

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

### INTITULE

**L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de  
l'usinage de l'acier A60**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**FILIERE : GENIE MECANIQUE**

**SPECIALITE : PRODUCTIQUE MECANIQUE**

**PRESENTE PAR : SEBOUTA TAREK**

**DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. NEHAL ABD ELAZIZ**

**DEVANT LE JURY**

**PRÉSIDENT : Pr. RABIA KHELIF**

**Université Badji Mokhtar Annaba**

**EXAMINATEURS : Dr. BOUCLAGHEM ABD ELAZIZ**

**Université Badji Mokhtar-**

**Annaba**

**Année : 2020/2021**

# Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a permis d'atteindre notre but.

Nos premiers remerciements vont à notre encadreur Monsieur **NEHAL ABDELAZIZ** qui a proposé et dirigé ce travail et qui nous a accordé toute sa confiance, sa gentillesse et sa rigueur scientifique. Plus qu'un encadreur, nous tenons à lui exprimer notre entière gratitude.

Comme nous lui adressons nos vifs remerciements pour son encouragement et l'honneur qu'il nous fait pour présider notre jury.

Nous remercions, sincèrement, **Mr kallouche Abdelkader**, pour avoir accepté de consacrer une partie de son temps pour nous apporter son aide dans notre travail.

Nos remerciements vont aussi à **Mr KHADRI Youcef** pour l'intérêt porté à notre travail, sa disponibilité, ses conseils précieux et surtout sa grande patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce projet de fin de cycle.

# Dédicace :

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'études.

Chaleureusement, nous dédions ce modeste travail à tous ceux qui nous ont éclairé le chemin de la sagesse et nous ont offert tout ce qui est cher et comble le cœur dans la vie avec une immense générosité et une tendre affection.

Particulièrement à :

- nos chers parents en témoignage pour leur amour et leur sacrifice sans limites, à qui nous souhaitons la bonne santé et que Dieu nous les garde.
- nos familles pour le soutien moral, les conseils précieux et les aides qu'ils nous ont apportés.
- tous nos amis, camarades et proches qui nous ont soutenus et aidés de manière directe ou indirecte.
- tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, nous leur disons : merci.

# **SOMMAIRE :**

*Remerciement*

*Dédicace*

*Présentation d'unité de stage*

## **Chapitre I : Etude Bibliographique**

<i>I. Généralité sur la fabrication mécanique</i> .....	42
<i>I.1 procédés de fabrication par enlèvement de matière</i> .....	43
<i>I.1.1 principaux procédés</i> .....	43
<i>I.1.1.2 procédé de coupe</i> .....	43
<i>I.1.1.3.2 procédé de coupe</i> .....	43
<i>I.1.4 matériaux pour outils de coupe</i> .....	43
<i>I.2 généralité sur l'usinage</i> .....	45
<i>I.2.1 types d'usinage</i> .....	46
<i>I.2.2 tournage</i> .....	47
<i>I.2.3 les outils de tournage</i> .....	48
<i>I.2.4 classification des machines de tour.</i> .....	49
<i>I.3.1 : les matériaux d'outils</i> .....	51
<i>I.3. : contrôle de la position de la pièce par rapport l'outil</i> .....	53
<i>I.3.1 les moyennes de contrôles</i> .....	53
<i>I.4 les paramètres de coupe</i> .....	54
<i>I.4.1 généralité</i> .....	54
<i>I.4.2 le principal facteur influent à la formation de copeaux</i> .....	55
<i>I.4.3 la notion de copeaux minimum</i> .....	55
<i>I.4.4 les critères de choix</i> .....	55
<i>I.5 l'outil de coupe</i> .....	57
<i>I.5.2 mouvement relatif outils/pièce</i> .....	59

## Chapitre II

### La Rugosité de Surface

II .1. Généralités sur les états de surface .....	64
II .2 Rugosité : .....	64
II .3 Les défauts d'états de surface.....	65
II .3.1 Ordre 1 : défauts de forme : ordre 1 .....	67
II .3.2 Ordre 2 : défauts macrographiques, ondulation : .....	68
II .3.3 Ordre 3 : défauts micrographiques, rugosité : .....	70
II .3.4 Ordre 4 : arrachement de matière : .....	72
II.4 Différents types de lignes : .....	73
II .4.1 Longueur de base, d'évaluation : .....	73
II .4.2 Ligne de référence : .....	74
II .4.3 La ligne enveloppe supérieure .....	73
II.4.4 La ligne enveloppe inférieure .....	74
II .5 Paramètres de rugosité unidimensionnelle : .....	75
II.5.1 Paramètres d'amplitude de rugosité : .....	75
II.5.2 Principaux paramètres de la rugosité : .....	81
II .5.3 Paramètres liés aux motifs et à la ligne enveloppe : .....	81
II .5.4 Paramètres liés à la ligne moyenne : .....	83
II .6 Les spécifications normalisées .....	86
II.7.Mesure de la rugosité : .....	86
II .8. amélioration des états de surface.....	87
II .8.1.Avantages de la lubrification.....	87.
II.9. Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification).....	88
II.9.1 Maintien en température.....	88.
II.9.2 Lubrification.....	88
II .10 Évacuation des copeaux.....	88
II.10 .1Composition des fluides d'usinage.....	88
II.10.2 huiles entières.....	88
II.10.3 fluides de type émulsion.....	88
II.11.4 fluides de type microémulsion : .....	89

II.11.5 fluides synthétiques : .....	89
--------------------------------------	----

## **Chapitre III**

### **Partie Expérimentale**

III la machine utiliser .....	93
III.1 caractéristique de la machine utiliser .....	93
III.2. expériences et machines-outils utilisés : .....	93
III.3 Matièreaux utilisé : .....	93
III.4. composition chimique : .....	93
III 5. Désignation normalisées : .....	94
III.6. analyse chimique moyenne .....	94
III..7 caractéristique mécanique moyenne .....	94
III.8.Outil de coupe utilisé: .....	94
III .9 géométrie d'outillés : .....	95
III 10.rigime de coupe : .....	95
III.11 présentation de l'éprouvette .....	95
III. 11.1Rugosimètre utilisé : .....	95.
III.11.2 routage d'usinage .....	97
III.11.3 plan d'usinage .....	97
III.11.4.Résultats expérimentaux .....	98
III.11.5 les essais .....	98
III .11.6 Discussions : .....	99
Conclusion : .....	

## **Chapitre I : Etude Bibliographique**

<i>Figure I.1 machine de tournage [1]</i> .....	46
<i>Figure I.2 tour conventionnelle [1]</i> .....	46
<i>Figure I.3 tour à commande numérique [2]</i> .....	47
<i>Figure I.4 les différents outils de coupe de tournage [2]</i> .....	47
<i>Figure I.5 dimension de coupe dans le cas de tournage [3]</i> .....	50
<i>Figure I.6. Phénomènes de coupe [4]</i> .....	54
<i>Figure I.7. arêtes et partie active d'un outil de tournage [2]</i> .....	57
<i>Figure I.8. principaux plans d'outil en main [4]</i> .....	58
<i>Figure I.9 mouvement d'outil et de la pièce en tournage</i> .....	59

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

<i>Figure II.1 Profil de surface [7]</i> .....	65
<i>Figure II.2 Les types de défauts de surface [7]</i> .....	66
<i>Figure II.3 Défauts d'ordre 1 [7]</i> .....	66
<i>Figure II.4 motif d'ondulation</i> .....	68
<i>Figure II.5 Profil « redressé »</i> .....	68
<i>Figure II.6 profondeur d'aplanissement de rugosité : <math>R_p</math> ; écart moyen par rapporte à la ligne Moyenne de rugosité : <math>R_a</math> [7]</i> .....	70
<i>Figure II.7 arrachement de matière [7]</i> .....	71
<i>Figure II.8 la ligne moyenne [7]</i> .....	72.
<i>Figure II.9 la présentation de la longueur de base [7]</i> .....	72
<i>Figure II.10 Ligne des moindres carrés [8]</i> .....	73
<i>Figure II.11 rugosité moyenne <math>R_a</math> [6]</i> .....	75
<i>Figure II.12 Hauteur maximale du profil <math>R_t</math> [6]</i> .....	76
<i>Figure II.13 Hauteur maximale moyenne <math>R_z</math> [6]</i> .....	76
<i>figure II.14 profil total caractérisé par les critères : <math>W_i</math>, <math>W_{max}</math>, <math>AW_i</math> et <math>R_{max}</math> et largeur d'entaille [7]</i> .....	81
<i>Figure II.15 Paramètre liés à la longueur de base [8]</i> .....	82

<i>Figure II.16 Paramètres liés à la longueur d'évaluation [7]</i> .....	83
<i>Figure II.17 Paramètres liés à la distribution d'amplitude [8]</i> .....	84
<i>Figure II.18 symbole graphique de l'état de surface [6]</i> .....	85
<i>Figure II.9 Exemple de symbolisation [6]</i> .....	85
<i>Figure II.20 Rugosité [1]</i> .....	86

## **Chapitre III Partie Expérimentale**

<i>Figure III.1 : Tour universel</i> .....	93
<i>Figure III.2 : les Outil utilises</i> .....	94
<i>Figure III.3 : dispositif pour mesure la rugosité</i> .....	96
<i>Figure III.4 la pièce brut</i> .....	96
<i>Figure III.5 pièce finie</i> .....	97

## **Liste des tableaux**

<i>Tableau III 1. Mesure de la rugosité relevée lors de l'usinage à sec de l'essai 1</i> .....	98
<i>Tableau III.2. mesure de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification de l'essai 1</i> .....	99
<i>Tableau III.3. Mesure de la rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage à sec lors De l'usinage de l'essai 2</i> .....	99
<i>Tableau III 4. Mesure de la rugosité relevée lors de l'usinage à sec de l'essai 2</i> .....	98
<i>Tableau III.5. mesure de la rugosité (Ra) lors de l'usinage avec lubrification de l'essai 2</i> .....	99
<i>Tableau III.6. Mesure de la rugosité (Ra) relevées lors de l'usinage à sec lors De l'usinage de l'essai 2</i> .....	99



## Liste des graphes

<i>Graphe III .1 évolution de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse lors de l'usinage de l'essai 1.....</i>	<i>99</i>
<i>Graphe III .2 évolution de la rugosité (Ra) en fonction de a vitesse lors de l'usinage de l'essai 2.....</i>	<i>100</i>
<i>Graphe III .3 variation de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse lors de l'usinage de l'essai 3.....</i>	<i>101</i>

## Liste des abréviations

*V<sub>c</sub> : Vitesse de coupe m/min*

*N : Fréquence de rotation Tour/min*

*f : Avance Mm/tour*

*V<sub>f</sub> : Vitesse d'avance Mm/min*

*a<sub>p</sub> : Profondeur de passe Mm*

*D : Diamètre Mm*

*L : Longueur Mm*

*R : Rayon de bec d'outil Mm*

*K<sub>r</sub> : Angle de direction d'arête de l'outil Degré*

*Dureté HRC, HB*

*R<sub>a</sub> : Rugosité arithmétique μm*

*R<sub>t</sub> : Rugosité totale μm*

*R<sub>z</sub> : Rugosité μm*

*R<sub>q</sub> : Rugosité quadratique μm*

*A : Allongement %*

*R<sub>e</sub> : Limite élastique MPa*

*R<sub>m</sub> : Limite de rupture MPa*

*α : Angle de dépouille Rd*

*B : Angle de taillant Rd*

*Φ : Angle de cisaillement primaire Rd*

*Γ : Angle de coupe Rd*

## Présentation de l'Unité



*Au Service du Développement*

**Groupe IMETAL - ENCC - Unité PROMECH**

Siège : Zone Industrielle Pont Bouchet BP 3, El Hadjar - Annaba (Algérie)

Tél : 0561 79 08 37 – 0561 79 08 64 – 0561 79 06 97 – 0561 79 03 10 Email : [promech@encc-dz.com](mailto:promech@encc-dz.com)  
[www.encc-dz.com](http://www.encc-dz.com)



**PROMECH-ANNABA**

## **GROUPE IMETAL**

*Entreprise Nationale de Charpente  
et Chaudronnerie*

### **Unité PROMECH Annaba**

**Société par actions au capital social de  
6.906.450.000 DA**

## **HISTORIQUE DE L'UNITE**

A l'origine PROMECH Annaba dénommée EX SN-METAL Annaba II a été créée en 1972 par décision Ministérielle N° 22227 D182 en date du 01/06/1972.

Elle est entrée en exploitation en 1979 sous le nom de la **SN METAL** Mère, qui par la suite a fait l'objet d'une restructuration organique en 1983 donnant naissance à **l'ENCC**, laquelle dans le cadre de sa réorganisation donna naissance à l'Unité de Mécanique Lourde et Chaudronnerie « **UMLC** » qui a été transformée depuis le 01 janvier 2001 en filiale, sous la dénomination « Production Mécanique et Chaudronnerie » PROMECH Annaba et dont les actions sont détenues à 100% par le groupe ENCC.

### Dénomination

#### **Groupe I METAL**

Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie « **E.N.C.C** »

Unité de Production Mécanique et de Chaudronnerie « **PROMECH ANNABA** »

☰ Sièges Social :  
Zone Industrielle  
Pont Bouchet BP : 03 - El-Hadjar  
ANNABA - ALGERIE



- Bacs de stockage, différentes capacités.
- Réservoirs
- Cuves
- Silos
- Colonnes, etc.....

Nous fabriquons aussi des réservoirs sous pression pour le stockage de GAZ dont ci après les caractéristiques

Volume	Ø mm	Longueur Mm	Epaisseur mm	matériaux	Temps de calcul	Pression d'épreuve Bar
100m <sup>3</sup>	3000	15982	25	A 48 APR	Ambiente	30
100 kg	1000	3270	10	SA516Gr70	50° C	28,5
1750 kg	1200	3970	11	SA516Gr70	50° C	28,5
2500 kg	1200	5450	10	A48 AP	55° C	30
7800 kg	1900	6016	16	A 48 AP	55° C	30

### **III. EQUIPEMENTS DE CIMENTERIE, SIDERURGIE, MINES :**

- Viroles de four
- Casing du broyeur ou concasseur
- Electrofiltres
- Séparateurs
- Cyclones, Réchauffeurs
- Ventilateurs
- Trémies (tous types)
- Conduites (tous types)
- Transporte

### **IV. EQUIPEMENTS DE BRIQUETERIE :**

- Wagonnets de cuisson
- Wagonnets de séchages
- Divers équipements

### **V. EQUIPEMENT DE TRAVAUX PUBLICS :**

- Stations de concassage

- 50 m<sup>3</sup>/h
- 80 m<sup>3</sup>/h
- 120 m<sup>3</sup>/h 200 m<sup>3</sup>, 250 m<sup>3</sup>, 300 m<sup>3</sup> 400 m<sup>3</sup> et plus, à la demande du client.

