

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA  
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

Spécialité : fabrication mécanique et productique

RÉALISER PAR :

NOM PRÉNOM : CHERFAOUI ABDELERZAK

NOM PRÉNOM : BERABEZ YOUVA

## Thème

---

***L'étude de l'influence des paramètres de coupes en tournage sur la déformation longitudinale et transversale d'une pièce en acier, par les coupeaux***

---

Soutenu le 27 septembre 2020 devant le jury composé de :

Mr. BELAMRI. A	Président
Mr. HADJOU .M	Examineur
Mr. BENSAIDE. N	Encadreur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

## ***Remerciements***

*Nous tenons à remercier vivement notre encadreur le Docteur **BENSAID Nacerdinne** pour son appui scientifique et ses judicieux conseils*

*Nous nous tenons à remercier tout particulièrement **Dr .A.BELAMRI** pour tout l'aide qu'il nous a apporté.*

*Nous tenons à remercier aussi tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et particulièrement :*

*TOULOUM Hakim*

*ALLAOUI Belkacem*

*CHERFAOUI Bachir*

*Ce travail n'aurait pu aboutir sans le soutien de nos familles.*

*Nous ne manquons surtout pas de remercier pas à remercier tous les membres de département de génie mécanique, nos enseignants, et le personnel de hall de technologie pour leur soutien.*

*Un grand merci à nos familles, pour leur soutien constant, leur présence et la confiance dont ils ont fait preuve.*

# *Dédicace*

*A mes très chers parents*

*A toute ma famille*

*A mes amis*

*A mes voisins :alilouche ,nouara, mouhoub et ses quatre enfants brahim ,hafid, imene, asma  
,et a rabah et ses filles mellisa et kenza*

*A mon club USEK et tous ses athlètes*

*À toute personnes ayant contribué à mon apprentissage de près ou de loin*

*A tous ceux qui aiment l'Algérie*

*CHERFAOUI Abdelrezak*

# *DÉDICACE*

*JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À :*

*À MES TRÈS CHERS PARENTS*

*À TOUTE MA FAMILLE*

*À MA SŒUR KAHINA ET SON MARIÉ BELKACEM ET LEUR FILLE THIZIRI*

*À TOUTE MES AMIES EN PARTICULIER*

*T.HAKIM, D.YEBDAS, T.KOUCEILA, T.GAYÁ, C.ABDELRAZAK MON BINÔME,*

*B.HDJILA, G.DJEBRIL*

*À TOUT CE QUI M'AIME*

*À TOUTE PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À MON APPRENTISSAGE*

*DE PRÈS OU DE LOIN.*

*BERABEZ YOUVA*

# Table des matières

---

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : initiation aux aciers

I.1. Généralité sur les matériaux .....	2
I.1.1. Définition d'un matériau fragile .....	2
I.1.2. Définition d'un matériau ductile.....	2
I.1.3. Classification des matériaux .....	2
I.2. Les aciers.....	3
I.2.1. Définition d'un acier .....	3
I.2.2. Les alliages d'acier .....	3
I.2.3. Propriétés et l'utilisation des aciers .....	5
I.3. Module d'élasticité longitudinale (MODULE DE YOUNG) E (N/mm <sup>2</sup> ).....	8
I.3.1. Le coefficient de Poisson.....	8
I.4. L'usinage.....	9
I.4.1. Tournage.....	10
I.4.2.Principe de tournage .....	11
I.5. Paramètres de coupe.....	12
I.5.1.La vitesse de coupe <b>VC</b> .....	12
I.5.2.La vitesse de rotation N.....	13
I.5.3.La vitesse d'avance.....	13
I.5.4.Profondeur de passe p.....	14

## Chapitre II : Théorème statistique

II.1.Définition de la statistique .....	16
II.2. Statistique descriptive .....	16
II.2.1. Définition .....	16
II.2.2. Paramètres de dispersion .....	16
II.3. La statistique inférentielle .....	19

II.3.1. Définition .....	19
II.3.2. But .....	19
II.3.3. Tests paramétriques classique .....	19
II.3.4. Tests non paramétriques .....	20
II.3.5. Les différentes Lois de distribution.....	21
II.3.6. Corrélation.....	25
II.3.6.2. Le coefficient de corrélation .....	26
II.3.6.2.1. Définition.....	26
II.3.6.3. Tests de corrélation.....	27
II.3.6.3.1. Test de Khi- Deux.....	27
II.3.6.3.2. Test de Kolmogorov-Smirnov .....	27
II.3.6.3.3. Test de rang de Spearman.....	27

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

III.1.Objectifs étudiés .....	28
III.2. Matériau et dispositif d'usinage .....	28
III.2.1. Matériau .....	28
III.2.2. Machine-outil .....	28
III.2.3 Outil d'usinage .....	29
III.3.Procédure expérimentale .....	30
III.3.1 Mesure d'épaisseur des copeaux.....	30
III.3.2.Résultats et interprétations technique .....	32
III.4. Analyse statistique avec « ORIGIN ».....	35
Conclusion générale.....	40
Bibliographes.	
Annexes.	

## LISTE DES FIGURES

---

### CHAPITRE I

<b>Figure I.1</b> courbe de traction possible .....	2
<b>Figure I.2.</b> Détermination du coefficient de Poisson.....	8
<b>Figure I.3.</b> : (a) : courbe de traction (vue globale), (b) : courbe de traction (vue partielle) .....	9
<b>Figure I.4.</b> Tour conventionnelle type SN 40 C du hall de technologie.....	11
<b>Figure I.5 :</b> Exemple d'opération sur le tournage en phase chariotage . .....	11
<b>Figure I.6 :</b> Le choix des conditions de coupe . .....	13
<b>Figure I.7 :</b> Vitesse de coupe $V_c$ . .....	14

### CHAPITRE II

<b>Figure II.1.</b> Distribution de la loi de Gauss [15]. .....	23
<b>Figure II.2.</b> Distribution de la loi de khi-deux .....	24
<b>Figure II.3.</b> Distribution de la loi de student. ....	25
<b>Figure II.4.</b> Exemples de nuages de points et coefficients de corrélation. [16] <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	

### CHAPITRE III

<b>Figure III.1</b> Cylindre plein en acier A60 de diamètre 55mm et de longueur 200mm. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Figure III.2</b> Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie université de Bejaia..	30
<b>Figure III.3</b> Outil de coupe à plaquette en carbure métallique amovible. ....	30
<b>Figure III.4.</b> Copeau en chariotage .....	31
<b>Figure III.5.</b> Copeau en dressage .....	31
<b>Figure III.6.</b> Pied à coulisse .....	32
<b>Figure III.7.</b> La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux en fonction de la vitesse de rotation de la pièce en chariotage .....	33
<b>Figure III.8.</b> La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux (mm) en fonction de la vitesse d'avance de l'outil (mm/tr) en chariotage .....	34
<b>Figure III.9.</b> La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux en fonction de la vitesse de rotation de la pièce en dressage .....	35
<b>Figure III.10.</b> La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux (mm) en fonction de la vitesse d'avance (mm/tr) .....	36

# Liste des tableaux

---

<b>Tableau I.1.</b> Classification des métaux non ferreux .....	4
<b>Tableau I.2 :</b> Opération et outil essentiel en Tournage .....	12
<b>Tableau I.3 :</b> Les vitesses de coupe en fonction des matériaux à usinée .....	15
<b>Tableau II.1.</b> Tests gaussiens .....	22
<b>Tableau III.1</b> Caractéristiques de la machine-outil SN 40C.....	30
<b>Tableau III.2 :</b> Caractéristiques géométriques de la plaquette .....	31
<b>Tableau III.3.</b> Caractéristiques techniques du d'un Pied à coulisse sans parallaxe avec jauge de profondeur ronde .....	32

## Nomenclature

---

Symbole	Unité	Désignation
VC	(m/min)	Vitesse de coupe
Me		Mouvement de coupe
Mf		Mouvement d'avance
D	(mm)	Diamètre de la pièce
$\alpha$	Rad	Angle de dépouille
$\beta$	Rad	Angle de taillant
$\gamma$	Rad	Angle de coupe
$r\varepsilon$		Rayon entre les deux faces de dépouille
$r$		Rayon sur les deux arêtes et le bec d'outil
Va	(mm/min)	Vitesse de d'avance
$fa$	(mm/tr)	L'avance par tour
P	(mm)	Profondeur de passe
N	(tr/min)	Vitesse de rotation
$E$		L'étendue
$X$		La moyenne
$x_M$		Mode
$IQ$		La distance interquartile
$x_{1/2}$		La médiane
$(x)$		Variance
$S_x$		Ecart-type
$r_{xy}$		Coefficient de corrélation

$\delta xy$	Covariance
$\chi^2$	Loi de khi-deux
$T$	Loi de Student
$F$	Loi de Fisher-Snedecor
$\rho xy$	Coefficient de corrélation pour une population
$m$	Moyenne estimée dans la population
$S$	Ecart-type estimée dans la population
$F$	Test de Fisher
$\bar{x}_w$	Moyenne pondérée
$G$	Moyenne géométrique
$H$	Moyenne harmonique
$D_n$	Test de Kolmogorov-Smirnov

## Introduction générale

Lors de la conception d'objet ou de construction, le premier problème posé est celui de définir les propriétés et les caractéristiques des dits objets et /ou constructions. Ce problème se pose immédiatement après le problème de choix de matériaux les mieux appropriés pour les réaliser.

Ceci suppose que l'on connaisse bien leurs caractéristiques, et celles-ci peuvent être de natures très différentes, ce qui ne facilite pas la tâche.

Le but de notre travail est de trouver le changement des valeurs de deux paramètres qui sont le module de Young et coefficient poisson en fonction des paramètres de coupe en tournage, en utilisant des méthodes statiques.

Les études seront faites sur une pièce d'acier.

En premier chapitre on a présenté les diverses catégories des aciers ; où on a cité leurs (caractéristiques, propriétés, domaine d'utilisation ...)

On se base beaucoup plus sur deux critères qui sont :

- Le module de Young
- Coefficient de poisson

Le deuxième chapitre est consacré à des notions statistiques ; la première partie sur les « Notions de Statistique descriptive » et la seconde partie sur les Statistiques inférentielles et la corrélation.

Dans le troisième chapitre on procède à différentes expériences de tournage sur une pièce en acier avec des paramètres de coupes et d'usinages fixés pour s'intéresser aux différents copeaux recueillis, mesurer les épaisseurs en mode de chariotage puis en mode de dressage pour faire une approche technologique et statistique de la déformation longitudinale et transversale et conclure sur l'influence des paramètres de coupes sur la variation du module de Young et celui de Poisson.

## I.1. Généralité sur les matériaux

### I.1.1. Définition d'un matériau fragile

C'est l'état d'une substance qui se fracture lorsqu'on lui impose des contraintes mécaniques ou qu'on lui fait subir des déformations brutales (sous forme de choc), sa fracture n'exige qu'une faible énergie. Si, en revanche, l'énergie à fournir pour produire la fracture est importante, on dira que la substance est tenace.

Du point de vue du comportement en déformation, un matériau fragile casse dans le domaine élastique, il n'est pas ductile [1].

### I.1.2. Définition d'un matériau ductile

C'est la capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre. La rupture se fait lorsqu'un défaut (fissure ou cavité), induit par la déformation plastique, devient critique et se propage.

La ductilité est donc l'aptitude d'un matériau à résister à cette propagation. S'il y résiste bien, il est dit ductile, sinon il est dit fragile.

La ductilité est une propriété conditionnée par la malléabilité. « La malléabilité est le premier indice de la ductilité ; mais elle ne nous donne néanmoins qu'une notion assez imparfaite du point auquel la ductilité peut s'étendre » [1].

### I.1.3. Classification des matériaux

Trois comportements possibles, fragile, ductile et élastique non linéaire sont représentés sur la figure suivante [2].

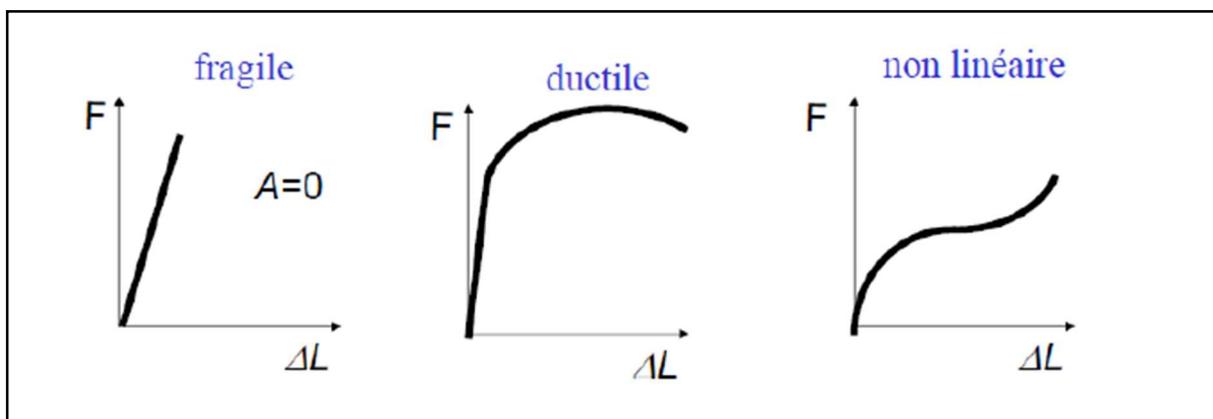


Figure I.1 courbe de traction possible [2].

