

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté: SCIENCES DE L'INGENIORAT.

Département: GENIE MECANIQUE.

Domaine: SCIENCES ET TECHNIQUES.

Filière: GENIE MECANIQUE

Spécialité: FABRICATION MECANIQUE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

L'influence de la vitesse de coupe sur la rugosité  
de surface lors de l'usinage de l'acier XC48

Présenté par : SAOU SALAH EDDINE

Encadrant : Dr. NEHAL ABD ELAZIZ

Université: UBM Annaba

Jury de Soutenance :

<b>BOUCHELACHEM ABD EL AZIZ</b>	MCA	UBM Annaba	Président
<b>NEHAL ABD ELAZIZ</b>	Pr	UBM Annaba	Encadrant
<b>Rabia khelif</b>	MCA	UBM Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

# Remerciements

*Mon remerciement s'adresse en premier lieu à ALLAH le tout puissant pour la volanté, la santé et la patience qu'il m'a donnée durant ces longues années.*

*Je tiens aussi à remercier mon encadreur Dr. NEHAL ABD ELAZIZ qui m'a apporté une aide précieuse, je lui exprime ma gratitude pour sa grande disponibilité, ainsi que pour sa compréhension et les encouragements qu'il m'a apportés.*

*Mes remerciements aussi s'adressent à tous Les enseignants du Département de Génie Mécanique.*

*Mes remerciements vont à ma famille pour son soutien morale et financière durant cette formation.*

*Finalement, je tiens aussi à remercier mes camarades du département du génie mécanique.*

# Dédicace

➤ Je dédie ce modeste travail à :

- Mon père et ma mère.

- Ma sœur

- Mes frères

- Toute ma famille.

- Mes amis et mes collègues d'étude.

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

## Chapitre I

### Généralité Sur L'usinage :

<b>I.1 Introduction :</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2 Définitions :</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2.1 Le tournage :</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2.2 Principe de tournage :</b> .....	<b>2</b>
<b>I.2.3 Les tours :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.4 Classification des machines de tour :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.4.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.4.2 Les tours à copier :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.4.3 Les tours semi-automatiques :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.4.4 Les tours automatiques :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.4.5 Les tours automatiques multibroches :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.4.6 Les tours à commande numérique :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.5 Différentes opérations de tournage :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.5.1 Chariotage :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.5.2 Alésage :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.5.3 Dressage :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.5.4 Perçage :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2.5.5 Rainurage :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.5.6 Chanfreinage :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.5.7 Tronçonnage :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.5.8 Filetage :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.3 Conditions de coupe en tournage :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.3.1 Vitesse de coupe :</b> .....	<b>8</b>
<b>I.3.2 Vitesse d'avance <math>V_f</math> , Avance par tour :</b> .....	<b>9</b>
<b>I.3.2.1 Les types d'avances :</b> .....	<b>10</b>
<b>I.3.3 Profondeur de passe « a » :</b> .....	<b>10</b>
<b>I.4 Paramètres géométriques de coupe :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.5. Éléments d'outil :</b> .....	<b>12</b>

# Sommaire

---

I.5.1. Faces et arêtes de l'outil : .....	12
I.5.2 Angles de l'outil :.....	14
I.5.3 Outil de coupe à plaquette rapportée :.....	15
I.6. Matériaux de l'outil : .....	15
I.7 Paramètres techno-économiques d'usinage : .....	18
I.7.1 Temps d'usinage :.....	18
I.8 Durée de vie d'un outil de coupe :.....	19
I.8.1 Type d'usure :.....	20
I.8.2 Principaux modèles mathématiques de l'usure :.....	23
I.8.2.1 Loi de Taylor : .....	23
I.8.2.2 Loi de Gilbert : .....	24
I.8.2.3 Loi de Kronenberg : .....	24
I.8.2.4 Loi de König-Depiereux :.....	24

## Chapitre II

### La Rugosité de Surface

II.1 Généralité : .....	25
II.2 Les défauts de surface :.....	25
II.2.1 Ordre 1 : écart de forme ou de position (ligne moyenne) :.....	26
II.2.2 Ordre 2 : Ondulations périodiques :.....	27
II.2.3 Ordre 3 : stries ou sillons :.....	28
II.2.4 Ordre 4 : Arrachement de matière :.....	29
II.3 Différents types de lignes :.....	29
II.3.1 Longueur de base, d'évaluation :.....	29
II.3.2 Lignes de référence : .....	30
II.3.3 La ligne des moindres carrés :.....	30
II.3.4 La ligne moyenne arithmétique : .....	30
II.3.5 La ligne enveloppe supérieure :.....	31
II.3.6 La ligne enveloppe inférieure :.....	31
II.4 Paramètres de rugosité unidimensionnelle.....	31
II.4.1 Paramètres d'amplitude de rugosité.....	35
II.4.2 Principaux paramètres de la rugosité : .....	35

## Sommaire

---

II.4.3 Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe : .....	35
II.4.4 Paramètres liés à la ligne moyenne : .....	36
II.4.5 Mesure de la rugosité : .....	39
II.5 Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface : .....	39
II.5.1 La Rectification : .....	39
II.5.2 Principe de La Rectification : .....	40
II.5.3 Avantage de la rectification : .....	41
II.5.4 Superfinition : .....	41
II.6 le lubrifiant : .....	42
II.6.1 Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification) : .....	43
II.6.2 Maintien en température : .....	43
II.6.3 Lubrification : .....	43
II.6.4 Évacuation des copeaux : .....	43
II.7 Composition des fluides d'usinage : .....	43
II.7.1 huiles entières : .....	43
II.7.3 fluides de type micro-émulsion : .....	44
II.7.4 fluides synthétiques : .....	44

## Chapitre III

### Partie Expérimentale

III.1. Machines-outils utilisés : .....	46
III.2 Matièreaux utilisé : .....	46
III.2.1. analyse chimique moyenne : .....	46
III 2.2.Propriétés physique et mécanique : .....	46
III.2.3.Caractéristiques : .....	46
III.3. machine-outil utilisés : .....	47
III3.1.Caractéristiques techniques et dimensions : .....	47
III.3.2. Caractéristiques techniques de l'équipement électrique. ....	47
III.3.3. Caractéristiques techniques de la Commandenumérique.....	48
III.3.4.Opération d'usinage.....	49
III.4.Outil de coupe utilisé: .....	53
III 5.Régime de coupe : .....	53

# Sommaire

---

<b>III 6.Présentation de l'éprouvette :</b> .....	<b>53</b>
<b>III.7.Rugosimètre utilisé .....</b>	<b>54</b>
<b>III.7.1.Caractéristiques techniques :</b> .....	<b>55</b>
<b>III.8.Résultats expérimentaux :</b> .....	<b>56</b>
<b>III 8.1 La vitesse de coupe Vc :</b> .....	<b>56</b>
<b>III.8.2.Le Routage d'usinage .....</b>	<b>59</b>
<b>III .8. 3. Discussions :</b> .....	<b>70</b>
<b>Conclusion :</b> .....	<b>70</b>

# Liste des figures et Tableaux

---

## Liste des figures :

Figure I.1 : Procédure de tournage.....	2
Figure I.2 : Principe de tournage.....	2
Figure I.3 : Composantes de tour.....	3
Figure I.4 : Chariotage.....	5
Figure I.5 : Alésage.....	5
Figure I.6 : Dressage.....	5
Figure I.7 : Perçage.....	6
Figure I.8 : Rainurage.....	6
Figure I.9 : Chanfreinage.....	6
Figure I.10 : Tronçonnage.....	7
Figure I.11 : Filetage.....	7
Figure I.12 : Régime de coupe.....	8
Figure I.13 : Vitesse de coupe.....	8
Figure I.14 : Vitesse d'avance $V_f$ , Avance par tour $f$ .....	10
Figure I.15 : Différents types d'avance .....	10
Figure I.16 : Les profondeurs de passe.....	11
Figure I.17 : Paramètres géométriques de coupe.....	12
Figure I.18 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage.....	13
Figure I.19 : Mouvement relatif outil/ pièce en tournage.....	14
Figure I.20 : Angles du taillant (outil en main).....	15
Figure I.21 : Angles du taillant (outil en travail).....	15
Figure I.22 : Plaquettes .....	16
Figure I.23 : Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant.....	18
Figure I.24 : Paramètres de temps technologique.....	19
Figure I.25 : Critère d'usure $VB$ .....	22
Figure II.1 : l'amplitude d'usinage.....	25
Figure II.2 : Défauts d'ordre 1.....	26
Figure II.3 : Défauts d'ordre 2.....	27
Figure II.4 : Défauts d'ordre 3.....	28
Figure II.5 : Défauts d'ordre 4.....	29
Figure II.6 : profilographe d'une surface.....	30
Figure II.7 : Ligne des moindres arithmétiques.....	31



## Liste des figures et Tableaux

---

Figure II.8 : ligne enveloppe inférieure et supérieure .....	31
Figure II.9 : Paramètres d'ondulation.....	36
Figure II.10 : Paramètre liés aux motifs.....	36
Figure II.11 : Paramètre lies a la longueur de bas.....	37
Figure II.12 : Paramètres liés à la longueur d'évaluation.....	38
Figure II.13 : Paramètres liés à la distribution d'amplitude.....	38
Figure II.14 : Rugosimètre.....	39
Figure II.15 : Opération de la Rectification.....	40
Figure II.16 : Lubrifiant.....	42
Figure III.1 : Tour CNC.....	49
Figure III.2 : Tour CNC.....	49
Figure III.3 : Outil à tronçonner.....	53
Figure III.4 : Outil à charioter et dresser.....	53
Figure III.5.la pièce.....	54
Figure III.5.1 :dessin de définition de la pièce.....	54
Figure III. 6. Dispositif pour mesurer la rugosité.....	56

# Liste des figures et Tableaux

---


## Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Valeurs approximative de $n$ pour A.R.E.S.....	23
Tableau I.2 : Valeurs approximative de $n$ pour carbure.....	23
Tableau II.1 : Les défauts macroscopiques et microscopiques.....	26
Tableau III .1 : composition chimique.....	46
Tableau III .2 : Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé.....	47
Tableau III.3. Caractéristiques techniques de l'équipement électrique.....	47
Tableau III.4 Caractéristiques techniques de la Commande numérique.....	48
Tableau III.5 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage a sec.....	60
Tableau III.6 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.....	61
Tableau III.7 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage a sec.....	63
Tableau III.8 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.....	65
Tableau III.9 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage a sec.....	67
Tableau III.10 : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.....	68

# Liste des graphes

---

<b>Graphe III .1.</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.....	60
<b>Graphe III .2</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification.....	62
<b>Graphe III .3</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.....	62
<b>Graphe III .1</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.....	64
<b>Graphe III .2</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification. .....	65
<b>Graphe III .3</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.....	66
<b>Graphe III .1</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.....	67
<b>Graphe III .2</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification. .....	69
<b>Graphe III .3</b> variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.....	69

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left and a horizontal bar at the top. The corners are rounded, and there are small circular elements at the top-left and top-right corners, suggesting the ends of the scroll.

# *Chapitre I*

## *Généralité sur l'usinage*

## I.1 Introduction :

L'**usinage** est un ensemble d'opération et une multitude de techniques qui entrent dans la fabrication d'une pièce finie selon le dessin de définition et les exigences techniques à l'aide d'une machine-outil. Cette technique nous permet la production des pièces sans modifier les caractéristiques de la matière usinée.

En général, tous les procédés de fabrication mécanique ont pour objectif l'amélioration des caractéristiques mécaniques, et géométriques des surfaces usinées. Ces améliorations passent par l'élaboration d'un acier pour une utilisation telle que l'usinage nécessitant une étude approfondie et bien précise sur le domaine et les conditions de son utilisation, pour modifier ses propriétés mécaniques.

Lors de l'usinage, les surfaces obtenues ne sont pas parfaitement lisses, elles portent toujours les traces de déplacement de l'outil, ou des vibrations de la machine-outil, ce qui engendre des défauts sur la surface en l'occurrence la rugosité Ra. Le présent travail s'est porté sur la quantification et l'amélioration de l'état de surface engendrée lors du tournage de l'acier XC48 en traitant l'influence des paramètres de coupe lors de cet usinage.

Dans ce chapitre nous présentons généralité sur le tournage, qui contient des définitions, les conditions de coupe et la géométrie d'outil en plus les paramètres techno-économiques de Production (temps, coût).

## I.2 Définitions :

### I.2.1 Le tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de

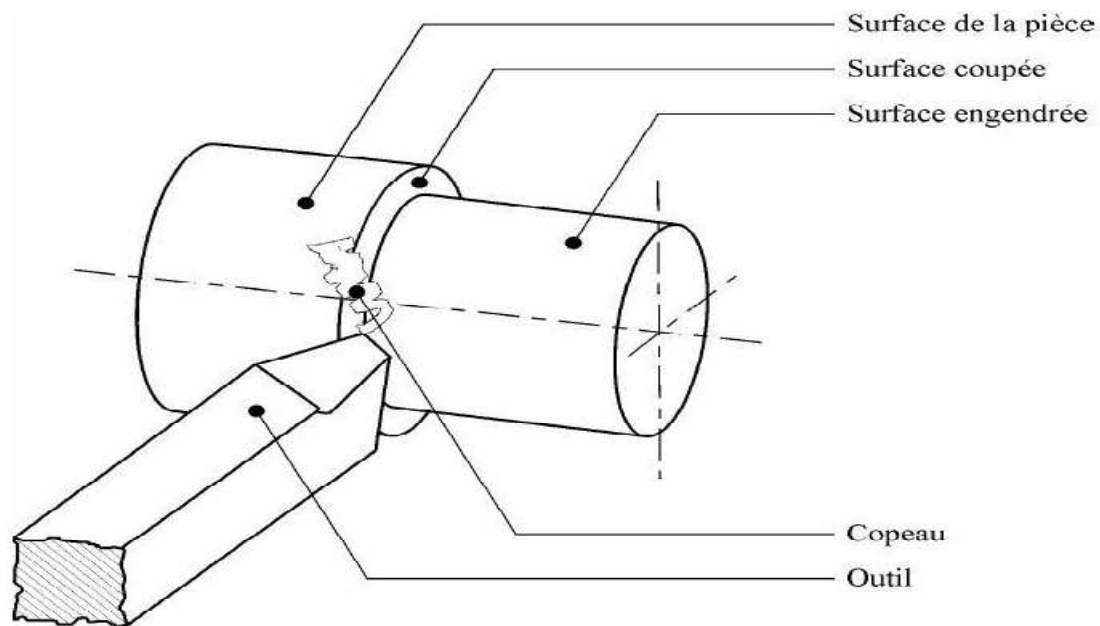
Rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est

animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé

mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce.

La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de

l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes).[4]



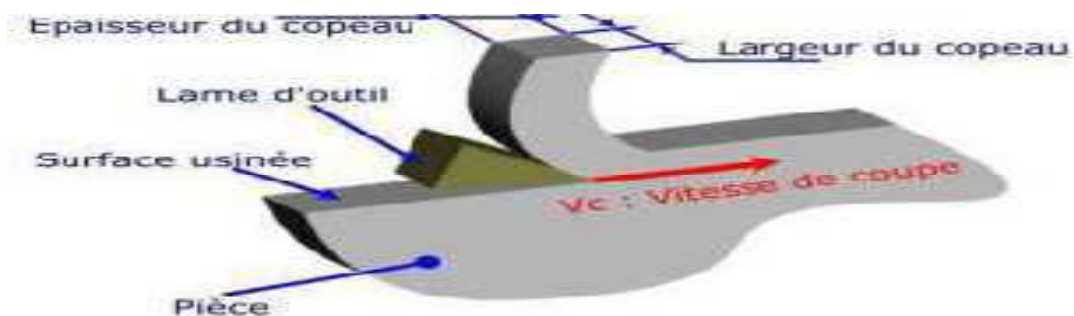
**Figure I. 1** Procédure de tournage [5]

### I.2.2 Principe de tournage :

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de CoupeMe. L'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance  $M_f$ .

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui Transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (Mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que Cylindre, cône, sphère, etc.

Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, Alésage, taraudage.[6]



**Figure I. 2** Principe de tournage [6]

### I.2.3 Les tours :

Les tours (voir Figure. I.3) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (Filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, Perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche. [7]

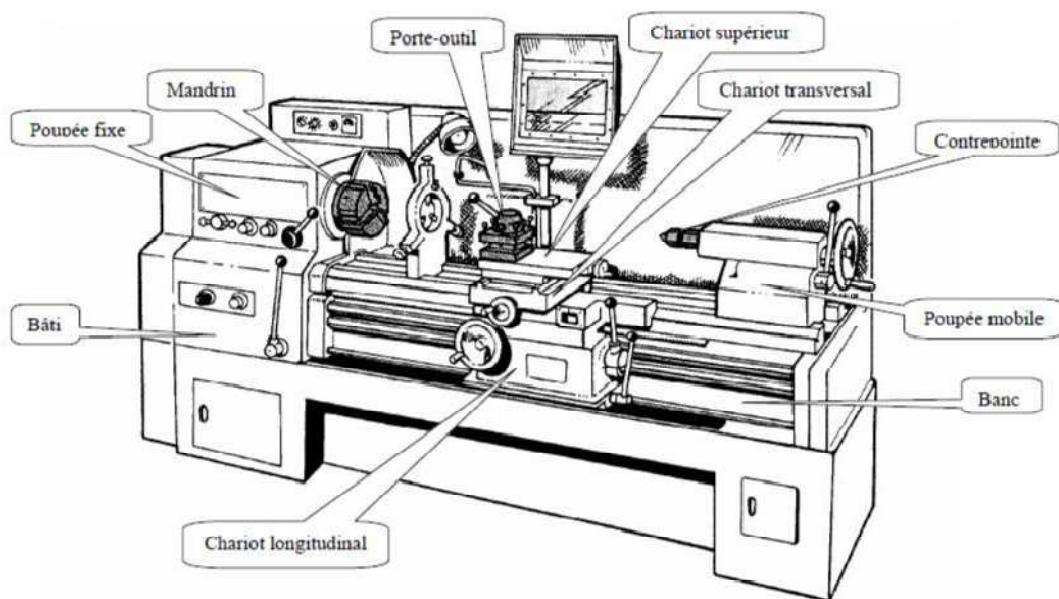


Figure I.3 Composantes de tour.[7]

### I.2.4 Classification des machines de tour :

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

#### I.2.4.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter :

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou de petites et moyennes séries sur des pièces très simples. Ces tours sont peu flexibles. Seules les surfaces dont les génératrices sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche sont réalisables en travail d'enveloppe. [8]

**I.2.4.2 Les tours à copier :**

Ils permettent l'usinage de pièces par reproduction, à partir d'un gabarit, grâce à un système de copiage hydraulique qui pilote le déplacement du chariot transversal. C'est une machine assez flexible qui peut convenir pour des travaux de petites à grandes séries. La génératrice des surfaces de révolution peut être quelconque. [8]

**I.2.4.3 Les tours semi-automatiques :**

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une Tourelle hexagonale munie de 6 postes d'outils animée d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie 5 Automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série. [8]

**I.2.4.4 Les tours automatiques :**

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries.[8]

**I.2.4.5 Les tours automatiques multibroches :**

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectuées un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches. [8]

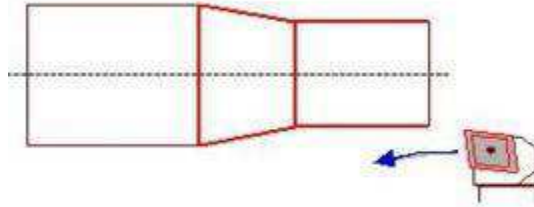
**I.2.4.6 Les tours à commande numérique :**

Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce. Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces. La flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives. [8]



**I.2.5 Différentes opérations de tournage :****I.2.5.1 Chariotage :**

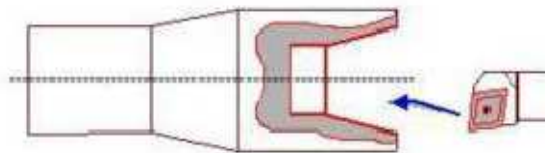
Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure



**Figure I.4** Chariotage [8]

**I.2.5.2 Alésage :**

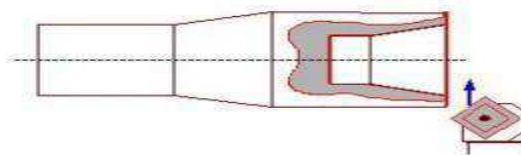
Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure



**Figure I.5** Alésage[8]

**I.2.5.3 Dressage :**

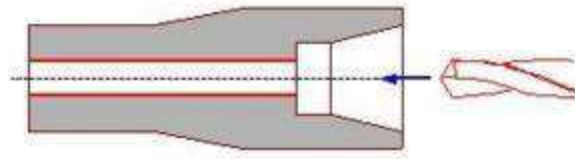
Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure



**Figure I.6** Dressage[8]

**I.2.5.4 Perçage :**

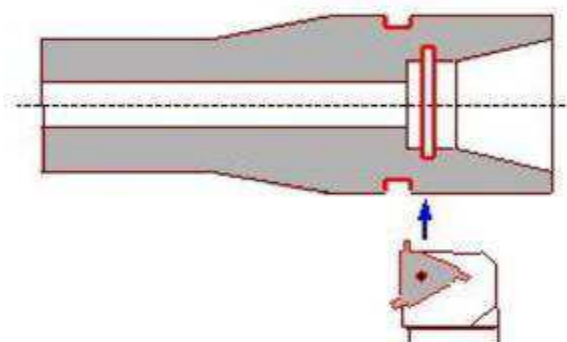
Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forê



**Figure I.7** Perçage[8]

### I.2.5.5 Rainurage :

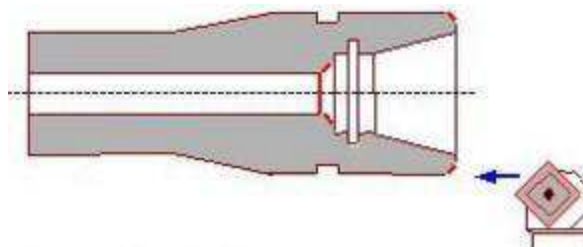
Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique par exemple.



