

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**BADJI MOKHTAR UNIVERSITY OF ANNABA**  
**UNIVERSITE BADJI MOKHTAR DE ANNABA**

جامعة باجي مختار عنابة



**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT**  
**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MÉMOIRE**

**PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**

**INTITULE**

**L'INFLUENCE DE LA VITESSE DE COUPE SUR LA RUGOSITE DE SURFACE LORS DE  
L'USINAGE DE L'ACIER E24**

**DOMAINE : TECHNOLOGIE**

**FILIERE : GENIE MECANIQUE**

**SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE**

**PRESENTE PAR : CHEURFA MOUAAD**  
**BOUDINA ABDERRAOUF**

**DIRECTEUR DU MEMOIRE : DR NEHAL ABD ELAZIZ**

**DEVANT LE JURY**

**PRESIDENT :**  
**EXAMINATEUR :**  
**EXAMINATEUR :**

**ANNEE 2021/2022**

## *Remerciements*

*J'aimerais en premier lieu remercier mon dieu Allah qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de se travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur **Dr. NEHAL Abdelaziz** pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail. Et je le remercier également pour avoir su me faire confiance et m'avoir conseillée tout au long de ces quatre années.*

*Merci à **Dr Mokas Nacer** d'avoir accepté d'évaluer mon travail au sein du jury de soutenance. Merci aussi pour les autres nombre du jury.*

*Je remercie **BOUCHLAGHEM M Abdelaziz** pour ses précieux conseils méthodologiques.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à tout le personnel de l'entreprise **PROMECC**, particulièrement l'équipe de l'atelier mécanique pour leur aide et tout le soutien académique, pratique et psychologique qu'ils m'ont apporté. Sans oublier notre département de génie mécanique.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui je dois  
tout ce travail est le fruit*

*De leur amour, leurs encouragement et sarcoïdes.*

*A ma chère mère a mon cher père, A ma chère femme  
à mes chers frères et*

*Ma chère sœur.*

*A mes amis. À toutes mes amies et mes camarades.*

*Et à toute personne qui a contribué à la réalisation  
de ce travail.*

**cheurfa mouaad**

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents ma mère et mon père*

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur  
encouragement.*

*A mes frères.*

*À mes amies et mes camarades.*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du  
moyen, du secondaire*

*Ou de l'enseignement supérieur.*

*Boudina Abderraouf*

# Tableau des matières

## Remerciements

## Dédicaces

## Tables des matières

<u>INTRODUCTION</u> .....	1
---------------------------	---

## Chapitre I : Généralité sur l'usinage

<u>I.2.Procèdes d'usinage</u> : .....	4
<u>I.3.L'outil</u> : .....	5
<u>I.3.1.Les angles de la partie active</u> : .....	6
<u>I.3.2.Matière employée</u> :.....	7
<u>I.3.3.Les outils de tournage</u> : .....	8
<u>I.4.La relation (Outil / Machine / Pièce)</u> : .....	10
<u>I.5.Tournage mécanique</u> : .....	01
<u>I.5.1.Principe de tournage</u> : .....	12
<u>I.5.2.Les différents types d'opérations</u> : .....	12
<u>I.6.Les tours</u> : .....	14
<u>I.6.1. Définition</u> .....	14
<u>I.6.2.Différentes types de tour</u> : .....	15
<u>I.7.Les portes pièces</u> : .....	16
<u>I.7.1.Les mandrins à serrage par mors</u> :.....	16
<u>I.7.2.Les mandrins expansibles</u> :.....	16
<u>I.7.3.Les portes pièces dédiées</u> :.....	17
<u>I.8.Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces</u> : .....	17
<u>I.9.Conditions de coupe</u> : .....	19
<u>I.9.1.Vitesse de coupe</u> : .....	19
<u>I.9.2.Avance</u> .....	00
<u>I.9.3.Les types d'avances</u> : .....	21
<u>I.9.4.Profondeur de passe (usinage)</u> : .....	21
<u>I.10.Étude de quelques temps technologiques</u> : .....	23
<u>I.10.1.Définition</u> : .....	23
<u>I.10.2.Temps technologique de chariotage (tournage)</u> : .....	23

<u>I.10.3.Temps technologique de dressage (tournage) :</u>	24
<u>I.10.4.Temps technologique en filetage (tour) :</u>	24

## **Chapitre II : Rugosité de Surface**

<u>II.1. Introduction</u>	26
<u>II.2. Définition d'une surface :</u>	26
<u>II.3.Défauts de surface:</u>	27
<u>II.4. Méthodes de mesure des états de surface :</u>	28
<u>II.4.1. Méthodes mécaniques :</u>	28
<u>II.4.2.Technologie de mesure :</u>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<u>II.5.Caractéristiques de la surface :</u>	29
<u>II.5.1.Caractéristiques du profil :</u>	29
<u>II.5.2.Cotation fonctionnelle des états de surface :</u>	31
<u>II.5.3.Domaine d'applications :</u>	31
<u>II.5.4.Indications des exigences d'états de surface :</u>	31
<u>II.6.les techniques d'amélioration des états de surface :</u>	32
<u>II.6.1 La Rectification :</u>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<u>II.6.2 Avantage de la rectification :</u>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<u>II.6.3 Superfinition :</u>	34
<u>II.7. le lubrifiant :</u>	34
<u>II.7.1. Fonctions assurées par lubrification :</u>	35
<u>II.7.2. Maintien en température :</u>	35
<u>II.7.3 Lubrification :</u>	35
<u>II.7.4 Évacuation des copeaux :</u>	36
<u>II.8. Rugosité :</u>	36
<u>II.8.1.Principaux paramètres de la rugosité :</u>	36
<u>II.8.2. Ecart type du profil :</u>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<u>II.8.3. Différents types de défauts de la rugosité :</u>	37
<u>II.8.4. Normes de rugosité :</u>	38
<u>II.8.5. Mesure de la rugosité :</u>	39

## **Chapitre III : Partie Expérimentale**

<u>III .1. Expérience et équipement utilisés</u> .....	42
<u>III .1.1 Routage d'usinage</u> .....	42
<u>III .1.2 Equipements utilisés</u> :.....	44
<u>III. 2. Matériaux utilisé</u> : .....	47
<u>III. 2.1.Analyse technique de la matière de l'arbre:</u> .....	47
<u>III. 2.2.Les désignations de la matière</u> :.....	47
<u>III. 2.3. Composition chimique</u> :.....	48
<u>III. 2.5. Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé)</u> :.....	48
<u>III. 2.6. Propriétés</u> :.....	48
<u>III. 2.7. Domaine d'application</u> :.....	48
<u>III. 3. Régime de coupe</u> :.....	49
<u>III. 4.Présentation de l'éprouvette</u> :.....	49
<u>III.5.Rugosimètre</u> : .....	51
<u>III.6. La vitesse de coupe <math>V_c</math></u> : .....	61
<u>III.7.Résultat obtenues:</u> .....	01
<u>III.7.1. L'influence des paramètres de coupe en particulier, la vitesse de coupe en usinage et son impact sur l'état de surface:</u> .....	01
<u>III.7.2.Comparaison entre les résultats obtenues de <math>R_a</math> et <math>R_q</math> avec et sans lubrification</u> .....	65
<u>Conclusion et perspectives</u> .....	68

## **Bibliographie**

## Liste des figures

Figure 1 : Atelier de fraisage.....	3
Figure 2: Dessin géométrique de l'outil [1] .....	6
Figure 3: les angles de la partie la plus active. [1] .....	6
Figure 4: les différents angles suivant le plan de coupe. [1] .....	7
Figure 5: Outils ARS. [2].....	9
Figure 6: Outils carbure .....	10
Figure 7: .Relation machine/ outil /pièce .....	10
Figure 8: Opération de chariotage .....	11
Figure 9: Mouvement dans le tournage .....	12
Figure 10: Usinage externe sur tour .....	13
Figure 11: Usinage interne sur tour .....	13
Figure 12: composante de tour .....	15
Figure 13: vitesse de coupe .....	20
Figure 14: Différente types d'avance .....	21
Figure 15: Les parties actives de l'outil .....	25
Figure 16: calcul de temps technologique Tt en tournage (chariotage ).....	24
Figure 17: calcul du Tt en tournage dressage.....	24
Figure 18: calcul de Tt pour filetage (tour).....	25
Figure 19: analyse d'une surface .....	27
Figure 20: moyens d'analyse d'état de surface. ....	29
Figure 21: caractéristique de profil. ....	30
Figure 22: position de différences exigences d'état de surface.....	32
Figure 23: operation de rectification . ....	33
Figure 24: lubrifiant .....	35
Figure 25: techniques de mesure].....	40
Figure 26: Rugosimètre portable.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 27: Rugosimètre fixe .....	41
Figure 28: Rugosimètre .....	41
Figure 29: Vue générale.....	45
Figure 30: Tour universel à charioter et à fileter CAZENEUVE HB575 .....	46
Figure 31: Outil « CERATIZIT » TCMT .....	46
Figure 32: Outil « CERATIZIT » TCMT .....	47
Figure 33: L'éprouvette .....	49
Figure 34: dessin de montage de l'arbre .....	50
Figure 35: montage de la pièce .....	50
Figure 36: Rugosimètre TR220.....	51
Figure 37: application typiques .....	52
Figure 38: graphe 3d usinage échantillon .....	53
Figure 39: profilograph 3d de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe $v_c = 84,780$ mm .....	53



Figure 40 : graphe 3d de l'usinage échantillon .....	54
Figure 41 : Figure 39:profilograph 3d de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe $v_c = 107,388$ mm .....	54
Figure 42: graphe 3d l'usinage échantillon.....	55
Figure 43:profilograph 3d de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe $v_c = 131,880$ mm .....	55
Figure 44: graphe 3d de l'usinage échantillon.....	56
Figure 45:profilograph 3d de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe $v_c = 169,560$ mm .....	56
Figure 46: graphe 3d l'usinage échantillon .....	57
Figure 47: Figure 39:profilograph 3d de l'essai l'usinage a sec avec une vitesse de coupe $v_c = 84,780$ mm .....	57
Figure 48: graphe 3d l'usinage échantillon .....	58
Figure 49 :profilograph 3d de l'essai l'usinage a sec avec une vitesse de coupe $v_c = 107,388$ mm .....	58
Figure 50: graphe 3d l'usinage échantillon .....	59
Figure 51: profilograph 3d de l'essai l'usinage a sec avec vitesse de coupe $v_c = 131,880$ mm .....	59
Figure 52: graphe 3d l'usinage échantillon .....	60
Figure 53: profilograph 3d de l'essai l'usinage a sec avec vitesse de coupe $v_c = 169,560$ mm .....	60
Figure 54: Evolution de la rugosité( $R_q$ ) en fonction de la vitesse de coupe( $V_c$ ) lors de l'usinage à sec, a et f constants .....	63
Figure 55: . Evolution de la rugosité( $R_a$ ) en fonction de la vitesse de coupe( $V_c$ ) lors de l'usinage à sec, a et f constants avec lubrification.....	65
Figure 56: Comparaison entre l'évolution de la rugosité( $R_a$ ) et ( $R_q$ ) en fonction de la vitesse de coupe( $V_c$ ) lors de l'usinage à sec, a et f constants .....	65
Figure 57 : exemple de surface fini avec un profil de l'outil.....	66

## *Liste des tableaux*

Tableau 1 : des différents montages que l'on peut réaliser a l'aide des équipements standards du 5 ..... 0	
Tableau 2:symboles de base.....	32
tableau3: les résultats de l'essai 1.....	43
tableau 4: les résultats de l'essai 2.....	44
tableau 5: les désignations de la matière .....	47
tableau 6: composition chimique de l'acier E24 .....	1
tableau 7: .caracterestique mecanique de la E24.....	1
tableau 8: les valeurs de la rugosité lors de l'usinage a sec 20.....	62
tableau 9: obtenu des valeur relevées lors de l'usinage .....	64

# *Introduction Générale*

## **INTRODUCTION**

Concevoir un produit ou un système consiste à passer de l'expression théorique à la réalisation de ce dernier ou de l'objet permettant de satisfaire et de répondre aux exigences de fonctionnement du mécanisme considéré.

Le monde de la fabrication mécanique est très vaste, en commençant par la plus petites pièce utilisé par un chirurgien-dentiste a la plus grande pièce d'un navire ou d'une navette spatiale. Tout système mécanique est composé d'un ensemble de pièce liée entre elles, et en mouvement les unes par rapport aux autres, sont soumises aux frottements, ce qui nécessite la lubrification des surfaces en contact pour éviter l'usure rapide. Pour la réalisation des surfaces des pièces cependant il existe plusieurs procédés d'usinage, ainsi qu'un nombre important d'opérations de finition et de traitement mécanique. En générale, tous les procédés de fabrication mécanique ont pour objectif l'amélioration des caractéristiques mécanique, et géométriques des surfaces (surfaces obtenues), afin qu'elles répondent aux exigences techniques et aux conditions de fonctionnement. Toutes les surfaces ne sont pas parfaitement lisses, elles portent toujours les empreinte d'outil de mouvement de l'outil, ou des vibrations de la machine-outil lors de l'usinage, ce qui engendre des défauts de formes sur la surface en l'occurrence la rugosité. L'étude de l'influence de cette dernière, ainsi que la lubrification du contact de surface contribuent a l'amélioration des performances et a la durée de vie des mécanismes. Beaucoup d'études furent entreprises pour mieux comprendre, et maîtriser l'influence des paramètres de rugosité sur les systèmes mécaniques, d'où la nécessité de la caractérisation topographique des surfaces en présence, dont dépend la représentation aussi fidele et complète du lubrifiant. En effet, l'amélioration des propriétés des zones superficielles des pièces est un moyen permettant d'augmenter la durée de vie, et de prévenir certains effets néfastes tels que la corrosion et l'usure. Cependant, le bon fonctionnement des pièces dépend largement de la qualité de leur surface usinée, donc de la rugosité des surfaces réalisées, ainsi le problème réside dans le choix du procédé le mieux adapté et le plus efficace a long terme, d'où l'intérêt de l'étude des procédés d'élaboration des pièces, et leur influence sur la qualité des surfaces.

L'objectif de notre travail est de montrer les différentes étapes qui ont conduit à l'usinage de notre pièce mécanique « arbre » ainsi que l'étude de l'influence des différents paramètres de coupe sur la rugosité.

Notre travail se présente comme suit :

Un premier chapitre dans lequel nous avons fait une étude bibliographique permettant de rappeler les principales notions de tournage ainsi qu'une étude théorique montrant les formules des paramètres de coupe. La condition de coupe relative aux différents procédés employés pour la réalisation de notre pièce.

Un deuxième chapitre dans lequel nous avons étudié la rugosité de la surface usinée en montrant les différents critères de mesures.

Un troisième chapitre dans lequel nous avons étudié l'influence des paramètres de coupe ( $V_C$ ,  $f$ ,  $a_p$ ) sur la rugosité ( $R_a$ ,  $R_q$ ) et l'interprétation des résultats.

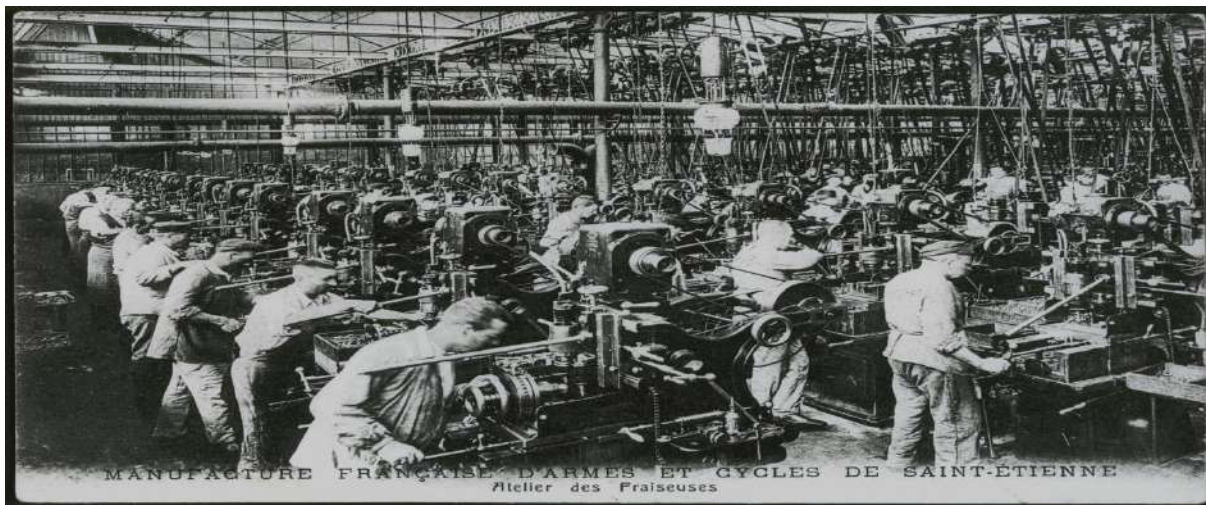
Enfin, une conclusion récapitulatif de tous les résultats obtenus.

# *Chapitre I : Généralité sur l'usinage*

## Généralité sur l'usinage :

L'usinage par enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir de pièces moulées, extrudées ou forgées. Le procédé est, par contre, coûteux (machine, outils, hommes qualifiés) et relativement lent. C'est pourquoi on essaye d'obtenir maintenant des pièces de moulage ne nécessitant pas d'usinage. Cela est possible avec le plastique ou le Zamac (Zn, Al, Mg), mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'égaliser celles de l'acier ou des alliages d'aluminium. Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut en citer deux : l'UGV (ou usinage à grande vitesse) et les machines à axes parallèles qui offrent une grande mobilité de la tête d'usinage.

- Avec le travail à grande vitesse, la machine-outil passe à la vitesse supérieure. La pièce usinée par UGV est d'une précision supérieure. Tout d'abord, les efforts de coupe sont réduits. Donc, la pièce subit moins de déformation. Ensuite, les calories sont dissipées dans les copeaux avant d'avoir le temps de pénétrer dans la pièce. Moins sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originelle.[1]



**Figure 1** : Atelier de fraisage.

L'usinage consiste à obtenir une forme bien définie par enlèvement de matière sous forme de copeaux. Il est nécessaire pour cela que le couple outil/pièce soit animé d'un mouvement relatif de coupe  $M_c$  et d'un mouvement relatif d'avance  $M_f$ .

## **I.2.Procèdes d'usinage :**

Il existe plusieurs procédés d'usinage, notamment :

- Les usinages par déformation : forgeage, thermoformage, pliage
- Les usinages par découpage : découpe laser, oxycoupage,
- Les usinages par enlèvement de matière : tournage, fraisage, électroérosion.

