

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة
التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE 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 : *Aliouat Mohcene*

Encadrant : *Dr. Nehal abdelaziz*

UBMA

Jury de Soutenance :

Dib amar	MCA	UBMA	Président
Nehal abdelaziz	MCA	UBMA	Encadrant
Mokas nacer	MCA	UBMA	Expert

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

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

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

Merci MOKAS nacer et DIB amar d'avoir accepté d'évaluer mon travail au sein du jury de soutenance.

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père et à ma mère sans oublier mes frères abdelrezak,
seddik, achref

Ainsi qu'à toute ma famille aliouat, messikh.

Mes amis et mes camarades de classe.

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

Tables des matières

Sommaire

Remerciements	2
Dédicaces	3
Introduction générale.....	1
Chapitre I: Généralités sur l'usinage.....	3
I.1: Généralités sur l'usinage.....	4
I.2: Principe d'usinage.....	5
I.3: Définition.....	5
I.4: Objectif d'usinage	5
I.5: Procédés d'usinage	6
I.6: L'outil	8
I.6.1 Les angles de la partie active	9
I.6.2 Matière employée.....	10
I.6.3 Les outils de tournage	11
I.7: La relation (Outil / Machine / Pièce)	13
I.8: Tournage mécanique	14
I.8.1 Principe de tournage.....	15
I.8.2 Les différents types d'opérations.....	16
I.9: Les tours	18
I.9.1 Définition	18
I.9.2 Différents types de tour	18
I.10: Les portes pièces.....	19
I.10.1 Les mandrins à serrage par mors	19
I.10.2 Les mandrins expansibles	20
I.10.3 Les portes pièces dédiées	20
I.11: Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces.....	20
I.12: Conditions de coupe	22
I.12.1 Vitesse de coupe	22
I.12.2 Avance	23
I.12.3 Les types d'avances.....	24
I.12.4 Profondeur de passe (usinage)	24

Tables des matières

I. 3: Étude de quelques temps technologiques	26
I.13.1 Définition	26
I.13.2 Temps technologique de chariotage (tournage)	26
I.13.3 Temps technologique de dressage(tournage).....	27
I.13.4 Temps technologique en filetage (tour).....	27
Chapitre II: Rugosité de surface.....	28
II.1: Généralité.....	29
II.2: Les défauts de surface	29
II.2.1 Ordre 1 : écart de forme ou de position (ligne moyenne).....	31
II.2.2 Ordre 2 : Ondulations périodiques.....	32
II.2.3 Ordre 3 : stries ou sillons	32
II.2.4 Ordre 4 : Arrachement de matière	33
II.3: Différents types de lignes.....	34
II.3.1 Longueur de base, d'évaluation.....	34
II.3.2 Lignes de référence	34
II.3.3 La ligne des moindres carrés	34
II.3.4 La ligne moyenne arithmétique	35
II.3.5 La ligne enveloppe supérieure.....	35
II.3.6 La ligne enveloppe inférieure	35
II.4: Paramètres de rugosité unidimensionnelle	36
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 Mesure de la rugosité.....	44
II.5: Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface	44
II.5.1 La Rectification.....	44
II.5.2 Principe de La Rectification.....	45
II.5.3 Avantage de la rectification	46
II.5.4 Superfinition	46
II.6: Le lubrifiant	47
II.6.1 Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification)	47
II.7: Composition des fluides d'usinage	48

Tables des matières

II.7.1 Huiles entières	48
II.7.2 Fluides de type émulsion	48
II.7.3 Fluides de type micro-émulsion	49
II.7.4 Fluides synthétiques.....	49
Chapitre III: Partie Expérimentale	51
III.1: Introduction.....	52
III.2: Présentation du matériel	52
III.2.1 Machine d'essai	52
III.2.2 Outil et porte-outil utilisés.....	53
III.2.3 Instruments de mesure	53
III.3: Matière première	55
III.3.1 Les désignations de la matière.....	56
III.3.2 Composition chimique.....	56
III.3.3 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé).....	56
III.3.4 Propriétés	57
III.3.5 Domaine d'application	57
III.4: Régime de coupe	57
III.5: Préparation des éprouvettes d'essais.....	57
III.6: Le montage on a utilisé	58
III.7: Programmation d'usinage de la pièce sur SHOP-TURN	61
III.8: Plan des expériences.....	63
III.9: Routage d'usinage	63
III.9.1 Opération de Chariotage	63
III.9.2 La vitesse de coupe V_c	63
III.9.3 Essai 1	64
III.9.4 Essai 2	66
III.9.5 Essai 3	68
III.9.6 Essai 4	70
III.9.7 Mesure les échantillons avec rugosimètre 3D.....	72
Discussion	76
Conclusion.....	77
Conclusion générale	78

Liste des figures et Tableaux

Liste des figures

Figure I.1 : Atelier d'usinage (fraisage).....	4
Figure I.2 : Schéma de procédés d'usinage d'une pièce. [2].....	5
Figure I.3 : Dessin géométrique de l'outil. [4]	8
Figure I.4 : Angles de la partie la plus active	9
Figure I.5 : Angles du plan de coupe. [4].....	10
Figure I.6 : Outils ARS. [5].....	12
Figure I.7 : Outils carbure. [5].....	13
Figure I.8 : Relation machine/ outil /pièce. [6]	14
Figure I.9 : Opération de chariotage	14
Figure I.10 : Mouvements en tournage	15
Figure I.11 : Usinage externe sur tour	16
Figure I.12 : Usinage interne sur tour	17
Figure I.13 : Terminologie des organes principaux du tour. [8].....	18
Figure I.14 : Différents montages possibles utilisant des équipements standards. [8]	21
Figure I.15 : vitesse de coupe	23
Figure I.16 : Différents types d'avance	24
Figure I.17 : Les parties actives de l'outil. [10]	25
Figure II.1 : l'amplitude d'usinage	29
Figure II.2 : Défauts d'ordre 1.[11]	31
Figure II.3 : Défauts d'ordre 2. [11]	32
Figure II.4 : Défauts d'ordre 3. [11]	32
Figure II.5 : Défauts d'ordre 4 [11]	33
Figure II.6 : profilographe d'une surface. [11].....	34
Figure II.7 : Ligne des moindres arithmétiques. [11]	35
Figure II.8 : ligne enveloppe inférieure et supérieure. [11]	35
Figure II.9 : Paramètres d'ondulation. [11].....	41
Figure II.10 : Paramètre liés aux motifs. [11]	41
Figure II.11 : Paramètre liés à la longueur de bas. [11].....	42

Tables des matières

Figure II.12 : Paramètres liés à la longueur d'évaluation. [11].....	42
Figure II.13 : Paramètres liés à la distribution d'amplitude. [11]	43
Figure II.14 : Rugosimètre (2D, 3D).	44
Figure II.15 : Opération de la Rectification	44
Figure II.16 : lubrifiant.	47
Figure III.1 : machine d'essai tour CNC DMG MORI (CLX550).....	52
Figure III.2 : plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200	53
Figure III.3 : plaquette montée sur porte outil de chariotage finition utilisé	53
Figure III.4 : pied à coulisse utilisé	54
Figure III.5 : rugosimètre TR220 (2D).....	54
Figure III.6 : rugosimètre CYBER SCAN CT 100 (3D).	55
Figure III.7 : Préparation des éprouvettes d'essais.....	57
Figure III.8 : dessin de définition des éprouvettes d'essais.....	58
Figure III.9 : dessin de montage de l'arbre (montage mixte)	58
Figure III.10 : Photo de l'éprouvette montée sur le tour.....	59
Figure III.11 : outil à gorger et à tronçonner	59
Figure III.12 : plaquettes carbure SECO WNMG080408N NEUVES	60
Figure III.13 : outil à charioter utiliser pour l'ébauche	60
Figure III.14 : bride-vice de fixation.	60
Figure III.15 : graphe a l'usinage avec lubrification.	64
Figure III.16 : graphe a l'usinage avec lubrification.	65
Figure III.17 : graphe a l'usinage avec lubrification.	65
Figure III.18 : graphe a l'usinage à sec.....	66
Figure III.19 : graphe a l'usinage à sec	67
Figure III.20 : graphe a l'usinage à sec	67
Figure III.21 : graphe a l'usinage avec lubrification.	68
Figure III.22 : graphe a l'usinage avec lubrification.	69
Figure III.23 : graphe a l'usinage avec lubrification.	69
Figure III.24 : graphe a l'usinage à sec	70
Figure III.25 : graphe a l'usinage à sec	71
Figure III.26 : graphe a l'usinage à sec.....	71

Tables des matières

Figure III.27: Les échantillons des essais.	72
Figure III.28 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 1 avec lubrification	72
Figure III.29 : Profilographe 3D de l'essai 1 L'usinage avec lubrification.	73
Figure III.30 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 3 avec lubrification	73
Figure III.31 : Profilographe 3D de l'essai 3 L'usinage avec lubrification.	74
Figure III.32 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 1 son lubrification.	74
Figure III.33 : Profilographe de L'essai 1 surface usinée a sec	75
Figure III.34 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 3 son lubrification.	75
Figure III.35 : Profilographe de L'essai 3 surface usinée a sec	76

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les défauts macroscopiques et microscopiques.	30
Tableau III.1 : Composition chimique de l'acier XC38.....	56
Tableau III.2 : Caractéristiques mécanique de la XC38.....	56
Tableau III.3 : Programmation d'usinage de la pièce sur SHOP-TURN.....	61
Tableau III.4 : Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification.	64
Tableau III.5 : Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec.....	66
Tableau III.6 : Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification.	68
Tableau III.7 : Tableau des valeurs de la rugosité (Ra) lors de l'usinage à sec.....	70

Résumé:

L'objectif de ce travail est de déterminer l'influence de l'avance sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38 au moyen des plaquettes en carbure métallique.

Pour ce faire, diverses éprouvettes, présentant des combinaisons variées d'état de surfaces, réalisées par tournage à différents paramètres de coupe.

Cette pièce est fabriquée au niveau des Ateliers (Ferrovia) Annaba, où j'ai effectué mon stage pratique de fin d'études.

Mots-clés : tournage, Outils de coupe, Rugosité, état de surface.

المخلص:

الهدف من هذا العمل هو تحديد تأثير التغذية على خشونة السطح أثناء معالجة النوالذ عن طريق أداة القطع. للقيام بذلك، تم إنتاج عينات مختلفة لها مجموعات مختلفة من حالة السطح، عن طريق الدوران عند معاملات قطع مختلفة. تم تصنيع هذه القطعة في شركة (فروفيال) عنابة، حيث أكملت فترة التدريب العملي في نهاية دراستي. للمات البحث: خراطة، أداة الزطع، خشونة، حالة السطح.

Abstract:

The objective of this work is to determine the influence of the feed on the surface roughness during the machining of XC38 steel by means of metal carbide inserts.

To do this, various specimens, having various combinations of surface condition, produced by turning at different cutting parameters.

This piece is manufactured at the Ateliers (Ferrovia) Annaba, where I did my end-of-studies practical internship.

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

Introduction Générale

Introduction générale

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

Le monde de la fabrication mécanique est vaste, depuis les plus petites pièces utilisées par les dentistes jusqu'aux plus grandes pièces de navires ou de navettes spatiales. Tout système mécanique constitué d'un ensemble de pièces reliées entre elles et mobiles les unes par rapport aux autres, et sont soumises aux frottements, ce qui nécessite une lubrification des surfaces en contact pour éviter une usure rapide. Cependant, pour réaliser la surface de la pièce, il inspire plusieurs procédés d'usinage, ainsi qu'un grand nombre d'opérations de finition et de traitements mécaniques. De manière générale, tous les procédés de fabrication mécanique visent à améliorer les propriétés mécaniques et géométriques de la surface (surface obtenue) pour répondre aux exigences techniques et aux conditions opératoires. Toutes les surfaces ne sont pas parfaitement lisses, elles portent toujours les empreintes d'outil de mouvement de l'outil, ou des vibrations de la machine-outil lors de l'usinage, ce qui engendre des défauts de formes sur la surface en l'occurrence la rugosité. L'étude de ces derniers effets, ainsi que la lubrification des contacts de surface, peut contribuer à améliorer les performances et la durée de vie des mécanismes. Afin de mieux comprendre et contrôler l'effet des paramètres de rugosité sur les systèmes mécaniques, de nombreuses études sont menées, nécessitant ainsi une caractérisation topographique des surfaces concernées, qui dépend d'une représentation fidèle et complète du lubrifiant. En effet, améliorer les performances de la surface d'une pièce est un moyen de prolonger la durée de vie et de prévenir certains effets néfastes comme la corrosion et l'usure. Or, le bon fonctionnement d'une pièce dépend en grande partie de la qualité de sa surface usinée et donc de la rugosité de la surface réalisée, le problème est donc de choisir le procédé le plus adapté et le plus efficace à long terme, donc l'étude du processus d'usinage de la pièce est intéressante, et leur influence sur la qualité des surfaces.

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

Introduction Générale

Notre travail se présente comme suit :

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

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

Un troisième chapitre dans lequel nous avons étudié l'influence des paramètres de l'avance (af) sur la rugosité (Ra , Rq) et l'interprétation des résultats.

Enfin, une conclusion récapitulative de tous les résultats obtenus.

Chapitre I: Généralités sur l'usinage

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.1: Généralités sur l'usinage :

L'usinage par enlèvement de matière est la méthode la plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir de pièces moulées, extrudées ou forgées. Le processus est coûteux (machines, outils, personnel qualifié, le temps) et relativement lent. C'est pourquoi nous essayons maintenant d'obtenir des pièces moulées qui ne nécessitent pas d'usinage. Cela est possible avec le plastique ou le Zamac (Zn, Al, Mg), mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'être à la hauteur de l'acier ou des alliages d'aluminium. Parmi tous les axes actuellement étudiés en fabrication, on peut en citer deux : les UGV (usinage à grande vitesse) et les machines à axes parallèles, qui offrent une grande mobilité de la tête d'usinage.

Avec un travail à grande vitesse, la machine-outil passe aux vitesses à grande vitesse. Les pièces traitées par UGV ont une grande précision. Tout d'abord, les efforts de coupe sont réduits. Par conséquent, la déformation de la pièce est moindre. Ensuite, les calories sont dissipées dans les copeaux avant d'avoir le temps de pénétrer dans la pièce. Moins sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originale. [1]

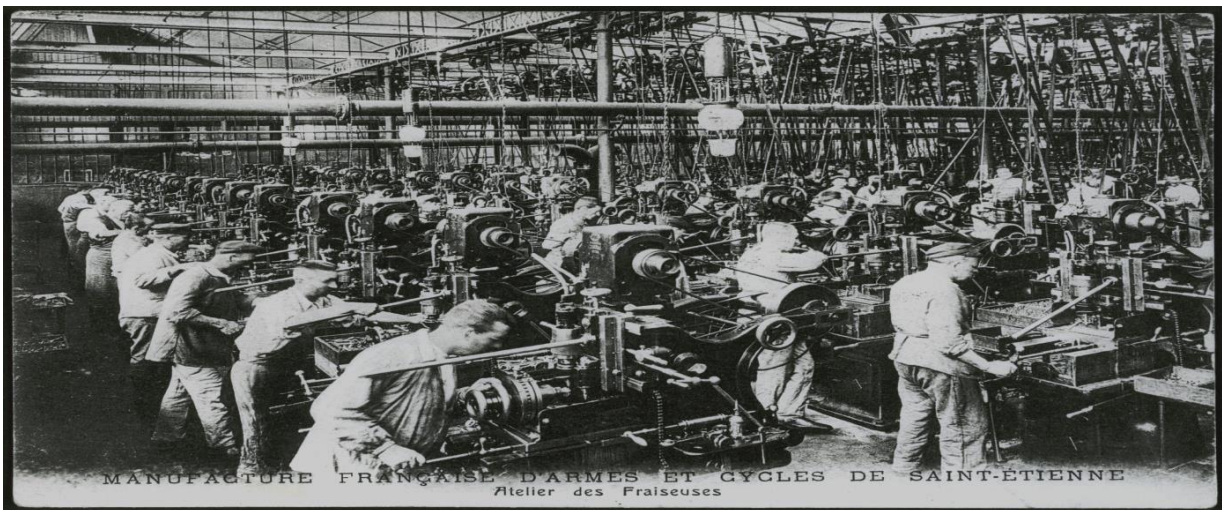


Figure I.1 : Atelier d'usinage (fraisage).

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.2: Principe d'usinage :

La mise en forme d'une pièce mécanique met en œuvre un ensemble de procédé(s), à savoir : Le tournage, le fraisage, le perçage ou/et les procédés d'usinage par abrasion (tel que la rectification, Le rodage, le polissage, la super finition etc.). [2]

I.3: Définition :

L'usinage est une opération consistant à soumettre une pièce à l'action d'une ou de plusieurs machines-outils essentiellement dans le cas où cette action consiste à un enlèvement de matière. Le terme usinage, synonyme du mot enlèvement de matière ou enlèvement de copeaux, désigne tous les moyens mis en œuvre pour obtenir une pièce ayant des côtes et des tolérances fixées à l'avance, à partir d'une pièce brute venue de la forge ou de fonderie. [2]

I.4: Objectif d'usinage :

L'usinage consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de matière à froid et sans déformation plastique. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et le dispositif avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines-outils pour assurer l'usinage d'une pièce, (voire la Figure I.2) [2]

D'où les éléments intervenant dans l'action d'usinage sont essentiellement

- La pièce à usiner,
- Un appareillage destiné à supporter la pièce nommée porte pièce,
- Un outil destiné à produire le copeau,
- Un appareillage destiné à supporter l'outil nommé porte outil
- Une machine-outil qui assure les différents mouvements nécessaires à l'usinage.

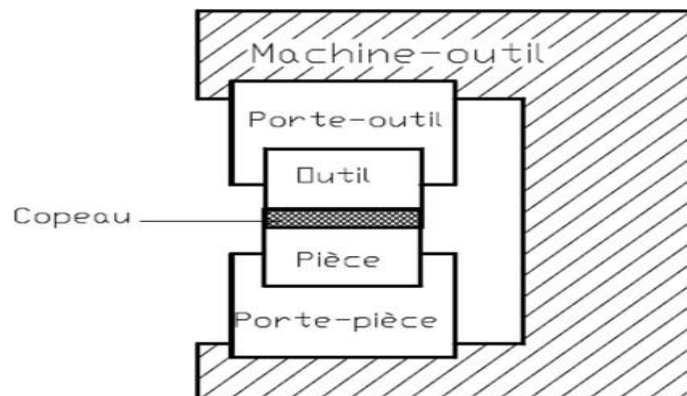


Figure I.2: Schéma de procédés d'usinage d'une pièce. [2]

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

Le schéma de la Figure I.2 est général (applicable) pour tous les procédés d'usinage déjà décrits, à savoir :

- le tournage
- le fraisage
- le perçage
- les procédés d'usinage par abrasion.

Les machines employées dans les ateliers d'usinage comprennent :

- les tours établis avec un encombrement et des configurations variables selon les formes, les grandeurs et les cadences de production des pièces qu'ils en sont destinés à produire,
- les fraiseuses qui offrent plus de flexibilité par rapports aux tours en termes de création des formes plus complexes sur les pièces à usiner,
- les perceuses employées pour générer les emplacements des vis ou des rivets dans les pièces,
- les aléseuses destinées à l'alésage des cylindres des machines à vapeur, des corps de pompes, etc.
- les rectifieuses qui favorisent l'obtention d'un état de surface beaucoup meilleure que les machines déjà décrites (tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses),
- les raboteuses assurant le dressage des pièces telles que les bâtis des machines, les plaques de fondation, etc.

Quel que soit la machine adoptée pour l'usinage, la procédure de travail est la même. Cette dernière ne dépend que de la fonctionnalité de la pièce dans le mécanisme où elle en doit être montée.