**Figure I.8** Rainurage[8]

### I.2.5.6 Chanfreinage :

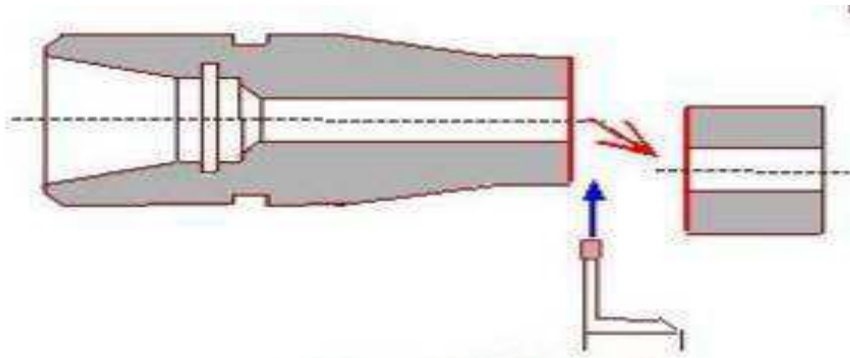
Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif.



**Figure I.9** Chanfreinage[8]

**I.2.5.7 Tronçonnage :**

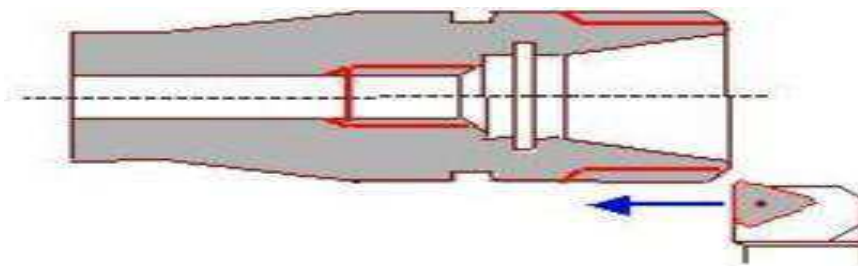
Opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon.



**Figure I.10** Tronçonnage [8]

**I.2.5.8 Filetage :**

Opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur.



**Figure I.11** Filetage [8]

**I.3 Conditions de coupe en tournage :**

Les paramètres de coupe sont choisis mécaniques de la matière à usiner et de l'outil. Ils sont indépendants de la machine utilisée et des caractéristiques géométriques de la pièce et de l'outil.

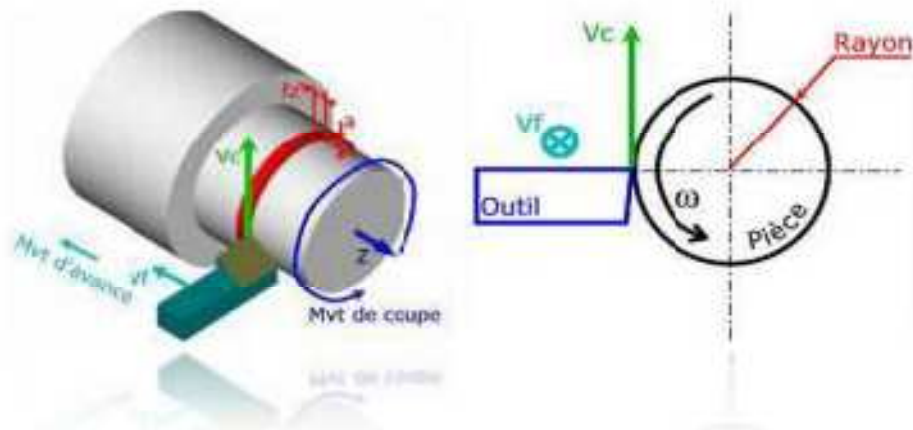


Figure I.12 Régime de coupe [9]

**I.3.1 Vitesse de coupe :**

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse  $\omega$  rad / s (soit N tr / min), cette vitesse angulaire étant communiquée par la broche de la machine via le porte-pièce. Compte tenu du diamètre de la pièce au point d'usinage situé sur un diamètre D , la vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil (supposé fixe par rapport à la machine) vaut[4]

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} (m / \text{min}) \tag{I-1}$$

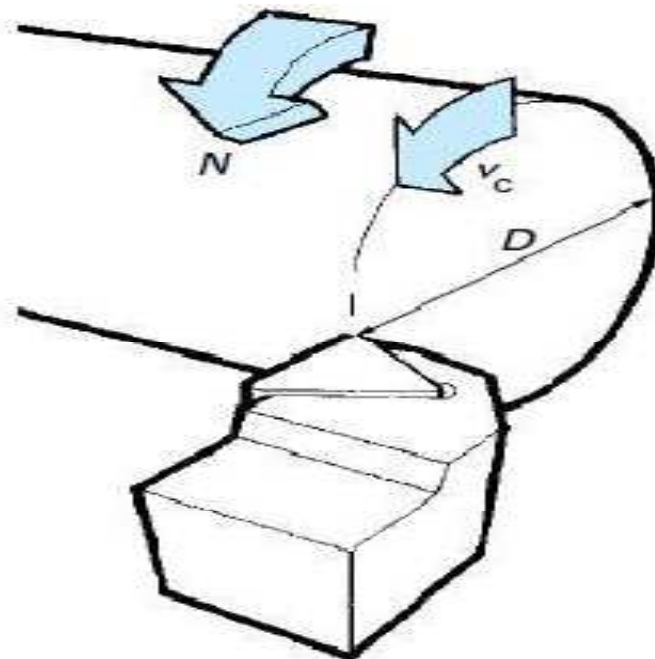


Figure I.13 Vitesse de coupe [4]

Cette vitesse est appelée vitesse de coupe soit, avec les unités traditionnelles de la fabrication mécanique :

$V_c$ : vitesse de coupe(m/ min)

$D$  : Diamètre de la pièce(mm)

$N$  : Fréquence de rotation (tr / min )

Il convient d'observer que la vitesse de coupe n'est constante que si la vitesse de broche et le diamètre de la pièce demeurent inchangés. En dressage, par exemple où l'outil se déplace en direction du centre, la vitesse de coupe varie continuellement si la rotation de la pièce s'effectue à une vitesse de broche constante. Or, pour une productivité maximale et une meilleure qualité des surfaces obtenues, il est souhaitable de maintenir la vitesse de coupe constante. Sur un grand nombre de tours modernes, la vitesse de broche augmente au fur et à mesure que l'outil approche de l'axe, afin de compenser ainsi la diminution de diamètre. Mais dans le cas de très petits diamètres, cette compensation se révèle impossible du fait de la plage de vitesse limitée qu'autorisent les machines. De même, lorsqu'une pièce, comme cela est souvent le cas, présente des diamètres différents ou est de forme conique ou courbe, la fréquence de rotation doit être corrigée en fonction du diamètre, pour maintenir la vitesse de coupe constante. [4]

Le préparateur choisit cette vitesse de coupe en fonction, notamment :

- des matériaux de la pièce et de l'outil
- de la lubrification
- de la durée de vie souhaitée pour l'outil.

### **I.3.2 Vitesse d'avance $V_f$ , Avance par tour :**

La vitesse d'avance  $V_f$  (mm/min) est la vitesse à laquelle se déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour  $f$  (mm/tr) est la valeur du déplacement d'outils, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. [4]

$$V_f = f \times N \text{ (mm/ min)}. \quad (I-2)$$

$V_f$  : vitesse d'avance (mm/ min).

$f$ : L'avance (mm).

$N$  : Fréquence de rotation(tr/ min).

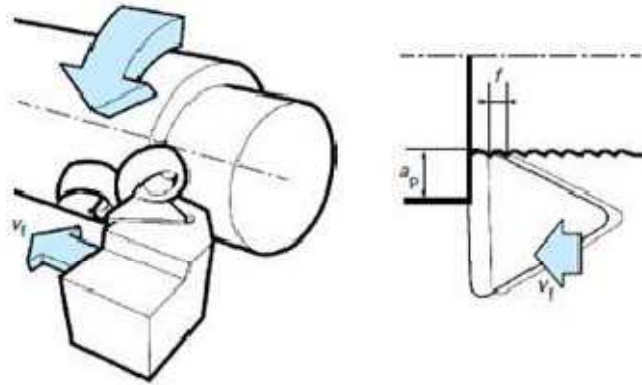


Figure I.14 : Vitesse d'avance  $V_f$ , Avance par tour  $f$  [4]

### I.3.2.1 Les types d'avances :

On distingue trois sortes d'avance :

a) Avance longitudinal :

On appelle avance longitudinale si l'outil se déplace parallèlement à l'axe de l'ébauche.

b) Avance transversale :

On appelle avance transversale si l'outil se déplace perpendiculairement à l'axe de l'ébauche.

c) Avance oblique :

On appelle avance oblique si l'outil se déplace sous un angle par rapport à l'axe de l'ébauche.

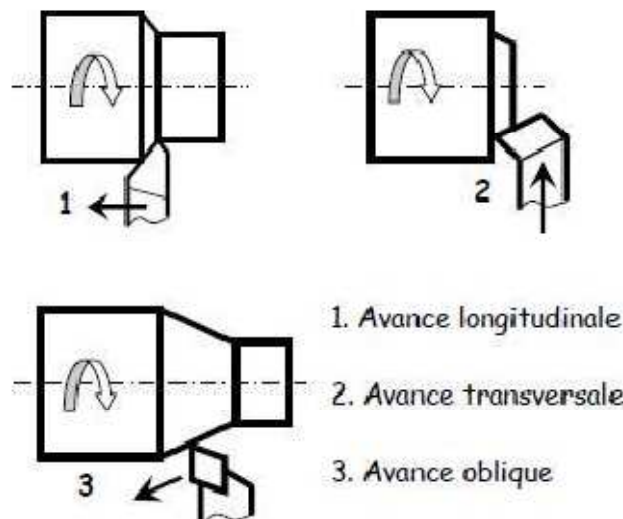


Figure I.15 Différentes types d'avance [10]

### I.3.3 Profondeur de passe « a » :

La profondeur de passe notée  $a$  en (mm), correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le

rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage. La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil. [9,11]

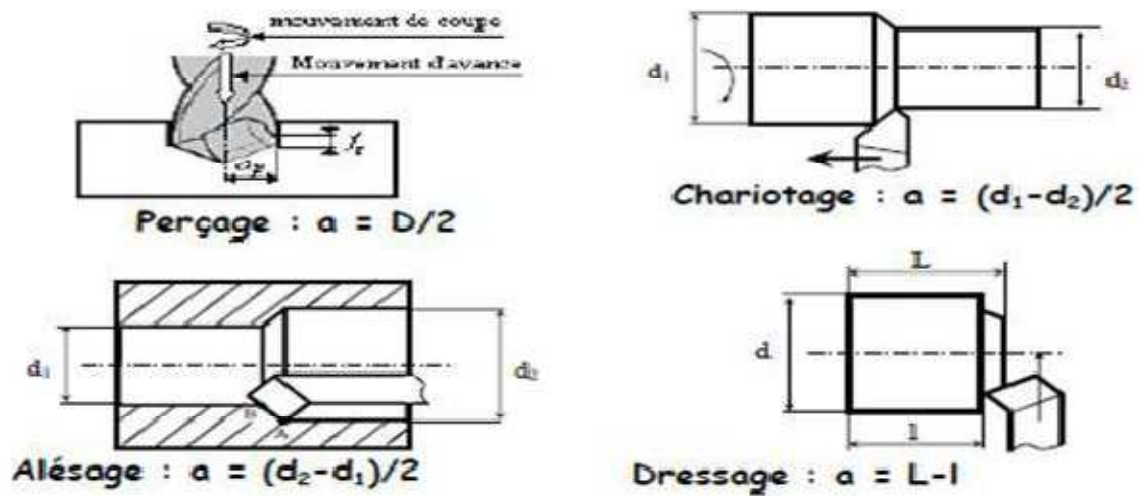
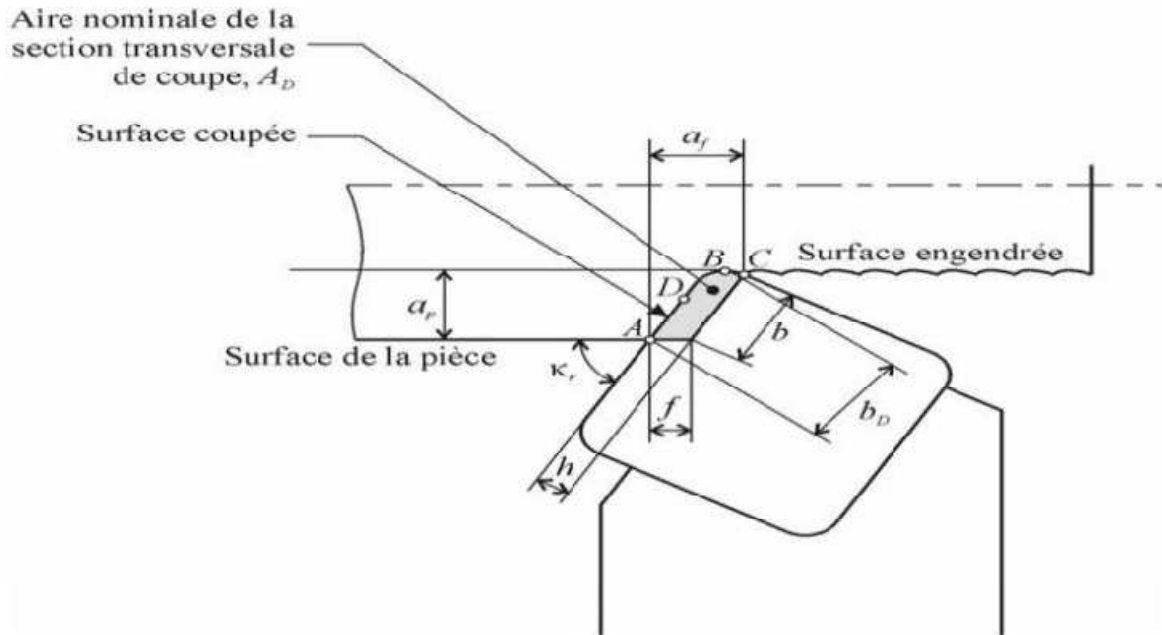


Figure I.16 Les profondeurs de passe.[8]

#### I.4 Paramètres géométriques de coupe :

La distance entre la surface de la pièce et la surface engendrée est appelée profondeur de passe  $a$ . Cependant, afin d'arriver à la dimension finale de la pièce, on doit souvent effectuer plusieurs passes. La passe est définie comme la couche de matière de la pièce qui doit être enlevée par un passage unique de l'outil de coupe. La partie de matière usinée entre la surface de la pièce et la surface finale désirée (après avoir effectué toutes les passes nécessaires) est appelée surépaisseur d'usinage. On appelle la coupe la couche de matière qui est enlevée par une action unique de la partie active et transformée en copeaux. Ces différents paramètres sont illustrés à la figure I.17 [12]



**Figure I.17** Paramètres géométriques de coupe[12]

$a_p$ : Profondeur de coupe.

$a_f$ : Engagement de l'arête.

$f$ : Avance.

$h$ : Épaisseur de coupe.

$b$ : Largeur de coupe.

$b_D$ : Largeur nominale de coupe.

$\kappa_r$ : Angle de direction d'arête.

$D$  : Point principal de l'arête.

