

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : technologie

département : génie mécanique

domaine : sciences et technologies

filière : génie mécanique

spécialité : fabrication mécanique et productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Influence de l'avance sur la rugosité de surface lors de
l'usinage de l'acier XC38**

Présenté par : SELLAMA ISHAK

UBMA

Encadrant : Dr. NEHAL Abdelaziz

Jury de Soutenance :

| | | | |
|------------------------|-----|------|-----------|
| Mr. BENCHIHEUB Slimane | MCA | UBMA | Président |
| Mr. NEHAL Abdelaziz | MCA | UBMA | Encadrant |
| Mr. BOUZIANE Abderahim | MCB | UBMA | Examineur |

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

نحمد الله العلي العظيم الذي سخر لنا هذا وما كنا له مقرنين

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Dr. NEHAL Abdelaziz pour avoir accepté de diriger ce travail de recherche. Je le remercie sincèrement pour son engagement constant, son soutien précieux et ses encouragements tout au long de ces années. Je lui suis particulièrement reconnaissant(e) pour la confiance qu'il m'a accordée et la qualité de ses conseils tout au long de ces quatre années de formation.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur BENCHIHEUB et Monsieur BOUZIANE pour avoir accepté d'évaluer ce travail en tant que membres du jury de soutenance.

Je tiens aussi à adresser ma reconnaissance à l'ensemble du personnel de l'entreprise Ferroviaire, et plus particulièrement à l'équipe de l'atelier B3, pour leur accompagnement, leur aide précieuse ainsi que leur soutien sur les plans académique, pratique et moral. Leur bienveillance m'a profondément marqué(e) et je leur en serai toujours reconnaissant(e).

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mon père et à ma mère

sans oublier :

LOUKIL Omar , LAOUABDIA Sellami Abderrahmene et BOUZIDI Manel

merci beaucoup pour l'assistance pendant mon stage.

Sommaire

| | |
|--|--------------|
| Chapitre I : Etude Bibliographique | |
| I.1 Généralités sur l'usinage:..... | 1 |
| I.2 Définition d'usinage: | 2 |
| I.3 But d'usinage : | 2 |
| I.3.1 Surfaces de contact avec une autre pièce : | 2 |
| I.3.2 Surfaces libres, non en contact direct :..... | 3 |
| I.4 Procédés d'usinage : | 3 |
| I.5 L'outil de coupe : | 5 |
| I.5.1 Les angles de la partie active : | 7 |
| I.5.2 Matière employée: | 8 |
| I.5.3 Les outils de tournage : | 9 |
| I.6 Tournage mécanique:..... | 11 |
| I.6.1 Principe de tournage:..... | 12 |
| I.6.2 Les différentes opérations de tournage : | 13 |
| I.7 Les tours :..... | 15 |
| I.7.1 Définition : | 15 |
| I.7.2 Les types de tour : | 16 |
| I.8 Les portes pièces:..... | 18 |
| I.9 Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces : | 19 |
| I.10 Les paramètres de coupe : | 21 |
| I.10.1 Vitesse de coupe : | 21 |
| I.10.2 L'avance : | 21 |
| I.10.3 Les types d'avances : | 22 |
| b) Avance transversale : | 22 |
| c) Avance oblique (ou en angle) : | 23 |
| I.10.4 Profondeur de passe : | 23 |
| Chapitre II : La Rugosité de Surface | 24 |
| II.1 Généralité: | 25 |
| II.1.1 Définition : | 25 |
| II.2 Les défauts d'états de surface : | 26 |
| II.2.1 Ordre 1 : défauts de forme : | 27 |

| | |
|--|-----------|
| II.2.2 Ordre 2: Ondulations périodiques:..... | 29 |
| II.2.3 Ordre 3: stries ou sillons: | 30 |
| II.2.4 Ordre 4: Arrachement de matière: | 31 |
| II.3 Différents types de lignes : | 31 |
| II.3.1 Longueur de base, d'évaluation : | 32 |
| II.3.2 Lignes de référence : | 32 |
| II.3.3 La ligne des moindres carrés : | 33 |
| II.3.4 La ligne moyenne arithmétique : | 33 |
| II.3.5 La ligne enveloppe supérieure : | 34 |
| II.3.6 La ligne enveloppe inférieure : | 34 |
| II.4 Paramètres de rugosité unidimensionnelle : | 35 |
| II.4.1 Paramètres d'amplitude de rugosité: | 36 |
| II.4.2 Principaux paramètres de la rugosité : | 40 |
| II.4.3 Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe : | 40 |
| II.4.4 Paramètres liés à la ligne moyenne : | 41 |
| II.4.5 Paramètres liés à la distribution d'amplitude : | 43 |
| II.4.6 Les spécifications normalisées:..... | 44 |
| II.5 Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface : | 46 |
| II.5.1 La rectification: | 46 |
| II.5.2 Principe de la rectification : | 46 |
| II.5.3 Avantages de la rectification : | 49 |
| II.5.4 Superfinition: | 50 |
| II.6 Liquide de coupe : | 50 |
| II.7 Fonctions assurées par les fluides d'usinage : | 51 |
| II.7.1 Maintien en température : | 51 |
| II.7.2 Lubrification : | 51 |
| II.7.3 Évacuation des copeaux : | 51 |
| II.7.4 Composition des fluides d'usinage : | 51 |
| Chapitre III :Partie Expérimentale..... | 54 |
| III.1 Introduction: | 55 |
| III.2 Présentation du matériel: | 55 |
| III.2.1 Machine d'essai: | 55 |

| | |
|--|----|
| III.2.2 Instruments de mesure: | 57 |
| III.3 Les désignations de la matière: | 59 |
| III.3.1 Composition chimique:..... | 59 |
| III.3.2 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :..... | 59 |
| III.3.3 Domaines d'application typiques du XC38 :..... | 60 |
| III.4 Préparation des éprouvettes d'essais: | 60 |
| III.5 Le montage utilisé : | 61 |
| III.6 Dessin de définition :..... | 62 |
| III.7 Programmation d'usinage de la pièce sur SHOP-TURN : | 63 |
| III.8 Programmation d'usinage de la pièce sur SINUMERIK 840D TURN :..... | 67 |
| III.9 Plan de cette étude :..... | 68 |
| III.10 Les essais :..... | 68 |
| III.10.1 Essai 1 : avec lubrification..... | 68 |
| III.10.2 L'essai 1 : à Sec | 69 |
| III.10.3 L'essai 2 : Avec lubrification | 70 |
| III.10.4 L'essai 2 : à Sec | 72 |
| III.11 Discussion : | 74 |
| III.12 Conclusion :..... | 75 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I.2: Dessin géométrique de l'outil | 6 |
| Figure I.3: Angles de la partie la plus active. | 6 |
| Figure I.4: les angles de coupe. | 8 |
| Figure I.5: Outils ARS..... | 10 |
| Figure I.6: outils carbure. | 11 |
| Figure I.7: opérations de chariotage | 12 |
| Figure I.8: mouvements en tournage. | 13 |
| Figure I.9: usinage externe en tournage..... | 14 |
| Figure I.10: usinage interne en tournage | 15 |
| Figure I.11: les organes principaux du tour..... | 16 |
| Figure I.12: défférentes types de montage..... | 20 |
| Figure I.13: les types d'avance | 22 |

| | |
|--|----|
| Figure II.1: l'amplitude d'une surface usinée | 25 |
| Figure II.2: analyse d'une surface..... | 26 |
| Figure II.3: Les types de défauts de surface..... | 27 |
| Figure II.4: Défauts d'ordre 1..... | 28 |
| Figure II.5: Défauts d'ordre 2..... | 29 |
| Figure II.6: Défauts d'ordre 3..... | 30 |
| Figure II.7: Défauts d'ordre 4..... | 31 |
| Figure II.8: profilographe d'une surface. | 32 |
| Figure II.9: Ligne des moindres arithmétiques. | 34 |
| Figure II.10: ligne enveloppe inférieure et supérieure. | 35 |
| Figure II.11: Paramètres d'ondulation..... | 41 |
| Figure II.12: Paramètre liés à la longueur de bas. | 42 |
| Figure II.13: Paramètres liés à la longueur d'évaluation..... | 43 |
| Figure II.14: Paramètres liés à la distribution d'amplitude | 44 |
| Figure II.15: Symboles de base normalisés (NF ISO 1302)..... | 44 |
| Figure II.16: Spécification de l'état de surface..... | 45 |
| Figure II.17: Exemple de cotation, position des symboles..... | 45 |
| Figure II.18: Rectification cylindrique | 47 |
| Figure II.19: Rectification plane de type Blanchard. | 48 |
| Figure II.20: Rectification plane tangentielle grande dimension. | 49 |
| Figure II.21: surface de super finition. | 50 |
| Figure III.1: machine d'essai tour CNC DMG MORI (CLX350). | 56 |
| Figure III.2: plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200..... | 56 |
| Figure III.3: plaquette montée sur porte outil de chariotage finition utilisé. | 57 |
| Figure III.4: pied à coulisse utilisé..... | 57 |
| Figure III.5: rugosimètre TR220 (2D). | 58 |
| Figure III.6: le paramètre que nous avons utilisé..... | 58 |
| Figure III.7: l'état initial (ébauche) | 60 |
| Figure III.8: la pièce usinée..... | 61 |
| Figure III.9: dessin de montage de l'arbre (montage mixte) | 61 |
| Figure III.10: dessin de définition (Solid Works) | 62 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau III-1: Composition chimique de l'acier XC38..... | 59 |
| Tableau III-2: Caractéristiques mécanique de la XC38..... | 59 |
| Tableau III-3: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification. | 68 |
| Tableau III-4: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec. | 69 |
| Tableau III-5: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification. | 71 |
| Tableau III-6: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec. | 72 |
| Tableau III-7: Valeurs de rugosité relevées avec le moyen de (Ra) de chaque essai. | 73 |

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet du paramètre d'avance sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38, en utilisant des plaquettes en carbure métallique. Pour cela, plusieurs éprouvettes ont été réalisées par tournage, avec des combinaisons variées de paramètres de coupe, afin d'obtenir différents états de surface. L'usinage de ces pièces a été effectué au sein des ateliers de l'entreprise Ferroviaire à Annaba, dans le cadre de mon stage pratique de fin d'étude.

Mots-clés : tournage, outils de coupe, rugosité, état de surface.

Abstract

The main objective of this work is to study the effect of the feed rate on surface roughness during the machining of XC38 steel using carbide inserts. To achieve this, several test specimens were machined by turning, using various combinations of cutting parameters to obtain different surface finishes. The machining of these parts was carried out in the workshops of the company Ferroviaire in Annaba, as part of my final year internship.

Keywords: turning, cutting tools, roughness, surface finish.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير معدل التغذية على خشونة السطح لفولاذ 38 باستخدام أدوات قطع من الكربيد المعدني. لتحقيق ذلك، تم تصنيع عدة عينات اختبار عن طريق الخراطة، باستخدام تركيبات مختلفة من إعدادات القطع للحصول على حالات سطح متنوعة، حيث تم تطبيق هذا العمل داخل ورشة (ب3) الخاص بشركة فيروفيال بعنابة، وذلك في إطار فترة تدريبي التطبيقي لنهاية الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الخراطة، أدوات القطع، الخشونة، حالة السطح

Introduction générale :

La conception d'un produit ou d'un système implique la transition de l'idée théorique vers la réalisation concrète de celui-ci, dans le but de répondre aux exigences fonctionnelles du mécanisme envisagé. L'univers de la fabrication mécanique est vaste, allant des pièces microscopiques utilisées en dentisterie aux composants imposants des navires ou des engins spatiaux. Un système mécanique est généralement composé de plusieurs pièces interconnectées, souvent mobiles les unes par rapport aux autres, ce qui entraîne des phénomènes de frottement. Pour limiter l'usure prématurée due à ces frottements, une lubrification adéquate des surfaces en contact est nécessaire.

La fabrication des surfaces de ces pièces fait appel à divers procédés d'usinage et à de nombreuses opérations de finition et de traitement mécanique. L'objectif principal de ces procédés est d'optimiser les propriétés mécaniques et géométriques des surfaces obtenues afin de satisfaire les exigences techniques et les conditions d'utilisation. En effet, aucune surface usinée n'est parfaitement lisse ; elle conserve toujours des traces laissées par le passage de l'outil, les mouvements mécaniques ou encore les vibrations de la machine-outil, générant ainsi des irrégularités appelées rugosités. L'analyse de ces défauts de surface, combinée à l'étude de la lubrification, permet d'améliorer les performances et la durabilité des mécanismes.

L'objectif de notre travail est de présenter les différentes étapes ayant conduit à l'usinage de notre pièce, un « arbre », ainsi que d'analyser l'influence des paramètres de coupe – notamment l'avance (af) – sur la rugosité de la surface obtenue.

Notre travail s'organise comme suit :

- **Chapitre 1** : Une étude bibliographique introduisant les notions fondamentales du tournage et une étude théorique des paramètres de coupe, incluant les conditions spécifiques à chaque procédé utilisé pour l'usinage de la pièce.
- **Chapitre 2** : Une analyse de la rugosité de la surface usinée à travers les différents critères de mesure.
- **Chapitre 3** : Une étude approfondie de l'influence du paramètre d'avance (af) sur les indicateurs de rugosité (R_a , R_q) ainsi qu'une interprétation des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion synthétise les résultats et les enseignements tirés de l'ensemble de ce travail.

Chapitre I : Etude Bibliographique

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1 Généralités sur l'usinage:

L'usinage par enlèvement de matière demeure la méthode la plus fiable pour produire des pièces de haute précision à partir de pièces brutes obtenues par moulage, extrusion ou forge. Toutefois, ce procédé présente des inconvénients notables : il est coûteux, tant en équipements (machines et outils) qu'en main-d'œuvre qualifiée, et il est relativement lent. Pour cette raison, les efforts actuels tendent vers la production de pièces moulées ne nécessitant plus d'usinage. Cela est envisageable avec certains matériaux comme le plastique ou le Zamac (alliage de zinc, aluminium et magnésium), bien que leurs propriétés techniques – notamment la résistance thermique ou la limite élastique – restent encore inférieures à celles de l'acier ou des alliages d'aluminium.

Parmi les avancées les plus prometteuses dans le domaine de la fabrication, deux axes se démarquent : l'**UGV (Usinage à Grande Vitesse)** et les **machines à axes parallèles**, qui se distinguent par leur grande mobilité de la tête d'usinage. Grâce à l'UGV, les machines-outils atteignent des vitesses de coupe très élevées, ce qui permet d'obtenir des pièces d'une grande précision.

Plusieurs avantages en découlent:

- Les efforts de coupe sont considérablement réduits, limitant ainsi les déformations de la pièce.
- La chaleur générée lors de l'usinage est principalement évacuée par les copeaux avant de pouvoir affecter la pièce elle-même.
- La pièce, moins exposée aux variations thermiques, conserve ainsi sa stabilité dimensionnelle initiale. [1]

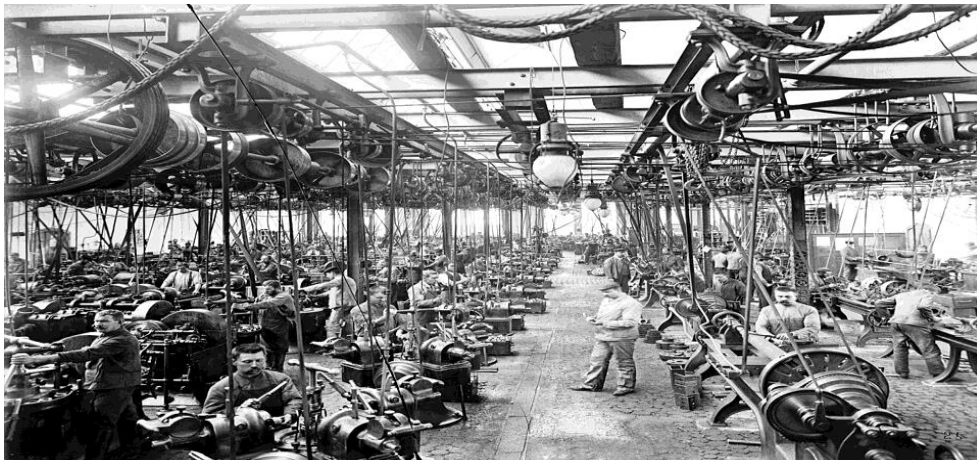


Figure I.1:Atelier d'usinage conventionnel [2]

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.2 Définition d'usinage:

L'usinage constitue un procédé de fabrication fondamental en industrie mécanique, permettant de transformer une pièce brute en un composant aux dimensions précises et aux formes fonctionnelles. Par le biais de différentes techniques, abordées plus en détail dans les sections suivantes, ce processus consiste à enlever de la matière afin d'obtenir les géométries désirées. Il est donc pertinent d'examiner les principales méthodes d'usinage ainsi que leurs applications dans divers secteurs industriels. [3]

I.3 But d'usinage :

L'usinage constitue une étape clé dans la gamme de fabrication d'une pièce mécanique. Cette dernière est définie à partir d'un plan technique comportant une cotation détaillée, précisant les dimensions finales, les tolérances, la géométrie ainsi que l'état de surface attendu pour chacune des surfaces usinées.

À chaque étape du processus de fabrication, le concepteur ou l'opérateur choisit le type d'usinage à effectuer, la machine appropriée, l'outil adapté, ainsi que le système de maintien de la pièce, de manière à respecter les spécifications de cotation de la surface concernée.

De manière générale, les surfaces usinées peuvent être classées en deux catégories : les surfaces planes, obtenues principalement par fraisage, et les surfaces de révolution, usinées par tournage. L'avènement de la commande numérique (CN) a considérablement élargi les possibilités en permettant l'usinage de surfaces complexes, notamment des formes courbes tridimensionnelles. Il est toutefois important de souligner que les outils de coupe restent similaires à ceux utilisés sur les machines conventionnelles, et que les trajectoires générées sont généralement composées de segments linéaires et d'arcs de cercle. [4]

L'usinage engendre des coûts non négligeables : temps de travail, surépaisseur de matière à éliminer, usure des machines-outils, consommation de consommables (outils, lubrifiants, énergie électrique), ainsi que des besoins en stockage. Pour cette raison, seuls les usinages strictement nécessaires sont réalisés.

Les surfaces d'une pièce peuvent remplir jusqu'à seize fonctions principales, intégrées dans la cotation d'état de surface. Ces fonctions se répartissent en deux grandes catégories :

I.3.1 Surfaces de contact avec une autre pièce :

- Frottement de glissement lubrifié (FG)
- Frottement à sec (FS)
- Frottement de roulement (FR)
- Frottement fluide (FF)

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Résistance au matage (RM)
- Étanchéité dynamique, avec ou sans joint (ED)
- Étanchéité statique, avec ou sans joint (ES)
- Ajustement fixe avec contrainte (AC)
- Adhérence ou collage (AD)

I.3.2 Surfaces libres, non en contact direct :

- Face de coupe d'un outil (OC)
- Résistance aux efforts alternés (EA)
- Résistance à la corrosion (RC)
- Préparation pour revêtement ou peinture (RE)
- Préparation pour dépôt électrolytique (DE)
- Fonction de mesure (ME)
- Aspect esthétique ou visuel (AS)

Ces fonctions influencent directement :

- Les dimensions finales de la pièce, ainsi que les tolérances à respecter ;
- La cotation de forme et de géométrie des surfaces à usiner ;
- L'état de surface requis, notamment en termes de rugosité.

En conséquence, l'ensemble de ces spécifications détermine le type d'usinage à réaliser, les paramètres de coupe à adopter, le niveau de finition attendu, ainsi que les contrôles à effectuer en fin de fabrication. [4]

I.4 Procédés d'usinage :

Les procédés d'usinage regroupent un large éventail de techniques visant à transformer une pièce brute en un objet conforme aux exigences dimensionnelles, géométriques et fonctionnelles. Chacun de ces procédés est identifié par un symbole, conformément à la norme NFE 05-019 de 1992.

A. Procédés d'usinage traditionnels :

- Alésage (al)
- Brochage (br)
- Fraisage :
 - Fraisage en bout (frb)
 - Fraisage en roulant (frr)
- Décolletage

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Découpage mécanique :
 - Tronçonnage, grugeage, encochage, grignotage, poinçonnage
- Mortaisage (mo)
- Lamage, chambrage
- Perçage (pc), filetage (fl), taraudage (ta)
- Rabotage (rb)
- Rectification (re) :
 - Rectification plane (rcp)
 - Rectification cylindrique (rcc)
- Planage
- Rasage (shaving) : finition d'engrenages
- Tournage (to) :
 - Dressage (dr)
 - Chariotage, repoussage, fluotournage

B. Procédés d'usinage non conventionnels :

- Étincelage (éi)
- Usinage par électro-érosion (ée)
- Polissage (po)
- Électro-polissage (ep)
- Superfinition (sf), pierrage (pi), rodage (rd), galetage (ga)
- Sablage :
 - À sec (sas)
 - Humide (sah)
- Grattage (gr)
- Meulage (me)
- Découpage thermique ou haute énergie (dé) :
 - Plasma, jet d'eau (ex. découpe de pneu d'avion pour expertise), laser
- Grenailage :
 - Sphérique (gns)
 - Angulaire (gna)
- Roulage : usinage entre galets (ex. filetage à froid)
- Polygonage
- Sciage, cisailage
- L'image, burinage, pointage

C. Procédés d'usinage physico-chimiques :

- Usinage chimique
- Usinage électrolytique

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Usinage électrochimique
- Usinage par ultrasons

Remarques complémentaires :

L'usinage peut être effectué :

- Sur des machines-outils traditionnelles, où
- Sur des machines à commande numérique (CN), offrant une automatisation et une grande précision.

Il peut être réalisé :

- En mode classique, où
- En usinage à grande vitesse (UGV), qui permet une meilleure qualité de surface, une réduction des efforts de coupe et un gain de temps.

Dans la pratique industrielle, plusieurs techniques sont souvent combinées afin d'optimiser la précision, la qualité d'état de surface et la durabilité de la pièce. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises spécialisées proposent un large éventail de ces services d'usinage, adaptés aux besoins spécifiques de chaque secteur. [5]

I.5 L'outil de coupe :

L'élément clé d'un instrument de coupe est son tranchant, qui découle de l'intersection de deux surfaces essentielles :

- La surface de coupe, où le copeau s'écoule,
- Et la surface de dépouille, dirigée vers la surface déjà travaillée.

Cette zone active de l'outil doit présenter une dureté supérieure à celle du matériau à usiner, afin d'assurer une coupe efficace et durable.

Pour limiter les frottements entre l'outil et la pièce, il est indispensable de créer des angles de dépouille. Ceux-ci permettent de dégager les surfaces de l'outil vis-à-vis des zones usinées, réduisant ainsi l'usure prématurée et la génération de chaleur.

