

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : Mr. DJAZOULI Abderrazak

Sujet

L'influence des paramètres de coupe sur la rugosité

Soutenu publiquement, le /06/2022, devant le jury composé de :

Mr. Hadjoui Abdelhamid.	pr	Univ. Tlemcen	Président
Mr. BENMILOUDI Boumediène	MCA	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr. BENKHENAFUO Fethi	MCB	Univ. Tlemcen	Co-Encadreur
Mr. Hamou Said	Pr	Univ. Tlemcen	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je tiens à remercier vivement mes directeurs de mémoire, Monsieur BENMILOUDI

Boumediene et Monsieur BENKHENAFOU Fethi, pour avoir dirigé ce travail et pour ses enseignements très enrichissants.

J'exprime ma reconnaissance à tous les membres de jury, d'avoir accepté de lire ce travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes enseignants de département Génie

Mécanique.

Mes remerciements vont aussi à tous mes amis et mes collègues.

Je remercie tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

C'est grâce à ALLAH seul que j'ai pu achever ce travail, je le dédie a :

Ma chère mère et mon cher père qui m'ont toujours encouragé et soutenue durant toute ma
vie.

Mes sœurs et mes frères

Mes grands-mères et mes grands-pères et toute la famille DJAZOULI .

Tous mes amis.

Tous ceux que j'ai connus de près ou de loin.

Abderrazak DJAZOULI

Résumé

L'usinage tient une place considérable dans l'industrie, c'est un des phases les plus répandu en mécanique. A ce titre, la maîtrise du procédé de tournage, notamment lors d'une opération de finition, est devenu un enjeu majeur dans le secteur industriel. La compréhension des phénomènes physiques présents lors d'un usinage de finition est un facteur important pour l'optimisation d'un procédé de fabrication par enlèvement de matière. L'objectif de cette étude, c'est l'effet des paramètres de coupe telque la vitesse d'avance sur l'état des surface (rugosité)

Pour la manipulation en tournage, on a utilisé des pièces cylindriques de diamètre 45mm, et de longueur 135mm, la longueur usinée est de 100mm.

Le matériau usiné est du C45 (XC48), matière dure dans une opération de chariotage en tournage.

Mots clés : Rugosité, Tournage, Paramètres de coupe.

الملخص

تحتل الآلات مكانة كبيرة في الصناعة ، فهي واحدة من أكثر العمليات انتشارًا في الميكانيك. على هذا النحو ، التمكن من عملية الخراطة ، خاصة أثناء عملية الإنهاء ، أصبح تحديًا كبيرًا في القطاع الصناعي. يعد فهم الظواهر الفيزيائية الموجودة أثناء المعالجة النهائية عاملاً مهمًا لتحسين عملية التصنيع عن طريق إزالة المواد. الهدف من هذه الدراسة هو تأثير عوامل القطع مثل سرعة التقدم على حالة السطح (الخشونة).

للتعامل مع الخراطة ، استخدمنا أجزاء أسطوانية بقطر 45 مم ، وطول 135 مم ، وطول الآلة 100 مم. المواد المصنعة هي C45 (XC48) ، وهي مادة صلبة في عملية الدوران.

الكلمات المفتاحية: الخشونة ، الخراطة ، إعدادات القطع.

Abstract

Machining holds a considerable place in industry, it is one of the most widespread processes in mechanical. As such, mastering the turning process, especially during a finishing operation, has become a major challenge in the industrial sector. Understanding the physical phenomena present during finish machining is an important factor for optimizing a manufacturing process by material removal. The objective of this study is the effect of cutting parameters such as the feed rate on the surface condition (roughness).

For handling in turning, we used cylindrical parts with a diameter of 45mm, and a length of 135mm, the machined length is 100mm.

The machined material is C45 (XC48), hard material in a turning operation.

Keywords: Roughness, Turning, Cutting Parameters.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 01 : Les Paramètres de coupe	3
1.1 Introduction	3
1.2 Procédé de tournage	3
1.2.1 Principe de travail	4
1.2.2 Le tour	4
1.3 Paramètres de coupe de tournage	5
1.3.1 Vitesse de coupe (V_c)	5
1.3.2 Avance par tour (f)	6
1.3.3 Profondeur de passe (a_p)	7
1.4 Les outils de coupe	7
1.4.1 Acier rapide (AR)	8
1.4.2 Carbure de tungstène cémenté	8
1.4.3 Céramiques	8
1.4.4 Nitrure de bore cubique (CBN)	9
1.4.5 Diamant poly cristallin (PCD)	9
1.4.6 Angles de l'outil	9
1.5 Conclusion	10
Chapitre 02 : La rugosité	11
2.1 Introduction	11
2.2 Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface	11
2.3 Principaux défauts de surface	12
2.4 Rugosité	13
2.5 Principaux critères de rugosité	13
2.5.1 Rugosité totale R_t : R_t représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil.	13
2.5.2 Rugosité R_z : R_z représente la distance moyenne entre les cinq sommets les plus élevés et les cinq creux les plus bas (figure 2.5.2)	14

2.5.3	Rugosité moyenne arithmétique Ra : Ra représente la moyenne arithmétique des écarts (en valeur absolue) par rapport à OX (figure 2.5.3).....	14
2.6	Evaluation de la rugosité.....	15
2.7	Less pécifications normalisées :.....	16
2.8	Usure des outils de coupe	17
2.8.1	Usure en dépouille.....	17
2.8.2	Usuresuivant la surface d'attaque	17
2.8.3	Fissuration de l'arête	18
2.8.4	Rupture (cassure) de la pointe	18
2.8.5	Déformation plastique	18
2.8.6	Entaille	18
2.9	Mesure de la rugosité.....	19
2.9.1	Appareils à palpeur	20
2.9.2	Principe de mesure	21
2.9.3	Le rugosimètre	22
2.9.4	Mesure tridimensionnelle	23
2.9.5	Méthodes optiques.....	26
2.9.6	Profilomètre laser	25
2.9.7	Méthodes de mesure interférométrique.....	25
2.9.8	Méthode de tolansky	26
2.10-	Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique	
2.11	Conclusion.....	28
	Chapitre 03 : L'étude expérimentale	30
3.1	Introduction	30
3.2	Donné expérimentale.....	33
3.3	Résultat expérimentale	35
3.4	L'effet de l'avance par tour sur la rugosité.....	37
3.5	L'effet de la vitesse d'avance sur la rugosité	38
3.6	L'effet de la section de copeau sur la rugosité	39
	Conclusions générales.....	40
	Références bibliographiques.....	42
	Annexe 1.....	46

Liste des figures

Figure 1.1 : phénomène de coupe

Figure 1.1 : Représentation du tournage (chariotage)

Figure 1.1 : Schéma d'un tour parallèle

Figure 1.1 : Vitesse de coupe

Figure 1.1 : Avance par tour

Fig1.1: Profondeur de passe a_p

Figure 1.1: Angles du taillant : a) outil en main, b) outil en travail

Figure 1.1 : Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface

Figure 1.1: Principaux défauts de surface

Figure 1.1 : R_t Hauteur de profil totale

Figure 1.1 : R_z Hauteur de profil maximum (moyenne)

Figure 1.1 : L'écart moyen arithmétique du profil (R_a)

Figure 1.1 : Principaux critères de rugosité

Figure 1.1 : Sillons théoriques

Figure 1.1 : symbole graphique de l'état de surface

Figure 1.1: Exemple de symbolisation

Figure 1.1 : Formes d'usure sur les outils de coupe

Figure 1.1. Représentation schématique d'un appareil à palpeur

Figure 1.1. Rugosimètre avec patin

Figure 1.1. Rugosimètre avec patin

Figure 1.1. Appareille de mesure tridimensionnelle

Figure 1.1. Profilomètre laser

Figure 1.1. Principe de mesure interférométrique

Figure 1.1. Méthodes de Tolansky

Figure 3.1-Outil

Figure 3.2- TOUR parallèle Cholet 350

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=90,5\text{m/mn}$, $a_p=1$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=113\text{m/mn}$, $a_p=2$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=178\text{m/mn}$, $a_p=3$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=90,5\text{m/mn}$, $a_p=1$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=113\text{m/mn}$, $a_p=2$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=178\text{m/mn}$, $a_p=3$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $v_c=90,5\text{m/mn}$, $a_p=1$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $v_c=113\text{m/mn}$, $a_p=2$

Figure 1.1.évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $v_c=178\text{m/mn}$, $a_p=3$

Liste des tableaux

Tab 1.1 : tableau des rugosités

Tab. 2.2. Comparaison entre la méthode mécanique et la méthode optique

Tab 4.1. Caractéristique de matériau

Tab 4.2. Avance par tour

Tab. 4.3. Résultats expérimentaux pour $v_c=90,5\text{m/mn}$, $a_p=1$

Tab. 4.4. Résultats expérimentaux pour $v_c=113\text{m/mn}$, $a_p=2$

Tab. 4.5. Résultats expérimentaux pour $v_c=178\text{m/mn}$, $a_p=3$

Liste des symboles

V_c : Vitesse de coupe m/min

N : Frequence de rotation Tour/min

f : Avance Mm/tour

V_f : Vitesse d'avance Mm/min

a_p : Profondeur de passe Mm

D : Diametre Mm

L : Longueur M

R_a : Rugosite arithmetique μm

R_t : Rugosite totale μm

R_z : Rugosite μm

R_q : Rugosite quadratique μm

r_ϵ : Rayon de bec (mm).

α : Angle de dépouille (rd).

β : Angle de taillant (rd).

γ : Angle de coupe (rd).

S : Surface de contact (m^2).

T : Température de coupe ($^\circ\text{C}$)

L_u : longueur d'usinage

T_u : temps d'usinage

Introduction générale

Le tournage est l'un des procédés d'usinage les plus utilisés dans l'industrie mécanique. Ainsi, le choix des paramètres de coupe optimaux (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe) est très important afin d'assurer un meilleur état de surface des pièces usinées et la durée de vie des outils de coupe.

La qualité des états de surface est l'un des aspects les plus pertinents des opérations d'usinage, puisqu'elle représente la phase finale dans le cycle de production pour l'amélioration du degré de finition des surfaces et les propriétés dimensionnelles et géométriques des pièces mécaniques. Donc, il est important de se rendre compte de l'influence des différents facteurs impliqués dans le processus de la coupe afin de choisir les paramètres appropriés qui permettent d'atteindre la qualité des surfaces désirée et qui dépend de la géométrie de l'outil, des conditions de coupe et des phénomènes mis en jeu lors de la coupe.

Objectif des travaux de recherche en fabrication mécanique a toujours été de trouver des solutions pour améliorer la productivité et la qualité des pièces usinées : faire le plus de pièces le plus rapidement possible, en réduisant au mieux les coûts et les défauts de production. L'interface outil-copeau est un lieu d'interactions complexes entre phénomènes mécaniques, thermique et physico-chimique. La surface de l'outil en contact avec le copeau subit diverses formes d'usures qui sont les résultats de mécanismes tels que l'adhésion, l'abrasion et la diffusion. La qualité des pièces produites dépend largement des conditions de coupe, et cette qualité est un paramètre important lors de la production des pièces mécaniques.

Le plan de ce mémoire est le suivant :

Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique portera sur les procédés de tournage dans un premier temps, en suite on parle des paramètres de coupes.

Dans le deuxième chapitre, étude de la rugosité puis une liste non exhaustive des différents instruments de mesure de rugosité est établie.

Le dernier chapitre est réservé à l'effet des paramètres de coupe sur la rugosité.

En fin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Le but de ce travail est de montrer l'importance des paramètres de coupe et le finie des surfaces de pièces mécaniques, et leurs impacts sur la rugosité de surface qui en découle, et sur le fonctionnement d'un système mécanique.

Chapitre 01 : Les paramètre de coupe

1.1 Introduction

La formation du copeau résulte d'une action mécanique complexe. L'arête de coupe (intersection de la face de coupe avec la face de dépouille) pénètre dans la matière et provoque la formation du copeau. Le frottement de celui-ci sur la face de coupe et celui de la pièce sur la face de dépouille provoquent une augmentation importante de la température, qui peut entraîner une fusion locale du copeau. Ce phénomène peut conduire à l'adhérence du copeau sur la face de coupe (copeau adhérent), la création d'une arête rapportée.

