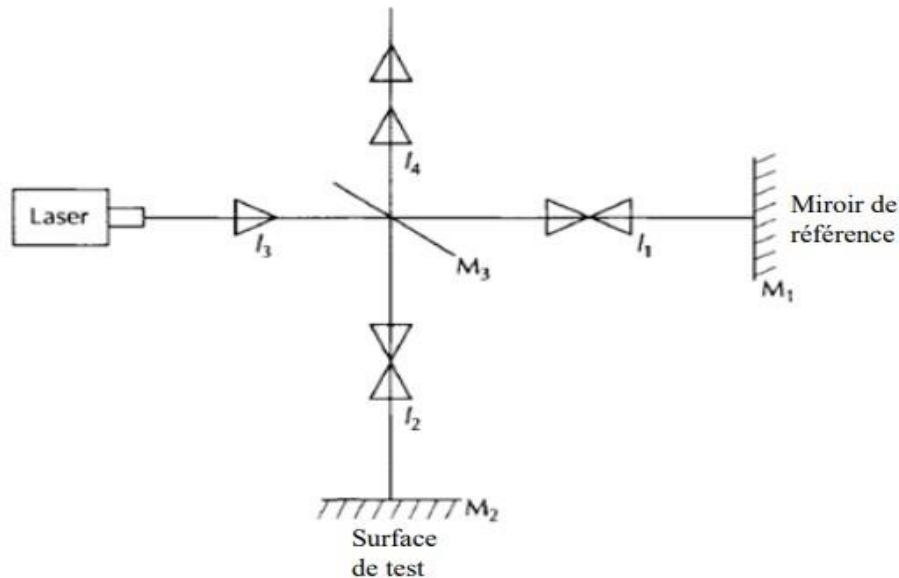


Figure IV-10 : Principe de mesure interférométrique

La lumière d'une source est divisée à l'aide d'un miroir séparateur, une partie du faisceau est dirigé sur la pièce, l'autre sur un miroir de référence. Après réflexion, les deux faisceaux sont de nouveau superposés au niveau du miroir séparateur. Le chemin de référence est $I_3 + I_1 + I_4$ tandis que le chemin d'essai (à mesurer) a une longueur $I_3 + I_2 + I_4$, la comparaison doit se faire entre I_1 et I_2 et leur combinaison dépend de leurs différences de phase parfois en les additionnant et parfois en les soustrayant sous une lumière cohérente. Si le miroir M_1 est fixe, la longueur I_2 peut être déterminée en comptant le nombre de maxima vue par l'œil, chaque maxima correspond à une différence de marche de $\lambda/2$ entre I_1 et I_2 , le balayage des deux miroirs M_1 et M_2 est normal. [20]

IV.4.3.6 Méthode de Tolansky

Tolansky a placé un bloc de verre plat dont il a recouvert la face inférieure d'une couche uniforme d'argent qui est le miroir de référence M_1 sur une surface de test M_2 qui peut être considéré comme une succession de miroirs sur toute sa longueur (voit Fig. 2.5 (a) et Fig. 2.5 (b)) Supposons que le miroir à tester a autant de miroirs de références situé juste au dessus, chaque pair de miroir correspond à la mesure interférométrique qu'on a vue précédemment (Fig. 2.4). Cette configuration produit des maxima d'intensité ou la différence de chemin optique entre le

bloc de verre et la surface est en phase produisant une ligne de contour dans le plan XY. En outre, il peut y avoir des réflexions multiples entre chaque surface M1 et M2, cela renforce le signal et réduit le niveau de bruits. La figure IV.5 (c) montre une vue schématique et la figure IV.5 (d) montre la manière de produire les franges ressemblant au profil. Cette méthode ne fonctionne qu'avec les surfaces relativement rugueuse et qui reflète assez bien la lumière. Pour chaque forme d'onde moyenne six à huit miroirs peuvent être pris en considération. L'inconvénient de cette méthode est que la surface d'essai doit avoir la même forme que la surface de référence si non il va y avoir la formation de beaucoup de franges. [20]

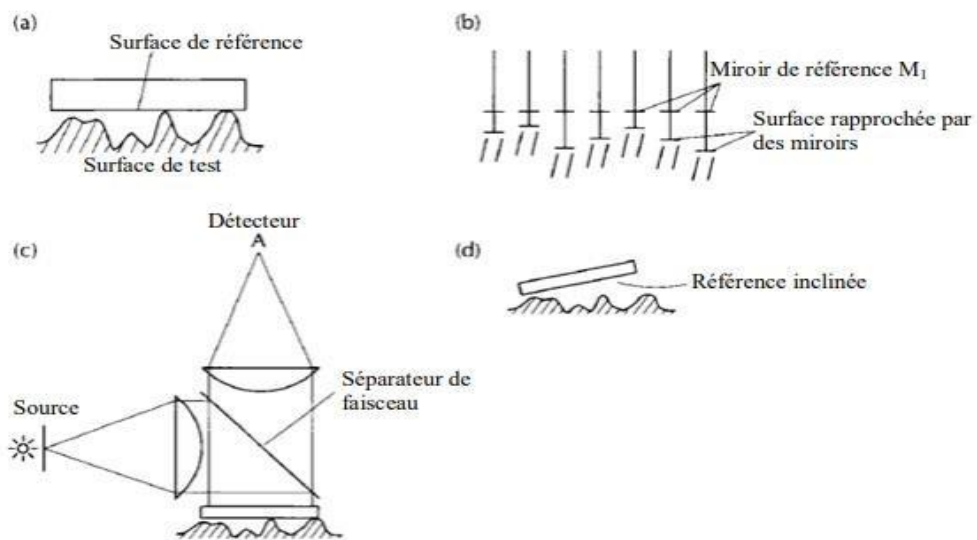


Figure IV-11 : Méthodes de Tolansky

IV.4.4 Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique (palpage)

Le fait que les méthodes optiques sont strictement fondées sur des lois d'optiques peuvent être un avantage comme elles peuvent être un inconvénient, par exemple si la résolution est fixée alors l'angle opposé à la lentille ne peut pas être changé par conséquent aucun de ces trois éléments : angle, la résolution, et le point focale ne peut être changé sans affecté les autres. Avec la méthode de palpement il est possible d'orienter l'angle du palpeur et de changer la dimension de la pointe du palpeur sans affecté l'un vis à vis de l'autre. Le tableau 2.1 montre une comparaison simple des propriétés des deux méthodes de mesure (optique et mécanique) Chaque avantage est indiqué dans la colonne approprié. [20]

CONCLUSION

L'usinage des métaux a été dressé. Enfin, des méthodes de mesure de la rugosité de surface ont été présentées, notamment la méthode du profil mètre et la méthode du microscope à force atomique.

Il ressort de cette étude que la rugosité de surface joue un rôle important dans l'usinage des métaux, car elle affecte la qualité de la surface obtenue, la durée de vie des outils, ainsi que les performances des pièces fabriquées. Il est donc essentiel de maîtriser les techniques de mesure de la rugosité de surface afin de pouvoir optimiser les procédés d'usinage et obtenir des résultats de qualité.

En outre, les mécanismes d'usure des outils ont été abordés, et il a été démontré que ces mécanismes dépendent des conditions de coupe, de la nature des matériaux usinés, ainsi que de la qualité de la surface obtenue. Par conséquent, il est important de comprendre ces mécanismes afin de pouvoir choisir les outils les plus adaptés aux conditions d'usinage.

En conclusion, la maîtrise de la rugosité de surface et des mécanismes d'usure des outils est essentielle pour optimiser les procédés d'usinage et garantir la qualité des pièces fabriquées. Les techniques de mesure de la rugosité de surface et la connaissance des différents mécanismes d'usure des outils sont des éléments clés pour atteindre cet objectif.

En somme, il est important de comprendre que la rugosité de surface est une caractéristique essentielle pour la performance des pièces mécaniques. Les critères de rugosité tels que la rugosité moyenne, le taux de rugosité et la forme de la surface sont des paramètres clés qui doivent être pris en compte lors de la conception et de la fabrication des pièces.

De plus, il est important de comprendre les différents mécanismes d'usure des outils qui se produisent lors des opérations de coupe, car cela peut affecter la qualité des pièces et la durée de vie des outils. Les différents modes d'usure, tels que l'usure adhésive, l'usure abrasive et l'usure de fissuration, doivent être pris en compte pour optimiser les opérations de coupe et améliorer la productivité.