L'analyse des outils de coupe s'effectue généralement à partir du modèle de l'outil prismatique, qui permet une représentation simplifiée mais rigoureuse de la géométrie de coupe (angles, arêtes, surfaces actives), facilitant ainsi l'étude du comportement en usinage . [6]

Chapitre I : Etude Bibliographique

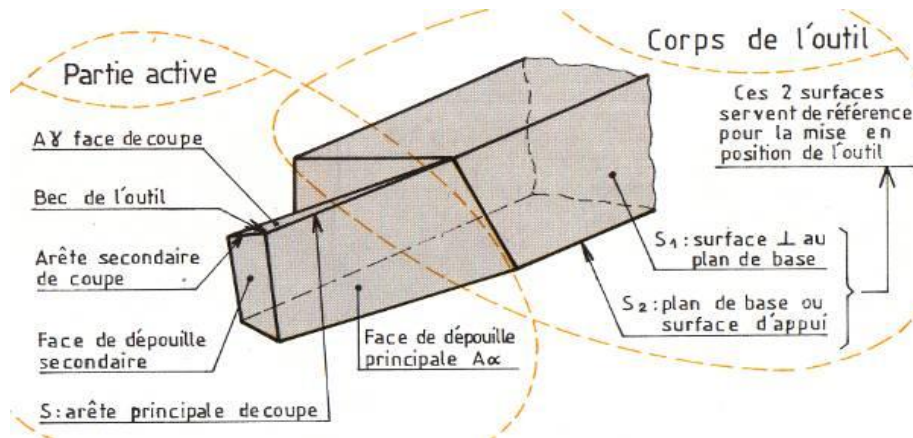


Figure I.2:Dessin géométrique de l'outil [6]

Les angles de la section active sont déterminés par trois plans P_r , P_f et P_s , qui sont à leur tour localisés en relation avec les vecteurs de vitesse de coupe V et d'avance V_f . [6]

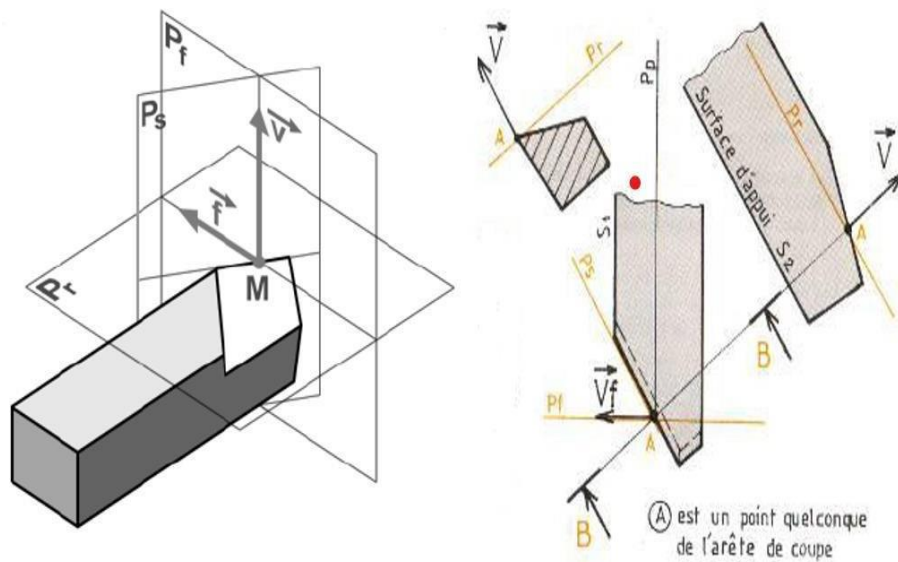


Figure I.2:Angles de la partie la plus active. [6]

- Plan de référence (en marron), qui traverse le point A de l'arête et qui est orthogonal à la direction du vecteur vitesse de coupe V .
- Le plan d'arête (coloré en beige), qui est perpendiculaire au plan P_r et englobe la tangente à l'arête S .
- P_f plan de travail standard (en orange), qui est perpendiculaire au plan P_r et qui suit la direction du vecteur d'avance V_f . [6]

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.5.1 Les angles de la partie active :

La géométrie de la zone de coupe d'un instrument, également connue sous le nom de partie active, est caractérisée par plusieurs angles clés qui ont un impact direct sur la performance de l'outil lors du processus d'usinage. Ces angles sont déterminés en fonction de plans de référence standardisés.

a) Angle de direction de l'arête de coupe (K_r)

Il s'agit de l'angle créé entre les plans de coupe frontale (P_f) et latérale (P_s), évalué dans le plan de référence (P_r).

Il se base sur:

- Du type d'usinage (ébauche ou finition),
- Et de la forme de la surface à usiner.

Cet angle peut être orienté à gauche ou à droite, selon le sens de coupe.

b) Angle d'inclinaison de l'arête de coupe (λ_s)

C'est l'angle formé entre l'arête de coupe (S) et le plan de référence (P_r).

Il est façonné par:

- Le genre de l'usinage (avec ou sans chocs),
- Le type d'opération (ébauche ou finition).
- Un angle négatif permet d'augmenter la résistance du bec de l'outil et de diriger plus efficacement le copeau lors de son évacuation.

c) Angle de coupe (γ ou gamma)

Cet angle est défini entre :

- La face de coupe,
 - Et une direction perpendiculaire à la surface usinée.
- Il dépend principalement du matériau de la pièce :
- Plus le matériau est doux, plus l'angle de coupe doit être positif,
 - Pour des matériaux durs, un angle plus neutre voire négatif est souvent préférable.

d) Angle de dépouille (α ou alpha) :

Il s'agit de l'angle entre la face de dépouille et la surface usinée.

Il fait obstacle au contact direct entre l'outil et la pièce.

Valeurs actuelles :

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Environ 6° pour les aciers rapides (HSS),
- Entre 4° et 8° pour les carbures métalliques.

e) Angle du taillant (β ou bêta) :

C'est l'angle créé entre la surface de coupe et la surface de dépouille. Il symbolise la solidité du tranchant de coupe. Sa valeur est établie en fonction de la résistance à l'usinage du matériau :

- Plus β est élevé, plus l'arête est solide,
- Mais cela peut entraîner une coupe moins efficace sur certains matériaux.

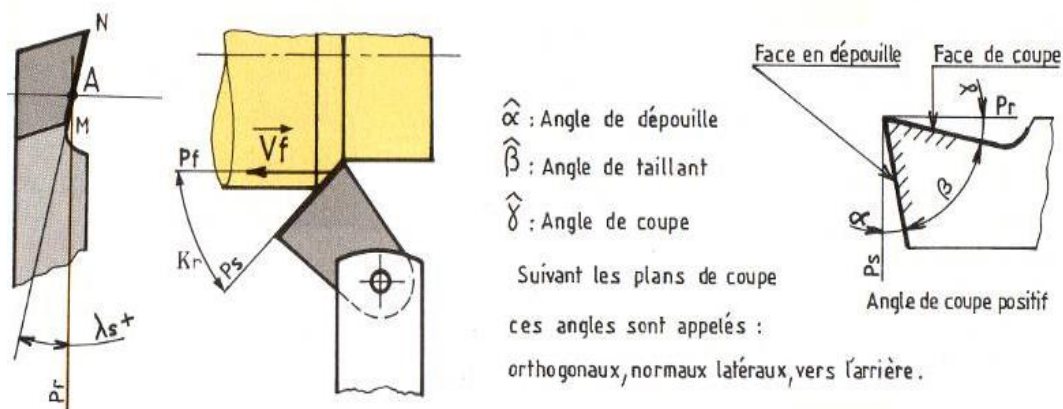


Figure I.3: les angles de coupe. [6]

La qualité de la surface obtenue est fortement influencée par le bec de l'outil, qui diminue la taille des stries laissées lors du passage de l'outil.

De plus, la partie du corps de l'outil et la longueur de son tranchant sont directement liées aux paramètres d'avance et de profondeur de passe appliqués pendant le processus d'usinage. [6]

I.5.2 Matière employée:

Plusieurs critères fondamentaux doivent être respectés par les matériaux employés dans la production des instruments de coupe :

- Une résistance élevée aux sollicitations en traction et compression,
- Une bonne qualité de rugosité sur les faces de coupe et de dépouille,
- La capacité à conserver leur dureté à des températures élevées (entre 500 et 900 $^\circ\text{C}$).

Quatre grandes catégories de matériaux de coupe sont couramment utilisées :

Aciers rapides :

Chapitre I : Etude Bibliographique

Ce sont des aciers à fort pourcentage de carbone enrichis par des éléments d'alliage destinés à augmenter leur dureté et leur résistance à l'usure. Ils ne sont pas sensibles à l'écaillage et permettent d'obtenir, par affûtage, une arête de coupe très tranchante.

Carbures métalliques :

Ces matériaux offrent une très haute dureté et résistance, permettant d'usiner à des vitesses 4 à 6 fois supérieures à celles des aciers rapides. Ils sont cependant sensibles à l'écaillage, ce qui nécessite que l'arête de coupe présente un léger rayon, plutôt qu'une arête vive.

Céramiques :

Composées principalement d'oxyde d'aluminium aggloméré par un liant, ces céramiques sont mises en forme pour obtenir une dureté très élevée. Elles permettent des vitesses de coupe 3 à 4 fois supérieures à celles des carbures métalliques.

Diamant industriel :

Présenté sous forme de grains brasés à l'extrémité d'un corps en acier, le diamant industriel est capable d'usiner tous les métaux, quelle que soit leur dureté. Il est surtout utilisé pour des travaux de finition très précis. [6]

I.5.3 Les outils de tournage :

L'outil de tournage désigne l'un des nombreux outils utilisés sur un tour, généralement monté sur un porte-outil. Lors de l'usinage, la pièce effectue une rotation à une vitesse de coupe calculée, exprimée en mètres par minute, tandis que l'outil avance à une vitesse d'avance déterminée, en millimètres par minute. Les outils de tournage existent en une grande variété de formes, adaptées aux conditions spécifiques des opérations réalisées. Le choix de la forme de l'outil dépend essentiellement du type d'opération (ébauche ou finition) ainsi que de la géométrie de la pièce à usiner. [7]

- **Outils ARS:**

L'appellation acier rapide (AR), ou acier rapide supérieur (ARS), désigne des aciers-outils capables de conserver leur dureté même à haute température. Ils sont particulièrement utilisés pour des opérations de découpe à grande vitesse, comme le perçage avec des forêts, ce qui explique le terme « rapide ». En anglais, ce type d'acier est appelé high speed steel (HSS) [7]

Chapitre I : Etude Bibliographique

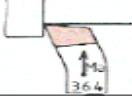

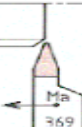
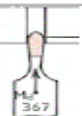
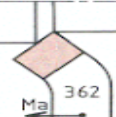
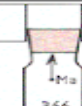
| Outil | Norme | Silhouette outils ARS |
|-------------------------|------------|---|
| Outil à dresser d'angle | NFE 66 364 |  |
| Outil couteau | NFE 66 363 |  |
| Outil à fileter | NFE 66 369 |  |
| Outil à saigner | NFE 66 367 |  |
| Outil à charioter | NFE 66 362 |  |
| Outil pelle | NFE 66 366 |  |

Figure I.4:Outils ARS [7]

- **Outils à plaquettes carbures :**

Les carbures sont des composites fabriqués par le frittage du cobalt et de différents carbures. Ces outils gardent leur robustesse même sous des températures extrêmes, ce qui les rend indispensables pour le tournage, qu'il soit traditionnel ou numérique. Ces dispositifs autorisent des vitesses de coupe considérables, pouvant monter jusqu'à 200 m/min.

Concernant l'usinage de matériaux particulièrement durs, les outils en carbure sont généralement dotés d'un angle de pente d'affûtage négatif dans le but de renforcer leur durabilité. L'un des bénéfices notables des carbures est l'emploi de plaquettes interchangeables, généralement équipées de 3 ou 4 bords de coupe sur chacune de leurs deux faces.

En outre, la précision du système de fixation facilite le repositionnement de la plaquette sur son support sans avoir besoin d'un réglage additionnel par rapport à la pièce à usiner, surtout durant l'étape de préformage. [7]

Chapitre I : Etude Bibliographique












| | Negative inserts | | | | Positive inserts | Ceramic and CBN inserts | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Tooling system | <u>CoroTurn RC</u> | <u>T-MAX P</u> | | | <u>CoroTurn 107</u> | <u>CoroTurn RC</u> | <u>T-MAX</u> |
| Clamping system |  Rigid clamp design |  Lever design |  Wedge clamp design |  Screw and top clamp design |  Screw clamp design |  Rigid clamp design |  Top clamp design |
| Longitudinal turning / facing |  ** | * | * | | * | ** | * |
| Profiling |  ** | * | * | * | ** | ** | * |
| Facing |  ** | * | * | * | * | ** | * |
| Plunging |  * | * | | | ** | | ** |

Figure I.5:outils carbure. [7]

I.6 Tournage mécanique:

Le tournage est une méthode d'usinage par élimination de copeaux qui facilite la production de pièces de configuration cylindrique ou conique grâce à des outils tranchants fixés sur des machines désignées sous le nom de tours. Un étau, un mandrin ou des pointes fixes maintiennent la pièce en position durant l'usinage. Dans le cas où ce n'est pas sa fonction première, un tour peut également servir à réaliser des opérations de perçage.

Dans le processus de tournage, la rotation de la pièce fixée dans le mandrin ou la pince assure le mouvement de coupe, tandis que l'outil coupant génère le mouvement d'avance. L'union de ces deux actions facilite l'élimination de la matière sous forme de débris.

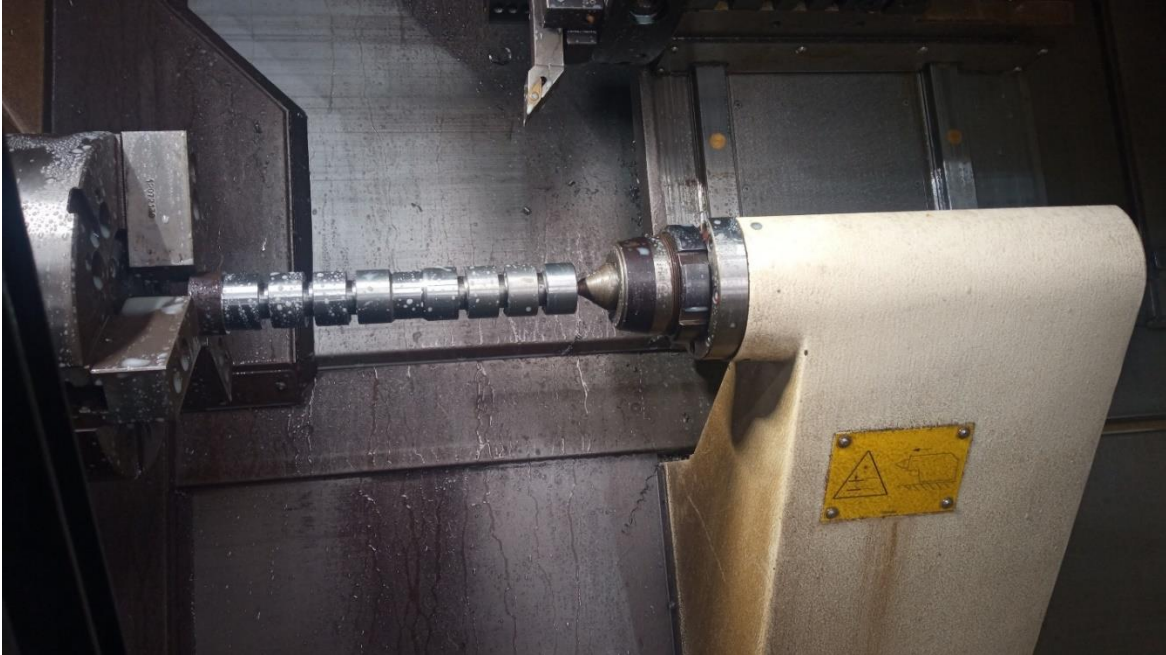


Figure I.6:opérations de chariotage

I.6.1 Principe de tournage:

La pièce est mise en rotation à vitesse constante, ce qui constitue le mouvement de coupe (M_c). Parallèlement, l'outil effectue un mouvement de translation, soit parallèle, soit oblique à l'axe de rotation, appelé mouvement d'avance (M_f).

Au cours de ce mouvement, la pointe de l'outil trace une ligne nommée génératrice, qui permet de transformer la pièce en un solide de révolution. En modulant le déplacement radial de l'outil, il devient possible de réaliser différentes formes de solides de révolution telles que des cylindres, des cônes, des sphères, etc.

Le tournage permet également de travailler les formes intérieures par des opérations telles que le perçage, l'alésage ou le taraudage.

I.6.2 Les différentes opérations de tournage :

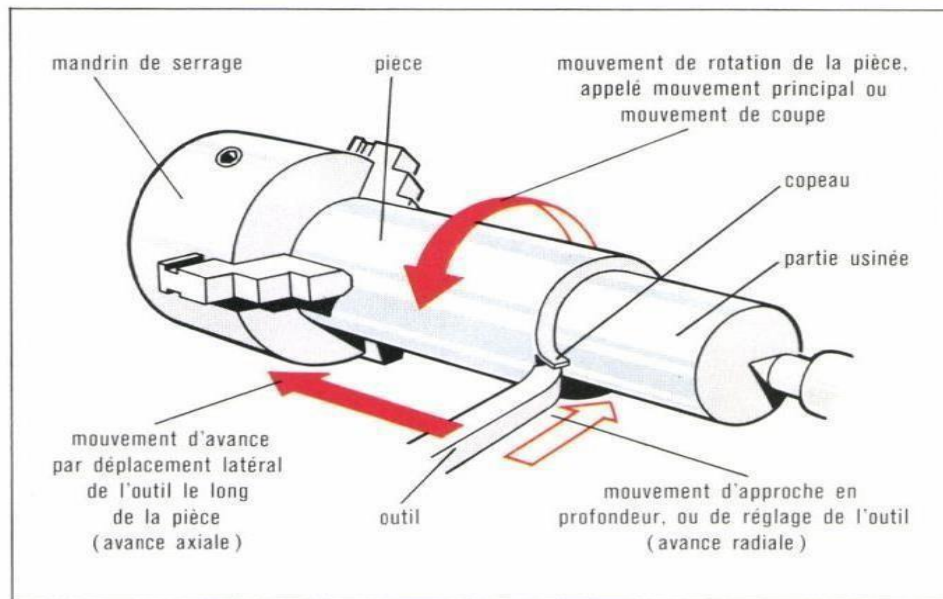


Figure I.7: mouvements en tournage.

Il existe deux principaux types d'opérations de tournage, déterminés selon la surface à usiner (extérieure ou intérieure) ainsi que la nature du matériau :

- **Le tournage extérieur :**

Ce procédé consiste à enlever de la matière sur la surface extérieure de la pièce en rotation. Il englobe plusieurs opérations, notamment :

- Tournage longitudinal (ou chariotage, selon l'axe Z) : réalisation de diamètres.
- Tournage transversal (ou dressage, selon l'axe X) : usinage de faces ou d'épaulements.
- Tournage par profilage (ou contournage) : reproduction de profils complexes par copiage ou commande numérique.
- Tournage de gorges ou de dégagements.
- Filetage : réalisation de pas de vis externes.
- Tronçonnage : séparation de la pièce. [8]

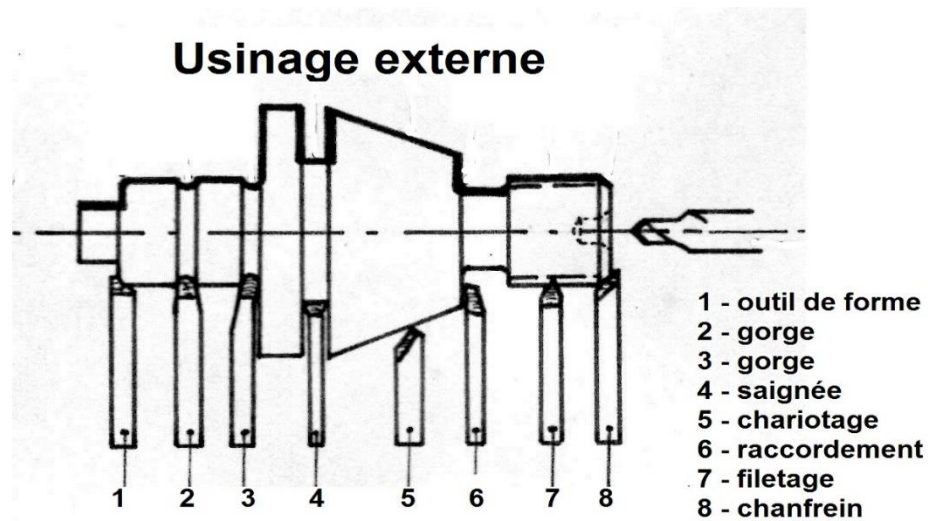


Figure I.8:usinage externe en tournage [8]

- **Le tournage intérieur :**

Le tournage intérieur consiste à usiner une pièce par l'intérieur. Il est généralement utilisé pour réaliser ou améliorer des formes internes cylindriques ou coniques. Ce type d'usinage comprend plusieurs opérations spécifiques, parmi lesquelles:

- Pointage et centrage : opérations préparatoires permettant de localiser l'axe du perçage ou du futur usinage intérieur.
- Alésage : agrandissement ou finition précise d'un trou existant.
- Dressage intérieur : usinage d'une surface plane à l'intérieur d'une pièce.
- Tournage par contournage intérieur : reproduction de profils complexes internes, souvent réalisé avec commande numérique.
- Tournage de dégagements ou de gorges : création de logements internes spécifiques (par exemple pour un joint).
- Taraudage : réalisation d'un filetage intérieur pour visserie.
- Chambrage : usinage d'un épaulement ou d'un logement cylindrique à l'entrée d'un trou. [8]

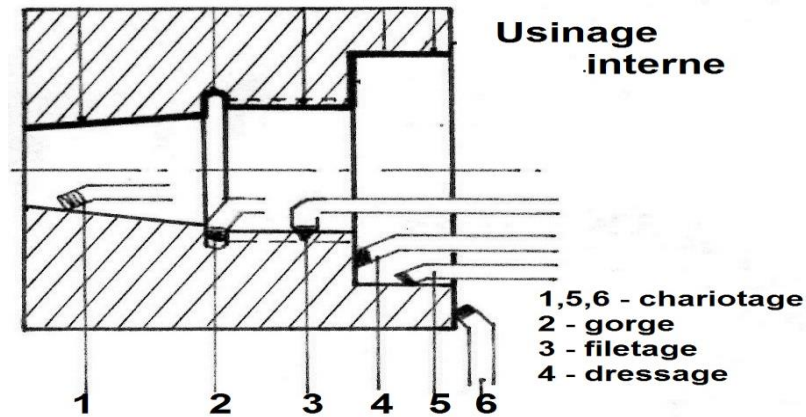


Figure I.9:usinage interne en tournage [8]

I.7 Les tours :

I.7.1 Définition :

Un tour est une machine-outil utilisée pour fabriquer des pièces mécaniques selon le procédé d'usinage par enlèvement de matière. Ce procédé consiste à retirer progressivement de la matière brute à l'aide d'un outil coupant, afin d'obtenir une pièce conforme à des dimensions précises, une forme déterminée et un état de surface souhaité.

Dans le cas spécifique du tournage, la pièce est animée d'un mouvement de rotation, tandis que l'outil reste fixe ou se déplace selon des axes contrôlés.

- a. La pièce est généralement maintenue par un mandrin fixé à la broche de la machine. C'est cette broche qui transmet le mouvement de rotation à la pièce (appelé mouvement de coupe).
- b. L'outil coupant, quant à lui, peut effectuer deux types de mouvements de translation :
 - Parallèle à l'axe de la broche (appelé mouvement longitudinal, le long de l'axe Z) : il permet d'usiner des surfaces cylindriques.
 - Perpendiculaire à l'axe de la broche (appelé mouvement transversal, le long de l'axe X) : il permet d'usiner des faces planes ou des épaulements.