## **I.2. Les aciers**

### **I.2.1. Définition d'un acier**

Un acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone).

C'est un matériau usuel, présentant la plus grande résistance pour la faible section [4].

### **I.2.2. Les alliages d'acier**

#### **I.2.2.1. Aciers non alliés d'usage général (70% des aciers)**

Ils forment presque 70% des aciers dans l'industrie, sont caractérisés par une faible teneur en carbone. Désignés par une lettre (S, E) représentant la classe (S : acier d'usage général de base (construction de bâtiment) ; E : utilisé dans la construction mécanique.), suivie de la limite élastique à la traction en MPa ou N/mm<sup>2</sup> et d'indications complémentaires (S : soudable ; M : moulable, s'il s'agit d'un acier moulé la désignation est précédée de la lettre G

Exemple de désignation

S355 Classe S : acier de construction, résistance élastique de 355 MPa

E320 (acier de construction mécanique, de limite élastique 320MPa) [4].

#### **I.2.2.2. Aciers faiblement alliés**

Pour ces aciers, aucun élément d'addition ne dépasse 5%. Ils sont choisis chaque fois qu'une haute résistance est exigée. Ils sont utilisés en état de livraison ou avec traitement.

Désignation : Pourcentage de carbone multiplié par 100, suivi des symboles chimiques des principaux éléments d'addition classés en ordre décroissant. Les pourcentages de ces éléments multipliés par 4, 10, 100 ou 1000, (Tableau I.1) [4].

élément	Symbole chimique	Symbole métallurgique	Facteur Multiplicateur
Aluminium	Al	A	10
Azote	N	N	100
Bore	B	B	1000
Chrome	Cr	C	4
Cobalt	Co	K	4
Cuivre	Cu	U	10
Magnésium	Mg	G	10
Manganèse	Mn	M	4
Molybdène	Mo	D	10
Nickel	Ni	N	4
Phosphore	P	P	100
Plomb	Pb	Pb	10
Silicium	Si	S	4
Soufre	S	F	100
Titane	Ti	T	10
Tungstène	W	W	4
Vanadium	V	V	10

**Tableau I.1.** Classification des métaux non ferreux [4].

Exemple de désignation : G 35 Ni Cr Mo 16-8

G : Acier moulé

35 : 0.35% de carbone

4% de nickel, 2% de chrome et des traces de molybdène [4].

### I.2.2.3. Aciers fortement alliés

Ils sont destinés à des usages particuliers (inoxydable, réfractaire...). Pour ces aciers, au moins un élément d'addition dépasse la teneur de 5%. Désignation : Lettre X, symbolisant la famille, suivie des mêmes indications que pour les aciers faiblement alliés.

La seule différence avec les aciers fortement alliés n'est pas de coefficient multiplicateur pour le pourcentage des éléments d'addition. Ces aciers sont réservés à des usages particuliers, par exemple, dans un milieu humide, on utilisera un acier inoxydable qui est un acier fortement allié avec du chrome (% chrome > 11%).

Exemple de désignation : G X 6 Cr Ni Ti 18-11

G: acier moulé X: catégorie des aciers fortement alliés 0,06% de carbone

18% de chrome, 11% de nickel et des traces de titane (moins de 1%) [4].

### **I.2.3. Propriétés et l'utilisation des aciers**

#### **I.2.3.1. Acier de construction d'usage générale**

➤ **Propriétés**

Caractéristiques mécaniques variables suivant la pureté chimique et l'épaisseur de métal ;

Pas de garantie de soudabilité mais les nuances A33 et E 36 sont soudables ;

Pas de garantie de traitement thermique

➤ **Emplois :**

Tôles, larges plats, laminés marchands et poutrelles [8].

#### **I.2.3.2. Acier de construction non alliés**

➤ **Propriétés :**

Extra-doux ; très malléable ; soudable ; magnétique ; trempe à l'eau

➤ **Emplois :**

Tube, rivets, tôles

Pièces forgées et matricées : arbre, boulons, clavettes ...

Pièces d'usure peuvent subir des chocs modérés : ressort peu chargés, Cames, engrenages, pivots [8].

#### **I.2.3.3 Acier de construction alliée**

##### **I.2.3.3.1. Acier au manganèse**

➤ **Propriétés**

Grande dureté par écrouissage

Grande résistance à l'usure et aux chocs

➤ **Emplois :**

Pièces de broyeurs, de concasseurs, et d'aiguillages [8].

**I.2.3.3.2. Acier au silicium et au silicium-chrome-molybdène****➤ Propriétés**

Limite d'élasticité élevée

Grande résistance mécanique

Bonne résistance à l'usure

Limite d'endurance élevée

**➤ Emplois**

Ressorts, pièces d'usure, barre de torsion, leviers, arbres, pièces des machines agricoles [8].

**I.2.3.3.3. Aciers au chrome****➤ Propriétés**

Acier résistants, durs, résistants à l'usure

**➤ Emplois**

Emplois nombreux en mécanique : arbres, essieux, levier de direction, pignons...

42 C4 : ressorts

100 C6 : roulements.

**I.2.3.3.4. Acier au nickel****➤ Propriétés**

Grande résistance

Bonne trempabilité

Bonne résilience

Aptitude aux déformations à froid

**➤ Emplois**

Arbres, vilebrequin, pignons, galets, vis de vérins, clavettes ...

Pièces de fatigue d'aéronautique et d'industrie spatiale... [8].

### **I.2.3.4. Aciers inoxydables**

#### **I.2.3.4.1 Aciers ferritiques**

➤ **Propriétés**

Bonne résistance à l'oxydation à chaud, Soudable

➤ **Emplois**

Ailettes pour turbines à vapeur ; pièces pour industrie pétrolière

Décoration, orfèvrerie, automobile

#### **I.2.3.4.2. Aciers martensitiques**

➤ **Propriétés**

Ductiles et malléables à l'état recuit

Grande résistance à la corrosion à l'état poli.

Résistance à la corrosion par l'eau de mer [8].

➤ **Emplois**

Coutellerie, ailettes de turbines, roulement, Pièces mécanique en contact avec l'eau de mer ou l'air salin.

#### **I.2.3.4.3. Aciers austénitiques**

➤ **Propriétés**

Grande soudabilité

Grand vitesse d'usinage

Résistance au fluage

➤ **Emplois**

Industrie chimique et alimentaires et pétrolière, Emboutissage. [8].

### I.3. Module d'élasticité longitudinale (MODULE DE YOUNG) E (N/mm<sup>2</sup>)

Il caractérise la pente de la droite de proportionnalité précédente et l'élasticité du matériau testé. Plus E est grand, plus le matériau est rigide et inversement [1].

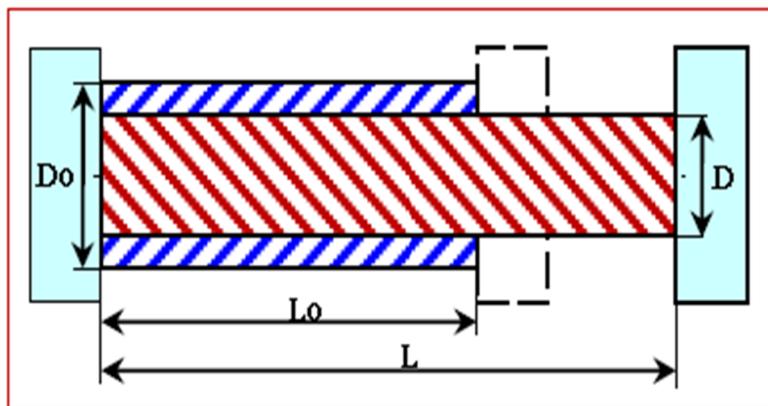
$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (\text{I.1})$$

**Exemples :**  $E_{\text{aciers}} = 2.10^5 \text{ MPa}$ ,  $E_{\text{élastomères}} = 1 \text{ MPa}$  (1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>) [1]

#### I.3.1. Le coefficient de Poisson

Permet de caractériser la contraction de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué (Figure I.2). Le coefficient de Poisson fait partie des constantes élastiques. Il est compris entre -1 et 0,5 (dans le cas où le matériau est parfaitement incompressible exemple le caoutchouc), il est calculé par l'expression ci-après : [1]

$$\nu = \frac{\text{contraction transversale ou diamétrale unitaire}}{\text{allongement axiale unitaire}} = \frac{(D_0 - D)/D_0}{(L - L_0)/L_0} \quad (\text{I.2})$$



**Figure I.2.** Détermination du coefficient de Poisson

#### I.3.1.2. Module d'élasticité d'aluminium

Le module d'élasticité de l'aluminium pur est égal à 66,6 GPa et augmente en présence d'impuretés et d'éléments d'addition.

D'un point de vue commercial, il est admis pour 69GPa. Dans le cas d'alliages, ce module est compris entre 69 et 72 GPa.

Il augmente sensiblement de 70 à 82 GPa lorsque la teneur en silicium augmente de 2 à 18%. Le module de torsion est de 25 GPa pour l'aluminium pur ; il est de 26 GPa pour l'aluminium commercial. Les caractéristiques mécaniques de traction varient en fonction de : [3]

- Conditions de transformation et de moulage
- Sensibilité à la trempe
- Conditions de moulage
- maintient à chaud

### Exemple d'application

Les courbes suivantes (Figure I.3) ont été obtenues à partir d'un essai de traction. Sachant que l'éprouvette du métal utilisée avait un diamètre de 5 mm, trouvez :  $E$ , le métal en question (à partir du tableau 1),  $R_{e0,2}$ ,  $R_m$ , la force appliquée à  $\varepsilon = 10\%$ ,  $A_e$  avant rupture,  $A_f$  après rupture. [1]

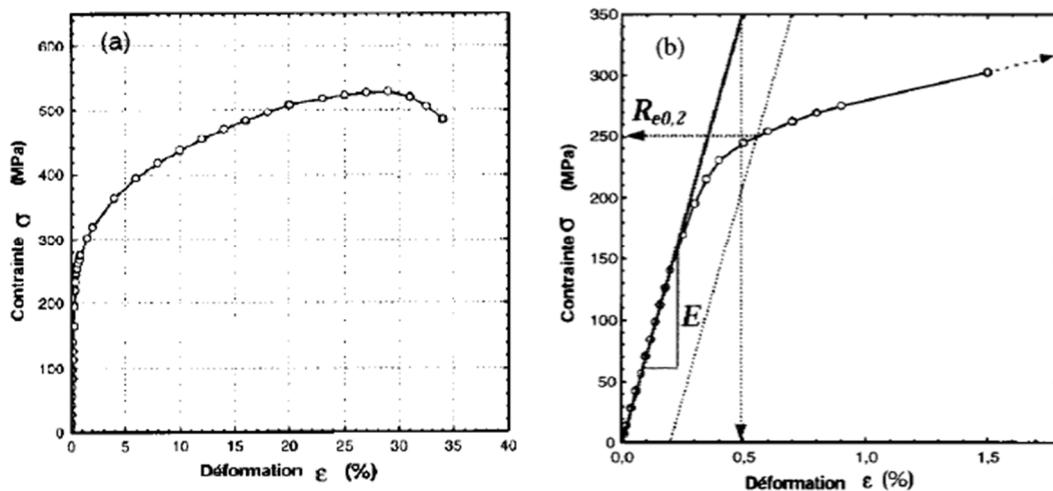


Figure I.3. : (a) : courbe de traction (vue globale), (b) : courbe de traction (vue partielle) [1].

#### Solution :

D'après la (Figure I.3) on peut calculer  $E$ ,  $R_{e0,2}$  :

- $E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{350}{0,005} = 7.104 \text{ MPa} = 70 \text{ GPa}$ , le matériau en question est donc l'aluminium

- En traçant une droite parallèle à la zone élastique linéaire passant par  $\varepsilon = 0,2 \%$  et en projetant le point d'intersection de cette droite avec la courbe de traction sur l'axe des ordonnées ( $\sigma$ ), on peut lire directement la valeur de  $Re_{0,2} = 250 \text{ MPa}$  [1].

## I.4. L'usinage

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière à l'aide d'une machine-outil destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité). L'enlèvement de matière se fait par une action mécanique d'un outil coupant bien défini (matériau, dimension, revêtement...) sur une pièce bien déterminée (matériau, dimensions...), ce qui engendre des zones de cisaillements qui mettent en jeu des phénomènes tels que : [5].

- ✓ La métallurgie (fissuration, transformations structurales...);
- ✓ La thermodynamique (l'échauffement...);
- ✓ La tribologie (contact, frottement, usure...);
- ✓ La mécanique des matériaux (loi de comportement à des températures et des vitesses de déformation importantes);
- ✓ La mécanique des solides (dynamique, efforts, vibrations...).