### **I.5. Éléments d'outil :**

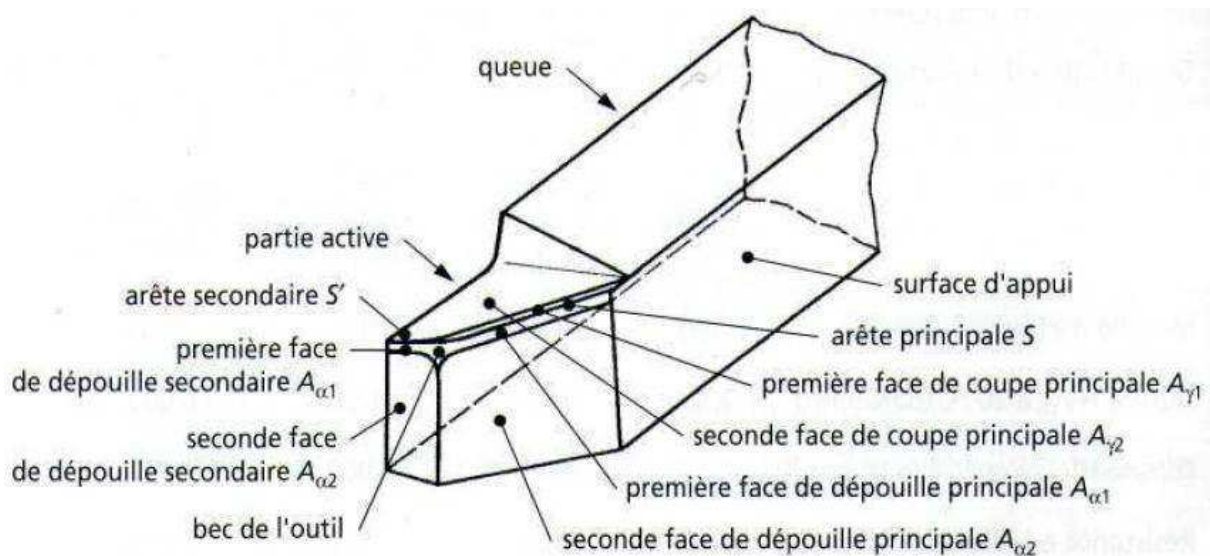
Il existe une grande diversité d'outils de coupe. Toutefois, les principaux éléments des différents outils sont semblables. Ainsi, afin de simplifier la compréhension de différents éléments définissant un outil quelconque, nous nous baserons sur un outil de coupe en tournage. Les définitions peuvent ensuite être déduites pour tout autre type d'outil.[10]

#### **I.5.1. Faces et arêtes de l'outil :**

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil et peut comporter une ou plusieurs parties actives, intersection de deux surfaces ( $A \square 1$ ,  $A \square 1$  Figure I. 18). La partie active peut être constituée du même matériau que le corps, on parle alors d'outils monoblocs (carbures et aciers rapides) ou d'un matériau différent (inserts rapportés ou plaquettes pour les carbures, les cermets, les céramiques, les poly cristallins de bore ou de diamant). La (figure



I. 18) précise le vocabulaire relatif aux différentes parties actives d'un outil de tournage. En plus de cette description de la géométrie locale des outils, il existe une norme (ISO 1831) permettant de décrire les différentes parties constitutives des outils de tournage à plaquettes rapportées, systématiquement utilisés aujourd'hui. Cette description indique une large part des caractéristiques des outils, à l'exception de la géométrie locale des brise-copeaux frittés sur les faces de coupe, et à l'exception de la composition des plaquettes et de leurs revêtements. Ce sont en fait les deux points clés qui font la spécificité des fabricants d'outils (impossible à normaliser). [6]



**Figure I.18** Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [6]

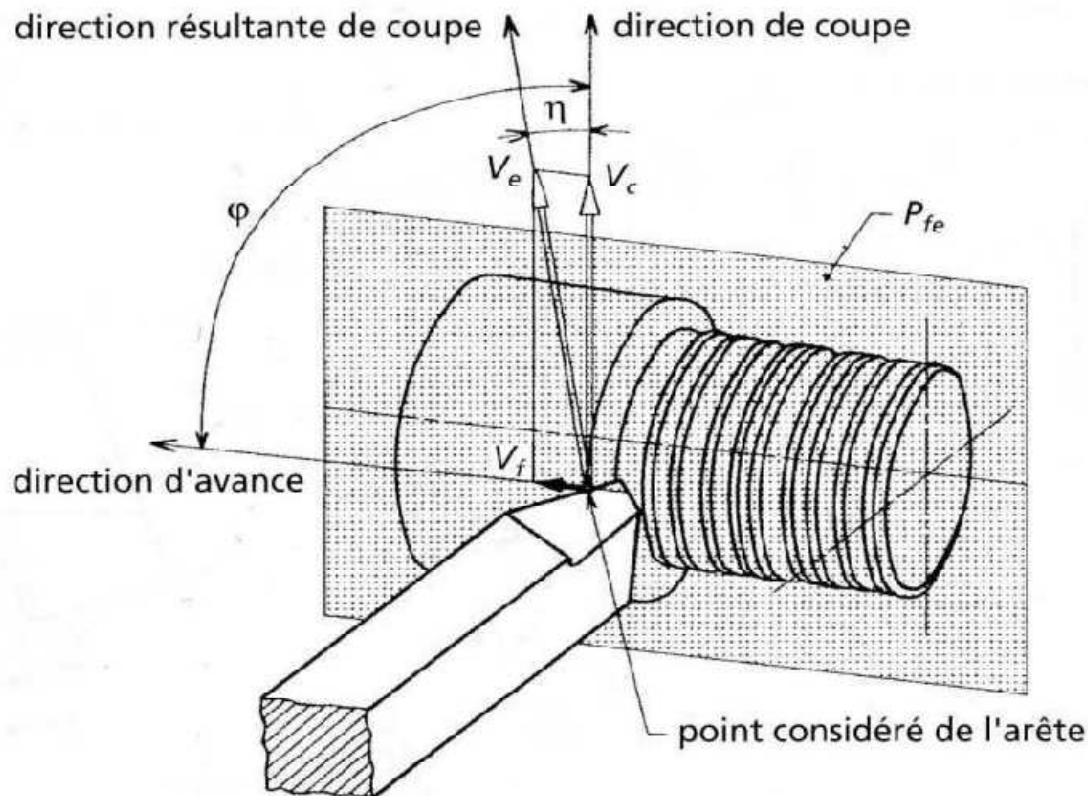
La partie de l'outil impliquée directement dans la coupe est appelée taillant. Elle est limitée par trois faces, la face de coupe le long de laquelle glisse le copeau et les deux faces de dévissage (principale et secondaire) le long desquelles passent les surfaces coupées et engendrées.

On appelle une arête un bord de la face de coupe destiné à l'enlèvement de matière. Dans un outil de tournage simple, on peut distinguer une arête principale, intersection entre la face de coupe et la face de dévissage principale, et une arête secondaire, intersection entre la face de coupe et la face de dévissage secondaire. La jonction des arêtes principale et secondaire forme le bec de l'outil. Il peut être droit, arrondi ou représenter l'intersection vive des deux arêtes. [10]

Généralement, un outil possède un mouvement de coupe et un mouvement d'avance.

On en déduit dès lors un vecteur résultant du mouvement relatif outil/pièce exprimé par le vecteur  $V_e$ . À partir de là, on peut définir deux systèmes d'angles d'un outil de coupe. On

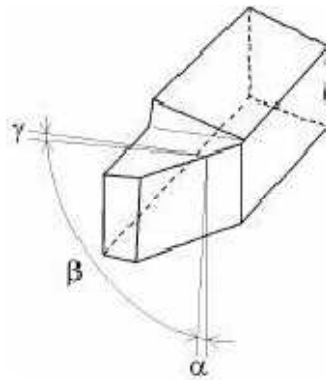
définit soit les angles d'outil « en main » par rapport à la direction supposée de coupe  $V_e$  (repère nécessaire à la fabrication des outils), soit les angles d'outils « en travail » par rapport à la direction réelle de coupe  $V_c$  (repère nécessaire pour connaître les angles effectifs durant la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



**Figure I.19** Mouvement relatif outil/ pièce en tournage.[5]

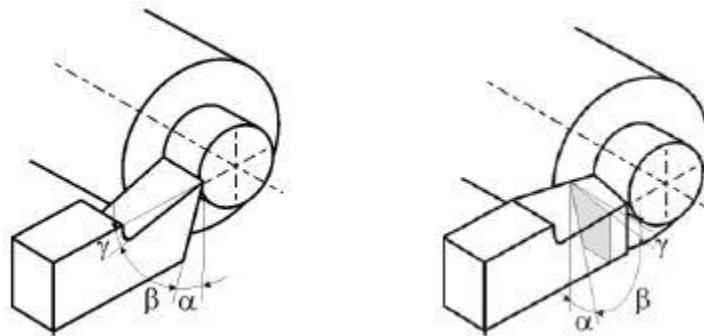
### I.5.2 Angles de l'outil :

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes. La (figure I.20) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux du taillant, l'angle de dépouille  $\alpha$ , l'angle de taillant  $\beta$  et l'angle de coupe  $\gamma$ ... [5]



**Figure I.20** Angles du taillant (outil en main)[5]

La (figure I.21) 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.21** Angles du taillant (outil en travail)[5]

Globalement, l'angle de dépouille  $\alpha$  influe 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  $90^\circ$ .

$$\alpha + \gamma + \beta = 90 \quad (I-3)$$

Dans le cas où la somme est supérieure à  $90^\circ$ , on parle de coupe négative ( $\gamma$  négatif). [5]

### I.5.3 Outil de coupe à plaquette rapportée :

Les outils de tournage actuels sont constitués la plupart du temps d'un 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 [4]:

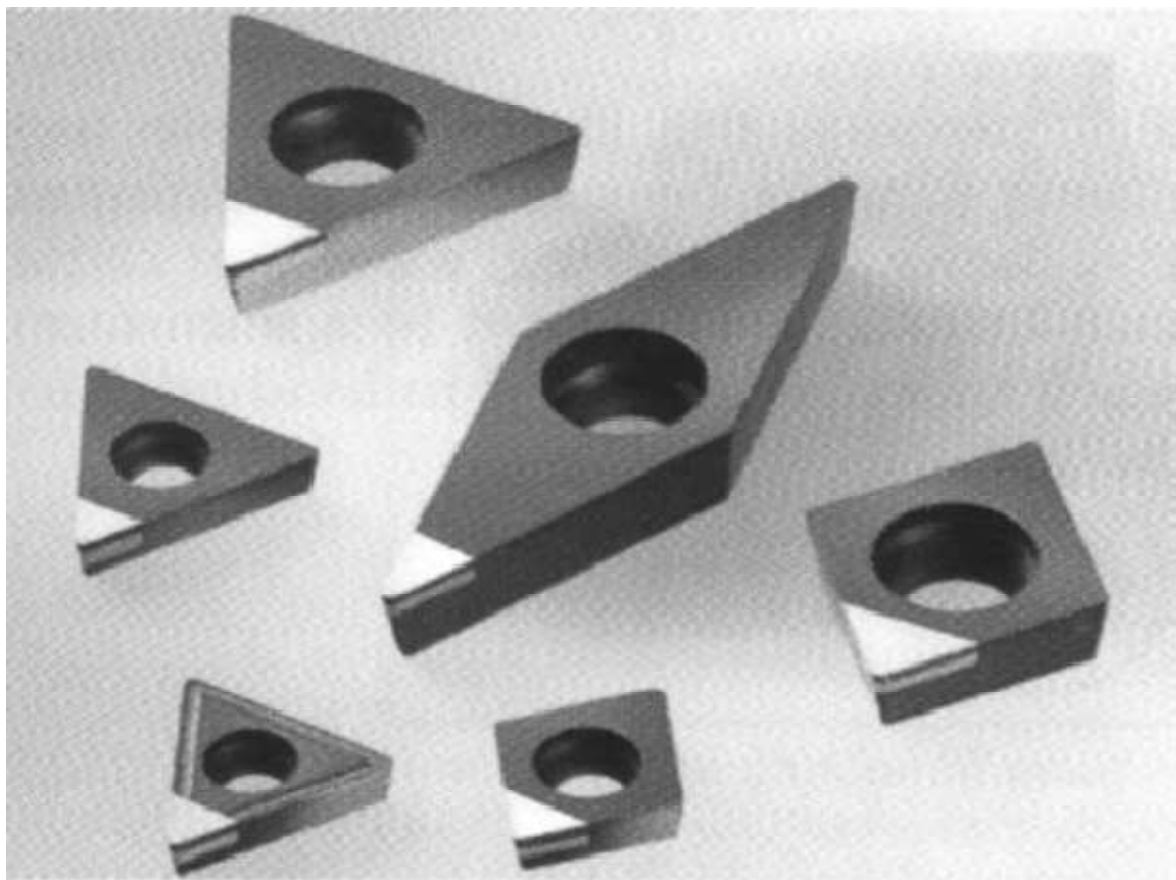
matière de l'outil, usinabilité.

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.



**Figure I. 22** Plaquettes [4]

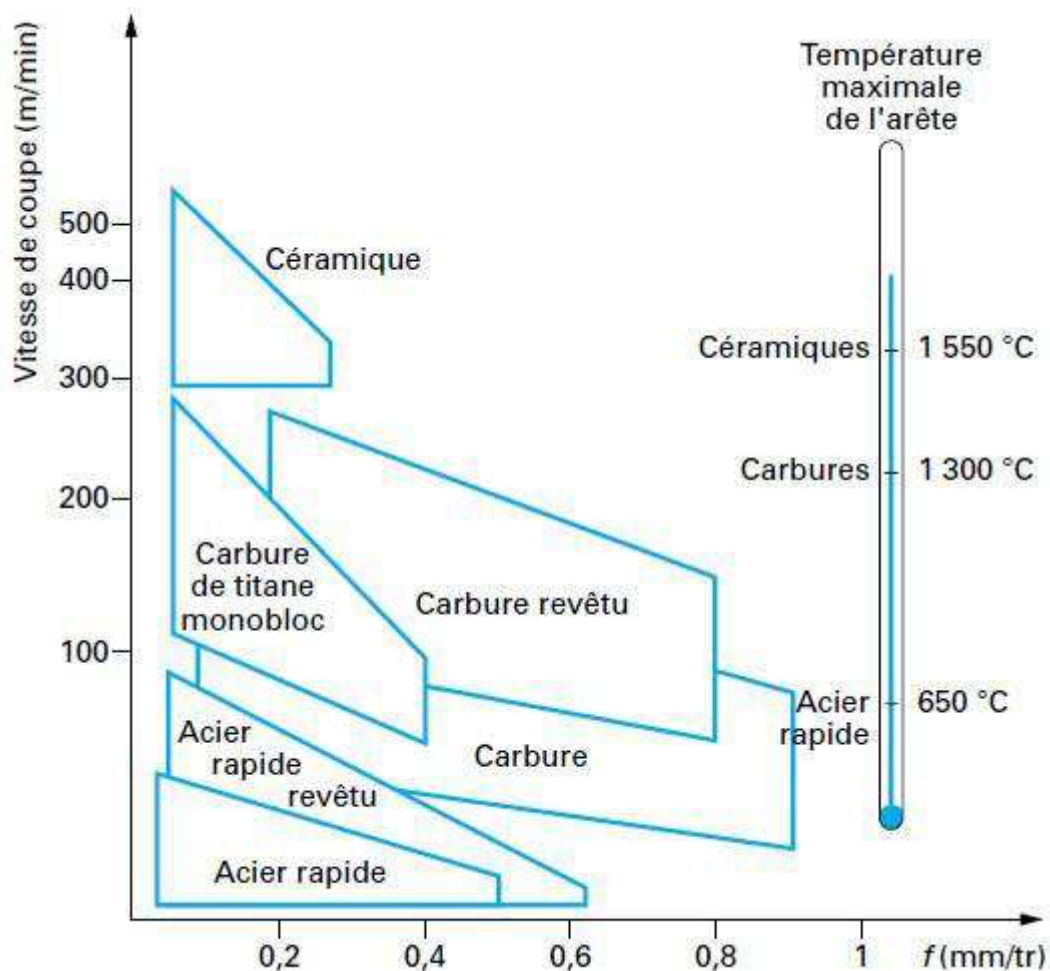
### **I.6. Matériaux de l'outil :**

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

- une bonne résistance mécanique au frottement - résistance à l'usure.
- une bonne résistance aux chocs - ténacité.

- une bonnerésistance à la pénétration - dureté.
- une bonne résistance à la chaleur - garder ces propriétés à haute température (par exemple dureté à chaud).
- une bonnerésistance à la pression.
- une grande stabilité chimique vis-à-vis du matériau usine et de l'atmosphère environnante (air, liquide de coupe, etc.).
- une faible adhésion avec le matériau usine sous haute pression et haute température.
- un bas prix d'achat et de mise en forme, ainsi que l'abondance des éléments composition.de [6]

Le diagramme (figure I. 23) est donné à titre indicatif pour situer les différents domaines des matériaux à outil. 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. [4]



**Figure I.23** Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant[4]**I.7 Paramètres techno-économiques d'usinage :**

Le coût d'usinage et le temps d'usinage sont les paramètres techno-économiques d'usinage. Ces les paramètres qui déterminent l'important économique des pièces usinées. [10]

**I.7.1 Temps d'usinage :**

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

$$T_u = t_n + t_{cs} \left( \frac{t_m}{T} \right) + t_r + t_h \text{ (Min)} \quad (I-4)$$

$t_{cs}$ (Temps outil) : temps de changement d'outil y compris le temps de réaffûtage si nécessaire :

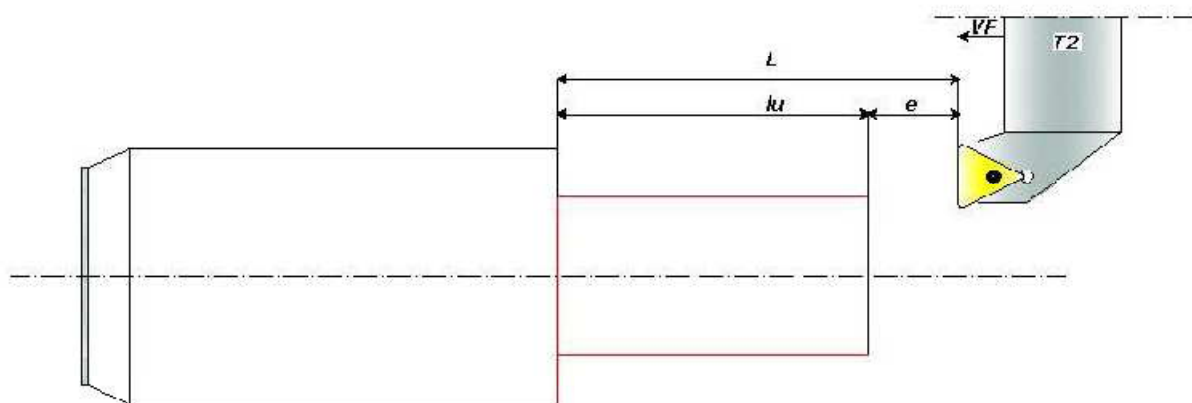
$T$  : Durée de vie de l'outil de coupe.

$t_r$ : Temps de retour.

$t_h$ : Temps de montage et démontage de la pièce.

$t_m$ (Temps technologique) : temps de machine (temps de coupe avec une avance), puisque :

On déterminer le temps technologique comme suite :

**Figure I.24** Paramètres de temps technologique.[10]

$l_u$ : Longueur usinée.

$e$ : Distance de sécurité

$V_f$ : vitesse d'avance

Longueur totale de déplacement de l'outil :

$L.l_u . e$

Temps technologique d'usinage d'une pièce : (I-5)

$$t_m = \frac{L}{V_f} \quad (I-6)$$

$$t_m = \frac{\pi \times D \times L}{1000 \times V_c \times f} \quad (I-7)$$

### I.8 Durée de vie d'un outil de coupe :

Compte tenu de la complexité du phénomène, il n'existe pas de loi mathématique simple permettant de calculer la "durée de vie" de l'outil.

La durée de vie d'un outil est caractérisée par le temps mis pour atteindre la valeur limite du critère d'usure considérée dans des conditions de coupe données.

#### I.8.1 Type d'usure :

➤ **Usure en dépouille** : L'abrasion au niveau de la face de dépouille représente une usure courante après un certain temps d'utilisation.

• Cause :

- Vitesse de coupe trop élevé.
- Choix de la nuance de carbure de la pastille.
- Avance non adapté.

• Remèdes :

- Réduction de la vitesse de coupe.
- Nuance de carbure plus résistante à l'usure.
- Avance correspondante à la vitesse de coupe et à la profondeur de passe.

➤ **Ecaillage** : Dû à la surcharge mécanique de l'arête de coupe, des particules du carbure peuvent se détacher.

• Cause :

- Nuance trop résistante à l'usure.
- Vibrations.
- Avance ou profondeur de passe trop importante.
- Coupe interrompue.
- « Martèlement » des copeaux.

• Remèdes :

- Nuance plus tenace.

- Géométrie de coupe négative avec brise-copeaux.
- Amélioration de la rigidité du système M.D.P.O.
- **Usure en cratère** : L'écoulement du copeau chaud provoque une cratérisation de la plaquette sur la face de coupe.

• Cause :

- Vitesse de coupe trop élevée et/ou avance trop importante.
- Angle de coupe trop faible.
- Nuance de carbure à résistance à l'usure trop faible.
- Mauvaise lubrification.

• Remèdes :

- Réduction de la vitesse de coupe et/ou d'avance.
- Nuance de carbure plus résistante à l'usure.
- Augmentation du débit et/ou la pression du liquide de coupe, contrôle

du jet.

- Nuance plus résistante à l'usure.

