

---

**Université ABBES LAGHROUR Khenchela**



جامعة عباس لغرور خنشلة  
Faculté de Sciences et Technologie  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Département de Génie Mécanique  
قسم الهندسة الميكانيكية



# Mémoire

de fin d'études Pour l'obtention du diplôme  
**MASTER (LMD)**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Option : Construction Mécanique**

## Thème

---

Influence des paramètres de coupe sur l'état de  
surface des échantillons en acier austénitique  
AISI316L et en alliage à base de titane Ti-6Al-4V

---

Réalisé par :

- ZIDANE Imade

Dirigé par : Dr. FELLAH Mamoun

Membres de jury :

- CHERMIME Brahim MCA Président

- MESSAOUDI Aissam MCB Membre

---

**Année universitaire : 2019-2020**

---

*Dédicace*

*À mes chers parents qui ont soutenu mon existence et ma scolarité.*

*À mes frères MALEK, SAMIR, FOUAD, ABDOU et mes sœurs*

*À mon oncle LAKHMISSI et à sa femme FATIMA aadjroud*

*À toute la famille ZIDANE*

*Et Tous mes amis*

*À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin...*

*À toute la promotion 2020. . .*

**ZIDANE IMADE**

## REMERCIEMENTS

*C'est un grand plaisir d'exprimer nos gratitudees à notre encadreur, **Dr. FELLAH MAMOUN** maître de conférences, à l'université de kenchela, de nous 'avoir fait confiance de mener à terme cette recherche sous sa direction. C'est grâce à lui, que nous avons pu, en effet, découvrir le monde de la recherche et vivres cette expérience très riche sur le plan scientifique et humain. Nous sommes très reconnaissant de sa méthode attentive et de ses qualités qui m'ont été d'un grand soutien ;*

*Aux membres de jury qui ont accepté de faire partie de ce jury de soutenance ;*

*À tous les enseignants du département de génie mécanique, particulièrement aux enseignants : Chermime B, Messaoudi A, Berkia A, Khadraoui F, Groune B, Himmour N, Sid N, Brek S, Henachi, Chiteur M, Allaoui A, Boulahrouze S ;*

*Nos remerciements s'adressent particulièrement à Mr : **Abboudi Abdelaziz** doyen de la faculté des sciences et la technologie ;*

*À tous les professeurs et cadres administratifs qui ont contribué à notre formation de près ou deloin ; sans oublier nos amis et collègues de la promotion 2019/2020.*

## RÉSUMÉ

Les méthodes de fabrication par enlèvement la matière sont nombreuses et différentes, parmi lesquelles le d'étudier tournage est largement utilisé dans de nombreux domaines. Cette étude s'intéresse à l'effet des conditions de coupe sur la précision de l'état des surfaces obtenues grâce au tourneur. représentée par la vitesse de coupe, d'avance et la profondeur de coupe, nous avons utilisé différents matériaux en terme de dureté que sont austénitique l'acier inoxydable AISI 316 L et l'alliage à base de titane TI-6AL-4V, utilisant différentes méthodes de caractérisation, pour connaître le rôle de la dureté et l'impact des forces de coupe sur l'état de surface.

**Abstract**

There are many different methods of manufacturing via removing material, including turning, which is widely used in many fields. This study focuses on the effect of cutting conditions on the precision of the surfaces obtained with the turner. which presented by the cutting speed, feed rate and depth of cut, we used different materials in terms of hardness such as stainless steel AISI 316 L and titanium based alloys TI-6AL-4V, using experimental methods aiming to know the role of hardness and the impact of cutting forces on the surface finish.

## ملخص

طرق التصنيع عبر نزع المادة مختلفة و كثيرة، من بينها الخراطة و هي مستعملة على مدى واسع في العديد من المجالات ، تهتم هذه الدراسة بتأثير شروط القطع على دقة حالة السطوح المتحصل عليها عبر آلة الخراطة . و المتمثلة في سرعة القطع و التغذية و عمق القطع ، و قد قمنا باستعمال مواد مختلفة من حيث الصلادة و هي الصلب و التيتان ، وباستعمال وسائل القياس والمنحنيات البيانية ، لمعرفة دور الصلادة و تأثير قوى القطع على حالة السطح.

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	01
Références bibliographiques.....	03
<b>CHAPITRE I : PROCEDE DE MISE EN FORME PAR ENLEVEMENT DE MATIERE</b>	
<b>I.1 PROCEDES D'USINAGES</b>	
I.1.1 INTRODUCTION... ..	04
I.1.2 Principe d'usinage.....	05
I.1.2.1 Définition .....	05
I.1.2.2 Objectif d'usinage.....	05
I.1.2.3 Travail de forme et travail d'enveloppe.....	06
I.1.3 Les différentes procédées de mise en forme par enlèvements de matière.....	08
I.1.3.1 Par coupe à l'outil tranchant .....	08
I.1.3.1.1 Le fraisage.....	08
I.1.3.1.1.1 Définition.....	08
I.1.3.1.1.2 Les principes généraux de fraisage.....	08
I.1.3.1.2 Le tournage .....	09
I.1.3.1.2.1 Définition.....	09
I.1.3.1.2.2 Principe de tournage .....	09
I.1.3.1.3 Perçage.....	09
I.1.3.1.3.1 Définition.....	09
I.1.3.1.3.2 Principe perçage.....	10
I.1.3.2 Par abrasion.....	11
I.1.3.2.1 Définition.....	11
I.1.3.2.2 Principe d'usinage.....	11
I.1.3.2.3 Rectification.....	12
I.1.3.2.3.1 Définition.....	12
I.1.3.2.3.2 Principe .....	13
I.1.3.2.4 Le rodage .....	15
I.1.3.2.4.1 Définition.....	15
I.1.3.2.4.2 Principe de rodage .....	15
I.1.3.2.5 Polissage .....	16
I.1.3.2.5.1 Définition.....	16
I.1.3.2.5.2 Principe de polissage .....	16
I.1.4 Historique.....	16

---

I.1.4.1 Les type de tours utilisés dans l'industrie...	17
I.1.4.2 Le principe du tournage.....	17
I.1.4.3 Les opérations de base en tournage... ..	18
I.1.4.4 Principaux éléments d'une pièce en tournage.....	19
I.1.4.5 Les Paramètres de coupe .....	20
I.1.4.6 Géométrie de l'outil de coupe en tournage .....	21
I.1.4.6.1 Angles de l'outil.....	21
I.1.4.7 Matières de la plaquette ... ..	23
I.1.4.7.1 Les carbures non revêtus.....	23
I.1.4.7.2 Les carbures revêtus.....	24
I.1.4.7.3 Les cermets... ..	24
I.1.4.7.4 Les céramiques... ..	25
I.1.4.7.5 Le nitrure de bore cubique... ..	25
I.1.4.7.6 Les diamants poly-cristallines .....	25
I.1.5 Conclusion .....	27
I.2 MESURE D'ETAT DE SURFACE .....	28
I.2.1 Introduction.....	28
I.2.2 Géométrie des surfaces .....	28
a. Géométrie nominale .....	28
b. Géométrie réelle .....	28
c. Géométrie spécifiée .....	29
d. Géométrie mesurée.....	29
I.2.3 Analyse d'une surface.....	29
I.2.4 Caractéristiques du profil... ..	30
a. La longueur d'évaluation $l_n$ .....	30
b. Longueur de base $l_r$ ... ..	31
c. Ligne enveloppe supérieure... ..	31
d. Ligne moyenne.....	31
I.2.5 Les paramètres de la rugosité.....	31
a. Rugosité $R_z$ .....	31
b. Rugosité $R_a$ .....	31
I.2.6 Indications des exigences d'états de surface.....	32
I.2.7 Les appareils de mesure d'état de surface.....	35
I.2.7.1 Les échantillons Viso-tactiles.....	35
I.2.7.2 Les appareils électroniques à palpeur... ..	36

I.2.7.3 Les appareils optiques.....	37
I.2.7.3.1 Le microscope à éclairage oblique.....	37
I.2.7.3.2 Le microscope interférentiel.....	37
I.2.7.3.3 Le réflectomètre.....	38
I.2.8 Procédés de fabrication et états de surface.....	38
I.2.9 Exploration des méthodes de mesure.....	39
I.2.10 Conclusion.....	39
Références bibliographiques.....	40

## CHAPITRE II : MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II. Introduction.....	43
II.1 Éprouvette de l'essai.....	43
II.1.1 Matière première.....	43
II.1.2 Préparation des éprouvettes d'essais.....	43
II.2 Machine d'essai.....	45
II.2.1 Outil et porte-outil utilisés.....	46
II.3 Instruments de mesure.....	47
II.3.1 Mesure de diamètres.....	47
II.3.2 Mesure de l'état de surface .....	47
II.3.2.1 Principe de mesure des états de surface du SJ201 .....	48
II.4 Plan des expériences.....	48
II.5 Conclusion.....	49

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III. Introduction.....	50
III.1 Plan des expériences.....	50
III.1.1 Conditions opératoires .....	50
III.1.2 Éprouvette de l'essai.....	51
III.1.3 Calcul de la valeur de la vitesse de coupe.....	51
III. 2 ETAT DE SURFACES .....	52
III.2.1 Cas de l'acier inoxydable AISI 316L .....	52
III.2.1.1 Variation de vitesse de coupe ( $V_c$ ) sur l'éprouvette d'acier inoxydable AISI 316L ....	52
III.2.1.2 Variation de l'avance de coupe ( $f_c$ ) sur l'éprouvette d'acier inoxydable AISI 316L ..	54
III.2.1.3 Variation de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) sur l'éprouvette d'acier inoxydable AISI	

---

316L .....	56
III.2.2 EPROUVETTE EN TI-6AL-4V ... ..	58
III.2.2.1 Variation de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) sur le Ti-6Al-4V ... ..	58
III.2.2.2 Variation de l'avance de coupe ( $f_c$ ) sur le Ti-6Al-4V .....	60
III.2.2.3 Variation de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) sur le Ti-6Al-4V ... ..	62
III.3 Influence de la nature de matériaux les paramètres de surface sur Ra et Rz ... ..	64
III.4 Influence des conditions de coupe sur l'état de surface .....	65
III.4.1 Influence de l'avance par tour $f_c$ .....	66
III.4.2 Influence de la vitesse de coupe $V_c$ .....	67
III.4.3 Influence de profondeur de passe $a_p$ .....	68
III.4.4 Influence de la géométrie de l'outil.....	69
III.5 Conclusion .....	70
Références bibliographiques .....	71
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	<b>72</b>

## LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I

Figure I-1	Les différents procédés de mise en forme d'une pièce en fonction de l'état de la matière.....	04
Figure I-2	Schéma de procédés d'usinage d'une pièce.....	06
Figure I-3	Usinage par un travail de forme.....	07
Figure I-4	Usinage par un travail d'enveloppe.....	07
Figure I-5	a) Fraisage de profil, b) Fraisage de face.....	08
Figure I-6	Usinage en tournage.....	09
Figure I-7	Photo d'une perçage.....	10
Figure I- 8	Principe de perçage.....	10
Figure I-9	Usinage par abrasion.....	11
Figure I-10	La rectification des différentes pièces.....	13
Figure I-11	Rectification double face.....	14
Figure I-12	Rectification plane frontale.....	14
Figure I-13	Rectification cylindrique.....	14
Figure I-14	La pierre abrasive et les grains abrasifs.....	15
Figure I-15	Outil pneumatique pour le polissage manuel.....	16
Figure I-16	Tour à charioter et à fileter.....	18
Figure I-17	Opérations de base en tournage.....	19
Figure I-18	a) Opérations de contournage, b) Travail d'enveloppe, c) Travail de forme ....	19
Figure I-19	Surfaces de la pièce.....	20
Figure I-20	La définition des trois variables : N, Vc, D.....	21
Figure I-21	Angles du taillant (outil en main).....	21
Figure I-22	Angles du taillant (outil en travail).....	22
Figure I-23	Exemple de carbures non revêtus.....	24
Figure I-24	Exemple de carbures revêtus.....	24
Figure I-25	Exemple de cermets.....	24
Figure I-26	a) Céramique pure, b) CC mélangée, c) CC à bas Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> .....	25
Figure I-27	Exemple de nitrure de bore cubique.....	25
Figure I-28	Les diamants poly-cristallins.....	26
Figure I-29	Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant.....	26
Figure I-30	Joint torique installé dans un vérin hydraulique.....	28
Figure I-31	Les quatres surfaces associées à l'évaluation d'un état de surface.....	29

Figure I-32	Profil de surface.....	30
Figure I-33	Les quatres ordres de défauts de surface.....	30
Figure I-34	a) Longueur d'évaluation et de base, b) Ligne d'enveloppe supérieure, c) Ligne moyenne .....	31
Figure I-35	Exemple de rugosité Ra et Rz .....	32
Figure I-36	a) Signe radical d'état de surface avec ses cinq localisations d'information, b) Exemple de spécification complète d'état de surface.....	33
Figure I-37	Six symboles de direction et de type des stries d'usinage.....	34
Figure I-38	Plaquette d'échantillons Viso-tactiles.....	35
Figure I-39	Principe de mesure d'un appareil à palpeur.....	36
Figure I-40	Appareil électronique de mesure a palpeur.....	36
Figure I-41	Sortie numérique et graphique d'une mesure d'état de surface.....	37
Figure I-42	Microscope à éclairage oblique.....	37
Figure I-43	Image obtenue avec un microscope interférentiel.....	38
 <b>CHAPITRE II</b>		
Figure II-1	Preparation des éprouvettes d'essais.....	44
Figure II-2	Outil à gorger.....	44
Figure II-3	Outil à charioter utilisé pour l'ébauche.....	45
Figure II-4	Machine d'essai ; une tour parallèle MULLER ET PESANT .....	46
Figure II-5	a) Plaquette utilisée, b) Bride-weise de fixait, c) Porte outil utilisé .....	46
Figure II-6	Photo d'un Pied à coulisse utilisé.....	47
Figure II-7	a) Rugosimètre en deux dimensions Surfât est SJ201, b) Étalonnage automatique.....	48
 <b>CHAPITRE III</b>		
Figure III-1	Schéma représentative d'un Éprouvettes d'essais.....	51
Figure III-2	Évolution de rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe (Vc) (m/min) pour l'acier inoxydable AISI 316 L .....	53
Figure III-3	Évolution de la rugosité maximale Rz ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe (Vc) (m/min) pour l'acier inoxydable AISI 316L.....	53
Figure III-4	Évolution de la rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la valeur de l'avance de coupe (fc) (m m/tr) pour l'acier inoxydable AISI 316L.....	55
Figure III-5	Évolution de la rugosité maximale Rz ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la valeur de l'avance de coupe (fc) (m m/tr) pour l'acier inoxydable AISI 316L .....	55
Figure III-6	Évolution de la rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe (ap), (mm) pour l'acier inoxydable AISI 316L .....	57
Figure III-7	Évolution de la rugosité maximale Rz ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur	57

	de coupe ( $a_p$ ), (mm) pour l'acier inoxydable AISI 316L .....	
Figure III-8	Évolution de la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coups $V_c$ ( m/min) pour Ti-6Al-4V.....	59
Figure III-9	Évolution de la rugosité maximale $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coups $V_c$ ( m/min) pour Ti-6Al-4V .....	59
Figure III-10	Évolution de la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de l'avance decoupe $f_c$ (mm/tr) pour Ti-6Al-4V .....	61
Figure III-11	Évolution de la rugosité maximale $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de l'avance de coupe $f_c$ (mm/tr) pour Ti-6Al-4V .....	61
Figure III-12	Évolution de la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe $a_p$ (mm) pour l'Ti-6Al-4V .....	63
Figure III-13	Évolution de la rugosité maximale $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) (mm) pour l'Ti-6Al-4V .....	63
Figure III-14	Évolution de la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) (a) et de la rugosité maximale (b) en fonction de la vitesse de coups $V_c$ (m/min) $f_c = 0.32$ mm/tr et $a_p = 1$ mm.....	64
Figure III-15	Évolution de : (a) la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) et de b) la rugosité maximale en fonction de l'avance de $f_c$ (mm/tr) $V_c = 62.8$ m/min et $a_p = 1$ mm .....	64
Figure III-16	Évolution de : a) la rugosité moyenne $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) et de b) la rugosité maximale en fonction de la profondeur de coupe $a_p$ (mm) avec $V_c = 62.8$ m/min et $f_c = 0.32$ mm/tr.....	65
Figure III-17	Topographie de surface obtenue en tournage et son profil théorique associé.....	66
Figure III-18	Évolution de la rugosité totale en fonction de l'avance en chariotage.....	66
Figure III-19	Évolution de la rugosité totale en fonction de la vitesse de coupe en chariotage.....	67
Figure III-20	Évolution de la rugosité totale en fonction de la profondeur de passe en chariotage.....	68
Figure III-21	Évolution de la rugosité totale en fonction du rayon de bec en chariotage.....	69

---

**LISTE DES TABLEAUX**
**CHAPITRE I**

<b>I-1</b> : Critères de choix pour la forme de la plaquette.....	23
<b>I-2</b> : Symbole de base d'états de surface .....	33
<b>I-3</b> : Symbolisation des différents procédés d'usinage.....	34
<b>I-4</b> : Les valeurs de Ra selon les classes de la plaquette d'échantillons.....	35
<b>I-5</b> : Procédés de fabrication et états de surface.....	38
<b>I-6</b> : Le classement des défauts par numéro d'ordre et des méthodes d'exploration.....	39

**CHAPITRE II**

<b>II-1</b> : Plan des expériences.....	48
<b>xII-2</b> : Variation des paramètres.....	49

**CHAPITRE III**

<b>III-1</b> : Plan des expériences.....	50
<b>III-2</b> : Variation des paramètres.....	50
<b>III-3</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes en acier inoxydable AISI 316L pour la variation de $V_c$ .....	52
<b>III-4</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes d'acier inoxydable AISI 316L Pour la variation de $f_c$ .....	54
<b>III-5</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes d'acier inoxydable AISI 316L Pour la variation de $a_p$ .....	56
<b>III-6</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation de $V_c$ .....	58
<b>III-7</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation de $f_c$ (mm/tr).....	60
<b>III-8</b> : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation de $a_p$ .....	62

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'objectif des travaux de recherche en fabrication mécanique a toujours été de trouver des solutions pour améliorer la productivité et la qualité des pièces usinées : faire le plus de pièces possible, le plus rapidement possible, en réduisant au mieux les coûts et les défauts de production. Le but d'une opération d'usinage est d'enlever la matière sous forme des copeaux pour produire les pièces désirées. [1]

Les procédés d'usinage par enlèvement de matière sont nombreux, comme le fraisage, le perçage, ou le tournage. L'opération de tournage permet d'usiner des pièces cylindriques, cubiques ou excentrées en fonction de la cinématique de la machine (troisième axe etc.). L'opération de fraisage (coupe discontinue) est utilisée pour usiner des pièces dont les formes ne sont pas de révolution. Nos travaux ont pour but de déterminer l'influence des différents paramètres de coupe sur la précision d'état de surface de pièces obtenus par usinage sur tour. L'étude présentée traite donc du cas du tournage, en coupe continue, afin de cerner l'influence des paramètres dans un contexte plus simple que celui du fraisage, où la coupe est discontinue. [1]

L'interface outil / copeau est un lieu d'interactions complexes entre phénomènes mécaniques, thermiques, et physico-chimique. La surface de l'outil en contact avec le copeau subit diverses formes d'usures qui sont les résultats de mécanismes tels que l'adhésion, l'abrasion, et la diffusion. La qualité des pièces produites dépend largement des conditions de coupe, et cette qualité est un paramètre important lors de la production des pièces mécaniques. [2]

Le fluide de coupe aussi est un paramètre important puisqu'il permet de limiter l'élévation de la température dans les zones de coupe et d'établir la présence d'un film fluide entre les différentes surfaces. Cependant, dans le souci de protection de l'environnement et de la santé des personnels, la tendance actuelle est de limiter et même de supprimer l'utilisation des fluides de coupe. [1]

Ce mémoire est divisé en **trois chapitres**, introduction général et conclusion,

Le **premier chapitre** est consacré aux les différentes procédés d'usinage par enlèvement de matière et étude générale du tournage, et étude et mesure de l'état de surface on donne un aperçu général sur la surface usinée, l'importance de sa qualité dans les systèmes mécaniques, les principaux défauts qui peuvent survenir, leurs définitions ainsi que les moyens utilisés pour la mesure de l'état de surface et paramètres influent sur sa précision.

Dans **le deuxième** nous présentons l'ensemble des outils mis en œuvre pour une approche expérimentale méthodique afin de caractériser l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de l'état de surface.

Et dans **le dernier chapitre** est consacré à la mesure de l'état de surface pour deux types de matériaux : un acier inoxydable AISI 316L et un alliage de Ti-6Al-4V, sous l'influence de paramètres de coupe variables ( $V_c, a_p, f_c$ ) par l'usage des outils de mesure (Rugosimetre) et représenter les résultats graphiquement et les discuter pour prouver l'influence des conditions de coupe sur la qualité d'état de surface.

Et en fin nous terminerons par une conclusion générale et les perspective a donner à ce travail nous a permis de nos familiariser avec le domaine de la recherche bibliographique et au travail dans l'atelier, ainsi que l'utilisation du matériel de mesure de l'état de surface. Pour avoir les exigences du cahier des charges d'une pièce mécanique avec le plus bas prix d'usinage possible.

**Références bibliographiques**

- [1] Mohammad Rami, *Étude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec. Mise en place de critère d'aide à la décision du changement de plaquette.*  
*Application cas de l'ébauche de turbines de pompage.* Thèse de Doctorat Université De Toulouse France (11/02/2011).
- [2] Khaider Bouacha, *Comportement du couple outil-matière lors de l'usinage des matériaux durs.*  
Thèse de Doctorat Université de 08 Mai 1945 Guelma (11/01/2011).

# *CHAPITRE I*

## *ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*

## I.1 PROCÉDES D'USINAGES

### I.1.1 Introduction

Dans le présent chapitre nous étudierons l'ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute (Fig. I-1).

L'obtention de la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication. Ces procédés de fabrication font partie de la construction mécanique. Les méthodes de fabrication varient de temps en temps pour augmenter et d'évoluer et de devenir la productivité beaucoup plus facile et plus rapide et une consommation réduite de matières premières, limitée à ces méthodes dans les quatre grands groupes qui sont :

(1) Obtention par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou coupe de matière et qui occupe une place de première importance en construction mécanique ;

(2) Obtention par sans enlèvement de matière et parmi lesquelles on peut citer :

- (a) Déformation plastique ;
- (b) Fusion (fonderie) ;
- (c) Assemblage (rivetage, boulonnage, soudage,...).

(3) Obtention par frittage. [1]

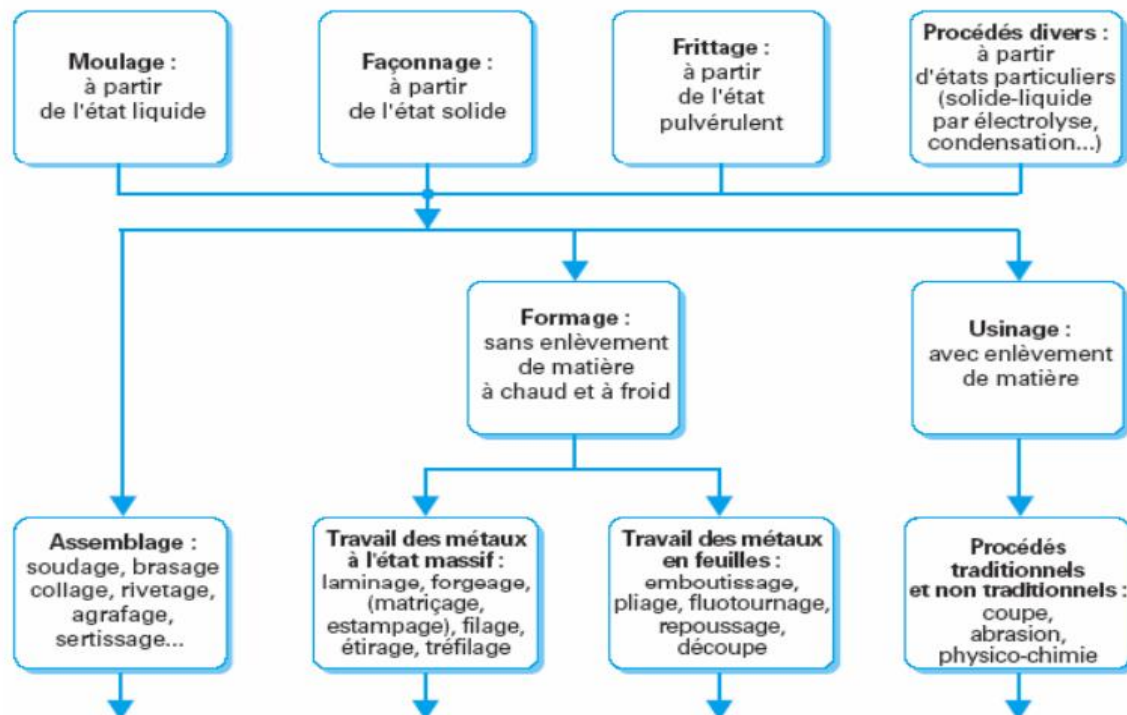


Figure I-1 : Les différents procédés de mise en forme d'une pièce en fonction de l'état de la matière. [2]

### **I.1.2 Principe d'usinage**

Le principe de l'usinage est l'enlèvement de matière par coupe du matériau constituant la pièce usinée. Cette coupe est réalisée par complémentarité des mouvements relatifs entre l'outil et la pièce. La matière détachée du reste de la pièce par la coupe se transforme en copeaux. La limaille et les copeaux produits lors des procédés d'usinage doivent être collectés et recyclés. En effet, cette perte de matière a un coût. [3]

#### **I.1.2.1 Définition**

L'usinage est un ensemble de techniques de fabrication de pièces mécaniques par enlèvement de matière. Avec l'aide de machines-outils, l'usinage permet d'obtenir des pièces d'une très grande précision. [3]

#### **I.1.2.2 Objectif d'usinage**

L'usinage consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de matière à froid et sans déformation plastique. La quantité de matière enlevée est dit copeau et le dispositif avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines-outils pour assurer l'usinage d'une pièce. (Fig. I-2)

D'où les éléments intervenant dans l'action d'usinage sont essentiellement

- la pièce à usiner ;
- un appareillage destiné à supporter la pièce nommée porte pièce ;
- un outil destiné à produire le copeau ;
- un appareillage destiné à supporter l'outil nommé porte outil ;
- une machine-outil qui assure les différents mouvements nécessaires à l'usinage.

