

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

Mémoire pour l'obtention du diplôme de master

Filière : Génie Mécanique

Thème

**Analyse statistique des paramètres de coupe dans le tournage
de l'aluminium et leurs influences sur la taille des copeaux**

Elaboré par :

Mr IBRAHIM OUALI Fouad
Mr. FOUROUR Billal

Encadré par :

Dr : BENSAID.N

Membres du jury :

Dr HADJOU.M

Dr BELAMRLA

Année Universitaire 2019-2020

Remerciement

Dieu merci pour la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de la préparation de ce mémoire de Master et qui nous ont permis d'achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr **BENSAID Nasreddine** pour Son soutien, et ses conseils et ses et surtout son encouragement.

Et Mr **A. BELAMRI** pour ses précieuses orientations.

Nous remercions également monsieur **HADJOU** d'avoir consacré SON temps pour l'évaluation notre modeste travail.

Toutes nos pensées vont vers nos honorables parents en reconnaissance à leur esprit de sacrifice et de dévouement ainsi qu'à

Leur soutien constant –moral et matériel- et ce, pour nous avoir permis de construire un avenir certain et en même temps réaliser nos rêves. A la fin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet.

Merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère :

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il le doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés à toujours était ma source de force pour affronter les différents obstacles.

Mon très cher père :

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travaille traduit ma gratitude et mon affection

A mon très cher frère : Wassim, Et ma belle-sœur : Alea

Que dieux vous donne santé, bonheur, et courage et surtout réussite.

A CHICHERI Mazigh, ET Son frère Massi mes amis du cœur

A celle qui me donne la volonté de continuer dans mon avenir a me

Surpassé toujours m'as bien aimé H. Lydia

A mon cher ami Omar ikhlef qui as était toujours là pour moi mon ami

Et mon frère pour toujours

I. Fouad

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :

A mes chers parents pour l'éducation qui m'ont transmise, avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, afin d'atteindre mes objectifs et ce depuis mon enfance.

A mes chers frères Saïd, Yousef, Abdelhadi

A mes chères sœurs Naima et Hanane

A tous mes amis et à tous ceux que j'aime et à toutes les personnes qui m'ont prodigué des encouragements et qui se sont données de la peine pour me soutenir durant cette formation.

A toute la promotion de Fabrication Mécanique et Productique :2019-
2020

A mes chers enseignants sans exception

A mon cher ami et Binôme Fouad

F.Billal

Sommaire

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

CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'USINAGE DES MATERIAUX PAR TOURNAGE

1. Notions sur les matériaux fragiles.....	04
1.1 Définition des matériaux fragiles :	04
1.2 Caractéristiques des matériaux fragiles :	05
1.2.1 La capacité élastique : le point clef :	05
1.2.2 La vitesse de propagation des fissures :	06
1.2.3 Facteur influençant sur la fragilité d'un matériau :	06
1.3 Avantages des matériaux fragiles :	07
2 Généralités sur l'aluminium.....	07
2.1 L'Aluminium :	07
2.2 L'aluminium et ses principaux alliages :	08
2.3 Propriétés de l'aluminium :	10
2.3.1 Propriétés mécaniques :	10
2.4 La désignation de quelques alliages d'aluminium :	13
2.5 Différent type d'aluminium d'après leurs domaines d'application :	14
3. Module de Young pour l'aluminium.....	16
3.2 Module de Young d'aluminium :	16
4 Coefficient de Poisson pour l'aluminium.....	17
4.1 Définition :	18
4.2 Coefficient de Poisson de l'aluminium et ces alliages :	19
5-Tournage notions générales.....	20
5.1. Introduction :	20
5.2. Tournage :	20
5.3 Les tours :	21
5.4 Surfaces de la pièce :	22
5.5 Quelques opérations de tournage.....	24
5.6 Support et entraînement des pièces sur un tour :	24

5.6.1 Montage en l'air :	24
5.6.2 Montage mixte :	24
5.6.3 Montage entre-pointes :	24
5.7 Conditions de coupe :	25
5.7.1 Vitesse de coupe :	26
5.7.2 Vitesse d'avance V_f et avance par tour f :	27
5.7.3 Profondeur de passe « a » :	27
6. Le tournage de L'aluminium.....	28
6.1 Définition :	28
6.2 Comment choisir son outil coupant :	28
6.3 Perçage de l'aluminium recommandations :	29
6.4 Fraisage de l'aluminium propriétés :	30
6.5 Les applications de l'aluminium usiné :	31

CHAPITRE II : THEORIE STATISTIQUE

1. Définition de la statistique.....	34
2. Quelques définitions de base	34
3. But de la Statistique.....	34
4 . Notions de statistiques descriptives.....	35
4.1 Définition de la statistique descriptive :	35
4.2 Population statistique :	35
4.3 L'effectif total :	36
4.4 Variable statistique :	36
5 Les Paramètres de positions centrales.....	36
5.1 Définition des paramètres de positions :	36
5.2 Éléments de paramètres de positions :	36
5.2.1 Le Mode M_o :	37
5.2.2 La médiane M_e :	37
5.2.3 La moyenne :	37
6 Les paramètres de dispersions.....	38
6.1 Définition des paramètres de dispersion :	38
6.2 Types de paramètres de dispersion :	38
6.2.1 La Variance :	38

6.2.2 L'écart-type :	39
6.2.3 L'étendue :	39
7 L'expression de la moyenne.....	39
8 L'expression de la variance	40
9 . Notions de statistique inférentielle.....	40
9.1. Définition de la statistique inférentielle :	40
9.2 But de la statistique inférentielle :	41
10 Les tests statistiques.....	41
10.1 Introduction :	41
10.2 Teste de normalité :	41
10. 3Tests d'hypothèses.....	42
10.4 Teste de fisher–Snedecor (F)	42
10.5 . Test de khi-deux	43
11. Les lois de distribution statistiques.....	43
11.1 Loi normale ou loi de Gauss :	43
11.2 Loi du khi-deux :	45
11.2.1 Définition :	45
11.2.2 Proposition :	45
11.2.3 Fonction inverse :	45
11.3 Loi de Fisher-Snedecor :	46
11.3.1 Définition :	46
11.3.2 Proposition :	47
12 Corrélations.....	47
12.1 Types de corrélation :	48
12.1.1 Corrélation linéaire :	48
12.1.2 Corrélation non linéaire :	48
12.1.3 Corrélation parabolique :	49
12.2 Coefficient de corrélation :	49
12.3 Les tests de corrélation :	51
12.3.1 Principe des tests de corrélation	51
12.3.2 Les types de teste de corrélations	52
13 La régression.....	53
13.1 Définition :	53

13.2	Types de régression	53
13.2.1	Régression linéaire	53
13.2.2	Régression Polynomiale	55
13.2.3	La régression logistique	55
13.2.4	La régression de Crête	56
13.2.5	La régression de Lasso	56

CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE ET (TECHNOLOGIQUE ET STATISTIQUE)

III.	1.Objectifs étudiés	58
III.2.	Matériau et dispositif d'usinage	58
III.2.1.	Le Matériau utilisé	58
III.2.2.	La Machine (Tour)	58
III.2.3.	Outil d'usinage.....	59
III.	3.Procédure expérimentale	60
III.3.1	Mesure des intervalles des tailles des copeaux.....	61
III.3.2.	Résultats et interprétations technique	62
III.3.2.1.	L'influence de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en Chariotage.....	62
III.3.2.2.	L'influence de la vitesse de rotation de l'outil de coupe sur l'épaisseur du Copeau en dressage.....	63
III.3.2.3.	L'influence de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du Copeau en chariotage.....	64
14	Conclusion générale.....	57
	Perspectives.....	65
	Annexes.....	66
	Bibliographes.....	69

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1: Quatre modes de rupture fragile.	04
Figure I.2 Comportement des matériaux fragiles a la rupture.....	05
Figure I.3 Exemple de désignation d'un alliage de l'aluminium	14
Figure I.4 Répartition de la consommation d'aluminium sur les différents secteurs ...	15
Figure I.5 Essai sur une éprouvette	16
Figure I.6 Mouvements de coupe et d'avance en tournage	21
Figure I.7 Composantes d'un tour	22
Figure I.8 Surfaces de la pièce	23
Figure I.9 La forme de la partie active de l'outil dépend de l'opération à réaliser	23
Figure I.10 Montage en l'air	25
Figure I.11 Montage mixte	25
Figure I.12 Montage entre-pointe	25
Figure I.13 Les choix des paramètres de coupe.....	26
Figure I.14 Vitesse de coupe V_c	26
Figure I.15 Vitesse d'avance	27
Figure I.16 : Les profondeurs de passe.....	28
Figure I.17 outil de perçage.	29
Figure I.18 outils de fraisage.	30
Figure I.19 travail d'un outil.	31
Figure I.20 autre travaille d outil de fraisage	31

CHAPITRE II

Figure II.1: population statistique.	36
Figure II.22: La loi normale courbe en cloche.	44
Figure II.23: La loi normale courbe en cloche.	46
Figure II.24: Fonctions inverses des lois.	48
Figure II.25 : relation non-linéaire et monotone	49
Figure II .26 : relation non-linéaire et non-monotone.....	49

CHAPITRE III

Figure III.1 : cylindre plain de diamètre 30mm et longueur 120 mm	58
Figure III.2 : Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie université de Bejaia.	59
Figure III.3: Outil de coupe à plaquette en carbure métallique amovible.....	60
Figure III.4 influences de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en Chariotage.....	63
Figure III.5 influences de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en Dressage.....	63
Figure III.6 influences de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en Chariotage	64
Figure III.7 influences de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en Chariotage	65

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.1: Caractéristiques d'une rupture d'un matériau fragile	07
Tableau I.2: Quelques caractéristiques de l'aluminium.	08
Tableau I.3: Caractéristiques des alliages d'aluminium	09
Tableau I.4: Caractéristiques mécaniques de l'aluminium	10
Tableau I.6: Coefficient de Poisson de l'aluminium pur	19
Tableau I.7: Les diamètres des forêts selon les données du taraud.....	30

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Caractéristiques de la machine-outil SN 40C.....	59
Tableau III.2 : Caractéristiques géométriques de la plaquette.....	60
Tableau III.3 : intervalle de taille de coupe en chariotage en fonction des vitesses d'avance et de rotation avec une profondeur de passe 0.3 mm.....	61
Tableau III.4 : intervalle de taille de coupe en dressage en fonction des vitesses d'avance et de rotation avec une profondeur de passe 0.3 mm.....	62

Nomenclature et symboles

Symboles	Unités	Désignations
V_C	(m/min)	Vitesse de coupe
M_e		Mouvement de coupe
M_f		Mouvement d'avance
D	(mm)	Diamètre de la
pièce α	Rad	Angle de
dépouille β	Rad	Angle de
taillant γ	Rad	Angle de
coupe		
r		Rayon entre les deux faces de dépouille
r		Rayon sur les deux arêtes et le bec d'outil
V_a	(mm/min)	Vitesse de d'avance
f_a	(mm/tr)	L'avance par tour
P	(mm)	Profondeur de passe
N	(tr/min)	Vitesse de rotation
R_a	(μ m)	La rugosité
X		La moyenne
M_o		Mode
M_e		La médiane
(x)		Variance σ
Ecart-type		
N		Taille de l'échantillon

r_{xy}	Coefficient de corrélation
δxy	Covariance
χ^2	Loi de khi-deux
ρ_{xy}	Coefficient de corrélation pour une population
m	Moyenne estimée dans la population
S	Ecart-type estimée dans la population
A	Niveau de signification
v.a	Variable aléatoire F
Test de Fisher	
$v_1 v_2$	Degré de liberté

Résumé

Dans l'industrie mécanique le choix des paramètres de coupes optimaux est très important afin d'assurer un meilleur état de surface des pièces usinées. Une durée de vie plus importantes des outils de coupe et une productivité plus élevée. Le résultat d'un bon choix des conditions de coupe peut être constaté par une diminution au niveau des efforts de coupe et de vibration de l'outil. L'objectif de cette étude est d'une part d'étudier les effets des paramètres de coupes (vitesse de coupe, profondeur de passe, avance par tour) sur l'état de surface des pièces usinées, la productivité, les efforts de la coupe, la dynamique de coupe, et d'autre part de choisir les paramètres de coupe optimaux en tournage d'une pièce en alliage d'aluminium.

Nous avons réalisé des essais de chariotages sur des courses fixées et constantes, les paramètres variables utilisés sont l'avance (f) de l'outil de coupe, avec une profondeur de passe (a) fixée, et une vitesse de rotation de la pièce (N) variable

Les résultats montrent qu'on peut choisir les conditions de coupe optimale dans différentes conditions d'usinages et avec un minimum d'essais et son efficacité a été testé dans quatre configurations représentatives

Introduction générale

Depuis des millénaires, le monde que nous connaissons arrête pas d'évoluer, toutes activités exercées par l'être humain se trouve dans l'obligation de suivre cette échelle d'évolution, que ce soit agriculture ou fabrication ou transport, l'homme a sue se surpasser et faire des découvertes de génie qui lui ont permits de mettre ces éléments à sa disposition. Comme toutes autres branches la fabrication mécanique et ses procédés d'enlèvement de matière ont pris le pas avec les autres domaines de fabrications.

Le but de ces procédés est d'optimiser la qualité et la quantité des pièces élaborées dans un minimum de temps et avec un cout d'argent beaucoup moins important et en réduisant les défauts qui peuvent surgir l'ors de la fabrication des pièces voulus.

Les machines-outils sont des composants essentiels pour faire ces multiples opérations d'usinage, elles sont constituées de déférentes parties ou pièces qui sont en mouvement relatif entre elles. Ces opérations appelées procédés d'usinage et enlèvement de matière à des pièces brutes pour produire les pièces désirées. Il existe une variété de procédés d'usinage par enlèvement de matière permettant de réaliser les pièces souhaitées, on compte : le fraisage, le dressage, le perçage, l'estompage et le pliage... etc.

Le tournage mécanique consiste à réaliser une pièce dont la forme est issue d'une révolution d'un profil autour d'un axe, créant un volume cylindrique, il est le plus fréquent dans l'industrie mécanique

Ainsi, le choix des paramètres de coupe optimaux est très important afin d'assurer un meilleur état de surface des pièces usinées, une durée de vie plus importante des outils de coupe et une productivité plus élevée. Le résultat d'un bon choix de conditions de coupe peut être constater par une diminution des niveaux d'efforts de coupe et de vibrations de l'outil. L'objectif de cette étude est, d'une part d'étudier les effets des paramètres de coupe (vitesse de coupe, profondeur de passe, avance par tour, sortie d'outil) sur l'état de surface des pièces usinées, la productivité, les efforts de coupe, la dynamique de la coupe, et essentiellement sur le module de poisson, et d'autre part de choisir les paramètres de coupe optimaux en tournage d'un matériau fragile comme l'aluminium et ses alliages.

Pour mieux déterminer ces paramètres on doit intégrer les notions statistiques, ses différentes méthodes statistiques nous permettent de déterminer la qualité d'une opération d'usinage et d'avoir un meilleur état de surface

Pour atteindre ces objectifs, nous avons jugé utile d'organiser notre travail et les résultats obtenus dans ce mémoire en deux chapitres en plus d'une introduction générale, une conclusion et des références bibliographiques.

Dans le chapitre I : Une recherche bibliographique sur les matériaux ductiles et en particulier l'aluminium et quelques alliages de ce dernier, leurs propriétés et domaines d'utilisations, en intégrant les notions du module de Young et de coefficient de Poisson et l'influence des paramètres de coupe sur eux.