➤ **Déformation plastique** : La combinaison d'une température d'usinage élevée et d'une charge mécanique peut provoquer une déformation plastique.

• Cause :

- Température trop élevée, d'où un affaissement du substrat.
- Endommagement du revêtement.

• Remèdes :

- Réduction de la vitesse de coupe.
- Nuance de carbure plus résistante à l'usure.
- Amélioration de la lubrification.

➤ **Arête rapportée** : Lorsqu'une température de coupe trop faible empêche le glissement du copeau, de la manière se colle à l'arête de coupe.

• Cause :

- Vitesse de coupe trop faible.
- Angle de coupe trop petit.
- Matériaux de coupe inadaptés.
- Absence de lubrification.

• Remèdes :

- Augmentation de la vitesse de coupe.



- Augmentation de l'angle de coupe.
- Revêtement TiN.
- Vérification du dosage d'émulsion.
- **Rupture de plaquette** : Une surcharge sur la plaquette peut entraîner sa rupture.
- Cause :
  - Surcharge du matériau de coupe.
  - Manque de stabilité.
  - Angle de tranchant inadapté.
- Remèdes :
  - Matériau plus tenace.
  - Arête chanfreinée.
  - Géométrie plus adaptée.
  - La durée de vie est mesurée sur l'usure en dépouille dans la zone b (figure I.25) V B e

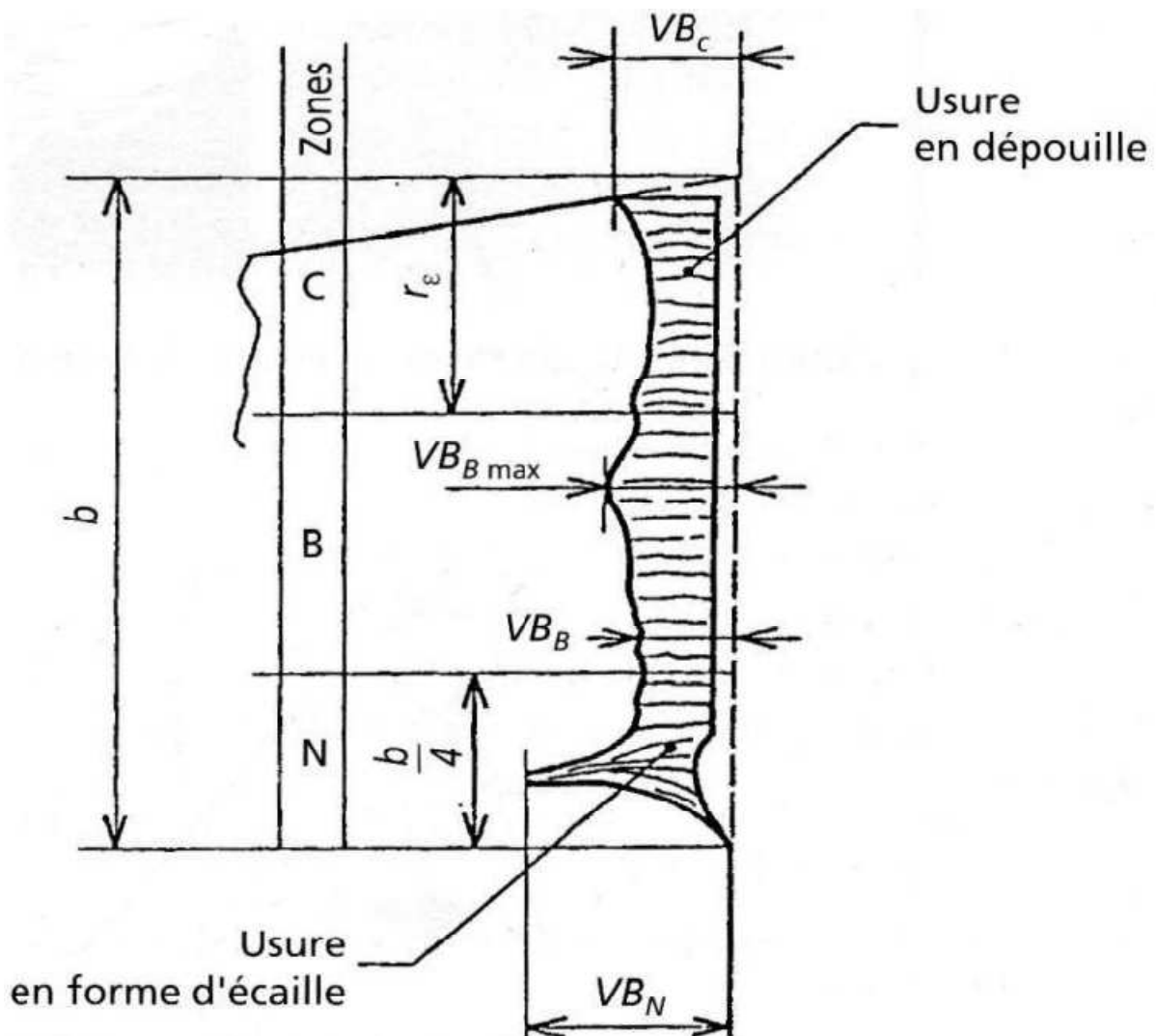


Figure I.25 Critère d'usure V B[6]

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

- Les conditions de coupe
- Le matériau et la géométrie de l'outil
- Le matériau, et l'état physique de la pièce
- lubrification.

considération et on établit des lois d'usure pour des outils parfaitement définis pour un matériau usiné dans des conditions de lubrification déterminées. [13]

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

$$T = f(V_c, f, a_p) \quad (I-8)$$

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

$$T = f(V_c) \quad (I-9)$$

## I.8.2 Principaux modèles mathématiques de l'usure :

### I.8.2.1 Loi de Taylor :

Ce modèle établi par TAYLOR en 1906 est caractérisé par l'équation :

T : Durée de vie d'outil

n: Exposant de TAYLOR

Cv: Constante dépendant du couple outil/pièce.

L'exposant n, souvent appelé coefficient de Taylor, il est influencé par le matériau de l'outil, le matériau usiné, ainsi que le type d'usinage.

On peut prendre les valeurs de n données par les tableaux

suivants [13] Usinages effectués avec des outils en A.R.E.S (Tableau I.1).

**Tableau I.1** Valeurs approximatives de n pour A.R.E.S [13]

	Aciers	Fontes grises	Fontes malléables	Alliages d'Aluminium
Tournage	-8,5	-10	-8,5	-2,5
Perçage	-5	-8,5	-8,5	-2,5

Usinages effectués avec des outils en carbure (Tableau I.2).

**Tableau I.2** Valeurs approximative de n pour carbure [13]

	Aciers	Fontes grises	Fontes Alliages	Malléables d'Aluminium
Tournage	-4.5	-5	-5	-2.5
Perçage	-3.5	-2.5	-2.5	-2.5

Bien que l'influence de l'avance et de la profondeur de passe ne soient pas prises en considération ce modèle est toujours très employé.

Si l'on met l'équation  $T=CvV$ . en sous la forme :

$$\log T = n \log V_c + \log C_v \quad (I-11)$$

On obtient une loi linéaire dans un repère en coordonnées bi-logarithmiques.

### I.8.2.2 Loi de Gilbert :

Ce modèle, qui date de 1950, est en fait une généralisation de la loi de Taylor pour prendre en considération l'influence de l'avance et de la profondeur de passe. Il est caractérisé par

l'équation: 
$$T = K \cdot V_c^k \cdot f^x \cdot a^y \quad (I-12)$$

K : dépend de la nuance de l'outil et du matériau usiné,

k, x, y: Exposants dépendants de la nuance de l'outil. [14]

### I.8.2.3 Loi de Kronenberg :

Ce modèle, qui date de 1968 ne prend pas en compte l'influence de l'avance et de la profondeur de passe, tout comme la loi de Taylor. Il est caractérisé par l'équation :

$$T + K = C_v V_c^n \quad (I-13)$$

K : est une constante.

Il est à noter que la constante C et le coefficient n, n'ont pas les mêmes valeurs que dans la loi de Taylor. [6,13]

### I.8.2.4 Loi de König-Depiereux :

Dans ce modèle, qui date de 1969, on tient compte de l'influence de l'avance et de la profondeur de passe. Il est caractérisé par l'équation :

$$T = \exp(\alpha V^\nu \cdot \gamma f^\mu \delta a^\lambda) \quad (I-14)$$

Ce modèle conduit à une représentation correcte de la loi d'usure et son type exponentiel est en accord avec les courbes expérimentales qui déterminent l'usure des outils.

Compte tenu des dispersions liées aux essais d'usure, le modèle simple de Taylor est suffisamment représentatif, il est couramment utilisé

Ces différents constants sont déterminés à l'aide d'essais de coupe où l'on pousse l'usure de l'outil jusqu'à l'obtention de la valeur maxi du critère d'usure considéré [13].

# *Chapitre II : Rugosité de surface*

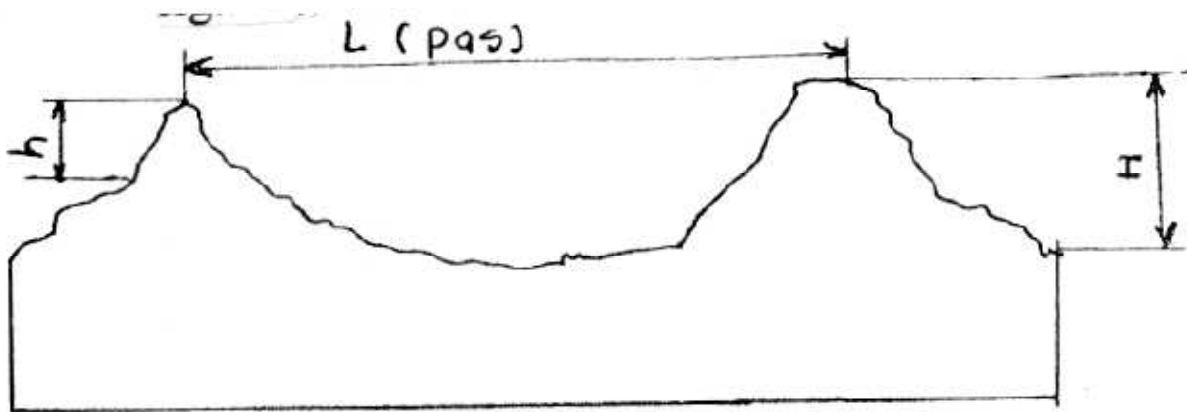
## II.1 Généralité :

Une surface réelle usinée n'est jamais parfaite, elle présente toujours des défauts par suite des erreurs systématiques d'imperfections, admissibles dans la fabrication.

Les défauts peuvent être de forme (défauts macro-géométriques, ondulations) ou de petits défauts (défauts micro-géométriques) désignés plus communément sous le nom de rugosité.

Ces deux types de défauts peuvent être distingués de la manière suivante, en considérant le schéma

(fig.1), relatif à l'état de surface



**Figure II.1: l'amplitude d'usinage.**

- L : Longueur.
- H : hauteur d'onde.
- h : hauteur de rugosité.
- Si  $L/H = 50$  à  $1000$  on a une ondulation.
- Si  $L/H < 50$ , on a une rugosité.

Donc la rugosité ou l'état de surface est caractérisée par des défauts de surfaces de faibles amplitudes.

## II.2 Les défauts de surface :

La norme NF E 05-515 distingue six ordres de défauts de surface, du plus grand au plus petit :

1. Écart de forme (échelle macroscopique) : défaut de planéité, de rectitude, de circularité.
2. Ondulation (échelle macroscopique) : l'écart entre les crêtes est compris entre 0,5 et 2,5mm
3. Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudopériodiques, échelle microscopique) l'écart entre les crêtes est inférieur ou égal à 0,5 mm.
4. Défauts localisés (échelle microscopique) : marque d'outil, arrachement, fente, piqûre
5. Structure cristalline (échelle méso-scopique).

## 6. Réseau cristallin (échelle nano-scopique).

	Désignation	Causes
macrographiques	défauts de forme et déposition	Pendant l'usinage et après l'usinage etc.
	Ondulation périodique	Fraisage : pas de l'ondulation = avance par tour de fraise, vibrations, pièce et outil, etc.
micrographiques	strie - sillon, rugosité périodique	Stries et sillons dus à l'avance de l'arête coupante de l'outil : lubrification, vibrations
	arrachement, fentes, marques d'outil, piqûres, etc.	Qualité de l'affûtage de l'outil. Hétérogénéité du matériau usiné.

**Tableau II.1** : Les défauts macroscopiques et microscopiques [16]

Il existe 4 ordres pour caractériser l'état de surface, (au plus l'ordre augmente au plus les Défauts étudiés sont petits) qui sont les suivants :

### II.2.1 Ordre 1 : écart de forme ou de position (ligne moyenne) :



**Figure II.2** : Défauts d'ordre 1 [16]

L'ordre 1 est représenté par la ligne moyenne

➤ Les différents types de défauts représentés par l'ordre 1 sont :

- Les défauts de planéité
- Les défauts de rectitude
- Les défauts de circularité

➤ L'influence de ces défauts à lieu au niveau de :

- L'étanchéité : Statique (pas de mouvement entre les pièces)
- Dynamique (mouvement entre deux pièces)
- Les frottements : Roulement, Glissement  $S$  Durée de vie des organes

➤ Les causes de ces défauts sont :

- La déformation de la pièce avant usinage dans son système d'ablocage  $S$  La déformation de la pièce au cours de l'usinage due à l'effort exercé par L'outil sur la pièce ou due à la mauvaise inclinaison de l'outil.
- La déformation de la pièce après démontage (contraintes internes (ex : Température))
- La déformation de l'outil machine due à l'action de la pièce sur l'outil.
- Les défauts au niveau des guidages.

➤ L'évaluation de la surface :

Discontinue: Comparateur (maillage) Machine à mesurer tridimensionnelle Continue : Palpage, interférométrie

On peut également utiliser un marbre ou calibre ou une bague

### II.2.2 Ordre 2 : Ondulations périodiques :

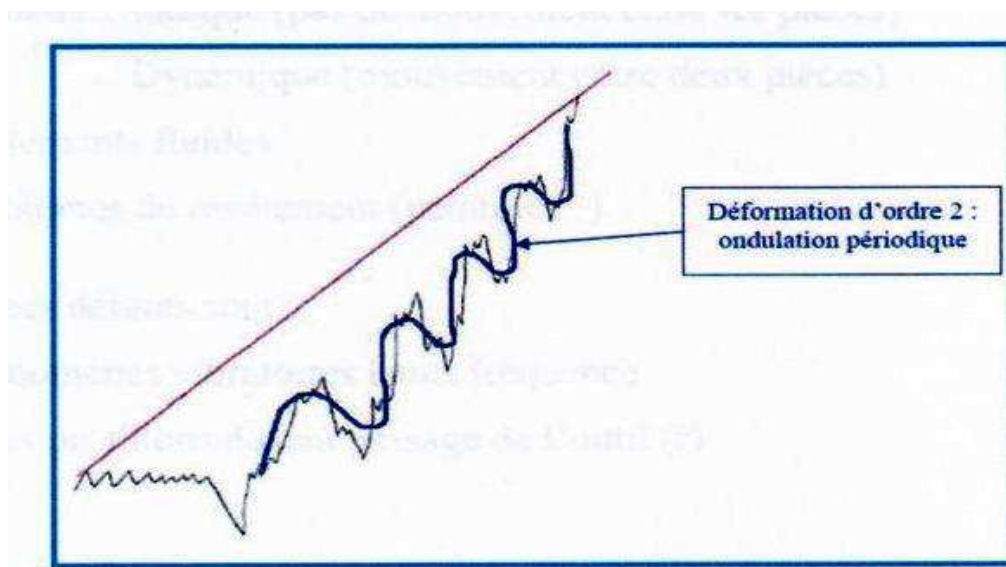
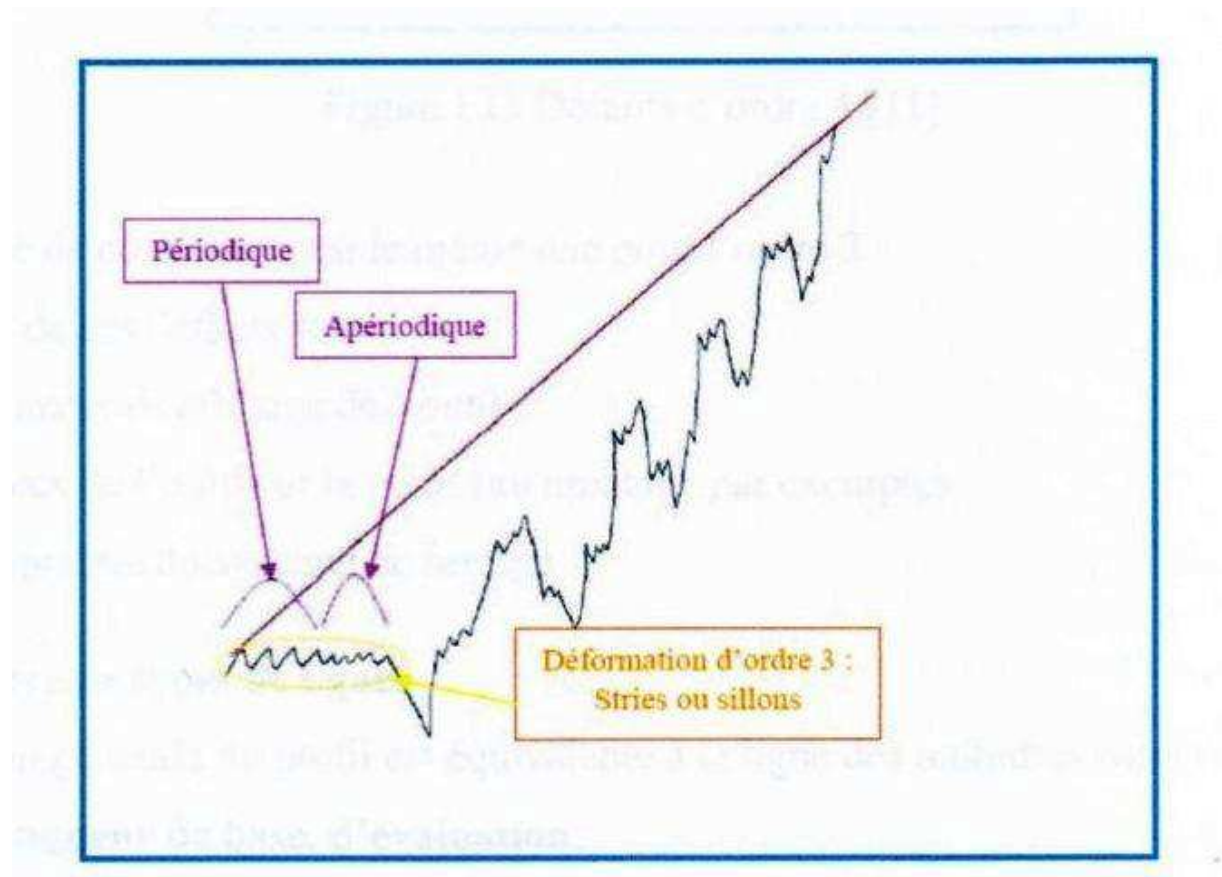


Figure II.3 : Défauts d'ordre 2 [16]



- L'influence de ces défauts est le même que pour l'ordre 1
- Les causes de ces défauts sont les phénomènes vibratoires basse fréquence, ces derniers se traduisent par un manque de rigidité au niveau de :
  - La pièce, due à un mauvais équilibrage du montage sur le porte pièce
  - L'outil, dû à une dent cassée au niveau de la fraise par exemple La machine

