الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد– تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –Faculté de TECHNOLOGIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : (Génie Mécanique)

Spécialité : Construction Mécanique

Par : Zenagui Ibrahim El mouaiz El hadi

Sujet

Etude de l'influence de la vitesse de coupe sur l'état de surface

Soutenu publiquement, le 26 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M Chorfi Sidi Mohammed	MCB	Université de Tlemcen	Président
M Achoui Mohammed	MAA	Université de Tlemcen	Examinateur
M RAHOU Mohamed	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
M SEBAA Fethi	Professeur	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire :2022 /2023

Remerciements

Je remercie « Allah » de m'avoir aidé à terminer ce modeste travail.

Au terme de quatre années d'étude au sein du département de génie mécanique, achevées par la rédaction et la soutenance de ce mémoire de master en Génie Mécanique nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à son bon déroulement.

J'ai une immense gratitude envers Monsieur SEBAA Fethi pour son accompagnement tout au long de ce projet. Ses connaissances approfondies, ses conseils précieux et son soutien constant ont été des éléments clés pour mener à bien ce travail. Ce fut un véritable honneur de collaborer avec lui.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers Monsieur RAHOU Mohamed qui m'a apporté un soutien inestimable. Ses conseils ont été extrêmement bénéfiques pour m'aider à réussir cette tâche, et je lui témoigne mon profond respect.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury, particulièrement Mr CHORFI SIDI MOHAMMED et Mr ACHOUIMOHAMMED qui nous ont fait l'honneur de présider le jury ainsi que l'examinations du mémoire.

Comme je remercie sans toutefois les citer, tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Notre profonde reconnaissance s'adresse à l'ensemble des enseignants de notre département.

Dédicaces

Louanges à DIEU Clément et Miséricordieux qui m'a donné la force physique et morale pour réaliser mon rêve, un rêve que je souhaite se prolonger encore longtemps.

Je dédie ce mémoire à tous ce qui oeuvrent, qui luttent, qui cherchent pour que le savoir soit maître et que chacun de nous soit muni de toutes les armes intellectuelles afin de servir le pays et de vivre noblement.

En cette heureuse et mémorable circonstance, je tiens à remercier vivement mes chers parents des sources intarissables d'affections, d'attention et de dévouement.

Mes frères Sari. Islam et ma sœur Sanaa, pour leurs soutiens moraux.

Tous mes amis Y. YACINE, S. AMINE, K. MOHAMED, B. ABDELBASSET,

B. BILLAL, T. SALSABIL

A tous ceux qui m'ont consacré leur temps et leur attention, je dis encore et toujours MERCI.

J'espère n'avoir oublié personne.

Que Dieu le tout puissant récompense les bienfaisants.

Table des matières

Introduction générale 13
Chapitre I
I- Introduction 15
I.2. Rôle du bureau des méthodes. 16
I.3. Etude de fabrication..... 19
1.3.1.Définition. 19
I.3.2. Principales étapes de l'étude de fabrication : 19
1.4. Nature des problèmes posés et connaissances nécessaires 20
I.5. Théorie sur la précision d'usinage. 21
Chapitre II 23
Généralités sur l'usinage 23
II.1. Introduction 24
II.2. But d'usinage 24
II.3. Procèdes d'usinage 24
II.4.Tour 25
II.4.1.Tournage : 25
II.4.2.Classification des machines de tournage 26
II.4.3.Différentes opérations de tournage 28
II.5. Performance des outils de coupe 30
II.6.Fraisage : 30
II.6.1. Classification des fraiseuses 31
II.7. Conclusion 31
Chapitre III 32
Paramètres de coupe 32
III.1. Introduction 33
III.2. Choix des paramètres de coupe 33
III.2.1. Paramètres de coupe en tournage 33
III.3. temps technologique de chariotage 35
III.4. Paramètres de coupe en fraisage 35
III.5. Etat de l'art 38
III.6. Effet du métal en cours d'usinage 39
III.7. Effet de la vitesse de coupe sur la durée de vie de l'outil 39
III.8. Effet de l'avance et de la profondeur de passe 39
III.9. conclusion 40
Chapitre IV 41
Etude expérimental et modélisation 41
IV.1. Introduction 42
IV.2. Etude expérimentale 42
IV.2.1 Machine utilisée 42

IV.2.2. Outil de coupe 43
IV.2.3. Matériau utilisé 44
IV.2.4. Plan des essais 45
IV.3. Interprétation des résultats 56
IV.4. Modélisation 56
IV.5. Outil développé 58
IV.6. Conclusion 60