Le schéma de la Figure I-2 est général (applicable) pour tous les procédés d'usinage déjà décrits, à savoir :

- 1) le tournage ;
- 2) le fraisage ;
- 3) le perçage ;
- 4) les procédés d'usinage par abrasion.

Les machines employées dans les ateliers d'usinage comprennent :

- les tours établis avec un encombrement et des configurations variables selon les formes, les grandeurs et les cadences de production des pièces qu'ils en sont destinés à produire ;
- les fraiseuses qui offrent plus de flexibilité par rapport aux tours en matière de création des formes plus complexes sur les pièces à usiner ;
- les perceuses employées pour générer les emplacements des vis ou des rivets dans les pièces ;
- les aléseuses destinées à l'alésage des cylindres des machines à vapeur, des corps de pompes, etc ;
- les rectifieuses qui favorisent l'obtention d'un état de surface bien meilleure que les machines déjà décrites (tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses) ;
- les raboteuses assurant le dressage des pièces telles que les bâtis des machines, les plaques de fondation, etc.

Quelle que soit la machine adoptée pour l'usinage, la procédure de travail est la même. Cette dernière ne dépend que de la fonctionnalité de la pièce dans le mécanisme où elle en doit être montée. [4]

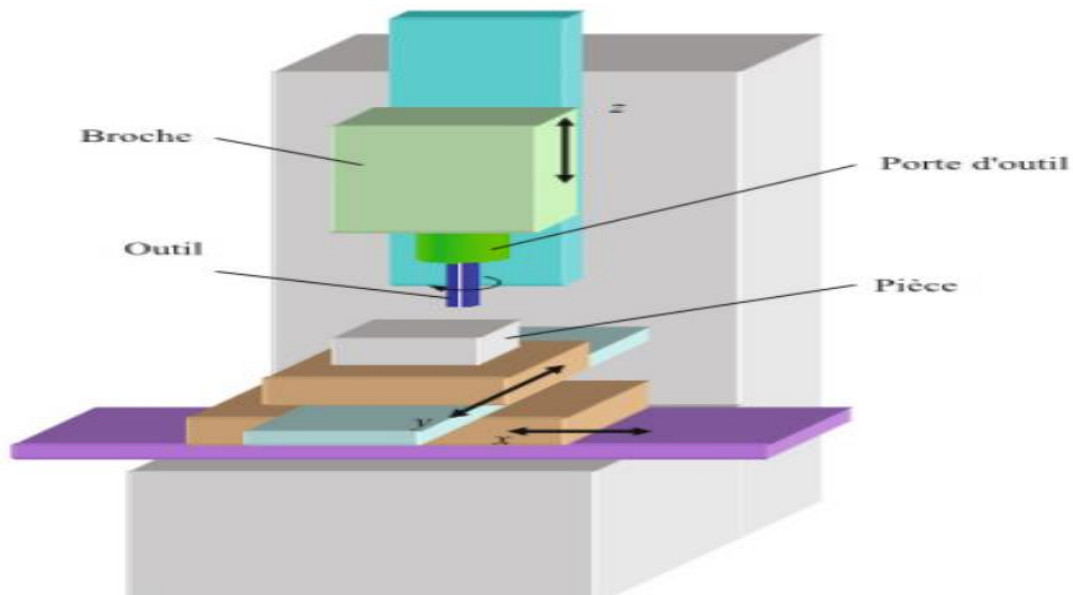


Figure I-2 : Schéma de procédés d'usinage d'une pièce. [5]

### I.1.2.3 Travail de forme et travail d'enveloppe

Dans l'usinage par outil coupant celui-ci est animé d'un mouvement adapté à la forme recherchée. La génération concerne l'ensemble des données géométriques permettant d'obtenir une

surface usinée, la génération des surfaces peut être faite selon deux modalités distinctes (parfois de façon mixte) :

### a. Par un travail de forme

Ce travail est donné par une génératrice (ligne) qui se déplace suivant une directrice, ce qui correspond à une génératrice linéaire. Le profil de la surface est donné par le tracé de l'arête tranchante sur la Figure I-3. Sont illustrée opération d'usinage (usinage d'une gorge) permettant d'effectuer un travail de forme.

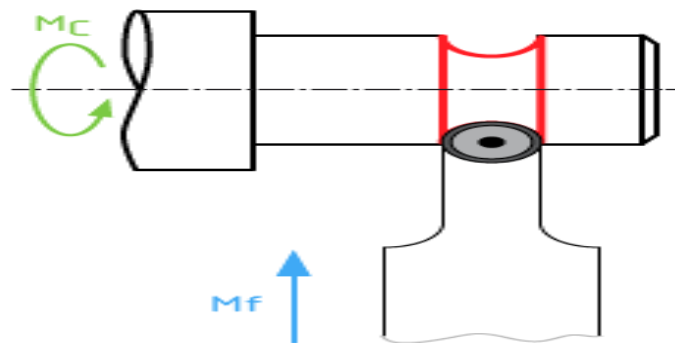


Figure I-3 : Usinage par un travail de forme. [6]

### b. Ou par un travail d'enveloppe

Ce travail est obtenu par la combinaison de deux mouvements (couple génératrice-directrice) du point générateur de l'outil, ce qui correspond à une génération ponctuelle. Le profil de la surface est donné par l'enveloppe des positions successives de l'outil. À titre d'exemple sur la figure suivante est illustré le schéma de principe d'usinage permettant l'exécution du travail d'enveloppe par chariotage d'un cylindre. [6]

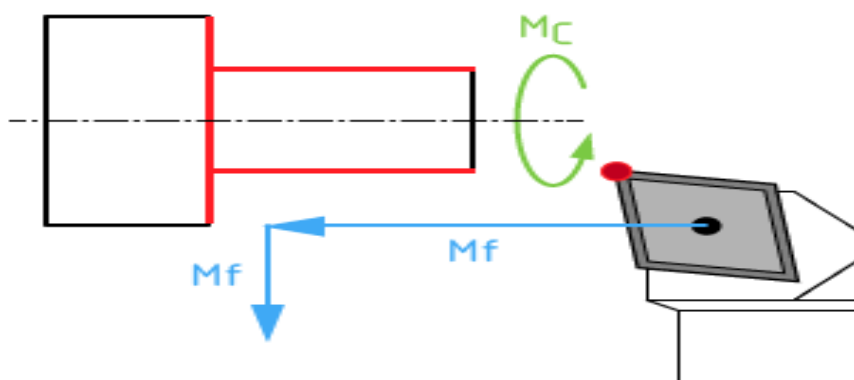


Figure I-4 : Usinage par un travail d'enveloppe. [6]

### I.1.3 Les différentes procédés de mise en forme par enlèvements de matière

#### I.1.3.1 Par coupe à l'outil tranchant

##### I.1.3.1.1 Le fraisage

###### I.1.3.1.1.1 Définition

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière. Il est caractérisé par le recours à une machine-outil appelée fraiseuse et l'utilisation d'un outil de coupe spécial (à arêtes multiples) appelé fraise. La fraiseuse est particulièrement adaptée à l'usinage des surfaces plates et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tout type de forme même complexe. La coupe en fraisage s'effectue habituellement avec des dents placées sur le périphérique et / ou sur l'extrémité d'un disque ou d'un cylindre. [1]

###### I.1.3.1.1.2 Les principes généraux de fraisage

Lors d'une opération de fraisage, l'enlèvement de la matière – sous forme de copeau- résulte de la combinaison de deux mouvements : le mouvement de rotation de l'outil sur son axe d'une part et le mouvement d'avance de la pièce suivant trois axes orthogonaux d'autre part.[1]

Ses différentes possibilités font apparaître 2 grands principes de fraisage (Fig. I-5) :

- Fraisage de face ou fraisage en bout ;

L'axe de rotation de l'outil est perpendiculaire au plan fraisé.

- Fraisage de profil ou fraisages en roulant ;

L'axe de rotation de la fraise est parallèle à la surface usinée.

On peut également effectuer un fraisage combiné, c'est-à-dire de face et se profile en même temps. [1]

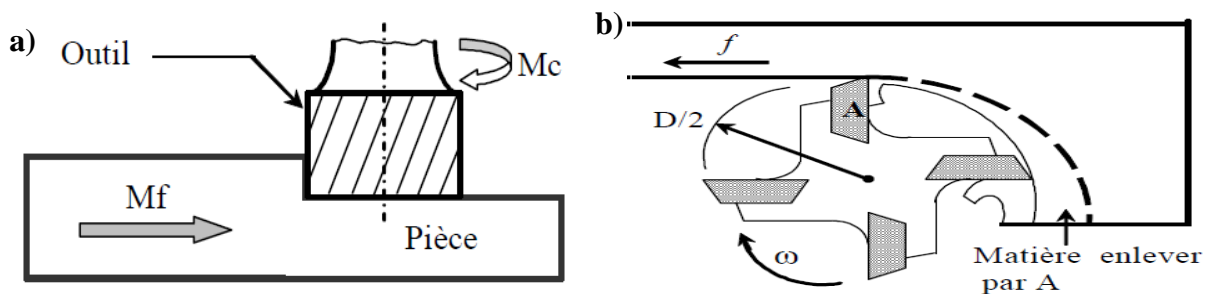


Figure I-5 : a) Fraisage de profil. b) Fraisage de face. [1]

### I.1.3.1.2 Le tournage

#### I.1.3.1.2.1 Définition

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé. [7]

#### I.1.3.1.2.2 Principe de tournage

En tournage extérieur, on peut souvent dissocier les pièces complexes en profils de coupe élémentaires pour le choix des outils et des paramètres de coupe. Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base [8] :

Tournage longitudinal ; Ou chariotage ; Dressage ; Tournage de cônes ; Contournage. [7]

Le principe du tournage est le suivant : la pièce est solidaire d'une broche tournante (donc elle tourne) et l'outil se déplace dans un plan. La trajectoire de l'outil dans son plan d'évolution donne la génératrice de la pièce de révolution.

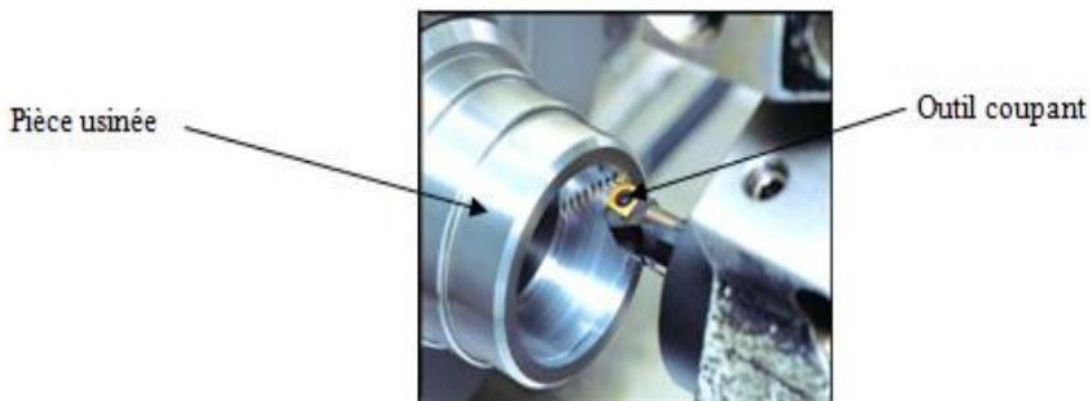


Figure I-6 : Usinage en tournage. [9]

### I.1.3.1.3 Perçage

#### I.1.3.1.3.1 Définition

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

finition comme le calibrage et le galetage. [11]



Figure I-7 : Photo d'une perçage. [1]

### I.1.3.1.3.2 Principe perçage

Le perçage est obtenu à l'aide d'un outil de coupe appelé foret. Il est animé d'un mouvement de rotation continue et d'un mouvement d'avance [11] :

- a. Le mouvement de coupe  $M_c$  : donné par la rotation de la broche ;
- b. Le mouvement d'avance  $M_a$  : donné par la translation de Fourreau.



Figure I-8 : Principe de perçage. [10]

### I.1.3.2 Par abrasion

#### I.1.3.2.1 Définition

Comme toute opération d'usinage, le travail à l'abrasif a pour objectif d'imposer à une pièce, par enlèvement de matière, des dimensions et un état de surface (rugosité et écarts de forme, intégrité mécanique et physico-chimique) vérifiant un cahier des charges. Cet enlèvement de matière s'effectue en appliquant à la pièce un chargement mécanique (forces, couples), mais, alors que dans les autres procédés mécaniques dits « de coupe » un ou quelques outils tranchants de forme bien précise – comme un foret, une fraise, une broche ou des plaquettes d'usinage – enlèvent la matière sous forme de copeaux de taille millimétrique, l'enlèvement de matière par abrasion est assuré à l'échelle micrométrique ou submicrométrique par des grains abrasifs de taille, de forme et d'orientation variables.[7]

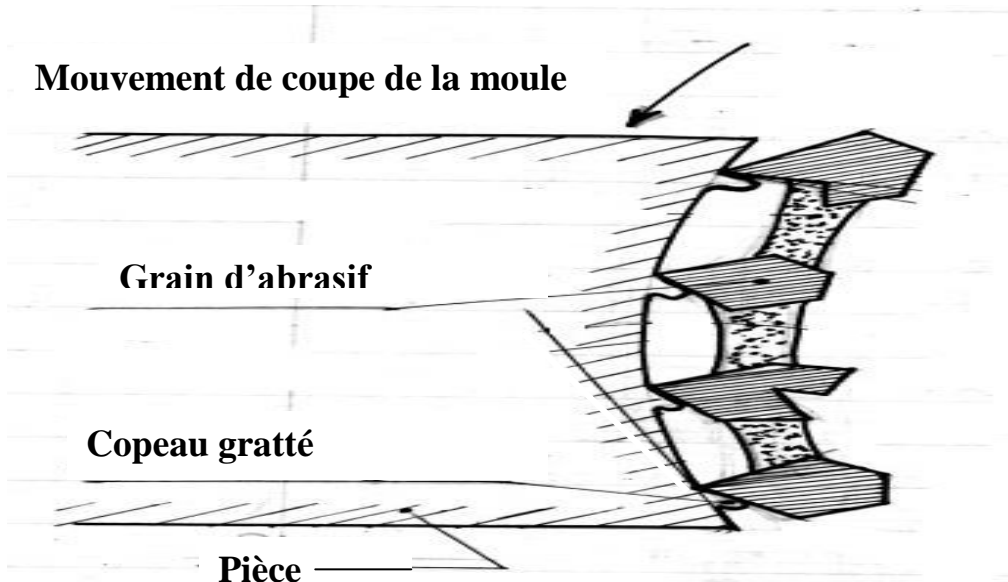


Figure I-9 : Usinage par abrasion. [12]

#### I.1.3.2.2 Principe d'usinage

Basées sur l'utilisation de grains d'abrasifs libres ou liés entre eux (meules) ou à un support (bandes, papier...), les opérations d'usinage par abrasion (abrasive machine) sont extrêmement variées : elles vont des opérations d'écrouissage à la meule des brames ou blooms d'acier élaborés par coulée continue à la réalisation par polissage des circuits micro-électroniques ou des pièces d'optique de haute résolution. En passant par la fabrication ou la finition par rectification des pièces mécaniques de toutes sortes (outils de mise en forme par déformation plastique des métaux ou par injection des polymères, pièces de roulements, éléments de machines...), le ponçage du bois, le polissage du marbre et du granite... Ainsi, certains auteurs estiment que le coût des seules

opérations de rectification représente 20 à 25 % du coût des opérations d'usinage dans un pays industrialisé. Par ailleurs, le travail par abrasion est la seule possibilité économique pour :

- a. usiner les matériaux de très hautes duretés et/ou de haute fragilité : aciers à roulement martensitiques, aciers rapides dans l'état métallurgique d'utilisation, alliages réfractaires, carbures métalliques, verres, céramiques ;
- b. réaliser les très faibles rugosités (de l'ordre du nm) indispensables à certaines applications optiques, microélectroniques, micromécaniques...

Il faut noter enfin que les interactions entre les grains abrasifs et la pièce usinée sont très proches des interactions entre pièces frottantes qui conduisent à leur usure par abrasion, une des modes d'usure les plus importants des outils de mise en forme (cylindres de laminoirs, matrices de forgeage, filières de filage et tréfilage...), des éléments de machines ou des produits manufacturés. Les performances des procédés d'usinage par abrasion ne cessent de s'améliorer du fait des besoins industriels croissants. Toutefois, malgré leur grande importance économique, les procédés d'usinage à l'abrasif restent largement méconnus et leurs aspects scientifiques mal compris et mystérieux.

Cet article, consacré aux aspects mécaniques de l'abrasion, a pour objectif de commencer un bilan des connaissances scientifiques sur ce type d'usinage ; le lecteur pourra également se reporter aux articles spécialisés de la présente rubrique pour une description plus précise des modalités de mise en œuvre des divers procédés. [13]

### **I.1.3.2.3 Rectification**

#### **I.1.3.2.3.1 Définition**

La rectification est un procédé de finition qui coûte beaucoup par rapport au fraisage ou tournage. On ne va donc l'utiliser que quand elle est nécessaire, c'est-à-dire pour les matériaux trop durs pour être usinés autrement et pour obtenir une précision (de l'ordre du micromètre) et un état de surface ( $R_a$  de l'ordre du dixième de micromètre) recherché. [14]

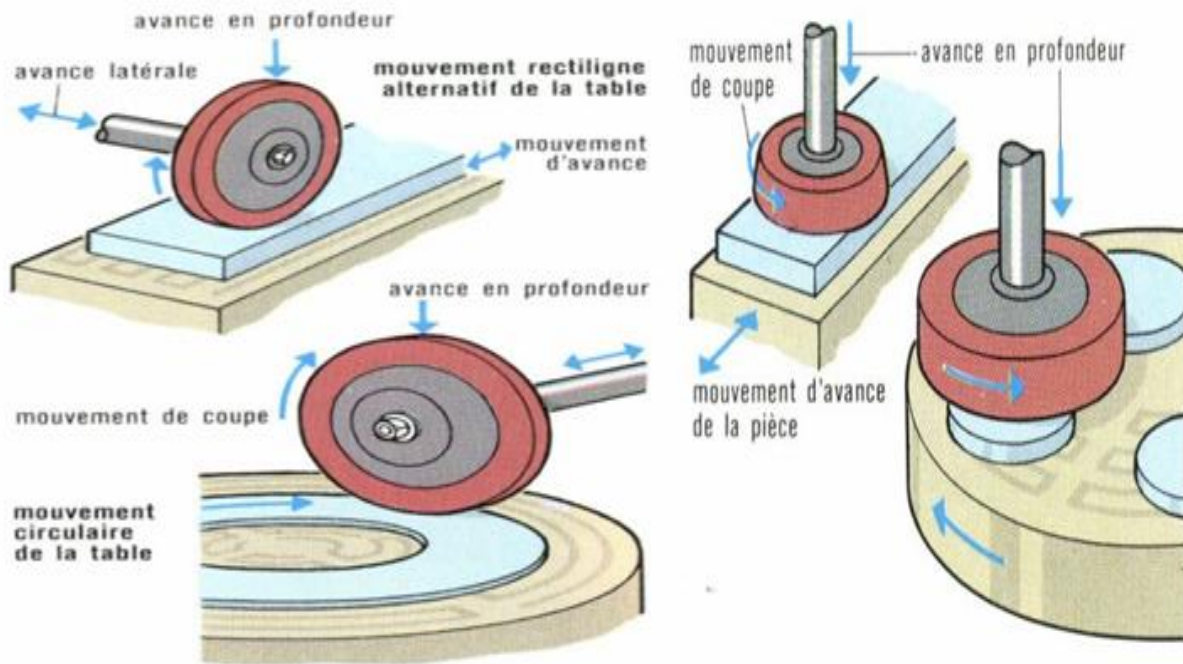


Figure I-10 : La rectification des différentes pièces. [1]

#### I.1.3.2.3.2 Principe

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet : la rectifieuse. Il s'agit de rectifier, c'est-à-dire d'approcher une surface d'une forme parfaite (en général : plan, cylindre de révolution ou cône).

La rectification est souvent utilisée dans le but de préparer des surfaces frottantes, par exemple, la portée d'un arbre qui tournera dans un palier lisse ou dans un joint d'étanchéité. Elle peut également être utilisée pour donner un profil particulier à la pièce lorsque la meule a été au préalable usinée au profil complémentaire.

La rectification plane consiste en un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau allant de 20 à 40 micromètres (0,0005 à 0,001 pouce). Ici, la pièce effectue un mouvement de va-et-vient longitudinal (qui peut être combiné avec un balayage transversal pour rectifier une largeur supérieure à la largeur de la meule).

De même, la rectification double face consiste à rectifier les deux faces de la pièce en même temps.

Dans le cas de la rectification cylindrique, la pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course parallèlement à l'axe de la meule.

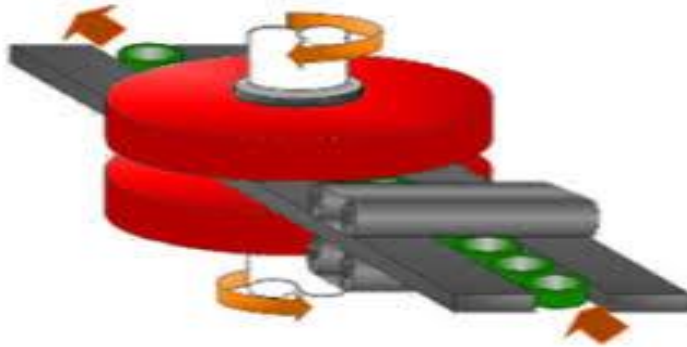


Figure I-11 : Rectification double face. [15]

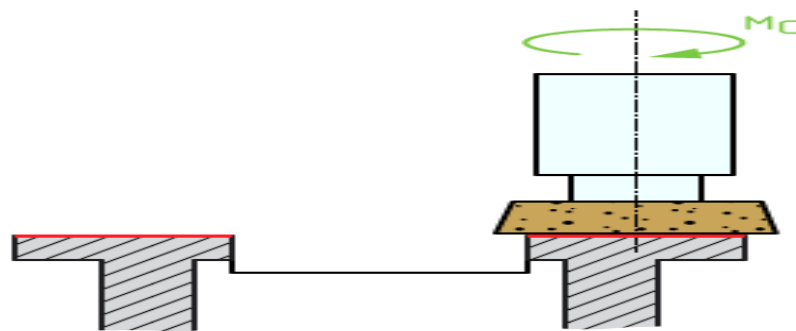


Figure I-12 : Rectification plane frontale. [16]

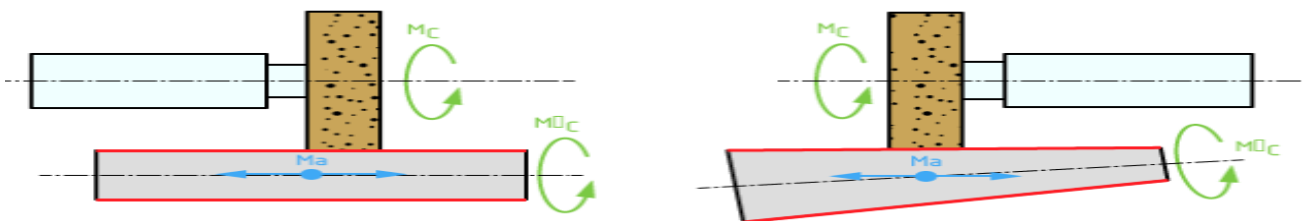


Figure I-13 : Rectification cylindrique. [6]

Aujourd'hui, avec l'apparition des nouveaux procédés d'usinage à grande vitesse, on voit également apparaître un nouveau procédé appelé rectification grande vitesse.