### II.2.3 Ordre 3 : stries ou sillons :



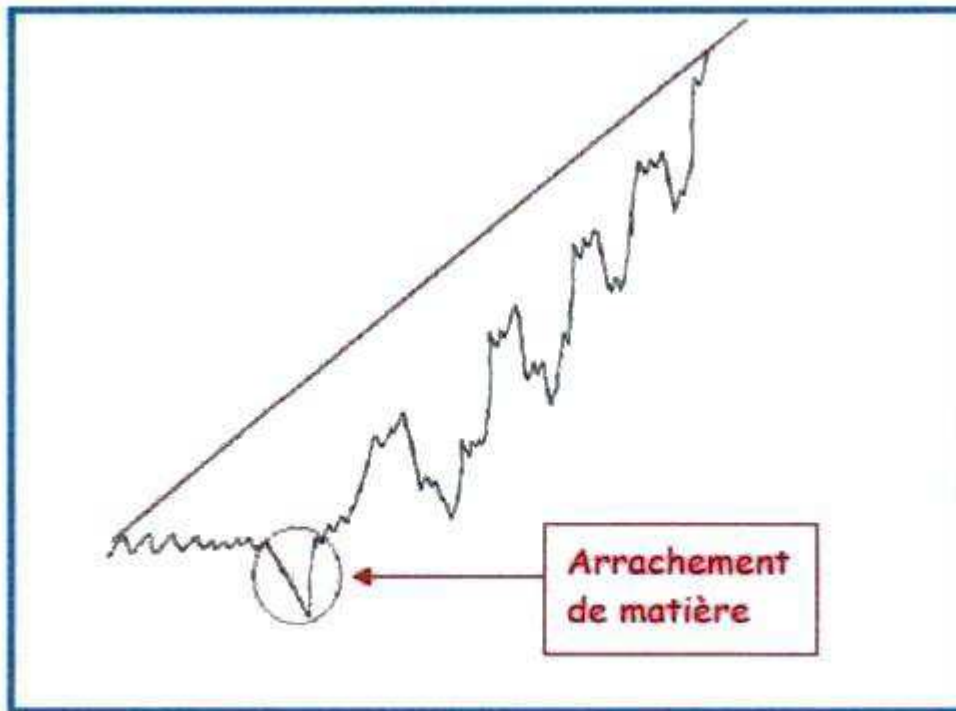
**Figure II.4 : Défauts d'ordre 3 [16]**

- L'influence de ces défauts à lieu au niveau de :
 

L'étanchéité : Statique (pas de mouvement entre les pièces) Dynamique (mouvement entre deux pièces)

  - Les frottements fluides
  - Les problèmes de revêtement (peinture...)
- Les causes de ces défauts sont :
  - Les phénomènes vibratoires hauts fréquence
  - Les stries ou sillons dus au passage de l'outil ( $r$ )

### II.2.4 Ordre 4 : Arrachement de matière :



**Figure II.5 : Défauts d'ordre 4 [15]**

L'influence de ces défauts est la même que pour l'ordre 3

➤ Les causes de ces défauts sont :

- Le mauvais affûtage de l'outil
- Chocs de l'outil sur la pièce (au montage par exemple)
- Empreinte du système de serrage

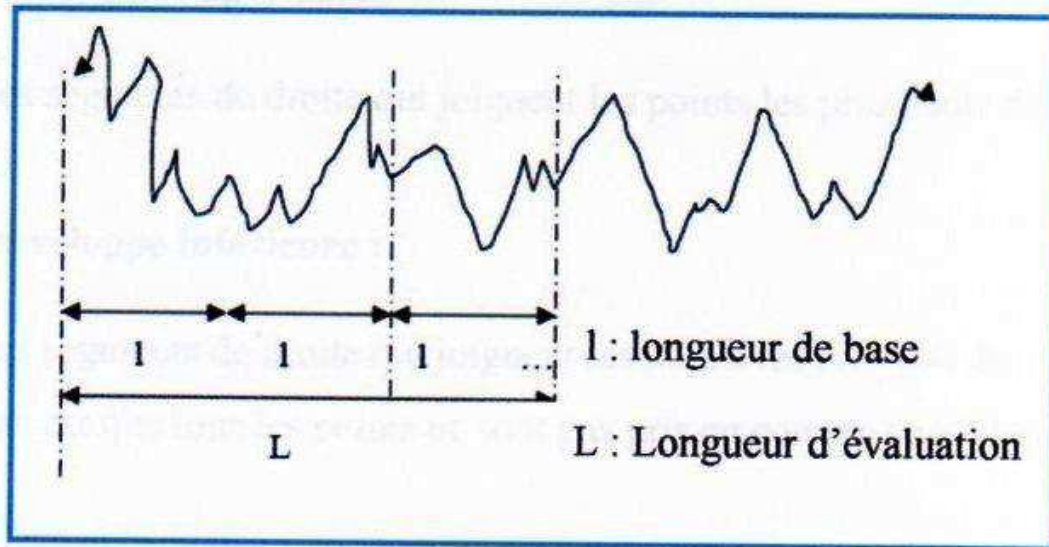
### ***II.3 Différents types de lignes :***

La direction générale du profil est équivalente à la ligne des moindres carrés du profil.

#### **II.3.1 Longueur de base, d'évaluation :**

La longueur de base est définie par l'outil de mesure (notée  $l$ )

La longueur d'évaluation est la longueur totale à mesurer (notée  $L$ )



**Figure II.6 : profilographe d'une surface [16]**

### II.3.2 Lignes de référence :

Ce sont les lignes à partir desquelles les paramètres du profil sont déterminés :

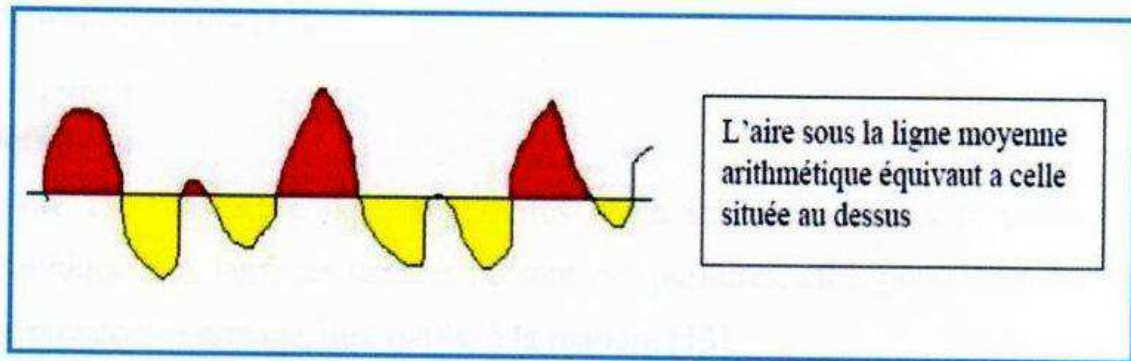
- Les lignes moyennes : Moyennes arithmétique
- Moyenne des moindres carrés
- Les lignes enveloppes : Enveloppe supérieure
- Enveloppe inférieure

### II.3.3 La ligne des moindres carrés :

C'est la ligne de référence qui a la forme du profil géométrique et qui divise le profil de telle sorte qu'à l'intérieur de la longueur de base ( $L$ ) la somme des aires entre elle et le profil soit égale de part et d'autre.

### II.3.4 La ligne moyenne arithmétique :

C'est la ligne de référence qui a la forme du profil géométrique et qui divise le profil de telle sorte qu'à l'intérieur de la longueur de base ( $L$ ) la somme des carrés des écarts entre elle et le profil soit minimale de part et d'autre.



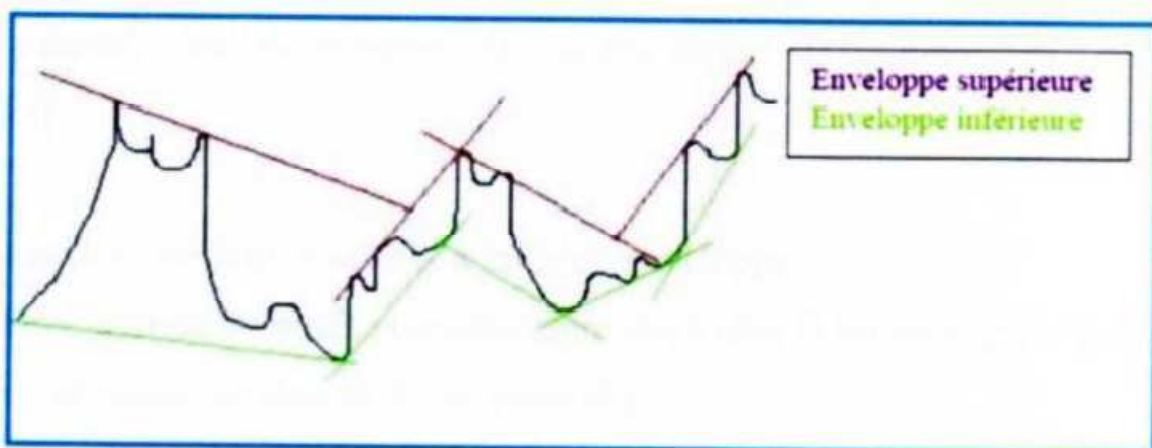
**Figure II.7 : Ligne des moindres arithmétiques [16]**

### II.3.5 La ligne enveloppe supérieure :

C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus hauts des saillies locales du profil.

### II.3.6 La ligne enveloppe inférieure :

C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus bas des creux locaux du Profil. Le problème est que tous les points ne sont pas pris en compte (très aléatoire).



**Figure II.8 : ligne enveloppe inférieure et supérieure [16]**

## II.4 Paramètres de rugosité unidimensionnelle :

Les paramètres de rugosité uni-dimensionnelle standardisés peuvent être évalués avec l'outil rugosité.

La texture uni-dimensionnelle est séparée en ondulation (la composante de basse fréquence définissant la forme globale) et la rugosité (la composante de haute fréquence) à la fréquence decoupe. Celle-ci est spécifiée en unités de fréquence de Nyquist, c'est-à-dire qu'une valeur de 1.0 correspond à la fréquence de Nyquist.

Dans les formules qui suivent, nous supposons que la valeur moyenne de  $r_j$  est nulle, c'est-à-dire que nous avons

$$r_j = z_j - \bar{z}$$

### II.4.1 Paramètres d'amplitude de rugosité

#### Rugosité moyenne $R_a$ :

Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Ecart moyen arithmétique. Il s'agit de l'écart moyen de tous les points du profil de rugosité par rapport à une ligne moyenne sur la longueur d'évaluation

Une manière plus ancienne de spécifier une plage de  $R_a$  s'appelle RHR. Il s'agit d'un symbole placé sur un dessin et spécifiant la valeur minimale et maximale de  $R_a$ .

#### Rugosité moyenne quadratique $R_q$ :

Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Moyenne quadratique des écarts de hauteur sur la longueur d'évaluation et mesurés par rapport à la ligne moyenne

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_j^2}$$

#### Hauteur maximale du profil $R_t$ :

Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997.

Hauteur crête-à-crête maximale. Il s'agit de la valeur absolue entre les hauteurs maximum et Minimum

$$R_t = \left| \min_{1 \leq j \leq N} r_j \right| + \left| \max_{1 \leq j \leq N} r_j \right|$$

#### Profondeur minimale des vallées $R_v$ , $R_m$ :

Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Vallée la plus profonde. Il s'agit de la profondeur de la vallée la plus profonde du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation

$$R_v = \left| \min_{1 \leq j \leq N} r_j \right|$$

#### Hauteur maximale des pics $R_p$ :

Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Pic le plus élevé. Il s'agit de la hauteur du pic le plus élevé du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation

$$R_p = \left| \max_{1 \leq j \leq N} r_j \right|$$

### **Amplitude moyenne $R_{tm}$ :**

Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997.

Rugosité crête-à-crête moyenne. Elle est déterminée par la différence entre le pic le plus élevé et la vallée la plus profonde sur plusieurs échantillons le long de la longueur d'évaluation

$$R_{tm} = R_{vm} + R_{pm}$$

où  $R_{vm}$  et  $R_{pm}$  sont définis plus bas.

Pour les profils de données elle est basée sur cinq longueur d'échantillon ( $m = 5$ ). Le nombre d'échantillons correspond à la norme ISO.

### **Profondeur moyenne des vallées $R_{vm}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Profondeur de vallée moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ( $m = 5$ ) puis ces valeurs sont moyennées

$$R_{vm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{vi}$$

Où

$$R_{vi} = |\min r_j| \quad \text{for} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m}$$

### **Hauteur moyenne des pics $R_{pm}$**

Normes : ISO 4287-1997.

Hauteur de pic moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ( $m = 5$ ) puis ces valeurs sont moyennées

$$R_{pm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{pi}$$

Où

$$R_{pi} = |\max r_j| \quad \text{for} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m}$$

### **Profondeur de rugosité de base $R_{3z}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée. Un pic correspond à une portion de la surface située au-dessus de la ligne moyenne.

### **Profondeur de rugosité moyenne $R_{3zISO}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée par longueur échantillonnée. La profondeur de rugosité de base est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis les valeurs obtenues sont moyennées.

### **Hauteur maximale moyenne $R_z$ :**

Normes : ISO 4287-1997

Moyenne des valeurs absolues des cinq plus hauts pics et des cinq plus basses vallées sur la longueur d'évaluation.

### **Amplitude crête-à-crête moyenne $R_{zISO}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Rugosité crête-à-crête moyenne basée sur un pic et une vallée par longueur échantillonnée.

L'amplitude la plus élevée est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis ces valeurs sont moyennées. Elle est identique à  $R_{tm}$ .

Fonction de distribution d'amplitude

Normes : ISO 4287-1997.

La distribution d'amplitude est une fonction de donnant la probabilité qu'un profil de la surface ait une certaine hauteur  $z$  pour toute position  $x$ .

Distribution d'amplitude cumulée

Normes : ISO 4287-1997.

La distribution d'amplitude cumulée est liée à la distribution d'amplitude, il s'agit de la distribution de probabilité cumulée correspondante et elle a un intérêt bien plus grand pour caractériser un état de surface. La distribution d'amplitude cumulée est l'intégrale de la

distribution d'amplitude.

### **Asymétrie $R_{sk}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

L'asymétrie est un paramètre décrivant la forme de la distribution d'amplitude. Il s'agit d'une mesure de la symétrie de la variation d'un profil autour de sa ligne moyenne

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{j=1}^N r_j^3$$

### **II.4.2 Principaux paramètres de la rugosité :**

Un grand nombre de critères sont définis dans la normalisation pour caractériser une rugosité.

En

pratique, dans un profil et sur une longueur considérée, seuls trois d'entre eux sont retenus:

- "Ra": écart moyen, c'est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts, entre les pics et les creux. "Ra" mesure la distance entre cette moyenne et la ligne centrale. On admet couramment que cette notion synthétise approximativement les différents paramètres intéressés

dans la rugosité.

- "Rt": écart total, c'est la dénivellation la plus importante entre le plus haut sommet d'un pic et le fond le plus bas d'un creux.

- "Rz": régularité, c'est la moyenne des écarts totaux de rugosité "Rt" observés sur 5 longueurs [16].

### **II.4.3 Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe :**

Le motif est une portion de profil comprise entre deux pics, il est caractérisé par sa largeur ou pas et par la profondeur de chacun de ses côtés [16],

Les paramètres liés aux motifs peuvent être évalués graphiquement en traçant la ligne enveloppe supérieure et la ligne enveloppe inférieure.

Ces motifs déterminent la profondeur moyenne de rugosité R et son pas moyen AR

La ligne enveloppe supérieure permet de déterminer les motifs d'ondulation et de calculer la profondeur moyenne d'ondulation W et son pas AW



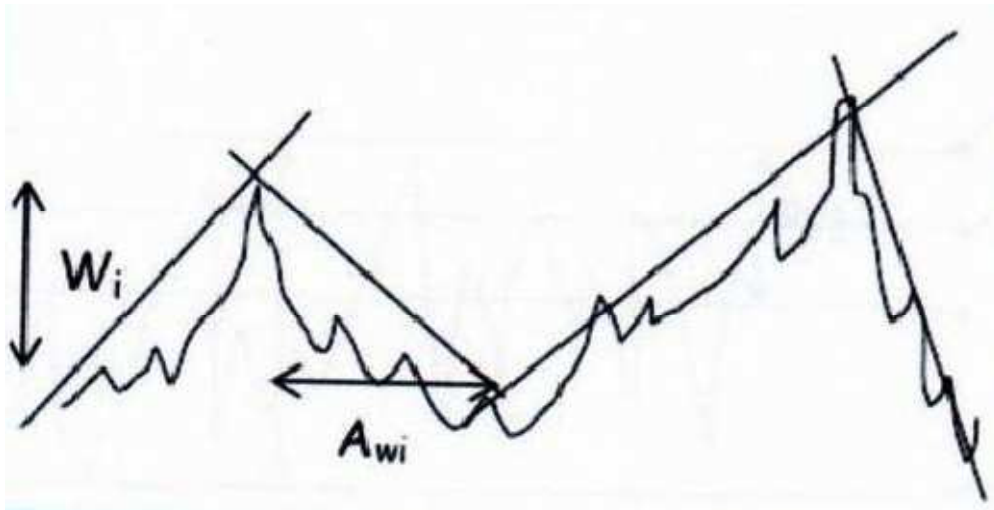


Figure II.9 : Paramètres d'ondulation [16]

$$A_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{w_i} \quad \text{Pas moyen}$$

$$W = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m W_j \quad \text{Profondeur moyenne}$$

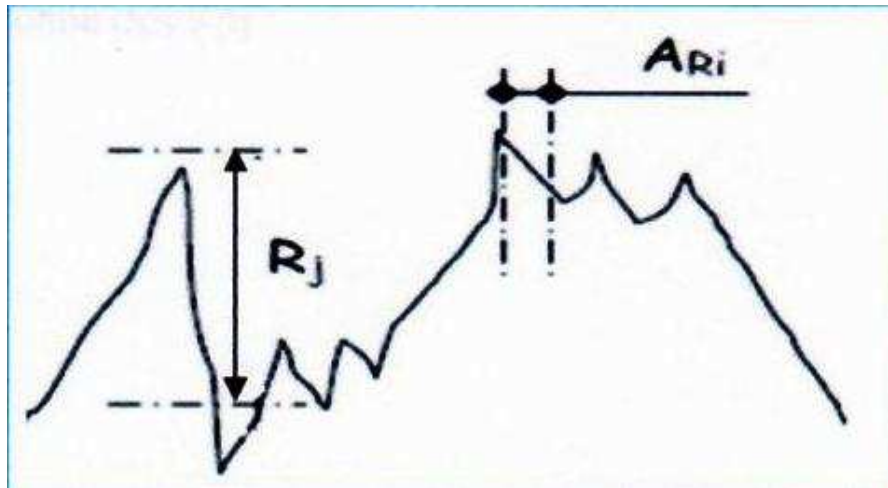


Figure II.10 : Paramètre liés aux motifs[16]

#### II.4.4 Paramètres liés à la ligne moyenne :

La référence pour le calcul des paramètres dans la définition ISO 4287/1, est la ligne des moindres carrés calculée sur une longueur de base, la valeur moyenne des valeurs trouvées sur cinq longueurs de base.

