



Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE MECANIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : FABRICATION MECANIQUE ET  
PRODUCTIQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

### ***Le choix de la géométrie de l'outil et son influence sur la rugosité de surface***

Présenté par : *Aouissi Bourhane eddine*

Encadrant : *Dr. Nehal Abdelaziz*

MCA

Université Badji mokhtar - annaba-

### Jury de Soutenance :

Dr. BENCHIHEUB SLIMANE	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Président
Dr. NEHAL ABDELAZIZ	MCA	Université Badji mokhtar - annaba	Encadrant
Dr. BOUZIANE ABDERAHIM	MAB	Université Badji mokhtar - annaba	Examineur

Année Universitaire : 2024/2025

# *Remerciements*

Avant d'entamer ce travail, je tiens à remercier dieu le tout puissant de m'avoir muni de force et de bonne volonté pour arriver à ce stade de mon cursus universitaire.

Un grand merci à mes parents pour leur contribution, leurs soutiens et leurs patiences, je tiens à exprimer ma grande reconnaissance envers eux.

Je tiens à remercier mon encadrer tuteur **Dr. NEHAL ABDELAZIZ** qui a bien voulu accepter de suivre mon travail, me diriger et qui n'a pas hésité à me donner des précieux conseils, me consacrer du temps et de m'écouter afin de mener ce travail à terme.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à tout le personnel de l'entreprise Ferroviaire particulièrement l'équipe de l'atelier **B3** pour leur aide et tout le soutien académique, pratique et psychologique qu'ils m'ont apporté. Je ne les oublierai jamais.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à :

Toute ma famille

Mes amis et mes camarades de classe

A tout ceux qui ont été à mes côtés dans les moments  
difficiles.

# *Table des matières*

## **Chapitre I : Généralités sur l'usinage**

<b>I. Généralités sur l'usinage :.....</b>	<b>1</b>
I.1 Le But de L'usinage : .....	1
I.2 Les procédés d'usinage : .....	3
I.3 Les paramètres de coupe : .....	3
I.3.1 La vitesse de coupe $V_c$ [m/mn] : .....	4
I.3.2 La fréquence de rotation $N$ [tour/min] : .....	4
I.3.3 L'avance $f$ ou $f_z$ [mm/tour] : .....	4
I.3.4 La vitesse d'avance : .....	5
I.3.5 La profondeur de passe: .....	5
I.3.6 La section du copeau : .....	5
I.4 Les Zones de coupe : .....	5
I.5 Paramètres géométriques de coupe : .....	6
I.6 Éléments d'outil : .....	7
I.6.1 Faces et arêtes de l'outil : .....	7
I.6.2 Angles de l'outil : .....	9
I.6.3 Outil de coupe à plaquette rapportée : .....	11
I.6.4 Matériaux de l'outil : .....	12
I.7 Le Tournage mécanique : .....	13
I.7.1 Principe de tournage : .....	14
I.7.2 Les principales opérations de tournage : .....	15
I.8 Machine-outil pour tournage : .....	17
I.9 Différents types de tours : .....	17
I.9.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter : .....	17
I.9.2 Les tours à copier : .....	18
I.9.3 Les tours semi-automatiques : .....	18
I.9.4 Les tours automatiques : .....	19
I.9.5 Les Tours conventionnels : .....	20
I.9.6 Les tours automatiques multibroches : .....	20
I.9.7 Les tours à commande numérique : .....	20
I.10 Les portes pièces : .....	20
I.10.1 Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces: .....	21

I.11	Conclusion : .....	23
------	--------------------	----

## **chapitre II: La rugosité de surface**

<b>II.</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>25</b>
II.1	Rugosité : .....	25
II.2	Les défauts d'états de surface : .....	25
II.2.1	Ordre 1 : défauts de forme : ordre 1 : .....	26
II.2.2	Ordre 2 : défauts macrographiques, ondulation : .....	27
II.2.3	Ordre 3 : stries ou sillons : .....	27
II.2.4	Ordre 4 : arrachement de matière : .....	28
II.3	Différents types de lignes : .....	28
II.3.1	Ligne moyenne: .....	28
II.3.2	Lignes de référence : .....	29
II.4	Paramètres de rugosité uni- dimensionnelle : .....	31
II.4.1	Paramètres d'amplitude de rugosité : .....	31
II.5	Principaux paramètres de la rugosité : .....	34
II.6	Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe : .....	34
II.7	Paramètres liés à la ligne moyenne : .....	35
II.7.1	Au niveau de la longueur de base : .....	35
II.7.2	Au niveau de la longueur d'évaluation : .....	36
II.8	Paramètres liés à la distribution d'amplitude : .....	37
II.8.1	Distribution d'amplitude : .....	37
II.9	Mesure de la rugosité : .....	38
II.10	Techniques d'amélioration des états de surface : .....	38
II.10.1	La Rectification : .....	38
II.10.2	Matériaux : .....	40
II.10.3	Superfinition : .....	40
II.10.4	Le lubrifiant : .....	41

## **Chapitre III: Partie expérimentale**

<b>III. Introduction:</b>	<b>45</b>
III.1 Mâtereaux utilisé :	45
III.1.1 Les désignations de la matière :	45
III.1.2 Composition chimique :	45
III.1.3 Propriétés physique et mécanique :	45
III.1.4 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :	46
III.1.5 Domaine d'application :	46
III.2 Machine-outil utilisés :	47
III.3 Outil de coupe utilisé:	47
III.4 Rugosimètre utilisé :	49
III.5 Régime de coupe :	50
III.6 Préparation des éprouvettes d'essais :	50
III.6.1 Programme d'usinage de la pièce (G code) :	51
III.7 Présentation du mode de travail :	53
III.8 Routage d'usinage :	54
III.8.1 Opération de Chariotage Finition :	54
III.8.2 Comparaison entre les résultats obtenus de Ra et Rq avec et sans lubrification pour les 4 essais :	66
Le premier usinage :	66
Le deuxième usinage :	66
Discussions :	69
III.9 Conclusion :	69

# *Liste des figures*

## **Chapitre I :**

<b>Figure I.1:</b> L'usinage mécanique .....	1
<b>Figure I.2:</b> Phénomène de la coupe .....	3
<b>Figure I.3 :</b> La vitesse de coupe .....	4
<b>Figure I.4:</b> La vitesse d'avance .....	5
<b>Figure I.5:</b> Représentation des zones des cisaillements. [5] .....	6
<b>Figure I.6:</b> Les paramètres géométriques de coupe .....	7
<b>Figure I.7:</b> Arêtes et parties actives d'un outil de tournage.....	8
<b>Figure I.8:</b> Mouvement relatif outil/pièce en tournage .....	9
<b>Figure I.10:</b> Angles du taillant (outil en main) .....	9
<b>Figure I.11:</b> Angles du taillant (outil en travail) .....	10
<b>Figure I.12:</b> Angles et plans principaux d'un outil à tranchant unique.....	11
<b>Figure I.13:</b> Plaquettes.....	12
<b>Figure I.14:</b> Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant.....	13
<b>Figure I.15:</b> Le tournage mécanique.....	14
<b>Figure I.16:</b> principe de tournage mécanique .....	14
<b>Figure I.17:</b> les diverses opérations d'usinage.....	15
<b>Figure I.18:</b> Composantes d'un tour.....	17
<b>Figure I.19:</b> Tour parallèle à charioter et à fileter .....	18
<b>Figure I.20:</b> les tours à copier .....	18
<b>Figure I.21:</b> tour semi-automatique.....	19
<b>Figure I.22:</b> tour automatique CNC .....	19
<b>Figure I.23:</b> Tour conventionnel .....	20
<b>Figure I.24:</b> Différents montages possibles utilisant des équipements standards.....	22

## **Chapitre II :**

<b>Figure II.1:</b> Analyse d'une surface [17] .....	26
<b>Figure II.2:</b> Défauts d'ordre 1 [16] .....	26
<b>Figure II.3:</b> Défauts d'ordre 2 [16].....	27
<b>Figure II.4:</b> Défauts d'ordre 3 [16] .....	27

<b>Figure II.5:</b> Défauts d'ordre 4 [14] .....	28
<b>Figure II.6 :</b> la ligne moyenne [17] .....	28
<b>Figure II.7:</b> La présentation de la longueur de base .....	29
<b>Figure II.8:</b> Ligne moyenne arithmétique.....	30
<b>Figure II.9 :</b> ligne enveloppe inférieure et supérieure [16].....	30
<b>Figure II.10:</b> Paramètre liés aux motifs .....	35
<b>Figure II.11:</b> Paramètre liés à la longueur de bas.....	35
<b>Figure II.12:</b> Paramètres liés à la longueur d'évaluation.....	36
<b>Figure II.13:</b> Paramètres liés à la distribution d'amplitude .....	37
<b>Figure II.14:</b> Rugosimètre.....	38
<b>Figure II.15:</b> Opération de la Rectification [21] .....	39
<b>Figure II.16:</b> Technique de superfinition pour obtenir une surface a très faible rugosité [22].	41
<b>Figure II.17:</b> Le lubrifiant .....	41

### **Chapitre III:**

<b>Figure III.1:</b> Le brut .....	46
<b>Figure III.2:</b> Le tour CNC DMG MORI CLX 350 2 axes.....	47
<b>Figure III.3:</b> plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200.....	47
<b>Figure III.4:</b> Outil à tronçonner .....	48
<b>Figure III.5 :</b> rugosimètre TR220 (2D) .....	49
<b>Figure III.6:</b> Dessin de montage de l'arbre (montage mixte).....	50
<b>Figure III.7:</b> Photo de l'éprouvette montée sur le tour. ....	50
<b>Figure III.8:</b> :Le dessin de définition .....	51
<b>Figure III.9:</b> Simulation dans Sinutrain.....	53
<b>Figure III.10:</b> Schéma montrant les différentes positions pour simuler les angles KrType equation here. ....	53
<b>Figure III.11:</b> Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec.	56
<b>Figure III.12:</b> Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec	56
<b>Figure III.13:</b> Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec .....	57
<b>Figure III.14:</b> Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification.....	59



<b>Figure III.15:</b> Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification.....	59
<b>Figure III.16:</b> Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification .....	60
<b>Figure III.17:</b> Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec	62
<b>Figure III.18:</b> Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec.	62
<b>Figure III.19:</b> Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec .....	63
<b>Figure III.20:</b> Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification .....	65
<b>Figure III.21:</b> Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification .....	65
<b>Figure III.22:</b> Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification .....	65
<b>Figure III.23:</b> Comparaison entre les résultats obtenues de Ra avec et sans lubrification pour l'essai 1.1 et 1.2.....	66
<b>Figure III.24:</b> Comparaison entre les résultats obtenues de Rq avec et sans lubrification pour l'essai 1.1 et 1.2.....	66
<b>Figure III.25:</b> Comparaison entre les résultats obtenues de Ra avec et sans lubrification pour l'essai 2.1 et 2.2.....	67
<b>Figure III.26:</b> Comparaison entre les résultats obtenues de Rq avec et sans lubrification pour l'essai 2.1 et 2.2.....	67
<b>Figure III.27:</b> Exemple de surface fini avec un profil de l'outil. ....	68

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau III-1 : Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage à sec. ....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau III-2:Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage avec lubrification. ....</b>	<b>58</b>
<b>Tableau III-3:Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage à sec. ....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau III-4:Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage avec lubrification. ....</b>	<b>64</b>

## Liste des abréviations :

Vc	Vitesse de coupe [ <b>m/min</b> ]
N	Fréquence de rotation [ <b>tr/min</b> ]
f ; Fz	Avance [ <b>mm/tr</b> ]
Vf	Vitesse d`avance [ <b>mm/min</b> ]
ap ; a	Profondeur de passe [ <b>mm</b> ]
L	Longueur [ <b>mm</b> ]
D	Diamètre [ <b>mm</b> ]
R	Rayon de bec d`outil [ <b>mm</b> ]
h	Épaisseur de coupe [ <b>mm</b> ]
Kr	Angle de direction d`arête de l`outil [ <b>Degree</b> ]
$\alpha$	Angle de dépouille [ <b>rad</b> ]
$\beta$	Angle de taillant [ <b>rad</b> ]
$\gamma$	Angle de coupe [ <b>rad</b> ]
$\lambda_s$	Angle d`inclinaison d`arête de l`outil [ <b>rad</b> ]
Ra	Rugosité arithmétique [ <b>μm</b> ]
Rt	Rugosité totale [ <b>μm</b> ]
Rq	Rugosité quadratique [ <b>μm</b> ]

## ***Introduction générale :***

De nos jours, l'exigence croissante de qualité, de précision et de finition des pièces usinées constitue un enjeu majeur pour garantir des performances optimales en service. Dans un contexte industriel en constante évolution, de nombreuses recherches se concentrent sur l'optimisation des paramètres et des conditions d'usinage, dans le but d'obtenir un état de surface irréprochable tout en minimisant les défauts acceptables.

La qualité des pièces usinées est directement liée à l'état de surface obtenu, lequel repose largement sur la connaissance dans les différents facteurs qui influencent le processus de coupe, y compris les conditions de coupe et la géométrie de l'outil utilisé. C'est dans cette optique que s'inscrit ce projet de fin d'études, visant à apporter une contribution modeste en répondant à la problématique posée. Ce travail s'est concentré sur l'amélioration de la qualité de surface lors du tournage de l'acier XC38, en étudiant l'influence de la géométrie de l'outil de coupe sur ce processus d'usinage.

Afin de faciliter une présentation claire du travail, ce mémoire est organisé en trois parties regroupant un ensemble d'informations complémentaires :

La première partie est consacrée à une étude bibliographique portant sur les aspects généraux de l'usinage, avec un focus particulier sur le tournage. Cela comprend des définitions, le concept de tournage, les diverses catégories de tours, ainsi que les réglages de coupe, comme la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe, parmi d'autres.

La deuxième partie s'attache à la rugosité, plus précisément sur le sujet de la rugosité de surface, les méthodes d'évaluation de celle-ci, ainsi que les stratégies destinées à perfectionner l'état de surface. Je me suis également occupé de la lubrification et des fluides de coupe, qui sont essentiels, car ils contribuent à améliorer la qualité de la surface travaillée tout en augmentant la durée de vie de l'outil.

La troisième partie, de nature expérimentale, analyse les données et les résultats obtenus, accompagnés d'une interprétation détaillée des paramètres étudiés, notamment la géométrie de l'outil et la lubrification, ainsi que leur effet sur l'état de surface.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow effect.

# ***Chapitre I : Généralités sur l'usinage***

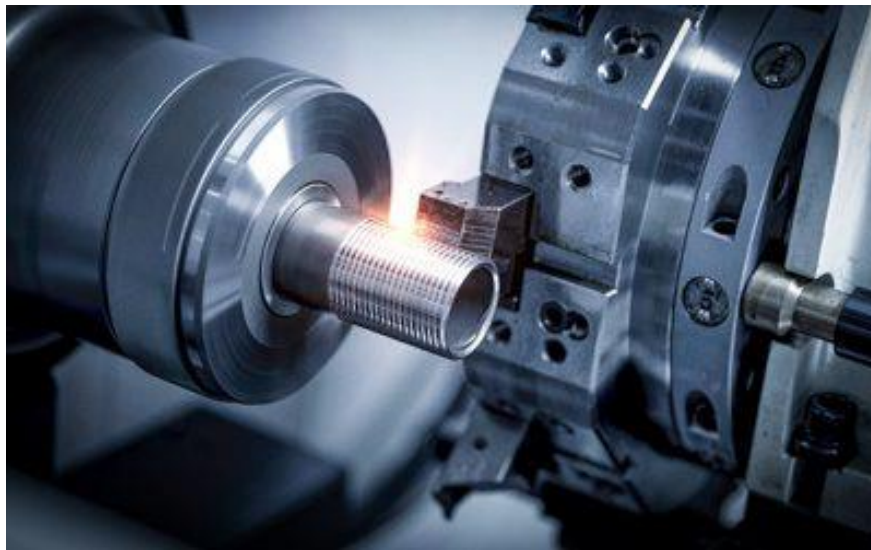
## I. Généralités sur l'usinage :

La technique la plus efficace pour produire des pièces de précision à partir de pièces moulées, entre autres, repose sur l'usinage par enlèvement de matière. Ce procédé, bien que coûteux en raison des machines, des outils et du personnel qualifié requis, et relativement lent, reste largement utilisé. C'est dans ce contexte que l'on cherche aujourd'hui à obtenir des pièces moulées ne nécessitant pas d'usinage ultérieur.

Cela peut être réalisé avec des matériaux comme le plastique ou le Zamac (Zn, Al, Mg), mais leurs propriétés techniques, telles que la résistance thermique ou la limite élastique, demeurent sensiblement inférieures à celles de l'acier ou des alliages d'aluminium.

Grâce à l'usinage à grande vitesse, les machines-outils atteignent des performances nettement accrues, permettant une précision d'usinage nettement supérieure sur les pièces fabriquées.

Tout d'abord, les contraintes de coupe sont diminuées, ce qui réduit la déformation de la pièce. Par ailleurs, la chaleur est rapidement dissipée par les copeaux, empêchant ainsi son transfert vers la pièce. Soumise à une moindre élévation de température, la pièce maintient sa stabilité dimensionnelle initiale. [1]



**Figure I.1:** L'usinage mécanique

### I.1 Le But de L'usinage :

L'usinage représente une étape essentielle dans la production d'une pièce mécanique, élaborée à partir d'un plan comportant une cotation précise et complète. Cette cotation cherche à garantir les dimensions finales de l'élément, son exactitude, sa forme et la qualité de surface des différentes faces effectuées. À chaque étape de la séquence de fabrication, le concepteur ou l'usineur détermine le type d'usinage à effectuer, Le choix de l'équipement à utiliser, l'outil convenable et le système de maintien de la pièce sont essentiels pour garantir la conformité aux spécifications dimensionnelles de la surface en question.

# Chapitre I : Généralités sur l'usinage

---

En général, les surfaces usinées se caractérisent par des formes planes ou de révolution. Les techniques d'usinage les plus répandues incluent le fraisage, principalement employé pour les surfaces planes, et le tournage, dédié aux surfaces de révolution. Avec l'arrivée de la commande numérique, nous sommes désormais en mesure de créer une vaste gamme de surfaces courbes. Cependant, il est important de souligner que les outils utilisés restent globalement similaires.

L'usinage occasionne divers coûts associés au temps de travail, à la quantité supplémentaire de matière à enlever, à l'usure des équipements d'usinage, à la dépense en ressources (outils, lubrifiants, électricité) et également au stockage. Par conséquent, seuls les usinages strictement nécessaires sont réalisés.

On identifie seize fonctions principales que la surface d'une pièce peut remplir, lesquelles sont intégrées dans la cotation de l'état de surface :

- Surface en contact avec une autre pièce ;
- Frottement de glissement avec lubrification (FG) ;
- Frottement sans lubrification (FS) ;
- Frottement de roulement (FR) ;
- Frottement dans un milieu fluide (FF) ;
- Résistance à l'écrasement (RM) ;
- Étanchéité dynamique, avec ou sans joint (ED) ;
- Étanchéité statique, avec ou sans joint (ES) ;
- Ajustement fixe sous contrainte (AC) ;
- Adhérence ou collage (AD) ;
- Surface libre, sans dépendance fonctionnelle ;
- Arête de coupe d'un outil (OC) ;
- Résistance aux sollicitations alternées ;
- Résistance à la corrosion (RC) ;
- Préparée pour un revêtement ou une peinture (RE) ;
- Prévue pour un dépôt électrolytique (DE) ;
- Surface dédiée à la mesure (ME) ;
- Aspect esthétique (AS) ;

# Chapitre I : Généralités sur l'usinage

Ces fonctions déterminent les caractéristiques et les performances attendues de la surface d'une pièce dans le cadre de son utilisation.

- Les dimensions finales de la pièce en tenant compte des tolérances. ;
- L'évaluation de la forme et de la géométrie des surfaces travaillées ;
- L'état de surface nécessaire (rugosité).

Tous ces critères de cotation déterminent la sorte d'usinage à entreprendre, ses modalités, le degré de finition exigé ainsi que les contrôles à réaliser. [2]

## I.2 Les procédés d'usinage :

Les techniques d'usinage se caractérisent par une grande diversité et sont classées selon trois critères principaux :

1. Leur période d'apparition : on distingue les procédés conventionnels des procédés non conventionnels.
2. Les phénomènes physiques impliqués : usinage par coupe, par abrasion ou par procédés physico-chimiques.
3. Le type de machines et d'outils employés : selon les équipements. La procédure de production débute par un matériau brut, qui est transformé progressivement pour répondre aux spécifications du dessin technique, en conformité avec les exigences du bureau d'études. [3]

## I.3 Les paramètres de coupe :

L'objectif est d'obtenir une pièce usinée conforme aux exigences de qualité. Pour y parvenir, Il est essentiel d'établir des variables cruciales telles que la vitesse de coupe ( $V_c$ ), l'avance ( $V_f$ ) et la profondeur de passe ( $a$ ).

