

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University, M'sila

Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف، المسيلة

كلية التكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER 2

En Génie Mécanique

Option : Construction

Présenté par :

HERAIZ Fouad & KRIM Ismail

Thème

Optimisation des paramètres de coupe au fraisage de l'acier A60

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom

Grade

Qualité

BEN KHARBACH.H

MCA

Encadreur

SLAMANI Mohamed

PROF

Président

LATRACHE Mohamed

Dr

Examineur

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Au meilleur des pères

A ma très chère maman Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout A mes sœurs et mon frère

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A mes Amis A tous ceux qui me sont cher

REMERCIEMENT

En premier lieu, le grand merci s'adresse au bon dieu, pour ce qui nous a offert, et ce qui nous a donné en vue de réussir ce modeste travail En second, tout le plaisir est à nous de venir, présenter nos remerciements les plus sincères à l'égard du Docteur Ben Kharbach .H, d'avoir accepté de nous encadrer pour la réalisation du présent travail, et nous tenons vivement à lui dire, MERCI pour le suivi, merci pour l'orientation et merci pour la patience, que Dieu le récompense pour ses bien faits.

Nos remerciements s'adressent aussi au membre du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner notre travail.

Par ailleurs, nous ne manquerons pas, d'afficher nos remerciements, notre respect à l'ensemble des enseignants du département Génie Mécanique de l'université Mohamed Boudiaf Msila, pour leurs efforts et orientations, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation

Résumé

Au cours de la developpement de domaine mecanique, la qualite et le rendement des systemes mecaniques devenue un but principal des operations d'usinage. La mielleure choix des paramatres de coupe ont des grands effets sur la qualité de surface. Notre travail consiste a etudier loptimisation des parametres de coupe au fraisage.

L'objet de ce travail est dessayez et faire de nombereuse changement des parametres de coupe (vitesse de coup, vitesse d'avance et le profondeur) affin d'attindre des surfaces a haute qualité de finition.

Mot-clés : paramatres de coupe, fraisage, la qualité de surface.

ملخص

مع التطور الحاصل في المجال الميكانيكي , اصبحت جودة و اداء الانظمة الميكانيكية هدفا اساسيا لعمليات المعالجة. افضل اختيار لشروط القطع له تاثيرات كبيرة على جودة السطح, يتمثل عملنا في دراسة تحسين معايير القطع.

الهدف من هذا العمل هو محاولة اجراء العديد من التغييرات شروط القطع (سرعة القطع , التقدم و العمق) من اجل تحقيق اسطح عالية الجودة.

كلمات مفتاحية : شروط القطع, الطحن, جودة السطح.

Sommaire

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste de Tableau

Introduction générale.....2

CHAPITRE 01 Généralités sur le fraisage

1.1 Généralités sur le fraisage.	5
1.2 Définition de fraisage	5
1.3 Types de fraisage.....	6
1.3.1 Fraisage en roulant.....	6
1.3.2 Fraisage en bout.....	7
1.4 Modes de fraisage.....	8
1.4.1 Fraisage de face	8
1.4.2 Fraisages en profil :	8
1.4.3 Fraisages en avalent.....	9
1.4.4 Fraisage en opposition :	9
I.5 Fraise.....	10
1.5.1 Types de fraise.....	10
1.5.2 Matériau des fraises	13
1.5.2.1 Acier Rapides Supérieurs ARS :	13
1.5.2.2 matériaux Carbure :	14
1.5.2.3 matériaux Cermets	14
1.5.2.4 matériaux Céramique	14
1.5.2.5 Nitrure de Bore Cubique (CBN)	15
1.5.2.6 Diamant.....	15
1.6 les fraiseuses.....	15
1.6.1 Classification des fraiseuses	16
1.6.1.1 Fraiseuse horizontale	16
1.6.1.2 Fraiseuse verticale.....	16

1.6.1.3 Fraiseuse universelle	17
1.6.2.1 Fraiseuse 3 axes	18
1.6.2.2 Fraiseuse 4 axes	19
1.6.2.3 Fraiseuse 5 axes	20

CHAPITRE 2 Influence des paramètres de coupe en fraisage

2.1. Éléments de régime de coupe au fraisage	22
2.1.1 Vitesse de coupe	22
2.1.2 Vitesse d'avance	23
2.1.3 Profondeur de passe et engagement latéral.....	24
2.1.4 Volumes de copeau débité	24
2.2 Qualités de surface	25
2.3 Effet de la température de coupe sur l'outil et la pièce.....	25
2.4 Influence de la géométrie de l'outil en fraisage	26
2.4.1 Influence des angles des outils	26
2.4.2 Influence de la géométrie de la brise copeau.....	26
2.4.3 Influence de la position relative des parties actives de l'outil	26
2.4.4 Conséquence de l'endommagement sur la qualité de la pièce	27
2.5 Usure des outils	27
2.5.1 Les phénomènes d'usure	27
2.5.1.1 Par effets mécaniques	27
2.5.1.2 Par phénomènes physico-chimique.....	28
2.5.2 Manifestation de l'usure.....	28
2.5.2.1 Usure en dépouille	29
2.5.2.2 Usure en cratère	29
2.6 Matériaux des outils	30
2.7 Les facteurs influant sur la rugosité	30
2.7.1 Avance et profondeur de passe	31
2.7.2 Vitesse de coupe	31
2.8 Effort de coupe lors du fraisage	31
2.8.1 Définition et intérêt de leur mesure	31
2.9 Puissance de coupe.....	32
2.10 Les défauts d'états de surface :	32
2.11 Formation de copeaux	33

2.11.1 Mode de formation de copeaux	33
2.11.2 Épaisseur maximum Des copeaux.....	34
2.11.3 L'amincissement des copeaux autorise une augmentation de l'avance.....	34
2.12 Rugosité.....	34
2.12.1 Principaux paramètres de la rugosité.....	35
2.12.2 Méthodes de mesure de la rugosité.....	35
2.12.3 Testeur de rugosité.....	36

CHAPITRE 03 Etude expérimentale

3.1 Introduction	39
3.2 Etude expérimentale sur l'optimisation des paramètres de coupe.....	39
3.2.1 Matériaux utilisés	39
3.3 L'acier A60	39
3.3.1 Composition Chimique moyen L'acier A60.....	39
3.3.2 Composition mécaniques moyen L'acier A60.....	40
3.4 La méthode de travail:.....	40
3.5 Critère de rugosité	41
3.5.1 La rugosité moyenne du profil (Ra).....	41
3.5.2 La hauteur de profil maximum (Rz)	42
3.5.3 La hauteur de profil total (Rt).....	42
3.6 Influences des paramètres de coupe sur la qualité de surface	42
3.6.1 L'influence de vitesse l'avance sur la rugosité	45
3.6.2 L'influence de vitesse de coupe sur la rugosité.	46
Conclusion Générale	49
Référence.....	50

Liste des figures

CHAPITRE 01 Généralités sur le fraisage

Figure 1.1 Machine de fraisage [2]	6
Figure 1.2 Fraisage en roulant [4].	7
Figure 1.3 Fraisage en bout [4].	7
Figure 1.4 Fraisage de face [6]	8
Figure 1.5 Fraisage de profil [6]	9
Figure 1.6 Fraisage en avalant	9
Figure 1.7 Fraisage en opposition	10
Figure 1.8 Types d'arrêtes tranchantes [3]	10
Figure 1.9 Type de tailles de fraise [10]	11
Figure 1.10 Quelques formes de fraises [3]	11
Figure 1.11 Les types de dentures de la fraise [3]	12
Figure 1.12 Le nombre de dents de la fraise [11]	12
Figure 1.13 Le diamètre d'une fraise [11]	13
Figure 1.14 Mode de fixation de la fraise [3]	13
Figure 1.15 Les outils de fraisage en ARS [13]	14
Figure 1.16 Fraiseuse horizontale [14]	16
Figure 1.17 Fraiseuse verticale	17
Figure 1.18 Fraiseuse universelle [17]	18
Figure 1.19 Fraiseuse 3 axes [16]	19
Figure 1.20 Fraiseuse 4 axes [17]	20
Figure 1.21 Fraiseuse 5 axes [18]	20

CHAPITRE 2 Influence des paramètres de coupe en fraisage

Figure 2.1 Paramètres de coupe [20]	22
Figure 2.2 La vitesse de coupe [21]	23
Figure 2.3 L'avance [21]	24
Figure 2.4 Profondeur de passe [19].	24
Figure 2.5 Battement axial et radial des dents de la fraise.	27
Figure 2.6 Les Phénomènes d'usure [32]	28
Figure 2.7 Usure en dépouille [33]	29
Figure 2.8 Usure en cratère [33]	30

Figure 2.9 Profil de surface [41]	33
Figure 2.10 formation de copeaux.....	34
Figure 2.11 Rugosimètre	36
Figure 2.12 Chaîne de mesure de rugosité [43]	36
Figure 2.13 Détail du palpeur [43]	37

CHAPITRE 03 Etude expérimentale

Figure 3.1 la pièce a usiné	41
Figure 3.1 variation de la rugosité (R) en fonction denompre de tours (N)	44
Figure 3.2 variation de la rugosité (R) en fonction de l'avance (A)	45
Figure 3.3 variation de la rugosité (R) en fonction de vitesse de coupe (Vc)	46
Figure 3.4 variation des volumes de copeau débité (v) en fonction vitesse d'avance	46

Liste de Tableau

Tableau 3.1 : Résultats expérimentaux de mesure de la rugosité.....	43
--	-----------

Introduction générale

Introduction générale

L'usinage est un processus de génération de surface. Il s'agit de créer de nouvelles surfaces en enlevant de la matière (formant des copeaux) avec un outil de coupe. Les propriétés de cette surface dépendent du couple outil-matériau, c'est-à-dire des paramètres intervenant dans le processus de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe

La technologie d'usinage a subi de nombreuses améliorations depuis sa création. Afin de rester en conformité avec les exigences industrielles, qu'elles soient économiques ou écologiques, le procédé de mise en forme de matière par enlèvement de matière a été remis en cause.

Cependant, les ingénieurs de fabrication doivent donc être en mesure de répondre à un grand nombre de questions afin de produire rapidement des pièces de la qualité souhaitée à moindre coût. Par exemple, dans le cas de l'usinage :

Quel type de machine faut-il utiliser et suffira-t-elle en termes de puissance et de précision ?

- Quelles sont les conditions de coupe à utiliser pour minimiser l'endommagement des outils ou du matériau usiné ?
- Quelles sont les solutions à adopter lors de la conception des outils et dans quels matériaux doivent-ils être fabriqués pour améliorer leur durée de vie et/ou la qualité des états de surface des pièces usinées ?
- Quelles sont les propriétés mécaniques de la pièce après usinage ?
- Est-il possible d'usiner sans apport de lubrifiant ? ...

Il y aurait encore un nombre considérable de questions, dont il est difficile d'établir une liste exhaustive. L'état d'avancement des connaissances sur le plan fondamental ne peut apporter de réponse à toutes ces questions. En revanche, la technologie et les techniques d'usinage ont permis de faire évoluer et d'optimiser la production.

C'est dans cet objectif que ce travail est lancé, il a été constaté que de nombreux industriels de notre secteur économique ne se basent pas sur des calculs bien établies afin d'optimiser leur production ou bien même d'améliorer leur travaux d'usinage, par manque de formation et parfois par ignorance les opérateurs sur machine d'usinage tâtonne sur les conditions de coupes afin de trouver la bonne combinaison qui offre le meilleur usinage, cela engendre des perte de temps et de matière première, considérable. Parmi les objectifs de ce travail c'est de rassembler dans le même fichier, le maximum de données de coups les mieux adaptées pour l'usinage en tournage et en fraisage.

Comme toutes les entreprises il est possible de faire un devis d'une pièce usinée et c'est très simple avec comme seul logiciel un tableur type Excel.

La plupart du temps ce logiciel est déjà intégré dans nos ordinateurs.

Cependant la création de ce genre de devis manuel prend énormément de temps et n'est souvent pas très précis et terme de retour sur investissement.

Optimisé le devis d'une pièce usinée a pour objectif :

Être plus proche du prix réel pour calculer sa marge réelle Fournir des chiffrages précis aux donneurs d'ordre

Eviter les mauvaises affaires Négocier sur des bonnes bases Augmenter le nombre de devis émis

Planifier la production sur des temps valides.

Actuellement il existe plusieurs applications de calculs de devis de pièces usinée, ce que nous avons remarqué c'est que ces applications sont parfois payantes pour le téléchargement et utilisation, parfois leur utilisation est trop compliquée et nécessite des connaissances très poussées dans le domaine de l'ingénierie de l'usinage et parfois leur utilisation ne correspond pas au besoin réel de nos entreprises de manière générale.