Contrairement à l'usinage traditionnel (enlèvement de copeaux par outils coupant), la rectification permet des usinages de précision dimensionnelle élevée grâce au principe de l'usinage par abrasion. Dans la plupart des cas de rectification, les rectifieuses ont besoin d'utiliser un liquide de refroidissement pour arroser la meule et les pièces afin ne pas faire des brulures sur les pièces produites et d'éviter un mauvais état de surface.

### I.1.3.2.4 Le rodage

#### I.1.3.2.4.1 Définition

Le rodage est une technique de finition par abrasion dont la qualité géométrique est liée à celle de la préfinitions précédant le rodage. Exemple : Chemise de cylindre pour moteur. [16]

#### I.1.3.2.4.2 Principe de rodage

La pierre abrasive de rodage est formée de plusieurs couches de grains qui se régénèrent régulièrement (Fig. I-14) les grains abrasifs se déchaussent du liant lorsque le pouvoir tranchant des arêtes est émoussé. Cette action expose des nouveaux grains abrasifs coupants au contact de la matière à usiner. Le procédé de rodage est capable de produire des alésages optimums dans des temps très courts.

Ce processeur est particulièrement économique et est une alternative compétitive aux opérations de :

- a. Rectification intérieure ; Tournage dur de précision ; Alésoir ; Galetage.

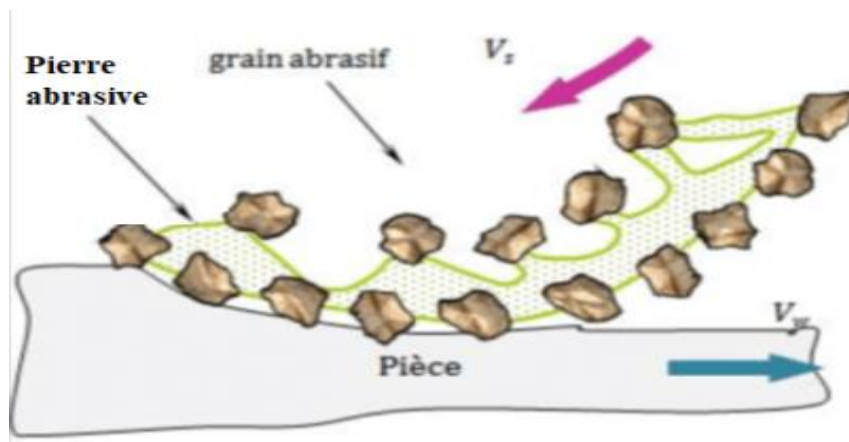


Figure I-14 : La pierre abrasive et Les grains abrasifs. [12]

### I.1.3.2.5 Polissage

#### I.1.3.2.5.1 Définition

Le polissage est l'action de polir (rendre uni et lisse par frottement). Permet de retrouver une surface lisse, éventuellement brillante essentiellement par abrasion de la surface. [17]

#### I.1.3.2.5.2 Principe de polissage

Le polissage est l'action de polir, de rendre lisse et de brillanter par abrasion. La pièce est présentée manuellement sur la surface de meules ou de disques tournant à grande vitesse et enduits ou non de pâte à polir.



Figure I-15 : Outil pneumatique pour le polissage manuel. [18]

### I.1.4 Historique

Les machines-outils d'usinage ont pour fonction via un outil mis en mouvement de remplacer la main de l'homme lors du façonnage des matières. Du tour de potier aux machines actuelles à commandes numériques, le chemin parcouru est gigantesque !

Les premières machines-outils d'usinage sont nées 3500 ans avant Jésus-Christ ! Il s'agissait alors des premiers tours des potiers qui permettaient à l'homme de fabriquer des pots et des cruches utilisés au quotidien. Le tour actionné par une pédale permettait de libérer les mains de l'homme pour le façonnage. Depuis cette époque, la machine outils d'usinage a connu de grandes avancées techniques portées notamment par de nouvelles forces d'énergie. Au fil des siècles, la force humaine et animale a été remplacée par celle du vent (moulin), le charbon, puis la vapeur, les moteurs à combustion et l'électricité. À chaque nouvelle énergie utilisée, de nouvelles applications ont été créés par l'homme, mais globalement, les grandes avancées techniques des machines-outils ont été

portées par la diversification des matières à façonner. Ainsi de la terre d'argile des débuts, la machine outils d'usinage s'est ensuite attaquée au métal, à la pierre, au bois, au verre puis plus récemment aux matières complexes comme les céramiques de haute précision, les métaux d'alliage, le plastique...

Les premières machines-outils motorisées (aléseuses, tours à charioter, perceuses) apparurent dans les années 1760 pour façonner des canons. Si la plupart des concepts de machines-outils encore en activité de nos jours ont été inventés à la fin du 18e siècle, la sophistication des concepts connut un véritable élan au 19e siècle pendant la révolution industrielle... [19]

#### **I.1.4.1 Les type de tour utilisés dans l'industrie**

Il existe différents types de machines-outils qu'on appelle tour tel que :

- Tour parallèle ;
- Tour revolver ;
- Tour en l'air ;
- Tour vertical ;
- Tour multibroche ;
- Tour à commande numérique. [20]

Ces tours peuvent être automatiques, semi-automatiques, ou à commande numérique avec calculateur. Ils se distinguent les uns des autres par leur forme, leurs dimensions, la précision d'usinage et la Puissance,...etc.

#### **I.1.4.2 Le Principe du tournage**

Le tournage est le procédé d'usinage le plus répandu, il consiste à usiner par enlèvement de métal (copeau) des surfaces de révolution cylindrique et conique, extérieures et intérieures, des surfaces profilées, des filetages...., à l'aide d'un outil généralement à arête unique normalisée. L'opération de tournage est réalisée par la combinaison de trois mouvements :

- *Le mouvement de coupe (Mc)* caractérisé par la rotation de la broche et la pièce qui en est solidaire ;
- *Le mouvement d'avance (Ma)* caractérisé par le déplacement lent de l'outil dans le sens longitudinal, transversal ou oblique par rapport à l'axe de la broche ;
- *Le mouvement de pénétration (MP)* caractérisé par le déplacement lent de l'outil dans une direction généralement perpendiculaire à (Ma).

Dans ce sous-chapitre, nous allons définir certaines notions de base concernant l'outil, la pièce et la machine-outil. [20]

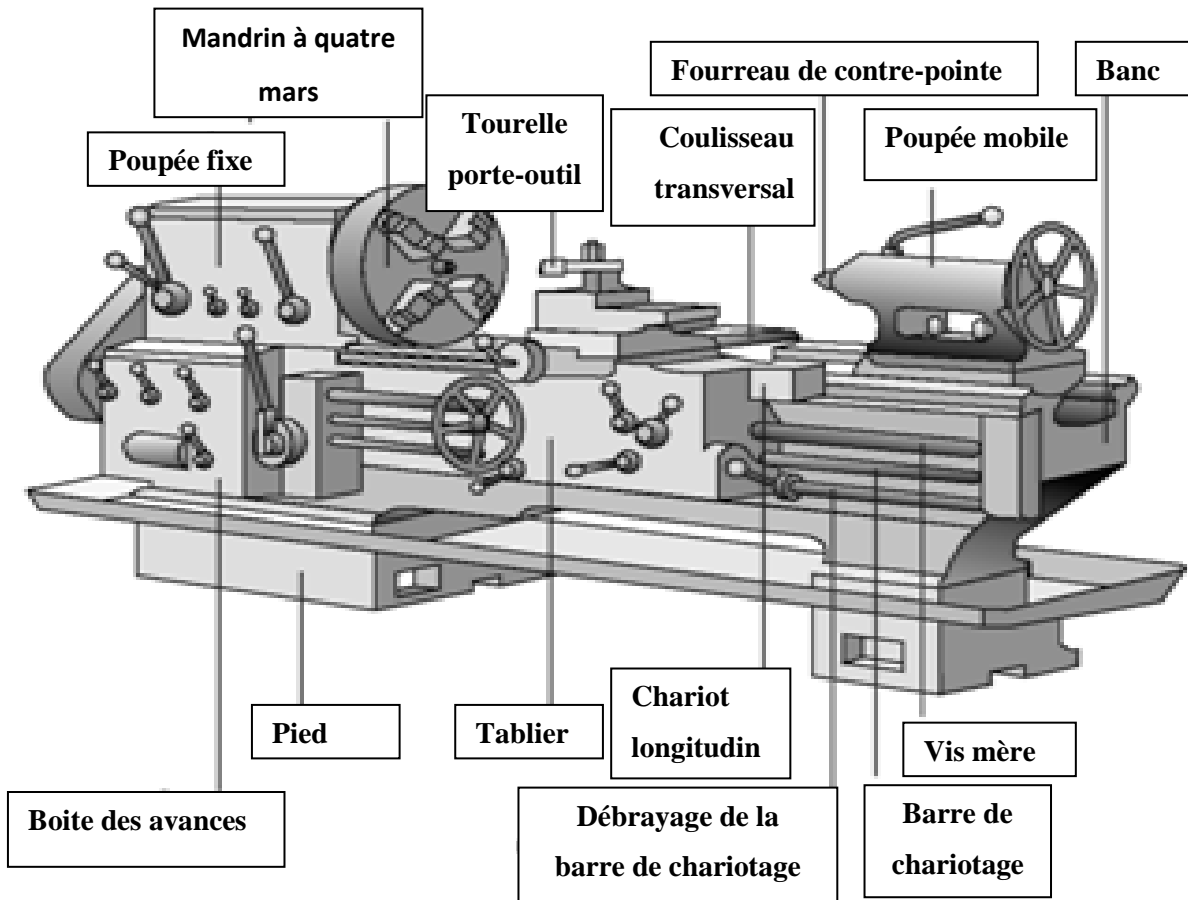


Figure I-16 : Tour à chariotier et à fileter. [21]

### I.1.4.3 Les opérations de base en tournage

- *Chariotage* : Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure ;
- *Dressage* : Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure ;
- *Rainurage* : Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un cerclips ou d'un joint torique par exemple ;
- *Chanfreinage* : Opération qui consiste à usiner un cône de petites dimensions de façon à supprimer un angle ;
- *Tronçonnage* : Opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon ;
- *Filetage* : Opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur ;
- *Perçage* : Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'un foret ;

- *Alésage* : Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure. Le profil ainsi défini numériquement remplace le concept de gabarit de copiage. [22]

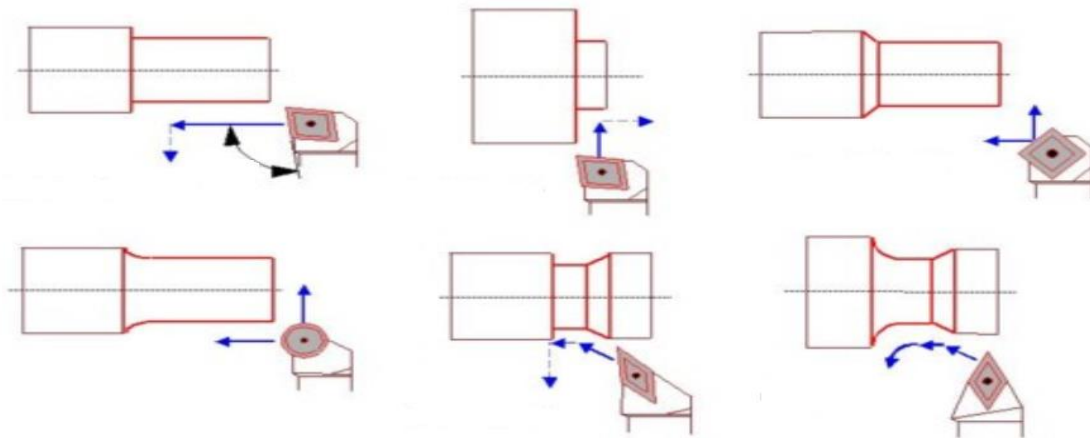


Figure I-17 : Opérations de base en tournage. [23]

Sur un tour CNC, les cas précédents deviennent en fait des cas particuliers du contournage. (Fig. I-18.a).

Ses différentes opérations correspondent à un usinage dit « de génération » ou « d'enveloppe » : la forme obtenue, à l'échelle macrogéométrique, ne doit rien à la forme de l'outil qui l'a générée (Fig. I-18.b). En d'autres termes, la forme obtenue dépend uniquement de la trajectoire de l'outil, à la rugosité près.



Figure I-18 : a) Opérations de contournage. b) travail d'enveloppe. c) travail de forme. [3]

#### I.1.4.4 Principaux éléments d'une pièce en tournage

La Figure I-19 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 de l'eau 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 ».

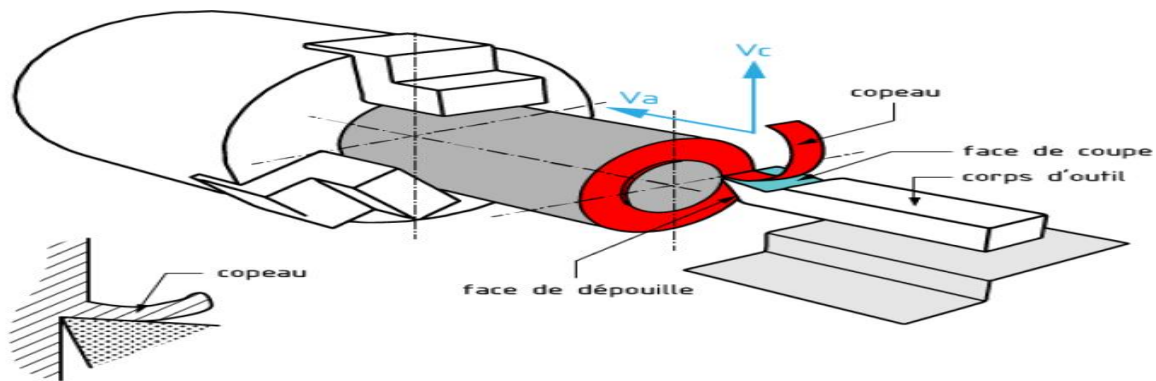


Figure I-19 : Surfaces de la pièce. [24]

#### I.1.4.5 Les paramètres de coupe

Lors d'un usinage par enlèvement de matière, on se retrouve, dans la majorité des cas, dans la configuration suivante (voir Figure ci-dessous) :

- 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 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.

##### a. Vitesse de coupe : $V_c$ [m/min]

La vitesse de coupe est l'espace parcouru en mètres par un point de la pièce (lorsque cette dernière tourne) en 1 minute.

Unité :  $V_c$  en m/min ;

##### b. Vitesse d'avance : $f_c$ [mm/min]

Cela correspond à la vitesse de déplacement de l'outil sur la trajectoire d'usinage. C'est cette trajectoire qu'il faut suivre afin que l'outil usine la forme souhaitée.

Unité :  $f_c$  en mm/min ;

##### c. Profondeur de passe : $a_p$ [mm]

La combinaison de  $f_c$  et  $a_p$  permet de déterminer le volume du copeau. La profondeur de passe est nécessaire afin de déterminer la quantité de matière qui va être séparée de la pièce sous forme de copeau.

Unité :  $a_p$  en mm.

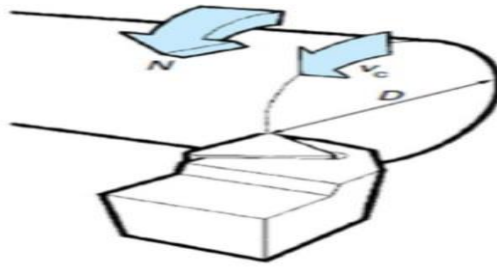


Figure I-20 : La définition des trois variables : N, Vc, D. [25]

#### I.1.4.6 Géométrie de l'outil de coupe en tournage

La distance entre la surface de la pièce et la surface engendrée sont appelées profondeur de coupe. Cependant, afin d'arriver à la dimension finale de la pièce, on doit souvent effectuer plusieurs passes. La passe est définie comme la couche de matière de la pièce qui doit être enlevée par un passage unique de l'outil de coupe. La partie de matière usinée entre la surface de la pièce et la surface finale désirée (après avoir effectué toutes les passes nécessaires) est appelée surépaisseur d'usinage. On appelle la coupe la couche de matière qui est enlevée par une action unique de la partie active et transformée en copeaux. [26]

##### I.1.4.6.1 Angles de l'outil

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes. La Figure I-21 illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux du taillant, l'angle de dépouille, l'angle de taillant et l'angle de coupe.

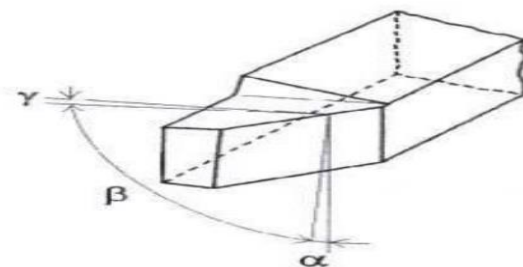
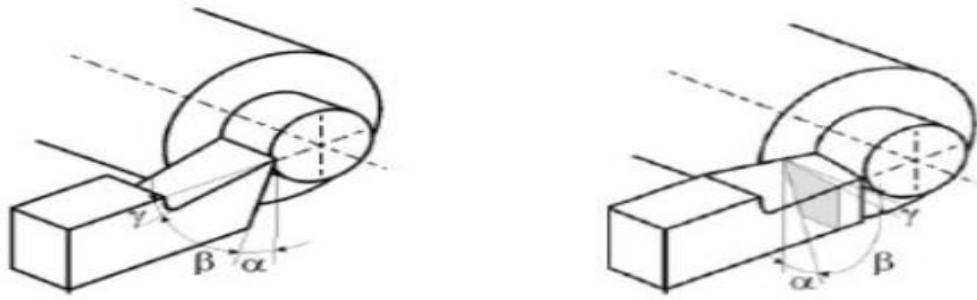


Figure I-21 : Angles du taillant (outil en main). [26]

La Figure I-22 illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).



**Figure I-22 :** Angles du taillant (outil en travail). [26]

Globalement, l'angle de dépouille  $\alpha$  influé sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe  $\gamma$  a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc. L'angle de taillant  $\beta$  affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à  $90^\circ$ .

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Dans le cas où la somme est supérieure à  $90^\circ$ , on parle de coupe négative ( $\gamma$  négatif). [26]

Les outils de tournage actuels sont constitués la plupart du temps d'une porte-plaquette muni d'un dispositif de fixation de la plaquette et d'une plaquette interchangeable constituée d'une matière plus dure et comportant plusieurs arêtes de coupe. Le changement d'arête de coupe intervient lorsque l'arête en service a atteint un degré d'usure qui l'empêche de respecter les tolérances des cotes à réaliser, ou la rugosité spécifiée, ou encore qui risque d'entraîner la rupture à plus ou moins brève échéance. Pour effectuer le choix d'un outil de tournage, les paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- Matière de la pièce, usinabilité ;
- Configuration de la pièce : forme, dimension, surépaisseurs d'usinage ;
- Limitations : tolérances, état de surface ;
- Machine : type, puissance, conditions d'utilisation et caractéristiques ;
- Stabilité, rigidité de la prise de pièce et de la pièce. [26]

**Tableau I-1** : Critères de choix pour la forme de la plaquette.

Facteur affectant le choix	R	90	80	80	60	55	35
Ébauche lourde	•	•	•	○	○		
Ébauche légère ; semi-finition		○	•	•	•	•	
Finition (complexité de forme)			○	○	•	•	•
Contour mage (accessibilité)			○	○	○	•	•
Diversité d'opérations	○		•	○	○	•	○
Puissance machine limitée			○	○	•	•	•
Limitation de la tendance aux vibrations				○	•	•	
Matériau usiné dur	•	•					
Coupe intermittente	•	•	○	○	○		
Grand angle d'arête			•	•	•	•	•
Petit angle d'arête		•		•	•		
	Le mieux adapté •			Adapté ○			

**I.1.4.7 Matières de la plaquette**

Les principales matières utilisées pour les outils de tournage modernes sont les suivantes :

- Carbures revêtus (GC) ;
- Carbures non revêtus (C) ;
- Cermets (CT) ;
- Céramiques (CC) ;
- Nitrures de bore cubiques (CB) ;
- Diamants poly cristallins (CD). [27]

**I.1.4.7.1 Les carbures non revêtus (C)**

Ils sont obtenus par frittage (métallurgie des poudres) de substance dure (carbures de tungstène, de titane...) et de substance liante (cobalt...) qui confère sa ténacité à la plaquette.

Ces carbures non revêtus sont aujourd'hui utilisés dans des opérations spéciales, hors du domaine standard.

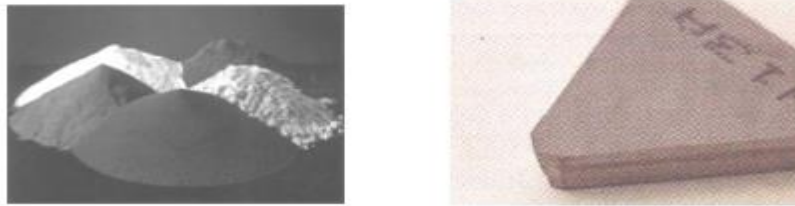


Figure I-23 : Exemple de Carbures non revêtus. [28]

#### I.1.4.7.2 Les carbures revêtus

Ils sont recouverts d'une couche de quelques micromètres de nitrure ou de carbure de titane, ou encore d'oxyde d'aluminium (Fig. I-24).

Ces revêtements, en réduisant les frottements copeau/outil et pièce/outil, améliorent très nettement les possibilités des outils. Ils sont les plus utilisés dans un très grand nombre d'opérations de tournage, pour tous types d'usinage et pour une grande diversité de matières de pièces.

C'est donc le choix à envisager en priorité pour la plupart des opérations d'usinage.



Figure I-24 : Exemple de Carbures revêtus. [28]

#### I.1.4.7.3 Les cermets

Ils sont des carbures à base de titane, liés au nickel et/ ou au cobalt. Ils conviennent pour l'ébauche légère et la finition dans des conditions favorables, en ce qui concerne la pièce et la machine-outil. La finition est leur spécialité, avec pour caractéristique un état de surface de haute qualité (Fig. I-25).



Figure I-25 : Exemple de cermets. [28]

#### I.1.4.7.4 Les céramiques (CC)

Ils constituent un éventail de nuances adaptées à une gamme étendue d'opérations. Cela va de la fonte et de l'acier à l'usinage hautement spécialisé de matières réfractaires et d'acier trempé. Le besoin de rectification, par exemple, peut être éliminé lorsqu'on recourt aux plaquettes céramiques pour le tournage. Extrêmement productives quand elles sont utilisées à bon escient, elles exigent toutefois un contexte d'usinage précis en matière de stabilité, de conditions de coupe, d'arête de coupe et de type de coupe. Les plaquettes céramiques sont conçues pour un taux élevé d'enlèvement de matière dans les situations où la précision décotes et la qualité du fini de surface doivent demeurer inchangées tout au long de la durée de vie de l'outil. Cependant, elles ne conviennent pas pour certaines matières (Fig. I-26).

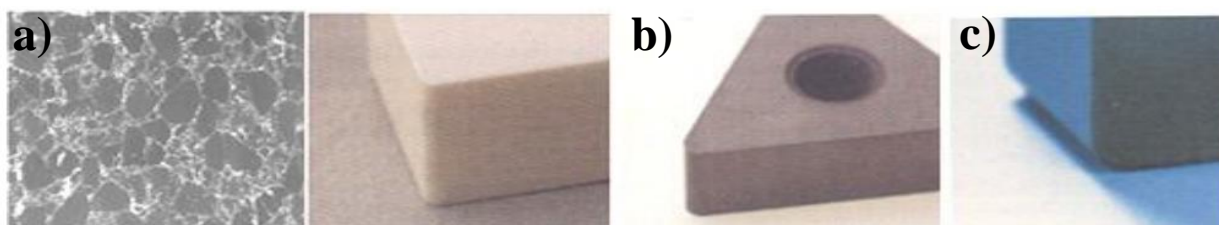


Figure I-26 : a) Céramique pure. b) CC mélangée. c) CC à bas Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. [28]

#### I.1.4.7.5 Le nitrure de bore cubique (CB)

C'est une matière très dure, adaptée au tournage d'acier trempé, de fonte en coquille et d'alliages à base de nickel ou de cobalt. Les impératifs sont ici très rigoureux au niveau des conditions de coupe et de l'arête de coupe.

