

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT
DE MECANIQUE**

**Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master
En Construction mécanique**

**Thème
Étude de l'état de surface du matériau Inox 304, après usinage
sur un tour à commande numérique**

Encadré par :

Mr Brahimi Abdelhalim

Réalisé par :

Brairia MED Seifeddine

Lahrech Abdellah

Année universitaire 2021/2022

Remerciement :

Avant tout, nous remercions, Dieu le tout puissant, le Miséricordieux, le Maître des destins de nous avoir guidé et surtout assisté tout au long de nos études jusqu'à l'aboutissement de ce document

Nous tenons à remercier notre promoteur

Mr Brahimi Abdelhalim

Et aussi l'ingénieur de L'atelier MK industrie

MR Mounir Slamani

Pour son dévouement, sa patience, et le partage de son savoir sans limite pour l'aboutissement de ce travail

Nos sincères remerciements pour tous les enseignants et collègues du département de génie mécanique de l'université SAAD DAHLEB.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions

On tient enfin nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont participé et contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail.

Sommaire

Introduction générale :	9
Chapitre I : Usinage, différents types et techniques :	11
1 Définition :	11
2 Type d'usinage :	11
2.1 Fraisage :	11
2.1.1 Différents types des fraiseuses :	12
2.2 Le tournage :	12
2.2.1 . Principe de tournage :	12
2.2.2 Les tours :	13
2.2.3 Classification des machines de tour :	13
2.2.3.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter :	13
2.2.3.2 Les tours à copier :	13
2.2.3.3 Les tours automatiques :	14
2.2.3.4 Les tours à commande numérique :	14
2.2.4 Différentes opérations de tournage :	14
2.2.4.1 Chariotage :	14
2.2.4.2 Dressage :	15
2.2.4.3 Alésage :	15
2.2.4.4 Perçage :	16
2.2.4.5 Rainurage :	16
2.2.4.6 Chanfreinage :	16
2.2.4.7 Tronçonnage :	16
2.2.4.8 Filetage :	17
2.2.5 Conditions de coupe en tournage :	17
2.3 La Rectification :	17
2.3.1 Principe de La Rectification :	18
2.3.2 Avantage de la rectification :	18
2.4 Avantages de la lubrification :	18
CHAPITRE 2 : Généralités sur les états de surface :	21
1 États de surface (rugosité de surface) :	21
1.1 Définition de l'état de surface :	21
1.2 Analyse des surfaces et états de surface :	21
1.3 La topographie d'une surface :	21
1.3.1 A l'échelle macrographique (en mm) :	21

1.3.2	A l'échelle microscopique (en μm) :	21
1.3.3	A l'échelle nanométrique (ou atomique) :	22
1.4	La physico-chimie d'une surface :	22
1.5	Caractériser un état de surface :	23
1.6	Compétences en caractérisation de surface :	24
1.7	Principaux défauts des états de surface :	24
1.8	Les défauts d'états de surface :	24
1.8.1	Défauts du premier ordre :	25
1.8.2	Défauts du deuxième ordre :	25
1.8.3	Défauts du troisième et quatrième ordre :	25
1.8.4	Ordre 1 : défauts de forme : ordre 1 :	25
1.8.4.1	Les causes de ces défauts sont :	26
1.8.5	Ordre 2 : défauts macrographiques, ondulation :	26
1.8.6	Ordre 3 : défauts micrographiques, rugosité :	27
1.8.7	Ordre 4 : arrachement de matière :	27
1.9	Différents types de lignes :	28
1.9.1	Longueur de base, d'évaluation :	28
1.9.2	Ligne de référence :	28
1.9.3	La ligne enveloppe supérieure :	29
1.9.4	La ligne enveloppe inférieure :	29
2	Technologies de mesure :	29
3	La rugosité :	30
3.1	Domaine d'applications :	30
3.2	Paramètres de rugosité unidimensionnelle :	31
3.3	Paramètres d'amplitude de rugosité :	31
3.3.1	Rugosité moyenne R_a :	31
3.3.2	Rugosité moyenne quadratique R_q :	31
3.3.3	Hauteur maximale du profil R_t :	31
3.3.4	Profondeur minimale des vallées R_v , R_m :	32
3.3.5	Hauteur maximale des pics R_p :	32
3.3.6	Amplitude moyenne R_{tm} :	32
3.3.7	Profondeur moyenne des vallées R_{vm} :	32
3.3.8	Hauteur moyenne des pics R_{pm} :	33
3.3.9	Profondeur de rugosité de base R_{3z} :	33
3.3.10	Profondeur de rugosité moyenne R_{3zISO} :	33
3.3.11	Hauteur maximale moyenne R_z :	33

3.3.12	Amplitude crête-à-crête moyenne RzISO :	34
4	Principaux paramètres de la rugosité :	34
5	Mesure de la rugosité :	34
6	Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface :	35
6.1	Superfinition :	35
6.2	Galetage :	35
6.3	Rodage :	36
Chapitre 3 : Partie expérimentale :		38
1	Expérience :	38
2	Matériau utilise :	38
2.1	Propriétés physique et mécanique :	38
2.2	Caractéristiques :	38
3	Machine-outil utilisés :	38
4	Outil de coupe utilisé:	39
4.1	Plaquette :	39
4.2	La Fiche technique :	40
5	Présentation de l'éprouvette :	41
5.1	Les paramètres d'usinage :	44
5.2	Rugosimètre utilisé :	45
5.3	Résultat obtenues :	46
Condition d'usinage :		54
DISCUSSION :		60
Conclusion :		61

LISTE DES FIGURES :

Figure 1:1- Méthodes et démarches d'étude de l'usinage, 2- Taux d'utilisation des différents types de procédés dans l'industrie [1].	11
Figure 2: Procédure de tournage (8)	12
Figure 3: Chariotage [10].	14
Figure 4: Opération de chariotage en tournage [11].	15
Figure 5: Dressage [10].	15
Figure 6: Alésage [10].	15
Figure 7: Perçage [10].	16
Figure 8: Rainurage [10].	16
Figure 9: chanfreinage [10].	16
Figure 10: Tronçonnage [10].	17
Figure 11: Filetage [10].	17
Figure 12: Conditions de coupe [12].	17
Figure 13: opération de la Rectification [6]	18
Figure 14: liquide de coupe [11].	18
Figure 15: Défauts géométriques d'une surface.	22
Figure 16 : Caractériser un état de surface	23
Figure 17: Profil de surface [7].	25
Figure 18: Principaux défauts de surfaces [1].	25
Figure 19: Défauts d'ordre1	26
Figure 20: motif d'ondulation.	27
Figure 21: arrachement de matière [7].	28
Figure 22: Ligne des moindres carrés [8]	29
Figure 23: ligne enveloppe inférieure et supérieure [8].	29
Figure 24: Hauteur maximale du profil Rt [6].	32
Figure 25: Hauteur maximale moyenne Rz[6]	33
Figure 26: Rugosimètre[1].	34
Figure 27: opération de super finition [10].	35
Figure 28: opération de galetage [1]	36
Figure 29: types de rodage [1]	36
Figure 30: TOUR CN LEADWELL T-6.	39
Figure 31: graph représente la gamme de plaquette (V_c en fonction de l'avance f)	39
Figure 32: boîte de 10 pièces de plaquettes pc8110.	40
Figure 33: plaquette PC8110	41
Figure 34: porte-plaquette.	41
Figure 35: dessin de définition de la pièce	42
Figure 36: la pièce avant le chariotage	43
Figure 37: la pièce après le chariotage.	43
Figure 38: l'enlèvement de matière avec pc8110	43
Figure 39: l'Etat de la plaquette avant et après le chariotage.	44
Figure 40: Rugosimètre 2D Mitutoyo SJ-201M	45
Figure 41: palpeur pointe en diamant de $5\text{ }\mu\text{m}$	46
Figure 42: la différence de l'État de surface entre la pièce 23 et la pièce 1	46

LISTE DES TABLEAU :

Table 1: Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)	38
Table 2: condition d'essai.....	45
Table 3: Des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage	53
Table 4 : les meilleures resultats de Ra.....	60

LISTE DES GRAPHS :

Graphe 1: variation de la rugosité (Ra)en fonction de la vitesse du coup (vc).	54
Graphe 2: variation de la rugosité (Ra)en fonction de la vitesse du coup (vc).	54
Graphe 3: variation de la rugosité (Ra)en fonction de la vitesse du coup (vc).	55
Graphe 4: variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).	55
Graphe 5: Variation de la rugosité (Ra)en fonction de la vitesse du coup (vc).	56
Graphe 6: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).	57
Graphe 7: variation de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance (f).	57
Graphe 8: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).	58
Graphe 9: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).	58
Graphe 10: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).	59

RESUME

Le sujet consiste en l'étude de la rugosité et la qualité de surface du matériau inox 304, obtenue après usinage sur un tour à commande numérique dans le but de montrer l'importance des paramètres de coupe et leurs impacts sur la rugosité de surface

ABSTRACT

The subject consists in the study of the roughness and the quality of surface of the material stainless 304, obtained after machining on a numerical control lathe with the aim of showing the importance of the cutting parameters and their impacts on the surface roughness.

ملخص

يتكون الموضوع من دراسة خشونة وجودة سطح المادة المقاومة للصدأ 304، والتي تم الحصول عليها بعد مرور على الالة مخرطة التحكم العددي بهدف إظهار أهمية اعدادات القطع وتأثيراتها على خشونة السطح.

Introduction générale :

Historiquement, la recherche sur l'usinage s'est concentrée sur deux aspects : le premier aspect concerne le développement technologique qui permet d'améliorer la productivité ainsi que la qualité des pièces finies, le deuxième aspect est la modélisation qui permet la prédiction des efforts de coupe, des champs de température et des propriétés des surfaces finies [1]. Cependant, le processus de fabrication, en particulier l'usinage, joue un rôle important sur la qualité et l'intégrité des surfaces réalisées. La complexification constante des systèmes de fabrication et la concurrence amènent les technologies d'usinage à se développer rapidement. Les machines deviennent de plus en plus rapides et puissantes dans le but d'obtenir des gains de productivité [2].

La connaissance de l'impact que peut avoir l'usinage de la surface d'un produit fini à forte valeur ajoutée est d'un intérêt primordial pour les ingénieurs et les scientifiques. Les défis principaux sont alors la prédiction du copeau formé, des évolutions de la microstructure, du comportement mécanique et du comportement en corrosion des matériaux usinés. De nombreuses études adoptant des approches numériques et expérimentales ont été réalisées dans l'objectif d'analyser la formation du copeau. Par contre, beaucoup moins d'attention a été portée sur le lien entre les conditions d'usinage appliquées et les propriétés physico-chimiques des surfaces usinées qui en dépendant (rugosité de la surface, contraintes résiduelles induites, transformation de phase, recristallisation, dureté, structures de dislocation...) [7].

L'étude de l'influence de cette dernière, ainsi que la lubrification du contact de surface contribuent à l'amélioration des performances et la durée de vie des mécanismes. Beaucoup d'études furent entreprises pour mieux comprendre, et maîtriser l'influence des paramètres de rugosité sur les systèmes mécaniques, D'où la nécessité de la caractérisation topographique des surfaces en présence, dont dépend la représentation aussi fidèle et complète du lubrifiant. La qualité des états de surface est l'un des aspects les plus pertinents des opérations d'usinage, puisqu'elle représente la phase finale dans le cycle de production pour l'amélioration du degré de finition des surfaces et les propriétés dimensionnelles et géométriques des pièces mécaniques. Donc, il est important de se rendre compte de l'influence des différents facteurs impliqués dans le processus de la coupe afin de choisir les paramètres appropriés qui permettent d'atteindre la qualité des surfaces désirée et qui dépend de la géométrie de l'outil, des conditions de coupe et des phénomènes mise en jeu lors de la coupe [11].

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

CHAPITRE : 01

Chapitre I : Usinage, différents types et techniques :

Ce chapitre, présente des généralités concernant les différents procédés d'usinage des métaux et surtout l'usinage par tournage et ses différentes opérations. Un grand intérêt a été donné à l'état de surface des pièces usinées.

1 Définition :

Les procédés d'usinage par enlèvement de matière sont des techniques de mise en forme largement utilisées dans l'industrie. Il existe de nombreux procédés d'usinage, le fraisage, le perçage, le tournage, le découpage, etc. bien que ces procédés sont essentielle dans la fabrication de pièces ; ils sont toujours en évolution et l'étude ce fait sur le plan théorique et expérimentale. La figure 1 montre que la méthode expérimentale représente plus de 45% de l'ensemble des méthodes d'études des procédés d'usinage. En outre, le tournage représente presque un tiers des opérations d'usinage dans l'industrie devant le fraisage (Fig. 1) [1].