I.5: Procédés d'usinage :

Il existe plusieurs procédés d'usinage, notamment :

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

Les différents procédés d'usinage sont (les symboles sont ceux de la norme NFE 05-019 de 1992) : [3]

- l'alésage (al) ;

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

L'usinage peut être fait soit avec une machine traditionnelle soit à la machine à commande numérique (CN). Il peut être fait soit en usinage classique soit en grande vitesse (UGV). L'usinage peut être fait par plusieurs techniques dans le but d'améliorer la précision et le rendu de la pièce. De nos jours, de nombreuses entreprises proposent ces services. [3]

I.6: L'outil :

La partie la plus importante de l'outil est l'arête de coupe, intersection d'une face de coupe sur laquelle glisse le copeau, et d'une face en dépouille opposée à la surface tranchée, i.e. partie active, dont la dureté doit être plus grande que celle du métal à travailler. Sur tous les outils il est nécessaire de dépouiller certaines surfaces pour éviter leur frottement avec les surfaces engendrées. L'étude des outils peut prendre comme modèle celle de l'outil prismatique :[4]

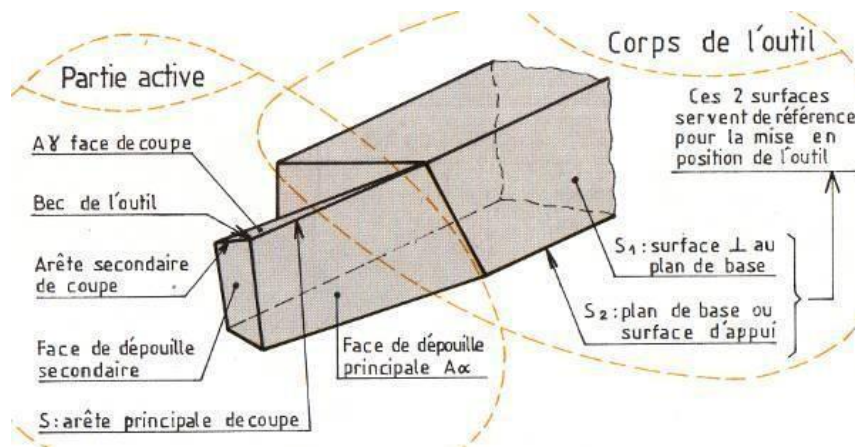


Figure I.3 : Dessin géométrique de l'outil. [4]

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.6.1 Les angles de la partie active :

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

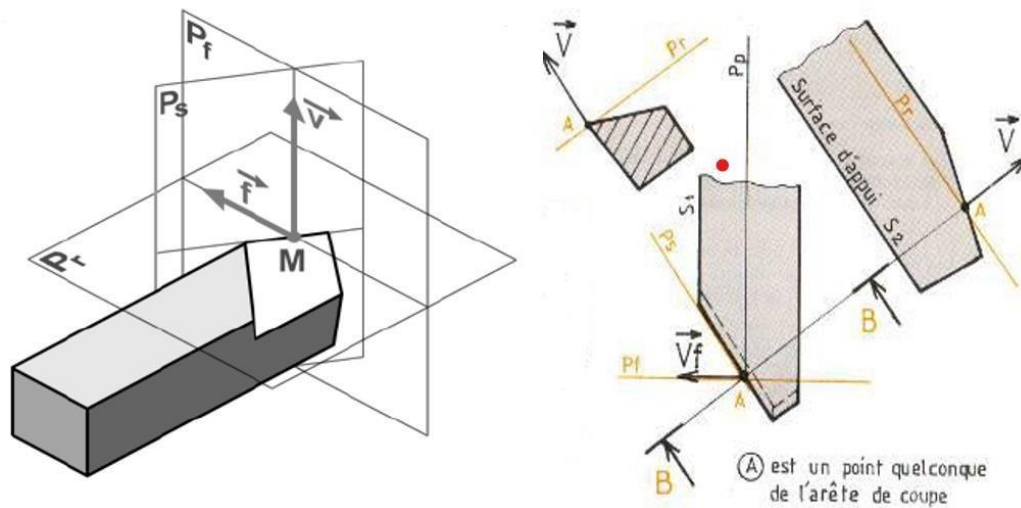


Figure I.4 : Angles de la partie la plus active.

- P_r plan de référence (en marron), passant par le point A de l'arête et perpendiculaire à la direction de la vectrice vitesse de coupe V
- P_s plan d'arête (en beige), perpendiculaire au plan P_r et contenant la tangente à l'arête S
- P_f plan de travail conventionnel (en orange), perpendiculaire au plan P_r et parallèle à la direction du vecteur avance V_f . [4]

On définit ainsi les angles :

- de direction d'arête d'outil K_r , angle entre P_f et P_s mesuré dans P_r , dépend du travail d'usinage (forme de la surface à générer, ébauche ou finition), angle à gauche ou à droite.
- d'inclinaison d'arête d'outil λ_{s} , angle que font l'arête de coupe S et le plan P_r , dépend du genre et du type de travail (ébauche ou finition, choc ou continu). Une valeur négative a pour but d'augmenter la résistance du bec et d'orienter le déroulement du copeau.
- de dépouille Alpha (Ci. 6° pour l'acier rapide, 4° à 8° pour les carbures métalliques).
- de coupe Gamma, dépend du matériau usiné.
- de taillant Béta (dépend de la résistance à la coupe du métal à usiner). [4]

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

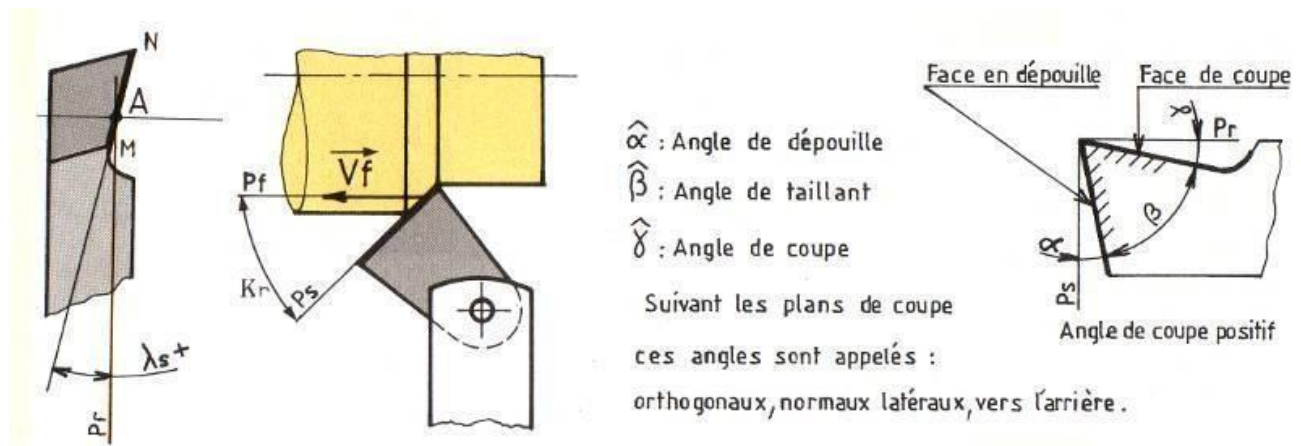


Figure I.5 : Angles du plan de coupe. [4]

Le bec de l'outil joue un rôle important sur la rugosité de la surface engendrée, car il diminue la hauteur des stries.

La section du corps de l'outil et la longueur de l'arête de coupe sont fonction de l'avance et de la profondeur de passe. [4]

I.6.2 Matière employée :

Les matériaux utilisés doivent répondre aux exigences suivantes : [4]

- Résistance élevée aux sollicitations de traction et compression
- Bonne rugosité des faces de coupes et de dépouilles
- Conservation de la dureté à des températures élevées (500 à 900°C)

On utilise quatre grandes catégories de matériaux de coupe

- Aciers rapides : ce sont des aciers à fort pourcentage de carbone avec des additions d'alliage dont le but est d'augmenter la dureté et la résistance à l'usure. Ces aciers ne sont pas sensibles à l'écaillage et on peut obtenir par affûtage une arête de coupe très vive
- Carbures métalliques : ils possèdent une haute résistance et une haute dureté, et permettent de travailler à des vitesses 4 à 6 fois supérieure à celle des aciers rapides. Sensibles à l'écaillage l'arête de coupe n'est jamais vive, mais possède un léger rayon.
- Céramiques : elles sont constituées par de l'oxyde d'aluminium aggloméré par un liant et mis en forme. Leur dureté est élevée et les vitesses de coupe permises sont de 3 à 4 fois

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

supérieures à celles des carbures

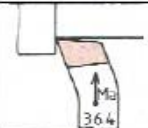
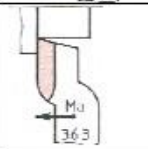
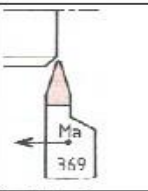
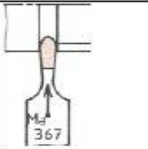
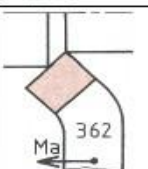
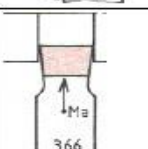
- **Diamant industriel** : il se présente sous forme de grain brasé à l'extrémité d'un corps d'acier. Il peut usiner tous les métaux quel que soit leur dureté. On l'emploie pour certains travaux de finition. [4]

I.6.3 Les outils de tournage :

L'outil de tour désigne un des nombreux outils utilisés, avec un porte-outil, sur un tour. La plupart du temps la pièce tourne à une vitesse de coupe calculée (vitesse de rotation en mètres par minute) accompagnée d'une avance travail :

Vitesse d'avance (exprimée en millimètre par minute).

Les outils de tournage mécanique existent dans une grande variété de formes en fonction des conditions particulières des opérations effectuées, on choisit la forme de l'outil en fonction de l'opération à effectuer (ébauche ou finition) et de la forme de la pièce à réaliser. [5]

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	

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

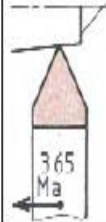


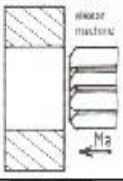

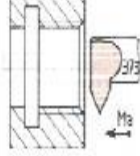
Outil à retoucher	NFE 66 365	
Outil à aléser - dresser		
Foret		
Alésoir		
Outil à chambrer		
Outil à fileter intérieur		

Figure I.6 : Outils ARS. [5]

I.6.3.1 : Outils à plaquettes en carbures :

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Outils de base pour le tournage traditionnel et numérique. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min). Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner (en phase d'ébauche). [5]

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage








	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.7 : Outils carbure. [5]

I.7: La relation (Outil / Machine / Pièce) :

On l'a vu, usiner consiste à modifier la forme d'une pièce par l'action d'une machine, au moyen d'un outil. Donc tout usinage met en relation ces trois éléments : [6]

- L'outil
- La machine
- la pièce

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

On peut schématiser la relation de la manière suivante :

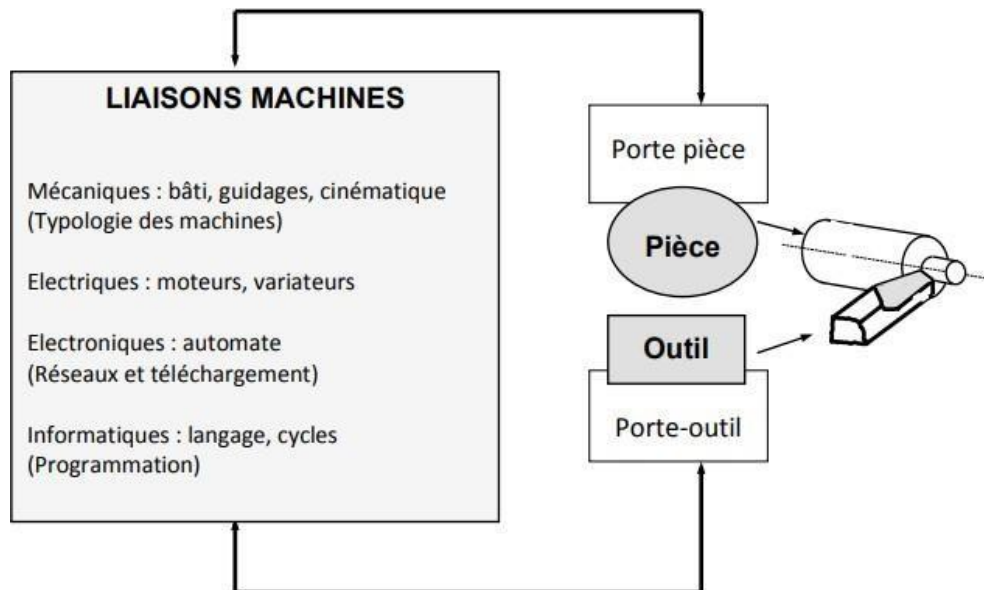


Figure I.8 : Relation machine/ outil /pièce. [6]

La pièce et l'outil sont fixés sur la machine grâce au porte-pièce et au porte-outil. Suivant les chaînes relationnelles « Outil / Machine / Pièce » et le repère d'axes dans lequel s'inscrivent les différents déplacements, les principes d'usinage mis en œuvre varient et définissent ainsi différents types d'usinages (par enlèvement de matière). [6]

I.8: Tournage mécanique :

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



Figure I.9 : Opération de chariotage.

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

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

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

I.8.1 Principe de tournage :

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

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

Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage.

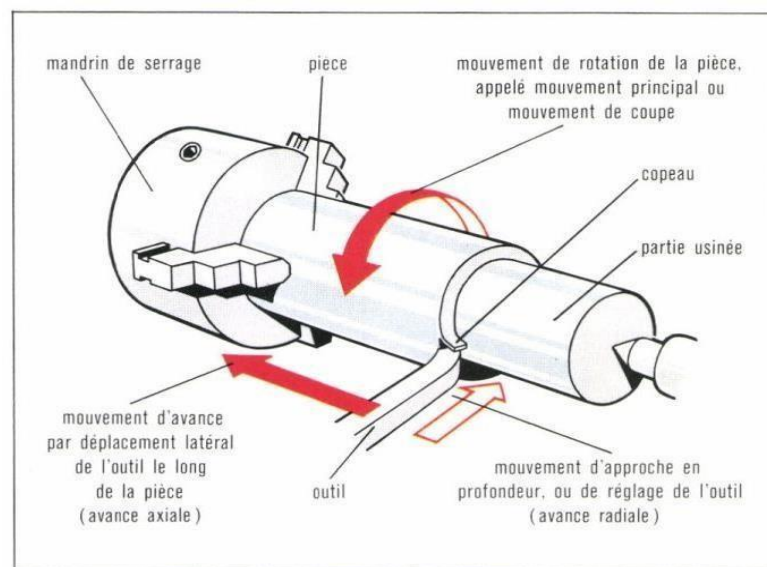


Figure I.10 : Mouvements en tournage.

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.8.2 Les différents types d'opérations :

I.8.2.1 : Tournage extérieur :

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

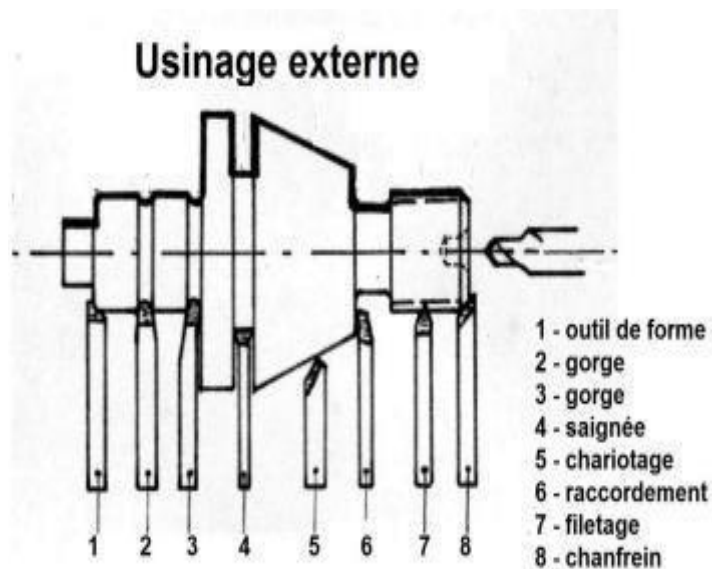


Figure I.11 : Usinage externe sur tour.

I.8.2.2 : Tournage intérieur :

- Alésage ;
- Dressage ;
- Tournage intérieur par contour nage ;
- Tournage de dégagement, gorges ;
- Taraudage, réalisation d'un filetage intérieur ;
- Chambrage.

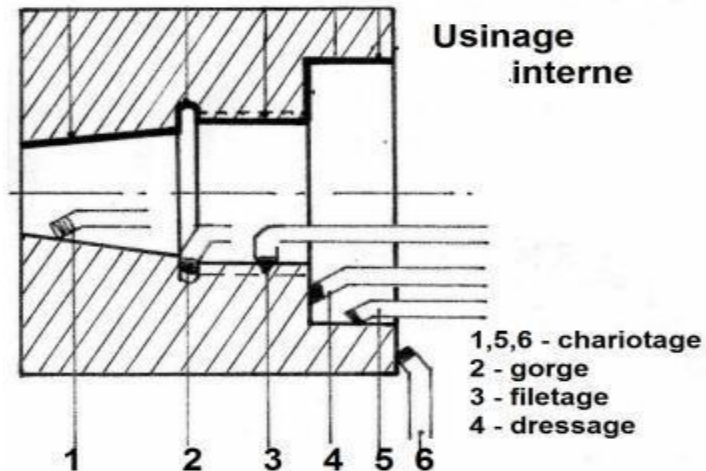


Figure I.12 : Usinage interne sur tour

I.8.2.3 : Tournage de pièces métalliques :

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

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

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.9: Les tours :

I.9.1 Définition :

Les tours (voir Figure. I.13) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche. [7]

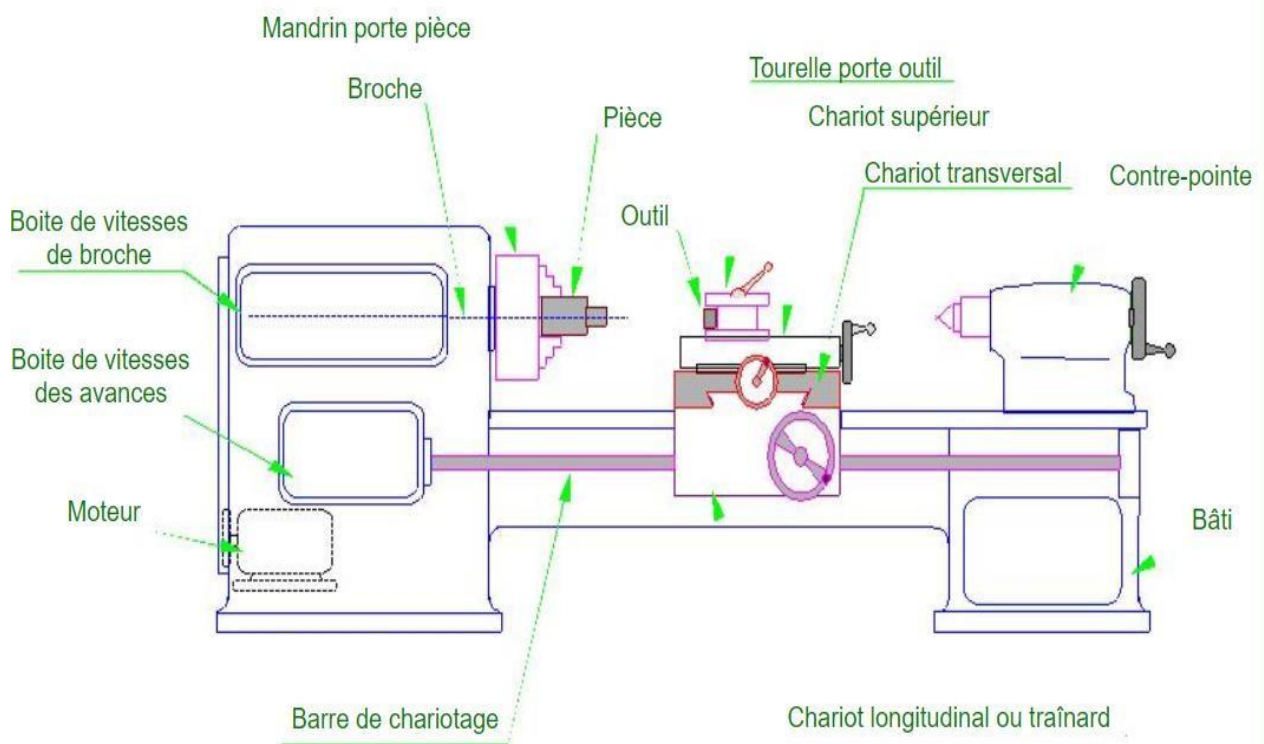


Figure I.13 : Terminologie des organes principaux du tour. [8]

I.9.2 Différents types de tour :

I.9.2.1 : Les tours parallèles à charioter et à fileter :

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.9.2.2 : Les tours à copier :

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

I.9.2.3 : Les tours semi-automatiques :

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

I.9.2.4 : Les tours automatiques :

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

I.9.2.5 : Les tours à commande numérique :

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

I.10: Les portes pièces :

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

I.10.1 Les mandrins à serrage par mors :

Ils comportent 2, 3 ou 4 mors. Ces mors peuvent être à serrage concentriques ou indépendants, On peut monter des mors durs ou des mors doux. Les mors doux sont des mors non trempés afin

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

de permettre à l'utilisateur de les usiner pour adapter leurs formes à celles de la pièce ou pour réaliser une coaxialité plus précise qu'avec des mors durs.