Les différents procédés d'usinage sont (les symboles sont ceux de la norme NFE 05-019 de 1992) :

- l'alésage (al) ;
- le brochage (br) ;
- le fraisage : fraisage en bout (frb), fraisage en roulant (fr) ;
- le décolletage ;
- le découpage par : tronçonnage, grugeage, encochage, grignotage, poinçonnage ;
- le mortaisage (mo) ;
- le lamage ; le chambrage ;
- le perçage (pc), filetage (fl), taraudage (ta) ;
- le rabotage (rb) ;
- la rectification (re) : rectification plane (rcp), rectification cylindrique (rcc) ;
- le planage ;
- le rasage (usinage) ou shaving, finition d'engrenages ;
- le tournage (to) : dressage (dr), chariotage, repoussage, fluotournage ;
- l'étincelage (éi) ; procédé d'usinage par électro-érosion (ée) ;
- le polissage (po) ;
- l'électro-polissage (ep) ;
- la super finition (sf), le pierrage (pi), le rodage (rd), le galetage (ga) ;
- le sablage : sablage à sec (sas), sablage humide (sah) ;
- le grattage (usinage) (gr) ;
- le meulage (me). [1]
- le découpage (dé) : découpage plasma, découpage jet d'eau, découpage laser ;
- le grenailage : grenailage sphérique (gns), grenailage angulaire (gna)



le roulage : usinage entre galets, comme le filetage à froid ;

- le polygonage ;
- le sciage, le cisailage ;
- le limage ;
- le burinage ;
- le pointage ;
- l'usinage chimique ;
- l'usinage électrolytique ;
- l'usinage électrochimique ;
- l'usinage par ultrasons.

L'usinage peut être fait soit avec une machine traditionnelle soit à la machine à commande numérique (CN). Il peut être fait soit en usinage classique soit en grande vitesse (UGV). L'usinage peut être fait par plusieurs techniques dans le but d'améliorer la précision et le rendu de la pièce. De nos jours, de nombreuses entreprises proposent ces services

### **I.3.L'outil :**

La partie la plus importante de l'outil est l'arête de coupe, intersection d'une face de coupe sur laquelle glisse le copeau, et d'une face en dépouille opposée à la surface tranchée, i.e. partie active, dont la dureté doit être plus grande que celle du métal à travailler. Sur tous les outils il est nécessaire de dépouiller certaines surfaces pour éviter leur frottement avec les surfaces engendrées. L'étude des outils peut prendre comme modèle celle de l'outil prismatique :

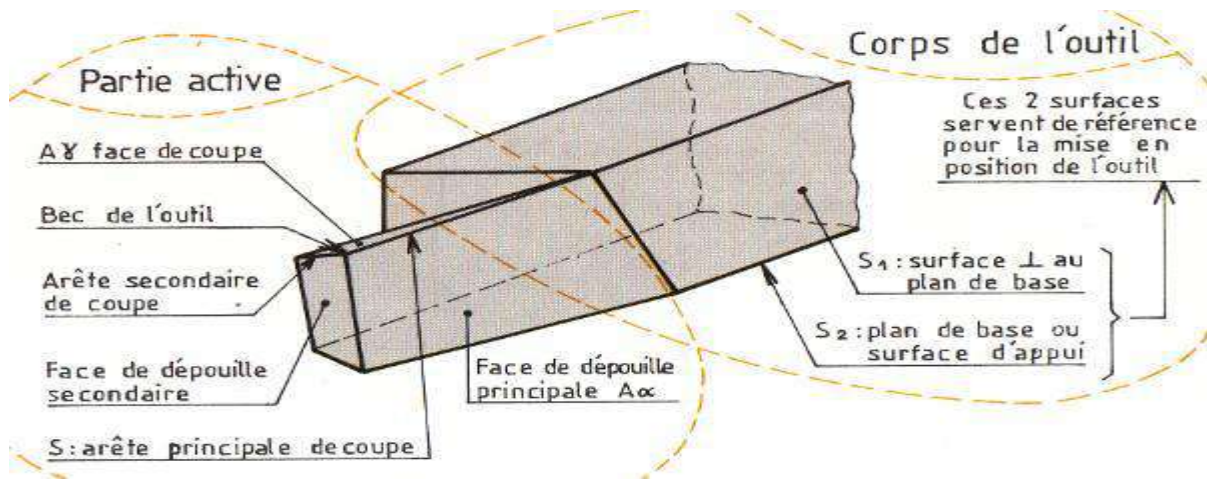


Figure 2 : Dessin géométrique de l'outil [1].

### I.3.1. Les angles de la partie active :

Les angles de la partie active sont définis par trois plans  $P_r$ ,  $P_f$  et  $P_s$  eux même repérés en fonction des vectrices vitesses de coupe  $V$  et d'avance  $V_f$ :

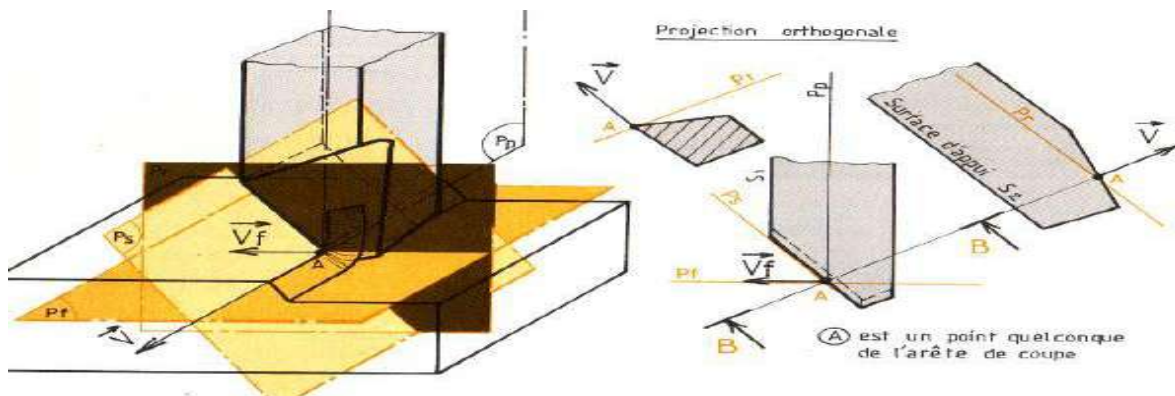


Figure 3: les angles de la partie la plus active. [1]

- $P_r$  plan de référence (en marron), passant par le point A de l'arête est perpendiculaire à la direction de la vectrice vitesse de coupe  $V$
- $P_s$  plan d'arête (en beige), perpendiculaire au plan  $P_r$  et contenant la tangente à l'arête  $S$
- $P_f$  plan de travail conventionnel (en orange), perpendiculaire au plan  $P_r$  et parallèle à la direction du vecteur avance  $V_f$ .

On définit ainsi les angles :

- de direction d'arête d'outil  $K_r$ , angle entre  $P_f$  et  $P_s$  mesuré dans  $P_r$ , dépend du travail d'usinage (forme de la surface à générer, ébauche ou finition), angle à gauche ou à droite

- d'inclinaison d'arête d'outil  $\lambda_{s+}$ , angle que font l'arête de coupe S et le plan  $P_r$ , dépend du genre et du type de travail (ébauche ou finition, choc ou continu). Une valeur négative a pour but d'augmenter la résistance du bec et d'orienter le déroulement du copeau.
- de coupe  $\gamma$ , dépend du matériau usiné
- de dépouille  $\alpha$  (Ci.  $6^\circ$  pour l'acier rapide,  $4^\circ$  à  $8^\circ$  pour les carbures métalliques)
- de taillant  $\beta$  (dépend de la résistance à la coupe du métal à usiner)

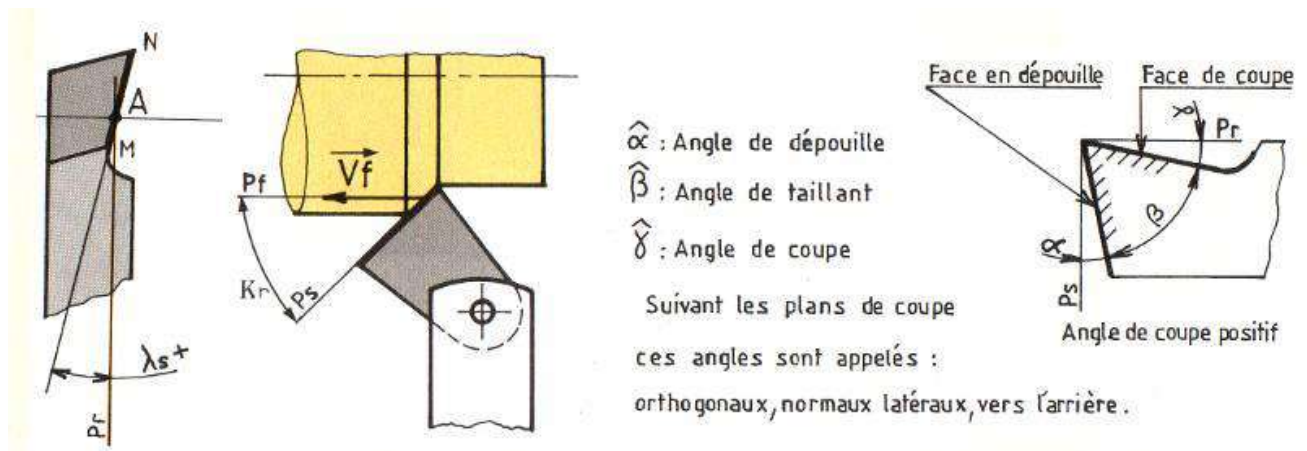


Figure 4: les différents angles suivant le plan de coupe. [1]

Le bec de l'outil joue un rôle important sur la rugosité de la surface engendrée, car il diminue la hauteur des stries. La section du corps de l'outil et la longueur de l'arête de coupe sont fonction de l'avance et de la profondeur de passe.[1]

### I.3.2.Matière employée :

Les matériaux utilisés doivent répondre aux exigences suivantes :

- Résistance élevée aux sollicitations de traction et compression
- bonne rugosité des faces de coupes et de dépouilles
- conservation de la dureté à des températures élevées (500 à 900°C) On utilise quatre grandes catégories de matériaux de coupe

- aciers rapides : ce sont des aciers à fort pourcentage de carbone avec des additions d'alliage dont le but est d'augmenter la dureté et la résistance à l'usure. Ces aciers ne sont pas sensibles à l'écaillage et on peut obtenir par affûtage une arête de coupe très vive
- carbures métalliques : ils possèdent une haute résistance et une haute dureté, et permettent de travailler à des vitesses 4 à 6 fois supérieure à celle des aciers rapides. Sensibles à l'écaillage l'arête de coupe n'est jamais vive, mais possède un léger rayon.
- Céramiques : elles sont constituées par de l'oxyde d'aluminium aggloméré par un liant et mis en forme. leur dureté est élevée et les vitesses de coupe permises sont de 3 à 4 fois supérieures à celles des carbures
- diamantindustriel : il se présente sous forme de grain brasé à l'extrémité d'un corps d'acier. Il peut usiner tous les métaux quel que soit leur dureté. On l'emploie pour certains travaux de finition.
- L'acier rapide (HSS - High Speed Steel), qui est un acier fortement allié, est très employé pour la production d'outils de coupe. Les caractéristiques qui le rendent intéressant sont sa dureté d'environ 65 HRC et sa ténacité qui lui confère une bonne longévité.
- les carbures métalliques. Rentrent dans cette catégorie les alliages composés de tungstène (60-90%), titane et tantale (1-35%) et de cobalt ou nickel (5-15%), ainsi que d'autres matières en plus faibles quantités comme le molybdène ou le vanadium. La fabrication du métal dur est réalisée par frittage, on en fait généralement des plaquettes que l'on fixe sur le corps de l'outil par brasage, avec une vis ou aussi par bridage. Certains outils de petites dimensions sont fabriqués entièrement en métal dur. [1]

### **I.3.3. Les outils de tournage :**

#### **Outils ARS :**

L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret, ...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : high speed steel, abrégé HSS.[2]


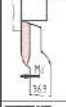

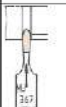
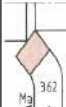
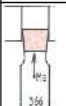

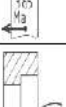
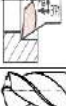

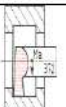
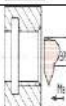
Outil	Norme	Silhouette outils ARS
Outil à dresser d'angle	NFE 66 364	
Outil couteau	NFE 06 303	
Outil à fileter	NFE 06 309	
Outil à saigner	NFE 06 307	
Outil à chanoter	NFE 66 362	
Outil pelle	NFE 66 366	
Outil à retoucher	NFE 66 365	
Outil à aléser - dresser		
Foret		
Alésoir		
Outil à chambrer		
Outil à fileter intérieur		

Figure 5 : Outils ARS. [2]

### Outils à plaquettes carbures :

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Outils de base pour le tournage traditionnel et numérique. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min). Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner (en phase d'ébauche).[2]








Tooling system	Negative inserts				Positive inserts	Ceramic and CBN inserts	
	CoroTurn RT	T-MAX P			CoroTurn 10Z	CoroTurn RT	T-MAX
Clamping system	 Rigid clamp design	 Lever design	 Wedge clamp design	 Screw and top clamp design	 Screw clamp design	 Rigid clamp design	 Top clamp design
Longitudinal turning/facing	**	*	*		*	**	*
Profiling	**	*	*	*	**	**	*
Facing	**	*	*	*	*	**	*
Plunging		*			**		**

Figure 5: Outils carbure.

#### I.4. La relation (Outil / Machine / Pièce) :

On l'a vu, usiner consiste à modifier la forme d'une pièce par l'action d'une machine, au moyen d'un outillage. Donc tout usinage met en relation ces trois éléments :

- L'outil,
- La machine,
- La pièce

On peut schématiser la relation de la manière suivante :

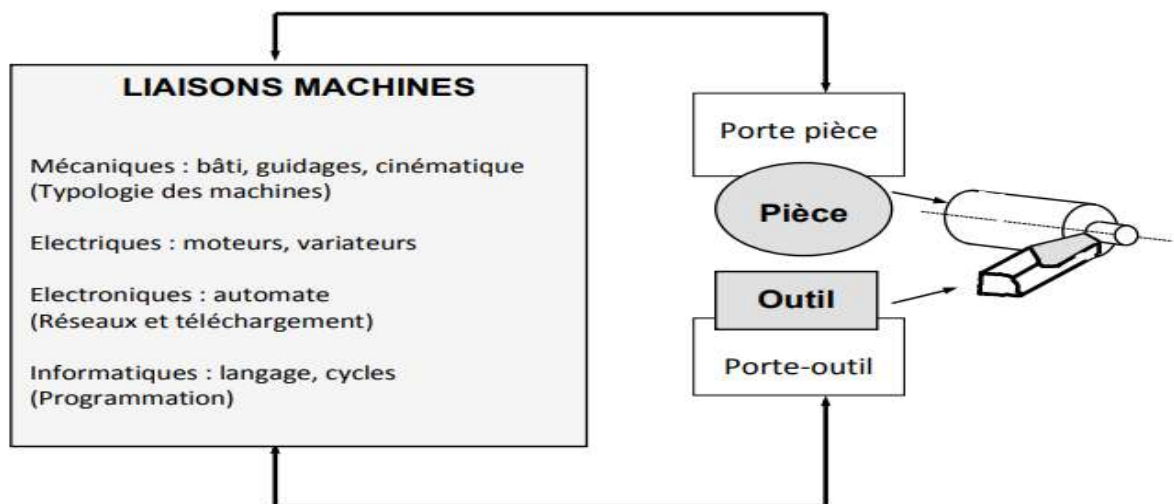


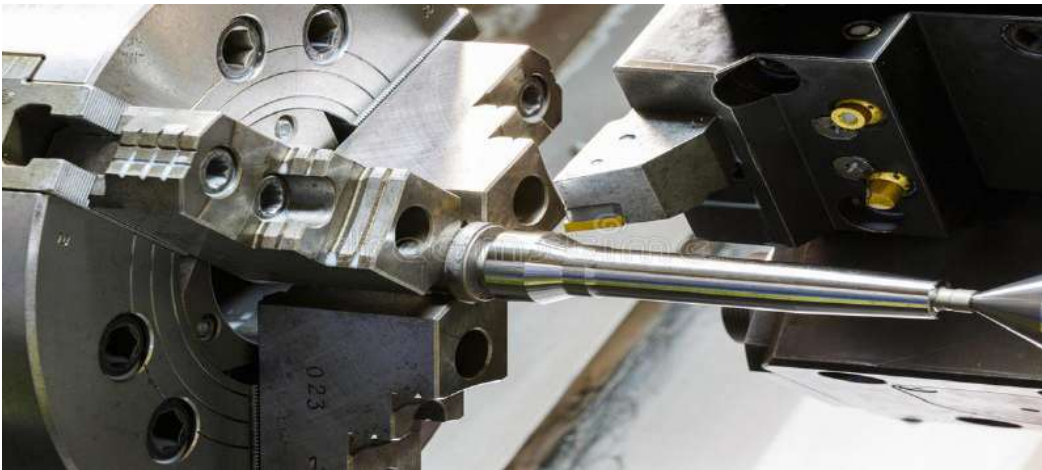
Figure 6: .Relation machine/ outil /pièce.

La pièce et l'outil sont fixés sur la machine grâce au porte-pièce et au porte-outil.

Suivant les chaînes relationnelles « Outil / Machine / Pièce » et le repère d'axes dans lequel s'inscrivent les différents déplacements, les principes d'usinage mis en œuvre varient et définissent ainsi différents types d'usinages (par enlèvement de matière).

### **I.5. Tournage mécanique :**

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de copeaux qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tours. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandrin, ou entre pointes. Il est également possible de percer sur un tour, même si ce n'est pas sa fonction première.



**Figure 7:** Opération de chariotage

En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux.

Un tour permet de fabriquer principalement des pièces de révolution même si certaines machines peuvent réaliser des formes très complexes (tours de décolletage). Ces pièces peuvent être :

- métalliques ou en plastique (tour mécanique) ;
- en bois (tour à bois) ;
- en terre (tour vertical de potier).

### I.5.1.Principe de tournage :

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe  $Me$ . 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  $Mf$ .

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

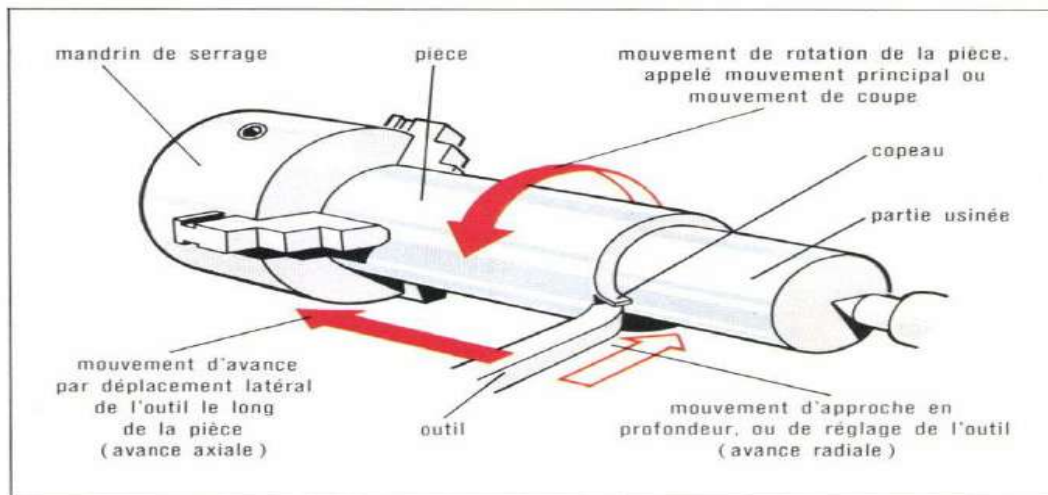


Figure 8: Mouvement dans le tournage.