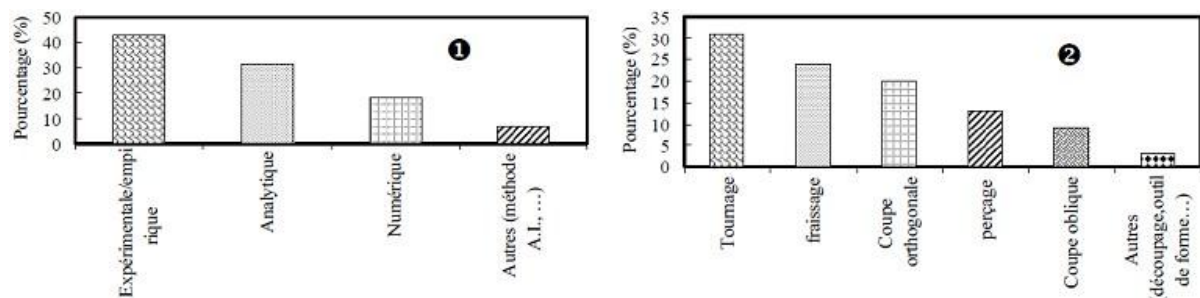


Figure 1:1- Méthodes et démarches d'étude de l'usinage, 2- Taux d'utilisation des différents types de procédés dans l'industrie [1].

Bien que cette synthèse date de 1998, elle montre l'importance des études expérimentales qui permettent de mieux comprendre le procédé d'usinage. Elle montre également que le tournage reste toujours le procédé le plus utilisé dans l'industrie et le plus étudié [1].

2 Type d'usinage :

Les opérations d'enlèvement de matière par outils coupants représentent, encore aujourd'hui, une part très importante des procédés de mise en forme des matériaux. Dans l'usinage des matériaux on a plusieurs types d'usinage, mais dans ce chapitre on présentera que deux types d'usinage qui son très important dans la réalisation des pièces (fraisage, tournage) et qui sont basés sur l'enlèvement de la matière [1].

2.1 Fraisage :

L'opération de fraisage est sans aucun doute l'une des plus polyvalentes, permettant l'obtention des surfaces planes précises et aussi dans le cas des fraiseuses à commande numérique, de profils complexes et de surfaces 3D. Dans ce type de mise en forme, l'outil est entraîné en rotation par la

Broche de la machine, et un déplacement relatif est effectué entre la pièce et l'outil de coupe afin de produire sur la pièce la forme désirée. Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de tournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. On note qu'il existe plusieurs types de fraiseuses [3].

2.1.1 Différents types des fraiseuses :

Le fraisage s'effectue sur différents types de machines :

- Fraiseuses universelles
- Fraiseuses de production
- Fraiseuses spéciales

2.2 Le tournage :

2.2.1 . Principe de tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce (Fig 2). La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes) [4].

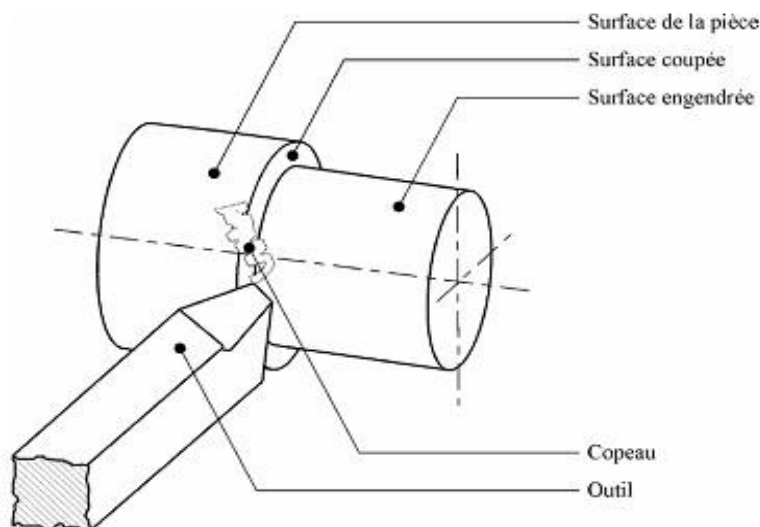


Figure 2: Procédure de tournage (8)

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe v_c) et le

Mouvement d'avance (vitesse d'avance V_f). La fréquence de rotation de la broche est donnée par l'équation suivante [5].

$$N = v_c / \pi \cdot \phi$$

$$v_f = N \times f$$

ϕ : l'angle de direction d'avance.

N : vitesse de rotation

F : l'avance

V_c : vitesse de coupe

2.2.2 Les tours :

Le tour permet de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale des 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 [5].

2.2.3 Classification des machines de tour :

Les machines-outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont :

2.2.3.1 Les tours parallèles à charioter et à fileter :

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou des 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 [6].

2.2.3.2 Les tours à copier :

Ils permettent l'usinage des 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 [6].

2.2.3.3 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 [6].

2.2.3.4 Les tours à commande numérique :

Les machines à commandes numériques typiques sont en fait des tours et des fraiseuses conventionnels qui sont actionnées par des moteurs électriques et comme le nom le dit, commandés numériquement et dont la trajectoire est contrôlée par un ordinateur. On peut retrouver comme machine-outil CNC : un tour, centre d'usinage, une fraiseuse, une rectifieuse, machines à identifier les pièces, en fait n'importe quelle machine que l'on peut programmer.

Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce. Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces. La flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives [6].

2.2.4 Différentes opérations de tournage :

2.2.4.1 Chariotage :

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure (Fig 3) [6].

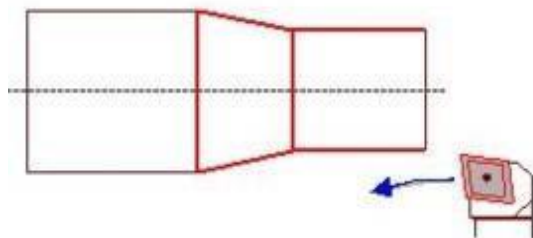


Figure 3: Chariotage [6].

En tournage, le chariotage (Figure 4) est une opération consistant à usiner sur un tour un cylindre d'un certain diamètre par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce Z. Les paramètres de coupe sont l'avance (f), la profondeur de passe (a_p) et la fréquence de rotation (N) [7].

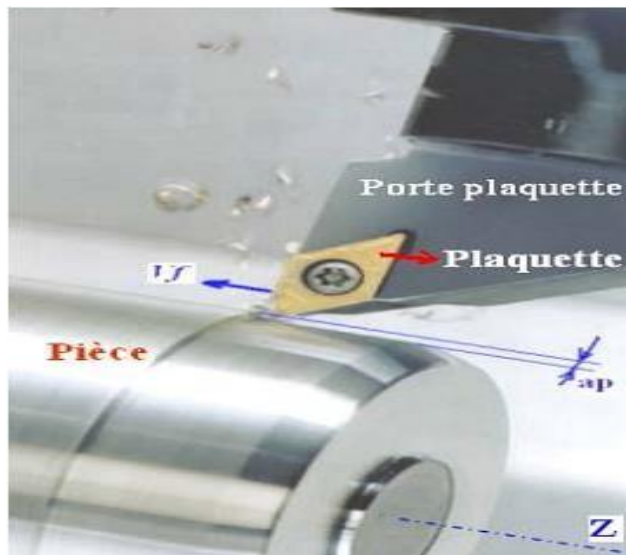


Figure 4: Opération de chariotage en tournage [7].

2.2.4.2 Dressage :

C'est une opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure (Figure 5) [6].

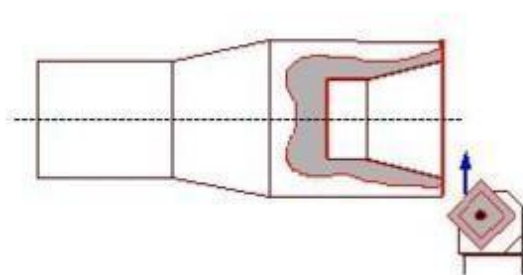


Figure 5: Dressage [6].

2.2.4.3 Alésage :

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure (Figure 6) [6].

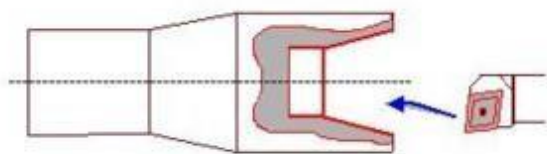


Figure 6: Alésage [6].

2.2.4.4 Perçage :

C'est une opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt (Figure 7).

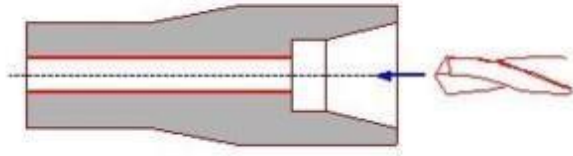


Figure 7: Perçage [6].

2.2.4.5 Rainurage :

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un Circlips ou d'un joint torique par exemple (Figure 8).

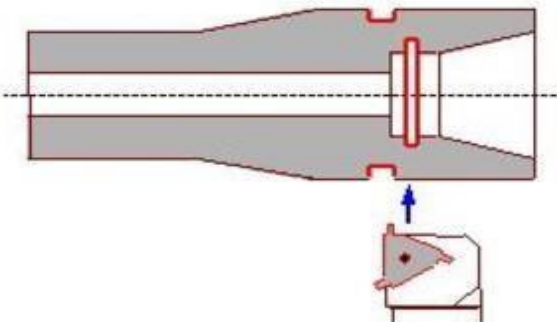


Figure 8: Rainurage [6].

2.2.4.6 Chanfreinage :

C'est une opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle. Vif (Figure 9).

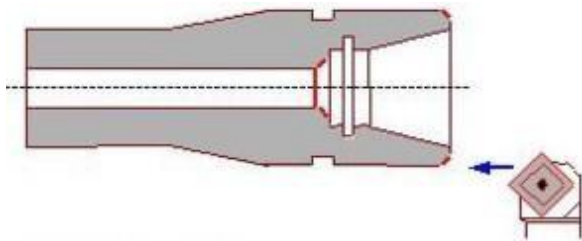


Figure 9: chanfreinage [6].

2.2.4.7 Tronçonnage :

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon (Figure 10).

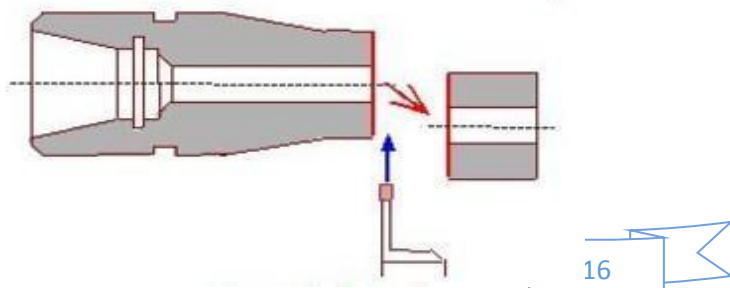
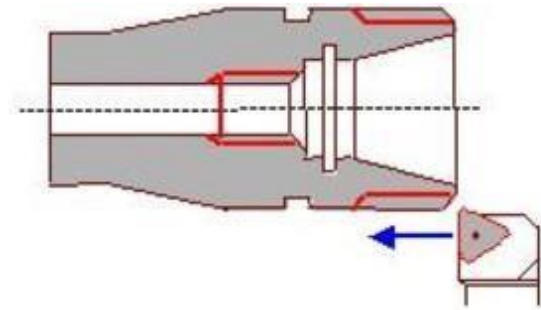
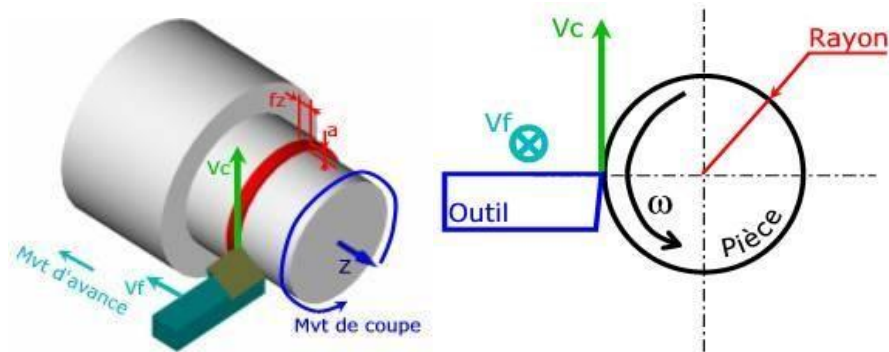


Figure 10: Tronçonnage [6].**2.2.4.8 Filetage :**

C'est une opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur (Figure 11) [6].

**Figure 11:** Filetage [6].**2.2.5 Conditions de coupe en tournage :**

Les paramètres de coupe sont choisis mécaniques selon la matière à usiner et de l'outil (Figure 12). Ils sont indépendants de la machine utilisée et des caractéristiques géométriques de la pièce et de l'outil [8].