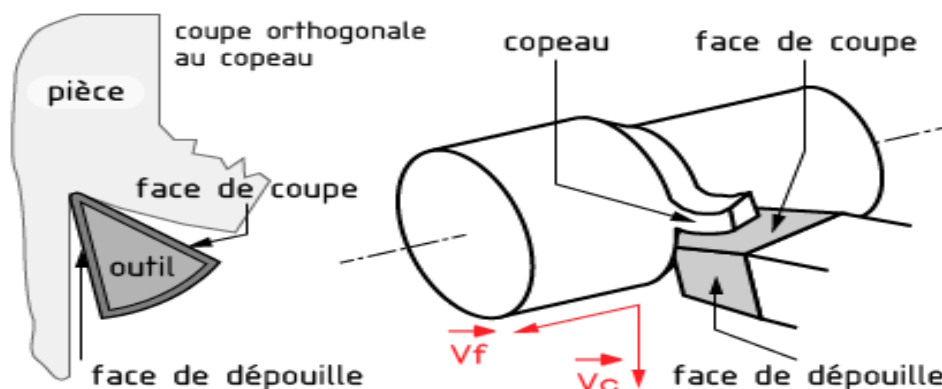


Figure I.2: Phénomène de la coupe



### I.3.1 La vitesse de coupe $V_c$ [m/mn] :

Cela représente la distance (en mètres) que l'extrémité d'une dent de l'outil parcourt en une minute. Ce facteur a un impact sur la longévité des outils et est déterminé par :

- En fonction de nature de matière traitée et de la constitution de l'outil.,
- En fonction de type de l'opération effectuée (ébauche ou finition),
- Du type d'usinage effectué (application d'un coefficient réducteur pour les usinages complexes),
- Des conditions de lubrification utilisées.

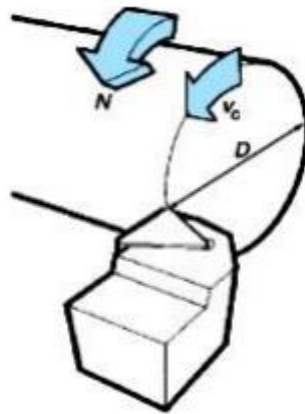


Figure I.3 : La vitesse de coupe

Les valeurs usuelles des vitesses de coupe, en fonction de la matière à usiner et de la matière de l'outil. [4]

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

### I.3.2 La fréquence de rotation $N$ [tour/min] :

Se calcule par la formule suivante :

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

Dans ce contexte, [mm] représente le diamètre de la pièce à traiter (dans le cas d'un tournage) ou le diamètre de l'outil de coupe/de la mèche (lorsqu'il s'agit de fraisage ou perçage). En consultant les tableaux de fréquence de rotation pour les machines-outils, on sélectionne les valeurs qui correspondent le mieux à celles que nous avons calculées. [4]

### I.3.3 L'avance $f$ ou $f_z$ [mm/tour] :

S'exprime par le mouvement de la pièce (dans le cas du fraisage) ou de l'outil (dans le cas du tournage) pour :

# Chapitre I : Généralités sur l'usinage

---

- ✓ Une dent : c'est l'avance par dent  $f_z$  employée dans le fraisage.
- ✓ Un tour : il s'agit de l'avance par tour utilisée lors du tournage.

L'avance est le principal facteur déterminant de la rugosité de la surface. On la considère plus comme une ébauche que comme un produit finalisé, les valeurs des progrès sont aussi présentées à l'aide de graphiques. [4]

## I.3.4 La vitesse d'avance :

La vitesse d'avance, exprimée en millimètres par minute (mm/min) et illustrée à la Figure I.4, correspond à la vitesse de déplacement de l'outil au cours d'une révolution complète. Elle constitue un paramètre essentiel influençant directement la qualité de la surface obtenue après usinage. En effet, cette vitesse conditionne non seulement l'épaisseur des copeaux générés, mais aussi leur mode de fragmentation. La vitesse d'avance  $V_f$  est définie selon la formule suivante :  $V_f = f \times N$ . [4]



Figure I.4: La vitesse d'avance

## I.3.5 La profondeur de passe:

L'épaisseur de coupe est définie selon la quantité supplémentaire de matériau à éliminer et le genre de traitement envisagé, que ce soit pour une opération d'ébauchage ou de finition. Elle est systématiquement jugée en fonction de la direction perpendiculaire au mouvement de l'outil, et non selon l'angle de son tranchant. [4]

## I.3.6 La section du copeau :

La dimension du copeau retiré par chaque dent est calculée en multipliant l'avance par tour  $f$  et la profondeur de la passe  $a$ . Ce paramètre a un impact direct sur la puissance nécessaire à l'outil de machine. [4]

## I.4 Les Zones de coupe :

Il est crucial de maîtriser le phénomène d'arrachement du matériau pour optimiser la qualité de la surface obtenue suite à l'usinage. Par ailleurs, une bonne connaissance de la morphologie et des caractéristiques du copeau s'avère primordiale pour optimiser les performances du

# Chapitre I : Généralités sur l'usinage

procédé d'usinage. Dans le cadre d'une coupe orthogonale, une seule arête de coupe est prise en compte.

La formation du copeau s'effectue au sein des zones de coupe (Figure I.5). Trois zones distinctes peuvent être identifiées, dans lesquelles des phénomènes thermomécaniques complexes se produisent. [5]

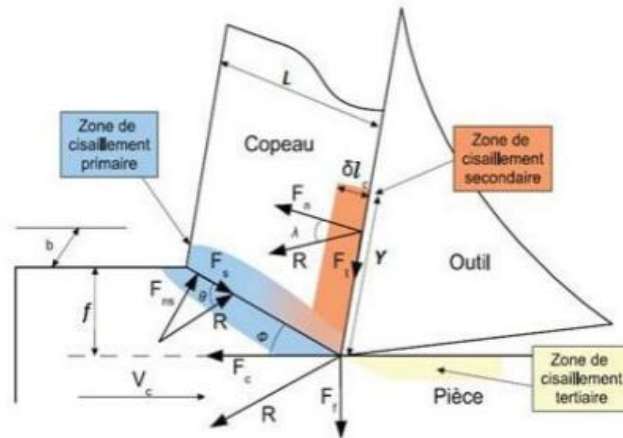


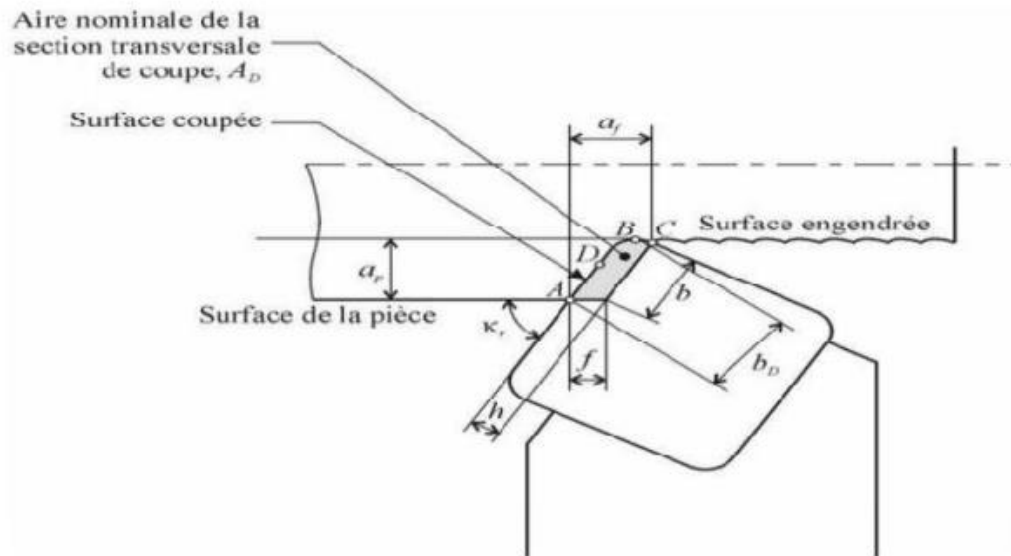
Figure I.5: Représentation des zones des cisaillements. [5]

- ❖ **Zone 1 – Zone de cisaillement primaire** : Elle résulte de la modification du parcours du flux de matière. Cette zone est caractérisée par un cisaillement intense ainsi qu'un taux élevé de déformation, ce qui entraîne une importante élévation de température due à la dissipation d'énergie mécanique en chaleur.
- ❖ **Zone 2 – Zone de cisaillement secondaire** : Elle se produit à la jonction entre le copeau et la surface de coupe de l'outil, du fait de l'abrasion provoquée par le mouvement glissant du copeau. Cette zone est exposée à d'importantes contraintes thermomécaniques, caractérisées par de hauts niveaux de cisaillement et une augmentation significative de la température, principalement attribuable à l'action du frottement.
- ❖ **Zone 3 – Zone de cisaillement tertiaire** : Cette zone représente la surface finie de l'élément usiné. Un contact direct entre l'outil et cette surface peut provoquer des déformations plastiques dans le matériau. [5]

## I.5 Paramètres géométriques de coupe :

Toutefois, pour atteindre les dimensions finales souhaitées, il est généralement nécessaire d'effectuer plusieurs passes successives.

La passe désigne l'épaisseur du matériau enlevé lors d'un unique passage de l'outil de coupe sur la pièce. Quant à la coupe, elle correspond à la quantité de matière enlevée lors d'une seule action de l'arête active de l'outil, matière qui est alors transformée en copeaux. Ces différents paramètres sont illustrés à la figure I.6. [2]



**Figure I.6:** Les paramètres géométriques de coupe

- ❖  $a_p$ : Profondeur de coupe.
- ❖  $a_f$ : Engagement de l'arête.
- ❖  $f$ : Avance.
- ❖  $h$ : Épaisseur de coupe.
- ❖  $b$ : Largeur de coupe.
- ❖  $b_D$ : Largeur nominale de coupe.
- ❖  $\kappa_r$ : Angle de direction d'arête.
- ❖  $D$ : Point principal de l'arête.

### I.6 Éléments d'outil :

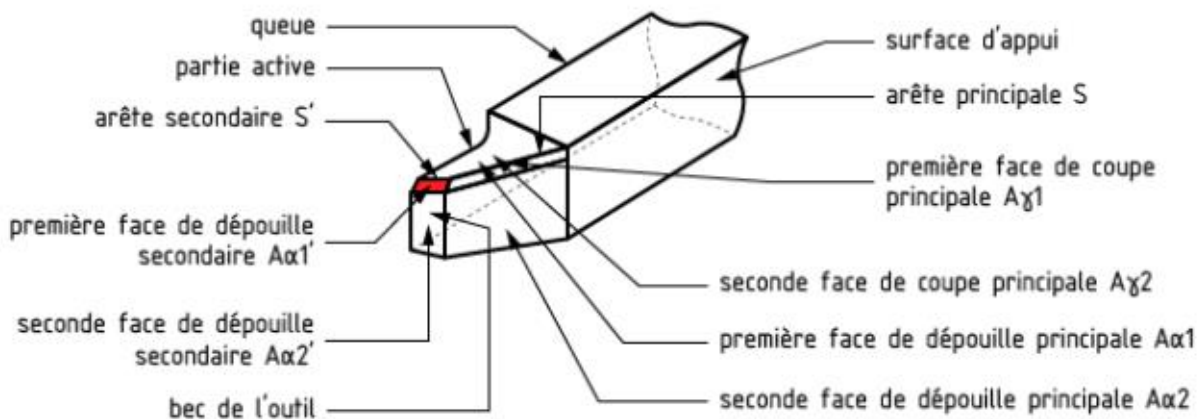
Il existe une grande variété d'outils de coupe, mais leurs composants fondamentaux présentent généralement des similitudes. Pour faciliter la compréhension des différents éléments qui caractérisent un outil de coupe, l'analyse se basera sur le cas d'un outil utilisé en tournage. [6]

#### I.6.1 Faces et arêtes de l'outil :

Un outil coupant se constitue d'un corps principal et peut comporter une ou plusieurs parties actives, définies par l'intersection de deux surfaces, désignées par  $A_\alpha$  et  $A_\gamma$ . La partie active peut être fabriquée dans le même matériau que le corps, auquel cas on parle d'outil monobloc, souvent en carbure ou en acier rapide. Alternativement, cette partie active peut être réalisée à partir d'un matériau différent, sous la forme d'un insert rapporté ou d'une plaquette, fabriquée de matériaux super durs tels que le diamant ou le nitrure de bore polycristallin (PCBN).

## Chapitre I : Généralités sur l'usinage

Il est important de clarifier le vocabulaire relatif aux différentes parties actives des outils de tournage. Au-delà de la simple description géométrique locale, une normalisation spécifique, la norme ISO 1831, établit un cadre systématique pour définir les éléments constitutifs des outils de tournage équipés de plaquettes rapportées, qui sont largement employés dans l'industrie moderne. [7]

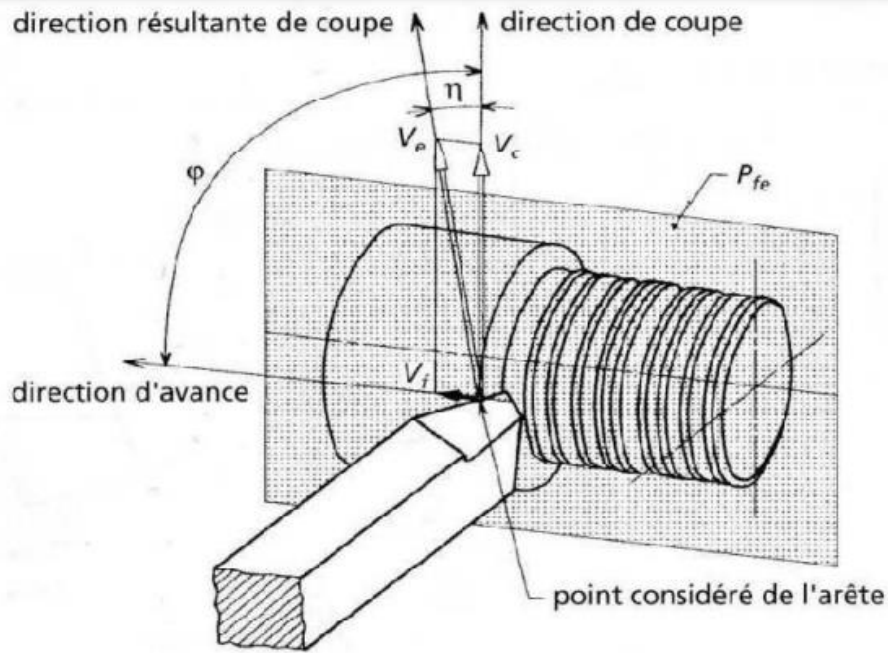


**Figure I.7:** Arêtes et parties actives d'un outil de tournage

La section de l'outil qui participe directement au processus d'élimination de matière est désignée sous le nom de taillant. Ce dernier est délimité par trois faces : la face de coupe, qui constitue la surface de laquelle le copeau s'écoule le long du glissement, ainsi que les deux plans de dépouille (principal et secondaire), le long desquels progressent respectivement la surface usinée et la surface nouvellement créée.

L'arête fait référence au bord de la surface de découpe qui garantit l'enlèvement de matière. Dans une machine de tournage basique, on distingue deux arêtes principales : l'arête primaire qui découle de l'intersection entre la face de coupe et la face de dépouille principale, et l'arête secondaire qui résulte de l'intersection entre la face de coupe et la face de dépouille secondaire. La connexion de ces deux arêtes constitue ce que l'on nomme le bec de l'outil, lequel peut être droit, arrondi ou présenter une intersection aiguë entre les arêtes. [6]

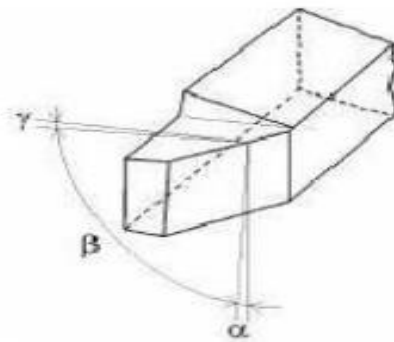
Généralement, un outil est soumis à un mouvement de coupe ainsi qu'à un mouvement d'avance. De cette combinaison découle un vecteur résultant, noté  $\mathbf{V_e}$ , qui représente le mouvement relatif entre l'outil et la pièce. Sur cette base, deux systèmes d'angles caractérisant un outil de coupe peuvent être définis. D'une part, les angles « en main », mesurés par rapport à la direction théorique du vecteur  $\mathbf{V_e}$ , qui servent principalement lors de la fabrication des outils. D'autre part, les angles « en travail », évalués par rapport à la direction effective de coupe, notée  $\mathbf{V_c}$ , essentiels pour déterminer les angles réellement engagés durant l'usinage. Ces référentiels permettent ensuite d'établir une série de plans et d'angles normalisés, utilisés pour décrire avec précision la géométrie locale des outils.



**Figure I.8:** Mouvement relatif outil/pièce en tournage

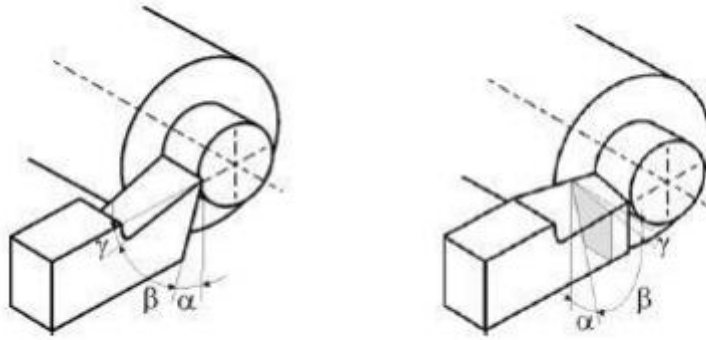
### I.6.2 Angles de l'outil :

Pour mieux comprendre les phénomènes associés à la coupe, il est indispensable de définir les angles qui exercent l'influence la plus significative sur ces processus. Selon le système de référence établi pour l'outil, les trois angles principaux du tranchant sont : l'angle de dépouille  $\alpha$ , l'angle de tranchant  $\beta$  et l'angle de coupe  $\gamma$ . [8]



**Figure I.9:** Angles du taillant (outil en main)

La figure I.10 montre ces angles identiques dans les systèmes de référence pour l'outil en travail : outil à taille terminale (gauche) et outil à taille latérale ou de côté (droite).



**Figure I.10:** Angles du taillant (outil en travail)

En général, l'angle de dépouille  $\alpha$  a un impact sur le coefficient de frottement entre l'instrument et la pièce, ce qui a donc une incidence sur la durée de vie de l'outil. L'angle de coupe  $\gamma$  influence le flux du copeau sur la surface de coupe, ce qui modifie les contraintes de coupe, l'énergie nécessaire et la dissipation thermique. Finalement, l'angle de coupe  $\beta$  influence la résistance mécanique du tranchant aux risques de rupture.