### I.5.2.Les différents types d'opérations :

Tournage extérieur Usinage externe sur tour

- Tournage longitudinal (chariotage, axe z), réalisation d'un diamètre ;
- tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement ;
- tournage par profilage ou contour nage, réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique ;
- tournage de gorges, dégagements ;
- filetage, réalisation d'un pas de vis ;
- tronçonnage



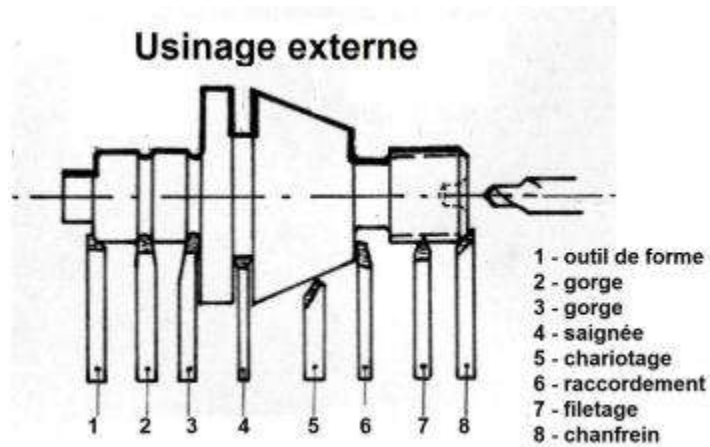


Figure 9: Usinage externe sur tour.

**Tournage intérieur :**

- Alésage.
- dressage.
- tournage intérieur par contour nage.
- tournage de dégagement, gorges.
- taraudage, réalisation d'un filetage intérieur.
- chambrage.

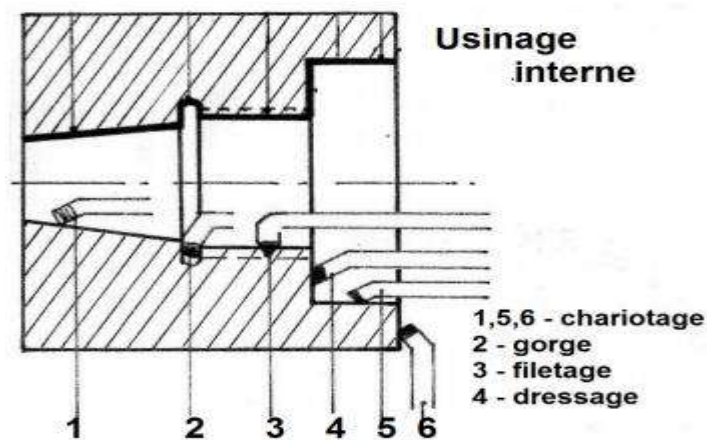


Figure 10: Usinage interne sur tour.

## **Tournage de pièces métalliques**

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

1. Écroûtage du brut : on enlève la couche extérieure, qui a un mauvais état de surface et contient de nombreux défauts (calamine, corrosion, fissures, inclusions, écrouissage important, ...) ; il s'agit d'une passe d'environ 0.5 à 1 mm.
2. Contrôle du diamètre obtenu (au pied à coulisse voire au micromètre), ce qui permet de déterminer combien il faut enlever de matière pour arriver à la cote visée.
3. Passes d'ébauche d'une profondeur de plusieurs mm, pour enlever la matière.
4. Contrôle du diamètre avant finition.
5. Passe de finition, d'une profondeur inférieure à 0.5 mm mais supérieure au copeau minimum, afin d'avoir une bonne tolérance dimensionnelle et un bon état de surface.

Si l'on doit réaliser un épaulement, on chariote en laissant une surépaisseur de 0.5 mm ; celle-ci est enlevée en dégageant l'outil lors de la passe de finition. On assure ainsi la planéité et la perpendicularité de la surface par rapport à l'axe, puisque la surface finale est réalisée en une seule passe.

## **I.6. Les tours :**

### **I.6.1. Définition**

Les tours (voir Figure. I.8) 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. [3]

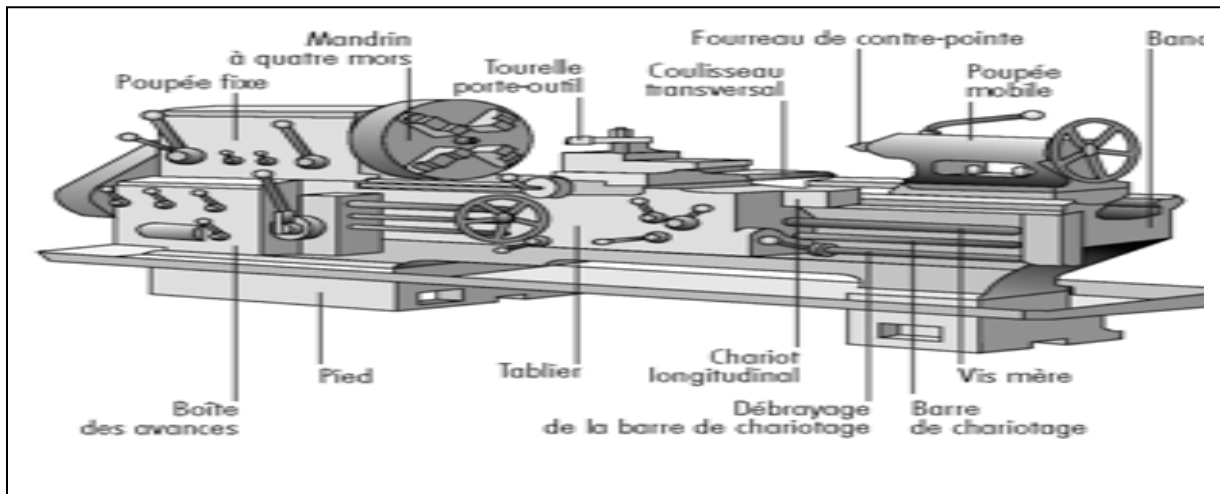


Figure 12 : Composantes de tour.

## I.6.2. Différentes types de tour :

### I.6.2.1. 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. [4]

### I.6.2.2. 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. [4]

### I.6.2.3. Les tours semi-automatiques :

Ce sont des tours équipés d'un trainard 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 automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série. [4]

### I.6.2.4. 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. [4]

#### **I.6.2.5. 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. [4]

#### **I.6.2.6. 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. [4]

### **I.7. Les portes pièces :**

**Les portes pièces standards :** Ils font partie de l'équipement standard des tours. Ce sont :

#### **I.7.1. Les mandrins à serrage par mors :**

Ils comportent 2, 3 ou 4 mors. Ces mors peuvent être à serrage concentriques ou indépendant, On peut monter des mors durs ou des mors doux. Les mors doux sont des mors non trempés afin de permettre à l'utilisateur de les usiner pour adapter leurs formes à celles de la pièce ou pour réaliser une coaxialité plus précise qu'avec des mors durs. La prise de pièce en mandrin peut se faire par l'extérieur ou par l'intérieur des mors.

#### **I.7.2. Les mandrins expansibles :**

Ils assurent à la fois la mise en position et le maintien en position par l'intérieur ou par

L'extérieur de pièces courtes ou longues. On utilise pour leurs constructions une ou plusieurs pièces Déformables.

Le type le plus classique est le mandrin à pinces que l'on retrouve comme support D'outils pour des fraises à queue cylindrique.

### I.7.3. Les portes pièces dédiées :

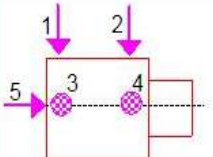
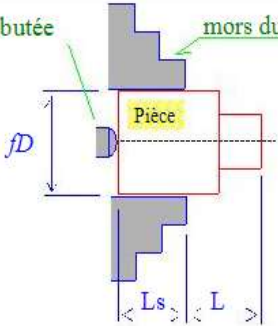
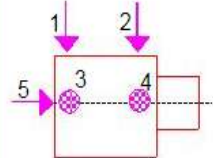
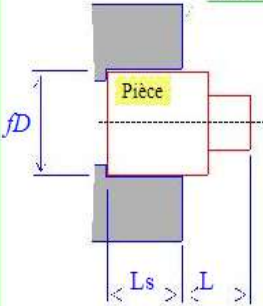
Il s'agit de montages de reprise spécialement étudiés et réalisés pour une phase d'usinage.

Ils se montent soit à la place du mandrin en utilisant les mêmes surfaces de référence que lui Soit sur le plateau lisse (appareillage standard du tour). Dans ce dernier cas le montage pourra Être in stalle sur n'importe quel tour ce qui n'est pas le cas de la solution précédente :

La liaison mandrin-broche étant différente d'un modèle de tour à l'autre.

### I.8. Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces :

Il s'agit des différents montages que l'on peut réaliser à l'aide des équipements standards du Tour.

Type de montage	Modélisation de la liaison	Schéma du montage	Accessoires utilisés	Erreur de reprise (coaxialité)
Montage en l'air	 <p>Pour le respect de la liaison <math>L_s</math> ne doit pas être inférieure à <math>0,7 D</math>. <math>L_s &gt; D</math> souhaitable</p>		<p>Mandrin <u>3 mors durs</u> à serrage concentrique + butée</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	0,1maxi
Montage en l'air	 <p>Pour le respect de la liaison <math>L_s</math> ne doit pas être inférieure à <math>0,7 D</math>. <math>L_s &gt; D</math> souhaitable</p>		<p>Mandrin <u>3 mors doux</u> à serrage concentrique</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	0,05maxi

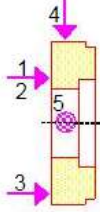
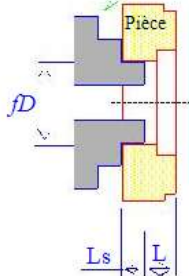
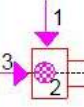
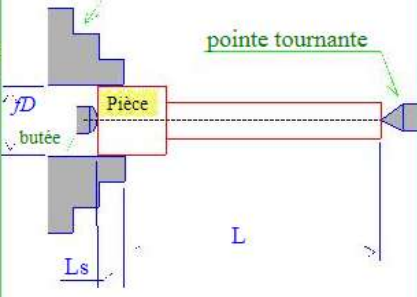
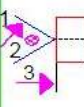
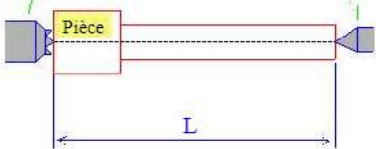
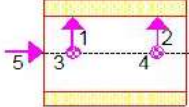
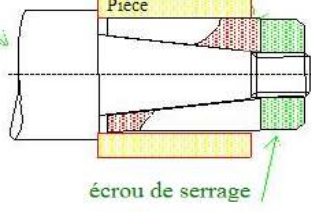
<p>Montage en l'air (prise de pièce par l'intérieur)</p>	 <p>Pour le respect de la liaison <math>L_s</math> ne doit pas être supérieure à <math>0,5 D</math> <math>L_s &lt; 0,5 D</math></p>	<p>mors durs striés ou mors doux</p> 	<p>Mandrin <u>3 mors durs ou doux</u> à serrage concentrique</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	<p>0,1maxi (m.durs) 0,05maxi (m.doux)</p>
<p>Montage mixte</p>	 <p>Pour le respect de la liaison <math>L_s</math> ne doit pas être supérieure à <math>0,5 D</math> <math>L_s &lt; 0,5 D</math></p>	<p>mors durs striés ou mors doux</p> <p>pointe tournante</p> 	<p>Mandrin à serrage concentrique (3 mors durs + butée) ou (3 mors doux) + pointetournante</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	<p>0,1maxi (m.durs) 0,05maxi (m.doux)</p>
<p>Montage entre pointes</p>		<p>pointe fixe à griffes</p> <p>pointe tournante</p> 	<p>Pointe fixe à griffes pour assurer l'entraînement de la pièce + pointe tournante</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	<p>0,01maxi</p>
<p>Mandrin expansible</p>		<p>montage dans le cône de la broche douille fendue</p>  <p>Exemple de mandrin expansible</p>	<p>Mandrin expansible à douille fendue monté dans le cône de la broche du tour</p>	<p>0,01maxi</p>

Tableau 01 : des différents montages que l'on peut réaliser à l'aide des équipements standards

## I.9. Conditions de coupe :

### I.9.1. Vitesse de coupe :

En tournage, la vitesse de coupe est la vitesse relative de l'outil par rapport à la pièce. Il s'agit donc de la vitesse tangentielle au point de la pièce coïncidente avec la pointe de l'outil. Cette vitesse qui s'exprime toujours en mètres par minute (m/min) se calcule ainsi :

$$V_c = \frac{\pi \times d \times N}{1000}$$

avec :

- : vitesse de coupe en m/min
- d : diamètre en mm au point d'usinage
- N : correspond à la fréquence de rotation de la pièce en tours par minute

En permutant les termes de la formule précédente, on obtient :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

Et c'est cette vitesse de rotation N que l'on règle sur la machine. Il faut donc connaître  $V_c$  dont la valeur est le plus souvent issue de méthodes empiriques. Certains organismes, comme le CETIM pour l'industrie mécanique, ont établi des tableaux de référence.

La vitesse de coupe est déterminée en fonction de différents facteurs :

- de la matière à usiner : en général plus elle est tendre et plus la vitesse est élevée
- de la matière de l'outil de coupe
- de la géométrie de l'outil de coupe
- du type d'usinage : ébauche, finition, filetage, etc
- du lubrifiant, qui permet une augmentation de la vitesse (qui ne s'utilise presque plus dans l'industrie moderne,

Remplacé par l'UGV)

- de la qualité du tour : plus il est rigide, plus il supportera des vitesses élevées

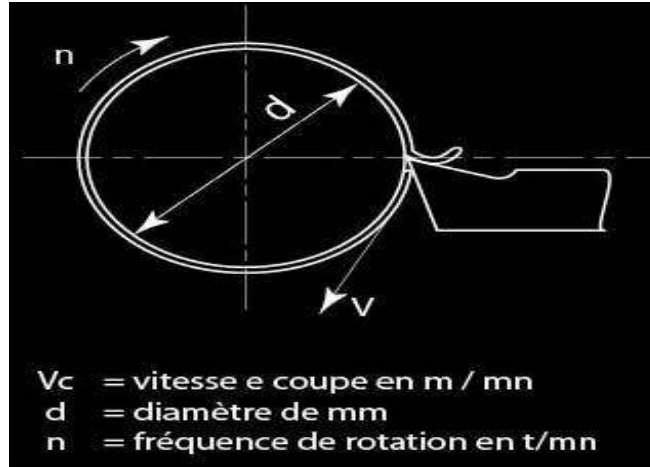


Figure 11: vitesse de coupe

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.9.2. Avance

En tournage, l'avance est la vitesse avec laquelle progresse l'outil suivant l'axe de rotation pendant une révolution de la pièce, cette vitesse est déterminée expérimentalement en fonction des critères précédemment cités.

Cela correspond, en première approximation à l'épaisseur du copeau. On règle l'avance directement sur la machine.

À ne pas confondre avec la formule de calcul de l'avance en fraisage, qui est :

$$V_f = f_z \times Z \times N$$

$V_f$  = avance en mm/min

$f_z$  = avance par dent en mm/(dent.tour)



$Z$  = nombre de dents de la fraise

$N$  = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

En tournage, si on veut calculer la vitesse d'avance de l'outil, on applique cette formule :

$$V_f = f \times N$$

$f$  = avance en mm/tour

$N$  = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

### 1.9.3. 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.

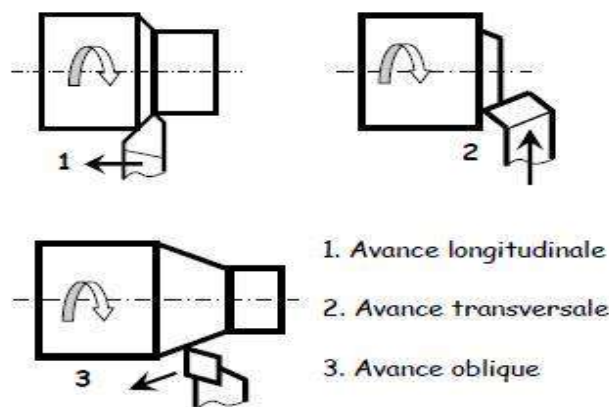


Figure 14 : Différentes types d'avance.

### 1.9.4. Profondeur de passe (usinage) :

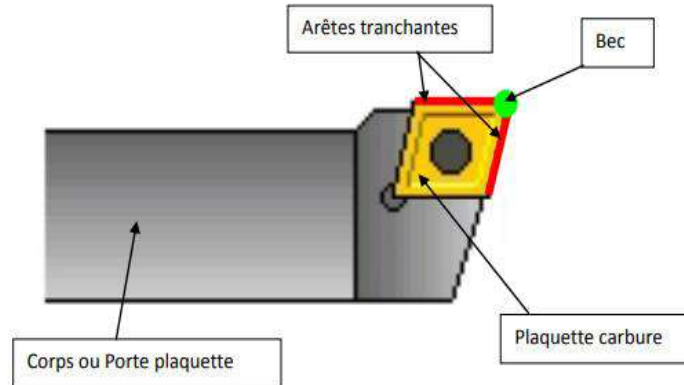
La profondeur de passe est la quantité de matière que va prendre l'outil lors d'un usinage sur un tour ou bien sur un centre d'usinage. Celle-ci varie selon la vitesse de coupe ainsi que la vitesse

d'avance de l'outil.

Le choix se fait en fonction de la surépaisseur de métal à enlever, les limites sont déterminées par :

- Limite maximum
  - Puissance de la machine
  - Rigidité de la pièce et de l'outil
  - Nature du matériau à usiner
- Taille de copeau minimum
  - Finesse de l'arête tranchante
  - Forme du bec de l'outil
  - Nature du matériau et état de la machine

**La profondeur de passe (ap) en tournage** est fonction de la longueur de l'arête de coupe et de la puissance de la machine (dans le cas de machine puissante la profondeur de passe ap en ébauche sera de 2/3 de la longueur de l'arête de coupe)



**Figure 12:** Les parties actives de l'outil.

- Dans notre cas :
  - $ap$  Ebauche =  $4 \times R\epsilon$  (mm)
  - $ap$  Finition =  $0.7 \times R\epsilon$  (mm)

**ap mini = Rε.** Attention en dessous de cette valeur le phénomène de coupe n'est plus garanti.

C'est-à-dire que l'on ne sait pas si ça coupe, écrase ... enfin on ne sait pas trop ce qu'il se passe.

(ap mini équivaux a une surépaisseur d'usinage qui va bien pour faire une finition ...)