Enfin, la compréhension des différents modes d'usure pour différents matériaux est cruciale pour choisir les bons outils et les conditions de coupe optimales pour maximiser la durée de vie de l'outil et la qualité de la pièce. En bref, la connaissance des notions fondamentales de la rugosité de surface et des mécanismes d'usure des outils est essentielle pour une production efficace et de haute qualité des pièces mécaniques

Chapitre V

Elaboration et expérimentation

V.1. Notions

L'usinage par enlèvement de matière désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'obtenir une surface par arrachement de la matière sous forme de copeaux à l'aide d'un outil de coupe tranchant. Cette technique ancienne reste une technique de fabrication importante et très largement répandue.

La qualité des pièces obtenue par ce procédé dépend de plusieurs paramètres tels que la puissance des machines utilisées, la nuance de la matière à usiner et évidemment les caractéristiques des outils de coupe utilisés, sur lesquels est porté notre projet de fin études.

Dans ce travail de recherche, plusieurs éléments de base dans le domaine de l'usinage sont mis en évidence, ce sont pour nous les acteurs principaux de plusieurs recherches. On peut énumérer parmi ces acteurs ceux connus par les paramètres ou conditions de coupe à savoir la vitesse de coupe, l'avance (f), la profondeur de coupe (ap), et principalement pour notre recherche les angles de l'outillage utilisé en (ARS) pour l'usinage de pièces en acier non allié de nuance C 35 (XC38). Les outils en (ARS) Acier Rapide Supérieur sont connus tels qu'ils sont moins chers que les outils à pointes au carbure

V.2. Présentation du mode de travail

Dans cette partie, nous présentons le protocole expérimental adopté pour l'étude et la compréhension de l'effet des angles de l'outil de coupe sur les qualités des pièces travaillées.

En effet, dans notre travail pratique, nous procédons par élimination de l'impact de tous les autres paramètres susceptibles d'apporter des modifications dans les résultats et de ne laisser varier que les paramètres géométriques de l'outil de coupe (angles). Pour ce faire on a pris les conditions de coupe normalisées de vitesse de rotation $N = 830$ [Tr /min] pour la fabrication de ce matériau, de même, le paramètre de profondeur de passe constant tout au long de l'essai, avec $ap = 0.5$ [mm], nous avons également fixé la progression constante f à une valeur de $f = 0,1$ [mm/tour],

Nous avons choisi ces paramètres standards afin d'assurer une bonne coupe, une évacuation optimum et une bonne finition de surface, qui devra être assurée par la sélection correcte du pré-réglage et de l'angle de coupe γ .

Le tableau ci-dessous résume différentes conditions de coupe choisies, traduisant notre choix des facteurs constants (N , f , ap ,) ainsi que l'angle de coupe γ .

Tableau V-1 : Indication des valeurs prises pour chaque outil

Outils	N°1	N°2	N°3
L'avance f mm/tour	0.1	0.1	0.1
Profondeur de passe ap mm	0.5	0.5	0.5
Angle de coupe γ	9°	8°	16°

Les essais consistent à faire des opérations de chariotage à sec. Les essais ont été menés avec les plus grandes précautions. La démarche générale des opérations de réglages d'usinage est la suivante :

Mise en position de l'éprouvette sur le tour, la pièce est mise dans la broche et des essais de chariotage de 60 mm de long sont développés sur chaque partie de la pièce en acier.

Réglage de l'avance qui reste également constante à la valeur de 0.1 mm/tr : ainsi que de la profondeur de passe puis choix de la plage de vitesse, pour chaque outil utilisé (angle de coupe différent)

Observation visuelle périodique des plaquettes utilisées (face de coupe, et la face de dépouille).selon les différents tests de transformation que nous avons envisagés, nous aurons 60 tests pratiques.

V.3. Equipements utilises

Un nombre considérable et varie d'appareillages et d'outillages se voit nécessaire pour la bonne maîtrise et la bonne réalisation des différentes expériences et tests. Donc pour cette partie expérimentale il est nécessaire de préparer les équipements et les moyens suivants :

V.3.1. Machine-outil

Nous avons réalisé nos opérations expérimentales sur le tour traditionnel SN40C du fait de la facilité des opérations réalisées et de la disponibilité de cette machine sur notre lieu de travail (Figure V-1)



Figure V-1 :Tour conventionnelle SN40C

V.3.2. Appareils de contrôle

Les instruments de contrôle et de mesure sont des dispositifs utilisés pour évaluer, spécifier et enregistrer diverses grandeurs physiques dans le but de contrôler et d'analyser des systèmes et des processus. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, la recherche scientifique, la médecine, l'environnement, l'ingénierie, etc.

Voici un aperçu des équipements de mesure et de contrôle utilisés dans ce domaine de nos recherches

➤ Appareil XL3T GOLDD+ XRF EST THERMO

L'analyseur Niton XL3t GOLDD+ XRF (Figure V.2) est un outil électronique (de Thermo Scientific Niton) à hautes performances. Il fournit des données fiables et en temps réel pour l'identification des échantillons et l'identification positive des matériaux, même pour les éléments légers difficiles à analyser, sans purge de l'hélium ni pompes à vide. C'est un outil l'analyse des alliages métalliques presque instantanément. En plus d'être ultra-rapide, les résultats sont également précis. [21]

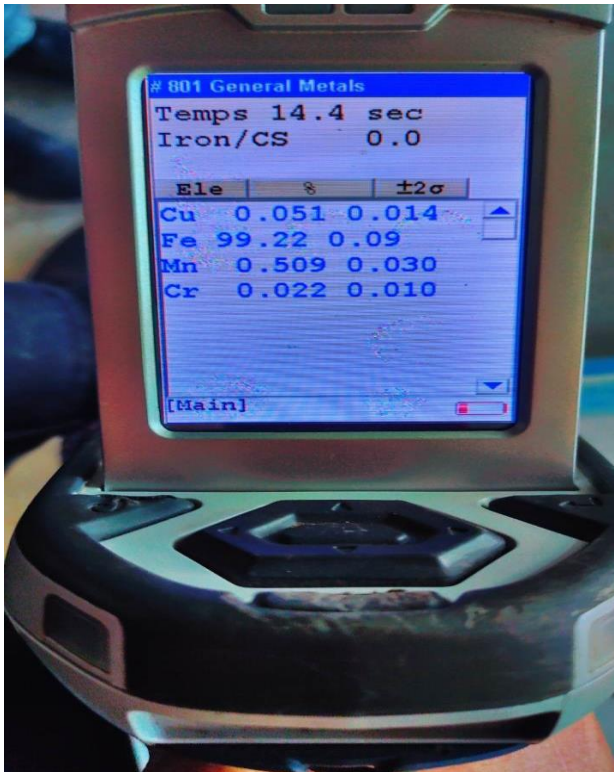


Figure V-2 : Analyseur XL3t GOLDD+ XRF de thermique Scientifique Niton

(Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer)



SOCIETE ALGERIENNE DES INDUSTRIES ELECTRIQUES ET GAZIERES
 Zone Industrielle Draa el hadja - Wilaya M'sila
 Tél. 035 32 58 60 ___Fax 035 32 58 59

Certificat de Vérification

XL3t-62240

Reading No 801
 Mode General Metals
 Time 2007-06-01 00:00
 Duration 30.77
 Units %
 Sigma Value 2
 Sequence Final
 Alloy1 Iron/CS : 0.00
 Alloy2 No Match : *3.22
 Flags
 SAMPLE
 HEAT
 LOT
 BATCH
 MISC
 NOTE



	%	±	Error
Sn	0	:	N/A
Pd	0	:	N/A
Ag	0	:	N/A
Ru	0	:	N/A
Mo	0	:	N/A
Nb	0	:	N/A
Zr	0	:	N/A
Bi	0	:	N/A
Pb	0	:	N/A
Se	0	:	N/A
W	0	:	N/A
Zn	0	:	N/A
Cu	0.052	±	0.009
Ni	0	:	N/A
Co	0.156	±	0.049
Fe	99.205	±	0.062
Mn	0.514	±	0.020
Cr	0.017	±	0.007
V	0	:	N/A
Ti	0	:	N/A
Sb	0	:	N/A
Al	0	:	N/A

Service Contrôle Qualité : _____

SAIEG.Spa société du groupe SONELGAZ au capital de 3 286 375 000 00 DA - BP N°10, Zone Industrielle Rouiba - Wilaya d'Alger
 Direction Générale ' 023 86 40 93 Fax 023 86 41 01
 unité de fabrication de pylônes et matériel de l'éclairage public Zone Industrielle Rouiba - Wilaya d'Alger ' 023 86 40 88 Fax 023 86 40 99
 Unité de fabrication de matériels et équipements électrique et gaziers route DJEMILA el Eulma - Wilaya Sétif ' 036 76 11 34 Fax 036 76 10 60
 Unité de fabrication de maintenance et fabrication de la pièce de rechange Zone Industrielle Draa el hadja - Wilaya M'sila ' 035 32 58 60 Fax 035 32 58 59

Figure V-3 : Certificat de composants de la matière

➤ **Appareil de mesure de la rugosité**

Le rugosimètre est un instrument utilisé pour évaluer la rugosité de surface. La rugosité fait référence aux irrégularités microscopiques trouvées sur une surface, telles que les bosses, les vallées et la fragilité. La mesure de la rugosité est importante dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie mécanique, la fabrication, la métrologie et la qualité des produits.