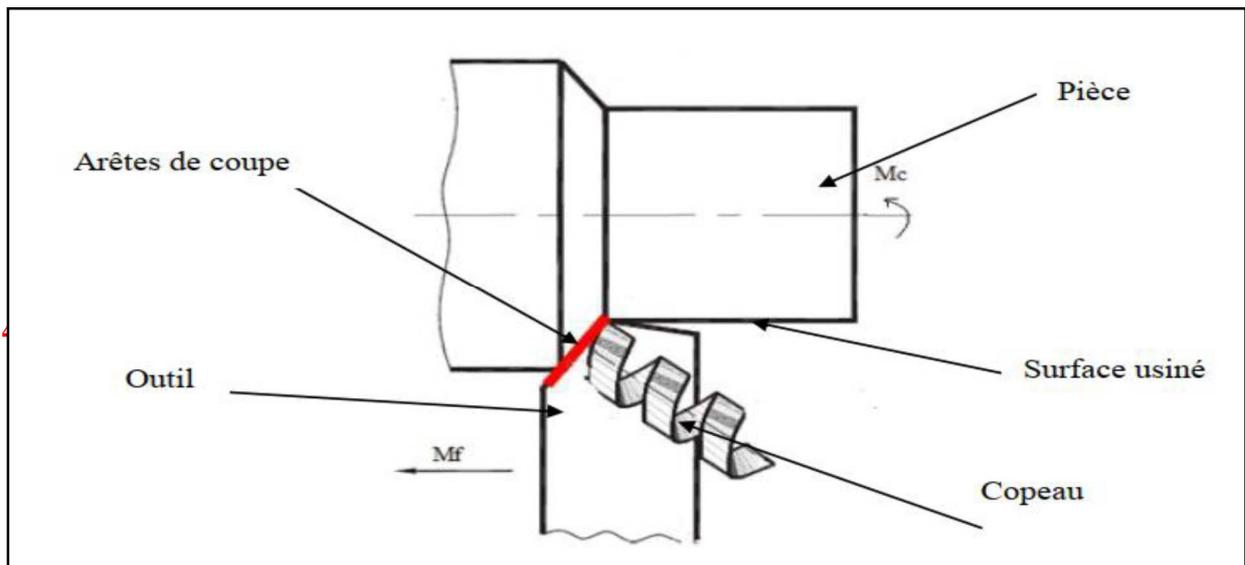
### I.4.1. Tournage

C'est un procédé d'usinage par enlèvement de matière (copeaux). Et cela sert essentiellement à usiner des pièces de forme cylindrique ou/ et conique avec des outils coupants, sur une machine appelée 'Tour'. La figure (I.4) suivante montre un exemple d'un tour conventionnel [7].



**Figure I.4.** Tour conventionnelle type SN 40 C du hall de technologie.

Dans ce procédé la pièce à usiner est fixée dans un mandrin, entre pointes. Le mouvement de coupe est associé à la pièce et c'est un mouvement de rotation, quand ou mouvement d'avance qui est une translation est associé à l'outil comme il est illustré sur la figure (I.5) suivante :



**Figure I.5 :** Exemple d'opération sur le tournage en phase chariotage [20].

#### I.4.2. Principe de tournage

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe ( $M_c$ ). L'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance ( $M_f$ ). Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit

Une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère... Etc. Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage [21].

Dans le tableau (I.2) suivant nous avons cité brièvement quelque opération essentielle dans le tournage, tout en donnant un outil avec plaquette en carbure et un autre sans plaquette qui réalise cette opération.

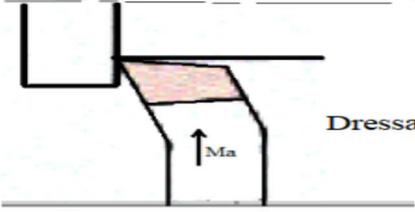
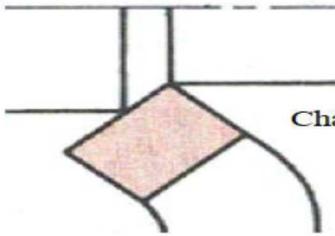
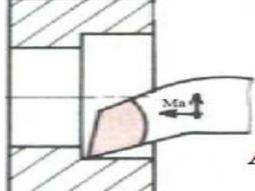
L'outil	Type d'opération réalisé
 Outil à dresser en ARS	 Dressage
 Outil à dresser avec plaquette de carbure	
 Outil à charioter en ARS	 Chariotage
 Outil à charioter avec plaquette de carbure	
 Outil à aléser en ARS	 Alésage
 Outil à aléser avec plaquette de carbure	

Tableau I.2 : Opération et outil essentiel en Tournage [22].

## I.5. Paramètres de coupe

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

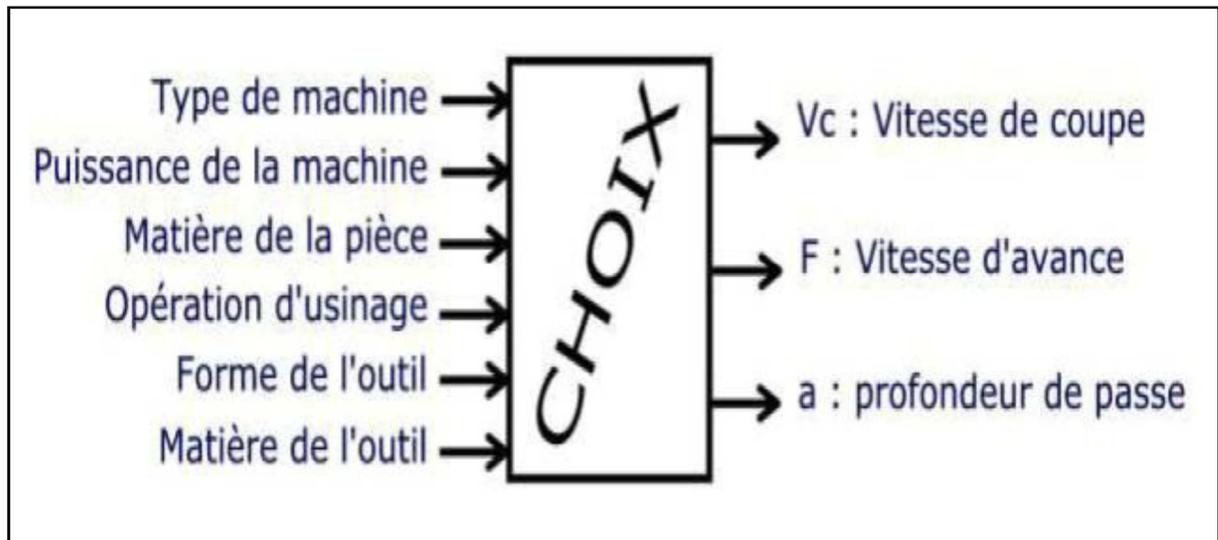
Pour exécuter une opération d'usinage nous devons connaître les différents paramètres de coupe ainsi que quelques notions sur l'usure et la durée de vie des outils de coupe.

Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de coupe, notamment :

- ✓ Le type de machine (tournage, fraisage, perçage) ; La puissance de la machine ;
- ✓ La matière usinée (acier, aluminium) ;
- ✓ La matière de l'outil (ARS, carbure) ;
- ✓ Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage) ;
- ✓ L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement).

L'objectif final est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions Pour cela, il faut déterminer certains paramètres spécifiques :

- ✓ La vitesse de coupe :  $V_c$  (m/min) ;
- ✓ La vitesse d'avance :  $V_a$  (mm/min) ;
- ✓ La profondeur de passe :  $p$  (mm) ;



**Figure I.6 :** Le choix des conditions de coupe [23].

### I.5.1. La vitesse de coupe $V_C$

On appelle vitesse de coupe d'un outil coupant, la vitesse de l'arête tranchante par rapport à la surface usinée. Elle dépend de la configuration d'usinage, du procédé et de couple outil/pièce. Cette définition est un paramètre essentiel, car elle détermine la vitesse de rotation de la pièce en tournage et de l'outil en fraisage ; exprimer en (m/min).

La vitesse de coupe joue un rôle fondamental sur la stabilité de la coupe. La quantité de chaleur dégagée dans les zones de coupe croît avec la vitesse de coupe, de telle sorte que la température s'élève avec cette dernière [7].

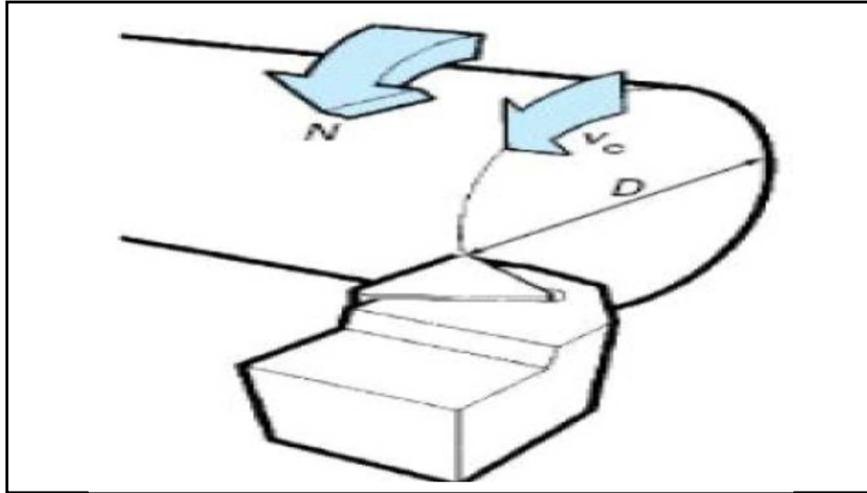


Figure I.7 : Vitesse de coupe  $V_c$  [7].

### I.5.2. La vitesse de rotation $N$

Est la vitesse de rotation de la pièce en tournage et l'outil en fraisage, elle est exprimée en tour/minute. On la définit à partir de vitesse de coupe [7].

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

Avec :

$V_c$  : vitesse de coupe en **m/min**

$D$  : diamètre de l'outil en fraisage et de la pièce en tournage, exprimé en (mm).

### I.5.3. La vitesse d'avance

C'est la vitesse à laquelle l'outil déplace en tournage. Elle est déterminée à partir d'une valeur d'avance. Son expression varie selon le procédé d'usinage, exprimée en (**mm/min**) [24].

- **L'avance**

Elle est déterminée en fonction de l'état de surface à obtenir, le type de travail à réaliser

- En tournage :  $f$  en millimètre/tour

$$V_f = f_a \times N$$

Le tableau ci-dessus (I.4) montre les valeurs normalisées de la vitesse de coupe et la vitesse d'avance en ébauche pour les outils en ARS et a plaquette de carbure dans deux procédés de fabrication :

➤ En tournage :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Tournage d'Extérieur				Tournage Filetage	
		Acier Rapide		Carbure		Acier Rapide	Carbure
		0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet	
P	Acier Non Allié	50	40	250	200	35	120
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130	20	80
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100	15	60
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120	20	75
M	Acier inoxydable	25	20	150	130	20	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60	20	30
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80	15	40
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70	25	40
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400	150	230
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200	90	110
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100	45	60
		<b>Vitesse de coupe Vc en m/min</b>					

**Tableau I.3 :** Les vitesses de coupe en fonction des matériaux à usinée [23].

#### I.5.4. Profondeur de passe p

Egalement appelée profondeur de coupe, correspond à l'épaisseur de matière enlevée sur la pièce lors du passage de l'outil coupant, elle est quelque fois suggérée dans les tables de fabrication d'outils de coupe et elle dépend du types d'état de surface que l'on veut obtenir, exprimée en millimètre [25].

---

## II.1. Définition de la statistique

La statistique est l'étude d'un phénomène par la collecte de, leur traitement, leur analyse, l'interprétation des résultats et leur présentation afin de rendre les données compréhensibles par tous. C'est à la fois une science, une méthode et un ensemble de techniques [18].

Le but de la statistique est d'extraire des informations pertinentes d'une liste de nombres difficile à interpréter par une simple lecture. Deux grandes familles de méthodes sont utilisées selon les circonstances. Rien n'interdit de les utiliser en parallèle dans un problème concret mais. Selon une terminologie classique, ce sont la statistique descriptive et les mathématiques. Aujourd'hui il semble que des expressions comme analyse des données et statistique inférentielle soient préférées, ce qui est justifié par le progrès des méthodes utilisées dans le premier cas [19].

## II.2. Statistique descriptive

### II.2.1. Définition

Elle a pour but de résumer l'information contenue dans les données de façon synthétique et efficace par :

- Représentations graphiques
- Indicateurs de position, de dispersion et de relation
- Régression linéaire
- permet de dégager les caractéristiques essentielles du phénomène étudié et de suggérer des hypothèses pour une étude ultérieure plus poussée. Les probabilités n'ont ici qu'un rôle mineur [9].

### II.2.2. Paramètres de dispersion

#### II.2.2.1. L'étendue

L'étendue est simplement la différence entre la plus grande et la plus petite valeur observée [10].

$$E = x_{(n)} - x_{(1)} \quad (\text{II.1})$$

### II.2.2.2. La distance interquartile

La distance interquartile est la différence entre le troisième et le premier quartile. [10]

$$IQ = x_{3/4} - x_{1/4} \quad (\text{II.2})$$

### II.2.2.3. La variance

La variance peut aussi s'écrire

$$s_x^2 = \frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = s_x^2 \frac{n}{n-1} \quad (\text{II.3})$$

### II.2.2.4. L'écart-type

L'écart-type est la racine carrée de la variance [10].

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (\text{II.4})$$

Quand on veut estimer l'écart-type d'une variable  $X$  partir d'un échantillon de taille  $n$ , utilise la variance "corrigée" pour définir l'écart type [10].

$$s_x = \sqrt{s_x^2} = s_x \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (\text{II.5})$$

## II.2.3. Paramètres de position

### II.2.3.1. Le mode

Le mode est la valeur distincte correspondant à l'effectif le plus élevé ; il est Noté  $x_M$ . [11].

#### Remarque

- Le mode peut être calculé pour tous les types de variable, quantitative et qualitative.
- Le mode n'est pas nécessairement unique.
- Quand une variable continue est découpée en classes, on peut définir une classe modale (classe correspondant à l'effectif le plus élevé) [11].