Le chapitre II : l'étude des lois de distribution des différentes expériences (optimisation des paramètres statistique) qui nous mènent à réaliser des calculs concernant notre travail.

Le chapitre III : étude expérimentale sur l'influence des paramètres de coupe y compris la vitesse de rotation, la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe sur l'épaisseur des copeaux obtenus lors de l'usinage de l'aluminium.

CHAPITRE I

Théorie des matériaux ductiles

1. Notions sur les matériaux fragiles :

1.1 Définition des matériaux fragiles :

Un matériau est dit fragile lorsqu'il se rompt sans avertissement et de façon très brutale. Sa courbe de contrainte de déformation demeure linéaire jusqu'à la rupture où toute l'énergie élastique emmagasinée est libérée d'un seul coup.

Fragilité au sens macroscopique : est l'incapacité d'un matériau à supporter des déformations plastiques (comportement mécanique tel qu'après relâchement des efforts, il subsiste une déformation résiduelle indépendante du temps) un peu importantes sans se rompre ; au sens microscopique, la fragilité caractérise un matériau qui s'endommage par clivage [1].

Il existe quatre modes de rupture fragile tels que le cisaillement en extension, la fracture normale et la séparation en extension, le cisaillement en compression et la fracture axiale, elles sont illustrées dans la figure qui suit :

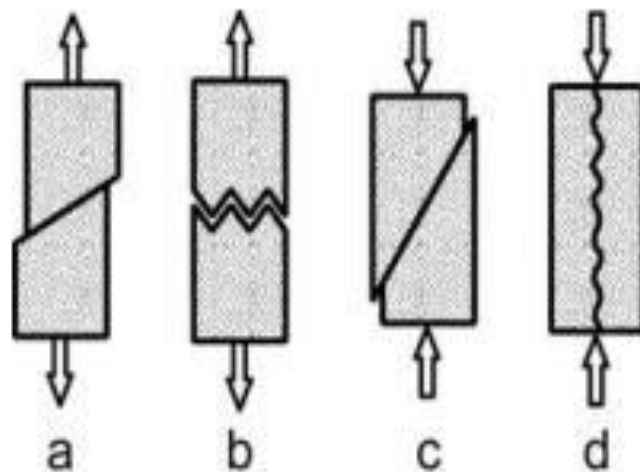
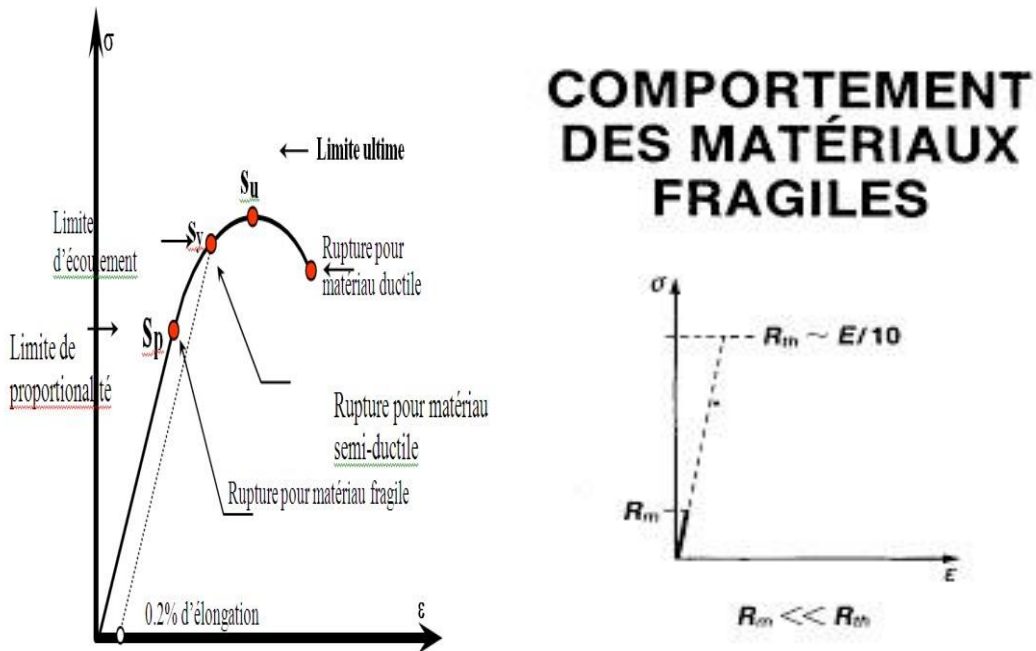


Figure I.1: Quatre modes de rupture fragile (a) cisaillement en extension, (b) fracture normale et séparation en extension, (c) cisaillement en compression, (d) fracture axiale [1].

-Les deux courbes qui suivent montre le comportement des matériaux fragile à la rupture :



1.2 Caractéristiques des matériaux fragiles :

1.2.1 La capacité élastique (le point clef) :

Une substance fragile casse quand une contrainte dépasse sa capacité élastique. Une ou plusieurs fissures se propagent dans la structure du matériau suivant les zones les moins résistantes : microfissure, espace hétérogène, etc. Les cassures sont franches, comme dans le verre. Dans les substances dites « tenaces » (à l'opposé des fragiles), les liaisons atomiques empêchent la progression des fissures en s'opposant aux contraintes. Les basses températures durcissent ces liaisons, qui présentent donc moins d'élasticité. C'est ce qui explique que l'acier rompe par grand froid

1.2.2 La vitesse de propagation des fissures :

La vitesse de propagation des fissures au cœur d'un matériau fragile serait 4 fois moins rapide qu'attendu.

Les matériaux fragiles, comme le verre, se cassent par propagation de fissures. La prévision du comportement du matériau nécessite la connaissance de vitesse d'avancée de la fissure et la bonne compréhension des facteurs dont elle dépend. Jusqu'à présent, il était admis que la vitesse de propagation était égale à la vitesse des ondes acoustiques à la surface du matériau, dite « vitesse de Rayleigh » [2].

1.2.3 Facteur influençant sur la fragilité d'un matériau :

La fragilité dépend non seulement des forces de liaison des atomes, mais aussi de la contribution d'éventuels phénomènes de dissipation d'énergie : plasticité, microfissuration, changement de phase, recristallisation dynamique... qui ont pour effet d'accroître sensiblement, dans les substances tenaces, le volume du domaine où, à la pointe de la fissure, les liaisons atomiques s'opposent à sa progression en supportant la contrainte de traction la plus élevée.

Interviennent donc en particulier la température et la vitesse de déformation. En particulier : De nombreux matériaux sont fragiles en dessous d'une température dite température de transition fragile-ductile ; certains matériaux sont peu ductiles aux faibles vitesses de déformation, et très ductiles aux fortes vitesses (recristallisation dynamique) ; certains matériaux sont fragiles aux vitesses de déformation élevées, mais « pâteux » aux très faibles vitesses ; c'est le cas par exemple des roches qui sont habituellement fragiles, mais qui présentent un phénomène de convection dans le manteau terrestre.

La fragilité peut aussi provenir de réaction avec l'environnement. En particulier, l'eau, dans le cas d'immersion ou bien l'humidité de l'air, peut réagir avec le métal et produire de l'hydrogène qui vient fragiliser le métal [2].

-D'une manière générale les Caractéristiques de la rupture des matériaux fragiles sont présentés dans ce tableau :

Caractéristiques d'une rupture fragile
Comprend peu ou pas de déformation du matériau.
La propagation de fissure est rapide (Environ 2000 m/s). (La rupture fragile n'est possible que lorsque les fissures se propagent à des vitesses élevées)
La fissure se propage au long du joint du grain (propagation inter granulaire) et Confère à la surface de rupture un aspect Cristallin brillant ou granulaire

Tableau I.1 caractéristiques d'une rupture d'un matériau fragile [3].

1.3 Avantages des matériaux fragiles :

L'un des avantages de la rupture fragile est qu'elle peut être regroupée pour recycler le matériau sous la même forme car aucune coloration ne se produira, comme dans les matériaux ductiles. La courbe de déformation de ce matériau sera généralement linéaire [4].

2 Généralités sur l'aluminium :

2.1 L'Aluminium :

L'aluminium est l'élément chimique de numéro atomique 13, de symbole Al.

L'aluminium est un métal malléable, argenté, peu altérable à l'air et peu dense. C'est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre et le troisième élément le plus abondant après l'oxygène et le silicium ; il représente en moyenne 8 % de la masse des matériaux de la surface solide de la planète. Il est, en règle générale, trop réactif pour exister à l'état natif dans le milieu naturel. Son minerai principal est la bauxite : il y est présent sous forme d'oxyde hydraté dont on extrait l'alumine. Il peut aussi être extrait de la néphéline, de la leucite, de la sillimanite, de l'andalousite et de la muscovite [5]. au groupe 13 du tableau périodique ainsi qu'à la famille des métaux pauvres.

Ce tableau définit quelques caractéristiques mécaniques de l'aluminium :

Module d'élasticité	67 000 MPa
Module de torsion	27 000 MPa
Coefficient de Poisson	0,34
Charge de rupture	80 MPa
Allongement	42

Tableau I.2: Quelques caractéristiques mécaniques de l'aluminium [5].

2.2 L'aluminium et ses principaux alliages :

Les propriétés mécaniques de l'aluminium peuvent être modifiées avec l'addition d'autres métaux, notamment le cuivre, le magnésium, le manganèse, le silicium, le lithium et le zinc, formant ainsi des alliages. Certains éléments sont présents dans l'alliage sans qu'ils y aient été ajoutés volontairement : ce sont les impuretés dont les plus importantes sont le fer et le silicium. Seulement neuf éléments sont capables de s'allier à l'aluminium parce qu'ils ont une solubilité dans l'aluminium à l'état solide supérieure à 0,5 %. Ce sont : l'argent, le cuivre, le gallium, le germanium, le lithium, le manganèse, le magnésium, le silicium et le zinc.

La métallurgie de l'aluminium est fondée, depuis son début, sur uniquement cinq éléments d'alliage qui sont :

- Le manganèse
- Le magnésium
- Le silicium
- Le zinc.
- Le cuivre

Ces cinq éléments sont à la base des huit familles d'alliages d'aluminium. L'action d'un élément sur les propriétés de l'aluminium dépend bien évidemment de sa nature et de la quantité ajoutée. Mais, pour certains d'entre eux, leur influence sur les propriétés de l'alliage peut aussi dépendre de la présence d'un, ou plusieurs autres éléments [5]

Éléments Constitutifs	Caractéristiques des alliages d'aluminium
AL pur	Immunité à la corrosion ; facile à souder ; facile à travailler (Mis on forme) ; faible solidité
Al-Cu-Mg	La solidité de l'alliage traité thermiquement est égale ou supérieure à celle de l'acier ; généralement pas très résistant a la corrosion
Al-Mn	Tout en gardant les mêmes caractéristiques que l'aluminium pur, La solidité est l'égerment plus élève
AL-Si	Point de fusion peu élevé ; principalement pour les métaux D'apport en soudage
Al-Mg	Immunité à la corrosion ; facile à souder ; facile à travailler

Tableau I.3: caractéristiques des alliages d'aluminium [5]

2.3 Propriétés de l'aluminium :

2.3.1 Propriétés mécaniques :

L'aluminium est un métal ductile et très malléable, le modèle à électrons libres de la liaison dans les métaux peut expliquer la malléabilité et la ductilité du métal, en effet il est malléable car ses liens métalliques sont non-directionnels, et ductile car les ions métalliques sont entourés par un nuage d'électrons ainsi une force d'attraction agit dans toutes les directions, quand un stress est appliqué au métal, les électrons de valence délocalisés, se déplaçant librement continuent d'exercer une attraction uniforme sur les ions positifs. Si les caractéristiques de l'aluminium pur sont faibles, comme pratiquement celles de tous les métaux purs, la gamme d'alliage très étendue permet de trouver celui qui correspond aux contraintes d'utilisation envisagées.

Ci-dessous, un tableau montrant les principales caractéristiques mécaniques de l'aluminium :

Allongement A la rupture	Module D'élasticité (Young)	Coefficient de poisson	Capacité calorique volumique	Limite élastique à la Traction Re	Module de torsion	Limite de résistance à la rupture
%	(Gpa)	(Sans Dim)	(MJ/m ³ K)	(MPa)	(GPa)	(MPa)
20 à 30	67.5	0.43	2.39	30	27	60 à 125

Tableau I.4 : caractéristiques mécaniques de l'aluminium [5]

Contraintes mécaniques élevées :

Lorsque les constructions sont soumises à des contraintes importantes, l'emploi des alliages communs conduirait à des épaisseurs ou à des sections incompatibles avec le but recherché. Il est nécessaire alors d'utiliser des alliages à très hautes caractéristiques mécaniques ; Les alliages les plus résistants peuvent avoir une charge de rupture supérieure à 700 MPa, donc largement équivalente à celles des aciers trempés.

A poids égal, la résistance mécanique d'un produit en alliage d'aluminium est 2,3 fois plus forte que celle du bronze et 1,5 fois plus forte que celle d'un acier trempé. Les propriétés mécaniques des alliages d'aluminium diminuent lorsque la température augmente. Ainsi à basse température, grâce à leur structure cristalline CFC, les alliages d'aluminium ont une bonne ductilité [5].

Légèreté : L'aluminium est un métal très léger dont la densité spécifique est de 2,7 g/cm³, soit environ un tiers de celle de l'acier (7-8 g/cm³) ou du cuivre (8,96 g/cm³).

Résistance mécanique : L'aluminium est utilisé très majoritairement sous forme d'alliages dont le constituant principal est l'aluminium, les éléments d'addition pouvant représenter jusqu'à 15% de son poids. La résistance de l'alliage d'aluminium est adaptée à l'application requise.

A titre d'exemple, on considère qu'un kilogramme d'aluminium peut remplacer deux kilogrammes d'acier dans des applications automobiles.

Ductilité, malléabilité : L'aluminium peut être facilement travaillé à basse température et déformé sans se rompre, ce qui permet de lui donner des formes très variées.

Recyclabilité : L'aluminium est recyclable à 100% sans dégradation de ses propriétés. Son recyclage ne nécessite que peu d'énergie : 5% seulement de l'énergie utilisée pour la production de métal primaire.

Imperméabilité, effet barrière : Même à très faible épaisseur, une feuille d'aluminium est totalement imperméable et ne laisse passer ni lumière, ni micro-organismes, ni odeurs. De plus le métal lui-même ne libère ni odeur ni goût, ce qui en fait un élément de choix pour l'emballage alimentaire ou pharmaceutique.

Propriétés réfléchissantes : L'aluminium possède un pouvoir réfléchissant élevé de la lumière ainsi que de la chaleur ce qui, ajouté à son faible poids, en fait un matériau idéal pour les réflecteurs dans les matériels d'éclairage ou les couvertures de survie [5].

2.4 La désignation de quelques alliages d'aluminium :

La figure 4 explique comment lire les désignations d'un alliage de l'aluminium

Désignation (norme internationale NF EN 1780) [002] :

EN AB-45400 [AL Si5Cu3] : Préfixe EN ; espace ; lettre A (pour aluminium) ; lettre B (pour lingots de refusions) ou C (pièces moulées) ou M (alliages mères) ; un tiret ; cinq chiffres représentant la composition de l'alliage et/ou les symboles chimiques donnant la composition de l'alliage ordonnés par teneur décroissante et limités à 4 éléments.

Exemples : EN AB-Al 99,8 : lingot pour refusions en aluminium pur à 99,8%

EN AB-Al 99,7 E : : lingot pour refusions en aluminium pur à 99,7% pour usage électrique (E).