La prise de pièce en mandrin peut se faire par l'extérieur ou par l'intérieur des mors. [8]

I.10.2 Les mandrins expansibles :

Ils assurent à la fois la mise en position et le maintien en position par l'intérieur ou par l'extérieur de pièces courtes ou longues. On utilise pour leurs constructions une ou plusieurs pièces déformables. Le type le plus classique est le mandrin à pinces que l'on retrouve comme support d'outils pour des fraises à queue cylindrique. [8]

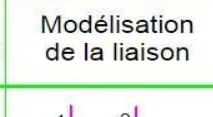
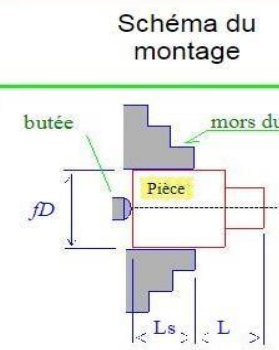
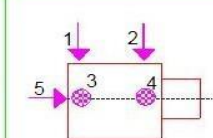
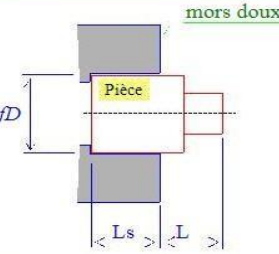
I.10.3 Les portes pièces dédiées :

Il s'agit de montages de reprise spécialement étudiés et réalisés pour une phase d'usinage. Ils se montent soit à la place du mandrin en utilisant les mêmes surfaces de référence que lui

Soit sur le plateau lisse (appareillage standard du tour). Dans ce dernier cas le montage pourra être installé sur n'importe quel tour ce qui n'est pas le cas de la solution précédente : La liaison mandrin-broche étant différente d'un modèle de tour à l'autre. [8]

I.11: Réalisation et caractéristiques des montages portes pièces :

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

Type de montage	Modélisation de la liaison	Schéma du montage	Accessoires utilisés	Erreur de reprise (coaxialité)
Montage en l'air	 <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être inférieure à $0,7 D$. $L_s > D$ souhaitable</p>	 <p>butée mors durs striés Pièce fD L_s L</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>mors doux usinables Pièce fD L_s L</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>	

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

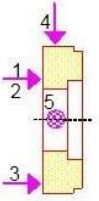
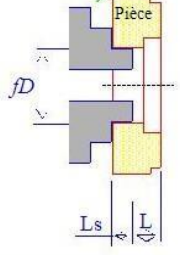
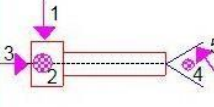
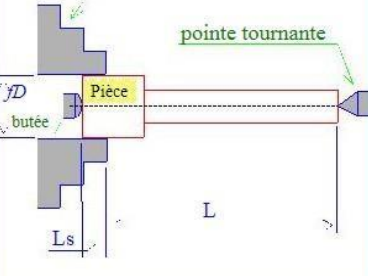
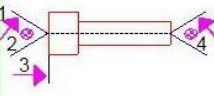
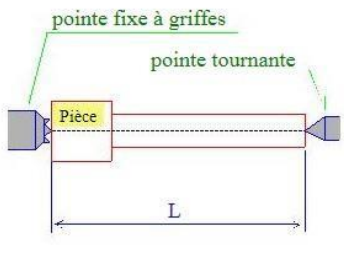
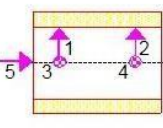
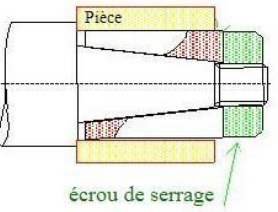
<p>Montage en l'air (prise de pièce par l'intérieur)</p>	 <p>Pour le respect de la liaison L_s ne doit pas être supérieure à $0,5 D$ $L_s < 0,5 D$</p>	<p>mors durs striés ou mors doux</p> 	<p>Mandrin <u>3 mors durs ou doux</u> à serrage concentrique</p> <p>$0,1\text{maxi}$ (m.durs) $0,05\text{maxi}$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

Figure I.14 : Différents montages possibles utilisant des équipements standards. [8]

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

I.12: Conditions de coupe :

I.12.1 Vitesse de coupe :

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

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

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 permutant les termes de la formule précédente, on obtient :

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

Et c'est cette vitesse de rotation N que l'on règle sur la machine. Il faut donc connaître V_c dont la valeur est le plus

Souvent issue de méthodes empiriques. Certains organismes, comme le CETIM pour l'industrie mécanique, ont établi des tableaux de référence.

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

- de la matière à usiner : en général plus elle est tendre et plus la vitesse est élevée
- de la matière de l'outil de coupe
- de la géométrie de l'outil de coupe
- du type d'usinage : ébauche, finition, filetage, etc.

du lubrifiant, qui permet une augmentation de la vitesse (qui ne s'utilise presque plus dans l'industrie moderne, Remplacé par l'UGV)

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

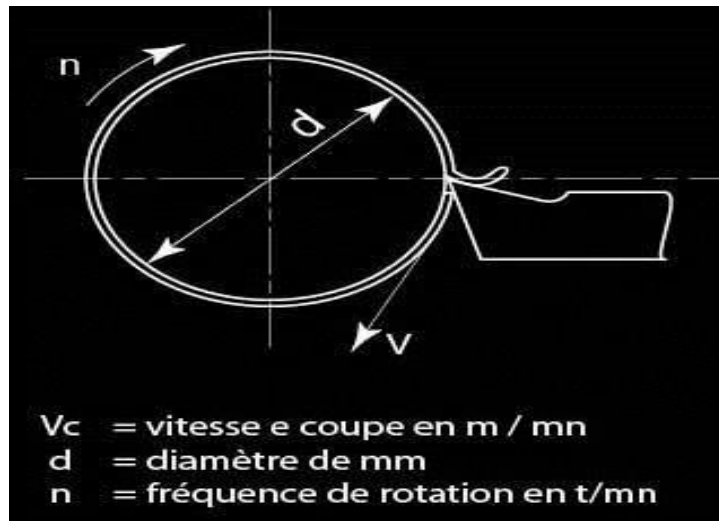


Figure I.15 : vitesse de coupe

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

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

I.12.2 Avance :

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

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

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

$$V_f = f_z \times z \times N$$

V_f = avance en mm/min

f_z = avance par dent en mm/(dent/tour) Z = nombre de dents de la fraise

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

$$vf = f \times N$$

f = avance en mm/tour

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

I.12.3 Les types d'avances :

On distingue trois sortes d'avance :

a) Avance longitudinale :

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

b) Avance transversale :

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

c) Avance oblique :

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

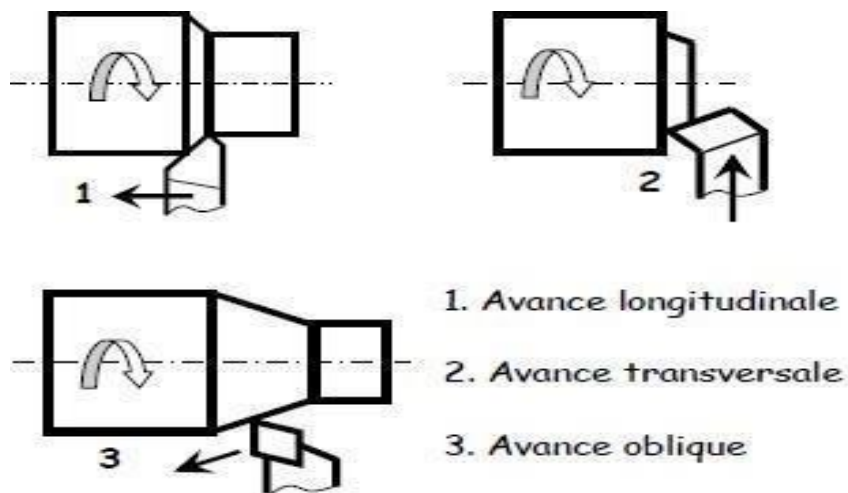


Figure I.16 : Différents types d'avance

I.12.4 Profondeur de passe (usinage) :

La profondeur de passe est la quantité de matière que va prendre l'outil lors d'un usinage sur un tour ou bien sur un centre d'usinage. Celle-ci varie selon la vitesse de coupe ainsi que la vitesse d'avance de l'outil. [9]

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

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

La profondeur de passe (a_p) en tournage est fonction de la longueur de l'arête de coupe et de la puissance de la machine (dans le cas de machine puissante la profondeur de passe a_p en ébauche sera de $2/3$ de la longueur de l'arête de coupe). [10]

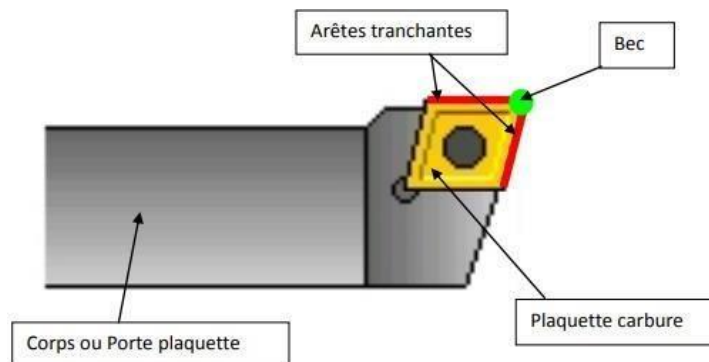


Figure I.17 : Les parties actives de l'outil. [10]

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

a_p mini = $R\epsilon$. Attention en dessous de cette valeur le phénomène de coupe n'est plus garanti. C'est-à-dire que l'on ne sait pas si ça coupe, écrase ... enfin on ne sait pas trop ce qu'il se passe. (a_p mini équivalant à une surépaisseur d'usinage qui va bien pour faire une finition ...)

- Dans le cas d'outil ARS (sans $R\epsilon$)

Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

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

Dresser la face avant toutes autres opérations afin de garantir une surface de départ d'usinage correcte ap = 2 mm maxi. [10]

I. 3: Étude de quelques temps technologiques :

I.13.1 Définition :

Le temps technologique représente la durée du travail effectué par un (plusieurs) outil(s). Il est fonction uniquement des moyens matériels et tient compte de l'engagement et du dégagement de l'outil. [14]

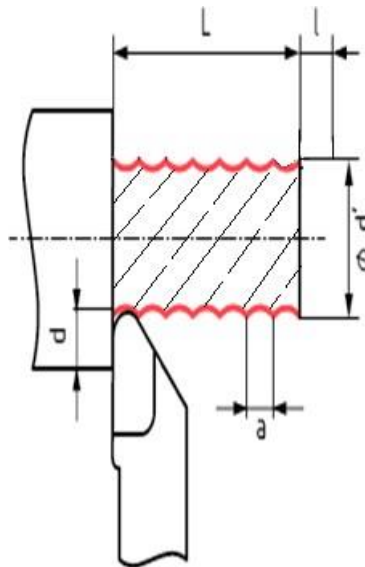
$$T_t = \frac{L[mm]}{A[mm/min]} \times 100 [cmn]$$

(cmn = centièmes de min)

I.13.2 Temps technologique de chariotage (tournage) :

Le temps technologique de chariotage dépend des paramètres suivants : [14]

- nombre de passes n
- la longueur d'usinage L
- la fréquence de rotation N
- l'avance par tour a
- la distance d'approche l_i
- la vitesse de coupe V_c

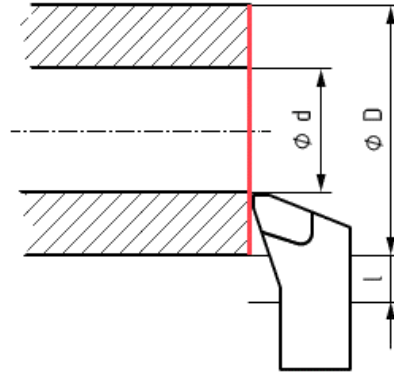


Chapitre I: Généralité Sur L'usinage

On exprime alors le temps technologique en chariotage sous la forme : [14]

$$T_{tc} = \frac{n(L+1)}{aN} \text{ ou } : N = \frac{1000.V_c}{\pi d}$$

$$\Rightarrow T_{tc} = \frac{n(L+1)\pi d}{aV_c}$$



I.13.3 Temps technologique de dressage (tour)

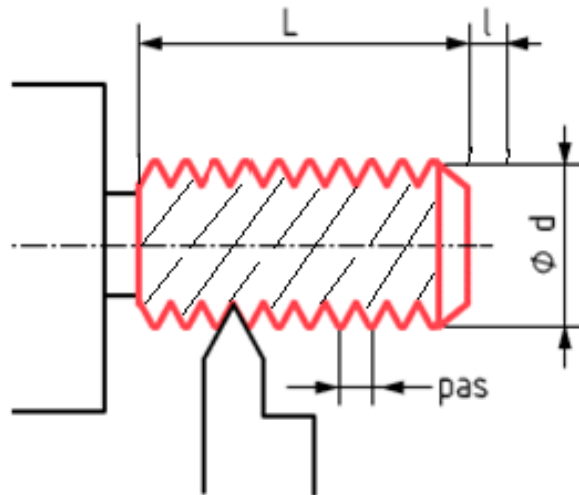
Le temps technologique d'une opération de dressage s'exprime sous la forme suivante : [14]

$$T_{tc} = n \frac{(D - d) + 1}{aN}$$

I.13.4 Temps technologique en filetage (tour) :

En filetage il faut prendre en compte, pour le calcul du temps d'usinage, le pas du filetage p . On introduit un coefficient k qui dépend de la vitesse de retour du chariot. Cette vitesse peut être égale à la vitesse de travail, ou inférieure. [14]

$$T_{tc} = \frac{kn(L+1)}{pN}$$



Chapitre II: Rugosité de surface

Chapitre II: Rugosité de surface

II.1: Généralité :

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

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

Ces deux types de défauts peuvent être distingués de la manière suivante, en considérant le schéma (fig.1), relatif à l'état de surface

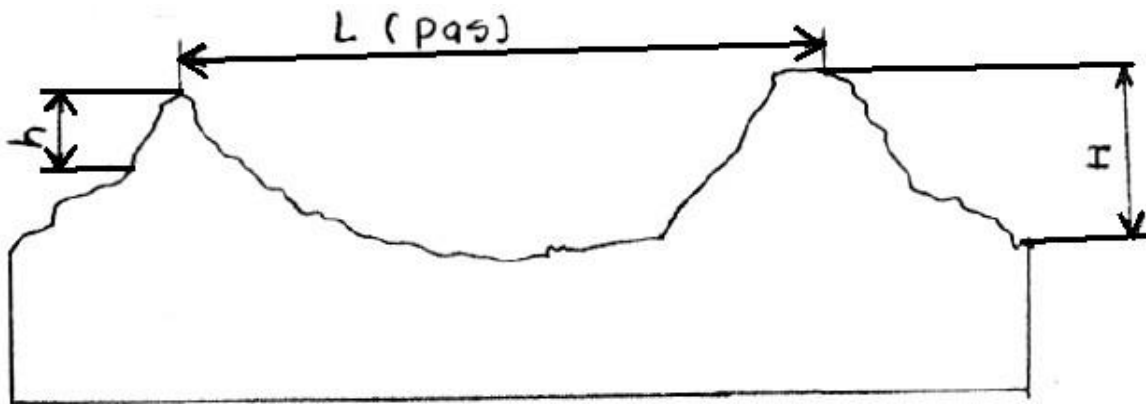


Figure II.1 : l'amplitude d'usinage.

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

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

II.2: Les défauts de surface :

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

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

Chapitre II: Rugosité de surface

6. Réseau cristallin (échelle nano-scopique).

Tableau II.1 : Les défauts macroscopiques et microscopiques.

	Désignation	Causes
macrographiques	Défauts de forme et de position	Pendant l'usinage et après l'usinage etc.
	Ondulation périodique	Fraisage : pas de l'ondulation = avance par tour de fraise, vibrations, pièce et outil, etc.
micrographiques	strie - sillon, rugosité périodique	Stries et sillons dus à l'avance de l'arête coupante de l'outil : Lubrification, vibrations
	Arrachement, fentes, Marques d'outil, Piqûres, etc.	Qualité de l'affûtage de l'outil. Hétérogénéité du matériau usiné.