Liste des tableaux

Chapitre IV

Tableau 3.1: Caractéristiques de la machine utilisée 49

Tableau 3.2: Caractéristiques du matériau utilisé 50

tableau 3.3 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 1 51

tableau 3.3 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 2 53

tableau 3.4 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 3 54

tableau 3.5 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 4 56

tableau 3.6 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 5 57

tableau 3.7 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 6 59

tableau 3.7 Les conditions de coupe et la rugosité dans ESSAI 7 60

Liste des figures

Chapitre I

Figure1.1: Principales étapes de la fabrication d'un produit 4

Figure 1.2 : Processus d'industrialisation 5

Figure1.3 : Les principes étapes de préparation à la fabrication 6

Chapitre II

Figure 2.1 : Tour parallèle. 25

Figure 2.2 : Tour semi-automatique. 26

Figure 2.3 : Tour automatique. 27

Figure 2.4 : Tour automatique multibroche. 28

Figure 2.5 : Tour à commande numérique. 25

Figure 2.6 : Différentes opérations de tournage . 26

Figure 2.7 : mouvements de coupe en fraisage. 27

Chapitre III 28

Figure 3.1 : représentation de vitesse de coupe. [3] 25

Figure 3.2 : représentation de vitesse d'avance. [3] 26

Figure 3.3 : représentation paramètres de coupe. 27

Figure 3.4 : vitesse de coupe 28

Figure 3.5 : la vitesse d'avance en fonction du nombre de dents de la fraise et de la vitesse de rotation .

Chapitre IV 29

Figure 4.1: Machine utilisée. 30

Figure 4.2: Outil de coupe utilisé. 31

Figure 4.3: Matériau utilisé.

Figure 4.4: Eprouvettes. 48

Figure 4.5: Eprouvette de l'essai 1. 49

Figure 4.6: Evolution de Ra en fonction de Vc pour l'essai 1. 50

Figure 4.7: Eprouvette de l'essai2. 51

Figure 4.8: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe (2). 52

Figure 4.9: Eprouvette de l'essai3.

Figure 4.10: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe (3). 53

Figure 4.11: Eprouvette de l'essai 4. 54

Figure 4.12: Evolution de la rugosité en fonction de la Vitesse de coupe (4). 55

Figure 4.13: Eprouvette de l'essai5. 55

Figure 4.14: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(5). 56

Figure 4.15: Eprouvette de l'essai6. 57

Figure 4.16: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(6). 58

Figure 4.17: Eprouvette de l'essai 7. 58

Figure 4.18: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe (7) . 59

Figure 4.19: Effet de la vitesse de coupe Vc sur la rugosité Ra. 60

Abréviations

Vf : Vitesse d'avance

f : l'avance

Vc : vitesse de coupe (m/mn)

Fz : l'avance par dent (mm/dent)

D : diamètre à usiner (mm)

ARS : Acier rapide supérieur

CM : carbure métallique

Ra : rugosité

N : Fréquence de rotation (tr /min)

ap : Profondeur de passe (mm)

CN : Commande Numérique

3D : Dessin à trois dimensions

CAO : Conception assistée par ordinateur.

Résume

La rugosité est une mesure de l'aspect texturé ou irrégulier d'une surface. Elle fait référence aux variations de hauteur présentes sur une surface, que ce soit à l'échelle microscopique ou macroscopique.

Ce travail a pour objet d'étudier l'influence de la vitesse de coupe sur la rugosité en application sur un acier d'usage général S235.

Pour atteindre cet objectif, deux parties ont été développées. La première partie est consacrée aux généralités sur l'usinage.

La seconde partie est consacrée à une étude expérimentale. Le but de cette étude est la détermination de l'évolution de l'état de surface en fonction de la vitesse de coupe. On a effectué une série de 25 essais, en variant les vitesses de coupe dont la profondeur et la vitesse d'avance sont constants.

Mots-clés : influence de la vitesse de coupe, rugosité, tournage, paramètres de coupe.

Abstract

Roughness is a measure of the textured or irregular appearance of a surface. It refers to the height variations present on a surface, whether on a microscopic or macroscopic scale.

This study aims to investigate the influence of cutting speed on roughness in the application of general-purpose steel S235.

To achieve this objective, two parts were necessary. The first part is dedicated to general information about machining.

The second part is dedicated to an experimental study. The aim of this study is to determine the evolution of the surface condition in relation to the cutting speed. A series of 25 experiments were conducted, varying the cutting speeds while keeping the depth of cut and feed rate constant.