EN AB-45400 [Al Si5Cu3] ou EN AB-Al Si5Cu3 : lingot pour refusions en alliage d'aluminium avec 5% de silicium et 3% de cuivre (ancien A-S 5U3).

EN AC-Al Si12CuMgNi : alliage d'aluminium pour pièces moulées avec 12% de silicium, du cuivre, du magnésium et du nickel.

EN AM-Al Sr10Ti1B02 : alliage mère d'aluminium avec 10% de strontium, 1% de titane et 0,2% de bore.

EN AB-Al Si9Cu3(Fe) (Zn) : lingot pour refusions en alliage d'aluminium avec 9% de silicium, 3% de cuivre et des impuretés (fer et zinc) [7].

d) **Dans le domaine du maritime** Des alliages d'aluminium ont été développés, et aujourd'hui, 50% des moteurs hors-bords sont faits d'alliage d'aluminium. Une coque en aluminium peut tenir plus de 30 ans sans donner de signe de fatigue. Le peu d'entretien que demande ce matériau est une raison de son utilisation dans ce domaine.

e) **Dans le domaine de l'Alimentation** Boîtes de conserves, papier aluminium, canettes, barquettes, ustensiles de cuisine. Cependant, en cas d'ingestion importante l'aluminium peut parfois avoir des effets néfastes pour le système nerveux.

f) **Dans le domaine de la construction** Facilement malléable et résistant en alliages, l'aluminium permet de réaliser des formes complexes dans une gamme étendue de coloris. Il est donc très apprécié en architecture moderne et ne nécessite que très peu d'entretien. Le poids et la polyvalence de l'aluminium font de lui un matériau idéal pour les bâtiments et les revêtements. Sa résistance à la corrosion l'exempte pratiquement d'entretien.

g) **Dans le domaine de l'électricité** (Lignes aériennes, câbles électriques de distribution et de transport d'énergie électrique, Câbles d'énergie pour usage industriel). L'aluminium est en particulier adapté à cette utilisation grâce à sa conductivité électrique élevée, son absence de magnétisme et son inertie chimique. L'aluminium a remplacé le cuivre dans les lignes à haute tension et est aujourd'hui la manière la plus économique de transmettre l'énergie électrique. [8]

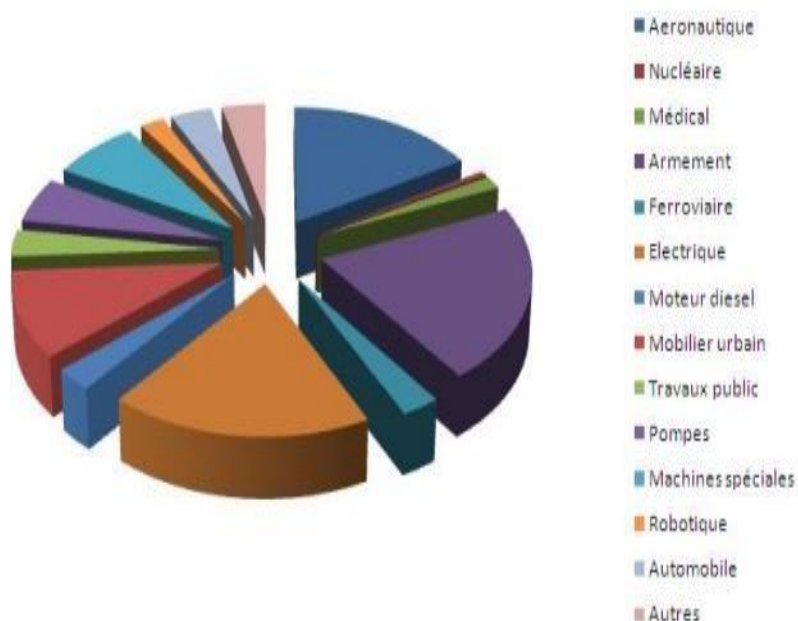


Figure I.4 Répartition de la consommation d'aluminium sur les différents secteurs [8].

3. Module de Young pour l'aluminium :

3.1 Définition :

Le module d'Young est une caractéristique principale des matériaux de structure fonctionnant dans le domaine élastique (ski, éléments de structure de bâtiment, bras de suspension, pôle d'hélicoptère, aile d'avion... tous pouvant être assimilés à des poutres aux extrémités libres ou encastrées). Le dimensionnement des structures repose sur la vérification des conditions de :

Rigidité : le changement de forme de la structure ne peut pas dépasser une certaine valeur seuil, fixée dans les cahiers de charges,

Solidité : la contrainte imposée doit être inférieure à la limite d'élasticité du matériau. Le but de cet exercice est de montrer que la valeur numérique du module d'Young peut être déduite du potentiel d'interaction entre les atomes.

Par la suite, nous tenterons de minimiser la masse d'une structure à rigidité imposée et d'optimiser le module d'Young des composites [9].

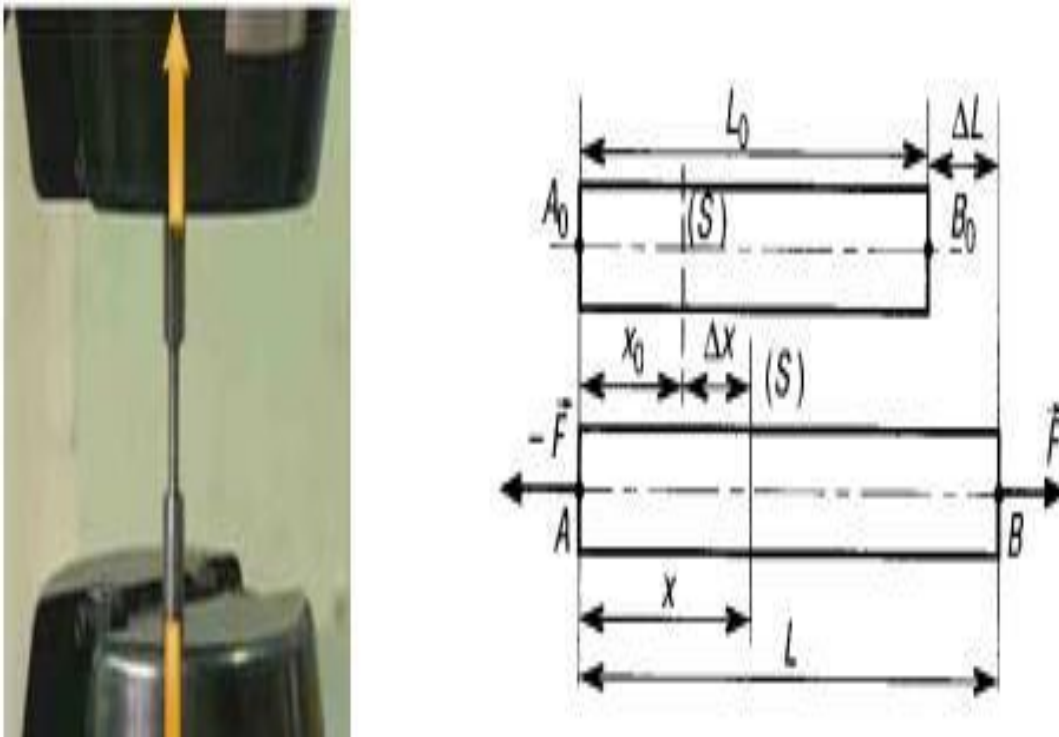


Figure I.5 Essai sur une éprouvette [9].

Le module de Young ou module d'élasticité (longitudinale) constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation pour un matériau élastique isotrope. Dans la zone linéaire (élastique) [9] :

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}$$

3.2 Module de Young d'aluminium :

Un matériau dont le module de Young est très élevé est dit rigide. L'acier, l'iridium et le diamant, sont des matériaux très rigides, l'aluminium et le plomb sont moins. Les matières plastiques et organiques, les mousses sont au contraire souples, élastiques ou flexibles (pour un effort de flexion).

La rigidité est distincte de :

La résistance : la résistance mécanique d'un matériau est caractérisée par sa limite d'élasticité et/ou sa résistance à la traction ;

La raideur : la raideur d'une poutre (par exemple) dépend de son module de Young (de sa rigidité) mais aussi du rapport de sa section à sa longueur. La rigidité caractérise les

Matériaux, la raideur concerne les structures et les composants : une pièce mécanique massive en matière plastique peut être beaucoup plus raide qu'un ressort en acier ;

La dureté : la dureté d'un matériau définit la résistance relative qu'oppose sa surface à la pénétration d'un corps plus dur [9].

- Valeur du module de Young pour l'aluminium pure : $E = 69 \text{ GPa}$
- Valeur du module de Young pour quelques alliages d'aluminium :

Alliages d'aluminium	Module (GPa)
Alumine (oxyde d'aluminium Al_2O_3)	58
Arsenic (As)	32
Titanate d'aluminium (Ti_3Al)	48

Tableau. I.5 : Valeur du module de Young pour quelques alliages d'aluminium [9]

4 Coefficient de Poisson pour l'aluminium :

4.1 Définition :

Le coefficient de Poisson (aussi appelé coefficient principal de Poisson) permet de caractériser la contraction de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué.

$$\nu = \frac{\text{rètrécissement transversal relatif}}{\text{allongement longitudinal relatif}} = \frac{(l_0 - l)/l_0}{(L - L_0)/L_0} = \frac{1 - \frac{l}{l_0}}{\frac{L}{L_0} - 1}$$

Dans le cas le plus général le coefficient de Poisson dépend de la direction de l'allongement, mais dans le cas important des matériaux isotropes il en est indépendant ;

Dans le cas d'un matériau isotrope transverse (**en**) on définit trois coefficients de Poisson (dont deux liés par une relation) ;

Dans le cas d'un matériau orthotrope on définit deux coefficients de Poisson (liés par une relation) pour chacune des trois directions principales.

Le coefficient de Poisson fait partie des constantes élastiques. Il est nécessairement compris entre -1 et $0,5$, mais généralement positif. Certains matériaux artificiels et quelques matériaux naturels (certaines roches sédimentaires riches en quartz) ont un coefficient de Poisson négatif ; ces matériaux particuliers sont dits auxétiques. Les valeurs expérimentales obtenues pour un matériau quelconque sont souvent voisines de $0,3$ [10].

4.2 Coefficient de Poisson de l'aluminium et ses alliages :

- Pour l'aluminium pur [10] :

Matériau	ν
Aluminium	0.346

Tableau I.6: Coefficient de Poisson de l'aluminium pur [10]

- Pour les alliages d'aluminium :

Alliages d'aluminium	ν
Oxyde d'Aluminium (Al ₂ O ₃)	0.27
Béryllium (Be)	0.34
Cuivre (Cu)	0,33

5-Tournage, notions générales :

5.1. Introduction :

L'usinage est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de la matière à froid et sans déformation en utilisant un outil de coupe. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

Le tournage est l'un des procédés d'usinage. Il occupe très importante place dans la fabrication mécanique à cause de sa simplicité et la possibilité de produire par lequel un grand nombre de forme géométrique

De nos jours, des machines-outils à commande numérique (MOCN), c'est-à-dire asservies par un système informatique (FAO), permettent d'automatiser partiellement ou totalement la procédure [11].

Dans ce chapitre nous présentons généralité sur le tournage, qui contient des définitions, les conditions de coupe le principe de cette méthode et ces applications est en présentons les généralités sur l'alliage d'aluminium.

5.2. Tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce. La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes) [11].

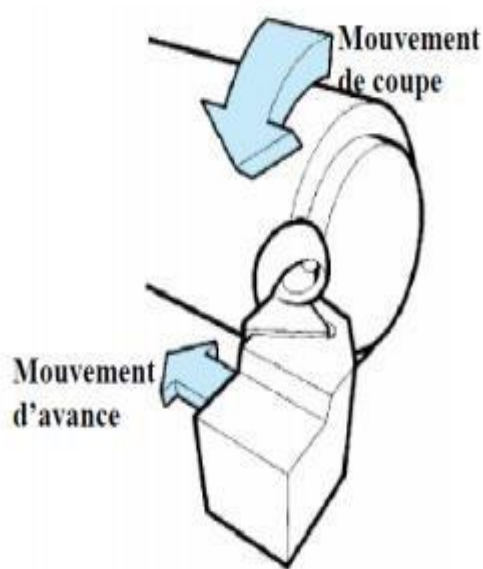


Figure I.6 Mouvements de coupe et d'avance en tournage [11].

5.3 Les tours :

Les tours (voir Figure I.8) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution).

L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres.

La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche [11].

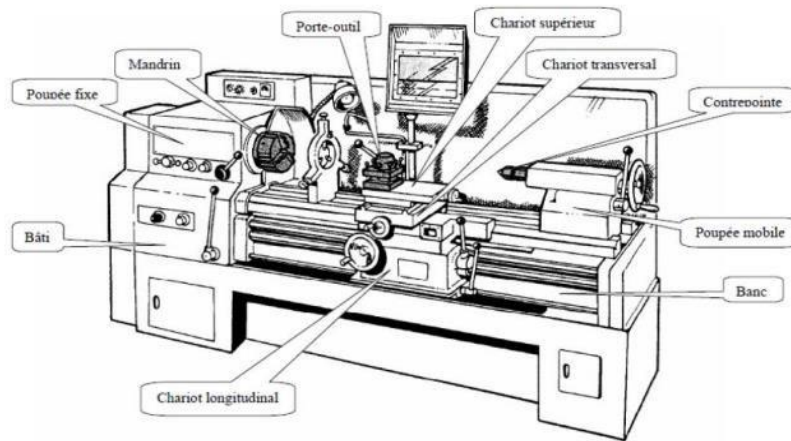


Figure I.7 Composantes d'un tour [11].

5.4 Surfaces de la pièce :

Les principaux éléments d'une pièce à usiner, la surface de la pièce sujette à l'usinage est appelée surface de la pièce. Elle peut être brute (résultant de différents procédés comme moulage, forgeage, laminage, etc..) ou obtenue par usinage au cours d'opérations précédentes [11].

La surface engendrée (ou surface usinée) est une surface désirée, générée par le processus d'enlèvement de matière (un outil de coupe au cours d'usinage).

Les deux surfaces sont reliées par une surface engendrée intermédiaire (générée pendant l'usinage par une arête coupante) appelée surface coupée (**figure I.8**).

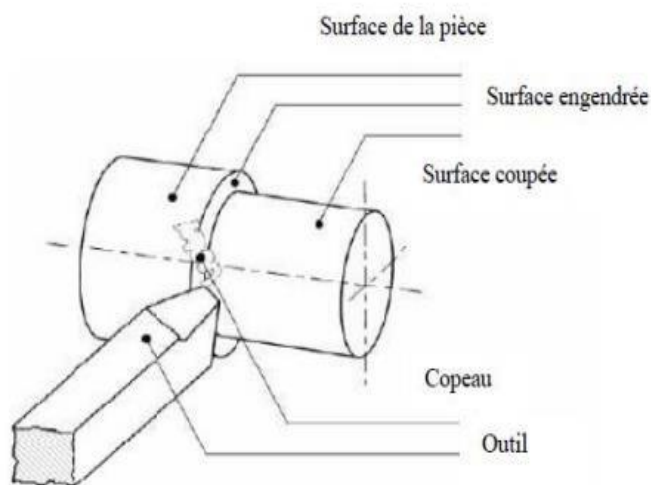
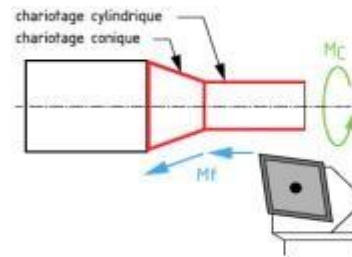


Figure I.8 Surfaces de la pièce [11].