Dans ce travail, nous avons traité trois chapitres ;

Chapitre 1 : présentation des généralités sur le fraisage (Définition de fraisage, Types de fraisage, modes de fraisage ...etc)

Chapitre 2 : Influence des paramètres de coupe en fraisage

Chapitre 3 : étude expérimentale sur l'optimisation des paramètres de coupe

CHAPITRE 01

Généralités sur le fraisage

1.1 Généralités sur le fraisage.

Le processus de fraisage est l'un des processus les plus courants dans l'industrie du formage. Il peut produire des formes complexes avec une variété d'outils de coupe constitués de plusieurs arêtes de coupe animées par un mouvement de rotation.

L'usinage est le processus de génération de surfaces. Cela comprend la création d'une nouvelle surface sur laquelle le matériau est enlevé (écaillage) avec un outil de coupe. Les propriétés de cette surface dépendent du couple outil-matériau, c'est-à-dire des paramètres impliqués dans le processus de coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, profondeur de coupe, etc.).

En usinage, une variété de configurations peut être utilisée en fonction du processus de coupe (Fraisage, rabotage, tournage).

1.2 Définition de fraisage

En principe, le fraisage est un procédé de fabrication mécanique par découpe (Enlèvement de matière) impliquant de manière coopérative le mouvement de rotation d'un outil avec plusieurs arêtes (mouvement de coupe) et avancement linéaire de la pièce (appelé mouvement à l'avance). Aujourd'hui, cependant, les outils sont relativement section, ce qui peut être fait dans presque toutes les directions. Fraisage, Les fraises ont plusieurs arêtes de coupe, chacune enlevant une certaine quantité de métal sous forme de jetons. Les avantages du fraisage sont une efficacité élevée et une bonne finition Surfaces et haute précision avec une grande flexibilité au niveau de la génération de formes différentes. Dans la plupart des cas, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, Épaules et rainures [1]



Figure 1.1 Machine de fraisage [2]

1.3 Types de fraisage

Dépend de la finition de surface souhaitée, du type de machine, du type d'outil, de la taille Le nombre de surfaces à usiner, l'emplacement des surfaces sur la machine, la taille de l'outil et Le débit requis, il existe deux types de broyage, à savoir [3] :

1.3.1 Fraisage en roulant

L'axe de l'outil est placé parallèlement à la surface à usiner. Le couteau coupe à son diamètre. La charge sur la machine est irrégulière, en particulier lors de l'utilisation de fraises à dents droites. Les bosses causées par cette méthode créent une surface ondulée et striée. Pour pallier ces déficiences, des outils à denture hélicoïdale sont utilisés. Les améliorations enregistrées sont expliquées comme suit : Chiffres pour le chargement et le déchargement progressif des dents (1.2).

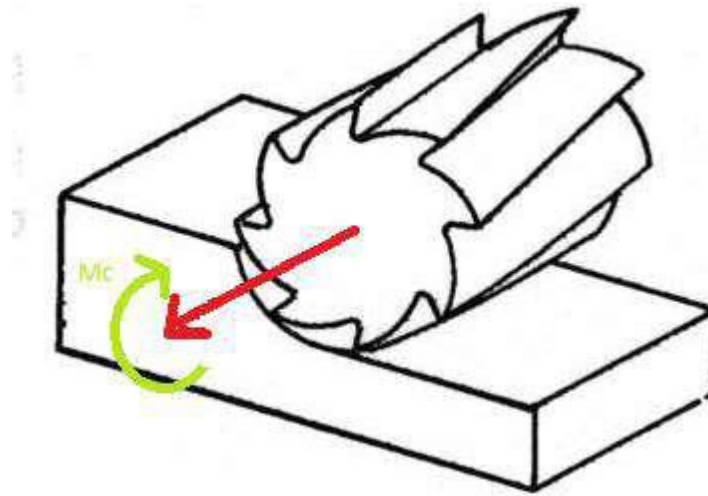


Figure 1.2 Fraisage en roulant [4].

1.3.2 Fraisage en bout

L'axe de l'outil est placé perpendiculairement à la surface à usiner. Le couteau coupe avec son diamètre et aussi avec son front. Les copeaux ont la même épaisseur, donc la charge sur la machine est plus régulière. La capacité de coupe est supérieure à celle du taillage. Image d'un état de surface de meilleure qualité (1.3).

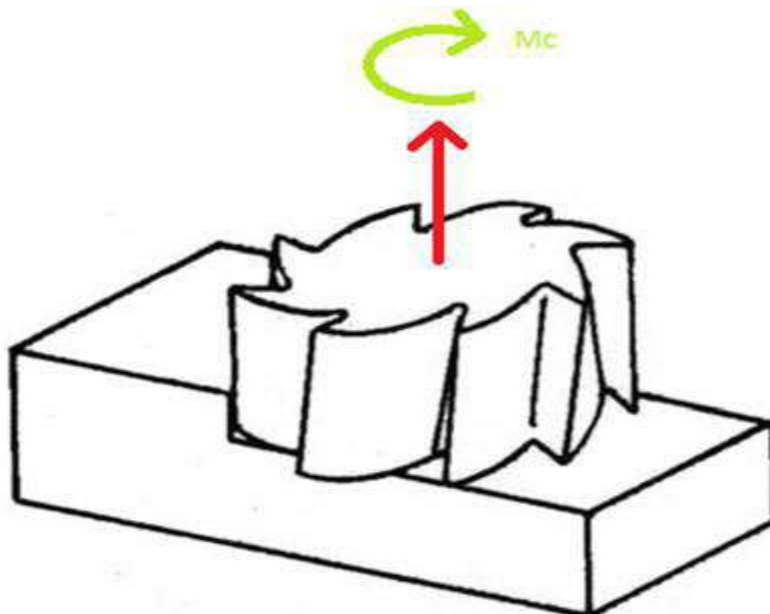


Figure 1.3 Fraisage en bout [4].

1.4 Modes de fraisage

1.4.1 Fraisage de face

Le surfacage (ou aussi appelé fraisage en bout) est un mode de fraisage dans lequel l'axe de l'outil est perpendiculaire au plan de la pièce usinée, ce mode peut créer des piqûres dues aux "trochles" laissées en surface après l'usinage de la pièce. Ces marques sont laissées par les dents du couteau, comme le montre l'image ci-dessous. [5]

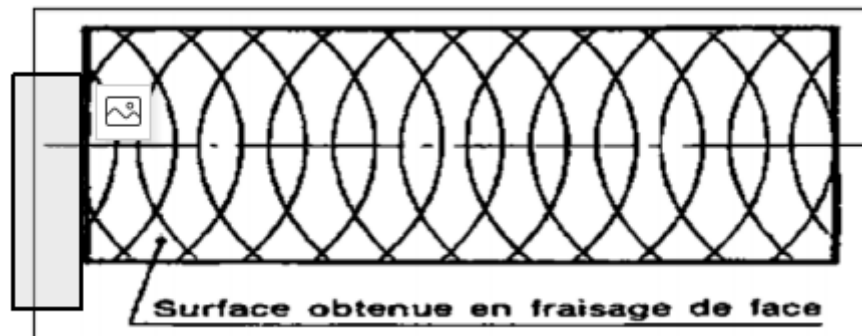


Figure1.4 Fraisage de face [6]

1.4.2 Fraisages en profil :

Le fraisage de profil (ou également appelé taillage) est un type de fraisage dans lequel l'axe de fraisage est parallèle au plan de la pièce usinée.

Ce motif se caractérise par la présence de légères ondulations en surface, qui sont à l'origine de la présence des dents de la fraise.

Cependant, si la vitesse d'avance et le diamètre de l'outil, par exemple, si la vitesse d'avance est agressive, l'ondulation sera plus prononcée. [5]

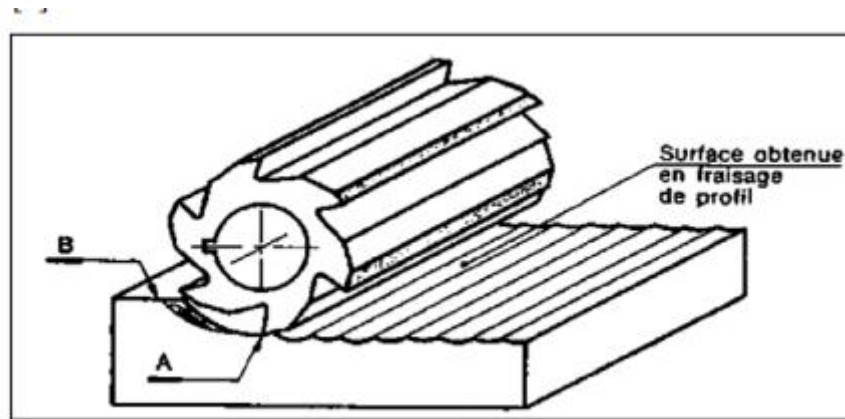


Figure 1.5 Fraisage de profil [6]

1.4.3 Fraisages en avalent

Fraisage en avalant, l'effort de coupe est dans le même sens que le mouvement de la pièce ; donc, l'épaisseur du copeau va diminuer jusqu'à être égale à zéro en fin de passe ; cela crée une épaisseur de coupe importante avec le risque d'endommager l'outil de coupe. L'avantage est que la finition de la surface usinée est bonne. [7]

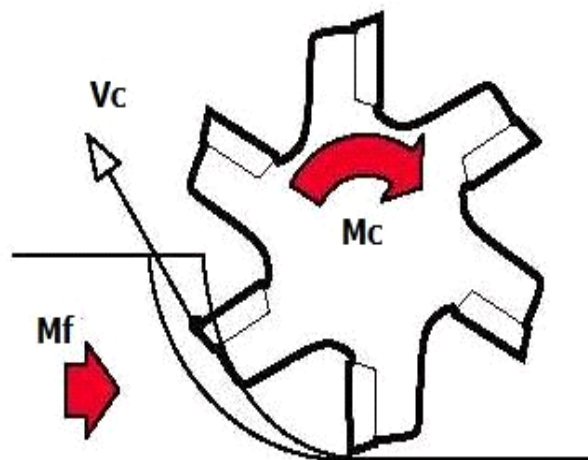


Figure 1.6 Fraisage en avalant

1.4.4 Fraisage en opposition :

Ci-contre : L'effort de coupe tangentiel de l'outil s'oppose à l'avancement de la pièce à fraiser. Il possède plusieurs fonctionnalités dont les plus importantes sont :

L'attaque des dents se fait à épaisseur nulle, ce qui peut entraîner une coupe rejetée (écaillage minimum) sur la surface à générer. Ce refus de couper crée des frottements, qui à leur tour provoquent une usure supplémentaire de l'outil de coupe, L'attaque s'effectue sur la surface durcie

de la dent précédente, Les forces de coupe ont tendance à pousser la pièce hors de sa position (force vers le haut).[8].[9]

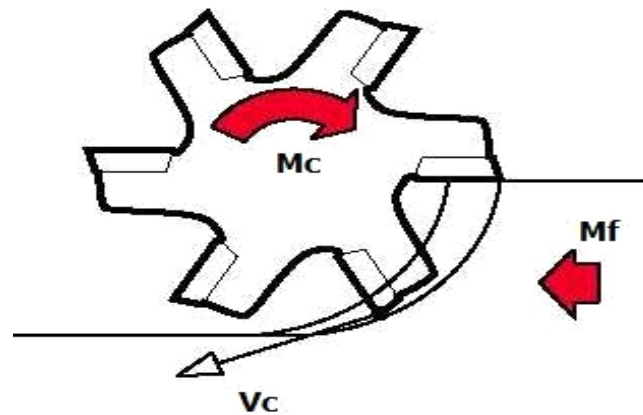


Figure 1.7 Fraisage en opposition

1.5 Fraise

L'outil - appelé fraise - est toujours animé d'un mouvement de rotation autour de lui Axe Mc (mouvement de coupe). Il repose et est bloqué par le porte-couteau, lui-même fixé à Broche de machine-outil, [3]