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

Chapitre II: Rugosité de surface

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

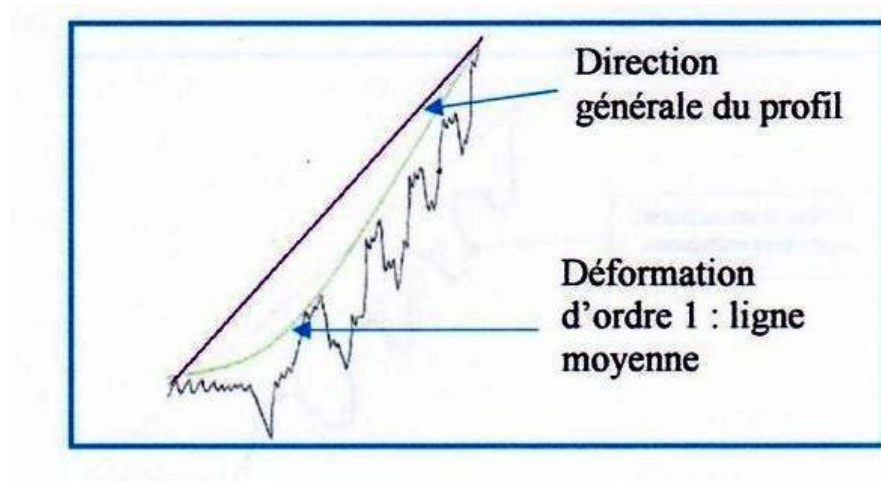


Figure II.2 : Défauts d'ordre 1.[11]

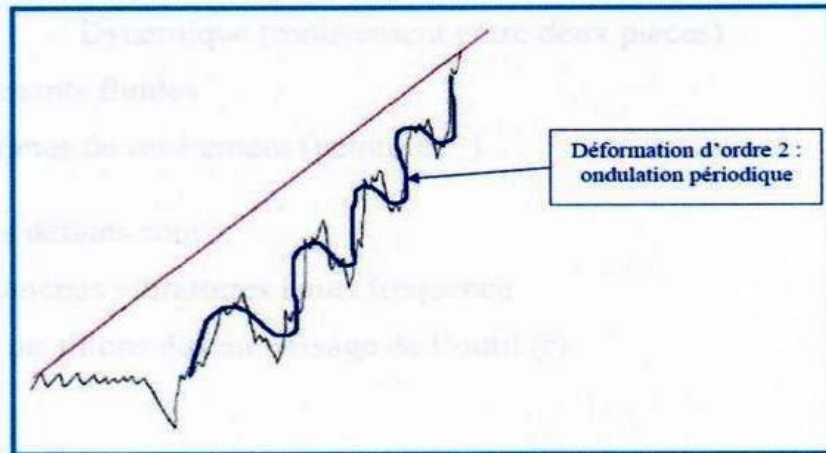
L'ordre 1 est représenté par la ligne moyenne

- Les différents types de défauts représentés par l'ordre 1 sont :
 - Les défauts de planéité
 - Les défauts de rectitude
 - Les défauts de circularité
- L'influence de ces défauts à lieu au niveau de :
 - L'étanchéité : Statique (pas de mouvement entre les pièces)
 - Dynamique (mouvement entre deux pièces)
 - Les frottements : Roulement, Glissement S Durée de vie des organes
- Les causes de ces défauts sont :
 - La déformation de la pièce avant usinage dans son système d'ablocage S La déformation de la pièce au cours de l'usinage due à l'effort exercé par L'outil sur la pièce ou due à la mauvaise inclinaison de l'outil.
 - La déformation de la pièce après démontage (contraintes internes (ex : Température)
 - La déformation de l'outil machine due à l'action de la pièce sur l'outil.
 - Les défauts au niveau des guidages.
- L'évaluation de la surface :

Chapitre II: Rugosité de surface

Discontinue : Comparateur (maillage) Machine à mesurer tridimensionnelle Continue : Palpage, interférométrie, On peut également utiliser un marbre ou calibre ou une bague. [11]

II.2.2 Ordre 2 : Ondulations périodiques :



- L'influence de ces défauts est la même que pour l'ordre 1

Figure II.3 : Défauts d'ordre 2. [11]

- Les causes de ces défauts sont les phénomènes vibratoires basse fréquence, ces derniers se traduisent par un manque de rigidité au niveau de :
 - La pièce, due à un mauvais équilibrage du montage sur le porte pièce
 - L'outil, dû à une dent cassée au niveau de la fraise par exemple La machine [11]

II.2.3 Ordre 3 : stries ou sillons :

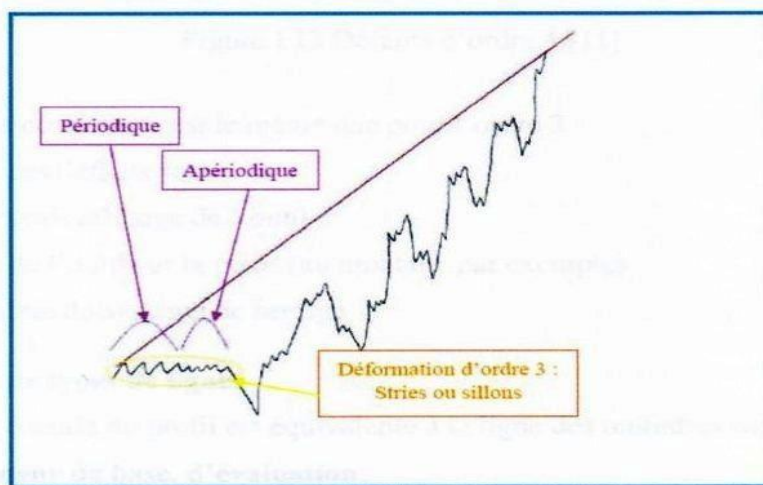


Figure II.4 : Défauts d'ordre 3. [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

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

L'étanchéité : Statique (pas de mouvement entre les pièces) Dynamique (mouvement entre deux pieces). [11]

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

II.2.4 Ordre 4 : Arrachement de matière :

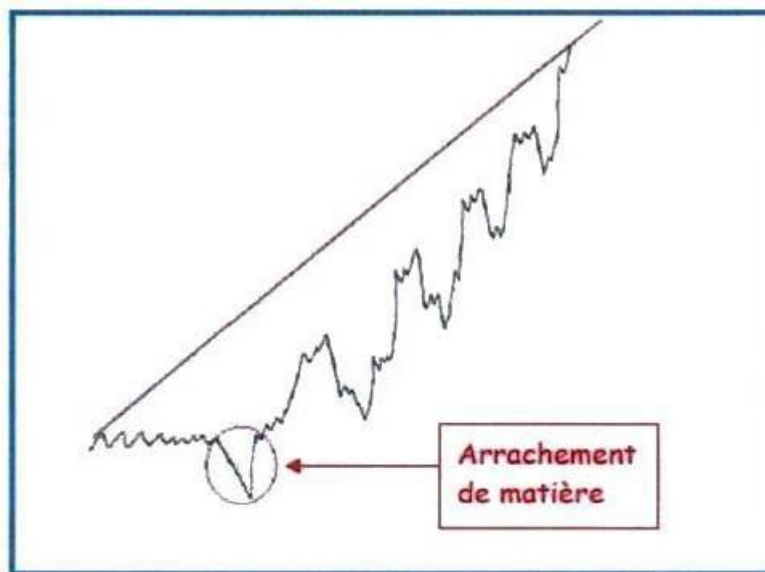


Figure II.5 : Défauts d'ordre 4 [11]

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

- Les causes de ces défauts sont :
- Le mauvais affûtage de l'outil
- Chocs de l'outil sur la pièce (au montage par exemple)
- Empreinte du système de serrage [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

II.3: Différents types de lignes :

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

II.3.1 Longueur de base, d'évaluation :

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

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

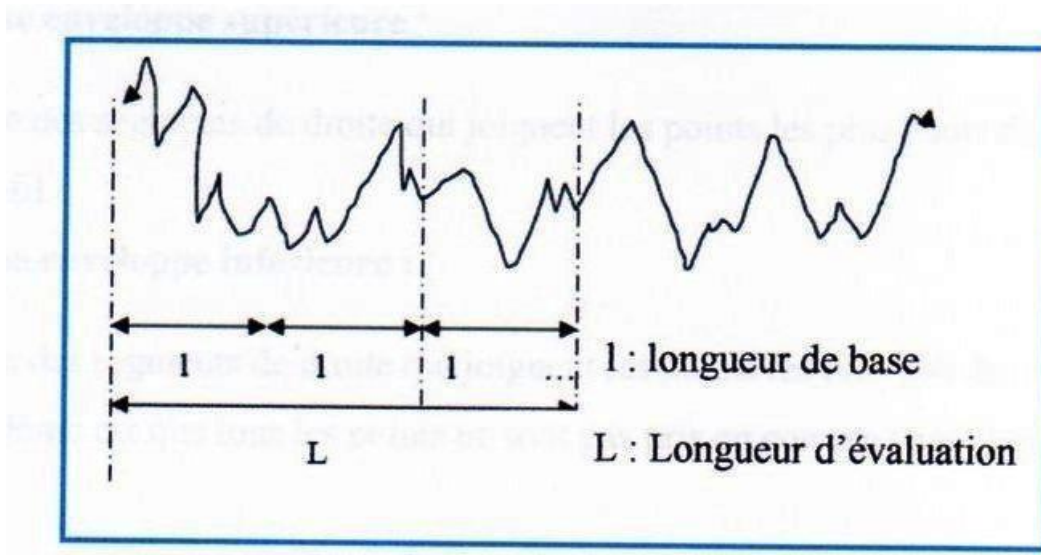


Figure II.6 : profilographe d'une surface. [11]

II.3.2 Lignes de référence :

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

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

II.3.3 La ligne des moindres carrés :

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

Chapitre II: Rugosité de surface

II.3.4 La ligne moyenne arithmétique :

C'est la ligne de référence qui a la forme du profil géométrique et qui divise le profil de telle sorte qu'à l'intérieur de la longueur de base (L) la somme des carrés des écarts entre elle et le Profil soit minimale de part et d'autre. [11]

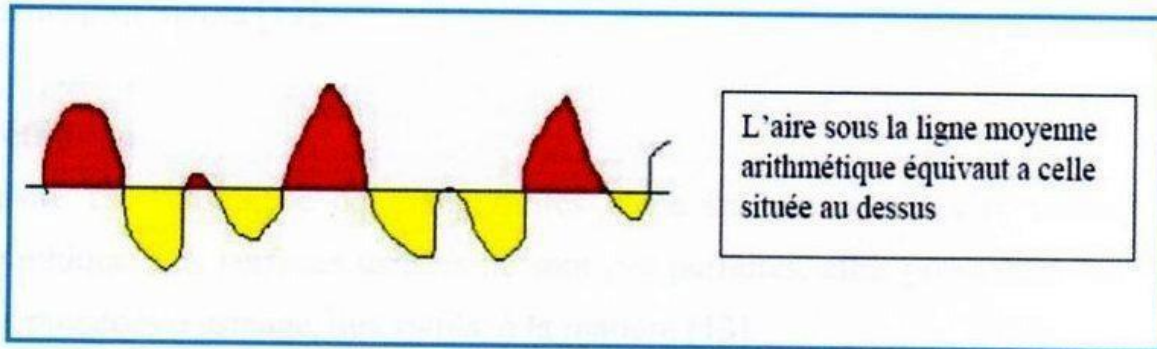


Figure II.7 : Ligne des moindres arithmétiques. [11]

II.3.5 La ligne enveloppe supérieure :

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

II.3.6 La ligne enveloppe inférieure :

C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus bas des creux locaux du Profil. Le problème est que tous les points ne sont pas pris en compte (très aléatoire). [11]

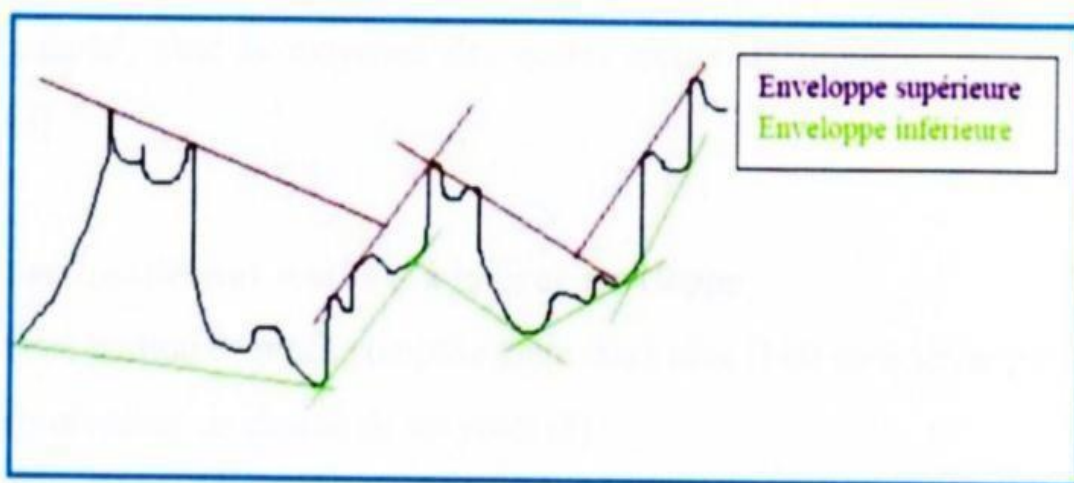


Figure II.8 : ligne enveloppe inférieure et supérieure. [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

II.4: Paramètres de rugosité unidimensionnelle :

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

La texture uni-dimensionnelle est séparée en ondulation (la composante de basse fréquence définissant la forme globale) et la rugosité (la composante de haute fréquence) à la fréquence de coupure. Celle-ci est spécifiée en unités de fréquence de Nyquist, c'est-à-dire qu'une valeur de 1.0 correspond à la fréquence de Nyquist. [12]

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

$$r_j = Z_j - \bar{Z}$$

II.4.1 Paramètres d'amplitude de rugosité

➤ Rugosité moyenne R_a :

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

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

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

Une manière plus ancienne de spécifier une plage de R_a s'appelle RHR. Il s'agit d'un symbole placé sur un dessin et spécifiant la valeur minimale et maximale de R_a . [12]

➤ Rugosité moyenne quadratique R_q :

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

Moyenne quadratique des écarts de hauteur sur la longueur d'évaluation et mesurés par rapport à la ligne moyenne. [12]

Chapitre II: Rugosité de surface

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

- Hauteur maximale du profil R_t :

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

Hauteur crête-à-crête maximale. Il s'agit de la valeur absolue entre les hauteurs maximum et minimum [12]

$$R_t = |r_{\min}| + |r_{\max}|$$

- Profondeur minimale des vallées R_v , R_m :

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

Vallée la plus profonde. Il s'agit de la profondeur de la vallée la plus profonde du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation [12]

$$R_v = |r_{\min}|$$

- Hauteur maximale des pics R_p :

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

Pic le plus élevé. Il s'agit de la hauteur du pic le plus élevé du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation. [12]

$$R_p = |r_{\max}|$$

- Amplitude moyenne R_{tm} :

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

Rugosité crête-à-crête moyenne. Elle est déterminée par la différence entre le pic le plus élevé et la vallée la plus profonde sur plusieurs échantillons le long de la longueur d'évaluation. [12]

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

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

Chapitre II: Rugosité de surface

Pour les profils de données elle est basée sur cinq longueurs d'échantillon ($m = 5$). Le nombre d'échantillons correspond à la norme ISO. [12]

Profondeur moyenne des vallées R_{vm} :

Normes : ISO 4287-1997.

Profondeur de vallée moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ($m = 5$) puis ces valeurs sont moyennées [12]

$$R_{vm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{vi} \quad \text{où} \quad R_{vi} = |\min_j r_j| \text{ pour } (i-1) \frac{N}{m} < j < i \frac{N}{m}$$

➤ Hauteur moyenne des pics R_{pm}

Normes : ISO 4287-1997.

Hauteur de pic moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ($m = 5$) puis ces valeurs sont moyennées. [12]

$$R_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{qi} \quad \text{où} \quad R_{qi} = |\max_j r_j| \text{ pour } (i-1) \frac{N}{m} < j < i \frac{N}{m}$$

➤ Profondeur de rugosité de base R_{3z} :

Normes : ISO 4287-1997.

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée.

Un pic correspond à une portion de la surface située au-dessus de la ligne moyenne. [12]

➤ Profondeur de rugosité moyenne R_{3z} ISO :

Normes : ISO 4287-1997.

Chapitre II: Rugosité de surface

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée par longueur échantillonnée. La profondeur de rugosité de base est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis les valeurs obtenues sont moyennées. [12]

- Hauteur maximale moyenne R_z :

Normes : ISO 4287-1997

Moyenne des valeurs absolues des cinq plus hauts pics et des cinq plus basses vallées sur la longueur d'évaluation. [12]

- Amplitude crête-à-crête moyenne R_z ISO

:Normes : ISO 4287-1997.

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

L'amplitude la plus élevée est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis ces valeurs sont moyennées. Elle est identique à R_{tm} . [12]

Fonction de distribution d'amplitude

Normes : ISO 4287-1997.

La distribution d'amplitude est une fonction de donnant la probabilité qu'un profil de la surface ait une certaine hauteur z pour toute position x . [12]

- Distribution d'amplitude cumulée

Normes : ISO 4287-1997.

Chapitre II: Rugosité de surface

La distribution d'amplitude cumulée est liée à la distribution d'amplitude, il s'agit de la distribution de probabilité cumulée correspondante et elle a un intérêt bien plus grand pour caractériser un état de surface. La distribution d'amplitude cumulée est l'intégrale de la distribution d'amplitude. [12]

➤ Asymétrie R_{sk} :

Normes : ISO 4287-1997.

L'asymétrie est un paramètre décrivant la forme de la distribution d'amplitude. Il s'agit d'une mesure de la symétrie de la variation d'un profil autour de sa ligne moyenne. [12]

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

II.4.2 Principaux paramètres de la rugosité :

Un grand nombre de critères sont définis dans la normalisation pour caractériser une rugosité. En pratique, dans un profil et sur une longueur considérée, seuls trois d'entre eux sont retenus :

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

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

- "Rz" : régularité, c'est la moyenne des écarts totaux de rugosité "Rt" observés sur 5 longueurs. [11]

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

Le motif est une portion de profil comprise entre deux pics, il est caractérisé par sa largeur ou pas et par la profondeur de chacun de ses cotés, [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

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

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

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

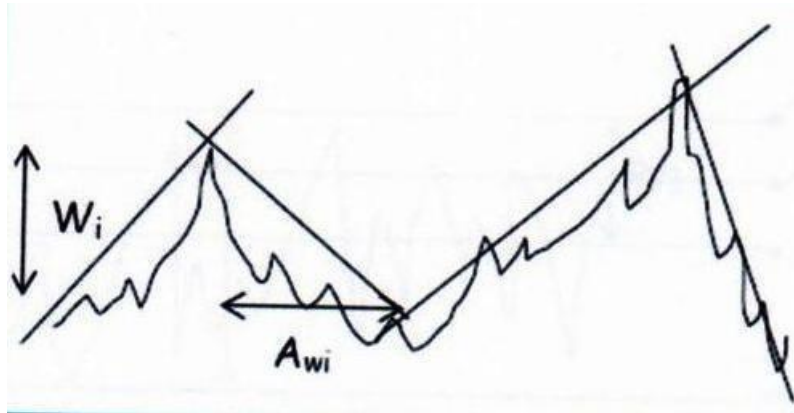


Figure II.9 : Paramètres d'ondulation. [11]

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

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

II.4.4 Paramètres liés à la ligne moyenne :

La référence pour le calcul des paramètres dans la définition ISO 4287/1, est la ligne des moindres carrés calculée sur une longueur de base, la valeur moyenne des valeurs trouvées sur cinq longueurs de base. [11]

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

- □ Au niveau de la longueur de base.

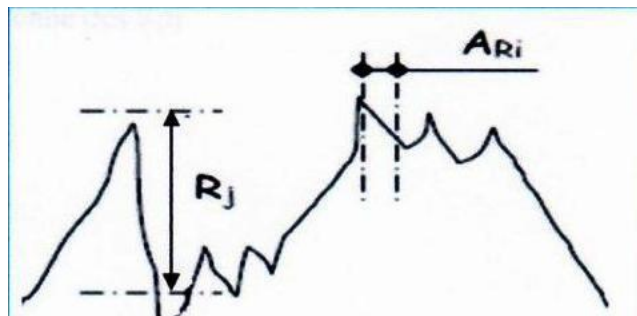


Figure II.10 : Paramètre liés aux motifs. [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

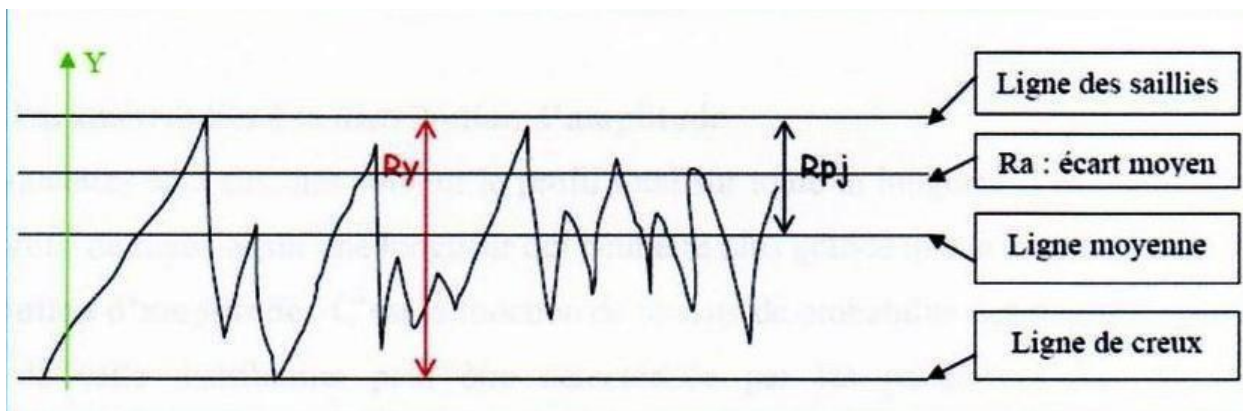


Figure II.11 : Paramètre liés a la longueur de bas. [11]

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

R_{aj} : écart moyen arithmétique du profil

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

R_p : Représente la moyenne des R_{pj}

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

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

R_{max} : c'est le plus grand écart entre une saillie et un creux consécutif. [11]