**Figure 12:** Conditions de coupe [8].**2.3 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.

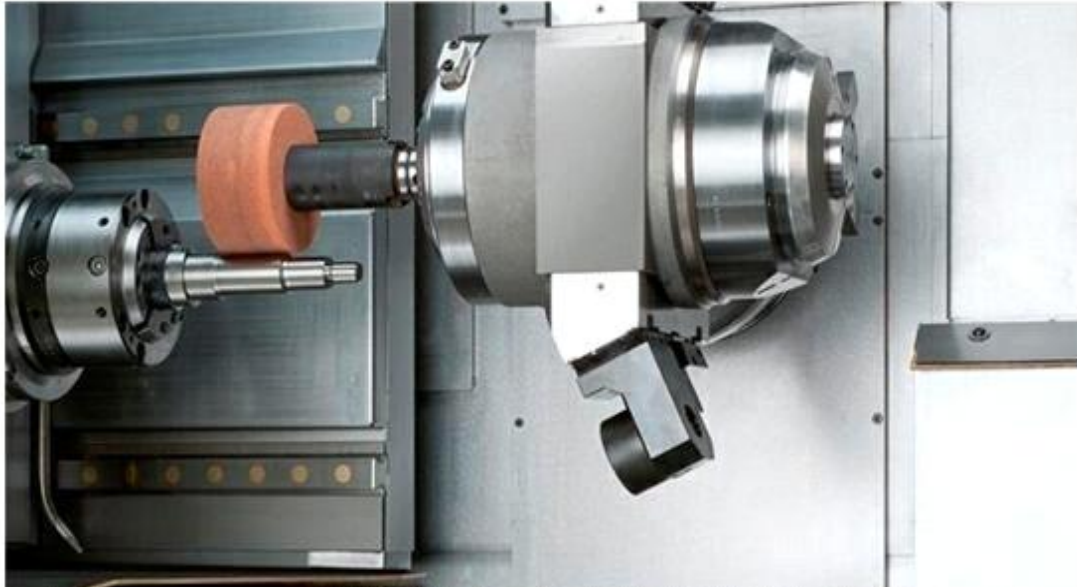


Figure 13: opération de la Rectification

2.3.1 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 frottantes, par exemple la portée d'un arbre qui tournera dans un palier lisse ou dans un joint d'étanchéité.

2.3.2 Avantage de la rectification :

- Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs.
- Pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm) et donc d'usiner des pièces plus précises.
- Obtenir un état de surface poussé ($< 0,1 \text{ Ra}$) [9].

2.4 Avantages de la lubrification :



Figure 14: liquide de coupe [10].

Un liquide de coupe, et plus généralement un fluide d'usinage, 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
- assuré aux opérateurs de bonnes conditions de travail.

CHAPITRE : 02

CHAPITRE 2 : Généralités sur les états de surface :

La structure superficielle lors de l'usinage de métaux par enlèvement de copeaux est Déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la face usinée. Elle Varie essentiellement selon le routage d'usinage, les conditions de coupe, et la Matière en œuvre. Et la rigidité d'un système d'usinage. [11]

1 États de surface (rugosité de surface) :

1.1 Définition de l'état de surface :

La rugosité est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et Macrographique [11].

Les surfaces usinées ne sont jamais parfaites, elles présentent au contraire des défauts de Toutes sortes dus aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, à la rigidité du montage et de la machine, à la formation des copeaux, aux efforts de coupe, etc. On sait depuis longtemps que ces défauts influent profondément sur le fonctionnement et la tenue en service des mécanismes et la bonne exécution de leurs fonctions : guidage, étanchéité, etc. Plus la qualité d'une surface est proche de la perfection, plus elle est difficile à obtenir et plus son coût est élevé.

Des surfaces inutilement précises causent des pertes économiques qui peuvent être Considérables.

✓ La notion d'état de surface comprend :

L'état physico-chimique (nature, structure, texture des couches superficielles).

L'état géométrique (ensemble des écarts géométriques de la surface réelle par rapport à la Surface géométrique idéale).

1.2 Analyse des surfaces et états de surface :

Avant tout, il faut savoir que la notion de surface et surtout les différents moyens mis en œuvre pour la caractériser (mesures physiques ou chimiques) sont toujours liés à l'épaisseur dans laquelle est effectuée cette détermination. Cette notion d'échelle rend ainsi l'analyse des surfaces particulièrement complexe au regard de la profondeur d'analyse concernée.

À quoi ressemble une surface ? :

1.3 La topographie d'une surface :

D'un point de vue topographique, trois niveaux d'échelle sont possibles en fonction des informations recherchées :

1.3.1 A l'échelle macrographique (en mm) :

La surface est la limite entre le solide et son environnement. C'est la « peau » du produit fini et elle est en général imparfaite. En effet, la surface d'une pièce comporte des irrégularités de forme plus ou moins importantes : ovalisation, manque de rectitude, ondulations, ...

1.3.2 A l'échelle microscopique (en μm) :

La surface présente de nombreuses irrégularités et des altérations mécaniques (telles que sillons, aspérités, stries, joints de grains, porosités, ...) qui se superposent aux défauts de forme. Cette échelle permet alors de définir la géométrie du profil de rugosité

1.3.3 A l'échelle nanométrique (ou atomique) :

La surface peut être schématisée par un empilement irrégulier d'atomes avec une discontinuité dans l'arrangement des atomes du solide, ce qui confère aux atomes de surface une énergie intrinsèque supérieure à ceux du volume. Ces atomes ont ainsi une réactivité plus ou moins grande avec le milieu environnant.

Quel que soit le moyen de mise en œuvre utilisé, les surfaces présentent des écarts géométriques par rapport à leur forme théorique. Comme on le verra par la suite, ces défauts jouent un rôle primordial en tribologie. On peut classer les défauts en fonction de leurs longueurs d'onde L (figure 15) :

- si L est de l'ordre de la taille de la surface, on parle de défaut de forme ;
- lorsque $0.001\text{m} < L < 0.01\text{m}$, on parle de défaut d'ondulation ;
- les défauts de longueur d'onde inférieure sont appelés rugosité.

Dans la suite de l'étude, nous ne considérerons que les défauts de type rugosité. Ceci revient à dire que l'étendue du contact est faible ou que les défauts de forme et d'ondulations sont négligeables. Ces hypothèses sont assez souvent vérifiées mais il ne faudra toutefois pas les perdre de vue.

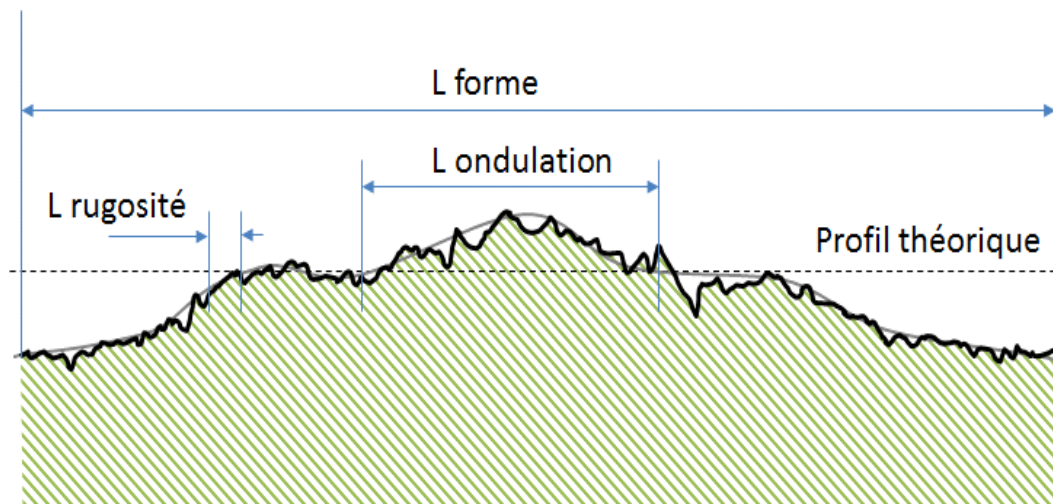


Figure 15: Défauts géométriques d'une surface.

1.4 La physico-chimie d'une surface :

Une surface, « industrielle » ou non, est de nature plus ou moins complexe selon le matériau et peut être considérée comme la superposition de plusieurs strates (couches) résultant des différentes interactions entre le métal et son environnement. On peut par exemple rencontrer les couches suivantes :

- Une zone perturbée par divers phénomènes physiques et/ou chimiques pouvant atteindre quelques centaines de micromètres
- Une zone transformée, constituée par un mélange d'oxydes divers

-Une zone contaminée, caractérisée par la présence de couches physisorbées et chimisorbées de molécules issues de l'atmosphère ambiante, de quelques nanomètres d'épaisseur

En termes de surface, la notion d'épaisseur de surface et donc celle de « volume » apparaît alors clairement.

1.5 Caractériser un état de surface :

La surface (ou l'état de surface) a un lien direct avec les propriétés d'usage demandées et peut donc être à l'origine de nombreuses défaillances. Il est donc essentiel d'y prêter une attention particulière.

Par exemple, certaines fonctions nécessitent de satisfaire à la fois des caractéristiques géométriques, mais également physico-chimiques :

-Aspect

-Tenue au frottement, au glissement, au roulement

-Etanchéité

-Adhésion (assemblage par collage)

-Adhérence (application de revêtement)

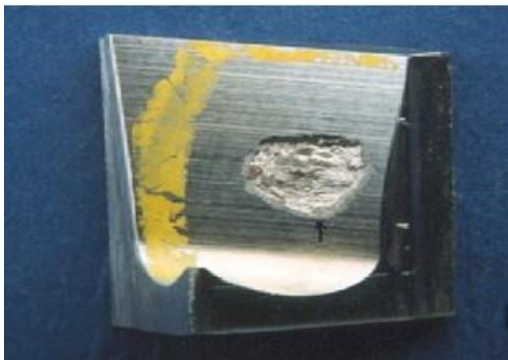
-Tenue à la corrosion...

Cela implique donc de faire appel à des compétences techniques spécifiques, nécessitant par ailleurs l'utilisation de nombreux moyens de caractérisation.

Adhésion



Fatigue superficielle



Abrasion



Corrosion



Figure 16 :Caractériser un état de surface

1.6 Compétences en caractérisation de surface :

Pour répondre à vos problématiques liées à la caractérisation des surfaces et de leurs propriétés, nous mettons à votre service nos compétences pluridisciplinaires et moyens techniques. Nous sommes ainsi en mesure de vous proposer un accompagnement complet en termes de :

- Caractérisation morphologique de l'état de surface (arrachements, marques d'outil, qualité d'usinage, défauts de mise en forme, piqûres, aspérités, matage, ...)
- Mesures de profils de rugosité Ra, Rt, Rz, ...
- Topographie 3D
- Identification de polluants de surface
- Essais de propreté de surface
- Mesures d'énergie de surface
- Caractérisation des modes d'endommagement de surface : usure (abrasion, adhésion, érosion, grippage, cavitation), corrosion, ...

1.7 Principaux défauts des états de surface :

Croquis	Origine des défauts	Désignation	Défauts
	<i>Trace d'outils</i>	<i>Rugosité périodique</i>	<i>micro géométrie</i>
	<i>Vibration haute fréquence (pièce – outils – machines)</i>	<i>Arrachements périodiques</i>	<i>micro géométrie</i>
	<i>Matière hétérogène marquage de manutention</i>	<i>Défaut apériodique</i>	<i>micro géométrie</i>
	<i>Vibration base fréquence (pièce – outils – machine)</i>	<i>Ondulations périodiques</i>	<i>macro géométrie</i>
	<i>Déformation de la pièce ou de l'outil</i>	<i>Défaut de formes apériodiques</i>	<i>macro géométrie</i>

1.8 Les défauts d'états de surface :

L'aptitude d'une pièce à remplir une fonction donnée dépend de nombreux facteurs, Notamment des caractéristiques de son état de surface. L'état de surface est caractérisé par La micro géométrie de la surface, qui joue un rôle important dans certaines fonctions telles Que le frottement, le glissement, le roulement, l'étanchéité, parfois même l'aspect. Pour que les pièces puissent être contrôlées, il faut chiffrer les caractéristiques d'une Surface.

La définition des caractéristiques d'une surface se fait sur un profil de cette surface.