La productivité et la longévité sont nettement supérieures à celles des plaquettes céramiques ou en carbure, lorsqu'elles sont utilisées correctement. Les plaquettes en nitrure de bore cubique sont destinées en premier lieu à la finition (Fig. I-27).



Figure I-27 : Plaquette de nitrure de bore cubique. [28]

#### I.3.7.6 Les diamants poly-cristallins (CD)

Ils ont un domaine d'utilisation complètement différent, étant donné qu'ils sont totalement inappropriés pour les métaux contenant du carbone. Ils sont utilisés en finition et demi-finition pour les métaux non ferreux et les matières non métalliques (Fig. I-28).



Figure I-28 : Les diamants poly cristallins. [28]

On peut aussi récapituler les domaines d'emploi des différents matériaux d'outils (en incluant l'acier rapide) dans le diagramme (Fig. I-29).

Ce diagramme est donné à titre indicatif pour situer les différents domaines des matériaux à outils. Il est représentatif des conditions normales d'utilisation de ces outils, en ébauche, pour les aciers et les fontes. Il ne peut être utilisé pour choisir les conditions de coupe.

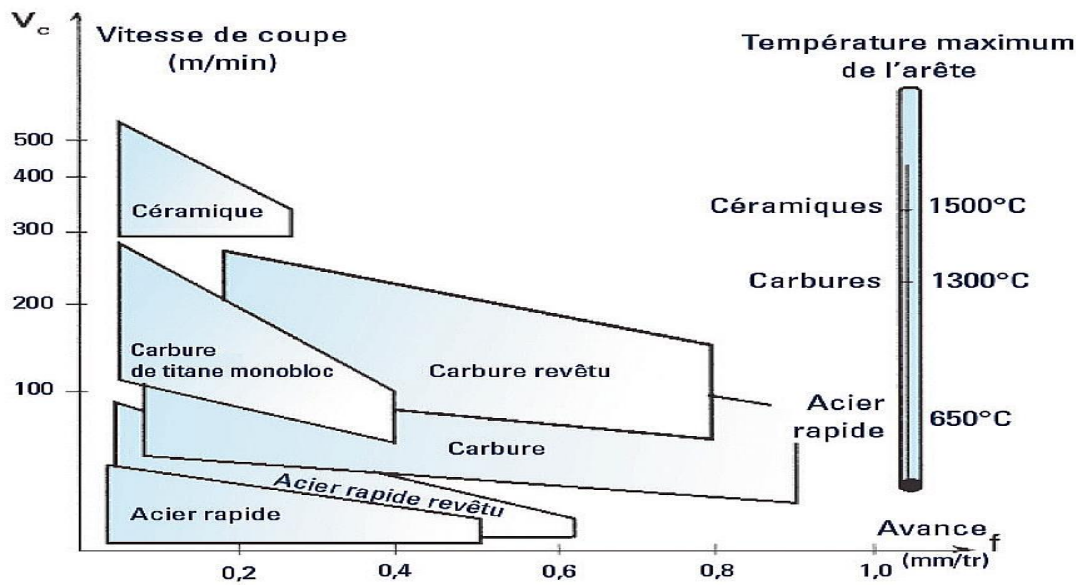


Figure I- 29 : Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant. [28].

### **I.1.5 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons étudié l'obtention par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou la coupe de matière et qui occupe une primordiale place dans la construction mécanique, il se fait par :

- coupe à l'outil tranchant : fraisage, tournage, perçage ;
- abrasion : rectification, rodage, polissage.

C'est une étude approfondie du Tournage : le principe, l'opération et paramètre de coupe et matière de la plaquette en tournage...etc.

## I.2 MESURE D'ETAT DE SURFACE

### I.2.1 Introduction

Les propriétés des solides et leur comportement dépendent, souvent des caractéristiques de leurs surfaces que de leurs propriétés massiques ou volumiques. La surface d'un corps solide est la partie de ce solide qui le limite dans l'espace et le sépare du milieu environnant, elle est prépondérante pour assurer des fonctions telles que l'aptitude aux frottements, la résistance à l'usure ou la corrosion, conduction thermique et électrique, résistance à la contrainte mécanique, étanchéité statique ou dynamique, aspect, etc. [29]

L'État de surface est également à considérer lorsque des joints d'étanchéité sont installés entre des surfaces. Dans la Figure I-30 un joint d'étanchéité torique est monté sur le piston d'un vérin hydraulique. Le détail du contact joint/alésage est repris dans le détail B. L'étanchéité souhaitée et la vie du joint dépendent de l'État de surface de l'alésage du vérin. [30]

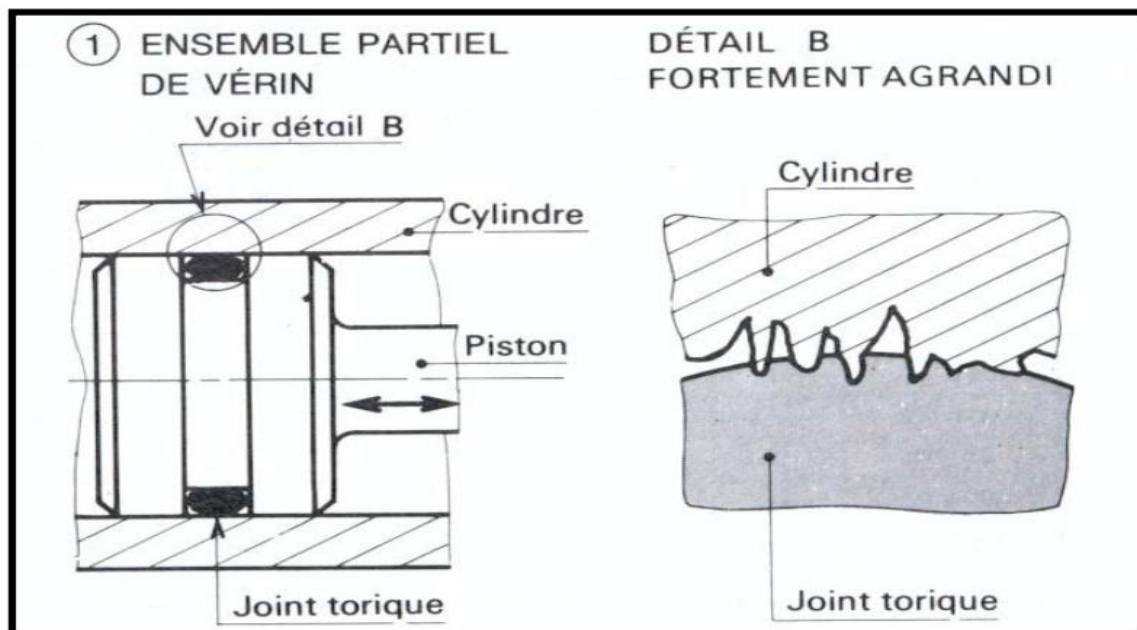


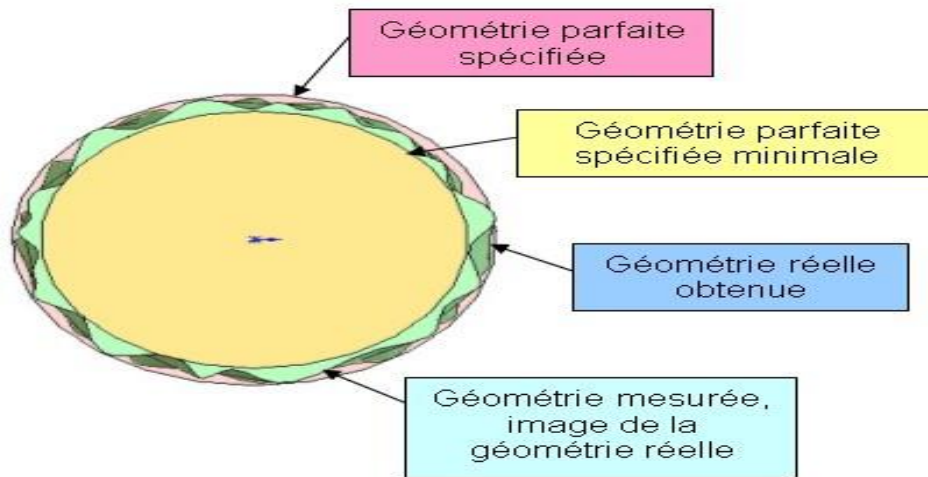
Figure I-30 : Joint torique installé dans un vérin hydraulique. [31]

### I.2.2 Géométrie des surfaces

- a. **Géométrie nominale** Il s'agit du volume virtuel parfait délimité par des surfaces élémentaires parfaites définies par des côtes nominales ;
- b. **Géométrie réelle** C'est l'ensemble des surfaces obtenues après la mise en œuvre des divers procédés de fabrication ;

**c. Géométrie spécifiée** C'est le volume précédent auquel on affecte des tolérances délimitant les frontières théoriques à ne pas dépasser par la pièce réelle. Ce sont les dimensions et spécifications géométriques de position, d'orientation, de battement qui délimite cette géométrie ;

**d. Géométrie mesurée** C'est l'image de la géométrie réelle résultant de la mesure. Ce résultat est différent selon le type d'appareils utilisé (micromètre, calibre, colonne de mesure, machine à mesurer...) et le protocole de mesure utilisé (position des touches du micromètre, nombre et position des points de palpation, modèle mathématique utilisé par le calculateur....). [29]



**Figure I-31** : Les quatre surfaces associées à l'évaluation d'un état de surface. [29]

### I.2.3 Analyse d'une surface

L'aptitude d'une pièce à remplir une fonction donnée dépend de nombreux facteurs, notamment des caractéristiques de son état de surface. L'état de surface est caractérisé par la micro-géométrie de la surface, qui joue un rôle important dans certaines fonctions telles que le frottement, le glissement, le roulement, l'étanchéité, parfois même l'aspect. Pour que les pièces puissent être contrôlées, il faut chiffrer les caractéristiques d'une surface. La définition des caractéristiques d'une surface se fait sur un profil de cette surface. (Fig. I-32) les défauts détectés sont classés en quatre ordres qui sont schématisés dans la Figure I-33. [32]

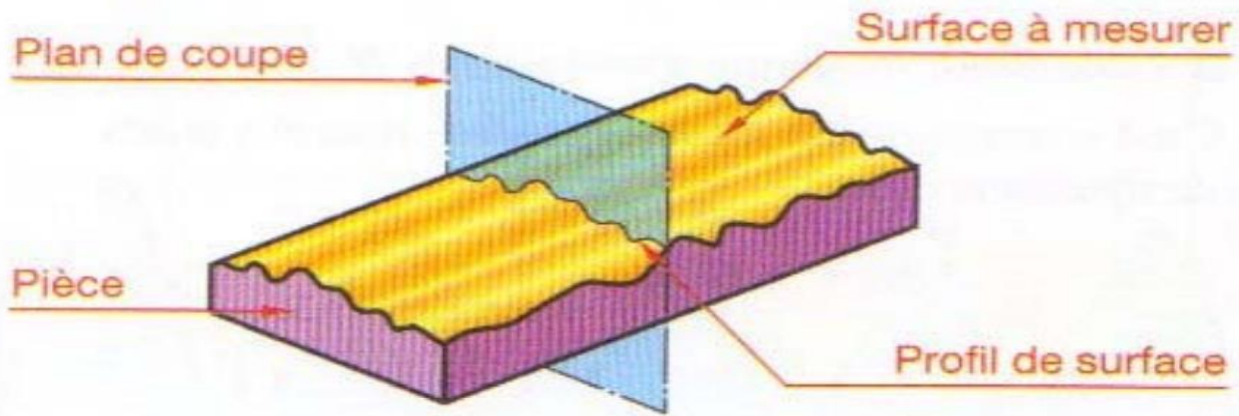


Figure I-32 : Profil de surface. [33]

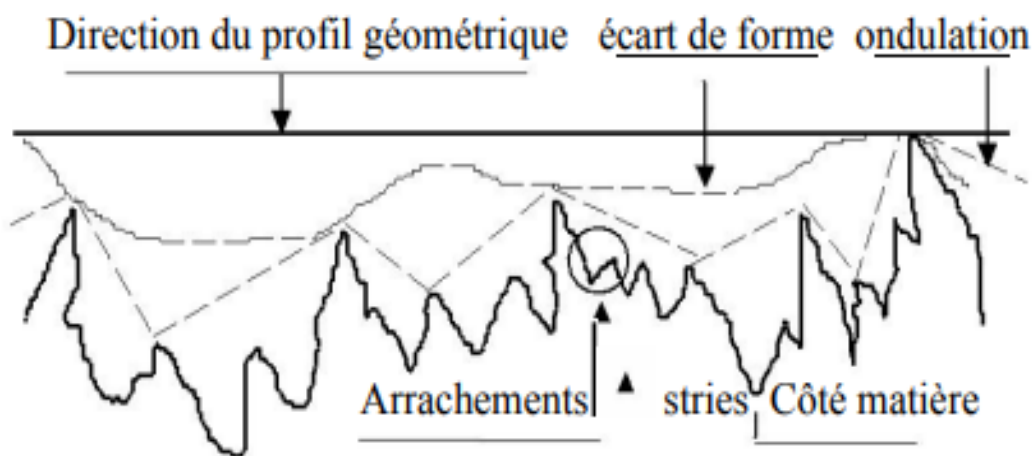


Figure I-33 : Les quatre ordres de défauts de surface. [29]

1<sup>er</sup> Ordre : *Écart de forme*. Ces défauts affectent la résistance au roulement ainsi que les étanchéités statique et dynamique. Aussi appelés rectitude, planéité, cylindricité, conicité etc.

2<sup>ème</sup> Ordre : *Ondulation*. Ces défauts proviennent généralement des traces d'avance d'outil et créent l'usure accélérée ainsi que par la majorité des saillies.

Les défauts suivants, de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> Ordre, représentent la *rugosité de surface* :

3<sup>ème</sup> Ordre : *Strie-sillon*. Ils proviennent de l'arrachement normal de la matière et affectent l'écoulement de fluides ainsi que l'étanchéité aux surfaces en contact ;

4<sup>ème</sup> Ordre : *Fente-piqûre*. Ce type de défauts apériodiques provient d'arrachements prononcés de matière. Il a un grand effet sur la résistance de la pièce en fatigue. [30]

#### I.2.4 Caractéristiques du profil

- a. *La longueur d'évaluation  $l_n$*  : c'est la longueur, mesuré suivant la droite d'orientation générale, de la partie de profil utilisée pour le calcul des paramètres caractéristiques. (Fig. I-34a) ;

- b. *Longueur de base  $l_r$*  : c'est une partie de la longueur de base qui sert à séparer les irrégularités du profil.  $L = n \times l_r$  avec  $n$  entier. (Fig. I-34a) ;
- c. *Ligne enveloppe supérieure* : C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus hauts des saillies Locales du profil. (Fig. I.34-b) ;
- d. *Ligne moyenne* : cette ligne n'appartient pas à la surface de référence est la ligne moyenne. elle peut être définie de façons ; - Ligne des moindres carrés à l'intérieur de la longueur de base». la somme des aires comprises entre elle et le profil est égale de partent et d'autres (Fig. I-34c). [32]

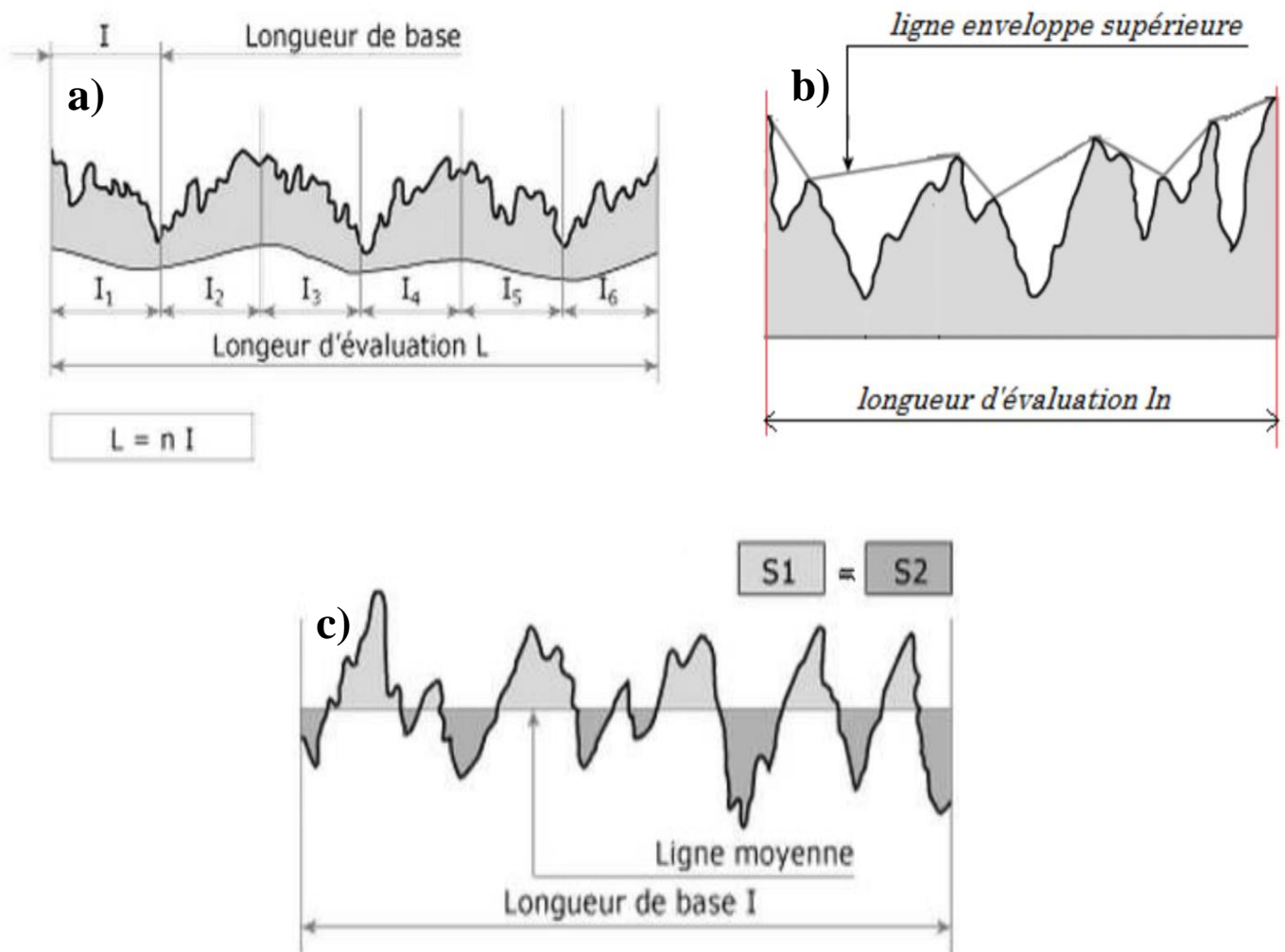


Figure I-34 : a) Longueur d'évaluation et de base. b) Ligne d'enveloppe supérieure. c) Ligne moyenne. [34]

### I.2.5 Les paramètres de la rugosité

- a. *Rugosité  $R_z$*  : Hauteur maximale du profil Distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux ;
- b. *Rugosité  $R_a$*  : Écart moyen arithmétique du profil. Corresponds à la moyenne des valeurs

absolues des écarts entre le profil et une ligne moyenne de ce profil.

Remarque : valeurs exprimées en  $\mu\text{m}$ .

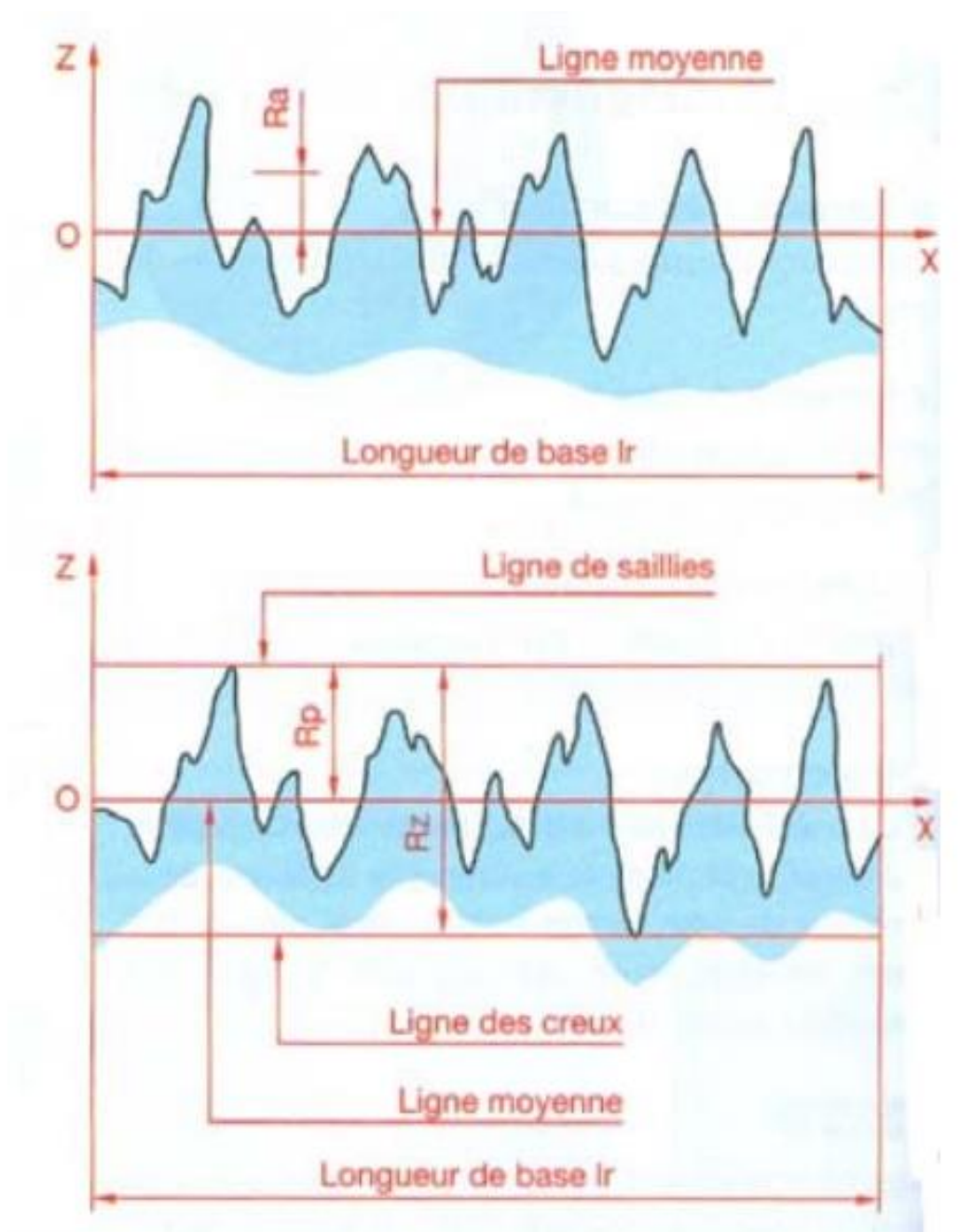


Figure I-35 : Exemple de rugosité  $R_a$  et  $R_z$

### I.2.6 Indications des exigences d'états de surface

Les indications des exigences d'états de surface sont précisées à l'aide de symboles graphiques et d'indications textuelles. Le Tableau I-3 indique la signification de chaque symbole graphique.

Ces symboles graphiques doivent être complétés par l'indication d'un ou plusieurs paramètres

d'états avec leur valeur numérique.

Il est parfois nécessaire de préciser d'autres exigences, telles que le procédé de fabrication, les conditions de mesures, etc. (Tableau I-2).

Sur une pièce mécanique, les spécifications d'état de surface n'apparaissent que sur les surfaces jouant un rôle fonctionnel, exemple : surfaces de frottement, de glissement et de roulement, surfaces devant recevoir un dépôt électrolytique ou un revêtement de peinture. Les surfaces des pièces sollicitées à des forces cycliques doivent aussi répondre à des exigences de rugosité car la vie de la pièce est directement liée à l'état de surface.