**Nous assurons également à nos clients**

- **Le transport**
- **Le montage**
- **La mise en route**
- **Le service après-vente**
- **La garantie d'une année**

**VI. EQUIPEMENT DE SOUS TRAITANCE :**

- Poche de coulée
- Répartiteurs
- Cuillère à ferrailles
- Bacs d'avaries
- Lingotière
- Pièces mécaniques

**VII. EQUIPEMENTS POUR STATIONS DE TRAITEMENT D'EAU ET D'EPURATION :**

- Décanteurs floculation
- Filtres Ø 1600 mm type : AQUASID 40
- Station d'épuration type : AEROSID

PROMECH-ANNABA, dispose d'une capitale expérience dans ces domaines d'activité de plus de quarante (40) ans, et d'une main-d'œuvre qualifiée.



# **LISTE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION DE PROMECH ANNABA** **PORTIQUE DE SOUDAGE DE PRS LOURDS**

**AIR LIQUIDE FRANCE**

**Vous recherchez un fabricant de poutres reconstituées soudées PRS**



PROMECH Annaba dispose d'une machine de soudage à Bi-têtes arc submergé PRS, acquise auprès d'AIR LIQUIDE WELDING France.

Forte d'une quarantaine d'année d'expérience aux côtés des différents constructeurs métalliques Algériens, nous proposons à nos partenaires et clients de les accompagner en industrialisant la fabrication de leur PRS, à partir des plans jusqu'à la livraison sur chantier.

Nos outils de production sont parfaitement adaptés pour fabriquer différentes formes de poutres de petites ou grandes dimensions. Nous avons fabriqué au paravent pour

Le compte de la SAPTA des tonnes de PRS, pour la construction des ponts routiers, dont elle était le maître d'ouvrage à travers le territoire national.

L'outil actuel permet d'atteindre une production mensuelle de 500 tonnes et plus

<b>PRS CHARPENTE LOURDE ET OUVRAGE D'ART</b>	
Hauteur d'âme	400 à 3000 mm
Longueur de poutre	Mini 2000 mm, Maxi 20000 mm
Hauteur d'ailes	200 à 800 mm maxi
Epaisseur	10 à 80 mm
Ecartement maxi des têtes	3000 mm
Capacité de production moyenne mensuelle	500 tonnes

## **CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

### **PRODUITS QUE NOUS POUVONS REALISER**

- PRS droite, à inertie variable, cintrée ou à ailes variables
- Caisson droit, à inertie variable ou cintré
- Tout élément chaudronné à partir de PRS

## **LIGNE DE PRODUCTION AUTOMATIQUE FICEP**

### **« Perçage, cisailage, marquage, Grenailage peinture et usinage »**

Grenailage, Perçage, cisailage, marquage, repérage peinture et usinage de tous profilés I, U, H, L, tubes carrés et rectangulaires de capacité maximum 1000 x 450 mm, longueurs 12m et plus à la demande du client. 1 unité de perçage diamètre maxi. 40 mm. Contrôle numérique FICEP à 5 axes. Tous les axes sont électriques. Serrage horizontal et clampage vertical du profilé.

### **AVANTAGES**

Machine compacte. Outil flexible ne nécessitant pas de préparation. Programmation déportée au bureau. Liaison informatique et performante disponible. Haut rendement de production. De plus la tête de broche de l'Orient bénéficie d'une course supplémentaire de 250 mm pour diminuer le mouvement des profilés et augmenter la productivité.





**LIGNES DE POINÇONNAGE CISAILLAGE POUR CORNIÈRES**



**Caractéristiques :** Commande numérique. **Points forts :** Flexibilité, rigidité, productivité

### **PRESSE PLIEUSE BOSCHERT**



### **02 POTENCES DE SOUDAGE AUTOMATIQUE 4000 ET 5000 mm LINCOLN**







**TOUR PARALLELE PINACCHO**  
A Commande numérique  
4000 mm avec un mandrin de 500 mm de diamètre



Le tour parallèle présente une caractéristique unique d'universalité. Il permet en effet d'effectuer non seulement des opérations de tournage et de filetage, mais encore de perçage, d'alésage et l'usinage des arbres allant jusqu'à 4000 mm pour les équipements navals ou autres.

Le développement du tour parallèle a été lié à celui de l'outil de coupe.

## **TOUR VERTICAL LVD BELGIQUE** **Mandrin allant jusqu'à 2500 mm**



## **TOUR HORIZONTAL Russe**

## **CINTREUSE DE TOLE**





**CINTREUSE – CROQUEUSE DE TOLES ALLANT JUSQU’A 65  
MM d’épaisseur**



**CINTREUSE DE ROND LISSE  
COUDEUSE DE TIGES D’ENCRAGE**



## **Cintreuses de profilés**



## **CINTREUSE DE PROFILES ET TUBES**





## FILETEUSE A PEIGNE DE ROND LISSE



## **PERCEUSE RADIALE**



## **FOUR DE TRAITEMENT THERMIQUE**

**FOFUMI France**



**Marque : FOFUMI France**

**Dimensions : 22 m X 08 m X 06 m**



**Température maximale : 780°**  
**Energie utilisée : Oxygène – Propane**

## **Matériel de transport**

### **01 camion 10 t Daewoo**



### **03 Semi-remorques 40 T SCANIA**



**Chapitre I :**  
**Étude bibliographique**

## **I. Généralité sur la fabrication mécanique :**

La fabrication mécanique est un secteur qui regroupe des travailleurs polyvalents qui s'affairent à la conception, à la fabrication, au réglage, à la réparation ou à l'assemblage d'une multitude de pièces, d'outils, d'accessoires et de produits métalliques. Les moteurs, les engrenages, les pompes et les compresseurs sont des exemples de produits destinés, entre autres, à approvisionner les industries de la construction, des pâtes et papiers, des mines et de l'aéronautique.

Le développement économique de ces entreprises passe par la modernisation des équipements et l'introduction de technologies de pointe (logiciels de dessin en 3D, fraisage à commande numérique assisté par ordinateur, etc.). Cela requiert évidemment de nouvelles compétences de la part des travailleurs. Ceux-ci doivent développer leur capacité de résolution de problèmes industriels en faisant appel à leurs aptitudes pour le calcul et la géométrie.

Une bonne dose de dextérité est également nécessaire pour manipuler efficacement et sans danger les outils de coupe et de perçage ainsi que les pièces de métal. De plus, il est essentiel d'avoir un bon sens de l'observation pour être capable d'interpréter correctement les dessins techniques, et une bonne rapidité d'exécution car, compétitivité oblige, il arrive que plusieurs tâches répétitives doivent être accomplies dans de courts délais en cas de production en série.

Le temps passe, mais le métier d'horloger demeure. De nos jours, ces virtuoses de la micromécanique peuvent compter sur l'assistance d'ordinateurs pour réaliser des dessins et créer des pièces de précision destinées aux chronomètres, aux systèmes d'alarme ou encore aux instruments de bord utilisés dans le secteur de l'aéronautique. « Depuis quelques années, l'horlogerie s'est tournée vers des produits dans lesquels on trouve de nombreuses " complications " : phases de la lune, calendrier perpétuel, chronographe mécanique. Aujourd'hui, on trouve également des montres sans pile (accumulateur) que l'on appelle des montres auto-quartz ou kinésiques. Il est certain que, pour être capables d'entretenir ces nouveaux produits, les horlogers ont eu à acquérir de nouvelles connaissances », explique Robert Palourde, responsable de dossiers à l'École nationale d'horlogerie.

D'ailleurs, « le métier d'horloger est un " vieux métier d'avenir " qui convient bien aux personnes qui aiment être toujours en situation d'apprentissage », ajoute-t-il. « Pour les horlogers d'aujourd'hui, le défi principal consiste à demeurer constamment au fait des dernières innovations, tant en ce qui concerne les produits européens que les produits asiatiques, même si on constate que, dans les années 2000, on innove moins que dans les années 1980. Par contre, il faut avoir davantage de connaissances en électronique pour comprendre les principes de fonctionnement des nouveaux produits.

## **I.1 Procédés de fabrication par enlèvement de matière :**

**Définition** : On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans une fourchette de tolérance donnée.

### **I.1.2 principaux procédés :**

Les procédés d'usinage sont extrêmement variés. On distingue assez souvent les procédés d'usinage mécaniques dits traditionnels des procédés d'usinage non traditionnels ; cette dernière appellation désigne des procédés pour usiner des matériaux se prêtant difficilement aux techniques d'usinage classiques. On peut classer les procédés d'usinage selon les phénomènes physiques correspondants, en trois catégories principales : II- Procédés de fabrication par enlèvement de matière.

**I.1.3 Procédés de coupe** : L'enlèvement de matière se fait par action mécanique d'un outil coupant ; la force appliquée induit la formation, à l'échelle macroscopique, de un ou plusieurs copeaux. Il existe un grand nombre de procédés, dont les principaux sont : • les procédés à forte vitesse et grand débit matière (fraisage, tournage, perçage) ; • les procédés de vitesse plus faible (sciage, rabotage, mortaisage, brochage, taraudage ...). Ils ont acquis une nouvelle vitalité considérable grâce, en particulier, au développement des machines-outils à commande numérique. Ce type de machine permet, en effet, de réaliser au moindre coût les séries moyennes de pièces par rapport aux machines-outils classiques, bien adaptée à la fabrication de quelques pièces unitaires, et la machine-transfert, qui est la meilleure solution pour les très grandes séries de pièces.

### **I.1.4 Matériaux pour outils de coupe :**

Le rendement économique des machines-outils dépend essentiellement des performances des outils de coupe. En plus des conditions d'utilisation de l'outil, celles-ci sont fonction des propriétés du matériau qui constitue l'arête de coupe : ténacité et résistance à l'abrasion. D'une manière générale, un matériau est d'autant plus tenace que les contraintes, statiques ou dynamiques (chocs), provoquant sa rupture. À noter que les contraintes auxquelles sont soumis les outils de coupe ont une double origine : contraintes mécaniques (effort de coupe) et contraintes thermiques (dilatation, évolution des caractéristiques intrinsèques, chocs ou fatigue thermique).

### **I.1.5 Les aciers Rapides (high-speed Steele):**

Ce sont des aciers à fort pourcentage de carbone (0.9 à 1.5) qui contiennent des métaux comme : le tungstène, le chrome, le vanadium, etc., dont le but est d'améliorer la dureté et la résistance à l'usure.

. • Le rôle du cobalt est de stabiliser les carbures à chaud, La dureté à chaud s'en trouve donc améliorée et par conséquent la capacité à supporter les vitesses de coupe plus élevées.

. • Le molybdène a une influence double de celle du tungstène sur les capacités de coupe de l'acier : 1% de molybdène remplace 2% de tungstène.

### **Carbures métalliques (carbures) :**

Ils possèdent une haute résistance à l'usure et conservent leur dureté jusqu'à 900°C environ.

II- Procédés de fabrication par enlèvement de matière Ils possèdent une grande dureté qui permet l'usinage d'acier dont la dureté dépasse 45 HRC ( $R_m = 1400 \text{ N/m}^2$ ). Ils permettent de travailler avec des vitesses de coupe quatre à six fois supérieures à celles des aciers rapides.

Ils se présentent sous forme de plaquettes brasées ou fixées mécaniquement sur un corps d'outil en acier.

Les céramiques de coupe : Les céramiques se présentent sous forme de plaquettes frittées, il existe deux grandes familles de céramiques : les céramiques à base d'alumine pure ou mélangée avec d'autres oxydes (zircone  $\text{ZrO}_2$ ), des carbures ( $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ) ou des nitrures ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). En pratique, les céramiques sont prévues pour supporter des vitesses de coupe élevées à des températures importantes.

Elles résistent bien à l'usure mais mal aux chocs. Elles sont souvent utilisées sur des machines puissantes pour l'usinage des métaux ferreux. Elles ne conviennent pas pour les alliages légers et pour les alliages de titane (problèmes chimiques).

## **I.2 Généralité sur l'usinage :**

L'usinage est l'un des divers procédés dans lesquels un morceau de matière première est découpé dans une forme et une dimension finales souhaitées par un procédé contrôlé de retrait de matière. Les procédés qui ont ce thème commun, le retrait contrôlé des matériaux, sont aujourd'hui collectivement connus sous le nom de fabrication soustractive, par opposition aux procédés d'addition contrôlée de matériaux, connus sous le nom de fabrication additive.

L'usinage fait partie de la fabrication de nombreux produits métalliques, mais il peut également être utilisé sur des matériaux tels que le bois, le plastique, la céramique et les composites. Une personne qui se spécialise dans l'usinage est appelé un machiniste. Une salle, un bâtiment ou une entreprise où l'usinage est fait est appelé atelier d'usinage. L'usinage peut être pour le business, un passe-temps, ou les deux. Une grande partie de l'usinage moderne est effectuée par commande numérique par

ordinateur (CNC), dans laquelle les ordinateurs sont utilisés pour contrôler le mouvement et le fonctionnement des moulins, des tours et d'autres machines de coupe.

L'usinage est un processus dans lequel un outil de coupe est utilisé pour retirer de petites pièces de matériau de la pièce (la pièce est souvent appelée "pièce de travail"). Pour effectuer l'opération, un mouvement relatif est nécessaire entre l'outil et la pièce de travail. Ce mouvement relatif est obtenu dans la plupart des opérations d'usinage au moyen d'un mouvement primaire, appelé "vitesse de coupe" et d'un mouvement secondaire appelé "alimentation". La forme de l'outil et sa pénétration dans la surface de travail, combinée à ces mouvements, produisent la forme souhaitée de la surface de travail résultante

Plus récemment, les techniques d'usinage avancées comprennent l'usinage CNC de précision, l'usinage par décharge électrique (EDM), l'érosion électrochimique, la découpe au laser ou la découpe au jet d'eau pour façonner des pièces de métal.