Les principaux paramètres liés à la ligne moyenne sont indiqués comme suit :

Au niveau de la longueur de base :

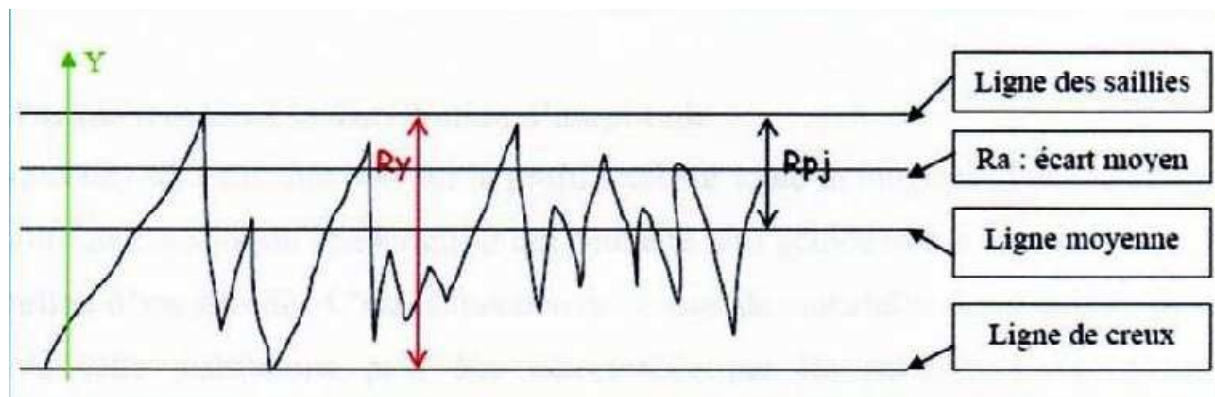


Figure II.11 : Paramètres liés à la longueur de base[16]

$R_{pj}$  : distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne

$R_{aj}$  : écart moyen arithmétique du profil

$R_y$  : distance entre la ligne des saillies et la ligne de creux

$R_p$  : Représente la moyenne des  $R_{pj}$

$$R_{aj} = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| \cdot dx$$

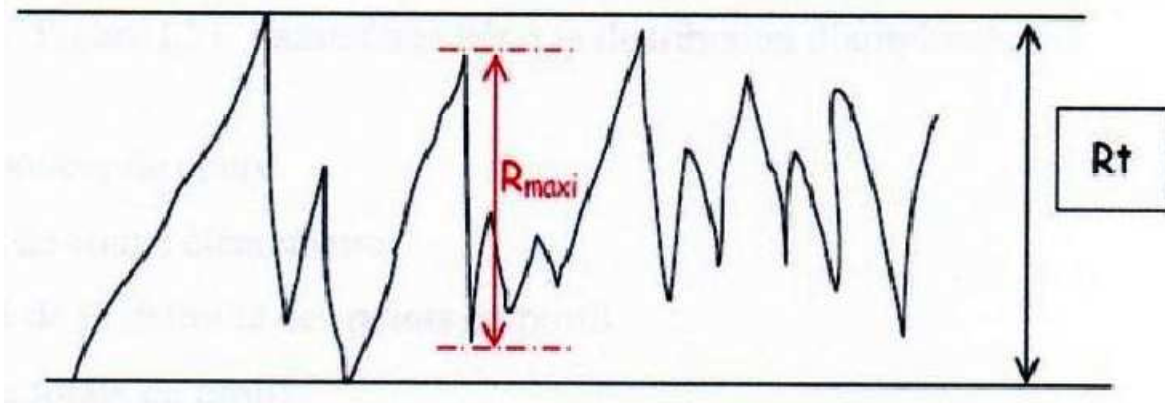
$R_t$  : c'est le plus grand des  $R_y$  ( $R_y$  étant dans la longueur de base, on choisit le plus grand  $R_y$  compris dans la longueur d'évaluation). On considère que  $R_t$  est plus au moins équivalente à  $R_y$

$R_{max}$  : c'est le plus grand écart entre une saillie et un creux consécutif

$$R_p = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{pj}$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{aj}$$

Au niveau de la longueur d'évaluation



**Figure II.12 : Paramètres liés à la longueur d'évaluation [16]**

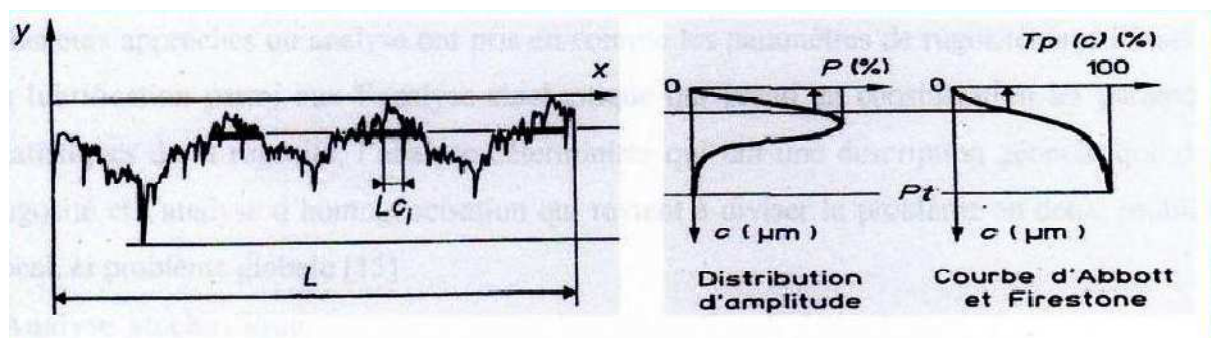
### Paramètres liés à la distribution d'amplitude :

Ces paramètres sont calculés soit sur le profil total sur toute la longueur d'évaluation  $L$ , soit sur le profil de rugosité sur une longueur qui peut être plus grande que la longueur de base.

### Distribution d'amplitude :

C'est la fonction de densité de probabilité des points du profil. La forme de cette distribution peut être caractérisée par les paramètres  $R_q$ ,  $S_k$ , et  $E_k$  correspondant aux moments centrés d'ordre 2,3 et 4, qui sont utilisés en tribologie pour simuler dans les modèles mathématiques le comportement de la surface [18],

Taux de portance  $T_p$  représenté par la courbe D'Abbott-Firestone, c'est la courbe cumulée de distribution d'amplitude en fonction de la profondeur de coupe ( $c$ ) elle représente le Pourcentage réelle qui porterait sur une surface plane après usure hypothétique égale à ( $c$ )



**Figure II.13 : Paramètres liés à la distribution d'amplitude [16]**

$C$  : (  $\mu\text{m}$  ) profondeur de coupe

$L_{ci}$  : longueur de coupe élémentaire

$P$  : (%) densité de probabilité des points du profil

$P_t$  : profondeur totale du profil

$T_p(C)$  : taux de longueur portante (% de longueur portante après une usure hypothétique égale

à (C)

D'où l'on peut mettre en évidence ces paramètres de surface dans les calculs d'un contact mécanique, donc connaître la topographie de surface est devenu un élément important en tribologie.

#### II.4.5 Mesure de la rugosité :

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne sont pas suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise un rugosimètre qui détermine de manière sûre et précise un certain nombre de paramètres de rugosité ( $R_a$ ,  $R_z$ ...). Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'un rugosimètre on peut citer les domaines suivants [15]

- Mécanique; l'optimisation de la rugosité permet un meilleur ancrage mécanique, notamment au sein de dispositifs où les forces de friction jouent un rôle fonctionnel prépondérant (ex: cônes morses).
- Qualité: l'utilisation d'un rugosimètre permet le contrôle de la qualité de finition en bout de chaîne de production, permettant de détecter et de corriger d'éventuels problèmes survenus durant l'usinage.



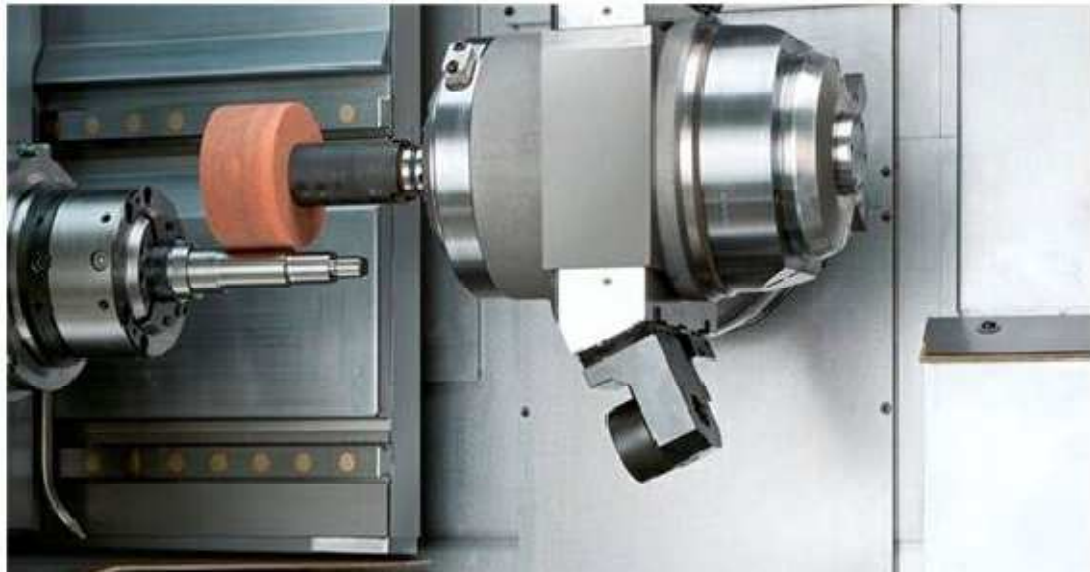
Figure II.14 : Rugosimètre

### II.5 Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface :

#### II.5.1 La Rectification :

La rectification d'une pièce mécanique est une opération destinée à améliorer son état de surface.

Les deux techniques principales sont la rectification plane et cylindrique.



**Figure II.15 : Opération de la Rectification**

### **II.5.2 Principe de La Rectification :**

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet : la rectifieuse. Il s'agit de *rectifier* donc 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 frottant, 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 à 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.

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 et d'arrosage pour arroser la meule et les pièces afin ne pas faire des brûlures sur les pièces produites ce liquide refroidi les pièces pour ne pas avoir un mauvais état de surface.

### **Matériaux :**

Il est possible de rectifier :

- Acier classique non trempé
- Acier trempé jusqu'à 70 HRC
- Acier chromé dur
- Céramique
- Carbure
- Plastique

### **II.5.3 Avantage de la rectification :**

- Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs
- Pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm) et donc d'usiner des pièces plus précises
- Obtenir un état de surface poussé ( $< 0,1 \text{ Ra}$ )[18].

### **II.5.4 Superfinition :**

La superfinition est une action d'usinage qui vise à obtenir des pièces de très haute qualité, au-delà des capacités de la rectification.

Elle opère sur deux caractères :

- la forme de la surface obtenue en définitive : l'usinage à l'outil laisse sur la surface un certain nombre de raies ou de stries (que le rodage masque partiellement).
- la structure superficielle du métal usiné : l'usinage à l'outil conduit à de grandes élévations

de température pouvant atteindre 1 000 °C à l'extrémité de l'outil ; celui-ci arrache, d'autre part, des éléments de copeaux ; il en résulte une détérioration superficielle due à la fusion de particules de métal qui se ressoudent ensuite.

À cela s'ajoute l'agglutination de corps étrangers : limailles, lubrifiant, saletés, etc., qui contribuent à former une structure superficielle fragile et peu homogène, appelée couche de Beilby.

La superfinition consiste à enlever la couche de Beilby, de manière à faire disparaître les stries et les défauts géométriques.

La différence essentielle entre superfinition et rectification porte sur le mouvement de coupe de l'abrasif. L'action très rapide de la meule est remplacée par celui d'une pierre abrasive à mouvement rectiligne alternatif. Ce mouvement de vibration a une fréquence d'environ 25 coups par seconde et une amplitude de 1 à 5 mm. L'abrasif travaille à faible vitesse (10 à 20 m/min, contre 3000 m/min en polissage).[18]

## II.6 le lubrifiant :



**Figure II.16 : lubrifiant[18]**

Un lubrifiant, est un liquide refroidissant et lubrifiant conçu spécialement pour le travail et l'usinage des métaux. Il existe différents types de fluides d'usinage, parmi lesquels on retrouve les huiles, les émulsions, les aérosols, l'air et d'autres gaz. L'utilisation de ces fluides améliore le travail et les procédés d'usinage des matériaux métalliques. Deux exceptions existent cependant :

la fonte et le laiton qui sont usinés à sec.

On fait appel à un fluide d'usinage pour :

- maintenir la pièce en cours de travail à une température stable (fonction critique lorsque les tolérances de fabrication sont réduites).
- maximiser la durée de vie de l'outil de coupe en lubrifiant l'arête de coupe et en réduisant le phénomène de copeau rapporté
- prévenir l'usure de la machine utilisée

- assurer aux opérateurs de bonnes conditions de travail

### **II.6.1 Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification) :**

### **II.6.2 Maintien en température :**

Le travail des métaux génère de la chaleur à cause du frottement de l'outil sur la pièce et de l'énergie dissipée par la déformation du matériau. L'air ambiant est un mauvais refroidisseur pour l'outil de coupe car il conduit peu la chaleur (conductivité thermique faible).

### **II.6.3 Lubrification :**

En plus du refroidissement les liquides de coupe aident l'usinage en lubrifiant l'interface entre l'outil et la pièce . En diminuant le frottement à cette interface, ils diminuent la création de chaleur. Cette lubrification permet également de prévenir l'adhésion du copeau sur l'outil qui risquerait d'affecter.

### **II.6.4 Évacuation des copeaux :**

Dans l'industrie de grande série, le liquide de coupe permet également d'évacuer les copeaux de la zone de coupe vers un dispositif de centralisation des copeaux.

## **II.7 Composition des fluides d'usinage :**

Les fluides d'usinage sont utilisés pour de très nombreuses opérations d'usinage, ce qui explique leurs compositions très variées. Ils sont en général élaborés par des formulateurs, qui font appel à de nombreux produits de base (composés type huile minérale, issus de la distillation du pétrole, graisses animales, huiles végétales ou autres matières premières).

On peut distinguer parmi ces fluides :

- les huiles entières
- les fluides de type émulsion
- es fluides type micro-émulsion
- les fluides synthétiques

### **II.7.1 huiles entières :**

Huiles minérales, additives ou non

### **II.7.2 fluides de type émulsion :**

Les fluides de type émulsion contiennent en général:

- une base type huile minérale ou alkylbenzène
- un émulseur
- un agent anti-corrosion
- des additifs type extrême pression



- des bactéricides et/ou des fongicides
- des agents anti-mousse
- de l'eau

Ces fluides sont fournis sous forme de concentrés qu'il faut diluer dans l'eau avant emploi (2 à 10 % habituellement).

### **II.7.3 fluides de type micro-émulsion :**

Leur composition est assez voisine des fluides type émulsion. Ils comprennent en général

- une base huile minérale ou alkylbenzène
- un émulateur anti-corrosion
- des additifs antimousse
- des additifs extrême-pression (non obligatoirement)
- des bactéricides et/ou fongicides
- un solvant
- de l'eau

ils sont fournis ici encore sous forme de concentrés à diluer dans l'eau (1,5 à 5 %)

### **II.7.4 fluides synthétiques :**

Au cours de l'usinage, les fluides se chargent non seulement en métaux, plus ou moins solubilisés, mais aussi en composés indésirables (issus de la dégradation thermique du fluide) et, surtout en cas d'utilisation de fluides aqueux, en contaminants biologiques (moisissures, bactéries, etc.).

Les opérations d'usinage émettent des aérosols, dont l'inhalation peut être à l'origine de diverses affections respiratoires. On retrouve en effet dans l'air les composés évoqués ci-dessus, dont certains sont des cancérogènes <sup>1</sup> ou des allergisants respiratoires.

Par ailleurs, le contact cutané avec ces mêmes fluides est susceptible de provoquer des dermatites ou des lésions eczématiformes <sup>2</sup>.

Il convient donc

- de vérifier régulièrement la qualité des fluides utilisés.
- d'assainir les postes de travail, à l'aide notamment de ventilations efficaces.
- d'éviter tout contact cutané avec ces produits. [18]

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the chapter title.

## **Chapitre III Partie expérimentale**

**III.1. Machines-outils utilisés :**

Cette série d'expérience concerne le routage d'usinage de arbres en acier de construction, avec un outil encarbure métallique. Les régimes de coupe employés sont la vitesse de coupe ( $V_c$ ), l'avance par tour ( $f$ ) et la profondeur de passe ( $a$ ). Les paramètres de sortie étant les composantes de coupe, surfaces obtenues « surfaces usinées ».

**III.2 Matièreaux utilisé :**

XC48

**III.2.1. analyse chimique moyenne :**

	C%	Mn %	Si %	S %	P %
XC 48	0,50 - 0,52	0,50 - 0,80	0,40 maxi	$\leq 0,035$	$\leq 0,035$

**Tableau III .1** : composition chimique**III 2.2.Propriétés physique et mécanique :**

Matière en œuvre : Acier de construction non allié XC48 Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale de par sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques et son aptitude aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°CXC48 Acier mi-dur de haute qualité pouvant être utilisé à l'état traité ou recuit ou à l'état trempé (trempé superficielle).

Domaines d'application :

Pièces soumises aux chocs et nécessitant une bonne résistance : axes, engrenages, vis sans fin, Paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

**Remarque** : soudabilité médiocre (précautions nécessaires, préchauffage et revenu de stabilisation recommandés).

**III.2.3.Caractéristiques :**

Etat normalisé :

	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Re (N/mm <sup>2</sup> )	A %
XC 48	560 / 620	275 / 340	14 / 16

**Tableau III .2** : Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

**III.3. machine-outil utilisés :**

Machine-outil utilisée, Tour CNC

L'usinage a été réalisé à l'AMM, sidère

Annaba. On a utilisé un tour CNC de type :

**Tour modèle 16K20**

**III.3.2. Caractéristiques techniques et dimensions :**

Paramètres	valeurs
Lunette fixe (fig. 5.18)	
Diamètre max. de la pièce, mm	130
Diamètre min. de la pièce, mm	30
Masse, kg	15

**Tableau III.3.3. Caractéristiques techniques de l'équipement électrique.**

NN	Paramètres	valeurs
1	Nature de courant d'alimentation	Altern., triphasé
2	Fréquence , Hz	50
3	Tension, V	380/220
4	Tension des circuits de commande, V	24
5	Tension du circuit d'éclairage V	24
6	Nombre de moteurs	9
7	Type du moteur principal	MIFI32
8	Puissance du moteur principal ,kw	11
9	Vitesse max. de rotation du moteur principal, tr/min.	jusqu'à 2500
10	Type du moteur de la station de lubrification du traînard	4AA56A4
11	Puissance du moteur de la station de lubrification du traînard , kw	0,12
12	Vitesse du moteur de la station de lubrification du traînard, tr/min	1400
13	Type de la pomped'arrosage	X14 - 22M
14	Puissance du moteur de la pomped'arrosage, kw	0,12
15	Vitesse du moteur de la pomped'arrosage, tr/min	2800
16	Débit de la pomped'arrosage, l/min.	22
17	Type du moteur de lubrification de la poupéeavant,	BF-11-11A
18	Puissance du moteur de lubrification de la poupéeavant, kw	0,27
19	Vitesse du moteur de lubrification de la poupéeavant, tr/min	1380

Suite.

NN	Paramètres	Valeurs
20. (316) (312)	Type des moteurs d'avances: -longitudinale -transversale	PO445.4.12 P0445.2.12
21.	Puissance des moteurs d'avances, kw: -longitudinale -transversale	2 1,1
(4M1) 23.	Vitesse des moteurs d'avances, tr/min. Type du moteur du porte-outil	1200 4AB63B4
24.	Puissance du moteur du porte-outil, kw	0.18
25.	Vitesse du moteur du porte-outil, tr/min	1400
26.	Puissance sommaire de tous les moteurs, kw	15
27.	Puissance sommaire consommée par lamachine-outil,kw	17

Tableau III.3.4. Caractéristiques techniques de la Commande numérique.