5.5 Quelques opérations de tournage :

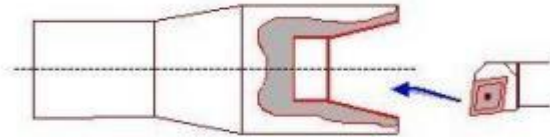
Chariotage :

Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.



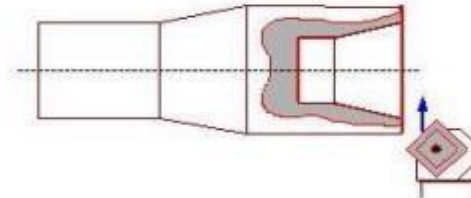
Alésage :

Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure.



Dressage :

Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche,



Perçage :

Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'un foret.

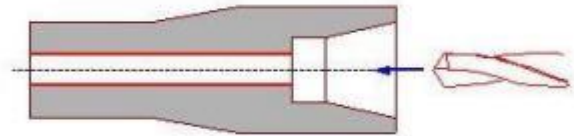


Figure I.9 La forme de la partie active de l'outil dépend de l'opération à réaliser [12].

5.6 Support et entraînement des pièces sur un tour :

Il existe trois principaux montages de la pièce à usiner sur le tour :

5.6.1 Montage en l'air :

C'est un montage sur mandrin effectué pour les pièces courtes ($L < 4D$). Une des extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre reste libre [12].

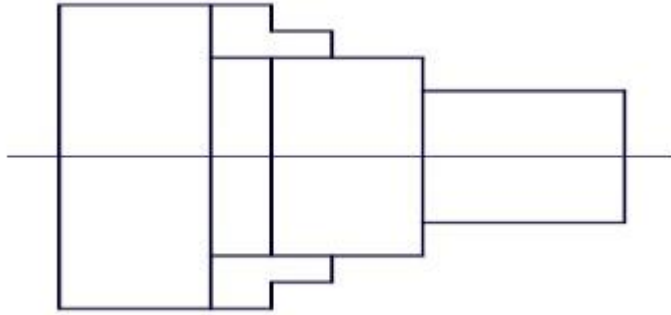


Figure I.10 Montage en l'air [12].

5.6.2 Montage mixte :

Il est utilisé pour des pièces relativement longues ($4D < L < 8D$). Une des deux extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre extrémité est soutenue par de la poupée mobiles [12].

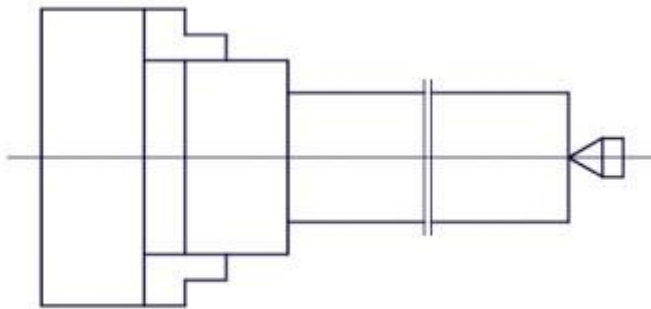


Figure I.11 Montage mixte [12].

5.6.3 Montage entre-pointes :

Pour l'usinage des pièces longues ($L > 8D$), en utilise le montage entre pointes. La pièce est soutenue par ses deux extrémités par deux pointes plus lunette [12]

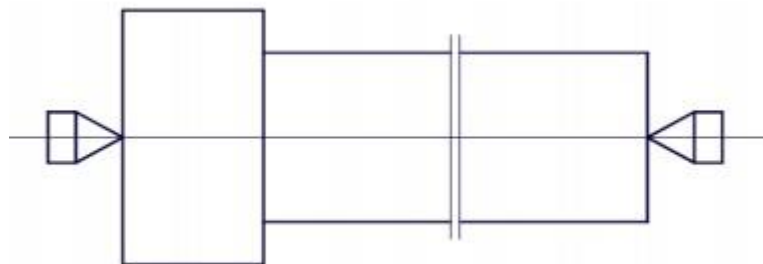


Figure I.12 Montage entre-pointent [12].

5.7 Conditions de coupe :

Avant de réaliser une opération de tournage, il est nécessaire de bien choisir les conditions de coupe pour obtenir un bon résultat (précision, état de surface ...) :

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

- Le type de la machine (mécanisme, gamme des vitesses...)
- La puissance de la machine
- La matière de l'outil (ARS, carbure...)
- La matière usinée (acier, aluminium...)
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement) [13].

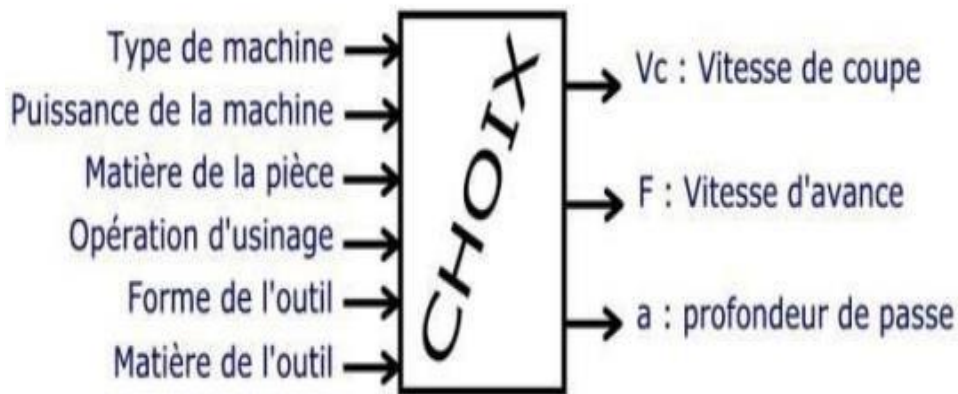


Figure I.13 Les choix des paramètres de coupe [13].

5.7.1 Vitesse de coupe :

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse angulaire ω , cette vitesse étant communiquée par la broche de la machine vers la porte pièce.

La vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil est donnée par la formule suivante :

$$v_c = \frac{D}{2} (m) \times \omega (red/min)$$

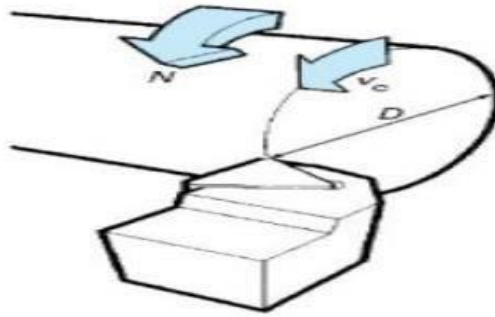


Figure I.14 Vitesse de coupe V_c [12].

La vitesse de la broche est donnée par l'expression suivante

$$N \text{ tr/min} = \frac{1000 \times V_c(\text{m/min})}{\pi D(\text{mm})}$$

5.7.2 Vitesse d'avance V_f et l'avance par tour f :

La vitesse d'avance (mm/min), que la **figure (I.16)** montre, est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. [12]

$$V_f(\text{mm}) = f(\text{mm/tr}) \times N(\text{tr/min})$$

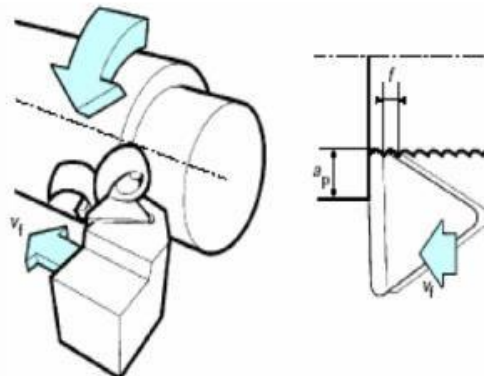


Figure I.15 Vitesse d'avance [12].

5.7.3 Profondeur de passe « a » :

La profondeur de passe notée a en (mm), correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage. La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil [12].

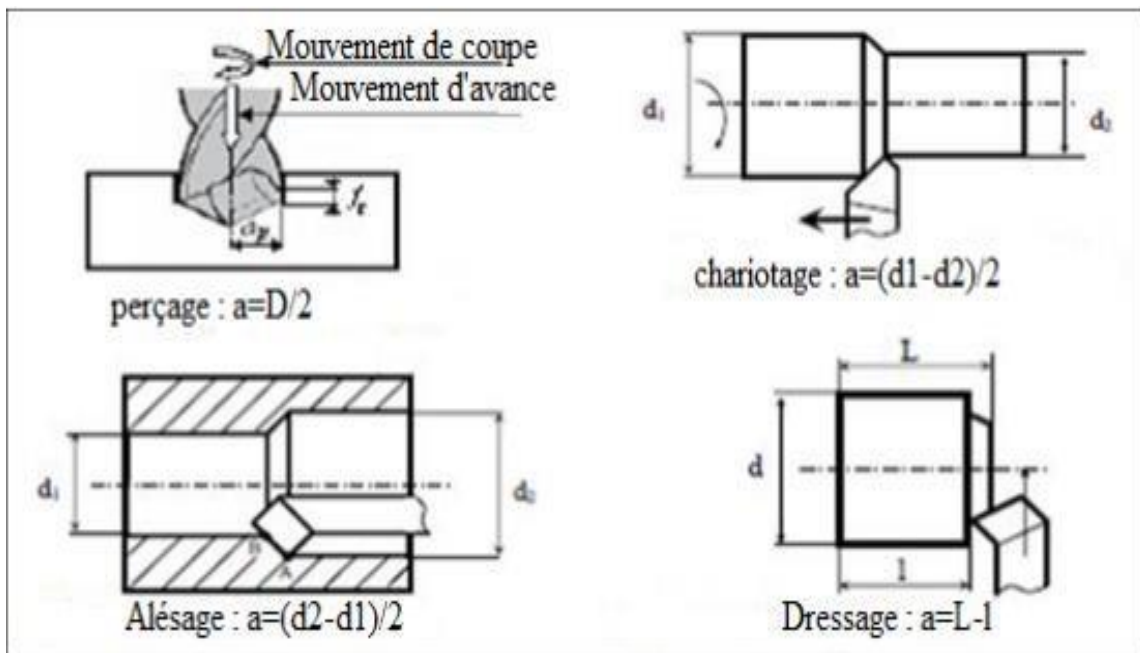


Figure I.16 : Les profondeurs de passe [12].

6. Le tournage de L'aluminium :

6.1 Définition :

L'aluminium est un métal léger et mou. Plus tendre que les autres matériaux, l'usinage se révèle plus facile et plus rapide. Les alliages d'aluminium sont légers et permettent une bonne usinabilité. Les plus courants sont composés notamment de Silicium (Si), de Magnésium (Mg), de Cuivre (Cu), de Manganèse (Mn)...

Bien que l'usinage soit aisé, l'emploi d'outils spécifiques et adaptés à cette matière est requis afin d'obtenir les résultats escomptés.

L'inconvénient principal lors de l'usinage de l'aluminium est la création d'une fausse arête, résultant de l'accumulation de copeaux d'aluminium se collant sur l'outil. Ce problème est accentué par la viscosité de cette matière.

Afin de remédier à ce problème, il faut notamment :

- Accroître la vitesse de coupe (V_c).
- Utiliser des lubrifiants adaptés à ce type d'usinage. L'objectif est de réduire le frottement et d'évacuer aisément les copeaux.

6.2 Comment choisir son outil coupant :

Le choix de la matière de l'outil de coupe dépendra de la matière de la pièce à usiner, en voici deux exemples :

- L'acier rapide HSS. Il est utilisé lorsque l'aluminium est d'une résistance modérée, c'est à dire contenant peu de Silicium ($Si < 0,5$).
- Le carbure HM. Il est recommandé lorsqu'il s'agit de travailler un aluminium d'une plus forte résistance. A noter qu'un outil en carbure avec un revêtement TiN ou TiCN permettra la réduction des frottements.

Comme l'usinage de l'aluminium est très rapide, l'enlèvement de matière est abondant (4 fois plus que l'acier) ce qui engendre une production plus importante de copeaux. La conception de l'outil est donc essentielle, notamment avec l'existence de goujures larges.

6.3 Perçage de l'aluminium recommandations :



Figure I.17 outille de perçage [13]

Assurer de la bonne fixation de la pièce (bridage) pour éviter la casse du taraud et/ou la création d'un filetage de mauvaise qualité.

Le choix du taraud se fera en tenant compte de la matière à travailler (alliage d'aluminium) mais également du type de trou à exécuter : trou borgne ou trou débouchant.

Avant de tarauder, effectuez au préalable un perçage au bon diamètre. A titre indicatif, le calcul est le suivant pour connaître le diamètre d'un foret standard :

Tableau d'exemple sur le diamètre du foret selon les données de taraud					
Diamètre nominale de taraud (mm)	Pas de taraud (Mm)	Du foret (mm)	Nominal du taraud	Pas du taraud (Mm)	Du foret (Mm)
3	0.5	2.5	12	1.75	10.3
4	0.7	3.3	14	2	12
5	0.8	4.2	16	2	15.5
6	1	5	20	2.5	17.5
8	1.25	6.8	22	2.5	19.5
10	1.5	8.5	30	3.5	26.50

Tableau I.1: les diamètres du foret selon les données du taraud [13].

Diamètre nominal du taraud - Pas du taraud = Diamètre du foret (foret standard).

Exemple : M6 – Pas de 1 = 5 mm de diamètre

Mettre en œuvre une bonne vitesse de coupe. A l'instar des forêts et fraises, utilisez des lubrifiants adaptés au taraudage de l'aluminium.

6.4 Fraisage de l'aluminium propriétés :



Figure I.18 outils de fraisage [13].

Pour enlever de la matière efficacement, optez pour le fraisage en avalant (ou fraisage en concordance) afin que l'effort de coupe tangentiel accompagne la pièce à fraiser dans son déplacement (voir schéma ci-après). Les objectifs recherchés sont nombreux : plus longue durée de vie de la fraise, évacuation des copeaux améliorée, meilleure finition de la surface. Par ailleurs, à l'inverse d'un fraisage en opposition, le fraisage en avalant requiert une puissance moins grande de la machine (ex : fraiseuse).

Un fraisage réussi de l'aluminium est conditionné par le bon état du matériel : fraise et mandrin non abîmé (en n'omettant pas de vérifier l'état de la queue) et machine-outil en bon état de fonctionnement [13].

Travail en avalant

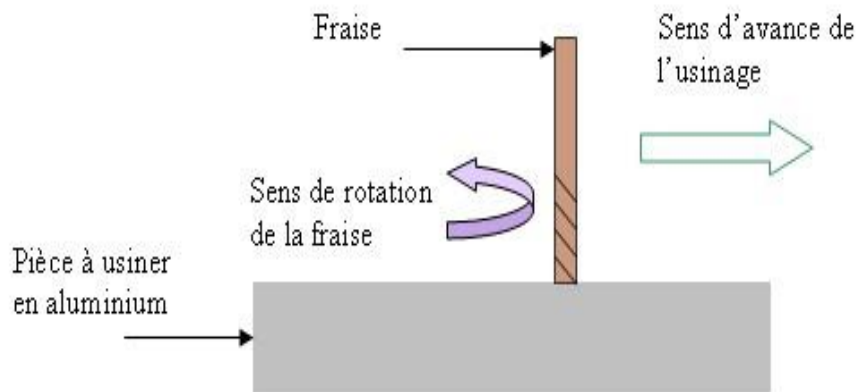
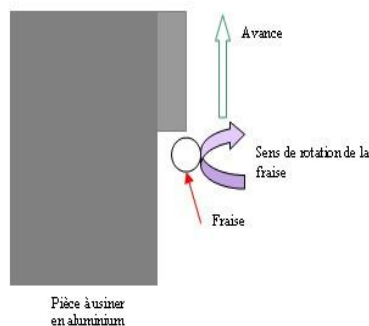


Figure I.19 : travail d'un outil de coupe [13]

Le choix d'une fraise en matière carbure monobloc ou revêtues (TiN, TiAlN, ...) optimisera la productivité de l'usinage.