En tant qu'entreprise commerciale, l'usinage est généralement effectué dans un atelier d'usinage, qui comprend une ou plusieurs salles de travail contenant des machines-outils majeures.

Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut en citer deux : l'UGV (ou usinage à grande vitesse) et les machines à axes parallèles qui offrent une grande mobilité de la tête d'usinage.

Avec le travail à grande vitesse, la machine-outil passe à la vitesse supérieure.

Après avoir développé l'usinage à grande vitesse (UGV), les industriels se concentrent aujourd'hui sur le travail à grande vitesse.

### **I.2.1 Type d'usinage :**

Il existe de nombreux types d'usinage, dont chacun est capable de générer une certaine géométrie de pièce et une texture de surface.

**Tournage** : un outil de coupe avec un seul tranchant est utilisé pour éliminer le matériau d'une pièce à travailler en rotation pour générer une forme cylindrique. Le mouvement primaire est obtenu en faisant tourner la pièce et le mouvement d'avance est obtenu en déplaçant lentement l'outil de coupe dans une direction parallèle à l'axe de rotation de la pièce à usiner.

**Perçage** : est utilisé pour créer un trou rond. Il est réalisé par un outil rotatif qui a typiquement deux ou quatre arêtes de coupe hélicoïdales. L'outil est amené dans une direction parallèle à son axe de rotation dans la pièce à usiner pour former le trou rond.

Dans l'**alésage**, un outil muni d'une seule pointe pointu courbée est avancé dans un trou pratiquement réalisé dans une pièce à usiner afin d'agrandir légèrement le trou et d'améliorer sa précision. Il s'agit d'une fine finition utilisée dans les dernières étapes de la fabrication du produit.

Alésage, est l'une des opérations de dimensionnement qui supprime une petite quantité de métal à partir d'un trou déjà percé.

**Fraisage** : un outil rotatif à plusieurs arêtes de coupe est déplacé lentement par rapport au matériau pour générer une surface plane ou droite. La direction du mouvement d'avance est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'outil. Le mouvement de vitesse est fourni par la fraise rotative. Les deux formes de base de fraisage sont :

Fraisage périphérique

Fraisage du visage.

D'autres opérations d'usinage classiques comprennent le façonnage, le rabotage, le brochage et le sciage. En outre, le meulage et les opérations abrasives similaires sont souvent inclus dans la catégorie d'usinage.

### **I.2.2 Le tournage :**

La pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce ; Cette opération permet de réaliser des pièces de révolution.

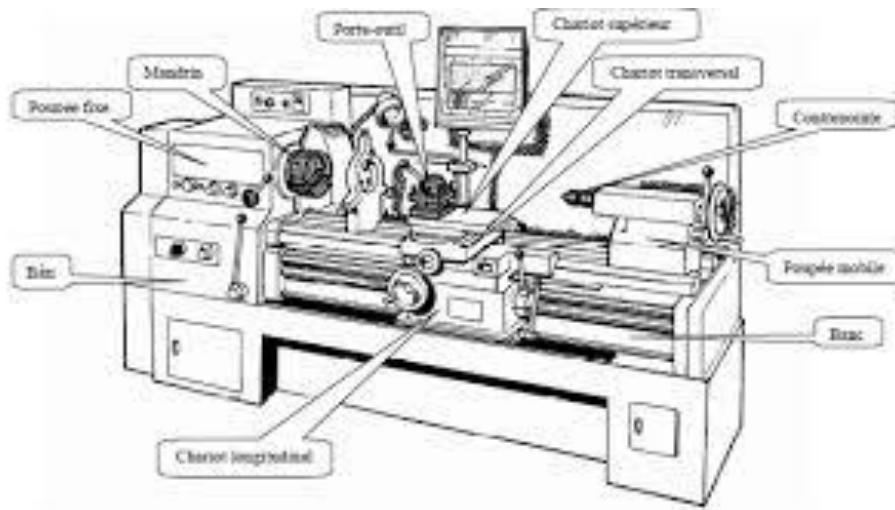


Fig. 1 : machine de tournage



Fig.2. Tour conventionnel



Fig.3 Tour à commande numérique



### I.2.3 Les outils de tournage :

#### Outils à plaquettes 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).

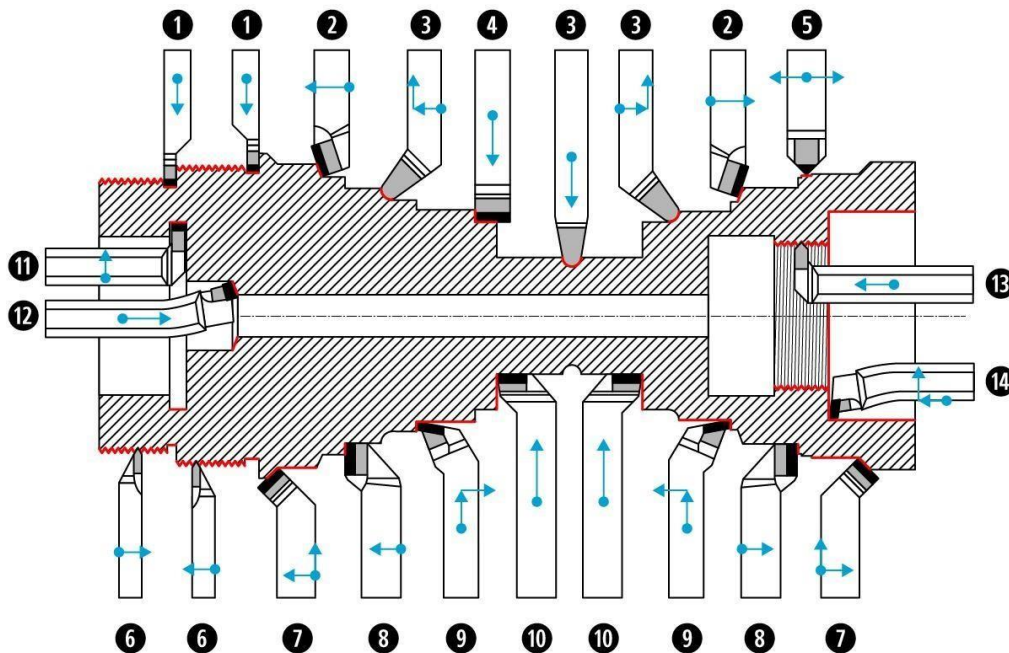


Fig.4 Les différents outils de tournage (3)

1	Outil à signer
2	Outil à charioter droit
3	Outil à retoucher
4	Outil pelle
5	Outil à retoucher
6	Outil à fileter (extérieur)
7	Outil à charioter courbé
8	Outil couteau
9	Outil à dresser d'angle
10	Outil à dresser les faces

<b>11</b>	<b>Outil à chambrer</b>
<b>12</b>	<b>Outil à aléser</b>
<b>13</b>	<b>Outil à fileter (intérieur)</b>
<b>14</b>	<b>Outil à aléser et dresser</b>

#### **I.2.4 Classification des machines de tour :**

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

##### **- 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. [3]

##### **- 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. [3]

##### **- Les tours semi-automatiques :**

Ce sont des tours équipés d'un trainard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale indexable 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. [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. [3]

- **Les tours automatiques multibroches :**

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectuées un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches. [3]

- **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 adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives. [3]

### **I.3 Régime de coupe en tournage :**

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

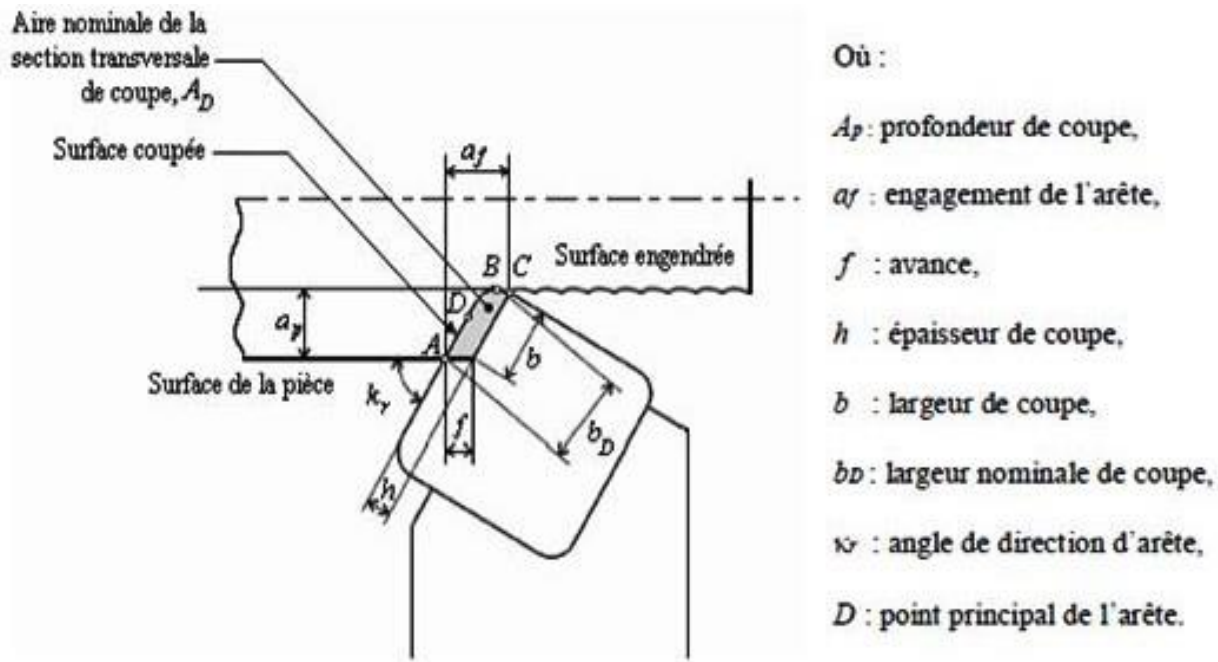
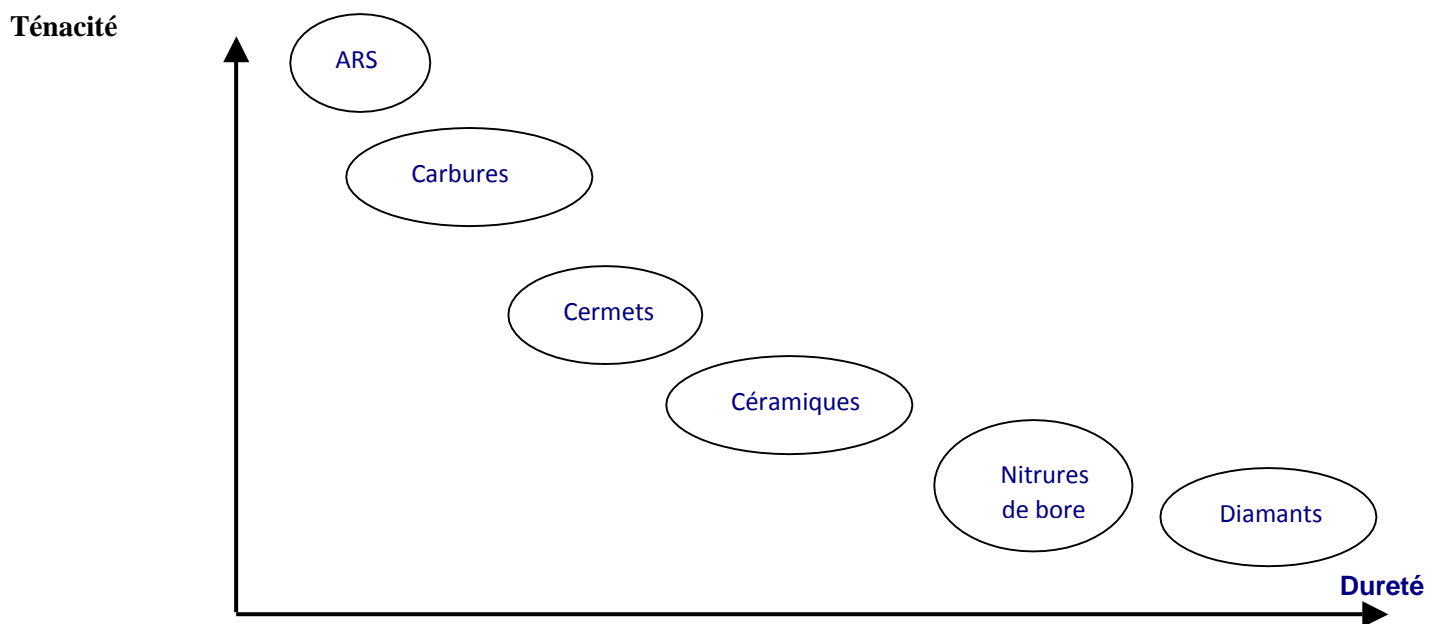


Fig.5 Dimensions de coupe dans le cas de tournage

### 1.3.1 Les matériaux des outils

#### Matériaux



## **ARS :**

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont élaborés à partir d'un acier faiblement allié subissant un traitement thermique. Il est toujours utilisé pour certains types d'outils comme les forêts, ou les outils nécessitant un angle de tranchant très faible.

Ils ne permettent pas une vitesse de coupe élevée car un échauffement trop important élimine la trempe de l'outil, et crée donc un effondrement rapide de l'arête de coupe.

Fabrication : par coulée en coquille ou par métallurgie des poudres Composition : 0,7 % de Carbone minimum  
4 % de Chrome environ Tungstène, Molybdène, Vanadium

Cobalt pour les plus durs.

Dureté : de 63 à 66 Hrc

## **Carbures**

Les outils carbures sont les plus utilisés actuellement. Il en existe de toutes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d'usinage. Ils se présentent sous la forme d'une plaquette que l'on vient fixer sur un porte outil. Le remplacement de la plaquette est donc très rapide.