NN	Paramètres	Unité de mesure	Valeurs
1.	Désignation.		"ALPHA2"
2.	Nombre de coordonnées.		2
3.	Nombre de coordonnées commandées simultanément.		2
4.	Pouvoir discriminatoire: - coordonnée longitudinal - coordonnée transversale	mm mm	0,0010 0, 0005
5.	Déplacement max. programmable.	incrément	9999.999
6.	Système de lecture.		absolu et
7.	Type du capteur de rétroaction.		incrément
8.	Type du capteur de filetage.		R0426
9.	Mode d'introduction des données.		RO426
10.	Alimentation.		clavier
11.	Nature de courant.		biphasée
12.	Tension		alternatif
13.	Fréquence.	V	220
14.	Puissance.	Hz	50
15.	Stabilité de tension.	W	80
		%	+10...-15



**Figure III.1 : Tour CNC**



**Figure III.2 : Tour CNC**

### **III.3.4. Opération d'usinage**

Opération d'usinage à réaliser sur tour à commande numérique dont le programme utiliser est le suivant :

Programme pour opération d'usinage à sec et sous lubrifiant

#### **Première opération**

*G78 A12*

*T101*

*G97 S480 M3 F0.3*

*G0 X50 Z2*

*G1 X49.5*

*G1 Z-26*

*G97 S500 M3*

*G1 Z-54*

*G97 S550 M3*

*G1 Z-82*

*G97 S600 M3*

*G1 Z-107*

*G97 S480 M3*

*G1 Z-134 M8*

*G97 S500 M3*

*G1 Z-161*

*G97 S550 M3*

*G1 Z-188*

*G97 S600 M3*

*G1 Z-215*

*G0 X180 Z15 M9*

*M5*

*M2*

**La deuxième opération**

*G78 A13*

*T101*

*G97 S510 M3 F0.2*

*G0 X50 Z2*

*G1 X49*

*G1 Z-26*

*G97 S530 M3*

*G1 Z-54*

*G97 S570 M3*

*G1 Z-82*

*G97 S620 M3*

*G1 Z-107*

*G97 S510 M3*

*G1 Z-134 M8*

*G97 S530 M3*

*G1 Z-161*

*G97 S570 M3*

*G1 Z-188*

*G97 S620 M3*

*G1 Z-215*

*G0 X180 Z15 M9*

*M5*

*M2*



**La troisième opération**

*G78 A14*

*T101*

*G97 S540 M3 F0.2*

*G0 X50 Z2*

*G1 X48.5*

*G1 Z-26*

*G97 S560 M3*

*G1 Z-54*

*G97 S590 M3*

*G1 Z-82*

*G97 S640 M3*

*G1 Z-107*

*G97 S540 M3*

*G1 Z-134 M8*

*G97 S560 M3*

*G1 Z-161*

*G97 S590 M3*

*G1 Z-188*

*G97 S640 M3*

*G1 Z-215*

*G0 X180 Z15 M9*

*M5*

M2

### III.4. Outil de coupe utilisé:

Outil à tronçonner et outil à charioter et dresser.



Figure III.3 : Outil à tronçonner

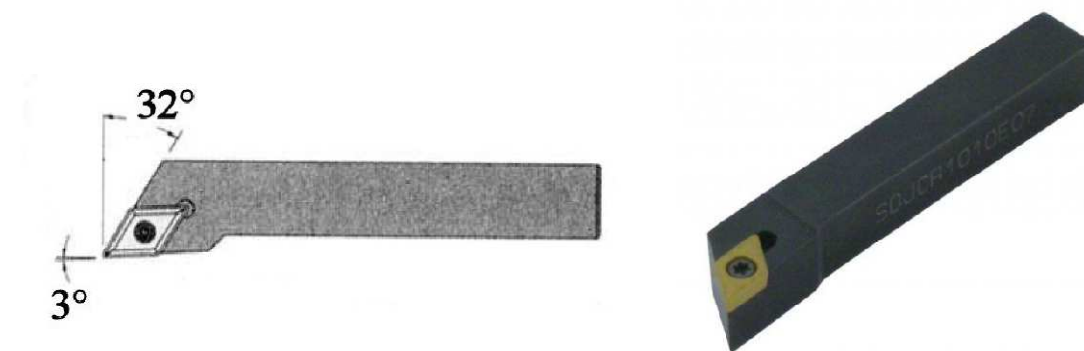


Figure III.4 : Outil à charioter et dresser

### III 5. Régime de coupe :

Le régime de coupe a été choisi en fonction du matériau utilisé et de l'outil de coupe employé lors de la réalisation de la pièce demandée. Les régimes de coupe adoptés dans cette dernière, sont consignés dans les tableaux ci-après.

### III 6. Présentation de l'éprouvette :

L'éprouvette découpée respectivement au diamètre  $D = 60\text{mm}$  (mise en longueur), et préparée en 8 paliers.

Les pièces de longueur  $L= 250\text{mm}$  et diamètre  $D= 50\text{mm}$  et réalisées en 8 paliers (1<sup>ère</sup> partie la pièce usinée sans lubrification, et 2<sup>ème</sup> Partie la pièce usinée avec lubrification). Largeur du palier  $23\text{mm}$ , Séparé par des gorges de profondeur de  $3\text{mm}$  et largeur de  $4\text{mm}$

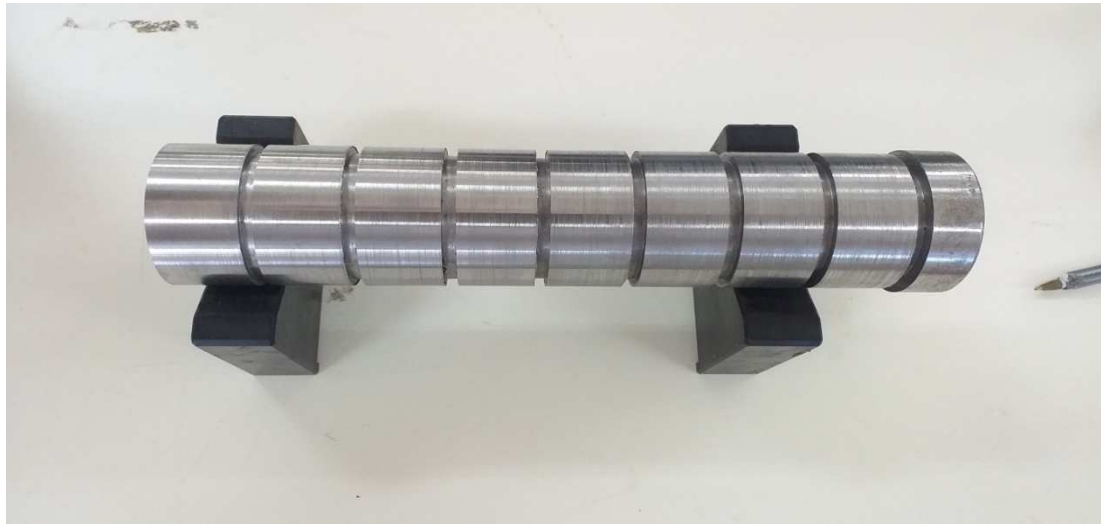


Figure III.5. la pièce

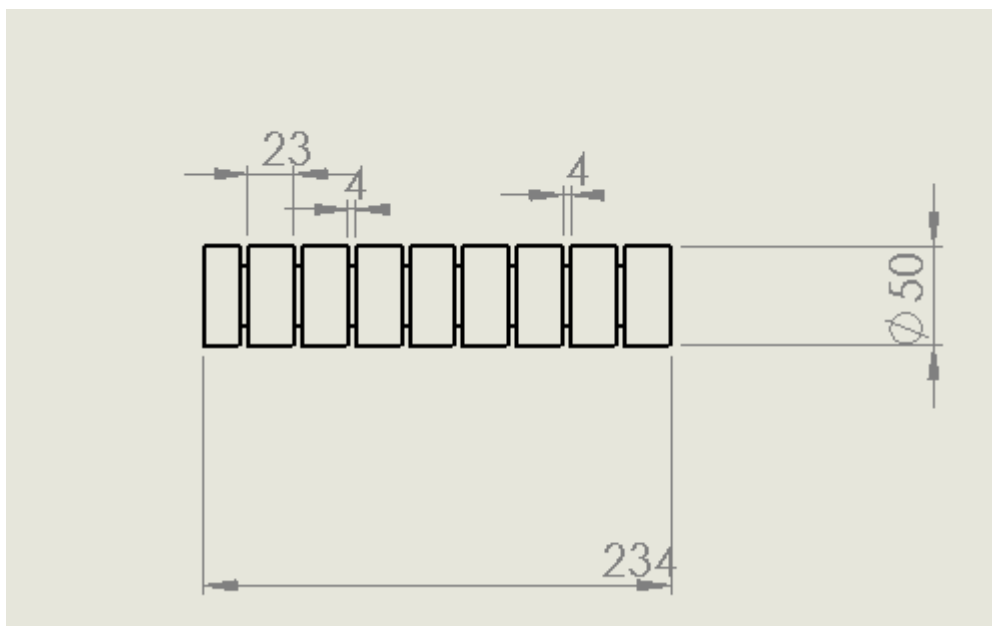


Figure III.5.1. dessin de définition de la pièce

### III.7. Rugosimètre utilisé

Pour la mesure des différents critères de rugosité ( $R_a$ ,  $R_t$  et  $R_z$ ), noTR220.

Le TR220 est le rugosimètre approprié aux mesures les plus exigeantes en raison de sa grande Précision et de ses très nombreuses fonctions. Disposant de tous les outils des ruTR220 est idéal pour tester les applications critiques.

Le rugosimètre TR220 fonctionne avec un capteur inductif ayant une pointe en diamant. Les

Tensions sont générées lorsque le capteur est dévié par les anfractuosités du matériau à tester et sont convertis dans les différents paramètres de rugosité. Une courbe de l'essai est affichée sur le rugosimètre ce qui permet d'avoir un aperçu rapide de l'essai réalisé.

Le profil de la surface mesurée peut être affiché dans 13 caractéristiques différentes : Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rm, R3z, S, Sm, Sk, tp. L'interface RS232 permet le transfert du profil de surface et des caractéristiques vers l'imprimante TA être transférés sur un PC en utilisant l'interface de surveillance des produits de série.

### **III.7.1. Caractéristiques techniques :**

- a) Plage de mesure: Ra, Rq: 0.01 à 40  $\mu\text{m}$ ; Rz, Rp, Rt, R3z: 0.02 à 160  $\mu\text{m}$ ; Sm, S: 2 à 4000  $\mu\text{m}$ ; Tp : 1 à 100% (% Ry).
- b) Cut-off (longueur de mesure): 0.25 mm, 0.8 mm ou 2.5 mm.
- c) Précision de la mesure: Selon ISO Classe 2.
- d) Course: 17.5 mm.
- e) Vitesse: 0.5 mm/s.
- f) Filtre digital: RC, PC-RC, Gauss, D-P.
- g) Capteur: Diamant, rayon 5  $\mu\text{m}$  (pointe).
- h) Température d'utilisation: 5 à 40°C.
- i) Alimentation: Batterie lithium, 1000 mAh.
- j) Dimensions: 141 x 56 x 48 mm.
- k) Poids: 440 g



Figure III.6. Dispositif pour mesurer la rugosité

### III.8. Résultats expérimentaux :

#### III 8.1 La vitesse de coupe $V_c$ :

➤ La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

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

$$D = 50\text{mm}$$

$V_c$ : vitesse de coupe en (m/min).

$D$  : diamètre en point d'usinage (mm).

$N$  : vitesse de rotation de la broche (tr/min)

• Pour  $N = 480\text{tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 480}{1000} = 75.36 \text{ mm/mn}$$

$$= 75.36 \approx 75\text{mm/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$D = 50 \text{ mm}$

- Pour  $N = 510 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 510}{1000} = 80.07$$
$$= 80.07 \approx 80 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$D = 50 \text{ mm}$

- Pour  $N = 540 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 540}{1000} = 84.78$$
$$= 84.78 \approx 85 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$D = 50 \text{ mm}$

- Pour  $N = 500 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 500}{1000} = 78.5$$
$$= 78.5 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$D = 50 \text{ mm}$

- Pour  $N = 530 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 530}{1000} = 83.21$$
$$= 83.21 \approx 83 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$D = 50 \text{ mm}$

- Pour  $N = 560 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 560}{1000} = 87.92$$
$$= 87.92 \approx 88 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 550 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 550}{1000} = 86.35$$
$$= 86.35 \approx 86 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 570 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 570}{1000} = 89.49$$
$$= 89.49 \approx 89.5 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 590 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 590}{1000} = 92.63$$
$$= 92.63 \approx 93 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 600 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 600}{1000} = 94.2$$
$$= 94.2 \approx 94 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 620 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 620}{1000} = 97.34$$
$$= 97.34 \approx 97 \text{ m/min}$$

La vitesse de coupe  $V_c$  : usinage à sec et avec lubrification

$$D = 50 \text{ mm}$$

- Pour  $N = 640 \text{ tr//min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 50 \times 640}{1000} = 100.48$$
$$= 100.48 \approx 100 \text{ m/min}$$

### III.8.2. Le Routage d'usinage

Selon l'usinage de l'opération de chariotage des essais avec les paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous, nous permettent d'étudier la rugosité de surface obtenue en fonction de la vitesse de coupe ( $V_c$ ), de l'avance ( $f$ ) et de la profondeur de passe ( $a$ ) et la vitesse d'avance.

**Condition d'usinage :**

**Essai :**

Usinage à sec.

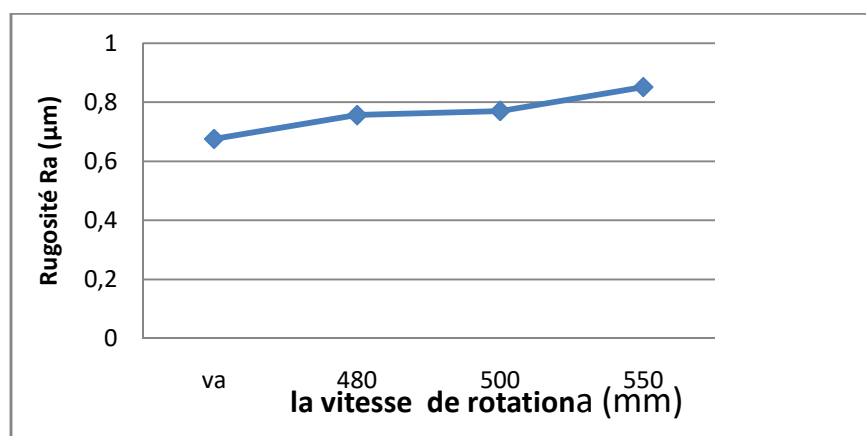
Condition d'usinage :

- L'avance  $f = 0.3 \text{ mm/tr}$
- Vitesse de rotation  $N$  variée.
- Profondeur de passe  $a_p = 0.5 \text{ mm}$ .



Palier	N tr/min	$f$ mm/tr	$a_{mm}$	$V_{Cm/min}$	Mesure	Ra $\mu m$	Rz $\mu m$
1	480	0.3	0.5	75	1	0.655	3.445
					2	0.588	2.812
					3	0.786	3.476
					Moyenne	0.676	3.244
2	500	0.3	0.5	78	1	0.787	2.853
					2	0.692	3.312
					3	0.794	2.929
					Moyenne	0.757	3.031
3	550	0.3	0.5	86	1	0.654	2.523
					2	0.747	3.351
					3	0.923	4.429
					Moyenne	0.771	3.434
4	600	0.3	0.5	94	1	0.732	3.500
					2	1.039	4.476
					3	0.786	2.687
					Moyenne	0.852	3.554

**Tableau III.5** : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage à sec.



**Graph III .1.** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.

**Essai :**

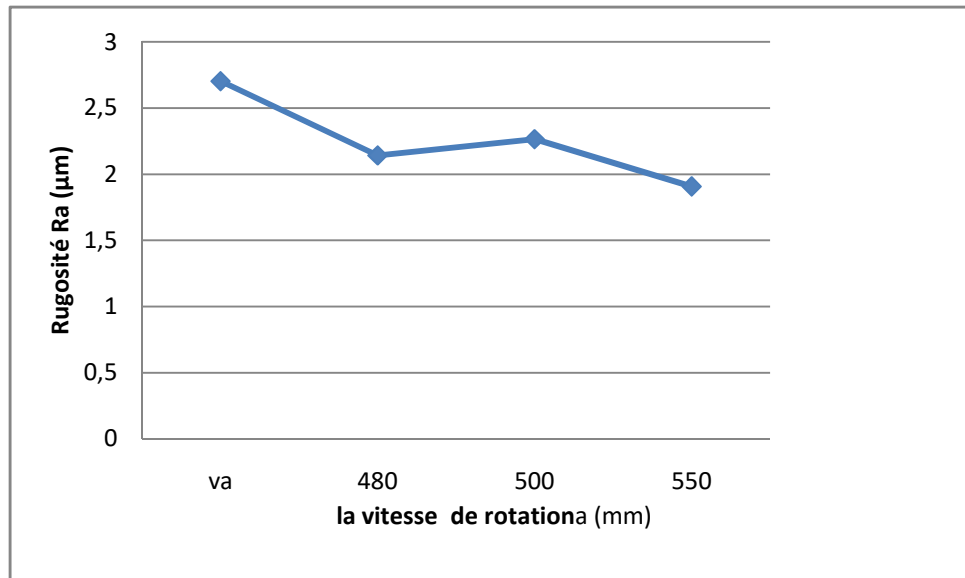
Usinage avec lubrification

Condition d'usinage :

- L'avance  $f=0.3\text{mm/tr}$
- Vitesse de rotation N variée
- Profondeur de passe  $a_p = 0.5\text{mm}$ .

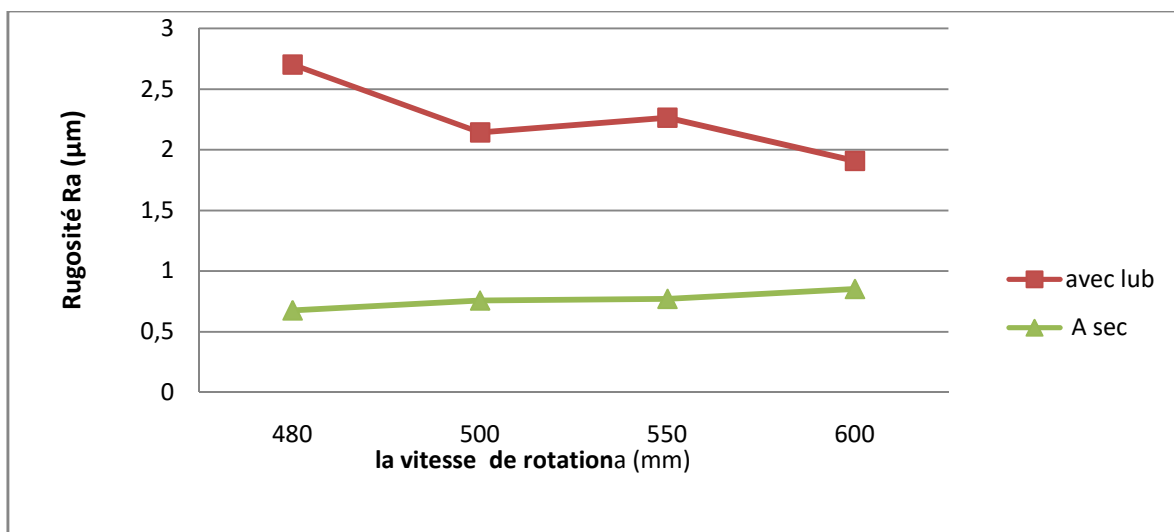
Palier	N tr/min	$f_{\text{mm/tr}}$	$a_{\text{mm}}$	$V_{\text{Cm/min}}$	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	480	0.3	0.5	75	1	2.622	11.16
					2	2.396	9.656
					3	3.090	7.406
					Moyenne	2.702	9.407
2	500	0.3	0.5	78	1	2.220	9.250
					2	2.480	10.52
					3	1.726	8.218
					Moyenne	2.142	9.329
3	550	0.3	0.5	86	1	2.203	8.492
					2	1.995	6.820
					3	2.598	9.739
					Moyenne	2.265	8.350
4	600	0.3	0.5	94	1	1.607	6.007
					2	1.959	8.492
					3	2.158	7.632
					Moyenne	1.908	7.377

**Tableau III.6 :** Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.



**Graph III .2** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification

➤ **Superposition des courbes F(f) :**



**Graph III .3** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.

**Condition d'usinage :**

**Essai 2 :**

Usinage à sec.