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

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

➤ Au niveau de la longueur d'évaluation

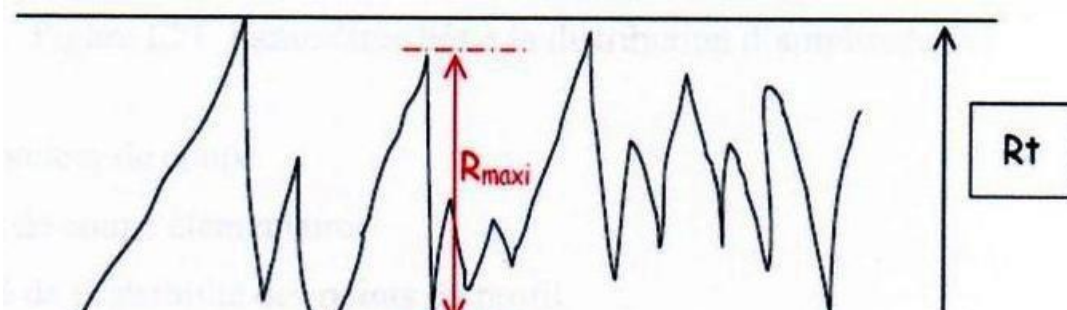


Figure II.12 : Paramètres liés à la longueur d'évaluation. [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

➤ Paramètres liés à la distribution d'amplitude :

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

➤ Distribution d'amplitude :

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

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

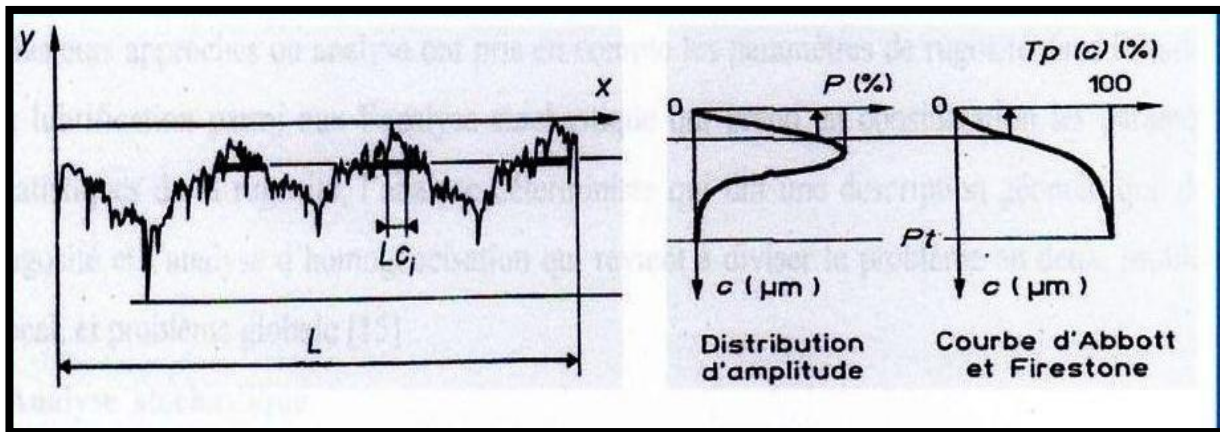


Figure II.13 : Paramètres liés à la distribution d'amplitude. [11]

C : (nm) profondeur de coupe

L_{ci} : longueur de coupe élémentaire

P : (%) densité de probabilité des points du profil
 P_t : profondeur totale du profil

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

D'où l'on peut mettre en évidence ces paramètres de surface dans les calculs d'un contact mécanique, donc connaître la topographie de surface est devenu un élément important en tribologie. [11]

Chapitre II: Rugosité de surface

II.4.5 Mesure de la rugosité :

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne pas sont suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise un rugosimètre qui détermine de manière sûre et précise un certain nombre de paramètres de rugosité (Ra, Rz...). Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'un rugosimètre on peut citer les domaines suivants [11]

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



Figure II.14 : Rugosimètre (2D, 3D).

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

II.5.1 La Rectification :

La rectification d'une pièce mécanique est une opération destinée à améliorer son état de surface. Les deux techniques principales sont la rectification plane et cylindrique.

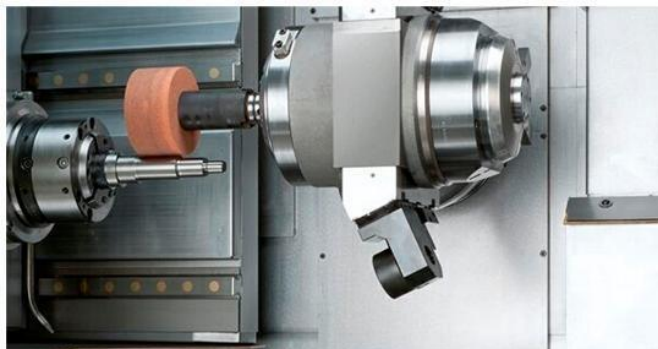


Figure II.15 : Opération de la Rectification

Chapitre II: Rugosité de surface

II.5.2 Principe de La Rectification :

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet : la rectifieuse. Il s'agit de rectifier donc d'approcher une surface d'une forme parfaite (en général : plan, cylindre de révolution ou cône).

La rectification est souvent utilisée dans le but de préparer des surfaces frottant, par exemple la portée d'un arbre qui tournera dans un palier lisse ou dans un joint d'étanchéité. Elle peut également être utilisée pour donner un profil particulier à la pièce lorsque la meule a été au préalable usinée au profil complémentaire.

La rectification plane consiste en un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau allant de 20 à 40 micromètres (0,0005 à 0,001 pouce). Ici, la pièce effectue un mouvement de va et vient longitudinal (qui peut être combiné à un balayage transversal pour rectifier une largeur supérieure à la largeur de la meule).

De même, la rectification double face consiste à rectifier les deux faces de la pièce en même temps.

Dans le cas de la rectification cylindrique, la pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course parallèlement à l'axe de la meule.

Aujourd'hui, avec l'apparition des nouveaux procédés d'usinage à grande vitesse, on voit également apparaître un nouveau procédé appelé rectification grande vitesse.

Contrairement à l'usinage traditionnel (enlèvement de copeaux par outils coupant), la rectification permet des usinages de précision dimensionnelle élevée grâce au principe de l'usinage par abrasion.

Dans la plupart des cas de rectification, les rectifieuses ont besoin d'utiliser un liquide de refroidissement et d'arrosage pour arroser la meule et les pièces afin ne pas faire des brûlures sur les pièces produites ce liquide refroidi les pièces pour ne pas avoir un mauvais état de surface.

➤ **Matériaux :**

Il est possible de rectifier :

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

Chapitre II: Rugosité de surface

- Carbone
- Plastique

II.5.3 Avantage de la rectification :

- ❖ Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs
- ❖ Pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm) et donc d'usiner des pièces plus précises
- ❖ Obtenir un état de surface poussé ($< 0,1 \text{ Ra}$) [13]

II.5.4 Superfinition :

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

Elle opère sur deux caractères :

- la forme de la surface obtenue en définitive : l'usinage à l'outil laisse sur la surface un certain nombre de raies ou de stries (que le rodage masque partiellement).
- la structure superficielle du métal usiné : l'usinage à l'outil conduit à de grandes élévations de température pouvant atteindre $1\ 000\text{ °C}$ à l'extrémité de l'outil ; celui-ci arrache, d'autre part, des éléments de copeaux ; il en résulte une détérioration superficielle due à la fusion de particules de métal qui se ressoudent ensuite.

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

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

La différence essentielle entre superfinition et rectification porte sur le mouvement de coupe de l'abrasif. L'action très rapide de la meule est remplacée par celui d'une pierre abrasive à mouvement rectiligne alternatif. Ce mouvement de vibration a une fréquence d'environ 25 coups par seconde et une amplitude de 1 à 5 mm. L'abrasif travaille à faible vitesse (10 à 20 m/min, contre 3000 m/min en polissage). [13]

Chapitre II: Rugosité de surface

II.6: Le lubrifiant :



Figure II.16 : lubrifiant.

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

On fait appel à un fluide d'usinage pour :

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

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

II.6.1.1: Maintien en température :

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

Chapitre II: Rugosité de surface

II.6.1.2 : Lubrification :

En plus du refroidissement les liquides de coupe aident l'usinage en lubrifiant l'interface entre l'outil et la pièce. En diminuant le frottement à cette interface, ils diminuent la création de chaleur. Cette lubrification permet également de prévenir l'adhésion du copeau sur l'outil qui risquerait d'affecter. [13]

II.6.1.3 : Évacuation des copeaux :

Dans l'industrie de grande série, le liquide de coupe permet également d'évacuer les copeaux de la zone de coupe vers un dispositif de centralisation des copeaux. [13]

II.7: Composition des fluides d'usinage :

Les fluides d'usinage sont utilisés pour de très nombreuses opérations d'usinage, ce qui explique leurs compositions très variées. Ils sont en général élaborés par des formulateurs, qui font appel à de nombreux produits de base (composés type huile minérale, issus de la distillation du pétrole, graisses animales, huiles végétales ou autres matières premières). [13]

On peut distinguer parmi ces fluides :

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

II.7.1 Huiles entières :

Huiles minérales, additives ou non

II.7.2 Fluides de type émulsion :

Les fluides de type émulsion contiennent en général :

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

Chapitre II: Rugosité de surface

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

Ces fluides sont fournis sous forme de concentrés qu'il faut diluer dans l'eau avant emploi (2 à 10 % habituellement). [13]

II.7.3 Fluides de type micro-émulsion :

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

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

Ils sont fournis ici encore sous forme de concentrés à diluer dans l'eau (1,5 à 5 %) [13]

II.7.4 Fluides synthétiques :

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

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

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

Chapitre II: Rugosité de surface

Il convient donc

- De vérifier régulièrement la qualité des fluides utilisés.
- D'assainir les postes de travail, à l'aide notamment de ventilations efficaces.
- D'éviter tout contact cutané avec ces produits. [13]

Chapitre III: Partie Expérimentale

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.1: Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons l'ensemble des outils mis en œuvre pour une approche expérimentale méthodique afin de caractériser l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de l'état de surface.

Ce chapitre consiste à présenter le matériel qui sert aux mesures des états de surfaces des pièces usinées à l'aide des moyens existants (rugosimètre) et à la représentation et discussions de ces résultats pour démontrer l'influence de l'avance (af) sur la qualité de l'état de surface.

III.2: Présentation du matériel :

III.2.1 Machine d'essai

Le tour parallèle CNC DMG MORI type CLX 550

- Nombres d'axes : **3 axes**
- Diamètre maximal de la pièce : **480 mm**
- Longueur maximale de la pièce à usiner avec contre-poupée (usinable) : **1 225 mm**
- Diamètre maximal du mandrin : **400 mm**
- Déplacement maximal sur l'axe X : **380 mm**
- Déplacement maximal sur l'axe Y : **120 mm**
- Déplacement maximal sur l'axe Z : **1 240 mm**
- Vitesse max. de rotation des broches : **5 000 tr/min**
- Rendement (100 % f_{dm}) : **22 kW (AC)**
- Diamètre max. intérieur tube de serrage : **102 mm**
- Commande et logiciel : **SIEMENS (Shop-Turn), code G**



Figure III.1 : machine d'essai tour CNC DMG MORI (CLX550).

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.2.2 Outil et porte-outil utilisés :

Pour réaliser nos expériences on a utilisé un outil à plaquette. Selon un catalogue consulté au niveau de l'atelier **B3** de **Ferrovia** on a choisi la plaquette monobloc du type **GC4235** c'est une plaquette V encarbure métallique **P35** de rayon de bec =1.2 mm, qui se montre sur un porte-plaquette qui utilise un ensemble bride vise pour fixer la plaquette. (Figure III.2 et3).

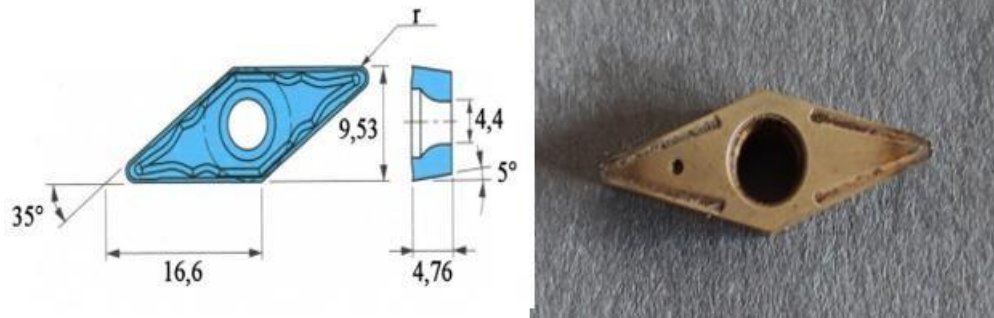


Figure III.2 : plaquettes carbure SECO VBMT160408-F2, TP200.



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

III.2.3 Instruments de mesure :

III.2.3.1 : Pied à coulisse :

Pour mesurer les diamètres des pièces utilisées et les longueurs des éprouvettes d'essais, nous avons utilisé un pied à coulisse. Il permet une mesure dont **la précision** varie avec le type de vernier utilisé. Le vernier peut être au **1/10**, au **1/20**, au **1/50**. Il permet donc d'évaluer une mesure au 1/10 de mm (0,01 mm), au 1/20 de mm (0,05 mm), et au **1/50 de mm (0,02 mm)**. En mécanique, le vernier au **1/50ème** est le plus utilisé. (Figure III.4).

Chapitre III: Partie Expérimentale

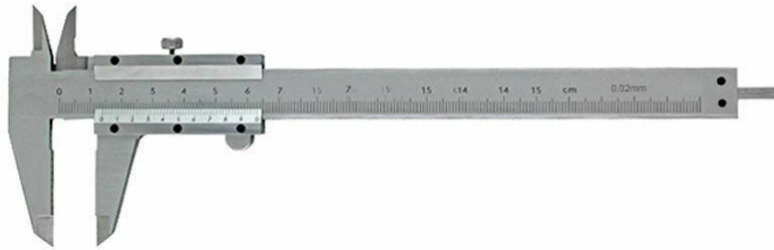


Figure III.4 : pied à coulisse utilisé.

III.2.3.2 : Rugosimètre 2D :

Et pour la mesure de la rugosité des surfaces usinées (éprouvettes), nous avons utilisé un rugosimètre **Surface 2D** de type **TR-220** (Figure III.5), qui présente les caractéristiques suivantes :

- 4 paramètres calculés : Ra, Rz, Ry, Rq.
- Détecteur par système inductif.
- Etalonnage automatique.
- Fonction Bon / Mauvais.
- Alimentation : batterie ou secteur.
- Mesures plates



Figure III.5: rugosimètre TR220 (2D).

Principe de mesure des états de surface du TR220 :

Un palpeur (stylet) installé sur l'unité de détection du TR220, permet de détecter des irrégularités infimes présentes sur la surface d'une pièce.

Lors de l'opération de palpation, le déplacement vertical du stylet est analysé et les résultats obtenus sont affichés sur l'écran du TR220.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.2.3.3 : Rugosimètre 3D :

Le cyber SCAN CT 100 est un appareil compact de haute résolution profilomètre sans contact. Les principaux composants du système sont un laser ou un capteur de lumière blanche et un système x-, y-motion sur une plate-forme en granit. Surtout les capteurs de lumière blanche chromatique combinent une haute précision et vitesse de mesure élevée. Les capteurs sont disponibles avec une résolution jusqu'à 3 nm et une plage de mesure jusqu'à 25 mm.

Le système peut numériser une zone maximale de 150 mm x 150 millimètres.

Le propriétaire et convivial cyber technologie software offre des analyses de métrologie de surface et automatisées routines de mesure.

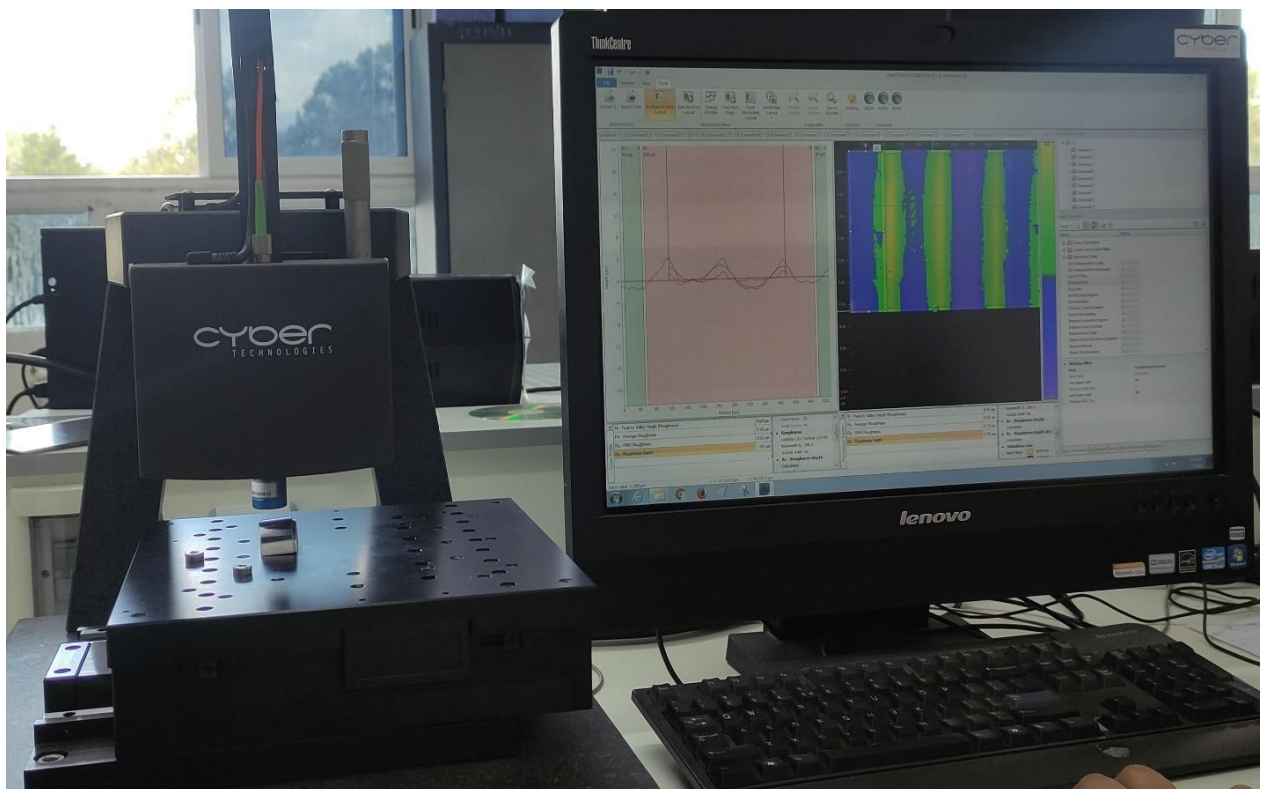


Figure III.6 : rugosimètre CYBER SCAN CT 100 (3D).

III.3: Matière première :

En ce qui concerne la matière première utilisée pour nos essais, nous avons pris un type de matériaux, l'acier XC38 sous forme de barre laminée, cet Acier de **HB= 220Mpa** est mi-dur de haute qualité pouvant être utilisé à l'état traité ou recuit ou à l'état trempé superficiellement.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.3.1 Les désignations de la matière :

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
XC 38	Ck 35	C35 (1.1181)

III.3.2 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
%	0.32 – 0.39	≤ 0.035	0.50 – 0.80	≤ 0.035	0.40 maxi

III.3.3 Caractéristiques mécanique (moyennes état normalisé) :

Tableau III.2 : Caractéristiques mécanique de la XC38

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

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.3.4 Propriétés :

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu. Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

III.3.5 Domaine d'application :

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement.

III.4: Régime de coupe :

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

III.5: Préparation des éprouvettes d'essais :

Les essais sont effectués en chariotage sur des éprouvettes cylindriques usinées sur la barre présente précédemment. Dans la barre on a usiné dix (10) éprouvettes de dimensions (19X36 mm) (Figure III.7) à l'aide d'un outil à gorger (Figure III.11).



Figure III.7 : Préparation des éprouvettes d'essais.

Chapitre III: Partie Expérimentale

Largeur du palier 19mm, Séparé par des gorges de profondeur 3mm et largeur de 3mm pour dégagement de l'outil, les paliers ont été usiné avec le même outil mais avec L'avance (af) différente.