➤ Dans le cas d'outil ARS (sans Rε)

- ap Ebauche = 2 mm
- ap Finition = 0.3 mm

Dresser la face avant toutes autres opérations afin de garantir un surface de départ d'usinage correcte ap = 2 mm maxi.[6]

## I.10.Étude de quelques temps technologiques :

### I.10.1.Définition :

Le temps technologique représente la durée du travail effectué par un (plusieurs) outil(s). Il est fonction uniquement des moyens matériels et tient compte de l'engagement et du dégagement de l'outil.

$$T_t = \frac{L[mm]}{A[mm/min]} \times 100 [cmn]$$

(cmn = centièmes de min)

### I.10.2.Temps technologique de chariotage (tournage) :

Le temps technologique de chariotage dépend des paramètres suivants :

- nombre de passes n
- la longueur d'usinage L
- la fréquence de rotation N
- l'avance par tour a
- la distance d'approche l<sub>i</sub>
- la vitesse de coupe V<sub>c</sub>

On exprime alors le temps technologique en chariotage sous la forme :

$$T_{tc} = \frac{n(L + l_i)}{aN} \quad \text{où : } N = \frac{1000V_c}{\pi d}$$
$$\Rightarrow T_{tc} = \frac{n(L + l_i)\pi d}{aV_c}$$

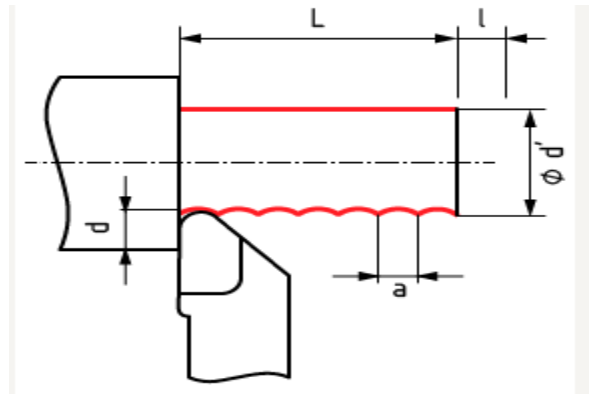


Figure 16 : Le calcul du temps technologique Tt en tournage(chariotage).

### I.10.3.Temps technologique de dressage (tournage) :

Le temps technologique d'une opération de dressage s'exprime sous la forme suivante :

$$T_{tc} = n \frac{(D - d) + l}{aN}$$

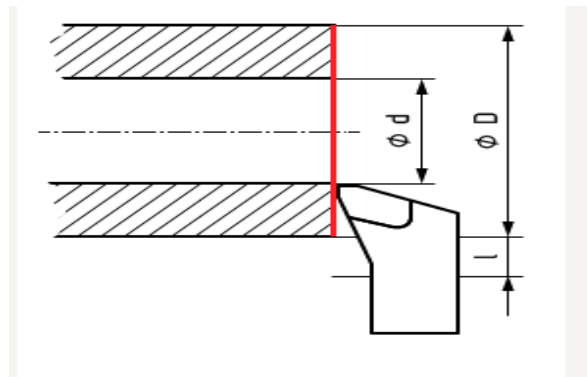


Figure 17 : Calcul du Tt en tournage –dressage.

### I.10.4.Temps technologique en filetage (tour) :

En filetage il faut prendre en compte, pour le calcul du temps d'usinage, le pas du filetage p. On introduit un coefficient k qui dépend de la vitesse de retour du chariot. Cette vitesse peut être égale à la vitesse de travail, ou inférieure.

$$T_{tc} = \frac{kn(L + l)}{pN}$$

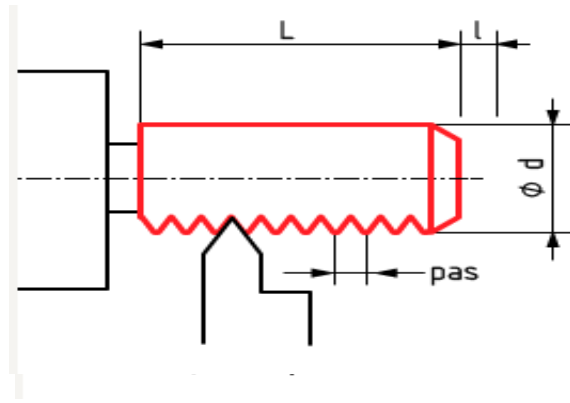


Figure 18 : Calcul du Tt pour l

# *Chapitre II : Rugosité de Surface*

## **II.1. Introduction**

Tous les matériaux ont des propriétés intrinsèques telles que la densité, la conductivité et le Module d'élasticité, les surfaces représentant les limites des matériaux peuvent être un peu Plus in substantielles, mais nous pensons toujours a certaines de ces propriétés en tant que Qualité intrinsèque comme la couleur, cependant il y a d'autres propriétés qui sont facile à Définir mais dont les valeurs semble dépendre de la technique ou de l'échelle, mesurer la Rugosité par exemple semble être une propriété avec une difficulté supplémentaire qu'il n'est Pas toujours facile a définir comme concept.

Le grand problème des procédé d'usinage mécanique sont les traces infiniment petites qu'ils Laissent sur les pièces à usiner, jusqu'à la fin de la deuxième décennie du vingtième siècle, Aucune tentative mécanique ou d'atre n'a été faite pour mesurer les surfaces, elles ont été Seulement mesurés visuellement ou d'une manière tactile, les tests très subjectifs étaient le Seul moyen de comparaison entre une bonne et une mauvaise surface.

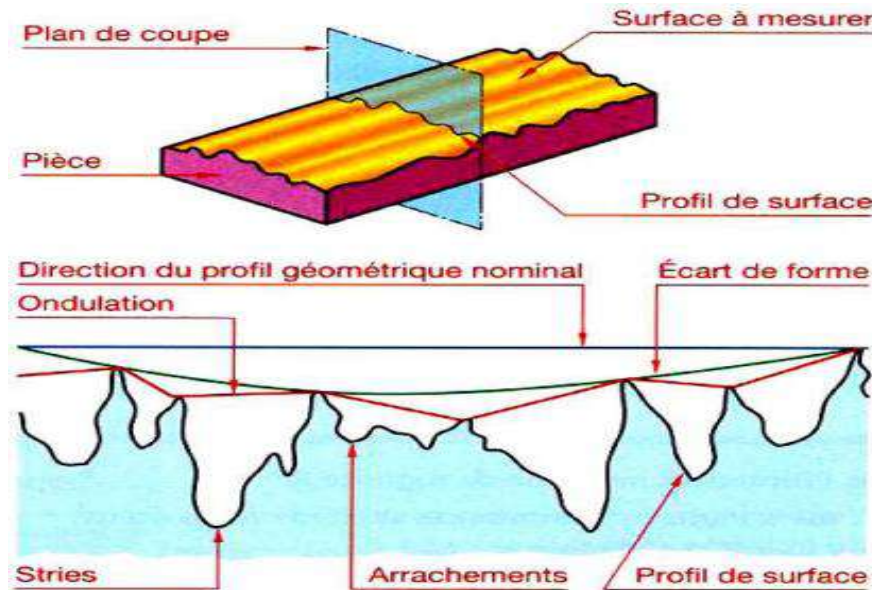
## **II.2. Définition d'une surface :**

La surface d'un corps solide est la partie de ce solide qui le limite dans l'espace et le sépare du milieu environnant, elle est prépondérante pour assurer des fonctions telles que :

- l'aptitude aux frottements
- la résistance à l'usure ou à la corrosion
- conduction thermique ou électrique
- résistance aux contraintes mécanique
- étanchéité statiques ou dynamiques...etc.

La surface d'un solide constitue une recherche spécifique et un problème de conception, le Concept de la surface est perceptible et compréhensible par intuition, il est cependant très Difficile à définir et à comprendre de façon bien précise, habituellement la définition des

surfaces n'est pas claire, en effet ce concept a été défini de plusieurs manières selon la discipline de la science ou de la technologie de l'objet à étudier. La surface d'un solide est habituellement caractérisée par une structure et des propriétés qui diffèrent de l'intérieur du matériau. [8]



**Figure 139** : analyse d'une surface. [9]

### **II.3.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, ... voir Cotation GPS ;
2. Ondulation (échelle macroscopique) : l'écart entre les crêtes est compris entre 0.5 et 2.5 mm
3. Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudo-périodiques, 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, piquûre, ... ;
5. Structure cristalline (échelle mésoscopique) : voir Modèle TLK ;
6. Réseau cristallin (échelle nanoscopique) : voir Dislocation et Défaut ponctuel.



La rugosité concerne les défauts d'ordre 3 et 4 : défaut d'une largeur inférieure à 0.5 mm (500  $\mu\text{m}$ ), périodiques (stries, sillons) ou localisés.[10]

#### **II.4. Méthodes de mesure des états de surface :**

Il existe plusieurs moyens d'évaluer l'état de surface que l'on peut classer en trois groupes

Selon que l'évaluation est effectuée sur une surface ou sur un profil.

Ces moyens sont utilisés:

- soit couramment dans l'industrie, appareil à palpeur avec contact, méthodes mécaniques.
- soit rarement pour des applications spécifiques, appareil à palpeur sans contact,

Méthodes optiques:

- soit encore plus rarement dans des laboratoires de recherche et développement. [10]

##### **II.4.1. Méthodes mécaniques:**

En raison de leurs simplicités et leurs grandes diversités, les méthodes mécaniques peuvent englober une vaste gamme de paramètres de rugosité, les instruments conventionnelles de mesure de surfaces utilisant ces méthodes présentent certains inconvénients tels que :

- Technique relativement lente.
- La force du palpeur peut parfois endommager la surface.
- Limitation sur des secteurs de mesure.

Les avantages évidents sont:

- Très haute résolution dans la direction verticale
- Souplesse pour adopter une large diversité de forme. [10]

##### **II.4.2. Technologie de mesure:**

La mesure des états de surface peut être réalisée avec un microscope d'état de surface. Cette technologie de mesure présente l'avantage de permettre l'obtention d'un modèle numérique de la surface réelle sans contact. La mesure est réalisée sur un échantillon de surface.

Ainsi, la mesure prend en compte la forme et la direction des stries

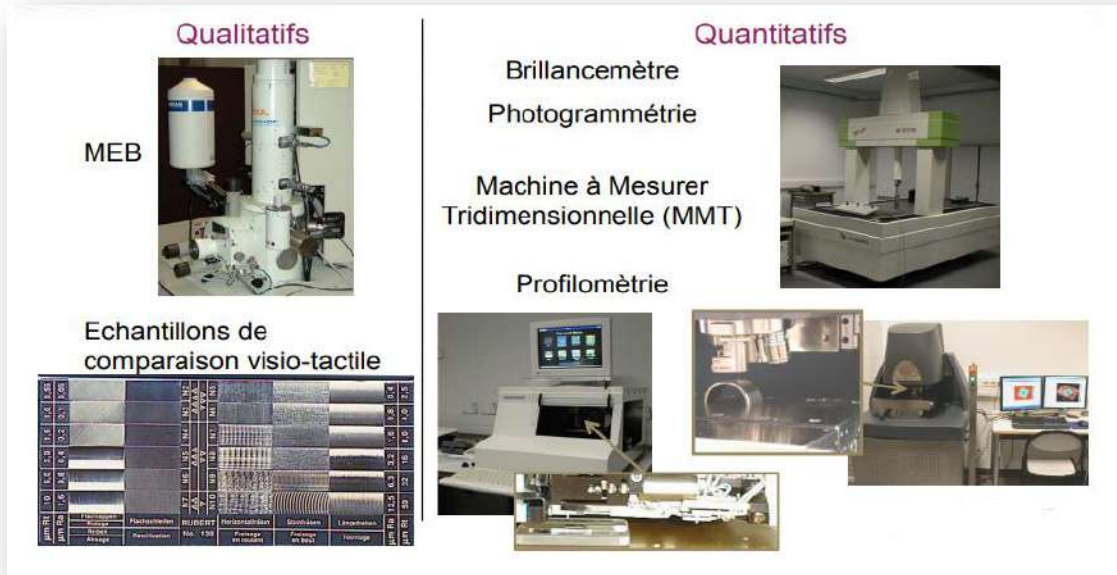


Figure 20: Moyens d'analyse des états de surface. [10]

## II.5. Caractéristiques de la surface :

La nouvelle norme ISO 25178 définit l'analyse en 3D de l'état de surface, ce qui permet également la caractérisation des surfaces anisotropes ou périodiques difficile avec les anciens paramètres 2D d'état de surface.[11]

### II.5.1. Caractéristiques du profil :

Pour l'analyse de la surface, il est nécessaire de la subdiviser en un certain nombre de profils de coupe parallèles selon une direction normale aux stries d'usinage. Tous les profils ont la même longueur L.

#### Strie d'usinage

Chaque strie du profil numérotée  $i$  est composée d'une saillie et des deux demi-creux adjacents. Elle est caractérisée par sa longueur AR, sa profondeur de creux amont  $R_i$  et aval  $R_{i+1}$ .

#### Ligne moyenne

La ligne moyenne est calculée à partir du relevé du profil de coupe. C'est la ligne des moindres carrés.

#### Ligne des saillies

C'est la ligne parallèle à la ligne moyenne passant par la saillie la plus saillante.

**Ligne des creux**

C'est la ligne parallèle à la ligne moyenne passant par le creux le plus profond.

**Ligne de coupe c**

C'est la ligne parallèle à la ligne moyenne à une distance c de la ligne des saillies.

**Hauteur du profil Pt**

C'est la distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux.

**Ecart moyen arithmétique Ra**

C'est la moyenne intégrale des écarts en valeur absolue :

**Profondeur moyenne R**

C'est la moyenne des profondeurs.

**Profondeur maximale des stries Rmax**

C'est la profondeur maximale.

**Pas moyen AR**

C'est la valeur moyenne de la longueur des stries.

**Taux de longueur portante Tp**

C'est la longueur portante totale rapportée à la longueur du profil exprimée en %. La longueur portante d'une strie est la longueur de son intersection avec la ligne de coupe c.

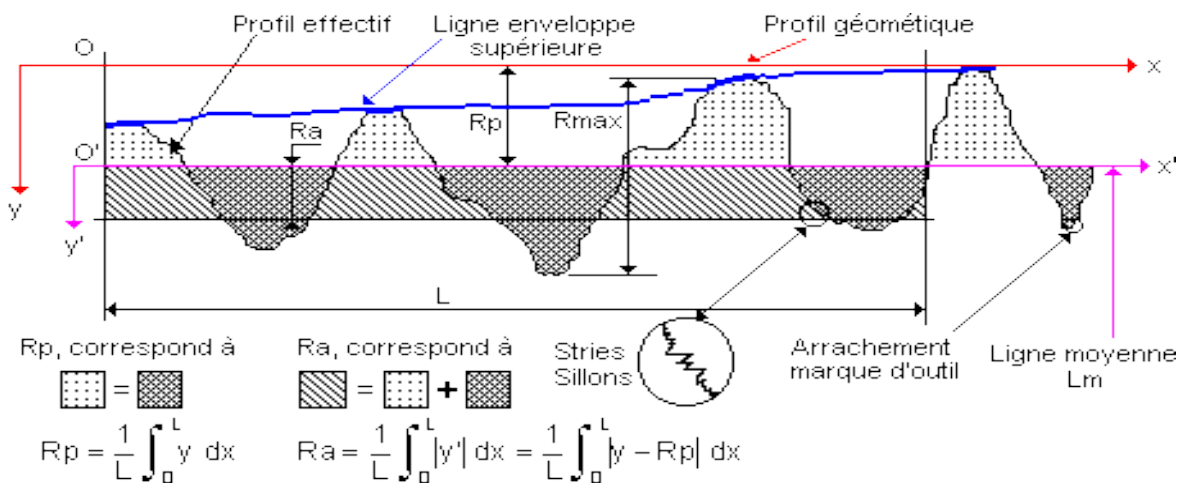


Figure 21 : Caractéristiques du profil. [11]

### **II.5.2.Cotation fonctionnelle des états de surface :**

Le critère physique R est micro géométrique, et c'est l'amplitude moyenne de la rugosité (rugosité).

Le critère statistique Ra est statistique, et c'est l'écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne.  $R = 5 Ra$  environ






### **II.5.3.Domaine d'applications :**

Les domaines où la rugosité joue un rôle sont très variés :

- en optique, l'état de surface entraîne (principalement) de la diffusion, ce qui entraîne une perte de lumière.
- en mécanique, elle crée du frottement, de l'usure, une force de traînée, etc. Elle peut parfois être bénéfique pour capturer les huiles
- en soudure, elle permet d'éviter que certaines surfaces se soudent.
- en adhésion, la rugosité s'oppose à un contact intime entre les deux objets, difficulté contournée par la déformabilité des matériaux collants.
- en pharmaceutique : plus une rugosité est élevée plus il y a risque que des impuretés restent piégées et soient relâchées sans contrôle.

### **II.5.4.Indications des exigences d'états de surface :**

Les indications des exigences d'états de surface sont précisées à l'aide de symboles graphiques et d'indications textuelles. Le tableau 1 indique la signification de chaque symbole graphique

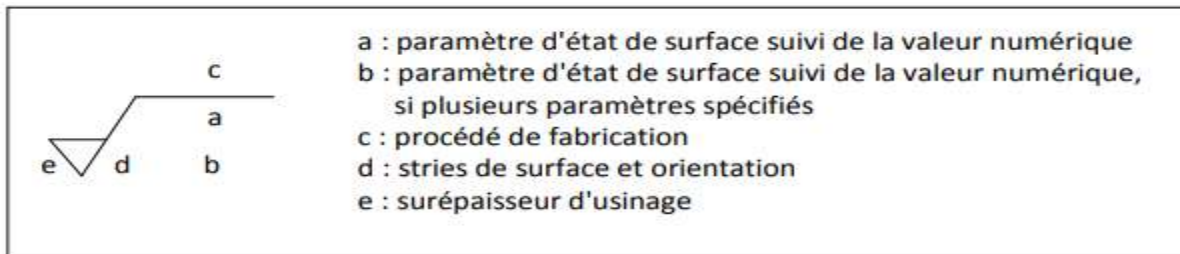
Symbole graphique	Signification
	Symbole graphique de base, tout procédé de fabrication autorisé
	Enlèvement de matière exigé
	Enlèvement de matière interdit
	Symbole graphique complet
	Pour toutes les surfaces sur le contour de la pièce

**Tableau 02 :** Symboles de base

Ces symboles graphiques doivent être complétés par l'indication d'un ou plusieurs paramètres d'états de surface avec leur valeur numérique.

Il est parfois nécessaire de préciser d'autres exigences, telles que le procédé de fabrication, les Conditions de mesures, etc.