Les principaux facteurs qui influent sur la formation du copeau sont :

- la vitesse de coupe V_c [m/min]
- la profondeur de passe a_p [mm]
- la vitesse d'avance f [mm/tour]
- la géométrie de l'outil
- les matériaux de l'outil et de la pièce
- la lubrification.[1]

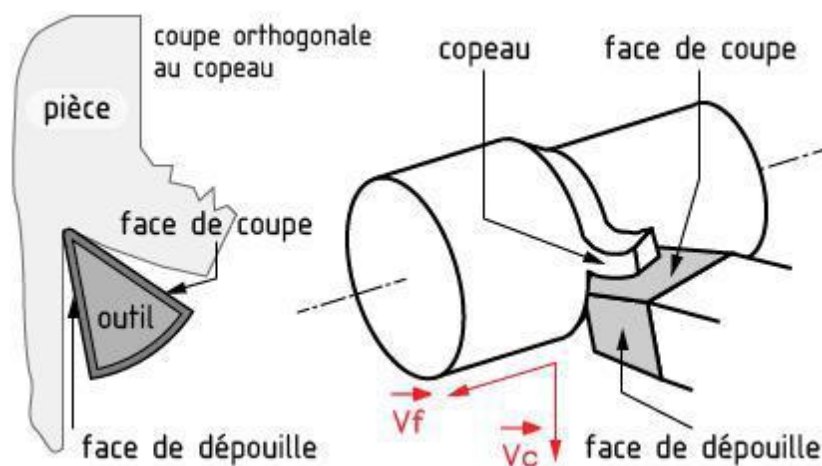


Figure 1.1 : phénomène de coupe [1]

1.2 Procédé de tournage

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière mettant en jeu des outils à arête unique [2] (Figure 1.2.1). Il s'effectue sur des machines-outils dites tour parallèles [3]. Il existe principalement deux types d'opérations de tournage, selon la surface

de la pièce à usiner et matériaux utilisés : Le tournage extérieur permet l'enlèvement de copeaux sur l'extérieur de la pièce. Parmi les opérations extérieures en tournage, on distingue : le dressage, le chariotage, le chanfreinage, le gorgeage et le filetage extérieur.

Le tournage intérieur consiste à usiner une pièce de l'intérieur. Ce type d'opération comprend : le centrage, l'alésage, le chambrage, le taraudage ...

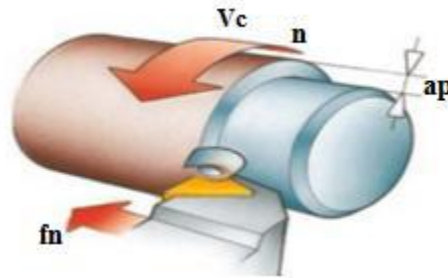


Figure 1.2 : Représentation du tournage (chariotage) [3]

1.2.1 Principe de travail

Pendant le tournage, la pièce, généralement, tenue par le mandrin de serrage, qui 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 longitudinal et parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est transversal et perpendiculaire à l'axe de la broche [1].

1.2.2 Le tour

Le tour est une machine - outil conçue pour le travail unitaire et la petite série. Il permet la réalisation des différentes surfaces de révolution .

Durant le processus de tournage la pièce à usiner est entraînée en rotation.

L'outil de coupe suit une trajectoire longitudinale ou transversale par rapport à la pièce à usiner.

Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance f (tr/mm).

Une certaine profondeur de coupe (a_p) est nécessaire pour le détachement des copeaux. [4]

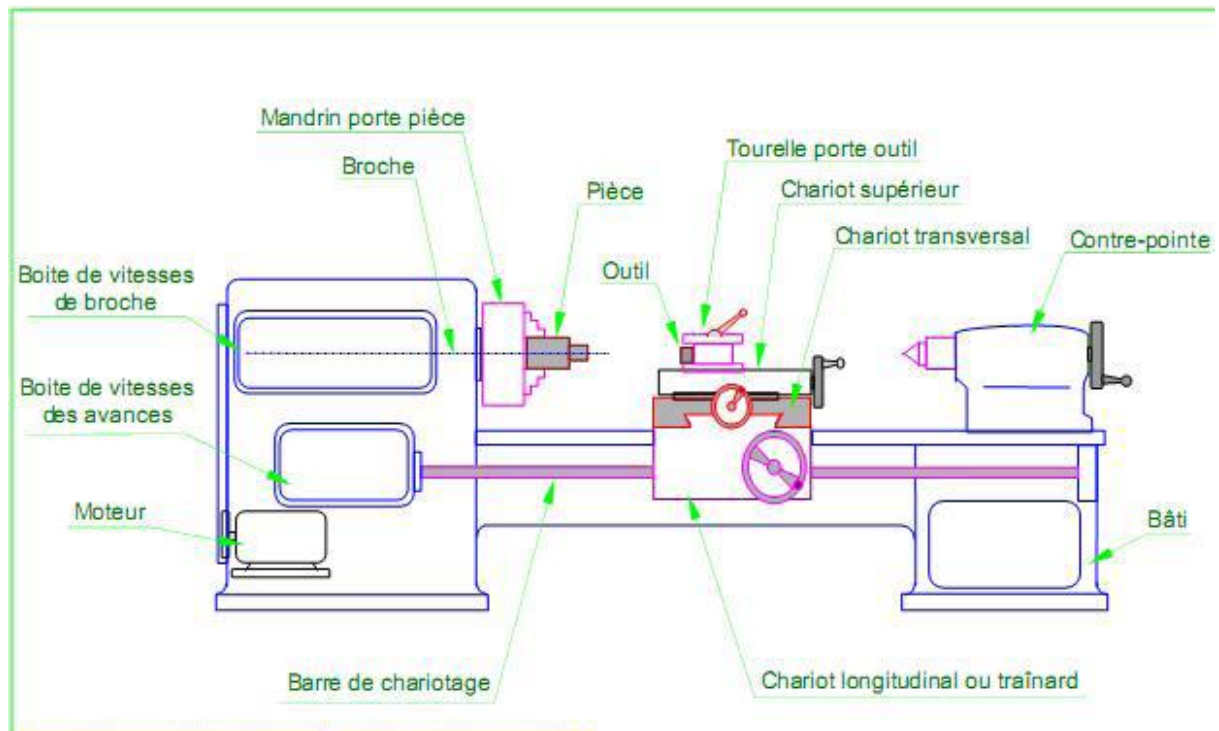


Figure 1.2 : Schéma d'un tour parallèle[4]

A l'heure actuelle, le tournage possède une multiplicité de modèles différents de machines-outils qu'on peut classer en :

- Tours universels manuels
- Tours universels à CNC
- Tours verticaux
- Centre de tournage bi broches
- Centre de tournage-fraisage
- Centre de tournage-rectification

1.3 Paramètres de coupe de tournage

Les paramètres de la coupe sont, d'une part, des grandeurs qui caractérisent les déplacements de l'outil et de la pièce usinée (paramètres cinématiques de coupe) et, d'autre part, les valeurs des surépaisseurs d'usinage et des dimensions de coupe (paramètres géométriques de coupe)

1.3.1 Vitesse de coupe (V_c)

Pour le tournage, la vitesse de coupe est le chemin parcourue en mètres par minute, par un point placé sur le diamètre extérieur de la pièce (Figure 1.3.1). Ce que l'on appelle en usinage "vitesse de coupe" correspond en cinématique à la vitesse circulaire uniforme, elle est régie par la formule suivante : [5]

$$N = V_c / \pi \cdot d \quad (1)$$

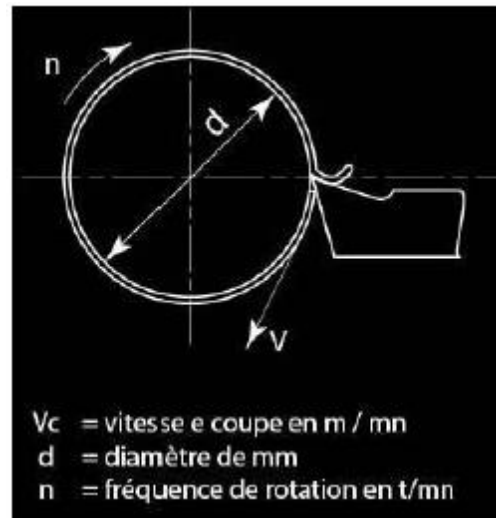


Figure 1.3 : Vitesse de coupe [5].

La vitesse est donc une distance dans une unité de temps. Le choix des vitesses de coupe dépend des facteurs suivants : [5]

- De la matière à usiner généralement, plus la matière est tendre, plus la vitesse est élevée.
- De la nature de la matière de l'outil de coupe
- Du genre d'usinage : Ébauche, Demi-finition, Finition tournage, filetage ... etc...
- De la profondeur de passe : plus la quantité de matière est importante moins la vitesse de coupe est grande.
- De la forme de la pièce et de sa fixation, du serrage de l'outil de coupe. La rigidité du montage de l'outil de coupe ainsi que le bon serrage de la pièce (tenir compte de la forme pour des raisons de déformations) qui ont une influence sur les vitesses de coupe.
- Du lubrifiant : une abondante lubrification permet d'augmenter la vitesse de coupe
- Du type de machine : une machine robuste peut supporter des vitesses de coupe plus élevées par rapport à une machine de construction plus légère.

1.3.2 Avance par tour (f)

Les modes propres représentent la déformée du rotor sous une fréquence donnée. Le premier mode correspond à la déformée de l'arbre sous la première fréquence propre.

En tournage, l'avance(mm/tr) est le déplacement en millimètre de l'outil pendant un tour de la pièce. C'est aussi l'épaisseur du copeau (Figure 1.3.2) Comme pour le choix de la vitesse de coupe, le choix des avances dépend de la matière à usiner, mais aussi de la profondeur de passe, nature du métal de l'outil de coupe, l'état de surface à obtenir... etc... [5]

$$V_f = f \cdot N(\text{mm}/\text{min}) \quad (2)$$

V_f : vitesse d'avance (mm/ min)

f : avance par tour (mm / tr)

1.3.3 Profondeur de passe (a_p)

En chariotage, la profondeur de passe (a_p) (Figure 1.3.3) est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée (c'est-à-dire la moitié de la différence entre le diamètre non usiné et le diamètre usiné). La profondeur de coupe est toujours mesurée Perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arrête de l'outil [6]

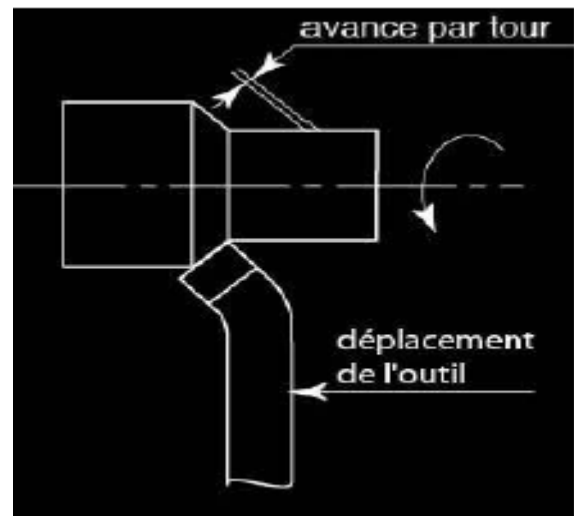


Figure 1.3 : Avance par tour [5]

1.4 Les outils de coupe

Les outils permettent d'enlever le copeau, La géométrie de l'outil influe directement sur les formes usinables de la pièce. Il existe une grande diversité d'outils de coupe mais les principaux éléments des différents outils sont semblables. En ce titre nous définissons les constituants d'outil et son type de matériaux [6]. Pour effectuer le choix d'un outil de tournage, les paramètres à prendre en compte sont les suivants [2] :

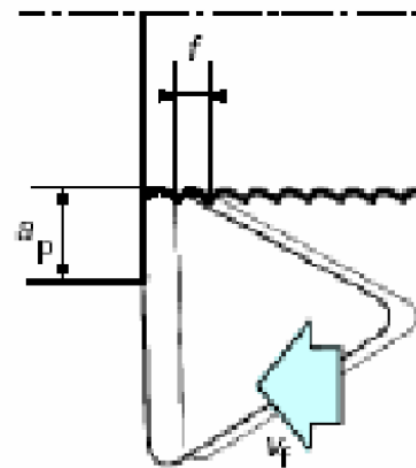


Figure1.4: Profondeur de passe a_p [6].

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

Le choix d'un matériau pour un outil est le résultat d'un certain nombre de compromis.

La modification des conditions de coupe, du procédé d'usinage ou du matériau de la pièce suffit à bouleverser ce compromis. C'est pourquoi il existe une grande variété de matériaux de

coupe. Les différents matériaux pour outils de coupe peuvent être regroupés selon différentes catégories :

- Les aciers rapides (AR),
- Les carbures,
- Les cermets,
- Les céramiques,
- Les matériaux ultra-durs (Nitrure de bore cubique CBN, diamant poly cristallin PCD)

1.4.1 Acier rapide (AR)

Est utilisé depuis le début du siècle et il constitue encore aujourd'hui un matériau très utilisé. Il possède la ténacité la plus élevée et demeure donc un choix privilégié pour les opérations instables et à coupe interrompue. De plus, il permet des arêtes très tranchantes, qui permettent la réalisation d'usinage sans bavures, à cet égard il est particulièrement intéressant pour l'usinage des polymères. [7]

1.4.2 Carbure de tungstène cémenté

Est devenu le matériau le plus utilisé. Ce substrat cémenté est obtenu par frittage de poudres métalliques constituées d'une « matière » dure (à base de carbure de tungstène WC) et d'un liant fusible lors du frittage (cobalt). Il présente un bon compromis dureté-ténacité et peut être utilisée à des températures supérieures à celles de l'acier rapide. En plus du carbure de tungstène (WC) et du Co, le carbure peut contenir dans des proportions variables des carbures additifs : souvent du carbure de titane (TiC), du carbure de tantale (TaC), du carbure de Niobium (NbC) pour les plus utilisés. Ces carbures additionnels permettent de diminuer l'usure en cratère qui survient lors de l'usinage de l'acier. Le cobalt confère au substrat sa ténacité.