### II.2.3.2. La moyenne

La moyenne ne peut être définie que sur une variable quantitative.

La moyenne est la somme des valeurs observées divisée par leur nombre, elle est notée  $\bar{x}$  [10].

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{II.6})$$

La moyenne peut être calculée à partir des valeurs distinctes et des effectifs

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^j n_j x_i \quad (\text{II.7})$$

### II.2.3.3. Moyenne géométrique

Si  $x_i \geq 0$  on appelle moyenne géométrique la quantité [10].

$$G = (\prod_{i=1}^n x_i)^{1/n} = (x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n)^{1/n} \quad (\text{II.8})$$

On peut écrire la moyenne géométrique comme l'exponentielle de la moyenne arithmétique des logarithmes des valeurs observées [10].

$$G = \exp \log (\prod_{i=1}^n x_i)^{1/n} = \exp \frac{1}{n} \log \prod_{i=1}^n x_i = \exp \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i \quad (\text{II.9})$$

### II.2.3.4. Moyenne harmonique

Si  $x_i \geq 0$ , on appelle moyenne harmonique la quantité [10].

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n 1/x_i} \quad (\text{II.10})$$

Il est judicieux d'appliquer la moyenne harmonique sur des vitesses.

### II.2.3.5. Moyenne pondérée

Dans certains cas, on n'accorde pas le même poids à toutes les observations.

Par exemple, si on calcule la moyenne des notes pour un programme d'étude, on peut pondérer les notes de l'étudiant par le nombre de crédits ou par le nombre d'heures de chaque cours. Si  $w_i > 0$ ,  $i = 1, \dots, n$  sont les poids associés à chaque observation, alors la moyenne pondérée par  $w_i$  est définie par : [10]

---

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n w_i x_i} \quad (\text{II.11})$$

### II.2.3.6. La médiane

La médiane, notée  $x_{1/2}$ , est une valeur centrale de la série statistique obtenue [10].

## II.3. La statistique inférentielle

### II.3.1. Définition

Est un ensemble des méthodes et des théories permettant de généraliser à une population de référence des conclusions obtenues à partir de l'étude d'un échantillon extrait de cette population. Elles visent à :

- évaluer un paramètre ou une relation
- prédire une valeur
- déterminer si les différences sont dues au hasard
- déterminer si deux échantillons sont issus d'une même population [12].

### II.3.2. But

Son but est d'étendre (d'inférer) les propriétés constatées sur l'échantillon (grâce l'analyse exploratoire par exemple) à la population toute entière, et de valider ou d'infirmer des hypothèses.

Contrairement à la statistique exploratoire, des hypothèses probabilistes sont ici nécessaires, elle suppose un modèle probabiliste.

L'estimation ponctuelle ou par intervalle de confiance et la théorie des tests d'hypothèses constituent une partie principale de la statistique inférentielle [13].

### II.3.3. Tests paramétriques classique

#### II.3.3.1. Tests gaussiens

Test	Hypothèses	Stat. du test ( $Z$ ) et cond. d'appl.	Loi de $Z$ sous $H_0$	Remarques
conform. d'une moy.	$H_0 : \mu = \mu_0$ $H_1 : \mu \neq \mu_0$ ou $H_1 : \mu > \mu_0$ ou $H_1 : \mu < \mu_0$	$\frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ , la variable étudiée doit suivre une loi normale	Student à $n - 1$ d.d.l.	Si $\sigma$ est connu, on peut utiliser directement $\bar{X}$ qui suit une loi normale de paramètre $\mathcal{N}(\mu_0, \sigma)$ sous $H_0$ .
comp. de deux moy. pour des éch. indép.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ou $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ ou $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	$\frac{\bar{X}^1 - \bar{X}^2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$ , la variable étudiée doit suivre une loi normale. Il faut que les écart-types $\sigma_1$ et $\sigma_2$ soient les mêmes.	Student à $n_1 + n_2 - 2$ d.d.l.	Avant de faire ce test, on doit tester l'égalité des variances avec un test de Fisher-Snedecor. Si on accepte l'hypothèse $\sigma_1 = \sigma_2$ , on estime la valeur commune $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ (voir ci-dessous). Si on refuse l'hypothèse $\sigma_1 = \sigma_2$ , on ne peut pas faire le test.
comp. de deux moy. pour des éch. appariés, on pose $Y = X_1 - X_2$	$H_0 : \mu_Y = 0$ $H_1 : \mu_Y \neq 0$ ou $H_1 : \mu_Y < 0$ ou $H_1 : \mu_Y > 0$	$\frac{\bar{X}_Y}{\frac{s_Y}{\sqrt{n}}}$ , la variable étudiée doit suivre une loi normale.	Student à $n - 1$ d.d.l.	
conf. d'une variance	$H_0 : \sigma = \sigma_0$ $H_1 : \sigma \neq \sigma_0$ ou $H_1 : \sigma > \sigma_0$ ou $H_1 : \sigma < \sigma_0$	$\frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$ La variable étudiée doit suivre une loi normale	$\chi^2$ à $(n-1)$ d.d.l.	Il faut tester la normalité. Si $\mu$ est connue, on peut remplacer $S^2$ par $D^2$ et on a une loi $\chi^2(n)$ .
comp. de deux variances	$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2$ $H_1 : \sigma_1 \neq \sigma_2$ ou $H_1 : \sigma_1 > \sigma_2$ ou $H_1 : \sigma_1 < \sigma_2$	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$ . La variable étudiée doit suivre une loi normale	Fisher Snedecor à $(n_1 - 1, n_2 - 1)$ d.d.l.	Lorsqu'on accepte $H_0$ , on estime l'écart-type commun par $\sigma = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}$

Tableau II.1. Tests gaussiens

### II.3.4. Tests non paramétriques

#### II.3.4.1. Tests du $X^2$

✓ **Loi multinomiale**

$$p(N_1 = n_1, \dots, N_r = n_r) = \frac{n!}{n_1! \dots n_r!} p_1^{n_1} \times \dots \times p_r^{n_r} \quad (\text{II.12})$$

Pour  $(n_1, \dots, n_r) \in N^r$  avec  $\sum_{i=1}^r n_i = n$  En particulier, les  $N_i$  ne sont pas indépendants.

✓ **Loi asymptotique**

$$D^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i} \quad (\text{II.13})$$

Alors,  $D^2$  converge en loi (quand  $n \rightarrow \infty$ ) vers une loi du  $\chi^2$  à  $r-1$  degrés de liberté [13].

#### II.3.4.2. Tests de rang

Il s'agit de tests non paramétriques de comparaison. De manière générale, on préfère effectuer des tests paramétriques, en effet, les tests non paramétriques sont moins sensibles ; c'est-à-dire que, pour un test non paramétrique, la probabilité d'accepter  $H_0$  alors que  $H_0$  est fausses est plus importante, par contre lorsque l'on rejette  $H_0$ , on peut être raisonnablement confiant quant à cette conclusion.

Dans les tests du rang, les valeurs observées sont remplacés par leurs rangs au sein des échantillons. L'idée du test est la suivante : on ordonne toutes les valeurs observées (i.e. les valeurs de tous les échantillons concernées), si le facteur étudié a une influence, les valeurs d'un des échantillons seront « dans les premiers » parmi les valeurs ordonnées [13].

### II.3.5. Les différentes Lois de distribution

#### II.3.5.1. Loi normale ou loi de Gauss

Une variable aléatoire réelle  $X$  suit une loi normale (ou loi gaussienne, loi de Laplace-Gauss) d'espérance  $\mu$  et d'écart type  $\sigma$  (nombre strictement positif, car il s'agit de la racine carrée de la variance  $\sigma^2$ ) si cette variable aléatoire réelle  $X$  admet pour densité de probabilité la fonction  $p(x)$  définie, pour tout nombre réel  $x$ , par :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.14})$$

Une telle variable aléatoire est alors dite variable gaussienne.

Une loi normale sera notée de la manière suivante  $N(\mu ; \sigma)$  car elle dépend de deux paramètres (la moyenne) et (l'écart-type). Ainsi si une variable aléatoire  $X$  suit  $N(\mu ; \sigma)$  alors

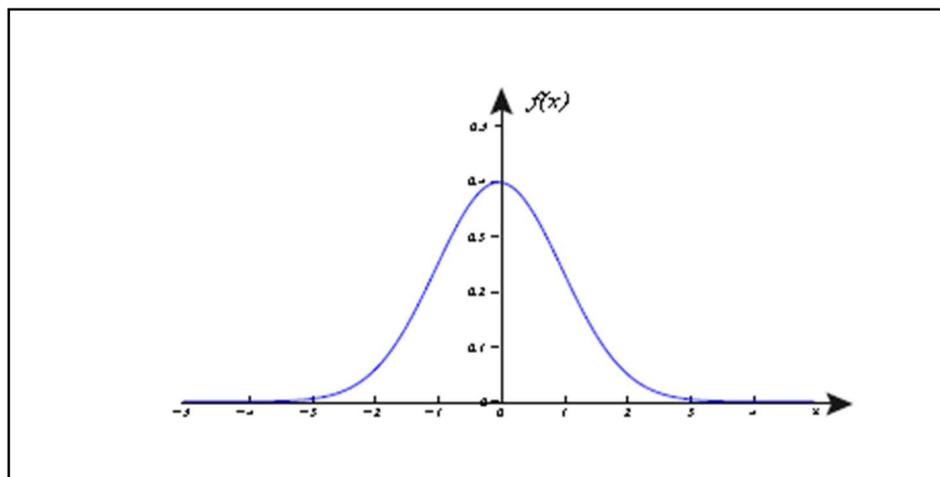
$$E(X) = \mu \quad \text{et} \quad V(X) = \sigma^2$$

Lorsque la moyenne  $\mu$  vaut 0, et l'écart-type vaut 1, la loi sera notée  $N(0 ; 1)$  et sera appelée loi normale standard. Sa fonction caractéristique vaut  $e^{-t^2/2}$ . Seule la loi  $N(0 ; 1)$  est tabulée car les autres lois (c'est-à-dire avec d'autres paramètres) se déduisent de celle-ci à l'aide du théorème suivant : Si  $Y$  suit  $N(\mu ; \sigma)$  alors  $Z = \frac{Y-\mu}{\sigma}$  suit  $N(0 ; 1)$

On note  $\vartheta$  la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite :

$$\vartheta(x) = p(z < x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (\text{II.15})$$

Avec  $Z$  une variable aléatoire suivant  $N(0,1)$  [14].



**Figure II.1.** Distribution de la loi de Gauss [15].

Pour déterminer les valeurs de  $F(x)$ , on se réfère à des tables numériques (voir Tables de la distribution de Gauss) ou on utilise des programmes d'intégration numérique [14].

### II.3.5.2. Loi du $\chi^2$ (khi-deux)

#### II.3.5.2.1. Définition

Soit  $Z_1; Z_2; \dots; Z_V$  une suite de variables aléatoires indépendantes de même loi  $N(0; 1)$ . Alors la variable aléatoire  $\sum_{i=1}^V Z_i^2$  suit une loi appelée loi du Khi-deux à  $v$  degrés de liberté, notée  $X^2(v)$  [14].

#### II.3.5.2.2. Proposition

- Sa fonction caractéristique est  $(1 - 2it)^{-v/2}$
- La densité de la loi du  $X^2(v)$  est

Où  $\rho$  est la fonction Gamma d'Euler définie par  $\rho(r) = \int_0^\infty x^{r-1} e^{-x} dx$

- L'espérance de la loi du  $X^2(v)$  est égale au nombre  $v$  de degrés de liberté et sa variance est  $2v$
- La somme de deux variables aléatoires indépendantes suivant respectivement  $X^2(v_1)$  et  $X^2(v_2)$  aussi une loi du  $X^2$  avec  $v_1+v_2$  degrés de liberté. [14]

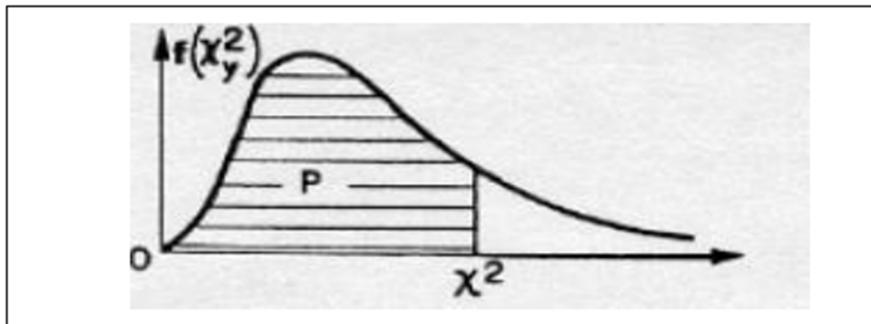


Figure II.2. Distribution de la loi de khi-deux

### II.3.5.3. Loi de Student

#### II.3.5.3.1. Définition

Soient  $Z$  et  $Q$  deux variables aléatoires indépendantes telles que  $Z$  suit  $N(0; 1)$  et  $Q$  suit  $X^2(v)$ . Alors la variable aléatoire

$$T = \frac{Z}{\sqrt{Q/v}} \quad (\text{II.16})$$

Suit une loi appelée loi de Student à  $v$  degrés de liberté, notée  $St(v)$  [14].