La position des différentes exigences d'état de surface est indiquée sur la figure 22



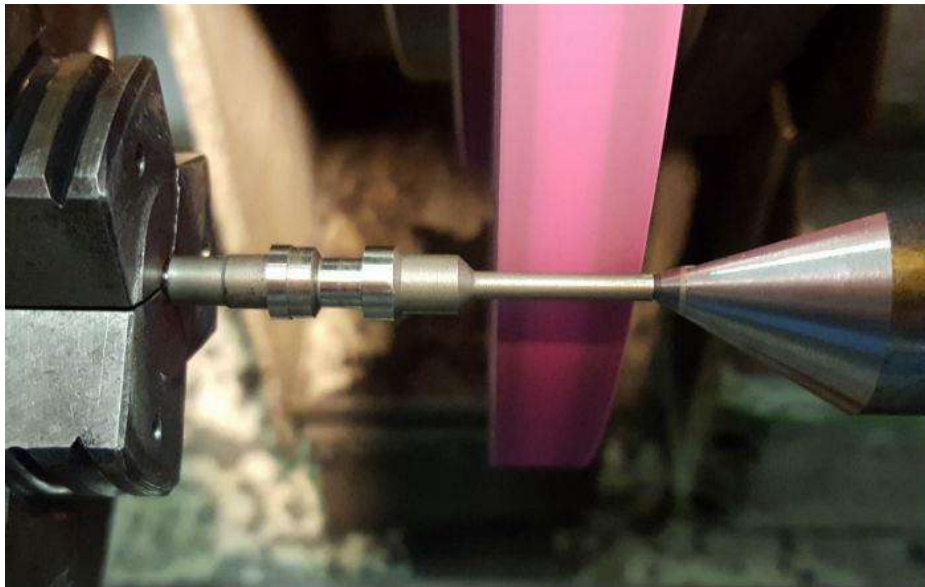
**Figure 22:** Position de différentes exigences d'état de surface.[12]

## II.6.les techniques d'amélioration des états de surface :

### II.6.1 La Rectification :

La rectification

consiste à enlever de la matière d'une pièce à l'aide d'une roue ou un disque abrasif rotatif, une meule. Alors qu'elle est en rotation, chaque particule abrasive de la meule enlève un petit copeau de matériel de par le contact avec la pièce, habituellement effectué à grande vitesse



**Figure 23:** Opération de la Rectification

Comme son nom l'indique, la rectification cylindrique a pour objectif de rectifier des pièces de forme cylindrique. Également connue sous le terme de rectification entre centres, ce procédé consiste à placer une pièce à rectifier entre deux centres avec un dispositif d'entraînement, appelé un toc d'entraînement ou simplement un toc, qui transmettra le mouvement rotatif de la broche de la rectifieuse. Une meule, installée sur son propre dispositif de rotation, pourra être ajustée à différents angles de coupe en fonction des exigences finales de la pièce.

Dans le cas de la rectification plane, la pièce à rectifier est maintenue en place sur une surface plane par un électroaimant, un dispositif sous vide («vacuum») ou par un dispositif mécanique. La rectification plane est utilisée principalement pour obtenir un fini de surface précis et très lisse, ainsi que des critères très précis d'angularité, de perpendicularité et de planéité.[12]

### **II.6.2 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 ( $< 0,1 \text{ Ra}$ ). [13]

### **II.6.3 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 ressoldent 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). [13]

### **II.7. le lubrifiant :**

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



**Figure 24:** lubrifiant.

### **II.7.1. Fonctions assurées par lubrification :**

### **II.7.2. 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.7.3 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.7.4 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.8. Rugosité :

Bien que très performant le polissage optique ne produit jamais des surfaces absolument parfaites, il y a toujours quelques défauts locaux, dus à la matière première, à des chocs, aux ondulations appelées rugosité.

#### II.8.1. 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.8.2. Ecart type du profil :

Si l'enregistrement est linéaire, le profil est défini par la hauteur Z en fonction de l'abscisse  $\rho$ . Si la mesure est faite sur un élément de surface cette hauteur est fonction des coordonnées X et Y. l'enregistrement du profil étant fait on déplace le ou les axes de références parallèlement à une même jusqu'aux valeurs moyennes telles que les aires ou les valeurs positifs ou négatifs soient égaux sur la longueur L ou la surface S.

La valeur quadratique moyenne et la variance sont alors obtenues en calculant la valeur moyenne des carrés des écart-type Z à la valeur moyenne :

$$R_{q1}^2 = \lim_{L \rightarrow \infty} \int_0^L |Z(\rho)|^2 d\rho \quad \text{A une dimension}$$

$$R_{q2}^2 = \lim_{S \rightarrow \infty} \iint_S |Z(X, Y)|^2 dx dy \text{ A deux dimensions}$$

Rq1 racine carré de la variance à une dimension est dite : RMS (root mean square value). La valeur Rq dépend de:

- la longueur L ou la surface S  $f_n$  explorée, puisque la fréquence spatiale la plus basse en
- dépend.
- la valeur de la plus haute fréquence que l'instrument de mesure est capable de détecter.
- l'échantillonnage lors de numérisation.

Il est donc important que ces paramètres soient bien indiqués lors de la qualification d'une Surface et surtout lors d'intercomparaison de résultats de mesure. [14]

### II.8.3. Différents types de défauts de la rugosité :

#### a) Micro-ondulations de la surface :

L'origine de ces défauts n'est pas bien connue, ils sont probablement dus à des phénomènes de rhéologie.

#### b) Micro piqûres :

Elles sont dues à un polissage insuffisant de la surface qui laisse en surface les fonds des

Excavations ainsi que les traces des particules arrachées provenant des langues produites

Pendant l'ébauchage et le doucissage et qui se rejoignent et forment des éclats qui se

Détachent. Elles sont mesurées en déplaçant, par exemple, la pointe d'un stylet très fin sur la

Surface et en comptant le nombre de piqûres pour un déplacement donné. [14]

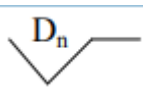
### II.8.4. Normes de rugosité :


#### a) Normes AFNOR S10-01 :

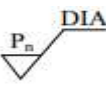
Les surfaces sont classées en :


- Surfaces brutes désignées par ~

- Surfaces obtenues par déformation à chaud sans usinage ultérieur, désignées par
- Surfaces ébauchées non polies (faces arrières de miroirs, joues de prismes, etc.)

désignées par 

- Surfaces polies désignées par 

- Surfaces usinées à la pointes diamant désignées par 


Sous le signe  peut être indiqué si la spécification prend en compte les rugosités parallèles et perpendiculaires à la trace de l'outil, = ou si ces tolérances sont données pour un stylet de mesure se déplaçant parallèlement ou perpendiculairement ou stries d'usinages. Avec n est un indice variable de 0 à 5 choisi à l'aide d'un abaque en fonction de la valeur

De  $R_q$ .

### b) Norme ISO :

Les surfaces sont classées en :

- Surfaces ébauchées et doucies définies par la valeur de la rugosité et la longueur de l'échantillonnage.

Exemple :  avec  $R_q = 2.5$  nm et une longueur d'échantillonnage de 5 mm.

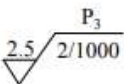
- Surfaces polies pour lesquelles doivent être définies deux caractéristiques :

Le « fond poli », c'est-à-dire le reliquat du douci, dû à un polissage insuffisant. Il est

Caractérisé par le nombre de piqûres décelées sur un segment de droite d'une longueur

De 10 mm. La rugosité est définie par la valeur quadratique moyenne  $R_q$  avec la

longueur sur laquelle est faite la mesure.

Exemple :  correspond à une surface polie avec moins de 16 micro défauts

Sur une course de 10 mm et une valeur de rugosité Rq de 2.5 nm sur une longueur

D'échantillonnages compris entre 2 et 1000 mm.[14]

### II.8.5. 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 (Ra, Rz...). 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.

#### II.8.5.1.Principes techniques de la mesure :

Une surface, quel que soit son procédé de fabrication, n'est pas une surface parfaitement lisse : selon la méthode d'usinage et les outils utilisés, mais aussi selon le matériau, elle présente de nombreuses irrégularités, micro-géométriques ou macro-géométriques. Ces irrégularités sont définies par comparaison avec une ligne "moyenne" et sont classées en deux catégories : des aspérités ou "pics", et des cavités ou "creux". L'ensemble de ces défauts de surface constitue la rugosité.[16]

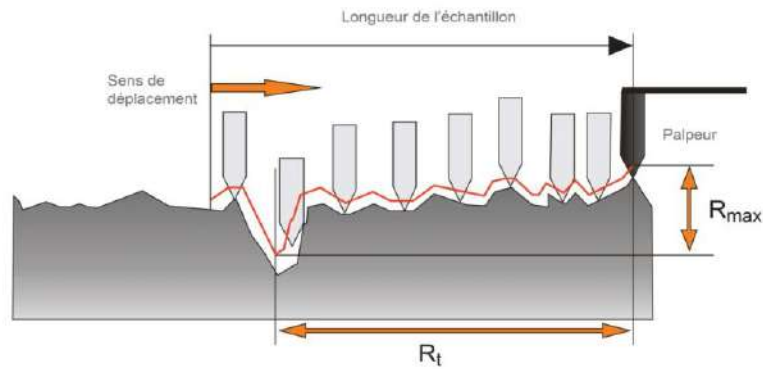


Figure 25: techniques de mesure.

### Pourquoi vouloir connaître la rugosité d'une surface ?

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne sont pas suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise un rugosimètre. Les rugosimètres reprennent les principes de fonctionnement évoqués chapitre précédent et déterminent 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 :

- **Collage et revêtement** : le contrôle et la correction de rugosité permet d'augmenter la surface réelle de contact, qui peut être ainsi équivalente à 10 ou même 100 fois la surface apparente.
- **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.[16]
- **Recherche** : la mesure de la rugosité permet d'évaluer la qualité d'un nouvel enduit ou procédé de traitement de surface.



Figure 146 : Rugosimètre portable

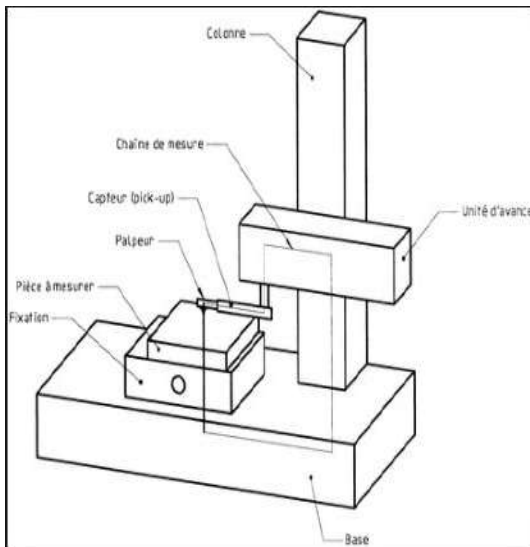


Figure 27 : le rugosimètre fixe. [16]



Figure 158 : Rugosimètre [16]

*Chapitre III : Partie  
Expérimentale*

### III. 1. . Expérience et équipement utilisés

Notre partie expérimentale consiste à l'usinage d'un arbre en acier de construction de nuance : E24 par un outil en carbure métallique.

La variable utilisé est la vitesse de coupe ( $v_c$ ) et l'avance ( $f$ ) étant constante.

Les paramètres de sorties sont les composantes des critères de rugosité de surface usinée.

Les expériences ont été réalisées dans l'atelier de mécanique au sein de l'entreprise « *ENCC PROMECH* » et achevé au niveau de notre département.

L'objectif de ces essais est l'étude de l'influence des paramètres de coupe (la vitesse de coupe) sur la rugosité de surface.

#### III .1.1 Routage d'usinage

##### *Opération de Chariotage :*

Selon le routage d'usinage, l'opération de chariotage avec les paramètres indiqués dans les tableaux ci-dessous, nous a permis d'étudier la variation de la rugosité de surface usinée en fonction de la vitesse de coupe ( $v_c$ ) .

##### *Condition d'usinage :*

##### **Essai 1:**

(A sec sans lubrification)

- $N$  = variable (voir tableau ci-dessous)
- $a$  = 2 mm/tr
- $f$  = 0.5 mm



<b>Palier</b>	<b>Vitesse N</b>	<b>Avance f</b>	<b>Nombre de passe</b>	<b>Profondeur de passe</b>
<b>1</b>	355 tr/min	0.5	1	2mm
<b>2</b>	450 tr/min	0.5	1	2mm
<b>3</b>	560 tr/min	0.5	1	2mm
<b>4</b>	710 tr/min	0.5	1	2mm
<b>5</b>	900 tr/min	0.5	1	2mm
<b>6</b>	1140 tr/min	0.5	1	2mm
<b>7</b>	1400 tr/min	0.5	1	2mm
<b>8</b>	1800 tr/min	0.5	1	2mm

---

**Tableau 03** : les résultats de l'essai 01

**Condition d'usinage :**

**Essai 2 :**

(Avec lubrification)

- $V_c$  = variable
- $a = 2$  mm
- $f = 0.5$  mm/t

---

<b>Palier</b>	<b>Vitesse N</b>	<b>Avance f</b>	<b>Nombre de passe</b>	<b>Profondeur de passe</b>
<b>1</b>	355 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>2</b>	450 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>3</b>	560 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>4</b>	710 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>5</b>	900 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>6</b>	1140 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>7</b>	1400 tr/min	0.5	1	1 mm
<b>8</b>	1800 tr/min	0.5	1	1 mm

---

**Tableau 04** : les résultats de l'essai 02.

### **III .1.2**

Différentes étapes et opérations qui ont conduit à l'usinage de la pièce étudié. Puis nous allons parler des différentes expériences que nous avons menées afin d'étudier l'influence des paramètres de coupe sur la durée de vie de l'outil et la qualité de surface de la pièce usinée. Nous allons également expliquer comment nous avons mesuré la rugosité de surface et l'appareillage utilisé.

#### **III .1.2.1 Machine-outil utilisée :**

##### **Equipment utilisés :**

Dans cette partie, nous allons commencer par expliquer les ;

Le tour utilisé est

Le tour au niveau de l'atelier «G17» de Département mécanique d'université badji mokhtar Annaba **pour** effectuer l'usinage et les essais est un tour (universel) parallèle à charioter et à fileter, modèle Tour parallèle à charioter et fileter CAZENEUVE type HB 575 a caractéristiques techniques :

- Distance entre pointes : 1500 mm
- Diamètre admis au-dessus du banc : 725 mm
- Diamètre admis au-dessus du chariot : 670 mm
- Diamètre au-dessus du coulisseau transversal : 400 mm
- Hauteur de pointe : 315 mm
- Diamètre d'alésage de broche : 81 mm
- Vitesses : 14 - 1600 tr/min
- Puissance : 16 kW
- Lunette fixe



**Figure 16:** Vue générale.



**Figure 17:** Tour universel à charioter et à fileter CAZENEUVE HB575

### III. 1.2.2 Géométrie de l'outil :

L'outil de coupe utilisé, est un outil à charioter à plaquette, de forme losange de désignation **KCKM 11 « CERATIZIT »** de la partie active en carbure métallique avec une géométrie matérialisé par :



**Figure 31:** Outil « CERATIZIT » TCMT.



**Figure 32 :** Outil « CERATIZIT » TCMT.

### III. 2. Matériaux utilisé :

#### III. 2.1. Analyse technique de la matière de l'arbre :

L'acier utilisé pour la fabrication des axes d'essieux ferroviaires est l'E24. on présente par la suite un tableau décrivant les caractéristiques métallographiques (composition Chimique) de cet acier ainsi que la description des caractéristiques mécaniques.

#### III. 2.2. Les désignations de la matière :

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
<b>E24</b>	<b>ST 37</b>	<b>S 235 JR</b>

**Tableau 5 :** Les désignations de la matière.

**III. 2.3. Composition chimique en %:**

La composition chimique typique de l'acier E24 est donnée dans le tableau suivant :

Eléments	C	S	Mn	P	N
%	0,17 Maxi	0,045 Maxi	1,40 Maxi	0,045%Maxi	0,009 Maxi

**Tableau 6 :** Composition chimique de l'acier E24

**III. 2.5. Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :**

Caractéristiques Mécaniques	<b>ER7</b>
Module de Young E(MPa)	190 000
Coefficient de poisson	0.28
Limite élastique Rel (MPa)	235
Limite d'élasticité à 0.2% RP0.2(MPa)	245-390 Mpa
Résistance maximale en traction Rm (MPa)	390-780 Mpa
Allongement total après rupture A(%)	21

**Tableau 7 :** Caractéristiques mécanique de la E24

**III. 2.6. Propriétés :**

Acier au carbone, à moyenne teneur, très souvent utilisé en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.

Apte pour les traitements thermiques.

**III. 2.7. Domaine d'application :**

Pièces non soumises aux chocs, mais nécessitant une bonne résistance : axes, boulonnerie, forge (levier, arbre ...)

Soudage

Soudabilité médiocre (précautions nécessaires, préchauffage et revenu de stabilisation recommandés).

Livraison

Etirés ronds ou tournés galetés tolérances H10

Ronds laminés à usinabilité améliorée

Ronds laminés conventionnels

Carrés laminés

Plat laminés

### **III. 3. Régime de coupe :**

Le régime de coupe a été choisi en fonction de la matière en œuvre ainsi que celle de l'outil de coupe utilisé à la réalisation de l'opération imposée. Les régimes de coupe utilisés dans cette dernière, sont indiqués dans les tableaux ci-après.

### **III. 4. Présentation de l'éprouvette :**

Notre pièce est un arbre de longueur  $L=400\text{mm}$  et de diamètre  $D=30\text{ mm}$

L'éprouvettes de diamètre  $D=30\text{mm}$ , a été préparées en 8 paliers, les paliers ont été usiné avec le même outil mais avec une vitesse différente.

L'usinage se déroule selon le routage suivant :

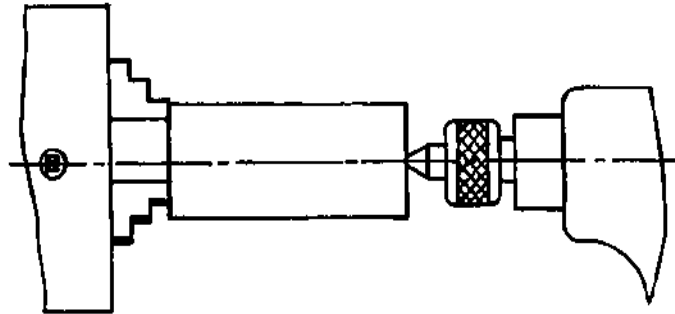
Usinage des paliers a sec en premier. Ensuite même condition de coupe, mais sous lubrifiant.



**Figure 33 :** L'éprouvette.

Largeur du palier 15mm, Séparé par des gorges de profondeur 4mm et largeur de 4mm pour dégagement de l'outil.

Le montage devrais être entre pointe malheureusement on a utilisé un montage mixte. Voir figure ci-dessous :



**Figure 34** : dessin de montage de l'arbre.



**Figure 35** : montage de la pièce.

Contrôle de la surface usinée en utilisant un instrument de mesure spécifique à la rugosité. Parmi les appareils utilisés à savoir : les microscopes, les rugosimètre a palpeur ainsi que ceux électroniques. On a opté pour celui à palpeur dont le schéma est présenté au-dessus.



### III.5. Rugosimètre 2D :

Le rugosimètre est composé d'un stylet qui se déplace mécaniquement sur une surface pour enregistrer une image de la rugosité de surface sur la longueur déterminée. Cette technique de mesure fournit un grand nombre de paramètres de mesure, et notamment :

1.  $R_{max}$  : écart le plus grand entre le pic le plus élevé et le creux le plus bas sur la longueur analysée.
2.  $R_a$  : rugosité moyenne sur la longueur analysée.
3.  $R_t$  : écart entre le pic le plus haut et le creux le plus bas quel que soit la longueur analysée.
4.  $R_z$  : écart moyen entre le pic le plus haut et le creux le plus bas sur un certain nombre de longueur analysée
5. On utilise le plus souvent  $R_a$ .



Figure 36: Rugosimètre TR220.