Le mot cermet provient de la contraction des mots céramique et métal CERAmique /METal. Dans l'application qui nous intéresse ici, cermets, est le nom générique utilisé pour les carbures à base de titane, parmi lesquelles figurent le carbure de titane TiC, le carbonitride de titane TiCN et le nitrure de titane TiN. Comparé aux carbures cémentés, les cermets possèdent une meilleure condition thermique mais au détriment de la ténacité.

1.4.3 Céramiques

Sont chimiquement très stables et peuvent être utilisés à des vitesses de coupe très élevées. Ils offrent une dureté à chaud très élevée. Ils sont principalement composés d'oxyde d'aluminium Al_2O_3 ou de nitrure de silicium (Si_3N_4). Leur application est principalement orientée vers la fonte grise, l'acier trempé et certains alliages exotiques. Leur ténacité est faible. Ils sont

extrêmement sensibles aux conditions d'attaque de la matière. Ils sont principalement utilisés en tournage.

1.4.4 Nitrure de bore cubique (CBN)

Possède une dureté extrêmement élevée, devancée seulement par le diamant. A chaud, sa dureté demeure excellente et elle peut être utilisée jusqu'à 2000°C. Moins fragile que la céramique, elle possède une excellente résistance à l'usure par abrasion. Son coût élevé le limite principalement à la production en série. Les cristaux de CBN, similaires à ceux du diamant synthétique, sont maintenus par un liant céramique ou métallique.

Un liant céramique offre une ténacité faible mais une meilleure stabilité chimique et une excellente résistance à l'usure. Le liant métallique offre les caractéristiques inverses (bonne ténacité et moins résistant à l'usure). On recommande le CBN pour l'usinage de pièces dont la dureté est supérieure à 48HRC.

1.4.5 Diamant poly cristallin (PCD)

Est un diamant synthétique qui possède une dureté proche de celle du diamant naturel (dureté 10 dans l'échelle de Mohs). Ce matériau est très onéreux et ses applications sont limitées à l'usinage des matériaux non-ferreux. La haute résistance à l'usure par abrasion les rend économiquement fiables pour l'usinage des matériaux hautement abrasifs tels que les composites et le graphite. [7]

1.4.6 Angles de l'outil

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe, il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes. La figure 1.5.1 illustre les trois angles principaux du taillant dans les systèmes de référence outil en travail et en main. Elles sont comme suit : l'angle de dépouille α , l'angle de taillant β et l'angle de coupe γ [8].



Figure 1.4: Angles du taillant : a) outil en main, b) outil en travail [8]

- L'angle de dépouille (α) influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil.
- L'angle de taillant (β) : c'est l'angle entre la face de coupe et la face de dépouille. L'angle de taillant (β) affecte la résistance à la rupture du taillant.

- L'angle de coupe (γ) : a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur, etc.

La somme de ces trois angles est toujours égale à 90° [8]. Elle est donnée par l'équation (3)

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (3)$$

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

1.5 Conclusion

Les facteurs influant sur l'état de surface sont bien présentés, font savoir que le but du tournage, est l'obtention d'un bon état de surface, tout en optimisant les paramètres technico-économiques de production (temps, coût).

Chapitre 02 : La rugosité

2.1 Introduction

Plusieurs travaux ont été réalisés pour essayer de relever les facteurs qui influent sur l'état de surface, sur le comportement tribologique des pièces dans un mécanisme. Il a été montré qu'il existe une relation étroite entre les procédés de fabrication des pièces mécaniques et la qualité des surfaces en service. Ces dernières années ont vu une grande évolution des techniques de finition des surfaces des pièces [10], mais le premier souci du fabricant c'est d'obtenir des pièces de qualité qui répondent aux exigences techniques et fonctionnelles tout en minimisant le coût de fabrication [11].

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

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

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

2.2 Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface

En mécanique, l'état de surface est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées [12], Parmi les divers facteurs qui affectent l'état de surface d'une pièce mécanique, les facteurs dominants sont la géométrie de l'outil de coupe, l'avance, et les vibrations relatives entre l'outil et la pièce [13]. À l'aide de la méthode Ichikawa, la figure 2.2.1 montre les différents facteurs qui peuvent influencer sur l'obtention de l'état de surface désirée dans le cas d'usinage.

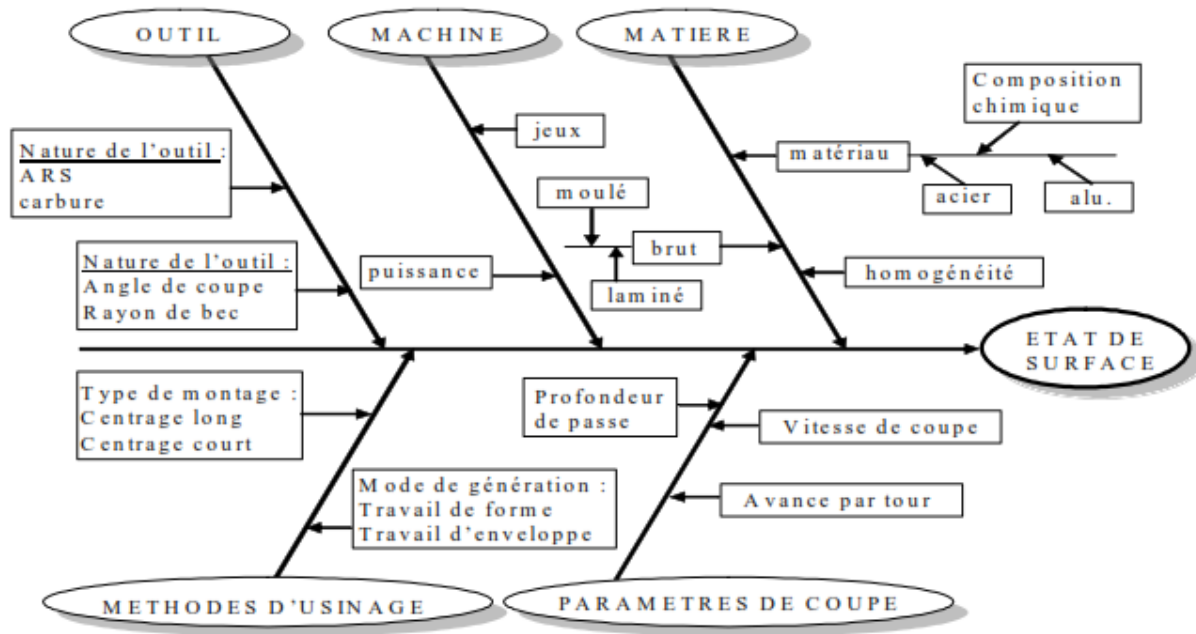


Figure 0 : Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface [13]

2.3 Principaux défauts de surface

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions notamment des caractéristiques de ses états de surface. En général les défauts de surface jouent un rôle important pour une pièce à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. On ne s'intéresse ici qu'aux défauts géométriques, qui sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (figure 2.3.1) [14].

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

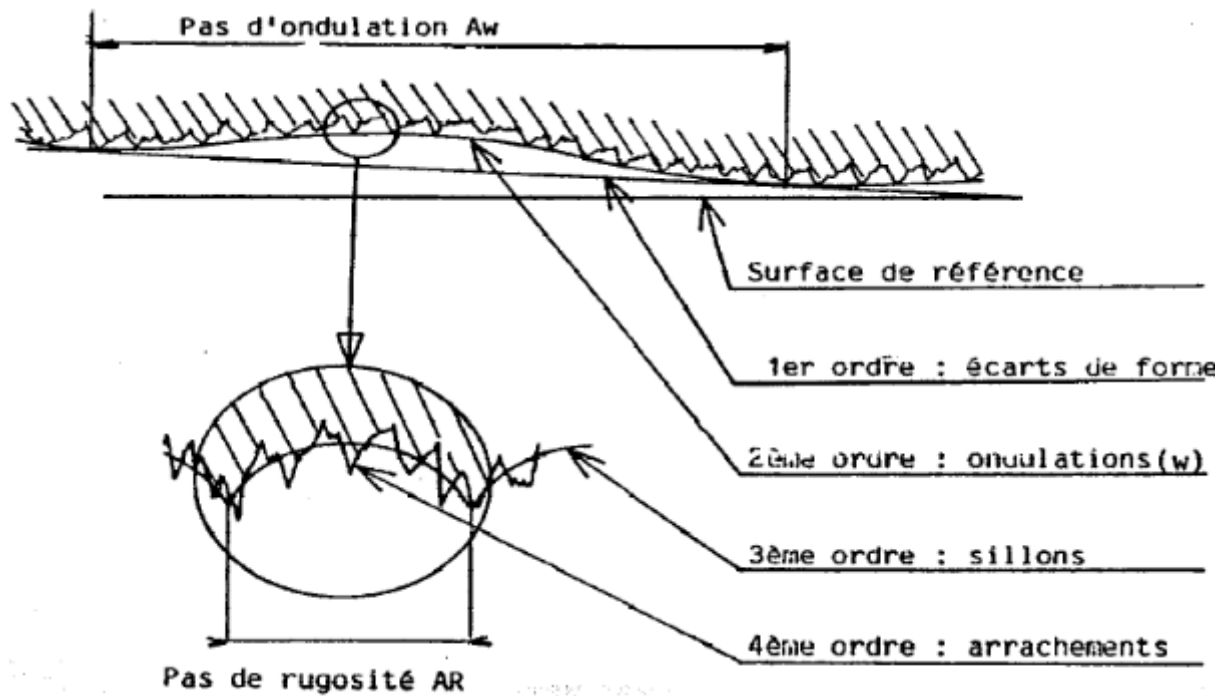


Figure 0: Principaux défauts de surface [14]

2.4-Rugosité

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

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

Plus l'indice de rugosité est faible, plus l'état de surface est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [15]

2.5-Principaux critères de rugosité

Considérons une coupe locale de la surface usinée perpendiculairement aux sillons d'usinage (figure 2.5.1) soit OX la ligne moyenne tel que :

$$\int_0^l y dx = 0 \quad (4)$$

Les principaux critères de rugosité sont définis par rapport à cette ligne moyenne [16].

2.5.1.Rugosité totale R_t : R_t représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil.

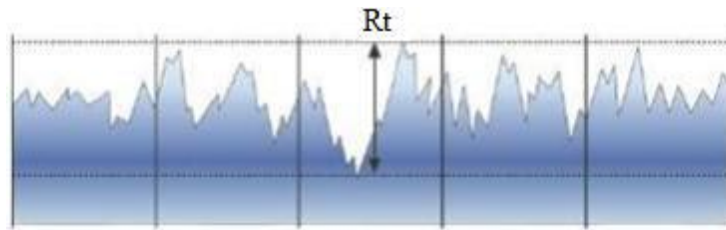


Figure 0 : Rt Hauteur de profil totale [17]

2.5.2-Rugosité Rz : Rz représente la distance moyenne entre les cinq sommets les plus élevés et les cinq creux les plus bas (figure 2.5.2).

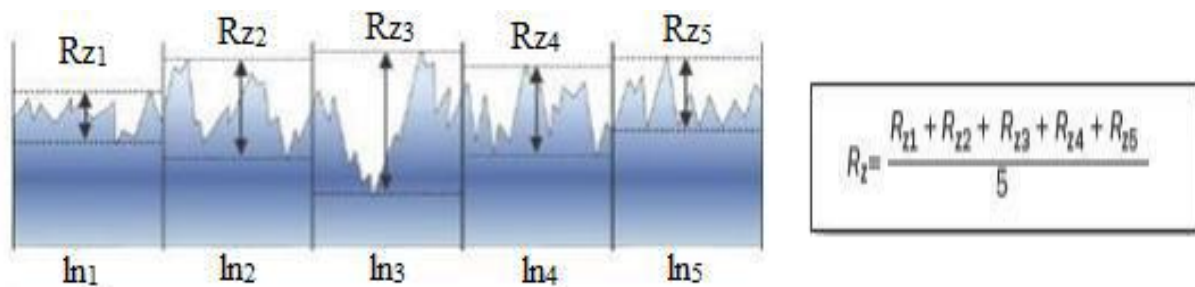


Figure 0 : Rz Hauteur de profil maximum (moyenne) [17].

2.5.3-Rugosité moyenne arithmétique Ra : Ra représente la moyenne arithmétique des écarts (en valeur absolue) par rapport à OX (figure 2.5.3).