#### II.3.5.3.2. Proposition

- La densité de la loi de la loi de Student à  $v$  degrés de liberté est

$$f(x) = \frac{\Gamma(\frac{v+1}{2})}{\sqrt{\pi v} \Gamma(\frac{v}{2}) (1 + \frac{x^2}{v})^{\frac{v+1}{2}}} \quad (\text{II.17})$$

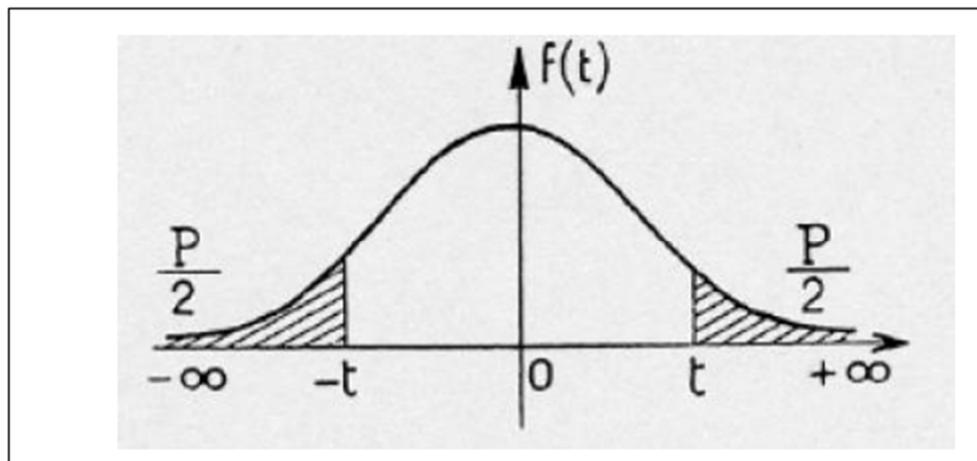
- L'espérance n'est pas définie pour  $v=1$  et vaut 0 si  $v \geq 2$

Sa variance n'existe pas pour  $v \leq 2$  et

vaut  $v/(v-2)$  pour  $v \geq 3$

- La loi de Student converge en loi vers la loi normale centrée réduite.

Remarque : pour  $v = 1$ , la loi de Student s'appelle loi de Cauchy, ou loi de Lorentz [14].



**Figure II.3.** Distribution de la loi de student.

### II.3.5.4. Loi de Fisher-Snedecor

#### II.3.5.4.1. Définition

Soient  $Q_1$  et  $Q_2$  deux variables aléatoires indépendantes telles que  $Q_1$  suit  $X^2(V_1)$  et  $Q_2$  suit  $X^2(V_2)$  alors la variable aléatoire [14].

$$F = \frac{Q_1/V_1}{Q_2/V_2} \quad (\text{II.18})$$

Suit une loi de Fisher-Snedecor à  $(V_1; V_2)$  degrés de liberté, notée  $F(V_1; V_2)$ .

Proposition 1.2.3 La densité de la loi  $F(V_1; V_2)$  est

$$f(x) = \left( \frac{\rho\left(\frac{v_1+v_2}{2}\right)}{\rho\left(\frac{v_1}{2}\right)\rho\left(\frac{v_2}{2}\right)} \right) \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{v_1}{2}} \left( \frac{x^{v_1/2-1}}{1+\frac{v_1}{v_2}x^{\frac{v_1+v_2}{2}}} \right) \quad \text{si } x > 0 \quad (0 \text{ si non}) \quad (\text{II.19})$$

Son espérance n'existe que si  $V_2 \geq 3$  et vaut  $\frac{V_2}{V_2-2}$ . Sa variance n'existe que si

$$V_2 \geq 5 \text{ vaut } \frac{2v_2^2(v_1+v_2-2)}{v_1(v_2-2)(v_2-4)}.$$

#### II.3.5.4.2. Proposition

- Si  $F$  suit une loi de Fisher  $F(v_2, v_1)$  alors  $\frac{1}{F}$  suit une loi de Fisher  $F(v_2; v_1)$ .
- Si  $T$  suit une loi de Student à  $v$  degrés de liberté alors  $T^2$  suit une loi de Fisher  $F(1; v)$  [14].

### II.3.6. Corrélation

#### II.3.6.1. Définition

Le terme de corrélation est utilisé dans le langage courant pour désigner la liaison (relation / association) entre 2 variables quelconques.

En statistique, le terme de corrélation est réservé pour désigner la liaison entre 2 variables quantitatives (le plus souvent continues) [17].

### II.3.6.2. Le coefficient de corrélation

#### II.3.6.2.1. Définition

Le coefficient de corrélation est la covariance divisée par les deux écarts-types marginaux :

$$r_{xy} = S_{xy}/S_x S_y \quad (\text{II.20})$$

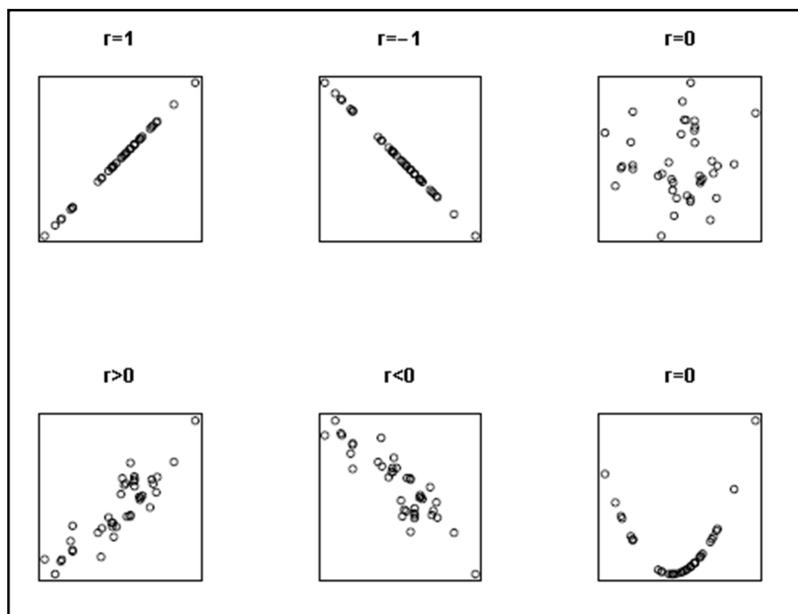
#### Remarque :

Le coefficient de corrélation mesure la dépendance linéaire entre deux variables :

$$-1 \leq r_{xy} \leq 1,$$

$$0 \leq r_{xy}^2 \leq 1.$$

- Si le coefficient de corrélation est positif, les points sont alignés le long d'une droite croissante.
- Si le coefficient de corrélation est négatif, les points sont alignés le long d'une droite décroissante.
- Si le coefficient de corrélation est nul ou proche de zéro, il n'y a pas de dépendance linéaire. On peut cependant avoir une dépendance non-linéaire avec un coefficient de corrélation nul [16].



**Figure II.4.** Exemples de nuages de points et coefficients de corrélation. [16]

### II.3.6.3. Tests de corrélation

#### II.3.6.3.1. Test de Khi-Deux

Le test du Khi -Deux utilise des propriétés de la loi multinomiale. Il permet de juger si une hypothèse concernant la loi de probabilité d'une variable aléatoire est compatible avec la réalisation d'un échantillon ou non.

Dans ce test deux cas sont à distinguer :

La fonction de répartition  $F_0$  est entièrement spéciale, et ses paramètres sont connus.

- On connaît seulement la forme de la loi de distribution, et ses paramètres sont estimés à partir d'un \_échantillon.

#### II.3.6.3.2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Dans la section précédente nous avons exposé le test d'ajustement de  $X^2$ , même si ce test est facile à implémenter, nous avons constaté sa mise en œuvre exige certaines conditions à titre d'exemple l'effectifs théoriques doit être au moins égales à 5 dans tous les classes. Une alternative à ce test est l'utilisation du test de Kolmogorov-Smirnov. En effet, le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui peut être utilisé même dans le cas où les effectifs théoriques sont inférieurs à 5, ce qui fait ce test est plus puissant que le précédent. Contrairement au test d'ajustement de  $X^2$ , qui consiste à vérifier si les effectifs empiriques étaient conformes à ceux d'une distribution théorique, le test de Kolmogorov-Smirnov se base sur les différences en valeur absolue entre les fréquences théoriques et les fréquences empiriques cumulées.

La statistique, notée  $D_n$ , utilisée par le test de Kolmogorov-Smirnov est la plus grande différence en valeur absolue entre les fréquences empiriques cumulées ( $F_n$ ) et les fréquences théoriques cumulées ( $F_0$ ) :

$$D_n = \max |F_n(x) - F_0(x)| \quad (\text{II.21})$$

Où :  $F_n(x)$  = (nombre d'observations  $\leq x$  / la taille de l'échantillon) définie dans ( $D_n(x_i)$ ) et  $F_0(x)$  la fonction de répartition théorique.

#### II.3.6.3.3. Test de rang de Spearman

Pour valider l'existence d'un lien entre deux variables, on réalise ordinairement une régression linéaire simple, voir une régression non linéaire. La qualité du lien supposé est mesurée par le coefficient de corrélation (dit « de Pearson »). Cependant, il existe des situations pour lesquelles une mesure de la corrélation sur les valeurs est inadaptée. Si les variables sont ordinales, discrètes, ou si des valeurs extrêmes risquent de biaiser les résultats [14].

### III.1.Objectifs étudiés

L'objectif de notre étude est de déterminer l'influence des paramètres de coupe sur le module de YOUNG et le coefficient de poisson ; et pour cela on a effectué deux différentes opérations :

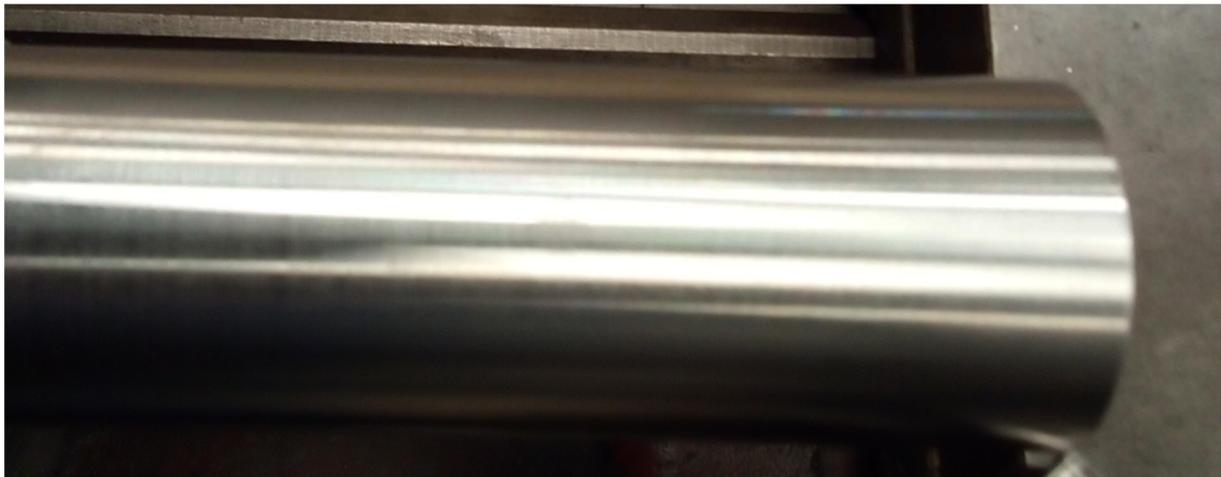
- Chariotage pour étudier la variation de module de YOUNG
- Dressage pour étudier la variation de coefficient de poisson

Après une série de mesure des coupeaux on a fait une approche sur la déformation du matériau à l'aide d'une étude statique.

### III.2. Matériau et dispositif d'usinage

#### III.2.1. Matériau

Le matériau utilisé est l'acier A60 fourni sous forme de barres cylindriques plein, de diamètre 50mm et longueur 200mm voir (figure.III.1).



**Figure III.1** Cylindre plein en acier A60 de diamètre 55mm et de longueur 200mm.

#### III.2.2. Machine-outil

Les essais préliminaires ont été réalisés sur un tour universel, type CN 40 C, Puissance 6.6KW situé au niveau du hall technologique de l'université de Bejaia voir (Figure III.2).



Figure III.2 Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie université de Bejaia.

### III.2.2.1 Caractéristiques de la machine-outil

Diamètre Max (mm)	Vitesse d'Avance $V_a$ (mm/tr) des chariots	Vitesse de rotation du mandrin (tr/mn)	Puissance de la machine KW
500	0.05-6.4	45/2000	6.6

Tableau III.1 Caractéristiques de la machine-outil SN 40C.

### III.2.3 Outil d'usinage

L'outil utilisé lors des essais de tournage (Figure.III.3) est en acier rapide de codification CNMG120404-MA (voir l'annexe 1) et de caractéristiques (voir Tableau III.2).