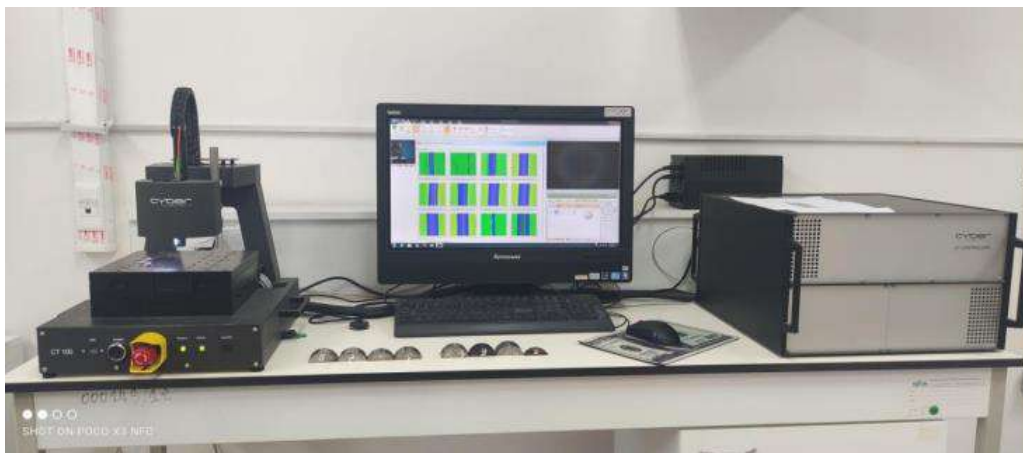
### Rugosimètre 3D :

#### APERÇU

Le cyber SCAN CT 100 est un appareil compact de haute résolution profilomètre sans contact. Les principaux composants du système sont un laser ou un capteur de lumière blanche et un système x-, y-motion sur une plate-forme en granit. Surtout les capteurs de L'influence de L'avance (af) sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier 42CD4 Page 63 lumière blanche chromatique combinent une haute précision et vitesse de mesure élevée. Les capteurs sont disponibles avec une résolution jusqu'à 3 nm et une plage de mesure jusqu'à 25 mm. Le système peut numériser une zone maximale de 150 mm x 150 millimètres. Le propriétaire et convivial cyber technologie software offre des analyses de métrologie de surface et automatisées routines de mesure.

## **APPLICATIONS**

Les applications typiques sont l'analyse et la qualité de contrôle des processus d'impression, tels que les films épais mesure sur une variété de matériaux de substrat, mesure de volume de dépôts de pâte, films époxy, points ou autres éléments imprimés et distribués. Géométrie et mesure de position de hauts objets profilés comme des bosses de soudure, des microlentilles et dispositifs MEMS, ainsi que la planéité et l'analyse de coplanarité sont d'autres applications populaires. Produits imprimés, systèmes ou dispositifs— Emballage de l'appareil— Circuits imprimés— MEMS— Éléments de pile à combustible Matériaux ou revêtements souples et transparents— Cellules solaires Équipement médical.



**Figure 37:** applications typiques

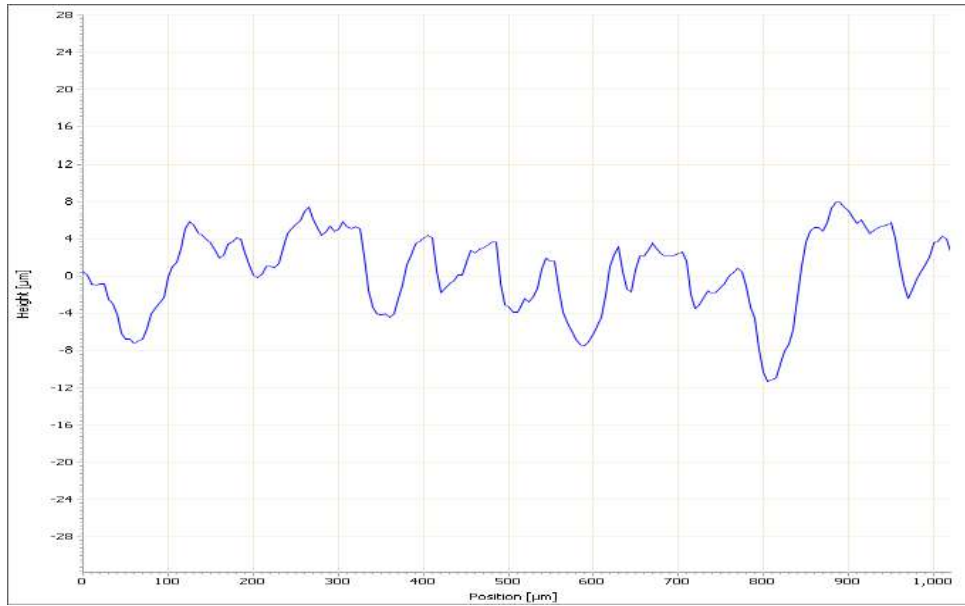


Figure 38: graphe 3d de l'usinage échantillon

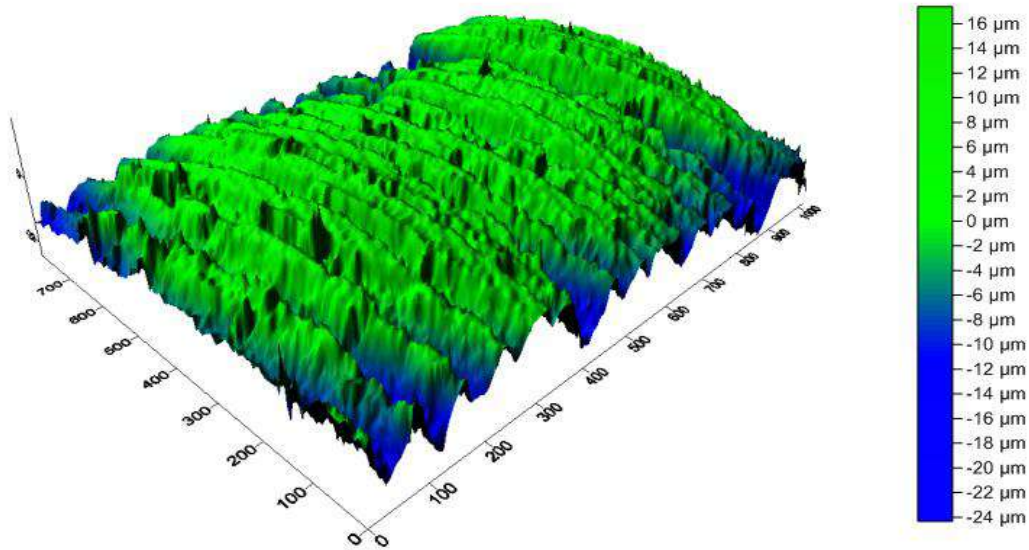


Figure 39: Profilographe 3D de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe  $VC= 84,780$  mm

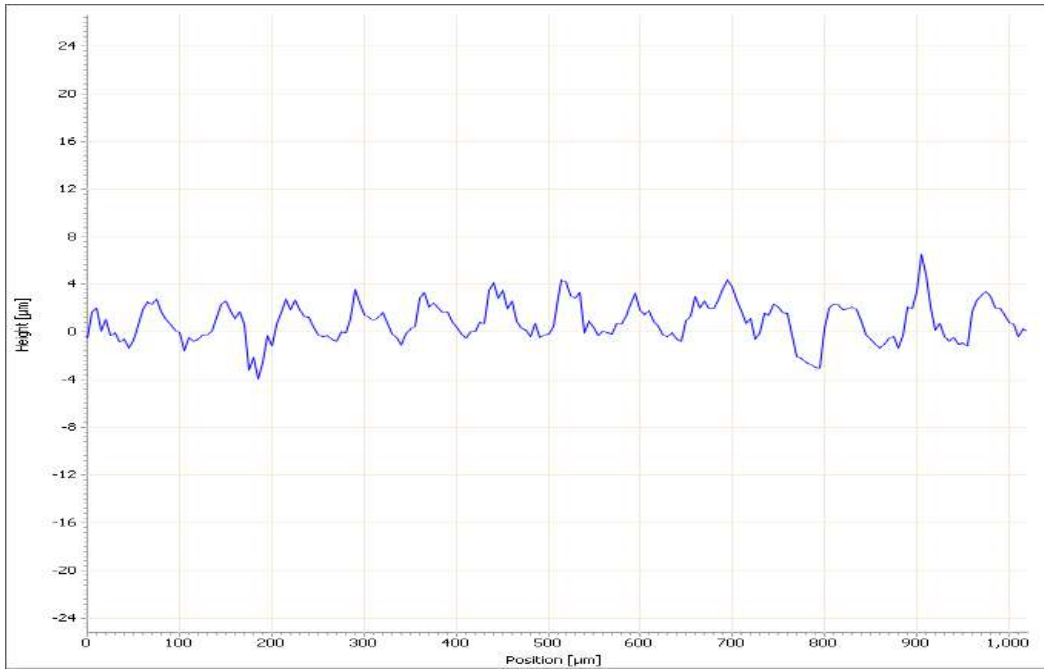


Figure 40: GRAPHE 3D DE LUSINAGE ECHANTILLON

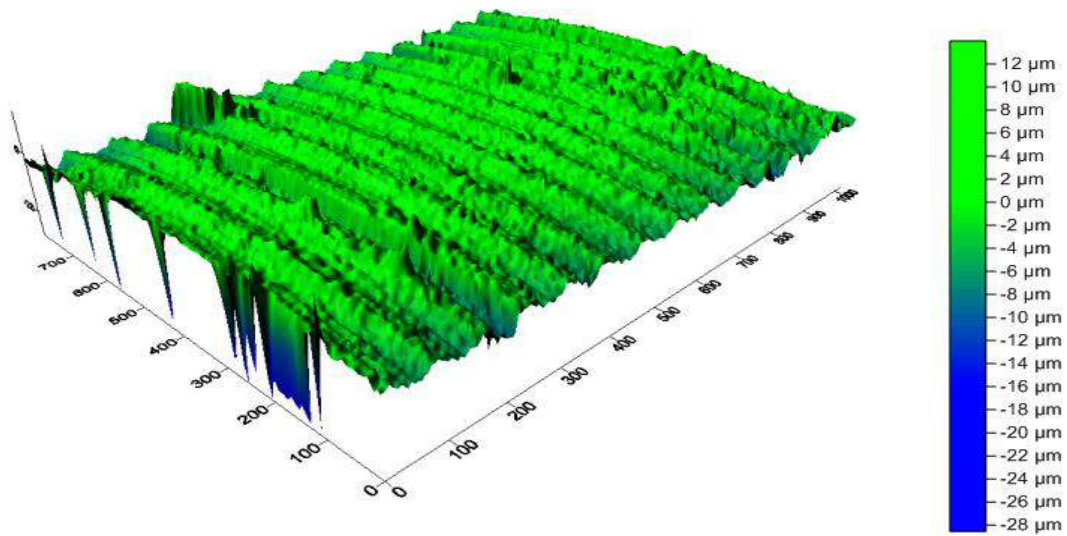


Figure 41 : Profilographe 3D de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe VC=107,388 mm

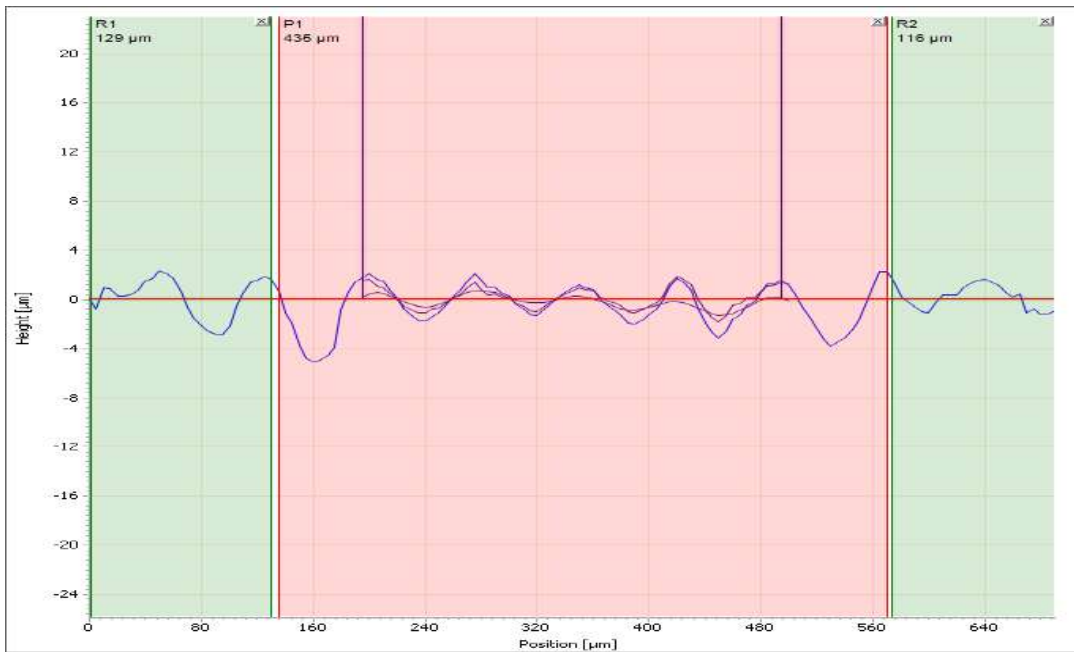


Figure 42: graphe 3d de l'usinage d'échantillon

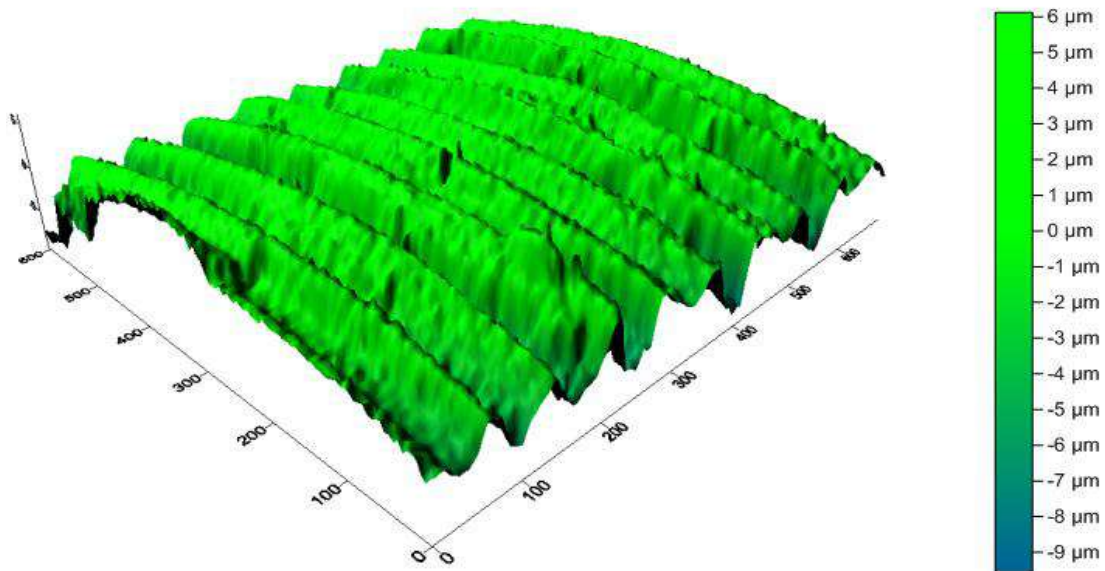


Figure 43 : Profilographe 3D de l'essai l'usinage avec lubrification avec vitesse de coupe  $VC= 131,880$  mm

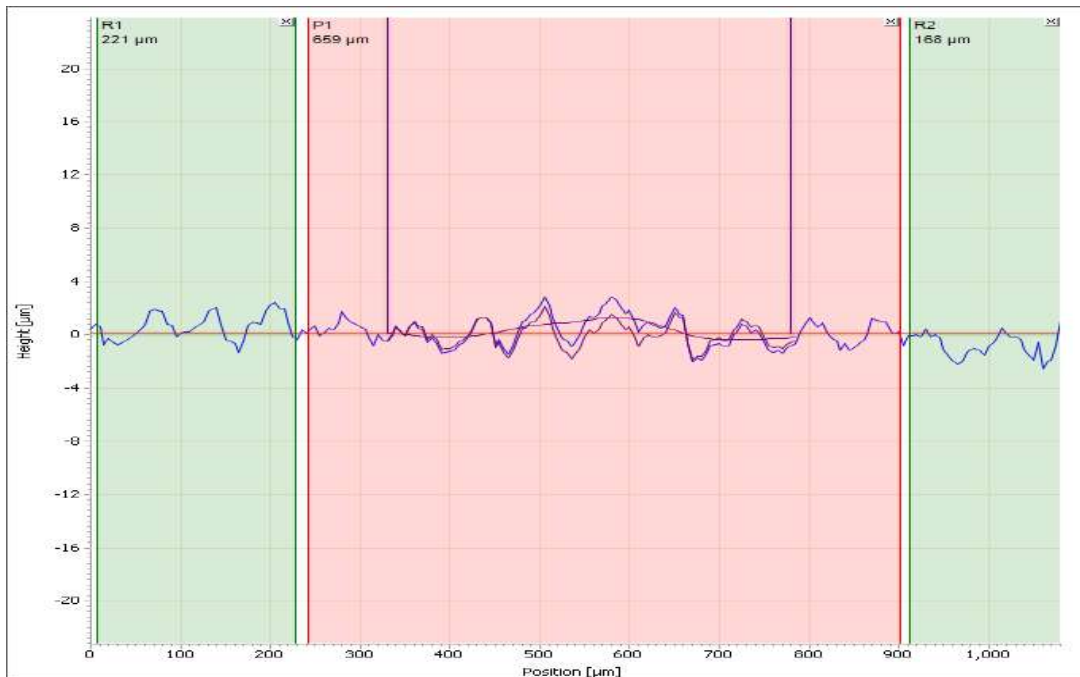


Figure 44: graphe 3d de l'usure échantillon.