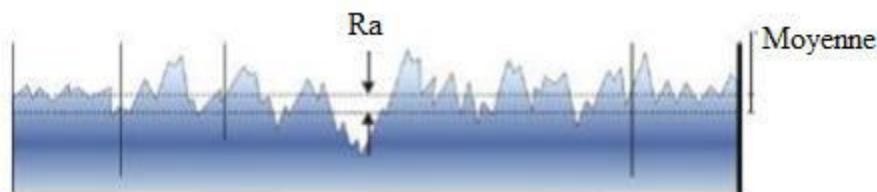


Figure 0 : L'écart moyen arithmétique du profil (Ra) [17]

Ra est calculé sur une longueur d'évaluation (Figure 2.5.4) :

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx \tag{5}$$

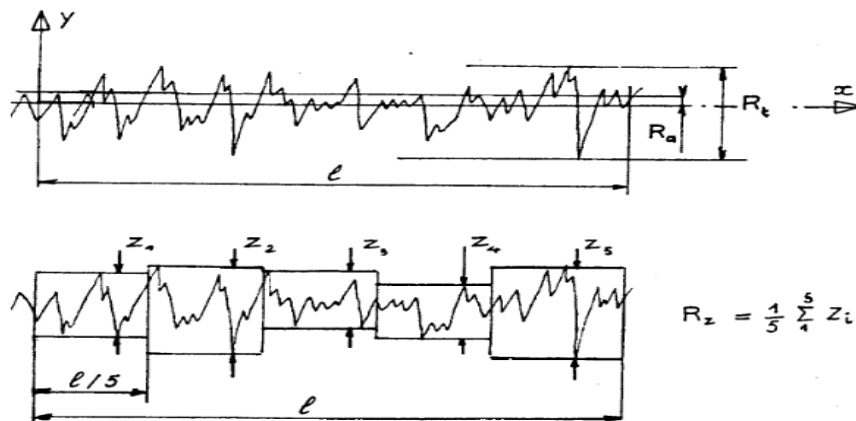


Figure 0 : Principaux critères de rugosité [17]

2.6-Evaluation de la rugosité

Théoriquement la connaissance de l’avance f ainsi que la géométrie de l’outil permet de calculer la profondeur maximale des sillons marqués sur la surface usinée.

En tournage par exemple, la rugosité totale de la surface R_t obtenue peut être déterminée à partir d’un profil géométrique idéal donné par la figure 2.6.1 [14, 18].

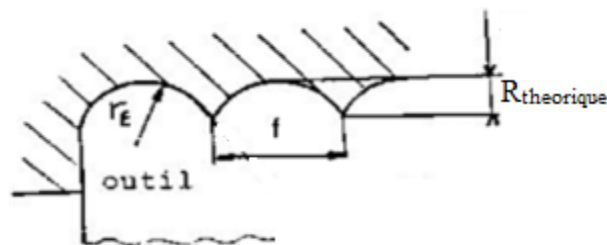


Figure 0 : Sillons théoriques [14]

$$R_{t_{theorique}} = r_{\epsilon} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{f^2}{4 r_{\epsilon}^2}} \right] \tag{6}$$

Avec : r_{ϵ} c’est le rayon de pointe d’un outil.

Dans le cas où l’avance serait suffisamment petite devant la valeur de r_{ϵ} . (6) pourrait être remplacée par l’approximation :

$$R_{t_{theorique}} \approx \frac{f^2}{8 r_{\epsilon}} \tag{7}$$

Pour les faibles avances, le phénomène de copeau minimum prend place et il se traduit par un refus de coupe de l'outil ce qui donne lieu à un copeau de faible épaisseur. Dans ce cas, la rugosité totale réelle R_t est bien supérieure à R_t (théorique). Par contre, pour les avances élevées, les irrégularités découlant de la coupe deviennent faibles par rapport aux sillons théoriques ce qui donne une rugosité totale réelle R_t qui se rapproche de R_t (théorique). A partir de l'équation (7), une approximation largement utilisée pour évaluer la rugosité moyenne arithmétique (R_a) se présente sous la forme [19] :

$$R_{t_{theorique}} \approx \frac{f^2}{32 r_\epsilon} \quad (8)$$

En utilisant un certain nombre d'expériences, il est possible de mettre au point expérimentalement des relations mathématiques entre la rugosité obtenue par usinage et les paramètres usuels de coupe [20]. Ces relations sont généralement de la forme :

$$R = c \cdot V^\alpha \cdot f^\beta \cdot a_p^\gamma \quad (9)$$

Avec : Les coefficients α , β , et γ indiquent respectivement l'influence de chacun des paramètres (V_c , f et a_p) sur la rugosité. Les coefficients déterminés pour les conditions expérimentales choisies. En général, $\gamma \approx 0$ et pour un matériau et un outil bien spécifié, il vient que :

$$R_a = c \cdot f^\beta \cdot V_c^\alpha \quad (10)$$

Où : C c'est une constante et $\beta > 0$ et $\alpha < 0$

2.7-Les spécifications normalisées :

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

Un symbole graphique est utilisé :

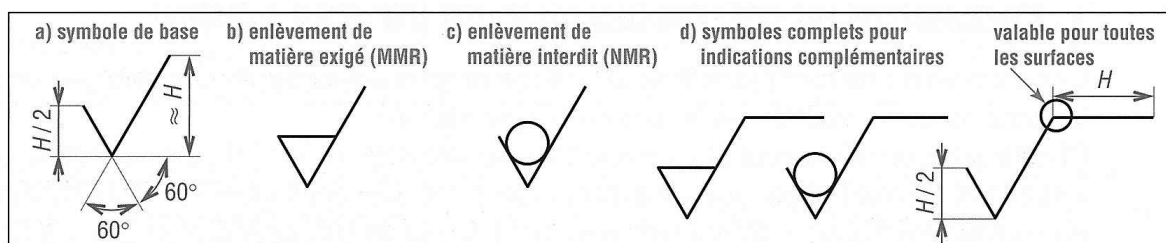


Figure 0 : symbole graphique de l'état de surface [9]

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

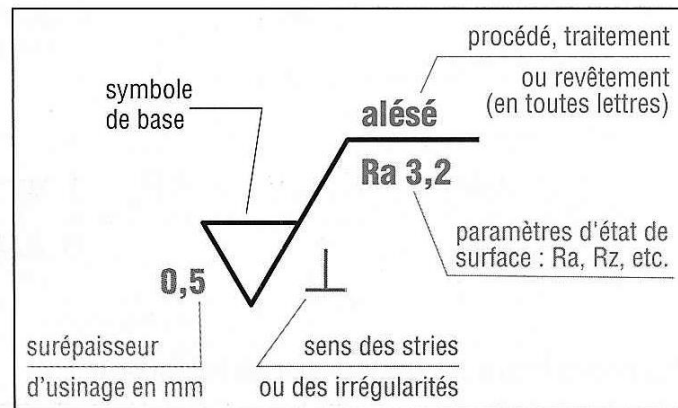


Figure 0: Exemple de symbolisation [9]

2.8-Usure des outils de coupe

L'usure est souvent définie comme la quantité de matière perdue par l'outil. Aussi l'usure des outils décrit la défaillance progressive des outils de coupe en raison d'un fonctionnement régulier. L'arête de coupe constituant l'élément actif effectuant le travail de déformation, est soumise à des sollicitations mécaniques et thermiques très sévères qui provoquent son usure et sa détérioration dans un temps relativement limité. Le frottement à l'interface copeau-outil s'effectue entre un métal naissant et l'outil à des pressions et des températures très élevées, ce qui peut donner naissance à des effets physico-chimiques aggravant l'usure de l'outil.

Dans ce contexte, nous pouvons avoir les différents types d'usures suivantes :

- Usure en dépouille,
- Usure suivant la surface d'attaque,
- Fissuration de l'arête,
- Rupture (cassure) de la pointe,
- Déformation plastique,
- Entaille,

2.8.1-Usure en dépouille

Ou usure frontale due aux frottements de la surface de coupe de la pièce sur la surface en dépouille de l'outil. Elle se manifeste par l'apparition d'une bande striée et brillante parallèle à l'arête tranchante de l'outil figure 2.8.1 (a).

2.8.2-Usure suivant la surface d'attaque

Elle se caractérise par une cuvette dite "cratère " formée sur la surface d'attaque de l'outil suite au frottement du copeau sur celle-ci figure 2.8.1 (b). Cette forme d'usure est due à

l'existence des températures élevées au contact du copeau et de l'outil provoquant une diffusion importante. Cette usure peut jouer un rôle important quand à l'enroulement et la fragmentation du copeau.

2.8.3-Fissuration de l'arête

On observe l'apparition de fissures sur l'arête coupante dans le cas des usinages avec des chocs mécaniques ou thermiques, ou avec des vibrations périodiques des efforts provoqués par une coupe discontinue. Elle est propre aux outils en carbure métalliques figure 2.8.1 (c).

2.8.4-Rupture (cassure) de la pointe

C'est la destruction totale du bec de l'outil (Observée dans le cas des outils en acier rapide), figure 2.8.1 (d).

2.8.5-Déformation plastique

La pointe de l'outil peut subir une déformation permanente sous l'effet des températures élevées et des hautes pressions dans la zone de coupe.

Cette déformation de la pointe de l'outil influe sur sa géométrie et par conséquent sur la précision et l'état de surface usinée, figure 2.8.1 (e).

2.8.6-Entaille

Dans certaines conditions de coupe, il se produit des arrachements, l'arête tranchante à la hauteur du diamètre périphérique s'use et il y a un effondrement à cet endroit. L'entaille est due à des passages successifs de l'outil sur une couche écrouie par le passage précédent, donc plus dure, figure 2.8.1 (f). [6]

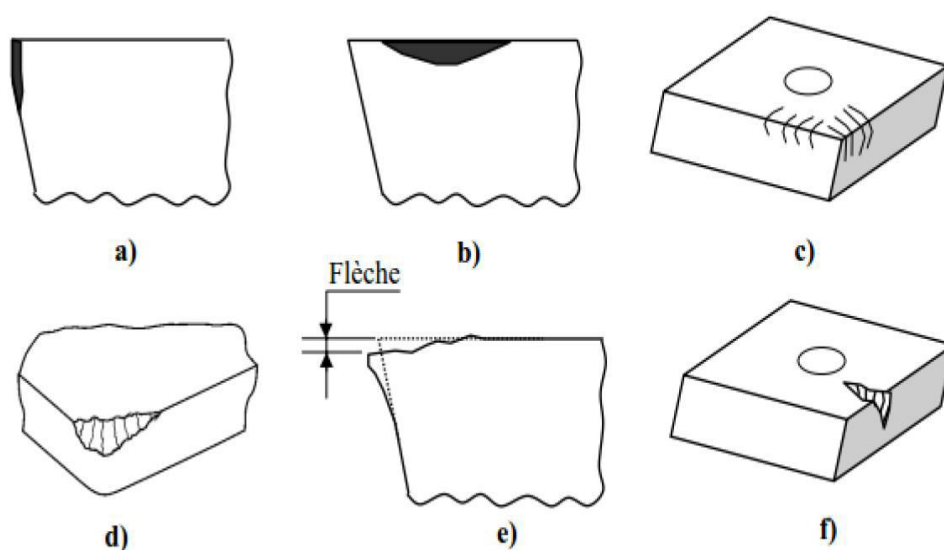


Figure 0 : Formes d'usure sur les outils de coupe [9].

TABLEAU DES RUGOSITES [22].

Matériaux	k Rugosité en [mm]
Cuivre étiré	0,001 – 0,002
Laiton	0,001 – 0,002
Plomb	0,001 – 0,002
Aluminium	0,002
Verre	0,001 – 0,002
Polyéthylène – PE	0,002
Acier étiré sans soudure : neuf	0,05
Acier étiré sans soudure : rouillé	0,2
Acier étiré sans soudure : eau chaude de chauffage	0,1
Acier étiré sans soudure : entartré	0,4
Acier galvanisé : neuf	0,15
Tôle galvanisée pour gaine de climatisation et de ventilation	0,150
Fonte : neuve	0,1
Fonte : usée	1 – 1,5
Béton lisse	0,5
Béton armé	2,5
Béton rugueux	5

Tab 0 : tableau des rugosités [22].

2.9- Mesure de la rugosité

Le développement des instruments de mesure de surfaces a commencé dès 1919, par un dispositif mécanique simple, attribuer à Schmalz c'est le premier instrument destiné à l'usage d'engineering. C'est Berndt qui en 1924 eu l'idée de l'utilisation des méthodes optiques pour la mesure de surface, suivit plus tard (en 1928) par Andrews. La mesure de surface a toujours été un grand souci dans tous les pays du monde. Dès 1930 en URSS Limnik a élaboré de nouvelles méthodes spécifiques basés sur l'interférométrie pour mesurer l'état de surface. Le premier appel à la normalisation des surfaces à été lancé aux Etats-Unis par Harrison en 1930. Cet appel à inciter Abatt en 1933 à développer un instrument de mesure de surface qui a pour principe la technique dites de palpage, malgré la lenteur de son développement qui a duré plusieurs années et l'hésitation de son emploi au début de sa conception, aujourd'hui cette technique est utilisée couramment. Plus tard en 1935 l'analyseur de surface conçu par la Cie

de développement de brosse de Cleveland a eu plus de succès que l'instrument d'Abbat parce qu'il avait un enregistreur de diagrammes. En 1934 en Allemagne KARL ZEISS a conçu plusieurs instruments optiques de mesure de surface. En Angleterre en 1939 Schlesinger a étudié les problèmes liés à la spécification des surfaces convenables, ses travaux ont été édités en 1940 et publiés dans des articles en 1942. L'instrument de mesure des surfaces le plus réussi a été l'autocollimateur pour la mesure de la planéité plutôt que de la rugosité [23]

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 [24].