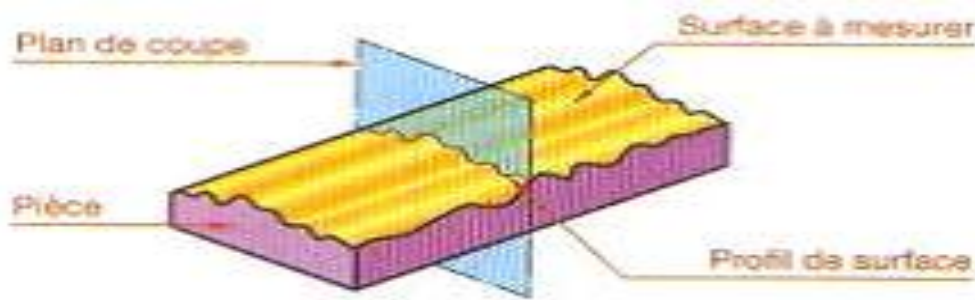


Figure 17: Profil de surface [12]

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions. Notamment des caractéristiques de ses états de surface. En général les défauts de surface jouent un rôle important pour une pièce à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. On ne s'intéresse ici qu'aux défauts géométriques, qui sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (figure 17) [12].

1.8.1 Défauts du premier ordre :

Ce sont des défauts de forme (écart de rectitude, écarts de circularité), défaut aperiodique.

1.8.2 Défauts du deuxième ordre :

Ils sont caractérisés par une ligne ondulée à un caractère périodique du essentiellement à des vibrations de basses fréquences de la pièce et de l'outil générateur.

1.8.3 Défauts du troisième et quatrième ordre :

Ils caractérisent la rugosité de la surface, les défauts du 3ème ordre sont constitués par des stries ou sillons, ce type de défaut a un caractère périodique ou pseudo périodique. Par contre les défauts du quatrième ordre sont constitués par des arrachements, fente, pique ... etc. Ce type de défaut a un caractère aperiodique.

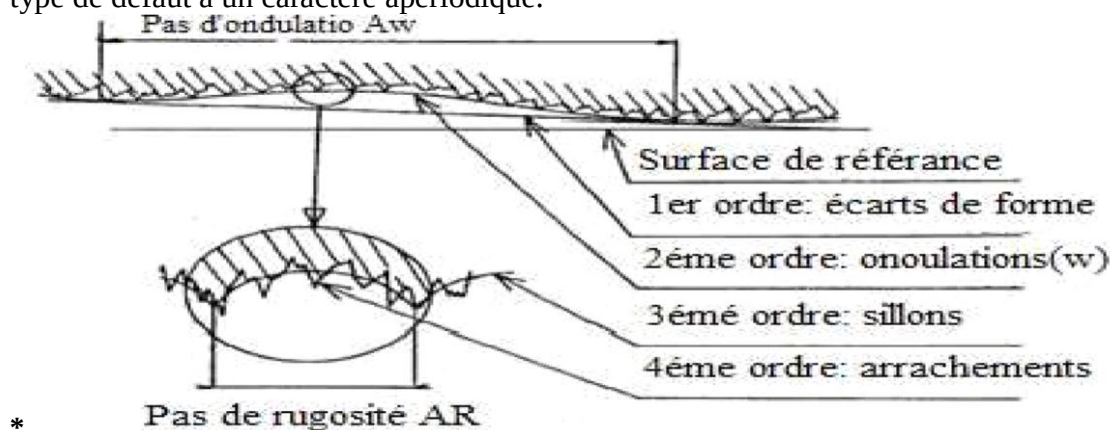


Figure 18: Principaux défauts de surfaces [12].

1.8.4 Ordre 1 : défauts de forme : ordre 1 :

Macro géométrique: l'écart de forme :

- Les défauts de planéité
- Les défauts de rectitude

- Les défauts de circularité

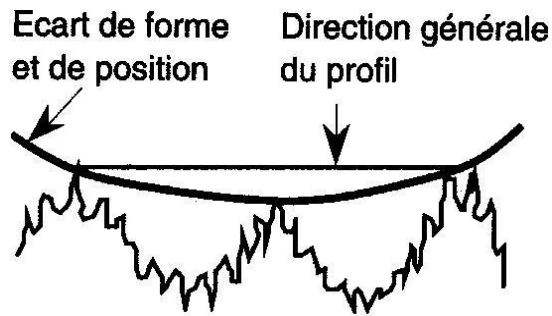


Figure 19: Défauts d'ordre 1

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.

1.8.4.1 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.

Discontinue : Comparateur (maillage) Machine à mesurer tridimensionnelle Continue :

Palpage, interférométrie

On peut également utiliser un marbre ou calibre ou une bague .

1.8.5 Ordre 2 : défauts macrographiques, ondulation :

Ils sont caractérisés par une longueur d'onde de quelques millimètres. Ils sont causés par des vibrations basses fréquences, des mouvements cycliques d'outils.... Pour faire apparaître, on utilise un filtre passe bas qui ne laisse passer que les longueurs d'onde $\lambda > \lambda_w$

(Valeur à déterminer avec le bureau d'étude).

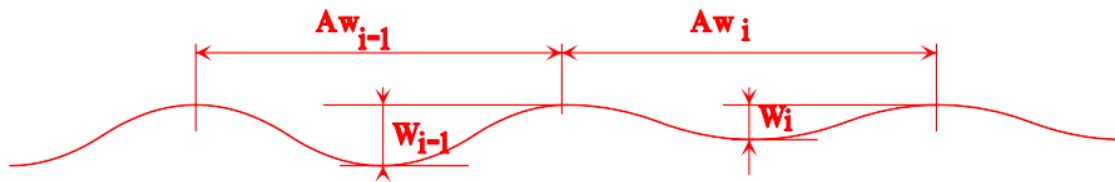


Figure 20: motif d'ondulation.

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

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 [13].

1.8.6 Ordre 3 : défauts micrographiques, rugosité :

Ils sont caractérisés par une longueur d'onde comprise entre 2/100 de millimètre et quelques 1/10 de millimètre. Ils sont causés par des vibrations haute fréquence, les traces des dents Pour les faire apparaître on utilise un filtre passe haut qui ne laisse passer que les longueurs d'onde $\lambda < \lambda_r$ (valeur à déterminer avec le bureau d'étude).

Écart arithmétique moyen (par rapport à la ligne moyenne d'aplanissement) : R_a :

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 fluides.

→ Les problèmes de revêtement (peinture...).

Les causes de ces défauts sont :

Les phénomènes vibratoires haute fréquence.

Les stries ou sillons dus au passage de l'outil (r)[12].

1.8.7 Ordre 4 : arrachement de matière :

Dépend de l'affûtage de l'outil, du type d'outil, de la lubrification, de la vitesse de coupe, de la géométrie de l'outil de coupe, du matériau de l'outil (carbure revêtu...).

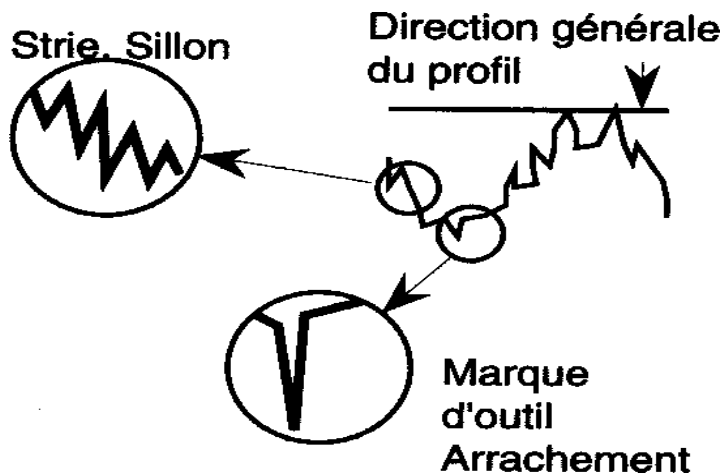


Figure 21: arrachement de matière [12]

1.9 Différents types de lignes :

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

1.9.1 Longueur de base, d'évaluation :

- Longueur d'évaluation : c'est la longueur, mesuré suivant la droite d'orientation

Générale, de la partie de profil utilisée pour le calcul des paramètres caractéristiques.

- Longueur de base : c'est une partie de la longueur de base qui sert à séparer les irrégularités du profil. $L = n \times l$ avec n entier.

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

Longueur de base l . $L = n \cdot l$

1.9.2 Ligne de référence :

C'est la ligne par rapport à laquelle les paramètres du profil seront déterminés. En général, cette ligne n'appartient pas à la surface de référence est l'aligne moyenne. Elle peut être définie de façons ;

- Ligne des moindres carrés à l'intérieur de la longueur de base.

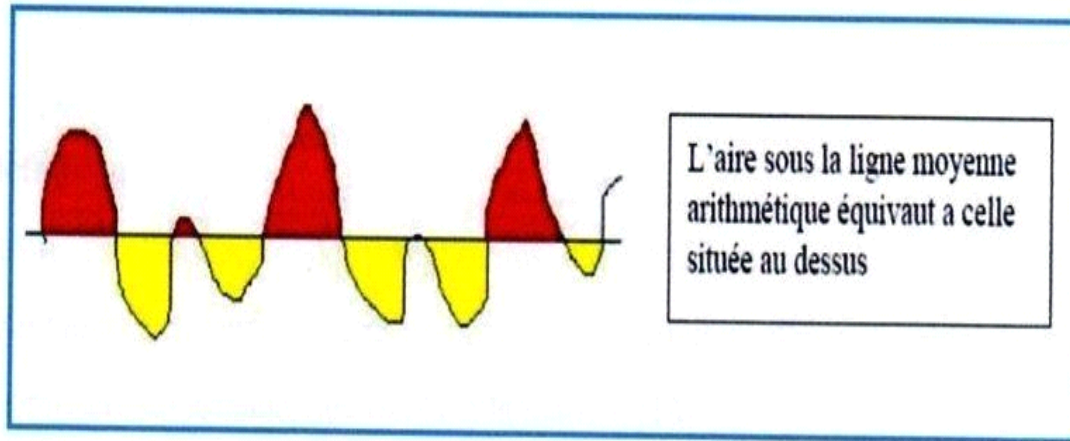


Figure 22: Ligne des moindres carrés [14]

- Ligne centrale arithmétique à l'intérieur de la longueur de base. la somme des aires comprises entre elle et le profil est égale de part et d'autre [14].

1.9.3 La ligne enveloppe supérieure :

C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus hauts des Saillies Locales du profil. [14].

1.9.4 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). [12].

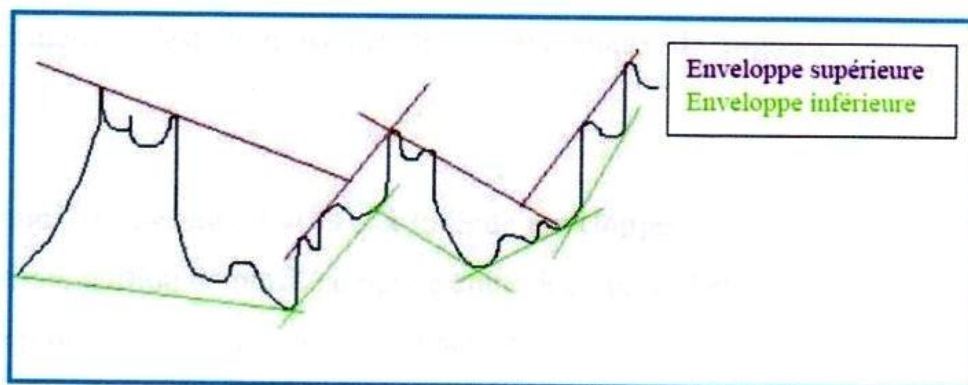


Figure 23: ligne enveloppe inférieure et supérieure [14].

2 Technologies de mesure :

La mesure des états de surface peut être réalisée avec un rugosimètre, un profilomètre à contact ou optique, ou un microscope capable de mesurer la hauteur de surface. Aujourd'hui les états de surface sont évalués numériquement à partir de profils ou de surfaces numérisées. Les technologies les plus courantes¹ pour la mesure d'état de surface sont :

La profilométrie à contact.

La profilométrie optique à capteur confocal chromatique.

La profilométrie optique à focalisation dynamique.

La microscopie confocale.

La microscopie par interférence en lumière blanche.

La microscopie par interférence monochromatique.

La microscopie par variation de focale (microscope numérique).

la microscopie électronique avec reconstruction 3D.

La projection de lumière structurée.

La triangulation laser.

En atelier, on utilise encore les échantillons Viso-tactiles (Rugositest ,qui permettent d'évaluer la rugosité par comparaison. Il existe aussi dans certains secteurs, des méthodes d'évaluation pneumatique ou à l'aide d'un papier à cigarette.

3 La rugosité :

On la mesure avec un rugosimètre ou un Profil mètre. La rugosité concerne les défauts Micro géométriques de la surface. Ils sont évalués après filtrage de la surface réelle a l'aide d'un filtre passe-haut ne retenant que les longueurs d'onde latérales les plus courtes.