1.5.1 Types de fraise

a) Types d'arrêtes tranchantes

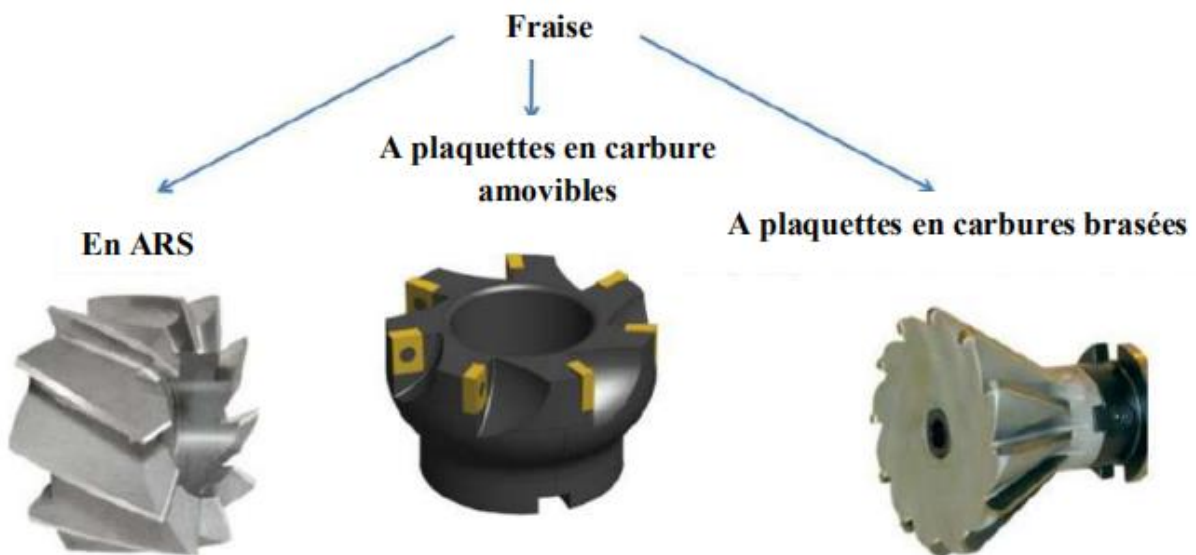
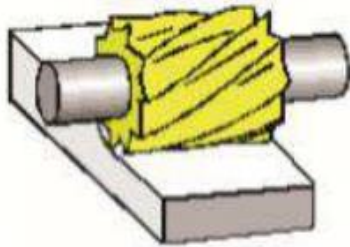


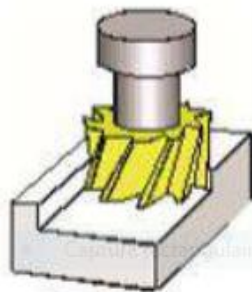
Figure1.8 Types d'arrêtes tranchantes [3]

b) La taille

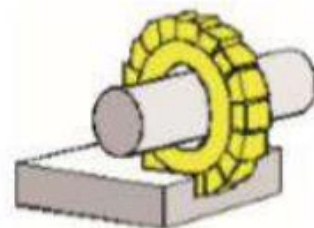
Selon le nombre de tranchants par dent, il existe des fraises : une taille, deux tailles ou trois tailles.



**Fraise rouleau à une
Seule taille
Surfaces planes**



**Fraise cylindrique à 2
tailles
Surfaces planes et angles**



**Fraise 3 tailles
Dentures alternées
Gorges, rainures**

Figure 1.9 Type de tailles de fraise [10].

c) La forme

Selon le profil de la génératrice par rapport à l'axe de l'outil, il existe des fraises Outils cylindriques, coniques et profilés



Fraise cylindrique



Fraise conique



Fraise de forme

Figure 1.10 Quelques formes de fraises [3]

d) La denture

En fonction de l'inclinaison du tranchant par rapport à l'axe de l'outil, Il y a des engrenages hélicoïdaux et des engrenages doubles hélicoïdaux alternés à gauche et à droite.

Si le tranchant est parallèle à l'axe de l'outil, la dent



Figure 1.11 Les types de dentures de la fraise [3].

e) Nombre de dents

Un outil se caractérise aussi par son nombre de dents

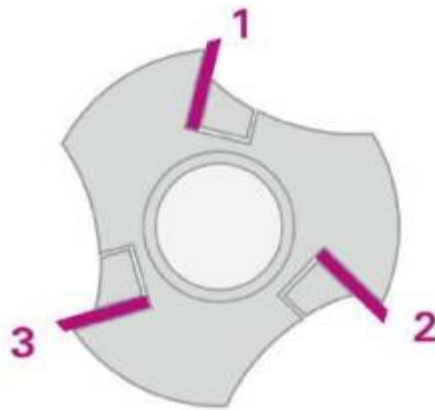


Figure 1.12 Le nombre de dents de la fraise [11]

f) Dimensions

- Pour deux tailles de couteaux : diamètre et hauteur de coupe.

Pour les fraises trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre du trou.

- Pour les fraisages en g) Mode de fixation
- La fixation peut être grâce à un trou lisse ou taraudé, à queue cylindrique ou conique.

D'aronde

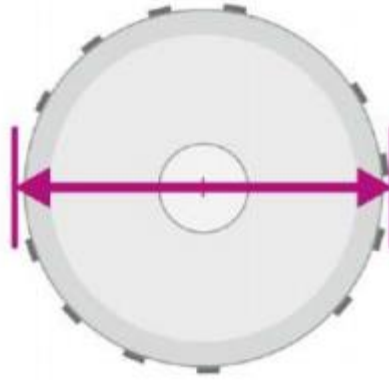


Figure 1.13 Le diamètre d'une fraise [11].

g) Mode de fixation

La fixation est possible à travers des trous lisses ou filetés avec des tiges cylindriques ou coniques.



Figure 1.14 Mode de fixation de la fraise [3]

1.5.2 Matériau des fraises

1.5.2.1 Acier Rapides Supérieurs ARS :

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont en acier faiblement allié traité thermiquement. Il est encore utilisé dans certains types d'outils tels que Perceuses ou outils nécessitant des angles d'arête de coupe extrêmement faibles. Ils ne permettent pas des vitesses de coupe élevées, car trop de chauffage éliminera la trempe de l'outil et provoquera donc un affaissement rapide de l'arête de coupe.

-Fabrication : par moulage sous pression ou métallurgie des poudres

- Composition : Au moins 0,7 % de carbone, environ 4 % de chrome
- Tungstène : Molybdène, Vanadium. Le cobalt est le plus dur.
- Dureté: de 63 à 66 Hrc



Figure 1.15 Les outils de fraisage en ARS [13]

1.5.2.2 matériaux Carbure :

Les outils en carbure sont les outils les plus utilisés aujourd'hui. Il existe toutes les formes pour chaque matériau et chaque type de traitement. Ils se présentent sous la forme de plaques fixées sur des porte-outils. Le remplacement des plaquettes est donc très rapide. Ils sont généralement revêtus de carbures plus durs. On obtient ainsi une plaquette dont le coeur est dur et dont la surface externe est très dure.

Fabrication : Frittage de poudre, puis enrobage

Composition : Noyau en carbure de tungstène (température de fusion 2600°) ou Carbure de Titane (3100°), ou Tantale (3780°) ou Molybdène (3500°) Liant : Cobalt : Le plus courant ou Nickel. Revêtement d'alumine (céramique appelée corindon Al_2O_3). [5]

1.5.2.3 matériaux Cermets

Le nom vient du métal céramique car il signifie carbure avec des particules de titane, Carbonitrure de titane ou nitrure de titane., ces outils doivent être alliés avec des carbures

Le molybdène augmente sa ténacité. Ils sont utilisés pour la grande vitesse Coupe associée à une faible avance, donc pour la finition. En raison de la fragilité du matériau, la coupe ne doit pas être interrompue (lignes de séparation, etc.) [12]

1.5.2.4 matériaux Céramique

Pour les outils coupants, ce sont des oxydes et des nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium. Les céramiques ont une dureté élevée (et donc une faible ténacité), une grande stabilité à haute température et ne réagissent pas avec le matériau traité. Céramique Permet des flux de matière importants, mais nécessite une bonne stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et des méthodes d'usinage appropriées (méthodes d'outillage) [12]

1.5.2.5 Nitrure de Bore Cubique (CBN)

Le CBN a une dureté très élevée et est le matériau le plus dur après le diamant. Par rapport au diamant, il présente l'avantage de ne pas s'oxyder à haute température. Il est également utilisé pour la fabrication de meules, l'usinage de pièces dures... Ses impératifs d'utilisation :

- machine stable
- Grande rigidité des pièces et porte-pièces
- Arrosage [12]

1.5.2.6 Diamant

Le diamant est largement utilisé comme partie intégrante des meules ou comme particules pour le réaffûtage des meules. Il a un faible coefficient de frottement, limitant l'apparition d'arêtes supplémentaires (réduisant ainsi l'encrassement). En revanche, son énorme inconvénient est son instabilité à haute température. Un diamant soumis à des températures supérieures à 650° se transforme en un morceau de graphite normal... il ne peut donc pas être utilisé dans les matériaux ferreux. En revanche, il convient au traitement à basse température des matériaux non ferreux : alliages d'aluminium, cuivre, magnésium, résines thermodurcissables [12]

1.6 les fraiseuses

Le fraisage est un processus d'usinage qui peut être effectué sur une machine-outil appelée fraiseuse. Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner des pièces mécaniques prismatiques, à rotation interne et externe, à contour spécial et hélicoïdales en enlevant de la matière des blocs ou parfois des ébauches estampées ou moulées à l'aide d'outils de coupe appelés fraises. En plus de l'outil bien nommé, les fraiseuses peuvent également être équipées de forets, de tarauds ou d'alésoirs.

1.6.1 Classification des fraiseuses

a. Ancienne classification

Avant l'avènement de la commande numérique, les fraiseuses étaient catégorisées de la façon suivante :

1.6.1.1 Fraiseuse horizontale

Sur ce type de fraiseuse, l'axe de la broche est parallèle à la table. Cette solution permet aux copeaux de tomber afin qu'ils ne restent pas sur la pièce. De cette façon, les copeaux ne sont pas usinés et la qualité de la pièce est meilleure. Cependant, ce type de montage est principalement destiné à installer des fraises à 3 dents ou à disque pour le rainurage de profilés plats.



Figure 1.16 Fraiseuse horizontale [14]

1.6.1.2 Fraiseuse verticale

Sa structure est très similaire à celle d'une fraiseuse horizontale car elle comporte les mêmes pièces : base, colonne, console, support et table. La broche de la machine est positionnée verticalement. L'outil est monté sur la broche. L'arbre principal est entraîné en rotation par la puissance obtenue par le mécanisme placé dans la colonne. Les surfaces d'angle sont usinées en faisant tourner la tête de broche.



Figure 1.17 Fraiseuse verticale

1.6.1.3 Fraiseuse universelle

Dans ce type de fraiseuses, l'axe de la broche est réglable.

- Tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre)
- Tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (inclivée à 45°)
- Tête articulée



Figure 1.18 Fraiseuse universelle [17]

b. Nouvelle classification

Aujourd'hui, les machines à manivelles ont pratiquement disparu et les CNC peuvent déplacer simultanément des axes qui étaient auparavant presque systématiquement fixes. Cela conduit à une révision de la classification plus dépendante des contraintes rencontrées au niveau de l'opération d'usinage.

1.6.2.1 Fraiseuse 3 axes

Deux types de fraiseuses sont envisagés : Fraiseuse à broche verticale. L'axe Z est vertical.

Fraiseuse à broche horizontale. L'axe Z est horizontal. Dans les deux cas, l'outil est perpendiculaire à la table, mais la position de la table est différente. Dans le cas d'une broche horizontale, les copeaux et fluides de lubrification qui s'accumuleraient autrement dans les pièces creuses (souvent appelées barilletts) sont mieux drainés.



Figure 1.19 Fraiseuse 3 axes [16]

1.6.2.2 Fraiseuse 4 axes

Il s'agit généralement d'une fraiseuse à broche horizontale à trois axes avec table tournante. C'est une configuration très pratique dans l'industrie de la production de machines (automobile, aviation).

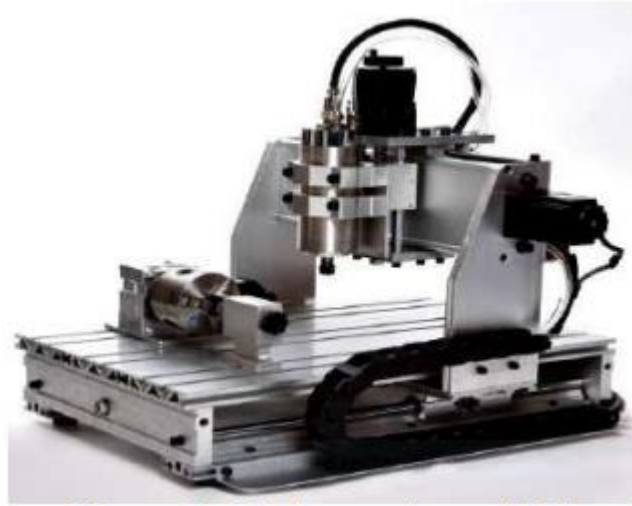


Figure 1.20 Fraiseuse 4 axes [17]

1.6.2.3 Fraiseuse 5 axes

Plusieurs topologies de construction peuvent être trouvées dans cette catégorie. Les fraiseuses 5 axes ont toujours le choix entre 3 axes linéaires (X, Y, Z) et 2 axes rotatifs (A, B, C). Ces machines seront différenciées par la position de l'axe de rotation.