Travail en opposition



Travail en avalant

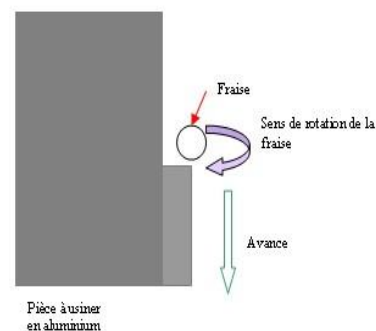


Figure I.20 autre travaille d outil de fraisage [13]

6.5 Les applications de l'aluminium usiné :

L'aluminium est employé dans une multitude de secteurs en raison de son excellent rapport poids/puissance. On peut notamment citer le secteur militaire, aéronautique et spatial avec la réalisation de châssis, capots, couvercles et autres boîtiers. L'aspect esthétique de l'aluminium usiné en fait un matériau de prédilection dans les industries automobiles. On peut également retrouver l'alu dans nos domiciles avec les fenêtres, les portes et autres volets. Concernant les énergies renouvelables, certains supports pour panneaux photovoltaïques sont réalisés en aluminium. Bien évidemment l'électronique est un domaine où grouillent les pièces usinées en alu, profitant de la légèreté du matériau.[14]

Chapitre II

Théorie

statistique

1. Définition de la statistique :

Ensembles de méthodes permettant de décrire et d'analyser des observations (ou données). Ces observations consistent généralement en la mesure d'une ou plusieurs caractéristiques communes sur un ensemble de personnes ou d'objets équivalents et repose sur l'observation de phénomènes concrets et utilise les probabilités comme outils d'analyse et de généralisation. [1].

Remarque : une statistique = grandeur calculée à partir des observations recueillies (ex : Moyenne d'âge des élèves d'une même classe, balance commerciale de la France, etc....)

2. Quelques définitions de base :

- L'ensemble de personnes ou d'objets équivalents étudié s'appelle la **population**.
- Chaque objet d'une population s'appelle **un individu ou unité statistique**.
- Les caractéristiques que l'on mesure s'appellent **des variables**.
- Les mesures s'appellent **des observations**.
- La série d'observations recueillies s'appelle **série statistique**. Elle est généralement retranscrite dans un tableau de données [1].

3. But de la Statistique :

Les données sont entachées d'incertitudes et présentent des variations pour plusieurs raisons :

1. Le déroulement des phénomènes observés n'est pas prévisible à l'avance avec certitude.
2. Toute mesure est entachée d'erreur.
3. Seuls quelques individus sont observés.
4. Données issues de phénomènes aléatoires.
5. Intervention du hasard et des probabilités.

Objectifs : maîtriser au mieux cette incertitude pour extraire des informations utiles des données, par l'intermédiaire de l'analyse des variations dans les observations [2].

4 . Notions de statistiques descriptives :

4.1 Définition de la statistique descriptive :

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 [2].

La statistique descriptive s'est enrichie ces dernières années de nombreuses techniques de visualisation de données multidimensionnelles, connues sous le nom d'analyse des données, puis de data mining.

4.2 Population statistique :

En statistique, on appelle population un ensemble d'éléments caractérisés par un critère permettant de les identifier sans ambiguïté. Chacun des éléments est appelé individu (ou unité statistique).

Ces appellations sont liées aux origines démographiques de la statistique.

La population est en général notée **P** [3].

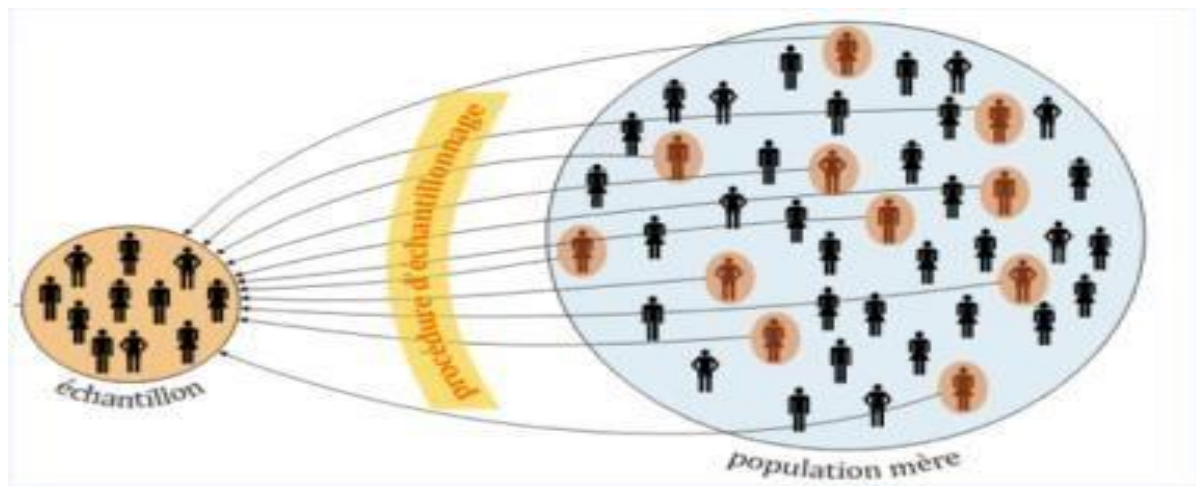


Figure II.1: population statistique [3].

4.3 L'effectif total :

On appelle effectif total de la population statistique le nombre d'éléments de l'ensemble de cette population. Dans cet exemple, l'effectif total est $46 + 284 + 163 + 92 = 585$

L'effectif total est en général noté par **N** [3].

4.4 Variable statistique :

On appelle variable statistique ou caractère, la chose que l'on étudie et qui est commune à tous les individus de la population de référence. L'ensemble des résultats s'appelle série statistique [4].

5 Les Paramètres de positions centrales :

5.1 Définition des paramètres de positions :

Valeur d'une distribution d'un caractère statistique quantitatif choisie pour sa représentativité d'une tendance de cette distribution, soit son centre, sa fréquence dominante ou sa position médiane dans l'ensemble des valeurs [5].

5.2 Éléments de paramètres de positions :

Nous définissons ci-après les paramètres dits 'de position' permettant de se faire une idée rapide de l'ensemble des valeurs d'un paramètre :

5.2.1 Le Mode M_o :

Une 'valeur modale' (ou mode) est une modalité d'effectif maximal. Une telle valeur peut être unique mais pas nécessairement.

5.2.2 La médiane M_e :

La 'médiane' est la valeur (le plus souvent fictive) partageant la population en deux classes de même effectif.

Obtention de la médiane : On commence par classer les n modalités par ordre croissant.

- Si n est impair, $n=2p+1$ la médiane est la valeur d'indice **$p+1$** .
- Si n est pair $n=2p$ la médiane est la moyenne arithmétique entre les valeurs d'indices p et $p+1$, soit **$(x_p+x_{p+1})/2$** . [5]

5.2.3 La moyenne :

La 'moyenne' (d'un caractère, d'une série statistique) est la somme de toutes les modalités divisées par l'effectif total de la population.

A l'inverse des deux paramètres précédents multiples ou vagues, la moyenne bénéficie d'une définition parfaitement rigoureuse. Ce serait, après mutualisation, la valeur commune des modalités de tous les individus si ces modalités étaient toutes égales.

On suppose que la série soit donnée par $(X_0, X_1, \dots, X_{n-1})$ chaque x_i étant la modalité de l'individu de rang i et les x_i n'étant pas forcément tous distincts. La moyenne est alors donnée par :

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} x_i^2}{n}$$

Si maintenant on suppose que la série est donnée par des couples (x_i, e_i) où les x_i $0 \leq i < p$ sont les valeurs distinctes prises par le caractère et où e_i est l'effectif de la modalité x_i alors la moyenne est donnée par :

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^{p-1} x_i e_i^2}{n} = \sum_{i=0}^{p-1} X_i F_i$$

NB : La moyenne d'un caractère noté souvent X . [5]

6 Les paramètres de dispersions :

6.1 Définition des paramètres de dispersion :

On appelle dispersion statistique, La tendance qu'ont les valeurs de la distribution d'un caractère à s'étaler de part et d'autre d'une valeur centrale et/ou à s'éloigner les unes des autres. Ce calcul n'a évidemment de sens que pour les caractères quantitatifs.

On distingue

1. Les paramètres de **dispersion absolue** (mesurée dans l'unité de mesure du caractère)
2. Les paramètres de **dispersion relative** (mesurée par un nombre sans dimension).

Un paramètre de dispersion absolue s'exprime toujours dans l'unité de mesure de la variable considérée. Ainsi, si l'on étudie la densité de population des régions européennes, l'unité de mesure de la dispersion de ce caractère sera exprimée en habitants par km².

Les quatre paramètres de dispersion les plus courants sont l'étendue, l'intervalle interquartiles, l'écart absolu moyen et l'écart type. [6]

6.2 Types de paramètres de dispersion :

6.2.1 La Variance :

Une mesure globale de la variation d'un caractère, c'est-à-dire de la quantité moyenne d'information contenue dans les différentes valeurs de ce caractère : cette quantité d'information serait :

- Évidemment nulle si toutes les valeurs étaient égales
- D'autant plus élevée que ces valeurs sont différentes les unes des autres.

Une formule plus exacte de la variance consiste à diviser la somme des carrés des écarts (SCE) par le nombre de degrés de liberté, c'est-à-dire le nombre d'observations (N) moins le nombre de paramètre. Il conviendrait donc, dans cette perspective, de remplacer le terme $1/N$ par le terme $1/(N-1)$ dans les équations précédentes. Cette correction qui est indispensable lorsque l'on procède à des tests statistiques (**Fischer, Student**), n'est pas indispensable dans une perspective de statistique purement descriptive [7].

$$v(x) = \frac{n_1(x_1 - \bar{x})^2 + n_2(x_2 - \bar{x})^2 + \dots + n_p(x_p - \bar{x})^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_p} = \frac{1}{N} \sum ni (x_i - \bar{x})^2$$

6.2.2 L'écart-type :

L'écart-type est le paramètre de dispersion le plus utilisé en statistique et il est fourni par tous les logiciels d'analyse des données, y compris les plus simples (calculatrice de poche). Sa signification est cependant loin d'être évidente (moyenne quadratique des écarts à la moyenne) et de nombreuses personnes le confondent avec l'écart absolu moyen qui est quant à lui d'interprétation simple (moyenne des écarts à la moyenne) [7].

$$\sigma_x = \sqrt{\text{variance}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

6.2.3 L'étendue :

L'étendue d'une série statistique quantitative (qu'elle soit discrète ou continue) est égale à la différence entre la plus grande et la plus petite valeur de la distribution :

$$\text{Etendue de } X = X_{\max} - X_{\min}$$

L'étendue est la mesure la plus simple de la dispersion tandis que les moyennes, mode et médiane mesurent la position d'une série statistique [8]

7 L'expression de la moyenne :

La moyenne arithmétique d'une liste de nombres réels est la somme des valeurs divisée par le nombre de valeurs. Il s'agit de la moyenne au sens usuel du terme, sans coefficients, l'adjectif « arithmétique » la distinguant d'autres moyennes mathématiques moins courantes.

La moyenne peut être notée à l'aide de son initiale m , M ou avec la lettre grecque correspondante μ .

Lorsque la moyenne est calculée sur une liste notée (x_1, x_2, \dots, x_p) , on la note habituellement \bar{x} à l'aide du diacritique macron.

Son expression mathématique s'écrit :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

Par exemple, le nombre moyen de jours par mois dans une année non bissextile s'écrit :

$$(31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30+31) / 12 \text{ soit environ } 30,4.$$

La moyenne est toujours comprise entre les valeurs minimale et maximale de la liste [9].

8 L'expression de la variance :

La variance est un indicateur de dispersion des valeurs, c'est-à-dire qu'elle est toujours positive, ne s'annule que pour une série statistique dont tous les termes ont la même valeur, elle est d'autant plus grande que les valeurs sont étalées, et invariante par ajout d'une constante. Son

calcul peut sembler plus compliqué que celui d'autres indicateurs de dispersion, comme l'écart interquartile ou l'écart absolu moyen, mais contrairement à ces derniers, elle est cumulative [9] :

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k ni(Vi + (\bar{x} - \bar{x}_i))$$

9 . Notions de statistique inférentielle :

9.1. Définition de la statistique inférentielle :

La statistique inférentielle, pont entre la statistique descriptive et la statistique mathématique, établit des relations entre populations et échantillons. On distingue deux types de démarche :

La démarche d'échantillonnage (de la population vers l'échantillon).

La démarche d'estimation (de l'échantillon vers la population).

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 [10].

9.2. But de la statistique inférentielle :

Dont le but est d'effectuer des estimations et des prévisions à partir d'un sous-ensemble de la population. C'est dans ce cadre que rentrent par exemple les sondages d'opinion, ou alors l'étude statistique de l'efficacité d'un médicament [11].

10 Les tests statistiques :

10.1. Introduction :

Le test statistique étudie les relations entre population et échantillon, mais conduit à une prise de décision face à une question posée.

La réponse à chaque question de type "oui / non" sera faite à l'issue d'un résultat aléatoire (échantillon, expérimentation) et, par suite, "fatalement", cette réponse sera plus ou moins risquée [12]

Le test est une méthode statistique **DÉCISIONNELLE**.

Définitions :

Le test est dit SIGNIFICATIF lorsque le résultat est le REJET de H_0 .

$E > C$ définit la région de rejet (RR) (rejet de H_0).

$E < C$ définit la région d'acceptation (RA)).

10.2 Teste de normalité :

En statistiques, les tests de normalité permettent de vérifier si des données réelles suivent une loi normale ou non. Les tests de normalité sont des cas particuliers des tests d'adéquation (ou tests d'ajustement, tests permettant de comparer des distributions), appliqués à une loi normale.

Ces tests prennent une place importante en statistiques. En effet, de nombreux tests supposent la normalité des distributions pour être applicables. En toute rigueur, il est indispensable de vérifier la normalité avant d'utiliser les tests. Cependant, de nombreux tests sont suffisamment robustes pour être utilisables même si les distributions s'écartent de la loi normale [13].

10. 3 Tests d'hypothèses

Le test d'hypothèses est une procédure statistique qui permet de faire un choix entre deux hypothèses relatives à la valeur d'un paramètre de la population, en se basant sur les données d'un échantillon aléatoire prélevé dans cette population. Soient H_0 et H_1 deux hypothèses (H_0 est appelée hypothèse nulle, H_1 hypothèse alternative) Dont une et une seule qui est varié. La décision consiste à retenir H_0 ou H_1

Pour un test bilatéral, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes :

Hypothèse nulle, $H_0 : P_A = P_B$

Hypothèse alternative, $H_1 : P_A \neq P_B$

Pour un test unilatéral, les hypothèses deviennent :

Hypothèse nulle, $H_0 : P_A = P_B$

Hypothèse alternative, $H_1 : P_A > P_B$ ou $P_A < P_B$ [13]

10.4 Teste de fisher–Snedecor (F)

Le test de Fisher, parfois appelé aussi test de Fisher-Snedecor, qui sert à la comparaison de deux variances observées.