Il existe plusieurs types d'appareils de mesure de rugosité, chacun avec ses propres méthodes et principes de fonctionnement, et nous avons utilisé l'appareil suivant.

- **Taylor-Hobson Surtronic 10 surface tester**

Est un instrument de mesure de la rugosité de surface. Il utilise un palpeur stylus pour mesurer les paramètres de rugosité d'une surface donnée. La Ra (rugosité moyenne arithmétique) est l'un des paramètres des plus couramment mesurés, et il représente la moyenne des écarts de la surface par rapport à une ligne de référence moyenne. [22]

Le Surtronic 10 est un instrument portable et facile à utiliser, avec une plage de mesure allant jusqu'à 1,5 mm et une résolution de 0,01 μm . Il peut mesurer différents paramètres de rugosité, tels que le Ra, le Rz, le Rt, le Rq, etc. Il utilise des normes de filtrage conformes aux normes ISO, DIN, ANSI et JIS pour garantir des résultats précis et fiables.

Pour utiliser le Surtronic 10, il suffit de placer le palpeur stylus sur la surface à mesurer et de le déplacer le long de la surface dans une direction donnée. L'instrument enregistre les données de mesure et calcule automatiquement les paramètres de rugosité correspondants. Les résultats peuvent être affichés sur l'écran de l'instrument ou exportés vers un ordinateur pour une analyse plus poussée.

Pour mesurer les paramètres de rugosité, nous avons utilisé le Ra Taylor Hobson PNEUMO Surtronic 10 [4]



Figure V-4 Appareil de mesures surface Taylor-Hobson Surtronic 10

➤ **Appareil de mesures de température
(Thermomètre à infrarouge haute performance SKF)**

Il existe plusieurs types d'appareils pour mesurer la température de la pièce pendant le fonctionnement, et nous vous présenterons l'appareil suivant que nous avons utilisé dans nos expériences

SKF propose une large gamme de thermomètres à infrarouge portables, légers et faciles à utiliser pour les contrôles thermiques. Ces instruments portables facilitent la détection des différences de température dans les applications techniques et non techniques et l'obtention d'informations sur les anomalies de fonctionnement. Ils permettent ainsi de réduire les coûts élevés liés au dysfonctionnement des équipements, de prévenir les arrêts non planifiés et de répondre aux exigences en matière de sécurité alimentaire. [6]

Les thermomètres à infrarouge SKF sont équipés de plusieurs lasers afin de viser l'objet de façon simple et précise [6]

Tableau V-2 : Caractéristiques de Thermomètre

Designation	TKTL 31
Plage de température avec infrarouge	-60 à +1600 °C
Plage de température avec sonde	-64 à +1400 °C
Sonde fournie	TMDT 2-30 incluse max. 900 °C
Rapport distance/point	75:1
Émissivité	0,1-1,0
Précision de mesure	+/-1 % de la valeur affichée ou 1°C en considérant la valeur la plus grande
Température de fonctionnement	0 à +50 °C avec 10 à 95 % H.R.
Stockage	-10 à +60 °C avec 10 à 95 % H.R.
Temps de réponse ms	1000
Résolution d'affichage	0,1 °C/F (en dessous de 999,9) ; 1 °C/F (au-dessus de 1000)



Figure V-5 : Thermomètre à infrarouge haute performance SKF

V.3.3. Préparation des outils de coupe

Les couteaux qu'on va utiliser sont auto-développés à partir de tiges en acier rapide avec une section transversale de 16 x16 (mm²). A partir de cette barre nous avons développé trois couteaux avec des variantes d'angle de coupe (γ).

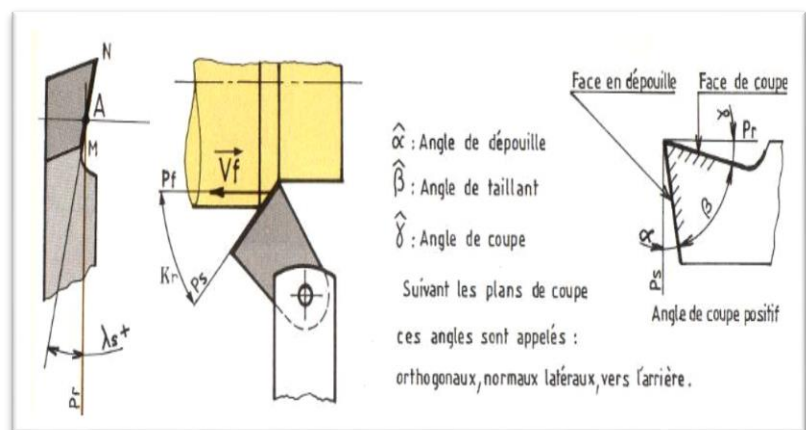


Figure V-6 : barreau en acier rapide supérieur (ARS)

V.3.3.1. Matière de coupe outils

Les opérateurs réglés et techniciens d'usinage sont amenés à réaliser des opérations d'affutage au cours de l'activité d'usinage. Ils doivent être en mesure de réaffûter ou d'affûter les outils coupants tels que forets, outils de tour ARS sur touret à meuler en toute sécurité. Cette activité permet de garantir la qualité de l'usinage et d'assurer toutes les bonnes conditions de travail demandées lors de l'enlèvement de matière [25]

Figure V-7 : Angles du plan de coupe



- Réalisez d'abord l'angle de tirage α , comme indiqué dans la figure suivante (Figure V-7).
- Ensuite nous avons réalisé les différents angles de coupe (γ).

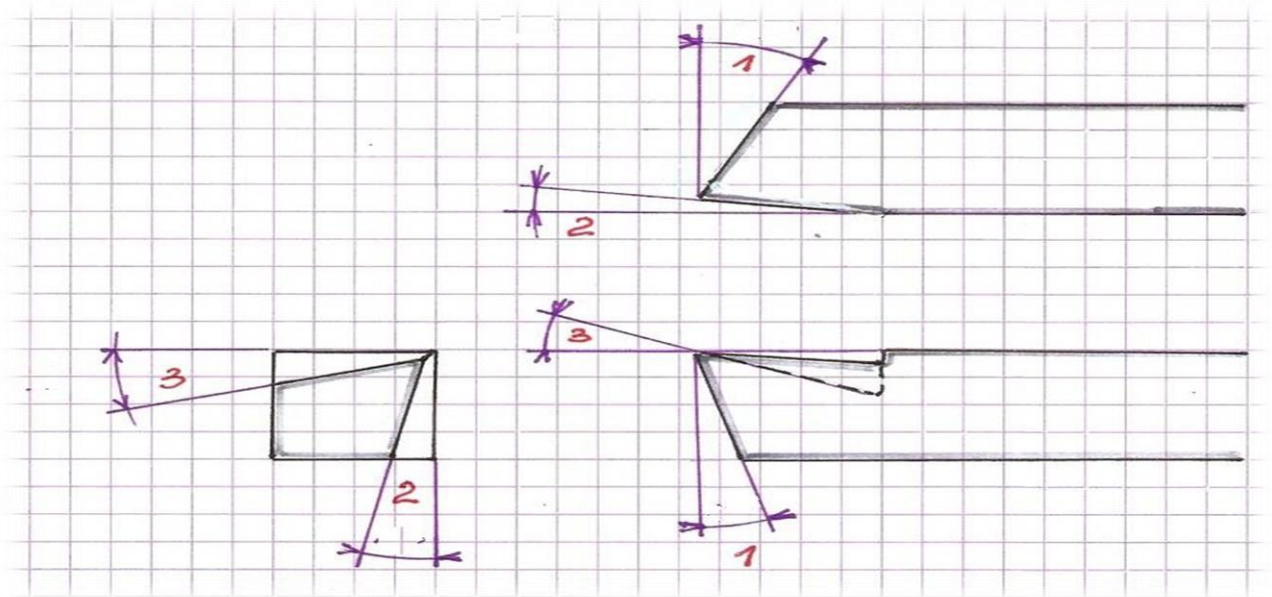


Figure V-8 : les angles d'outils coupants

Les angles caractéristiques des trois outils à angle de coupe (γ) que nous avons élaborés sont comme suit :

- L'angle de dépouille $\alpha = 8^\circ$
- Angle d'inclinaison de la surface de coupe $\lambda_s = 7^\circ$

Pour fabriquer des outils de ce type, nous avons plusieurs procédés, dont le fraisage, ainsi que l'affûtage, et nous avons choisi ce dernier pour fabriquer les outils de notre expérience.