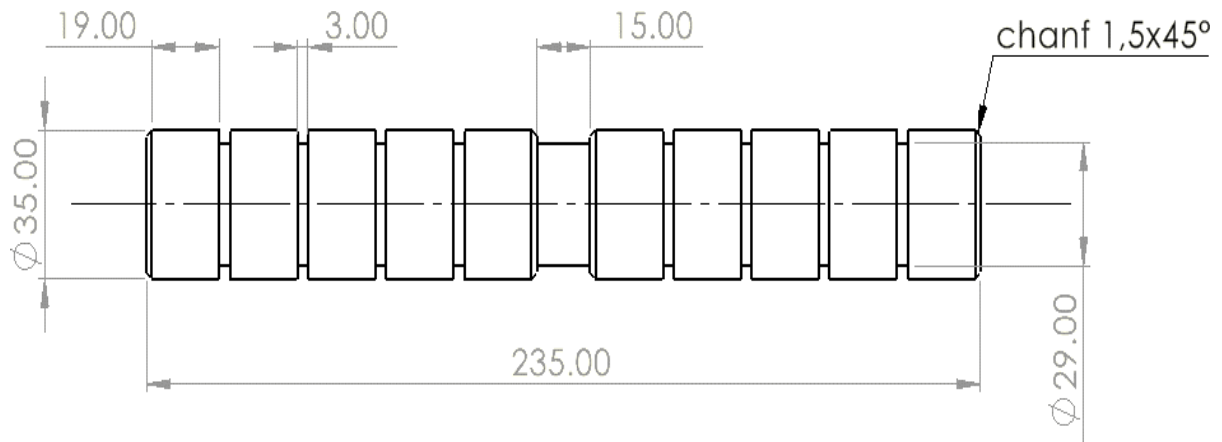


Figure III.8 : dessin de définition des éprouvettes d'essais.

III.6: Le montage on a utilisé :

On utilise le montage mixte quand la pièce, serrée dans le mandrin sort de celui-ci de plus de 2 fois son diamètre. Serrer la pièce dans le mandrin exécuter un trou de centre à l'aide d'un foret à centrer, Puis mettre la contre pointe, le montage est rigide et on peut usiner en toute sécurité.

Voir figure ci-dessous :

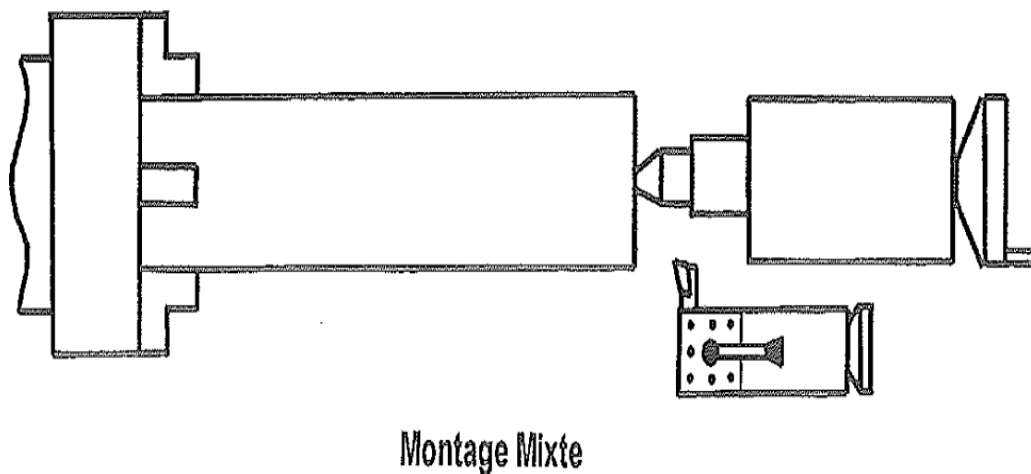


Figure III.9 : dessin de montage de l'arbre (montage mixte).

Chapitre III: Partie Expérimentale

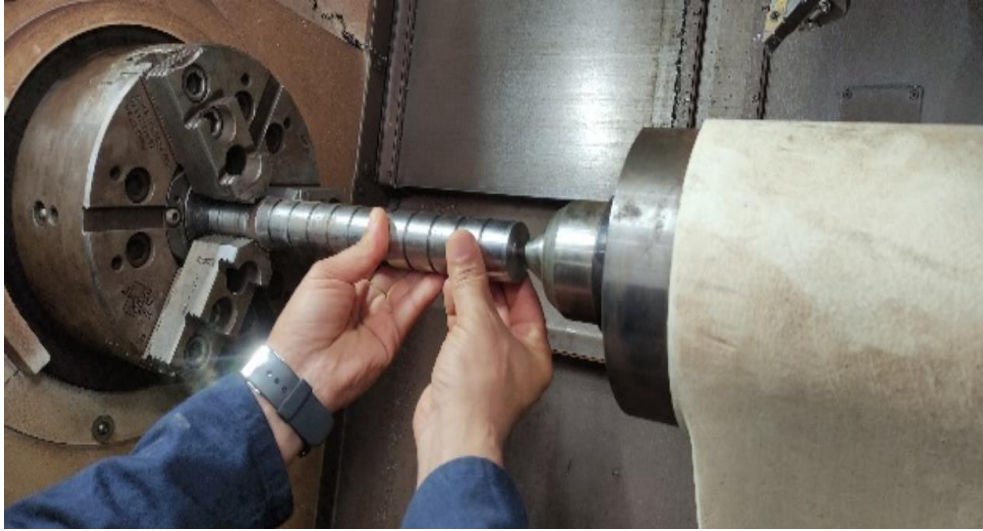


Figure III.10 : Photo de l'éprouvette montée sur le tour.



Figure III.11 : outil à gorger et à tronçonner

Pour réduire les éprouvettes d'essais au diamètre désiré, nous avons utilisé un outil à charioter à plaquette triangulaire en carbure métallique revêtu (Figure III.12), qui est un outil robuste et résistant aux chocs. Il est destiné aux opérations d'ébauches (Figure III.13).

Chapitre III: Partie Expérimentale

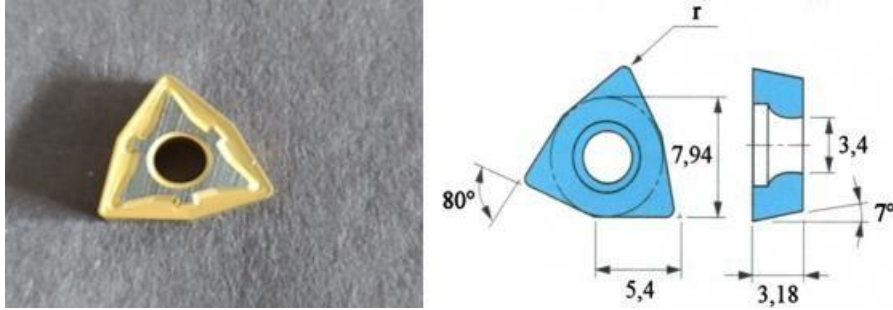


Figure III.12 : plaquettes carbure SECO WNMG080408N NEUVES.



Figure III.14 : bride-vise de fixation.


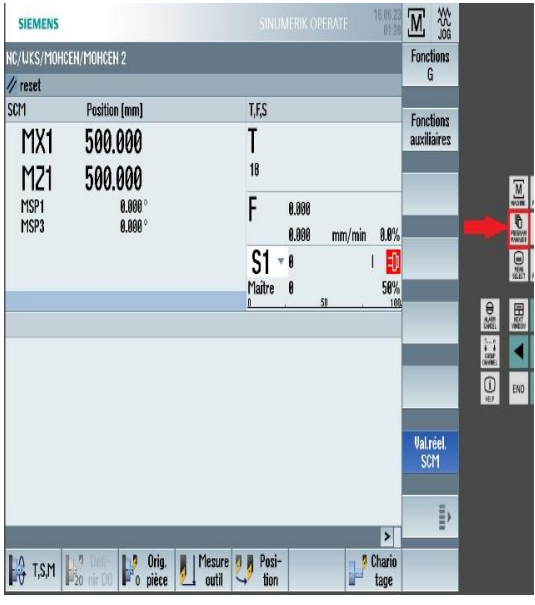
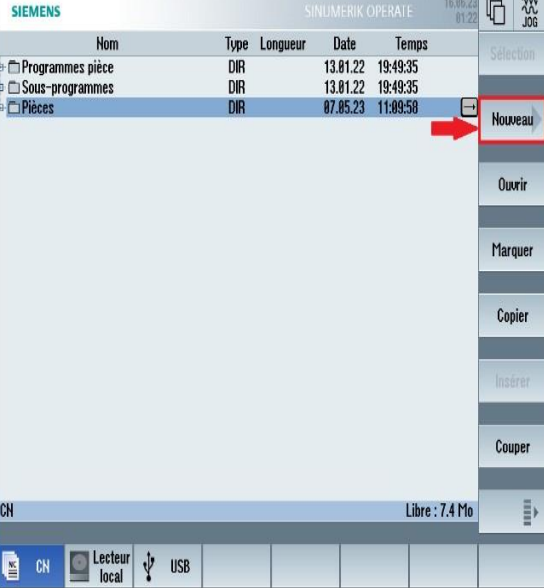


Figure III.13: outil à charioter utiliser pour l'ébauche.

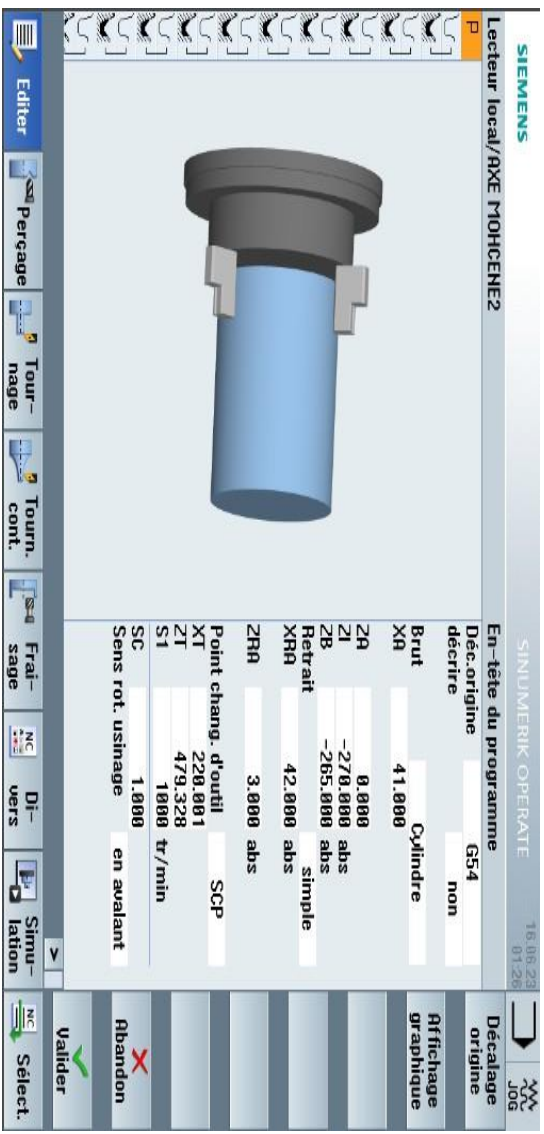
Chapitre III: Partie Expérimentale

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

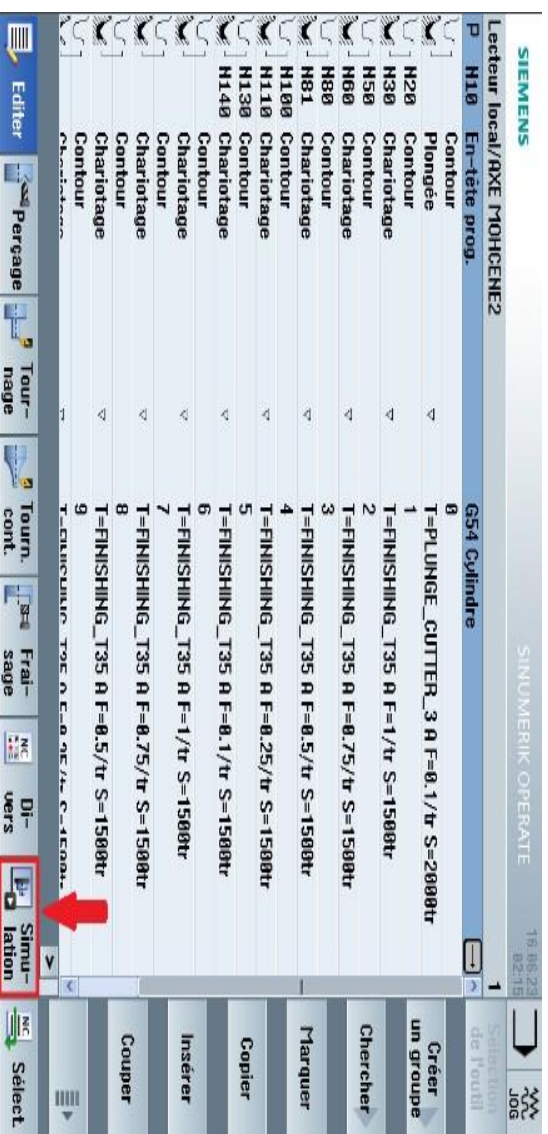
Tableau III.3 : Programmation d'usinage de la pièce sur SHOP-TURN

Etape	Reoresentation																				
1-Création d'un nouveau programme																					
	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Nom</th> <th>Type</th> <th>Longueur</th> <th>Date</th> <th>Temps</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Programmes pièce</td> <td>DIR</td> <td>13.01.22</td> <td>19:49:35</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sous-programmes</td> <td>DIR</td> <td>13.01.22</td> <td>19:49:35</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pièces</td> <td>DIR</td> <td>07.05.23</td> <td>11:09:58</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nom	Type	Longueur	Date	Temps	Programmes pièce	DIR	13.01.22	19:49:35		Sous-programmes	DIR	13.01.22	19:49:35		Pièces	DIR	07.05.23	11:09:58	
Nom	Type	Longueur	Date	Temps																	
Programmes pièce	DIR	13.01.22	19:49:35																		
Sous-programmes	DIR	13.01.22	19:49:35																		
Pièces	DIR	07.05.23	11:09:58																		

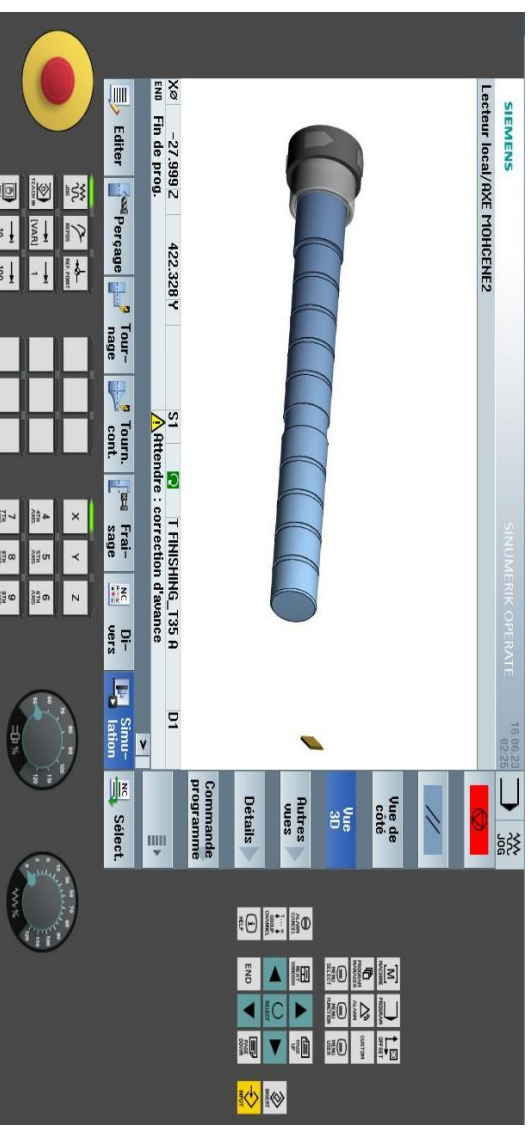
2-Définition du brut



3-Elaborer le programme



4-Simulation de la phase



Chapitre III: Partie Expérimentale

III.8: Plan des expériences :

Notre partie expérimentale consiste à l'usinage d'un arbre en acier de construction de nuance : **XC38** par un outil en carbure métallique.

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

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

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

L'objectif de ces essais est d'étudier l'influence de la vitesse de coupe sur la rugosité de la surface.

III.9: Routage d'usinage :

III.9.1 Opération de Chariotage :

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

III.9.2 La vitesse de coupe V_c :

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

$D = 36$ mm.

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

D : diamètre en point d'usinage (mm).

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

- Pour $N = 1500$ tr/min :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{3.14 \times 36 \times 1500}{1000} \\ &= 169.646 \approx 170 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.9.3 Essai 1 :

Condition d'usinage :

Usinage avec lubrification.

- Avance f variée
- Vitesse de rotation $N = 1500$ tr/min
- Profondeur de passe $a_p = 1$ mm
- $D = 36$ mm.

Tableau III.4 : Tableau des valeurs de la rugosité (R_a) lors de l'usinage avec lubrification.

Palier	N (tr/min)	Vc (m/min)	f (mm/tr)	Nombre de passe	Profondeur de passe (mm)	Ra μm	Rq μm
1	1500	170	0.01	1	0.5	2.747	3.403
2	1500	170	0.025	1	0.5	3.068	3.843
3	1500	170	0.05	1	0.5	1.578	1.883
4	1500	170	0.075	1	0.5	2.970	3.539
5	1500	170	0,1	1	0.5	3.562	4.217

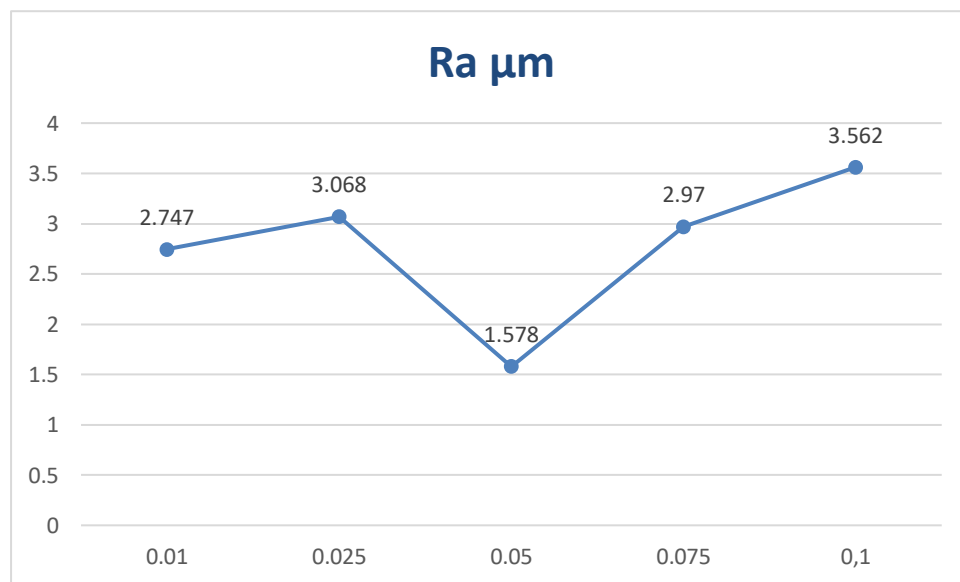


Figure III.15 : graphe a l'usinage avec lubrification.

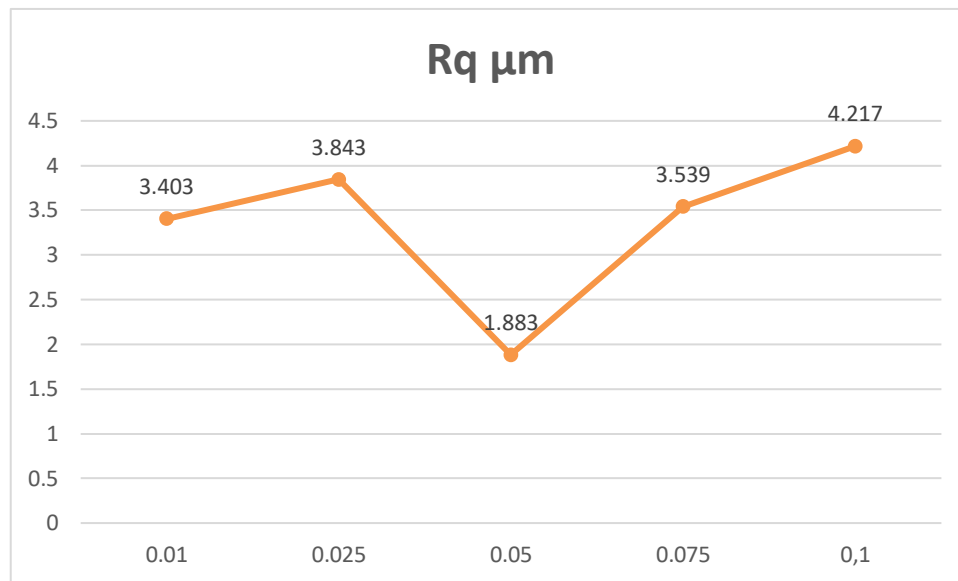


Figure III.16 : graphe a l'usinage avec lubrification.