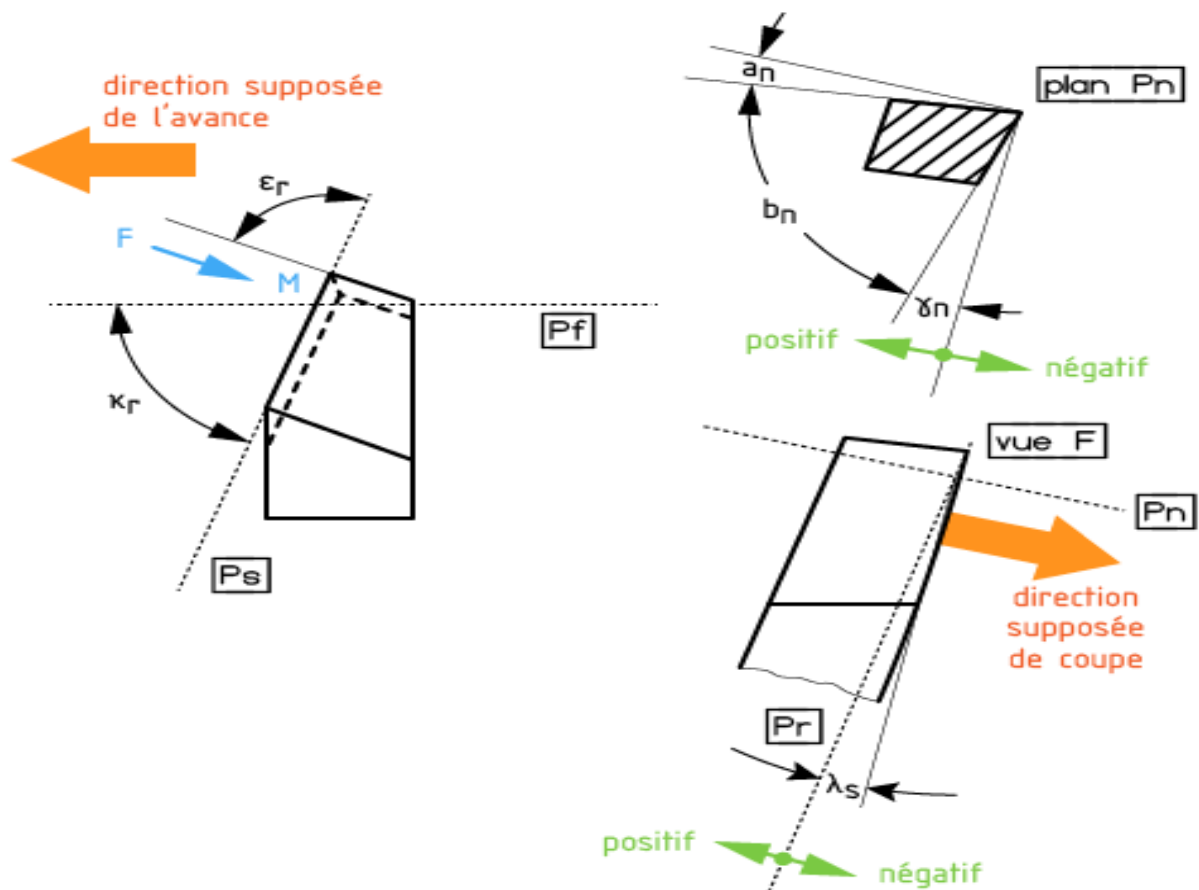
La somme de ces trois angles est toujours égale à  $90^\circ$ .

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

Dans le cas où la somme est supérieure à  $90^\circ$ , on parle de coupe négative ( $\gamma$  négatif). [8]

Les angles de coupe sont déterminés en se basant sur divers plans de projection. Dans le cadre du modèle « outil en main », les plans de référence majeurs utilisés comprennent les plans Pf, Pp, Pr et Ps. On identifie les angles particuliers du taillant de cette manière :

- **L'angle de direction de l'arête principale** ( $K_r$ ) : mesuré entre le plan de travail Pf et le plan d'arête principale Ps.
- **L'angle d'inclinaison de l'arête de coupe** ( $\lambda_s$ ) : mesuré entre l'arête de coupe et le plan de référence Pr.
- **L'angle de pointe de l'outil** ( $\epsilon_r$ ) : défini par l'angle formé entre le plan principal Ps et le plan secondaire de l'outil. [9]



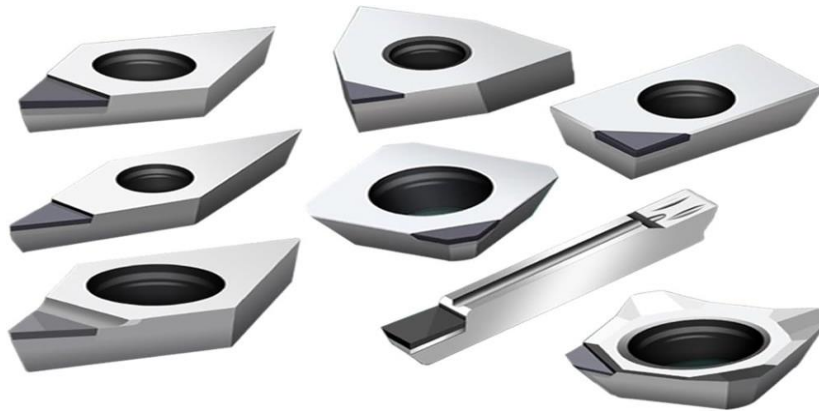
**Figure I.11:** Angles et plans principaux d'un outil à tranchant unique

## I.6.3 Outil de coupe à plaquette rapportée :

Les outils de tournage modernes sont généralement composés d'un porte-plaquette équipé d'un dispositif de fixation, ainsi que d'une plaquette interchangeable en matériau dur, possédant plusieurs arêtes de coupe.

Le changement d'arête de coupe s'effectue lorsque celle en service présente un niveau d'usure tel qu'elle ne permet plus de respecter les tolérances dimensionnelles, la rugosité requise, ou lorsqu'elle présente un risque accru de rupture à court ou moyen terme. [10]





**Figure I.12:** Plaquettes

### **I.6.4 Matériaux de l'outil :**

La zone opérationnelle des instruments de coupe, ainsi que les matériaux qui la constituent, doivent satisfaire à un ensemble d'exigences précises en matière de propriétés mécaniques, thermiques et tribologiques :

- ✓ Une bonne résistance à l'usure.
- ✓ Une bonne ténacité.
- ✓ Une bonne dureté.
- ✓ Une bonne résistance thermique.
- ✓ Une bonne résistance à la pression.
- ✓ Une grande stabilité chimique.
- ✓ Une faible adhésion avec le matériau usiné sous haute pression et haute température.
- ✓ Un bas prix d'achat et de mise en forme, ainsi que l'abondance des éléments. [7]

Le schéma est proposé à titre de référence pour localiser les divers champs d'application des matériaux utilisés pour les outils. Il reflète les conditions normales d'emploi en ébauche, notamment pour l'usinage des aciers et des fontes. Toutefois, il ne peut servir de référence pour le choix précis des conditions de coupe. [10]

Pour sélectionner un outil de tournage adapté, il convient de considérer les paramètres suivants :

- ❖ La nature du matériau de la pièce et son usinabilité.

- ❖ Configuration de la pièce.
- ❖ Les contraintes technologiques imposées.
- ❖ Machine : type, puissance, conditions d'utilisation et caractéristiques.
- ❖ Stabilité, rigidité de la prise de pièce et de la pièce. [10]

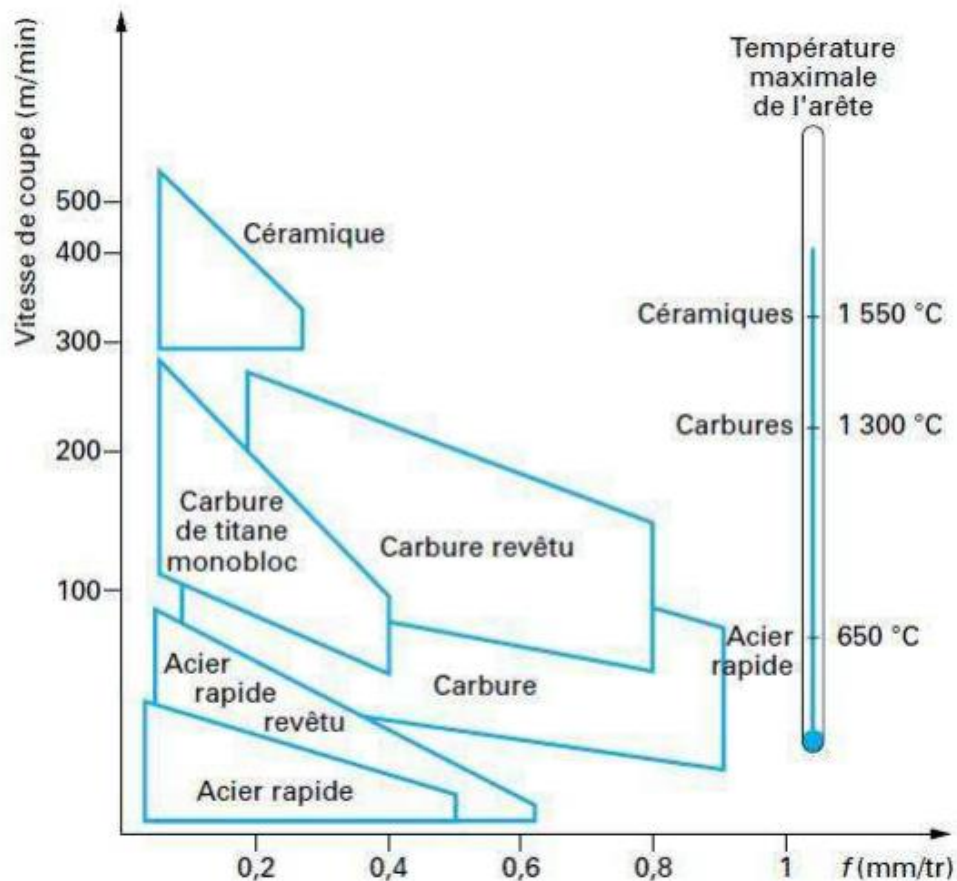


Figure I.13: Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant

### I.7 Le Tournage mécanique :

Le tournage est une méthode de fabrication qui vise à retirer de la matière afin d'obtenir des pièces dont la configuration géométrique résulte de la rotation d'un profil autour d'un axe. Il permet donc l'obtention de formes comme des cylindres, des cônes, des toupies ou encore des quilles, etc. Ce profil est créé à partir du mouvement d'outils de coupe sur un plan virtuel xz, où l'axe z représente l'axe de révolution. L'usinage par tournage est une méthode consistant à retirer de la matière d'un matériau initial brut, à partir duquel on désire modeler la pièce à usiner. On appelle une machine employant cette méthode une tour.

## Chapitre I : Généralités sur l'usinage

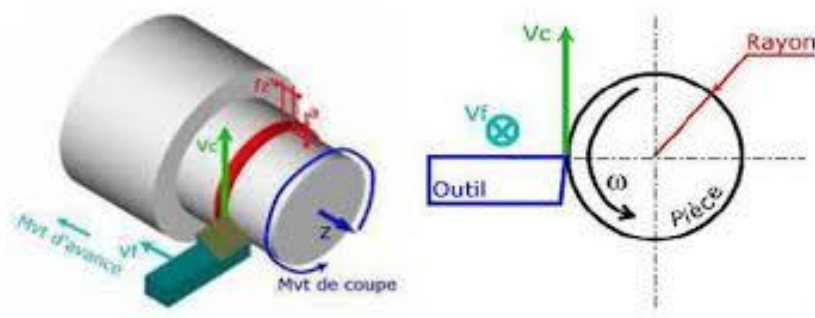
Un moteur électrique fait tourner une broche, et un système de fixation (mandrin, pince, etc.) tient la pièce non travaillée. Au cours du processus d'usinage, le mouvement de coupe est généré. Les outils de coupe sont déplacés sur les axes x et z à l'aide de chariots rigides, afin de les positionner en contact avec la matière brute, engendrant ainsi le mouvement d'avance. L'élimination de matière en copeaux est rendue possible grâce à cette combinaison de mouvements. Il est aussi envisageable de se distinguer lors d'un tour. [11]



**Figure I.14:** Le tournage mécanique

### I.7.1 Principe de tournage :

La pièce exécute un mouvement circulaire constant, connu sous le nom de mouvement de coupe ( $M_c$ ). En même temps, l'outil réalise un mouvement de translation, soit parallèle soit oblique à l'axe de rotation, désigné comme mouvement d'avance ( $M_f$ ). Au cours de cette opération, l'extrémité de l'outil trace une trajectoire désignée comme génératrice qui, en tournant la pièce, facilite la formation d'un solide de révolution. En ajustant le mouvement radial de l'outil. [12]



**Figure I.15:** principe de tournage mécanique

### I.7.2 Les principales opérations de tournage :

En tournage, les outils sont équipés d'une unique arête de coupe, dont la pénétration dans le matériau permet de réaliser l'opération de coupe. L'outil se déplace dans une ou deux orientations principales, en fonction de l'angle de direction de la bordure de coupe ( $K_r$ ).

Lorsque l'angle est à 90 degrés, seul un mouvement est envisageable. En revanche, pour des angles inférieurs, il est possible d'effectuer des usinages dans les deux directions.

La pièce, qui est fixée dans un mécanisme de fixation connu sous le nom de mandrin, génère le mouvement de coupe ( $M_c$ ). Cela autorise l'exécution de tâches de tournage externe et interne. La figure suivante illustre les différentes opérations d'usinage réalisables sur les machines-outils de type tour. [9]

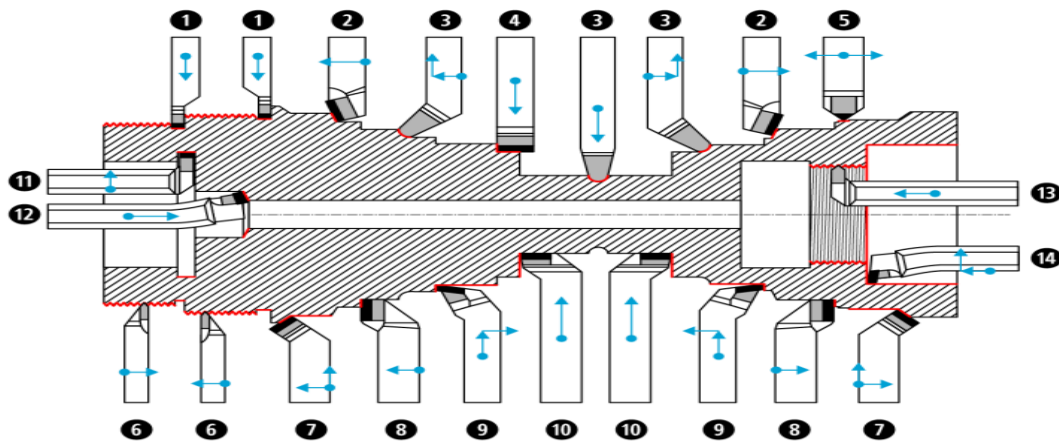


Figure I.16: les diverses opérations d'usinage

No. outil	Désignation outil
1	Outil à saigner
2	Outil à charioter droit
3	Outil à retoucher
4	Outil pelle
5	Outil à retoucher
6	Outil à fileter (extérieur)
7	Outil à charioter coudé
8	Outil couteau
9	Outil à dresser d'angle
10	Outil à dresser les faces
11	Outil à chambrer
12	Outil à aléser
13	Outil à fileter (intérieur)
14	Outil à aléser et dresser

### I.8 Machine-outil pour tournage :

Le tour est un équipement de fabrication de pièces mécaniques qui fonctionne par enlèvement de copeaux. Conformément à sa conception, il permet de réaliser une grande variété d'opérations, allant du tournage simple aux usinages plus complexes . [11]

La pièce à usiner est installée dans le mandrin et fixé grâce aux mors. Un moteur assure la rotation du mandrin qui est solidement installé sur la broche. L'instrument de coupe est placé dans un support d'outil et fixé à l'aide de vis. L'outil est installé sur une tourelle conçue pour porter des outils. [13]

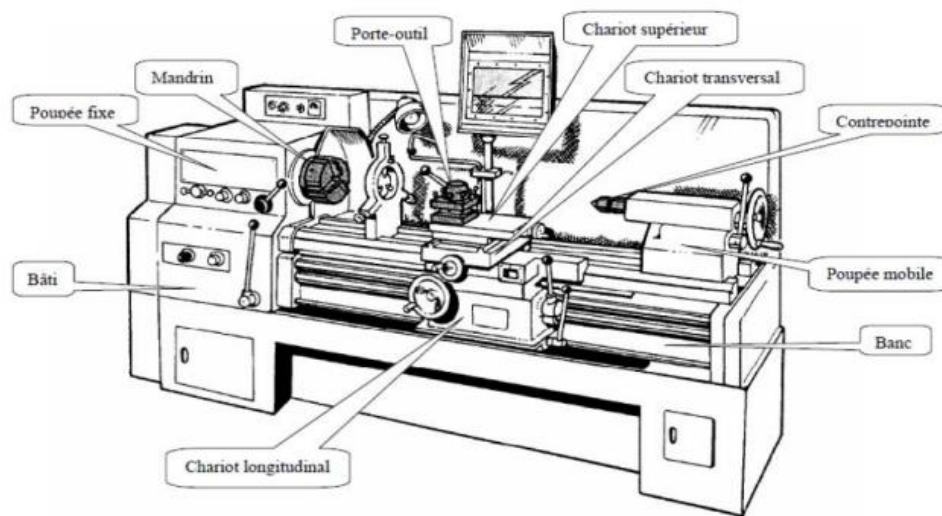


Figure I.17: Composantes d'un tour

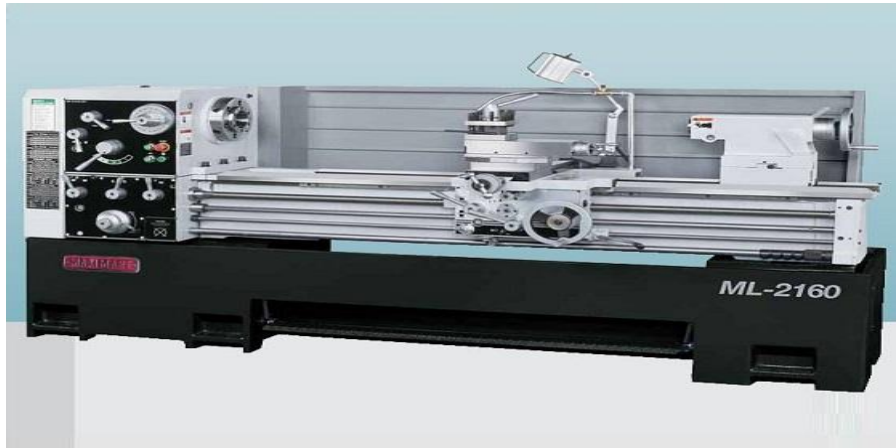
### I.9 Différents types de tours :

Afin de satisfaire aux demandes du marché (concernant la complexité des composants, la durée d'usinage et les capacités), les tours ont connu une évolution significative. Aujourd'hui, certains modèles très avancés représentent une alternative véritable aux centres d'usinage. [13]

Voici les principaux types de tours :

#### I.9.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter :

Ces appareils sont essentiellement utilisés pour des fabrications unitaires ou des séries de taille petite à intermédiaire, sur des composants plutôt simples. En raison de leur contrainte stricte, l'usinage enveloppant ne peut être utilisé que sur les surfaces dont les générateurs sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche. [14]



**Figure I.18:** Tour parallèle à charioter et à fileter

### **I.9.2 Les tours à copier :**

Ces machines permettent l'usinage par reproduction à partir d'un modèle, en utilisant un système hydraulique de copie qui dirige le déplacement du chariot transversal. [14]



**Figure I.19:** les tours à copier

### **I.9.3 Les tours semi-automatiques :**

Ces tours sont composés d'un trainard similaire à celui d'un tour parallèle, associé à une tourelle hexagonale équipée de six emplacements pour outils, dont le mouvement longitudinal est contrôlé par des butées. Leur flexibilité reste cependant très limitée, ce qui les destine principalement aux travaux de moyenne série. [14]





**Figure I.20:** tour semi-automatique

### **I.9.4 Les tours automatiques :**

Elles sont adaptées aux très grandes séries et fonctionnent en mode entièrement automatique.  
[14]



**Figure I.21:** tour automatique CNC



### I.9.5 Les Tours conventionnels :

Il s'agit des tours fondamentales. Les actions sont effectuées par des opérateurs qui ont la tâche d'ajuster différents paramètres et de déclencher des opérations. [14]



**Figure I.22:** Tour conventionnel

### I.9.6 Les tours automatiques multibroches :

Par exemple, ce genre de tour dispose de huit broches. Huit dispositifs, un pour chaque broche, effectuent simultanément des tâches distinctes. Les broches réalisent une rotation de 45 degrés pour situer la pièce devant l'instrument suivant. Quand les broches ont effectué une rotation complète, la pièce est totalement usinée. Dans ce genre de tour, les ajustements prennent du temps et le passage d'une série à une autre immobilise la machine. [14]

### I.9.7 Les tours à commande numérique :

La machine à commande numérique est équipée d'un système de contrôle qui contrôle la machine selon un programme, élaboré manuellement ou automatiquement. La structure de ce type de tour est plus complexe et varie en fonction de la configuration de la machine. [14]

### I.10 Les portes pièces :

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

- **Les mandrins à serrage par mors:**

Les mandrins peuvent être équipés de 2, 3 ou 4 mors, lesquels peuvent être serrés de manière concentrique ou indépendamment. [15]

- **Les mandrins expansibles:**

Ils assurent à la fois le positionnement et la fixation des pièces, qu'elles soient courtes ou longues, par serrage interne ou externe. Leur conception repose sur une ou plusieurs pièces déformables. [15]