La loi de Fisher survient très fréquemment en tant que loi de la statistique de test lorsque l'hypothèse nulle est vraie, dans des tests statistiques, comme les tests du ratio de vraisemblance, dans les tests de Chow utilisés en économétrie, ou encore dans l'analyse de la variance (ANOVA) via le test de Fisher.

Une variable aléatoire réelle distribuée selon la loi de Fisher peut être construite comme le quotient de deux variables aléatoires indépendantes, U_1 et U_2 , distribuées chacune selon une loi du χ^2 et ajustées pour leurs nombres de degrés de liberté, respectivement d_1 et d_2 :

$$F(d_1, d_2) \sim \frac{U_1/d_1}{U_2/d_2}$$

La densité de probabilité d'une loi de Fisher, $F(d_1, d_2)$, est donnée par :

$$f(x) = \frac{\left(\frac{d_1 x}{d_1 x + d_2}\right)^{\frac{d_1}{2}} \left(1 - \left(\frac{d_1 x}{d_1 x + d_2}\right)\right)^{\frac{d_2}{2}}}{x B\left(\frac{d_1}{2}, \frac{d_2}{2}\right)}$$

Pour tout réel $x \geq 0$, où d_1 et d_2 sont des entiers positifs et B est la fonction bêta [13]

10.5. Test de khi-deux :

Le test de Kolmogorov-Smirnov, qui comme le test de Khi-2 est un test d'adéquation entre des échantillons observés et une distribution de probabilité. Il compare la fonction de

répartition observée et la fonction de répartition attendue. Il est particulièrement utile pour les variables aléatoires continues.

En méthodes bayésiennes, on utilise beaucoup le psi-test (mesure de distance dans l'espace des possibles) dont on montre que le Khi-2 constitue une très bonne approximation asymptotique lorsqu'existe un grand nombre d'observations

Le test du χ^2 d'indépendance a pour objectif d'évaluer si deux variables qualitatives X_1 et X_2 sont liées (existe une liaison) ou X_1 et X_2 sont indépendantes, les deux variables étant observées sur un échantillon de taille N

- H_0 : Les variables X_1 et X_2 sont indépendantes.
- H_1 : Il existe une liaison entre X_1 et X_2 . [13]

11. Les lois de distribution statistiques :

11.1 Loi normale ou loi de Gauss :

La loi normale est le modèle fondamental des distributions continues. De nombreux caractères quantitatifs du monde réel suivent une loi normale : les tailles des individus, les poids, les notes aux examens GOL.

Une variable aléatoire réelle X suit une loi normale (ou loi gaussienne, loi de Laplace-Gauss) d'espérance μ et d'écart type σ (nombre strictement positif, car il s'agit de la racine carrée de la variance σ^2) si cette variable aléatoire réelle X admet pour densité de probabilité la fonction $p(x)$ définie, pour tout nombre réel x , par [13] :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

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 μ (la moyenne) et σ (l'écart-type). Ainsi si une variable aléatoire X suit $N(\mu, \sigma)$ alors

$$E(x) = \mu \qquad \text{et} \qquad V(x) = \sigma^2$$

Lorsque la moyenne μ vaut 0, et l'écart-type vaut 1, la loi sera notée $N(0, 1)$ et sera appelée loi normale standard.

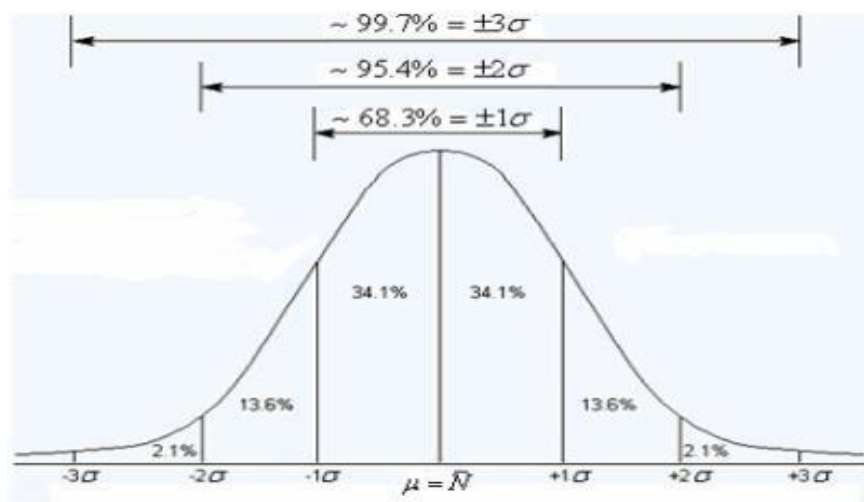


Figure II.3: La loi normale courbe on cloche [13].

11.2 Loi du khi-deux (χ^2) :

11.2.1 Définition :

En statistique, un test du χ^2 , prononcé « khi-deux » ou « khi carré », est un test statistique où la statistique de test suit une loi du χ^2 sous l'hypothèse nulle.

Par exemple, il permet de tester l'adéquation d'une série de données à une famille de lois de probabilité ou de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires [13].

11.2.2 Proposition :

1. Sa fonction caractéristique est :

$$1 - 2it^{-v/2}$$

2. La densité de la loi du χ^2 (v) est :

$$f_v(x) = \begin{cases} \frac{1}{2^v/\Gamma^2(\frac{v}{2})} x^{\frac{v}{2}-1} e^{-x/2} & \text{Pour } x \text{ supérieur à } 0. \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où Γ est la fonction Gamma d'Euler définie par :

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} x^{r-1} e^{-x} dx$$

L'espérance de la loi du χ^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 χ^2 (v_1) et χ^2 (v_2) suit aussi une loi du χ^2 avec $v_1 + v_2$ degrés de liberté.

11.2.3 Fonction inverse :

On peut trouver une tabulation de la fonction réciproque de la fonction de répartition de cette loi dans une table (en annexe) ou sur un logiciel tableur :

$$a \rightarrow x_{a,v}^2 (\text{Fonction KHIDEUX .inverse } (a ; v))$$

C'est-à-dire la valeur de :

$$x_{a,v}^2 \text{ tell que } P(\chi^2(v) > x_{a,v}^2) = a.$$

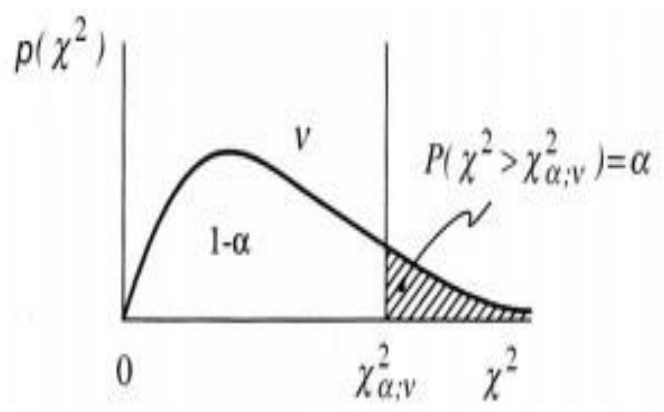


Figure II.4 La loi normale courbe on cloche [13].

11.3 Loi de Fisher-Snedecor :

11.3.1 Définition :

En théorie des probabilités et en statistiques, la loi de Fisher ou encore loi de Fisher-Snedecor ou encore loi F de Snedecor est une loi de probabilité continue

La loi de Fisher survient très fréquemment en tant que loi de la statistique de test lorsque l'hypothèse nulle est vraie, dans des tests statistiques, comme les tests du ratio de vraisemblance, dans les tests de Chow utilisés en économétrie, ou encore dans l'analyse de la variance (ANOVA) via le test de Fisher.

Soient Q_1 et Q_2 deux variables aléatoires indépendantes telles que Q_1 suit $\chi^2(v_1)$ et Q_2 suit $\chi^2(v_2)$ alors la variable aléatoire [13]. :

$$F = \frac{Q_1/v_1}{Q_2/v_2}$$

Suit une loi de Fisher-Snedecor à (v_1, v_2) degrés de liberté, notée $F(v_1, v_2)$.

11.3.2 Proposition :

. Si F suit une loi de Fisher $F(v_1, v_2)$ alors $1/F$ suit une loi de Fisher $F(v_2, v_1)$. 2. Si T suit une loi de Student à v degrés de liberté alors T^2 suit une loi de Fisher $F(1, v)$. [13]

12 Corrélations :

Définition :

La corrélation statistique est une technique statistique qui s'utilise pour voir si deux variables sont liées.

Si le changement dans une variable est accompagné d'un changement dans l'autre, puis les variables sont dites d'être corrélées.

La corrélation peut vous dire quelque chose au sujet de la relation entre les variables. Il est utilisé pour comprendre :

- Si la relation est positive ou négative
- La force de la relation.

La corrélation est un outil puissant qui fournit ces éléments d'information essentiels.

La corrélation statistique est mesurée par ce qu'on appelle le coefficient de corrélation (r). Sa valeur numérique varie de 1,0 à -1,0. Cela nous donne une indication de la force de la relation.

En général, $r > 0$ indique une relation positive, $r < 0$ indique une relation négative Tandis que $r = 0$ indique l'absence de relation (ou que les variables sont indépendantes et non liées). Ici, $r = +1,0$ décrit une corrélation positive parfaite et $r = -1,0$ décrit une corrélation négative parfaite.[14]

Si les coefficients sont plus proches de $+1,0$ et $-1,0$, plus grande est la force de la relation entre les variables

12.1 types de corrélation :

12.1.1 Corrélation linéaire :

Une relation est linéaire si l'on peut trouver une relation entre X et Y de la forme $Y=aX+b$, c'est à dire si le nuage de point peut s'ajuster correctement à une droite.

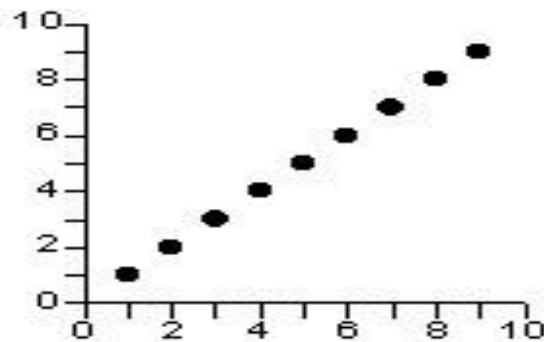


Figure II.24 : relation linéaire (toujours monotone) [14]

12.1.2 Corrélation non linéaire :

Une relation est non-linéaire si la relation entre X et Y n'est pas de la forme $Y=aX+b$, mais de type différent (parabole, hyperbole, sinusoïde, etc.). Le nuage de point présente alors une forme complexe avec des courbures.

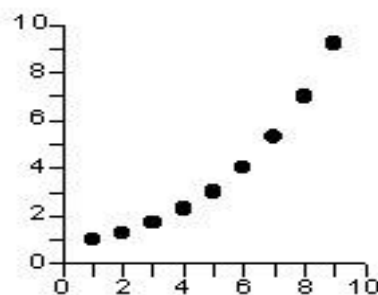


Figure II.25 : relation non-linéaire et monotone [14]

12.1.3 Corrélation parabolique :

Une relation non-linéaire est monotone si elle est strictement croissante ou strictement décroissante, c'est-à-dire si elle ne comporte pas de minima ou de maxima. Toutes les relations linéaires sont monotones.

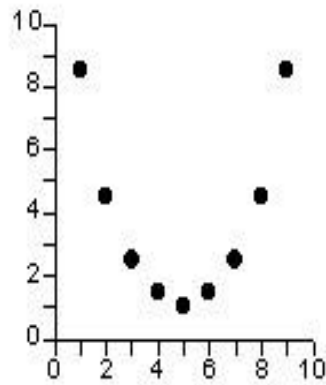


Figure II .26 : relation non-linéaire et non-monotone [14]

12.2 Coefficient de corrélation :

Les coefficients de corrélation permettent de donner une mesure synthétique de l'intensité de la relation entre deux caractères et de son sens lorsque cette relation est monotone. Le coefficient de corrélation de Pearson permet d'analyser les relations linéaires et le coefficient de corrélation de Spearman les relations non-linéaires monotones. [15]

Le signe de la pente a donné le sens de la corrélation, mais pas sa qualité.

- $a > 0$ **corrélation positive**
- $a < 0$ **corrélation négative**
- $a = 0$ **pas de corrélation**

La qualité de la corrélation peut être mesurée par un coefficient de corrélation r .

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X}).(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et +1.

Plus il s'éloigne de zéro, meilleure est la corrélation.

- $r = +1$ **corrélation positive parfaite**
- $r = -1$ **corrélation négative parfaite**
- $r = 0$ **absence totale de corrélation**

Remarque :

Le coefficient de corrélation nous donne des informations sur l'existence d'une relation linéaire (sous forme d'une droite) entre les deux grandeurs considérées. Un coefficient de corrélation nul ne signifie pas l'absence de toute relation entre les deux grandeurs. Il peut exister une relation non linéaire entre elles.

Une bonne corrélation entre deux grandeurs peut révéler une relation de cause à effet entre elles, mais pas nécessairement.

Il existe de différents types de coefficient de corrélation :

1-Le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson :

Ce coefficient permet de détecter la présence ou l'absence d'une relation linéaire entre deux caractères quantitatifs continus. Pour calculer ce coefficient il faut tout d'abord calculer la covariance. La covariance est la moyenne du produit des écarts à la moyenne.

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})$$

Le coefficient de corrélation linéaire de deux caractères X et Y est égal à la covariance de X et Y divisée par le produit des écarts-types de X et Y

$$r(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \times \sigma_y}$$

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman :

Le coefficient de corrélation de rang (appelé coefficient de Spearman) examine s'il existe une relation entre le rang des observations pour deux caractères X et Y, ce qui permet de détecter l'existence de relations monotones (croissante ou décroissante), quelle que soit leur forme précise (linéaire, exponentiel, puissance, ...). Ce coefficient est donc très utile lorsque l'analyse du nuage de point révèle une forme curviligne dans une relation qui semble mal s'ajuster à une droite. On notera également qu'il est préférable au coefficient de Pearson lorsque les

distributions X et Y sont dissymétriques et/ou comportent des valeurs exceptionnelles. [15]

12.3 Les tests de corrélation :

12.3.1 Principe des tests de corrélation :

Les tests de corrélation sont utilisés pour mesurer et tester la corrélation linéaire entre deux variables quantitatives, qualitatives ordinales, voire même binaires. [16]

12.3.2 Les types de teste de corrélations :

1-Corrélation de Pearson : La corrélation de Pearson évalue la relation linéaire entre deux variables continues. Une relation est dite linéaire lorsqu'une modification de l'une des variables est associée à une modification proportionnelle de l'autre variable.

Par exemple, vous pouvez utiliser une corrélation de Pearson afin d'évaluer si les augmentations de température sur votre site de production sont associées à la diminution de l'épaisseur de votre enrobage de chocolat.

2-Corrélation de Spearman : La corrélation de Spearman évalue la relation monotone entre deux variables continues ou ordinales. Dans une relation monotone, les variables ont tendance à changer ensemble, mais pas forcément à une vitesse constante. Le coefficient de corrélation de Spearman est fondé sur les valeurs classées pour chaque variable plutôt que sur les données brutes.

La corrélation de Spearman est souvent utilisée dans le but d'évaluer les relations comprenant des variables ordinales. Par exemple, vous pouvez utiliser une corrélation de Spearman afin d'évaluer si l'ordre dans lequel des employés effectuent un exercice d'un test est lié au nombre de mois d'ancienneté.

Il est toujours judicieux d'examiner la relation entre les variables à l'aide d'un nuage de points. Les coefficients de corrélation ne mesurent que des relations linéaires (Pearson) ou monotones (Spearman). D'autres relations sont possibles.