Ces deux directions de déplacement sont orthogonales et définissent un plan d'usinage dans lequel s'effectue l'enlèvement de matière. La combinaison du mouvement de rotation de la pièce et du déplacement de l'outil permet ainsi de générer les différentes formes géométriques souhaitées, comme des cylindres, cônes, gorges ou filetages. [9]

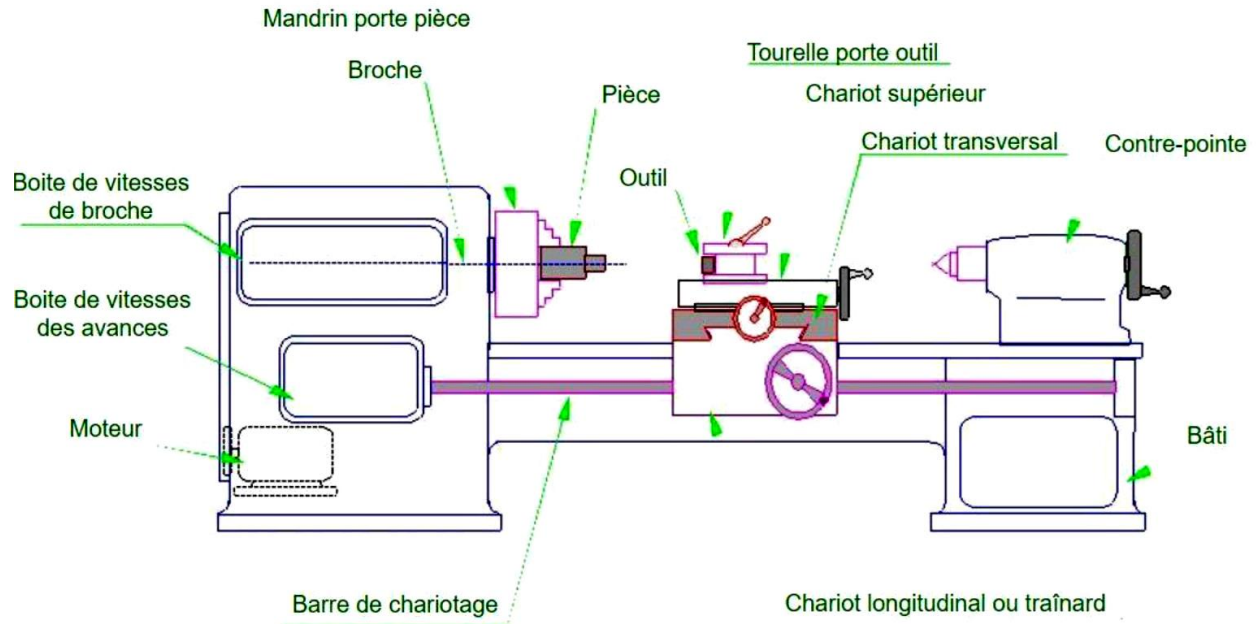


Figure I.10:les organes principaux du tour [11]

I.7.2 Les types de tour :

a) Tour parallèle :

Le tour parallèle est une machine-outil dont l'axe de rotation est horizontal. Il s'agit de l'un des types de tours les plus répandus dans les ateliers de mécanique générale.

Comme les autres types de tours, il permet de faire tourner une pièce afin de réaliser diverses opérations d'usinage par enlèvement de matière. Lorsque l'outil se déplace dans le sens longitudinal (parallèle à l'axe de rotation), on obtient une surface cylindrique régulière. Ce type d'usinage est utilisé pour ajuster des diamètres, créer des arbres, axes ou autres formes tubulaires.

Il est également possible de réaliser une opération de dressage, qui consiste à usiner l'extrémité de la pièce (perpendiculairement à l'axe). Cela permet:

- D'obtenir une face plane,
- D'atteindre un haut degré de précision dimensionnelle,
- D'améliorer le fini de surface.

Chapitre I : Etude Bibliographique

Le tour parallèle est particulièrement apprécié pour sa polyvalence, sa précision et sa capacité à effectuer une grande variété d'opérations telles que le filetage, le rainurage, le chanfreinage, ou encore l'alésage (avec des outils adaptés). [10]

b) Tour parallèle à banc rompu :

Le tour à banc rompu est une variante du tour parallèle traditionnel, utilisant les mêmes principes technologiques. Il dispose de glissières parallèles (appelées banc) qui permettent le déplacement longitudinal de l'outil.

La particularité du tour à banc rompu réside dans le fait que le banc est interrompu (rompu) juste sous le mandrin. Cette ouverture dans la structure permet de monter des pièces de grand diamètre, dont le rayon dépasse la distance entre l'axe de rotation et le banc. Grâce à cette configuration, il est possible d'usiner des pièces de forme spéciale ou de très grande taille qui ne pourraient pas être montées sur un tour parallèle classique. [10]

Caractéristiques :

- Même fonctionnement qu'un tour parallèle.
- Même type d'équipements (mandrin, chariot porte-outil, contre-pointe, etc.).
- Permet l'usinage de pièces plus volumineuses, notamment dans la zone proche du mandrin.

c) Tour vertical :

Un tour vertical est un type de tour dont l'axe est orienté verticalement plutôt qu'horizontalement. Principalement utilisé dans l'industrie à grande échelle, il autorise l'usinage de pièces de grand diamètre en prévenant la déformation due au poids des pièces et en économisant de l'espace dans un atelier. Étant donné la complexité souvent associée à l'assemblage et à l'ajustement de la pièce, certains modèles de tours verticaux offrent la possibilité de réaliser des étapes telles que le pointage, le perçage et le fraisage. [10]

d) Les tours semi-automatiques:

Ce sont des tours qui possèdent un mouvement similaire à celui d'un tour parallèle, équipés d'une tourelle hexagonale indexable avec 6 emplacements pour les outils, alimentée par un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les instruments spécifiquement élaborés pour la machine facilitent des opérations qui sont à la fois simples et exactes. Il est possible de commander ces tours manuellement ou en partie automatiquement.

Ces équipements ne proposent qu'une souplesse très limitée. Ils seront employés pour des tâches de niveau intermédiaire. [11]

Chapitre I : Etude Bibliographique

e) Les tours automatiques:

De nombreux outils sont installés de manière tangentielle par rapport à la pièce. Les comes fournissent la vitesse de progression et l'amplitude de chaque outil, ce qui détermine les mouvements. Une come est propre à une opération et à un élément spécifique. Ces tours fonctionnent de manière totalement automatique. Ces appareils manquent totalement de souplesse. Elles sont appropriées pour les très grands tirages. [11]

f) Les tours automatiques multibroches:

Par exemple, ce type de tour pourrait comporter huit broches. Huit dispositifs, un pour chaque broche, fonctionnent en même temps et accomplissent des missions spécifiques. Ce sont des broches qui pivotent d'un quart de tour pour placer la pièce en face de l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectué un tour complet, la pièce est terminée. Il est possible de réaliser des missions au niveau de la barre. Dans ce type de tournage, les modifications nécessitent une certaine durée et la transition d'une série à l'autre entraîne un arrêt de la machine. Ce lot est prévu pour les séries de grande et très grande taille, destinées à des pièces de petite taille en raison de l'espacement entre les broches. [11]

g) Les tours à commande numérique:

Puisque n'importe quelle génératrice peut être employée pour la pièce en question, ici, le parcours de l'outil est défini par le mouvement simultané de deux axes dont les emplacements successifs sont déterminés par un ordinateur au moyen d'un logiciel dédié à la pièce. Ces tours sont équipés d'un espace de stockage pour les outils et éventuellement d'un mécanisme de chargement des pièces. Ces appareils proposent une grande flexibilité, parfaitement appropriée pour le travail à l'unité. Ou les petites séries régulières. [11]

I.8 Les portes pièces:

Ils font partie de l'équipement standard des tours. Ce sont:

a) Les mandrins à serrage par mors:

Ils ont 2, 3 ou 4 mors. Ces mors peuvent être de type concentrique ou individuel. On peut mettre en place des mors durs ou des mors doux. Les mors doux sont des mors non trempés qui ont été conçus pour que l'utilisateur puisse les modeler afin d'adapter leur forme à celle de la pièce ou pour obtenir une précision de coaxialité supérieure à celle offerte par des mors durs. Le montage de l'élément dans le mandrin peut être réalisé par le biais de l'extérieur ou de l'intérieur des mors. [11]

Chapitre I : Etude Bibliographique

b) Les mandrins expansibles:

Ils garantissent simultanément le positionnement et le maintien en place, que ce soit de l'intérieur ou de l'extérieur, pour des pièces courtes ou longues. Pour leur construction, une ou plusieurs pièces déformables sont employées. Le mandrin à pinces, qui est le type le plus traditionnel, est souvent utilisé comme support d'outils pour les fraises à queue cylindrique. Exemple de trois outils pour le taraudage et le dressage. Outils pour le rainurage externe et interne Instrument de découpe Outils pour le filetage externe et interne. [11]

c) Les portes pièces dédiés:

Ces montages de reprise sont spécialement conçus et fabriqués pour une étape d'usinage. Ils peuvent être fixés soit en remplacement du mandrin, en utilisant les mêmes surfaces de référence que lui, soit sur le plateau lisse (configuration standard du tour). Dans cette situation, l'installation du montage sera possible sur n'importe quel tour, contrairement à la solution précédente. La connexion entre le mandrin et la broche varie d'un modèle de tour à l'autre. [11]

I.9 Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces :

Ceci concerne les divers assemblages possibles grâce aux équipements conventionnels du Tour. [11]

Chapitre I : Etude Bibliographique

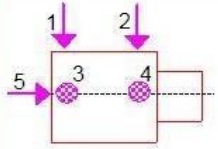
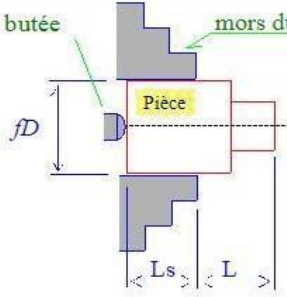
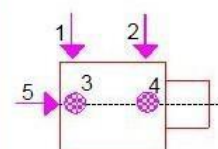
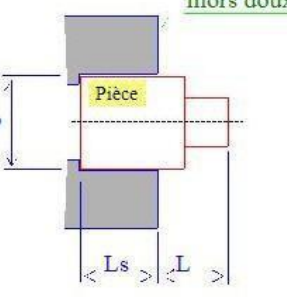
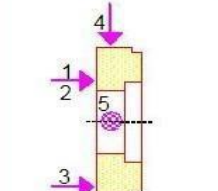
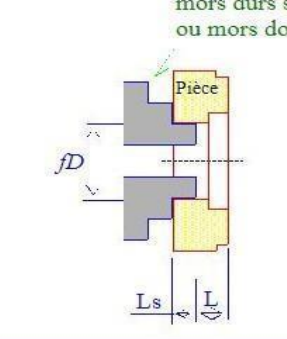
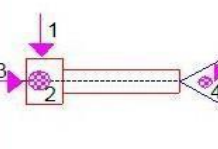
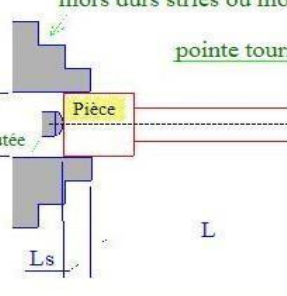
| Type de montage | Modélisation de la liaison | Schéma du montage | Accessoires utilisés | Erreur de reprise (coaxialité) |
|---|--|---|---|--------------------------------|
| Montage en l'air |  <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être inférieure à $0,7 D$. $L_s > D$ souhaitable</p> |  | <p>Mandrin <u>3 mors durs</u> à serrage concentrique + butée</p> <p>$0,1\text{maxi}$</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p> | |
| Montage en l'air |  <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être inférieure à $0,7 D$. $L_s > D$ souhaitable</p> |  | <p>Mandrin <u>3 mors doux</u> à serrage concentrique</p> <p>$0,05\text{maxi}$</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p> | |
| Montage en l'air (prise de pièce par l'intérieur) |  <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être supérieure à $0,5 D$. $L_s < 0,5 D$</p> |  | <p>Mandrin <u>3 mors durs ou doux</u> à serrage concentrique</p> <p>$0,1\text{maxi}$ (m.durs) $0,05\text{maxi}$ (m.doux)</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p> | |
| Montage mixte |  <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être supérieure à $0,5 D$. $L_s < 0,5 D$</p> |  | <p>Mandrin à serrage concentrique (3 mors durs + butée) ou (3 mors doux) + pointetournante</p> <p>$0,1\text{maxi}$ (m.durs) $0,05\text{maxi}$ (m.doux)</p> <p>L doit être limitée en fonction des efforts de coupe et du diamètre de la pièce</p> | |

Figure I.11:différentes types de montage [11]

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.10 Les paramètres de coupe :

I.10.1 Vitesse de coupe :

Dans le contexte d'un processus d'usinage, la vitesse de coupe fait référence à la vitesse à laquelle l'instrument se déplace en relation avec la pièce. On évoque donc la vitesse tangentielle au lieu de rencontre entre l'outil et la pièce. Cette vitesse, exprimée en mètres par minute (m/min), est toujours calculée de la façon suivante :

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

Avec :

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

En inversant l'ordre des termes de la formule précédente, on arrive à :

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

C'est cette vitesse de rotation N que l'on ajuste sur l'appareil. Il est donc nécessaire de connaître V_c , dont la valeur est maximale.

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

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

I.10.2 L'avance :

Lors du processus d'usinage, l'avance se réfère à la progression de l'outil le long de l'axe de rotation de la pièce durant une rotation complète. On détermine généralement cette vitesse de manière expérimentale, en prenant en compte les divers paramètres mentionnés précédemment. En première approche, elle indique l'épaisseur du copeau. L'ajustement de l'avance se fait directement sur l'appareil.

Il ne faut pas faire l'amalgame entre cette idée et l'équation pour déterminer l'avance en fraisage, qui se présente de la manière suivante :

$$V_f = f_z * Z * N$$

Chapitre I : Etude Bibliographique

- V_f = avance en mm/min.
- f_z = avance par dent en mm/(dent/tour)
- Z = nombre de dents de la fraise
- N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min.

En tournage, pour calculer la vitesse d'avance de l'outil, on utilise généralement la formule suivante :

$$V_f = f * N$$

- f = avance en mm/tour
- N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min.

I.10.3 Les types d'avances :

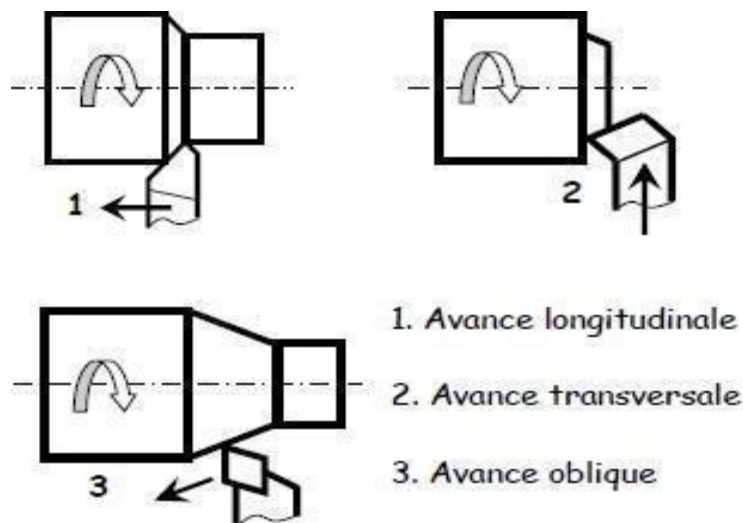


Figure I.12: les types d'avance [12]

a) Avance longitudinale :

Mouvement de l'outil parallèle à l'axe de la pièce. Utilisé pour :

- Le chariotage (réduction de diamètre)
- L'épaulement
- Le filetage longitudinal [12]

b) Avance transversale :

Mouvement de l'outil perpendiculaire à l'axe de la pièce. Utilisé pour :

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Le dressage (usinage de face)
- Le rainurage sur la face
- Le filetage transversal (rare). [12]

c) Avance oblique (ou en angle) :

Mouvement de l'outil selon un angle (ni parallèle ni perpendiculaire à l'axe). Utilisé pour :

- Usiner des cônes
- Faire des chanfreins
- Certains types de filetages coniques. [12]

I.10.4 Profondeur de passe :

La profondeur de passe, notée a_p , ou plus rarement, également connue sous le nom de longueur de passe, est généralement mesurée en millimètres (mm) ou en pouces (in) dans les pays ayant adopté le système d'unités impériales. [13]

Choix de la profondeur de passe :

Le choix de la surépaisseur de métal à enlever lors de l'usinage dépend de plusieurs limites :

a) Limite maximum:

1. La puissance de la machine : elle doit être suffisante pour effectuer l'enlèvement sans surcharge.
2. La rigidité de la pièce et de l'outil : pour éviter vibrations ou déformations.
3. La nature du matériau à usiner : certains matériaux sont plus difficiles à usiner et limitent la surépaisseur.

b) Taille de copeau minimum :

1. La finesse de l'arête tranchante : une arête trop fine ne supporte pas un copeau trop petit.
2. La forme du bec de l'outil : influence la formation du copeau.
3. La nature du matériau et l'état de la machine : matériaux fragiles ou machines usées peuvent limiter la taille minimale du copeau.

Ces critères garantissent un usinage efficace, sûr et de qualité.

Chapitre II : La Rugosité de Surface

Chapitre II: la rugosité de surface

II.1 Généralité:

Une surface usinée n'est jamais parfaitement lisse ; elle présente toujours des irrégularités, même si celles-ci restent dans les tolérances admissibles. Ces irrégularités se répartissent en deux grandes catégories : les défauts de forme, ou défauts macro-géométriques, comme les ondulations, et les défauts de plus petite échelle, appelés rugosité, qui correspondent aux irrégularités superficielles de faible amplitude. On distingue ces deux types de défauts en analysant le profil de la surface. La rugosité, en particulier, décrit l'état de surface à une échelle fine. [14]

II.1.1 Définition :

La rugosité correspond aux variations micro-géométriques d'une surface, résultant du procédé de fabrication de la pièce (usinage, moulage, etc.). Elle se manifeste par la présence d'aspérités, appelées « pics », et de cavités, appelées « creux ».

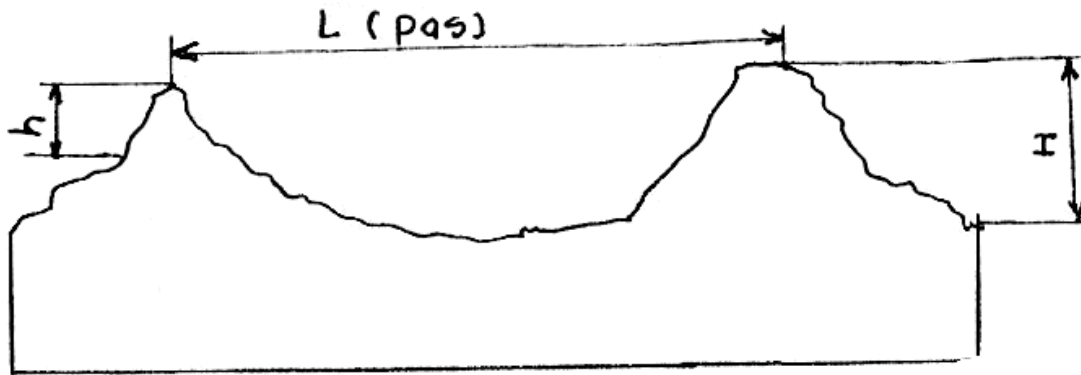


Figure II.1: l'amplitude d'une surface usinée [14]

Voici une reformulation claire de ce que tu as donné :

- **L**: longueur.
- **H**: hauteur d'onde.
- **h**: hauteur de rugosité.
- Lorsque le rapport L/H est compris entre 50 et 1000, on parle d'ondulation.
- Lorsque le rapport L/H est inférieur à 50, il s'agit de rugosité.

La rugosité, aussi appelée état de surface, correspond à de petites irrégularités de faible amplitude présentes sur la surface. [14]

II.2 Les défauts d'états de surface :

L'aptitude d'un composant à accomplir sa tâche est influencée par divers éléments, dont les propriétés de sa surface ont une importance primordiale. La nature de la surface, caractérisée par la micro-géométrie de l'objet, affecte des éléments cruciaux comme le coefficient de friction, le glissement, le roulement, l'étanchéité et même l'aspect esthétique.

Il est essentiel de mesurer avec précision les propriétés de la surface des pièces afin d'assurer et de contrôler leur qualité. Cette évaluation se réalise en analysant le profil de la surface.

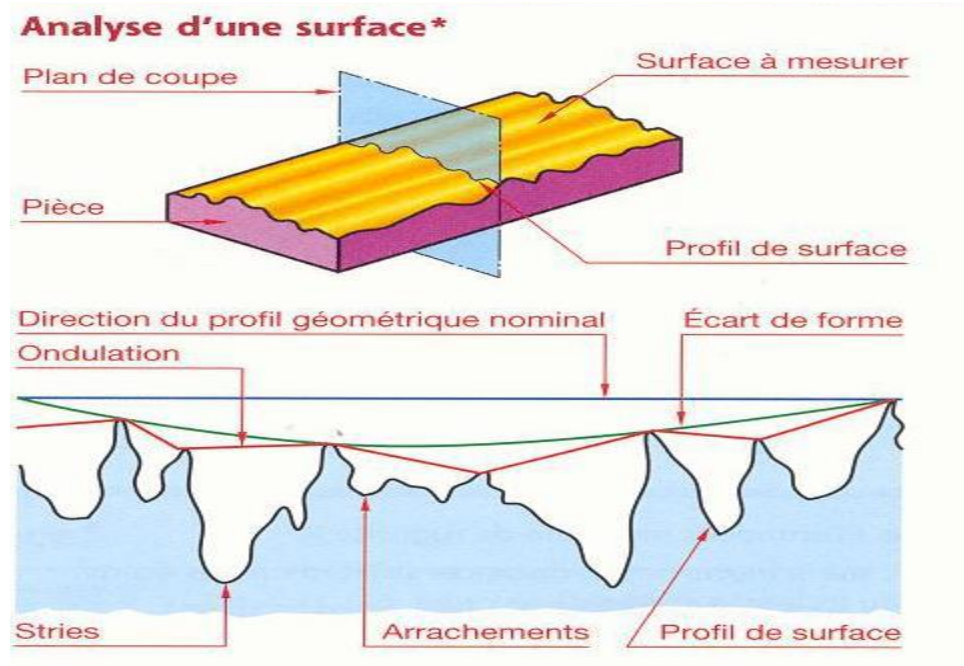


Figure II.2: analyse d'une surface [15]

Selon leur échelle d'apparition, la norme classe six ordres de défauts, du plus important au plus minime :

1. Écart de forme (échelle macroscopique):

- Défauts liés à la forme globale de la pièce.

2. Défauts géométriques globaux:

- Défaut de planéité
- Défaut de rectitude
- Défaut de circularité

3. Ondulations (échelle macroscopique):

Chapitre II: la rugosité de surface

- Espacement entre crêtes compris entre 0,5 et 2,5 mm.
- 4. **Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudo-périodiques, échelle microscopique) :**
 - Espacement entre crêtes inférieur ou égal à 0,5 mm.
- 5. **Défauts localisés (échelle microscopique):**
 - Marques d'outil
 - Arrachements
 - Fentes
 - Piqûres
- 6. **Défauts à l'échelle cristalline:**
 - Structure cristalline (méso-scopique)
 - Réseau cristallin (nano-scopique)

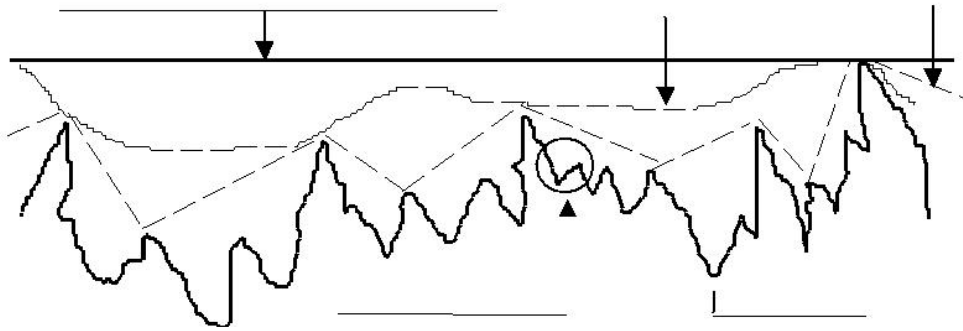


Figure II.3: Les types de défauts de surface [15]

II.2.1 Ordre 1 : défauts de forme :

Ce sont des défauts liés à la forme globale et aux grandes dimensions de la pièce. Ils comprennent notamment:

- **Défauts de planéité :** irrégularités ou courbures sur une surface qui devrait être plane.
- **Défauts de rectitude :** déviations par rapport à une ligne droite sur une surface ou un profil.
- **Défauts de circularité :** variations par rapport à une forme circulaire idéale sur des pièces cylindriques ou rondes.