Figure 1.21 Fraiseuse 5 axes.[18]

CHAPITRE 2

Influence des paramètres de coupe en fraisage

2.1. Éléments de régime de coupe au fraisage

Les paramètres de coupe sont : la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de coupe. Ces paramètres fondamentaux ont un impact significatif sur le mécanisme de dégradation des outils coupants [21].

Avant d'effectuer une opération de fraisage, il est nécessaire de sélectionner les bonnes conditions de coupe pour de bons résultats (précision, état de surface, etc.). Plusieurs critères permettent de définir précisément les conditions de coupe [19] :

- Type de machine (mécanisme, plage de vitesse,)
- La puissance de la machine
- Matériau de l'outil (ARS, carbure, etc.)
- Matériaux de transformation (acier, aluminium, etc.) [19].

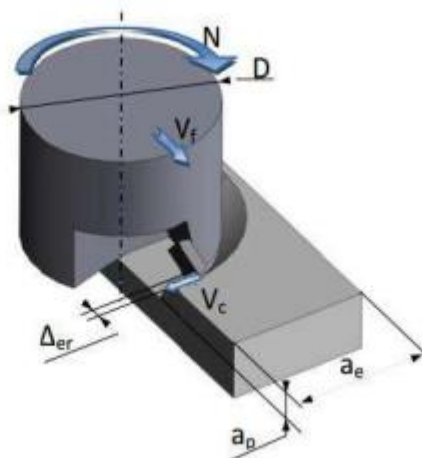


Figure 2.1 Paramètres de coupe [20]

2.1.1 Vitesse de coupe

La vitesse de coupe, notée V_c , est directement liée au mouvement de coupe. Cette vitesse est un paramètre de base pour la formation des copeaux. Cela dépend de la configuration d'usinage, du procédé et du couple outil/matériau. La définition de la vitesse de coupe est très importante car elle détermine la vitesse de rotation ω de la pièce (en unités de rd. s^{-1}) [20].

$$V_c = R\omega \quad (I.1)$$

La vitesse d'outil N (en tr/min) peut alors être déduite de l'équation ci-dessus

$$N = V_c \cdot 1000 / \pi D$$

$$V_c = \pi D N / 1000 \quad (I.2)$$

Où R et D (mm) sont respectivement le rayon et le diamètre de la pièce ou de l'outil.

D : Diamètre de la fraise (mm).

N : Vitesse de broche (tr/min).

V_c : Vitesse de coupe (m/mm).

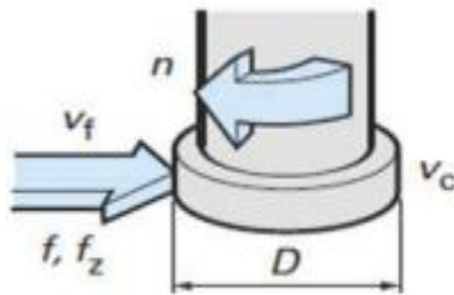


Figure 2.2 La vitesse de coupe [21]

2.1.2 Vitesse d'avance

Ce qui sera affiché sur la machine est la vitesse de translation de la pièce/outil. Ce paramètre est calculé selon la formule suivante : [22].

$$V_f = F \cdot Z \cdot N \quad (I.3)$$

Z : est le nombre de dents de l'outil, N est la fréquence de rotation

V_f : Vitesse d'avance (mm/min).

F : Avance par dent (mm/dent).

N : Fréquence de rotation en tours par minute (tr/min).

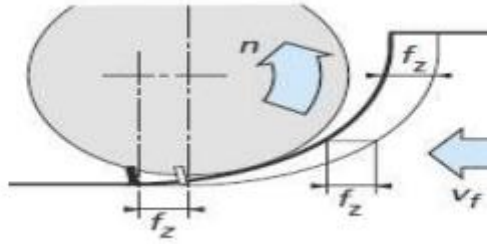


Figure 2.3 L'avance [21]

2.1.3 Profondeur de passe et engagement latéral

La profondeur de coupe est la profondeur axiale dans le matériau (Fig. 4) La profondeur de coupe par rapport à l'avance affecte la formation des copeaux car elle modifie la section transversale du copeau et donc l'énergie nécessaire pour le couper. [22].

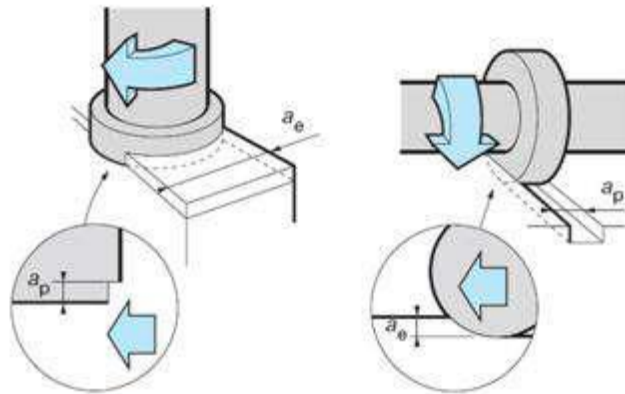


Figure 2.4 Profondeur de passe [19].

2.1.4 Volumes de copeau débité

Ont appelé volume de copeau débité, le volume de matière enlevé en une suivante :

$$v = \frac{P \cdot B \cdot A}{1000} \quad \text{Exprimé en cm}^3/\text{mm} \quad (2.1)$$

P : profondeur de passe (mm)

B : largeur du fraisage (mm)

A : vitesse l'avance (mm/min)

Le volume débité varie suivant l'usinage utilisé .BN ébauche, on usine avec des avances et profondeurs de passe très grande ce qui entraine un grand volume débite, par contre en finition le volume débité est faible

D'après la formule (2.1), on constate que le volume débité est déterminé par l'avance donc de la vitesse de coupe, la profondeur de passe et la largeur de fraisage.

2.2 Qualités de surface

Depuis quelques années, on a commencé à s'intéresser à l'étude de la qualité de surface et à faire des recherches sur les facteurs d'usinage qui l'influencent.

Après chaque usinage, la surface usinée présente une certaine rugosité qui détermine le degré de qualité. Mesurée à l'aide d'un profilomètre, cette rugosité dépend de :

1. Paramètres du régime de coupe (avance, vitesse de coupe)
2. Nature de la matière à usiner
3. Liquides d'arrosage
4. Usures de la fraise
5. Profilomètre géométriques de la fraise
6. Vibrations

2.3 Effet de la température de coupe sur l'outil et la pièce

Pour les outils en céramique, il faut s'assurer que l'opération génère une température suffisamment élevée pour plastifier la matière de la pièce devant le tranchant. Cela réduit l'effort exercé par l'outil et facilite l'enlèvement de matière, 80% de la chaleur étant dissipée par la puce. Si la vitesse de coupe est trop faible, il y a un risque de rupture prématurée de la plaquette, il est donc préférable de commencer trop vite puis d'ajuster la vitesse pour contrôler au maximum l'usure en dépouille. La largeur de la passe affecte la température de la filière. [25] L'effet de la température de coupe, en particulier lorsqu'elle est élevée, est préjudiciable à l'outil de coupe et à la pièce à usiner. Les effets nocifs sur les outils sont :

- l'usure, qui raccourcit la durée de vie de l'outil ;
- Déformation plastique de l'arête de coupe si le matériau de l'outil n'est pas assez dur
- Détérioration de l'arête de coupe due à un choc thermique ;
- Formation de bord bâti.

Effets néfastes de la température sur la pièce :

- Dimensions imprécises des pièces dues à la déformation thermique,

- Expansion et contraction pendant et après le traitement,
- dus à l'oxydation, à la corrosion rapide, au feu,
- Créer une contrainte résiduelle sur la surface. Cependant, des températures de coupe élevées réduisent généralement la force de coupe et, à un moment donné, la puissance de coupe consommée par la réduction de la force de cisaillement. [24]

2.4 Influence de la géométrie de l'outil en fraisage

2.4.1 Influence des angles des outils

Du point de vue de l'interaction entre l'outil et la pièce, les travaux d'amélioration de la géométrie de l'outil de fraisage, notamment l'angle de dépouille [25], ont contribué à l'allongement de la durée de vie de l'outil. Qualité géométrique de la surface. Gem [26] a proposé une méthode d'optimisation des angles de coupe axiale et radiale basée sur des études dynamiques de l'outil et de la pièce. Wertheimer [27] a développé des géométries évolutives pour les plaquettes indexables sur les fraises à surfacer et en bout. Cette nouvelle géométrie de plaquette indatable améliore la qualité macro géométrique de la surface et réduit la composante d'effort de coupe tangentielle.

2.4.2 Influence de la géométrie de la brise copeau

Au fur et à mesure que les géométries de coupe s'amélioraient, Wertheimer [27] a développé une forme spéciale de brise-copeaux pour limiter l'usure des plaquettes indexables. Le brise-copeaux modifie ainsi la répartition de la composante de l'effort de coupe et réduit l'épaisseur des copeaux. En fraisage combiné, cette géométrie améliore la précision dimensionnelle et géométrique ainsi que la rugosité de la surface de l'épaulement.

2.4.3 Influence de la position relative des parties actives de l'outil

Il y a une différence entre les positions réelles et théoriques. Ces défauts liés au faux-rond axial et radial modifient la section des copeaux et la répartition des efforts de coupe. Cela conduit à des différences de géométrie et d'état de surface [28]. Un espacement inégal entre les dents crée des irrégularités de contour. S'irise et Altintas [29] utilisent le pas de denture ou pas variable en surfacage. Ainsi, les efforts de coupe sont dynamiquement redistribués, limitant les perturbations vibratoires et réduisant les écarts géométriques.

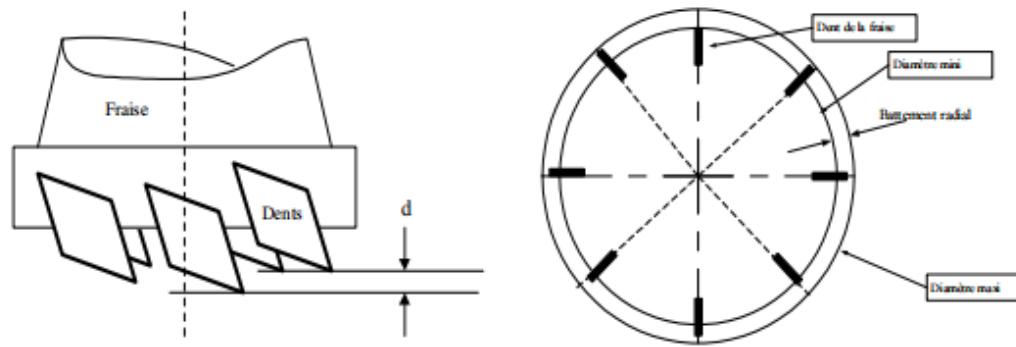


Figure 2.5 Battement axial et radial des dents de la fraise.

2.4.4 Conséquence de l'endommagement sur la qualité de la pièce

Ce sont des travaux de Taylor qui convertissent l'usure d'un outil selon les critères d'usure (Land Wear V_b et Dimple Wear : K_t), qui est la loi de vie de l'outil. La loi d'usure de Taylor a été généralisée par Gilbert en utilisant des paramètres tels que la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de coupe, et ses coefficients ont été déterminés expérimentalement. Les conséquences de l'usure de l'outil se traduisent par des écarts de géométrie et de rugosité, et peuvent même entraîner une dégradation de la pièce en cas de défaillance soudaine de l'outil. Des matériaux d'outils améliorés (traitements de surface : PVD, CVD et matériaux céramiques) réduisent l'usure. Le suivi de l'usure permet de suivre les procédés d'usinage, [30] et [31].