3- Corrélation de Kendall : coefficient de corrélation non paramétrique, c'est-à-dire calculé sur les rangs des valeurs. Munissons-nous d'une distribution à deux variables. Généralement, la mesure d'une plus ou moins bonne corrélation entre elles est effectuée avec le coefficient de corrélation de Pearson, au besoin en utilisant un changement de variable si la liaison n'est pas linéaire.

4-Corrélation polychorique : ce coefficient permet de calculer la liaison entre deux variables qualitatives ordinales. [17]

13 La régression :

13.1 Définition :

Les régressions sont les premiers algorithmes de modélisation utilisés pour l'apprentissage automatique et la science des données.

Une stratégie de modélisation pour étudier les relations entre y_i et x_i est de supposer que les Co variables ont une influence sur l'espérance des Y_i .

On modélise l'espérance de Y_i conditionnellement aux valeurs observées des X_i à x_i :

$$Y_i | \{X_i = x_i\} \sim \tilde{N}(\mu(x_i), \sigma^2)$$
$$\mu(x_i) = E(Y_i | X_i = x_i) = \int y_i f_{YX}(y_i, x_i) dy$$

$\mu(x_i)$ s'appelle **la fonction de régression** : c'est la fonction qui relie les x_i aux observations

Ce que l'on néglige en considérant l'espérance conditionnelle, c'est la variabilité des Co variables que l'on suppose fixées. [18]

13.2 Types de régression :

13.2.1 Régression linéaire :

Est un modèle du type $x' = \beta + \varepsilon$ Où $x' = (x^1 \dots x^p)$

Elle représente un ensemble de variables dites indépendantes ou explicatives qu'on traite comme si elles étaient non aléatoires, que ceci soit réalisé ou non, et y est une variable dépendante ou à expliquer, Et :

$$\beta = \begin{cases} \beta_1 \\ \beta_p \end{cases}$$

Dans cette technique, la variable dépendante est continue, la ou les variables indépendantes peuvent être continues ou discrètes et la nature de la droite de régression est linéaire.

Lorsque le nuage de points associé à une série statistique double a une forme "allongée" c'est-à-dire lorsque les points sont sensiblement alignés, on peut tracer des droites passant « au plus près

de ces points ». On dit alors que chacune de ces droites réalise un ajustement affine du nuage de points. [18]

On distingue de types de régressions :

La régression linéaire simple

Le modèle de régression linéaire simple est une variable endogène (dépendante) expliquée par une seule variable exogène (indépendante) mise sous forme mathématique suivante [18] :

$$Y_t = B_0 + B_1 X_t + \varepsilon_1, t = 1 \dots n$$

Avec :

- Y_t : La variable endogène (dépendante, à expliquer) à la date t ;
- X_t : La variable exogène (indépendante, explicative) à la date t ;
- B_0, B_1 : Les paramètres inconnus du modèle ;
- ε_1 L'erreur aléatoire du modèle ;
- n : Nombre d'observations.

La régression linéaire générale :

Le modèle général est une généralisation du modèle simple dans lequel figurent plusieurs variables explicatives : [18]

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_k x_{kt} + \varepsilon_t \dots ; \quad .t = 1 \dots n$$

Avec :

- Y_t = variable à expliquer à la date t .
- x_{1t} = variable explicative 1 à la date t .
- x_{kt} = variable explicative k à la date t .

Et :

- $\beta_0, \beta_1, \beta_k$: paramètres du modèle.
- $\varepsilon_t =$ Erreur de spécification elle est inconnue et restera inconnue.
- $n =$ nombre d'observations

13.2.2 Régression Polynomiale :

La régression polynomiale est une analyse statistique qui décrit la variation d'une variable aléatoire expliquée à partir d'une fonction polynomiale d'une variable aléatoire explicative. C'est un **cas particulier** de régression **linéaire multiple**, où les observations sont construites à partir des puissances d'une seule variable. [19]

Si l'on appelle (X_i, Y_i) la i -ème réalisation du couple de variables aléatoires, on recherche le polynôme

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$$

Permettant d'écrire :

$$Y_i = P_n(X_i) + \varepsilon_i$$

Le résidu ε_i , ou perturbation, étant « le plus petit » dans le sens des moindres carrés.

La régression polynomiale est une régression linéaire multiple : on peut écrire la relation :

$$Y_i = a_n \cdot X_{i,n} + a_{n-1} \cdot X_{i,n-1} + \dots + a_1 \cdot X_{i,1} + a_0 + \varepsilon_i$$

13.2.3 La régression logistique :

Régression logistique est une approche statistique qui peut être employée pour évaluer et caractériser les relations entre une variable réponse de type binaire (par exemple : Vivant / Mort, Malade / Non malade, succès / échec), et une, ou plusieurs, variables explicatives, qui peuvent être de type catégoriel (le sexe par exemple), ou numérique continu (l'âge par exemple). [19]

Tout comme la régression de Poisson, la régression logistique appartient aux **modèles linéaires généralisés**. Pour rappel, il s'agit de modèles de régression qui sont des extensions du modèle linéaire, et qui reposent sur trois éléments :

1. Un prédicteur linéaire
2. Une fonction de lien
3. Une structure des erreurs

Remarque : La régression logistique peut également être utilisée comme **un algorithme de classification supervisée**

13.2.4 La régression de Crête :

La régression de crête est une technique d'analyse de données de régression multiples avec multi colinéarité.

Lorsque la multicollinéarité est avérée, les estimations des moindres carrés sont sans biais, mais leurs variances étant importantes, elles peuvent être loin de la valeur réelle. En ajoutant un degré de biais aux estimations de régression, la régression de crête réduit l'erreur standard. On espère que l'effet net sera de donner des estimations plus fiables. [19]

13.2.5 La régression de Lasso :

Bien que cette méthode fût utilisée à l'origine pour des modèles utilisant l'estimateur usuel des moindres carrés, la pénalisation lasso s'étend facilement à de nombreux modèles statistiques tels que les modèles linéaires généralisés, les modèles à risque proportionnel, et les M-estimateurs. La capacité du lasso à sélectionner un sous-ensemble de variables est due à la nature de la contrainte exercée sur les coefficients et peut s'interpréter de manière géométrique, en statistique bayésienne ou analyse convexe.

Elle utilise des valeurs absolues dans la fonction de pénalité. [19]

Chapitre III :

Partie expérimentale

(Technologique et
statistique)

III.1. Objectifs étudiés :

Approche des déformations en longueur et en largeur en mesurant des copeaux obtenus par le dressage et le chariotage avec tels paramètres de coupes (profondeur de passe, l'avance, la vitesse de rotation et la vitesse de coupe).

III.2. Matériau et dispositif d'usinage :

III.2.1. Le Matériau utilisé :

Le matériau utilisé est un alliage d'aluminium, la pièce brute première est sous forme cylindrique plane (tube) de diamètre 30 mm

Nous avons découpé des pièces de 120 mm de longueur fini par dressage voir (figure.III.1).



Figure III.1 : cylindre plain de diamètre 30mm et longueur 120 mm

III.2.2 La Machine (Tour) :

Situé au niveau du hall de technologie de l'université de Bejaïa, elle est de type CN 40 C. (Figure III.2).



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

Caractéristiques du tour conventionnel type SN 40 C :

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 de l'opération du tournage est un Outil de coupe en acier rapide de codification à plaquette en carbure métallique amovible (Figure.III.3)

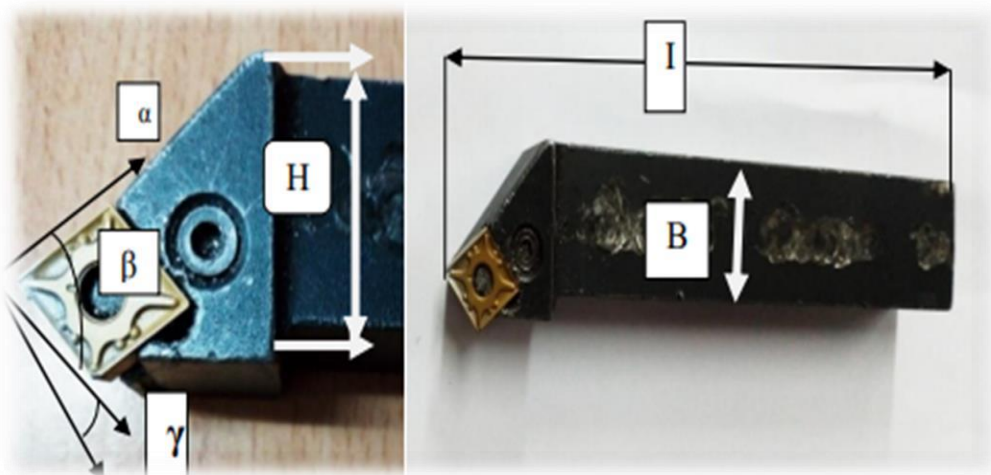


Figure III.3: Outil de coupe à plaquette en carbure métallique amovible.

Les caractéristiques géométriques de la plaquette sont regroupées dans ce tableau :

H (mm)	B (mm)	I (mm)	α°	β°	γ°
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 ont été faites sur une pièce en aluminium de diamètre 30 mm avec une profondeur de passe de 0.3 mm effectuant 5 paliers de 20mm de course pour le chariotage et de 15 mm de course pour le dressage chacun ont été réalisés sur la même pièce.

Les épaisseurs des copeaux engendrés par ces processus sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse puis en fin sont mises dans des intervalles en fonction des vitesses d'avances et de rotations

Avec :

- N (tr / mn) : La Vitesse de rotation de la pièce
- f (mm / tr) : L'avance de l'outil de coupe
- I_i (mm) : les intervalles des tailles des copeaux

III.3.1 Mesure des intervalles des tailles des copeaux :

1. Cas d'un chariotage avec profondeur de passe de 0.3 mm et de course 20 mm :

Les mesures des intervalles des tailles des copeaux sont illustrées dans ce tableau ci-dessous :

f (mm/tr) N (tr/mn)	0.05	0.07	1	1.3	1.5
90	I ₁	I ₁	I ₁	I ₁	I ₄
180	I ₁	I ₁	I ₄	I ₅	I ₄
250	I ₁	I ₁	I ₃	I ₄	I ₄
500	I ₂	I ₂	I ₃	I ₃	I ₂
750	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂

Tableau III.3 : intervalle de taille de copeau en chariotage en fonction des vitesses d'avance et de rotation avec une profondeur de passe 0.3 mm

Avec :

- I₁ : intervalle de la taille du copeau [0 ; 0.2] mm
- I₂ : intervalle de la taille du copeau [0.2 ; 0.4] mm
- I₃ : intervalle de la taille du copeau [0.4 ; 0.6] mm
- I₄ : intervalle de la taille du copeau [0.6 ; 0.8] mm
- I₅ : intervalle de la taille du copeau [0.8 ; 1] mm

2. Cas d'un dressage avec profondeur de passe de 0.3 mm et de course 15 mm :

Les mesures des intervalles des tailles des copeaux sont illustrées dans ce tableau si dessous :

f (mm/tr) N (tr/mn)	0.05	0.07	1	1.3	1.5
90	I ₂	I ₁	I ₃	I ₂	I ₂
180	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
250	I ₂	I ₂	I ₄	I ₅	I ₄
500	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂
750	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂	I ₂

Tableau III.4 : intervalle de taille de copeau en dressage en fonction des vitesses d'avance et de rotation avec une profondeur de passe 0.3 mm

Avec :

- I₁ : intervalle de la taille du copeau [0 ; 0.2] mm
- I₂ : intervalle de la taille du copeau [0.2 ; 0.6] mm
- I₃ : intervalle de la taille du copeau [0.6 ; 0.9] mm
- I₄ : intervalle de la taille du copeau [0.9 ; 1.2] mm
- I₅ : intervalle de la taille du copeau [1.2 ; 1.5] mm

III.3.2. Résultats et interprétations technique :

III.3.2.1. L'influence de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en chariotage :

Interprétation du graphe :

Les copeaux usinés d'aluminium par tournage, présentent une phase d'épaisseur constante pour de faibles vitesses d'avances qui, augmente légèrement par augmentation de la vitesse de rotation de la pièce, pour se stabiliser à la fin de course. Une autre phase totalement différente, est caractérisée par une augmentation considérable de l'épaisseur du copeau, pour les faibles vitesses d'avances, et des vitesses de rotation de la pièce allant de [90 à 180]tr/mn, marquée par un extremum, pour décroître vers des épaisseurs plus minces, cette phase est caractérisée par une vitesse d'avance de 1mm/tr. L'augmentation de la vitesse de rotation de la pièce influe sur la déformation longitudinale de deux façons différentes selon le choix de l'avance de coupe affecté.

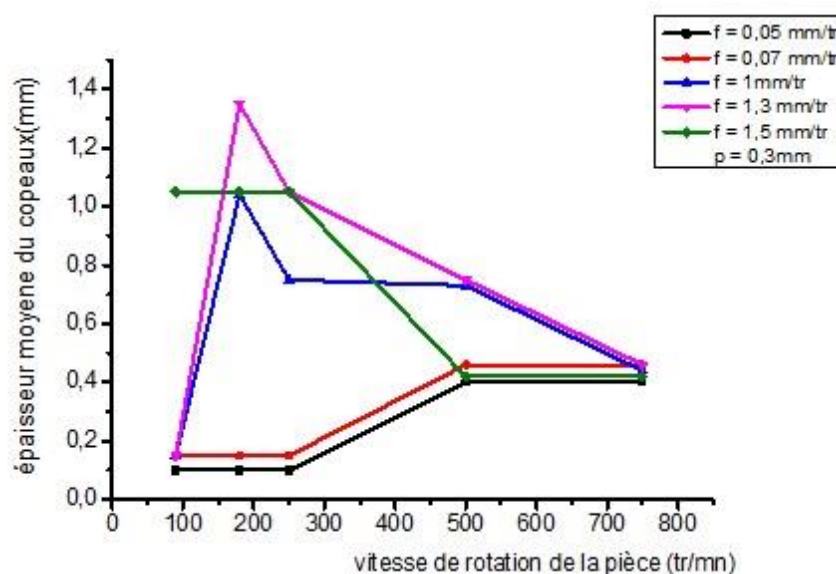


Figure III.4 influences de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en chariotage III.3.2.2. L'influence de la vitesse de rotation de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en dressage :

Interprétation du graphe :

En dressage l'épaisseur du copeau n'est pas aussi différente en changement que celui en chariotage et présente pratiquement le même processus cité auparavant et la vitesse de rotation de la pièce influe sur la déformation transversale de la même manière précédant.

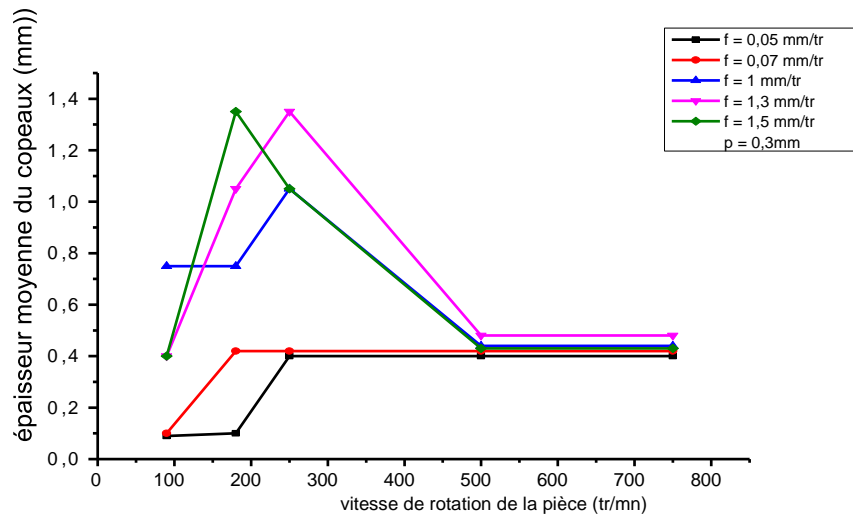


Figure III.5 influences de la vitesse de rotation de la pièce sur l'épaisseur du copeau en dressage

III.3.2.3. L'influence de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en chariotage :

Interprétation du graphe :

L'influence de la vitesse d'avance cette fois-ci sur la déformation longitudinale est tout à fait le contraire que celle de la vitesse de rotation de la pièce et présente une augmentation de l'épaisseur du copeau tout en augmentant la vitesse d'avance pour ce s'incliner à la fin, mais, cette augmentation de l'épaisseur est gouvernée par la diminution de la vitesse de rotation de la pièce autrement dit les deux vitesses opèrent en opposé.