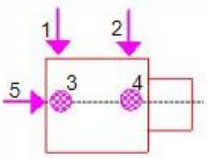
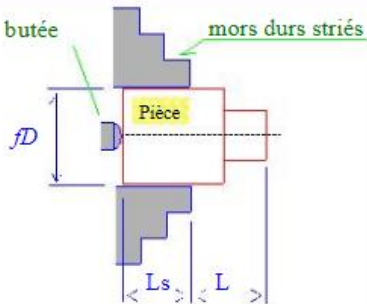
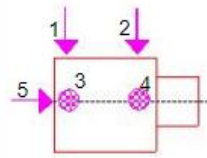
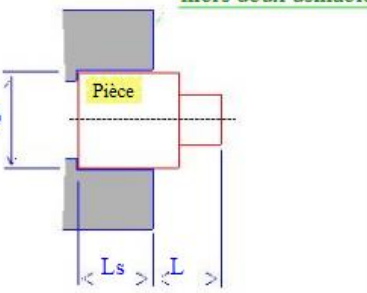
# Chapitre I : Généralités sur l'usinage

- **Les portes pièces dédiées:**

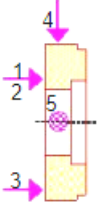
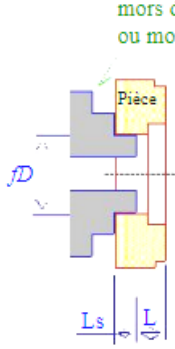
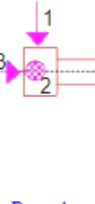
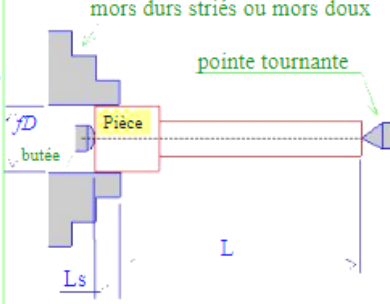
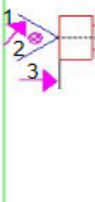
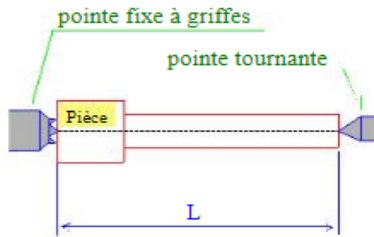
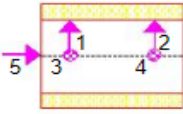
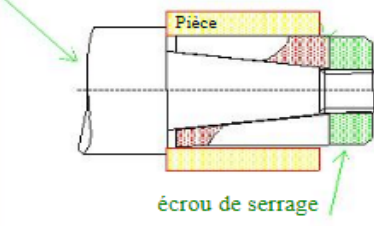
Il s'agit de montages de reprise conçus spécifiquement pour une phase d'usinage donnée. Ces montages peuvent être installés soit en substituant le mandrin, tout en utilisant les mêmes surfaces de référence, soit directement sur le plateau lisse, qui est l'équipement standard du tour. Dans ce deuxième cas, le montage peut être utilisé sur n'importe quel tour, contrairement à la première solution qui est spécifique à une machine donnée. [15]

## I.10.1 Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces:

Ceci concerne les divers montages réalisables avec les équipements standard 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>. <b><math>L_s &gt; D</math> souhaitable</b></p>		<p>Mandrin <u>3 mors durs</u> à serrage concentrique + butée 0,1maxi</p> <p><i>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</i></p>	
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>. <b><math>L_s &gt; D</math> souhaitable</b></p>		<p>Mandrin <u>3 mors doux</u> à serrage concentrique</p> <p><i>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</i></p>	0,05maxi

## Chapitre I : Généralités sur l'usinage

Type de montage	Modélisation de la liaison	Schéma du montage	Accessoires utilisés	Erreur de reprise (coaxialité)
Montage en l'air (prise de pièce par l'intérieur)	 <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>Mandrin 3 <u>mors durs</u> <u>ou doux</u> à serrage concentrique</p> <p><math>L</math> doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	<p>0,1maxi (m.durs)</p> <p>0,05maxi (m.doux)</p>
Montage mixte	 <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>Mandrin à serrage concentrique (3 mors durs + butée) ou (3 mors doux) + pointetournante</p> <p><math>L</math> doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	<p>0,1maxi (m.durs)</p> <p>0,05maxi (m.doux)</p>
Montage entre pointes			<p>Pointe fixe à griffes pour assurer l'entraînement de la pièce + pointe tournante</p> <p><math>L</math> doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p>	0,01maxi
Mandrin expansible		 <p>Exemple de mandrin expansible</p>	<p>Mandrin expansible à douille fendue monté dans le cône de la broche du tour</p>	0,01maxi

**Figure I.23:** Différents montages possibles utilisant des équipements standards

### **I.11 Conclusion :**

Dans cet chapitre, nous avons tenté d'éclaircir certains principes fondamentaux et concepts liés à la coupe des métaux afin de mieux comprendre le lien entre les paramètres de coupe, la géométrie de l'outil et la qualité de surface du produit usiné.

A decorative scroll frame with a black outline and grey shading on the left and right sides, containing the chapter title.

## ***Chapitre II : La Rugosité De Surface***

### **II. Introduction :**

Une surface usinée réelle n'est jamais idéale et comporte toujours des imperfections découlant d'erreurs systématiques, tolérées dans le processus de fabrication.

Les défauts peuvent être de nature macro-géométrique, comme les défauts de forme ou les ondulations. On désigne les imperfections (défauts géométriques microscopiques) par le terme de rugosité.

#### **II.1 Rugosité :**

La rugosité correspond aux irrégularités micro-géométriques présentes à la surface d'une pièce. Elle est évaluée après application d'un filtre passe-haut sur le profil mesuré, ne conservant que les composantes de courte longueur d'onde.

Dans le cadre d'analyse des profils, les paramètres de rugosité sont désignés par l'initiale en majuscule « R », suivie d'une ou plusieurs lettres qui précisent la nature du paramètre. Par exemple, « Ra » se réfère à la rugosité moyenne arithmétique du profil, obtenue par le biais d'un dispositif de mesure de la rugosité, alors que « Rz » représente la plus grande rugosité du profil. La rugosité d'une pièce usinée dénote la qualité de la finition réalisée lors des processus d'usinage tels que le tournage, le polissage, le rodage, etc. L'évaluation des états de surface dans le domaine mécanique concerne principalement les défauts et les critères techniques observés lors du processus d'usinage. Les défauts sont des traces et des entailles formées par les bords tranchants des instruments (outils de tournage, fraises, meules, etc.). On distingue deux niveaux de défauts liés à l'état de la surface :

- **Niveau 1** : stries périodiques ;
- **Niveau 2** : défauts apériodiques : arrachement de matière ; [16]

#### **II.2 Les défauts d'états de surface :**

La norme **AFNOR 05-515** distingue plusieurs ordres de défauts de surface, du plus grand au plus petit :

1. Écart de forme (à l'échelle macroscopique) ;
2. Imperfections de planéité, de rectitude ou de circularité ;
3. Ondulation (à l'échelle macroscopique) ;
4. Espacement entre les crêtes compris entre 0,5 et 2,5 mm ;
5. Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudo-périodiques, à l'échelle microscopique), avec un espacement entre les crêtes inférieur ou égal à 0,5 mm ;
6. Défauts localisés (à l'échelle microscopique) : traces d'outil, arrachements, fissures, piqûres ;
7. Structure cristalline (à l'échelle mésoscopique) ;
8. Réseau cristallin (à l'échelle nanoscopique).

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. [14]

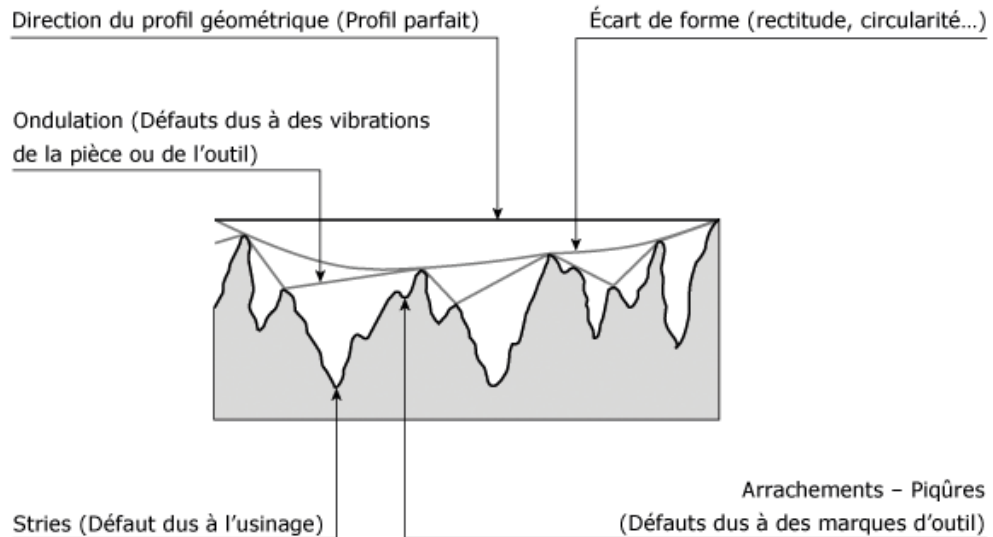


Figure II.1:Analyse d'une surface [17]

### II.2.1 Ordre 1 : défauts de forme : ordre 1 :

**Défauts de 1er ordre** : Ces défauts résultent d'écarts de forme (tels que la rectitude ou la cylindricité) et de position (comme la perpendicularité ou le parallélisme). [18]

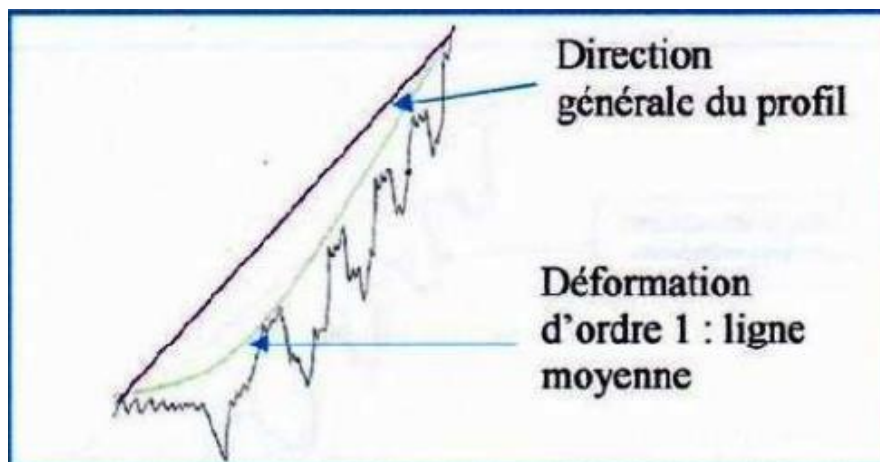


Figure II.2: Défauts d'ordre 1 [16]



### II.2.2 Ordre 2 : défauts macrographiques, ondulation :

**Défaut de 2ème ordre** : Il s'agit de défauts de plus faible amplitude, se manifestant sous forme d'ondulations. [18]

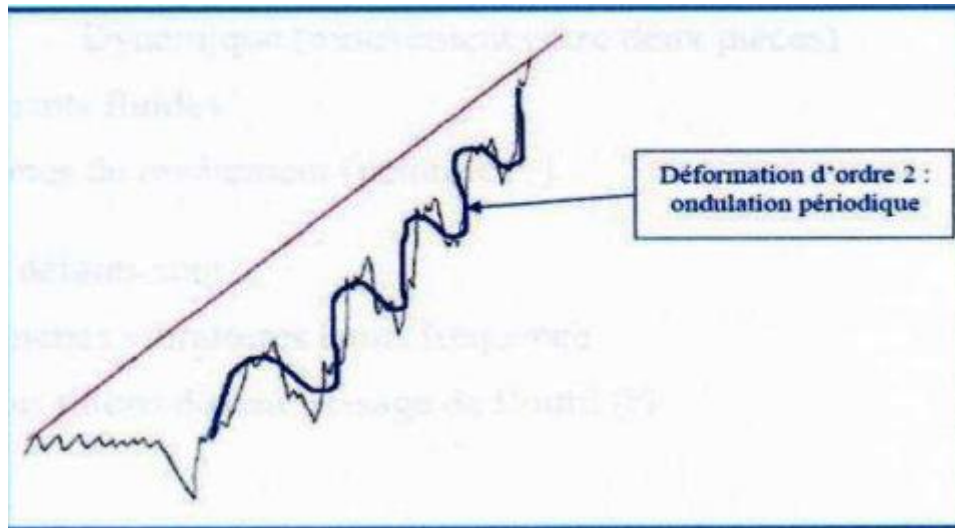


Figure II.3: Défauts d'ordre 2 [16]

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

**Défauts de 3ème ordre** L'outil à coupe mince, la rotation de la pièce ou les vibrations à fréquence élevée peuvent causer l'apparition de stries et sillons. [18]

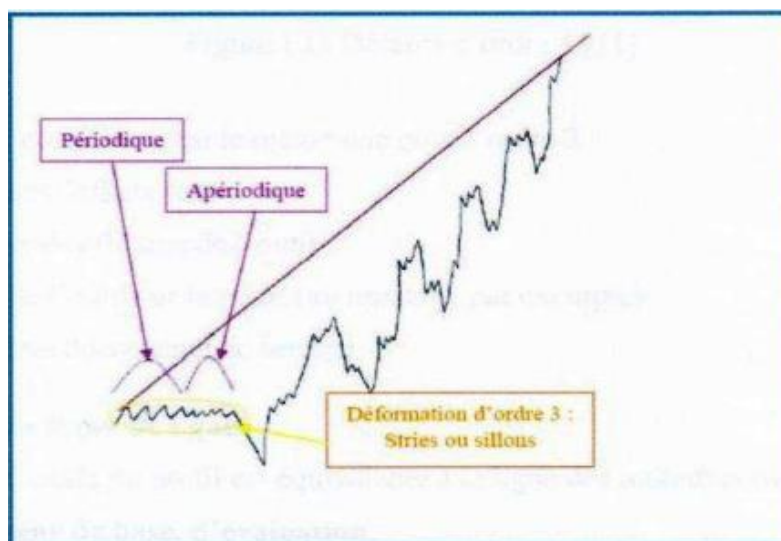
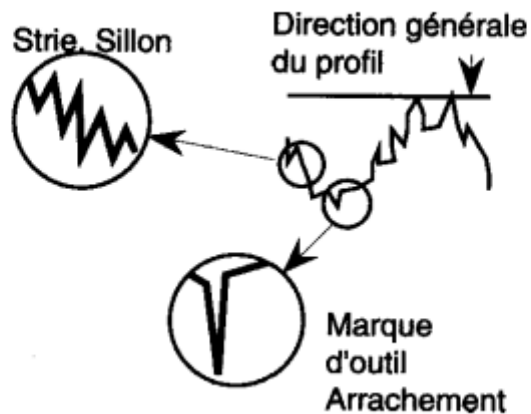


Figure II.4: Défauts d'ordre 3 [16]



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

**Défauts de 4ème ordre** Des fissures et perforations causées par des traces d'outils ou des vibrations à haute fréquence. [18]



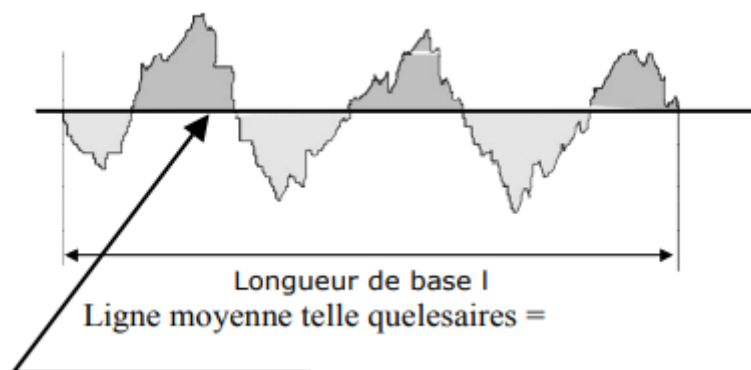
**Figure II.5:** Défauts d'ordre 4 [14]

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

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

##### II.3.1 Ligne moyenne:

Cette droite a la direction générale du profil.



**Figure II.6 :** la ligne moyenne [17]

### Longueur de base, d'évaluation :

- ❖ **Longueur d'évaluation** Il s'agit de la longueur, déterminée en fonction de l'orientation générale du profil, de la section utilisée pour définir les paramètres caractéristiques.
- ❖ **Longueur de base** : C'est une portion de la longueur de base utilisée pour distinguer les irrégularités du profil.  $L = n \times l$ , où  $n$  est un nombre entier.

En principe la longueur  $l$  est telle que  $2 \leq l \leq 10$  période de l'ondulation. Donc

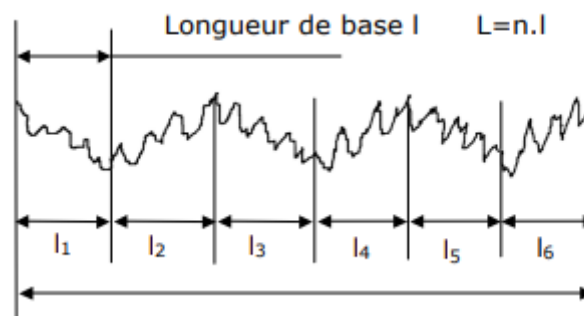


Figure II.7: La présentation de la longueur de base

### II.3.2 Lignes de référence :

Ces lignes servent à définir les paramètres du profil. Généralement, cette ligne ne fait pas partie de la surface de référence.

- ✓ Les lignes moyennes : Moyennes arithmétique
- ✓ Moyenne des moindres carrés
- ✓ Les lignes enveloppes : enveloppe supérieure
- ✓ Enveloppe inférieure [16]

#### II.3.2.1 La ligne des moindres carrés :

C'est une ligne de référence sous forme de profil géométrique qui sectionne ce profil de manière à ce que, sur la dimension de base ( $l$ ), les surfaces se trouvant des deux côtés de cette ligne soient identiques. [16]

### II.3.2.2 La ligne moyenne arithmétique :

Il s'agit d'une ligne de référence, conforme à la géométrie du profil, qui sépare ce dernier, et conçu pour réduire, sur la longueur de base ( $l$ ), le total des carrés des écarts entre cette ligne et le profil sur les deux côtés. [16]



Figure II.8: Ligne moyenne arithmétique

### II.3.2.3 La ligne enveloppe supérieure :

C'est l'addition des segments de ligne reliant les points culminants des avancées locales du profil. [16]

### II.3.2.4 La ligne enveloppe inférieure :

C'est l'addition des segments linéaires reliant les points les plus bas des dépressions locales du profil. Le souci, c'est que tous les éléments ne sont pas pris en compte (hautement fortuit). [16]

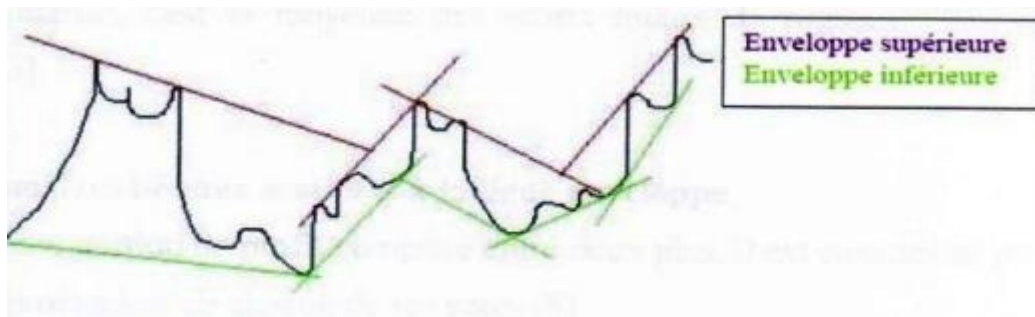


Figure II.9 : ligne enveloppe inférieure et supérieure [16]

### II.4 Paramètres de rugosité uni- dimensionnelle :

Les paramètres de rugosité unidimensionnels normalisés peuvent être mesurés à l'aide d'un rugosimètre. La texture unidimensionnelle est décomposée, à la fréquence de coupure, en deux composantes : l'ondulation, correspondant aux basses fréquences et représentant l'aspect global et la rugosité, associée aux fréquences élevées. [19]

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

Il y a une multitude de paramètres pour caractériser la rugosité, cependant, certains sont largement plus utilisés que d'autres :

##### II.4.1.1 Rugosité moyenne $R_a$ :

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

Ecart moyen arithmétique : Il s'agit de la moyenne des écarts de tous les points du profil de rugosité par rapport à une ligne médiane sur la longueur d'évaluation. [19]

$$R_a = 1/N \sum_{j=1}^N |r_j|$$

Une approche antérieure pour définir une gamme de valeurs de  $R_a$  est désignée sous le nom de RHR. C'est un emblème placé sur un dessin technique, indiquant les valeurs minimales et maximales de  $R_a$ .