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 : Souplesse pour adopter une large diversité de forme. Très haute résolution dans la direction verticale [25]

2.9.1- Appareils à palpeur

Dans l'industrie le moyen le plus utilisé est l'appareil de mesure d'état de surface à palpeur, avec contact de ce dernier sur la surface à caractériser (profilomètre mécanique 2D). Suivant son degré de perfectionnement, ce type d'équipement permet la mesure de tous ou parties des paramètres d'états de surface. En effet, l'évaluation des paramètres de profil primaire et d'ondulation nécessite une référence de guidage externe. La figure 2.1 représente, de façon schématique, un appareil à palpeur dont les différents composants sont définis ci-après [24]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

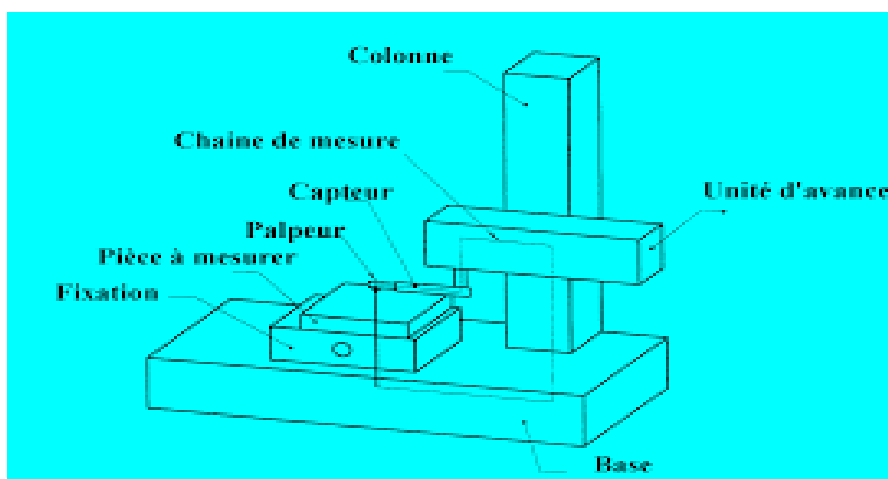


Figure 0. Représentation schématique d'un appareil à palpeur

2.9.1.1- Principe de mesure

Un convertisseur inductif différentiel (transducteur) transforme en une tension proportionnelle la composante verticale des mouvements d'un palpeur qui se déplace sur la

surface rugueuse. Le profil de la surface analysée est enregistré. Le capteur est associé à un ensemble électronique qui effectue l'amplification, l'échantillonnage, l'acquisition et la conversion du signal, il est alors transmis vers un micro-ordinateur, qui calcule les paramètres de rugosité [26]. Cet instrument a fait l'objet de nombreuses publications qui décrivent des possibilités d'amélioration de ses performances. La sensibilité peut être abaissée à quelques centièmes de nanomètre et le bruit instrumental à 0.03 nm. Le stylet (pointe de palpeur) peut avoir diverses formes et en particulier, celle d'un cône dont la pointe a un rayon de 0.5 μm . la force d'appui bien réglée, peut être inférieure à 10 μN

La résolution spatiale dépend de la pente des défauts et de la géométrie du stylet ; elle a une limite théorique de 0.1 μm . la fidélité de mesure (écart entre deux mesures consécutives sur la même zone d'un échantillon) est de l'ordre de quelques centièmes de nanomètre sur la valeur rms de la rugosité [26].

2.9.2- Le rugosimètre

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

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

✓ Le rugosimètre avec patin

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



Figure 0. Rugosimètre avec patin

✓ **Le rugosimètre sans patin**

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

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



*Figure 0.*Rugosimètre avec patin

2.9.3- Mesure tridimensionnelle

La caractérisation de l'état d'une surface ne peut se limiter à l'analyse d'une trajectoire. L'objectif recherché est la caractérisation et l'analyse de l'intégralité d'une surface ou d'une

portion de surface est pour connaître son relief, sa texture et ses défauts de surface. Les avancées technologiques repoussent toujours la connaissance et la mesure des états de surface. Ces dernières années ont vues un grand développement d'équipements destinés à la quantification de la topographie de surface, grâce à l'évolution : des appareils de mesure à contact (ajout d'un troisième axe de mesure). de la microscopie à haute résolution. du traitement de l'information et du traitement d'image. La mesure tridimensionnelle des états de surface dépasse le cadre du contrôle qualité des surfaces sur des produits industriels. L'image tridimensionnelle permet d'augmenter les possibilités d'analyse de la texture des surfaces. Elle est destinée davantage à la recherche et à l'expertise et permet ainsi d'optimiser la fonction pour laquelle est destinée une surface, frottement, adhérence, étanchéité, lubrification, écoulement, etc. Les problèmes rencontrés dans la mesure du profil de surface sont négligeables par rapport à ceux rencontrés dans la mesure tridimensionnelle qui sont communs à tous les instruments et sont comme suit :

- Maintenir des données de la hauteur précise entre les trajectoires.
- Adopter un model numérique approprié.
- Adopter un model d'échantillonnage qui permet a assez de zones d'être suffisamment couvertes avec un temps et un prix raisonnable.
- Maintenir une résolution suffisante pour détecter les défauts et autres caractéristiques non-standards [27]



Figure 2.14. Appareille de mesure tridimensionnelle

2.9.4- Profilomètre laser

Ces méthodes sont très proches de la méthode par contact, à savoir qu'elles nécessitent l'exploration de la surface au moyen d'une série de trajectoires parallèles régulièrement espacées par déplacement de l'échantillon ou de la source. Les coordonnées Z sont acquises à l'aide d'un capteur optique à source laser. La méthode peut être coaxiale ou basée sur le principe de la triangulation suivant que le faisceau émis et le faisceau réfléchi suivent le même trajet ou une trajectoire différente. La figure 2.3 illustre le principe d'un profilomètre laser. La méthode coaxiale nécessite un système de déplacement vertical permettant l'asservissement du point de focalisation du faisceau laser sur la surface. L'exploitation des données, calcul des paramètres et visualisation de la surface, se fait avec les mêmes outils que ceux utilisés par la méthode avec contact [24].



Figure 0. Profilomètre laser

2.9.5- Méthodes de mesure interférométrique

L'interférométrie est habituellement utilisée pour la mesure d'une longueur donnée par comparaison de deux chemins optiques. La figure 2.4 montre d'une façon simplifiée ce principe

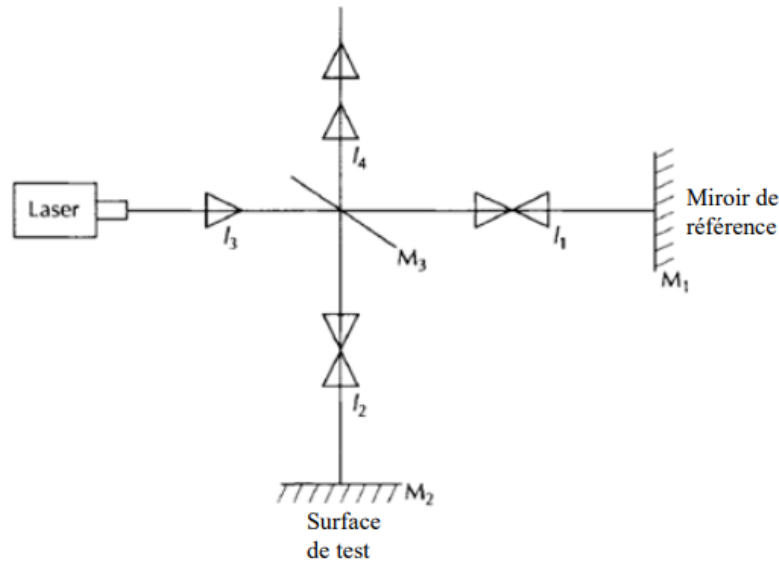


Figure 0. Principe de mesure interférométrique

La lumière d'une source est divisée à l'aide d'un miroir séparateur, une partie du faisceau est dirigé sur la pièce, l'autre sur un miroir de référence. Après réflexion, les deux faisceaux sont de nouveau superposés au niveau du miroir séparateur. Le chemin de référence est $l_3 + l_1 + l_4$ tandis que le chemin d'essai (à mesurer) a une longueur $l_3 + l_2 + l_4$, la comparaison doit se faire entre l_1 et l_2 et leur combinaison dépend de leurs différences de phase parfois en les additionnant et parfois en les soustrayant sous une lumière cohérente. Si le miroir M_1 est fixe, la longueur l_2 peut être déterminée en comptant le nombre de maxima vue par l'œil, chaque maxima correspond à une différence de marche de $\lambda/2$ entre l_1 et l_2 , le balayage des deux miroirs M_1 et M_2 est normal (perpendiculaire) [28].

2.9.6- Méthode de Tolansky

Tolansky [Tol48] a placé un bloc de verre plat dont il a recouvert la face inférieure d'une couche uniforme d'argent qui est le miroir de référence M_1 sur une surface de test M_2 qui peut être considéré comme une succession de miroirs sur toute sa longueur (voit Fig. 2.5 (a) et Fig. 2.5 (b)) Supposons que le miroir à tester a autant de miroirs de références situé juste au dessus, chaque pair de miroir correspond à la mesure interférométrique qu'on a vue précédemment (Fig. 2.4). Cette configuration produit des maxima d'intensité ou la différence de chemin optique entre le bloc de verre et la surface est en phase produisant une ligne de contour dans le plan XY. En outre, il peut y avoir des réflexions multiples entre chaque surface M_1 et M_2 , cela renforce le signal et réduit le niveau de bruits. La figure 2.5 (c) montre une vue schématique et la figure 2.5 (d) montre la manière de produire les franges ressemblant au profil. Cette méthode ne fonctionne qu'avec les surfaces relativement rugueuse et qui reflète assez bien la lumière. Pour chaque forme d'onde moyenne six à huit miroirs peuvent être pris en considération. L'inconvénient de cette méthode est que la surface

d'essai doit avoir la même forme que la surface de référence si non il va y avoir la formation de beaucoup de franges [28].

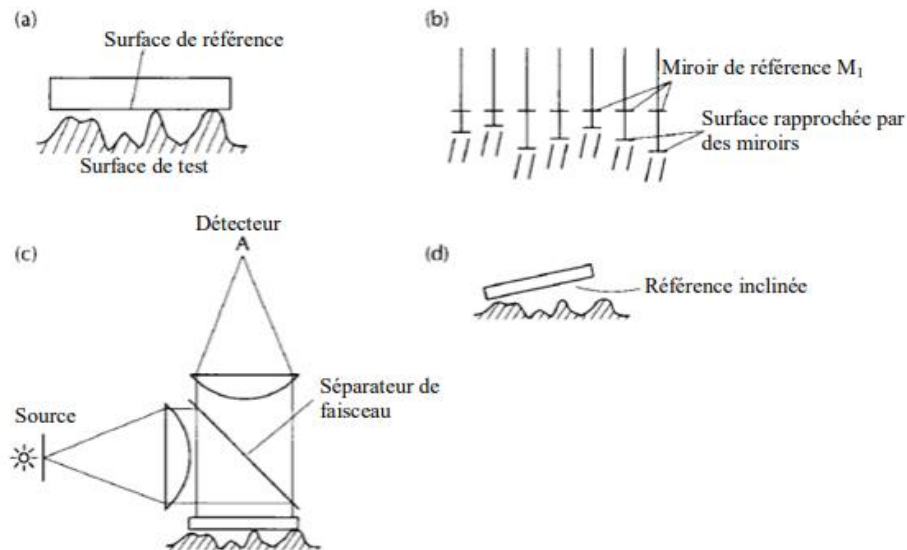


Figure 0. Méthodes de Tolansky

2.10-Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique (palpage)

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

METHODE MECANIQUE	METHODE OPTIQUE
Endommagement possible	Pas d'endommagement
Mesure la géométrie	Mesure le chemin optique
La pointe peut se casser	La sonde ne peut pas être cassée
Insensible à l'inclinaison de la pièce	Ne permet qu'une inclinaison limitée.
Vitesse relativement lente	Le balayage peut être très rapide

Tab. 3.1. Comparaison entre la méthode mécanique et la méthode optique

A partir du tableau 2.1 on constate que chaque méthode possède des avantages et des inconvénients et par conséquent que le choix de chaque méthode doit se faire d'une manière judicieuse.