V.3.3.2. Procède par affûtage

L'affûtage est effectué au hall de technologie se trouvant au niveau de la société algérienne des industries électriques et gazière. On a utilisé à cette tâche une meule d'affûtage de type ALMO

(Figure V.5A) pour l'ébauche, et une meule de type SOLID figure (Figure V.5B) pour la finition. La mise en forme se fait de manière progressive en petites passes et refroidissement indéfrisable après chaque passe afin d'éviter l'échauffement de l'outil de coupe et d'altérer les caractéristiques mécaniques de cet outil, telle que la dureté qui est un paramètre très important. [28]



Figure V-9 : A- Meule pour finition



B-Meule pour ébauche



Figure V-10 : réalisation de l'un des angles de l'outil de coupe en ARS

V.4. Préparation des pièces a pièces utilisées

On trouve dans Figure V- 7 : Dessin de définition de la pièce

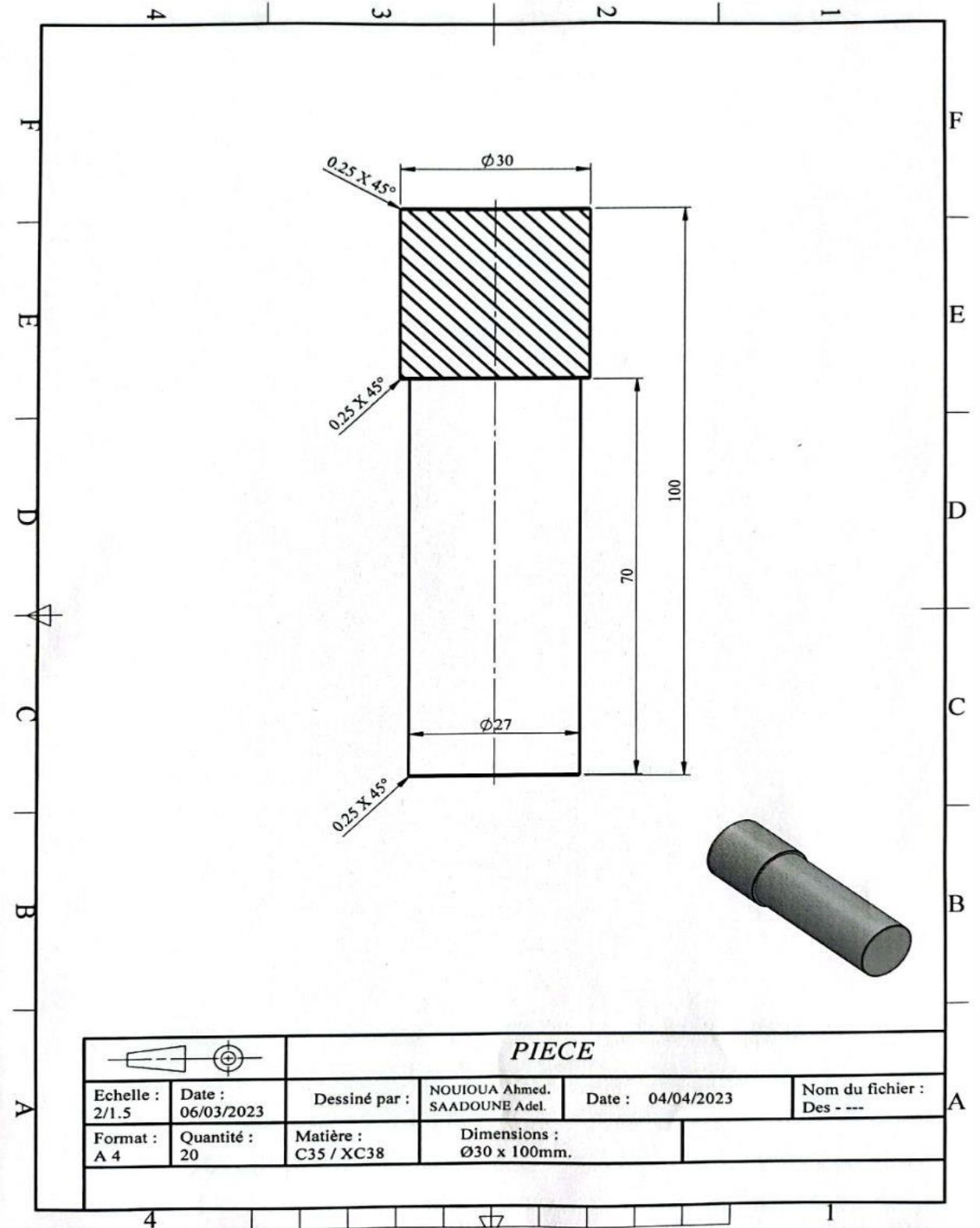


Figure V-11 : dessin de définition de la pièce

- Dans (figure V-12) une Brut cylindrique en acier non allié C35 (XC38) de 100 mm de long et de 30 mm de diamètre, et c'est un échantillon parmi les 20 pièces utilisées dans notre expérience.

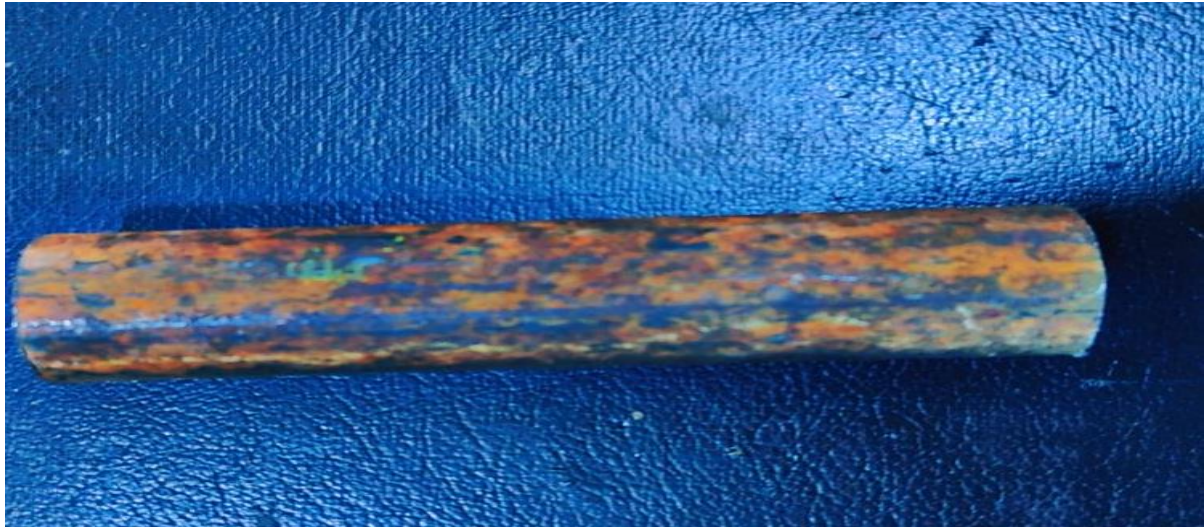


Figure V-12 : Brut (Cylindre plein)