Keywords : influence of cutting speed, roughness, turning, cutting parameters.

ملخص

الخشونة هي قياس للمظهر المنقوش أو غير المنتظم للسطح. وتشير إلى تغيرات الارتفاع الموجودة على السطح، سواءً على مستوى مجهري أو ماكروسكوبي.

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير سرعة القطع على الخشونة في تطبيق على فولاذ S235

ذو الاستخدام العام لتحقيق هذا الهدف، تم الحاجة إلى جزئين، الجزء الأول مخصص للمفاهيم العامة حول القطع.

الجزء الثاني مخصص لدراسة تجريبية. هدف هذه الدراسة هو تحديد تطور حالة السطح بالنسبة لسرعة القطع. تم إجراء سلسلة من 25 تجربة، حيث تم تغيير سرعات القطع مع الحفاظ على عمق القطع ومعدل التغذية ثابتين.

الكلمات الرئيسية: تأثير سرعة القطع، الخشونة، الخراطة، معلمات القطع

Introduction générale

L'usinage est une technique de fabrication qui consiste à enlever de la matière d'une pièce brute pour obtenir une forme, une dimension ou une finition spécifique. Cette méthode est utilisée dans des nombreux domaines industriels, tels que l'aéronautique, l'automobile, l'énergie et la mécanique en général. L'usinage requiert une connaissance approfondie des matériaux et des machines-outils, ainsi qu'une maîtrise des paramètres de coupe qui influencent la qualité de la pièce usinée. la vitesse de coupe est très important car elle détermine la quantité de matière enlevée par unité de temps et affecte la durée de vie de l'outil de coupe.

Le but de ce travail est d'etudier influence de la vitesse de coupe sur l'etat de surface Afin d'atteindre cet objectif, ce mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre présente les généralités d'usinage, englobent les différentes techniques et méthodes utilisées pour l'usinage d'une pièce brute afin d'obtenir une forme et une finition précises.

Le deuxième chapitre concerne les paramètres de coupe en tournage et en fraisage.

Le troisième chapitre est réservé à l'étude expérimentale de l'influence de la vitesse de coupe sur l'état de surface.

Ce travail se termine par une conclusion générale suivie de perspectives.

Chapitre I

Processus de fabrication

I- Introduction

Le processus d'élaboration d'un produit industriel est défini par un ensemble d'étapes permettant, à partir d'un besoin, la réalisation d'un produit.

La figure 1-1 montre d'une façon globale l'acheminement de l'évolution de la fabrication d'un produit.