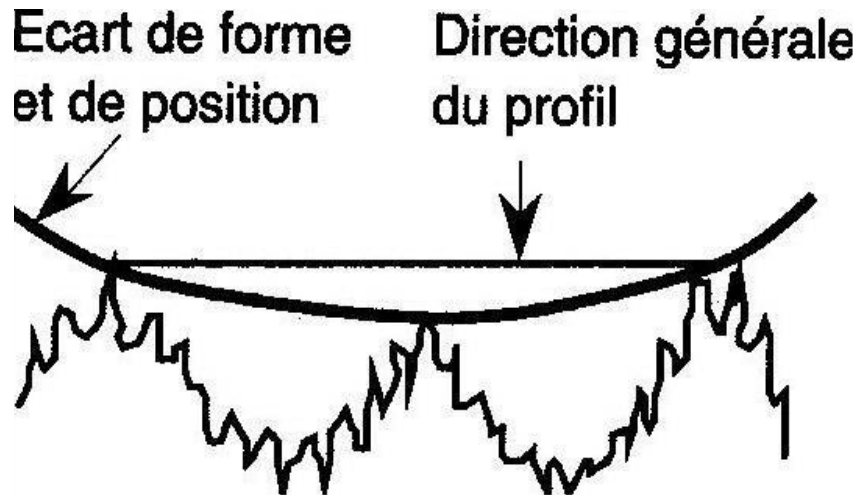


Figure II.4:Défauts d'ordre 1. [16]

A. Influence des défauts de surface :

Les défauts de surface affectent plusieurs aspects fonctionnels des pièces :

1. L'étanchéité

- Statique : lorsque les pièces sont immobiles l'une par rapport à l'autre.
- Dynamique : lorsqu'il y a un mouvement entre deux pièces.

2. Les frottements

- Au niveau du roulement ou du glissement, ces défauts influencent la durée de vie des organes mécaniques.

B. Causes des défauts de surface :

- **Déformation de la pièce pendant l'usinage :**
due aux efforts exercés par l'outil ou à une mauvaise inclinaison de celui-ci.
- **Déformation après démontage :**
causée par des contraintes internes, par exemple liées à la température.
- **Déformation de l'outil-machine :**
sous l'action de la pièce pendant l'usinage.
- **Défauts au niveau des guidages :**
problèmes liés aux systèmes mécaniques de guidage de la machine.

C. Méthodes d'évaluation de la surface :

1. Mesure discontinue :

- Utilisation de comparateurs (principe du maillage)
- Machines à mesurer tridimensionnelles (MMT)

Chapitre II: la rugosité de surface

2. Mesure continue :

- Palpage
- Interférométrie

3. Autres outils :

- Marbre
- Calibre
- Bague

II.2.2 Ordre 2: Ondulations périodiques:

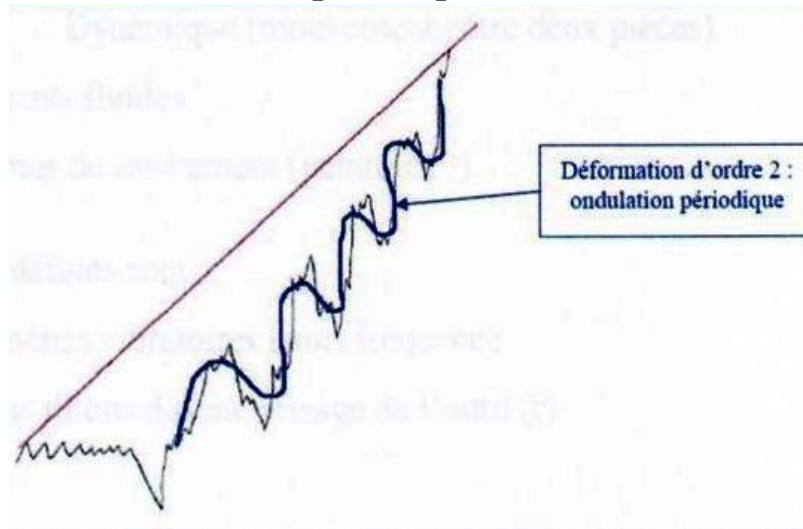


Figure II.5:Défauts d'ordre 2 [17]

L'impact de ces défauts s'apparente à celui des défauts de premier ordre (écarts de forme), en influençant de manière significative des caractéristiques fonctionnelles telles que l'étanchéité, les frottements et la longévité des composants.

Ces défauts trouvent principalement leur origine dans des phénomènes vibratoires de basse fréquence, généralement induits par un manque de rigidité de certains éléments du système. Parmi les sources identifiées, on peut citer :

- La pièce elle-même, notamment en cas de déséquilibre du montage sur le porte-pièce.
- L'outil de coupe, par exemple en présence d'une dent endommagée ou cassée sur une fraise.
- La machine-outil, lorsque sa structure ne présente pas une rigidité suffisante. [17]

II.2.3 Ordre 3: stries ou sillons:

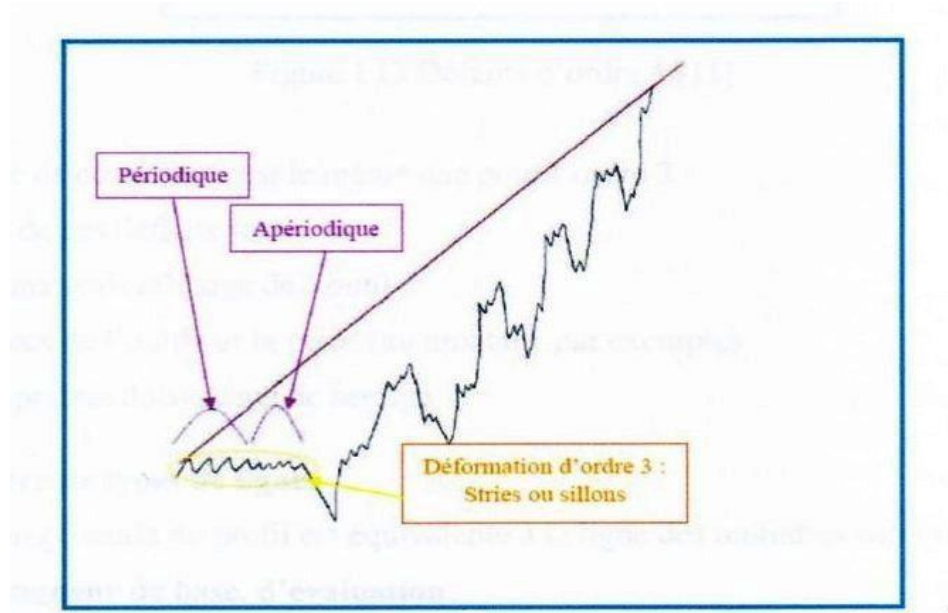


Figure II.6: Défauts d'ordre 3 [17]

L'influence de ces défauts se manifeste principalement sur les aspects suivants :

- a) L'étanchéité, qu'elle soit :
 - Statique, en l'absence de mouvement relatif entre les pièces.
 - Dynamique, en présence de mouvements relatifs entre les composants .
- b) Les régimes de frottement fluide, affectés par les irrégularités de surface .
- c) Les problématiques de revêtement, telles que l'adhérence ou l'uniformité de la peinture ou d'autres traitements de surface.

Ces défauts trouvent leur origine dans deux causes principales :

- Les phénomènes vibratoires à haute fréquence, qui altèrent la qualité de surface générée.
- Les stries ou sillons résiduels liés au passage de l'outil de coupe, dont la forme dépend notamment du rayon de pointe (*rayon r*). [17]

II.2.4 Ordre 4: Arrachement de matière:

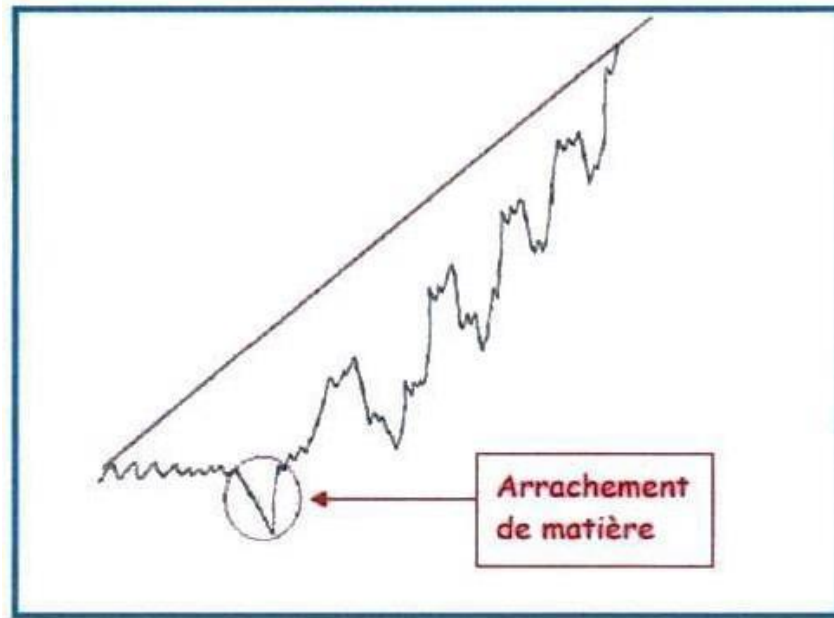


Figure II.7: Défauts d'ordre 4 [17]

L'influence de ces défauts est comparable à celle des défauts de troisième ordre, affectant principalement la qualité de la surface et les propriétés fonctionnelles fines des pièces usinées.

Les principales causes identifiées sont les suivantes :

- Un affûtage inadéquat de l'outil, compromettant la qualité de coupe et générant des irrégularités superficielles.
- Des chocs entre l'outil et la pièce, notamment lors des opérations de montage ou de réglage, susceptibles d'engendrer des marques ou des micro-endommagements .
- L'empreinte laissée par le système de serrage, qui peut altérer localement la géométrie ou l'état de surface de la pièce. [17]

II.3 Différents types de lignes :

Le profil général est déterminé comme étant la ligne de régression dérivée de l'application de la méthode des moindres carrés sur les données pertinentes à ce profil.

Chapitre II: la rugosité de surface

II.3.1 Longueur de base, d'évaluation :

- **Longueur de base (notée l) :**

Il s'agit de la portion de surface sur laquelle les paramètres de rugosité sont calculés. Cette longueur est définie en fonction de l'outil de mesure et du type de rugosité à analyser. Elle est choisie pour être représentative des irrégularités superficielles.

- **Longueur d'évaluation (notée L):**

C'est la longueur totale de la surface analysée. Elle comprend plusieurs longueurs de base successives ($L = n \times l$), ce qui permet d'obtenir une moyenne plus fiable des paramètres de rugosité sur une zone plus étendue.

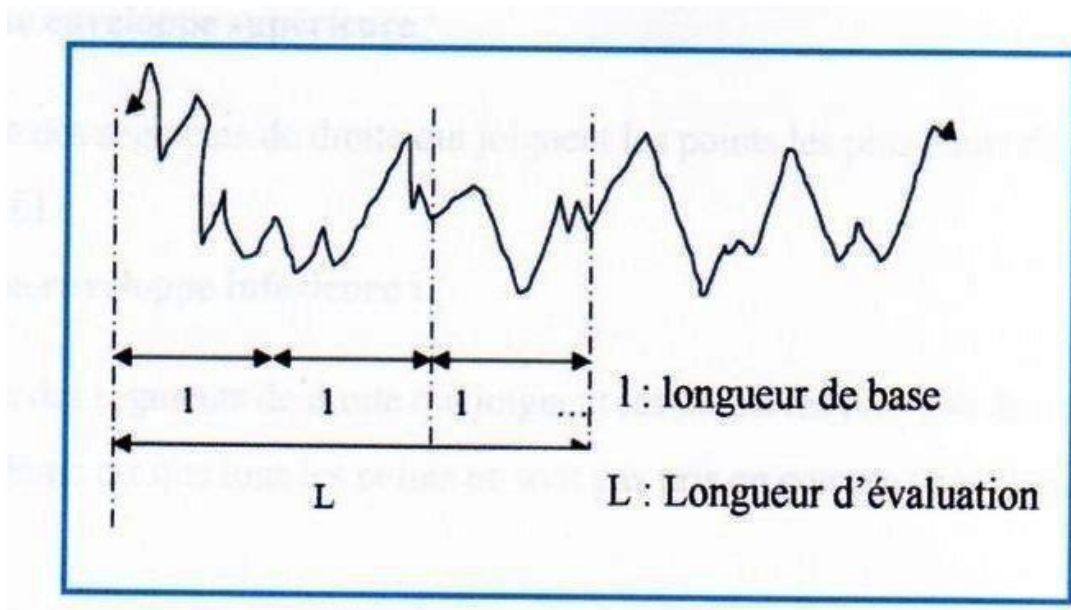


Figure II.8:profilographe d'une surface. [17]

II.3.2 Lignes de référence :

Les paramètres du profil d'une surface sont calculés en se basant sur les lignes de référence. Elles offrent la possibilité de mesurer les anomalies présentes sur celle-ci. On identifie deux principales catégories:

Chapitre II: la rugosité de surface

a. Lignes moyennes:

- **Ligne moyenne arithmétique** : ligne horizontale dont l'aire des écarts positifs est égale à celle des écarts négatifs par rapport à elle.
- **Ligne des moindres carrés** : ligne mathématique ajustée de manière à minimiser la somme des carrés des écarts entre cette ligne et le profil mesuré.

b. Lignes enveloppes:

- **Enveloppe supérieure** : ligne qui suit les points les plus hauts du profil (les pics).
- **Enveloppe inférieure** : ligne qui suit les points les plus bas du profil (les creux). [17]

II.3.3 La ligne des moindres carrés :

La ligne des moindres carrés est une ligne de référence qui suit le plus fidèlement possible la forme générale du profil mesuré. Elle est conçue pour refléter au mieux le profil dans la zone examinée.

Elle possède les caractéristiques suivantes :

- Elle a la même forme géométrique que le profil théorique.
- Elle divise le profil de telle sorte que, sur la longueur de base (notée L), la somme des carrés des écarts entre le profil réel et cette ligne soit minimale.
- Elle garantit une répartition équilibrée des écarts (positifs et négatifs) de part et d'autre, assurant ainsi une analyse symétrique du profil.

Cette ligne est fréquemment employée pour les mesures de formes géométriques ainsi que dans les systèmes d'analyse numérique ou automatique. [17]

II.3.4 La ligne moyenne arithmétique :

La ligne moyenne arithmétique constitue une référence pour l'analyse des profils de surface. Elle est caractérisée comme la ligne qui parcourt le profil de sorte que, sur une longueur de référence (L), l'addition algébrique des déviations (positives et négatives) entre le profil réel et cette ligne soit nulle.

Autrement dit, cette ligne:

- Représente la moyenne des hauteurs (crêtes et creux) du profil sur la longueur considérée.
- Sert de base pour le calcul de certains paramètres de rugosité, notamment le R_a (rugosité moyenne arithmétique).
- Elle ne minimise pas la somme des carrés des écarts (contrairement à la ligne des moindres carrés), mais équilibre les écarts positifs et négatifs autour d'elle. [17]

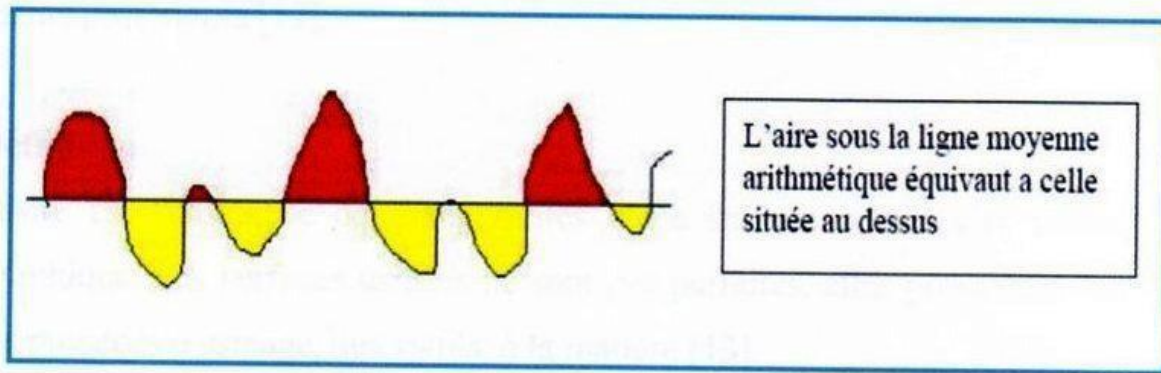


Figure II.9:Ligne des moindres arithmétiques. [17]

II.3.5 La ligne enveloppe supérieure :

La ligne enveloppe supérieure est définie comme l'enveloppe qui relie les sommets les plus élevés (ou crêtes) des aspérités du profil d'une surface usinée. Elle est constituée par la succession de segments de droite joignant les points les plus hauts de chaque saillie locale sur la longueur de base considérée.

Elle permet notamment:

- De définir des valeurs maximales pour certains paramètres de rugosité (comme R_t : hauteur totale du profil).
- D'évaluer l'écart maximal au-dessus d'une ligne de référence (utile pour le contrôle qualité et l'ajustement de pièces mécaniques). [17]

II.3.6 La ligne enveloppe inférieure :

La ligne enveloppe inférieure est définie comme l'enveloppe formée par les points les plus bas (ou creux) du profil d'une surface usinée. Elle est constituée par une série de segments de droite reliant les creux locaux les plus profonds le long de la longueur de base.

Cependant, cette méthode présente une limite importante :

Elle ne prend pas en compte l'ensemble des points du profil, ce qui la rend peu représentative et fortement dépendante de la répartition aléatoire des irrégularités. [17]

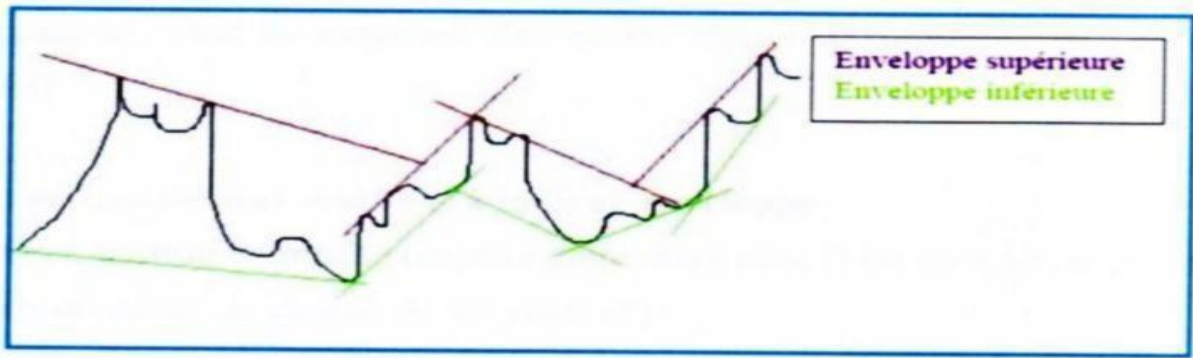


Figure II.10: ligne enveloppe inférieure et supérieure. [17]

II.4 Paramètres de rugosité unidimensionnelle :

Les paramètres de rugosité unidimensionnelle standardisés peuvent être déterminés à l'aide d'un outil de mesure de rugosité. [17]

La texture d'une surface dans une seule direction (unidimensionnelle) est généralement décomposée en deux composantes :

- **L'ondulation** : composante à basse fréquence, représentant les variations globales de forme.
- **La rugosité** : composante à haute fréquence, traduisant les irrégularités plus fines de la surface.

Cette séparation est effectuée à l'aide d'une fréquence de coupure, exprimée en unités de fréquence de Nyquist.

Une valeur de 1,0 correspond à la fréquence maximale mesurable (fréquence de Nyquist).

Dans les formules de calcul associées aux paramètres de rugosité, on considère généralement que la moyenne des valeurs mesurées est nulle.

Ainsi, on définit chaque valeur centrée r_j comme suit :

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

II.4.1 Paramètres d'amplitude de rugosité:

Normes de référence :

- ASME B46.1-1995
- ASME B46.1-1985
- ISO 4287-1997
- ISO 4287/1-1997

La rugosité moyenne, également appelée R_a , se rapporte à la moyenne arithmétique des valeurs absolues des hauteurs du profil de rugosité par rapport à la ligne moyenne sur une distance déterminée.

Elle représente la moyenne des valeurs absolues des différences r_j observées entre le profil réel et la ligne moyenne :

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

Une méthode plus ancienne pour spécifier une plage de rugosité moyenne R_a est appelée RHR (Roughness Height Range). Elle consiste à utiliser un symbole apposé sur un dessin technique, indiquant les valeurs minimale et maximale autorisées de R_a pour la surface considérée. [18]

1. Rugosité moyenne quadratique R_q :

Standards :

- ASME B46.1-1995.
- ISO 4287-1997.
- ISO 4287/1-1997.

Le paramètre R_q se réfère à la moyenne quadratique des déviations de hauteur du profil de surface observées sur la distance d'évaluation, comparativement à la ligne moyenne.

En d'autres termes, R_q représente la racine carrée de la moyenne des carrés des écarts verticaux du profil. [18]

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

Chapitre II: la rugosité de surface

2. Hauteur maximale du profil R_t :

Selon les normes :

- ASME B46.1-1995
- ISO 4287-1997

R_t représente la hauteur maximale crête-à-crête d'un profil de surface. C'est la différence absolue entre la hauteur maximale et la profondeur minimale mesurées sur la longueur d'évaluation. [18]

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

3. Profondeur minimale des vallées R_v, R_m :

Selon les normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997 et ISO 4287/1-1997, R_v ou R_m représente la profondeur de la vallée la plus marquée du profil de rugosité observé sur la longueur d'évaluation. [18]

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

4. Hauteur maximale des pics R_p :

D'après les normes :

- ASME B46.1-1995
- ASME B46.1-1985
- ISO 4287-1997
- ISO 4287/1-1997

R_p représente l'altitude du pic le plus haut du profil de rugosité évalué sur la longueur spécifiée. [18]

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

5. Amplitude moyenne R_{tm} :

Selon les normes :

- ASME B46.1-1995 et ISO 4287-1997

Chapitre II: la rugosité de surface

l'amplitude moyenne R_{tm} indique la rugosité moyenne de crête à crête. Elle est déterminée comme l'écart moyen entre les sommets les plus hauts et les creux les plus profonds, évalué sur plusieurs échantillons tout au long de la durée d'évaluation. [18]

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

Les définitions de R_{vm} et R_{pm} sont fournies ci-dessous.

Selon la norme ISO, l'amplitude moyenne R_{tm} est déterminée en se basant sur cinq longueurs d'échantillon ($m=5$) pour les profils de données. [18]

6. Profondeur moyenne des vallées R_{vm} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Ceci représente la profondeur moyenne des vallées, déterminée sur la base d'une longueur d'échantillon de vallée. On identifie la vallée la plus profonde sur cinq échantillons ($m=5$), puis on fait une moyenne de ces profondeurs. [18]

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

Où

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

7. Hauteur moyenne des pics R_{pm} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Ceci représente la hauteur moyenne des sommets, déterminée à partir d'un sommet par longueur d'échantillon. Pour cinq longueurs d'échantillons ($m=5$), on détermine le sommet le plus haut, puis on fait la moyenne de ces hauteurs. [18]

$$R_{pm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{pi} \quad \text{Où} \quad R_{pi} = |\max r_j| \quad \text{pour} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m}$$

Chapitre II: la rugosité de surface

8. Profondeur de rugosité de base R_{3z} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Il s'agit de l'écart vertical entre le troisième sommet le plus haut et la troisième dépression la plus profonde sur le profil de rugosité. Un sommet désigne une zone de la surface qui se trouve au-dessus de la ligne moyenne. [18]

9. Profondeur de rugosité moyenne R_{3zISO} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Il s'agit de la moyenne des distances, déterminées sur cinq longueurs d'échantillon, séparant le troisième sommet le plus élevé et la troisième dépression la plus profonde du profil de rugosité. [18]

10. Hauteur maximale moyenne R_z :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Il s'agit de la moyenne des valeurs absolues des altitudes des cinq sommets les plus élevés et des profondeurs des cinq vallées les plus profondes, calculée sur la période d'évaluation. [18]

11. Amplitude crête-à-crête moyenne R_{zISO} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

Ceci concerne la rugosité moyenne crête-à-crête, déterminée à partir d'un sommet et d'une dépression sur une certaine longueur d'échantillon. On détermine l'amplitude maximale en se basant sur cinq longueurs d'échantillon, puis on procède à une moyenne de ces valeurs. Cette configuration est identique à R_{tm} . [18]

12. Fonction de distribution d'amplitude :

Norme : ISO 4287 de 1997.