Ils sont souvent revêtus d'un carbure plus dur. On obtient ainsi une plaquette dont le noyau est

### **Cermets :**

Ce nom vient de céramique-métal car il représente les carbures ayant des particules de Titane, decarbonitrure de Titane ou de nitrure de Titane.

Ces outils doivent être alliés à du carbure de Molybdène pour augmenter leur ténacité.

Ils sont utilisés pour des grandes vitesses de coupe associées à de faibles avances, donc pour de la finition.

Le matériau étant fragile, il ne faut pas d'interruption de coupe (plan de joint...).

## **Céramiques**

Ce sont, pour les outils de coupe, les oxydes et les nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium.

Les céramiques ont une grande dureté (donc une faible ténacité) avec une grande stabilité à hautetempérature et aucune réaction avec la matière usinée.

Les céramiques permettent un grand débit de matière, mais nécessitent une grande stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et une méthode d'usinage adaptée (approche de l'outil).

## **Nitrure de Bore Cubique (CBN)**

Le CBN offre une très grande dureté, c'est le matériau le plus dur après le diamant. Il comporte l'avantage par rapport au diamant de ne pas s'oxyder à haute température. Il est aussi utilisé pour faire des meules de rectification, pour usiner les pièces dures...

Son utilisation requiert

- Une machine stable
- Une grande rigidité de la pièce et de la porte pièce
- Un arrosage

## **Diamant**

L'utilisation du diamant est fortement répandue comme constituant des meules, ou des grains de ré-affûtage des meules.

Il a un faible coefficient de frottement ce qui limite l'apparition d'arête rapportée (donc peut d'encrassement).

Par contre, son énorme inconvénient réside dans sa non-stabilité à haute température. Un diamant soumis à une température de plus de 650 ° se transforme en un vulgaire morceau de graphite... On ne peut donc pas l'utiliser pour les matériaux ferreux.

Par contre, il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à basse température : alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables

### **I.3.2 Contrôle de la position de la pièce par rapport à l'outil :**

#### **Les moyens de contrôle :**

Le moyen le plus simple est le vernier : tambour gradué sur lequel on lit les déplacements de l'outil. C'est l'opérateur qui contrôle la position de l'outil, et qui arrête l'avance de l'outil lorsque la position est atteinte. Ces machines s'appellent les machines conventionnelles. Les pièces fabriquées sont limitées à des formes simples. Ces machines sont de plus en plus rares dans l'industrie, car elles sont peu productives. On les trouve dans les ateliers de réparation.

La machine la plus courante est la machine à commande numérique. Un codeur permet de connaître la position de l'outil, et une boucle d'asservissement permet de contrôler l'alimentation des moteurs d'avance

pour atteindre la position désirée. Ces machines nécessitent donc une programmation pour être mise en œuvre, mais la programmation devient de plus en plus transparente grâce aux logiciels de FAO (fabrication assistée par ordinateur) qui génèrent le programme à partir du fichier CAO de la pièce, ou grâce à une nouvelle génération de machine dites « par apprentissage ».

## Référentiels :

Les machines étant dirigées par un programme, il est important d'avoir une définition commune des références et des axes.

L'axe Z est toujours l'axe tournant. Z+ doit éloigner la pièce de l'outil :

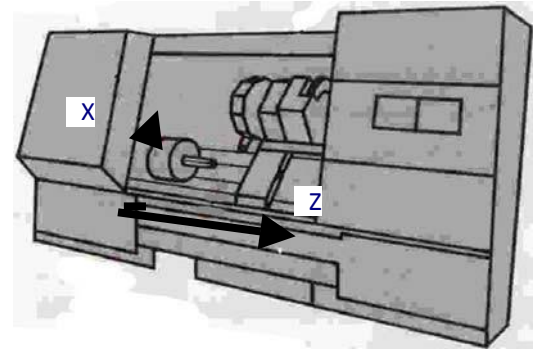
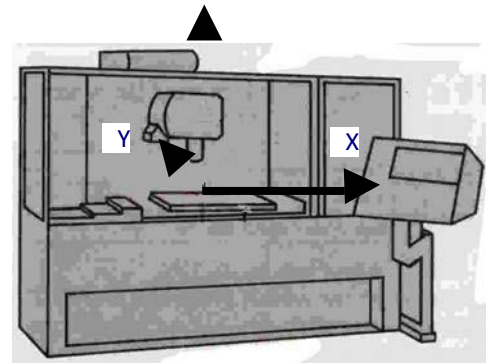
- l'axe de rotation de l'outil en fraisage
- l'axe de rotation de la pièce (mandrin) en tournage

L'axe X est l'axe du plus grand déplacement

L'axe Y forme un repère direct avec X et Z

Remarque :

- En tournage l'axe Y n'existe pas. Deux déplacements suffisent à faire toutes les pièces à une révolution.
- Les axes supplémentaires et demi-axes.



Tous déplacement analogique est appelé axe. C'est à dire que la position relative entre la pièce et l'outil doit pouvoir varier de façon continue (outil tournant sur un tour, plateau tournant asservi ...)

Les mouvements incrémentaux sont appelés demi-axe (plateau tournant gradué tous les degrés).

## I.4 Les paramètres de coupe :

### I.4.1 Généralité :

La formation du copeau résulte l'action mécanique complexe. L'arête de coupe (intersection de la face de coupe avec la face de dépouille) pénètre dans la matière et

provoque la formation du copeau. Le frottement de celui-ci sur la face de coupe et celui de la pièce sur la face de

dépouille provoquent une augmentation importante de la température, qui peut entraîner une fusion locale du copeau. Ce phénomène peut conduire à l'adhérence du copeau sur la face de coupe (copeau adhérent). la création d'une arête rapportée

#### **I.4.2 Les principaux facteurs influençant la formation du copeau sont :**

- la vitesse de coupe  $V_c$  [m/min] ;
- la profondeur de passe  $a$  [mm] ;
- la vitesse d'avance  $V_f$  [mm/tour] ou [mm/dent/tour];
- la géométrie de l'outil ;
- les matériaux de l'outil et de la pièce ;
- la lubrification. [2]

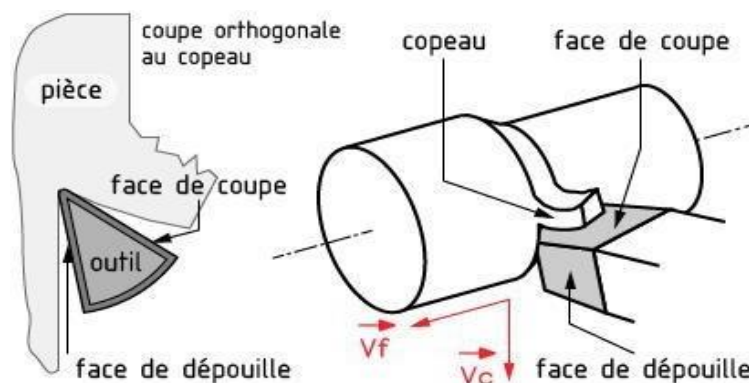


Fig.6 phénomènes de coupe [2]

#### **I.4.3 La notion de copeau minimum :**

Lorsque la profondeur de passe, l'avance sont trop faibles : l'outil ne coupe plus. Le métal se comprime superficiellement et la pression de contact outil-pièce provoque l'usure prématurée de l'outil ainsi que l'obtention d'un mauvais état de surface. Il est nécessaire de choisir des valeurs minimales pour obtenir un résultat satisfaisant. [2]

#### **I.4.3 Les critères de choix :**

Plusieurs critères permettent de définir les paramètres de la coupe :



- le type de machine et sa puissance,
- la matière en œuvre,
- la matière de l'outil,
- le type d'opération.

L'objectif est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions. Pour cela il faut déterminer certains paramètres spécifiques, notamment la vitesse de coupe  $v_c$ , la vitesse d'avance  $V_f$  et la profondeur de passe  $a$ .

**a) La vitesse de coupe  $V_c$  [m/m in] :**

Représente l'espace parcouru (en mètres) par l'extrémité d'une dent de l'outil en une minute. Ce paramètre influe la durée de vie des outils et varie :

- avec le type de matière à usiner et le matériau de l'outil,
- selon la nature de l'opération (ébauche ou finition),
- par rapport au type d'usinage effectué (application d'un coefficient réducteur lorsque l'usinage est délicat),
- fonction d'utilisation des conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

Les valeurs usuelles des vitesses de coupe, fonction de la matière à usiner et de la matière de l'outil, sont données dans des abaques.

**b) La fréquence de rotation  $N$  [tour/min] :**

Se calcule par la formule suivante :

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

∴

Où  $D$  [mm] représente le diamètre de la pièce à usiner (en tournage) ou le diamètre de la fraise/du foret (en fraisage/perçage).

A l'aide des tableaux indiquant les fréquences de rotation disponibles sur les machines-outils, on choisit les valeurs les plus proches de celles calculées.

**b) L'avance  $f$  ou  $f_z$  [mm/tour] :**

S'exprime par le déplacement de la pièce (en fraisage) ou de l'outil (en tournage) pour :

- une dent ; c'est l'avance par dent  $f_z$  utilisée en fraisage,
- un tour ; c'est l'avance par tour  $f$  utilisée en tournage.

L'avance détermine principalement la rugosité de la surface. Elle est prise plus grande en ébauche qu'en finition, les valeurs des avances sont également données par des abaques

### **c) La vitesse d'avance :**

C'est la vitesse de translation de la pièce/outil qui sera affichée sur la machine. Ce paramètre se calcule par la formule suivante :

$$V_f = f_z * Z * N'$$

Avec Z le nombre de dents de la fraise et N la fréquence de rotation

### **e) Le paramètre profondeur de passe a :**

Dépend de la surépaisseur de matière à usiner ainsi que de la nature de l'opération (ébauche ou finition). [4]

### **La section du copeau :**

La valeur de l'avance par tour  $f$  multipliée par la profondeur de passe  $a$  déterminent la section du copeau enlevée par chaque dent, valeur qui influe elle-même la puissance demandée à la machine-outil. [4]

### **1.5 L'outil de coupe :**

Un outil de coupant est constitué d'une queue (partie par laquelle est maintenu le porte-outil de machine) et d'une partie active appelée encore corps en matériau de l'outil. l'élément essentiel de la partie active est de coupe principale qui est l'intersection de face de coupe et de la face de dépouille principale [3]

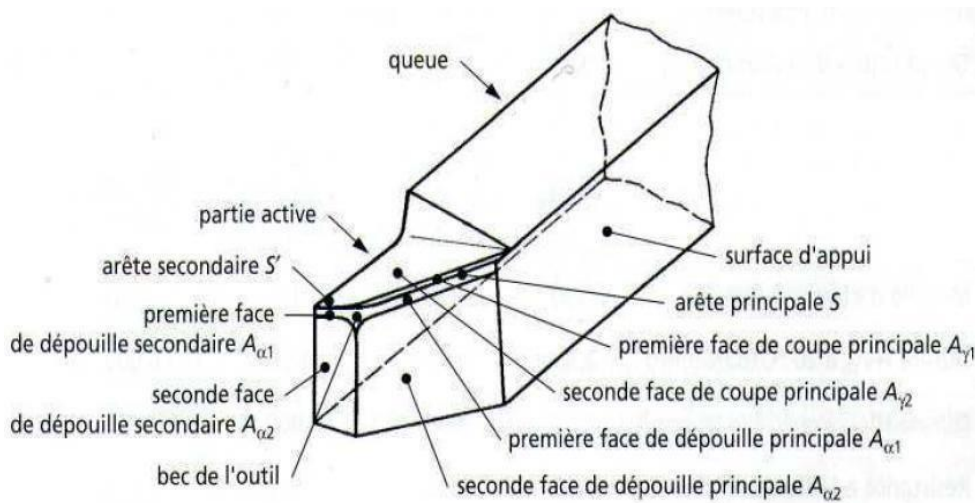


Fig.7 .Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [3]

### I .5.1 Géométrie des outils de coupe :

La plaquette de coupe est la partie active dans une opération d'usinage. Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et par différents paramètres géométriques comme : les angles de coupe, l'acuité d'arête, le brise-copeaux, et le rayon de bec. La géométrie des outils est étudiée pour assurer une formation aisée des copeaux, offrir une arête de coupe robuste et fragmenter les copeaux en éléments d'une longueur acceptable [3]

#### Les angles de coupe :

Les angles de coupe sont repérés dans différents plans de projection. Dans le cas de l'outil en main, les principaux plans de projection sont les plans : Pf, Pp, Pr, Ps Les angles de coupe sont :

- Angle de direction d'arête principale  $K_r$  (angle mesuré entre le plan Pf et ps).
- Angle d'inclinaison de l'arête de coupe  $l_s$  (angle mesuré entre le plan Pr et l'arête decou.
- Angle de pointe de l'outil  $e_R$  (angle mesuré entre le plan principal Ps et le plan secondaire.
- Angle de direction d'arête secondaire  $K_r'$  (angle mesuré entre le plan Pf et le

planPr).[3]

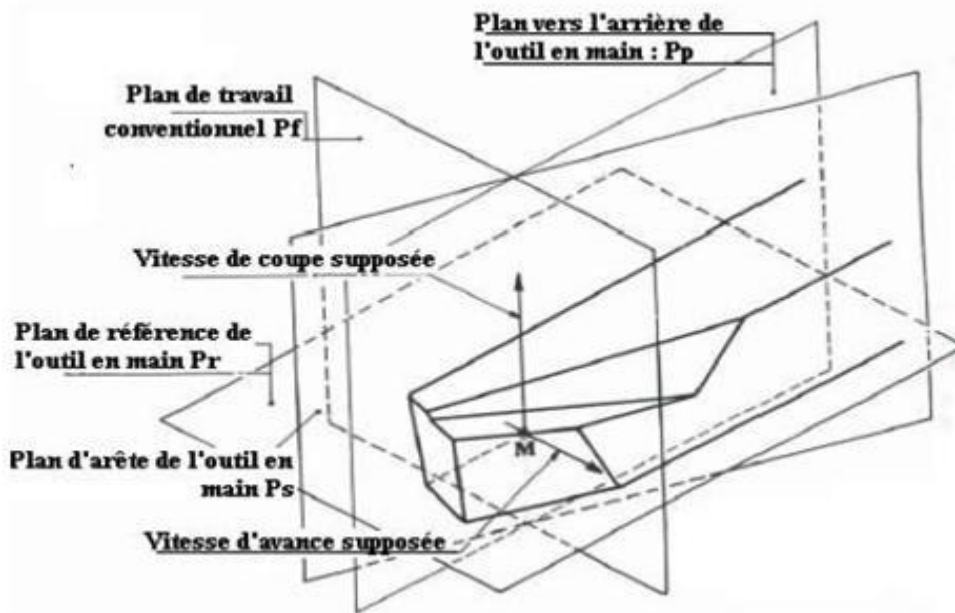


Fig.8.Principaux plans de l'outil en main. (4)

Les angles de direction d'arête principale  $K_r$ , de pointe de l'outil  $\epsilon_r$ , et de direction d'arête secondaire  $K_r'$  sont liés par l'équation (eq I.1).

$$K_r + \epsilon_r + K_r' = 180^\circ \quad (I.1)$$

Les angles  $g$  angle de coupe et  $l$  angle d'inclinaison sont les éléments fondamentaux pour l'évacuation des copeaux. La variation de l'angle de pointe de l'outil de coupe joue un rôle sur la durée de vie de l'outil et sur la segmentation des copeaux. L'augmentation de l'angle de coupe  $g$  diminue les forces de coupe et la température durant l'usinage. L'angle en dépouille principale  $a_f$  n'a aucune influence sur les forces de coupe. Mais les angles en dépouille principale  $a_f$ , et secondaire  $a_{f0}$ , sont très importants et seront toujours minimisés pour augmenter la résistance mécanique des arêtes et du bec de l'outil. Plus l'angle de dépouille d'une plaquette augmente plus la résistance de l'arête de coupe de cette plaquette aux forces mécanique diminue. L'angle de dépouille  $a_f$  joue un rôle important sur l'usure de la face de dépouille, car plus cet angle est grand plus l'usure en dépouille diminue. [3]

### I.5.2 Mouvement relatif outil / pièce :

Lors de la génération d'une surface par enlèvement de matière, la surface engendrée sur la pièce est due au mouvement de l'outil par rapport à la pièce.