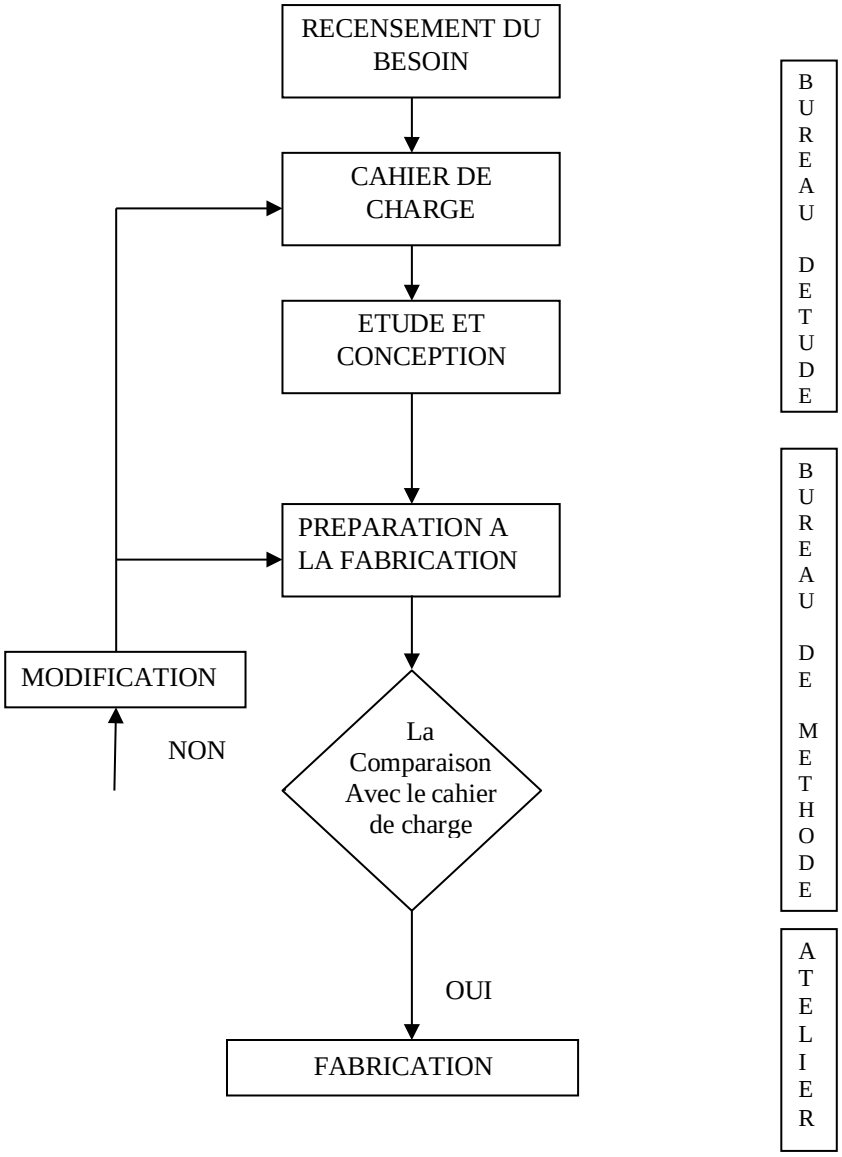

Figure1.1: Principales étapes de la fabrication d'un produit [1].

I.2. Rôle du bureau des méthodes.[1]

Pour réaliser un produit fini quelconque, trois étapes sont nécessaires :

- conception faite par le bureau d'études;
- préparation à la fabrication faite par le bureau des méthodes;
- fabrication du produit au niveau des ateliers;

Le travail fait au BM par le préparateur consiste à trouver la solution optimale pour la fabrication de pièces précises en respectant les quatre facteurs suivants :

- précision des pièces;
- L'importance de la série des pièces ;
- Temps de réalisation ;
- Coût de fabrication ;

A la lumière des recommandations préconisées sur le cahier de charge et les spécifications imposées par le bureau d'études, le bureau des méthodes s'occupe de plusieurs taches au niveau du bureau de méthode usinage et du bureau méthode brut.

a) Au niveau du bureau des méthodes –usinage :

- établissement de l'avant –projet d'étude de fabrication (analyse de travail, élaboration des gammes d'usinage, des gammes d'assemblages, etc)
- Feuilles de contrôle et choix des divers paramètres technologiques
- Aboutissement au projet d'étude de fabrication :
  - calcul des cotes de fabrication ;
  - contrats de phases (chiffrage des temps, calcul des conditions de coupes...)
  - Dessin des outillages (étude des portes pièces et outils, appareillage standards et spéciaux etc…)
  - Fichiers de réglage;

b) Au niveau du bureau des méthodes –brut :

- Avant projet d'étude de brut.
- Dessin du brut non coté.
- Etude du processus d'élaboration du brut.
- Etude des outillages.

La figure 1.2 présente d'une manière précise le processus d'industrialisation selon les recommandations de l'inspection générale française [1] .

BE	BM usinage	Atelier usinage	BM brut	Atelier brut
*Dessin d'ensemble Nomenclature *Projet de dessin de définition Formes fonctionnelles Cotes et spécifications Matériaux *dessin de définition de produit			*Avant projet d'étude du brut. *Dessin du brut non coté.	
	*Avant-projet d'étude de fabrication Choix technologique et économique *Feuille de contrôle et choix			
	*Projet d'étude de fabrication Calcul des cotes fabriquées (usinées et brut) Contrats de phases prévisionnels Dessin des outillages Fichier réglage	*Expérimentation et essais	*Choix de certaines cotes de brut. *Dessin du brut capable *Etude du processus d'élaboration du brut. *Dessin du brut fini *Etude des outillages	
		*Réalisation des outillages. *Présérie. Essais Mise au point Stabilisation des postes		*Réalisation des outillages *Obtention du brut
	*Contrats de phases	*Production de série		*Contrôle

Figure 1.2 : Processus d'industrialisation.[1]