C'est une fonction qui attribue la probabilité que l'élévation du profil de surface soit équivalente à un certain z spécifié en chaque emplacement x le long du profil. [18]

13. Distribution d'amplitude cumulée :

Norme : ISO 4287 de 1997.

La distribution d'amplitude cumulée représente l'addition cumulative des probabilités fournies par la distribution d'amplitude. Elle illustre la chance qu'une hauteur du profil soit à la fois inférieure ou égale à une valeur spécifiée. Cette fonctionnalité est particulièrement bénéfique pour décrire

Chapitre II: la rugosité de surface

l'état de surface, car elle offre un aperçu général des hauteurs du profil. D'un point de vue mathématique, il s'agit de l'intégrale de la fonction de distribution d'amplitude. [18]

14. Asymétrie R_{sk} :

Norme : ISO 4287 de 1997.

L'asymétrie est un coefficient qui caractérise la forme de la distribution d'amplitude du profil surfacique. Elle évalue la symétrie ou l'asymétrie des fluctuations de hauteur du profil en relation avec la ligne moyenne. Autrement dit, elle détermine si les sommets ou les vallées dominent dans la texture de la surface. [18]

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

II.4.2 Principaux paramètres de la rugosité :

Sur un profil et une longueur spécifiques, trois paramètres sont généralement utilisés en pratique parmi les divers critères établis par les normes pour définir la rugosité :

- **Ra (écart moyen)** : Il s'agit de la moyenne arithmétique des valeurs pures des écarts entre les sommets et les creux du profil par rapport à une ligne centrale. Ra fournit une évaluation globale de la rugosité.
- **Rt (différence totale)** : C'est la différence la plus grande entre le sommet (maximum) et le creux (minimum) sur la longueur observée.
- **Rz (regularity)** : Moyenne des écarts totaux (Rt) évalués sur cinq longueurs successives. Ceci illustre la constance de la rugosité sur toute la surface. [17]

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

Un motif se définit comme une section de profil située entre deux sommets consécutifs. Il se distingue par sa largeur (ou absence de celle-ci) et la profondeur spécifique de chaque côté. On peut évaluer graphiquement les paramètres liés aux motifs à partir de la ligne de couverture supérieure et de la ligne de couverture inférieure. [17]

Ces motifs permettent de déterminer :

- La profondeur moyenne de rugosité R définie par la moyenne des profondeurs des motifs :

$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j$$

Chapitre II: la rugosité de surface

- Le pas moyen AR, c'est-à-dire la largeur moyenne des motifs :

$$AR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AR_i$$

En outre, la courbe supérieure enveloppante est utilisée pour identifier les motifs d'ondulation et pour déterminer la profondeur moyenne de l'ondulation (W) ainsi que son pas moyen (AW). [17]

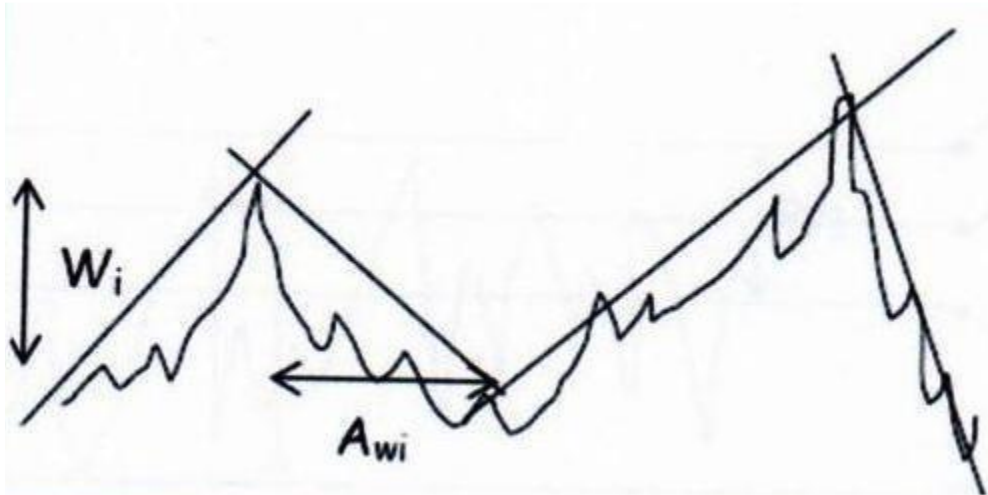


Figure II.11: Paramètres d'ondulation.

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

$$AW = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m AW_j ; \text{Pas moyen}$$

II.4.4 Paramètres liés à la ligne moyenne :

Selon la norme ISO 4287/1, le calcul des paramètres se base sur la ligne de régression qui est déterminée sur une longueur de référence. La valeur finale correspond à la moyenne des paramètres évalués sur cinq bases de mesure différentes. [17]

Paramètres clés évalués à l'échelle de la longueur de base :

Chapitre II: la rugosité de surface

a) Au niveau de la longueur de base :

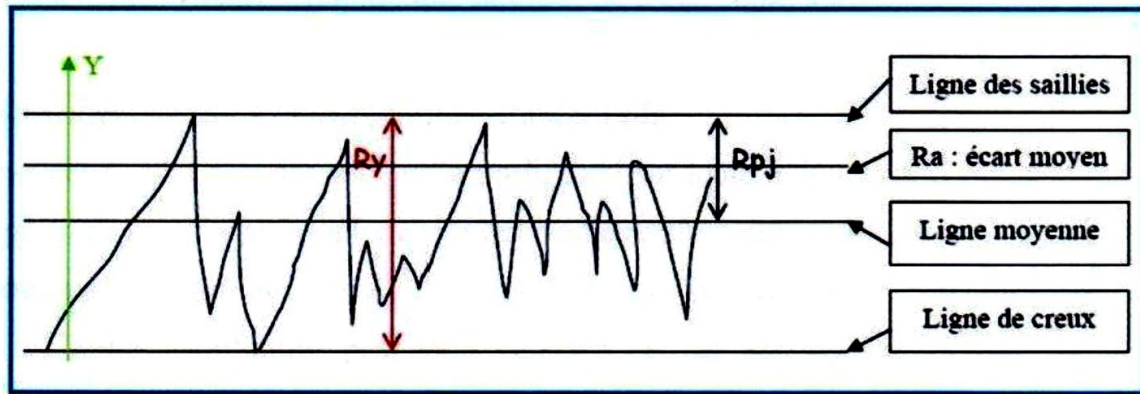


Figure II.12: Paramètre liés à la longueur de base. [17]

- **Rpj** : distance entre la ligne des saillies (pics) et la ligne moyenne.
- **Raj** : écart moyen arithmétique du profil sur la longueur de base.

Formellement:

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

- **Ry** : distance entre la ligne des saillies (pics) et la ligne des creux (vallées) sur la longueur de base.
- **Rp** : moyenne des valeurs Rp calculées sur les différentes longueurs de base.

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

- **Ra** : moyenne arithmétique des écarts absolus du profil (moyenne des Raj) sur plusieurs longueurs de base.

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

Chapitre II: la rugosité de surface

- **Rt** : valeur maximale de Ry observée sur la longueur d'évaluation. C'est la plus grande distance entre un pic et un creux dans cette longueur.

On considère souvent que Rt est approximativement équivalent à Ry maximal.

- **Rmax** : plus grand écart entre une saillie et un creux consécutif dans la longueur d'évaluation.

b) Au niveau de la longueur d'évaluation :

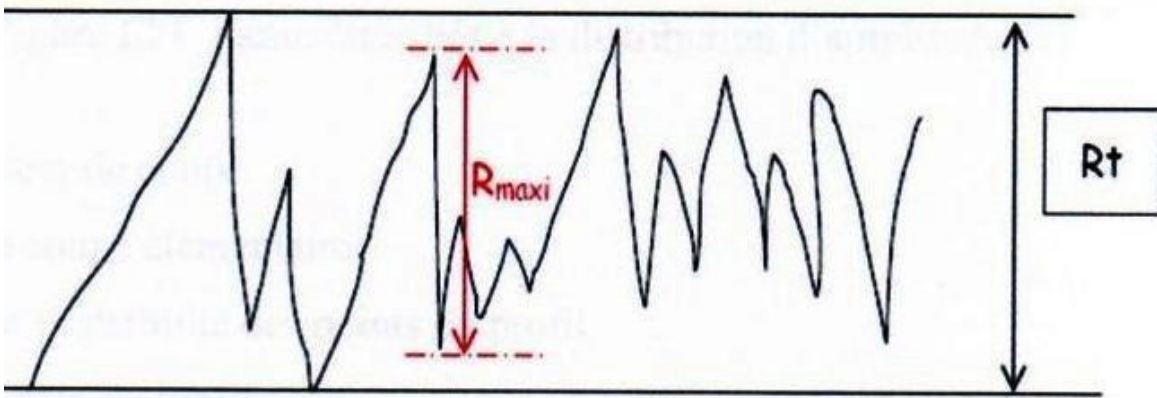


Figure II.13: Paramètres liés à la longueur d'évaluation. [17]

II.4.5 Paramètres liés à la distribution d'amplitude :

Ces paramètres sont déterminés soit en utilisant le profil intégral sur toute la longueur d'évaluation LLL, soit en se basant sur le profil de rugosité, qui peut être mesuré sur une distance excédant celle de la longueur de référence. [17]

• Distribution d'amplitude :

C'est la fonction de densité de probabilité des points qui composent le profil de surface. L'aspect de cette distribution est défini grâce aux paramètres Rq, Sk et Ek, qui se rapportent respectivement aux moments centrés de deuxième, troisième et quatrième ordre. On utilise souvent ces paramètres en tribologie afin de représenter mathématiquement le comportement des surfaces. La courbe de Abbott-Firestone représente le taux de portance Tp, qui correspond à la distribution cumulée de l'amplitude en relation avec la profondeur de coupe (c). Elle précise le pourcentage précis de la surface qui serait en contact avec une surface plane suite à une usure hypothétique équivalente à c. [17]

Chapitre II: la rugosité de surface

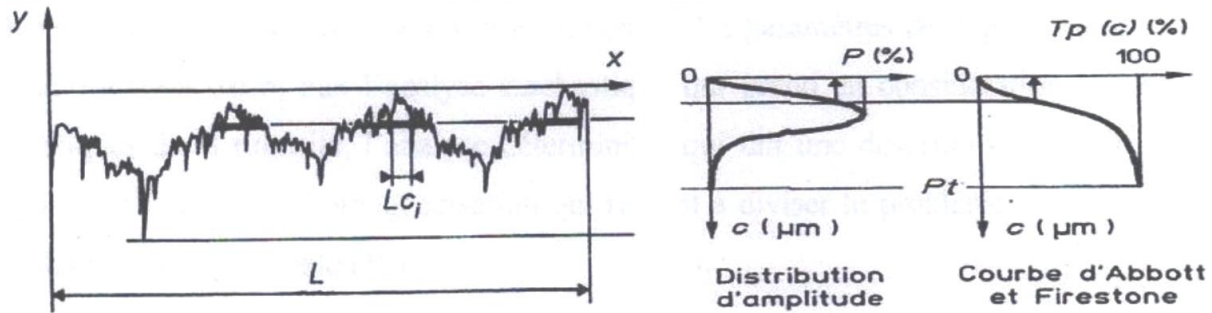


Figure II.14: Paramètres liés à la distribution d'amplitude [17]

Les paramètres associés sont les suivants :

- **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
- **Tp(C)** : taux de longueur portante, c'est-à-dire le pourcentage de la longueur qui resterait en contact après une usure hypothétique égale à C.

Ces paramètres permettent d'évaluer et de modéliser précisément le comportement au contact mécanique. Ainsi, la connaissance fine de la topographie de surface est devenue un critère fondamental en tribologie. [17]

II.4.6 Les spécifications normalisées:

Sur les dessins techniques, l'état de surface peut être spécifié de manière normalisée à l'aide d'un symbole graphique. Ce symbole permet d'indiquer les exigences relatives à la finition de surface, telles que la rugosité, le procédé d'usinage autorisé ou interdit, et d'autres informations complémentaires.

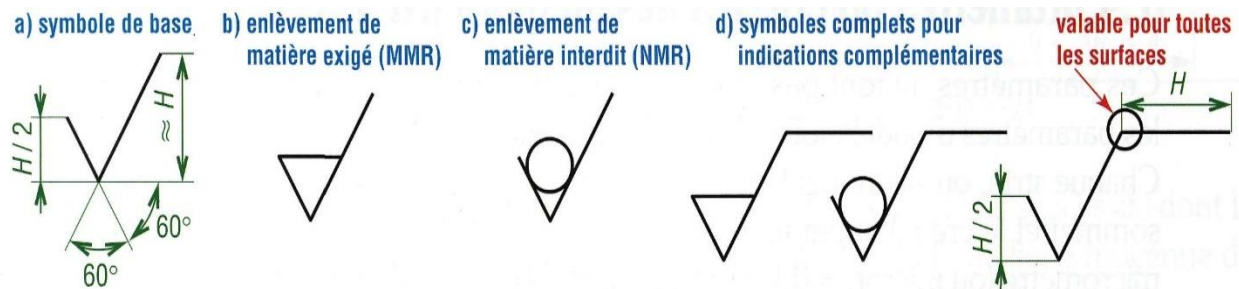


Figure II.15: Symboles de base normalisés (NF ISO 1302) [19]

Chapitre II: la rugosité de surface

Ce symbole est complété par des indications précisant le paramètre de rugosité retenu (comme Ra, Rt, etc.), ainsi que, le cas échéant, le procédé de fabrication autorisé ou interdit (par exemple : usinage, polissage, moulage...). [19]

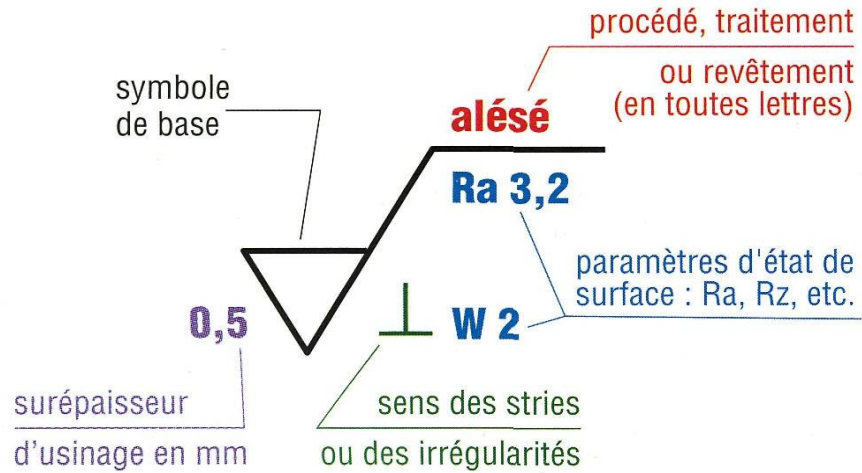


Figure II.16: Spécification de l'état de surface. [19]

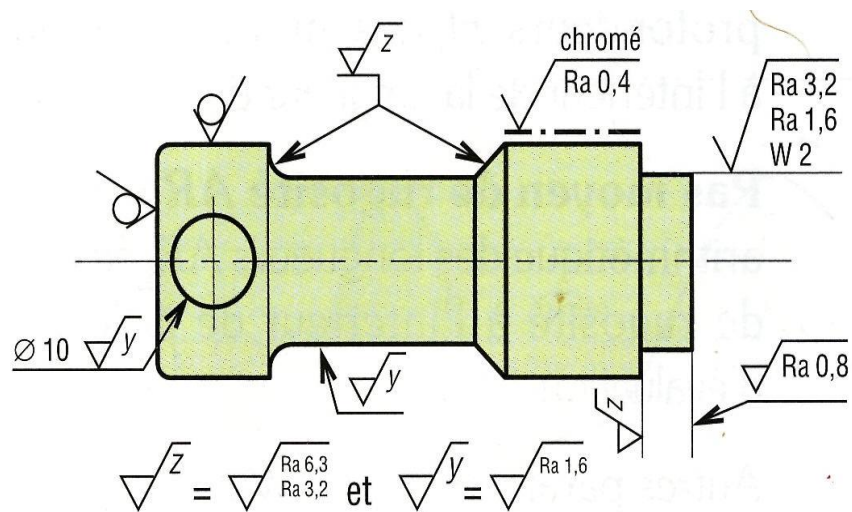


Figure II.17: Exemple de cotation, position des symboles. [19]

Chapitre II: la rugosité de surface

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

II.5.1 La rectification:

La rectification d'une pièce mécanique a pour objectif d'améliorer la qualité de son état de surface. Elle se décline principalement en deux types : la rectification plane, destinée aux surfaces plates, et la rectification cylindrique, utilisée pour les surfaces de révolution.

II.5.2 Principe de la rectification :

La rectification s'effectue à l'aide d'une machine-outil spécialisée appelée rectifieuse. Cette opération consiste à approcher une surface de sa forme géométrique idéale, qu'il s'agisse d'un plan, d'un cylindre de révolution ou d'un cône.

Elle est couramment utilisée pour préparer des surfaces soumises à des frottements, telles que les portées d'arbres destinés à tourner dans des paliers lisses ou à assurer l'étanchéité avec un joint. La rectification peut également permettre d'obtenir un profil spécifique sur la pièce, en adaptant la forme de la meule au profil complémentaire souhaité.

a) Rectification cylindrique:

La rectification cylindrique permet, comme son nom l'indique, de réaliser des surfaces parfaitement cylindriques.

La pièce à usiner est montée et mise en rotation sur son axe, maintenue soit par un mandrin, soit par des pointes. Une meule abrasive vient alors travailler la surface, soit par l'intérieur, soit par l'extérieur, garantissant une grande précision pouvant atteindre $\pm 0,001$ mm.

La rectification cylindrique est particulièrement utilisée dans les domaines suivants :

- Fabrication d'éléments de guidage
- Fabrication de poinçons et matrices
- Production de pièces d'arbres et d'axes
- Usinage de composants moteurs et pièces automobiles
- Réalisation de cylindres hydrauliques et pneumatiques
- Fabrication de composants d'équipements médicaux de haute précision

Cette technique est essentielle pour répondre aux exigences les plus strictes en termes de précision et de qualité. [20]

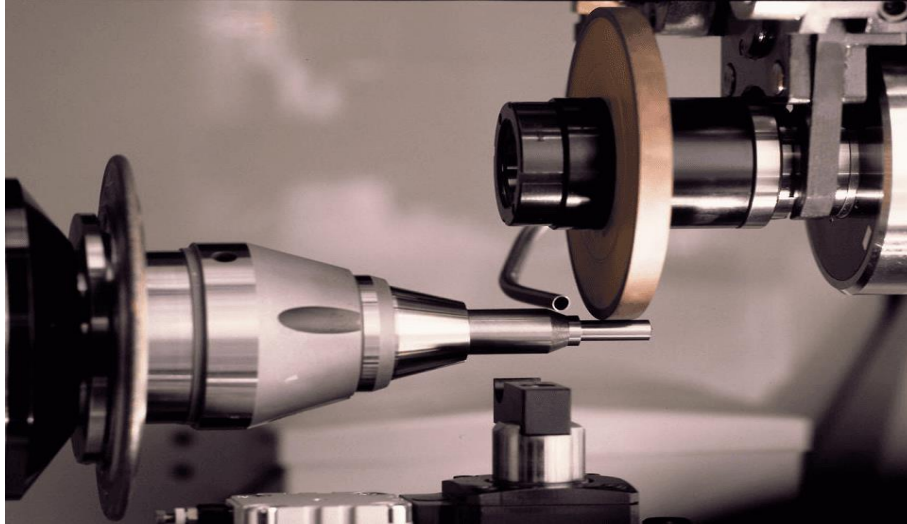


Figure II.18: Rectification cylindrique [20]

b) Rectification plane :

- **Type Blanchard :**

La rectification de type Blanchard, également appelée rectification circulaire ou rotative, est une technique de rectification plane utilisée pour obtenir des surfaces planes de grande dimension avec une précision exceptionnelle. Cette méthode permet d'atteindre un parallélisme de 0,06 mm par mètre, une planéité de 0,04 mm par mètre selon l'épaisseur, une épaisseur contrôlée à $\pm 0,03$ mm et une rugosité moyenne (R_a) de $3,2 \mu\text{m}$.

Le procédé utilise une meule abrasive composée de plusieurs segments en rotation horizontale qui rectifie la pièce par un mouvement rotatif.

La rectification Blanchard est couramment appliquée pour :

- La rectification de plaques et panneaux métalliques
- L'aplanissement de surfaces destinées aux matrices et moules
- La finition de grandes pièces issues de la fonderie
- La préparation de surfaces pour le soudage et l'assemblage
- La rectification de surfaces de composants industriels

Grâce à l'expérience de nos opérateurs, cumulant plusieurs décennies dans le surfacage Blanchard, nous garantissons la réalisation et la rectification de vos plaques et pièces avec précision, fiabilité et rapidité. [20]



Figure II.19:Rectification plane de type Blanchard. [20]

- **Tangentielle grande dimension :**

La rectification tangentielle est une technique de rectification plane offrant une qualité de surface et une planéité supérieures à celles obtenues par rectification Blanchard. Elle permet d'atteindre une planéité de 0,02 mm par mètre, un parallélisme de 0,03 mm par mètre, une tolérance d'épaisseur de $\pm 0,01$ mm ainsi qu'une rugosité moyenne (R_a) de 0,8 μm .

Le procédé consiste à positionner une meule tangentiellement à la surface de la pièce à rectifier, assurant ainsi une rectification précise qui produit une surface plane, lisse et de haute qualité.

Les avantages de la rectification tangentielle sont multiples :

- **Précision dimensionnelle :** Cette méthode permet d'atteindre des tolérances très strictes, répondant aux exigences les plus élevées en matière de précision.
- **Qualité de surface :** Les surfaces obtenues présentent une finition exceptionnelle, réduisant significativement le besoin d'opérations de finition supplémentaires.
- **Réduction des déformations :** Ce procédé minimise les déformations et les contraintes résiduelles, ce qui est particulièrement bénéfique pour les matériaux sensibles à la chaleur.
- **Polyvalence des matériaux :** Adaptée à une large gamme de matériaux, des métaux ferreux aux plastiques, en passant par les céramiques et composites.
- **Adaptabilité :** Convient à différentes formes de pièces, rendant cette technique idéale pour divers projets industriels.

Chapitre II: la rugosité de surface

Pour tous vos besoins en rectification plane, n'hésitez pas à nous contacter. Notre service commercial se tient à votre disposition pour vous accompagner. [20]



Figure II.20: Rectification plane tangentielle grande dimension. [20]

a) Matériaux pouvant être rectifiés:

- Acier classique non trempé
- Acier trempé jusqu'à 70 HRC
- Acier chromé dur
- Céramique
- Carbure
- Plastique. [21]

II.5.3 Avantages de la rectification :

- Permet de travailler sur des matériaux très durs.
- Offre la possibilité d'atteindre des tolérances dimensionnelles très fines, de l'ordre du micromètre (0,001 mm), pour des pièces d'une grande précision.
- Assure un état de surface de haute qualité, avec une rugosité inférieure à 0,1 Ra. [21]

Chapitre II: la rugosité de surface

II.5.4 Superfinition:

La superfinition est un procédé d'usinage visant à obtenir une qualité de surface supérieure à celle que permet la rectification. Elle agit sur deux aspects principaux:

- **La forme finale de la surface** : L'usinage avec un outil laisse des stries ou raies sur la surface, que le rodage ne masque que partiellement.
- **La structure superficielle du métal** : L'usinage génère de fortes élévations de température (jusqu'à 1000 °C à la pointe de l'outil) et arrache des particules, provoquant une détérioration de la surface. Cette dernière est en partie fondue puis ressoudée, et s'enrichit aussi de corps étrangers (limailles, lubrifiants, saletés) qui forment une couche fragile et hétérogène, appelée couche de Beilby.