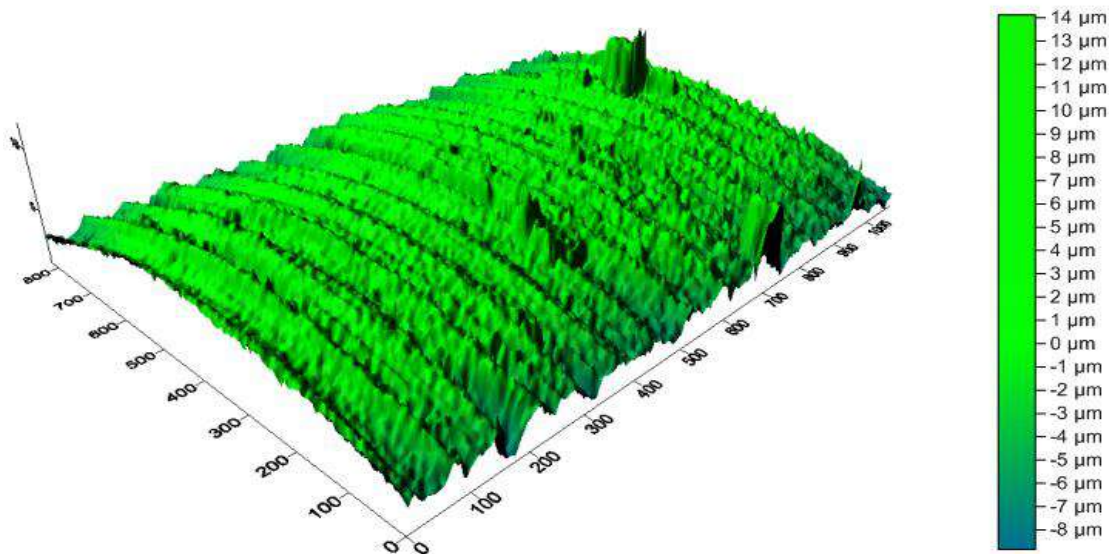


Figure 45 : Profilogramme 3D de l'essai l'usure avec lubrification avec vitesse de coupe VC=169,560 mm

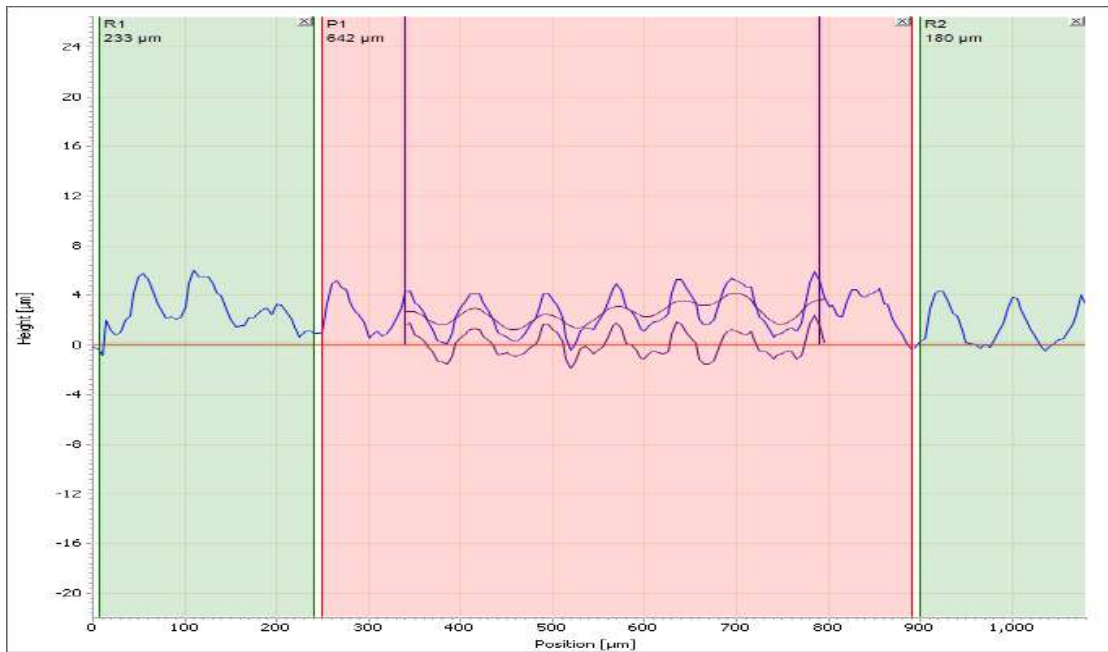


Figure 46: graphe 3d de usinage echantillon

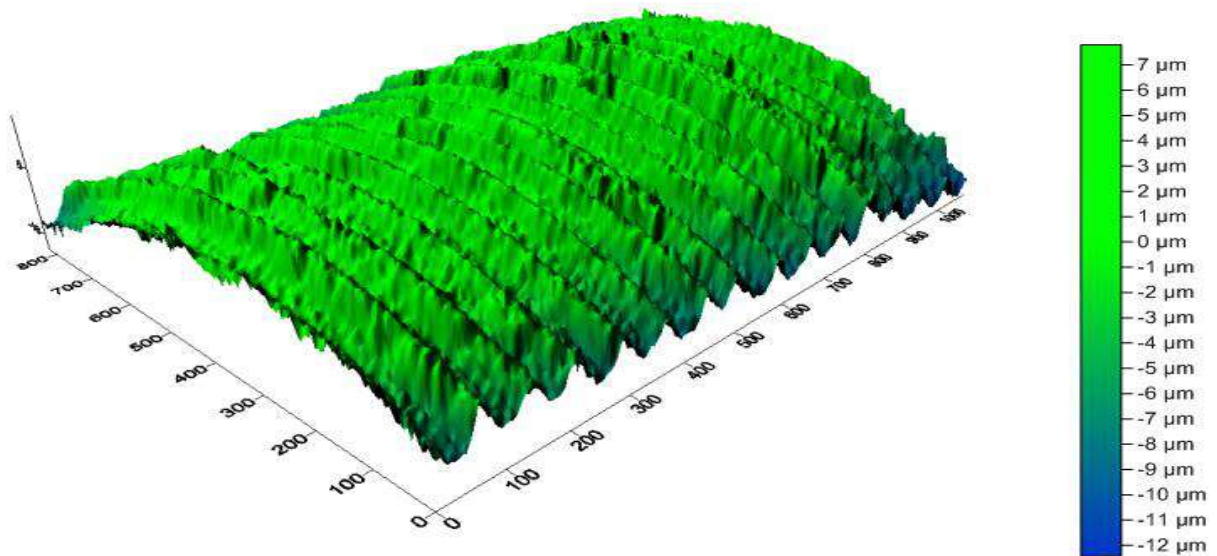


Figure 47 : Profilographe 3D de l'essai d'usinage à sec avec une vitesse de coupe de  $VC=84,780$  mm

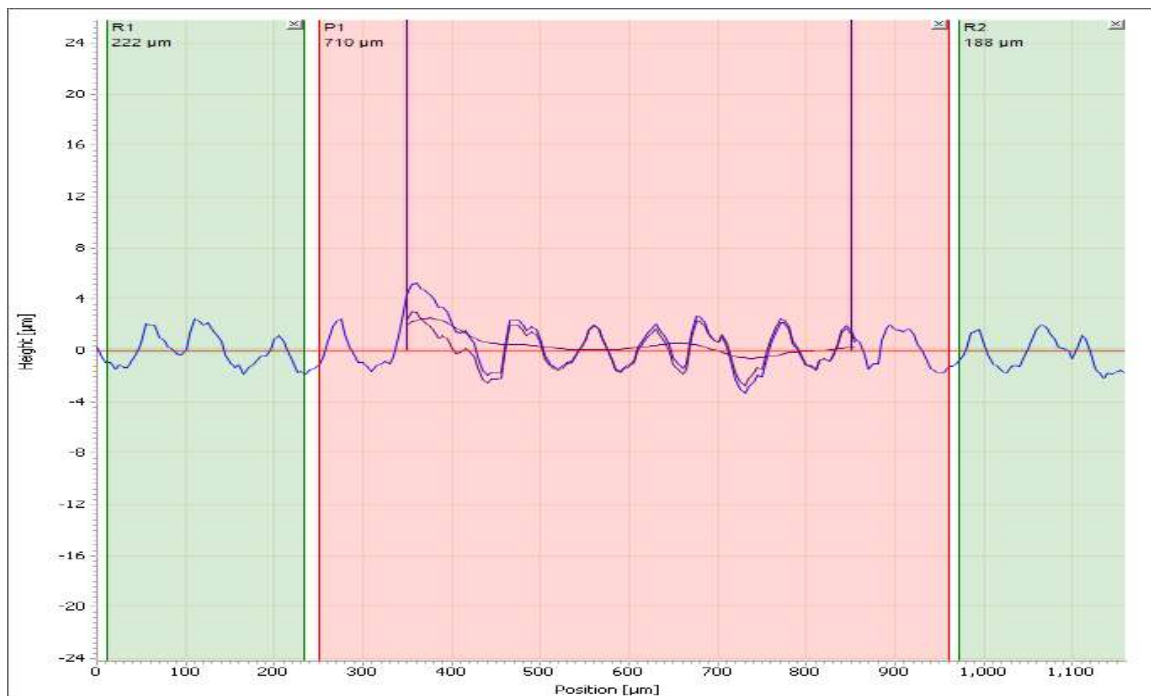


Figure 48 : graphe 3d de usinage echantillon.

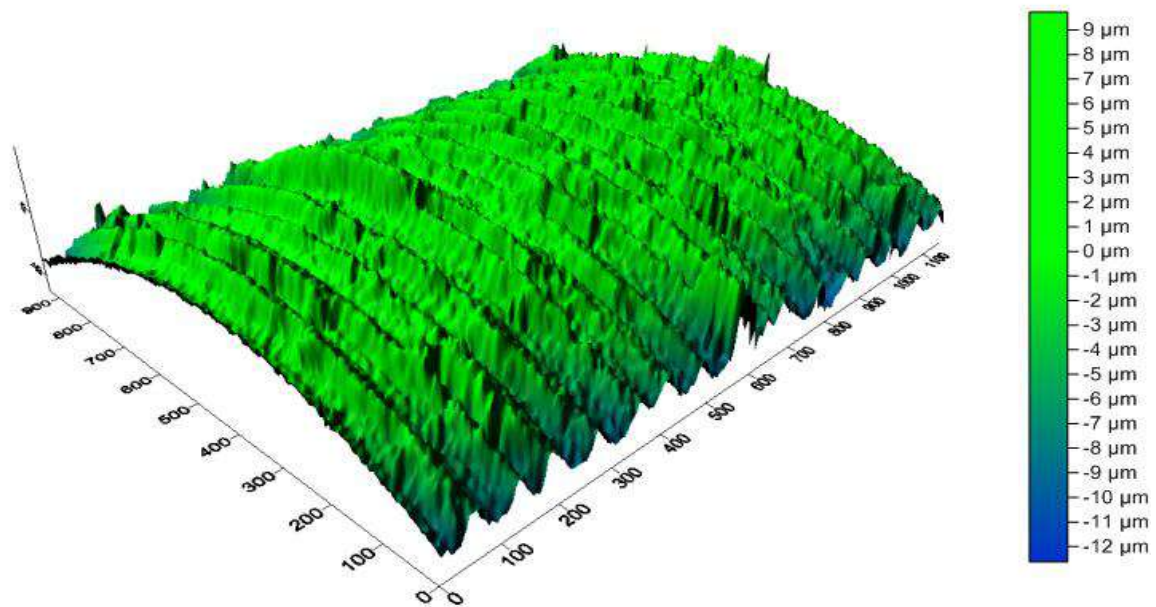


Figure 49 : Profilographe 3D de l'essai d'usinage à sec avec vitesse de coupe VC=107,388 mm



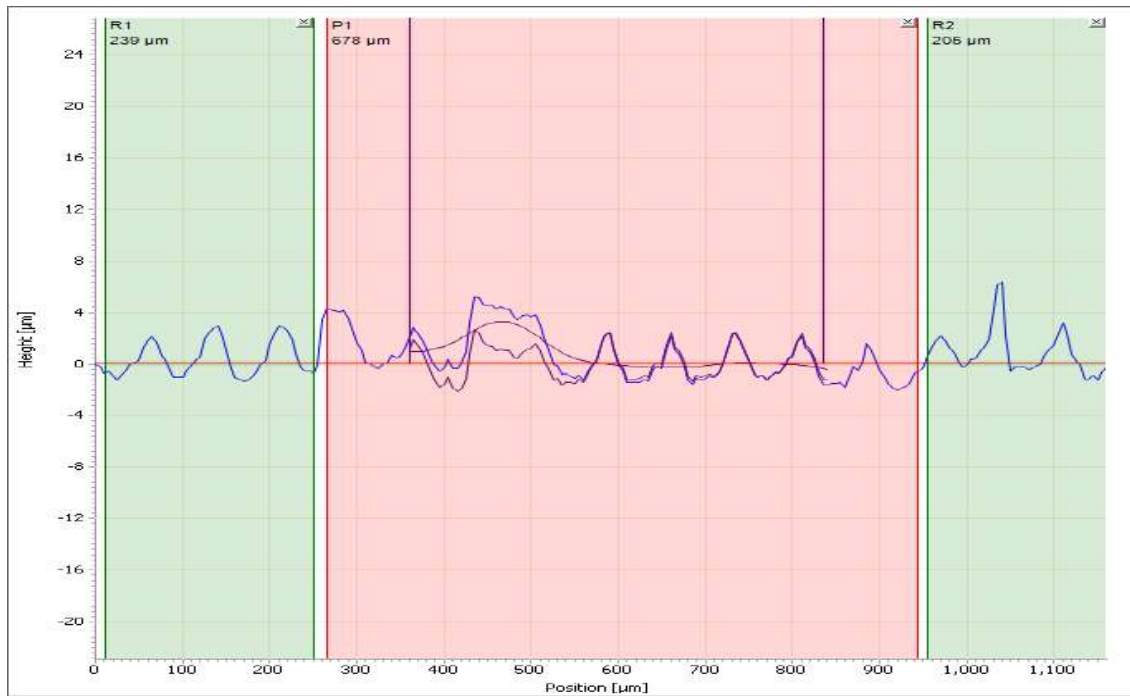


Figure 50: graphe 3d de usinage echantillon

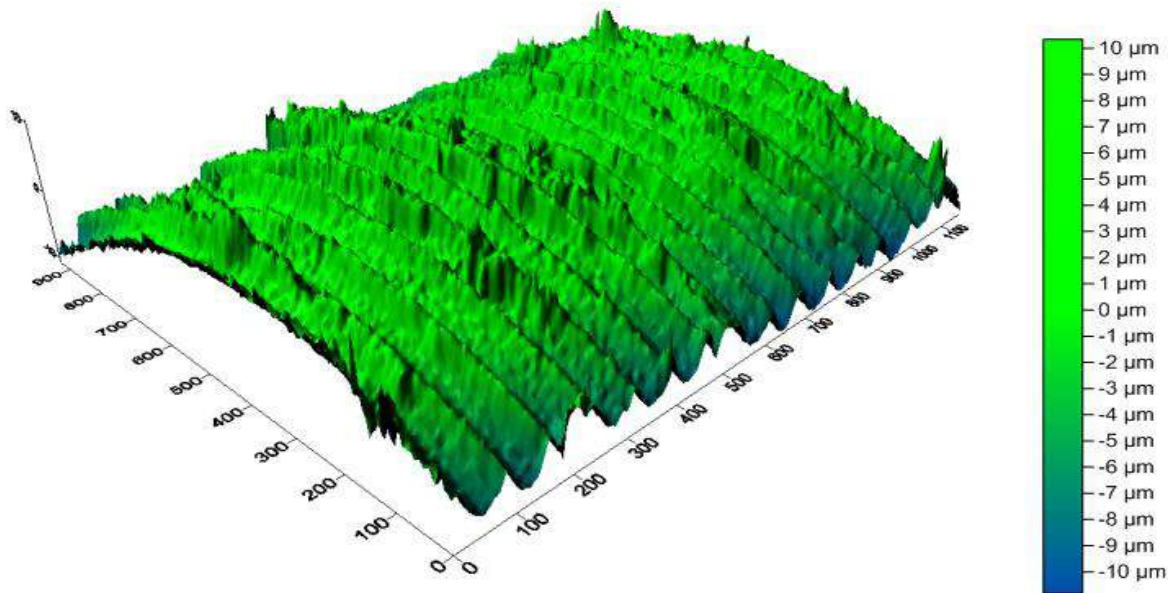


Figure 51 : Profilographe 3D de l'essai l'usinage sans lubrification avec vitesse de coupe VC=131,880 mm

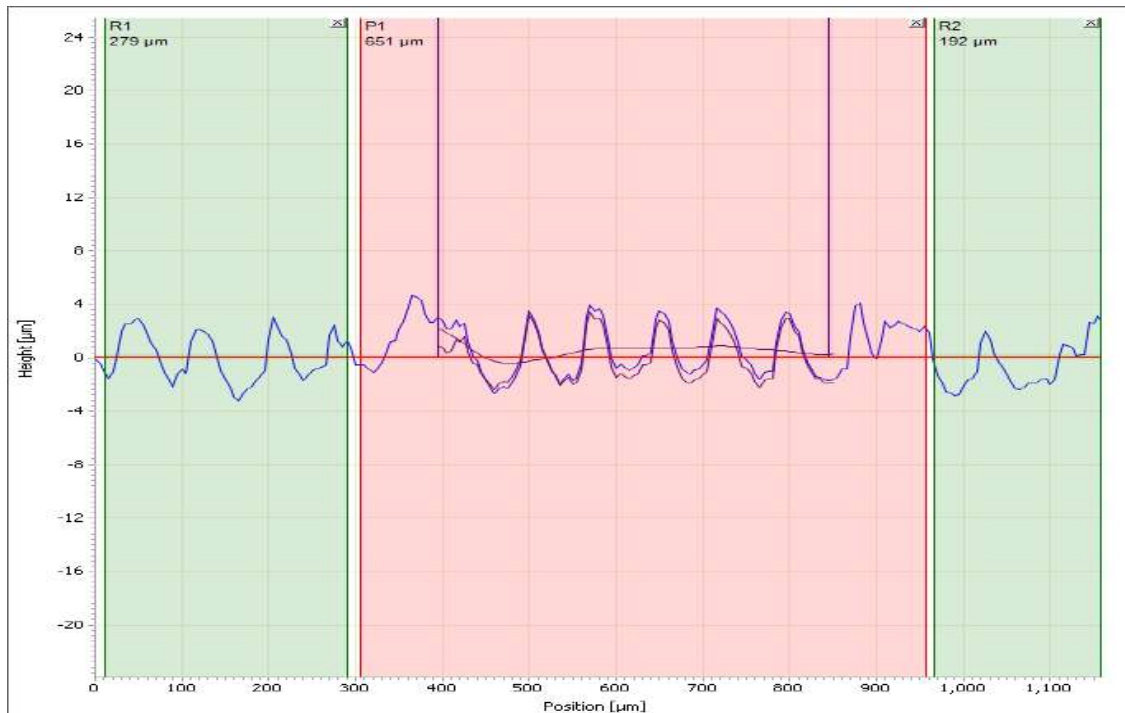


Figure 52 : graphe 3d de l'usinage échantillon

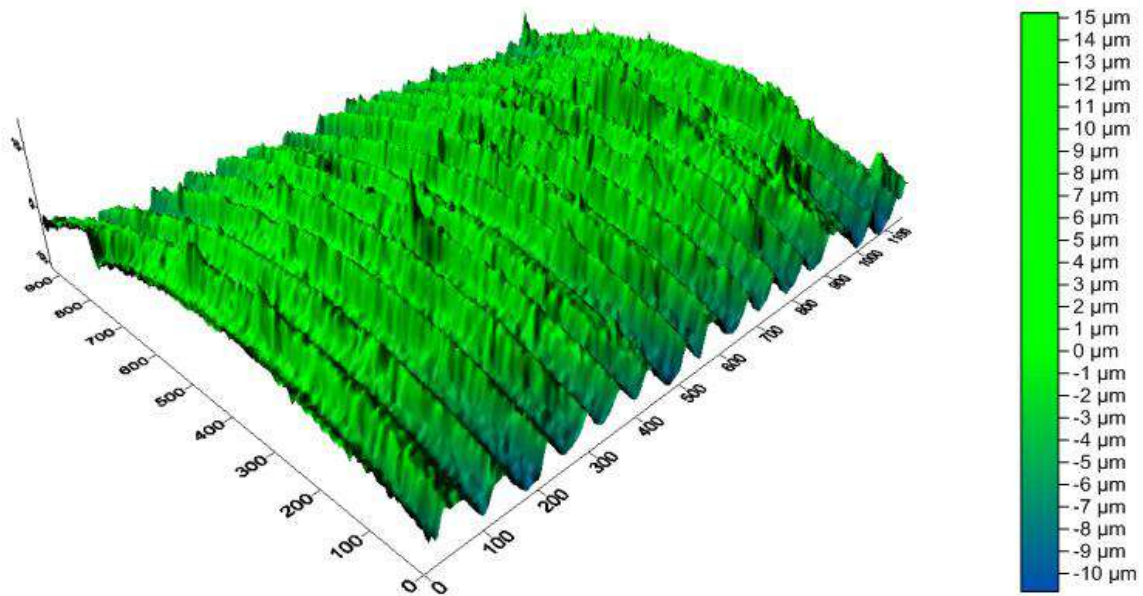


Figure 53 : Profilographe 3D de l'essai l'usinage sans lubrification avec vitesse de coupe VC=169,560 mm

### III.6. La vitesse de coupe $V_c$ :

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} ; D = 30 \text{ mm}$$

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

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

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

- Pour  $N = 320 \text{ tr/min}$  :

$$V_c = \frac{3.14 \times 55.5 \times 500}{1000} = 87.125 \approx 87 \text{ m/min}$$

### III.7. Résultat obtenues :

#### III.7.1. L'influence des paramètres de coupe en particulier, la vitesse de coupe en usinage et son impact sur l'état de surface :

A partir des valeurs relevées lors de l'usinage des paliers (1, 2, ..., 8) établit dans les tableaux on trace le graphe en fonction de la vitesse de coupe ( $v_c$ )  $R_a = f(V_c)$ .