La figure 1.3 illustre les principes étapes du bureau de méthode

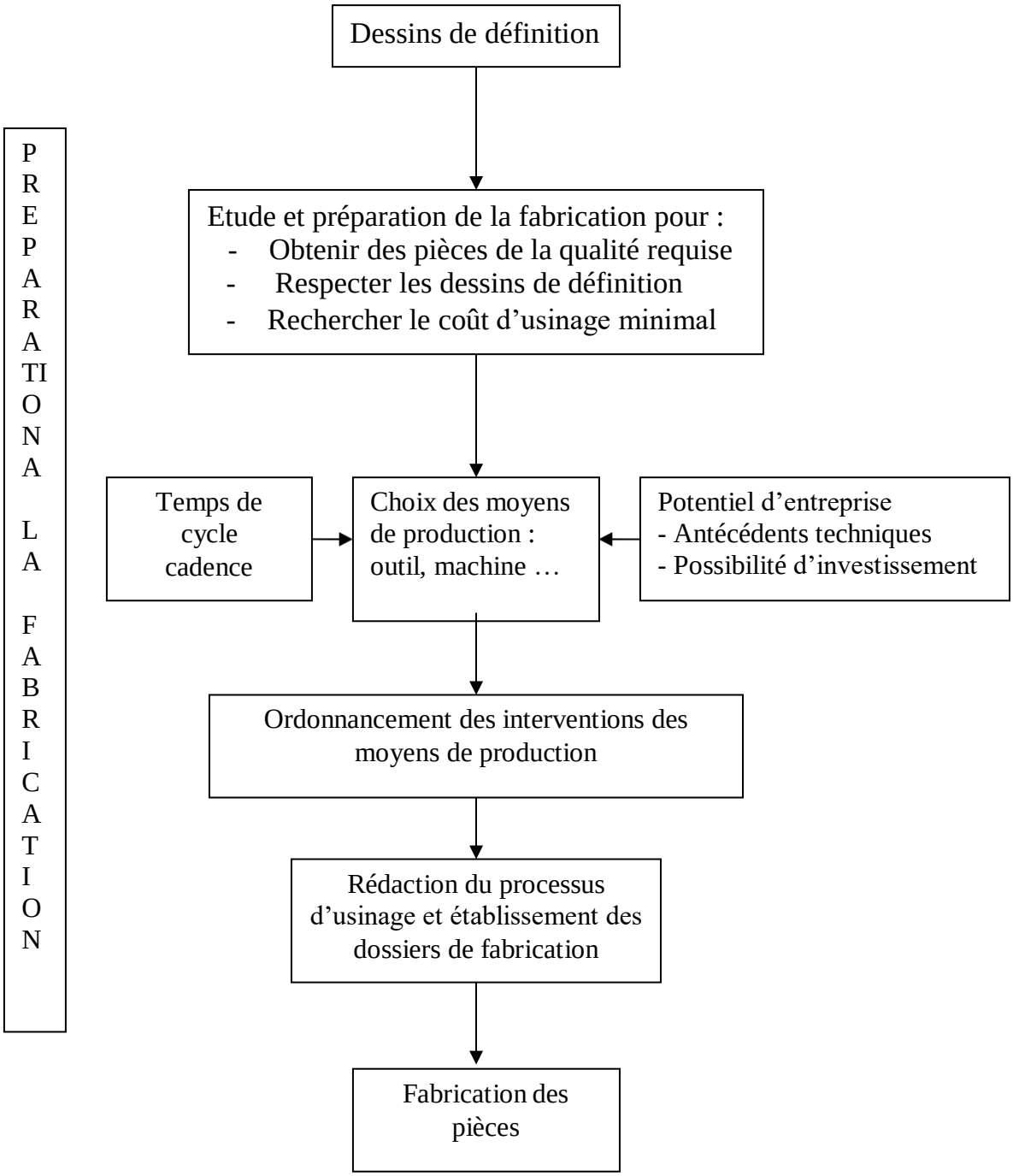

Figure1.3 : Les principes étapes de préparation à la fabrication.[1]

I.3. Etude de fabrication.[1]

1.3.1.Définition.

L'étude de fabrication est la recherche de la réalisation de pièces bonnes à un prix optimal tout en respectant un ordre chronologique des différentes phases de la gamme usinage et des moyens de production (main d'oeuvre, parc machines, outillages et montage des pièces) appropriés.