La superfinition consiste à éliminer cette couche de Beilby pour supprimer les stries et défauts géométriques. Contrairement à la rectification rapide, elle utilise une pierre abrasive animée d'un mouvement alternatif rectiligne de faible amplitude (1 à 5 mm) à une fréquence d'environ 25 vibrations par seconde. La vitesse de travail est faible (10 à 20 m/min) comparée au polissage (environ 3000 m/min). [22]

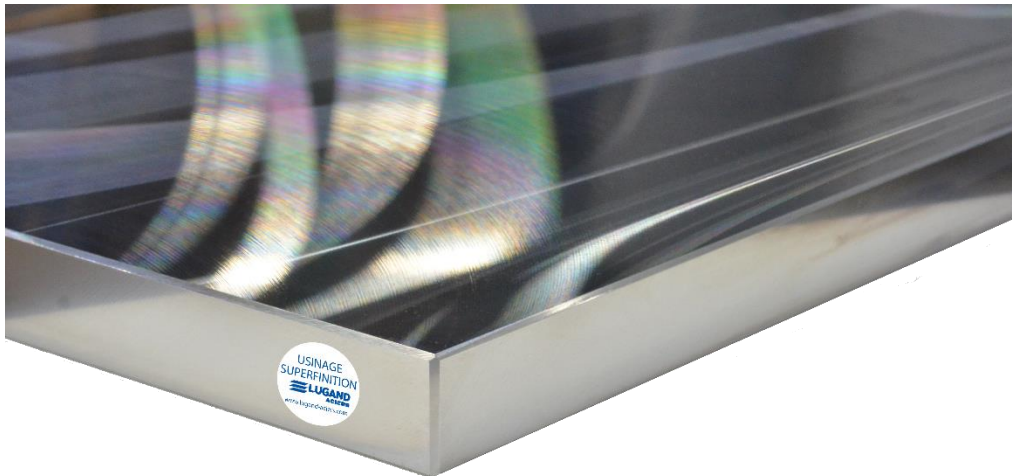


Figure II.21:surface de superfinition. [23]

II.6 Liquide de coupe :

Un fluide de coupe, ou plus couramment un fluide d'usinage, est un liquide spécifiquement élaboré pour refroidir et lubrifier pendant le processus d'usinage des métaux. On trouve divers genres de fluides, notamment les huiles, émulsions, aérosols, sans oublier l'air et autres gaz. L'utilisation de ces derniers optimise la qualité et l'efficacité des processus d'usinage des matériaux métalliques. Deux cas particuliers sont la fonte et le laiton, qui sont habituellement travaillés à sec. [24]

Chapitre II: la rugosité de surface

Les fluides d'usinage remplissent plusieurs fonctions essentielles :

- **Régulation thermique** de la pièce durant l'usinage, particulièrement cruciale lorsque les tolérances sont strictes.
- **Lubrification** de l'outil coupant, prolongeant ainsi sa durée de vie.
- **Prévention de l'usure** des machines utilisées.
- **Amélioration des conditions de travail** pour les opérateurs. [24]

II.7 Fonctions assurées par les fluides d'usinage :

II.7.1 Maintien en température :

La fabrication de métaux génère de la chaleur, résultant du frottement entre l'instrument et le matériau ainsi que de l'énergie perdue lors de la déformation de ce dernier. L'outil de coupe est mal refroidi par l'air environnant, qui a une faible conductivité thermique. L'emploi d'un fluide caloporteur contribue de manière efficace à l'amélioration de ce refroidissement. [25]

II.7.2 Lubrification :

En plus de leur fonction de refroidissement, les liquides de coupe favorisent le processus d'usinage en lubrifiant la surface de contact entre l'outil et le copeau. En diminuant les frictions à ce lieu, ils restreignent la génération de chaleur. Cette lubrification empêche aussi la fixation du copeau sur l'outil, évitant de ce fait les imperfections pendant le processus d'usinage. [25]

II.7.3 Évacuation des copeaux :

Dans le secteur de la production en masse, le fluide de coupe est également crucial puisqu'il dégage les copeaux loin de la zone de coupe vers un dispositif centralisé de collecte. Cela contribue à prévenir les imperfections esthétiques sur les pièces ainsi que la génération de déchets. [25]

II.7.4 Composition des fluides d'usinage :

Les fluides d'usinage sont employés dans de nombreuses opérations, ce qui explique la diversité de leurs compositions. Ils sont généralement formulés par des spécialistes (comme Fuchs, Castrol, Total Energies, QuakerHoughton...), utilisant divers produits de base : huiles minérales issues de la distillation du pétrole, graisses animales, huiles végétales ou autres matières premières. Certains de ces fluides sont parfois appelés « eaux de savon » en raison de leur aspect laiteux et des formations en surface appelées « yeux », qui apparaissent lorsque le mélange eau/huile est imparfait. [25]

Chapitre II: la rugosité de surface

On distingue principalement trois types de fluides d'usinage :

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

La différence entre une huile entière, une émulsion et une micro-émulsion réside dans leur teneur en eau et en huile. Une huile entière ne contient pas d'eau, une émulsion est une huile concentrée diluée dans l'eau jusqu'à 10 %, une micro-émulsion est diluée jusqu'à 5 %, tandis qu'une huile synthétique ne contient plus d'huile entière. [25]

b) Fluides de type émulsion :

Les émulsions sont typiquement constituées de :

- une base, généralement une huile minérale ou un alkylbenzène,
- un émulsifiant,
- un produit anti-corrosion,
- des additifs pour pression extrême,
- bactéricides et/ou fongicides,
- des agents pour éviter la mousse,
- sans oublier l'eau.

Ces liquides sont proposés en tant que concentrés, à mélanger avec de l'eau avant emploi, généralement dans une proportion de 2 à 10 %. [25]

c) Fluides de type micro-émulsion :

La composition des fluides appelés micro-émulsion est similaire à celle des émulsions traditionnelles. Ils comprennent généralement :

- une base d'huile minérale ou d'alkylbenzène,
- un émulsifiant avec une fonction anti-corrosion,
- des agents anti-mousse,
- des composés pour haute pression (parfois présents),
- des agents antibactériens et/ou antifongiques,
- un solvant,
- ainsi que de l'eau.

Ces liquides sont aussi disponibles en tant que concentrés à mélanger avec de l'eau, généralement à une proportion de 1,5 à 5 %. [25]

Chapitre II: la rugosité de surface

d) Fluides synthétiques :

Lors des opérations d'usinage, les fluides se contaminent non seulement par des métaux, plus ou moins solubilisés, mais aussi par des composés indésirables issus de la dégradation thermique du fluide. En particulier, lorsque des fluides aqueux sont utilisés, ils peuvent se charger en contaminants biologiques tels que moisissures, bactéries, etc.

Les processus d'usinage génèrent également des aérosols qui, une fois inhalés, peuvent provoquer diverses affections respiratoires. Ces aérosols contiennent les mêmes composés nocifs, dont certains sont cancérogènes ou allergènes respiratoires.

Par ailleurs, le contact cutané avec ces fluides peut causer des dermatites ou des lésions eczématiformes.

Pour limiter ces risques, il est important de :

- vérifier régulièrement la qualité des fluides utilisés ;
- assainir les postes de travail, notamment en assurant une ventilation efficace ;
- éviter tout contact cutané avec les fluides ;

surveiller l'état des bassins d'huile afin d'empêcher le développement de bactéries, champignons et autres contaminants. [25]

Chapitre III :Partie Expérimentale

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.1 Introduction:

Ce chapitre expose tous les outils employés dans le cadre d'une approche expérimentale stricte, dans le but de déterminer l'impact des paramètres de coupe sur la qualité de la surface. Nous allons décrire en détail l'équipement utilisé pour évaluer la rugosité des pièces usinées, y compris un rugosimètre. Après cela, nous représenterons et examinerons les résultats obtenus pour souligner l'effet du paramètre d'avance (af) sur la qualité de la surface.

III.2 Présentation du matériel:

III.2.1 Machine d'essai:

Tour parallèle CNC DMG MORI – Modèle CLX 350

- **Nombre d'axes** : 3 axes (X, Z, avec un axe C motorisé en option)
- **Diamètre maximal de la pièce** : jusqu'à 320 mm
- **Longueur maximale de la pièce à usiner avec contre-poupée** : environ 530 mm
- **Diamètre maximal du mandrin**: 210 mm
- **Déplacement maximal sur l'axe X** : 160 mm
- **Déplacement maximal sur l'axe Y** (optionnel, si axes-Y présent) : ± 40 mm
- **Déplacement maximal sur l'axe Z** : 530 mm
- **Diamètre maximal intérieur du tube de serrage** : 65 mm
- **Rendement** : élevé, optimisé pour la production en série avec fonctionnement continu (100 %)
- **Commande numérique et logiciel** : SIEMENS SINUMERIK 840D sl, avec interface intuitive et écran tactile

Chapitre III: Partie Expérimentale



Figure III.1: machine d'essai tour CNC DMG MORI (CLX350).

Pour réaliser nos expériences, nous avons utilisé un outil à plaquette. D'après un catalogue consulté à l'atelier B3 de Ferrovia, nous avons sélectionné une plaquette monobloc de type GC4235. Il s'agit d'une plaquette en carbure métallique P35, de forme V, avec un rayon de bec de 1,2 mm. Cette plaquette est montée sur un porte-plaquette fixé par un système de bride et vis (voir Figures III.2 et III.3).

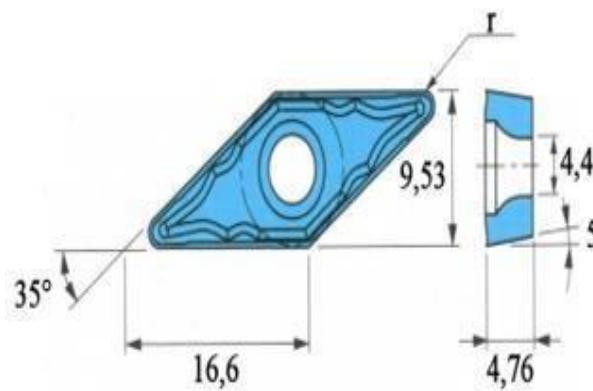


Figure III.2:plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200.



Figure III.3: plaque montée sur porte outil de chariotage finition utilisé.

III.2.2 Instruments de mesure:

- **Pied à coulisse :**

Pour mesurer les diamètres des pièces ainsi que les longueurs des éprouvettes d'essai, nous avons utilisé un pied à coulisse. Cet instrument offre une précision de mesure qui varie en fonction du type de vernier utilisé. On trouve ainsi des verniers gradués au 1/10, 1/20 ou 1/50, correspondant respectivement à des précisions de 0,1 mm, 0,05 mm et 0,02 mm. En mécanique, c'est le vernier au 1/50e qui est le plus couramment employé (voir Figure III.4).

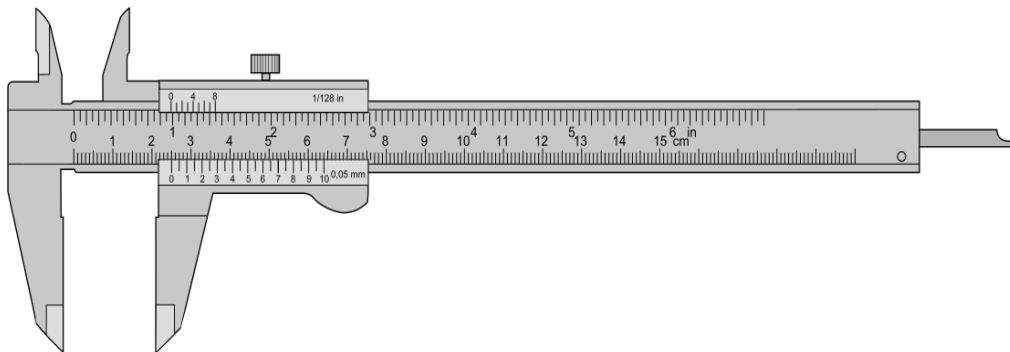


Figure III.4: pied à coulisse utilisé

- **Rugosimètre 2D :**

Nous avons employé un rugosimètre 2D de la référence TR-220 (Figure III.5) pour évaluer la rugosité des surfaces usinées des éprouvettes, qui possède les spécifications suivantes :

Chapitre III: Partie Expérimentale

- Quatre paramètres calculés : R_a , R_z , R_y et R_q .
- Détecteur basé sur un système inductif.
- Étalonnage automatique.
- Fonction de validation « Bon / Mauvais ».
- Alimentation par batterie ou secteur.
- Adapté aux mesures sur surfaces planes.



Figure III.5:rugosimètre TR220 (2D).



Figure III.6:le paramètre que nous avons utilisé

• Principe de mesure des états de surface du TR220 :

Le TR-220 dispose d'un capteur intégré à son dispositif de détection, capable de repérer les plus petites anomalies sur la surface de l'objet. Durant le processus de palpé, les déplacements verticaux du stylet sont captés et étudiés, puis les conclusions sont présentées directement sur l'écran de l'équipement.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.3 Les désignations de la matière:

| Système de désignation | Désignation de la matière |
|------------------------|---|
| NF (France) | XC38 |
| EN (Europe) | C35E ou C40E (selon teneur exacte en carbone) |
| AISI/SAE (USA) | 1035 ou 1040 |
| DIN (Allemagne) | 1.1181 (C40E) |
| ISO | ISO 683-1 – C40E |

III.3.1 Composition chimique:

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

Tableau III-1:Composition chimique de l'acier XC38

| Eléments | C | S | Mn | P | Si |
|----------|-------------|---------|-------------|---------|-----------|
| % | 0,35 – 0,42 | < 0.045 | 0.60 – 0.90 | < 0.045 | 0.40 maxi |

III.3.2 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :

Tableau III-2:Caractéristiques mécanique de la XC38

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| Limite élastique (Re) | ~370 MPa |
| Résistance à la traction (Rm) | ~600 - 700 MPa |
| Allongement à la rupture (A%) | ~15-20% |
| Dureté Brinell | ~180-220 HB |

III.3.3 Domaines d'application typiques du XC38 :

Pièces mécaniques soumises à des contraintes modérées :

- Axes, arbres, pignons, vilebrequins.
- Engrenages et roues dentées, notamment après traitement thermique.
- Boulons et vis haute résistance.

Industrie automobile:

- Pièces de transmission telles que les arbres et moyeux.
- Composants de suspension, surtout s'ils ont subi un traitement thermique.

Outillage et composants industriels:

- Outils agricoles comme les lames et couteaux.
- Éléments de machines-outils qui ne sont pas exposés à une usure extrême.

III.4 Préparation des éprouvettes d'essais:

Les essais ont été réalisés par chariotage sur des éprouvettes cylindriques usinées à partir de la barre mentionnée précédemment. Huit (8) éprouvettes, de dimensions 20×35 mm, ont été préparées à l'aide d'un outil à gorge. Chaque palier mesure 20 mm de largeur et est séparé des autres par des gorges de 6 mm de profondeur et 7 mm de largeur, destinées à dégager l'outil. Les paliers ont tous été usinés avec le même outil, mais en variant l'avance (af) pour chaque usinage.

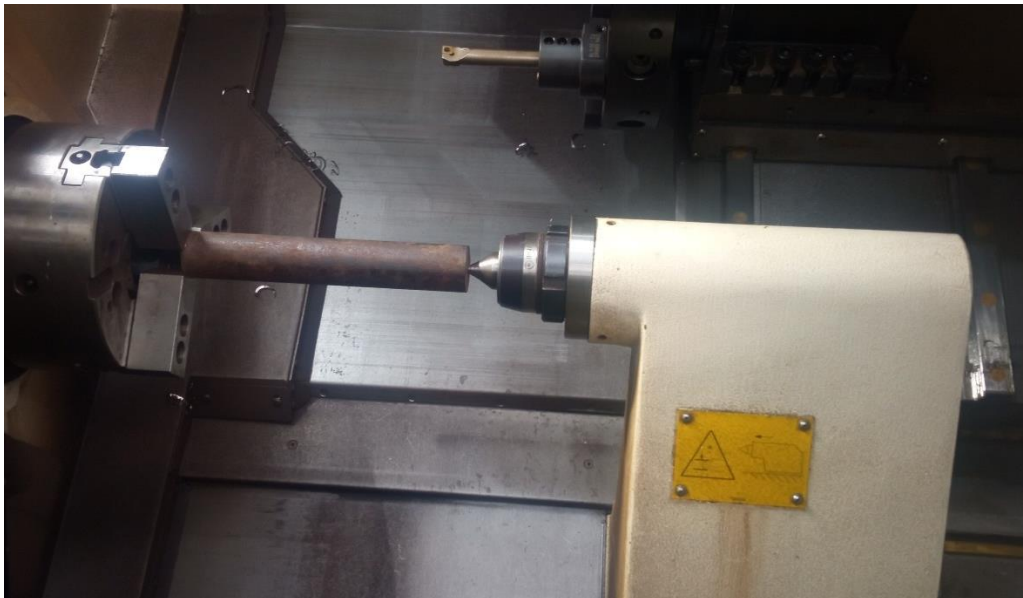


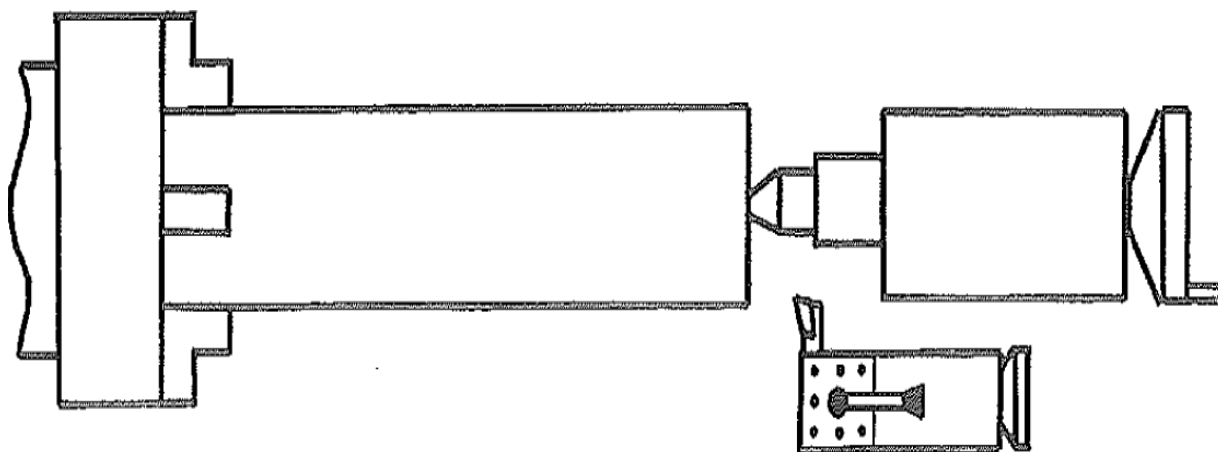
Figure III.7:l'état initial (ébauche)



Figure III.8:la pièce usinée

III.5 Le montage utilisé :

On fait appel au montage mixte lorsque la pièce, maintenue dans le mandrin, dépasse deux fois son diamètre lors de sa sortie de celui-ci. Fixer la pièce dans le mandrin, puis réaliser un trou de centrage avec un foret approprié. Ensuite, installer la contre-pointe : le montage étant rigide, l'usinage peut se faire en toute sécurité.



Montage Mixte

Figure III.9:dessin de montage de l'arbre (montage mixte)

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.6 Dessin de définition :

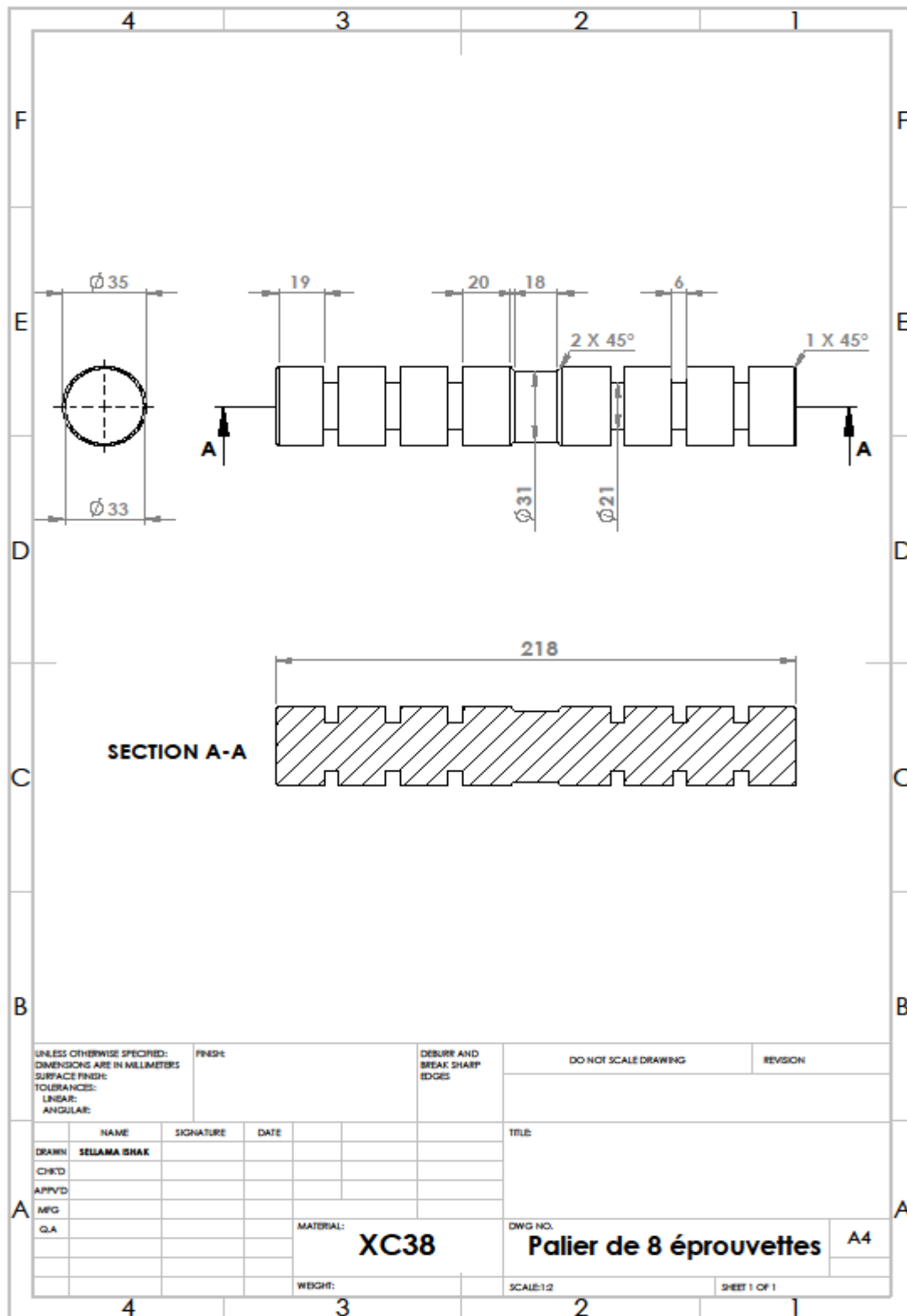
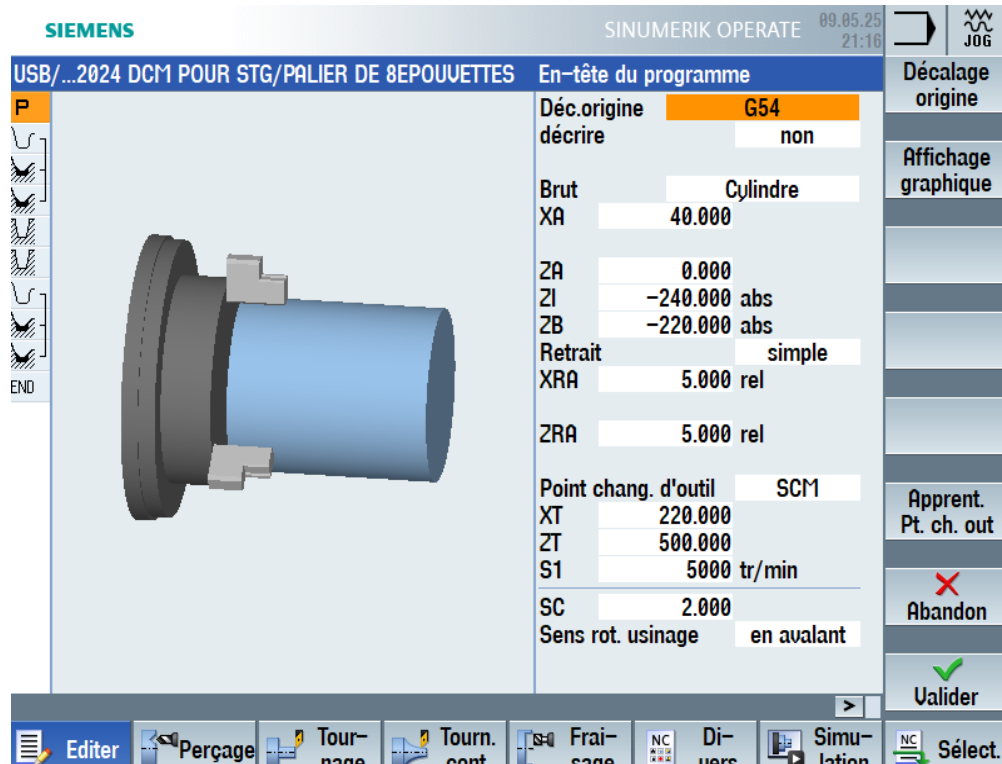