Les spécifications d'état de surface englobent plusieurs informations qui sont regroupées autour d'un signe radical apposé sur la surface telle que le montre la Figure I-36 [29]

Tableau I-2 : Symbole de base d'états de surface.

Observations	L'enlèvement de matière par usinage		
	Facultatif	Obligatoire	Interdit
Surface avec rugosité Ra maxi de $3,2\mu m$			
Surface avec rugosité Ra maxi de $6,3\mu m$ et de Ra mini de $1,6\mu m$			
Surface avec autre que Ra ici Ry maxi vaux $0,4\mu m$			
Surface avec rugosité autre que Ra. Rz maxi vaux $0,8\mu m$ et Rz mini $0,4\mu m$			

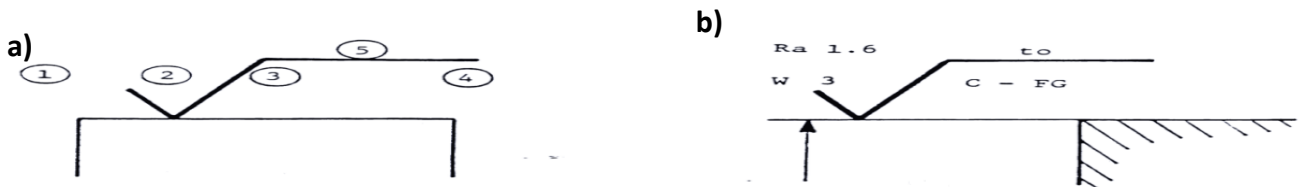


Figure I-36 : a) Signe radical d'état de surface avec ses cinq localisations d'information. b) Exemple de spécification complète d'état de surface. [31]

La Figure I-36.a représenté seulement les localisations 1, 2, 3, 4 et 5 autour du signe radical, l'attribution de chacune de ces localisations est définie dans le texte. Un exemple de spécification

complété d'état de surface est repris à la Figure I-36.b.

Attributions des localisations à la Figure I-36 :

- ① critère d'état surface demandé (un ou plusieurs) ;
- ② valeur du critère (un ou plusieurs) ;
- ③ direction des stries par rapport à la surface (dia 2/4) (Fig. I-37) ;
- ④ Fonction de la surface ;
- ⑤ Procédé d'élaboration proposé. (Tableau I-3). [31]

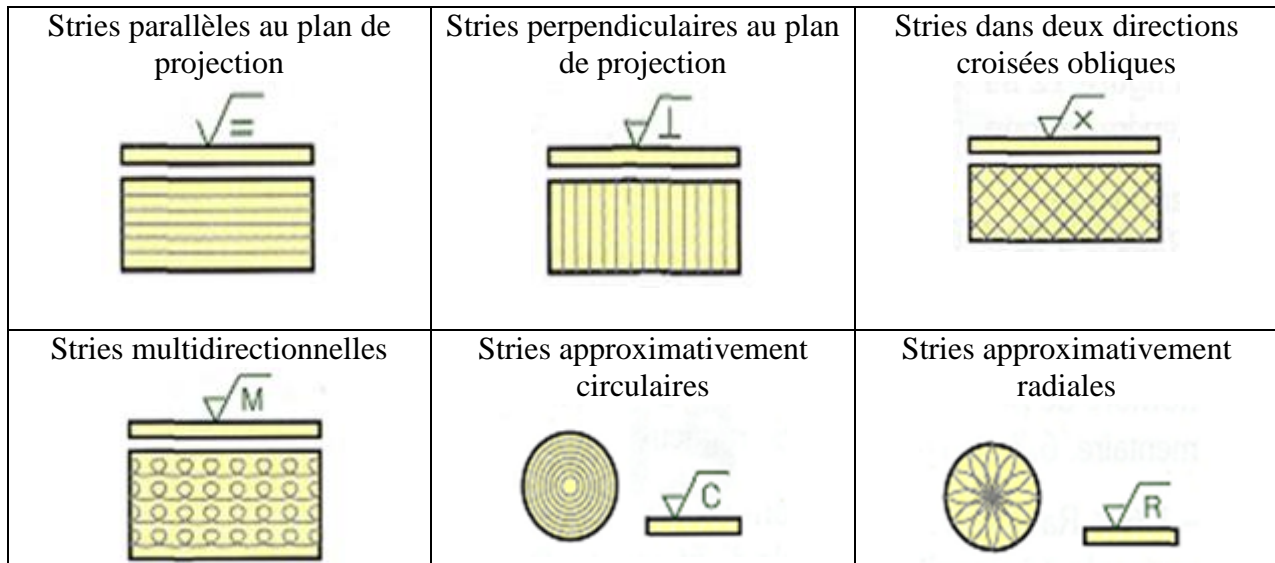


Figure I-37 : Six symboles de direction et de type des stries d'usinage. [31]

Tableau I-3 : Symbolisation des différents procédés d'usinage.

Symboles normalisés procédés d'élaboration					
Alésage	<b>Al</b>	Forgeage	<b>Fo</b>	Perçage	<b>Pe</b>
Brochage	<b>Br</b>	Galetage	<b>Ga</b>	Pierrage	<b>Pi</b>
Découpage	<b>De</b>	Grattage	<b>Gr</b>	Polissage	<b>Po</b>
Dressage	<b>Dr</b>	Grenailage angulaire	<b>Gna</b>	Rabotage	<b>Rb</b>
Électroérosion	<b>Eé</b>	Grenailage sphérique	<b>Gns</b>	Rectification cylindrique	<b>Rcc</b>
Électroformage	<b>Ef</b>	Lampage	<b>Lm</b>	Rectification plane	<b>Rcp</b>
Estompage	<b>Es</b>	Laminage à chaud	<b>Lac</b>	Rodage	<b>Rd</b>
Étincelage	<b>Ei</b>	Laminage à froid	<b>Laf</b>	Sablage à humide	<b>Sah</b>
Étirage	<b>Et</b>	Matriçage	<b>Ma</b>	Sablage à sec	<b>Sas</b>
Filetage	<b>Fl</b>	Meulage	<b>Me</b>	Sciage	<b>Sc</b>
Fraisage en bout	<b>Fr<b>b</b></b>	Meulage coquille	<b>Moc</b>	Superfinition	<b>Sf</b>
Fraisage en roulet	<b>Frr</b>	Meulage sable	<b>Mos</b>	Tournage	<b>To</b>

### I.2.7 Les appareils de mesure d'état de surface

Une surface, quel que soit son procédé de fabrication, n'est pas une surface parfaitement lisse : selon la méthode d'usinage et les outils utilisés, mais aussi selon le matériau, elle présente de nombreuses irrégularités, micro-géométriques ou macro-géométriques. Ces irrégularités sont définies par comparaison avec une ligne "moyenne" et sont classées en deux catégories : des aspérités ou "pics", et des cavités ou "creux". L'ensemble de ces défauts de surface constitue la rugosité. La rugosité d'une surface donnée peut être déterminée par la mesure d'un certain nombre de paramètres. [35]

#### I.2.7.1 Les échantillons Viso-tactiles

La Figure I-37 montre une plaquette d'échantillons Viso-tactiles obtenus par usinages contrôlés. Les échantillons ont des rugosités graduelles bien identifiées suivent le procédé d'usinage. Le tableau I-4 montre la valeur de Ra pour chaque classe de la plaque d'échantillons. Ces échantillons permettent une comparaison visuelle ou au toucher avec la pièce usinée. L'opérateur estime l'échantillon le plus proche de la surface usinée.

Cette méthode, peu coûteuse et rapide, est très flexible dans son application quoiqu'elle ne procure pas une mesure rigoureuse. [34]



Figure I-38 : Plaquette d'échantillons Viso-tactiles. [36]

Tableau I-4 : Les valeurs de Ra selon les classes de la plaquette d'échantillons. [36]

Classe	N6	N7	N8	N9	N10	N11
Rugosité Ra (µm)	0.8	1.6	3.2	6.9	12.5	25

### I.2.7.2 Les appareils électroniques à palpeur

La Figure I-39 montre le principe de mesure de ces appareils. Un bras se déplace parallèlement à la surface à mesurer. Le bras possède soit un patin et un palpeur (Fig. I-40), soit seulement un palpeur (Fig. I-41), dans ce cas le mouvement est guidé hors de la pièce à mesurer. [30]

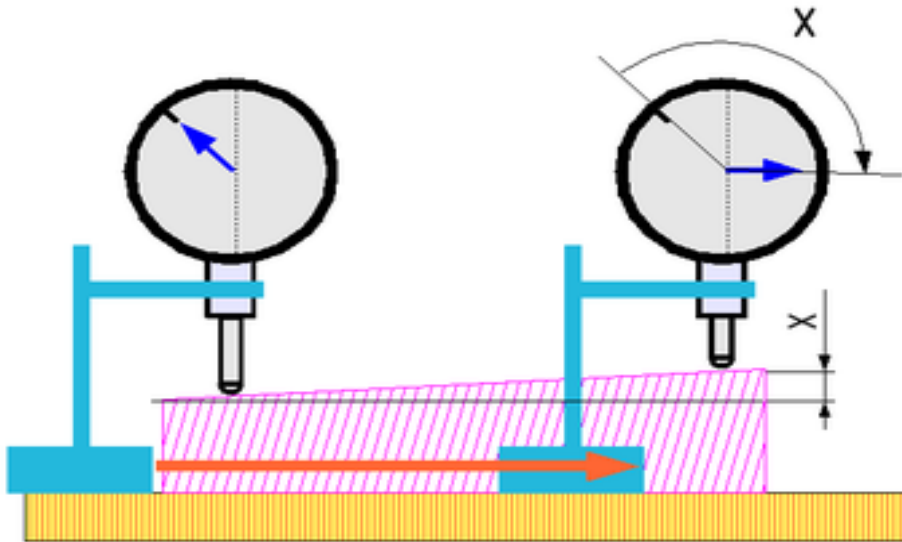


Figure I-39 : Principe de mesure d'un appareil à palpeur. [37]

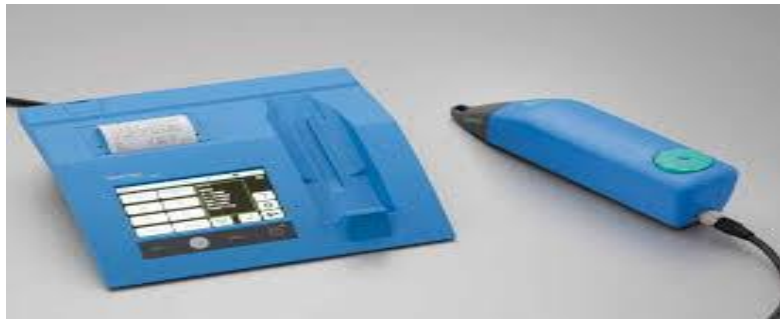


Figure I-40 : Appareil électronique de mesure a palpeur. [38]

Ces appareils sont très réponsus dans l'industrie. Quoi que la géométrie du palpeur ne permette pas toujours de détecter les défauts de quatrième ordre, ils procurent plus d'informations que les échantillons Viso-tactiles. Le profil rugueux peut être enregistré. Les capteurs, très sensibles, s'adaptent facilement à l'instrumentation électronique. Généralement les données sont fournies directement sous un critère ( $R_a$  ou  $R$ ), ou sous forme de graphe tel que montrées dans la Figure I-41. [30]



**Figure I-41** : Sortie numérique et graphique d'une mesure d'état de surface. [39]

### I.2.7.3 Les appareils optiques

Les appareils optiques permettent de détecter surtout les défauts de troisième et quatrième ordre. Ils sont plus rarement employés dans l'industrie de production car ils demandent beaucoup de soins et de précautions.

#### I.2.7.3.1 Le microscope à éclairage oblique

Deux lumières obliques de différentes couleurs éclairent la surface de la pièce en augmentant la qualité des détails de l'image. Cette image est observée à l'aide d'un microscope où des échelles de dimension sont incorporées sur la lentille (Fig. I-42).



**Figure I-42** : Microscope à éclairage oblique. [40]

#### I.2.7.3.2 Le microscope interférentiel

Un premier système optique dédouble le faisceau lumineux avant qu'il ne traverse l'objet et un second fait interférer les deux, produisant un contraste artificiel très marqué là où les rayons sont déphasés. À l'observation, on voit une image essentiellement en noir et blanc où les différentes structures apparaissent bordées de blanc d'un côté et de noir de l'autre, induisant une impression

(fausse) de relief. On peut aussi obtenir des images en couleurs.

Des franges lumineuses d'interférence éclairent une mince partie de la pièce qui a été observée au microscope avec un agrandissement x500.



Figure I-43 : Image obtenue avec un microscope interférentiel. [29]

### I.2.7.3.3 Le réflectomètre

La réflectométrie est de nos jours couramment utilisée pour caractériser la structure des systèmes de très faibles dimensions, la rugosité est un problème étudié depuis de longues années car ses conséquences fonctionnelles économiques sont importantes. L'étude par la réflectométrie diffuse de la rugosité des surfaces usinées et leur description en utilisant les méthodes connues de la théorie fractale permet d'étudier la morphologie des surfaces usinées.

Cette méthode est basée sur la relation entre la rugosité de la surface et la quantité de lumière incidente diffractée. Ce principe ne peut donner qu'une valeur moyenne (exemple : Ra). [30]

### I.2.8 Procédés de fabrication et états de surface

Le tableau I-5 présente les plages de rugosité des surfaces brutes et usinées en fonction des Procédés de fabrication. La rugosité est exprimée par l'écart moyen arithmétique Ra en  $\mu\text{m}$ . Lors du choix des machines-outils, nous ferons référence à ce tableau.

**Tableau I-5 : Procédés de fabrication et états de surface.**

Procédé de fabrication		Écart moyen arithmétique Ra en µm												
Procédé	Symbole	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
Alésage	outil acier rapide	al				-	X	X	X	-				
	outil carbure de diamant						-	X	X	X	X	-		
	alésoir						-	X	X	X	-			
Tournage	outil acier rapide	to			-	X	X	X	-					
	outil carbure ou diamant						-	X	X	-				
Fraisage finition carbure		—				-	-	X	X	X	-			
Rectification		—				-	X	X	X	X	X	-		
Rodage		rd							-	X	X	X	X	
Polissage mécanique		po						-	X	X	X	X	X	
Superfinition		sf							-	X	X	X	X	
Procédé	symbole	160	80	40	16	10	4	2	1	0.5	0.25	0.12	0.06	
Procédé de fabrication		Profondeur moyenne de rugosité R en µm												
		Valeur usuelle x				Valeur exceptionnelle -								

**I.2.9 Exploration des méthodes de mesure**

Comme mentionné précédemment, aucun critère de profil n’a de signification sans la spécification de la technique de mesure. Le tableau I-6 illustre le classement des défauts par numéro d’ordre et des méthodes d’exploration énumérées ci-dessus. [30]

**Tableau I-6 : Le classement des défauts par numéro d’ordre et des méthodes d’exploration.**

		Appareillage classique	Appareillage à palpeur touche	Échantillons Viso-tactiles	Appareil optique	Appareils à palpeur aiguille	
Écart de forme	Ordre1	•	•			○	
Ondulation	Ordre2	○	•	○	○	•	
Rugosité	Ordre3		○	•	•	•	
	Ordre4			•	•	•	
		Le mieux adapté •		adapté ○			

**I.2.10 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur l’état de la surface et de l’importance de sa qualité.

En commençant par la géométrie et l’analyse de la surface et la clarification des paramètres de rugosité ainsi que les méthodes et processus les plus importants utilisés pour mesurer l’état de la surface.

---

**Références bibliographiques**

- [1] Zidane Imade. Sara Khabtane, *Étude générale du tournage et ses différentes applications dans la fabrication mécanique*. Mémoire de License Université Abbes Laghrour Khenchela (2018).
- [2] Éric Felder, *Procédés de mise en forme*. Technique des ingénieurs. M3000 v1(2000).
- [3] Groupe Fldi, *usinage*. Design AdapT-T – Agence TTMO(2020). En ligne.  
[http://www.groupe-fldi.com/l-usinage\\_ar386.html](http://www.groupe-fldi.com/l-usinage_ar386.html)
- [4] Gara Souhir, *Productique. Procédés d'usinage. Tournage fraisage perçage rectification* (niveau A). Technosup (10.06.2014).
- [5] Saci Rebai, *Étude de l'influence de la direction d'usinage sur le comportement dynamique du processus de fraisage*. Mémoire de Magister Université Mohamed Khider Biskra (2015).
- [6] Jean Mercier, *De l'étude de fabrication à l'analyse d'usinage, 2ème édition*. Edition de la Technique moderne Pierron Sarguemines. Université Lille1 (1973).
- [7] Alain Passeron, *Mécanique. Tournage. Technique des ingénieurs*. BM7086 v1 (1998)
- [8] A. Castella Dupont, *Technologie coupe des métaux*. Édition Des forges. Paris (1976).
- [9] EXAPRO, *Principe-de-fonctionnement- d'un-tour et différents types*, 2008
- [10] S.G, *Le perçage*. Sciences et Technologies(2020) En ligne. <http://www.sciences-technologies.net/genie-mecanique/fabrication-mecanique/6-le-percage.html>
- [11] Dr. Adnane Labeled, *Technologie de Base Pour les étudiants de 2<sup>ème</sup> année ST*. Université Mohamed Khider de Biskra.
- [12] Arnaud Serander. Lomita Nerijp, *Meule (outil).Cours de perfectionnement BPD et BTSBE. Automobiles Peugeot Sochaux* (1969-1976).
- [13] Éric Felder, *Usinage par abrasion. Principes généraux*. Technique des ingénieurs. BM 7052 v1 (2009).
- [14]Adrien Christan. Thierry de Roche, *La Rectification*. Ecole Polytechnique Fédérale De Lausanne (2011).

- [15] Alpege Zénitli, *Savoie rectification Z.I de Mervex* 159. Rue de l'industrie 74950 Scionzier (2019).
- [16] Joseph Jacob. Yves Malesson. Daniel Ricque, *technologie des métiers. tournage*. 28 rodage .hachette technique.
- [17] Alchimy7, *Etape 4 : Le Polissage – Correction des Défauts*. En ligne <http://www.alchimy7.com/etape-4-polissage,23.html>
- [18] Emmanuel Migan, *étude du polissage des granits : pratiques industrielles fini de surface et émission de poussières*. Mémoire Présenté À L'école De Technologie Supérieure Université du Québec (2015).
- [19] Philippe Franck, *L'histoire des machines d'usinage*. Les premières machines-outils.
- [20] Ternane Fouad, *Étude diagnostic et réparation d'un tour en panne du hall de technologie*. Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen (2017).
- [21] Arlina Design, *électricité2. Machine tour parallèle* (07/08/2016).
- [22] Adnane Labeled, *Matière : Technologie de Base. Pour les étudiants de 2ème année ST*. Université Mohamed Khider Biskra.
- [23] Rocardacier, *Cours sur le tournage Usinage. Les outils à charioter-dresser*. (2017).
- [24] S Adima, *Technologie des Fabrications Mécaniques*. Deuxième partie (2015).
- [25] UNIT, *Préparation de Production en Productique Mécanique. Étude de Fabrication et Analyse d'Usinage (3PM-EFAU)* .Université de Lille. France (2016).
- [26] Chebi Celia, *Application informatique pour le calcul du temps et coût d'usinage des pièces en fraisage et en tournage*. Mémoire de Master Université Abderrahmane Mira Bejaia (2017).
- [27] Kahoul Najib, *Évaluation des performances des matériaux de coupe lors de l'usinage de la fonte grise Ft25*. Mémoire de Magister Université 8 Mai 1945Guelma (2012).
- [28] Ghouini Rabah, *Amélioration des paramètres technologiques de coupe en tournage*. Mémoire de Master Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).

- [29] Lakhal Malika, *Détection et mesure des défauts de surface par analyse automatique des franges projetés*. Mémoire De Magister Université Ferhat Abbas Sétif (P6-8).
- [30] Issaadi Madjid. Merabtine Amira, *Etude de l'influence des paramètres de coupe sur La précision de l'état de surface obtenue par usinage En tournage*. Mémoire de Master. Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzo (2015).
- [31] Roland Maranzana, *Éléments de fabrication mécanique*.GPA-210. États de surfaces (p3-26).
- [32] Soualah Mohssin, *L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier XC55*. Mémoire de Master Université Badji Mokhtar Annaba (2017).
- [33] Jean-Pierre Trotignon, *Précis de construction mécanique. Tome 2 -1.dessin conception et normalisation*. Afnor Nathn (2007).
- [34] Chekir Nabila, *Validation D'un Tribomètre Pion-Disque Vertical*. Mémoire de Master Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou (2016).
- [35] Mesure De Rugosité, *Principes techniques de la mesure (25 Mar 2011)*. En ligne. <https://www.mesurez.com/mesure-rugosite-principe-application-solution.html>
- [36] Aouassa Izzeddine, *Étude de la gamme d'usinage d'un support d'enrouleuse de tôles et étude de l'effet des paramètres de fraisage sur la rugosité*. Mémoire de Master Université Badji Mokhtar Annaba (2014).
- [37] Medo, *Les instruments de mesure*.Comparateur (5 janvier 2020 ) .En ligne. <https://lafiray.ma/blog/les-instruments-de-mesure>
- [38] Hélène Truchon. Waveline, *Technique de mesure des contours et de rugosité* (2018).
- [39] Tahraoui Mohamed El Haddi, *Contribution à l'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage à sec*. Mémoire de Master Université Badji Mokhtar Annaba (2018).
- [40] Yallese Mohamed Athmane, *étude du comportement à l'usure des matériaux de coupe modernes en tournage dur*. Thèse de Doctorat Université Badji Mokhtar Annaba (2005).

# *CHAPITRE II*

## *MATERIAUX ET TECHNIQUES*

### *EXPERIMENTALES*

## **II. Introduction**

Dans ce chapitre, nous présentons l'ensemble des outils mis en œuvre pour une approche expérimentale méthodique afin de caractériser l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de l'état de surface. Ce chapitre consiste à présenter le matériel qui sert aux mesures des états de surfaces des pièces usinées à l'aide des moyens existants (Rugosimètre) et à la représentation et discussions de ces résultats pour démontrer l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de l'état de surface.

### **II.1 Éprouvette de l'essai**

#### **II.1.1 Matière première**

En ce qui concerne la matière première utilisée pour nos essais, nous avons pris deux types de matériaux, pour chaque matériau on a utilisé trois (3) barres. Le titane Ti-6Al-4V sous forme de barre moulée (400 X 50 mm) de 310 HV et l'acier inoxydable austénitique AISI 316L sous forme de barre laminée (400 X 50 mm), cet Acier de 210 HV est mi-dur de haute qualité pouvant être utilisé à l'état traité ou recuit ou à l'état trempé superficiellement.

#### **II.1.2 Préparation des éprouvettes d'essais**

Les essais sont effectués en chariotage sur des éprouvettes cylindriques usinées sur les barres présentes précédemment. Dans chaque barre on usine six (6) éprouvettes de dimensions (30 X 40 mm) (Fig. II-1) à l'aide d'un outil à gorger (Fig. II-2).



**Figure II-1** : Préparation des éprouvettes d'essais



**Figure II-2** : Outil à gorger

Pour réduire les éprouvettes d'essais au diamètre désiré, nous avons utilisé un outil à charioter à plaquette triangulaire en carbure métallique revêtu du type GC 4035, qui est un outil robuste et résistant aux chocs. Il est destiné aux opérations d'ébauches. (Fig. II-3).



**Figure II-3** : Outil à charioter utilisé pour l'ébauche.

## II.2 Machine d'essai

Le tour parallèle MULLER ET PESANT - Type : NORDIC 25 de puissance à la broche 6,5 KW a une gamme de vitesses comprise entre 31,5 et 1400 tr/min et une gamme d'avance en chariotage entre 0.05 et 0.186 mm/tr, et il est adapté aux essais de laboratoire avec la mise en place d'un variateur de vitesse couplé à un moteur à courant continu pour contrôler la vitesse de rotation de la broche au moyen d'un tachymètre.

L'utilisation d'un comparateur au début de chaque essai permis d'identifier des vibrations, due à la réaction du sol et l'état de la machine .Cette observation a amené à réaliser une isolation du tour par rapport au sol avec des supports métalliques qui dissipent l'énergie par friction.