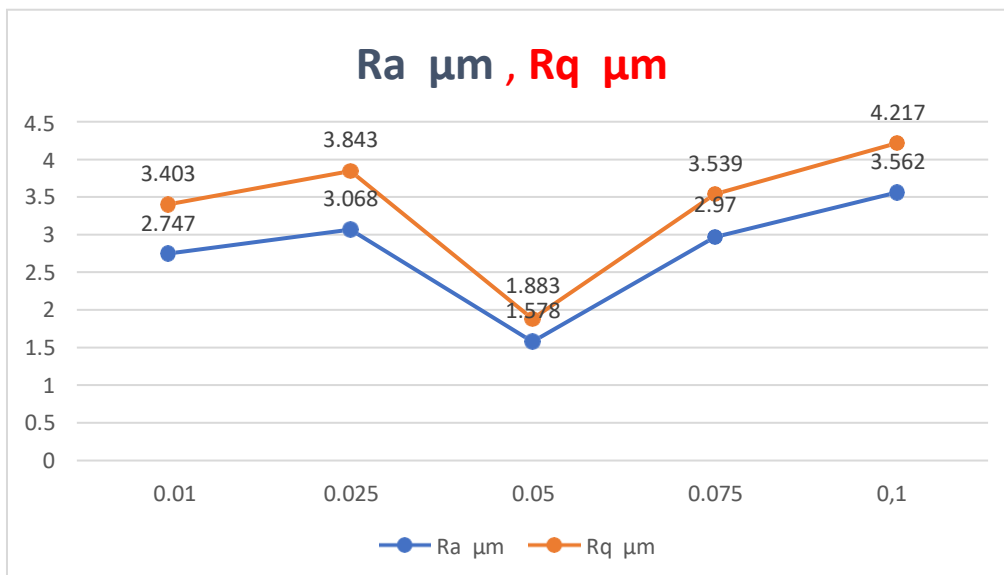


Figure III.17 : graphe a l'usinage avec lubrification.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.9.4 Essai 2 :

Condition d'usinage :

Usinage à sec.

-Avance f variée - Vitesse de rotation N =1500 tr/min - Profondeur de passe $a_p=1$ mm

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

Palier	N (tr/min)	Vc (m/min)	f (mm/tr)	Nombre de passe	Profondeur de passe (mm)	Ra μm	Rq μm
1	1500	170	0.01	1	0.5	1.111	1.436
2	1500	170	0.025	1	0.5	1.866	2.423
3	1500	170	0.05	1	0.5	2.101	2.659
4	1500	170	0.075	1	0.5	1.697	2.162
5	1500	170	0,1	1	0.5	1.738	2.368

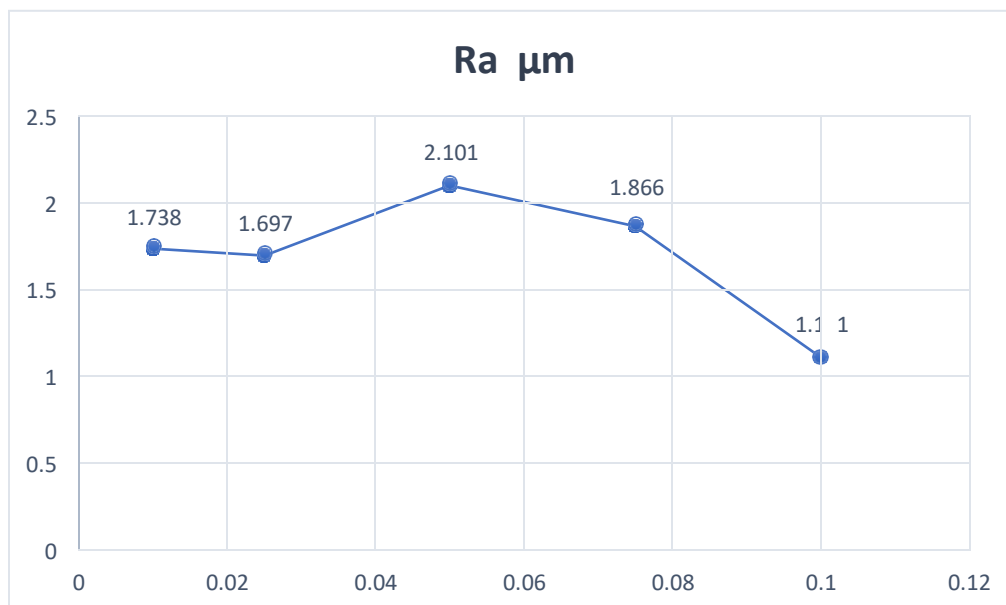


Figure III.18 : graphe a l'usinage à sec.

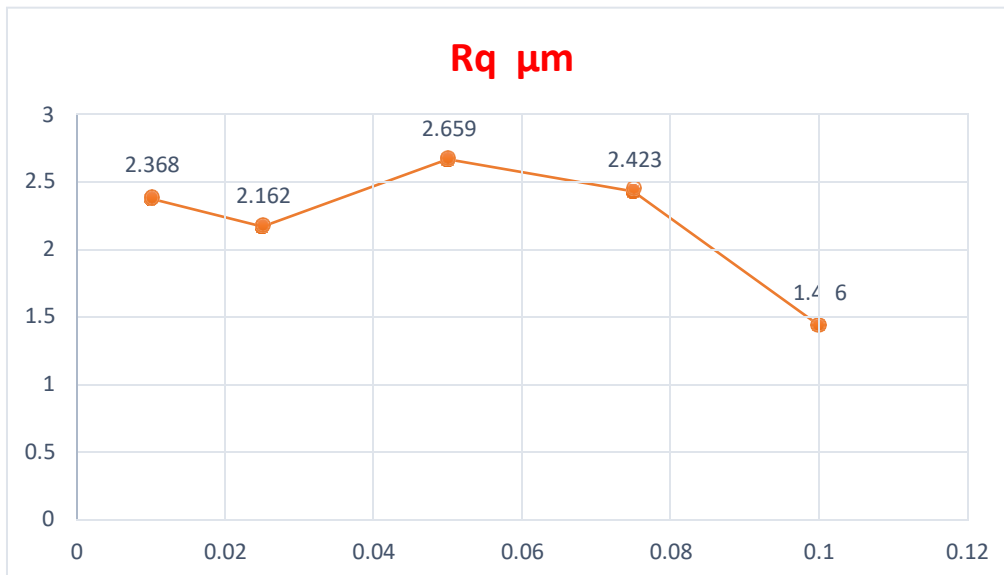


Figure III.19 : graphe a l'usinage à sec.

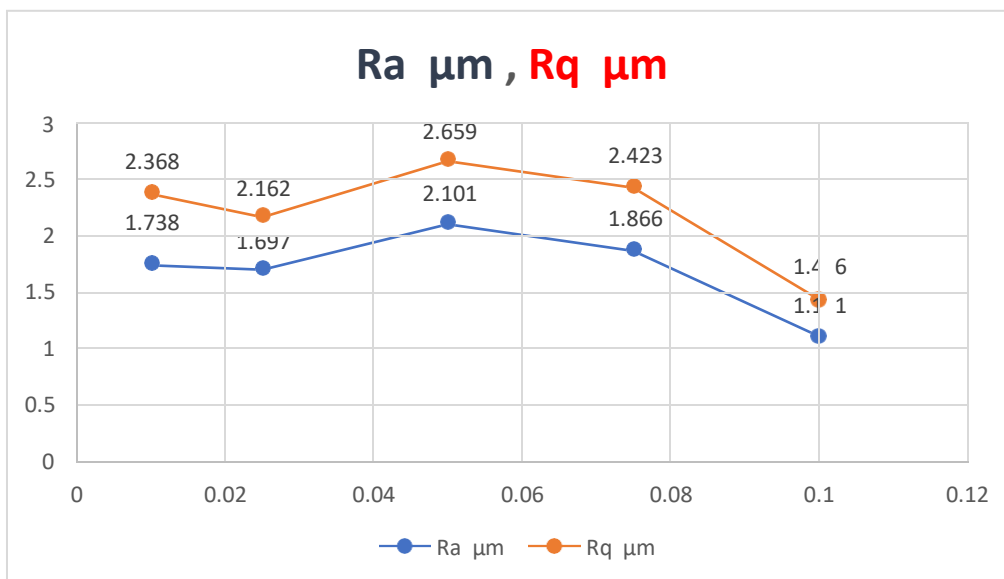


Figure III.20 : graphe a l'usinage à sec.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.9.5 Essai 3 :

Condition d'usinage :

Usinage avec lubrification.

- Avance f variée - Vitesse de rotation $N = 2546$ tr/min - Profondeur de passe $a_p = 1$ mm

- $D = 35$ mm.

Tableau III.6 : Tableau des valeurs de la rugosité (R_a) lors de l'usinage avec lubrification.

Palier	N (tr/min)	Vc (m/min)	f (mm/tr)	Nombre de passe	Profondeur de passe (mm)	R_a μm	R_q μm
1	2546	280	0.05	1	0.25	0.480	0.588
2	2546	280	0.1	1	0.25	0.462	0.560
3	2546	280	0.15	1	0.25	0.421	0.539
4	2546	280	0.20	1	0.25	0.545	0.615
5	2546	280	0,25	1	0.25	0.685	0.821

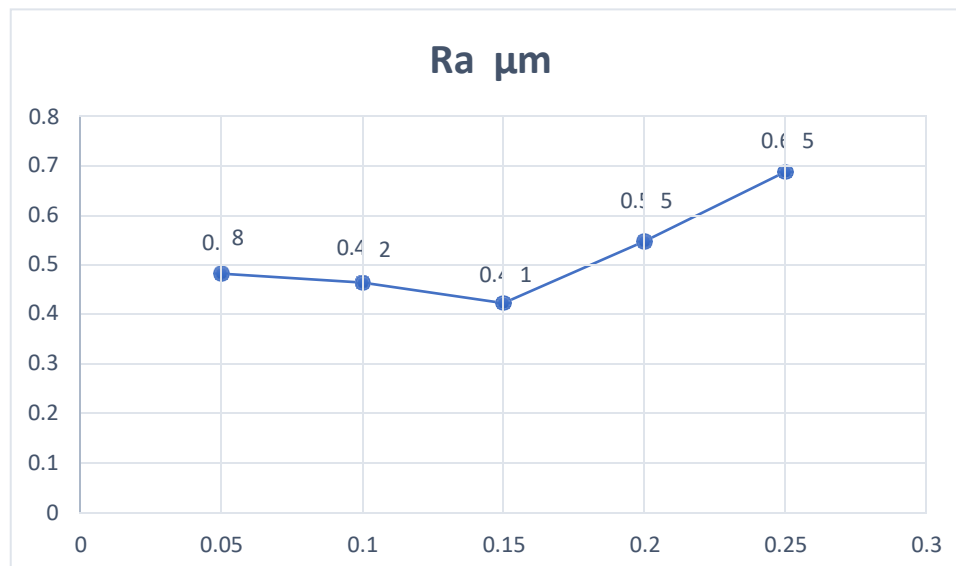


Figure III.21 : graphe a l'usinage avec lubrification.

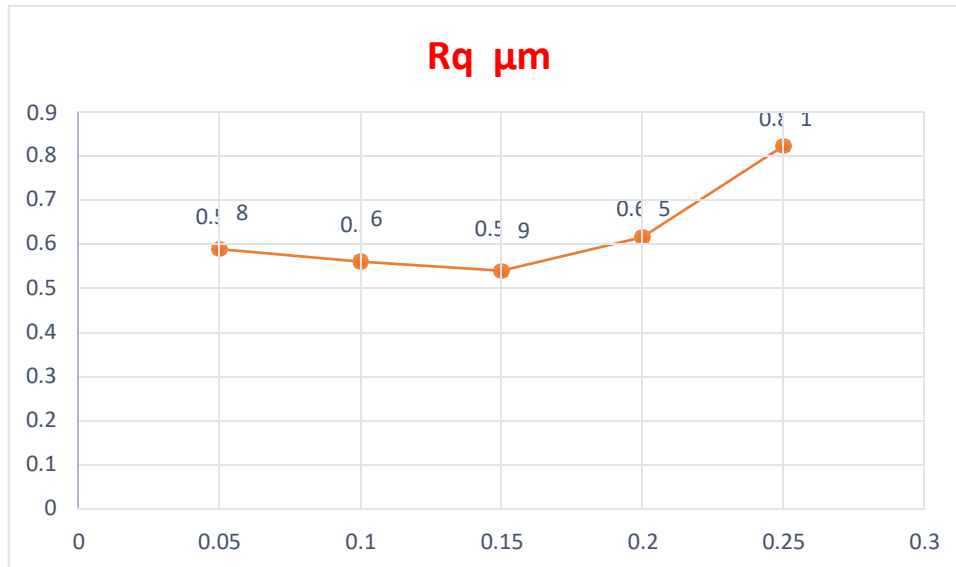


Figure III.22 : graphe a l'usinage avec lubrification.

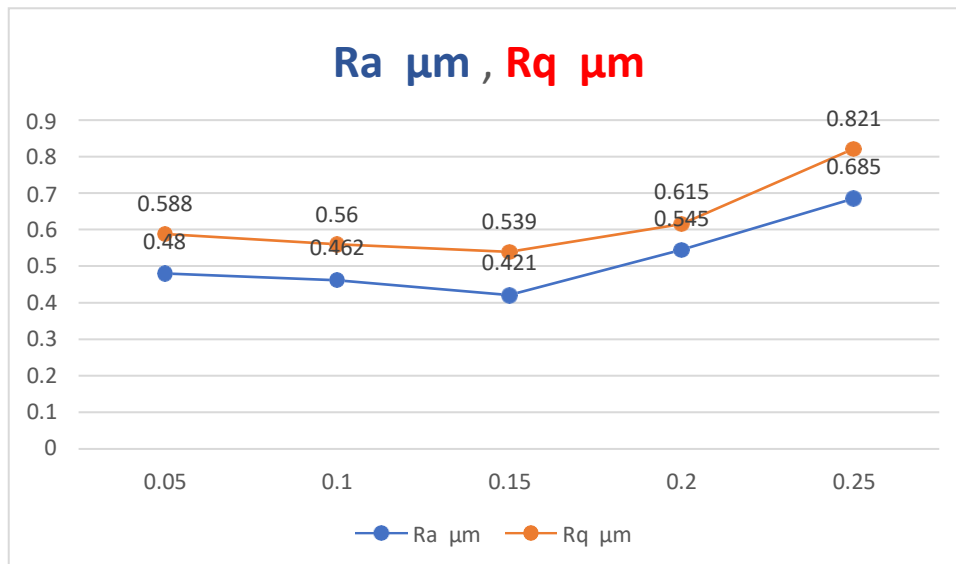


Figure III.23 : graphe a l'usinage avec lubrification.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.9.6 Essai 4 :

Condition d'usinage :

Usinage à sec.

- Avance f variée - Vitesse de rotation $N = 2546$ tr/min - Profondeur de passe $a_p = 1$ mm

Tableau III.7 : Tableau des valeurs de la rugosité (R_a) lors de l'usinage à sec.

Palier	N (tr/min)	Vc (m/min)	f (mm/tr)	Nombre de passe	Profondeur de passe (mm)	Ra μm	Rq μm
1	2546	280	0.05	1	0.25	0.708	1.046
2	2546	280	0.1	1	0.25	0.527	0.658
3	2546	280	0.15	1	0.25	0.415	0.491
4	2546	280	0.20	1	0.25	0.630	0.717
5	2546	280	0,25	1	0.25	0.810	0.960

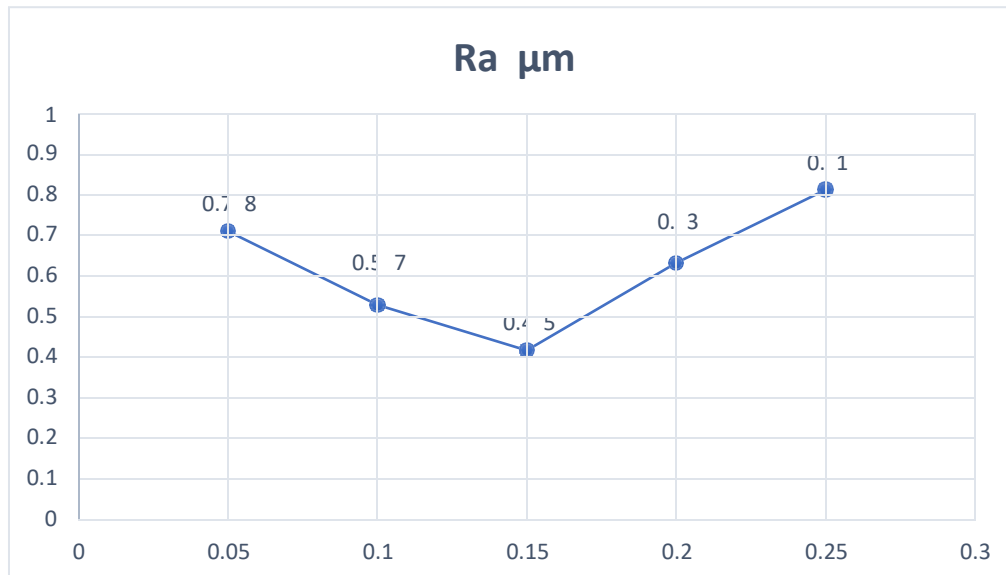


Figure III.24 : graphe a l'usinage à sec.

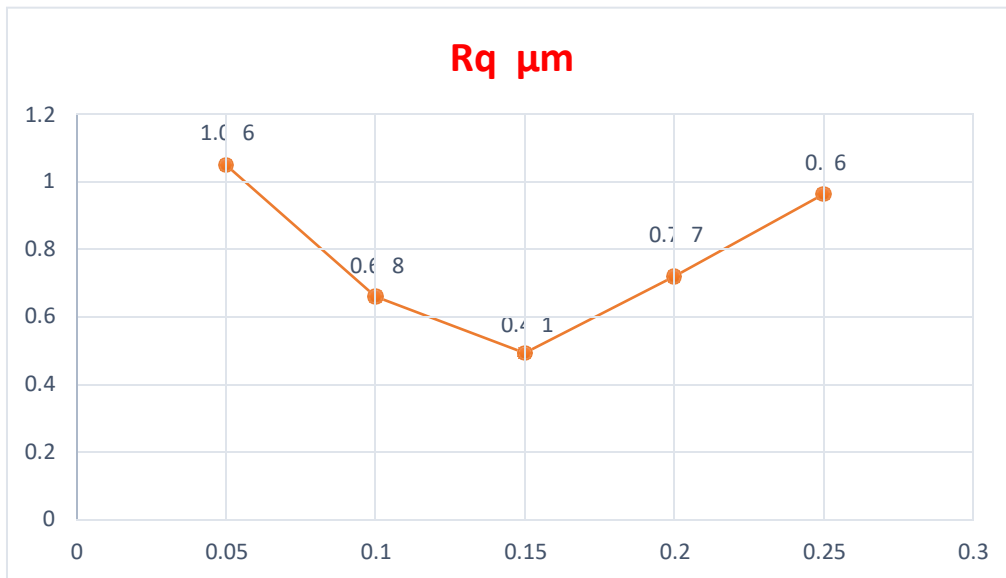


Figure III.25 : graphe a l'usinage à sec.