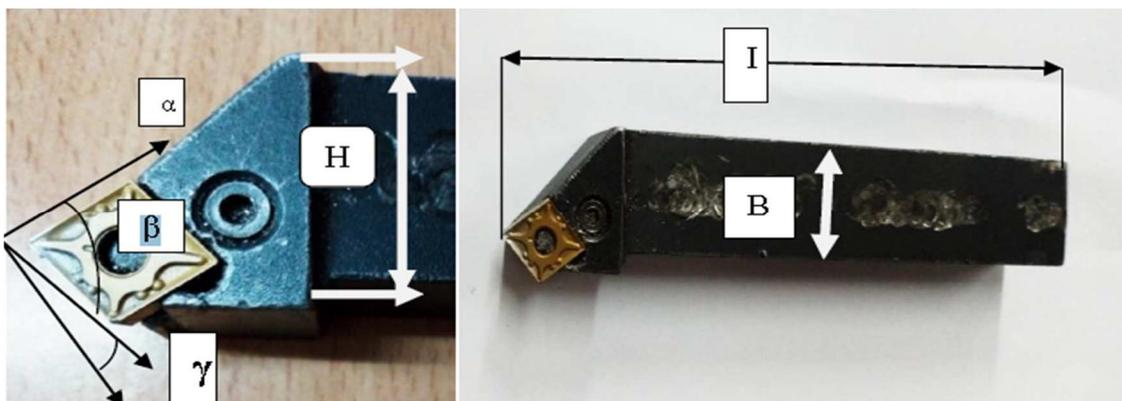


Figure III.3 Outil de coupe à plaquette en carbure métallique amovible.

H (mm)	B (mm)	I (mm)	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\gamma^\circ$
32	25	150	0	80	10

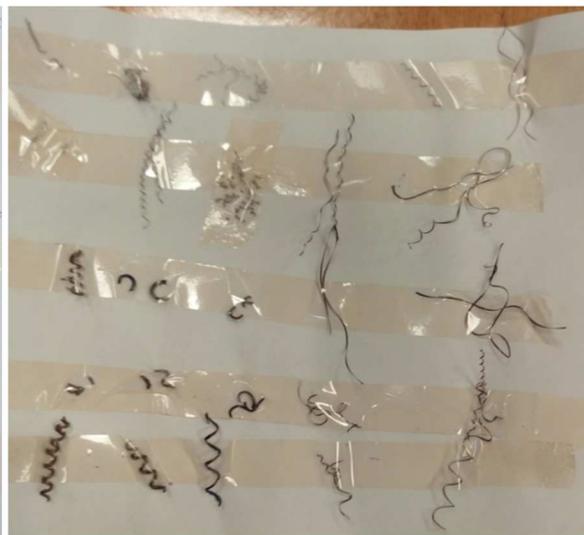
**Tableau III.2 :** Caractéristiques géométriques de la plaquette

### III.3.Procédure expérimentale

Des opérations de chariotage et de dressage sur une pièce cylindrique en acier A60, effectuant des paliers de 20mm de course chacun ont été réalisés avec des différentes vitesses de rotation et des vitesses d'avance afin de récupérer les copeaux pour les mesurer voire (Figure III.4 III.5).



**Figure III.4.** Copeau en chariotage



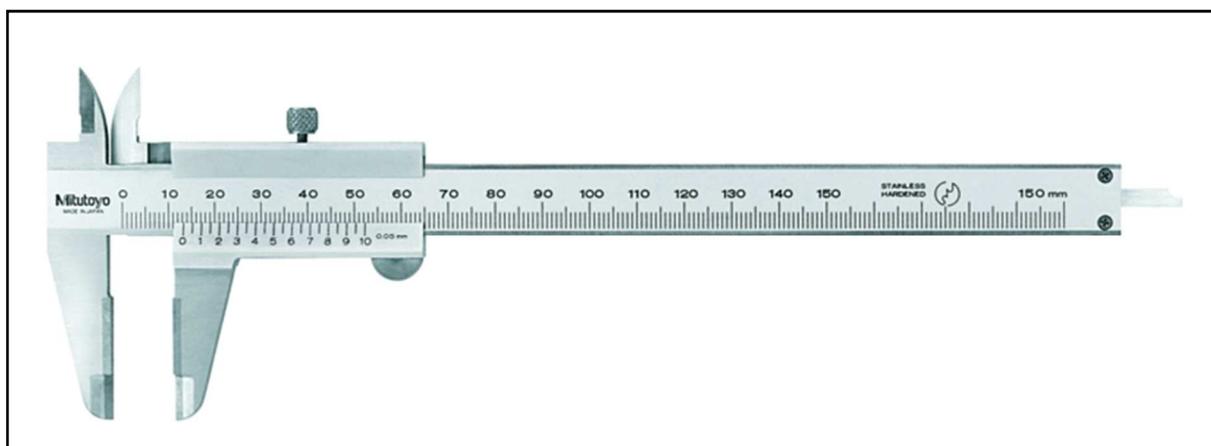
**Figure III.5.** Copeau en dressage

#### III.3.1 Mesure d'épaisseur des copeaux

A la suite de l'usinage, les mesures d'épaisseur des copeaux ont été réalisées à l'aide d'un Pied à coulisse sans parallaxe avec jauge de profondeur ronde voir (Figure III.5), et de caractéristique suivante (tableau III.1).

Lecture	0,05 mm
Graduation	1/20 mm
Graduation	1/128 inch
Lecture commutable	mm / pouce
Norme	DIN 862
Jauge de profondeur	∅ 1,6
∅ jauge de profondeur	1,6 mm
Blocage	Vis de blocage en haut
Métrie	analogique
Matériau	Acier inoxydable, INOX

**Tableau III.1.** Caractéristiques techniques d'un Pied à coulisse sans parallaxe avec jauge de profondeur ronde



**Figure III.6.** Pied à coulisse

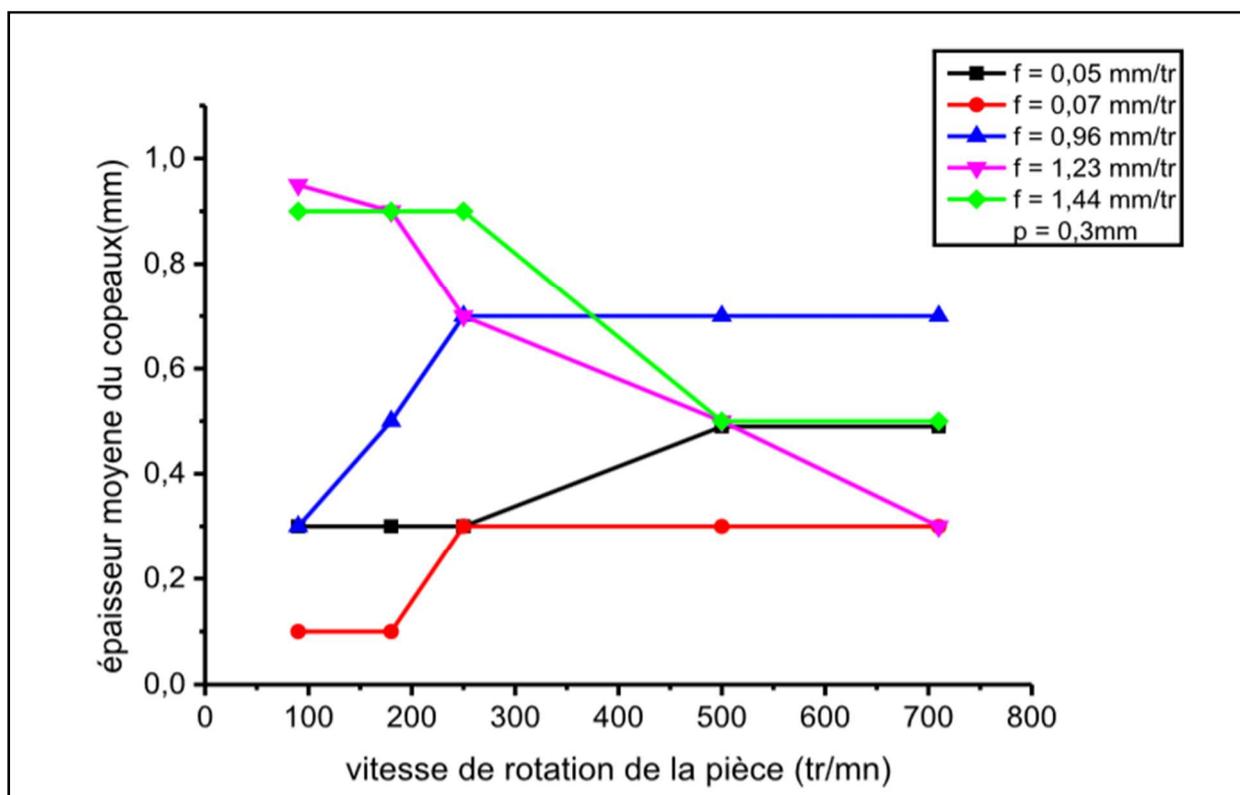
### III.3.2. Résultats et interprétations technique

#### III.3.2.1. Influence de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en chariotage

##### Interprétation du graphe :

L'analyse des copeaux montre que sa géométrie augmente légèrement par augmentation de la vitesse de rotation de la pièce et tend à se stabiliser pour des vitesses d'avance de l'outil inférieur à 1mm/tr par contre pour des vitesses d'avances de l'outil supérieur à 1mm/tr le phénomène s'inverse.

Cela semble que l'avance influe sur la géométrie du copeau de façon inverse par un volume supérieur pour de faibles avances et diminue progressivement tout en l'augmentant et cela proportionnellement à l'augmentation de la vitesse de rotation de la pièce en chariotage voir la (Figure III.7).



**Figure III.7.** La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux en fonction de la vitesse de rotation de la pièce en chariotage

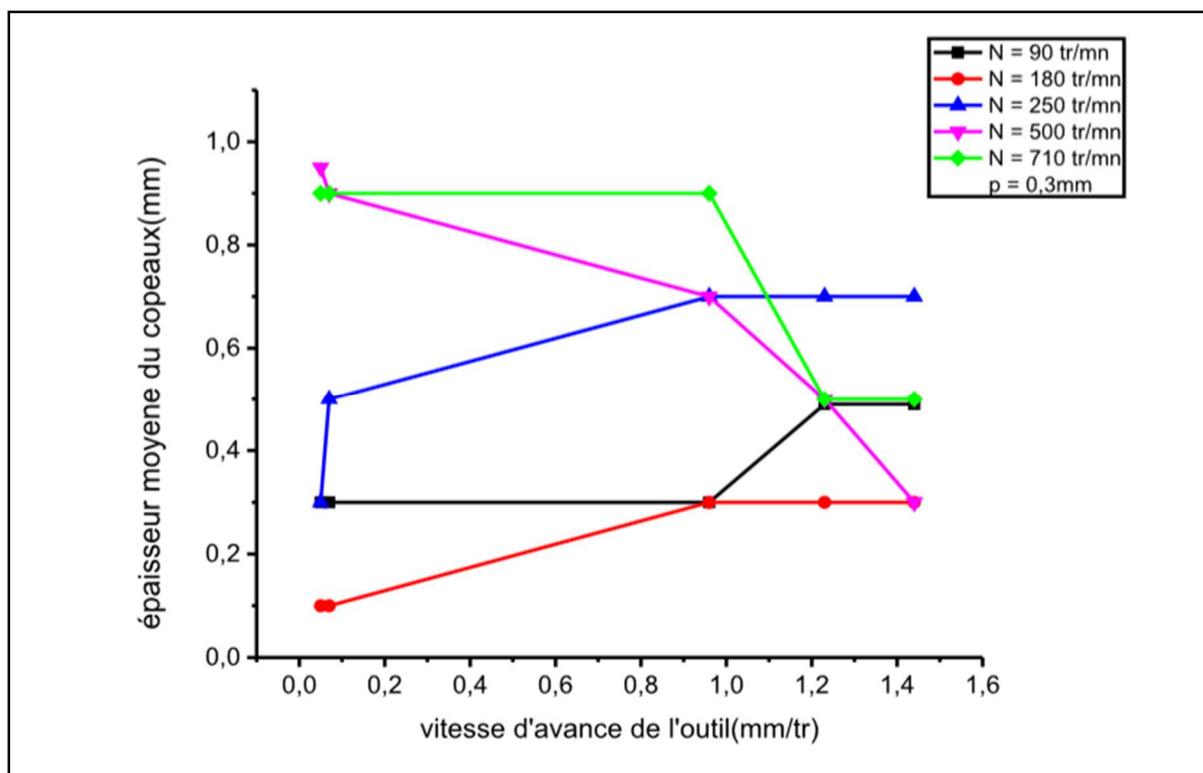
### III.3.2.2. Influence de la vitesse d'avance de l'outil sur l'épaisseur du copeau en chariotage

#### Interprétation du graphe :

L'influence de la vitesse de rotation de la pièce est confirmée sur l'épaisseur du copeau par une proportionnalité de variation inférieure à 1mm/tr et inversement au-delà

On note des perturbations linéaires dans les courbes du à certaines paramètres d'usinage incontrôlables te que les vibrations de la machine l'usure des arrêtes de coupes les manipulations de