V.4.1. Les compositions chimiques des pièces utilisées

Les aciers sont des composés de fer (Fe) et de carbone (C), le fer étant majoritaire. Des éléments d'alliage peuvent lui être ajoutés, notamment pour favoriser la trempe (refroidissement rapide permettant d'obtenir des aciers très durs) ou la résistance à la corrosion (acier inoxydable). Les masses molaires atomiques des principaux constituants ont été soumises

L'acier C35 (XC38) est un acier au carbone de qualité moyenne avec une teneur en carbone comprise entre 0,32% et 0,39%. Il contient également de grandes quantités de silicium et de manganèse pour renforcer les propriétés mécaniques de l'acier et améliorer sa résistance à la corrosion. Il est couramment utilisé en ingénierie générale en raison de sa bonne usinabilité et de ses propriétés mécaniques. Il convient également au traitement thermique, ce qui lui permet d'être durci pour répondre aux exigences spécifiées.[2]

Tableau V-3 : Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé) de l'acier C35

Rm N/mm²	Re N/mm²	A %
500 / 550	245 / 300	18 / 19

Tableau V-4 : Composition chimique de l'acier C35

les composants	Pourcentage %
Carbone (C)	0,32 % à 0,39 %
Silicium (Si)	0,15 % à 0,35 %
Manganèse (Mn)	0,50 % à 0,80 %
Phosphore (P)	max. 0,035 %
Soufre (S)	max. 0,035 %

V.5. Identification de l'expérience

Dans cette étude, nous avons examiné la variation de la rugosité de surface en concordance avec l'effet de la géométrie de l'outil de coupe après le tournage cylindrique des surfaces (1 à 20), tout en gardant inchangés les autres paramètres (c.-à-d. en utilisant les mêmes conditions de coupe).

La mesure de la température nous y a été intéressante pour un tel processus d'usinage, dans la crainte d'une influence brusque et non contrôlée. En outre, la connaissance de la température de coupe est extrêmement importante, car elle a une grande influence sur le choix des matériaux et les conditions d'usinage optimales. En effet, la température qui se forme au niveau de la face de coupe de l'outil a un impact sur sa durée de vie.

À la fin de chaque essai, des mesures de rugosité ont été effectuées sur les surfaces usinées afin d'analyser l'influence du paramètre angle de coupe sur l'état de surface.

Les tests sont effectués en maintenant toutes les conditions de coupe (V_c , f , a) inchangées en se basant sur les valeurs normalisées du tableau III-3; seul l'angle de coupe suit un changement avec chaque outil utilisé.

Sachant que les données principales d'un outil normalisée se résument en : [27]

- L'angle de dépouille α d'environ 8°

- L'angle de Coupe γ entre les deux valeurs 10° et 15°

Notre idée de base, via cet mémoire, était de faire la conception et l'élaboration d'un ensemble d'outils de coupe différents de l'outil normalisé qui est connu par ses valeurs normés des angles de coupe (10° et 15°). Par la suite notre élaboration s'amène a réaliser des angles propres a notre conception en s'éloignant des angles standards et puis d'effectuer des usinages appropriés.

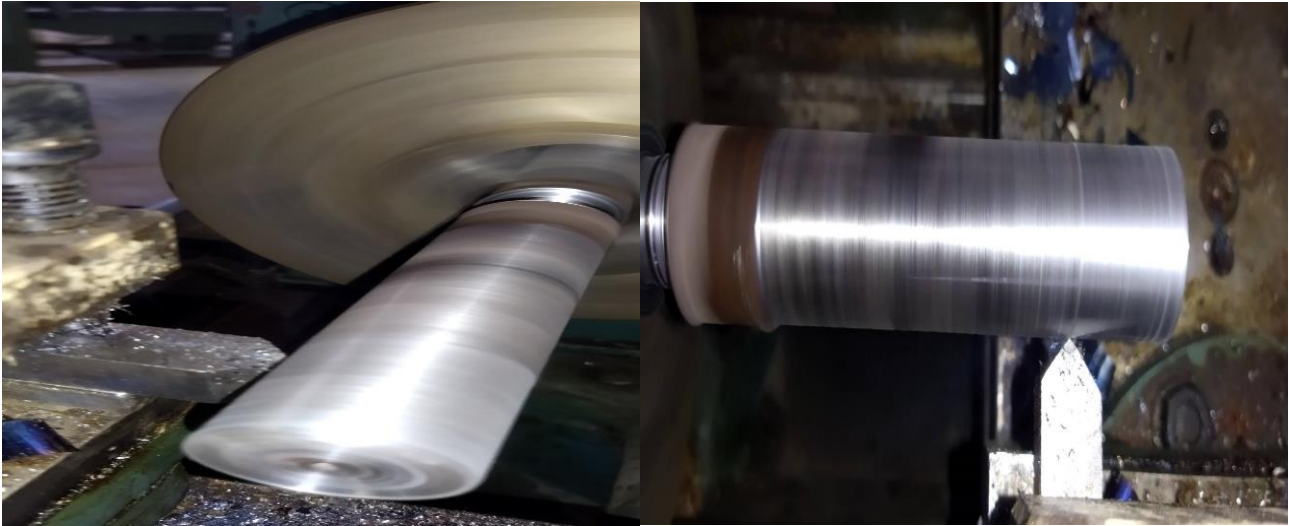


Figure V-1 3 : Photo expérience

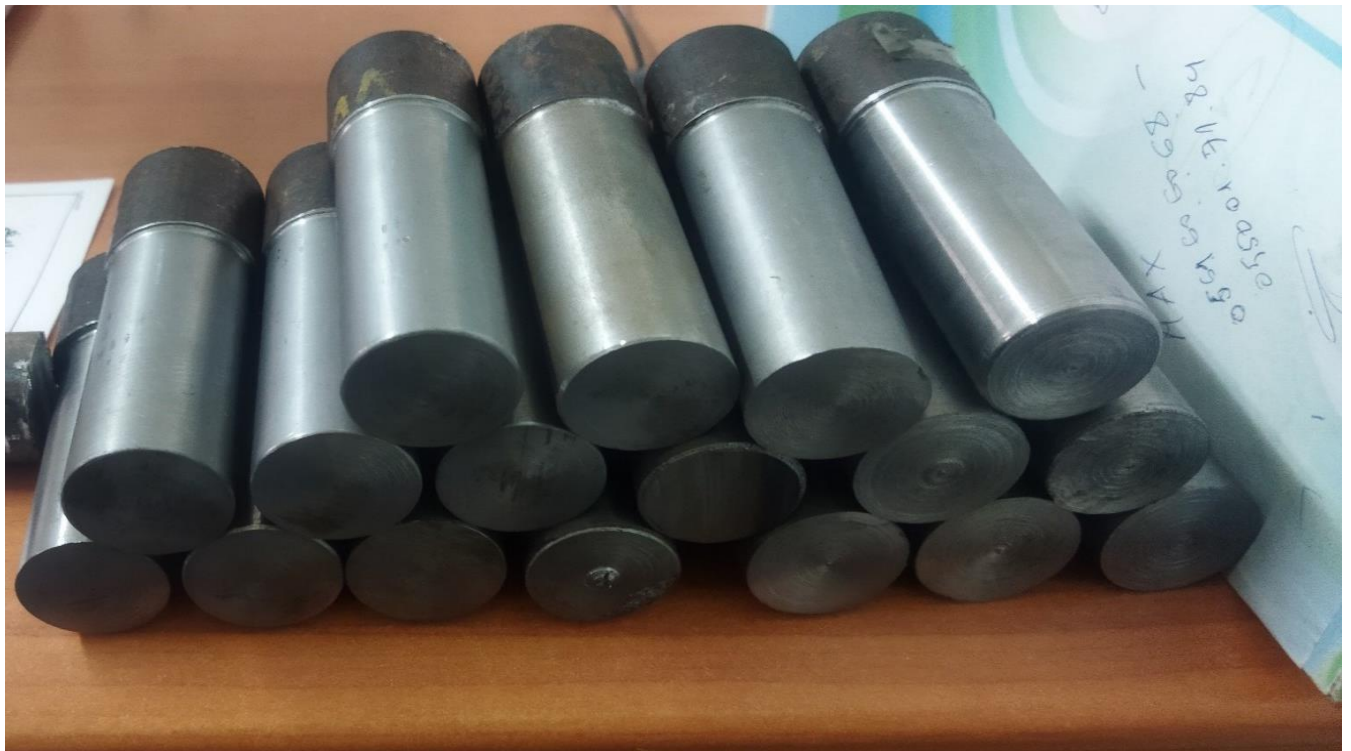


Figure V-14 : Photos des pièces échantillons

V.6. Analyse et calcul d'erreur statistique

L'erreur statistique est d'autant plus importante dans les expériences scientifiques, car elle permet de déterminer si les résultats sont significatifs du point de vue statistique. Elle aide également à évaluer la reproductibilité des mesures et à déterminer si les différences observées entre les groupes expérimentaux sont réellement significatives.