##### II.4.1.2 Rugosité moyenne quadratique $R_q$ :

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

Le paramètre  $R_q$  se réfère à la moyenne quadratique des écarts de hauteur par rapport à la ligne moyenne, sur l'ensemble de la période d'évaluation. [19]

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

##### II.4.1.3 Hauteur maximale du profil $R_t$ :

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

Altitude maximale du pic au sommet. Il s'agit de la valeur absolue de l'écart entre la hauteur maximale et minimale. [19]

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

#### **II.4.1.4 Profondeur minimale des vallées $R_v$ , $R_m$ :**

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

Le terme  $R_v$  se réfère à la profondeur du creux le plus prononcé dans le profil de rugosité, qui est quantifié sur la longueur d'évaluation.

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

#### **II.4.1.5 Hauteur maximale des pics $R_p$ :**

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

Sommet le plus haut. Ceci représente l'altitude du sommet le plus haut de la longueur d'évaluation.

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

#### **II.4.1.6 Amplitude moyenne $R_{tm}$ :**

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

Rugosité moyenne crête-à-crête : elle fait référence à l'écart entre le sommet le plus haut et la dépression la plus basse, établi sur plusieurs segments prélevés sur la longueur d'examen.

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

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

Elle s'appuie sur cinq longueurs d'échantillon pour les profils de données ( $m = 5$ ). La quantité d'échantillons est conforme à la norme ISO. [19]

#### **II.4.1.7 Profondeur moyenne des vallées $R_{vm}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Profondeur moyenne des vallées déterminée par le biais d'un échantillonnage de longueur d'une vallée. Nous identifions la vallée la plus profonde à partir de cinq échantillons ( $m = 5$ ), puis nous calculons leur moyenne.

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

Où

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

### **II.4.1.8 Hauteur moyenne des pics $R_{pm}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Il s'agit de la hauteur moyenne des pics, calculée à partir des vallées les plus profondes sur cinq longueurs d'échantillonnage ( $m = 5$ ). Pour chaque segment, la vallée la plus profonde est identifiée, puis les hauteurs correspondantes sont moyennées.

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

Où

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

### **II.4.1.9 Profondeur de rugosité de base $R_{3z}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Il s'agit de l'écart vertical entre la troisième crête la plus élevée et le troisième creux le plus profond du profil. Un sommet désigne une zone de la surface qui se situe au-dessus de la ligne moyenne.

### **II.4.1.10 Profondeur de rugosité moyenne $R_{3zISO}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

On calcule la différence entre le troisième sommet le plus haut et le troisième creux le plus profond pour chaque longueur d'échantillonnage. La référence de profondeur de rugosité est fixée en se basant sur cinq longueurs d'échantillonnage et les résultats sont ensuite moyennés.

### **II.4.1.11 Hauteur maximale moyenne $R_z$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Moyenne des valeurs absolues des cinq plus hauts sommets et des cinq plus bas creux sur la période d'évaluation.

### **II.4.1.12 Amplitude crête-à-crête moyenne $R_{zISO}$ :**

Normes : ISO 4287-1997.

Rugosité moyenne de crête à vallée déterminée en se basant sur un pic et une vallée pour la longueur échantillonnée.

La portée maximale est fixée pour cinq longueurs. Les valeurs sont fixées sur une base moyenne. Elle est identique à  $R_{tm}$ .

Échantillonnées puis ces Fonction de distribution d'amplitude Normes : ISO 4287- 1997.

La fonction de distribution d'amplitude représente la probabilité qu'un profil de surface présente une hauteur  $z$  spécifique à n'importe quelle position  $x$ .

Normes : ISO 4287-1997.

La fonction de répartition cumulative de la distribution d'amplitude, également connue sous le nom de distribution d'amplitude cumulée, est particulièrement bénéfique pour décrire l'état de surface. Effectivement, elle représente l'intégrale de la distribution d'amplitude.

### II.4.1.13 Asymétrie $R_{sk}$ :

Normes : ISO 4287-1997.

L'asymétrie est une caractéristique qui décrit la disposition des amplitudes dans une distribution. Il s'agit d'une appréciation de la symétrie de la répartition d'un profil par rapport à sa ligne médiane. [19]

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

## II.5 Principaux paramètres de la rugosité :

Beaucoup critères normalisés permettent de caractériser la rugosité. En pratique, seuls trois paramètres sont généralement retenus pour un profil sur une longueur donnée :

- **Ra (écart moyen)** : c'est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts entre les sommets et les creux du profil. Ra représente la distance moyenne entre ces écarts et la ligne centrale, offrant une estimation synthétique des caractéristiques de la rugosité.
- **Rt (écart total)** : Désigne l'écart maximum entre le pic le plus haut et la vallée la plus profonde du profil sur la longueur prise en compte.
- **Rz (régularité)** : il s'agit de la moyenne des valeurs  $R_t$  mesurées sur cinq longueurs de référence, permettant d'évaluer la régularité de la rugosité. [16]

## II.6 Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe :

Le motif se réfère à une section de profil se trouvant entre deux sommets adjacents, définie par son amplitude (ou son intervalle) ainsi que par la profondeur de chaque côté. On peut évaluer graphiquement les paramètres liés aux motifs en traçant la ligne de bord supérieure et la ligne de bord inférieur. [16]

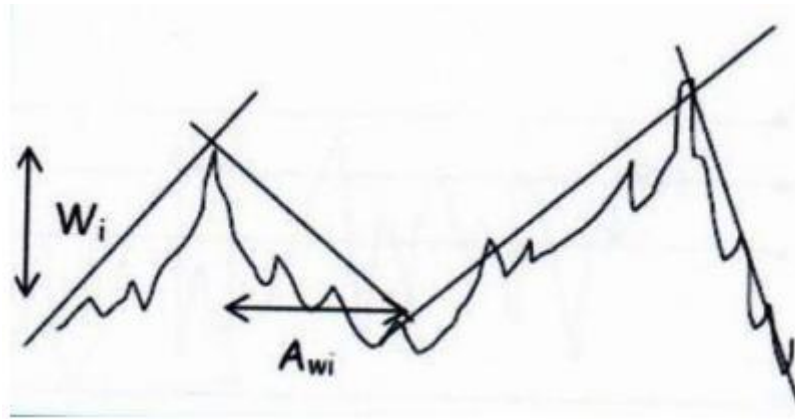


Figure II.9 : Paramètres d'ondulation.

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

$$Aw = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m Aw_j \quad \text{pas moyen}$$



Figure II.10: Paramètre liés aux motifs

## II.7 Paramètres liés à la ligne moyenne :

Selon la norme ISO 4287/1, la ligne de référence employée pour le calcul des paramètres est celle qui utilise la méthode des moindres carrés, qui est déterminée sur une longueur de base. On procède alors au calcul des valeurs des paramètres en effectuant une moyenne sur cinq longueurs de base. Voici la définition des principaux paramètres liés à cette ligne moyenne :

### II.7.1 Au niveau de la longueur de base :

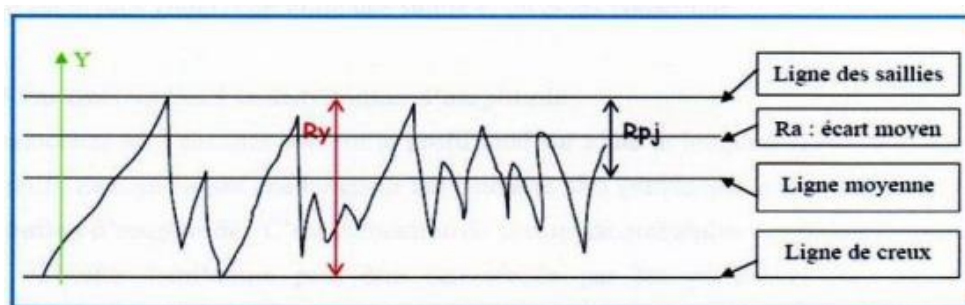


Figure II.11: Paramètre liés à la longueur de bas



**R<sub>pj</sub>** : distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne.

**R<sub>aj</sub>** : écart moyen arithmétique du profil.

**R<sub>y</sub>** : distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux.

**R<sub>p</sub>** : Représente la moyenne des R<sub>pj</sub>. [16]

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

**R<sub>t</sub>** : c'est le plus grand des R<sub>y</sub> (R<sub>y</sub> étant dans la longueur de base, on choisit le plus grand R<sub>y</sub> compris dans la longueur d'évaluation). On considère que R<sub>t</sub> est plus au moins équivalente à R<sub>y</sub>.

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

### II.7.2 Au niveau de la longueur d'évaluation :

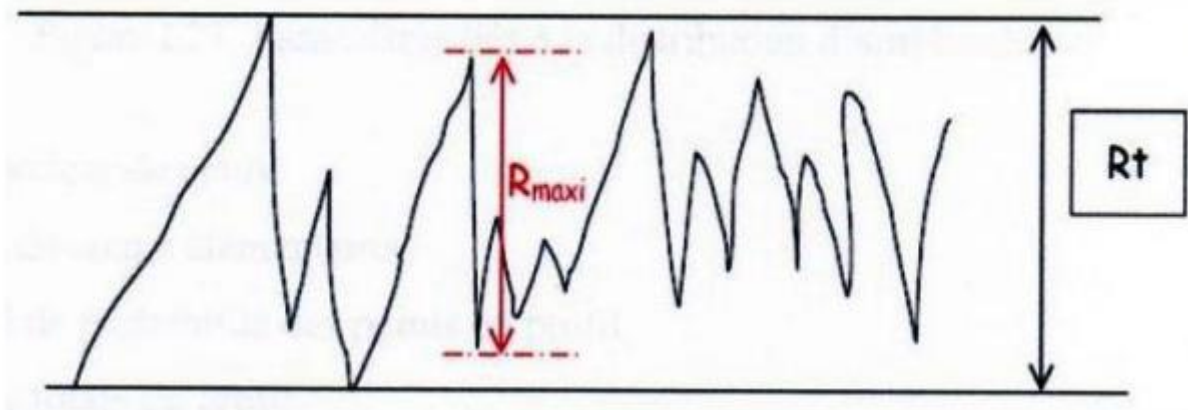


Figure II.12: Paramètres liés à la longueur d'évaluation

### II.8 Paramètres liés à la distribution d'amplitude :

On peut établir ces paramètres soit en se basant sur l'intégralité du profil, couvrant ainsi toute la longueur d'évaluation  $L$ , soit en se référant au profil de rugosité, sur une longueur qui peut dépasser la longueur initiale.

#### II.8.1 Distribution d'amplitude :

C'est la fonction de densité de probabilité associée aux points qui constituent le profil. Les paramètres  $R_q$ ,  $S_k$  et  $E_k$ , qui représentent les moments centrés de deuxième, troisième et quatrième ordre respectivement, décrivent la configuration de cette distribution. On utilise ces paramètres en tribologie pour établir une modélisation mathématique du comportement des surfaces.

La courbe d'Abbott-Firestone, manifestant le taux de portance  $T_p$ , illustre la répartition cumulative des hauteurs, en relation avec la profondeur de coupe  $c$ . Il détermine le pourcentage précis de surface qui demeurerait en contact avec une surface plane suite à une éventuelle usure de  $c$ . [16]

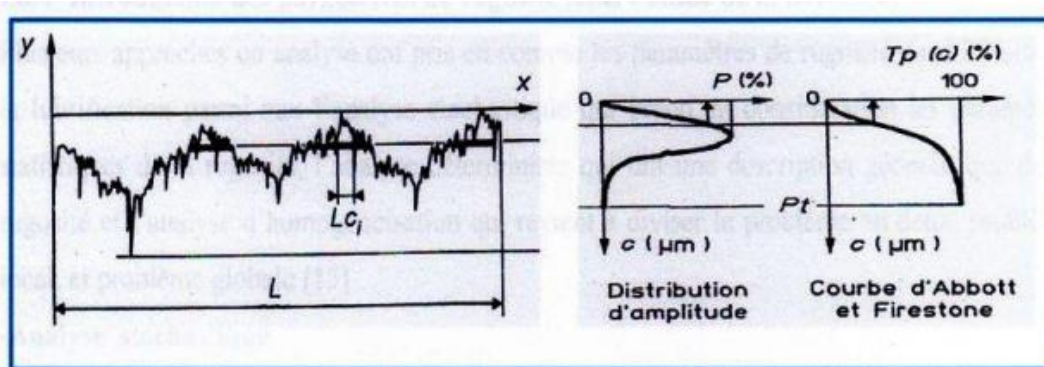


Figure II.13: Paramètres liés à la distribution d'amplitude

$C$  : (nm) profondeur de coupe.

$L_{ci}$  : longueur de coupe élémentaire.

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

$P_t$  : profondeur totale du profil.

$T_p(C)$  : Le taux de longueur portante, exprimé en pourcentage, correspond à la proportion de longueur en contact après une usure hypothétique égale à  $C$ . Ces paramètres de surface permettent d'analyser les conditions de contact mécanique, ce qui fait de la connaissance de la topographie de surface un aspect essentiel en tribologie. [16]

### II.9 Mesure de la rugosité :

Les rugosimètres servent à identifier de façon sûre et exacte divers paramètres de rugosité tels que Ra, Rz, etc.

En mécanique, l'optimisation de la rugosité améliore l'ancrage mécanique, particulièrement dans les dispositifs où le frottement joue un rôle essentiel. Les rugosimètres servent essentiellement à vérifier l'usure des surfaces métalliques, l'état des surfaces traitées ainsi que la qualité de finition des surfaces revêtues. Ils peuvent parfois parvenir à une précision au niveau du nanomètre... [20]



Figure II.14: Rugosimètre

### II.10 Techniques d'amélioration des états de surface :

#### II.10.1 La Rectification :

L'action de rectification d'un composant mécanique a pour objectif d'améliorer sa rugosité de surface. On identifie principalement deux techniques : la rectification plane et la rectification cylindrique. [20]



**Figure II.15:** Opération de la Rectification [21]

### ***II.10.1.1 Principe de la rectification :***

La rectification est réalisée à l'aide d'une machine-outil spécialement conçue pour cette opération, appelée rectifieuse. Son but est d'obtenir une surface dont la forme se rapproche le plus possible d'une géométrie parfaite, généralement un plan, un cylindre de révolution ou un cône.

La rectification est fréquemment utilisée pour préparer des surfaces fonctionnelles, telles que l'étendue d'un arbre prévu pour fonctionner dans un palier lisse ou à travers un joint d'étanchéité. Elle peut également servir à conférer un profil spécifique à la pièce, à condition que la meule ait été préalablement usinée selon le profil complémentaire souhaité.

La rectification plane implique un meulage horizontal de l'objet pour éliminer progressivement des couches de matière d'épaisseur variant entre 20 et 40 micromètres (0,0005 à 0,001 pouce). Le meulage de surfaces plus vastes que la meule elle-même.

La rectification double face permet d'usiner simultanément les deux faces opposées d'une pièce. En rectification cylindrique, la pièce est mise en rotation sur elle-même tout en se déplaçant parallèlement à l'axe de la meule. Dans la majorité des opérations de rectification, l'utilisation d'un liquide de refroidissement et d'arrosage est indispensable. Ce fluide permet de refroidir à la fois la meule et la pièce, évitant ainsi les surchauffes susceptibles de provoquer des brûlures ou de détériorer l'état de surface. [20]

### ***II.10.1.2 Les avantages de la rectification :***

- Capacité à s'attaquer aux matériaux les plus résistants.
- Permettre d'obtenir des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm), ce qui facilite la production de pièces d'une grande précision.
- Obtenir une rugosité de surface de très haute finition ( $< 0,1 \text{ Ra}$ ). [20]

### **II.10.2 Matériaux :**

Il est possible de rectifier :

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

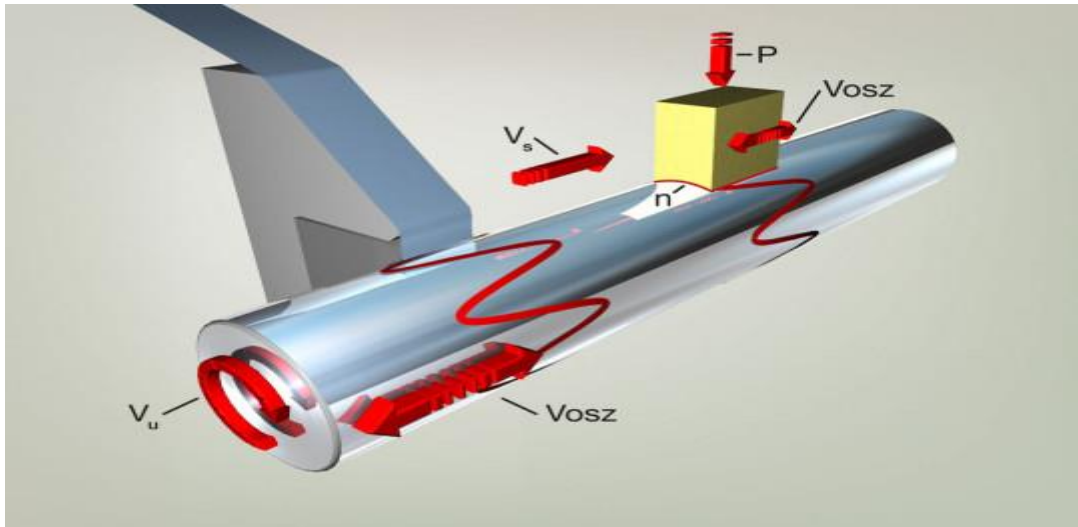
### **II.10.3 Superfinition :**

Il s'agit d'un procédé d'usinage conçu pour obtenir des pièces d'une qualité exceptionnelle, surpassant les performances de la rectification. Elle opère selon deux dimensions majeures:

- **La forme finale de la surface obtenue** : l'usinage par outil laisse généralement des raies ou stries visibles, que le rodage atténue partiellement.
- **La structure de surface du métal usiné** : le processus d'usinage par outil entraîne des hausses significatives de température, pouvant culminer à 1 000 °C à la pointe de l'outil. Celui-ci arrache également des fragments de matière sous forme de copeaux, ce qui entraîne une altération superficielle liée à la fusion de particules métalliques, pouvant ensuite se ressouder à la surface.

La superfinition a pour objectif d'éliminer la couche de Beilby afin de supprimer les stries ainsi que les défauts géométriques. La principale différence entre la superfinition et la rectification réside dans le mode de déplacement de l'abrasif lors de la coupe.

L'approche de meulage rapide réserve la place à l'usage d'une meule qui réalise un mouvement linéaire alternatif. Ce mouvement vibratoire possède une fréquence approximative de 25 oscillations par seconde, avec une amplitude comprise entre 1 et 5 mm. L'abrasif opère à faible vitesse, généralement entre 10 et 20 m/min, contre environ 3000 m/min en polissage. [20]



**Figure II.16:** Technique de superfinition pour obtenir une surface à très faible rugosité [22]

### II.10.4 Le lubrifiant :

Un lubrifiant est une substance liquide prévue pour assurer le refroidissement et la lubrification lors de l'usinage des métaux. On utilise divers fluides dans le processus d'usinage, comme les huiles, les mélanges, les aérosols, l'air et différents liquides gazeux. L'utilisation de ces fluides améliore les processus et les techniques d'usinage des matériaux métalliques. Néanmoins, il convient de souligner deux exceptions :

- ✓ Le laiton et la fonte qui sont traités à sec.
- ✓ Le fluide d'usinage est utilisé pour plusieurs raisons essentielles :
  - Maintenir une température stable de la pièce pendant l'usinage, ce qui est crucial lorsque les tolérances dimensionnelles sont très serrées.
  - Prolonger la longévité de l'outil de coupe en graissant le tranchant et en minimisant l'accumulation de copeaux rémanents.
  - Réduire l'usure de la machine-outil en minimisant les frottements et les échauffements.
  - Garantir aux opérateurs un environnement de travail favorable. [16]



**Figure II.17:** Le lubrifiant



### **II.10.4.1 Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification) :**

#### **✓ Maintien en température :**

L'usinage des métaux produit de la chaleur due au frottement et à la déformation du matériau. L'air ambiant ne refroidit pas bien l'outil car il conduit mal la chaleur (conductivité thermique faible). [16]

#### **✓ Lubrification :**

En plus de l'effet de refroidissement, les liquides de coupe contribuent à faciliter l'usinage en diminuant la friction entre l'outil et le matériau travaillé. Cela réduit la température et empêche l'adhésion des copeaux à l'instrument, ce qui optimise la qualité de la surface traitée [16]

#### **✓ Évacuation des copeaux :**

Dans le procédé de production en série, le liquide de coupe participe aussi à l'élimination des copeaux. Depuis la zone de découpe vers un système centralisé pour les copeaux. [16]

### **II.10.4.2 Composition des fluides d'usinage :**

Les fluides d'usinage sont utilisés dans un grand nombre d'opérations, ce qui explique la diversité de leurs compositions. Ils sont généralement formulés par des spécialistes qui utilisent un large éventail de matières premières.