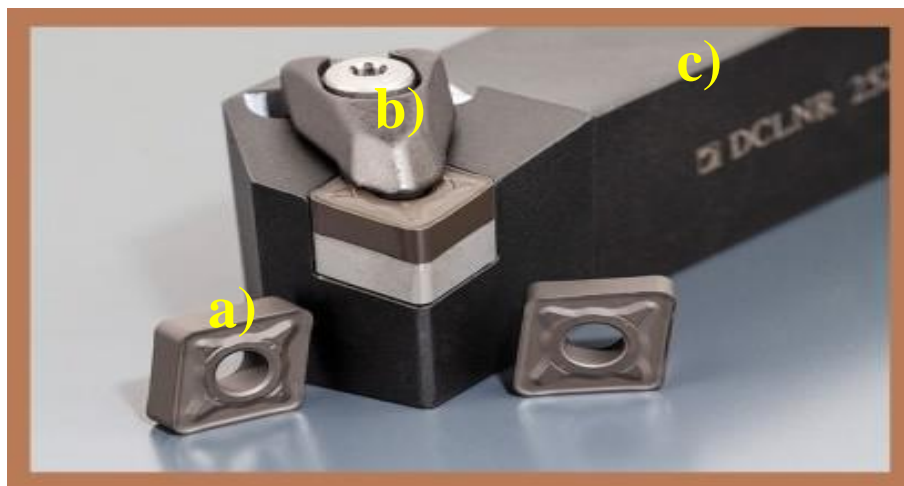
Cette isolation permet d'avoir une machine utilisable pour nos essais. Cette amélioration a été confirmée par une étude postérieure du comportement dynamique de la machine. (Fig. II-4).



**Figure II-4 :** Machine d'essai ; une tour parallèle MULLER ET PESANT

### II.2.1 Outil et porte-outil utilisés

Pour réaliser nos expériences on a utilisé un outil à plaquette. Selon un catalogue consulté au niveau de l'atelier de notre faculté on a choisi la plaquette monobloc du type GC4235 c'est une plaquette carrée en carbure métallique P35 de rayon de bec =1.2 mm, qui se montre sur un porte-plaquette qui utilise un ensemble bride vise pour fixer la plaquette.



**Figure II-5 :** a) Plaquette utilisée. c) Porte outil utilisé. b) Bride-vise de fixation.

### II.3. Instruments de mesure

#### II.3.1 Mesure de diamètres

Pour mesurer les diamètres des pièces utilisées et les longueurs des éprouvettes d'essais, nous avons utilisé un pied à coulisse. Il permet une mesure dont la précision varie avec le type de vernier utilisé. Le vernier peut être au 1/10, au 1/20, au 1/50. Il permet donc d'évaluer une mesure au 1/10 de mm (0,01 mm), au 1/20 de mm (0,05 mm), et au 1/50 de mm (0,02 mm). En mécanique, le vernier au 1/50<sup>ème</sup> est le plus utilisé. (Fig. II-6).

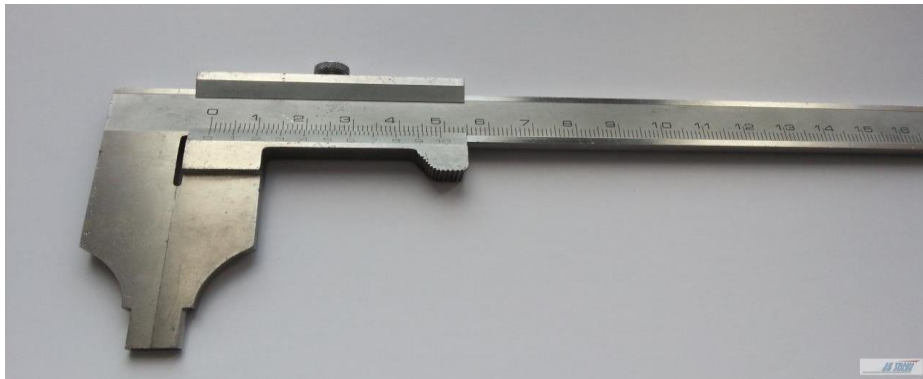


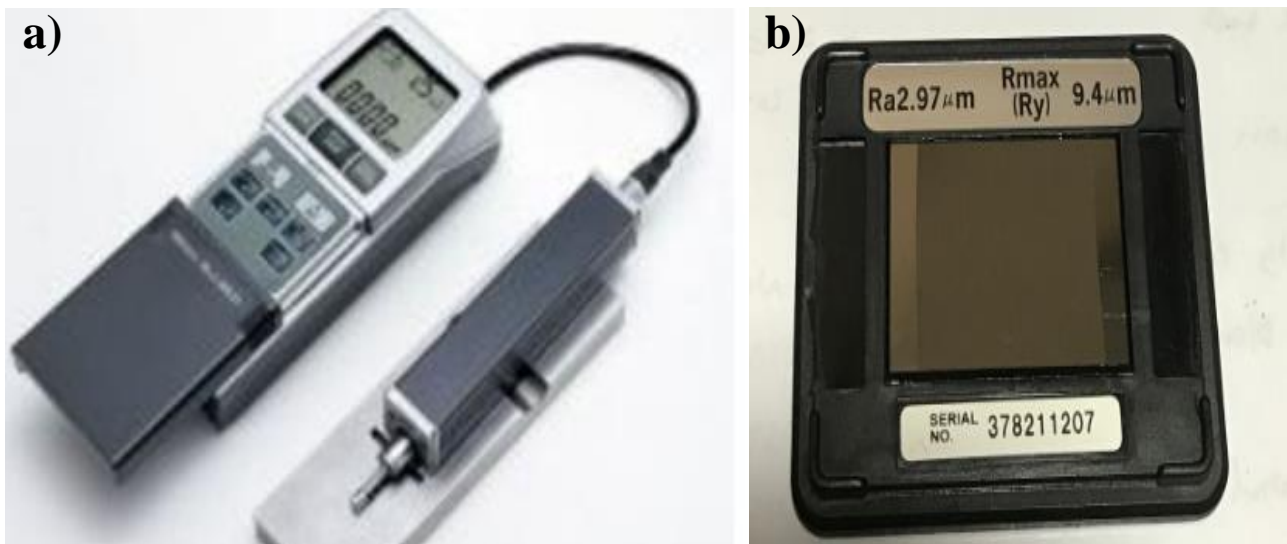
Figure II-6 : Photo d'un pied à coulisse utilisé.

#### II.3.2 Mesure de l'état de surface

Et pour la mesure de la rugosité des surfaces usinées (éprouvette), nous avons utilisé un rugosimètre (Profil mètre Mécanique) à deux dimensions

**Surf test** de type **SJ-201** (Fig. II-7(a)), qui présente les caractéristiques suivantes :

- 4 paramètres calculés : Ra, Rz, Ry, Rq ;
- Détecteur par système inductif ;
- Étalonnage automatique (Fig. II-7(b)) ;
- Fonction Bon / Mauvais ;
- Alimentation : batterie ou secteur ;
- Mesures plate.



**Figure II-7 :** a) – Rugosimètre en deux dimensions Surfât est SJ201, b)- Étalonnage automatique.

### II.2.1.1 Principe de mesure des états de surface du SJ201

Un palpeur (sylet) installé sur l'unité de détection du SJ20, permet de détecter des irrégularités infimes présentes sur la surface d'une pièce. Lors de l'opération de palpation, le déplacement vertical du sylet est analysé et les résultats obtenus sont affichés sur l'écran à cristaux liquides du SJ201.

### II.4 Plan des expériences

Dans cette étude, nous allons faire plusieurs expériences. On fera à chaque fois varier un paramètre tout en fixant les autres ([Tableau II-1](#)).

**Tableau II-1 :** Plan des expériences et les paramètres opératoires

N° de l'expérience	Matériau	Vc	fc	ap	Lubrifiant
1	Acier 316 L	Variable	Constant	Constant	Oui
2	Acier 316 L	Constant	Variable	Constant	Oui
3	Acier 316 L	Constant	Constant	Variable	Oui
4	Ti-6Al-4V	Variable	Constant	Constant	Oui
5	Ti-6Al-4V	Constant	Variable	Constant	Oui
6	Ti-6Al-4V	Constant	Constant	Variable	Oui

La variation de chaque paramètre se fait on lui donnant 6 valeurs comme il est montré dans le tableau ci-dessous

**Tableau II-2** : Variation des paramètres

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur 1</b>	<b>Valeur 2</b>	<b>Valeur 3</b>	<b>Valeur 4</b>	<b>Valeur 5</b>	<b>Valeur 6</b>
<b>Vc</b>	31.4 m/min	47.1 m/min	54.9 m/min	62.8 m/min	109.9 m/min	188.4 m/min
<b>fc</b>	0.08 mm/tr	0.16 mm/tr	0.2 mm/tr	0.32 mm/tr	0.4 mm/tr	0.8 mm/tr
<b>ap</b>	0.25 mm	0.5 mm	0.75 mm	1 mm	1.25 mm	1.5 mm

## **II.5 Conclusion**

Après une présentation détaillée du matériel utilisé durant notre travail dans ce chapitre et après préparation des échantillons (Acier inoxydable austénitique 316 L et Ti-6Al-4V) et préparation des barres et mesure de l'état de surface de chaqu'un par un appareil rugosimetre.

Les résultats seront après représentés graphiquement et discutés dans le 3<sup>eme</sup> chapitre (L'étude de l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de surface).

## ***CHAPITRE III***

# ***RESULTATS ET DISCUSSION***

### III. Introduction

Ce chapitre consiste dans la mesure de l'état de surface pour deux types de matériaux : un acier inoxydable AISI 316 L et un alliage de Ti-6Al-4V, sous l'influence de paramètres de coupe variables ( $V_c$ ,  $a_p$ ,  $f_c$ ) par l'usage des outils de mesure (Rugosimetre) et représente les résultats graphiquement et les discuter pour prouver l'influence des conditions de coupe sur la qualité d'état de surface.

#### III.1 Plan des expériences

##### III.1.1 Conditions opératoires

Pour un appel, dans cette partie, nous allons faire plusieurs expériences. On variera à chaque fois un paramètre tout en fixant les autres ([Tableau III-1](#)).

**Tableau III-1** : Plan des expériences.

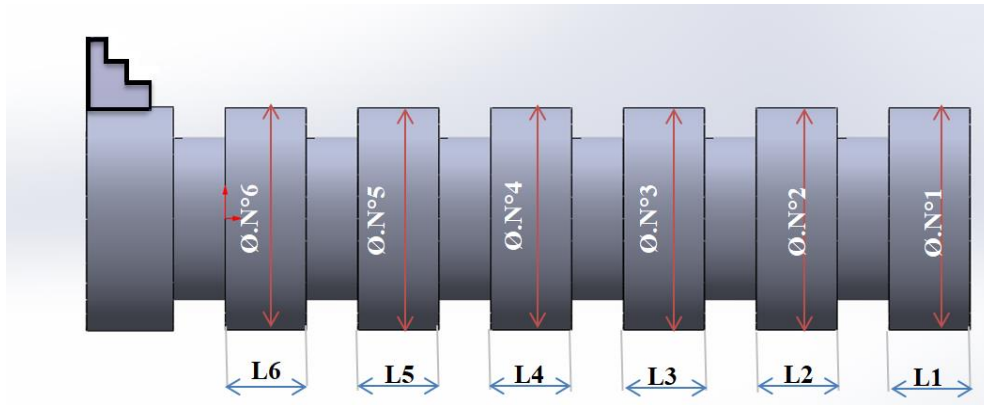
N° de l'expérience	Matériau	$V_c$	$f_c$	$a_p$	Lubrifiant
1	AISI 316L	Variable	Constant	Constant	Oui
2	AISI 316L	Constant	Variable	Constant	Oui
3	AISI 316L	Constant	Constant	Variable	Oui
4	Ti-6Al-4V	Variable	Constant	Constant	Oui
5	Ti-6Al-4V	Constant	Variable	Constant	Oui
6	Ti-6Al-4V	Constant	Constant	Variable	Oui

La variation de chaque paramètre se fait on lui donnant 6 valeurs comme il est montré dans le tableau [III-2](#) ci-dessous.

**Tableau III-2** : Variation des paramètres

Paramètre	Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3	Valeur 4	Valeur 5	Valeur 6
$V_c$ m/min	31.4	47.1	54.9	62.8	109.9	188.4
$f_c$ mm/tr	0.08	0.16	0.2	0.32	0.4	0.8
$a_p$ mm/tr	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5

### III.1.2 Éprouvette de l'essai



**Figure III-1 :** Schéma représentative d'un Éprouvettes d'essais.

- $\text{Ø. N}^{\circ}1 = \text{Ø. N}^{\circ}2 = \text{Ø. N}^{\circ}3 = \text{Ø. N}^{\circ}4 = \text{Ø. N}^{\circ}5 = \text{Ø. N}^{\circ}6 = 50 \text{ mm}$  ;
- $L1 = L2 = L3 = L4 = L5 = L6 = 40 \text{ mm}$ .

### III.1.3 Calcul de la valeur de la vitesse de coupe

- $N1 = 200 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c1} = \frac{\pi D_1 N_1}{1000} = 31.4 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°1 ;
- $N2 = 300 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c2} = \frac{\pi D_2 N_2}{1000} = 47.1 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°2 ;
- $N3 = 350 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c3} = \frac{\pi D_3 N_3}{1000} = 54.95 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°3 ;
- $N4 = 400 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c4} = \frac{\pi D_4 N_4}{1000} = 62.8 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°4 ;
- $N5 = 700 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c5} = \frac{\pi D_5 N_5}{1000} = 109.9 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°5 ;
- $N6 = 1200 \text{ tr/min} \rightarrow V_{c6} = \frac{\pi D_6 N_6}{1000} = 188.4 \text{ m/min}$  . Appliquer sur le diamètre N°6.

## III. 2 ETAT DE SURFACES

### III. 2. 1 Cas de l'acier inoxydable AISI 316L

#### III.2. 1.1 Variation de vitesse de coupe ( $V_c$ )

Dans cette première expérience, nous allons voir l'influence de la vitesse de coupe ( $V_c$ ), (m/min) sur la qualité de l'état de surface ( $R_a$ ). Pour cela, nous usinerons en chariotage une barre en acier inoxydable AISI 316L laminée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette la vitesse de coupe tout en fixe la profondeur ( $a_p$ ), (mm) et l'avance de coupe ( $f_c$ ) (mm/tr).

##### a. Conditions de coupe choisies

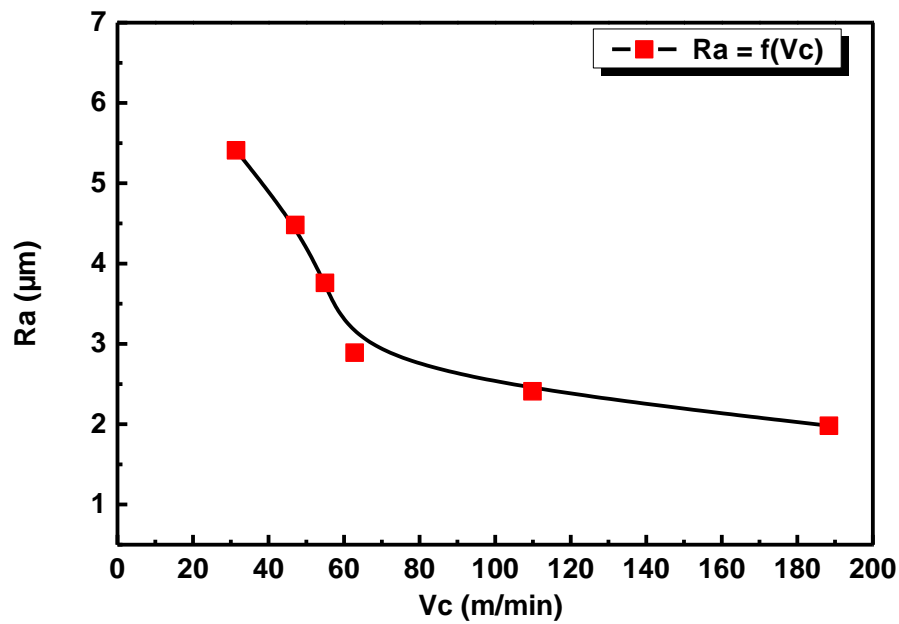
- $a_p = 1$  mm. (Constante) ;
- $f_c = 0.32$  mm/tr. (Constante) ; à vérifier les valeurs avec le tableau
- $V_c =$  variable.

Pour faire l'usinage, on a monté la barre en utilisant un montage mixte (mandrin + contre pointe tournante). Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes vitesses de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre. Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau III-3 suivant :

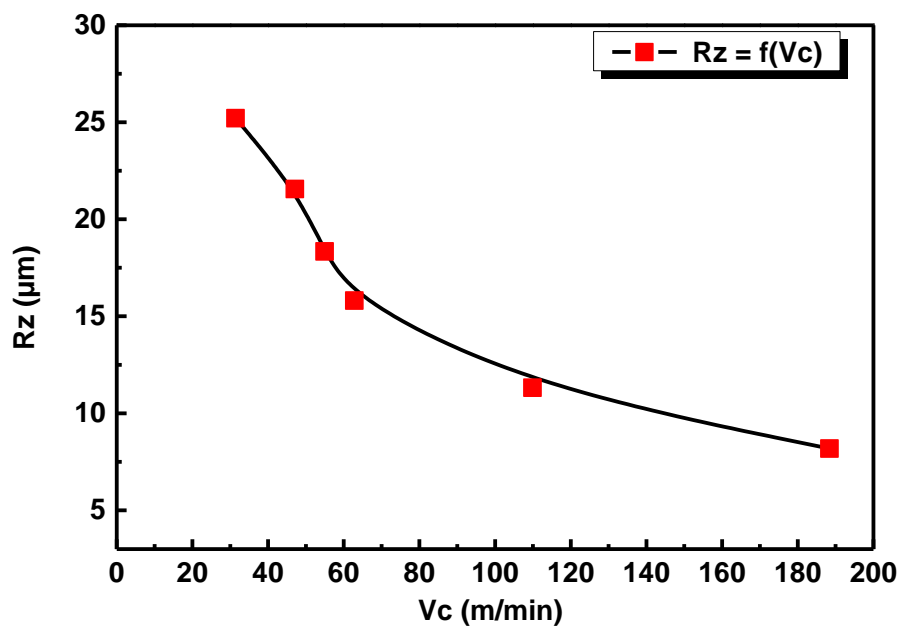
**Tableau III-3** : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes en acier inoxydable AISI 316L pour la variation de  $V_c$ .

N° diameter	N (tr/min)	$V_c$ (m/min)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
$\text{Ø.N}^\circ 1$	200	31,4	5,41	25,21
$\text{Ø.N}^\circ 2$	300	47,1	4,48	21,56
$\text{Ø.N}^\circ 3$	350	54,95	3,76	18,34
$\text{Ø.N}^\circ 4$	400	62,8	2,89	15,81
$\text{Ø.N}^\circ 5$	700	109,9	2,41	11,32
$\text{Ø.N}^\circ 6$	1200	188,4	1,98	8,18

Les résultats obtenus dans le tableau III-3 présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans les figures suivantes (Figs III-2 et III-3) :



**Figure III -2 :** Évolution de rugosité moyenne  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) ( $\text{m/min}$ ) pour l'acier inoxydable AISI 316 L.



**Figure III -3 :** Évolution de la rugosité maximale  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) ( $\text{m/min}$ ) pour l'acier inoxydable AISI 316L.

Les deux courbes représentent respectivement de la rugosité moyenne  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) ( $\text{m/min}$ ) et la rugosité maximale  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) ( $\text{m/min}$ ) pour l'acier inoxydable AISI 316L.

On constate que plus la vitesse de coupe  $V_c$  est élevée, plus la rugosité est faible, améliorant ainsi la qualité de surface.

### III.2.1.2 Variation de l'avance de coupe (fc) sur l'éprouvette d'acier inoxydable AISI 316L

Dans cette expérience, nous allons voir l'influence de l'avance de coupe (fc) sur la qualité de l'état de surface. Pour cela, nous usinerons en chariotage et à sec une barre en acier inoxydable AISI 316 L laminée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette l'avance de coupe tout en fixant la profondeur (ap) et la vitesse de coupe (Vc).

#### a. Conditions de coupe

- $a_p = 1$  mm. (Constante) ;
- $V_c = 62.8$  m/min. (Constante) a vérifié dans les tableaux ;
- (fc) mm/tr (variable).

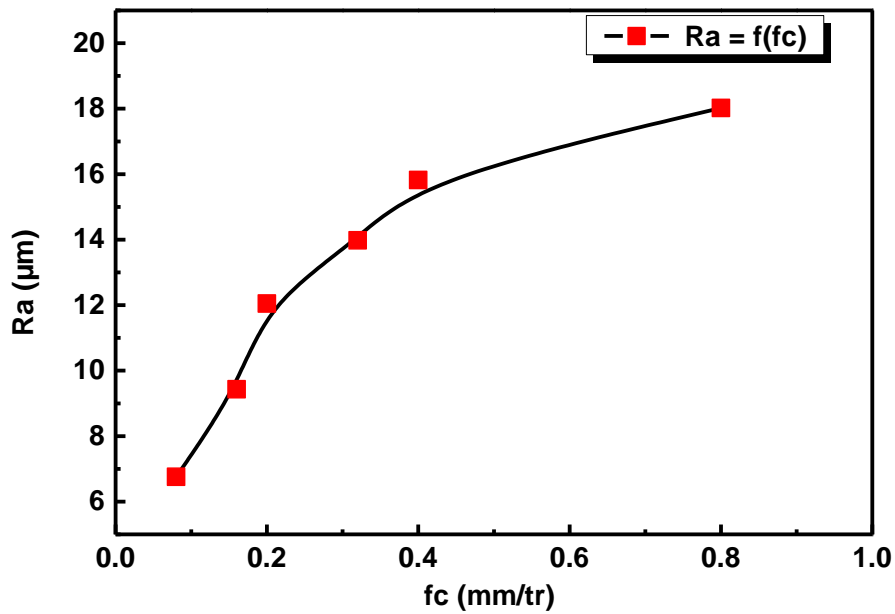
Pour faire l'usinage, on a utilisé le même montage mixte (mandrin + contre pointe tournante). Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes avances de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre.

Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau suivant :

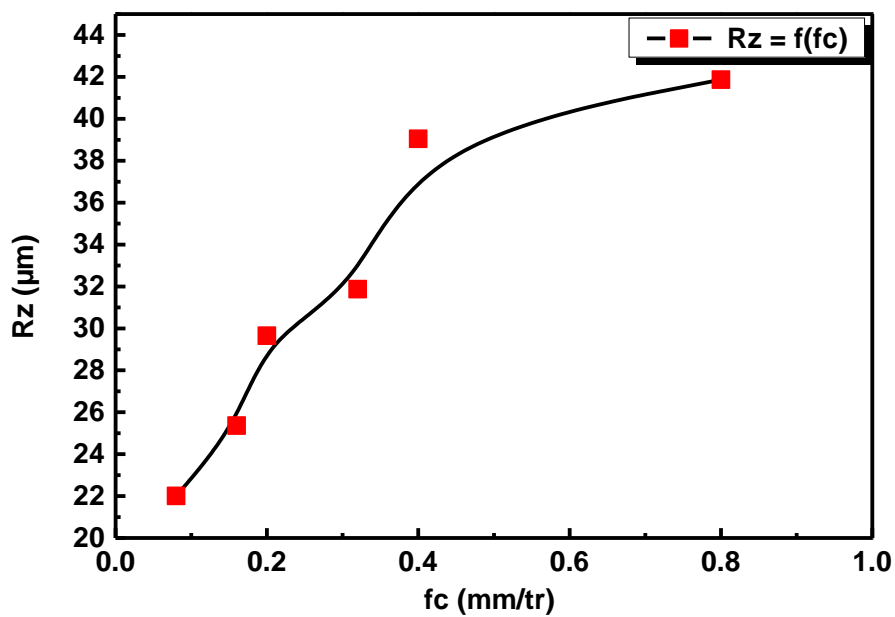
**Tableau III-4** : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes d'acier Pour la variation de fc

N° diamètre	fc (mm/tr)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
$\text{Ø.N}^\circ 1$	0,08	6,76	22,01
$\text{Ø.N}^\circ 2$	0,16	9,43	25,36
$\text{Ø.N}^\circ 3$	0,2	12,05	29,65
$\text{Ø.N}^\circ 4$	0,32	13,98	31,87
$\text{Ø.N}^\circ 5$	0,4	15,82	39,05
$\text{Ø.N}^\circ 6$	0,8	18,02	41,87

Les résultats obtenus dans le tableau présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans les figures suivantes (Fig. III-4 et Fig. III-5) :



**Figure III -4 :** Évolution de la rugosité moyenne  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la valeur de l'avance de coupe ( $fc$ ) (m m/tr) pour l'acier inoxydable AISI 316L.



**Figure III -5 :** Évolution de la rugosité maximale  $Rz$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la valeur de l'avance de coupe ( $fc$ ) (m m/tr) pour l'acier inoxydable AISI 316L.