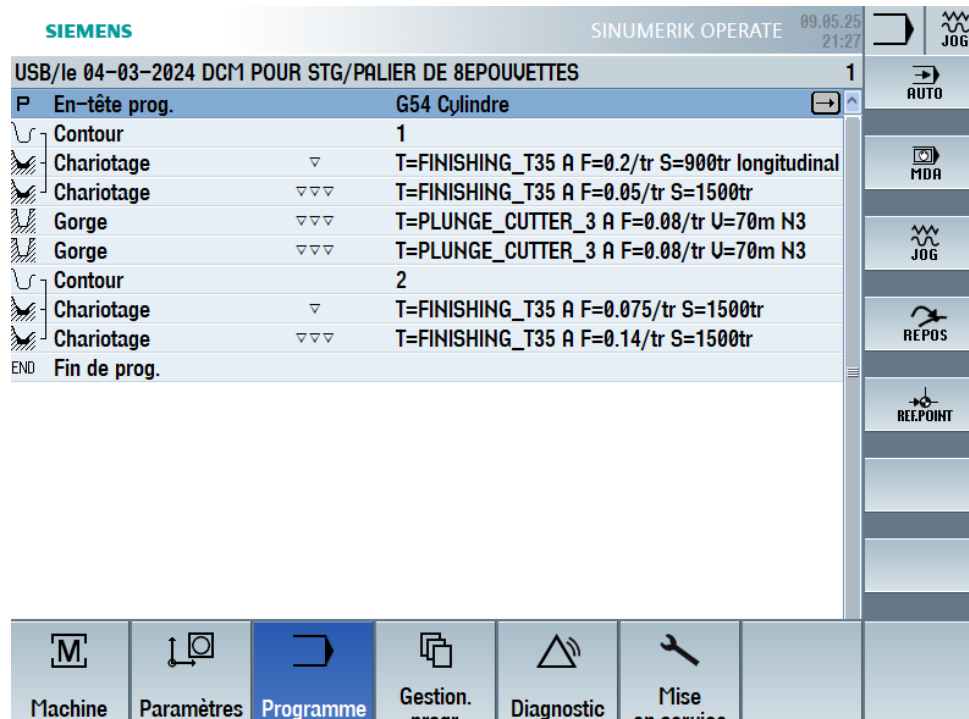
Figure III.10:dessin de définition (Solid Works)

III.7 Programmation d'usinage de la pièce sur SHOP-TURN :

- Définition de brute :



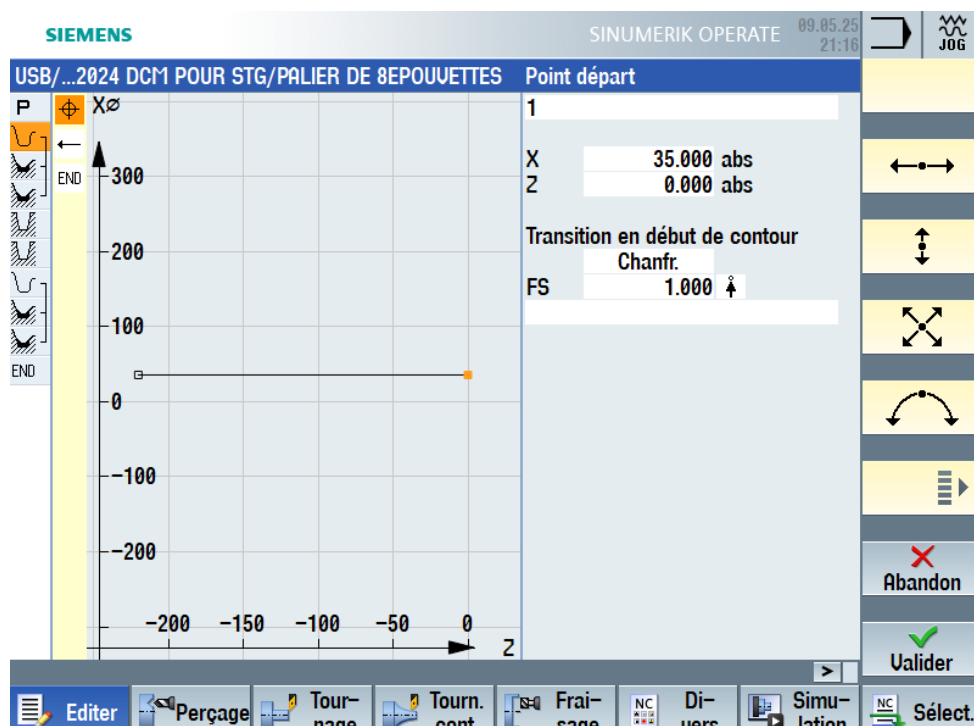
- La création du programme :



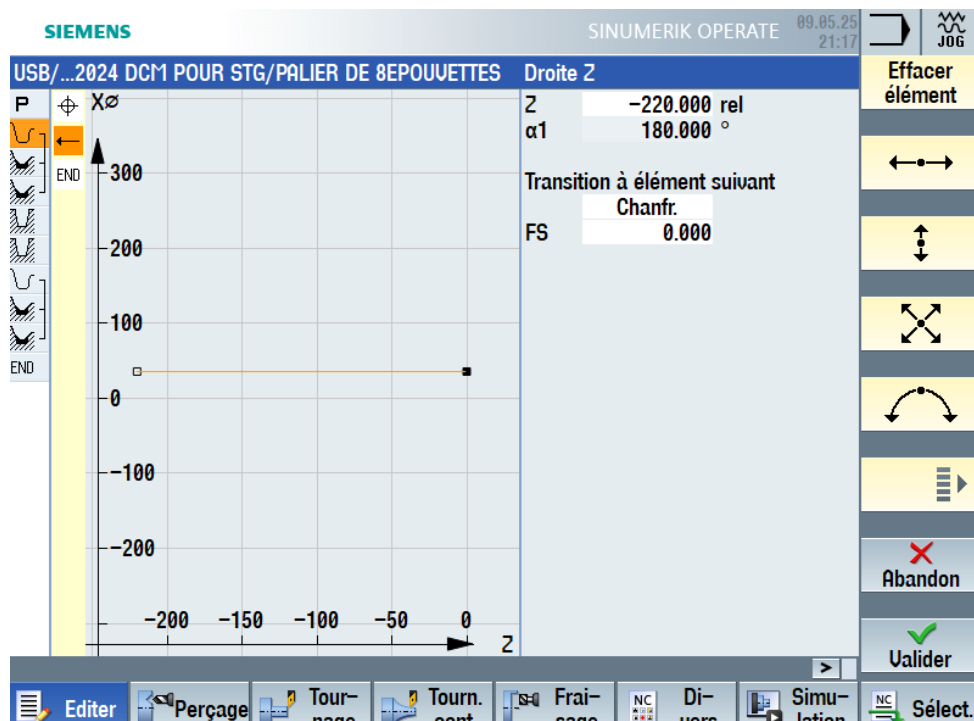
Chapitre III: Partie Expérimentale

- Le contour et le chanfrein :

- Chanfrein :

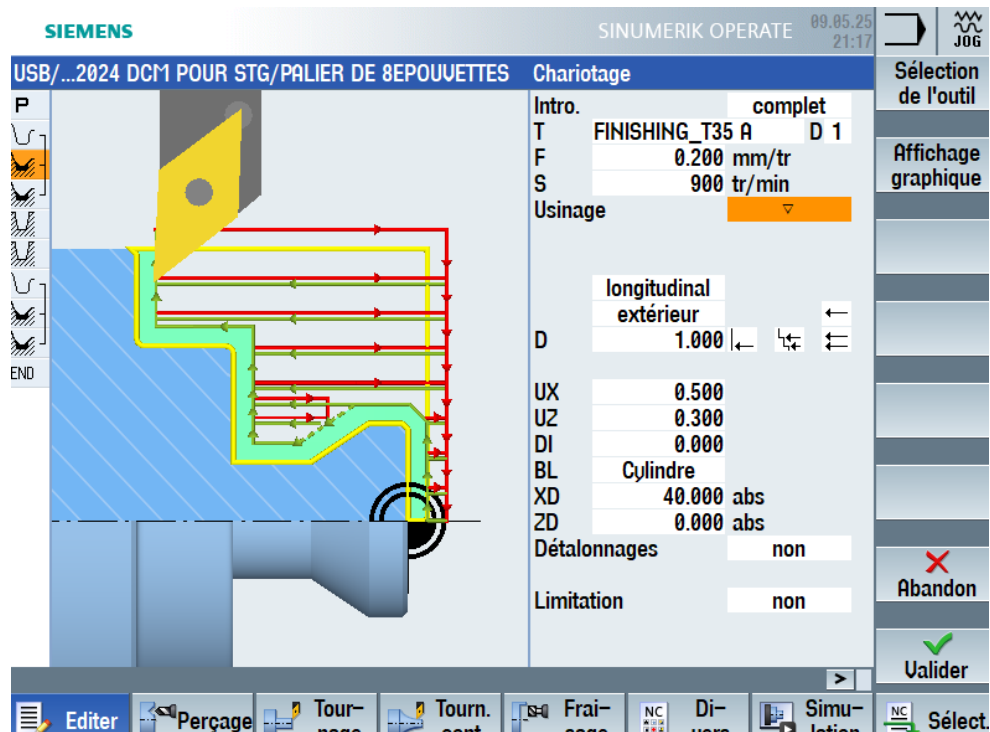


- Le contour :

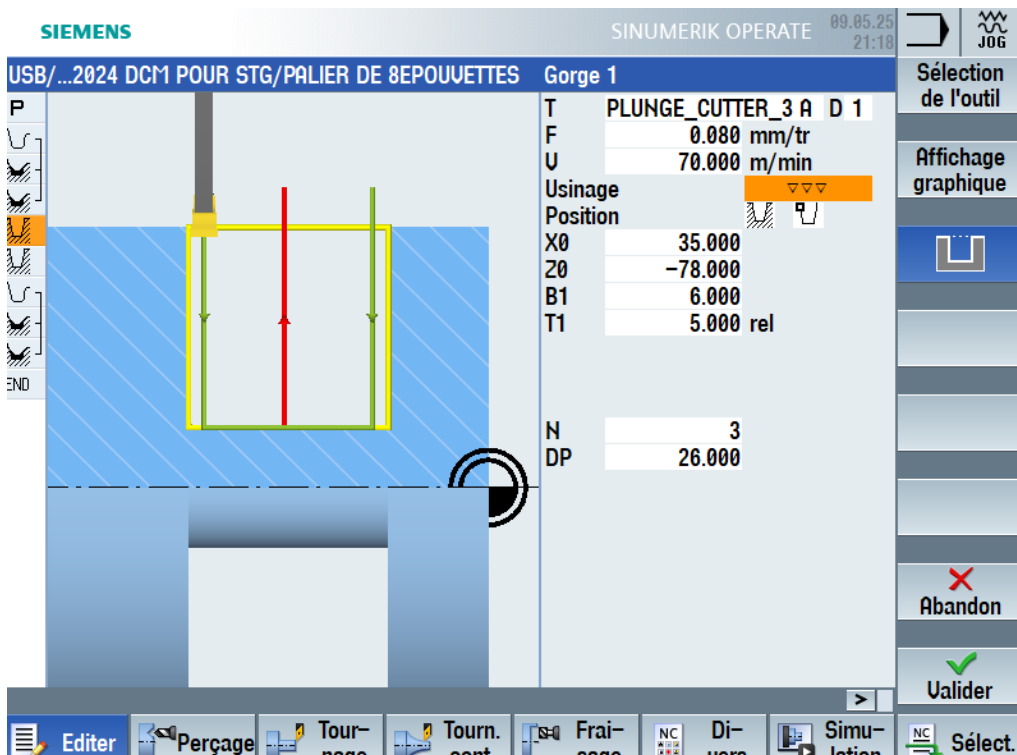


Chapitre III: Partie Expérimentale

- L'opération de chariotage :



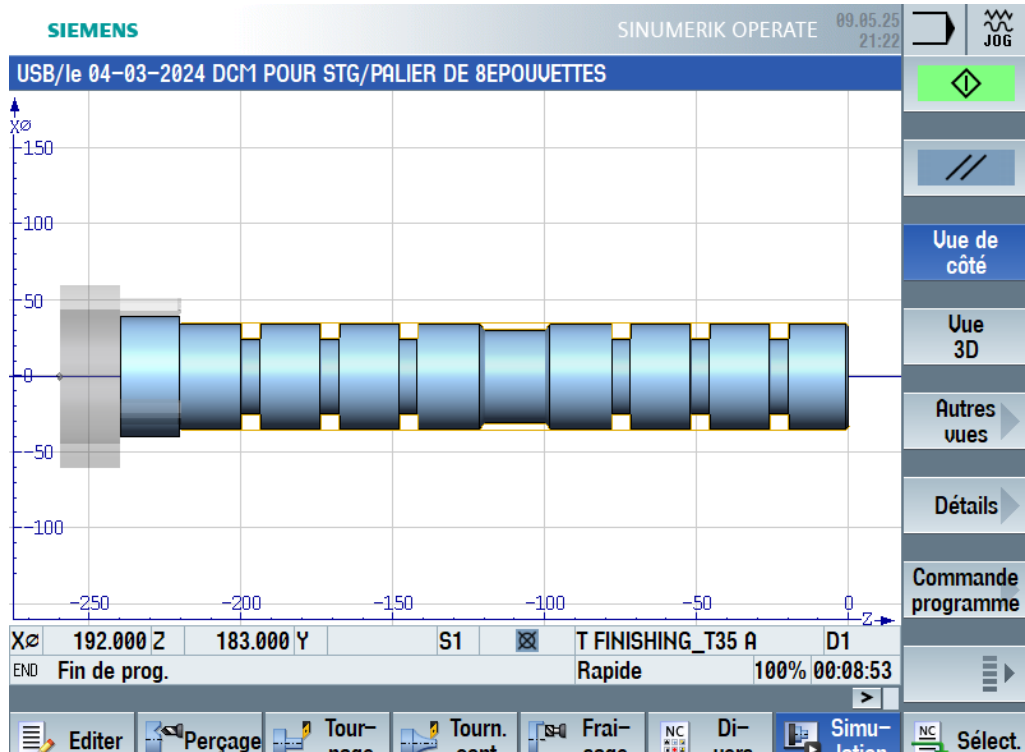
- L'opération de gorge :



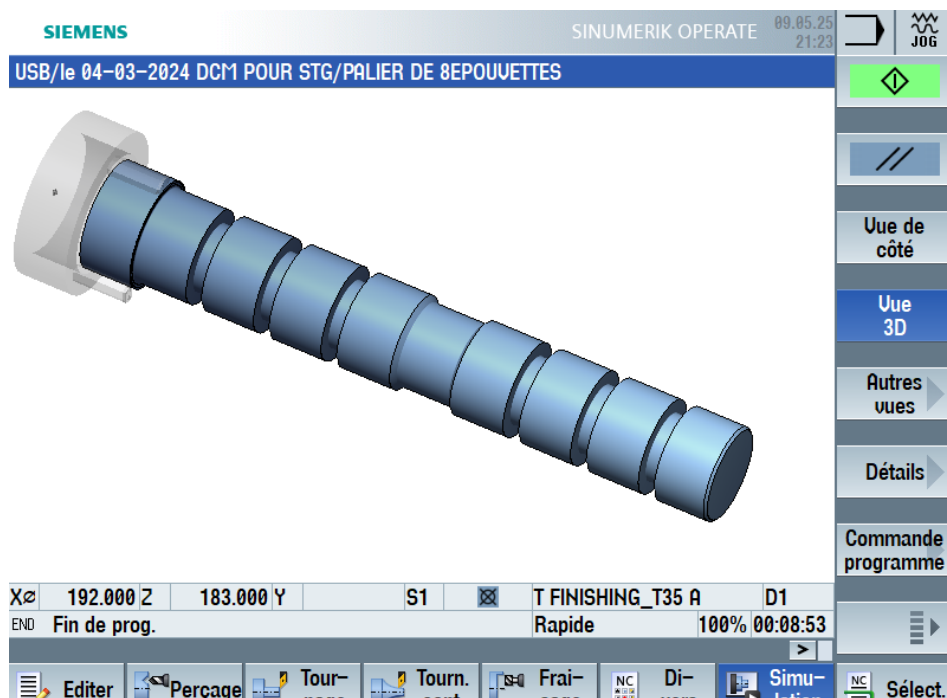
Chapitre III: Partie Expérimentale

- Simulation de la phase:

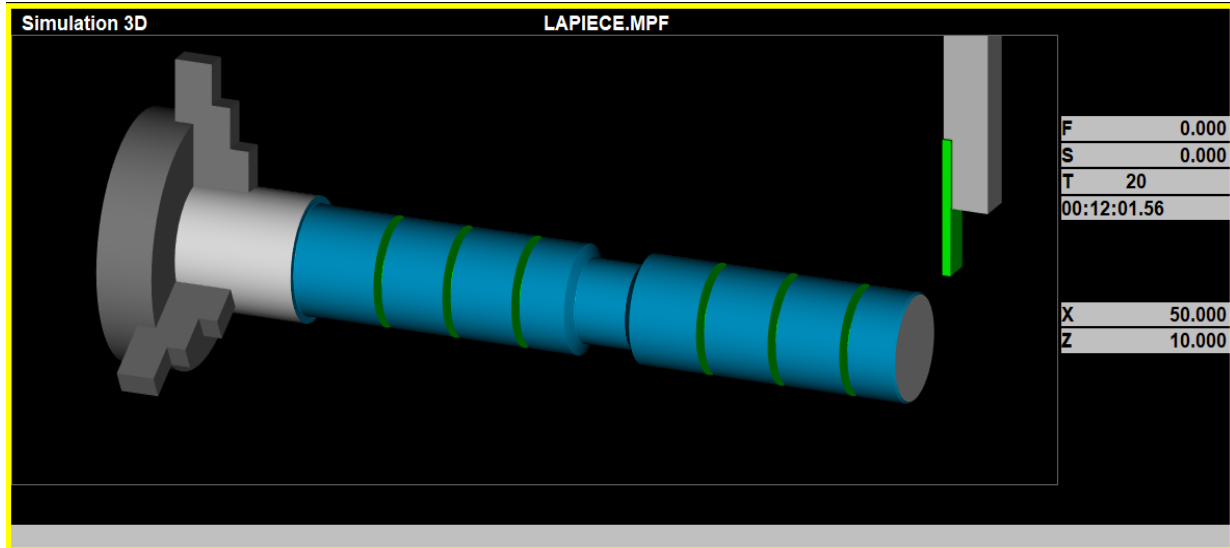
- 2D vue:



- 3D vue :



III.8 Programmation d'usinage de la pièce sur SINUMERIK 840D TURN :



Programme pièce type de **MPF** :

```
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 type **SPF** :