2.11-Conclusion

Les notions fondamentales de la rugosité de surface ont été bien examinées dans ce chapitre avec une présentation des différents critères de rugosité. On est évoqué les différents mécanismes d'usure des outils qui ont lieu lors d'une opération de coupe. Aussi un état des lieux des connaissances des modes d'usure dans le cas de l'usinage

Chapitre 03 : L'étude expérimentale

3.1-Introduction

Les paramètres de la coupe sont, d'une part, des grandeurs qui caractérisent, les déplacements de l'outil et de la pièce usinée (paramètres de coupe cinématiques) et, d'autre part, les valeurs des surépaisseurs d'usinage et des dimensions de coupe (paramètres de coupe géométriques)

Les paramètres de coupes utilisées pendant l'expérience sont représentés comme suit :

- ✓ L'avance par tour
- ✓ Vitesse d'avance
- ✓ Section de copeau

3.2-Donné expérimentale

✓ Pièce utilisée

Pour la manipulation en tournage, on a utilisé des pièces cylindriques de diamètre 45mm, et de longueur 135mm, la longueur usinée est de 100mm.

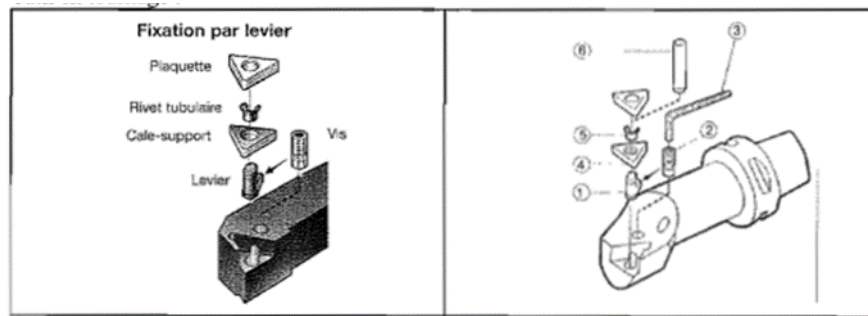
Le matériau usiné est du C45 (XC48), matière dure dans une opération de chariotage en tournage. Le nombre d'éprouvettes à expérimenter est de 45. Elles sont débitées à la scie mécanique puis elles sont mise à la cote en dressant les deux cotés à 135mm , puis on les a centrer en vue d'un montage entre – pointe afin de procéder à la vérification de la cylindricité des éprouvettes .Pour cela , on les a dégrossi au Ø45mm , sur une longueur de 125mm.

Nomenclature commerciale	Norme AFNOR NFA 35-501	EN 10027-1	Teneur en carbone	Dureté	Rr (N/mm ²)	Re (N/mm ²)
ACIER DUR	XC48F	C45	0,45%	210HB	660	375

Tab 4.1 – Caractéristique de matériau

✓ **Outil utilisée**

L'outil est en carbure métallique. Désignation normalisée : TNMG 16-04-04 (P10 TIN)



P. BOURDET - (Maitrise de Technologie Mécanique PARIS 6-ENS de Cachan)

Figure4.1-Outil

✓ **Machine utilisée**

TOUR parallèle à charioter et fileter ERNAULT SOMUA [Cholet 350]



Figure 4.2- TOUR parallèle Cholet 350

• **Caractéristiques dimensionnelles**

Diamètre admis au-dessus s du banc.....	350 mm
Diamètre admis au dessus de la coulisse transversale	172 mm
Distance entre pointes.....	920 mm
Broche percée à38 mm
Conicité intérieure de la broche.....	CM5
Conicité de la contre poupée.....	CM4
Course maximum du chariot transversal	200 mm
Course maximum du trainard.....	690 mm
Course maximum du fourreau de la contre poupée.....	120 mm

- Diamètre du fourreau de la contre poupée..... .60 mm
- Nombre de vitesses de broche..... . 12
- **Caractéristiques Cinématiques et dynamiques**
- Puissance du moteur 5.5 kW
- Vitesse de broche 40 à 2000 tr/min
- Rapport Harnais / Volée 1 / 8
- Avances longitudinales..... 0 à 1.8 mm/min
- Avances transversales..... 0 à 1.8 mm/min
- Valeurs extrêmes des avances transversales..... 0.009 à 5.6 mm
- (L x l x H) 2200 x 1040 x 1200 mm

Poids machine approximatif 1200 Kg

Mandrin 3 mors diam. 250

Mandrin 4 mors diam. 250

Tourelle Carrée + 2 portes outils

Eclairage et arrosage

- **Gamme des vitesses(tr/mn)**

V (640 - 800-1000 -1260 -1600 -2000)

H (160 – 200 -250 – 320 – 400 – 500)

H (45 – 57 -71 -90 – 114 – 142)

I	<u>Avance f (mm /tr)</u>						
	1	2	3	4	5	6	7
A	0 ,25	0,281	0,3125	0,3435	0,375	0,406	0,4375
B	<u>0,5</u>	0,562	0,625	0,687	0,75	0,812	0,875
C	<u>1</u>	1,125	1,25	1,375	1,5	1,625	1,75
D	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5

Tab 4.2 : Avance par tour

3.3- Résultat expérimentale

Cette série d'expérience concerne chariotage d'un arbre en acier de construction, avec un outil en carbure métallique. Les régimes de coupe employés sont la vitesse de coupe (V_c), l'avance par tour (f) et la profondeur de passe (a). Les paramètres de sortie étant les composantes de coupe, surfaces obtenues « surfaces usinées » voir les tableaux ci-dessus

N°Pièce	V_c (m/mn)	f (mm/tr)	V_f (mm/mn)	a_p (mm)	S (mm ²)	R_a (μ m)	Lu (mm)	T_u (s)	T° ($^\circ$ C)
1	90,5	0,137	87.68	1	0,137	1,94	25	16,66	213
							50	33,32	196
							75	49,98	212
							100	64,66	286
2	90,5	0,175	112	1	0,15	2,65	25	12,95	265
							50	25,90	260
							75	38,85	291
							100	51,80	297
3	90,5	0,2	128	1	0,2	3,36	25	11,66	203
							50	23,32	195
							75	34,98	214
							100	46,64	216

Tab. 4.3. Résultats expérimentaux pour $v_c=90,5$ m/mn, $a_p=1$

N°Pièce	V_c (m/mn)	f (mm/tr)	V_f (mm/mn)	a_p (mm)	S (mm ²)	R_a (μ m)	Lu (mm)	T_u (s)	T° ($^\circ$ C)
4	113	0,137	109,6	2	0,274	1,95	25	13,51	257
							50	27,02	273
							75	40,53	283
							100	54,04	287
5	113	0,175	140	2	0,350	2,80	25	10,74	262
							50	21,48	288
							75	32,22	300
							100	42,96	308
6	113	0,2	160	2	0,40	3,66	25	09,05	277
							50	18,10	297
							75	27,15	320
							100	36,20	324

Tab. 4.4. Résultats expérimentaux pour $v_c=113$ m/mn, $a_p=2$

N°Pièce	Vc (m/mn)	f (mm/tr)	Vf (mm/mn)	ap (mm)	S (mm ²)	Ra (μm)	Lu (mm)	Tu (s)	T° (°C)
7	178	0,137	172,6	3	0,411	1,78	25	08,98	319
							50	17,96	332
							75	26,94	344
							100	35,92	347
8	178	0,175	220	3	0,525	3,14	25	06,86	312
							50	13,72	338
							75	20,58	360
							100	27,44	368
9	178	0,2	252	3	0,60	3,60	25	06,10	320
							50	12,20	347
							75	18,30	348
							100	24,40	352

Tab. 4.5. Résultats expérimentaux pour $v_c=178\text{m/mn}$, $a_p=3$

3.4- L'effet de l'avance par tour sur la rugosité

La variation de la rugosité moyenne en fonction de l'avance par tour est illustrée par les figures 4 ;5 ;6 pour différent vitesse de coupe. Les résultats montrent que la rugosité augmente en général avec l'avance par tour. On remarque pour la même valeur d'avance par tour 0,15 (mm/tour) une augmentation de la rugosité avec la vitesse de coupe. Cette tendance est en accord avec la théorie basée sur la géométrie de l'usinage et qui prédit que la rugosité théorique est proportionnelle à l'avance. D'après cette représentation la combinaison de la profondeur de passe la plus petite et la vitesse de coupe la plus grande donne la meilleure rugosité.