Les deux droites obtenues nous donnent une idée sur l'influence de la vitesse de coupe sur la qualité du produit fini ainsi un choix précis d'une vitesse de coupe assurant ainsi un meilleur état de surface.

#### Opération d'usinage :

##### Essai 1 :

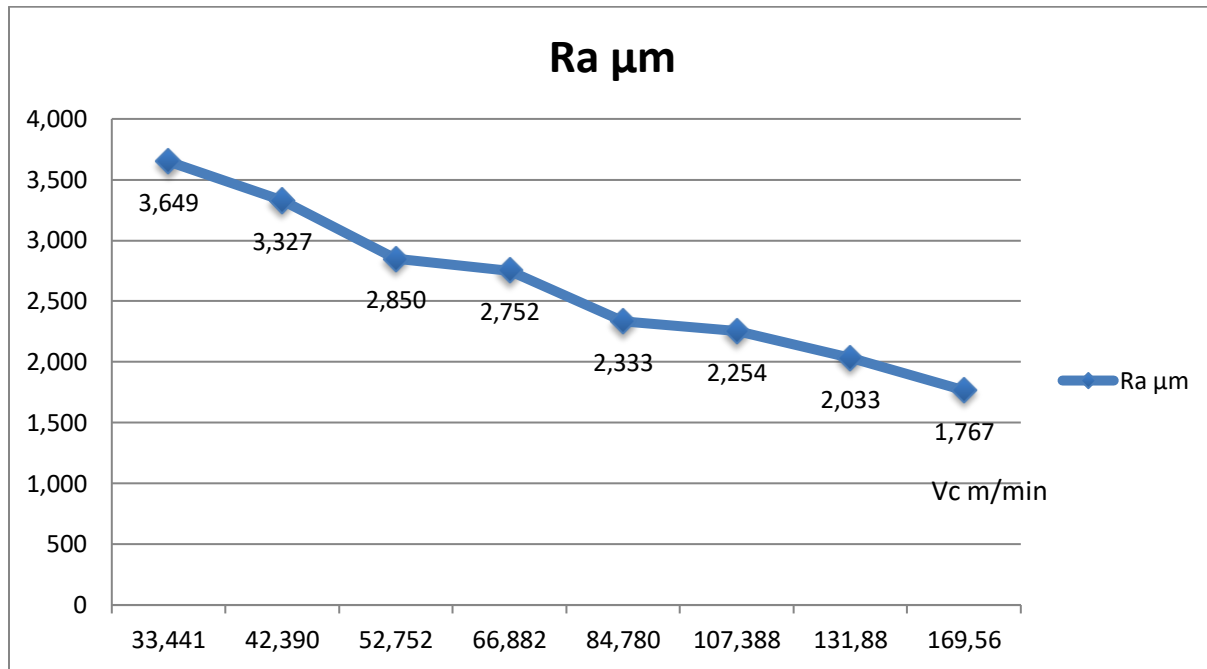
Condition d'usinage :

Usinage à sec.

- L'avance  $f = 0.5 \text{ mm/tr}$ .
- Vitesse de rotation variée
- Profondeur de passe  $a = 2 \text{ mm}$

<i>Palier</i>	<i>N rev/min</i>	<i>f mm/tr</i>	<i>A mm</i>	<i>Vc m/min</i>	<i>Mesure</i>	<i>Ra</i>
<b>1</b>	<b>355</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>33,441</b>	<b>1</b>	<b>3,649</b>
<b>2</b>	<b>450</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>42,390</b>	<b>1</b>	<b>3,327</b>
<b>3</b>	<b>560</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>52,752</b>	<b>1</b>	<b>2,850</b>
<b>4</b>	<b>710</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>66,882</b>	<b>1</b>	<b>2,752</b>
<b>5</b>	<b>900</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>84,780</b>	<b>1</b>	<b>2,333</b>
<b>6</b>	<b>1140</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>107,388</b>	<b>1</b>	<b>2,254</b>
<b>7</b>	<b>1400</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>131,88</b>	<b>1</b>	<b>2,033</b>
<b>8</b>	<b>1800</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>169,56</b>	<b>1</b>	<b>1,767</b>

**Tableau 8 : Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec [20]**



**Figure 54 :** Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de la vitesse de coupe(Vc) lors de l'usinage à sec, a et f constants

### Essai 2 :

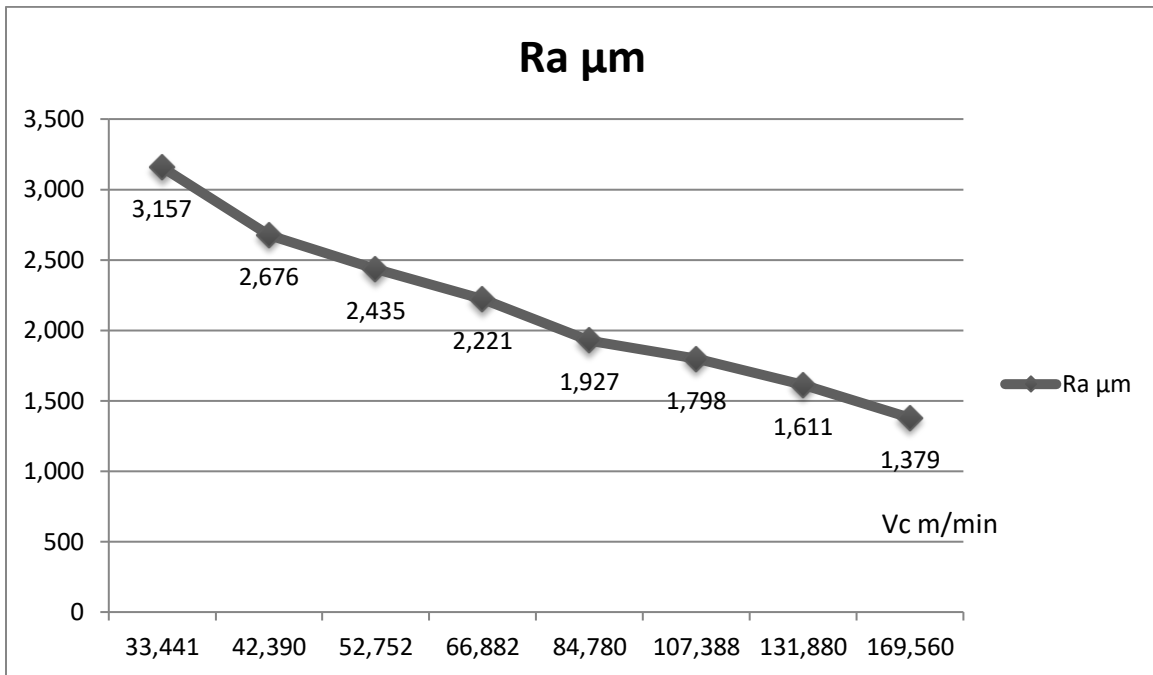
Usinage avec lubrification.

Condition d'usinage :

- L'avance  $f=0.5$  mm/tr.
- Vitesse de rotation variée
- Profondeur de passe  $P = 2$  mm

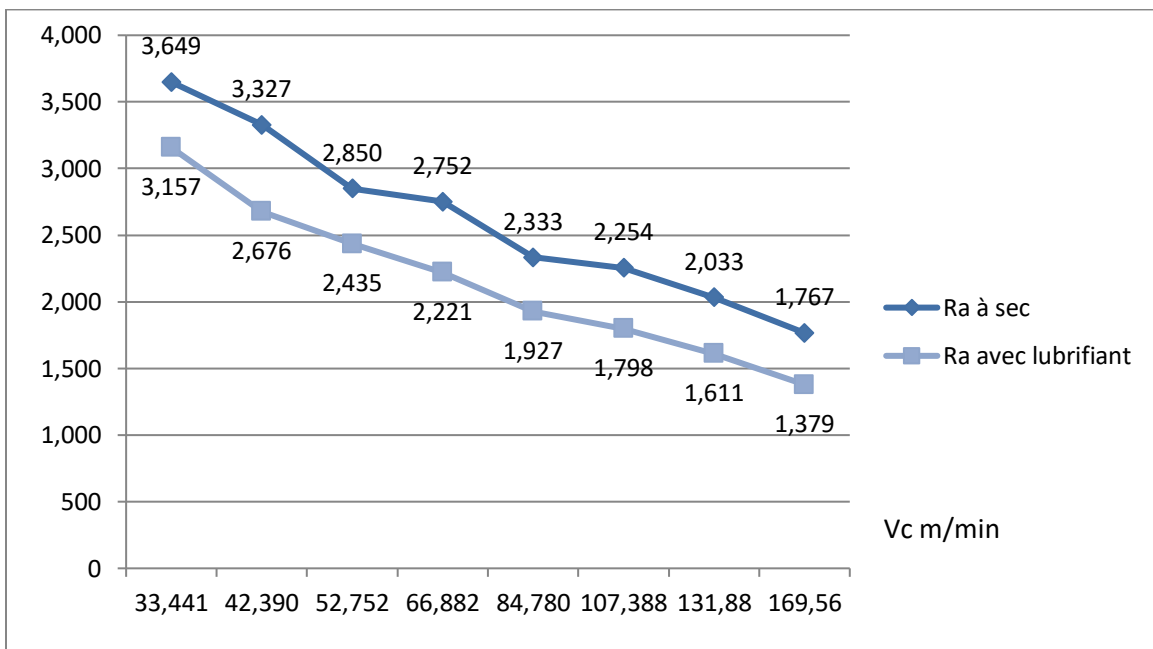
<i>Palier</i>	<i>N<sub>tr/min</sub></i>	<i>f mm/tr</i>	<i>a<sub>p</sub> mm</i>	<i>V<sub>c</sub> m/min</i>	<i>Mesure</i>	<i>Ra</i>
<b>1</b>	<b>355</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>33,441</b>	<b>1</b>	<b>3,157</b>
<b>2</b>	<b>450</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>42,390</b>	<b>1</b>	<b>2,676</b>
<b>3</b>	<b>560</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>52,752</b>	<b>1</b>	<b>2,435</b>
<b>4</b>	<b>710</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>66,882</b>	<b>1</b>	<b>2,221</b>
<b>5</b>	<b>900</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>84,780</b>	<b>1</b>	<b>1,927</b>
<b>6</b>	<b>1140</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>107,388</b>	<b>1</b>	<b>1,798</b>
<b>7</b>	<b>1400</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>131,880</b>	<b>1</b>	<b>1,611</b>
<b>8</b>	<b>1800</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>169,560</b>	<b>1</b>	<b>1,379</b>

**Tableau 9** : Obtenu des valeurs relevées lors de l'usinage.

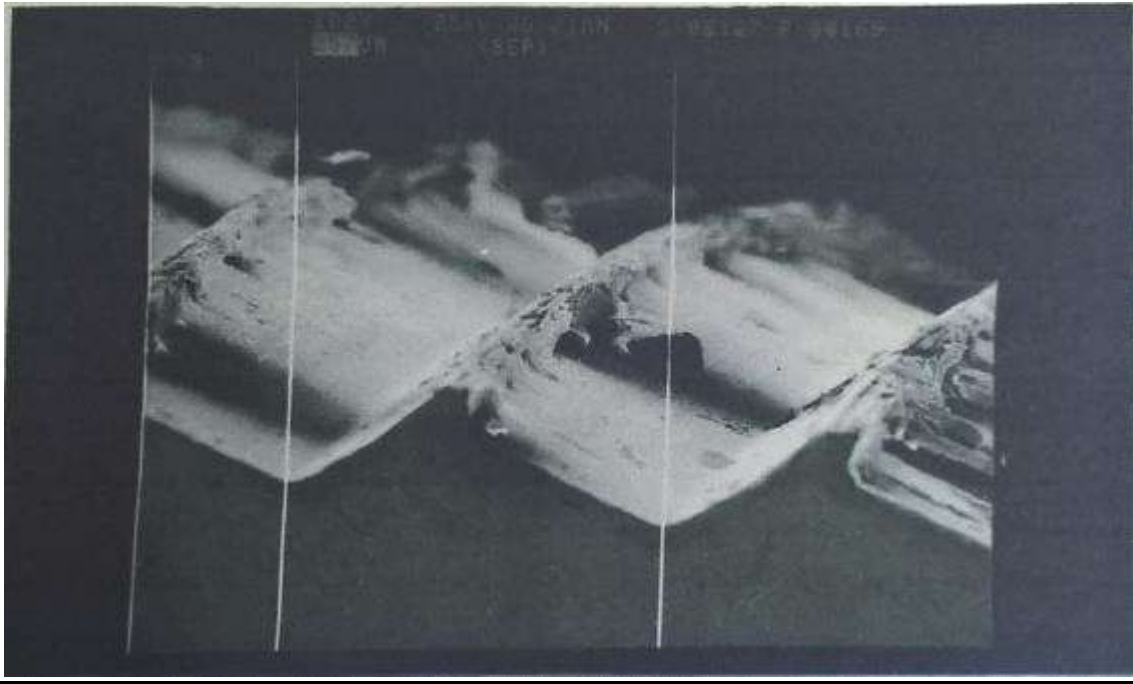


**Figure 55 :** Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de la vitesse de coupe(Vc) lors de l'usinage à sec, a et f constants avec lubrification

### III.7.2. Comparaison entre les résultats obtenues de Ra et Rq avec et sans lubrification



**Figure 56:** Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) en fonction de la vitesse de coupe(Vc) lors de l'usinage lubrifié et non lubrifié



**Figure 57 :** Exemple de surface fini avec un profil de l'outil.

**Discussion :**

Notre étude sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier **E24** en prenant comme régime de coupe une vitesse variable avec une avance constante. Nous a conduits à déduire que la vitesse de coupe et un paramètre très influant au même titre que la lubrification.

Les paramètres de rugosités ( $R_a$ ) obtenus sont regroupés dans les tableaux au-dessus les graphes de variation de la rugosité sont tracés (voir graphe au-dessus)

On peut citer un paramètre plus important la lubrification qui joue un rôle aussi influant que les paramètres de coupes sur la rugosité. Un usinage sous lubrification améliore automatiquement l'état de surface selon les conditions de coupes imposées.

$R_a$  = sans lubrification.

$R_{a1}$  = avec lubrification.



Cela confirme que l'usinage réalisé avec lubrification a donné des résultats meilleurs que sans lubrification ceci dit que l'état de surface est meilleur.

- Influence des paramètres de coupes sur la durée de vie de l'outil :

Un paramètre plus important la lubrification qui joue un rôle aussi influant que les paramètres de coupes et la géométrie de l'outil sur la pièce. Un usinage sous lubrification donne automatiquement une durée de vie plus longue à l'outil selon les conditions de coupes imposées.

Pour l'usinage avec lubrification, la rugosité obtenue est inférieure à celle obtenue à sec pour ce qui concerne le « palier 7 » et « palier 8 ».

Pour l'usinage avec lubrification, les valeurs de la rugosité obtenues sont inférieures par rapport au celles obtenues à sec pour tous les paliers usinées.

## *Conclusion et perspectives*

La rugosité de surface et la longévité de l'outil dépendent directement des paramètres de coupe, vitesse, avance et profondeur de passe. Dans la partie expérimentale, on a utilisé la profondeur de passe et l'avance constante tout le long de l'usinage et la vitesse de coupe variable.

La vitesse de coupe est un paramètre très influant sur la rugosité de surface ainsi que sur la durée de vie de l'outil comme on peut le constater d'après les résultats obtenus. La vitesse de coupe augmente, la rugosité diminue, l'état de surface est meilleur et l'usure diminue ce qui implique une amélioration de la longévité de l'outil.

La lubrification est un facteur très important pour amélioration de l'état de surface de la pièce usinée ainsi pour prolonger la durée de vie de l'outil on peut s'en passer de cette dernière si on emploie l'usinage à grande vitesse.

On remarque au Chapitre **III** que les résultats obtenus avec lubrification sont beaucoup meilleur que ceux obtenus à sec. Avec les mêmes conditions de coupe.

## Bibliographie

- [1] <http://eljaaouani.blogspot.com/2014/04/usinage-generalites.html>
- [2] <https://fabrication1.blogspot.com/2013/09/les-outils-de-tournage.html>
- [3] A. TOUMINE, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007
- [4] Rocardier, « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011.
- [5] <http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Le%20tournage/index.htm>
- [6] <http://kera-industry.com/wp-content/uploads/2014/09/Les-conditions-de-coupes.pdf>
- [7] [http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/profondeur%20de%20passe%20\(usinage\).pdf](http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/profondeur%20de%20passe%20(usinage).pdf)
- [7] [http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/co/ch4\\_8\\_2.html](http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/co/ch4_8_2.html)
- [8] <https://www.univ-setif.dz/MMAGISTER/images/facultes/IOMP/2010/lakhthari%20fouad.pdf>
- [9] <http://robert.cireddu.free.fr/ITEC/Les%20etats%20de%20surface.pdf>
- [10] [https://savoir.ensam.eu/moodle/pluginfile.php/95772/mod\\_resource/content/2/Cours%20Master%20IMS%20-%20Rugo%20-%20avril2017-eleves.pdf](https://savoir.ensam.eu/moodle/pluginfile.php/95772/mod_resource/content/2/Cours%20Master%20IMS%20-%20Rugo%20-%20avril2017-eleves.pdf)
- [11] [https://www.google.dz/search?q=La+mesure+des+%C3%A9tats+de+surface+avec+un+microscope+d%27%C3%A9tat+de+surface&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiLn-SFu7DbAhWGOBQKHZQcAhYQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=\\_](https://www.google.dz/search?q=La+mesure+des+%C3%A9tats+de+surface+avec+un+microscope+d%27%C3%A9tat+de+surface&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiLn-SFu7DbAhWGOBQKHZQcAhYQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=_)
- [12] <http://filetageinternational.com/fr/index.php/services/rectification-plane-cylindrique/>
- [13] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide\\_de\\_coupe](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide_de_coupe).
- [14] <https://www.univ-setif.dz/MMAGISTER/images/facultes/IOMP/2010/lakhthari%20fouad.pdf>
- [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] <https://www.keyence.eu/frfr/ss/products/microscope/roughness/example/index.jsp>