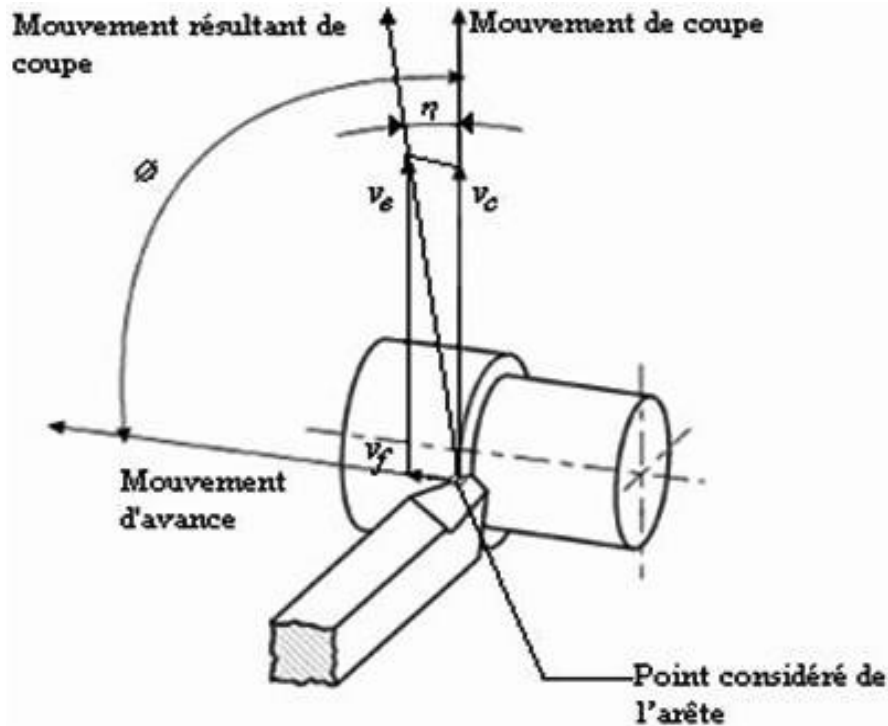


Fig.9. Mouvements de l'outil et de la pièce en tournage. [2]

#### ○ Mouvement de coupe $M_c$ :

Le mouvement de coupe est un mouvement relatif principal entre l'outil et la pièce. Il participe directement au détachement de la matière sous forme de copeaux Pendant la course de travail.

#### ○ Mouvement d'avance $M_a$ :

Au mouvement de coupe, vient s'ajouter un autre mouvement relatif entre l'outil et la pièce, le mouvement d'avance, nécessaire à la génération de la surface de la pièce. Il peut être composé de plusieurs mouvements mais seulement de façon à ce qu'au moins une de ses composantes soit rectiligne. Le mouvement d'avance a pour but de décaler latéralement une quantité  $f$  dite avance, pour que l'outil puisse à la nouvelle course de travail détacher d'autres copeaux.

Le mouvement de coupe et le mouvement d'avance combinés constituent le mouvement résultant de coupe ( $v_e$ ), alors que l'angle contenu entre ces deux mouvements est appelé

angle de direction d'avance ( $\phi$ ) .

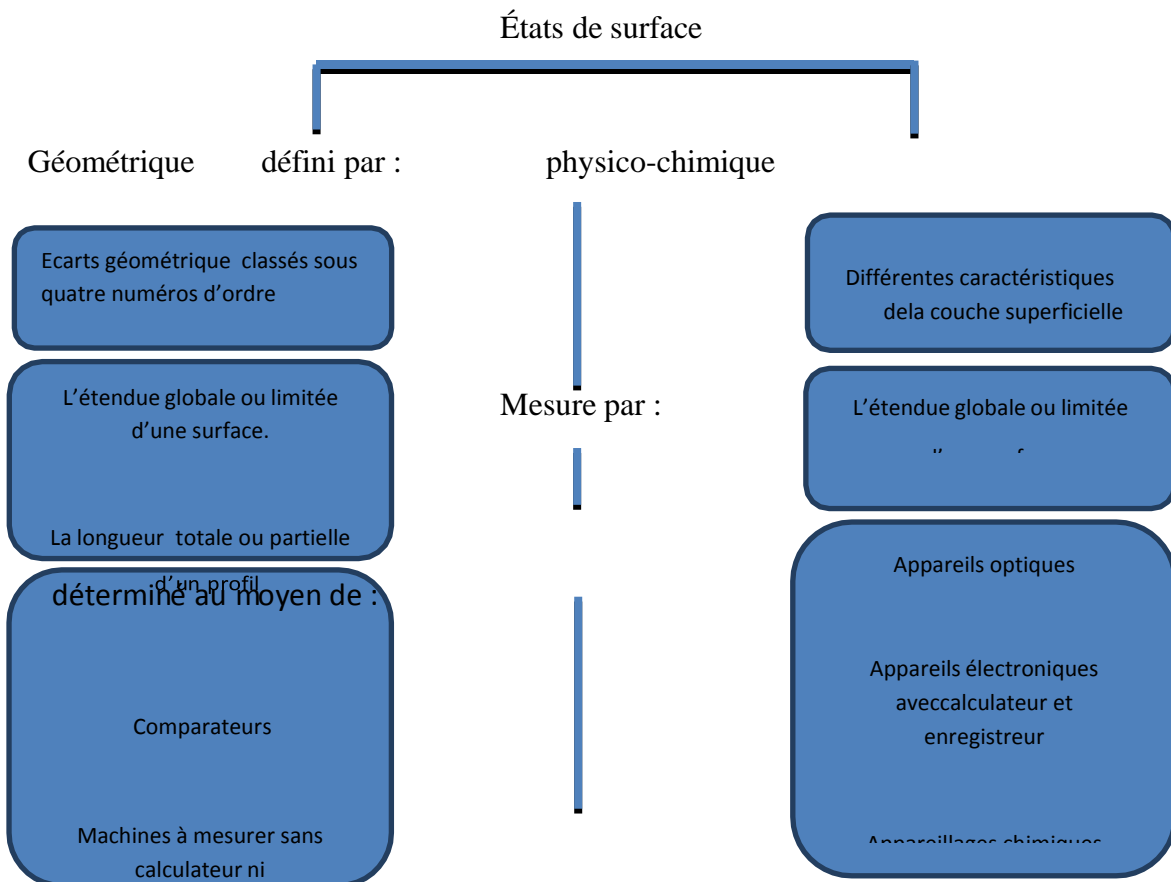
- **Mouvement de pénétration  $M_p$**  :

C'est le mouvement qui détermine l'épaisseur de la couche de métal à enlever à chaque opération qui prend le nom

**Chapitre II**  
**La Rugosité de**  
**Surface**

## II.1 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. [6]



## II.2 Rugosité :

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique.

Les surfaces usinées ne sont pas parfaites, elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, etc.



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

Plus l'indice de rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [6]

### **II .3 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.

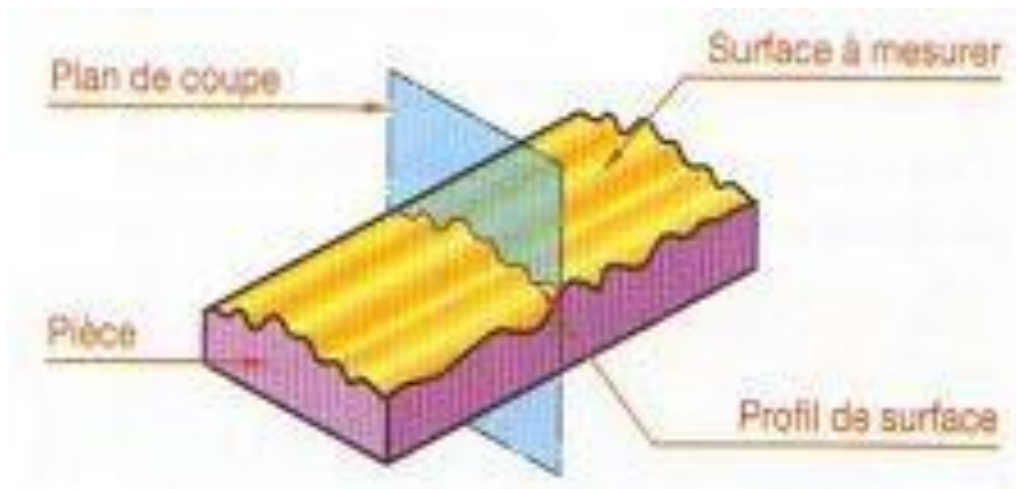


Fig. II.1 Profil de surface [7]

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. O Réseau cristallin (échelle nano-sceptique) [7]. [11]
3. ondulation (échelle macroscopique) : l'écart entre les crêtes est compris entre 0,5 et 2,5mm
4. Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudopériodiques, échelle microscopique) l'écart entre les crêtes est inférieur ou égal à 0,5 mm
5. Défauts localisés (échelle microscopique) : marque d'outil, arrachement, fente, piqûre
6. Structure cristalline (échelle méso-sceptique).
7. Réseau cristallin (échelle nano-sceptique) [7]. [11]
8. Réseau cristallin (échelle nano-sceptique) [7]. [11]

### II.3 : Les types de défauts de surface sont présentés dans la figure II.2

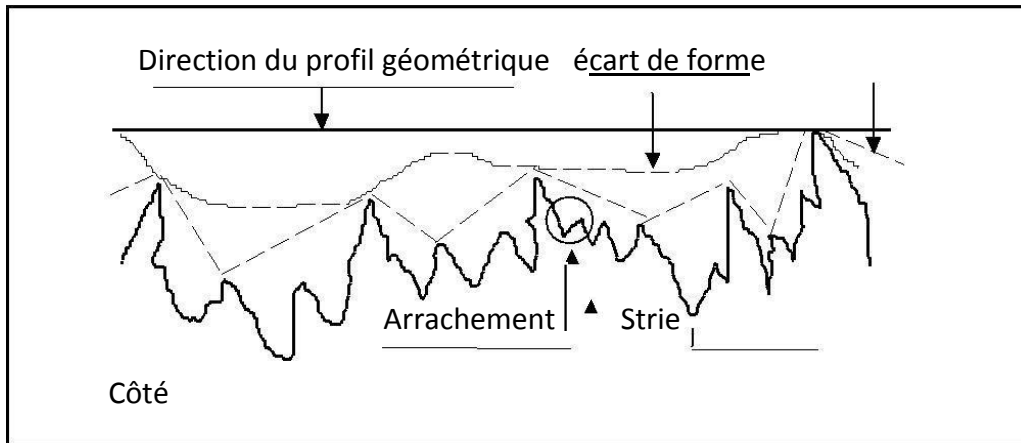


Figure II.2 Les types de défauts de surface [7]

#### II.3.1 Ordre 1 : défauts de forme :

Macro géométrique : l'écart de forme

- Les défauts de planéité
- Les défauts de rectitude
- Les défauts de circularité

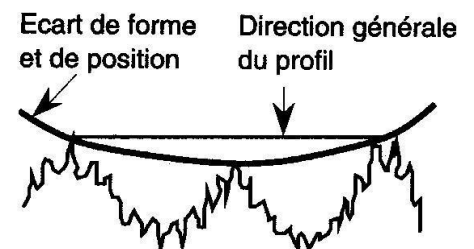


Figure II.3 Défauts d'ordre 1 [7]

#### 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 :

Discontinue : Comparateur (maillage) Machine à mesurer tridimensionnelle

Continue : Paléage, interférométrie

On peut également utiliser un marbre ou calibre ou une bague [7]. [11]

### **II .3.2 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  $\lambda$  (Valeur à déterminer avec le bureau d'étude)

$\lambda \ll w$

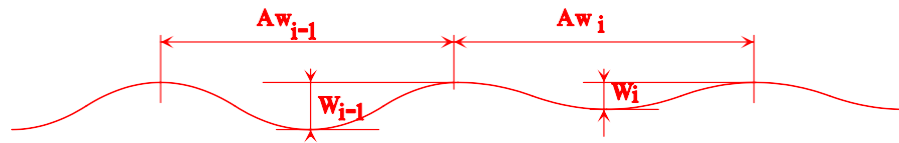


Figure II.4 motif d'ondulation

Pas moyen d'ondulation : 
$$A_W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{W_i}$$