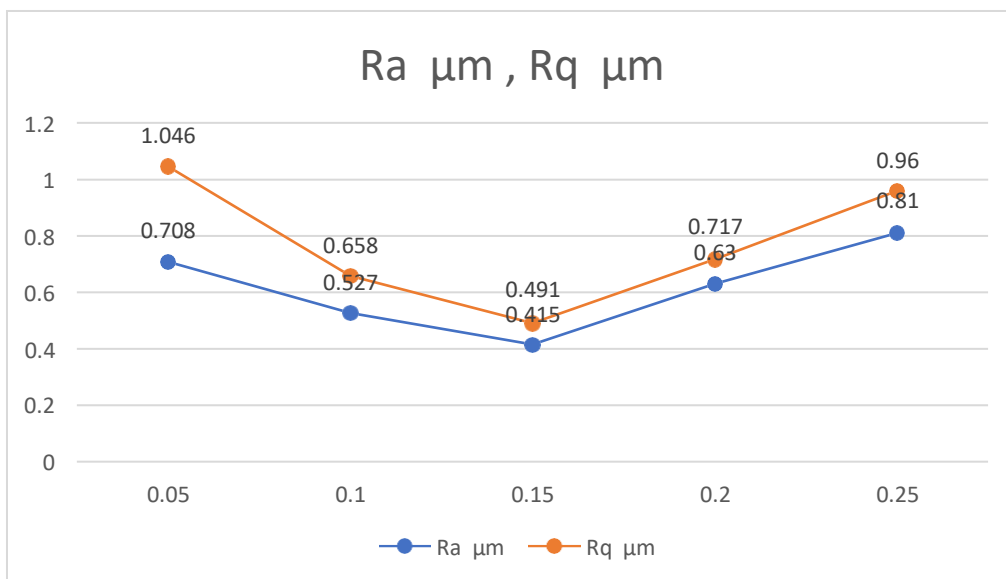


Figure III.26 : graphe a l'usinage à sec.

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.9.7 Mesure les échantillons avec rugosimètre 3D:

Nous choisissons quatre échantillons : palier (1,3)



Figure III.27: Les échantillons des essais.

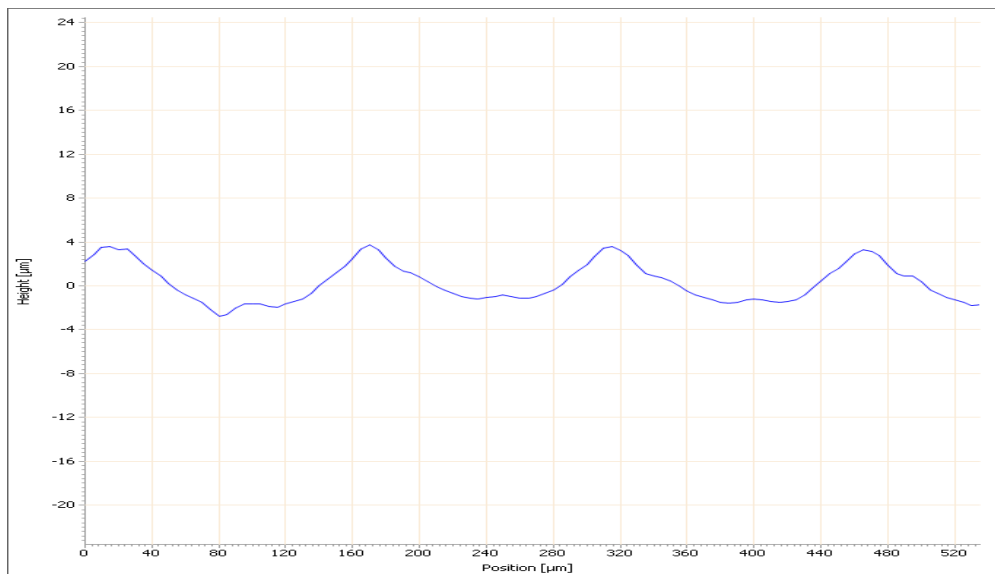


Figure III.28 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 1 avec lubrification.

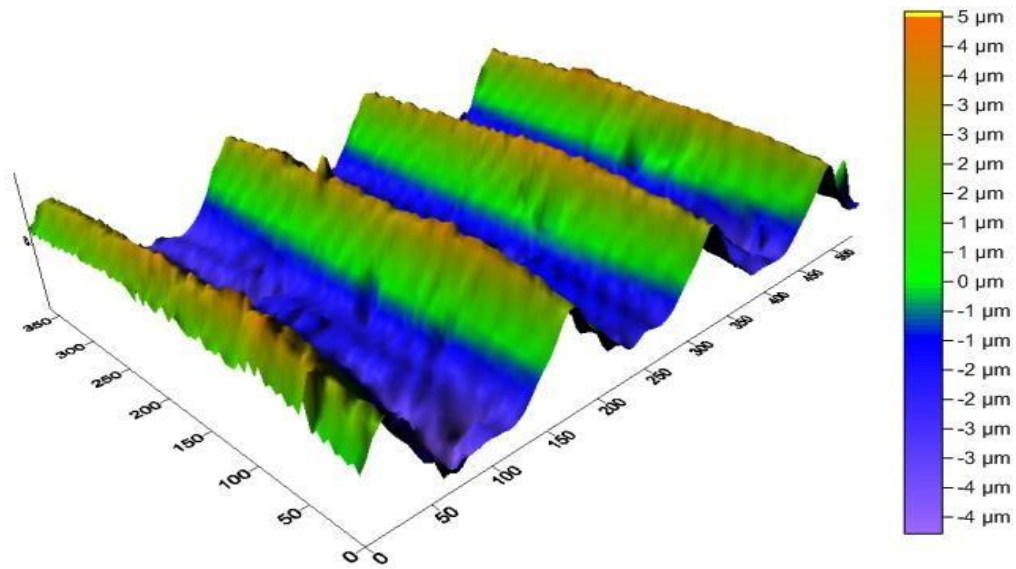


Figure III.29 : Profilographe 3D de l'essai 1 L'usinage avec lubrification.

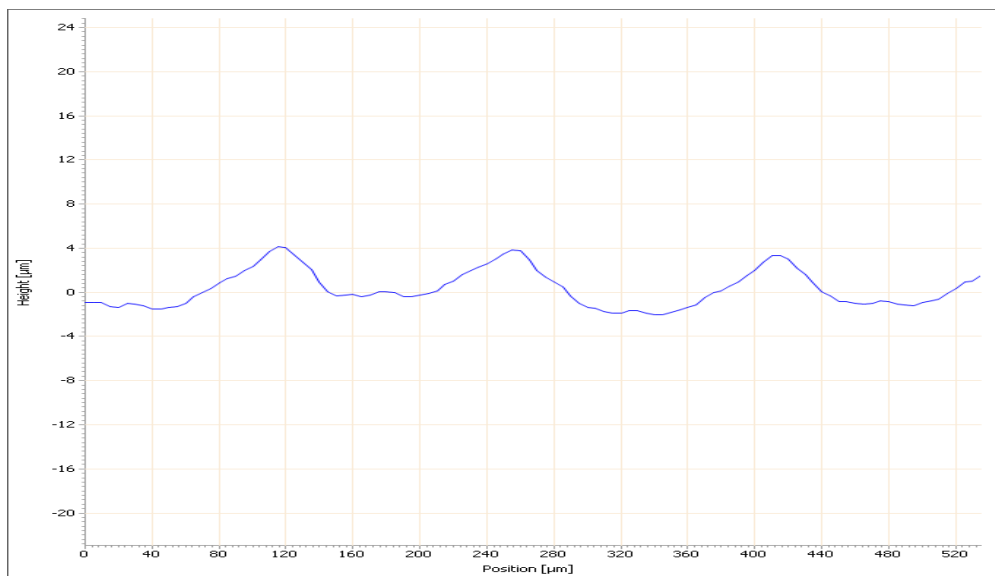


Figure III.30 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 3 avec lubrification.

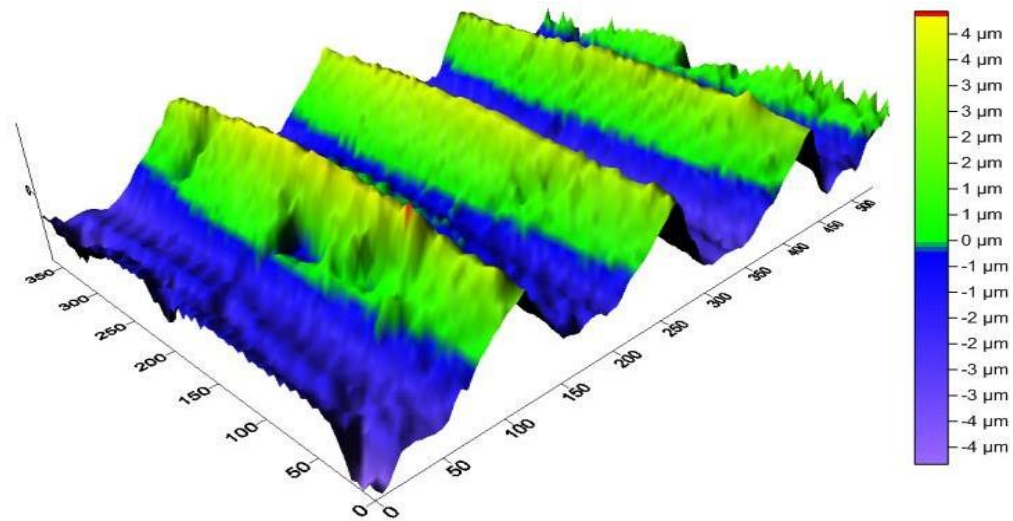


Figure III.31 : Profilographe 3D de l'essai 3 L'usinage avec lubrification.

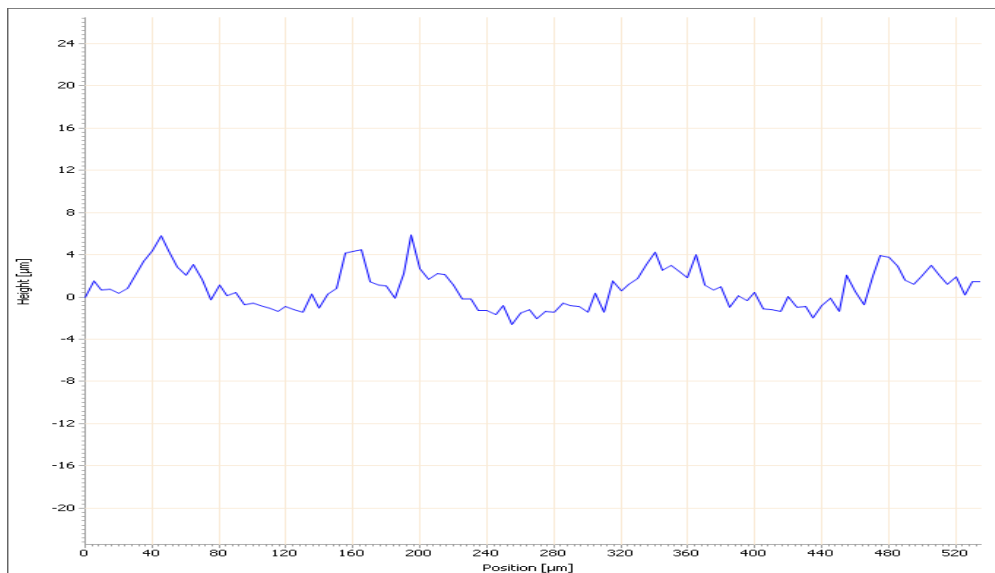


Figure III.32 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 1 son lubrification.

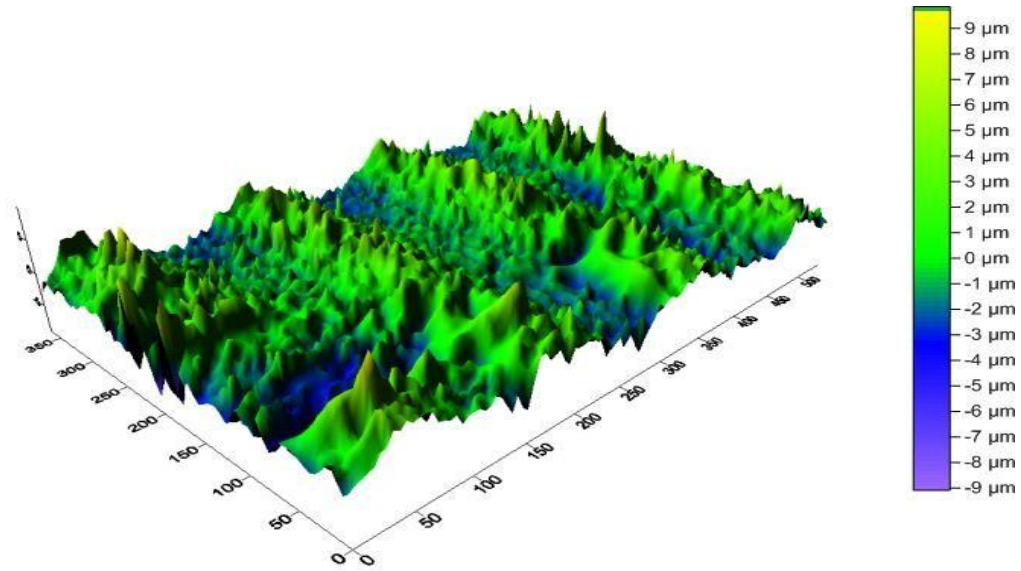


Figure III.33 : Profilographe de L'essai 1 surface usinée a sec.

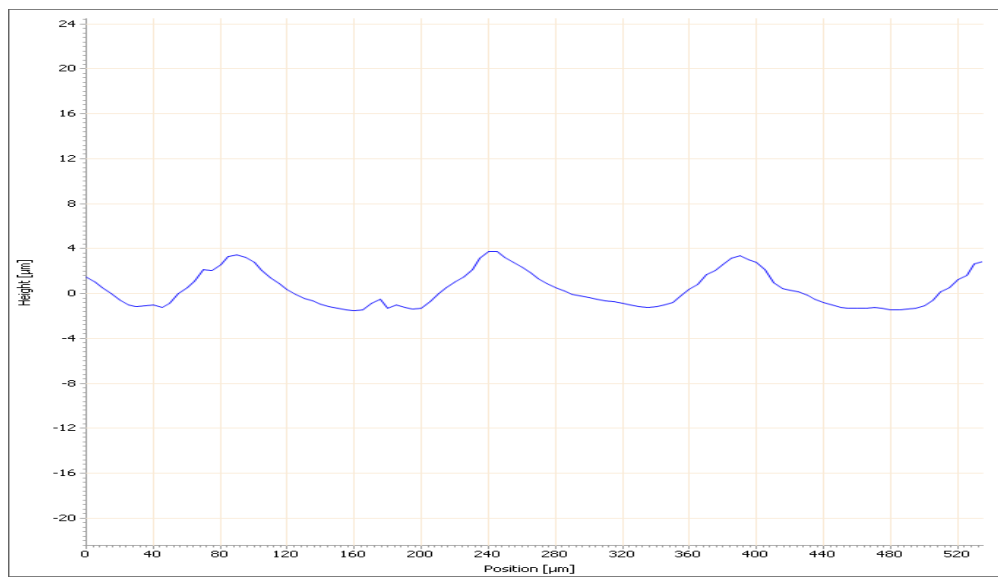


Figure III.34 : GRAPHE 2D de L'usinage échantillon 3 son lubrification.

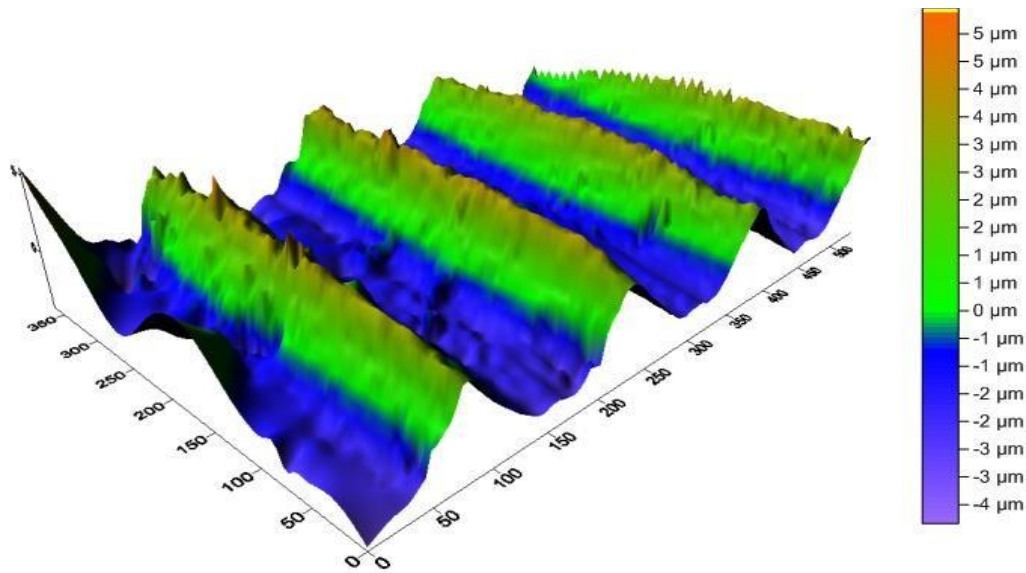


Figure III.35 : Profilographe de L'essai 3 surface usinée a sec.

Discussion :

Notre étude sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier XC38 en prenant comme régime de coupe une avance variable avec une vitesse constante nous a conduit à déduire que l'avance est un paramètre très influant sur l'état de surface au même titre que la lubrification.

Les paramètres de rugosités (R_a) obtenus sont regroupés dans les tableaux (III.4 et III.5 et III.6 et III.7) les graphes de variation de la rugosité sont tracés.

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

R_a = sans lubrification.

R_{a1} = avec lubrification.

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

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

Chapitre III: Partie Expérimentale

Un paramètre plus important que les paramètres de coupe la lubrification qui joue un rôle aussi influant que les paramètres de coupe et la géométrie de l'outil sur la pièce. Un usinage sous lubrification donne automatiquement une durée de vie plus longue à l'outil selon les conditions de coupe utilisées. Pour l'usinage avec lubrification, la rugosité obtenue est inférieure à celle obtenue à sec.

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

Conclusion :

Au terme de cette étude, on peut conclure que la rugosité de surface et la durée de vie de l'outil dépendent directement du régime de coupe choisi lors de l'usinage et spécialement l'avance. La lubrification améliore nettement l'état de surface et la longévité de l'outil mais ne l'assure jamais, la raison pour laquelle on doit effectuer un choix rigoureux pour : La machine-outil, l'outil et sa géométrie, La matière en oeuvre ainsi que la qualification de l'ouvrier.

Conclusion générale

Conclusion générale :

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

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

La lubrification on ne peut s'en passer, elle améliore nettement la qualité de la surface usinée et aussi augmente la durée de vie de l'outil.

On remarque au Chapitre III que les résultats obtenus avec lubrification sont beaucoup meilleur que ceux obtenus à sec.

Références bibliographique

- [1] <https://fabrication1.blogspot.com/2013/05/generalite-sur-lusinage.html>
- [2] **ISSAADI Madjid, MERABTINE AMIRA**, Etude de l'influence des paramètres de coupe sur La précision de l'état de surface obtenue par usinage En tournage Mémoire de Master, 2015, université de mouloud mammeri tizi ouzou
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Usinage>
- [4] <https://notech.franceserv.com/usinage.html>
- [5] <https://fabrication1.blogspot.com/2013/09/les-outils-de-tournage.html>
- [6] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/5514/5514-ressources-usinage-par-enlevement-de-matiere.pdf>
- [7] **A. TOUMINE**, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007
- [8] <http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Le%20tournage/index.htm>
- [9] [http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/profondeur%20de%20passe%20\(usinage\).pdf](http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/profondeur%20de%20passe%20(usinage).pdf)
- [10] <http://kera-industry.com/wp-content/uploads/2014/09/Les-conditions-de-coupes.pdf>
- [11] **bourbia mounira**, influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs Répercussions sur un contact mécanique, thés magister 2009, Département de Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Badji Mokhtar.
- [12] <http://gwyddion.net/documentation/user-guide-fr/roughness-iso.html>
- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide_de_coupe
- [14] http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/co/ch4_8_2.html
-