Les deux courbes représentent respectivement  $Ra = f(fc)$  et  $Rz = f(fc)$ . On constate que pour les deux courbes  $Ra$  et  $Rz$ , plus l'avance de coupe augmente, plus la rugosité augmente, donc la qualité de l'état de surface se détériore.

### III.2.1.3 Variation de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) sur l'éprouvette d'acier inoxydable AISI 316L

Dans cette expérience, nous allons voir l'influence de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) sur la qualité de l'état de surface. Pour cela, nous usinerons en chariotage et à sec une barre en acier inoxydable AISI 316 L laminée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette la profondeur de coupe  $a_p$  tout en fixant la vitesse et l'avance de coupe.

#### a. Conditions de coupe

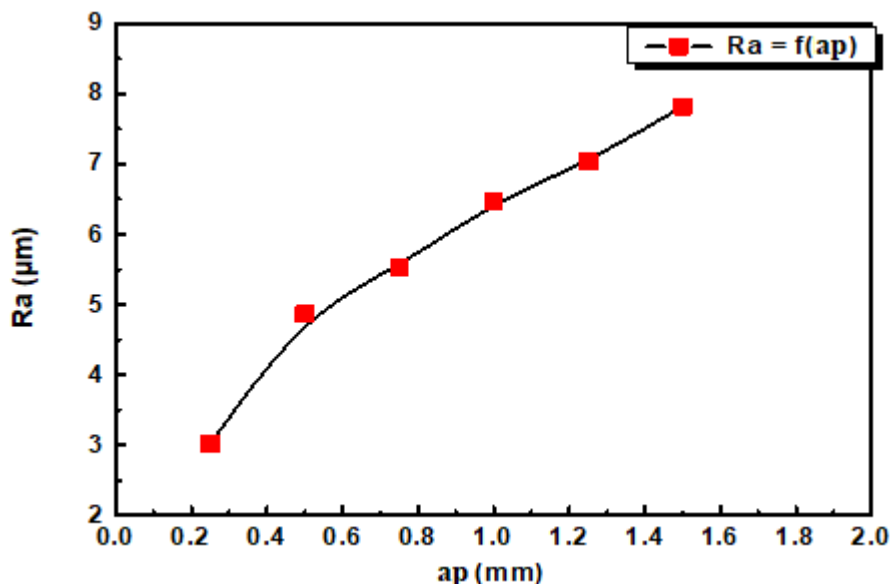
- $f_c = 0.32$  mm/tr (constante) ;
- $V_c = 62.8$  m/min (constante) ;
- $a_p$  (mm) = (variable).

Pour faire l'usinage, on a utilisé le même montage mixte (mandrin + contre pointe tournante). Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes profondeurs de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre. Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau (III-5) suivant :

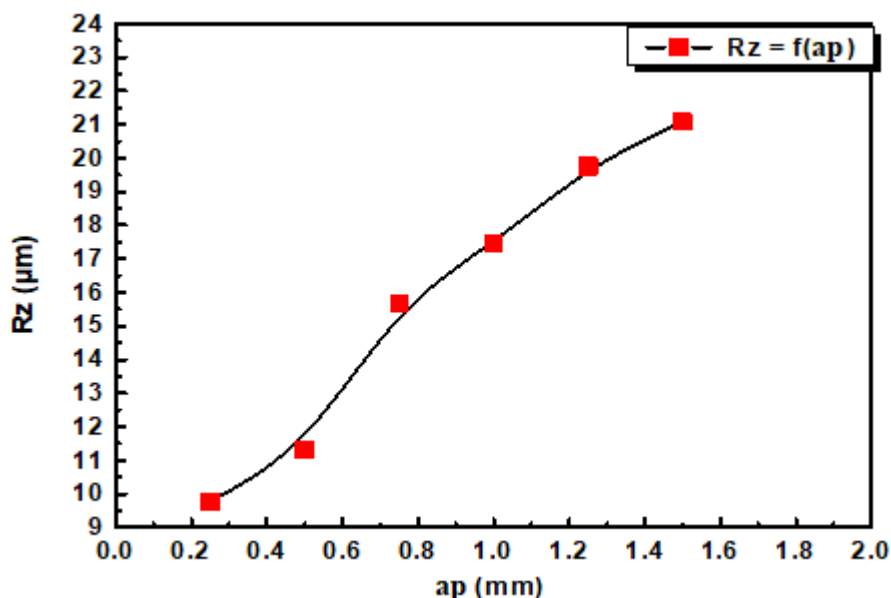
**Tableau III- 5 :** Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes d'acier Pour la variation d' $a_p$ .

N° diameter	$a_p$ (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
Ø.N°1	0,25	3,02	9,78
Ø.N°2	0,5	4,87	11,32
Ø.N°3	0,75	5,54	15,67
Ø.N°4	1	6,46	17,45
Ø.N°5	1,25	7,03	19,76
Ø.N°6	1,5	7,82	21,08

Les résultats obtenus dans le tableau (III-5) présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans les figures suivantes (Fig. III-6 et III-7) :



**Figure III -6 :** Évolution de la rugosité moyenne  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe ( $ap$ ), (mm) pour l'acier inoxydable AISI 316 L.



**Figure III -7 :** Évolution de la rugosité maximale  $Rz$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe ( $ap$ ), (mm) pour l'acier inoxydable AISI 316 L.

D'après les figures (Figs III-6 et III-7), on ne constate que la courbe de la rugosité maximale  $Rz$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe ( $ap$ ), (mm) pour l'acier inoxydable AISI 316 L. reste plus ou moins constant (faible amélioration de la qualité).

De même, la courbe de la rugosité moyenne  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe ( $ap$ ), (mm) reste relativement constante (la différence est très faible).

Il a été constaté que plus la profondeur est élevée, plus la rugosité est élevée, plus la qualité de la surface est faible.

### III. 2.2 EPROUVETTE EN TI-6AL-4V

#### III.2.2. 1 Variation de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) (m/min) sur le Ti-6Al-4V

Dans cette expérience, nous allons voir l'influence de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) sur la qualité de l'état de surface. Pour cela, nous usinerons en chariotage et à sec une barre en Ti-6Al-4V ordinaire moulée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette la vitesse de coupe  $V_c$  tout en fixant la profondeur ( $a_p$ ) et l'avance de coupe ( $f_c$ ).

##### a. Conditions de coupe choisies

- $a_p = 1$  mm. (Constante) ;
- $f_c = 0.32$  mm/tr. (Constante) ;
- $V_c$  (m/min) variable.

Pour faire l'usinage, on a monté la barre en utilisant un montage mixte (mandrin + contre pointe tournante). Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes vitesses de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre. Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau III-6 suivant :

**Tableau III-6** : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation de  $V_c$

N° diameter	N (tr/min)	$V_c$ (m/min)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
<b>Ø.N°1</b>	200	31,4	12,23	36,79
<b>Ø.N°2</b>	300	47,1	11,15	31,18
<b>Ø.N°3</b>	350	54,95	9,87	25,86
<b>Ø.N°4</b>	400	62,8	7,11	21,17
<b>Ø.N°5</b>	700	109,9	6,22	15,53
<b>Ø.N°6</b>	1200	188,4	5,18	11,97

Les résultats obtenus dans le tableau présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans les figures suivantes (Figs III-8, et III-9) :

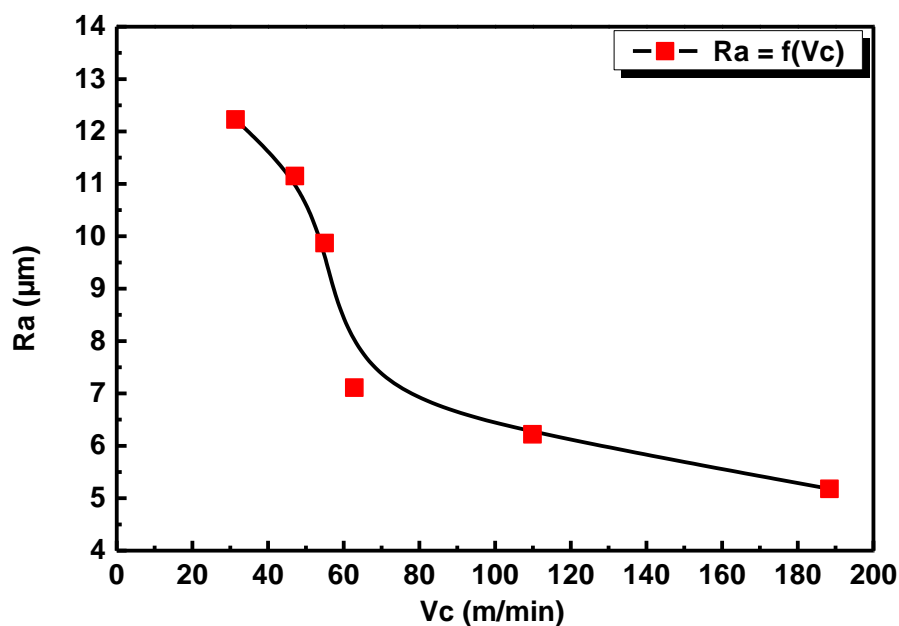


Figure III -8 : Évolution de la rugosité moyenne  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coups  $Vc$  (m/min) pour Ti-6Al-4V.

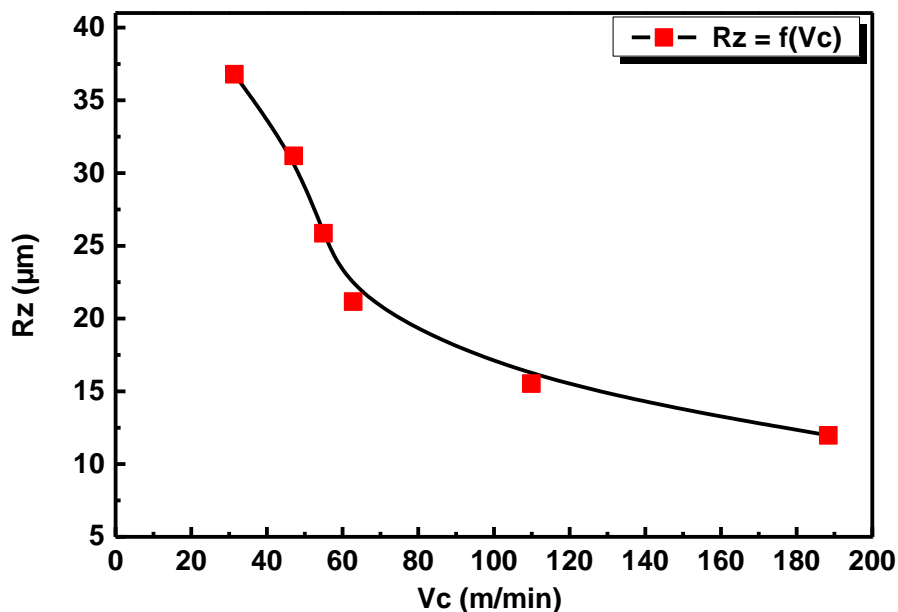


Figure III -9 : Évolution de la rugosité maximale  $Rz$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coups  $Vc$  (m/min) pour Ti-6Al-4V.

Les deux courbes représentent respectivement de rugosité moyenne  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $Vc$ ) (m/min) et la rugosité maximale  $Rz$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la vitesse de coupe ( $Vc$ ) (m/min) pour acier. On constate que plus la vitesse de coupe  $Vc$  est élevée, plus la rugosité est faible, améliorant ainsi la qualité de surface, cette amélioration de l'état de surface s'explique par le fait que la matière est ductile et les vitesses de coupe choisies sont élevées, ce qui ne

favorise pas la formation de l'arête rapportée. Donc il n'y a pas de dégradation de l'état de surface.

### III.2.2.2. Variation de l'avance de coupe ( $f_c$ ) sur le Ti-6Al-4V

Dans cette expérience, nous allons voir l'influence de l'avance de coupe sur la qualité de l'état de surface. Pour cela, nous usinerons en chariotage et à sec une barre en Ti-6Al-4V ordinaire moulée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette l'avance de coupe  $f_c$  tout en fixant la profondeur et la vitesse de coupe.

#### a. Conditions de coupe

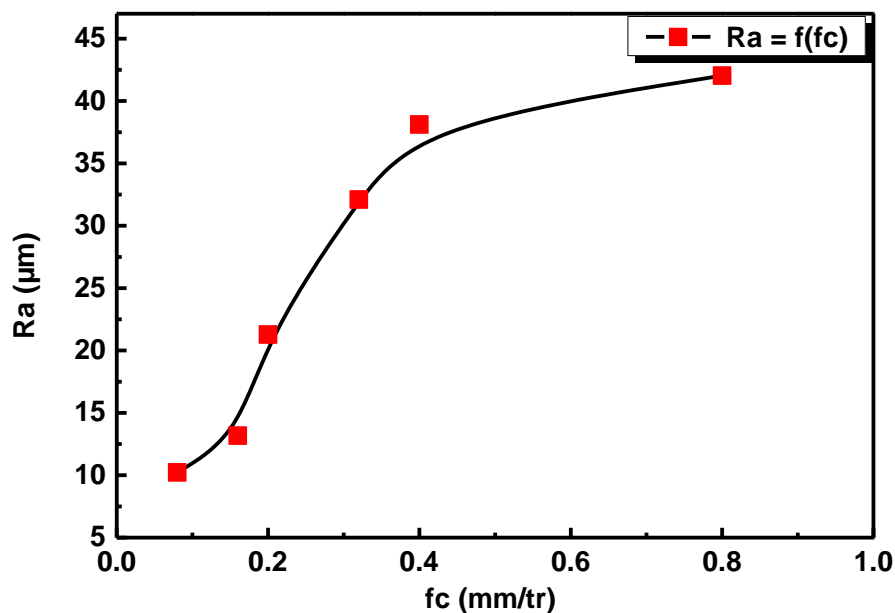
- $a_p = 1$  mm. (Constante) ;
- $V_c = 62.8$  m/min. (Constante) ;
- $f_c$  (mm/tr) (variable).

Pour faire l'usinage, on a utilisé le même montage mixte (mandrin + contre pointe tournante). Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes avances de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre. Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau III-7 suivant :

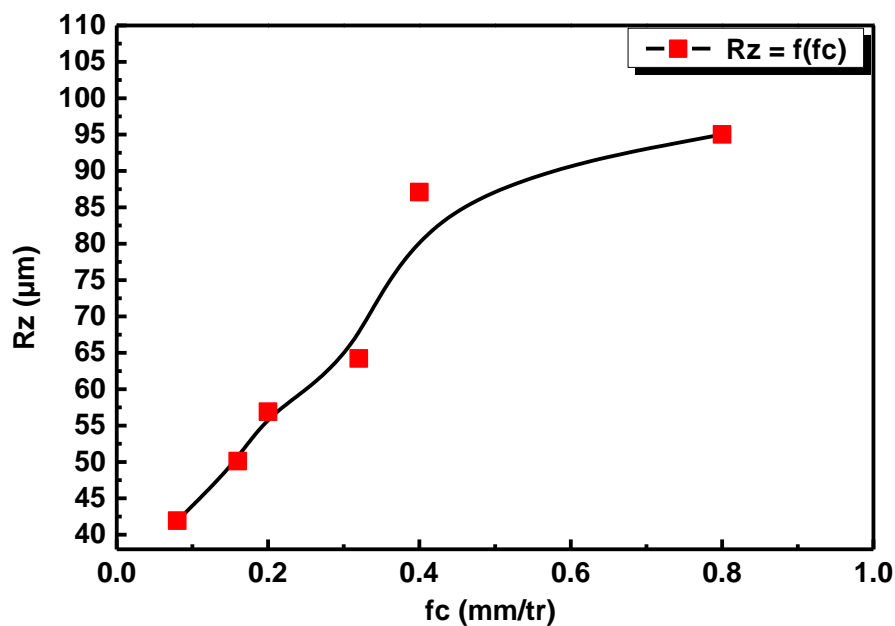
**Tableau III-7** : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation de  $f_c$  (mm/tr).

N° diameter	$f_c$ (mm/tr)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
Ø.N°1	0,08	10,23	41,94
Ø.N°2	0,16	13,18	50,12
Ø.N°3	0,2	21,28	56,91
Ø.N°4	0,32	32,10	64,22
Ø.N°5	0,4	38,12	87,09
Ø.N°6	0,8	42,04	95,03

Les résultats obtenus dans le tableau présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans le graphe suivant :



**Figure III -10 :** Évolution de la rugosité moyenne  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de l'avance de coupe  $f_c$  (mm/tr) (m/min) pour Ti-6Al-4V.



**Figure III -11 :** Évolution de la rugosité maximale  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de l'avance de coupe  $f_c$  (mm/tr) (m/min) pour Ti-6Al-4V.

Les figures (III-10 et III-11) illustrent les résultats de l'évolution de la rugosité en fonction de l'avance de coupe ( $f_c$ ).

L'analyse des courbes montre que ce paramètre a une influence très significative sur la rugosité. En effet, L'avance est le facteur déterminant de la qualité des surfaces usinées, en tournage par exemple, la surface engendrée comporte des sillons hélicoïdaux résultant de la forme

de l'outil et du mouvement hélicoïdal outil-pièce. Ces sillons sont autant plus profonds et plus larges que l'avance est élevée, d'où la nécessité d'employer de faibles avances lors du tournage on finition.

### III.2.2.3 Variation de la profondeur de coupe ( $a_p$ ) sur le Ti-6Al-4V

Dans cette expérience, nous allons voir l'influence de la profondeur de coupe sur la qualité de l'état de surface. Pour cela, nous usinerons en chariotage et à sec une barre en Ti-6Al-4V ordinaire moulée qui comporte six (6) éprouvettes. Nous ferons varier pour chaque éprouvette la profondeur de coupe  $a_p$  tout en fixant la vitesse et l'avance de coupe.

#### a. Conditions de coupe

- $f_c = 0.32$  mm/tr. (constante) ;
- $V_c = 62.8$  m/min. (constante) ;
- $a_p$  (mm) = (variable).

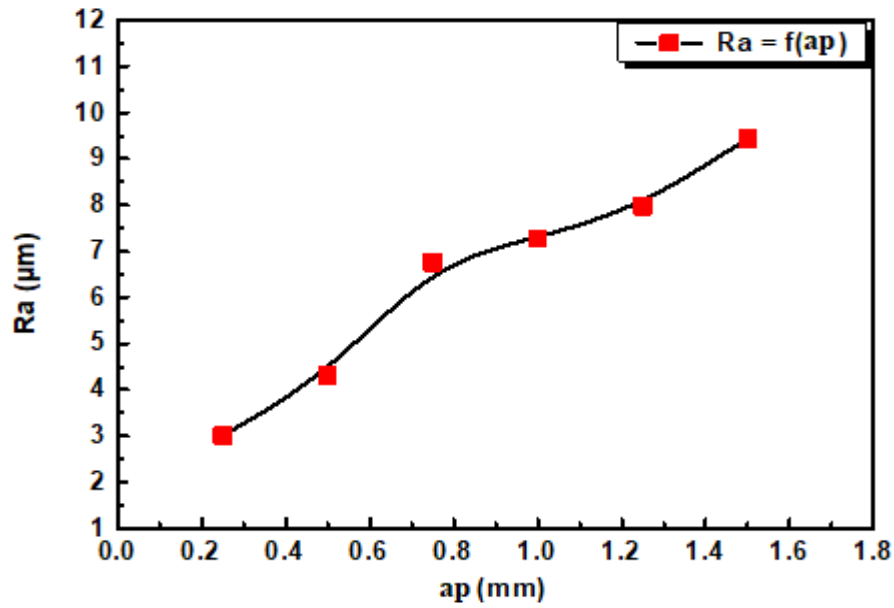
Pour faire l'usinage, on a utilisé le même montage mixte (mandrin + contre pointe tournante).

Après avoir fait l'usinage des six (6) éprouvettes avec de différentes profondeurs de coupe, on a pris les mesures de l'état de surface de chaque éprouvette à l'aide du rugosimètre. Les valeurs obtenues pour chaque essai sont rapportées dans le tableau III-8 suivant :

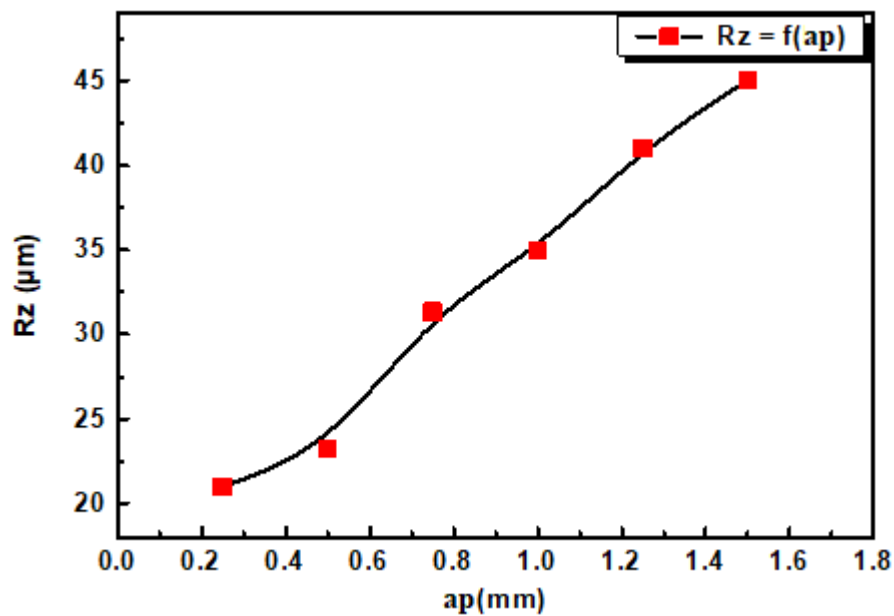
**Tableau III-8** : Résultats des mesures de la rugosité des éprouvettes de Ti-6Al-4V pour la variation d' $a_p$ .

N° diameter	$a_p$ (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
Ø.N°1	0,25	3,01	21,01
Ø.N°2	0,5	4,32	23,23
Ø.N°3	0,75	6,76	31,34
Ø.N°4	1	7,28	34,99
Ø.N°5	1,25	7,98	41,02
Ø.N°6	1,5	9,45	45,04

Les résultats obtenus dans le tableau présenté ci-dessus sont représentés sous forme de courbes dans les figures suivantes (Figs III-12 et III-13) :



**Figure III -12 :** Évolution de la rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe (ap) (mm) pour l'Ti-6Al-4V.



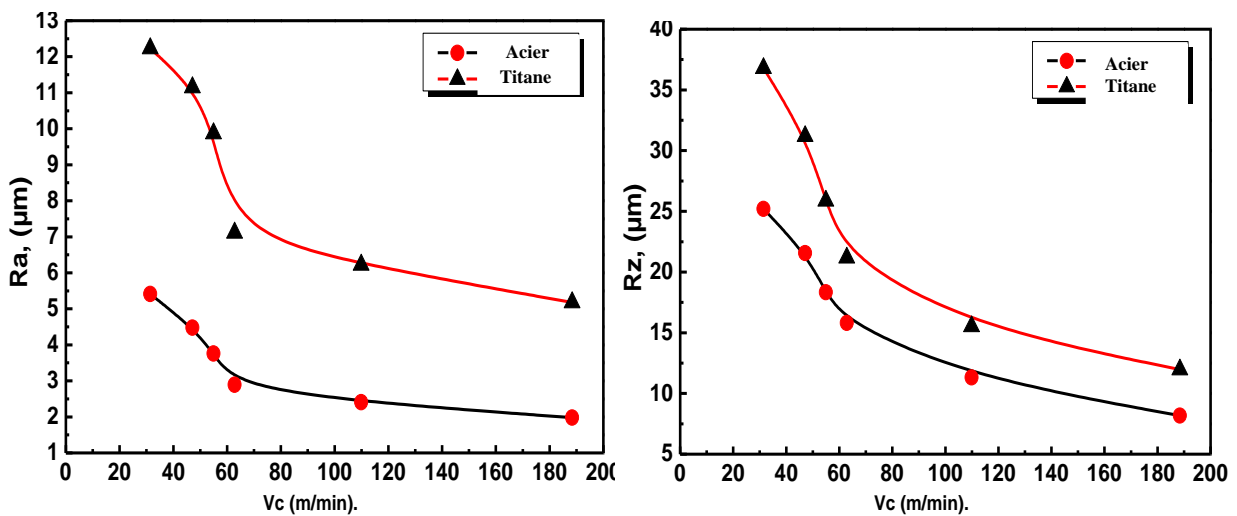
**Figure III -13 :** Évolution de la rugosité maximale Rz ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe (ap) (mm) pour l'Ti-6Al-4V.