On peut distinguer parmi ces fluides :

- Les huiles entières
- Les fluides de type émulsion
- Les fluides type micro-émulsion
- Les fluides synthétiques

#### **✓ Huiles entières :**

Huiles minérales, additives ou non.

#### **✓ Fluides de type émulsion :**

Les fluides de type émulsion contiennent en général:

- Une base type huile minérale ou alkylbenzène
- Un émulateur
- Un agent anti-corrosion
- Des additifs type extrême pression
- Des bactéricides et/ou des fongicides
- Des agents anti-mousse
- De l'eau

Ces substances sont disponibles en tant que concentrés qui doivent être mélangés à l'eau avant utilisation (généralement de 2 à 10 %).

✓ **Fluides de type micro-émulsion :**

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

- Une base huile minérale ou alkylbenzène
- Un émulateur anti- corrosion
- Des additifs antimousses
- Des additifs extrême-pression (non obligatoirement)
- Des bactéricides et/ou fongicides
- Un solvant
- De l'eau

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

✓ **Fluides synthétiques :**

Durant le processus d'usinage, les fluides accumulent non seulement des métaux, qui sont plus ou moins solubilisés, mais également des composés non désirés (provenant de la décomposition thermique du fluide) et particulièrement dans le cas de fluides aqueux, des polluants biologiques (comme les moisissures, les bactéries, etc.).

Les opérations d'usinage génèrent des aérosols dont l'inhalation peut provoquer diverses affections respiratoires. L'air ambiant peut contenir certains composés présents dans les fluides d'usinage, dont plusieurs sont classés comme cancérogènes de catégorie 1 ou comme agents allergènes respiratoires.

De plus, le contact de la peau avec ces liquides peut provoquer des dermites ou des lésions similaires à l'eczéma. Il est donc crucial d'implémenter les mesures de prévention suivantes :

- Vérifier régulièrement la qualité des fluides de travail du métal.
- Nettoyer les postes de travail grâce à des systèmes de ventilation performants.
- Évitez tout contact direct avec ces matières. [20]



A decorative scroll frame with a black outline and grey shading on the left and right sides, containing the chapter title.

## ***Chapitre III : Partie Expérimentale***

### **III. Introduction:**

Ce travail explore l'effet de la géométrie de coupe sur la qualité de surface, en mesurant la rugosité tout en prenant en compte les conditions d'usinage.

Une série d'essais a été initiée, dont les résultats principaux sont collectés pour une analyse détaillée en vue d'une interprétation liée à l'état de surface.

#### **III.1 Matériaux utilisés :**

**Acier XC38 :** Acier à moyenne teneur en carbone, un mi-dur qui peut être employé sous forme traitée ou normalisée en fonction du niveau de propriétés mécaniques souhaité.

Les désignations de la matière :

<b>AFNOR</b>	<b>DIN</b>	<b>NF EN 10027-1</b>
XC38	CK 35	C35 (1.1181)

##### **III.1.1 Composition chimique :**

La composition chimique typique de l'acier XC38 est donnée dans le tableau suivant :

<b>Eléments</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S*</b>	<b>Mn</b>
%	0.32 – 0.39	≤ 0,40	≤ 0.035	≤ 0.035	0,50-0,80

##### **III.1.2 Propriétés physique et mécanique :**

Acier de construction faiblement allié au chrome-molybdène, prévu pour être trempé et revenu. Excellente aptitude de trempe à l'huile et une solide résistance face aux surcharges en conditions traitées.

### **III.1.3 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :**

<b>Caractéristiques Mécaniques</b>	<b>ER7</b>
Module de Young E(MPa)	210 000
Coefficient de poisson	0.3
Limite élastique Rel (MPa)	300
Limite d'élasticité à 0.2% RP0.2(MPa)	320
Résistance maximale en traction Rm (MPa)	650
Allongement total après rupture A (%)	19

### **III.1.4 Domaine d'application :**

Acier largement utilisé en mécanique, pour des pièces de tailles moyennes : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. On utilise parfois cet acier pour des pièces qui ont été superficiellement trempés.



**Figure III.1: Le brut**

### III.2 Machine-outil utilisés :

Le tour **CNC DMG MORI** type **CLX350** à 2 axes

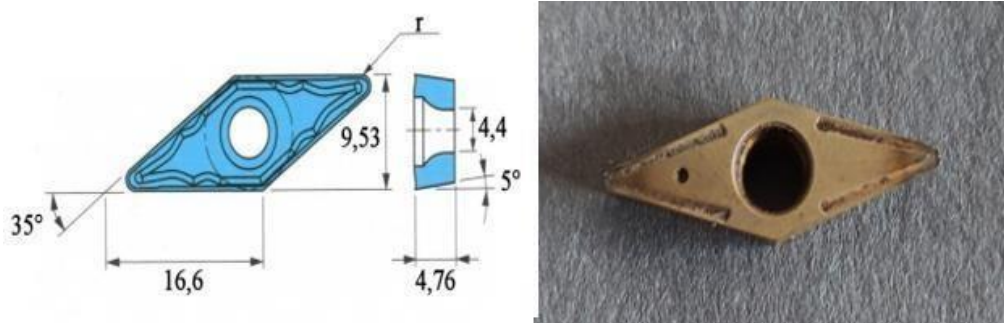
Le tour CNC DMG MORI CLX 350 a été fabriqué en 2017. La machine, conçue pour le travail précis de détails jusqu'à un diamètre maximal de 610 mm, est dotée de pièces de premier choix et d'innovations récentes qui vous aideront à satisfaire les exigences de production les plus exigeantes. Un lit spécialement conçu absorbe également toutes les vibrations générées durant le processus d'usinage entraînant une optimisation de la qualité de la surface traitée et augmentent la durabilité des outils de coupe.



**Figure III.2:** Le tour CNC DMG MORI CLX 350 2 axes

### III.3 Outil de coupe utilisé:

Nous avons employé un outil à plaquette pour mener nos expériences. D'après un catalogue examiné à l'atelier B3 de Ferrovial, la plaquette monobloc du modèle GC4235 a été sélectionnée. Il s'agit d'une plaquette en carbure métallique P35 de type V dotée d'un rayon de bec de 1,2 mm, qui est fixée sur un porte-plaquettes utilisant un système de bride visée.

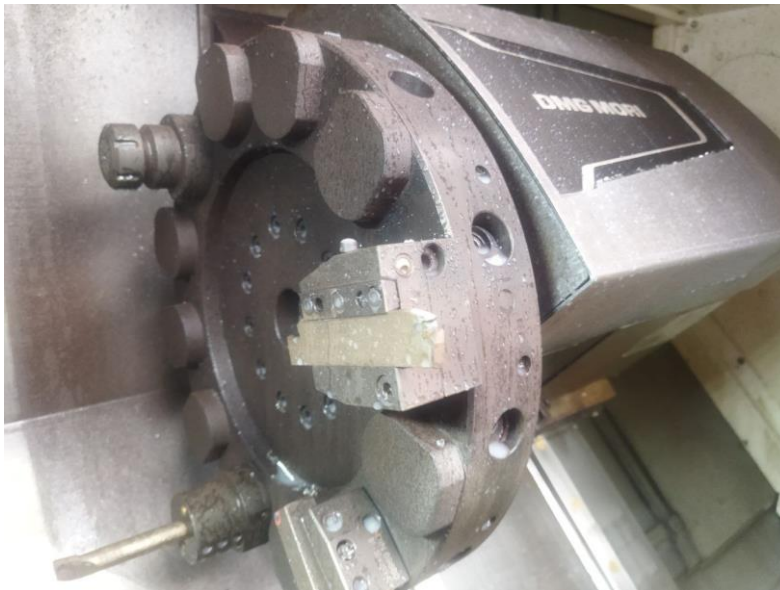


**Figure III.3:** plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200



**Figure III.4:** Outil de coupe

**Outil à tronçonner :**



**Figure III.5:** Outil à tronçonner

#### **III.4 Rugosimètre utilisé :**

Pour l'évaluation de divers paramètres de rugosité ( $R_a$ ,  $R_q$ , et  $R_z$ ).

Le TR220 est l'instrument de mesure rugosité adapté aux exigences les plus rigoureuses, grâce à sa précision élevée et à son large éventail de fonctionnalités. Durant le processus de mesure, le capteur se déplace de parcours linéaire sur l'étendue à mesurer. Par conséquent, la sonde se déplace le long du profil de la surface.

Ces mouvements sont convertis en signaux électriques qui sont par la suite amplifiés, filtrés et traduits en signaux numériques via un convertisseur analogique-numérique. Ces signaux sont par la suite affinés dans le processeur central afin de générer des valeurs de  $R_a$  et  $R_z$  (ou métrique de  $R_q$  et de  $R_z$ ), qui sont présentées à l'écran.



**Figure III.6 :** rugosimètre TR220 (2D)

#### III.5 Régime de coupe :

La sélection de régime de coupe a été effectuée en fonction du matériau traité et d'outil de coupe utilisé pour la fabrication de la pièce requise. Les paramètres de coupe utilisés pour cette dernière sont présentés dans les tableaux suivants.

#### III.6 Préparation des éprouvettes d'essais :

Les essais se réalisent en chariotage sur des échantillons cylindriques fabriqués à partir de la barre mentionnée précédemment. Huit (8) éprouvettes de dimensions (20X35 mm) ont été fabriquées dans la barre en utilisant un outil pour gorger. La largeur du palier est de 20 mm, séparé par des gorges de profondeur 4 mm et largeur de 6 mm pour permettre le déplacement de l'outil.

➤ **Le type de montage :** on a utilisé un montage mixte. Voir figure ci-dessous :

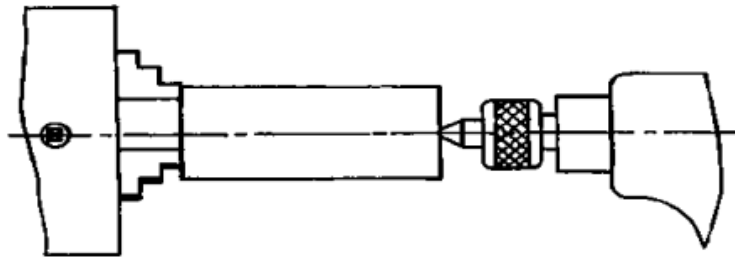


Figure III.7: Dessin de montage de l'arbre (montage mixte).

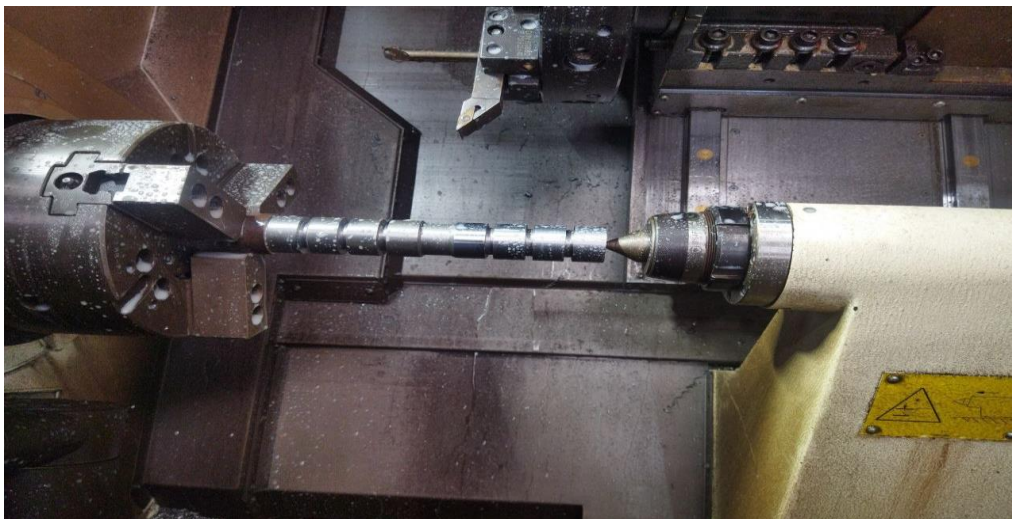
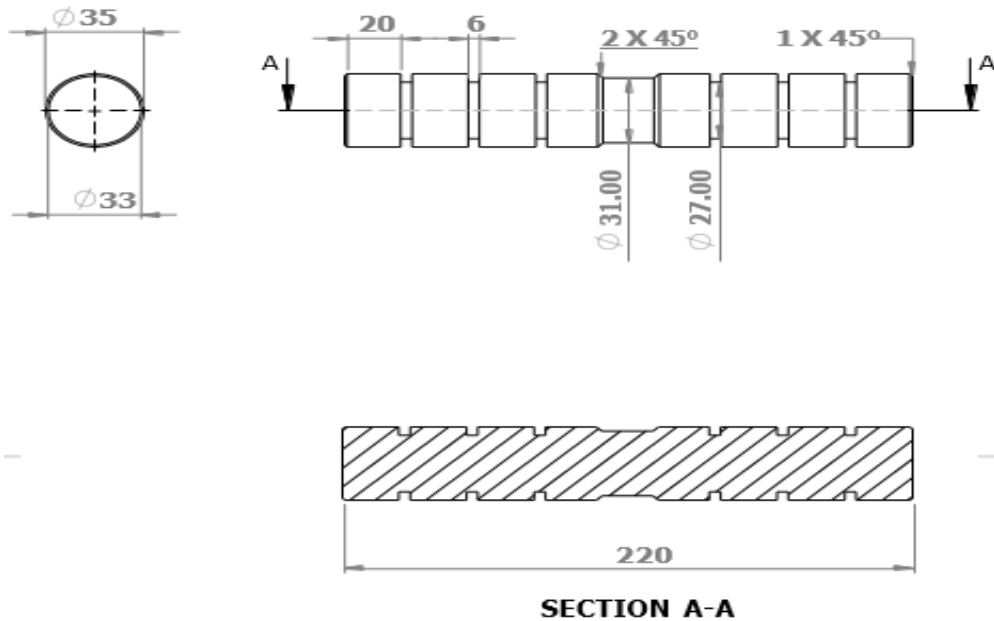


Figure III.8: Photo de l'éprouvette montée sur le tour.





**Figure III.9:** :Le dessin de définition

### **III.6.1 Programme d'usinage de la pièce (G code) :**

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

❖ Programme pour opération d'usinage à sec et sous lubrifiant :

N5 G54

N10 T5 D1 M6

N15 G96 S100 F0.01 M3 LIMS=3000

N20 G0 X36 Z0

N25 G1 X0

N30 CYCLE95("FMP25",1,0.05,0.3,0,0.1,0.15,0.15,9,0,0,0)

N35 T20 D2 M6

N40 S1000 F0.1 M4

N45 G0 X36 Z-20

N50 G1 X21



N55 G1 X40

N60 Z-46

N65 G1 X21

N70 G1 X40

N75 Z-72

N80 G1 X21

N85 G1 X40

N90 Z-139

N95 G1 X21

N100 G1 X40

N105 Z-164

N110 G1 X21

N115 G1 X40

N120 Z-189

N125 G1 X21

N130 X40

N135 G1 X50 Z10

N140 M30

❖ Sous programme:

N5 G1 X33 Z0

N10 X35 Z-1

N15 Z-98

N20 X27 Z-100

N25 Z-118

N30 X35 Z-120

N35 Z-218

N40 G1 X37

N45 M17

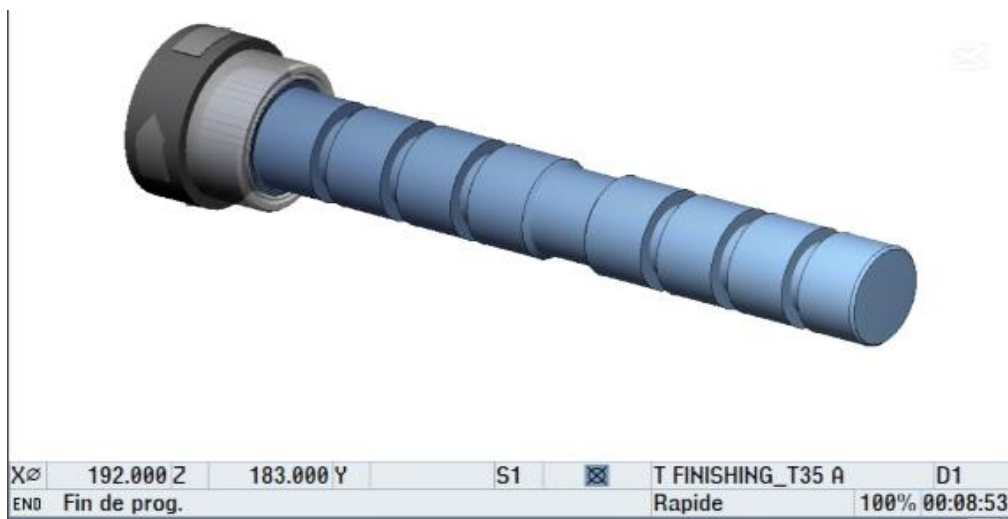


Figure III.10: Simulation dans Sinutrain

#### III.7 Présentation du mode de travail :

Dans cette partie, nous présentons le protocole expérimental adopté pour l'étude et compréhension de l'effet géométrique de l'outil de coupe sur les qualités de surface de pièce usinée.

Dans notre travail pratique, nous procédons par élimination de l'impact de tous les autres paramètres susceptibles d'apporter des modifications dans les résultats et de ne laisser varier que les paramètres géométriques de l'outil de coupe (angles).

On a choisi l'angle de direction d'arrête principale  $K_r$  comme une variable.

- Dans notre cas, on ne peut pas changer directement l'angle  $K_r$  de la plaquette elle-même, car il est défini par la forme de la plaquette c'est-à-dire que cet angle est géométriquement fixe.
- En utilisant un porte – plaquette avec un autre angle d'orientation. Dans le magasin de Ferroviail, il existe des portes plaquettes prévus pour positionner les plaquettes à différents angles même avec une même plaquette pour changer l'angle de direction d'arrête principale  $K_r$ .
- On a choisi 4 angles  $K_r$  pour usiner ( $35^\circ$  ;  $60^\circ$  ;  $75^\circ$  et  $90^\circ$ ).

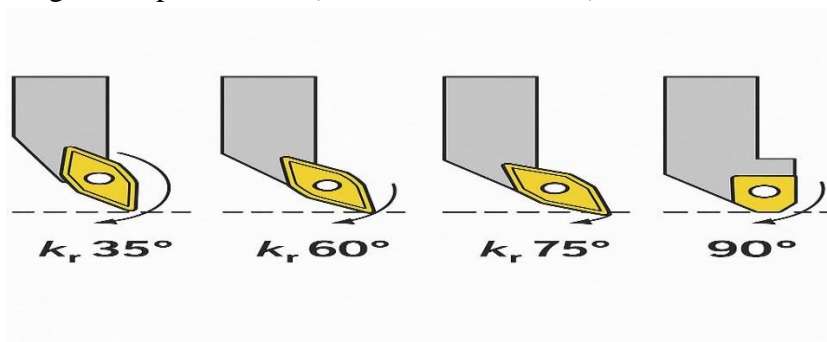


Figure III.11: Schéma montrant les différentes positions pour simuler les angles  $K_r$

### **III.8 Routage d'usinage :**

#### **III.8.1 Opération de Chariotage Finition :**

Selon le parcours d'usinage, l'opération de chariotage, effectuée avec les paramètres indiqués dans les tableaux suivants, a permis de suivre la progression de la rugosité de la surface usinée en lien avec l'angle de direction d'arête de coupe ( $K_r$ ).

- **La vitesse de coupe  $V_c$  :**

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

$$D = 36 \text{ mm}$$

- ✓  $V_c$  : vitesse de coupe en (m/min)
- ✓  $N$  : vitesse de rotation de la broche (tr/min).
- ✓  $D$  : diamètre en point d'usinage (mm).