2.5 Usure des outils

Les tranchants des outils constituant les éléments actifs réalisant le travail de déformation sont soumis à des contraintes mécaniques et thermiques très sévères, qui peuvent conduire à leur usure et à leur détérioration dans un temps relativement limité. À très hautes pressions et hautes températures, des frottements à l'interface de l'outil se produisent entre le métal naissant et l'outil, ce qui produit des effets physico-chimiques qui augmentent l'usure de l'outil. [32]

2.5.1 Les phénomènes d'usure

2.5.1.1 Par effets mécaniques

a) Usure adhésive Il y a des microsoudures entre les deux parties flottantes, puis ces microsoudures ou soudures dures se fissurent, même avec des lubrifiants.

b) Usure (érosion). L'usure U est proportionnelle à la pression de contact p , au coefficient de frottement K_f et à la vitesse de glissement V_g .

$$U = k_p K_f V_g$$

c) Usure par déformation plastique de l'outil.

d) fissuration et usure

L'emplacement des pièces mobiles ou des inserts amovibles n'est pas sans défauts. Il

2.5.1.2 Par phénomènes physico-chimique

a) Usure corrosive

- Corrosion au contact de l'air ou des lubrifiants de la matière première
- Corrosion chimique au niveau moléculaire
- Corrosion électrochimique au niveau ionique
- Transfert observé des composants de l'outil dans les puces.

b) Usure par diffusion. Cela se produit lorsque la vitesse et la température augmentent. [32]

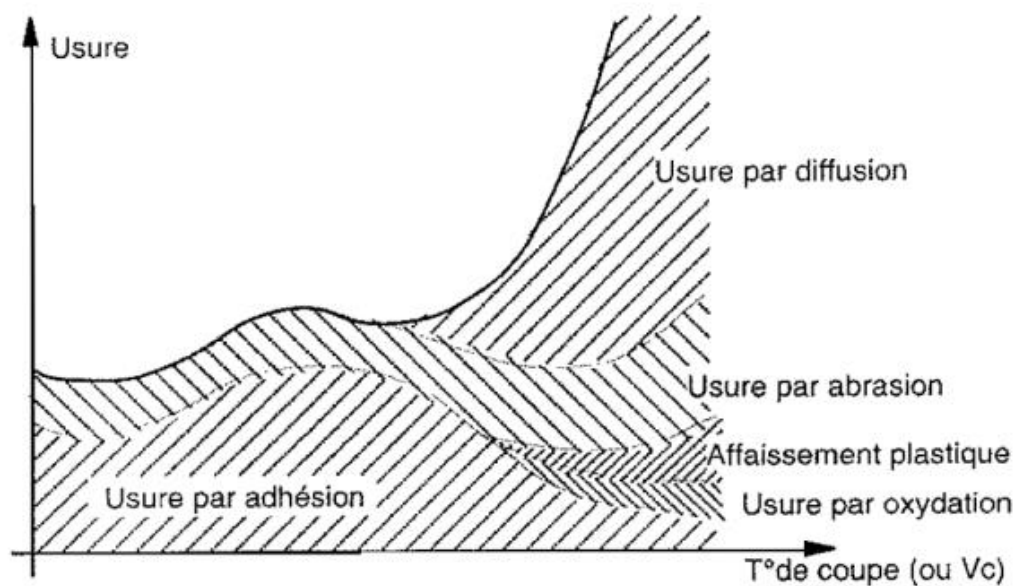


Figure 2.6 Les Phénomènes d'usure [32]

2.5.2 Manifestation de l'usure

L'observation des parties mobiles de l'outil a révélé des usures caractéristiques correspondant aux propriétés du matériau dans l'environnement, et enfin, selon l'état de coupe, après usure

2.5.2.1 Usure en dépouille

Caractérise la longévité. Lorsqu'il est trop grand, l'effort de coupe augmente et l'état de surface est médiocre (Figure I.23). Il s'agit d'un critère général de porte-outil, caractérisé par la valeur d'usure admissible VB indiquée par la valeur normalement associée au porte-outil (durée de vie $T = 15$ minutes). [33]

VB critique = 0,6 mm d'ébauche et 0,3 mm de finition

Cela est dû à une vitesse de coupe trop rapide ou à une position angulaire incorrecte de l'outil (Coupe face/section) Action corrective :

- choisir une nuance offrant une meilleure résistance à l'usure,
- réduire la vitesse de coupe

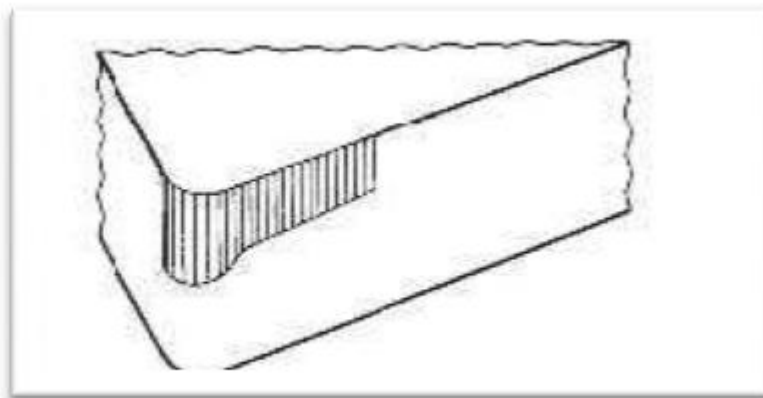


Figure 2.7 Usure en dépouille [33]

2.5.2.2 Usure en cratère

S'agit d'une usure en creux sur la face de coupe (Fig. 8), qui est causée par le frottement des copeaux sur la face de coupe de l'outil. Lors de l'usinage, la température élevée à l'interface copeau-outil et la pression de contact entre le copeau et l'outil provoquent une importante diffusion de matière de l'outil vers le copeau par un processus d'adhésion. Il donne également la déformation plastique de la pointe de l'outil, caractérisée par le processus SVP et le renflement p de la face de dégagement. L'usure est courante avec les outils en carbure et entraîne souvent la rupture de la pointe de l'outil

Limite : $K_T \text{ critique} = 0,06 + 0,3 f^2$

La valeur critique est la valeur à laquelle l'outil est considéré hors service et présente un risque élevé de casse d'outil (f : avance par tour).

Action corrective :

- utiliser des teintes métallisées dures enduites,
- Choisir des plaquettes à géométrie positive
- Diminuer la vitesse de coupe ou augmenter l'avance [33].

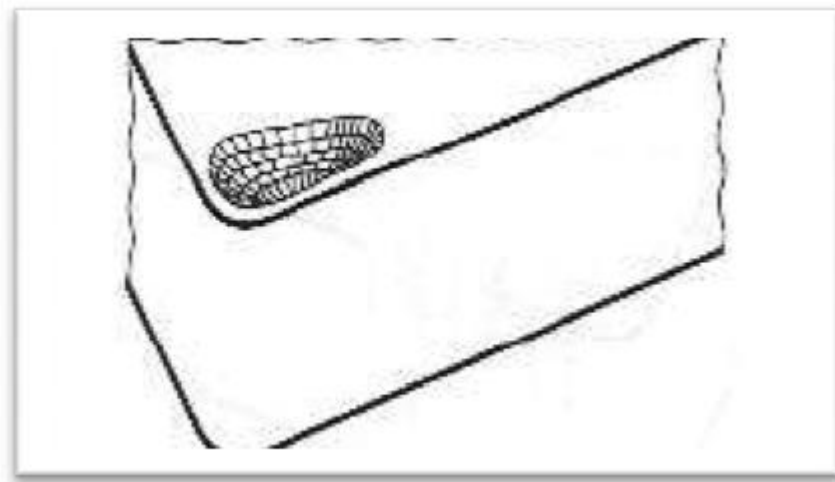


Figure 2.8 Usure en cratère [33]

2.6 Matériaux des outils

Plus précisément, cet aspect des matériaux de coupe se caractérise par leur ténacité, leur résistance à la rupture ou leur élasticité en flexion (rupture par impact). Le matériau traité est chimiquement inerte, chimiquement stable, résistant à l'oxydation et à la dissolution, et présente une bonne résistance aux chocs thermiques. [34]

2.7 Les facteurs influant sur la rugosité

La rugosité est fondamentalement affectée par les paramètres de coupe et la géométrie de l'outil. D'autres facteurs pouvant affecter la rugosité sont les vibrations et la tendance du matériau à coller à l'outil (arête rapportée) [35].

2.7.1 Avance et profondeur de passe

Des avancées plus importantes entraînent un mauvais état de surface, où le matériau est impacté et l'outil ne touche pas toute la surface. La taille de la profondeur de coupe a peu d'effet sur la rugosité, et l'usure de l'outil augmente avec l'augmentation de la section copeaux.

2.7.2 Vitesse de coupe

Pour des vitesses de coupe élevées, le profil de la pièce est essentiellement le même que le profil de l'outil. Tant que le profil de l'outil est lisse, même si l'outil s'use, l'état de surface ne se dégradera pas, en fait, l'état de surface augmentera avec l'augmentation de la vitesse de coupe. À basse vitesse, un coincement de matrice se produit.

En général, la rugosité est affectée par une vitesse d'avance supérieure de 32,5 % à la vitesse de coupe [36].

2.8 Effort de coupe lors du fraisage

2.8.1 Définition et intérêt de leur mesure

Le fraisage produit un effort de coupe dont la décomposition dans les trois directions privilégiées peut servir de base à la définition de l'effort de coupe pour tous les schémas d'usinage F_v (ou F_y) : La composante du sens de rotation de l'outil est appelée force tangentielle ou force de coupe principale. Il a la plus grande valeur absolue. F_a (ou F_x) : la composante de la direction vers l'avant, appelée force vers l'avant ou force axiale. F_r (ou F_z) : Composante perpendiculaire aux deux autres directions (selon l'axe de la fraise), appelée force de décharge ou force radiale. F : Le résultat de coupe - rarement utilisé en pratique - représente la diagonale d'un parallélépipède. Il est égal à la somme vectorielle ou des trois composantes :

La connaissance de l'effort de coupe est la base pour évaluer la puissance nécessaire à la coupe, lorsque l'on veut connaître le rendement mécanique de la machine-outil, on a besoin de savoir quelle puissance est consommée par l'outil pour obtenir des informations de coupe armée. La valeur de la force de coupe est également utilisée pour dimensionner les composants de la machine et prédire la déformation des composants. Il interfère avec la précision d'usinage en présence de vibrations ou de broutages auto-excités et indirectement dans la formation d'états de surface. Enfin, les efforts de coupe sont liés aux propriétés mécaniques du métal lors de l'usinage. La formation de copeaux peut fournir des informations sur le matériau coupé [37].

2.9 Puissance de coupe

La puissance de coupe est un paramètre important, notamment pour les opérations d'ébauche, car elle permet :

- sélectionner ou investir dans des machines motorisées adaptées à l'opération à réaliser ;
- Compte tenu des capacités des outils utilisés, recherchez des conditions de coupe qui tirent le meilleur parti de la puissance de la machine pour assurer un flux de copeaux optimal.

La puissance (kW) nécessaire pour couper P_u peut être estimée comme suit

$$P_u = (KC \times ap \times f \times VC) / 60000 \quad (\text{I.4})$$

Avec :

- ap profondeur de passe au rayon (mm) ;
- f avance par tour (mm) ;
- VC vitesse de coupe (m/min) ;
- KC effort spécifique de coup ($N \text{ mm}^{-2}$) ;

L'effort spécifique de coupe KC est fonction principalement

- du matériau usiné ;
- de l'avance ;
- de la géométrie de coupe [38] ;

2.10 Les défauts d'états de surface :

L'aptitude d'une pièce à remplir une fonction donnée dépend de nombreux facteurs, notamment des caractéristiques de son état de surface. L'état de surface est caractérisé par la micro géométrie de la surface, qui joue un rôle important dans certaines fonctions telles que le frottement, le glissement, le roulement, l'étanchéité, parfois même l'aspect.

Pour que les pièces puissent être contrôlées, il faut chiffrer les caractéristiques d'une surface.