V.7. Résultats obtenus

Dans cette étude, nous avons réalisé des mesures répétées et effectué le calcul d'erreur statistique pour chaque jeu de données afin de fournir une estimation fiable de l'incertitude associée aux résultats expérimentaux. Cela nous permettra d'évaluer la validité des conclusions tirées de nos expériences et de prendre des décisions éclairées basées sur une analyse rigoureuse des données.

Tableau V-5 : Valeurs de l'état surface en fonction du L'angle de coupe γ

N° essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ra (μm) angle 8°	2,11	1,97	2,06	2,18	1,58	1,34	1,91	1,72	1,94	2,13	2,22	2,13	1,56	1,7	1,78	2,10	2,03	2	1,57	1,90
Ra (μm) Angle 9°	0,91	0,97	0,66	0,48	1,20	1,34	1,31	1,24	1,36	1,33	1,23	1,37	1,16	1,4	1,58	1,39	1,43	1,60	1,74	1,72
Ra (μm) angle 16°	0,93	1,10	0,63	0,89	0,60	0,73	0,71	0,69	1,16	0,60	1,57	0,63	0,63	1,2	1,53	1,20	1,23	1,26	1,13	1,12

En résumé, le calcul d'erreur statistique est une étape essentielle dans l'analyse des expériences. Il permet de quantifier l'incertitude des mesures et d'évaluer la confiance que l'on peut accorder aux résultats obtenus. Dans cette étude, nous avons utilisé cette méthode pour estimer l'erreur statistique et garantir la fiabilité de nos conclusions.

Tableau V-6 : Valeurs normalisées et expérimentales

A. Outil normalisé

Outil	Angles d'outil			Ra (μm)	Temperature T° (°C)
	β	γ	α		
Outil normalisé	72°-67°	10°-15°	8°	0.4_1.6	≥ 600

Voici les résultats du calcul de l'erreur statistique pour les différentes mesures qui ont été prises, ils sont représentés dans les deux tableaux suivants :

B. En ébauche

N° Outil	Angles d'outil			Ra (μm)	Temperature T° (°C)
	β	γ	α		
1	82°	0°	8°	3.32	350.15
2	76°	6°	8°	1.81	218.90
3	70°	12°	8°	2.61	275.45

C. En finition

N° Outil	Angles d'outil			Ra (μm)	Temperature T° (°C)
	β	γ	α		
1	66°	16°	8°	0.98	370.36
2	73°	9°	8°	1.27	234.45
3	74°	8°	8°	1.90	283.70

Une première analyse des résultats des tests réalisés nous conduise aux observations suivantes :

- ❖ Dans le cas d'ébauche (Tableau V-6 b), et travaillant avec des conditions de coupe d'ébauchage, une attention doit être prise :
 - l'outil N°1 avec un angle 0° a la forme et les caractéristiques d'un outil d'ébauchage, donc se comportant comme tel il nous donne des résultats
 - conformes aux valeurs standards pour un travail d'ébauche.
 - Cependant, les résultats obtenus par les deux autres outils se voient non évidentes, et ceci est dû qu'on utilise des conditions de coupe d'ébauchage pour un outil qui se situe dans la catégorie d'outil de finition.
- ❖ Dans le cas de finition (Tableau V-6 c), et travaillant avec les conditions de coupe favorables, on peut donner les observations suivantes :
 - L'outil n°1 présente les meilleures performances en termes de rugosité de surface, avec une durée de vie relativement faible et des températures élevées.
 - Les outils N°2 et N°3 ont des valeurs de rugosité plus élevées, moins d'usure et une durée de vie plus longue

- La rugosité s'améliore à mesure que l'on se rapproche des angles convenus, ce qui indique que ces angles peuvent être plus adaptés pour obtenir une meilleure qualité de surface.
- Les mesures de température générées au cours des expériences allaient de 169,45 °C à 307,15 °C, tandis que l'outil n° 1 atteignant la température plus élevée, atteignant un maximum de 400 °C.

Malgré les dispositions strictes et les conditions de travail prises, un souci de mauvaise démarche était toujours présent nous conduisait à prendre plus de précautions.

Notre grand souci, en tant qu'expérimentateurs, durant les opérations d'usinage réside dans les deux phénomènes liés aux paramètres température et outil : c'est bien évident l'élévation de la température et l'usure des outils. En effet tous les paramètres que nous avons déclarés dans ce mémoire et ayant la qualité d'influence peuvent être contrôlés, dire même négligés d'impact, étant donné qu'ils peuvent être fixés de façon permanente pendant tous les tests.

Pour cerner ces deux phénomènes, nous avons opté pour la température un enregistrement et contrôle continu de ce paramètre et vérifié qu'il ne dépasse pas la valeur critique supportée par la nuance de l'outil ARS. Mais pour l'usure de l'outil cela nous a amenés à travailler dans la période de non usure c'est à dire dans la durée de vie de cet outil définie par la norme.

En ce qui concerne l'usure des outils, et en observant les outils à l'œil nu, nous avons constaté que l'érosion des bords s'est développée à l'outil ayant un angle de coupe $\gamma = 16^\circ$.

Il était visible par ces résultats que l'angle de coupe a un impact significatif sur l'usure,

Puisque au fil du temps, la corrosion s'est développée très rapidement, entraînant un effondrement complet du nez de l'outil, accompagné d'une série de fissures sur les différentes faces de l'outil. Cela s'est manifesté pendant l'expérience à partir de l'échantillon N° 14.

De l'autre part; et par les tests réalisés au laboratoire d'usinage, nous avons observé une diminution de l'usure à des angles de coupe de valeurs 9° et 8° , tandis qu'une augmentation et une progression de l'usure ont été observées à des angles de coupe dépassant juste la valeur 15° (outil à angle de coupe 16°), ce qui pourrait entraîner une rupture des bords. De plus, la corrosion est très rapide, ce qui affecte l'état de surface et la précision dimensionnelle de la pièce usinée. Dans ces conditions, l'usure de l'outil se voit nettement développée entraînant un impact négatif bien sûr.

Nous savons que la durée de vie de l'outil est très liée à son usure dire même qu'elle est synonyme de ce paramètre. Effectivement nos observations de comparaison permettent de dire que

la durée de vie des outils de coupe a angles de coupe entre 9° et 8° est plus longue que des outils de coupe a angle de coupe valant 16° . Ces résultats montre que la durée de vie est très sensible à la variation de l'angle de coupe.

A la fin de cette analyse nous pouvons dire que les résultats obtenus nous permet de conclure que la géométrie des outils de coupe a un impact significatif, que ce soit sur l'usure ou sur la durée de vie des outils de coupe.

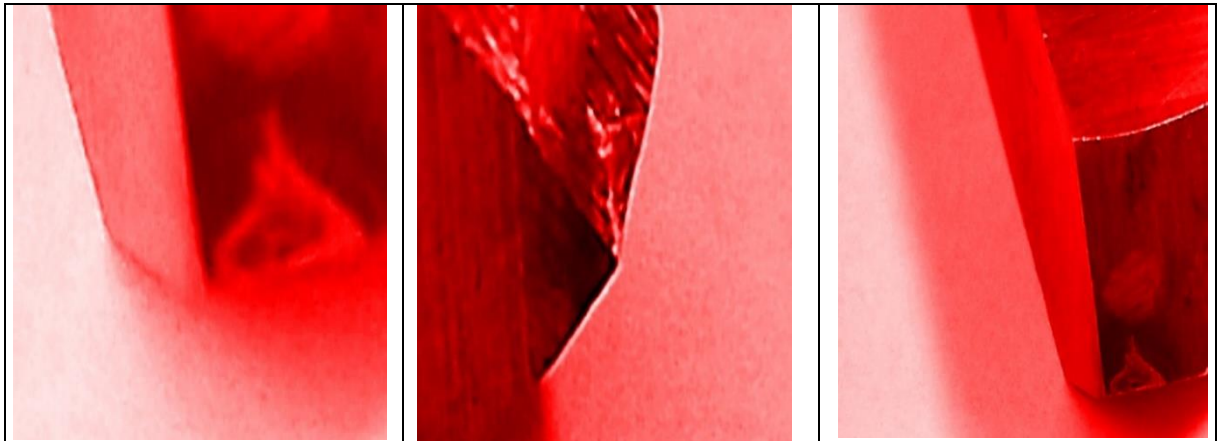


Figure V-15 : Photos de l'usure des outils de coupe expérience

En ce qui concerne la Température, les mesures ont clairement montré que lors du travail avec un outil a angle de coupe de 9° , la température est nettement inférieure à celle obtenue avec celui a angle de coupe de 8° ; des températures faibles sans souci. Contrairement l'outil à angle de coupe de 16° , nous a surpris avec une élévation significative en température qui a atteint 400°C comme valeur maximale.