Condition d'usinage :

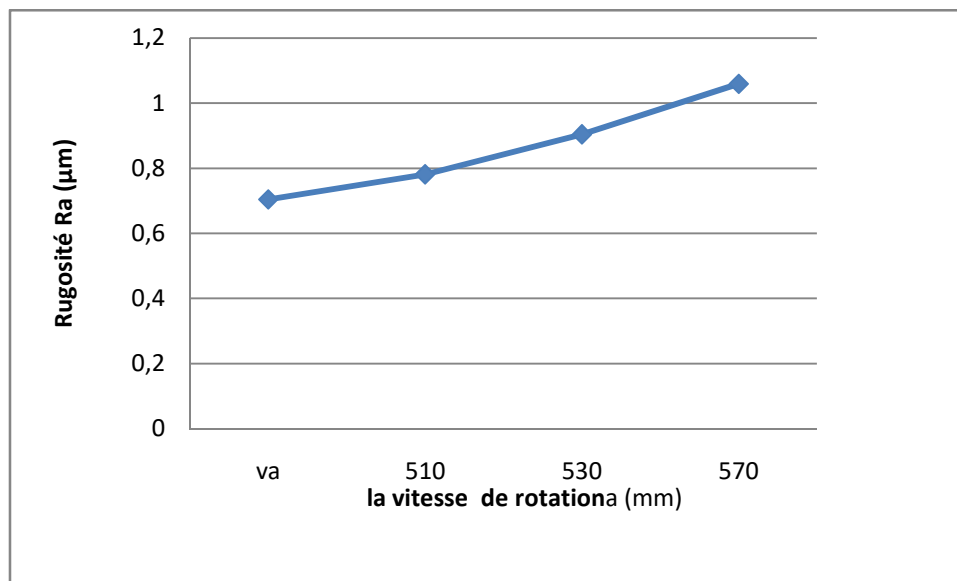
- L'avance  $f=0.2\text{mm/tr}$

- Vitesse de rotation N variée.

- Profondeur de passe  $a_p = 0.5$  mm.

Palier	N tr/min	$f$ mm/tr	$a_{mm}$	$V_{Cm/min}$	Mesure	Ra Mm	Rz $_{\mu m}$
1	510	0.2	0.5	80	1	0.704	3.171
					2	0.687	2.898
					3	0.721	3.757
					Moyenne	0.704	3.275
2	530	0.2	0.5	83	1	0.744	3.570
					2	0.732	2.671
					3	0.867	3.484
					Moyenne	0.781	3.241
3	570	0.2	0.5	89.5	1	0.828	3.351
					2	0.913	4.656
					3	0.972	4.492
					Moyenne	0.904	4.166
4	620	0.2	0.5	97	1	1.229	6.015
					2	0.957	5.414
					3	0.992	4.889
					Moyenne	1.059	5.439

**Tableau III.7** : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage a sec.



**Graph III .1** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.

### Essai 2 :

Usinage avec lubrification

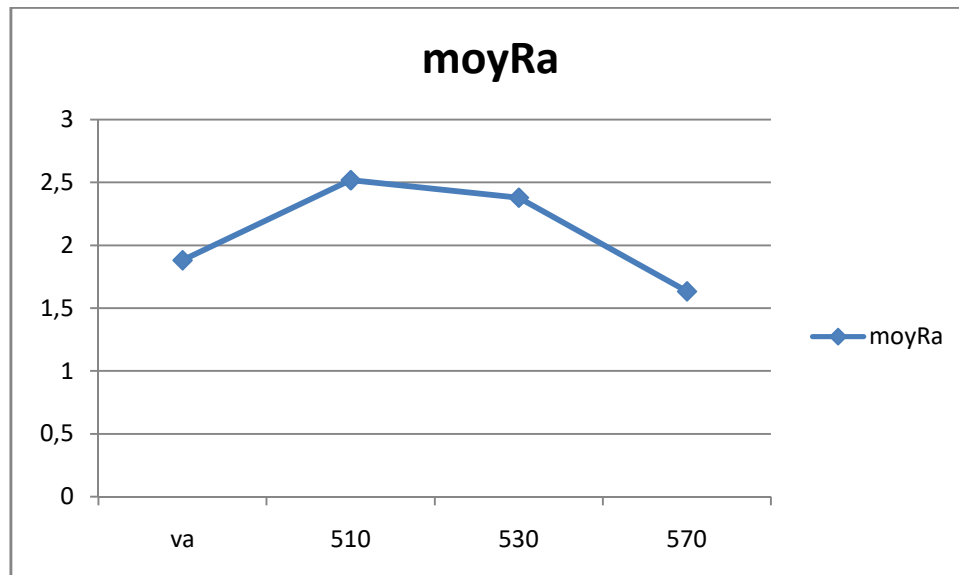
Condition d'usinage :

- L'avance  $f=0.2\text{mm/tr}$
- Vitesse de rotation N variée
- Profondeur de passe  $a_p = 0.5 \text{ mm}$

Palier	N tr/min	$f$ mm/tr	$a$ mm	$V$ Cm/min	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	510	0.2	0.5		1	1.426	5.234
					2	2.457	6.023
					3	1.761	4.867
					Moyenne	1.881	5.374
2	530	0.2	0.5		1	2.382	10.28
					2	2.007	4.921
					3	3.162	8.789

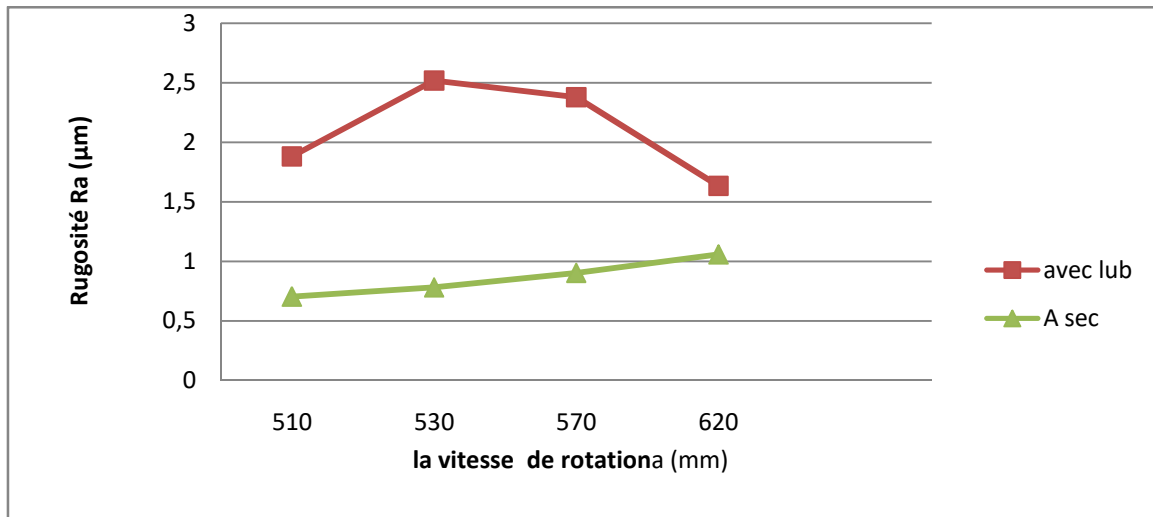
					Moyenne	2.517	7.966
3	570	0.2	0.5		1	2.804	9.343
					2	1.925	6.718
					3	2.407	8.093
					Moyenne	2.378	8.051
4	620	0.2	0.5		1	1.219	4.664
					2	1.382	4.554
					3	2.301	6.664
					Moyenne	1.634	5.294

**Tableau III.8** : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.



**Graphique III .2** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification.

➤ **Superposition des courbes F(f) :**



**Graph III.3** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.

**Condition d'usinage :**

**Essai 3 :**

Usinage à sec.

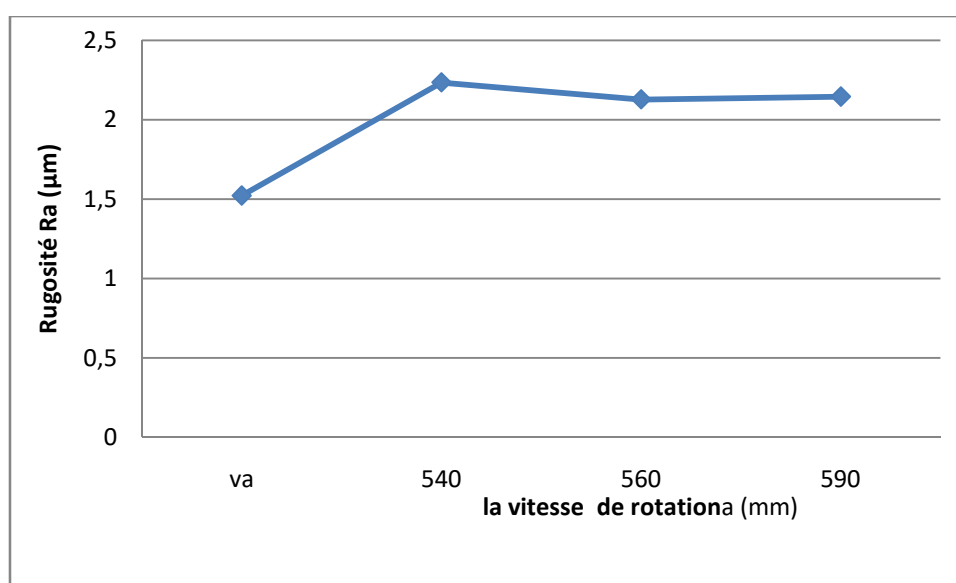
Condition d'usinage :

- L'avance  $f=0.2\text{mm/tr}$
- Vitesse de rotation N variée.
- Profondeur de passe  $a_p = 0.5\text{ mm}$ .

Palier	N tr/min	$f$ mm/tr	$a_{mm}$	$V_{Cm/min}$	Mesure	Ra Mm	Rz $_{\mu m}$
1	540	0.2	0.5	85	1	1.115	5.281
					2	1.611	6.585
					3	1.842	7.26
					Moyenne	1.522	6.375
2	560	0.2	0.5	88	1	2.648	6.632
					2	1.794	7.515
					3	2.206	7.945
					Moyenne	2.234	7.364
3	590	0.2	0.5	93	1	2.275	6.695

					2	1.727	6.531
					3	2.384	8.281
					Moyenne	2.128	7.169
4	640	0.2	0.5	100	1	2.115	6.781
					2	1.994	6.937
					3	2.326	6.796
					Moyenne	2.145	6.838

**Tableau III.9** : Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage à sec.



**Graphique III.1** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec.

### Essai 3 :

Usinage avec lubrification

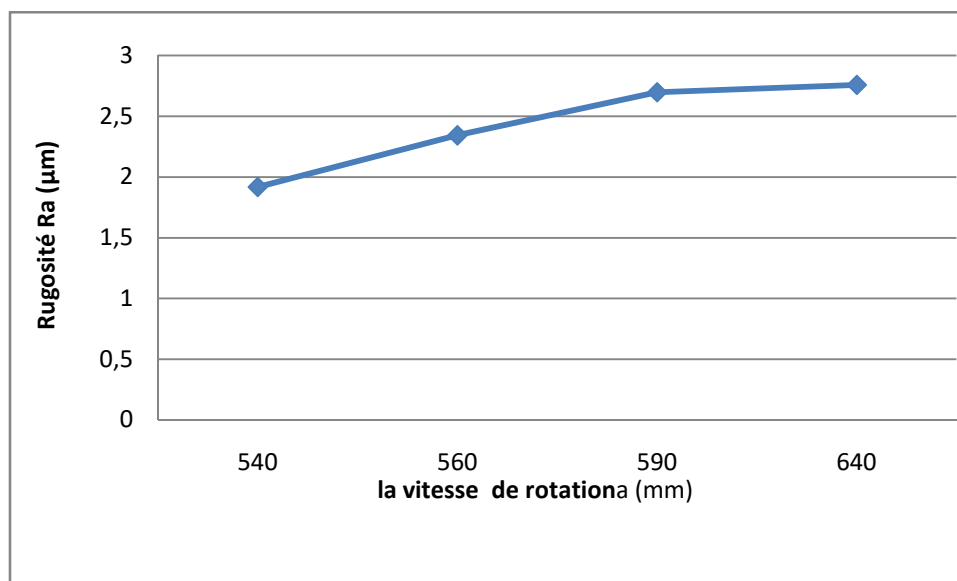
Condition d'usinage :

- L'avance  $f=0.2\text{mm/tr}$
- Vitesse de rotation N variée
- Profondeur de passe  $a_p = 0.5\text{ mm}$



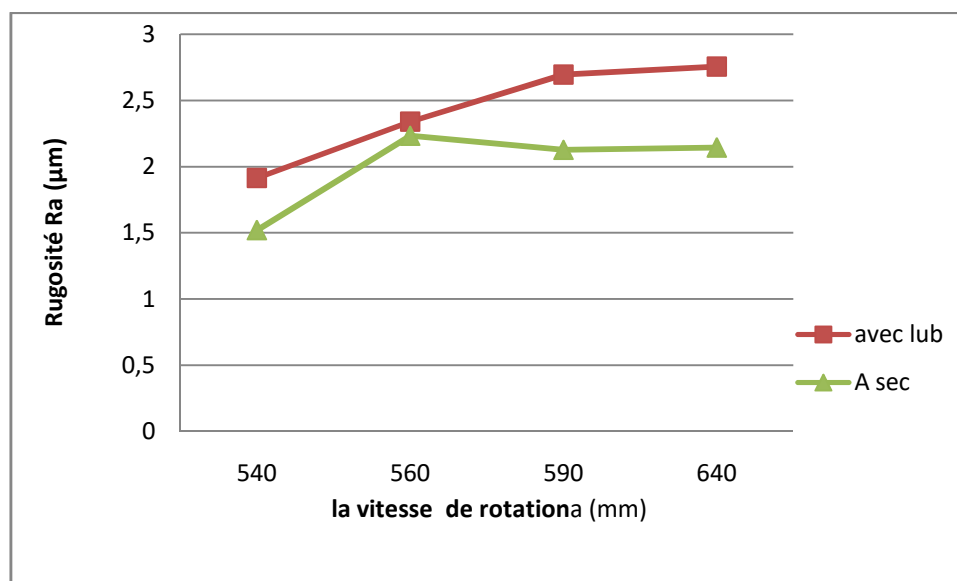
Palier	N tr/min	$f$ mm/tr	$a$ mm	$V$ Cm/min	Mesure	Ra Mm	RZ $\mu$ m
1	540	0.2	0.5	85	1	1.942	5.632
					2	1.692	8.257
					3	2.114	7.484
					Moyenne	1.916	7.124
2	560	0.2	0.5	88	1	2.621	5.164
					2	2.440	6.804
					3	1.966	6.578
					Moyenne	2.342	5.848
3	590	0.2	0.5	83	1	3.412	8.773
					2	2.605	8.218
					3	2.075	7.171
					Moyenne	2.697	8.054
4	640	0.2	0.5	100	1	2.121	7.218
					2	3.213	6.453
					3	2.938	5.585
					Moyenne	2.757	6.418

**Tableau III.10 :** Tableau des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification.



**Graph III .2** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage avec lubrification.

➤ **Superposition des courbes F(f) :**



**Graph III .3** variation de la rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (V) lors de l'usinage à sec et lubrification.

**III .8. 3. Discussions :**

Selon le graphe de l'usinage (1) on constate que l'usinage sous lubrification à donner de très bonne résultats, de même pour l'usinage à sec : au 3<sup>ème</sup> point de l'essai on peut remarquer que Ra est meilleure que celle au premier point

une légère reprise a été constaté au 3<sup>ème</sup> point,

Avec un retour au 4<sup>ème</sup> essai lors de l'augmentation de vitesse

on peut déduire qu'au 3<sup>ème</sup> point de vitesse V n'a aucun effet

L'essai 2 nous donne une droite  $f(v)$  croissante avec l'augmentation de vitesse, mais ce n'est pas le cas pour l'usinage à sec .ou Ra au point (2) et(3) est supérieure par rapport à(1) au point (4) la vitesse (V) à donner un meilleur résultat(Ra)

Tandis qu'au graphe de l'essai (3) on peut constater qu'au point (2) usinage à sec et sous lubrification Ra est identique, la progression étant normale aux autres points

**Conclusion :**

Au terme de cette étude on peut conclure, que la vitesse de coupe influe considérablement sur la rugosité de surface, au même titre que le lubrifiant.

La lubrification améliore nettement l'état de surface'assure la longévité de l'outil Le choix de la géométrie de l'outil est imposé, ainsi que le choix d'une machine-outil précise.

La lubrification diminue la température dans la zone d'usinage, l'allongement et augmente la dureté. Le choix de la matière en œuvre et la qualification de l'ouvrier sont d'une grande importance.

On constate au chapitre III que le résultat obtenu avec lubrification est beaucoup mieux que celui sans Lubrification ceci dit que notre usinage répond à l'exigence imposée

L'essai (3) on peut voir un rapprochement au point (2) et une divergence avec une stabilité (3) et (4)

Sur ce on peut conclure que la vitesse a un effet très important sur la qualité de surface au même titre que la lubrification

## Références bibliographique

---

- [1] **P. Padila**, « Production Mécanique », DUNOD 1986.
- [2] **M. Assas, N. Belhattab, M. Djenane**, « Optimization of Metal Working Based on Combined Criterion », RevueMorskoy Vestnik N2, Leningrad. Russia juin, 2003.
- [3] **M. Assas, M. Djenane**, « Optimisation des Conditions d'Usinage Basé sur un Critère Combiné », Deuxième Journées de Mécanique EMP, Alger 23 et 24 Décembre 2001.
- [4] **Alain Passeron**, « Tournage », Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [5] **A. Belloufi**, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla. 2010.
- [6] **Jean-Pierre cordebois et coll**, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003.
- [7] **A. TOUMINE**, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007
- [8] **Rocdacier**, « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011.
- [9] **Alexandre Toumine**, « Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [10] **J. Vergnas**, « Usinage : Technologie et Pratique », Génie Mécanique DUNOD, ISBN 2-04-011186-7, BORDAS, Paris 1982.
- [11] **J. L. Fanchon** « Guide des Sciences et Technologie Industrielle » Edition Nathan Paris France, 1994.
- [12] **R. Laheurte**, « Application de la Théorie du Second Gradient a la Coupe des Matériaux », Thèse de doctorat N° 2935, Université Bordeaux 1, Ecole Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, Décembre 2004.
- [13] **Denis Gelin, Michel Vincent**, « Eléments de Fabrication », Les Editions Foucher, 1995.
- [14] **R. butin, M. pinot**, « Fabrication Mécanique, Technologie Tome 3 ».

## Références bibliographique

---

[15] **bourbia mounira** , influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs répercussions sur un contact mécanique, thés magister 2009, Département de Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Universté Badji Mokhtar.

[16] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification\\_\(m%C3%A9canique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_(m%C3%A9canique)).

[17] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Superfinition>.

[18] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide\\_de\\_coupe](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide_de_coupe).

[19] <http://www.metaux-detail.com/pdf/acier/xc55.pdf>.

[20] **Soualah Mohssin**, L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier XC55, Mémoire master 2017, Département de Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Universté Badji Mokhtar.