L'opérateur...etc

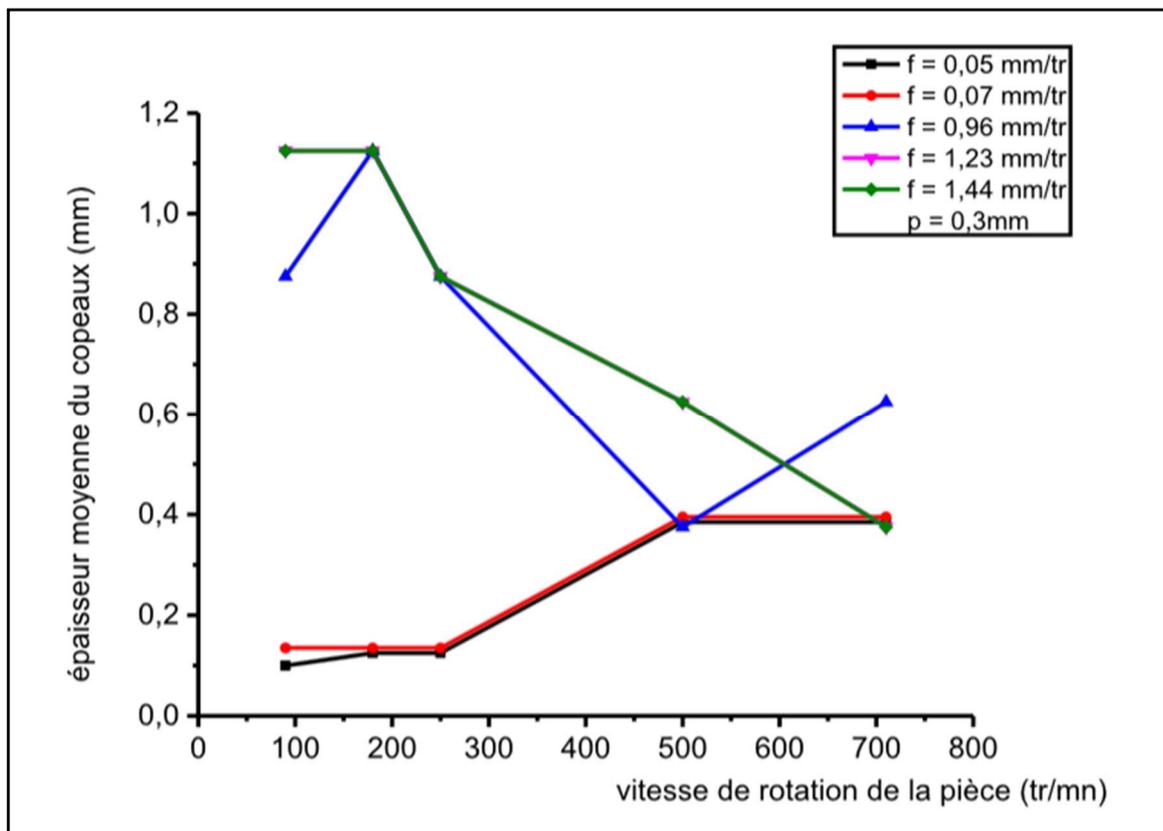


**Figure III.8.** La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux (mm) en fonction de la vitesse d'avance de l'outil (mm/tr) en chariotage

### III.3.2.3. Influence de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en dressage

#### Interprétation du graphe :

La déformation du copeau en transversale est beaucoup plus accentué et passe de 0.1mm d'épaisseur pour des vitesses de rotations inférieure à 250tr/mn et une avance inférieure à 1mm/tr à 0.9mm et plus pour les même vitesses de rotations de la pièce mais pour une avance supérieure à 1mm/tr. La permutation de la déformation du copeau se fait à partir de 250tr/mn pour laisser l'avantage à l'influence de l'avance qui agit sur une minimisation du copeau tout en augmentant son intensité par rapport une vitesse de rotation de la pièce au-delà de cette limite qui tend à stabiliser l'épaisseur du copeau dans un intervalle [0.2 – 0.4] mm.



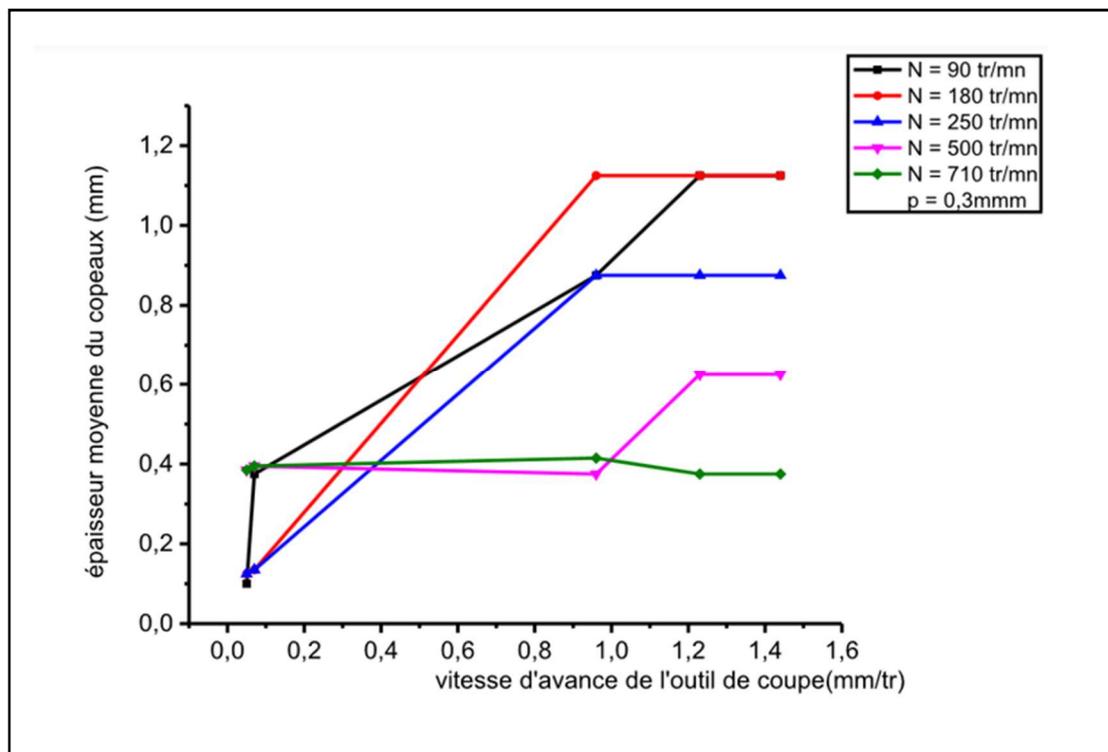
**Figure III.9.** La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux en fonction de la vitesse de rotation de la pièce en dressage

### III.3.2.4. Influence de la vitesse d'avance de l'outil sur l'épaisseur du copeau en dressage

#### Interprétation du graphe :

On remarque bien que le seuil de changement en déformation transversale apparaît dès que la vitesse d'avance atteint 1mm/tr pour la plus part des vitesses de rotation de la pièce la déformation au-delà reste très réduit.

On peut dire que les paramètres d'usinage en chariotage ou en dressage peuvent contribuer à la déformation longitudinale ou transversale qui a un lien direct avec le module de Young et le module de Poisson.



**Figure III.10.** La variation de l'épaisseur moyenne du copeaux (mm) en fonction de la vitesse d'avance (mm/tr)

### III.4. Analyse statistique avec « ORIGIN »

f = 0.05mm/tr	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,38	0,10954	1,9	0,3	0,5
I <sub>dressage</sub>	5	0,22	0,14186	1,1	0,1	0,375

Pearson Corrélation	0,99741
---------------------	---------

Une forte liaison positive entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage est observée, dans ce cas ces paramètres d'usinage sont corrélés positivement.

f = 0.07mm/tr	N	moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,22	0,10954	1,1	0,1	0,3
I <sub>dressage</sub>	5	0,225	0,13693	1,125	0,125	0,375

Pearson Corrélation	0,66667
---------------------	---------

On constate une liaison moyenne entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage. Dans ce cas ces paramètres d'usinage sont moyennement corrélés.

f = 0.96mm/tr	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,58	0,17889	2,9	0,3	0,7
I <sub>dressage</sub>	5	0,775	0,28504	3,875	0,375	1,125

Pearson Corrélation	-0,53932
---------------------	----------

Il existe une liaison moyenne négative entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage. Dans ce cas ces paramètres d'usinage sont moyennement corrélés et de façon opposés.

f = 1.44mm/tr	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,67	0,27295	3,35	0,3	0,95
I <sub>dressage</sub>	5	0,825	0,32596	4,125	0,375	1,125

Pearson Corrélation	0,99753
---------------------	---------

Forte liaison positive entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage, ces paramètres d'usinage sont également corrélés positivement

f = 1.23mm/tr	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,74	0,21909	3,7	0,5	0,9
I <sub>dressage</sub>	5	0,825	0,32596	4,125	0,375	1,125

Pearson Corrélacion	0,91018
---------------------	---------

Là aussi on remarque que la corrélation entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage est bien forte et une liaison positive existe entre ces paramètres d'usinages

En conclusion, on constate que, en fixant la vitesse d'avance de l'outil et en variant la vitesse de rotation de la pièce, une corrélation plus ou moins forte existe entre ces paramètres d'usinages, et la déformation de la pièce en longueur et en transversale est conditionnée par le choix de ces paramètres.

En fixant cette fois-ci la vitesse de rotation de la pièce et en variant la vitesse d'avance de l'outil de coupe, on obtient l'analyse suivante :

N = 90 tour /min	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,51	0,38794	2,55	0,1	0,95
I <sub>dressage</sub>	5	0,67	0,51913	3,35	0,1	1,125

Pearson Corrélacion	0,84132
---------------------	---------

Une forte liaison positive est observée entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage déduite du coefficient de corrélation, on en conclue que ces paramètres d'usinage sont corrélés positivement.

N = 180 tour /min	N	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,54	0,35777	2,7	0,1	0,9
I <sub>dressage</sub>	5	0,725	0,54772	3,625	0,125	1,125

Pearson Corrélacion	0,86753
---------------------	---------

Même constatation est à indiquer les deux vitesses de rotation de la pièce donne pratiquement des résultats similaires et leurs influences sur la déformation à travers les copeaux ne diffèrent pas significativement.

N = 250 tr/mn	Ne	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,58	0,26833	2,9	0,3	0,9
I <sub>dressage</sub>	5	0,575	0,41079	2,875	0,125	0,875

Pearson Corrélacion	0,95258
---------------------	---------

Encore une fois cette vitesse de rotation avec les vitesses d'avance de l'outil de coupe utilisés, fourni une bonne et forte liaison positive qui traduit une influence conjointe sur la déformation.

N = 500 tr/mn	Ne	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,5	0,14142	2,5	0,3	0,7
I <sub>dressage</sub>	5	0,475	0,13693	2,375	0,375	0,625

Pearson Corrélacion	0
---------------------	---

On assiste maintenant à une relation nulle, autrement dit, pas de corrélation entre copeaux usinés par chariotage et ceux usinés par dressage, on en conclue que ces paramètres d'usinage sont totalement indépendants on peut avancer l'hypothèse que des paramètres externes (température de manipulation, vibrations de la machine, arrête de coupe usée...etc ) ont beaucoup influencé cette phase d'usinage et la déformation en copeaux sera aberrante.

N = 710 tr/mn	Ne	Moyenne	Ecart type	Somme	Min	Max
I <sub>chariotage</sub>	5	0,46	0,16733	2,3	0,3	0,7
I <sub>dressage</sub>	5	0,425	0,1118	2,125	0,375	0,625

Pearson Corrélacion	0,80178
---------------------	---------

Pour la dernière vitesse de rotation de la pièce, on peut confirmer en générale par cette analyse statistique, la forte corrélation positive entre les paramètres de coupes lors de l'usinage de l'acier utilisé, et qu'ils affectent d'une manière direct la déformation longitudinale et transversale de la pièce, lors des opérations d'usinages par tournage, cette déformation approchée par une analyse statistique des copeaux, entre dans la détermination du module d'élasticité et du module de Poisson.

## Conclusion générale

Au cours de ce travail nous avons essayé d'étudier les matériaux en générale, et en particulier l'acier et ses alliages.

Notre étude nous a permis de comprendre qu'il y a une grande différence entre les propriétés des alliages d'aciers ; et leurs caractéristiques dépendent de leurs composants chimiques.

Le deuxième chapitre consiste à faire une étude sur des notions statiques, ce qui nous a conduits à faire une approche statiques et de traduire les résultats d'usinage à des tableaux et graphes

Les principaux résultats obtenus dans ce travail se résument comme suit :

- ✓ La vitesse de rotation de la pièce influence sur l'épaisseur du copeau en chariotage
- ✓ La vitesse d'avance de l'outil influence sur l'épaisseur du copeau en chariotage
- ✓ la vitesse de rotation de la pièce influence sur l'épaisseur du copeau en dressage
- ✓ la vitesse d'avance de l'outil influence sur l'épaisseur du copeau en dressage

D'après les résultats obtenus dans ce travail nous constatons qu'il y a des déformations transversales et longitudinales du copeau ; cela nous permet de déduire qu'il y a une influence des paramètres de coupe sur le module de YOUNG et le coefficient de poisson.