La définition des caractéristiques d'une surface se fait sur un profil de cette surface. La norme NF E 05-515 distingue six ordres de défauts de surface, du plus grand au plus petit :

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

5. Structure cristalline (échelle méso-scopique).
6. Réseau cristallin (échelle nanoscopique) [39] [40]

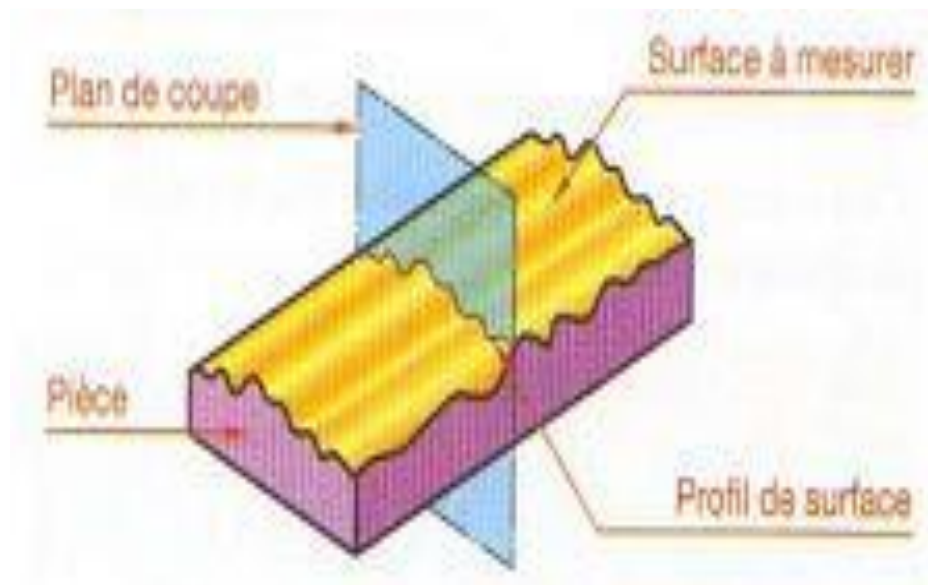


Figure 2.9 Profil de surface [41]

2.11 Formation de copeaux

2.11.1 Mode de formation de copeaux

Le contrôle de la formation des copeaux est particulièrement critique en fraisage. Pour parvenir aux performances correctes, prolonger la durée de vie de l'outil et obtenir de bons résultats, il est nécessaire de déterminer les valeurs d'épaisseur des copeaux. C'est le trajet parcouru par l'outil qui donne naissance au copeau, qui se forme entre l'entrée de la fraise dans la matière et sa sortie de celle-ci. Les copeaux sont plus longs en fraisage conventionnel qu'on fraise Cn avalant, ce qui est d'une également un facteur à prendre en considération lors du choix de la méthode appropriée. La forme des copeaux varie avec la méthode de fraisage et le positionnement de la fraise figure (I-24) [42].



Figure 2.10 formation de copeaux

2.11.2 Épaisseur maximum Des copeaux

L'épaisseur maximum des copeaux est le paramètre le plus important pour obtenir un procès de fraisage productif et fiable. Pour que la coupe soit efficace, elle doit être adaptée à la fraise utilisée. Si les copeaux sont fins et la valeur de η trop faible, les performances sont mauvaises et la productivité est basse. La durée de vie d'outil peut être réduite et la formation des copeaux mauvaise. Si l'épaisseur des copeaux est trop importante, la surcharge sur l'arête de coupe peut provoquer sa rupture. [42]

2.11.3 L'amincissement des copeaux autorise une augmentation de l'avance

L'avance à la dent peut être augmentée dans les trois situations suivantes en raison de l'effet d'amincissement des copeaux : > Fraise à arêtes rectilignes avec angle d'attaque inférieur à 90° . > Fraise à plaquettes rondes, ou avec grands rayons de bec, et faible profondeur de coupe a_p . > Contournage avec faible engagement radial, a_e/D_e .

2.12 Rugosité

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique. Les surfaces usinées ne sont pas parfaites, elles présentent des irrégularités dues aux procédés D'usinage, aux outils, à la matière, etc. Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain

nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.). Plus l'indice de rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [43]

2.12.1 Principaux paramètres de la rugosité

Un grand nombre de critères sont définis dans la normalisation pour caractériser une rugosité. En pratique, dans un profil et sur une longueur considérée, seuls trois d'entre eux sont retenus - "Ra" : écart moyen, c'est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écart pics et les creux. "Ra" mesure la distance entre cette moyenne et la ligne centrale. On admet couramment que cette notion synthétise approximativement les différents paramètres intéressés dans la rugosité.

"Rt" : écart total, c'est la dénivèlle et le fond le plus bas d'un creux.

"Rz" : régularité, c'est la moyenne des écarts totaux de rugosité "Rt" observés sur 5 longueurs crête moyenne basée sur un pic et une vallée par L'amplitude la plus élevée est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis ces valeurs sont moyennées. Elle est identique à R_{tm} . Fonction de distribution d'amplitude 1997. La distribution d'amplitude est une fonction de donnant la probabilité qu'un profil de la surface ait une certaine hauteur z pour toute position x . Distribution d'amplitude cumulée 1997. La distribution d'amplitude cumulée est liée à la distribution d'amplitude, il s'agit distribution de probabilité cumulée correspondante et elle a un intérêt bien plus grand pour caractériser un état de surface. La distribution d'amplitude cumulée est l'intégrale de la distribution d'amplitude.[43] 1997. L'asymétrie est un paramètre décrivant la forme de la distribution d'amplitude. Il s'agit d'une mesure de la symétrie de la variation d'un profil autour de sa ligne moyenne

2.12.2 Méthodes de mesure de la rugosité

Dans l'industrie le moyen le plus utilisé est l'appareil de mesure d'état de surface à palpeur, avec contact de ce dernier sur la surface à caractériser (profilomètre mécanique 2D).

Suivant son degré de perfectionnement, ce type d'équipement permet la mesure de tous ou parties des paramètres d'états de surface. En effet, l'évaluation des paramètres de profil primaire et d'ondulation nécessite une référence de guidage externe. Représente, de façon schématique, un appareil à palpeur dont les différents composants sont définis La figure I.21 montre le rugosimètre type Mitutoyo utilisé pour mesurer le moyen arithmétique du profil (Ra) [44].



Figure 2.11 Rugosimètre

2.12.3 Testeur de rugosité

Le testeur de rugosité sert à déterminer rapidement la rugosité de la surface. Le testeur de rugosité montre la profondeur de la rugosité moyenne R_z et la valeur de la rugosité moyenne R_a en μm . Le testeur rugosité permet une détermination facile de la surface d'un élément, d'autre part, la réalisation de façon très simple de la mesure de la rugosité. La figure I.22 montre le rugosimètre type Mitutoyo utilisé pour mesurer le moyen arithmétique du profil (R_a). La rugosimètre est composé d'un palpeur P, d'une unité de translation UT, d'un calculateur C, et d'un enregistreur de profil E (Figure I.23) (la partie E peut être un logiciel sur un ordinateur). [45]

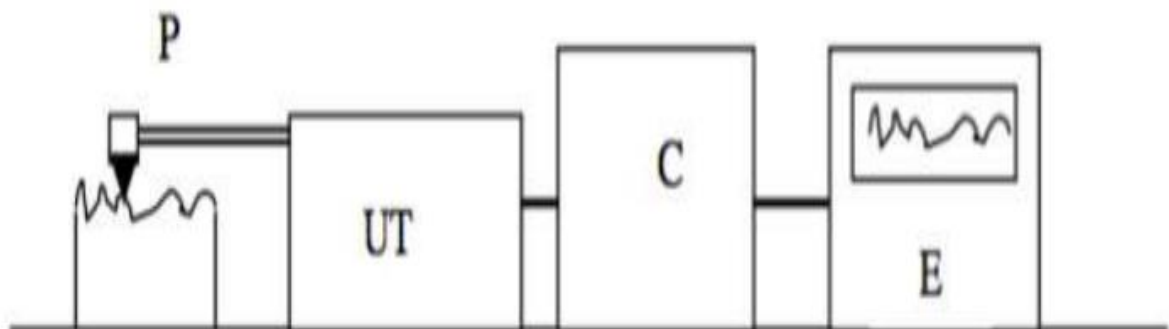


Figure 2.12 Chaîne de mesure de rugosité [43]

La pointe très fine du palpeur explore la surface de la pièce suivant un mouvement horizontal. Les micro-déplacements verticaux de cette pointe sont transformés en tension électrique variable (capteur inductif ou piézo-électrique) qui est transmise au calculateur.

Celui-ci donne les valeurs des critères de rugosité R_a et R_z après amplification et filtrage appropriés.

Pour éliminer les défauts macro géométriques, les déplacements verticaux sont pris directement sur la surface à mesurer par l'intermédiaire d'un patin (Figure I.24).

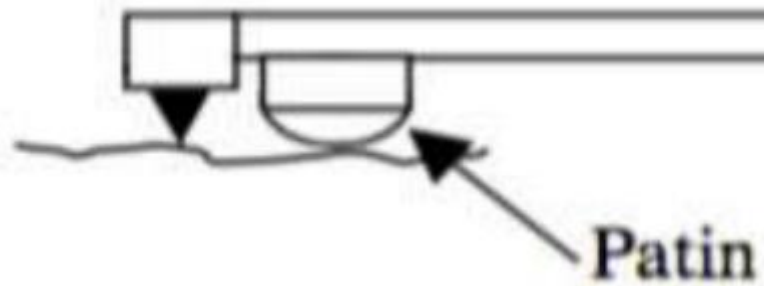


Figure 2.13 Détail du palpeur [43]

CHAPITRE 03

Etude experimentale

3.1 Introduction

Nous présentons dans ce chapitre, l'ensemble des moyens mis en œuvre pour la réalisation des expériences et cela dans le but de caractériser le comportement des matériaux de coupe étudiés, vis à vis du matériau à usiner. Cela mènera à la présentation des différents équipements utilisés qui ont servi au suivi de la rugosité des surfaces obtenues lors de l'usinage. Nous présentons également les différentes méthodes utilisées pour la planification et les conditions de réalisation des expériences. Les expériences nécessaires à notre étude ont été effectuées au Laboratoire pédagogique de Coupe des Métaux du département de Génie Mécanique (Université du Mohamed Boudiaf de Msila).

3.2 Etude expérimentale sur l'optimisation des paramètres de coupe

Le but essentiel de l'optimisation des paramètres de coupe est la recherche des valeurs les plus favorables afin d'exécuter l'usinage dans les meilleures conditions.

Le choix de ces valeurs dépend essentiellement des propriétés de l'outil, de la capacité de la machine, de la nature de la matière à usiner et du mode de fraisage.

Notre étude consiste à déterminer pratiquement les influences des paramètres de coupe (V_c , P , a_z) sur la qualité de la surface usinée, l'usure de l'outil et le volume de la matière enlevé afin d'établir le régime de coupe le plus avantageux pour les conditions données.

3.2.1 Matériaux utilisés

Pour la réalisation des expériences on a utilisé :

- machine-outil: Fraiseuse verticale (FSS/V 250 I 1000)
- Outil : Fraise en bout à deux tailles en acier rapide ($D=19\text{mm}$, $Z=4$).
- matière usinée : Acier A60.

-profilographe pour mesurer la rugosité

-liquide d'arrosage : émulsion eau + huile

3.3 L'acier A60

3.3.1 Composition Chimique moyen L'acier A60

C, Mn et Si : non communiqués

P : 0,045% maxi

S : 0,045% maxi

N : 0,009% maxi

Fe Fer Le este

3.3.2 Composition mécaniques moyen L'acier A60

Etat normalisé Etat transformé à froid

Rm : 590/770 N/mm²

Rm: 590/1050 N/mm²

Re: 305/335 N/mm² Re:

300/490 N/mm² A%:

6/16 A%: 6/14

3.4 La méthode de travail:

Afin de réaliser cette expérience on a besoin de deux pièces de métal qui a la désignation acier A60 ce choix permet d'avoir des bons résultats. D'après les principes de, montage on a fixé les deux pièces dans la, machine de fraisage et nous avons fait plusieurs expériences sur eux par le fraisage vertical.

Au cours de l'expérience chaque fois on fait des changements sur les vitesses d'avance et de rotation. D'une cote on change la vitesse d'avance et la vitesse de rotation rester fixe. D'autre cote on a gardé la vitesse d'avance fixe et change la vitesse de rotation.

Alors, pour découvrir la meilleure surface et la moins rugueuse nous avons effectué 18 expériences avec des différentes vitesses qui commencent par un nombre de tour, minimal 215 tr/min en passant de nombre de tour medium, 468 tr/min vers un nombre de tour maximal 770 tr/min.

En fin, on a mesuré la rugosité pour chaque surface et les résultats sont exprimés dans les tableaux suivants.



Figure 3.1 la pièce a usiné

3.5 Critère de rugosité

La structure superficielle lors de l'usinage de métaux par enlèvement de copeaux est déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la face usinée. Elle varie essentiellement selon la méthode d'usinage, les conditions de coupe, la matière à usiner et la stabilité d'ensemble de l'opération. Cette structure est définie par les critères suivants :

- **La rugosité R** : Exprime les plus petites irrégularités, c.à.d. le fin réseau d'écarts microgéométriques mesurés sur la plus petite longueur d'échantillonnage.
- **L'ondulation W** : Est constituée d'irrégularités de plus grandes dimensions au niveau suivant de la longueur d'évaluation sur la surface de la pièce.
- **La direction des traces d'usinage L** : Définit l'orientation du profil superficiel. Elle indique la direction dominante générée par la méthode d'usinage [41].