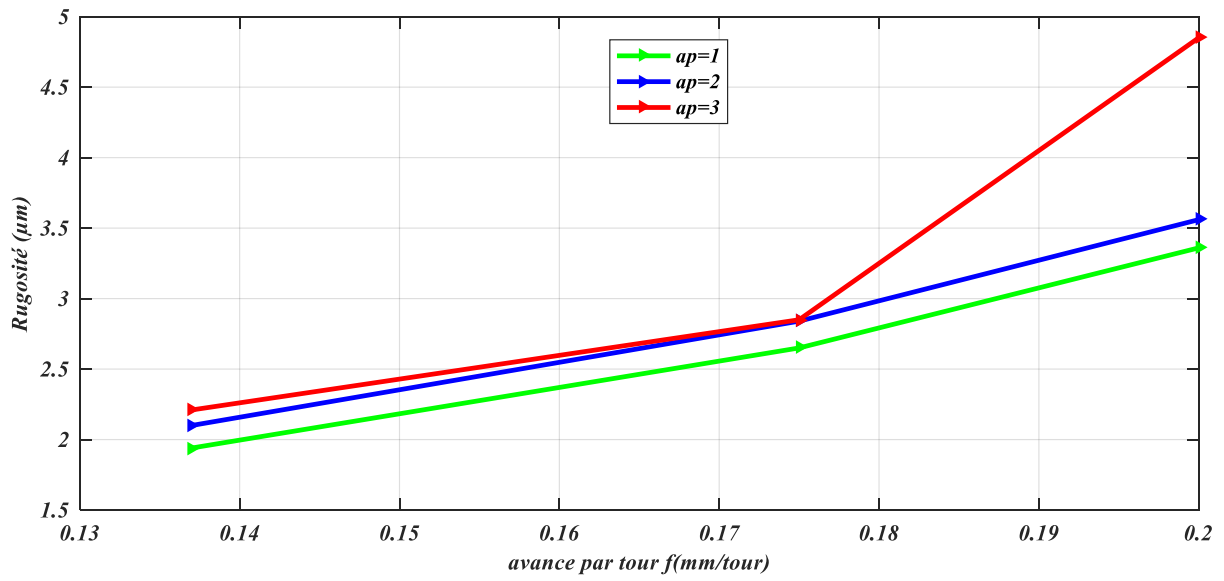


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=90,5\text{m/mn}$

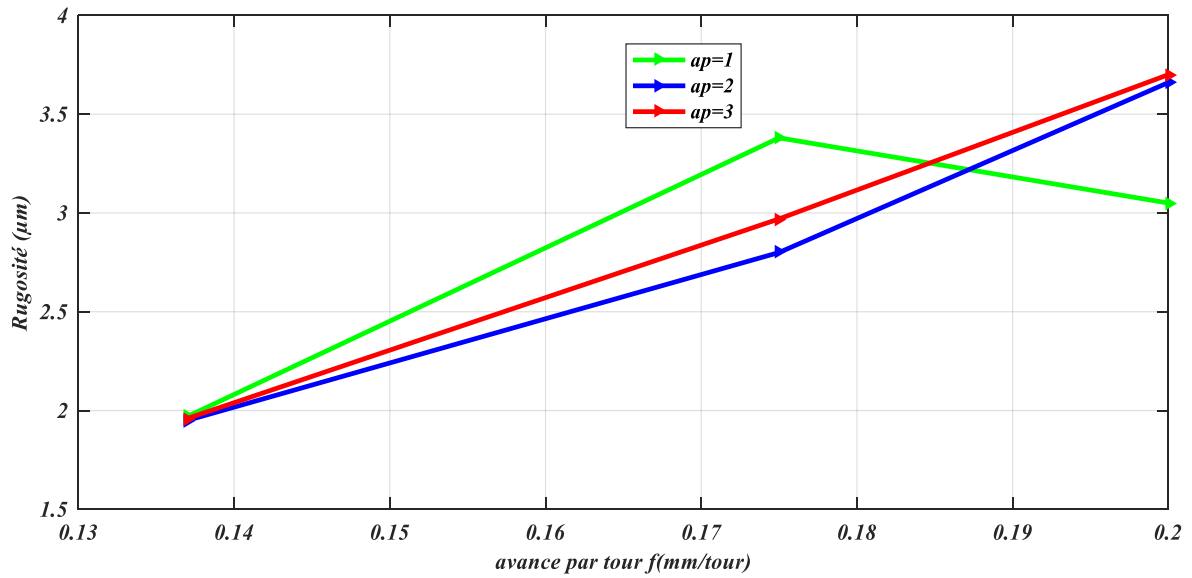


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=113\text{m/mn}$

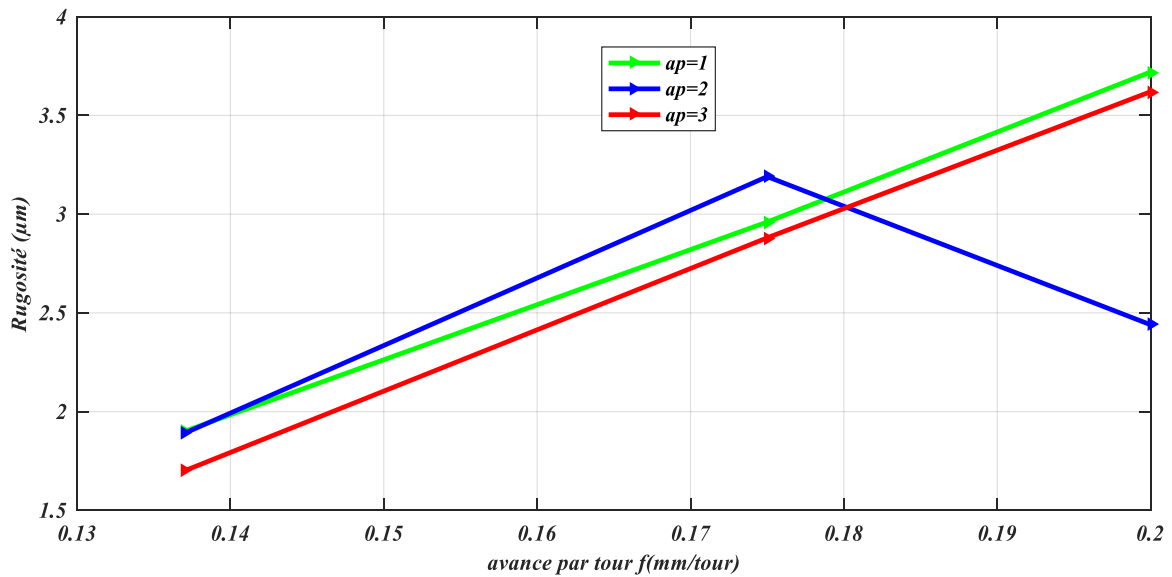


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de l'avance par tour pour $v_c=141.5\text{m}/\text{mn}$

3.5-L'effet de la vitesse d'avance sur la rugosité

Les figures 3 et 4 montrent la variation de la rugosité moyenne en fonction de la vitesse d'avance pour différentes vitesses de coupe (90,5 ; 113 ; 178 m/mn) et profondeur de passe (1 ; 2 ; 3 mm) respectivement. Il apparaît que l'usinage à des vitesses d'avances élevées maintient R_a à des valeurs supérieures. Il est remarquable que la rugosité augmente graduellement avec la croissance de la profondeur de passe et la vitesse de coupe. Il apparaît que les avances et les profondeurs les plus petites donnent des rugosités très petites.

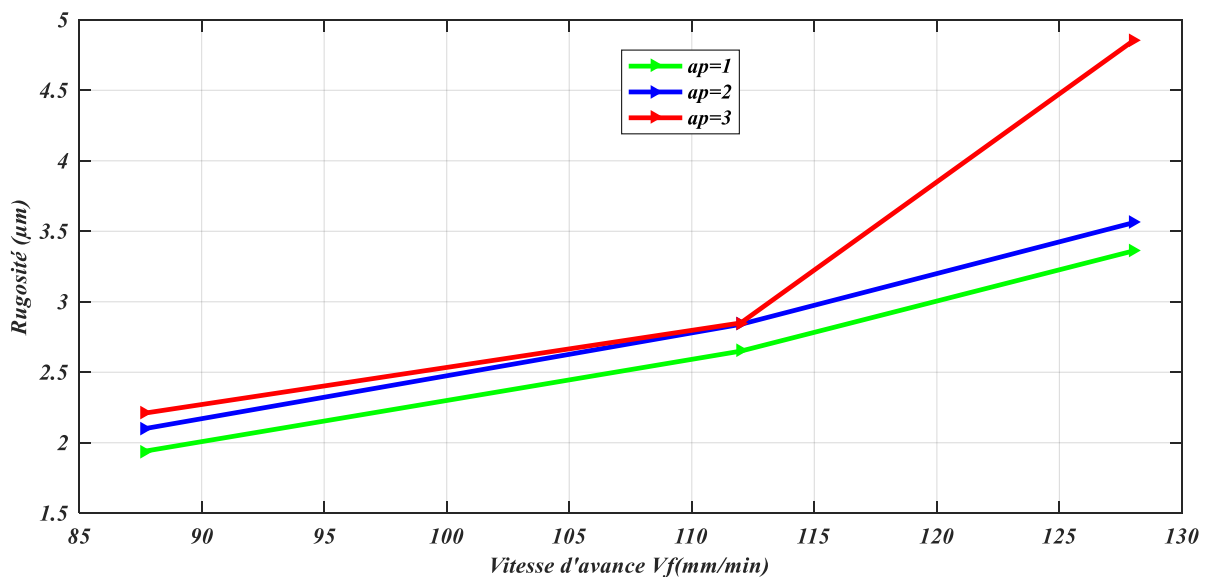


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=90,5\text{m}/\text{mn}$

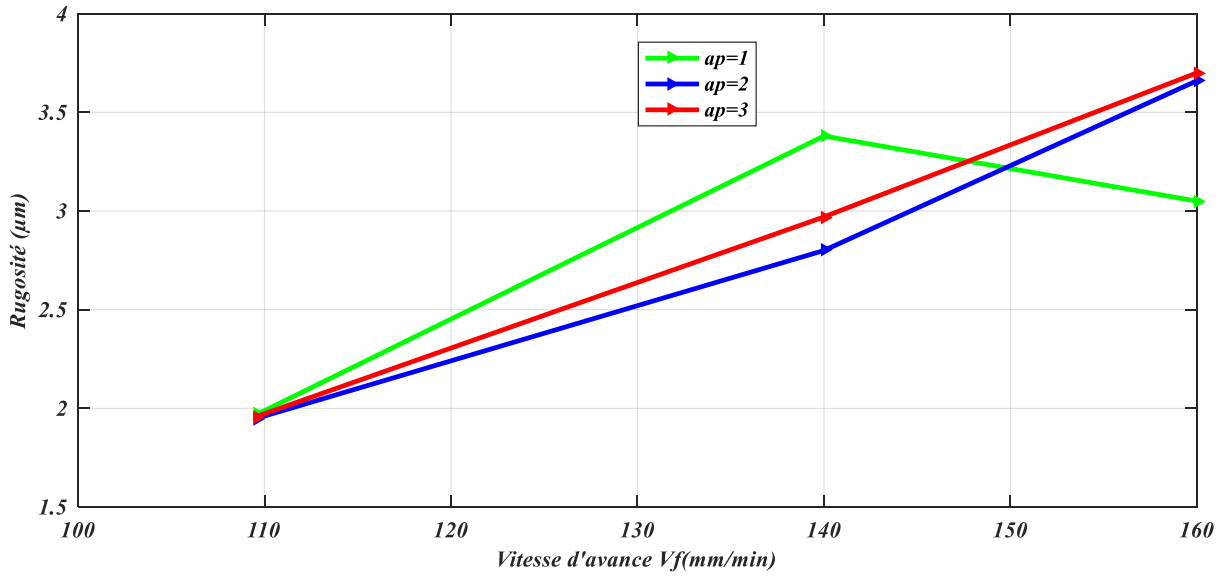


Figure 0.évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=113\text{m/mn}$

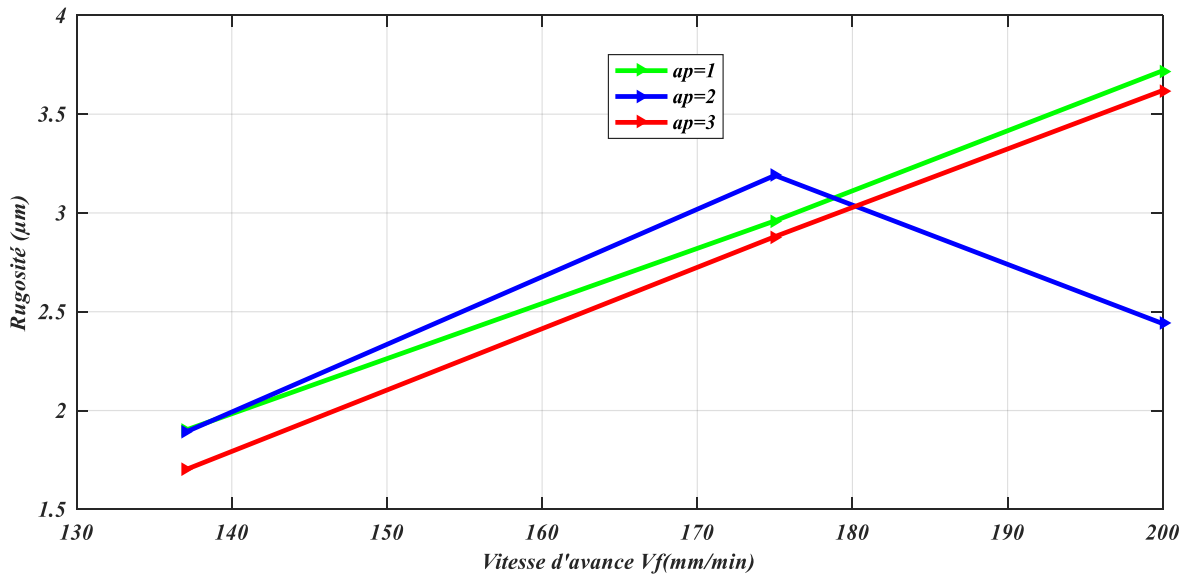


Figure 0.évolution de la rugosité en fonction de la Vitesse d'avance pour $v_c=141.5\text{m/mn}$

3.6- L'effet de la section de copeau sur la rugosité

D'après les figures L'analyse de l'évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau aux différentes vitesses de coupe $V_c= 90.5, 113, \text{ et } 141.5\text{m/min}$, et avec profondeur de passe $a_p=1\text{mm}, a_p=2\text{mm}, a_p=3\text{mm}$ respectivement d'une manière générale on observe une évolution croissante de la rugosité plus ou moins rapide suivant la section de copeau.