I.3.2. Principales étapes de l'étude de fabrication :

a) Données de départ

Les données de départ de l'étude de fabrication sont toutes officialisées sur le cahier de charges. En conséquence, on trouve :

- le programme de fabrication qui comporte :
  - nombre de pièces à fabriquer ;
  - cadence de fabrication ;
  - main d'oeuvre (qualification) ;
  - parc des machines outils à utiliser ;
  - délai de fabrication ;
  - différents coût ;
- le dessin de définition ; qui doit comporter tous les renseignements techniques le dessin de la pièce brute non coté. Il peut être livré au préparateur par le bureau de méthodes du brut

b) **Dossier de fabrication.**

- *dossier de gamme*

Ce dossier est établi par le gammiste. Il comprend :

- la description du processus d'usinage pour chaque phase :
  - la désignation de la machine ;
  - la prise de pièce ;
  - les volumes de matière enlevée ;
- la simulation d'usinage (chaînes de cotes de fabrication) ;
- la liste des exigences de fabrication imposées par le gammiste ;
- les temps de production ;

La simulation d'usinage à pour but de simuler le comportement des opérations de fabrication du point de vue dispersions, afin de déterminer les spécifications de fabrication et de proposer

une répartition optimale des tolérances de fabrication.La simulation d'usinage nécessite de connaître le processus de fabrication.

Et pour chaque phase :

- les dessins de phase ;

- Dossier de phase

Le dossier de phase est établi par le préparateur méthode à partir du dossier de gamme imposé par le gammiste. Le préparateur méthode peut ainsi travailler sans avoir à connaître les autres postes de travail. Le dossier de phase décrit toutes les consignes nécessaires au gérant machine responsable du poste de travail dans une fiche de phase. Cette fiche de phase comprend le dessin de la phase (ou sous-phase) et définit pour chaque opération :

- le processus détaillé d'usinage (les outils en position de travail, les surfaces obtenues, les conditions de coupe, le programme de commande numérique pour les MOCN …) ;
- toutes les informations nécessaires aux réglages et aux suivis de la production (en indiquant notamment les moyens de contrôle) :
  - fiche de production ;
  - fiche de réglage ;
  - fiche de contrôle ;
  - fiche de surveillance ;
- les dessin des outillages (montage d'usinage ,outils spécifiques ..)

Le dossier de phase est évolutif. Il faut distinguer l'étape d'élaboration du processus de fabrication au cours de laquelle les dossiers se construisent et la situation finale dans laquelle les dossiers récapitulent toutes les données nécessaires à la production après les mises au point et validation, pour un dialogue avec le client ou pour relancer ultérieurement la production.

1.4. Nature des problèmes posés et connaissances nécessaires

Le problème primordial du service « méthodes d'usinage » (ou encore appelé bureaux des méthodes : BM) se pose en termes de réalisation des surfaces qui ne peuvent être obtenues autrement que par enlèvement de matière.

La surface a usiner peut être considérée selon deux aspects :

- la surface seule, qui doit être générée et présenter ensuite des qualités géométriques et physiques données (tolérances de formes et états de surfaces)
- la surface en tant qu'élément d'un ensemble de surfaces et devant respecter des liaisons dimensionnelles et des tolérances de position.

Le premier aspect impose une bonne connaissance des outils et de leur mouvement de travail ainsi que des machines.
Le deuxième aspect impose l'étude de la mise en position de la surface à générer par rapport à l'outil, à la machine et aux autres surfaces de la pièce ainsi que la connaissance des performances dimensionnelles et géométriques qui peuvent être réellement obtenues pour chaque usinage.
Le second problème posé au BM est le respect d'un délai et parfois d'une cadence. L'usinage totale de la pièce ne doit pas dépasser un certain temps et il convient de choisir les machines, les outils, les portes pièces, les conditions de coupes,… en conséquence.
Le choix du processus d'usinage à retenir, parmi ceux qui résolvent à la fois les problèmes de réalisation et de temps, est dicté par des considération économiques.
Cet rapide évocation des problèmes à résoudre par le BM est destiné à mettre en évidence les notions importantes à connaître que nous aborderons dans les chapitres à venir :

- Le dessin de définition (cotation fonctionnelle, tolérances géométriques, états de surface),
- La mise en position des pièces
- La liaison pièce-machine
- Les machines-outils
- Les outils
- La cotation de fabrication
- Le choix des conditions de coupe
- Les coûts de production
- Les temps d'exécution.