Profondeur moyenne d'ondulation 
$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i$$

L'influence de ces défauts est le 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 la porte pièce

L'outil, dû à une dent cassée au niveau de la fraise par exemple La machine

### II .3.3 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  $\lambda < \lambda_r$  (valeurs à déterminer avec le bureau d'étude)

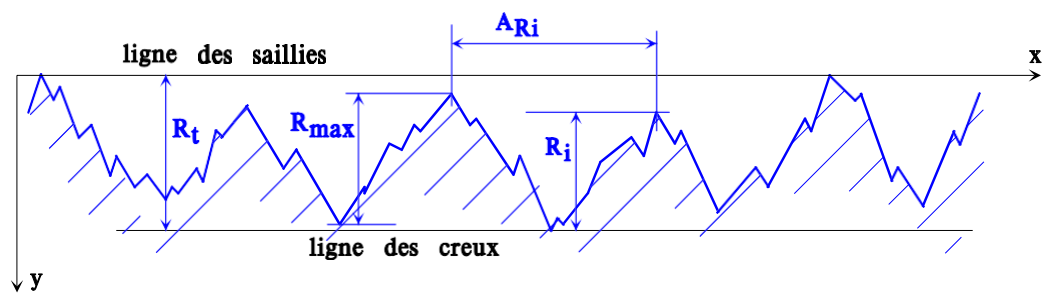


Figure II.5 Profil « redressé »



Pas moyen de rugosité :  $A_R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{Ri}$  , **Profondeur moyenne de rugosité**  $R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$

**Rugosité maxi:**  $R_{\max} = \text{Sup}\{R_i\}$  , **rugosité totale** :  
 $R_t = \text{Ecart entre le pic le plus haut et la saillie la plus basse}$

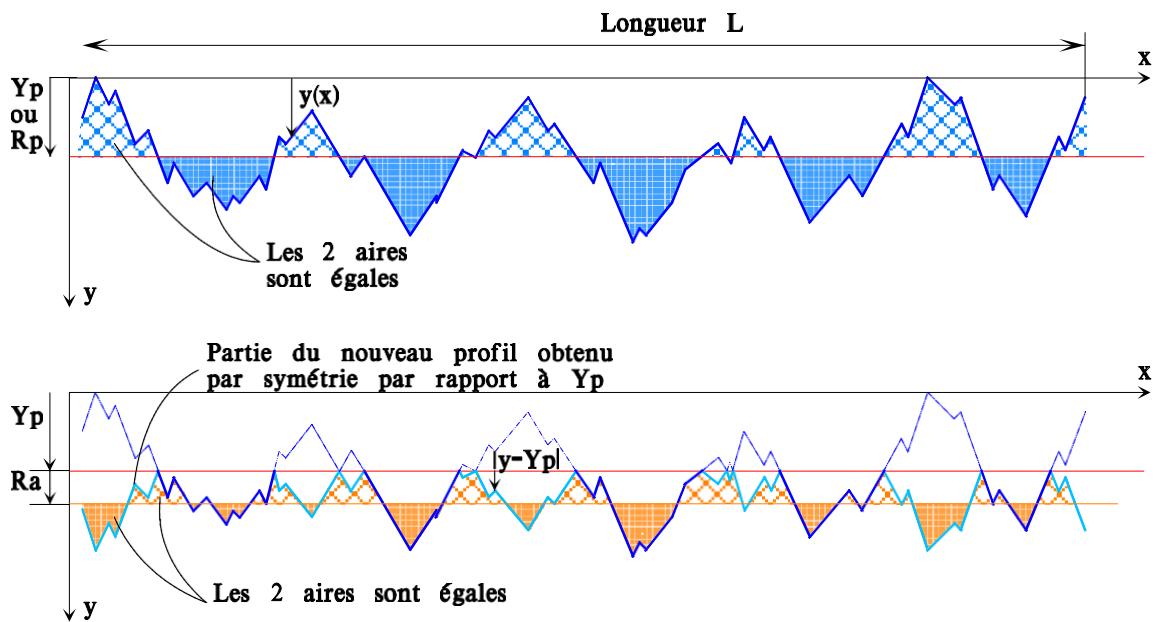


Figure II.6 profondeur d'aplanissement de rugosité :  $R_p$  ; écart moyen par rapport à la ligne moyenne de rugosité :  $R_a$  [7]

Profondeur (ou rugosité) moyenne d'aplanissement :  $Y_P \text{ ou } R_P = \frac{1}{L} \int_L y(x).dx$

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

$$R_a = \frac{1}{L} \int_L^L |y(x) - Y_P| \cdot dx$$

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 hauts fréquence

Les stries ou sillons dus au passage de l'outil (r) [7]

### II .3.4 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...)

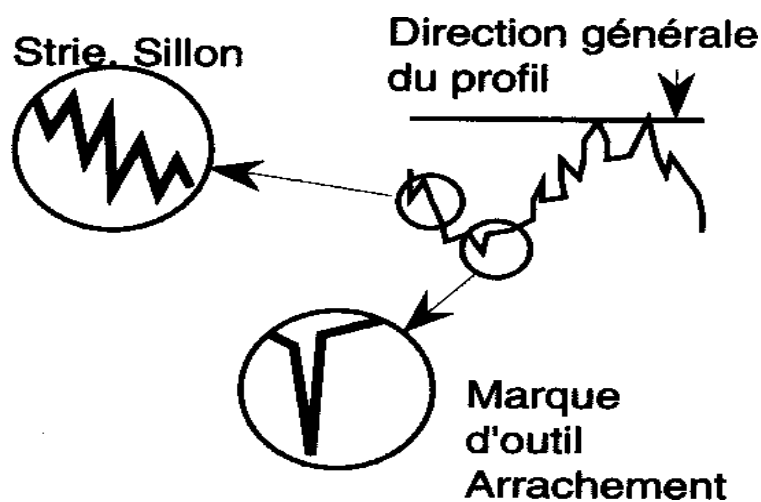


Figure II.7 arrachement de matière [7]

## II.4 Différents types de lignes :

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

- **Ligne moyenne :**

Cette droite a la  
Direction générale du profil

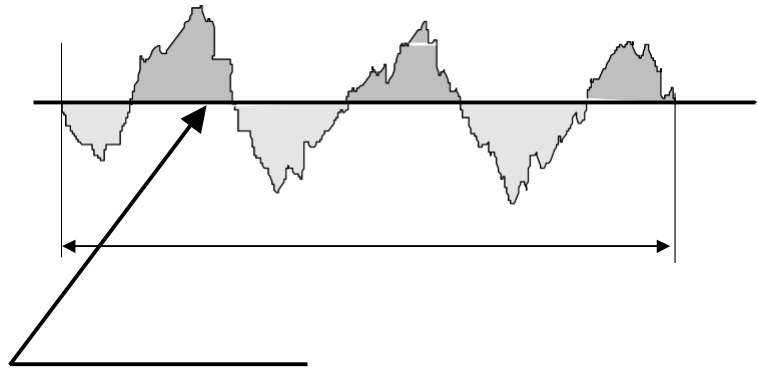


Figure II.8 la ligne moyenne [7]

### II .4.1 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  $2 \leq l \leq 10$  période de l'ondulation. Donc

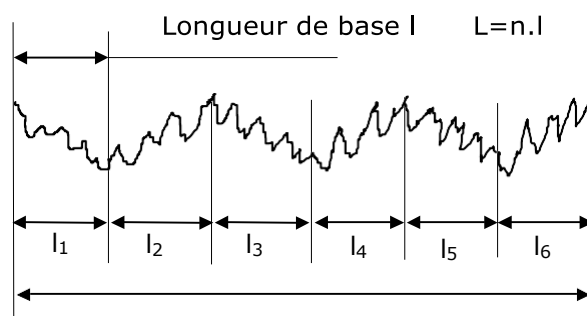


Figure II.9 la présentation de la longueur de base [7]

## II .4.2 Ligne de référence :

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

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

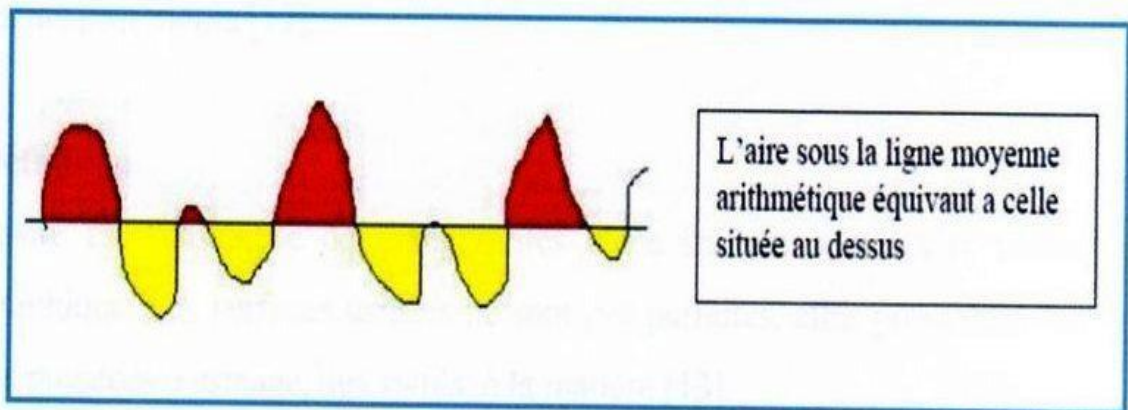


Figure II.10 Ligne des moindres carrés [8]

- 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 [8]

## II .4.3 La ligne enveloppe supérieure :

C'est la somme des segments de droite qui joignent les points les plus hauts des saillies Locales du profil. [8]

## II.4.4 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). [7]

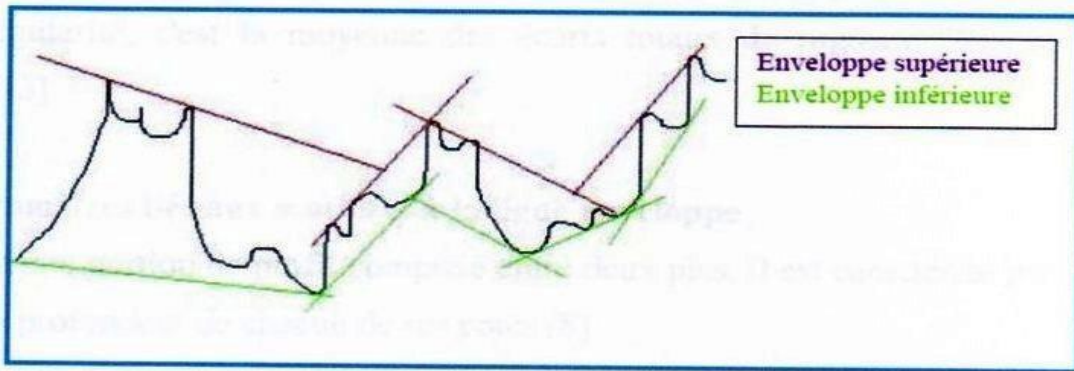


Figure II.11 ligne enveloppe inférieure et supérieure [8].

## II.5 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 [8]

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

### II.5.1 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 :


➤ **Rugosité moyenne  $R_a$**

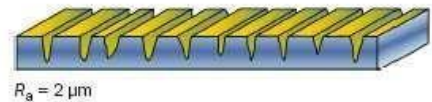
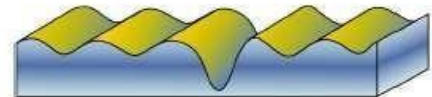
Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Ecart moyen arithmétique. Il s'agit de l'écart moyen de tous les points du profil derugosité 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  $R_a$ . [7]. []

Exemple d'indication donnée sur les dessins : 3.2 / 



Les états de surface peuvent présenter des aspects différents tout en ayant une valeur de  $R_a$  identique.-

Les paramètres les plus fréquents du profil R sont :



Figure II.12 rugosité moyenne  $R_a$  [6]

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 [7]

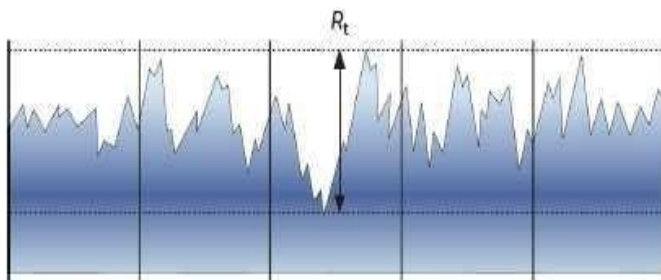
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_j^2}$$

➤ **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

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



Exemple d'indication donnée sur les dessins :  $\sqrt{R_t^4}$

Figure II.13. Hauteur maximale du profil  $R_t$  [6]

➤ **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 [7]

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

➤ **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 [7]



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

➤ **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

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

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

Pour les profils de données elle est basée sur cinq longueurs d'échantillon ( $m = 5$ ). Le nombre d'échantillons correspond à la norme ISO. [7]

➤ **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 [7]

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

Où

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

➤ **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

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

Où :

$$R_{pi} = |\max r_j| \quad \text{for} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m} \quad [7]$$

➤ **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.[]

➤ **Profondeur de rugosité moyenne  $R_{3zISO}$**

Normes : ISO 4287-1997.