```
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
```

III.9 Plan de cette étude :

Notre recherche expérimentale se concentre sur l'usinage d'un arbre en acier de qualité XC38, en utilisant un outil en carbure métallique. Dans cette étude, la vitesse de coupe (v_c) est tenue stable, alors que l'avance (f) représente la variable analysée. Les composants variés des critères de rugosité de la surface usinée ont été examinés comme paramètres de sortie. Les tests ont été effectués dans l'atelier mécanique de la société Ferrovia. Ces essais visent principalement à étudier l'impact de la vitesse de coupe sur la qualité de la surface, notamment en ce qui concerne sa rugosité.

III.10 Les essais :

III.10.1 Essai 1 : avec lubrification

Les paramètres de coupe :

La vitesse de coupe V_c :

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

V_c = vitesse de coupe en (m/min).

D = 35 mm

D : diamètre en point d'usinage (mm).

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

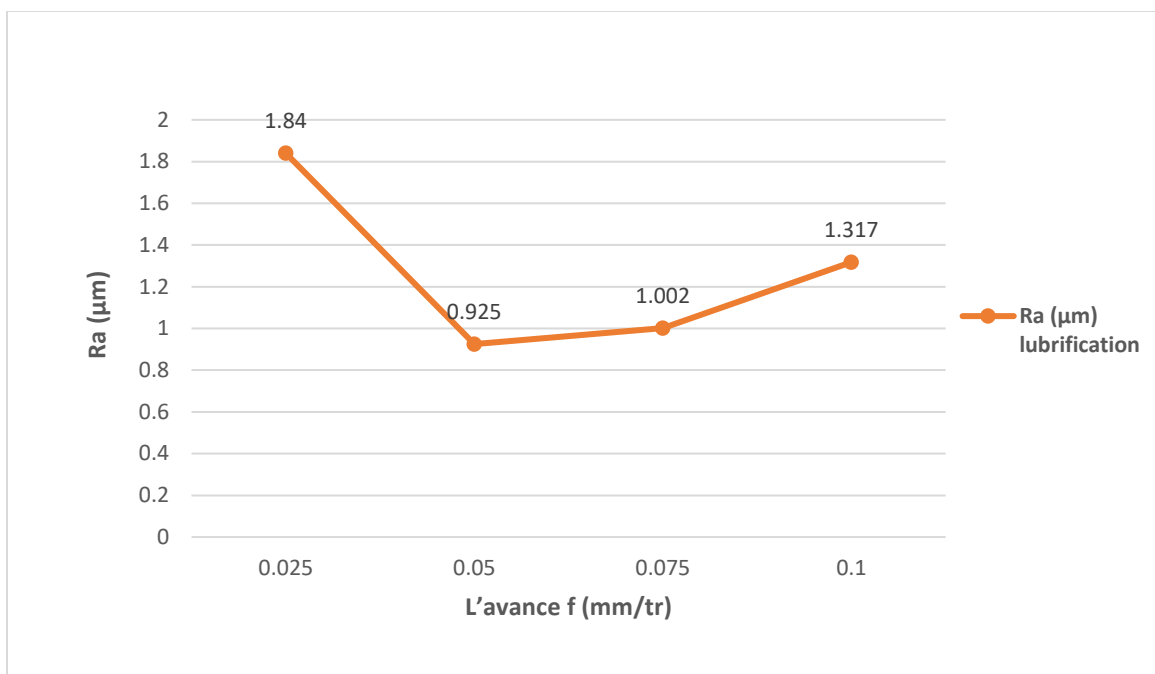
Pour $N = 1500$ tr/min

$$V_c = \frac{3.14 \cdot 35 \cdot 1500}{1000} = 164.85 \approx 165 \text{ m/min}$$

Tableau III-3: Tableau des valeurs de la rugosité (R_a) lors de l'usinage avec **lubrification**.

| Palier | N (tr/min) | V_c (m/min) | f (mm/tr) | Profondeur de passe (mm) | R_a (μm) moy |
|--------|---------------|------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1500 | 165 | 0.025 | 1 | 1.84 |
| 2 | 1500 | 165 | 0.05 | 1 | 0.925 |
| 3 | 1500 | 165 | 0.075 | 1 | 1.002 |
| 4 | 1500 | 165 | 0.1 | 1 | 1.317 |

Chapitre III: Partie Expérimentale



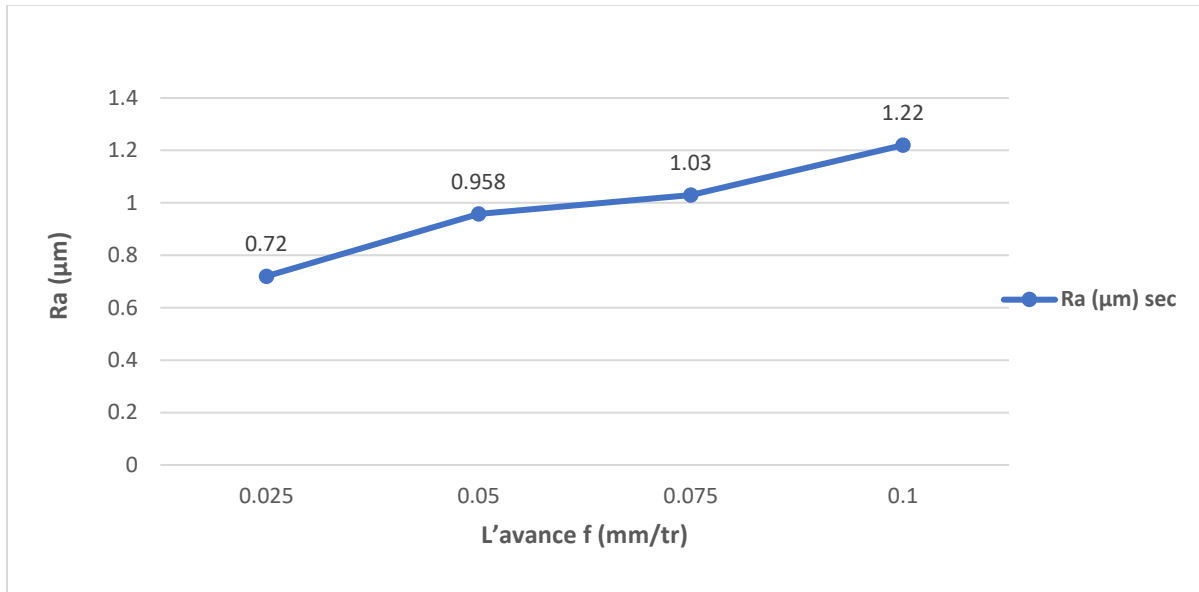
Graph III.1: graphe a l'usinage avec lubrification.(1^{er} essai)

III.10.2 L'essai 1 : à Sec

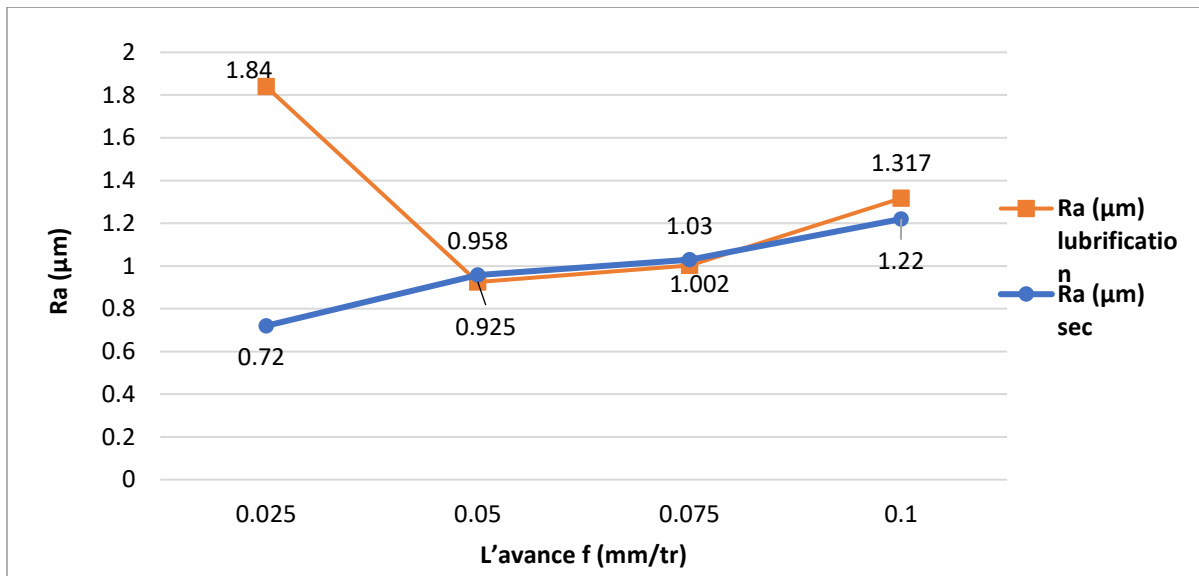
Tableau III-4: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à **sec**.

| palier | N (tr/min) | Vc (m/min) | f (mm/tr) | Profondeur de passe (mm) | Ra (μm) moy |
|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------------|
| 1 | 1500 | 165 | 0.025 | 1 | 0.72 |
| 2 | 1500 | 165 | 0.05 | 1 | 0.958 |
| 3 | 1500 | 165 | 0.075 | 1 | 1.03 |
| 4 | 1500 | 165 | 0.1 | 1 | 1.22 |

Chapitre III: Partie Expérimentale



Graph III.2: graphe a l'usinage à sec (1^{er} essai)



Graph III.3: graphe a l'usinage à sec et avec lubrification (1^{er} essai)

III.10.3 L'essai 2 : Avec lubrification

les paramètres de coupe :

$$\text{Pour } N = 1500 \text{ (tr/min)} \quad V_c = \frac{3.14 \cdot 34 \cdot 1500}{1000} = 160.14 \approx 160 \text{ m/min}$$

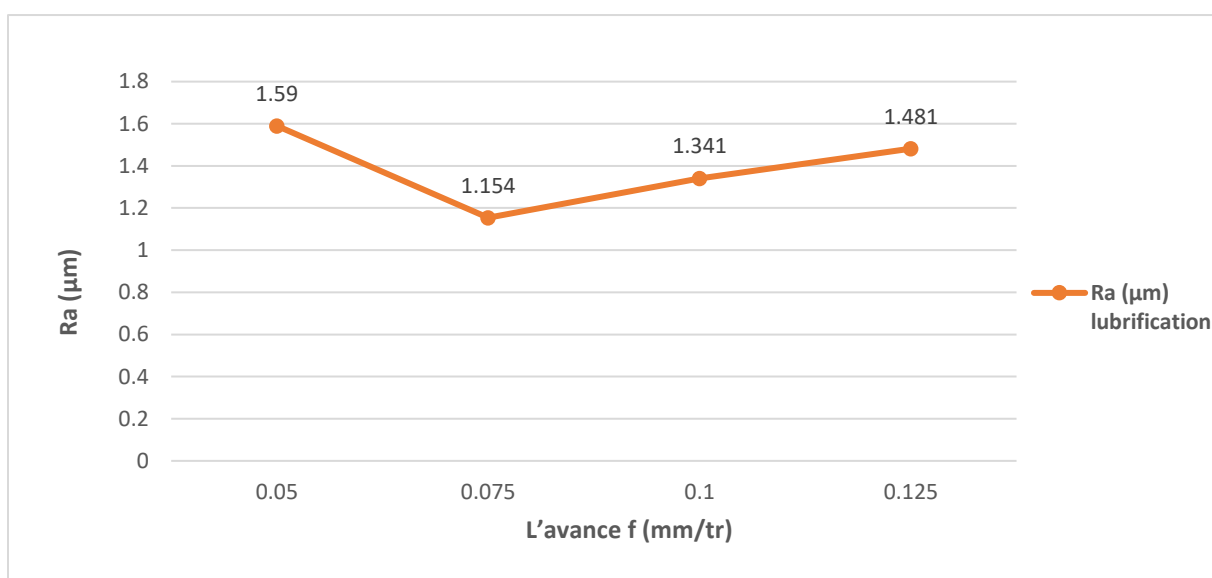
$D = 34 \text{ mm}$

$f = \text{variée}$

Chapitre III: Partie Expérimentale

Tableau III-5:Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec **lubrification**.

| palier | N (tr/min) | Vc (m/min) | f (mm/tr) | Profondeur de passe (mm) | Ra μm (moy) |
|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1 | 1500 | 160 | 0.05 | 1 | 1.59 |
| 2 | 1500 | 160 | 0.075 | 1 | 1.154 |
| 3 | 1500 | 160 | 0.1 | 1 | 1.341 |
| 4 | 1500 | 160 | 0.125 | 1 | 1.481 |



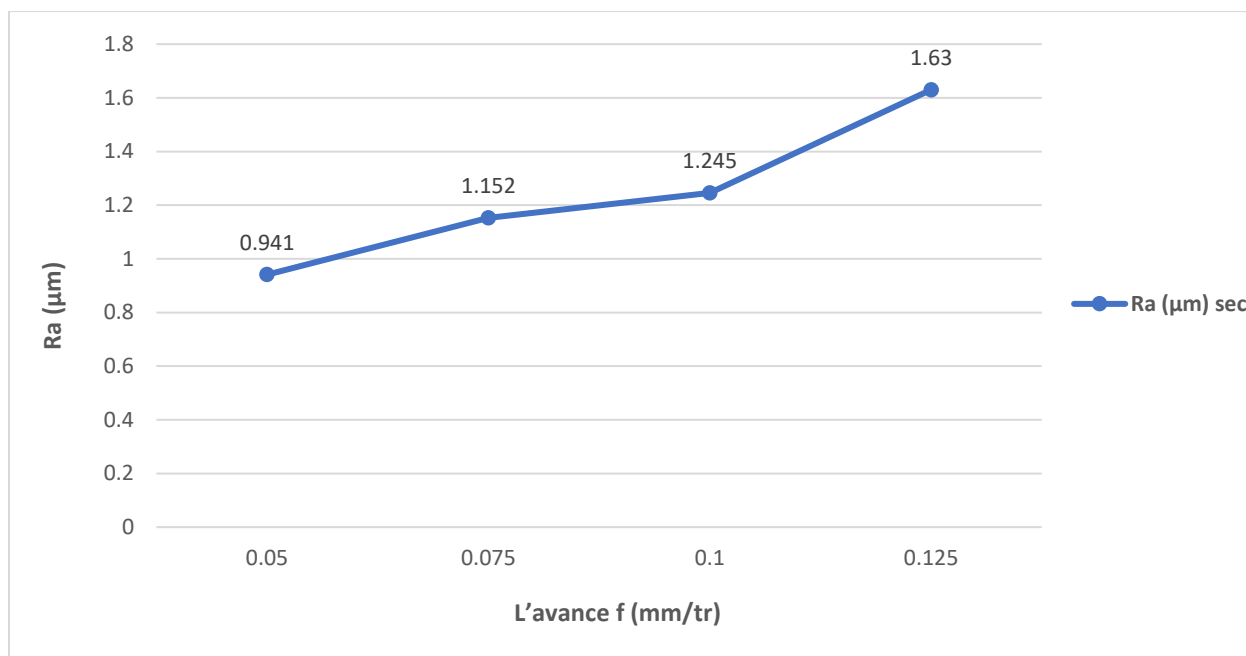
Graphe III.4:graphe a l'usinage avec lubrification.(2eme essai)

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.10.4 L'essai 2 : à Sec

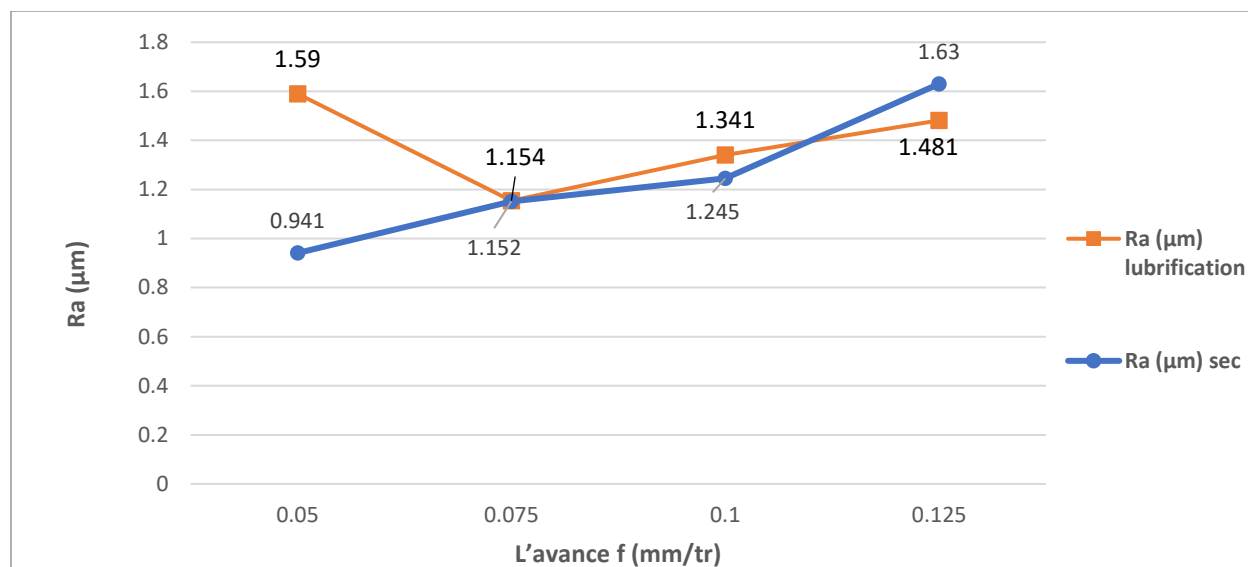
Tableau III-6: Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec.

| palier | N (tr/min) | Vc (m/min) | f (mm/tr) | Profondeur de passe (mm) | Ra μm (moy) |
|--------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1 | 1500 | 160 | 0.05 | 1 | 0.941 |
| 2 | 1500 | 160 | 0.075 | 1 | 1.152 |
| 3 | 1500 | 160 | 0.1 | 1 | 1.245 |
| 4 | 1500 | 160 | 0.125 | 1 | 1.63 |



Graphe III.5: graphe a l'usinage à sec (2eme essai)

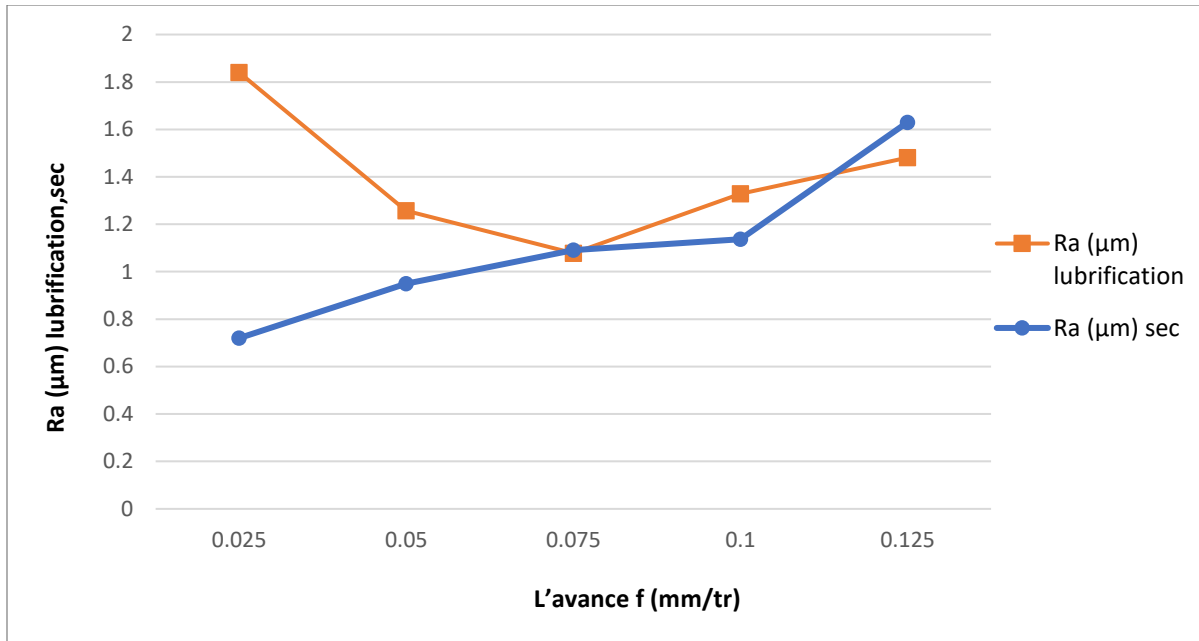
Chapitre III: Partie Expérimentale



Graph III.6: graphe a l'usinage à sec et avec lubrification (2eme essai)

Tableau III-7: Valeurs de rugosité relevées avec le moyen de (Ra) de chaque essai.

| | Usinage avec lubrifiant | | | | Usinage à sec | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|------|---------|-------|---------------|------|---------|-------|
| | Essai 1 | | Essai 2 | | Essai 1 | | Essai 2 | |
| L'avance f (mm/tr) | 0.025 | 0.05 | 0.05 | 0.075 | 0.025 | 0.05 | 0.05 | 0.075 |
| | 0.075 | 0.1 | 0.1 | 0.125 | 0.075 | 0.1 | 0.1 | 0.125 |
| Vc (m/min) | 165 | | 160 | | 165 | | 160 | |
| N (tr/min) | 1500 | | | | | | | |
| Profondeur de passe (mm) | 1 | | | | | | | |
| Ra (µm) Moyen paliers(1,2,3,4) | 1.271 | | 1.391 | | 0.982 | | 1.242 | |



Graph III.7: Impact de l'avance sur la rugosité de la surface lors d'une opération d'usinage avec **lubrification** et à **sec**.

III.11 Discussion :

Notre étude sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38, avec une avance variable et une vitesse constante, a permis de conclure que l'avance influence fortement l'état de surface, au même titre que la lubrification.

Les paramètres de rugosités (Ra) obtenus sont regroupés dans les tableaux (III.3 et III.4 et III.5 et III.6) les graphes de variation de la rugosité sont tracés.

La lubrification est un facteur clé affectant la rugosité de surface. Un usinage avec lubrification améliore systématiquement l'état de surface, en fonction des conditions de coupe appliquées. Mais en raison de la mauvaise qualité du liquide de refroidissement utilisé en usine (Le liquide est dominé par l'eau plutôt que par l'huile), nous avons obtenu des résultats similaires en termes de rugosité, et parfois usinage à sec, les résultats étaient meilleurs qu'avec la lubrification.

De plus, le lubrification donne des résultats meilleurs et visibles.

L'avance est un facteur clé aussi affectant la rugosité de surface, nous constatons que plus la vitesse d'avance est faible, plus la surface devient plus lisse car les passes sont plus fines, donc le profil laissé est moins marqué. plus la vitesse d'avance augmente, plus la surface devient plus

Rugueuse. parce que chaque dent ou arête de coupe enlève plus de matière, laissant un profil de surface plus irrégulier.

III.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la méthodologie expérimentale mise en œuvre pour étudier l'influence de l'avance sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38. À travers la description du matériel, des conditions d'essai et des instruments de mesure, nous avons mis en place un protocole rigoureux permettant une analyse fiable des résultats.

Les essais ont démontré que deux paramètres jouent un rôle déterminant dans la qualité de l'état de surface : l'avance et la lubrification. L'augmentation de l'avance provoque une détérioration progressive de la rugosité, tandis qu'une avance réduite permet d'obtenir une surface plus lisse. Par ailleurs, l'utilisation de la lubrification améliore généralement la qualité de surface, bien que les performances puissent être limitées par la qualité du liquide utilisé.

Ces résultats expérimentaux constituent une base essentielle pour l'optimisation des conditions de coupe en usinage, en mettant en évidence l'importance du choix judicieux des paramètres technologiques pour améliorer la qualité des pièces usinées.

Conclusion générale:

Ce mémoire a permis de mettre en lumière l'influence significative des paramètres de coupe, en particulier de l'avance, sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38. À travers une approche expérimentale rigoureuse, combinée à une étude théorique approfondie, nous avons démontré que la maîtrise des conditions d'usinage est un levier essentiel pour optimiser la qualité des surfaces obtenues.

Les résultats obtenus confirment que :

- Une faible avance engendre une rugosité réduite, favorisant un état de surface plus lisse et donc de meilleures performances mécaniques.
- L'utilisation d'un liquide de coupe, bien que bénéfique en principe, dépend fortement de sa qualité. Un lubrifiant mal formulé ou dilué peut nuire à l'amélioration attendue de l'état de surface, voire se révéler moins efficace qu'un usinage à sec.
- La combinaison de paramètres technologiques bien choisis permet d'atteindre un bon compromis entre productivité, qualité de surface et durabilité des outils.

Au-delà de l'aspect académique, ce travail s'inscrit dans une perspective industrielle, en apportant des recommandations concrètes pour le réglage des machines-outils et l'optimisation des procédés de tournage.

En conclusion, la compréhension fine de l'interaction entre les paramètres d'usinage et la rugosité constitue un enjeu stratégique pour améliorer la qualité des pièces mécaniques et prolonger leur durée de vie en service. Des pistes de recherche future peuvent porter sur l'étude de matériaux plus complexes, l'intégration de nouvelles techniques de lubrification ou encore l'analyse multicritère incluant l'usure de l'outil et le coût de production.

Bibliography

- [1] <https://fabrication1.blogspot.com/2013/05/generalite-sur-lusinage.html>.
- [2] https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Georg_Fischer_Archiv_GFA_16_25_4.jpg.
- [3] <https://queveutdire.com/bricolage/usinage-definition/>.
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Usinage#But>.
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Usinage#Proc%C3%A9d%C3%A9s_d'usinage.
- [6] <https://notech.franceserv.com/usinage.html>.
- [7] <https://fabrication1.blogspot.com/2013/09/les-outils-de-tournage.html>.
- [8] <https://www.commerce-machines-occasion.fr/differents-procedes-tournage-mecanique/>.
- [9] A. TOUMINE, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_\(machine-outil\)#Tour_d'usinage](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_(machine-outil)#Tour_d'usinage).
- [11] <http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Le%20tournage/index.htm>.
- [12] A. Passeron, «Tournage», Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [13] <https://kera-industry.com/wp-content/uploads/2014/09/Les-conditions-de-coupees.pdf>.
- [14] <https://univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/Tribologie.pdf>.
- [15] M. F. Habib, «Modélisation Générique de la Rugosité de Surface en Tournage Dur,» Université de Tiaret, 2017.
- [16] https://mip2.insa-lyon.fr/Etats%20de%20surface/gps/ordre_defaults.htm.
- [17] M. Bourebia, «effet de la rugosite sur les performances d'un système mécanique,» universite badji mokhtar- annaba, 2017.
- [18] <https://gwyddion.net/documentation/user-guide-fr/roughness-iso.html>.
- [19] https://www.zpag.net/Tecnologies_Indistrielles/Etat_Surface.htm. [En ligne].
- [20] <https://amdl-eu.com/fr/usinage-sur-mesure/rectification>.
- [21] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_\(m%C3%A9canique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_(m%C3%A9canique)).

- [22] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Superfinition>.
- [23] <https://lugand-aciers.fr/superfinition/>.
- [24] https://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide_de_coupe.
- [25] https://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide_de_coupe#Maintien_en_temp%C3%A9rature.
- [26] <https://notech.franceserv.com/usinage.html>.
- [27] <http://robert.cireddu.free.fr/ITEC/Les%20etats%20de%20surface.pdf>.