Les paramètres de rugosité en profil mètre commencent par la lettre majuscule R

Suivie d'une ou plusieurs lettres déterminant le type de paramètre. Par exemple, le paramètre 'Ra' est la rugosité moyenne arithmétique du profil. 'Rz' est la rugosité maximale du profil. La rugosité d'une pièce usinée est une signature du type d'usinage (tournage, polissage, pierrage, etc.) La cotation des états de surface en mécanique fait essentiellement référence à l'usinage par enlèvement de matière. Les défauts sont des stries et des sillons creuses par les arêtes coupantes des outils (outils de tournage, fraises, meules, etc.) [13].

3.1 Domaine d'applications :

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

-En optique, l'état de surface entraîne (principalement) de la diffusion, ce qui entraîne une - perte de lumière.

-En mécanique, elle crée du frottement, de l'usure, une force de traînée, etc. Elle peut parfois être bénéfique pour capturer les huiles

-En design industriel : des surfaces nanostructures permettent de réaliser des aspects changeants selon l'angle d'observation.

-En soudure, elle permet d'éviter que certaines surfaces se soudent.

-En adhésion, la rugosité s'oppose à un contact intime entre les deux objets, difficulté contournée par la déformabilité des matériaux collants.

-En pharmaceutique : plus une rugosité est élevée plus il y a risque que des impuretés restent piégées et soient relâchées sans contrôle

Dans les énergies nouvelles : les surfaces des piles à combustible ou des panneaux solaires sont structurées afin de maximiser la surface d'échange ou la surface de captation.

-En médecine : l'état de surface des prothèses de hanche impacte fortement la durée de vie de la prothèse.

3.2 Paramètres de rugosité unidimensionnelle :

Les paramètres de rugosité unidimensionnelle standardisés peuvent être évalués avec l'outil rugosité.

La texture unidimensionnelle 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 Naquis, c'est-à-dire qu'une valeur de 1.0 correspond à la fréquence de Naquis.

Dans les formules qui suivent, nous supposons que la valeur moyenne de r_j est nulle, c'est-à-dire que nous avons [14].

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

3.3 Paramètres d'amplitude de rugosité :

Il existe un grand nombre de paramètres pour la définition de la rugosité, certains sont pourtant beaucoup plus employés que d'autres :

3.3.1 Rugosité moyenne R_a :

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].

3.3.2 Rugosité moyenne quadratique R_q :

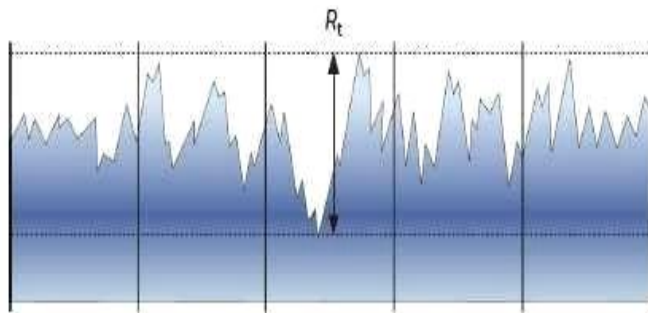
Moyenne quadratique des écarts de hauteur sur la longueur d'évaluation et mesurés par rapport à la ligne moyenne [7].

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

3.3.3 Hauteur maximale du profil R_t :

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

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



Exemple d'indication donnée sur les dessins :



Figure 24: Hauteur maximale du profil R_t [11].

3.3.4 Profondeur minimale des vallées R_v , R_m :

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[7]

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

3.3.5 Hauteur maximale des pics R_p :

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].

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

3.3.6 Amplitude moyenne R_{tm} :

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.

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

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

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

3.3.7 Profondeur moyenne des vallées R_{vm} :

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].

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

où

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

3.3.8 Hauteur moyenne des pics Rpm :

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.

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

Où

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

3.3.9 Profondeur de rugosité de base R3z :

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.

3.3.10 Profondeur de rugosité moyenne R3zISO :

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.

3.3.11 Hauteur maximale moyenne Rz :

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

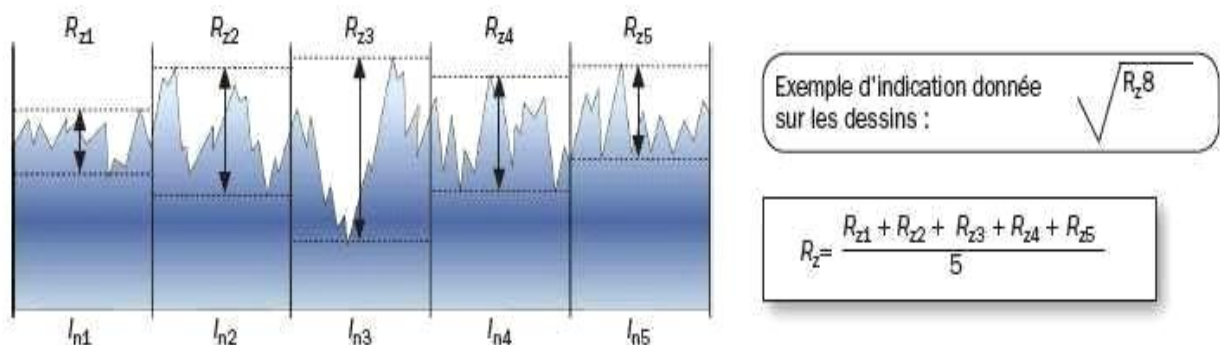


Figure 25: Hauteur maximale moyenne Rz[11]

3.3.12 Amplitude crête-à-crête moyenne RzISO :

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} .

4 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 [12]

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.

- 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 [11].

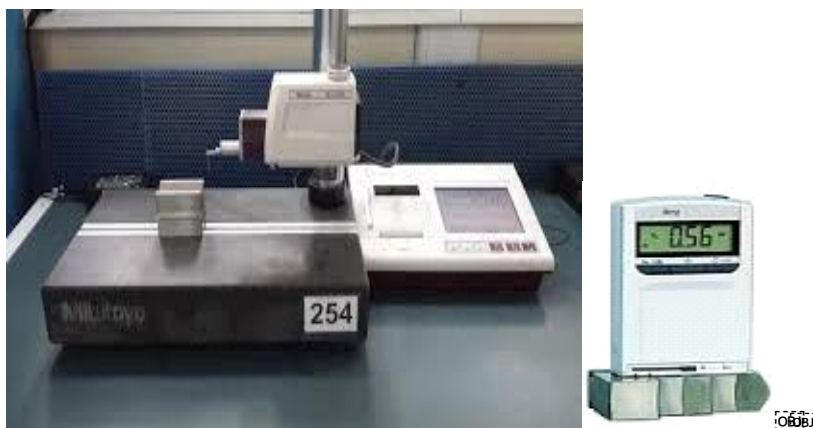


Figure 26: Rugosimètre[12].

6 Généralité sur les techniques d'amélioration des états de surface :

6.1 Superfinition :

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

Elle opère sur deux caractères :

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



Figure 27: opération de superfinition [10].

6.2 Galetage :

Le galetage est un procédé d'usinage sans enlèvement de matière qui consiste à lisser et à compacter la surface des matériaux. R_a obtenu : 0,1

Intégration dans le processus : Est placé à la suite d'autres procédés : usinage, rectification...

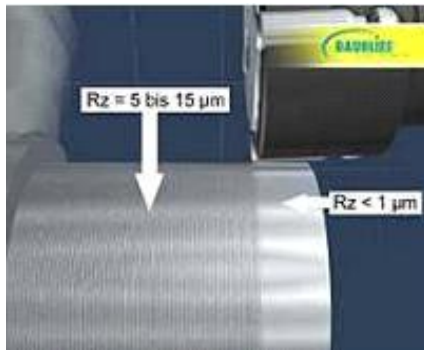


Figure 28: opération de galetage [12]

6.3 Rodage :

Principe : Procédé par abrasion qui consiste à un frottement de deux pièces entre lesquelles on place une pâte abrasive. Quantité de matière enlevée : souvent inférieure à 0,01 mm. Intégration dans le processus : nécessite souvent une rectification préalable.



Figure 29: types de rodage [1]

CHAPITRE :03

Chapitre 3 : Partie expérimentale :

1 Expérience :

Cette série d'expérience concerne le chariotage d'un arbre en inox, avec un outil en carbure métallique. Les régimes de coupe employés sont la vitesse de coupe (V_c), l'avance par tour (f) et la profondeur de passe (a). Les surfaces obtenues (surfaces usinées).

2 Matériau utilise :

INOX 304

2.1 Propriétés physique et mécanique :

Les plaques inox 304 possèdent une très bonne soudabilité, une haute résistance à la corrosion et à l'oxydation et démontrent d'excellentes caractéristiques pas seulement à des températures basses, mais également lors d'une utilisation à des températures élevées ce qui est idéal lorsque l'on travaille dans l'alimentaire par exemple :

Si la surface de la tôle inox 304 est endommagée (par rayures ou un impact similaire), cet acier va « guérir » et empêcher le développement de corrosion lorsqu'il est utilisé dans les conditions normales.

2.2 Caractéristiques :

Etat normalisé : R_m : Limite de rupture / R_e : limite élastique

	R_m (N/mm ²)	R_e (N/mm ²)	A %
INOX304	500 / 700	235 / 250	35

Table 1: Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

3 Machine-outil utilisés :

Machine-outil utilisée, Tour à commande numérique

L'usinage a été réalisé dans l'atelier MK Industrie

On a utilisé un tour à commande numérique de type :

Tour CN LEADWELL T-6



Figure 30: TOUR CN LEADWELL T-6

4 Outil de coupe utilisé:

4.1 Plaquette :

PC81110 WNMG080404-VP2 : est une plaquette universelle utilisée pour la coupe générale à finition de superalliages réfractaires et d'aciers inoxydables grâce à ses propriétés de résistance à l'usure et à l'écaillage lors des opérations de coupe continue en vitesse moyenne à élevée.

On a choisi cette plaquette parce que c'est meilleur choix disponible dans l'entreprise FMPI (spécialisée dans les opérations de tournage CNC) pour demi finition et finition

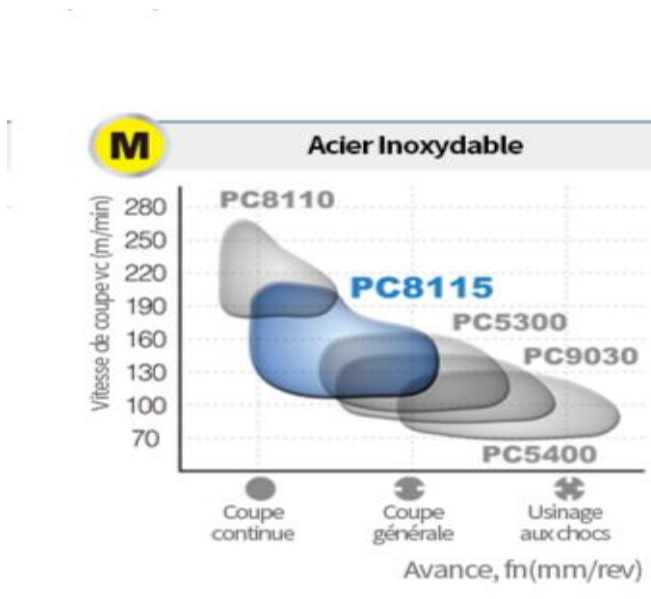


Figure 31: graph représente la gamme de plaquette (V_c en fonction de l'avance f)

4.2 La Fiche technique :

Identifiant de l'entreprise :KOR-Korloy

Brise-copeaux : avec brise-copeaux double face

Rayon de coin : 0.4 mm

Hauteur du bord de coupe :4.76 mm

Masse (poids) : 9 g

Les paramètres d'usinage recommande pour PC8110 : (matière inox)

Profondeur : $A_p=2.50$ (1.00-5.00) mm

L'avance : $f= 0.33$ (0.13-0.65) mm / tou

Vitesse de coupe : $V_c = 160$ (90-230) m/ min



Figure 32: boîte de 10 pièces de plaquettes pc8110



Figure 33: plaquette PC8110



Figure 34: porte-plaquette

5 Présentation de l'éprouvette :

On a choisi 25 pièces de diamètre $D = 40$ mm et longueur $L =$ (entre 50mm et 80mm).

Chaque pièce usinée par méthode de chariotage (avec lubrification).

Le régime de coupe a été choisi en fonction du matériau utilisé et l'outil de coupe employé lors de la réalisation de la pièce.