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

3.5.1 La rugosité moyenne du profil (Ra)

Valeur moyenne de tous les écarts par rapport à une ligne droite, dans la longueur d'évaluation,

indifféremment de la direction verticale

- Impossible de savoir si les écarts sont des creux ou des bosses ;
- Pas d'altération pas des écarts isolés, donc risque de manquer un sommet ;
- Valeur de R_a typiques entre $0.02\mu\text{m}$ et $3.5\mu\text{m}$ [42].

3.5.2 La hauteur de profil maximum (R_z)

C'est la moyenne des différentes hauteurs de profil entre la hauteur de crête la plus élevée et la profondeur de creux la plus importante sur des longueurs de référence comprises dans la longueur d'évaluation.

- Il y a couramment 5 longueurs de référence ;
- La valeur affichant la plus grande déviation dans la longueur de référence égale à R_{max} ou $R_{z \text{ max}}$ [41].

3.5.3 La hauteur de profil total (R_t)

C'est la somme de la hauteur de la crête la plus élevée et de la profondeur de creux la plus importante dans la longueur d'évaluation • Une seule valeur R_t , non combiné à un R_z ou R_a est l'une des exigences les plus strictes du profil R [41].

3.6 Influences des paramètres de coupe sur la qualité de surface

Le but de cette étude est de déterminer la dépendance de la rugosité de la surface fraisée avec les paramètres de coupe. Cette étude se fait de la manière suivante fait varier le paramètre à étudier et en fixant les autres (az. P). Les pièces à usiner sont de dimensions (300x35x35), partagées e deux groupes contenant chacun 1 à 2pièces.

Tableau 3.1: Résultats expérimentaux de mesure de la rugosité

ESSAIS	N Tor/min	A mm/min	Ap mm	Vc m/min	V cm ³ /mm	R max um	Rz u m	Ra u m
1	215	14	1	12.83	0.266	67.66	32.23	5.2
2	215	16	1	12.83	0.304	56.83	31.8	4.86
3	248	18	1	14.80	0.342	55.53	31.3	4.83
4	248	22	1	14.80	0.418	49.8	31.1	4.8
5	288	22	1	17.19	0.418	47.2	30.3	4.7
6	288	28	1	17.19	0.532	44.7	29.83	4.5
7	350	36	1	20.89	0.684	38.06	27.63	4.2
8	405	36	1	24.17	0.684	37.9	27.53	3.96
9	405	48	1	24.17	0.912	36.53	27	3.96
10	468	48	1	27.93	0.912	34.74	24.66	3.7
11	468	58	1	27.93	1.102	32.83	24.03	3.7
12	468	58	1	27.93	1.102	31.5	23.36	3.66
13	574	70	1	34.26	1.33	30.43	22.46	3.5
14	574	75	1	34.26	1.425	29.96	22.26	2.9
15	663	95	1	39.57	1.805	25.8	21.63	2.8
16	663	120	1	39.57	2.28	23.7	21.26	2.36
17	770	120	1	45.96	2.28	21.93	16.53	2.36
18	770	154	1	45.96	2.926	20.23	16.2	2.23

Remarque : la profondeur rester constant parce qu'il n'affecte pas sur la qualité de surface

Et on voit que la rugosité diminue avec l'augmentation de la vitesse de coupe et d'avance.

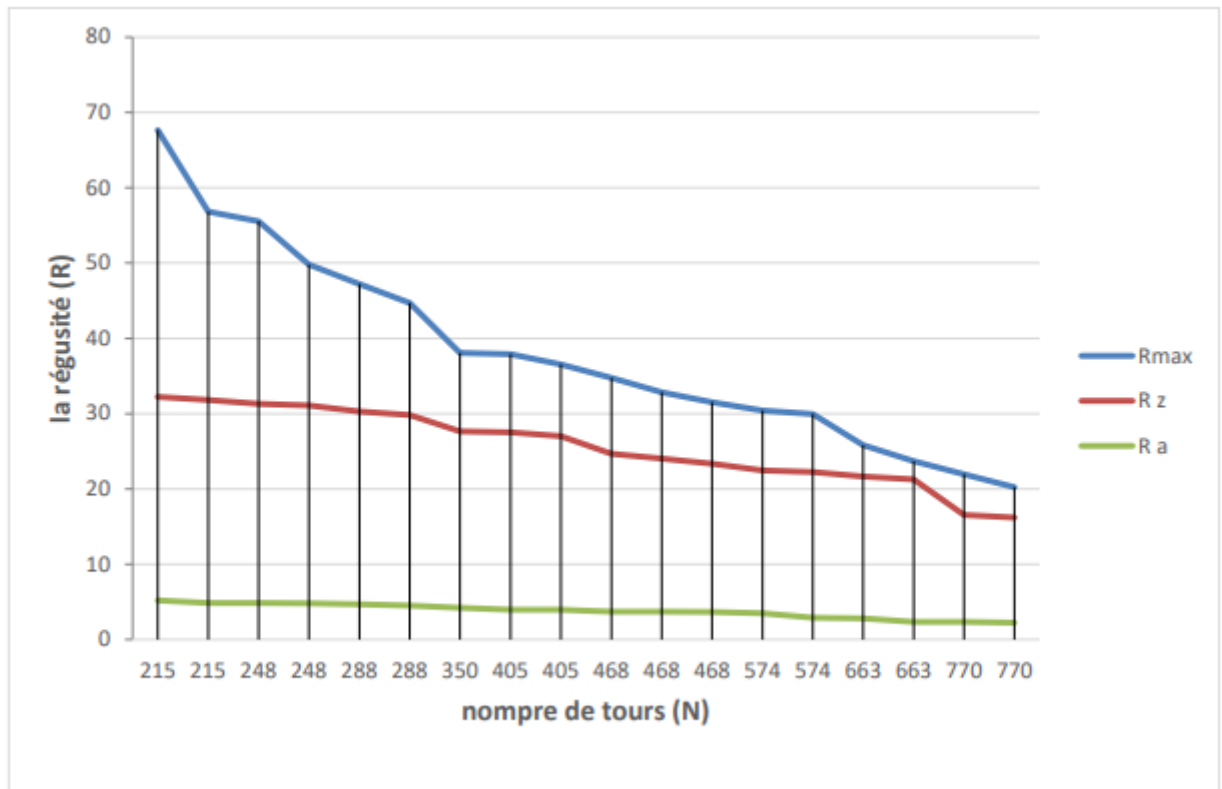


Figure 3.1 variation de la rugosité (R) en fonction denompre de tours (N)

Commentaire

A travers les valeurs représentées sur la figure (3.1). La profondeur reste constant au tour de l'expérience $A_p = 1mm$ et on a faire des changements sur le nombre de tours d'une valeurs minimale $N_{minimale} = 215 \text{ tr/min}$ vers une valeur maximale

$N_{maximale} = 770 \text{ tr/min}$ On remarque que la rugosité et le nombre de tours dans une proportion inversé c'est -à-dire la rugosité diminuée si le nombre de tours augmentent.

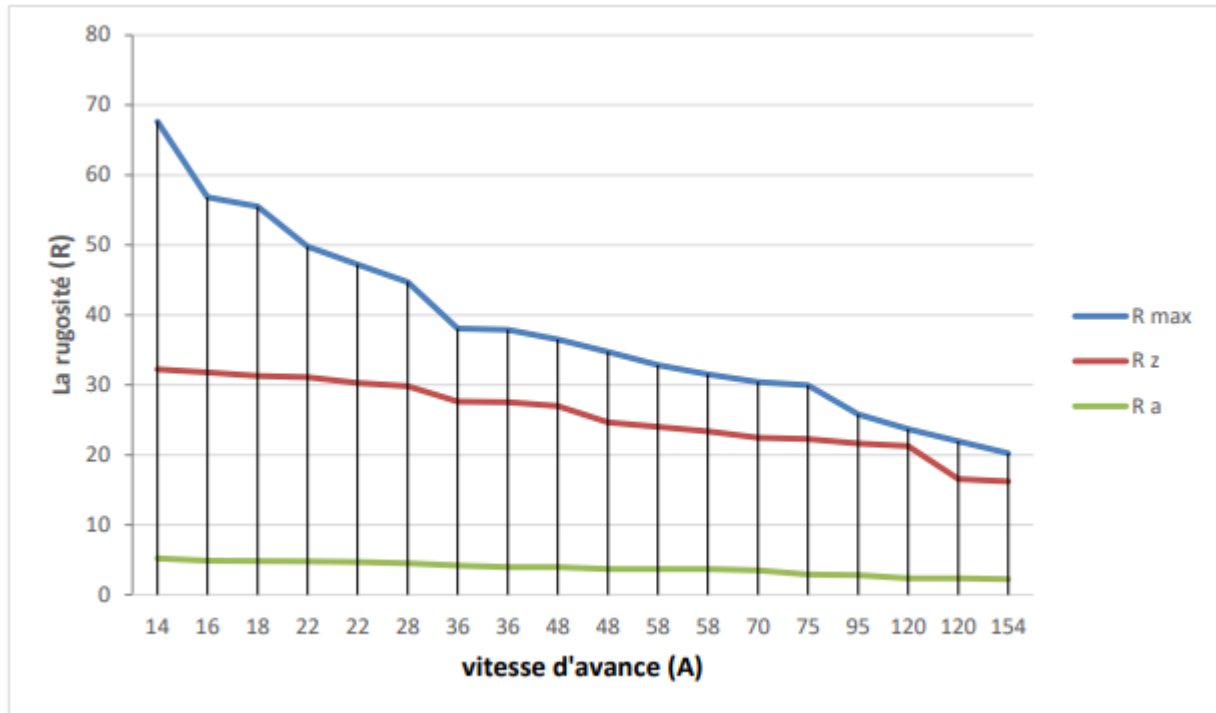


Figure 3.2 variation de la rugosité (R) en fonction de l'avance (A)

3.6.1 L'influence de vitesse l'avance sur la rugosité

A travers les résultats obtenus et la courbe de la figure (3.2), on constate que l'augmentation de la vitesse d'avance s'accompagne d'une diminution du niveau de rugosité de surface, ce qui conduit à la qualité de l'état de surface des produits de fraisage, lorsque la vitesse de d'avance est lente, la rugosité est élevée et le produite est médiocre.

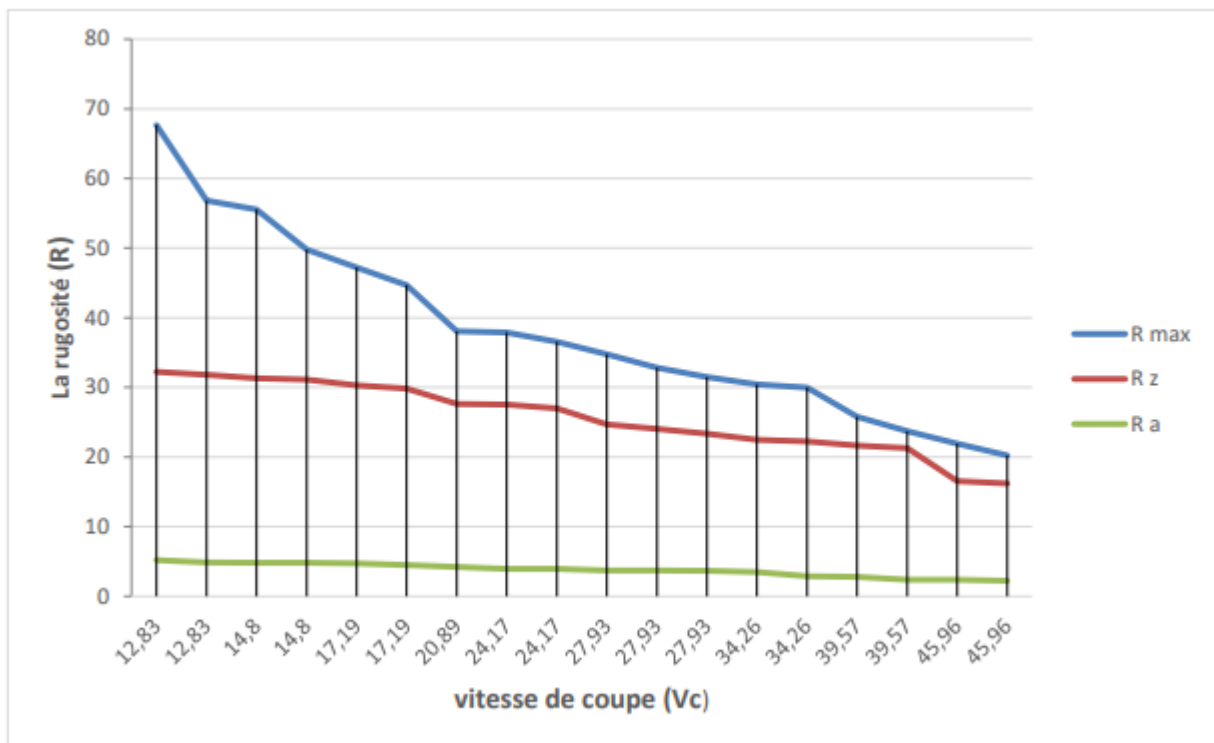


Figure 3.3 variation de la rugosité (R) en fonction de vitesse de coupe (Vc)

3.6.2 L'influence de vitesse de coupe sur la rugosité.

A travers les résultats obtenus et la courbe représentée dans la figure (3.3), on constate que l'augmentation de la vitesse de coupe s'accompagne d'une diminution du niveau de rugosité de surface, ce qui conduit à la qualité de l'état de surface des produits de fraisage, lorsque la vitesse de coupe est lente, la rugosité est élevée et le produit est médiocre.