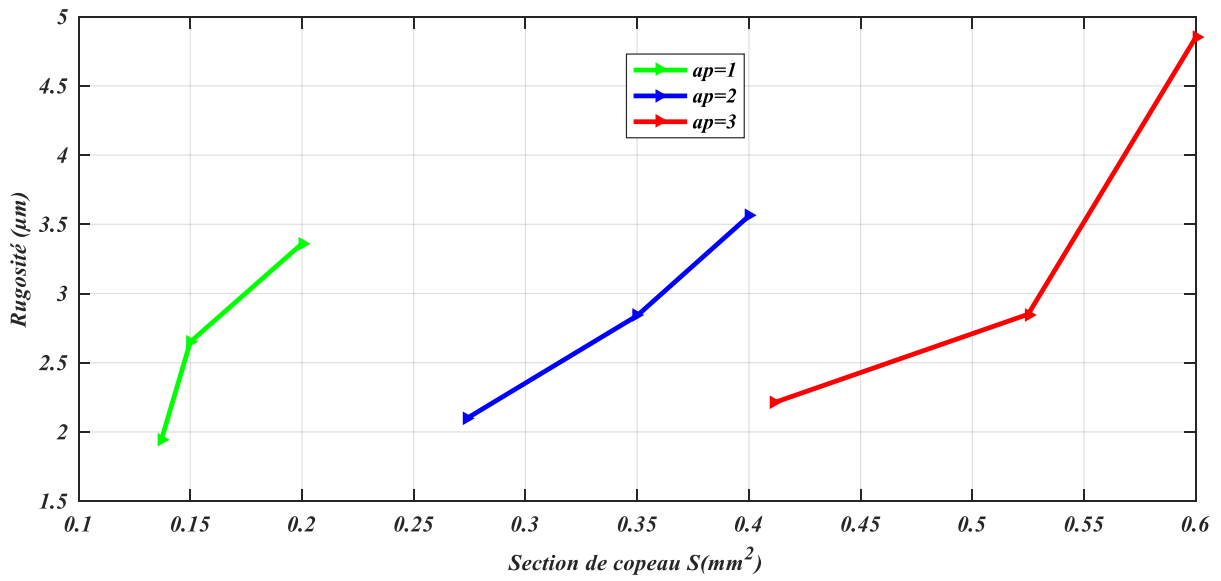


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $vc=90,5\text{m/min}$

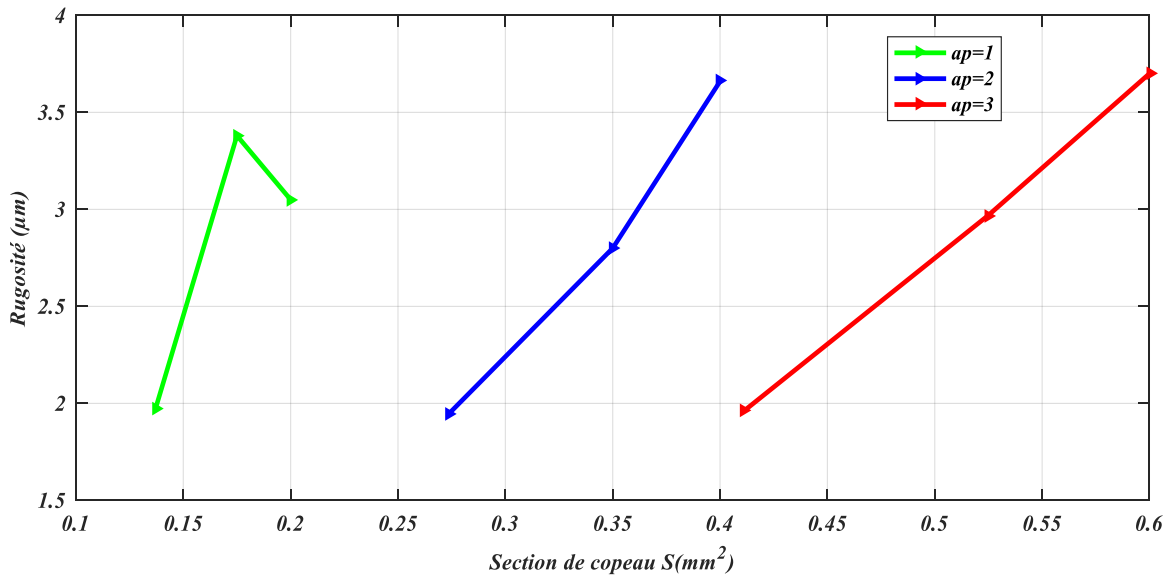


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $vc=113\text{m/min}$

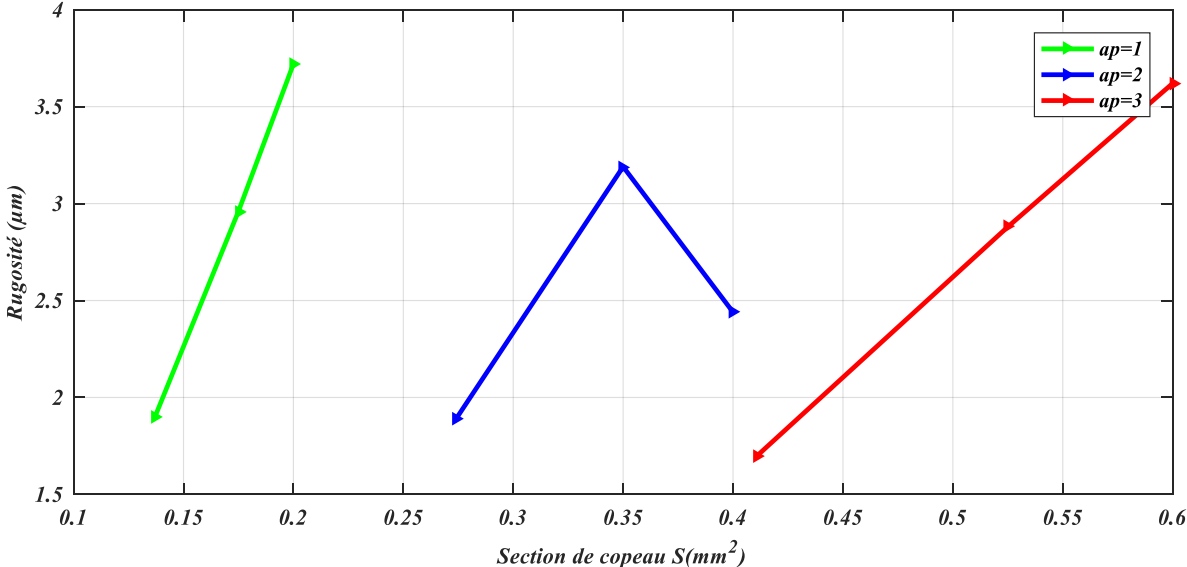


Figure 0. évolution de la rugosité en fonction de la section de copeau pour $vc=141.5m/mn$

Conclusions générales

Ce mémoire est une initiation à étudier une opération du procédé de tournage sur une pièce d'acier et l'étude de l'influence des phénomènes induits lors de cette opération.

Les deux premiers chapitres de notre recherche bibliographique a montré qu'il est nécessaire de connaître l'évolution du procédé d'usinage ainsi que toutes les étapes importantes lors du processus de fabrication. Les différents procédés d'usinage ont été cités du fait que notre travail s'est concentré sur une opération du procédé de tournage.

مخ La deuxième partie de notre recherche bibliographique a montré l'importance de la coupe des métaux qui parfois est difficilement réalisable car d'une part, elle est sujette aux conditions de coupe et d'autre part, les paramètres de coupe utilisés lors de l'usinage influent d'une manière importante sur l'état de surface. Cependant, l'utilisation adéquate des paramètres de coupe peut améliorer cet état de surface. Un mauvais choix de paramètre de coupe conduit l'obtention d'un mauvais état de surface.

L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à étudier l'effet de l'état de surface d'un acier XC48.

On peut conclure que la rugosité dépend directement de régime de coupe et en particulier l'avance.

Enfin, ce travail nous a permis :

- D'étudier le phénomène de l'état de surface,
- Grace aux paramètres de coupe, il est possible d'étudier l'évolution du système outil pièce.
- Les surfaces de réponses permettent d'apprécier l'influence de l'avance et de rayon de bec sur l'état de surface lors de l'application des plans d'expériences.
- L'augmentation de chacun des facteurs influant la rugosité, vitesse de rotation, l'avance et le rayon de bec font augmenter la rugosité.
- Les faibles avances permettent de diminuer la rugosité.
- Les valeurs de la rugosité totale R_t et R_a sont obtenues par la méthode des plans d'expériences. Le même principe est pris en considération à savoir trois différentes valeurs du rayon du bec.

Nous bénéficions de cette expérience que nous pouvons produire des pièces de haute qualité et longue durée de vie. En plus de produire le plus de pièces en moins de temps et avec un minimum d'effort, grâce au réglage contrôlable des paramètres de coupe et à leur ajustement à l'échelle parfaite.

Références bibliographiques

- [1] Alexandre Toumine, «Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France 2007
- [2] Alain Passeron, « Tournage », Article BM 7086, Technique de l'ingénieur, 1997
- [3] Maamri Deyaeddine, NECIB Abderrahmane. Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage. Mémoire master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla. Soutenu le 07/06/2015
- [4] Procédés d'usinage souhir gara ingénieur de l'ENI de Tunis Les pages : 10.11.12.13..16.17.18.19.45.140.141...142
- [5] Utilisation d'un tour <http://serge79.over-blog.com/article-la-vitesse-de-coupe-45528985.html>.
- [6] Madani Mohammed Saïd et Ghouini Rabah, Mémoire de fin d'étude d'un diplôme de Master thème Amélioration des paramètres Technologiques de coupe en tournage
- [7] Dr Lakhdar BOUZID thèse doctorat Optimisation des conditions de coupe et analyse de leur effet sur les paramètres technologiques d'usinage -Application à l'usinage de l'acier inoxydable X20Cr13-(2015)
- [8] Belloufi A. Cours Procédés de Fabrication, Master Maintenance Industrielle, Université KasdiMerbah Ouargla. 2010
- [9] Kane Malal, contribution à l'étude de l'influence de la rugosité et des effets non newtoniens dans les contacts sévères lubrifiés, institut national des sciences appliquées de Lyon 2003.
- [10] P.Yves Manach, S.Thuillier, H.Laurent, N.Le Maoût, R.Grèze ; Mise en forme des matériaux métalliques par déformation plastique : influence du comportement matériel, Laboratoire d'ingénierie des Matériaux de Bretagne LIMATB Université de Bretagne Sud, 14ème Colloque National de la recherche en IUT Lyon 2008.
- [11] Gaceb Mouhamed et Brahmi Sadek, Etude de l'influence de l'état de surface sur la tenue à la fatigue du XC48, (laboratoire de fiabilité des équipements pétroliers et matériaux) université M'hamed Bougarra de Boumerdes, Algérie.
- [12] Jacques Boulanger. Tolérances et écarts dimensionnels, géométriques et d'états de surface, sous la direction Eric Felder, BM 74 technique de l'ingénieur. Janvier 2000.

- [13] Cheung C.F, W.B. Lee. A theoretical and experimental investigation of surface roughness formation in ultra-precision diamond turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* (40) 979–1002. 2000
- [14] Bedrin. C, Roumesy. B. *Usinage par outil coupant, Fascicule 1-2*, INSA-Lyon, 1989
- [15] Conception et dessin (memotech) 7e édition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines Les pages : 130.131.132.133.134.135.136.
- [16] CETIM, Les états de surface -Description-Elaboration-Mesure, Note technique N°18, 1979
- [17] http://www.sandvik.coromant.com/fr/fr/knowledge/materials/measuring_surfaces/pages/default.aspx
- [18] Enache S. *La qualité des surfaces usinées*, Dunod, Paris 1972
- [19] Dawson. T. G. *Machining hardened steel with polycrystalline cubic boron nitride cutting tools*, Gorgia institute of technology. 2002
- [20] Poulachon. G, *Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage CBN des aciers durcis*, Thèse de doctorat de l'ENSAM de Cluny, 1999
- [21] Philippe Depeyre. *Fabrication mécanique*, Faculté des sciences et technologies, Université de la Réunion, pp 1-17. 2005
- [22] https://public.iutenligne.net/mecanique/mecanique-des-fluides/courtin/Mecanique_des_fluides_formulaire/co/module_Mecanique%20des%20fluides%20formulaire_5.html.
- [23] David J Whitehouse. *Handbook of Surface and Nanometrology*. Institute of Physics Publishing, 2003.
- [24] J. Barton, C. Guillemet. *Le verre : science et technologie*. EDP Sciences, 2005
- [25] Hicks T R and Atherton P D. *The micropositioning book*. London: Penton Press, 2000 .
- [26] Ashby M F. «On materials and shapes.» *Acta Metall* 39 (1991): 1025-39
- [27] Tsukada T and Sasajima K. «3D measuring technique for surface asperities.» *Wear* 71 (1981): 1-14.
- [28] Brodeman R. «Roughness Form and Waviness Measurement by Means of Light Scattering.» *Prec. Eng* 8 (1986): 221-226.

Annexe 1

Matériaux métalliques	Émissivité
Aluminium non oxydé	0.09
Aluminium oxydé	0.20 - 0.55
Aluminium poli	0.05
Laiton oxydé	0.50
Laiton poli	0.03 - 0.05
Carbone Graphite	0.40
Carbone Chrome	0.10
Cuivre oxydé	0.40 - 0.80
Cuivre poli	0.03
Or	0.02
Fer oxydé	0.50 - 0.90
Fer non oxydé (épaisseur >20mm)	0.15
Rouillé	0.50 - 0.70
Fer fonte oxydée	0.60 - 0.95
Fer fonte non oxydée	0.20
Fer fonte Fondu	0.20 - 0.30
Fer forgé terne	0.70
Fer forgé lisse	0.30
Plomb poli	0.50 - 1.0
Plomb oxydé	0.40 - 0.60
Monel (NiCuMo)	0.10 - 0.40
Nickel non oxydé	0.10
Nickel oxydé	0.20 - 0.50
Platine poli	0.30
Platine Noir	0.09
Platine Ardent	0.03
Acier Laminé à froid	0.70 - 0.90
Acier Meulé	0.40 - 0.60

Matériaux métalliques	Émissivité
Acier poli	0.20
Acier oxydé	0.70 - 0.90
Inox	0.20
Zinc oxydé	0.10
Zinc poli	0.03
Zinc galvanisé	0.20

Procédés	Rugosité R_a en microns												
	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025			
Alésage	outil acier rapide		■	■	■	■	■					valeurs exceptionnelles	
	outil carbure ou diamant ou céramique à alésoir			■	■	■	■	■					
	Brochage			■	■	■	■	■					
	Électro-érosion		■	■	■	■	■	■					
Fraisage en bout	outil acier rapide		■	■	■	■	■	■					
	outil carbure		■	■	■	■	■	■					
Fraisage en roulant	outil acier rapide		■	■	■	■	■	■					
	outil carbure		■	■	■	■	■	■					
Galetage								■	■	■			
Grattage													
Limage		■	■	■	■	■	■	■					
Meulage au touret		■	■	■	■	■	■	■					
Mortaisage													
Perçage au foret		■	■	■	■	■	■	■					
Polissage	mécanique								■	■	■		valeurs usuelles
Rabotage		■	■	■	■	■	■	■					
Rectification	cylindrique												
	plane												
Rodage	à la pierre												
	au rodoir												
Sciage main ou mécanique		■	■	■	■	■	■	■					
Superfinition									■	■	■		
Taillage	fraise mère												
Tournage	outil acier rapide	■	■	■	■	■	■	■					
	outil carbure ou diamant ou céramique			■	■	■	■	■					