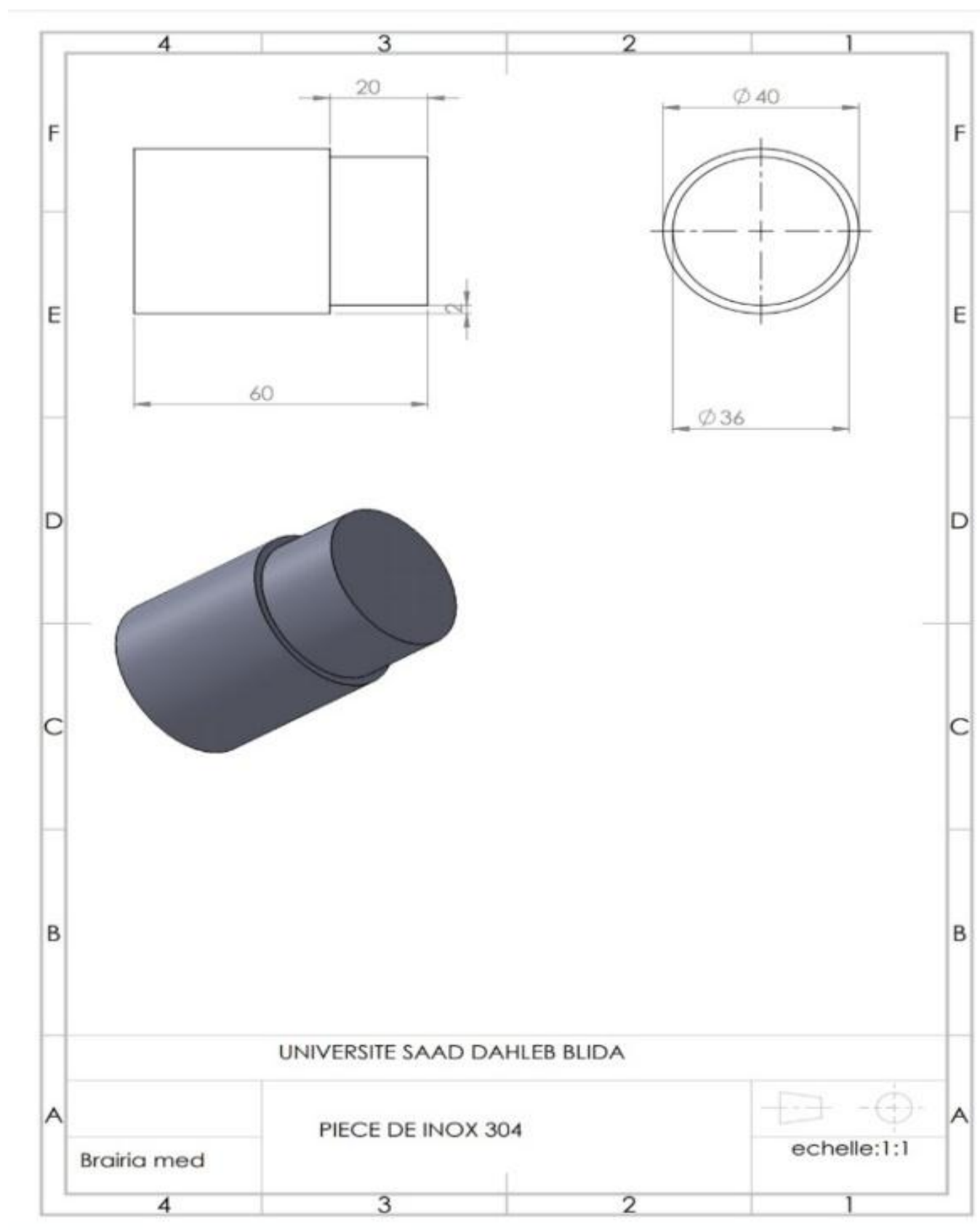


Figure 35: dessin de définition de la pièce



Figure 36: la pièce avant le chariotage



Figure 37: la pièce après le chariotage



Figure 38: l'enlèvement de matière avec pc8110

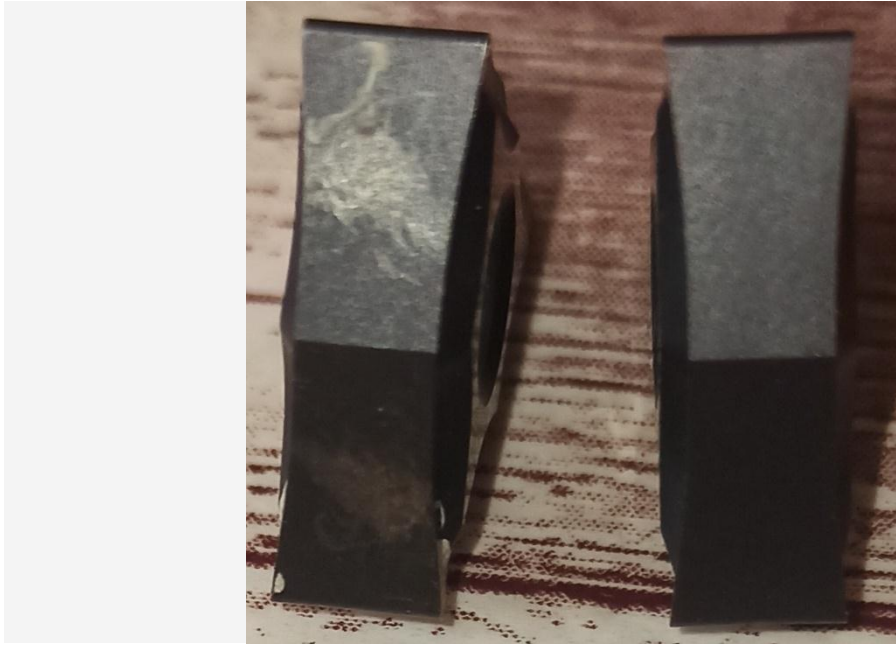


Figure 39: l'Etat de la plaquette avant et après le chariotage

5.1 Les paramètres d'usinage :

Les paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous nous permettent d'étudier la rugosité de surface obtenue en fonction de la vitesse de coupe (V_c), de l'avance (f) et de la profondeur de passe (a).

Condition d'usinage :

- L'avance f variée
- Vitesse de coupe (V_c) variée
- profondeur de passe $a=2\text{mm}$
- nombre de passe 2

f (mm/tou) Vc(m/min)	0.33	0.28	0.23	0.18	0.13
160	Eprouvette 1	Eprouvette 6	Eprouvette 11	Eprouvette 16	Eprouvette 21
178	Eprouvette 2	Eprouvette 7	Eprouvette 12	Eprouvette 17	Eprouvette 22
195	Eprouvette 3	Eprouvette 8	Eprouvette 13	Eprouvette 18	Eprouvette 23
213	Eprouvette 4	Eprouvette 9	Eprouvette 14	Eprouvette 19	Eprouvette 24
230	Eprouvette 5	Eprouvette 10	Eprouvette 15	Eprouvette 20	Eprouvette 25

Table 2: condition d'essai

5.2 Rugosimètre utilisé :

Pour la mesure la rugosité (Ra) nous avons utilisé un Rugosimètre portable de marque MITUTOYO /S J. 201M (Fig. 40), avec affichage digital. Ce dernier est constitué d'un palpeur pointe en diamant de 5 μm et se déplaçant linéairement (axialement) sur la surface usinée POUR mesurée. La longueur de palpation est de 4mm avec une longueur de base de (0.8*5).



Figure 40: Rugosimètre 2D Mitutoyo SJ-201M



Figure 41: palpeur pointe en diamant de 5 μm

5.3 Résultat obtenues :

L'Etat reçu de l'inox 304 (l'initial) :

$R_a=0.34$, $R_z=2.64$, $R_q=0.44$



Figure 42: la différence de l'État de surface entre la pièce 23 et la pièce 1

Ce tableau représente les résultats des tests de rugosité après le chariotage :

Eprouvette	V_c (m/min)	F (mm/tou)	A (mm)	mesure	R_a (μm)	R_y	R_z	R_q	$\Delta R_a=R_{af}$

Chapitre 3

Partie expérimentale

	)								-Rai
1	160	0.33	2	1	4.99	19.6 9	19.6 9	5.7 2	
				2	4.94	19.0 7	19.0 7	5.6 5	
				3	4.96	19.1 6	19.1 6	5.6 9	
				moyenn e	4.96	19.2 8	19.2 8	5.6 9	4.62
2	178	0.33	2	1	4.31	17.8 1	17.8 1	5.0 0	
				2	4.53	17.8 1	17.8 1	5.2 1	
				3	4.51	18.2 3	18.2 3	5.1 8	
				moyenn e	4.45	17.9 5	17.9 5	5.1 3	4.11
3	195	0.33	2	1	4.49	19.2 3	19.2 3	5.2	
				2	4.53	18.9 6	18.9 6	5.2 5	
				3	4.35	17.8 1	17.8 1	5.0 4	
				moyenn e	4.45	18.6 6	18.6 6	5.1 6	4.11
4	213	0.33	2	1	6.38	26.5 2	26.5 2	7.4 3	
				2	6.85	27.5 6	27.5 6	7.9 3	
				3	6.55	26.0 2	26.0 2	7.5 9	

Chapitre 3

Partie expérimentale

				moyenn e	6.59	26.7	26.7	7.6 5	6.25
5	230	0.33	2	1	5.58	22.6	22.6	6.5 2	
				2	5.95	23.2 5	23.2 5	6.8 8	
				3	5.99	23.8 4	23.8 4	6.9 5	
				moyenn e	5.84	23.2 3	23.2 3	6.7 8	5.50
6	160	0.28	2	1	6.42	26.1 3	26.1 3	7.4 6	
				2	6.31	26.1 1	26.1 1	7.3 2	
				3	6.51	26.0 5	26.0 5	7.5 4	
				moyenn e	6.41	26.0 9	26.0 9	7.4 4	6.07
7	178	0.28	2	1	5.07	19.4 1	19.4 1	5.7 8	
				2	4.84	18.4 7	18.4 7	5.5 1	
				3	4.91	19.5 3	19.5 3	5.5 9	
				moyenn e	4.94	19.1 3	19.1 3	5.6 3	4.60
8	195	0.28	2	1	4.91	18.0 6	18.0 6	5.5 7	
				2	5.16	18.8 8	18.8 8	5.8 3	
				3	4.93	18.3	18.3	5.6	

Chapitre 3

Partie expérimentale

						7	7	2	
				moyenn e	5.00	18.4 4	18.4 4	5.6 7	4.66
9	213	0.28	2	1	4.82	18.2 4	18.2 4	5.4 7	
				2	5.00	19.4 8	19.4 8	5.6 9	
				3	4.85	18.2 7	18.2 7	5.5 2	
				moyenn e	4.9	18.6 6	18.6 6	5.5 6	4.56
10	230	0.28	2	1	4.78	18.4 6	18.4 6	5.5 2	
				2	4.94	19.3 1	19.3 1	5.6 5	
				3	4.85	18.6 3	18.6 3	5.5 5	
				moyenn e	4.86	18.8	18.8	5.5 7	4.52
11	160	0.23	2	1	4.00	16.2 4	16.2 4	4.6 9	
				2	4.07	16.3 9	16.3 9	4.7 4	
				3	3.94	16.2 8	16.2 8	4.6 0	
				moyenn e	4.00	16.3 0	16.3 0	4.6 8	3.66
12	178	0.23	2	1	4.41	16.1 3	16.1 3	4.9 2	
				2	4.39	15.9 2	15.9 2	4.9 0	

Chapitre 3

Partie expérimentale

				3	4.34	15.8 7	15.8 7	4.8 4	
				moyenn e	4.38	15.9 7	15.9 7	4.8 8	4.04
13	195	0.23	2	1	3.69	14.3 1	14.3 1	4.2 0	
				2	3.66	14.2 0	14.2 0	4.1 4	
				3	3.67	14.1 0	14.1 0	4.1 8	
				moyenn e	3.67	14.2 0	14.2 0	4.1 7	3.33
14	213	0.23	2	1	3.58	14.1 7	14.1 7	4.1 0	
				2	3.72	15.0 7	15.0 7	4.2 6	
				3	3.82	15.4 1	15.4 1	4.3 6	
				moyenn e	3.71	14.8 8	14.8 8	4.2 4	3.37
15	230	0.23	2	1	4.26	16.0 2	16.0 2	4.8 5	
				2	4.25	16.4 8	16.4 8	4.8 2	
				3	4.29	16.1 6	16.1 6	4.8 6	
				moyenn e	4.27	16.2 2	16.2 2	4.8 4	3.93
16	160	0.18	2	1	2.94	12.6 4	12.6 4	3.3 6	
				2	2.97	12.0	12.0	3.3	

Chapitre 3

Partie expérimentale

						5	5	8	
				3	2.94	12.1 1	12.1 1	3.3 7	
				moyenn e	2.95	12.2 7	12.2 7	3.3 7	2.61
17	178	0.18	2	1	3.01	11.3 0	11.3 0	3.4 3	
				2	2.81	11.2 8	11.2 8	3.2 2	
				3	2.82	11.3 2	11.3 2	3.2 1	
				moyenn e	2.88	11.3 0	11.3 0	3.2 9	2.54
18	195	0.18	2	1	2.77	10.9 4	10.9 4	3.1 8	
				2	2.75	10.5 7	10.5 7	3.1 2	
				3	2.65	10.4 6	10.4 6	3.0 1	
				moyenn e	2.72	10.6 6	10.6 6	3.1 0	2.38
19	213	0.18	2	1	2.59	9.94	9.94	2.9 2	
				2	2.68	10.7 4	10.7 4	3.0 8	
				3	2.57	10.2 1	10.2 1	2.9 4	
				moyenn e	2.61	10.3 0	10.3 0	2.9 8	2.28
20	230	0.18	2	1	3.04	11.9 6	11.9 6	3.4 6	