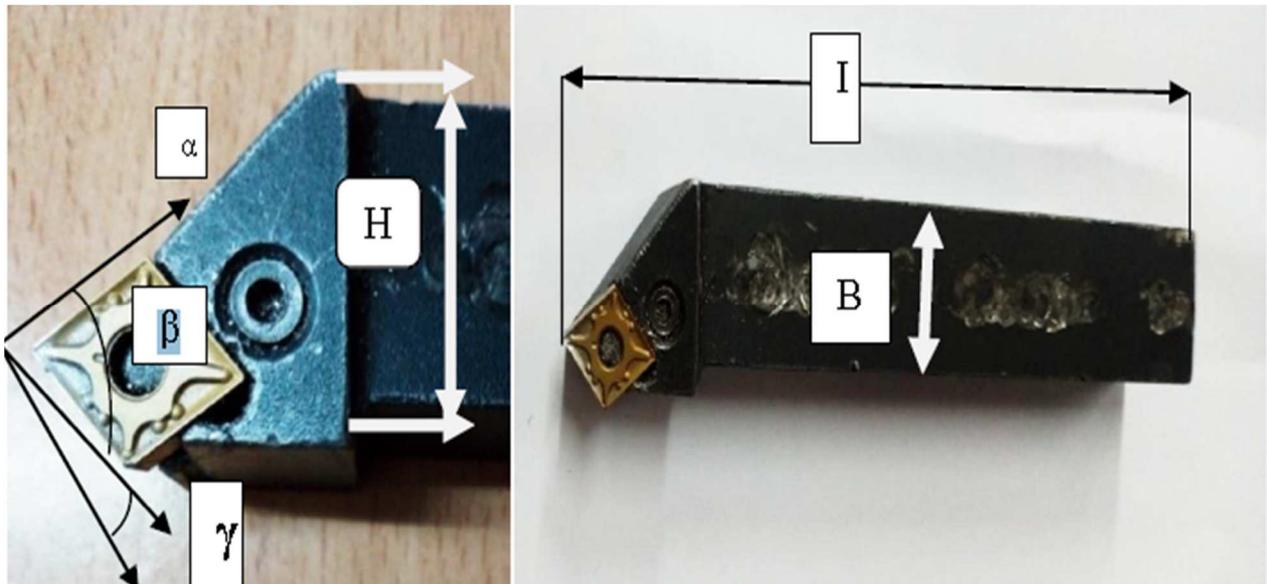
Dans l'avenir il est très intéressant de revoir cette étude en utilisant des essais de traction sur plusieurs matériaux dans le but d'avoir des résultats plus précis et générales.



**Annexe 1 :** Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie université de Bejaia.



**Annexe 2 :** Outil de coupe à plaquette en carbure métallique amovible.

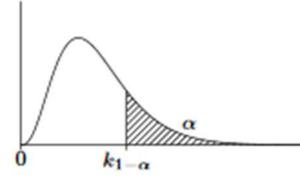


### Annexe 3 : Lois de Pearson

Si  $X$  est une variable aléatoire suivant la loi du  $\chi^2$ , ou de Pearson, à  $\nu$  degrés de liberté, la table donne, pour  $\alpha$  fixé, la valeur  $k_{1-\alpha}$  telle que

$$\mathbb{P}\{X \geq k_{1-\alpha}\} = \alpha.$$

Ainsi,  $k_{1-\alpha}$  est le quantile d'ordre  $1 - \alpha$  de la loi du  $\chi^2$  à  $\nu$  degrés de liberté.



$\nu \backslash \alpha$	0,990	0,975	0,950	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,001
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	10,8276
2	0,0201	0,0506	0,1026	0,2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	13,8155
3	0,1148	0,2158	0,3518	0,5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,3449	16,2662
4	0,2971	0,4844	0,7107	1,0636	7,7794	9,4877	11,1433	13,2767	18,4668
5	0,5543	0,8312	1,1455	1,6103	9,2364	11,0705	12,8325	15,0863	20,5150
6	0,8721	1,2373	1,6354	2,2041	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	22,4577
7	1,2390	1,6899	2,1673	2,8331	12,0170	14,0671	16,0128	18,4753	24,3219
8	1,6465	2,1797	2,7326	3,4895	13,3616	15,5073	17,5345	20,0902	26,1245
9	2,0879	2,7004	3,3251	4,1682	14,6837	16,9190	19,0228	21,6660	27,8772
10	2,5582	3,2470	3,9403	4,8652	15,9872	18,3070	20,4832	23,2093	29,5883
11	3,0535	3,8157	4,5748	5,5778	17,2750	19,6751	21,9200	24,7250	31,2641
12	3,5706	4,4038	5,2260	6,3038	18,5493	21,0261	23,3367	26,2170	32,9095
13	4,1069	5,0088	5,8919	7,0415	19,8119	22,3620	24,7356	27,6883	34,5282
14	4,6604	5,6287	6,5706	7,7895	21,0641	23,6848	26,1189	29,1412	36,1233
15	5,2293	6,2621	7,2609	8,5468	22,3071	24,9958	27,4884	30,5779	37,6973
16	5,8122	6,9077	7,9616	9,3122	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	39,2524
17	6,4078	7,5642	8,6718	10,0852	24,7690	27,5871	30,1910	33,4087	40,7902
18	7,0149	8,2307	9,3905	10,8649	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	42,3124
19	7,6327	8,9065	10,1170	11,6509	27,2036	30,1435	32,8523	36,1909	43,8202
20	8,2604	9,5908	10,8508	12,4426	28,4120	31,4104	34,1696	37,5662	45,3147
21	8,8972	10,2829	11,5913	13,2396	29,6151	32,6706	35,4789	38,9322	46,7970
22	9,5425	10,9823	12,3380	14,0415	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	48,2679
23	10,1957	11,6886	13,0905	14,8480	32,0069	35,1725	38,0756	41,6384	49,7282
24	10,8564	12,4012	13,8484	15,6587	33,1962	36,4150	39,3641	42,9798	51,1786
25	11,5240	13,1197	14,6114	16,4734	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	52,6197
26	12,1981	13,8439	15,3792	17,2919	35,5632	38,8851	41,9232	45,6417	54,0520
27	12,8785	14,5734	16,1514	18,1139	36,7412	40,1133	43,1945	46,9629	55,4760
28	13,5647	15,3079	16,9279	18,9392	37,9159	41,3371	44,4608	48,2782	56,8923
29	14,2565	16,0471	17,7084	19,7677	39,0875	42,5570	45,7223	49,5879	58,3012
30	14,9535	16,7908	18,4927	20,5992	40,2560	43,7730	46,9792	50,8922	59,7031

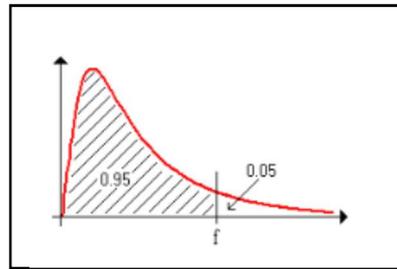
Lorsque le degré de liberté  $\nu$  est tel que  $\nu > 30$ , la variable aléatoire

$$Z = \frac{\sqrt{2X} - \sqrt{2\nu - 1}}{\sqrt{2\nu - 1}}$$

suit approximativement la loi normale centrée réduite.

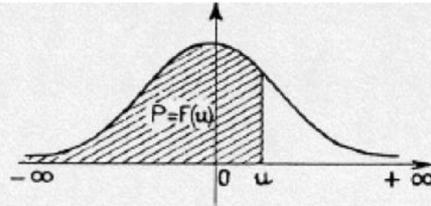
### Annexe 4: Table de la Loi de Fisher-Snedecor

Valeur f de la variable de Fisher-Snedecor F ( $v_1$  ;  $v_2$ ) ayant la probabilité 0.05 d'être dépassée



v1 : degrés de liberté du numérateur		v2 : degrés de liberté du dénominateur																																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50																						
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	242.98	243.90	244.69	245.36	245.95	246.47	246.92	247.32	247.69	248.02	248.58	249.05	249.45	249.80	250.10	250.69	251.14	251.49	251.77																						
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43	19.44	19.44	19.44	19.45	19.45	19.45	19.46	19.46	19.46	19.47	19.47	19.47	19.48																						
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.78	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58																						
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70																						
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44																						
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75																						
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.48	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32																						
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02																						
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80																						
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64																						
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51																						
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40																						
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31																						
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24																						
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18																						
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12																						
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08																						
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04																						
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00																						
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.16	2.14	2.12	2.11	2.10	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01	1.99	1.98	1.97																						
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91																						
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.08	2.06	2.05	2.02	2.01	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88																						
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.86																						
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01	1.98	1.96	1.95	1.93	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84																						
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82																						
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88	1.86	1.84	1.82	1.81																						
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79																						
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	2.01	1.99	1.97	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77																						
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76																						
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99	1.97	1.95	1.94	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.83	1.82	1.79	1.77	1.75	1.74																						
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97	1.95	1.93	1.92	1.90	1.89	1.86	1.84	1.82	1.81	1.80	1.77	1.75	1.73	1.71																						
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92	1.90	1.88	1.87	1.85	1.82	1.81	1.79	1.78	1.75	1.73	1.71	1.69																						
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77	1.76	1.73	1.71	1.69	1.68																						
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66																						

Annexe 5 : Table de distribution de la loi normale



u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

Table pour les grandes valeurs de u

u	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,5
F(u)	0,99865	0,99904	0,99931	0,99952	0,99966	0,99976	0,999841	0,999928	0,999968	0,999997

## Référence bibliographie

---

- [1] **HIDOURI A.**, Caractéristiques des matériaux, Technologue à l’ISET de Gafsa,2018, p14-15
- [2] **LAZIZI H.**, Influence de la variation de la température de revenu sur l’évolution des caractéristiques mécanique et structurale de l’alliage Al-4%Cu trempé dans un fluide à 70% H2O et 30% d’huile soluble, Université de Mouloud MAMMERRI de TIZI-OUZOU, 2013, p33.
- [3] **BOUDAUD L.**, Variation des propriétés mécaniques, des alliages d’aluminium laminés suivant la direction de sollicitation, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZIOUZOU, 2015, p7.
- [4] **HAMZA S.**, Etude de l’effet de la charge normale appliquée sur le comportement tribologique des couples métalliques, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M’SILA, 2016, p3-5
- [5] **Meiller M., Lebrun J. L. , Touratier M., Ryckelynck D. ,** « Friction law for tool Work piece contact area in dry machining, Proceedings of the International Workshop on Friction and Flow Stress in Cutting and Forming», ENSAM-Paris (France), 2000 101–109.
- [6] E. L. Sturbu, le titre de la thèseThèse doctorat, Institut national de sciences appliquées ; Lyon France 2005.
- [7] **Vielle B. ,** Méthode et fabrication, conservatoire national des arts et métier.
- [8] **NORBERT M., PHILIPPE R.**, aide-mémoire de l’élève dessinateur et du dessinateur industriel, EDITION NOUVELLE pp 136-140.
- [9] **Polisano K.** Cours de Statistiques niveau L1-L2. Licence. France. 2018.p13
- [10] Tille Y.,Statistique Descriptive, 15 décembre 2010, pp(37-40)
- [11] **Ayache A. & Hamonier J.**, Cours de Statistique Descriptive pp 8-23
- [12] **Ghriss N. F. ,** le titre Université de Tunis Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue, Avril – 2009 p4
- [13] **Ribereau P. ,** Cours de Statistiques Inférentielles, 6 janvier 2016, p9-83-92
- [14] **DUSART P.**, cours de statistiques inférentielles. 2018. pp 4-5-6-64

- [15] **CHERFAOUI M.** Statistiques Appliquées a l'Expérimentation En Sciences Biologique, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER, BISKRA, pp 10-11-30-31
- [16] **Tille Y.**, Statistique Descriptive, Cour,15 décembre 2010 ,p56
- [17] **LABARERE J.** corrélation régression linéaire simple. Université joseph fourier de Grenoble. 2011/2012. PP 4e
- [18] **Kaufman J. G. and Rooy E.L.**, in Corrosion Test and Standards, Application and Interpretation, 2nd edition, edited by R.Baboian. ASM International, Materials Park, OH.
- [19] **Ben Sellam K.**, Technologie mécanique, École Normale Technique Moyenne, Mai 2010.
- [20] **Equipe procéder de fabrication-GMC**, usinage par outil coupant, institut national des sciences appliquées, Lyon.
- [21] **Passeron A.** , « Tournage», Série BM7086 de Technique de l'ingénieur ,1997.
- [22] **Catalogue sandvik coromant.** Outils de tournage, outils rotatif, 2017.
- [23] **TIGRINE M., FERADJ F.**, Condition de coupes en tournage des aciers durs, dans le but de récupérer les galets de tréfilage, problème posé par L'EURL RELLY METAL, Akbou.2014.
- [24] **PIERRE B.**, la coupe des métaux version 5, octobre 2004.
- [25] Fraisage sur petite fraiseuse, Convention Patronale De l'Industrie Horlogère Suisse

## **Résumé**

Notre travail représente les résultats expérimentaux d'une étude sur la déformation des copeaux des surfaces usinées par le procédé du tournage sur une pièces d'acier A 60 , qui a permis, la mise en évidence de l'influence des paramètres de coupes sur le module de YOUNG et le coefficient de Poisson , pour cela, nous avons réalisé des essais de chariotages et de dressages sur une pièce mécanique en variant les paramètres de coupe afin d'étudier l'influence de ces paramètres sur la déformation longitudinale et transversale.

**Mots clés :** module de YOUNG, coefficient de poisson, paramètres de coupes ; coefficient de corrélation

## **Abstract**

Our work represents the experimental results of a study on the deformation of swarf on surfaces machined by the turning process on an A 60 steel part, which revealed the influence of the cutting parameters on the YOUNG modulus and the Poisson coefficient. For this purpose, we carried out turning and dressing tests on a mechanical part by varying the cutting parameters in order to study the influence of these parameters on the longitudinal and transverse deformation.

**Keywords:** Young modulus, Poisson coefficient, cutting parameters, correlation coefficient.

*Chapitre I*  
*initiation aux*  
*aciens*

*Chapitre II*  
*théorème*  
*statistique*

*Chapitre III*  
*partie*  
*expérimentale*

*Conclusion  
générale*

# *Annexe*

# *Liste de figure*

# *Liste des tableaux*

# ***Bibliographie***

# *Table des matières*

*Nomenclature  
et symbole*

# *Dédicace*

***Remerciement***

*Introduction  
générale*