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. []

➤ **Hauteur maximale moyenne  $R_z$**

Normes : ISO 4287-1997 Moyenne des valeurs absolues des cinq plus hauts pics et des cinq plus basses vallées

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

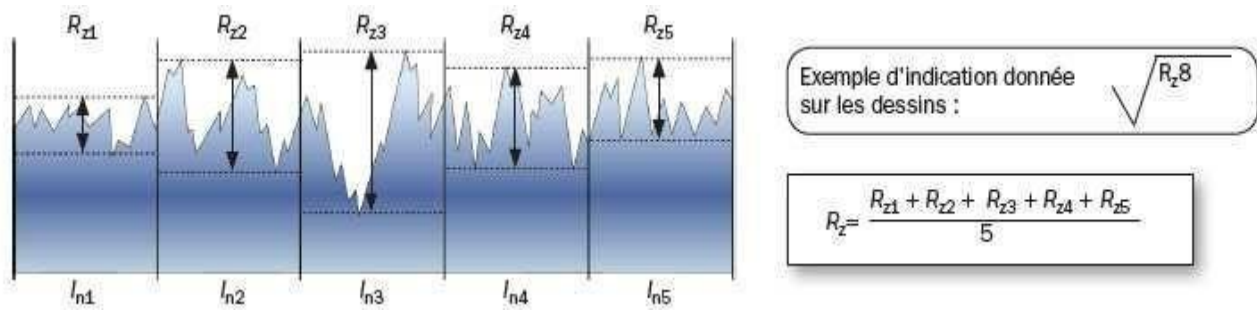


Figure II.43 Hauteur maximale moyenne  $R_z$  [6]

➤ **Amplitude crête-à-crête moyenne  $R_{ISO}$**

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  $R_{tm}$ .

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  $x$ .

Distribution d'amplitude cumulée

Normes : ISO 4287-1997.

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. []

➤ **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 []

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

### **II.5.2 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

### **II .5.3 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 [4],

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 voir figure II.15

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

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

La ligne enveloppe supérieure permet de déterminer les motifs d'ondulation et de calculer la profondeur moyenne d'ondulation  $W$  et son pas  $AW$  voir figure II.15.

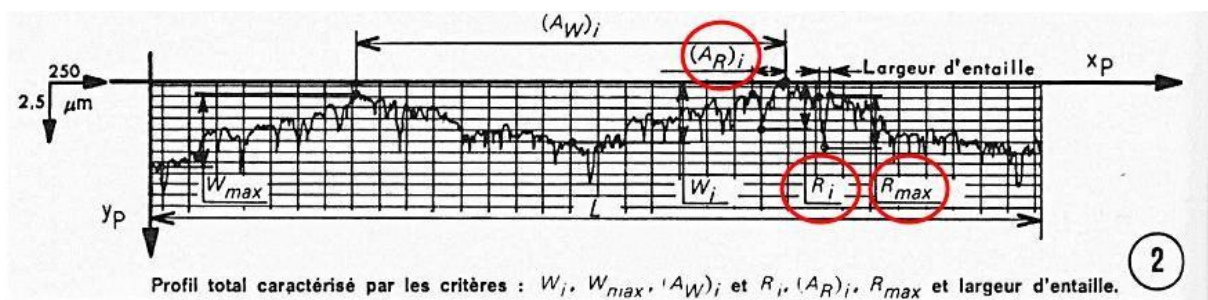


Figure II.15 profil total caractérisé par les critères :  $W_i$ ,  $W_{max}$ ,  $(AW)_i$  et  $R_{max}$  et largeur d'entaille

$$Aw = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Aw_i \quad \text{Pas moyen}$$

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

## II .5.4 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.

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

➤ **Au niveau de la longueur de base :**

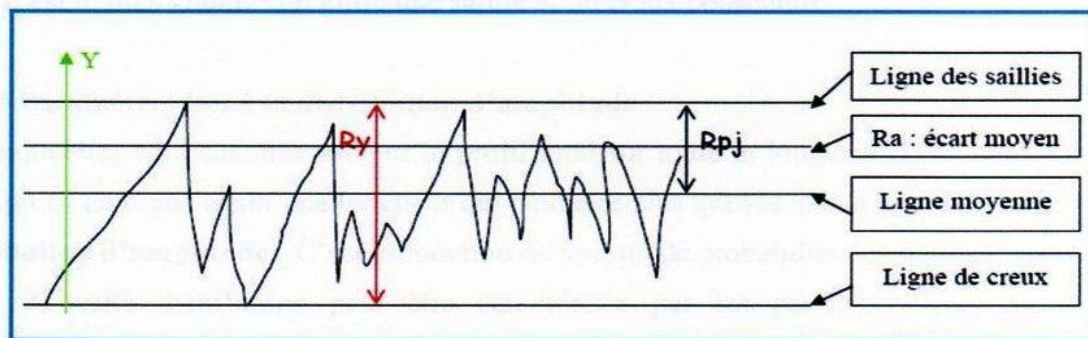


Figure II.16 Paramètre liés a la longueur de bas [8]

Rpj : distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne

Raj : écart moyen arithmétique du profil

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

Rp : Représente la moyenne des Rpj

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

$R_t$  : 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

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

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

➤ **Au niveau de la longueur d'évaluation**

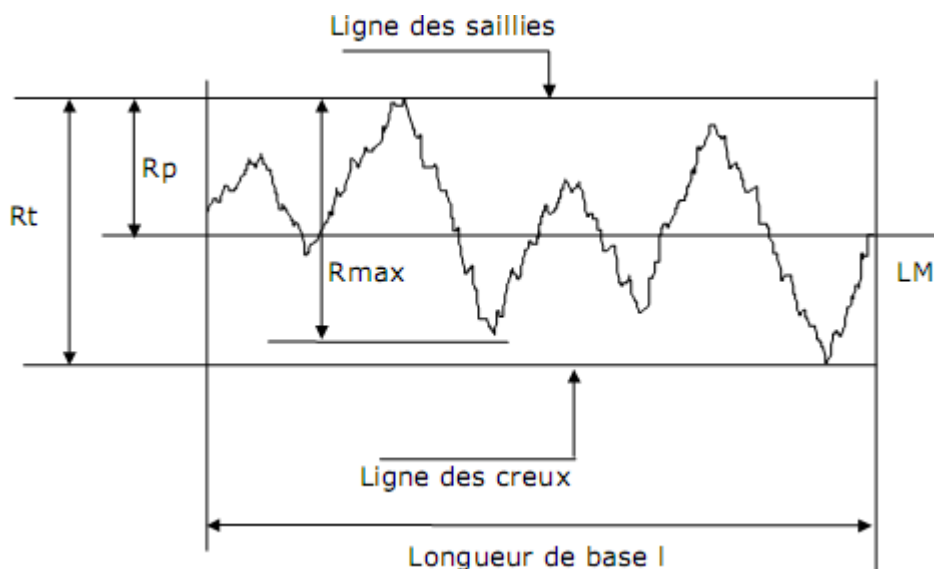


Figure II.17 Paramètres liés à la longueur d'évaluation [7]

➤ **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 (8),

Taux de portance  $T_p$  représenté par la courbe D'Abbott-Festonne, 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 ( $c$ ) voir figure I. //////////////

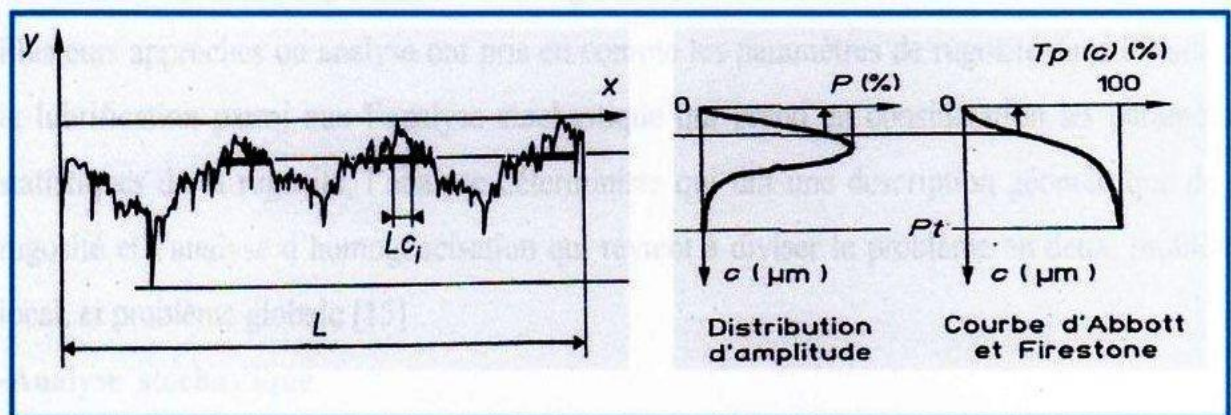


Figure II.18 Paramètres liés à la distribution d'amplitude [8]

$C$  : (mm) 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.

## II.6 Les spécifications normalisées :

Sur les dessins de définition, les états de surface peuvent faire l'objet de spécification. Un symbole graphique est utilisé :

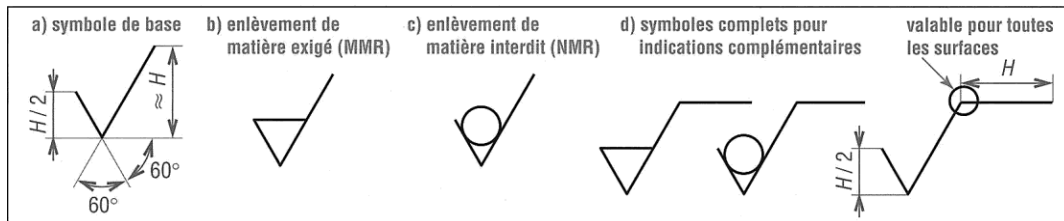


Figure II.19 symbole graphique de l'état de surface [6]

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

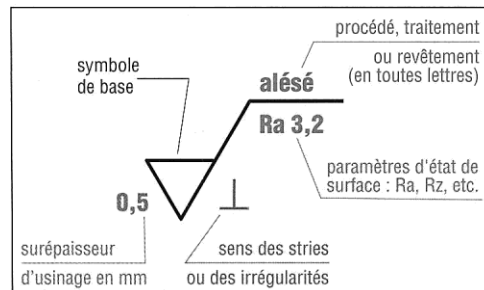


Figure II.20 Exemple de symbolisation [6]

## II.7. 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 une rugosité qui détermine de manière sûre et précise un certain nombre de paramètres de rugosité (Ra, Rz...). Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'une rugosité 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'une rugosité 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. [6]. [11]



Figure II.21 Rugosimètre [1]

## II.8 Amélioration des états de surface :

### II .8.1 Avantages de la lubrification :



Figure II.25 liquide de coupe [11]

Un fluide d'usinage, est un liquide refroidissant et lubrifiant conçu spécialement pour le travail d'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).

Augmentation de la longévité de l'outil de coupe en lubrifiant l'arête tranchante de l'outil et en réduisant le phénomène de l'arête rapporté

- assurer aux opérateurs de bonnes conditions de travail [11]

## **II.9. Fonctions assurées par les fluides d'usinage (lubrification) :**

### **II.9.1 Maintien en température :**

L'usinage de l'acier produit de la chaleur due au frottement de l'outil sur la pièce et 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). [11]

### **II.9.2 Lubrification :**

En plus du refroidissement, les liquides de coupe aident l'usinage en créant un film de lubrifiant entre l'interface, l'outil et la pièce.

En diminuant le frottement, ils diminuent la chaleur. Cette lubrification permet également de prévenir l'adhésion du copeau sur l'outil qui risquerait d'affecter la surface usinée. [11]

## **II .10. Évacuation des copeaux :**

Dans l'industrie de grande série, le liquide de coupe facilite le dégagement du copeau de la zone de coupe vers un dispositif de centralisation des copeaux. [1]

### **II.10.1 : 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 formateurs, 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).

On peut distinguer parmi ces fluides :

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

### **II.10.2 Huiles entières :**

Huiles minérales, additives ou non

### **II.10.3 : Fluides de type émulsion :**

Les fluides de type émulsion contiennent en général :

- une base type huile minérale ou alkyl benzène
- un émulateur
- un agent anticorrosion
- des additifs type extrême pression
- des bactéricides et/ou des fongicides
- des agents anti-mousses
- de l'eau

Ces fluides sont fournis sous forme de concentrés qu'il faut diluer dans l'eau avant emploi (2 à 10 % habituellement). [11]

### **II.10.4 Fluides de type microémulsion :**

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

- une base huile minérale ou alkyl benzène
- un ému ligaturant-corrosion
- des additifs antimousses
- des additifs extrême-pression (non obligatoirement)
- des bactéricides et/ou fongicides
- un solvant
- de l'eau

Ils sont fournis ici encore sous forme de concentrés à diluer dans l'eau (1,5 à 5 %) [11]

### **II.10.5 : Fluides synthétiques :**

Risques liés aux fluides d'usinage

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 <sup>1</sup> ou des allergisants respiratoires.

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

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 ce produit.

# **Chapitre III :** **Partie expérimentale**

---



### **III .La machine utilise :**



FigIII.1 : tour universelle

### **III.1 : Caractéristique de la machine :**

#### **III.2 : Expériences et machines-outils utilisés :**

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

#### **III.3 Matièreux utilisé :**

A60

#### **III.4 Composition chimique :**

- Phosphore : 0.055% Max
- Soufre : 0.055% Max

- Azote : 0.014% Max
- Fer : 99.87%

### **III.5 DESIGNATIONS NORMALISEES :**

AFNOR : [A60-2 ] DIN : ST 60-2 EN 10027-1 : E335 EN 10027-2 : 1.0060 EU 25-72 : Fe 590-2

### **III.6 ANALYSE CHIMIQUE MOYENNE :**

C, Mn et Si : non communiqués P : 0,045% maxi S : 0,045% maxi N : 0,009% maxi

### **III.7 CARACTERISTIQUES MECANIQUES MOYENNES :**

**Etat normalisé Etat transformé à froid**

Rm=590/770 N/mm<sup>2</sup> Rm= 590/1050 N/mm<sup>2</sup>

Re= 305/335 N/mm<sup>2</sup> Re= 300/490 N/mm<sup>2</sup>

A%: 6/16 A%: 6/14

**III.8 L'outil utilisé :** Outil à charioter et dresser a gorgé :



### III.10 Régime de coupe :

Le régime de coupe a été choisi en fonction du matériau utilisé et de l'outil de coupe employé lors de la réalisation de la pièce demandée. Les régimes de coupe adoptés dans cette dernière, sont consignés dans les tableaux ci-après.

### III.11 Présentation de l'éprouvette :

L'éprouvettes découpées distinctement de diamètre  $D=40\text{mm}$ , sont préparées en 8 paliers chaque une avec un outil à chariotier. Les pièces de longueur  $L=500\text{ mm}$  et diamètre  $D=40\text{ mm}$  et réalisées en 8 paliers (4 palier usinage sans lubrification, 4 Palier usinage avec lubrification).