Pour  $N = 1500$  tr/min :

$$V_c = \frac{3.14 \times 36 \times 1500}{1000}$$

$$V_c = 169.646 \approx 170 \text{ m/min.}$$

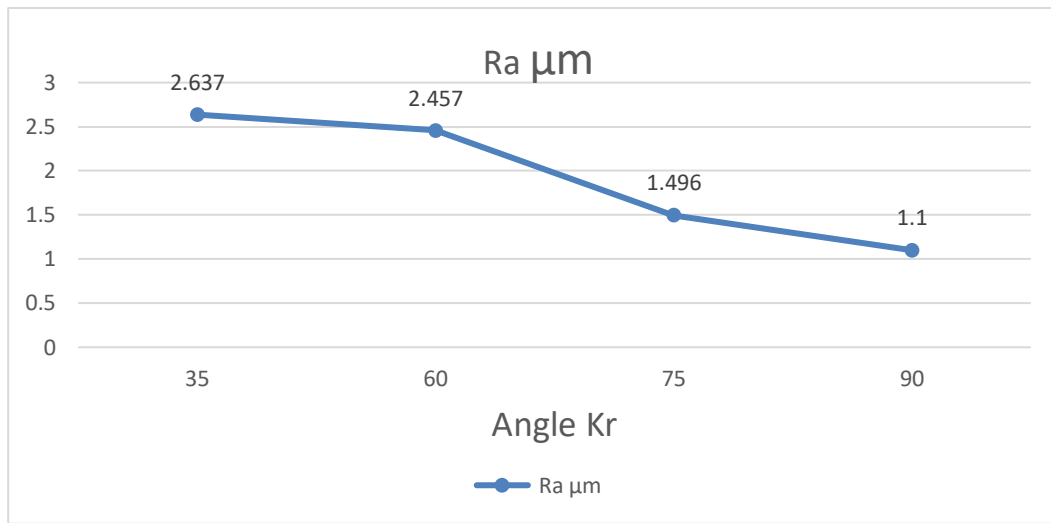
#### ➤ **Essai 01 :**

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

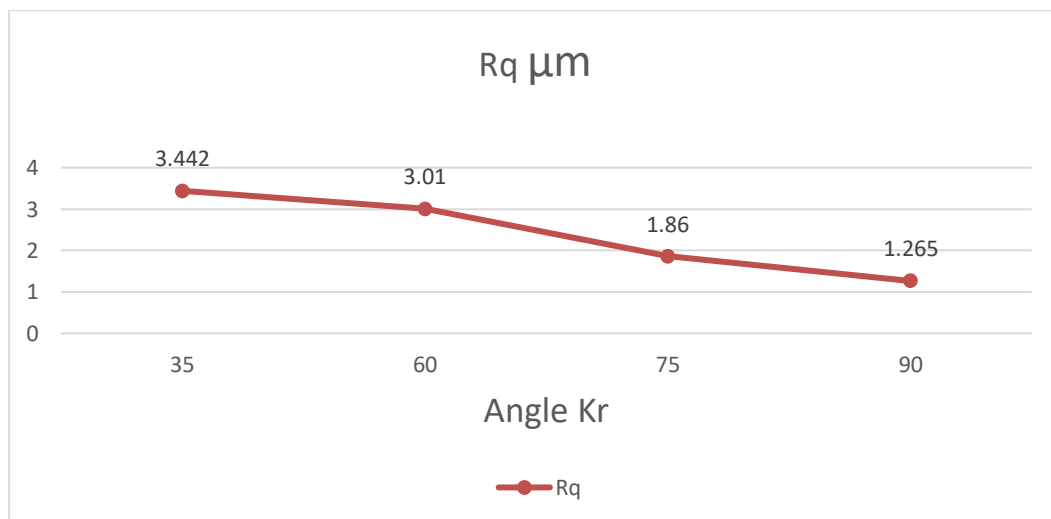
- ✓ Avance  $f = 0.15$  mm
- ✓ Profondeur de passe  $a_p = 1$  mm
- ✓ Vitesse de rotation  $N = 1500$  tr/min
- ✓ L'angle  $K_r$  : varié
- ✓ Usinage à sec

**Tableau III-1 : Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage à sec.**

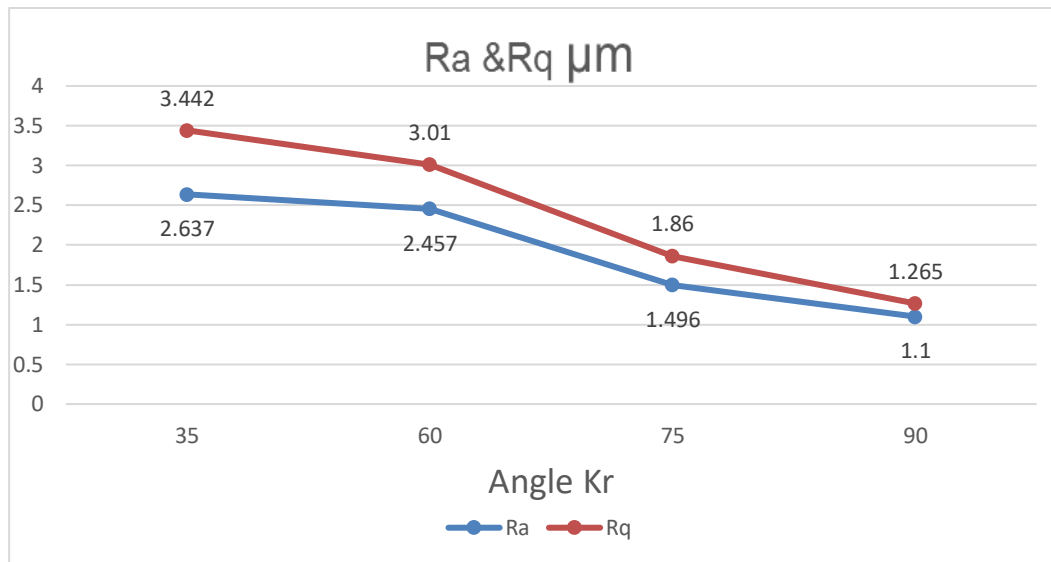
Palier	L'angle Kr	$f$ mm/tr	a mm	Vc m/min	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rq $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	35°	0.15	0.5	170	1	2.551	3.581	15.62
					2	2.558	3.164	14.62
					3	2.802	3.581	15.62
					Moyenne	2.637	3.442	15.286
2	60°	0.15	0.5	170	1	2.444	2.968	11.59
					2	2.626	3.178	13.35
					3	2.302	2.886	11.96
					Moyenne	2.457	3.010	12.3
3	75°	0.15	0.5	170	1	1.500	1.881	8.269
					2	1.452	1.821	8.484
					3	1.536	1.878	8.199
					Moyenne	1.496	1.860	8.317
4	90°	0.15	0.5	170	1	1.059	1.262	5.480
					2	1.187	1.240	5.300
					3	1.054	1.293	5.359
					Moyenne	1.100	1.265	5.379



**Figure III.12:** Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec



**Figure III.13:** Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec



**Figure III.14:** Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec

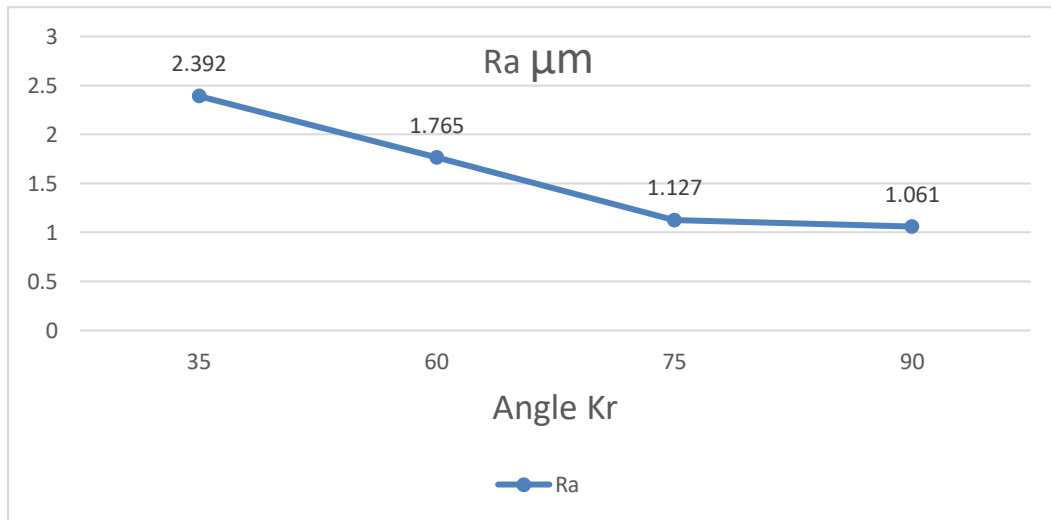
➤ **Essai 1.2 :**

**Condition d'usinage :**

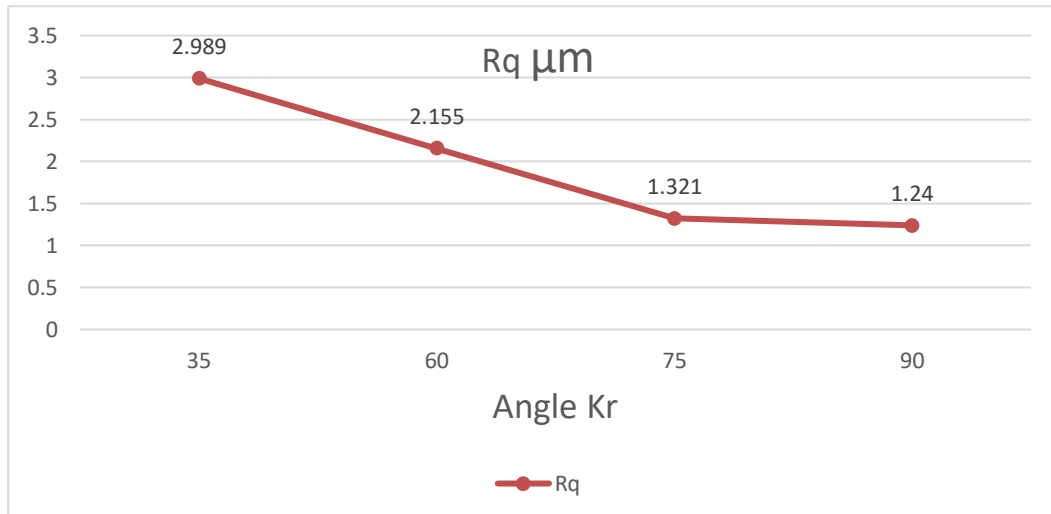
- ✓ Avance  $f = 0.15$  mm
- ✓ Profondeur de passe  $a_p = 1$  mm
- ✓ Vitesse de rotation  $N = 1500$  tr/min
- ✓ L'angle Kr : varié
- ✓ Usinage avec lubrification

**Tableau III-2: Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage avec lubrification.**

Palier	L'angle Kr	f mm/tr	a mm	Vc m/min	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rq $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	35°	0.15	0.5	170	1	2.524	3.145	13.65
					2	2.466	3.069	13.64
					3	2.188	2.755	12.07
					Moyenne	2.392	2.989	13.12
2	60°	0.15	0.5	170	1	1.864	2.318	10.12
					2	1.653	2.000	8.292
					3	1.780	2.147	9.402
					Moyenne	1.765	2.155	9.271
3	75°	0.15	0.5	170	1	1.093	1.278	4.699
					2	1.211	1.405	5.019
					3	1.078	1.282	4.988
					Moyenne	1.127	1.321	4.902
4	90°	0.15	0.5	170	1	1.047	1.167	4.796
					2	1.054	1.378	5.082
					3	1.093	1.177	4.579
					Moyenne	1.061	1.240	4.819

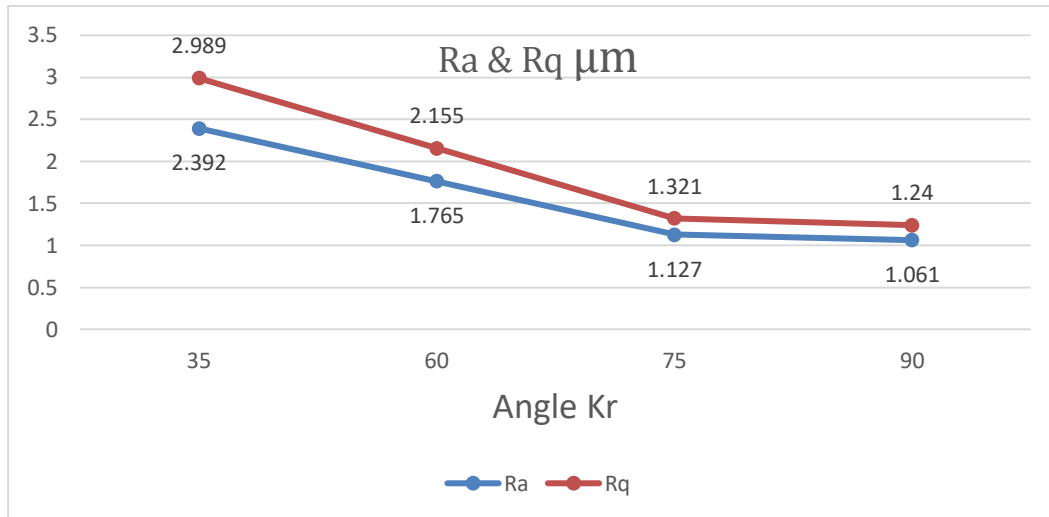


**Figure III.15:** Evolution de la rugosité (Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification



**Figure III.16:** Evolution de la rugosité (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification





**Figure III.17:** Comparaison entre l'évolution de la rugosité (Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification

#### ➤ Essai 2.1 :

- **La vitesse de coupe  $V_c$  :**

Pour  $N = 1815$  tr/min :

$$V_c = \frac{3.14 \times 35 \times 1815}{1000}$$

$$1000$$

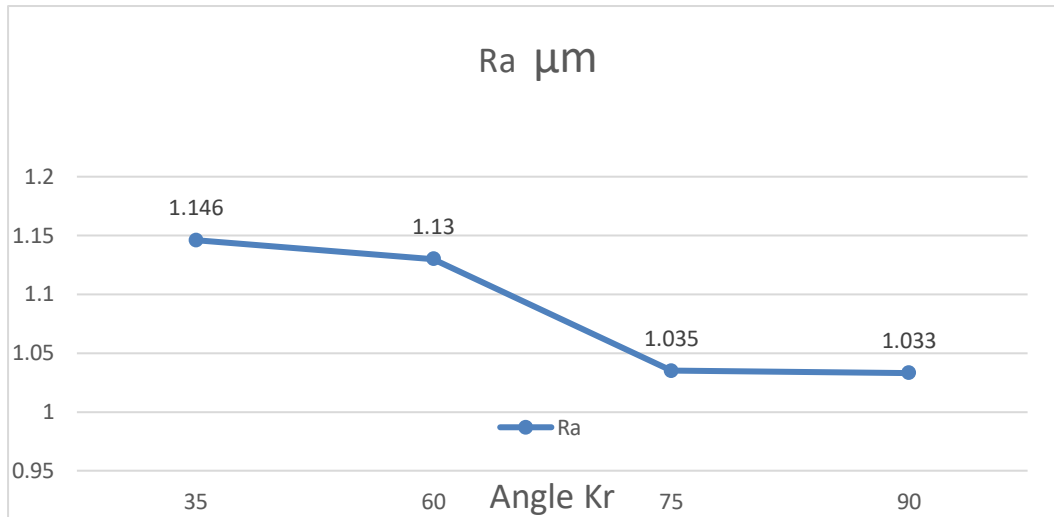
$$V_c = 199.468 \approx 200 \text{ m/min.}$$

#### Condition d'usinage :

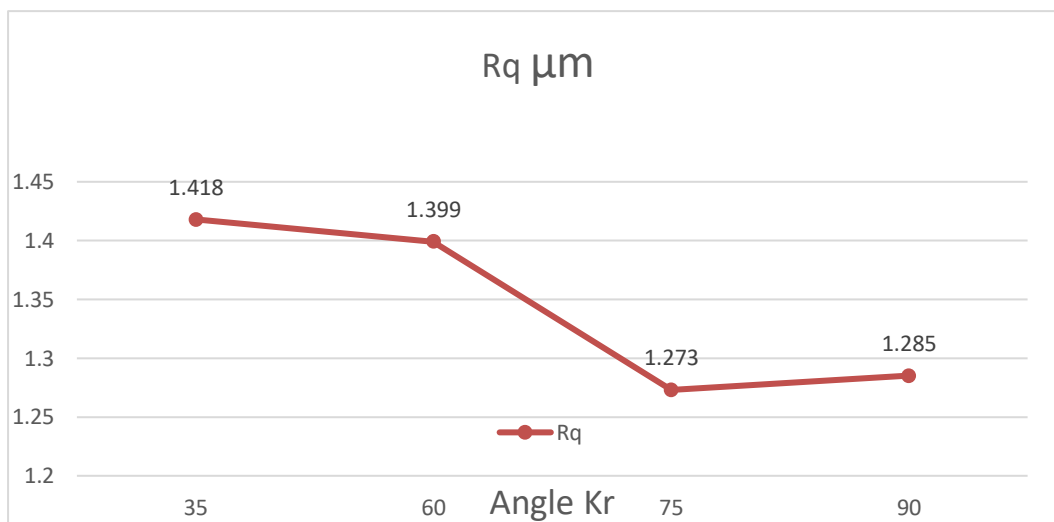
- ✓ Avance  $f = 0.15$  mm
- ✓ Profondeur de passe  $a_p = 1$  mm
- ✓ Vitesse de rotation  $N = 1815$  tr/min
- ✓ L'angle Kr : varié
- ✓ Usinage à sec

**Tableau III-3: Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage à sec.**

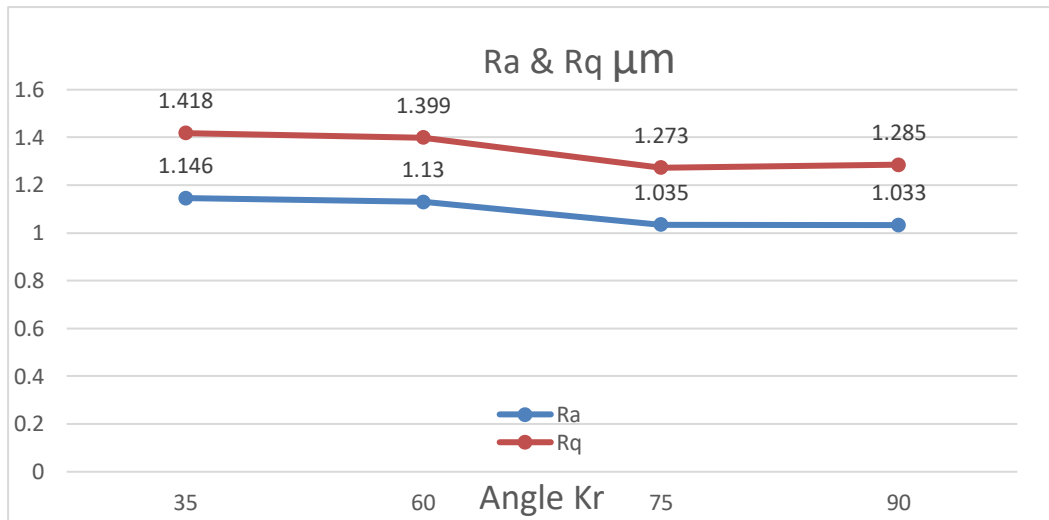
Palier	L'angle Kr	f mm/tr	a mm	Vc m/min	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rq $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	35°	0.15	0.5	200	1	1.066	1.310	5.296
					2	1.186	1.490	6.273
					3	1.188	1.454	6.207
					Moyenne	1.146	1.418	5.925
2	60°	0.15	0.5	200	1	1.262	1.546	5.753
					2	1.076	1.340	5.664
					3	1.052	1.312	5.667
					Moyenne	1.130	1.399	5.694
3	75°	0.15	0.5	200	1	0.890	1.063	4.109
					2	1.035	1.303	5.675
					3	1.180	1.453	5.785
					Moyenne	1.035	1.273	5.189
4	90°	0.15	0.5	200	1	1.030	1.294	5.207
					2	1.138	1.415	5.472
					3	0.933	1.148	4.730
					Moyenne	1.033	1.285	5.136



**Figure III.18:** Evolution de la rugosité(Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec



**Figure III.19:** Evolution de la rugosité(Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec



**Figure III.20:** Comparaison entre l'évolution de la rugosité(Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage à sec