Selon ces mesures, on observe une augmentation ou une diminution de la température de coupe en fonction d'une augmentation ou une diminution de l'angle de coupe. Ce résultat est probablement dû au fait que le changement d'angle génère une grande quantité de frottement entre le matériau enlevé et l'outil de coupe, ce qui entraîne également une augmentation de l'énergie dans le système.

En ce qui concerne la Rugosité, et d'après les résultats obtenus, les mesures montrent que la valeur de rugosité lors de l'utilisation de l'outil à angle de coupe $\gamma = 8^\circ$ atteint un maximum de $2,18 \mu\text{m}$, ce qui est une rugosité élevée avec une température modérée; tandis que dans les expériences avec l'angle $\gamma = 9^\circ$, nous remarquons une amélioration significative du niveau de rugosité avec une légère diminution de la température moyenne, c'est-à-dire que plus nous nous rapprochons de l'angle de coupe standard convenu, meilleure est la rugosité

Pour l'outil a angle de coupe $\gamma = 16^\circ$, les choses ne sont pas assez évidentes et demande une

certaine approche. En effet, l'utilisation de cet outil à angle de coupe $\gamma = 16^\circ$, des valeurs de rugosité très proches ont été obtenues ; variant entre 0,63 et 0,93 μm , qui sont à première vue de très bonnes valeurs pour la rugosité par rapport aux expériences précédentes.

Bien que la rugosité obtenue par l'angle de ce dernier soit positive et de meilleure valeur, elle soulève nos inquiétudes quant à la durée de vie de l'outil, lorsque nous avons détecté une augmentation soudaine et continue de la température accompagnée d'une dégradation de la surface de la pièce. Ceci a été observé et enregistré juste après le test N°14, et malgré que nous avons envisagé de réaliser tous nos test pendant la durée de vie des outils, nous avons constaté que l'outils était partiellement usé.

Nous pouvons conclure ici que nous avons prouvé à travers ce travail expérimental qu'il est nécessaire d'accorder plus d'attention à la géométrie de l'outil et de respecter les angles de coupe normalisés car ils jouent un rôle majeur pour la mise en œuvre des outils de coupe et sont, avec mérite, l'acteur principal qui conditionne la rugosité de surface, la température, l'usure de l'outil, l'amélioration de la durée de vie de l'outil et la réduction des coûts de fabrication.

CONCLUSION

Dans notre travail, nous avons conçu plusieurs outils avec des angles de coupe différents par affûtage. Notre objectif était de mettre en évidence le rôle des angles de coupe dans le contrôle de la qualité de surface.

Après avoir analysé les résultats de la rugosité de surface obtenue grâce à des processus professionnels, dans lesquels les conditions de coupe ont été fixées et choisies comme idéales pour ce type de fabrication, nous avons constaté que les angles des outils de coupe ont été modifiés à chaque fois, et la température de la pièce a été contrôlée pendant le fonctionnement. Cela a entraîné des variations de rugosité de surface, ainsi qu'une température élevée qui a détérioré les outils de coupe.

Il est évident que l'ingénierie des outils est bien pensée, de sorte que le changement des angles de coupe des outils a un impact négatif à plusieurs égards. Cela se traduit notamment par une rugosité élevée, des températures élevées et une réduction de la durée de vie des outils. Tous ces défauts ne peuvent être négligés.

Par conséquent, il est nécessaire de respecter les conditions de coupe en fonction des outils, en utilisant des angles de coupe spécifiques à chaque client. Cela permettra d'obtenir des procédés de fabrication fluides et adaptés aux exigences de fabrication.

CONCLUSION GENERALE

Le monde de l'industrie, via les spécialistes de l'ingénierie de production, toujours en développement ne cesse de nous étonner et nous prouver que les procédés de fabrication mécanique sont essentiels dans de nombreux secteurs industriels, offrant divers solutions pour transformer les matières brutes en objets finis.

Une multitude de procédés permettent de travailler des matériaux difficiles à usiner ou de réaliser des formes complexes; ils offrent des possibilités avancées pour répondre aux exigences croissantes de production: obtention des pièces avec précision et bonne qualité de surface, cas des techniques de production par enlèvement de matière; la possibilité de créer des formes complexes sans retirer de matière, cas des techniques par déformation plastique; la fusion du matériau pour obtenir la forme souhaitée aussi complexe qu'elle soit, cas des techniques par fusion allant du frittage jusqu'à l'impression 3D.

Les procédés de fabrication mécanique permettent de répondre aux besoins de diverses industries, en offrant des possibilités avancées, une précision accrue et une grande qualité dans la production d'objets. Avec les avancées technologiques, ces procédés continuent d'évoluer et d'ouvrir de nouvelles opportunités pour l'innovation et le développement de produits plus performants et plus complexes.

On s'est aperçu du rôle crucial que jouent les outils de coupe dans les opérations d'usinage et dans la production. Qu'ils soient destinés au tournage, au fraisage, au perçage ou à d'autres opérations, les outils de coupe se voient comme un des acteurs les plus primordial pour répondre aux exigences telles que la pression d'exécution, la précision des côtes, l'état de surface de la pièce et l'efficacité pour assurer un rendement optimal.

Très brièvement, les outils de coupe et leur choix approprié, ainsi que la gestion de leur usure, sont des éléments essentiels pour assurer des opérations d'usinage réussies et efficaces. Une connaissance approfondie des propriétés des matériaux de coupe, des géométries d'outil et des phénomènes d'usure permettra d'optimiser les performances et d'obtenir des résultats de haute qualité dans les processus d'usinage.

La coupe de métaux est un processus important dans de nombreux domaines industriels, tels que la construction, la fabrication automobile et l'aérospatiale. Les angles de coupe jouent un rôle crucial dans le processus de coupe des métaux, car ils déterminent la qualité de la coupe, la durée de vie de l'outil de coupe et la résistance à l'usure de l'outil. Le choix des angles de coupe appropriés est essentiel pour obtenir une bonne qualité de coupe, prolonger la durée de vie de l'outil de coupe et réduire la force de coupe.

En somme, la rugosité est une caractéristique essentielle pour la performance des pièces mécaniques. Les critères de rugosité tels que la rugosité moyenne, le taux de rugosité et la forme de la surface sont des paramètres clés qui doivent être pris en compte lors de la conception et de la fabrication des pièces.

Nous pouvons conclure ici que nous avons prouvé à travers ce travail expérimental qu'il est nécessaire d'accorder plus d'attention à la géométrie de l'outil et de respecter les angles de coupe normalisés car ils jouent un rôle majeur pour la mise en œuvre de l'outil de coupe et sont, avec mérite, un des éléments principal qui conditionne la rugosité de surface, la température, l'usure, l'amélioration de la durée de vie de l'outil et la réduction des coûts de fabrication.

L'expérimentation réalisée nous a permis de mettre en évidence l'impact des angles de coupe et de la géométrie de l'outil sur la rugosité de surface lors des processus d'usinage comme le cas ici de tournage. Les résultats ont confirmé l'importance de choisir les angles de coupe appropriés pour obtenir une qualité de coupe optimale tout en prolongeant la durée de vie des outils. Cependant, il est nécessaire de poursuivre les études et les expérimentations afin de mieux comprendre les interactions entre les différents paramètres et d'optimiser davantage les procédés.

Ce projet a contribué à l'acquisition de connaissances approfondies dans ce domaine. Les résultats obtenus ouvrent la voie à de futures recherches et améliorations dans le domaine de l'usinage des métaux, avec pour objectif l'optimisation des procédés et l'amélioration des performances des produits finis.