Chapitre 3

Partie expérimentale

				2	3.14	11.87	11.87	3.55	
				3	3.12	12.23	12.23	3.54	
				moyenn e	3.10	12.02	12.02	3.51	2.76
21	160	0.13	2	1	1.63	7.21	7.21	1.93	
				2	1.88	7.84	7.84	2.16	
				3	1.73	7.36	7.36	2.00	
				moyenn e	1.75	7.47	7.47	2.03	1.41
22	178	0.13	2	1	1.59	7.09	7.09	1.86	
				2	1.54	7.15	7.15	1.79	
				3	1.60	6.82	6.82	1.84	
				moyenn e	1.58	7.02	7.02	1.83	1.24
23	195	0.13	2	1	1.46	7.14	7.14	1.76	
				2	1.39	6.03	6.03	1.61	
				3	1.22	6.02	6.02	1.47	
				moyenn e	1.36	6.40	6.40	1.61	1.02
24	213	0.13	2	1	1.46	6.37	6.37	1.6	

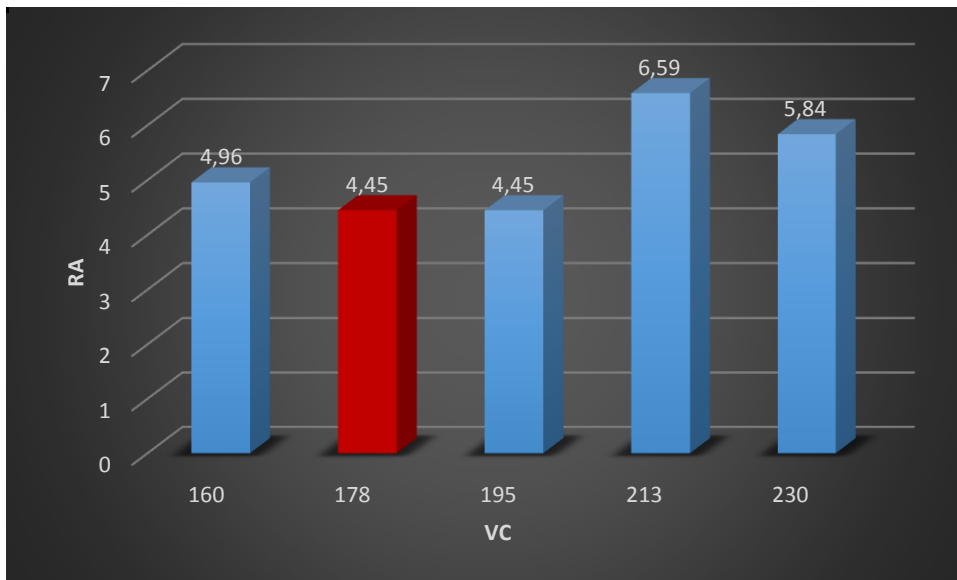
								8	
				2	1.37	6.63	6.63	1.62	
				3	1.49	6.81	6.81	1.72	
				moyenn e	1.44	6.60	6.60	1.67	1.10
25	230	0.13	2	1	1.71	7.78	7.78	1.99	
				2	1.86	7.83	7.83	2.13	
				3	1.87	7.97	7.97	2.15	
				moyenn e	1.81	7.86	7.86	2.09	1.47

Table 3: Des valeurs de rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage

Condition d'usinage :

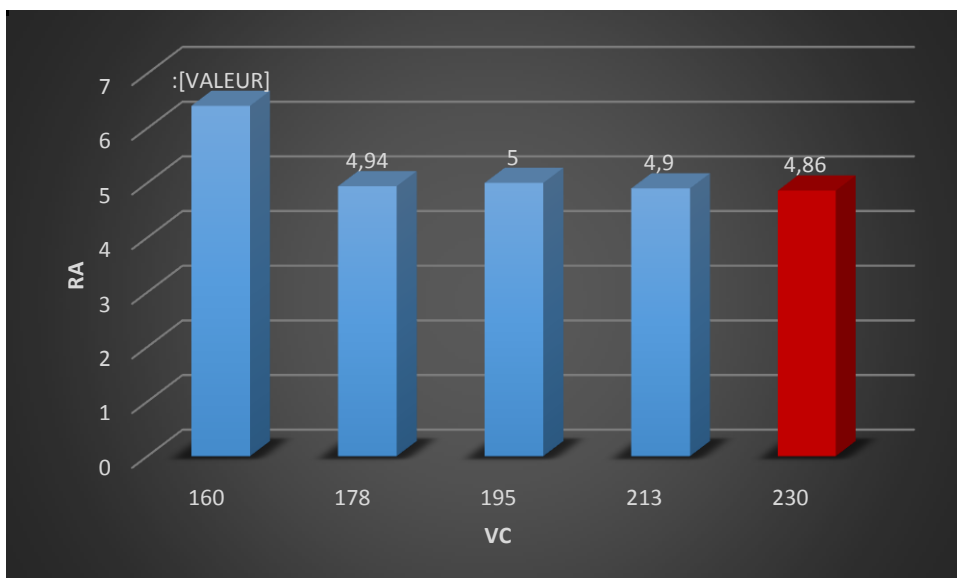
-vitesse de coup (vc) variée.

-L'avance (f) fixe :0.33.



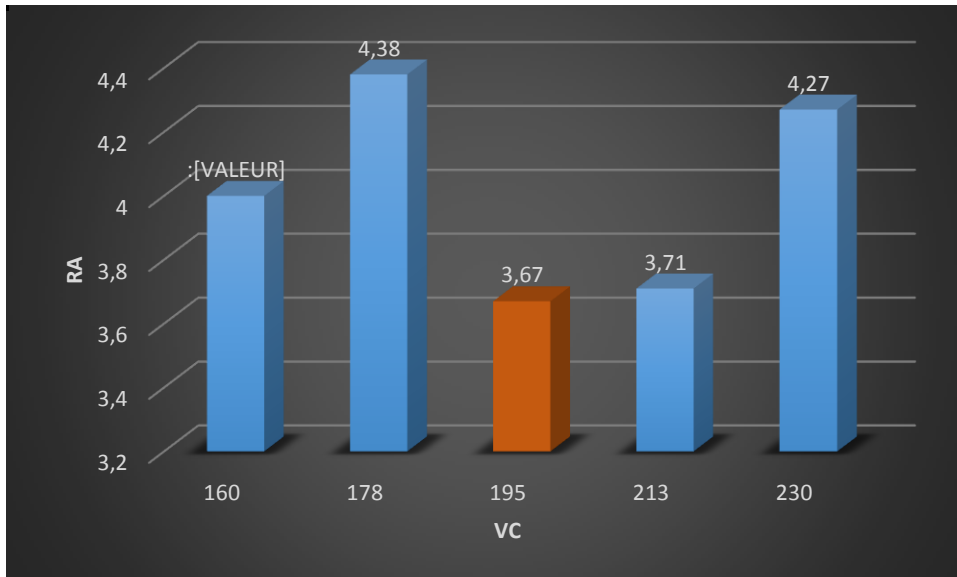
Graph 1: variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).

-L'avance (f) fixe :0.28.



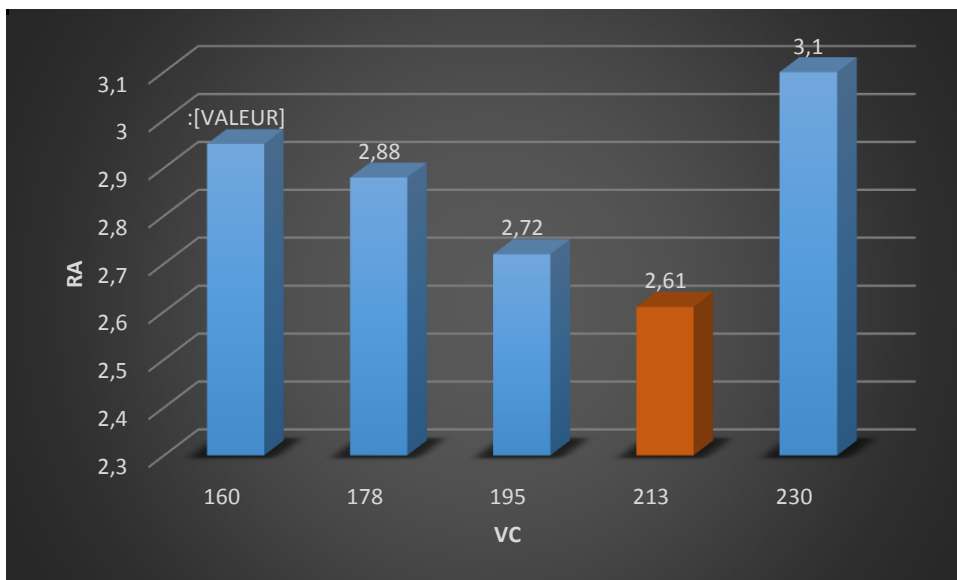
Graph 2: variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).

-L'avance (f) fixe: 0.23.



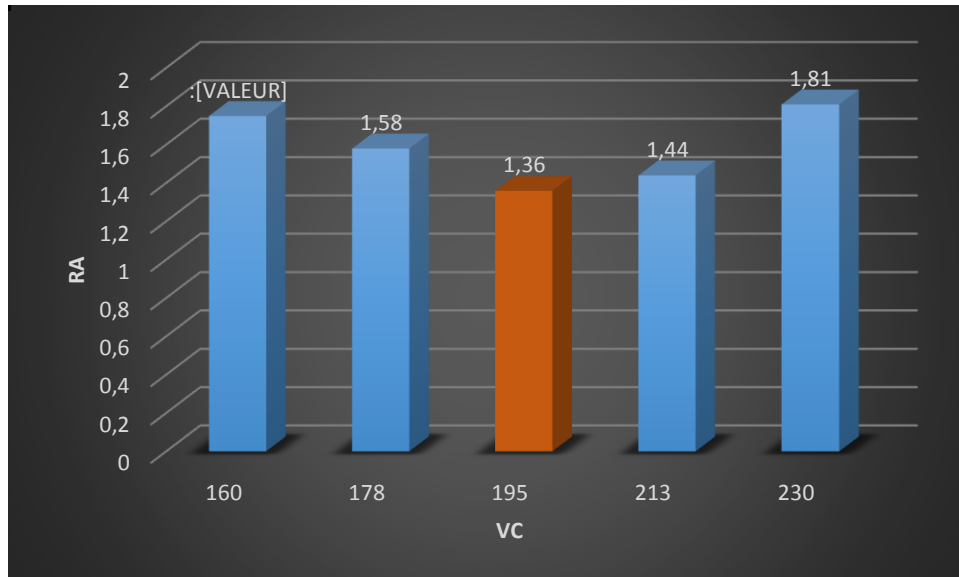
Graphe 3: variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).

-L'avance (f) fixe :0.18.



Graphe 4: variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).

-L'avance (f) fixe :0.13.

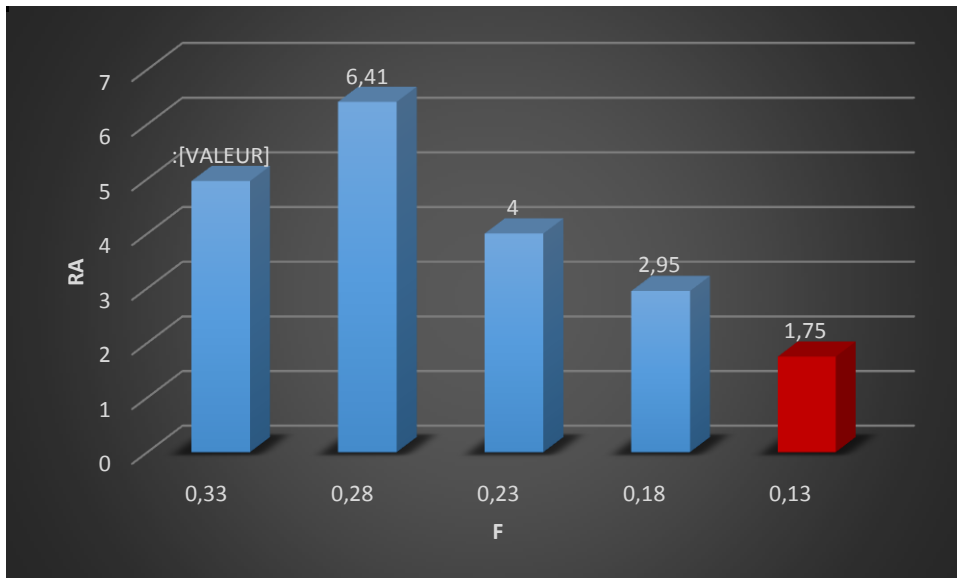


Graph 5: Variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse du coup (vc).