#### III.11.1 Rugosimètre utilisé :

Pour la mesure des différents critères de rugosité ( $R_a$ ,  $R_t$  et  $R_z$ ), nous avons utilisé un rugosimètre TR220.

Le TR220 est le rugosimètre approprié aux mesures les plus exigeantes en raison de sa grande précision et de ses très nombreuses fonctions. Disposant de tous les outils des rugosimètres, le TR220 est idéal pour tester les applications critiques.

Le rugosimètre TR220 fonctionne avec un capteur inductif ayant une pointe en diamant. Les tensions sont générées lorsque le capteur est dévié par les anfractuosités du matériau à tester et sont convertis dans les différents paramètres de rugosité. Une courbe de l'essai est affichée directement sur le rugosimètre ce qui permet d'avoir un aperçu rapide de l'essai réalisé.

Le profil de la surface mesurée peut être affiché dans 13 caractéristiques différentes :  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_y$ ,  $R_q$ ,  $R_t$ ,  $R_p$ ,  $R_{\text{max}}$ ,  $R_m$ ,  $R_{3z}$ ,  $S$ ,  $S_m$ ,  $S_k$ ,  $t_p$ . L'interface RS232 permet le transfert du profil de surface et des caractéristiques vers l'imprimante TA-220 (disponible en option). Ils peuvent aussi être transférés sur un PC en utilisant en utilisant le logiciel Time Surf, notamment pour la surveillance des produits de série.

### Caractéristiques techniques :

- a) Plage de mesure : Ra, Rq : 0.01 à 40  $\mu\text{m}$  ; Rz, Rp, Rt, R3z : 0.02 à 160  $\mu\text{m}$  ; Sm, S : 2 à 4000  $\mu\text{m}$  ; Tp : 1 à 100% (% Ry).
- b) Cut-off (longueur de mesure) : 0.25 mm, 0.8 mm ou 2.5 mm
- c) Précision de la mesure : Selon ISO Classe 2.
- d) Course : 17.5 mm
- e) Vitesse : 0.5 mm/s.
- f) Filtre digital : RC, PC-RC, Gauss, D-P.
- g) Capteur : Diamant, rayon 5  $\mu\text{m}$  (pointe).
- h) Température d'utilisation : 5 à 40°C.
- i) Alimentation : Batterie lithium, 1000 mAh.
- j) Dimensions : 141 x 56 x 48 mm
- k) Poids : 440 g



Fig. : III.3 Dispositif pour mesure la rugosité



Fig. 4 pièce brut

### **III.11.2 Routage d'usinage :**

Selon l'usinage de l'opération de chariotage d'essai avec 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 ( $a$ ) et la vitesse d'avance.

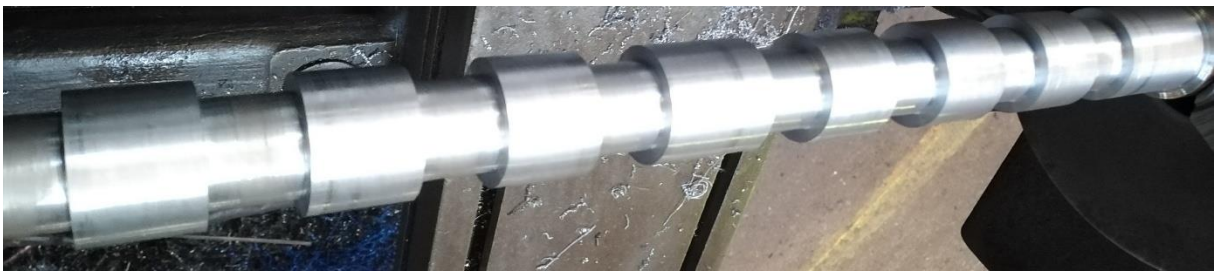


Fig. 5 pièce finie

### III.11.4 Résultats expérimentaux :

#### La vitesse de coupe $V_c$ :

$$V_c = \pi d n / 1000$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

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

$D$  : diamètre en point d'usinage (mm).

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

\*Pour  $N = 1400$  tr//min :

$$V_c = 175.84 \text{ (m/min)}.$$

\* Pour  $N = 1000$  tr//min :

$$V_c = 125.6 \text{ (m/min)}.$$

Pour  $N = 800$  tr//min :

$$V_c = 100.48 \text{ (m/min)}.$$

\* Pour  $N = 710$  tr//min :

$$V_c = 89.176 \text{ (m/min)}.$$

### III.11.5 Les essais :

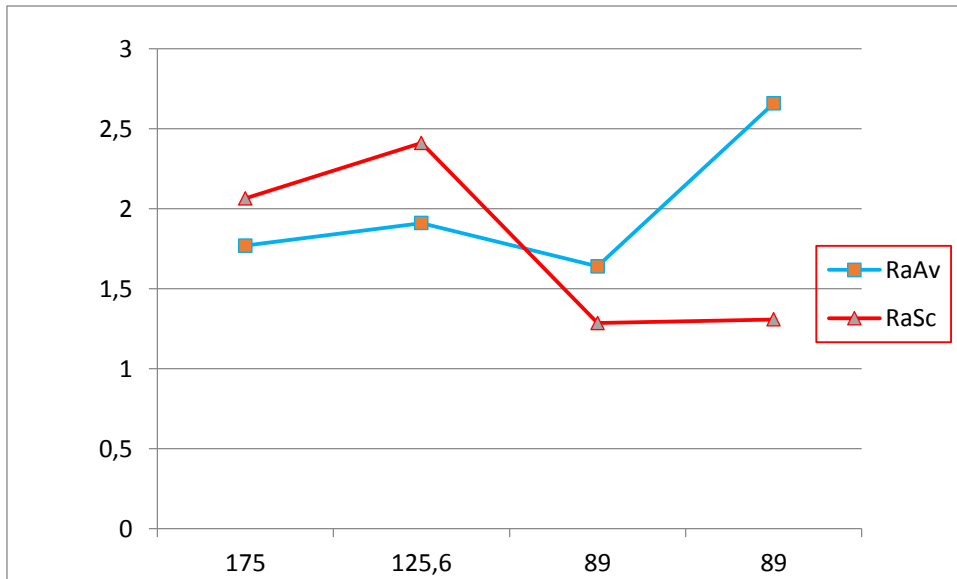
#### Essai : 1

N	AP	$V_c$	Ra(Um)
1400	1	175.84	1.358
1000	1	125.6	1.360
800	1	100.48	0.635
800	1	100.48	1.047

**Tableau III.1** : Mesure de (Ra) relevées lors de l'usinage sec de l'essai 1

N	AP	$V_c$	Ra(Um)
1400	1	175.84	0.980
1000	1	125.6	1.010
800	1	100.48	1.304
800	1	100.48	0.852

**Tableau III.2** : Mesure de (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification de l'essai 1



Graph1 : évolution de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse de l'essai 1

### III.11.6 Discussion :

Selon le graph (1) de l'essai (1) on peut constater qu'au palier trios la rugosité est contradictoire.

Ceci dit à la vitesse,  $v_c = 100$  (m/min)  $RA = 1.3$  (um), obtenue sous lubrifiant alors que sans lubrification (à sec) 0.6 pour  $v_c = 100$ (m/min) tandis que RA au palier 4 repends est vérifier

Lubrifier est meilleur que celle obtenue à sec.

### Essai : 2

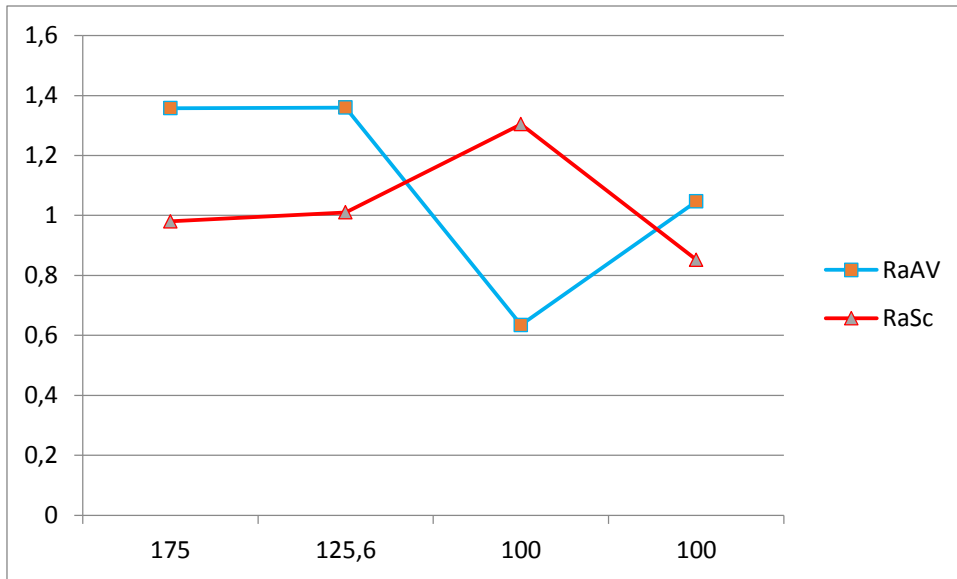
N	AP	Vc	Ra(Um)
1400	1	175.84	1.770
1000	1	125.6	1.911
710	1	89.176	1.640
710	1	89.176	2.662

**Tableau III.3** : Mesure de (Ra) relevées lors de l'usinage sec de l'essai 2

N	AP	Vc	Ra(Um)
1400	1	175.84	2.065
1000	1	125.6	2.412
710	1	89.176	1.285
710	1	89.176	1.308

**Tableau III.4** : Mesure de (Ra) relevées lors de l'usinage avec lubrification de l'essai 2





Graph2 : évolution de la rugosité ( $Ra$ ) en fonction de la vitesse de l'essai 2

### Discussion :

Selon le graph (2) illustre la rugosité obtenue lors de l'usinage de 'essai (2), on remarque qu'au palier (3) la rugosité est opposé et ( $RA$ ) est meilleur que celle obtenue sous lubrification on peut conclure que  $v_c = 100$  (m/min) à donner de très bon résultat par contre il Y'a une reprise au palier (4)  $RA$  à sec est plus élevée que celle obtenue sous lubrification

### Essai : 3

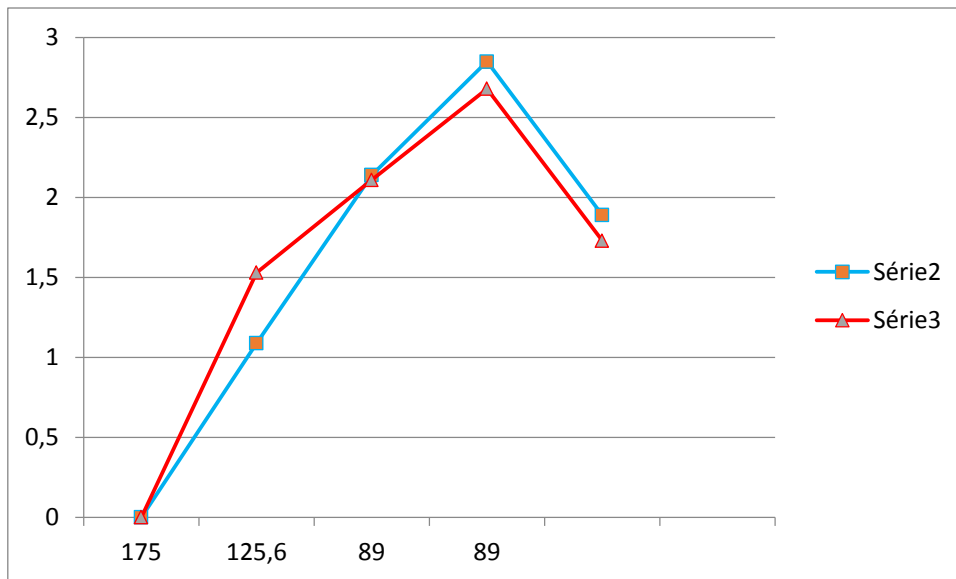
N	AP	Vc	Ra(Um)
1400	1	175.84	1.089
1000	1	125.6	2.14
710	1	89.176	2.85
710	1	89.176	1.89

Tableau III.5 : Mesure de ( $Ra$ ) relevées lors de l'usinage sec de l'essai 3

N	AP	Vc	Ra(Um)
1400	1	175.84	1.53
1000	1	125.6	2.11
710	1	89.176	2.68
710	1	89.176	1.73

Tableau III.6 : Mesure de ( $Ra$ ) relevées lors de l'usinage avec lubrification de l'essai 3





Graph 3 évolution de la rugosité( $Ra$ ) en fonction de la vitesse de l'essai 3

### Discussion :

Selon le graph (3) de l'essai (3) montre que la rugosité au palier (2) la rugosité est la même .en ce point au palier(3) et (4) la rugosité évolue normalement on peut conclure que la vitesse de coupe est optimale à ce stade.

### Conclusion :

L'objectif principale de ce travail de recherche consiste à étudier l'influence de la vitesse de coupe sur l'état de surface d'un acier de nuance A60

Au terme de cette étude on peut conclure que la rugosité de surface finie lors de l'usinage d'un acier de construction à l'aide d'un outil en carbure métallique dépend directement de régime de coupe et en particulier la vitesse de coupe.

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 précise sont requis.

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

Le Chios de la matière en ouvre et la qualification de l'ouvrier sont d'une grande important .on constate au chapitre III que le résultat obtenue avec lubrification et beaucoup mieux que celui sans lubrification (à sec).

### **Référence bibliographique**

[1] : fabrication mécanique faculté science de l'ingénieur univ de la ruinons.

[2] : fabrication mécanique .[http:// chanvinc pge .free.fr](http://chanvincpge.free.fr)

[3] : procédé d'usinage souhir gara ingénieur de l'ENI de Tunis.

[4] : technique ingénieur –quelque graph et photo.

[5] : chik.

[6] : conception et dessin (memontech) 7<sup>e</sup>edition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines

[7] construction mécanique -1.dessin conception et normalisation – AFNOR  
NATHN.

[8] : 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.

[9] : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification\\_\(m%C3%A9canique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_(m%C3%A9canique))