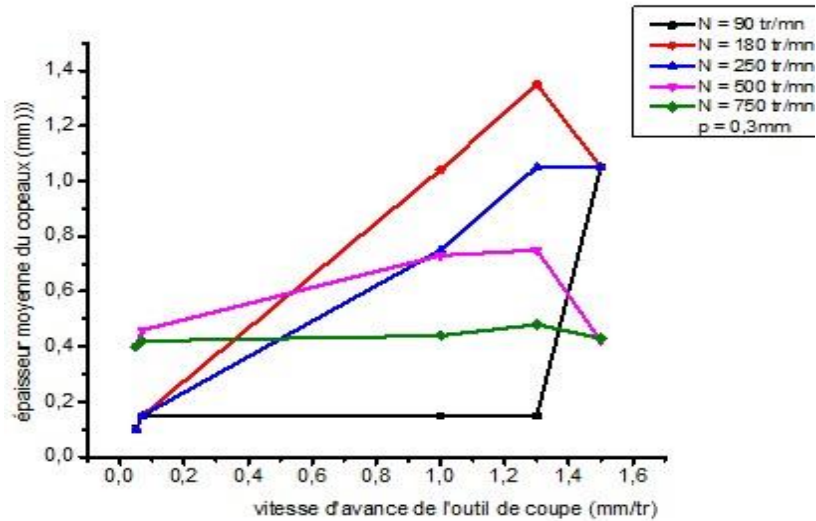


Figure III.6 influences de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en chariotage

III.3.2.4. L'influence de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l

Épaisseur du copeau en chariotage :

Interprétation du graphe :

En générale la vitesse d'avance de l'outil de coupe évolue de la même manière que l'évolution de la vitesse de rotation de la pièce jusqu'à la vitesse de rotation de 500tr/mn ou l'effet s'inverse on assiste à une chute d'épaisseur du copeau, les fluctuations d'épaisseur se trouvant au-delà de 1.3mm/tr font intervenir des paramètres non contrôlés de la manipulation.

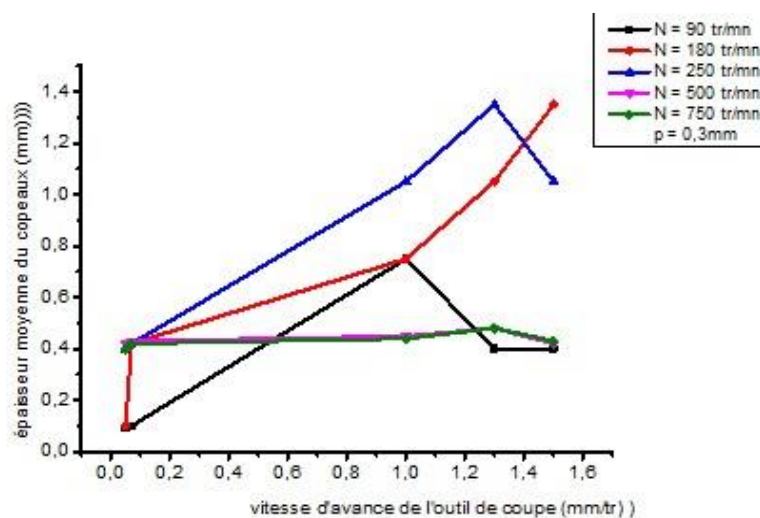


Figure III.7 influences de la vitesse d'avance de l'outil de coupe sur l'épaisseur du copeau en chariotage

III.4. Conclusion :

On peut dire que les paramètres de coupes lors du tournage de l'aluminium présentent une influence alternée. Selon la phase d'usinage et caractérisée par le seuil ou pic de changement. L'approche des déformations en longueur et en largeur par l'examen des copeaux nous a donné une première estimation sur la possibilité de la variation des modules d'élasticité et du module de poisson.

Conclusion générale :

Notre travail a été consisté sur l'analyse statistique des paramètres de coupes dans le tournage de l'aluminium et leurs influences sur la taille des copeaux afin d'établir une approche de déformation longitudinale et transversale.

Le premier chapitre(la partie technologique) nous a met en évidence l'importance des procédés de fabrication dans l'industrie mécanique et connaitre mieux les termes de tournage de matériaux en particulier les matériaux fragiles (leurs caractéristiques, avantages, applications, module de poisson et sa formule , leurs mis on forme), en suite une description des paramètres de coupe (profondeur de passe, l'avance, vitesse de rotation) et les outils et leurs géométries, et à la fin des notions sur les alliages de l'aluminium et leurs désignations ainsi que le domaine d'utilisation.

Le deuxième chapitre (la partie statistique) nous as permet la contribution à l'étude des lois de distribution des déférentes expériences faites sur ce sujet et qui nous donne une optimisation sur les paramètres statistiques, ainsi que l'influence des paramétrés de coupe sur la taille des copeaux nous avons fait un rappel sur les notions statistiques descriptives et inférentielle.

D'après notre étude nous avons conclu que certains paramètres de coupe peuvent influencer sur la taille des copeaux obtenus.

Des résultats d'analyse statistique sont obtenus :

- La variation de l'avance de l'outil et la profondeur de passe influencent sur les épaisseurs des copeaux.
- La variation de la vitesse de rotation de la pièce influence sur les tailles des copeaux d'une manière similaire

Annexes

Annexe 1 : plaquette de fraisage et tournage

Plaquettes de fraisage et tournage

Désignations normalisées

Extrait de ISO 1832

Fraisage	S	E	K	N	12	03	AF	S	N	-	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tournage	C	N	M	G	12	04	08			-	M

1 Forme de plaquette et angle

5 Taille de la plaquette : long. arête en mm

d mm														
6,35	06	07	06	-	-	08	-	11	11	-	-	-	-	-
8,0	-	-	08	-	-	08	-	-	-	-	-	-	-	-
9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,525	09	11	-	-	16	09	09	16	16	06	-	-	-	-
10,0	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-
12,7	12	15	-	-	-	12	12	22	22	08	-	-	-	-
15,875	16	-	-	-	-	15	15	27	-	-	-	-	-	-
16,0	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-
19,05	19	-	-	-	-	19	19	33	-	-	-	-	-	-

2 Angle de dépouille

6 Epaisseur de la plaquette

	01	1,59	02	2,38	T3	3,97	06	6,35
T1	1,98	03	3,18	04	4,76	07	7,94	

3 Tolérance sur le cercle inscrit d l'épaisseur s et la cote m

	d	m	s		d	m	s
A	± 0,025			J	± 0,005		
F	± 0,013	± 0,005		K	± 0,05	± 0,013	± 0,025
C	± 0,025		± 0,025	L	à	± 0,025	
H	± 0,013	± 0,013		M	± 0,15	± 0,08	± 0,13
E				N	à	± 0,20	± 0,025
G	± 0,025	± 0,025	± 0,13	U	± 0,08/0,25	± 0,13	± 0,13

7 Fraisage

Biseau plan		Angle de dépouille		Tournage	
A		F		04	
A	45°	A	3°	00	Angle vif
D	60°	B	5°	02	0,2
E	75°	C	7°	04	0,4
F	85°	D	15°	08	0,8
P	90°	E	20°	12	1,2
		F	25°	16	1,6
		G	30°	20	2,0
		N	0°	24	2,4
		P	11°	32	3,2

4 Type de plaquette et fixation

8 Etat de l'arête de coupe

9 Direction de coupe

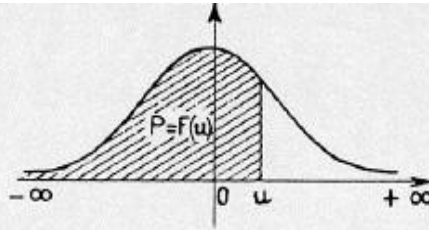
10 Pour identifier le brise-copeaux

Le code ISO comprend neuf symboles. Le 8ème et le 9ème symboles ne sont utilisés que si nécessaire. Le fabricant peut en outre ajouter deux symboles supplémentaires, par exemple, M = brise-copeaux semi-finition.

Annexe 2 : Tour conventionnel type SN 40 C



Annexe 3 : Table 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

Annexe 4 : pièce utilisé (alliages d'aluminium) :



Références

Bibliographique

CHAPITRE I

Généralité sur les matériaux ductiles

- [1] BARRALIS J., « Métallurgie élaboration, structures-propriétés, normalisation » Nathan, Paris, p.10, 1997
- [2] Savey S., « Les transformations récentes de l'industrie française de l'aluminium », in : Revue de géographie alpine, tome 56, n°3-4, p 569-591,1968
- [3] BAYER W Chimiste austro-hongrois (1847-1904) (L'alumine pure de Karl Bayer et son intégration dans l'industrie de l'aluminium », Les Cahiers d'histoire de l'aluminium) (N° 49), p20-45)
- [4] - VARGEL C., « métallurgie de l'aluminium », Dossier Techniques de l'ingénieur, M4663 V1, p1, 2010
- [5] - Groover, M.P., (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing, materials, processes and systems (4e Edition). Hoboken, NJ : John Wiley & sons, Inc. p. 383
- [6] - Beaulieu, D. (2013). Les caractéristiques de l'aluminium structural (2e Edition). Chicoutimi, Québec : Les Presses de l'aluminium. P10
- [7] Baïlon, J.-P., Dorlot, J.-M., (2000) Des matériaux (3e Edition). Canada : Presse internationales Polytechnique. P 520
- [8] Groover, M.P., (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing, materials, processes and systemes (4e Edition). Hoboken, NJ : John Wiley & sons, Inc. p.483 [9] F. Louchet et Y. Bréchet Sur la transition fragile-ductile 1, "Physics of toughness", Phys. Stat. (1992) p. 529-537.
- [10] Jean-Claude Charmet, Mécanique du solide et des matériaux Elasticité-Plasticité-Rupture, Cours de l'ENSPCI, Chapitre 4, p. 73, (1995)
- [11] Coffin L.F., A study of the effect of cyclic thermal stresses on a ductile metal, Trans. ASME, vol. 76, p. 931-950, (1954).

- [12] Michael F. Ashby, David R. H. Jones, Matériaux 1. Propriétés et applications, éd. Dunod, chap. 3 « Les constantes d'élasticité » p 28. (2000-2001) [13] Ch. Kittel, Physique du solide Tom 5, p70 (1993)
- [14] Sophie Trachte, Matériau, matière d'architecture soutenable thèse de doctorat en architecture », juin 2012, p534

CHAPITRE II

Théorie statistique

- [1] Brigitte Chaput et al. Autour de la modélisation en probabilités, P. 81, 2005.
- [2] Gilbert Saporta, Probabilités, analyse des données et statistique, Editions Technip,p 23, 2003 .
- [3] J. Torrens-Ibern, « Variété. Qu'est-ce que la statistique ? », Journal de la société statistique de Paris, P.38 vol. 1956, 2000.
- [4] Michael Genin - Université de Lille 2 P.32 Version du 19 février 2015.
- [5] Gilbert. Colletez, Statistique non paramétrique Master 2 Économétrie et Statistique Appliquée 13 octobre 2017 Tom 5 P 125.
- [6] Ancelle T. statistique Epidémiologie. Edition 2002.
- [7] Zarrouk. Fayçal, statistiques à distance, ISSEP Ksar-Saïd, 2011-2012. P 235
- [8] Photis .noblis, analyse statistique, université de luis pasteur, strasbourg, 2009.p150
- [9] Shwartz D. Méthodes statistique 1992. P 200
- [10] Jonathan Lenoir (MCU) Unité "Écologie et Dynamique des Systèmes Anthropisé 1992 TOM 2 ; p 14
- [11] A. Philippe Laboratoire de mathématiques Jean Leray 2016 p. 123

- [12] Dagnélie J. (1998) : Statistique théorique et appliquée, tome 1, p.20 : Statistique descriptive et base de l'inférence statistique et tome 2 : Inférence statistique à une et deux dimensions. De Boeck – Université
- [13] Pierre DUSART Cours de Statistiques inférentielles Licence 2-S4 SI-MASS Année 2018
- [14] Isabelle cadoret, Catherine Benjamin : Économétrie appliquée méthodes applications Ed De Boeck p 157. 2004
- [15] Laudia Aroujo et al, « Econométrie : Repères- Cours – Applications », Edition Bréal ,2004.
- [16] Bourbonnais. Régis, « économétrie, » 2e édition DUNOD p.40, Paris 1993.
- [17] Saporta, G., Probabilités, Analyse de Données et Statistique p.114, Dunod, 2006
- [18] DOR. E, économétrie, Synthèse de cours et exercices corrigés, collection synthex, Pearson Education France, p 289 .2004

Abstract

In the mechanical industry, the choice of optimal cutting parameters is very important in order to ensure a better surface condition of machined parts. Longer cutting tool life and higher productivity. The result of a good choice of cutting conditions can be seen by a reduction in cutting forces and tool vibration. The objective of this study is on the one hand to study the effects of cutting parameters (cutting speed, depth of cut, feed per revolution) on the surface condition of machined parts, productivity, cutting forces, the cutting dynamics, and on the other hand to choose the optimal cutting parameters when turning an aluminum alloy part.

We carried out stock removal tests on fixed and constant strokes, the variable parameters used are the feed (f_a) of the cutting tool, with a fixed depth of cut (p), and a speed of rotation of the part (N) variable

The results show that one can choose the optimal cutting conditions under different machining conditions and with a minimum of trials and its efficiency has been tested in four representative configurations

ملخص

في الصناعة الميكانيكية، يعد اختيار معلمات القطع المثلى أمرًا مهمًا للغاية من أجل ضمان حالة سطح أفضل للأجزاء المصنعة. عمر أطول لأداة القطع وإنتاجية أعلى. يمكن ملاحظة نتيجة الاختيار الجيد لظروف القطع من خلال تقليل قوى القطع واهتزاز الأداة. الهدف من هذه الدراسة هو دراسة آثار معلمات القطع (سرعة القطع، عمق القطع، التغذية لكل ثورة (على حالة سطح الأجزاء المجهزة، الإنتاجية، قوى القطع، ديناميكيات القطع، ومن ناحية أخرى لاختيار معايير القطع المثلى عند تدوير جزء من سبائك الألومنيوم.

لقد أجرينا اختبارات إزالة المخزون على ضربات ثابتة وثابتة، والمعلمات المتغيرة المستخدمة هي التغذية (f_a) (لأداة القطع، وعمق ثابت للقطع (p)، وسرعة دوران الجزء (N) متغير

تظهر النتائج أنه يمكن للمرء أن يختار ظروف القطع المثلى في ظل ظروف تشغيل مختلفة وبأقل قدر من التجارب وقد تم اختبار كفاءته في أربع تكوينات تمثيلية