Condition d'usinage :

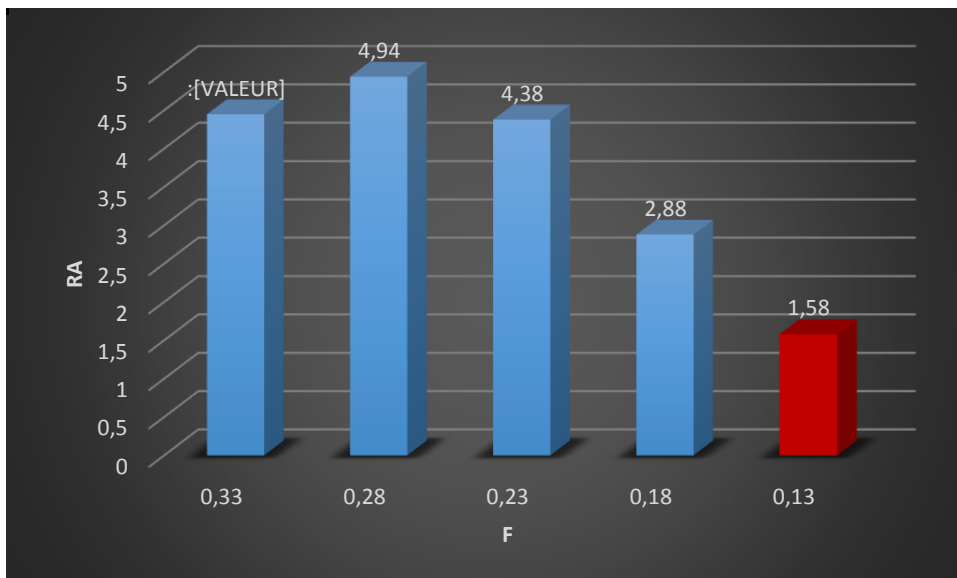
-L'avance (f) variée.

-vitesse de coup (vc) fixe : 160.



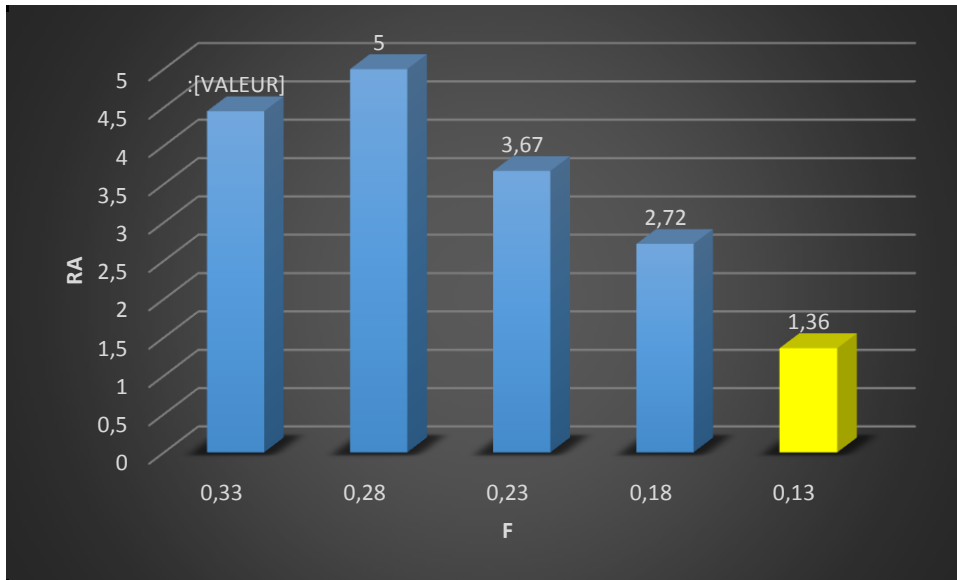
Graphe 6: variation de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance (f).

-vitesse de coup (vc) fixe : 178.



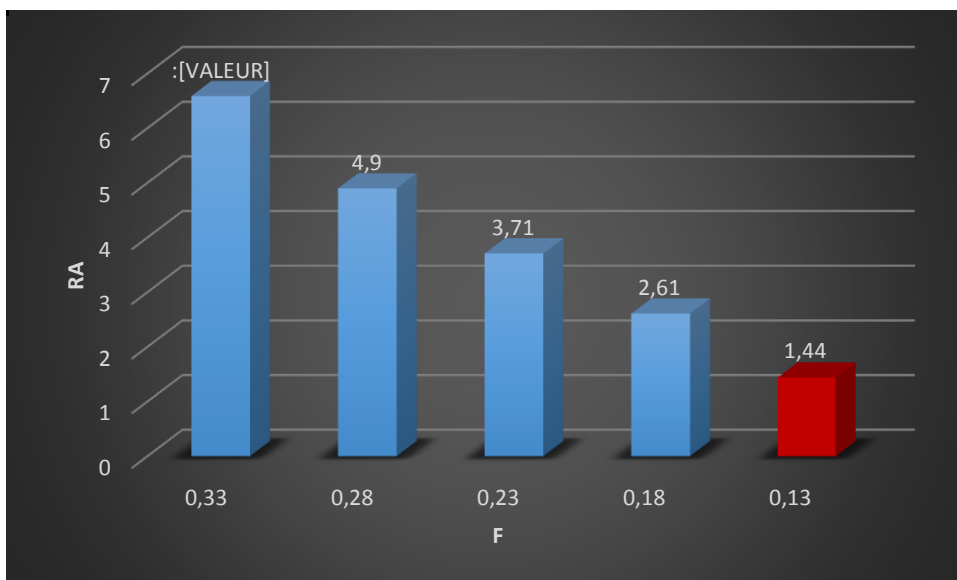
Graphe 7: variation de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance (f).

-vitesse de coup (v_c) fixe :195.



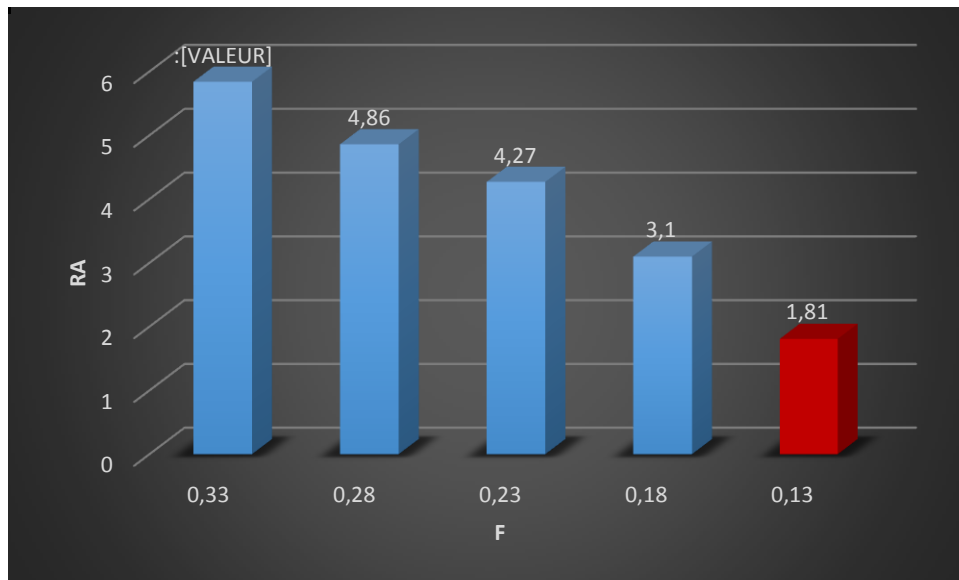
Graphe 8: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).

-vitesse de coup (v_c) fixe :213.



Graphe 9: variation de la rugosité (Ra)en fonction de l'avance (f).

-vitesse de coup (v_c) fixe : 230.



Graphe 10: variation de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance (f).

DISCUSSION :

Dans le cadre de cette étude, l'acier INOX304 a été choisi pour étudier l'influence du régime de coupe sur la qualité de surface. Cette qualité est évaluée par le paramètre rugosité. Deux paramètres sont variés : l'avance et vitesse de coupe

Les paramètres de rugosité obtenue R_a sont regroupés dans le tableau (3). Les graphes de la variation de rugosité en fonction de la vitesse de coup $R_a = F(V_c)$ et en fonction de l'avance $R_a = F(f)$ sont établis.

Pour des valeurs de vitesses de coupe comprise entre 160 et 190 (Tr/min), on constate bien que la rugosité de surface R_a augmente avec la vitesse d'avance. Ainsi, la rugosité maximale (R_a) est enregistrée pour une vitesse d'avance de $f = 0.28$ (m/s), au-delà elle diminue considérablement pour atteindre une valeur minimale à $f = 0.13$ (m/s). Par ailleurs, on remarque que pour des valeurs de vitesses de coupe supérieure à 190 (Tr/min) la rugosité R_a varie d'une façon inversement proportionnelle à la vitesse d'avance.

D'après l'analyse des résultats obtenus pour la rugosité R_a en fonction des paramètres de coupes (vitesse de coupe et vitesse d'avance) on peut conclure que le meilleur état de surface est obtenu avec les paramètres de coupe $f = 0.13$ (m/s) et $V_c = 195$ (tr/min) où la rugosité optimale obtenue est de $1.36 \mu\text{m}$ (en jaune).

Le tableau suivant résume ces constatations :

R_a (minimale)	4.45	4.86	3.67	2.61	1.36	1.75	1.58	1.36	1.44	1.81
V_c (tr/min)	178	230	195	213	195	160	178	195	213	230
V_a (mm/min)	0.33	0.28	0.23	0.18	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13

Table 4 : les meilleures resultats de R_a

Dons lors de l'usinage de l'acier inoxydable il serait préférable de prendre les paramètres suivant (pour $R_a \leq 2$) :

Vitesse de coupe : $195 \leq V_c \leq 213$

Vitesse d'avance : $f = 0.13$

pour avoir un meilleur état de surface et donc obtenir un meilleur compromis entre le coup de l'opération et l'état de surface.

Conclusion :

L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à étudier l'effet de l'état de surface lors de l'usinage d'un acier inoxydable ; dans le cadre de cette étude l'acier considéré est un acier inoxydable austénitique 304.

Au terme de cette étude on peut conclure que la rugosité dépend directement de régime de coupe et en particulier l'avance.

La lubrification améliore nettement l'état de surface mais ne l'assure jamais. Le choix de la géométrie de l'outil ainsi que celui d'une machine-outil précis sont requis.

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

En perspective, cette étude peut être complétée en étudiant l'effet des paramètres suivants :

- l'effet de la matière de l'outil,
- Etudier l'effet des paramètres d'usinage sur l'usure de l'outil (donc la durée de vie de l'outil),
- optimiser les paramètres d'usinage en fonction de la forme des coupeaux.

Références :

- [1] M. Tchadja Kagnaya, contribution a l'identification des mécanismes usure d'un WC-6%Co en usinage et par une approche tribologique et Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des mines de paris.
- [2] Alexandre Toumine, «Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [3] René Kamguem, inspection automatique et sans contact de la rugosité des pièces usinées. Thèse par articles présentée à l'école de technologie supérieure université de québec.
- [4] A. Passeron, «Tournage», Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [5] A. Touine, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [6] Rocardier, « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011.
- [7] P. Franco, M. Estrems, F. Faura, « Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools », International Journal of Machin Tools & Manufacture 2004 (44) : 1555 – 1565.].
- [8] Alexandre Toumine, «Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [9] A. Touine, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [10] Alexandre Toumine, «Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [11] W.S. Lin, B.Y. Lee, C.L. Wu, Modeling the surface roughness and cutting force for turning, J. Mater. Proc. Tech. 108 (2001) 286-293.
- [12] J. D Puerta Velasquez, Étude des copeaux et de l'intégrité de surface en usinage à grande vitesse de l'alliage de titane TA6V. Thèse de doctorat, de l'Université de Metz.
- [13] Alexandre Mondelin, Modélisation de l'intégrité des surfaces usinées Application au cas du tournage finition de l'acier inoxydable 15-5PH. Thèse de l'université de Lyon.
- [14] : G. Poulachon, A. Moisan, I.S. Jawahir, On modeling the influence of thermo-mechanical behavior in chip formation during hard turning of 100Cr6 bearing steel, CIRP Annals - Manuf. Tech. 50 (2001) 1 31-36.