D'après les figures, on ne constate que la courbe de la rugosité maximale Rz ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe (ap), (mm) pour l'Ti-6Al-4V. Reste plus ou moins constante (faible amélioration de la qualité). De même, la courbe de la rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) en fonction de la profondeur de coupe (ap), (mm) reste relativement constante (la différence est très faible).

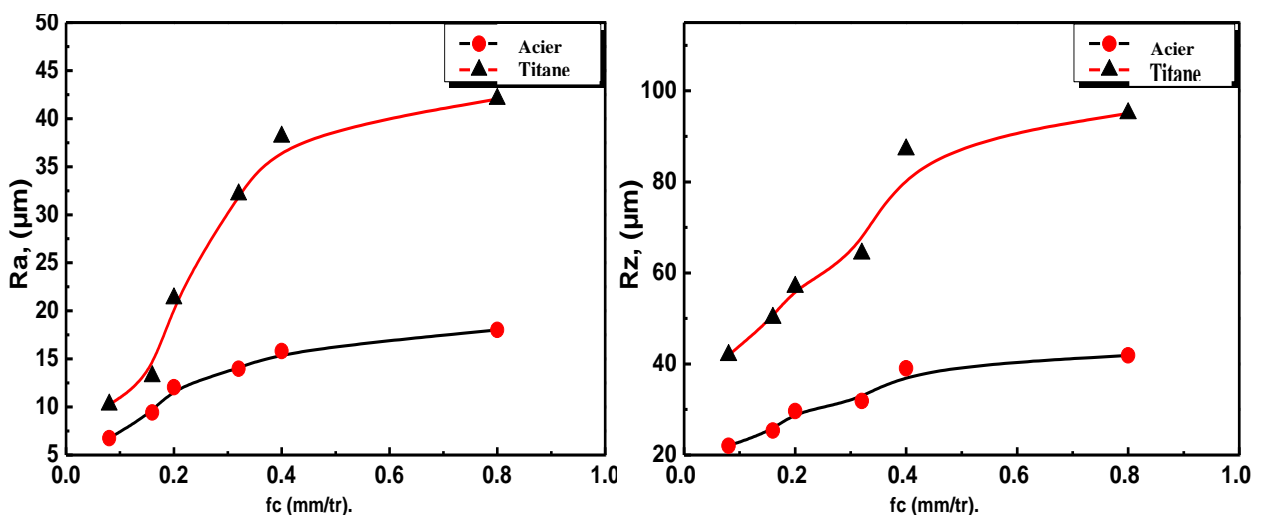
Il a été constaté que plus la profondeur est élevée, Plus l'effort de coupe est important plus la rugosité est élevée, plus la qualité de la surface est faible.

**III.3 Influence de la nature de matériaux les paramètres de surface sur Ra et Rz**

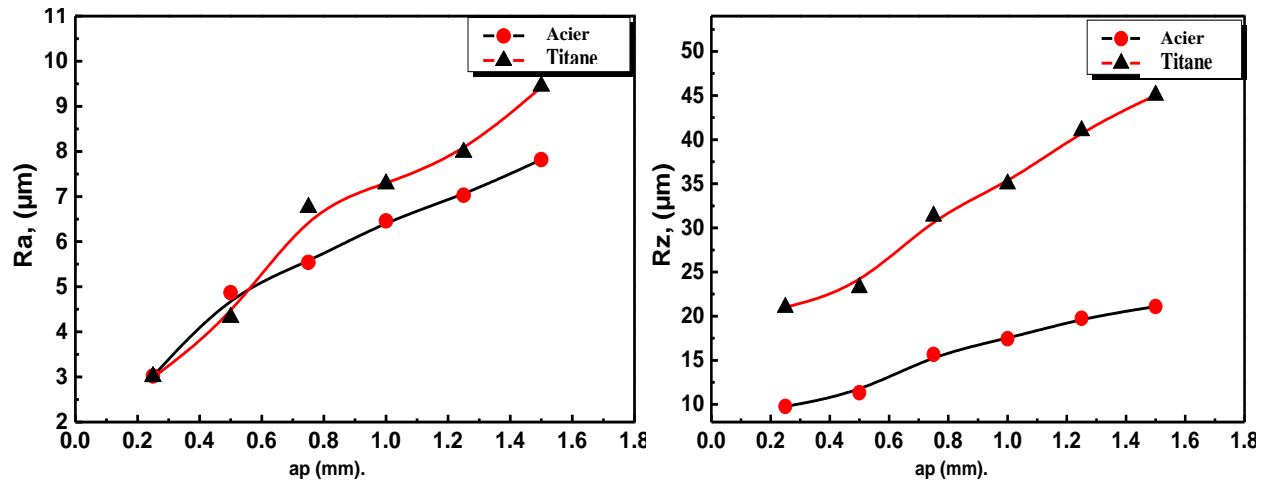
Après avoir fait nos expériences sur deux matériaux séparément de natures différentes et de dureté différentes, l'acier inoxydable AISI 316L de  $H_v=210$  MPa et Ti-6Al-4V de  $H_v = 310$  MPa. On a comparé les résultats obtenus pour les deux matériaux pour mettre en évidence l'influence de la dureté des deux matériaux usinés sur la qualité de l'état de surface. Les figures III-14 à III-16 qui vont suivre montrent cette différence.



**Figure III -14 :** Évolution de la rugosité moyenne Ra (µm) (a) et de la rugosité maximale (b) en fonction de la vitesse de coups Vc (m/min)  $f_c = 0.32$  mm/tr et  $a_p = 1$  mm



**Figure III -15 :** Évolution de : (a) la rugosité moyenne Ra (µm) et de (b) la rugosité maximale en fonction de l'avance de  $f_c$  (mm/tr)  $V_c = 62.8$  m/min et  $a_p = 1$  mm



**Figure III -16 :** Évolution de : a) la rugosité moyenne Ra ( $\mu\text{m}$ ) et de b) la rugosité maximale en fonction de la profondeur de coupe  $a_p$  (mm) avec  $V_c = 62.8$  m/min et  $f_c = 0.32$  mm/tr

On note de tous les graphiques et données que la qualité de surface de l'acier inoxydable AISI 316L est beaucoup mieux que la qualité de surface de le Ti-6Al-4V Aux mêmes paramètres de coupe ( $V_c = 62.8$  m / min,  $a_p = 1$  mm,  $f_c = 0,32$  mm / tr) et au même outil.

Cela explique l'effet de la force de coupe sur la qualité de la surface ;

Plus la résistance à la force de coupe est faible, plus la qualité de la surface est élevée

Et l'inverse ; plus la résistance à la force de coupe est élevée, comme dans le Ti-6Al-4V, plus la qualité de surface ne se détériore.

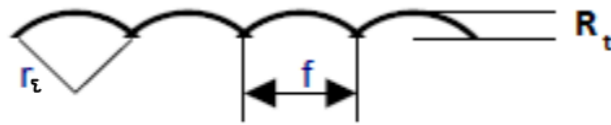
## DISCUSSION

### III.4 Influence des conditions de coupe sur l'état de surface

L'opération de tournage génère une topographie de surface hélicoïdale que représente l'état de surface et caractérisé par la rugosité. Elle varie solen les conditions de coupe.

Nous pouvons exprimer la rugosité totale par la relation empirique suivant. [1]

$$R_t \rightarrow \frac{f^2}{8r_\varepsilon} \quad (r_\varepsilon \text{ en mm}) \quad (\text{Eq. III-1})$$

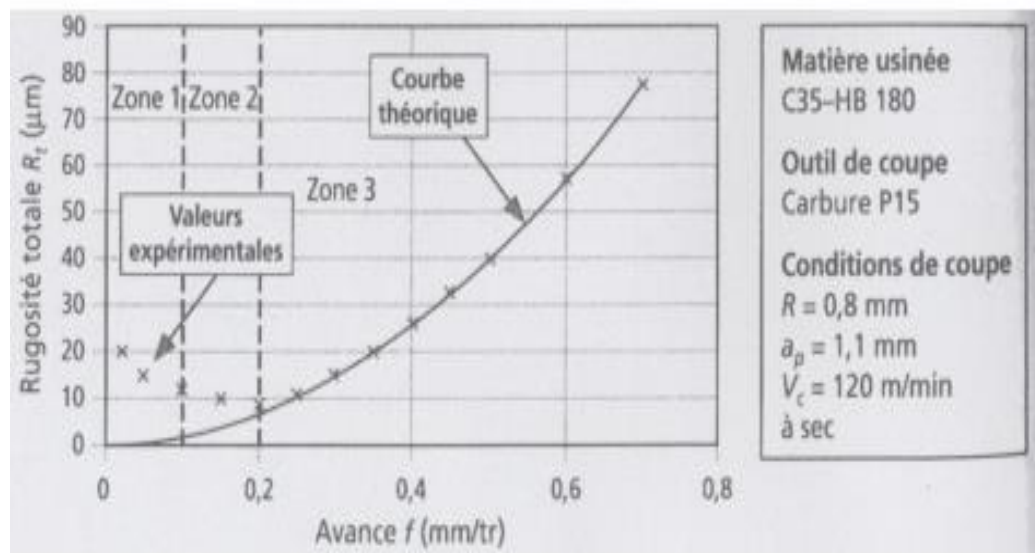


3.

**Figure III-17 :** Topographie de surface obtenue en tournage et son profil théorique associé. [1].

### III.4.1 Influence de l'avance par tour $f_c$

On constate qu'avec un même outil l'importance des stries prise en compte par le critère de rugosité varie avec la valeur de l'avance  $f_c$ . À partir des résultats expérimentaux, on peut tracer l'allure générale d'une courbe passante au mieux par les points (Fig. III-18). [2]



**Figure III-18 :** Évolution de la rugosité totale en fonction de l'avance en chariotage. [3]

**Zone 1 :** les résultats expérimentaux sont éloignés de ceux du modèle. Il semble qu'une diminution trop importante de l'avance entraîne une augmentation des paramètres de rugosité. L'épaisseur nominale de coupe devient trop faible ( $HP-f \sin \alpha$ ). L'outil ne peut plus couper, mais arrache la matière de la pièce. Les écarts de quatrième ordre deviennent très importants, l'hypothèse du modèle géométrique simple n'est plus vérifiée. L'étendue de cette hypothèse est fonction de la qualité de l'acuité de l'arête principale de coupe et de son stade d'usure, et surtout de la vitesse de coupe. Si on augmente la vitesse de coupe ( $V_c$ ), alors la zone 1 diminue et la coupe se fait dans de meilleures conditions. On se rapproche beaucoup du modèle. D'où l'intérêt des céramiques et des c-BN (nitrure de bore cubique) permettant d'usiner à des vitesses de coupe très élevées et ainsi d'avoir un état de surface remarquable, même avec des avances faibles. En

usinant très vite, on met en évidence les caractéristiques viscoplastiques du matériau. Les grandes vitesses de déformation induisent une rupture fragile conduisant à un état de surface plus lisse. C'est un des aspects intéressants de l'usinage à grande et à très grande vitesse.

**Zone 2 :** les résultats expérimentaux sont toujours supérieurs à ceux donnés par le modèle. Mais les valeurs deviennent comparables. Les écarts du quatrième ordre sont la cause de cette différence.

**Zone 3 :** les résultats expérimentaux sont en accord avec ceux du modèle. La coupe se fait dans de bonnes conditions et l'état de surface des sillons est net. Il faudrait en toute rigueur donner au modèle un domaine de validité, mais la difficulté de prédire la limite de la zone 3 rend ceci actuellement impossible. Seule une validation expérimentale permet de donner cette limite. [3]

### III.4.2 Influence de la vitesse de coupe $V_c$

Pour cette étude la caractérisation de la qualité de la surface usinée a été limitée aux trois critères de rugosité ( $R_t$ ). La Figures exprime l'influence de coupe  $V_c$  sur la rugositéobtenue. [05] Une série d'essais expérimentaux permet de se rendre compte de cet état de fait(Fig. III-19).

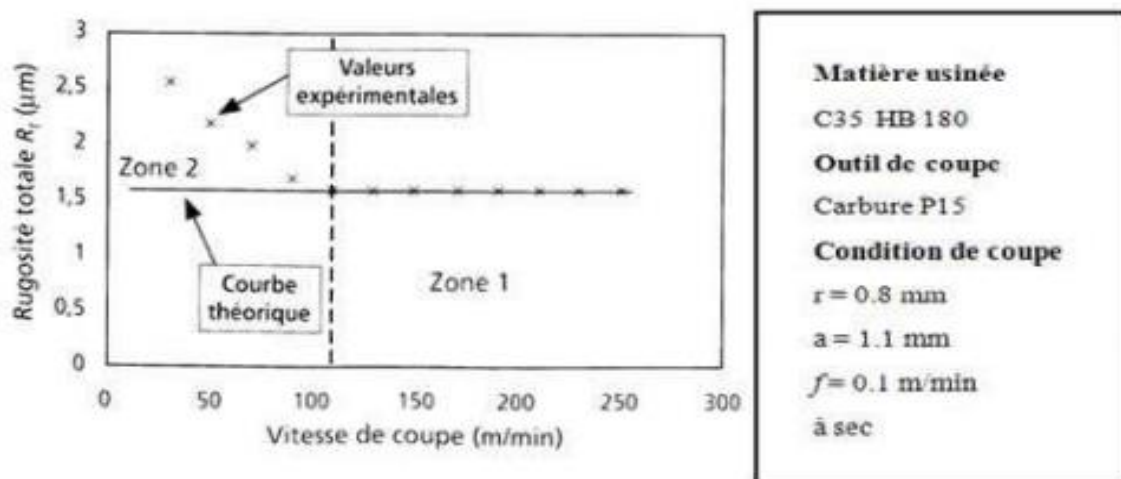


Figure III-19 : Évolution de la rugosité totale en fonction de la vitesse de coupe en chariotage. [3]

**Zone 1 :** la vitesse de coupe ( $V_c$ ) n'a aucune influence sur la rugosité. Le modèle géométrique est applicable.

**Zone 2 :** dans cette zone à basse vitesse de coupe, la valeur des paramètres de rugosité croît.

Cette augmentation est due à l'effet cumulé de l'apparition d'une arête rapportée et des phénomènes d'arrachement.

En conclusion, la plage d'utilisation normale de l'outil conduit nécessairement à éviter l'arête rapportée. On considère donc couramment que  $V_c$  n'a pas d'influence sur l'état de surface. C'est pour cette raison que les modèles de  $R_t$  et  $R_a$  ne prennent pas en compte  $V_c$ . Il demeure néanmoins des applications où il n'est pas possible d'éviter de faibles vitesses de coupe. [3]

### III.4.3 Influence de profondeur de passe $a_p$

La figure III-20 l'évolution des pressions de coupe en fonction de la profondeur de passe ( $a_p$ ). Avec l'augmentation de cette dernière, on remarque une diminution des pressions, L'analyse des résultats montre qu'aux faibles valeurs de la profondeur de passe on enregistre des pressions élevées. À cet effet, il est déconseillé de travailler aux faibles valeurs d' $a_p$ , parce que l'arête de coupe subit des pressions énormes qui peuvent l'endommager. [6]

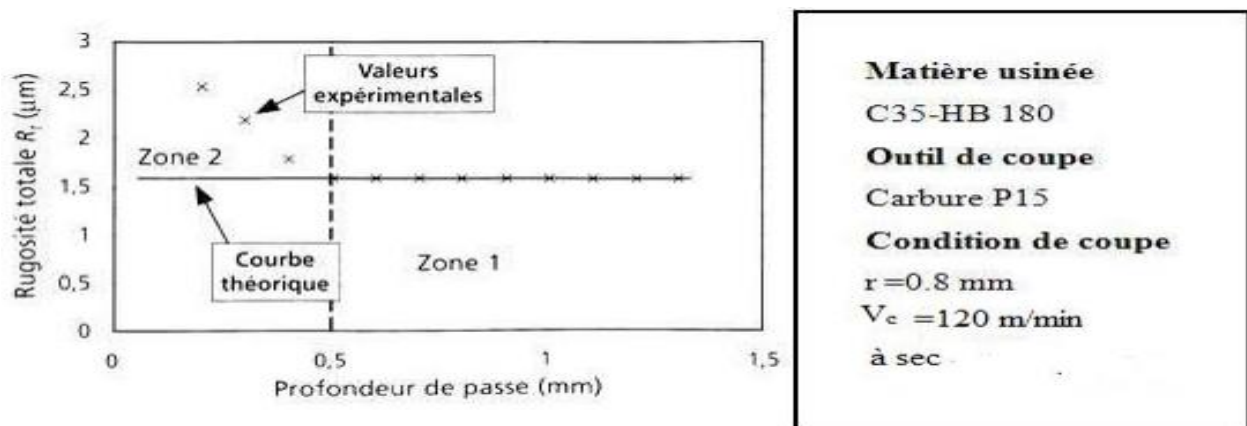


Figure III-20 : Évolution de la rugosité totale en fonction de la profondeur de passe en chariotage. [3]

**Zone 1 :**  $a_p$  n'a aucune influence sur les paramètres de rugosité.

**Zone 2 :** dans cette zone à faibles profondeurs de passe, la valeur des paramètres de rugosité croît. L'épaisseur nominale de coupe devient localement très faible. L'outil ne coupe plus, des vibrations apparaissent, les écarts de quatrième ordre deviennent importants.

Si on augmente la vitesse de coupe, la zone 2 rétrécit et la coupe se passe mieux du fait du comportement viscoplastique du matériau. Cela explique notamment l'intérêt d'usiner à des vitesses de coupe très élevées en finition, afin de retrouver une épaisseur de coupe compatible à la fois avec les exigences de précisions dimensionnelles et avec les caractéristiques de formation du

copeau sur in outil de géométrie d'arête donnée. [3].

### III.4.4 Influence de la géométrie de l'outil

#### a. Le rayon de bec

Pour étudier l'influence réelle du rayon de bec sur les paramètres de rugosité, usinons un ensemble de cylindres. Chaque cylindre est usiné avec une plaquette ayant un rayon de bec  $r_\varepsilon$  différent (de 0,4 mm à 1,6 mm) (Fig. III-21).

Matière usinée : C35-HB 180. Outil : carbure P15. Conditions de coupe :  $V_c=120\text{m/min}$   
 $f_c=0,1\text{m/min}$ .  $a_p=1,1\text{mm}$ . [4]

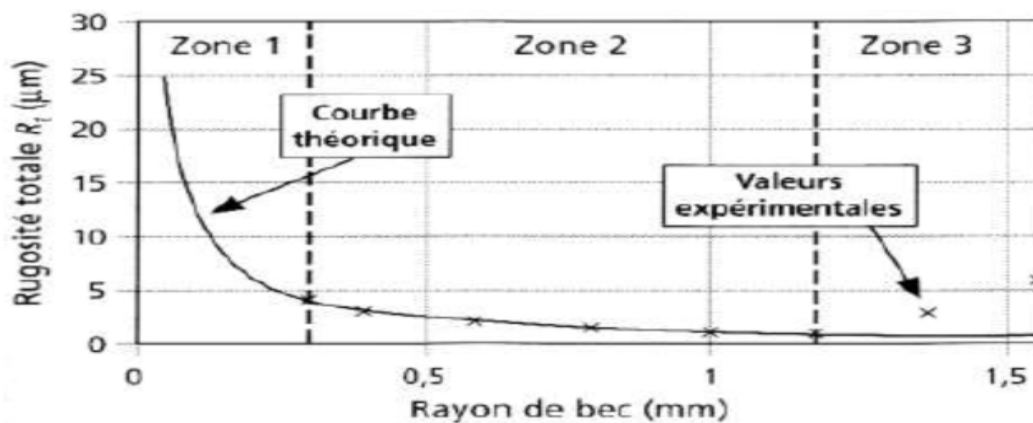


Figure III-21 : Évolution de la rugosité totale en fonction du rayon de bec en chariotage. [1]

**Zone 1** : pour un rayon de bec petit ( $r_\varepsilon < 0,4$  mm), aucune conclusion ne peut être tirée, car on ne peut pas comparer avec le modèle géométrique du fait de l'absence d'outils avec faibles rayons.

**Zone 2** : les résultats sont en accord avec le modèle géométrique.

**Zone 3** : les valeurs des paramètres de rugosité augmentent. Les résultats expérimentaux s'éloignent des valeurs données par le modèle (Fig. III-21). À avance constante, l'épaisseur locale du copeau diminue.

Lorsque  $r_\varepsilon$  augmente. L'outil ne coupe plus aussi bien et arrache la matière de la pièce. Les écarts du quatrième ordre deviennent très importants, l'hypothèse du modèle n'est plus vérifiée. En effet, l'épaisseur des copeaux devenant très faible, un refus de coupe locale peut apparaître (copeau minimal). L'étude de cette zone 3 est fonction de la qualité de l'acuité de l'arête

principale de coupe, de son stade d'usure  $V_{BB}$ , de la vitesse de coupe  $V_c$ , et de l'avance  $f_c$  choisie. Si on augmente  $V_c$  ou  $f_c$ , la coupe se fait dans de meilleures conditions ce qui implique que  $R_t$  diminue. Cela s'explique notamment par l'augmentation de l'épaisseur locale des copeaux avec l'avance au de là d'une valeur critique, mais aussi par le comportement viscoplastique du matériau. L'épaisseur du copeau minimum diminue. [4]

### III.5 CONCLUSION

Après avoir fait une présentation détaillée des matériaux utilisés et avoir préparé des échantillons (Acier inoxydable austénitique 316 L et Ti-6Al-4V).

Nous avons mesuré l'état de la surface sous l'influence des paramètres de coupe ( $V_c$ ,  $f_c$ ,  $a_p$ ) et en fonction des conditions de coupe pour chaque mesure on a Expliqué et discuté graphiquement chaque processus.

Ensuite, nous avons extrait le grand effet des paramètres de coupe, qui se diffère selon la qualité de chaque matériau.

En effet, l'influence la plus pertinente sur la rugosité est attribuée à l'avance, suivie par la vitesse de coupe et enfin la profondeur de passe.

Nous concluons la dureté à une influence considérable sur la qualité de la surface usinée.

Ce résultat a été déjà obtenu dans la littérature (**Jean-Pierre CORDEBOIS et COLL**, fabrication par usinage. Industrie et technologies. DUNOD, paris 2003).

---

**Références bibliographiques**

- [1] Madani Mohammed Saïd. Ghouini Rabah, *Amélioration des paramètres technologiques de coupe en tournage*. Mémoire de Master Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).
- [2] Sciences et Techniques Industrielles, *Productique. Cours Génie Mécanique. Première*. Couple outil - pièce. 2 vitesses d'avance.
- [3] Jean-Pierre Cordebois, *fabrication par usinage*. Industrie et technologies. dunod (2003).
- [4] Issaadi Madjid. Merabtine Amira, *Etude de l'influence des paramètres de coupe sur La précision de l'état de surface obtenue par usinage En tournage*. Mémoire de Master. Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzo (2015).
- [5] Mossaab Selaimia, *Etude des efforts de coupe et de la rugosité lors de l'usinage du PE80*. Mémoire de Licence. Université 08 Mai 1945 Guelma (2008).
- [6] Sciences & Technologie B – N°25. *Influence Des Conditions d'usinage Sur Les Efforts De Coupe Lors Du Tournage Du 100cr6 (60hrc) Avec Le Cbn*. Influence de la profondeur de passe (2007).

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour assurer le bon fonctionnement des systèmes mécaniques, les caractéristiques des pièces (mécaniques et dimensionnelles) doivent être respectées pour bien se fonctionner dans des conditions appropriées et pour avoir une durée de vie plus longue. L'une des plus importantes de ces caractéristiques est la qualité de l'état de la surface de la pièce.

Notre objectif par cette expérience est de découvrir l'effet des paramètres de coupe sur la qualité de l'état de la surface.

Au début, nous avons préparé deux échantillons de matières premières (Barres en alliage de titane Ti-6Al-4V et en acier inoxydable austénitique AISI 316L) ;

Ensuite, nous avons préparé 6 échantillons de test pour chaque barre des deux matériaux ;

Puis, nous avons étudié le changement d'un des paramètres de coupe sur chacun des échantillons ;

Après, nous avons étudié la rugosité de chaque échantillon avec un rugosimètre ;

Enfin on a représenté graphiquement les résultats et les a discutées pour étudier l'effet des paramètres de coupe sur la qualité de surface.

Et pour connaître l'effet de la dureté, on a comparé les résultats obtenus pour le titane Ti-6Al-4V et l'acier inoxydable austénitique AISI 316L.

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec le domaine de la recherche bibliographique et de travailler en visitant les ateliers 6, 9 et 7 de ECMK / Entreprise de Construction Mécanique Khenchela ainsi que l'utilisation d'outils de mesure de rugosité.