L'une des réalisations les plus importantes de ce projet de fin d'études est la compréhension approfondie des différents paramètres et facteurs affectant la qualité de la fabrication métallique.

En particulier, l'étude des outils de coupe, des angles de coupe et des états de surface a permis de mettre en évidence leur influence sur les performances d'usinage.

Cette connaissance approfondie permettra aux futurs ingénieurs et professionnels de l'industrie de prendre des décisions plus éclairées lors de la sélection d'outils, de la conception de géométries de pièces et de l'optimisation des processus de fabrication. Ils seront en mesure de sélectionner les meilleures combinaisons d'angles de coupe et d'outils pour obtenir des résultats de la plus haute qualité, tout en maximisant l'efficacité et la durée de vie de l'outil.

En conclusion, ce projet de fin d'études a permis d'approfondir notre compréhension de la technologie de fabrication mécanique, en mettant l'accent sur le comportement des outils de coupe, l'étude de l'état des surfaces et l'expérimentation dans le domaine de l'usinage des métaux.

Références

Références

- [1] Souhir Gara. "Productique procédés d'usinage Tournage Fraisage Perçage Rectification". Ellipses, 2014, Tunisia
- [2] G. Cannet, M. Delzenne. "Coupage thermique et coupage au jet d'eau". Article dans Techniques de l'Ingénieur, traité BM 7 280 Génie mécanique, 2015 , Fr.
- [3] Henri PELLEREAU, Jean-Michel CUNTZ; Franck CORDIER. " Usinage . Chimique ". Article dans Techniques de l'Ingénieur, traité B 7 260 Génie mécanique, 2014 Fr.
- [4] W.Christian,W.Masclé. "Fabrication avancée et méthodes industrielles Tome 1". Presses internationales Polytechnique , 2012,Canada.
- [5] B.Claude, P.Barlier. "Mémotech - Génie mécanique". Educavivre, 2003, Fr.
- [6] Daniel Kremer. "L'usinage par ultrasons". Article Techniques de l'Ingénieur, traité BM 7 240 Génie mécanique, 1998 , Fr.
- [7] É. Felder. " Procédés d'usinage "Article de Technique de l'ingénieur. traité B7000, 1997 , Fr.
- [8] L. Fouad. "étude de l'endommagement des surfaces"". Mémoire de magister, 2010 , Dz.
- [9] D. Gelin, M. Vincent. "Éléments de fabrication". Ellipses. France.
- [10] Daniel Spénlé et Robert Gourhant. "Guide du calcul en mécanique : Maîtriser: Hachette Technique 2003, Fr.
- [11] R. Laheurte. "Application de la théorie de seconde gradient à la coupe des matériaux". Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2004, Fr.
- [12] D. Layachi. " Procédés d'obtention des pièces mécaniques " doctorat, Université de annaba , 2009 , algerai.
- [13] P. Lechervy. "Usinage électrochimique". Article dans Techniques de l'Ingénieur, traitéB 7270 Génie mécanique, 1996 , Fr.
- [14] M. Makhloufi. "Métrologie 02 Institut des Sciences et des Techniques Appliquées". Mémoire de Mestre , Université des Frères Mentouri Constantine 1, 2016 , Dz.
- [15] Malal Kane. "Contribution à l'étude de l'influence de la rugosité et des effets non newtoniens dans les contacts sévères lubrifiés". Thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, 2003 , Fr.
- [16] Michel Colombié, Jean-Pierre Cordebois et coll. "Fabrication par usinage (2ème édition)". Dunod, 2013, Fr.

Références

- [17] P. Yves Manach, S. Thuillier, H. Laurent, N. Le Maoût, R. Grèze. "Mise en forme des matériaux métalliques par déformation plastique: influence du comportement matériel"., Université de Bretagne Sud, 2008, Fr.
- [18] A. Passeron. "Tournage Article BM 7086". Article, 1998, Fr.
- [19] P. J. Pierre. "Coupe des Métaux". Office des publications universitaires, 1994,Dz.
- [20] René Butin, Maurice Pinot. "Fabrications mécaniques : Technologie". Foucher: 1980, Fr.
- [21] A. Sakly. "Fabrication additive de pièces à base d'alliages métalliques complexes". Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 2013, Fr.
- [22] A. Sarazin. "Les solutions Sandvik coromant aux problématiques d'états de surface". Antoine SARAZIN, 2010, Fr.
- [23] Slimi Hamdi. ""Etude et réalisation de matrice pour la fabrication d'un joint d'accouplement"". Mémoire de maîtrise, Université Badji Mokhtar Annaba, 2015, Dz.
- [24] M. Abdelghani. "L'évolution de la température de coupe au niveau de l'interface outil pièce en tournage". Mémoire de maîtrise, Université de Ouargla, 2014, Dz..
- [25] Youcef Hachem, Mohamed Lamine Guendouz. "Prédiction de la Rugosité des Surfaces". Mémoire de master, Université Kasdi Mearbah Ouargla, 2017/2018 , DZ.
- [26] Nica Dorina. "Résumé de théorie et guide des travaux pratiques affûtage d'outils". Royaume du, 2020, Maroc.
- [27] F. Grégis. " (La valeur de l'incertitude : l'évaluation de la précision des mesures physiques et les limites de la connaissance expérimentale)". Thèse de doctorat, Université Sorbonne,2016, Fr.
- [28] Razika Aouad. "Contribution à la détermination de critères de dégradation"". Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2019 , Dz.
- [29] R. Dietrich, D. Garsaud, S. Gentillon, M. Nicolas. "Précis de méthodes d'usinage" (5ème édition). 1991, Fr.
- [30] Raynald Laheurte. "Evaluation de l'énergie mise en jeu et du comportement". Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 2002 , Fr.
- [31] J. Jacob, Y. Malesson, D. Ricque. "Guide pratique de l'Usinage - Tome 2, Tournage". Hachette Technique, 2006, Fr.
- [32] J. Jacob, Y. Malesson, D. Ricque. "Guide pratique de l'usinage – Tournage". Hachette Technique, 1992 ,Fr.
- [33] L. Rimbaud, G. Layes, J. Moulin. "Guide pratique de l'usinage–fraisage". Hachette Technique, 2006 , Fr.
- [34] D. Larbi. "Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique". Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed, 2018 ,Dz.

Références

Résumé

La géométrie de l'outil de coupe a une influence significative sur le travail en tournage. Elle peut affecter la qualité de la surface de la pièce, la durée de vie de l'outil et la vitesse de coupe. Des facteurs tels que l'angle de coupe et le rayon de bout de l'outil de coupe sont essentiels pour obtenir des résultats optimaux. Un angle de coupe incorrect peut provoquer des vibrations et une usure excessive de l'outil, tandis qu'un rayon de bout inadéquat peut entraîner des bavures sur la surface de la pièce. Par conséquent, il est essentiel de choisir l'outil de coupe avec la géométrie appropriée pour le travail en tournage.

Mots-clés : tournage, Outils de coupe, Rugosité, état de surface, angle d'outil, température

ملخص

الهندسة الخاصة بأدوات القطع لها تأثير كبير في التصنيع. حيث يمكن أن تؤثر على جودة السطح المشغل وعمر الأداة وسرعة القطع. تعتبر العوامل مثل زاوية القطع ونصف قطر نهاية الأداة ضرورية للحصول على أفضل النتائج. يمكن أن تتسبب زاوية القطع غير الصحيحة في حدوث اهتزاز وتآكل مفرط للأداة، في حين أن نصف قطر النهاية الغير الكافي يمكن أن يؤدي إلى نتوءات على سطح القطعة المصنعة. لذلك، من الضروري اختيار أداة القطع ذات الهندسة المناسبة لعملية التشغيل المراد انجازها .

الكلمات الرئيسية: الخراطة، أدوات القطع، الخشونة، تشطيب السطح، زاوية الأداة، درجة الحرارة

Summary

The geometry of the cutting tool has a significant influence on the work in turning. It can affect the surface quality of the workpiece, tool life and cutting speed. Factors such as the rake angle and the tip radius of the cutting tool are critical to achieving optimum results. An incorrect rake angle can cause vibration and excessive tool wear, while an inadequate nose radius can cause burrs on the surface of the workpiece. Therefore, it is essential to choose the cutting tool with the appropriate geometry for the turning work.

Keywords: turning, cutting tools, roughness, surface finish, tool angle, temperature