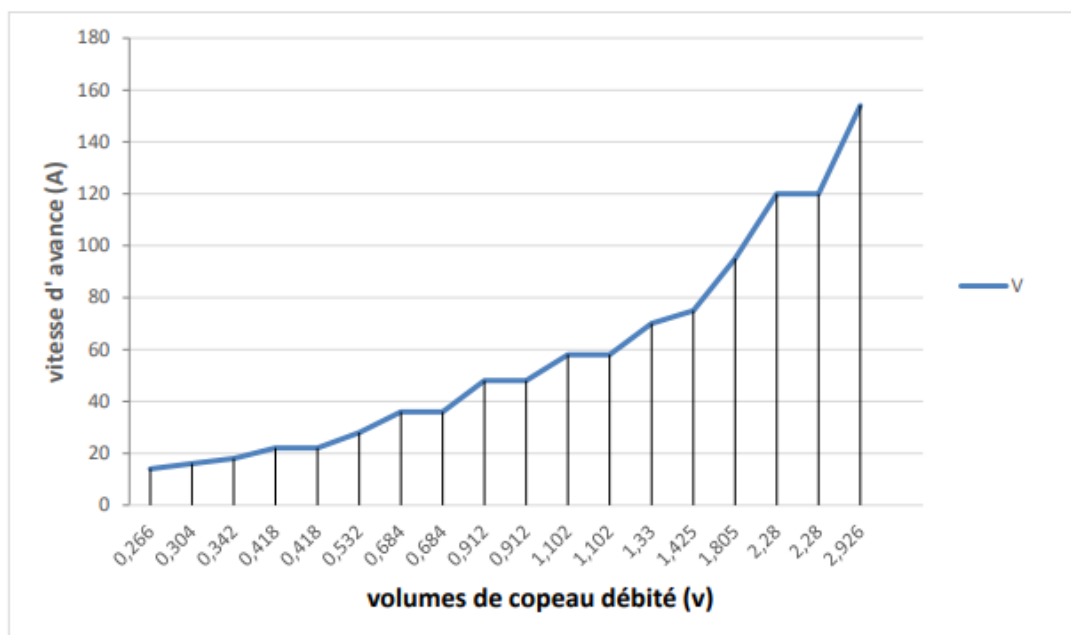


Figure 3.4 variation des volumes de copeau débité (v) en fonction vitesse d'avance

Commentaire

A travers les valeurs obtenues dans le tableau (3.1) qui est représenté dans la figure (3.4) nous avons remarqué qu'il y'a une proportion directe entre la vitesse d'avance(A) et volumes de copeau débité (v) c'est –à-dire si la vitesse d'avance augmente le volume de copeau aussi va augmenter

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au cours de ce travail et les observations exprimées nous ont permis de conclure et nous nous sommes attachés à montrer l'intérêt de l'optimisation des paramètres de coupe au fraisage afin d'atteindre des pièces avec des surfaces de hautes qualités.

Chapitre 3 fait le point sur les nombreux changements dans les paramètres de coupe, que l'on surmonte pour obtenir des états de surfaces de hautes qualités de finitions et moins rugosité pour atteindre cet objectif ont conclu :

Les paramètres fondamentaux de coupe former par les éléments de bases suivants qui agissent l'un avec l'autre :

- La vitesse de coupe
- L'avance de coupe
- La profondeur de coupe

Par des différentes expériences qui on a fait sont permis de distinguer que :

- ✓ Le degré d'influence de chaque paramètre sur la qualité de surface usinée, l'usure de l'outil et le volume de matière enlevée.
- ✓ La profondeur de passe n'affecte pas la qualité de la surface.

Il est nécessaire de sélectionner des bonnes conditions de coupe pour de bons résultats (précision, état de surface, etc.)

- Type de machine (mécanismes, plage de vitesse)
- La puissance de la machine
- Matériaux de l'outil (ARS, carbure, etc.)
- Matériaux de transformation (Acier, aluminium, etc.)

Afin de réaliser de notre travail qui consiste à atteindre des surfaces de hautes qualités de finition de deux pièces d'aciers A60 ont conclu que :

- ✓ Il faut d'augmenter la vitesse de coupe et la vitesse d'avance vers des grandes valeurs.

Référence

- [1] Société SANDVIK-COROMANT, Procédés d'Usinage, Travail des Matériaux – Assemblage, Techniques de l'Ingénieur, Réf. Internet : 42190.
- [2] Laimeche hadj abdellah Mémoire de l'obtention du Diplôme Master Maintenance Industrielle
- [3] S. Gara, Cours interactif : le Fraisage, Institut Supérieur des Études Technologiques de Nabeul, 2016.
- [4] F. Remli, L'effet d'usinage par Tournage sur un Acier XC18, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, 2016.
- [5] [https : //www.etudier.com](https://www.etudier.com)
- [6] Brigitte REMACLE, Formation ifpm Usinage tournage, fraisage, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles Édition septembre 2014.
- [7] « Jhisforum comi Franciaais9- INFO »
- [8] Dournier, A., Chevalier, A., Saget, P. et Labille, R., « Fraisage des métaux », Fascicule dition Delagrave, (1983).
- [9] Cordebois, J.P et Coll, « Fabrication par usinage », 2eme édition, DUNOD, (2008).
- [10] B. Remacle, Usinage : Tournage Fraisage, IFPM formation édition, 2018.
- [11] https://www.leuco.com/leuco/cms/FR/FR/leuco/Cutter_with_Bore/Finger_Joint_Cutters/Finger_Joint_cutters_HW_real_Z_4_resp_Z_6H
- [12] C. GRUESCU, F. DEFOURNE, P. QUAEGEBEUR et J. F. ANTOINE, Préparation de production en productique mécanique - étude de fabrication et analyse d'usinage (3PMEFAU), SEMM (Service Enseignement et Multimédia) / Université Lille1 – France, 2015.
- [13] Ben Sellam Karim, Technologie mécanique, École Normale Technique Moyenne, Mai 2010.
- [14] https://fr.made-in-china.com/co_songenmachinery/product_Table-1600X360mmPlain-Horizontal-Milling-Machine_heohsrysy.html

- [15]. H. Aouici S. Benlahmidi, Fraisage, TP Production 2ème Année GMP, Ecole Nationale Supérieure de Technologie, 2013.
- [16] <http://www.directindustry.fr/prod/knuth-machine-tools/product-27150-235904.html>
- [17] <https://www.usinenouvelle.com/expo/centre-d-usinage-cnc-5-axes-normaprofip5831.html>
- [18] <https://www.usinenouvelle.com/expo/centre-d-usinage-cnc-5-axes-normaprofip5831.html>
- [19] Laimeche hadj abdellah Mémoire de l'obtention du Diplôme Master Maintenance Industrielle
- [20] Gaëtan ALBERT Docteur Spécialité : Mécanique Et Ingénierie Identification et Modélisation Du torseur Des Actions De Coupe En Fraisage
- [21] Gaceb Mouhamed et Brahmi Sadek, Etude de l'influence de l'état de surface sur la tenue à la fatigue du XC48, (laboratoire de fiabilité des équipements pétroliers et matériaux) université M'hamedBougarra de Boumerdes, Algérie
- [22] Mathieu Frimat Article Est Extrait De Son Mémoire De Stage De Fin d'études
- [23] Kane Malal, contribution à l'étude de l'influence de la rugosité et des effets non newtoniens dans les contacts sévères lubrifiés, institut national des sciences appliquées de Lyon 2003.
- [24] P. YvesManach, S. Thuillier, H. Laurent, N. LeMaoût, R. Grèze ; Mise en forme des matériaux métalliques par déformation plastique : influence du comportement matériel, Laboratoire d'ingénierie des Matériaux de Bretagne LIMATB Université de Bretagne Sud, 14ème Colloque National de la recherche en IUT Lyon 2008.
- [25] S. Kaldor, P.H.H. Trendler, T. Hodgson, *investigation into clearance geometry of end mills*, Annals of CIRP, Vol. 33, pp. 33-38, 1984.
- [26] J. S. Gim, D. W. Cho, J. M. Lee, *optimal design of face milling cutter geometry*, Annals of CIRP, Manufacturing Technology, Vol. 39, pp. 391- 394, 1990.
- [27] R. Wertheim, A. Saran, A. Ber, *modifications of the cutting-edge geometry and chip formation in milling*, Annals of CIRP, Manufacturing Technology, Vol. 43, pp. 63-68, 1994.
- [28] W. A. Kline, D. E. DeVor, *the effect of runout on cutting geometry and forces in end milling*, International Journal of Machine Tool Design and Research, Vol. 23, pp. 123-140, 1983.
- [29] K. Shirase, Y. Altintas, *cutting force and dimensional surface error generation in peripheral milling with variable pitch helical end mills*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 36, pp. 567-584, 1996.
- [30] B. Furet, *système de surveillance automatique de l'usinage en fraisage par l'analyse du courant de broche*, Thèse de doctorat, Université et Ecole Centrale de Nantes, 1994.

- [31] S. Garnier, B. Furet, *construction d'un plan d'expériences pour l'analyse de l'usure en fraisage*, Congrès Français de Mécanique, Juin, 1998.
- [32] Necib.D. fabrication mécanique. LMD – usure des outils de coupe UNIV KasdiMerbehOuergla.
- [33] Philippe DEPEYRE, Cour de fabrication mécanique, Licence de Technologie et Mécanique. Fabrication Mécanique 2004-2005
- [34] M. Benghersallah. Mémoire doctorat : Recherche sur le fraisage des matériaux d'urss avec les matières de coupe modernes : application à l'ugv des superalliages. Thèse de doctorat, UBMA 2010
- [35] B. Bloul, B. Aour, A. Bourdim, R. Harhout. Modélisation de l'état de surface d'une pièce rectifiée en utilisant ANN. 31ème Congrès International sur les ingénieries civile, mécanique et électrique pour l'énergie CMEEE – Marrakech. 2015.
- [36] N. Zeghichi. Optimisation multicritère des conditions de coupe en fraisage par algorithmes génétiques et la méthode de Nelder Mead. Thèse de magister. Université de Biskra. 2004-2005.
- [37] Claude Barilier. Les matériaux pour outils de coupe en usinage. Novembre 2012 - quip'prod. [Httpwww. Cquip - prod.com/voir43megazinesrePDF6.pdf](http://www.Cquip-prod.com/voir43megazinesrePDF6.pdf).
- [38] R. Weil. Technique d'usinage. Dunod. Paris 1971.
- [39] CHIBANE Hicham, « *Contribution à l'optimisation multi-objectif des paramètres decoupe en usinage et apport de l'analyse vibratoire Application aux matériaux métalliques et Composites* ». Thèse de Doctorat, Université François - Rabelais de Tours, avril 2013.
- [40] Construction mécanique -1. Dessin conception et normalisation – AFNOR NATHN
- [41] Bourbiamounira, influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs répercussions sur un contact mécanique, thés magister 2009, Département Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Badji Mokhtar
- [42] Copeaux de fraisage. Techniques de l'Ingénieur.htm. [http://www.techniques-ingenieur.fr base-documentaire/mecanique-th7 procedes-d-usinage-42190210fraisage-bm70820opeatux-do-fruisage-bm7082niv10002.html](http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/procedes-d-usinage-42190210fraisage-bm70820opeatux-do-fruisage-bm7082niv10002.html).
- [43] Conception et dessin (memontech) 7e édition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines
- [44] D., Jennings and Shah S J. Mater. Lange H. "Analysis of surface roughness using confocal microscopy», Sci, vol. 28, pp. 3879-3884, 1993
- [45] Raphet Bernard. « États de surface : Caractérisation. » Technique de l'ingénieur Doc R1230 (2005).
- [46] CoroKey 2006 – Produits / Théorie du tournage, Les solutions Sandvik Coromant aux

problématiques d'états de surface.

[47] Jacques GOUPY Revue MODULAD, 2006, Tutoriel LES PLANS D'EXPERIENCE