I.5. Théorie sur la précision d'usinage.[13]

Pour la préparation de la gamme, le gammiste doit connaître :

-les valeurs des déformations de l'ensemble machine-outil et la précision possible ;

-pour chacune des opérations à réaliser, l'opérateur doit choisir parmi des machines de la classe correspondante pour atteindre la précision imposée ;

La recherche de la précision a pour objet d'assurer :

- la mise à la cote et la réalisation d'un état macro géométrique satisfaisant ;
- Approche de l'état micro géométrique idéal ;

Les deux derniers sont difficiles à réaliser s'il y a :

- flexion de la pièce, de l’outil ou de leurs supports ;
- usure de l’outil en cours d’usinage ;
- les imperfections dans le guidage des chariots et des broches de machine ;

Chapitre II

Généralités sur l'usinage

II.1. Introduction

L'usinage est une méthode de fabrication qui implique l'enlèvement de matière à partir d'un bloc de matériau brut afin de produire une pièce avec des formes et des dimensions spécifiques. Cette technique est largement utilisée dans divers domaines industriels tels que l'aéronautique, l'automobile, l'industrie mécanique, l'électronique et bien d'autres encore.

II.2. But d'usinage

Le but d'usinage est de réaliser des pièces précises par l'enlèvement de la matière d'une pièce brute.

II.3. Procèdes d'usinage

Il existe plusieurs procèdes d'usinage tels que :

- tournage
- fraisage
- perçage
- taillage
- filetage
- rectification
- tournage

II.4.Tour [1]

Tour est considéré comme l'un des plus ancienne machine et est largement utilisée dans l'industrie. On l'appelle la "mère des machines-outils". On dit que le premier tour à fileter a été développé par un Anglais nommé Henry Maudslay en 1797. Les tours modernes à grande vitesse et à forte capacité sont développés sur la base de cette machine.

La tâche principale d'un tour à métaux est de produire des pièces cylindriques. Le processus d'usinage d'une pièce pour donner la forme et la taille requises

II.4.1.Tournage :

Le tournage est une forme d'opération d'usinage, un processus de retrait de matière utilisé pour créer des pièces rotatives en éliminant le matériau indésirable. Cela nécessite une machine à tourner ou un tour et un outil de coupe. La pièce à usiner est un matériau préformé qui est fixé à un dispositif, lui-même fixé à la machine à tourner et autorisé à tourner à grande vitesse. L'outil de coupe est généralement un outil de coupe à un seul point également fixé à la machine, bien que certaines opérations utilisent des outils multipoints. L'outil de coupe s'enfonce dans la pièce à usiner en rotation et enlève du matériau sous forme de petits copeaux pour créer la forme souhaitée. L'investigation du processus de coupe du métal est souvent très difficile en raison de la complexité découlant des nombreuses variables impliquées. Les variables sont celles des principales quantités impliquées dans le processus, telles que la pièce à usiner, l'outil et la machine-outil. D'autres variables telles que la composition et la géométrie de l'outil sont également prises en compte, tout comme celles de la pièce à usiner, notamment son diamètre, ses conditions de serrage et ses microstructures. Les variables de la machine-outil comprennent la vitesse de broche, l'expansion thermique, les avances, la lubrification, les forces de coupe, la puissance et les vibrations. D'autres quantités importantes sont la vitesse de coupe, la profondeur de coupe, la finition de surface et le taux d'enlèvement de matière [2].

La formation de copeau est un élément fondamental de l'usinage. Le copeau représente la partie de matière qui est enlevée lors du processus d'usinage de la pièce. La forme et la qualité du copeau sont influencées par les caractéristiques de l'outil, de la machine et de la pièce à usiner.

II.4.2.Classification des machines de tournage

La classification des machines de tournage dépend de plusieurs critères, tels que la structure, la capacité de tournage, la précision et le niveau d'automatisation :

- **Tours parallèles :**

Figure 2.1 : Tour parallèle.

- **Tours semi-automatiques**

Figure 2.2 : Tour semi-automatique.

- **Tours automatiques**

Figure 2.3 : Tour automatique.

- **Tours automatiques multibroches**

Figure 2.4 : Tour automatique multibroche.

- **Tours à commande numérique**

Figure 2.5 : Tour à commande numérique.

II.4.3.Différentes opérations de tournage

Les Différentes opérations, figure 1-7, les plus utilisées pour le tournage sont :