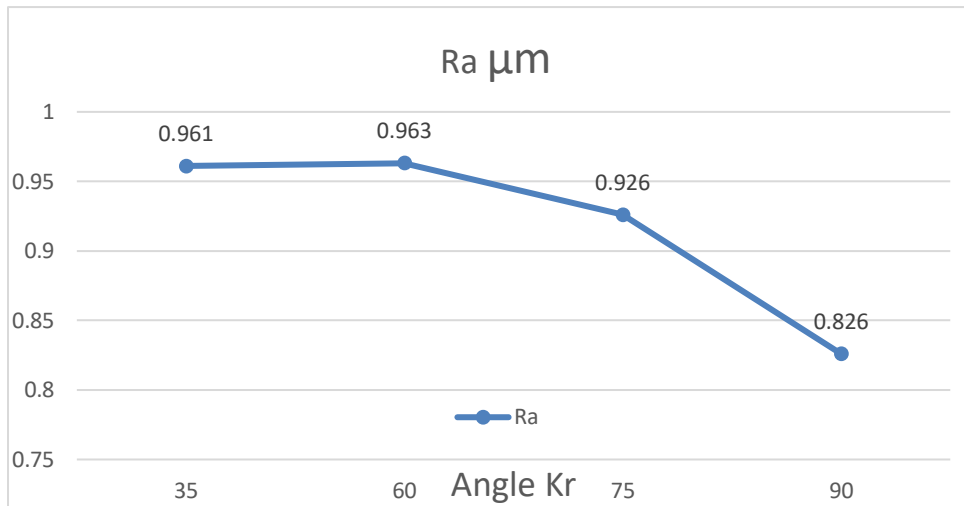
➤ **Essai 2.2 :**

**Condition d'usinage :**

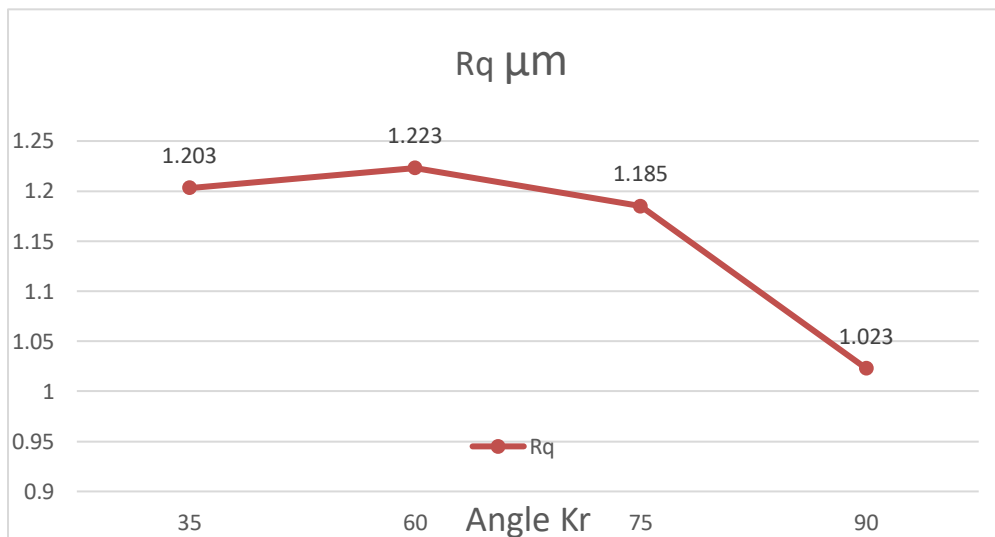
- ✓ Avance  $f = 0.15 \text{ mm}$
- ✓ Profondeur de passe  $a_p = 1 \text{ mm}$
- ✓ Vitesse de rotation  $N = 1815 \text{ tr/min}$
- ✓ L'angle Kr : varié
- ✓ Usinage avec lubrification

**Tableau III-4: Tableau des valeurs de la rugosité lors de l'usinage avec lubrification.**

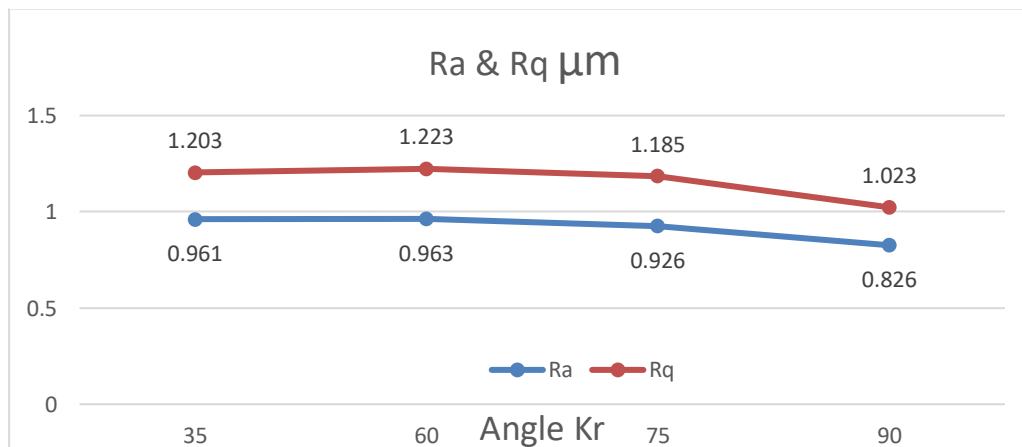
Palier	L'angle Kr	f mm/tr	a mm	Vc m/min	Mesure	Ra $\mu\text{m}$	Rq $\mu\text{m}$	Rz $\mu\text{m}$
1	35°	0.15	0.5	200	1	1.069	1.304	4.898
					2	0.953	1.219	5.445
					3	0.861	1.086	5.128
					Moyenne	0.961	1.203	5.157
2	60°	0.15	0.5	200	1	1.030	1.288	5.324
					2	1.007	1.263	5.214
					3	0.853	1.118	4.871
					Moyenne	0.963	1.223	5.136
3	75°	0.15	0.5	200	1	0.858	1.111	5.191
					2	1.006	1.262	5.031
					3	0.915	1.182	4.503
					Moyenne	0.926	1.185	4.908
4	90°	0.15	0.5	200	1	0.814	1.028	4.227
					2	0.922	1.141	4.550
					3	0.742	0.902	3.597
					Moyenne	0.826	1.023	4.124



**Figure III.21:** Evolution de la rugosité (Ra) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification



**Figure III.22:** Evolution de la rugosité (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification



**Figure III.23:** Comparaison entre l'évolution de la rugosité (Ra) et (Rq) en fonction de l'angle Kr lors de l'usinage avec lubrification

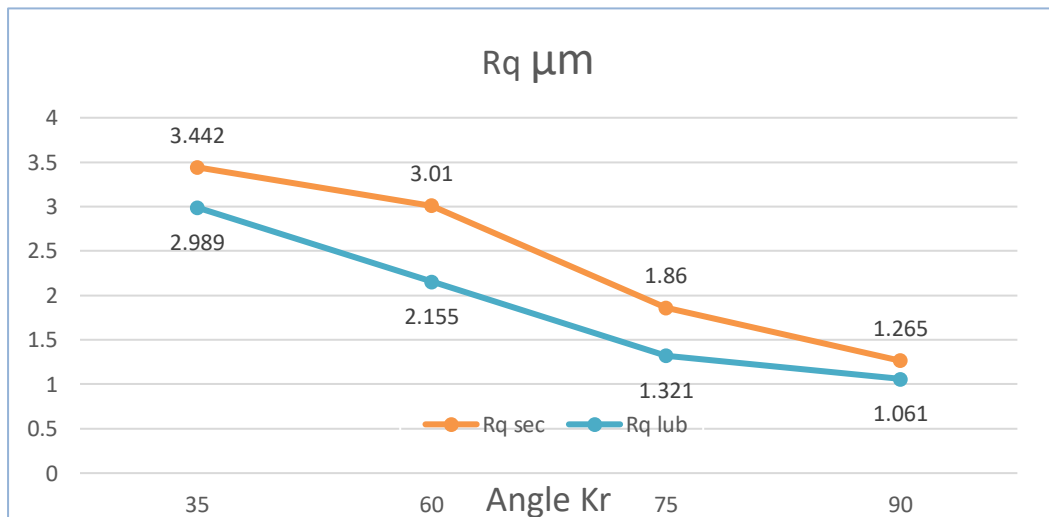
### III.8.2 Comparaison entre les résultats obtenus de Ra et Rq avec et sans lubrification pour les 4 essais :

Le premier usinage :

- Pour l'essai 1.1 et 1.2 :



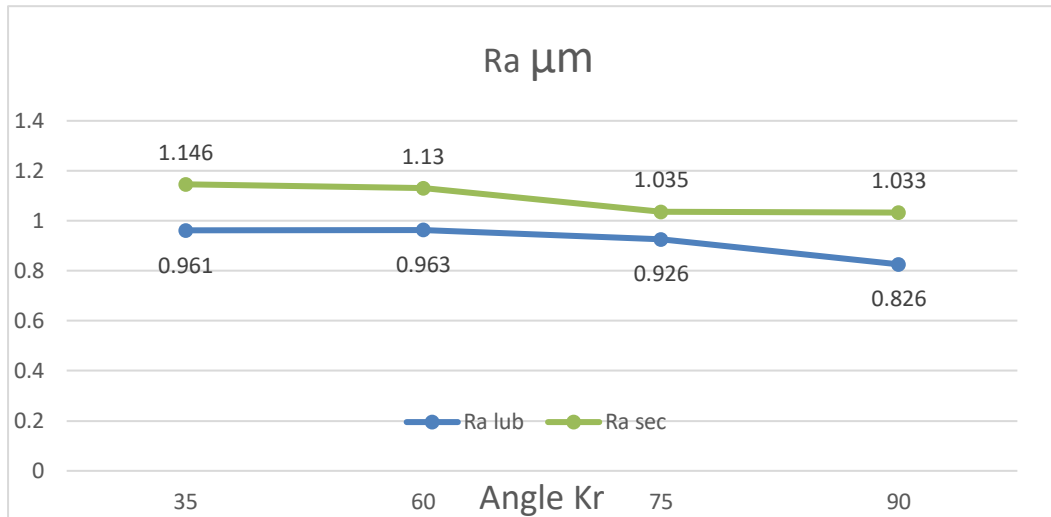
**Figure III.24:** Comparaison entre les résultats obtenues de Ra avec et sans lubrification pour l'essai 1.1 et 1.2



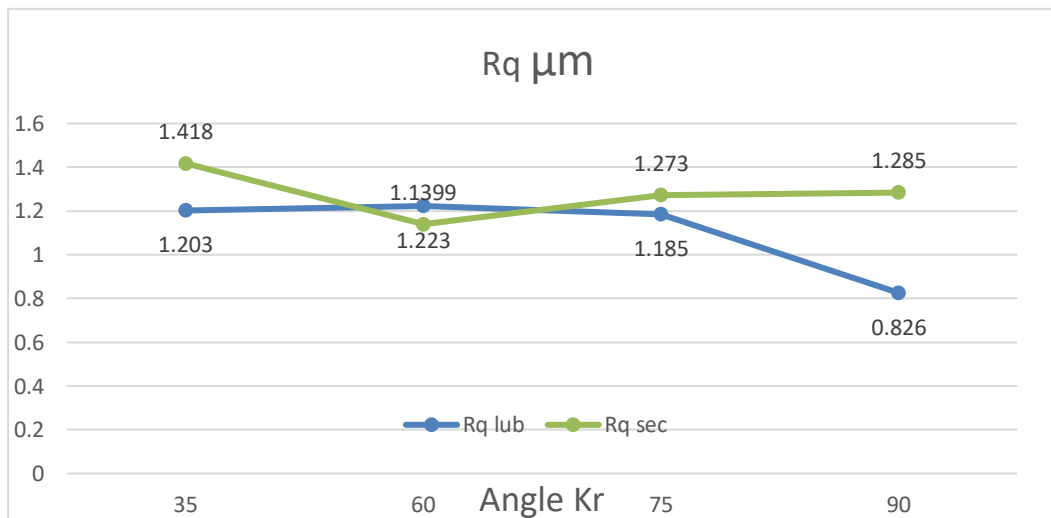
**Figure III.25:** Comparaison entre les résultats obtenues de Rq avec et sans lubrification pour l'essai 1.1 et 1.2

**Le deuxième usinage :**

- **Pour l'essai 2.1 et 2.2 :**

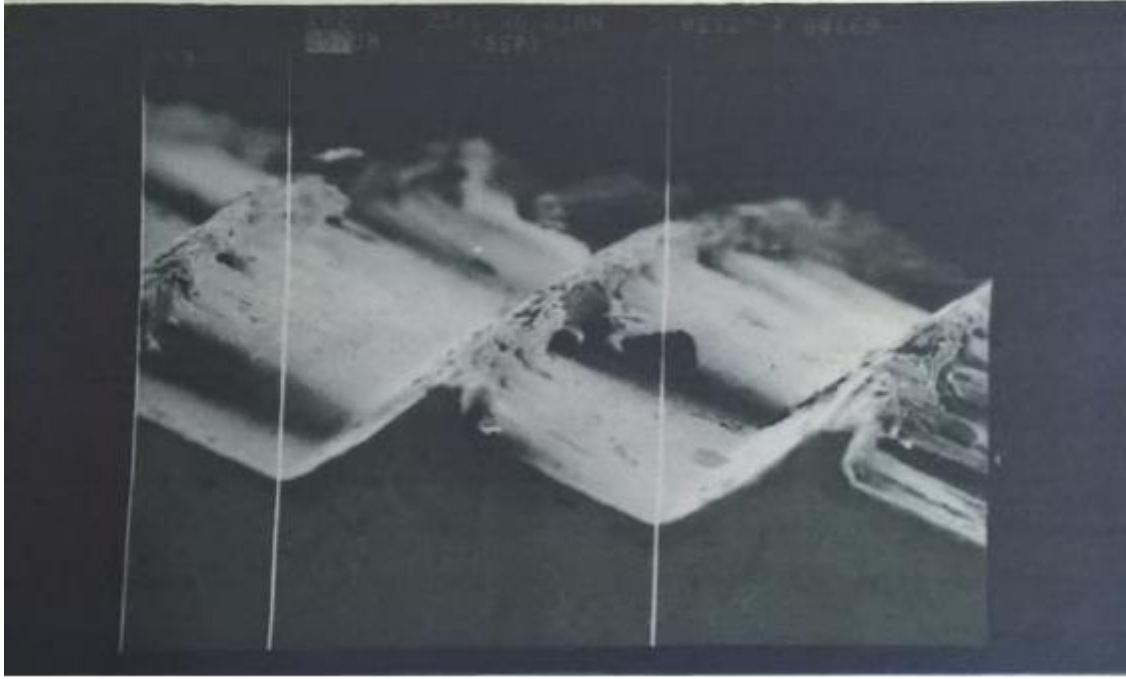


**Figure III.26:** Comparaison entre les résultats obtenues de Ra avec et sans lubrification pour l'essai 2.1 et 2.2



**Figure III.27:** Comparaison entre les résultats obtenues de Rq avec et sans lubrification pour l'essai 2.1 et 2.2





**Figure III.28:** Exemple de surface fini avec un profil de l'outil.

#### **Discussions :**

Nous avons mené une étude sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38, en utilisant la géométrie de l'outil (Angle Kr) comme variable, tout en maintenant des paramètres de coupe constants. Nous avons permis de mettre en évidence l'influence significative de l'angle Kr sur les paramètres de rugosité de surface Ra, Rq et Rz.

Les valeurs de rugosité moyenne Ra obtenues sont présentées dans les tableaux 1 à 4. Les courbes représentant l'évolution de la rugosité ainsi qu'une comparaison des résultats expérimentaux sont également illustrées à travers des graphes. (Voir les graphes : **Figure III.11, III.14, III.17, III.20 ...**).

- Ra diminue clairement avec l'augmentation de l'angle Kr (75,90) c'est-à-dire une coupe nette et stable de l'outil, limitant les stries profondes.
- Ra augmente avec la diminution de l'angle Kr (35,60) c'est-à-dire une coupe plus instable, avec défauts potentiels de surface.

En résumé: L'angle de direction d'arête Kr est un paramètre crucial dans la géométrie de l'outil, influençant la manière dont l'outil interagit avec la pièce à usiner et, par conséquent, la qualité de la pièce finie.

Il est important de noter un facteur tout aussi essentiel que les paramètres de coupe, à savoir la lubrification, qui a un impact notable sur la rugosité. L'usage de la lubrification lors de l'usinage améliore grandement la qualité de surface en fonction des paramètres de coupe définis. (Voir les graphes : **Figure III.23 et III.25**).

#### **III.9 Conclusion :**

Cette étude nous a permis d'affirmer que la géométrie de l'outil joue un rôle significatif sur la rugosité de la surface. Il faut donc choisir à la fois la géométrie de l'outil et une machine-outil particulière.

L'emploi de la lubrification réduit la température lors d'usinage, favorise l'allongement et augmente la dureté. La sélection du matériau et la compétence de l'ouvrier revêtent une grande importance.

#### ***Conclusion générale :***

À travers ce mémoire, nous avons étudié l'influence de la géométrie de l'outil de coupe sur la rugosité de surface lors de l'usinage par tournage de l'acier XC38, un matériau couramment utilisé dans l'industrie mécanique. Ce travail s'inscrit dans une démarche d'optimisation de la qualité de surface, un enjeu majeur dans le contexte industriel actuel où la précision et la performance des pièces usinées sont devenues des exigences incontournables.

La première partie du mémoire a permis de poser les bases théoriques nécessaires à la compréhension du procédé de tournage et de ses paramètres clés. Nous avons ainsi pu cerner l'importance de facteurs tels que la vitesse de coupe, l'avance ou la profondeur de passe dans la maîtrise du processus d'usinage.

La seconde partie s'est focalisée sur la rugosité de surface, un critère essentiel pour juger de la qualité d'un usinage. Elle nous a permis d'explorer les méthodes de mesure, les normes associées, ainsi que les moyens technologiques et techniques visant à améliorer l'état de surface, notamment l'utilisation appropriée des liquides de coupe.

Enfin, la partie expérimentale a constitué le cœur de notre démarche. Elle a mis en évidence l'influence marquée de la géométrie de l'outil de coupe, en particulier l'angle d'attaque du bord  $K_r$ , sur la qualité de la surface réalisée. Les essais ont aussi confirmé que la lubrification joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la rugosité, en facilitant l'évacuation des copeaux et en limitant l'usure de l'outil.

Ainsi, les résultats obtenus permettent non seulement de mieux comprendre les phénomènes en jeu, mais également d'apporter des recommandations pratiques pour améliorer la qualité des pièces usinées.

**Références :**

- [1] «(<https://fabrication1.blogspot.com/2013/05/generalite-sur-lusinage.html#more>),» [En ligne].
- [2] RAYNALD LAHEURTE, « Application de la théorie de seconde gradient a la coupe des matériaux », thèse de doctorat, Université Bordeaux I, France, 2004..
- [3] Cours de « Fabrication mécanique », 3<sup>eme</sup> année ingénieur, Génie Mécanique..
- [4] Technique ingénieur 2001..
- [5] «shearing, Zhen Bing HOU ET Ranga KOMANDURI: Modeling of thermo mechanical».
- [6] J. Vergnas, « Usinage : Technologie et Pratique », Génie Mécanique DUNOD, ISBN 2-04-.
- [7] Jean-Pierre cordebois et coll, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003..
- [8] A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université.
- [9] «[https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/ch4\\_3\\_1.html](https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/ch4_3_1.html),» [En ligne].
- [10] Alain Passeron, «Tournage», Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997..
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tournage\\_m%C3%A9canique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tournage_m%C3%A9canique). [En ligne].
- [12] «<https://braidwoodgear.com/tournage-mecanique/>,» [En ligne].
- [13] «<https://www.acheter-vendre-machines.fr/2008/07/2-principe-de-fonctionnement-dun-tour.html>,» [En ligne].
- [14] «TAMER Hani influence des paramètres de coupe sur la rugosité de surface (acier».
- [15] «<http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Le%20tournage/index.htm>,» [En ligne].
- [16] «SAOU Salah Eddine l'influence de coupe sue la rugosité de surface lors de l'usinage».
- [17] «<https://www.maxicours.com/se/cours/etat-de-surface-et-indice-de-rugosite-1/>,» [En ligne].
- [18] M. SAID Bensaada, TRIBOLOGIE, PRINCIPES ET MATERIAUX.

- [19] «<http://gwyddion.net/documentation/user-guide-fr/roughness-iso.html>,» [En ligne].
- [20] «ADJABI Baha - Eddine Master fabrication mécanique et productique - 2022 « Université Badji - Mokhtar Annaba »».
- [21] «<https://www.nortools-concept.fr/rectification-cylindrique-plane-usinage-de-precision.html>,» [En ligne].
- [22] «<https://www.machine-outil.com/actualites/t383/a5274-superfinition-un-procede-pour-l-amelioration-de-la-surface-et-de-la-forme-1-2.html>,» [En ligne].