- Chariotage
- Dressage
- Perçage
- Alésage
- Rainurage
- Tronçonnage
- Filetage

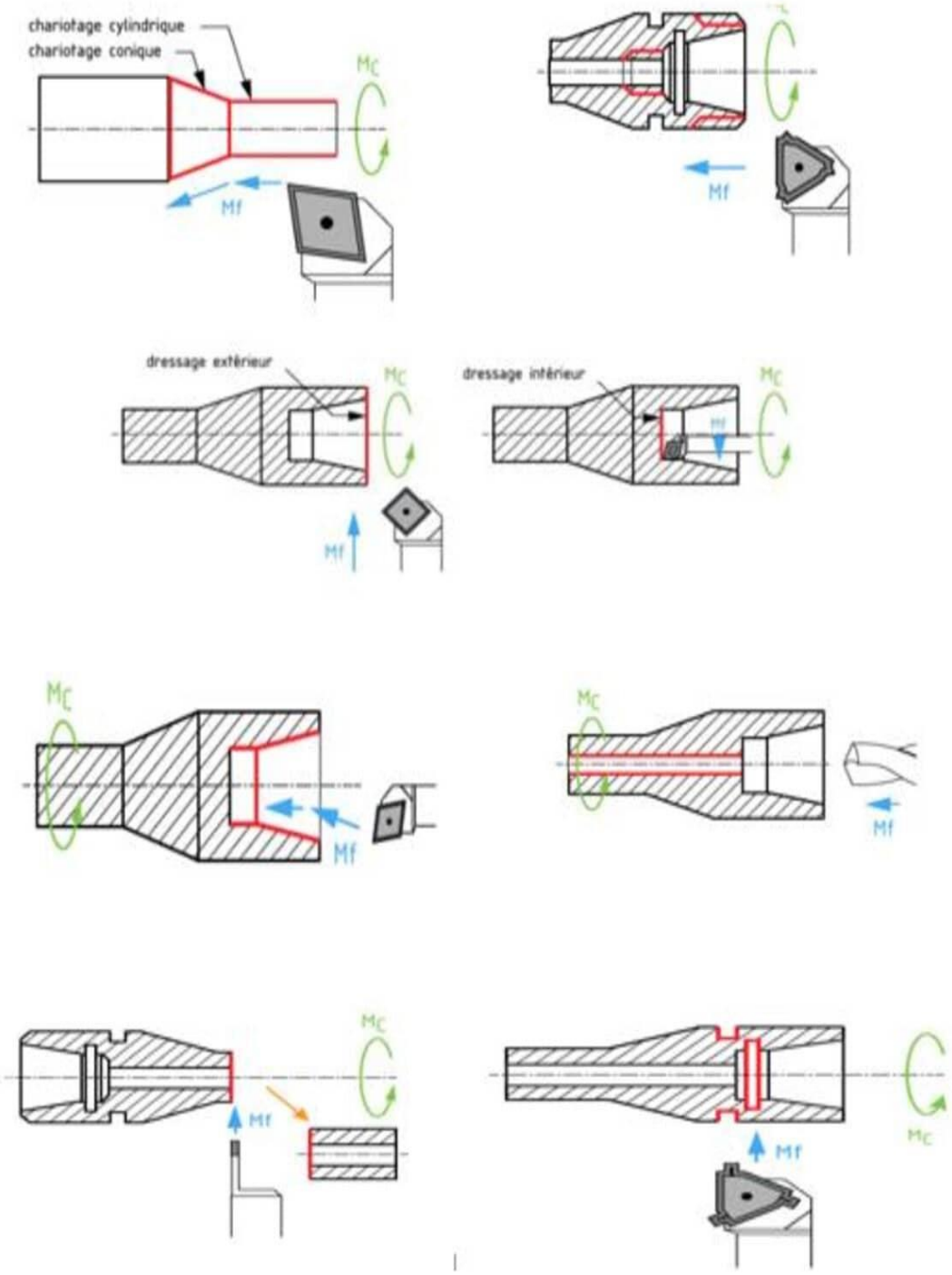

Figure 2.6 : Différentes opérations de tournage .

II.5. Performance des outils de coupe

Lors du processus de coupe des métaux, toute action qui facilite l'élimination facile du matériausous forme de copeaux améliorera les performances de l'outil. La performance de l'outil est généralement évaluée en termes de durée de vie de l'outil, de quantité d'énergie consommée pour enlever une quantité spécifique de matériau et de qualité de finition de la surfacenouvellement formée. Ces facteurs sont interdépendants et sont liés à des facteurs physiques tels que le frottement et la surface de contact. Un frottement très élevé se produit lorsque le copeau glisse sur la surface de l'outil. La force exercée due au mouvement relatif pendant la coupe provoque une augmentation de la surface de contact entre l'outil et la surface du copeau.Le mouvement relative entre les surfaces du copeau et de l'outil produit un échauffement par frottement, ce qui entraîne une température élevée à leur interface. La vitesse de glissement, latempérature élevée et la pression élevée dans l'interface entraîneront une usure accrue de l'outil.De nombreuses méthodes ont été testées pour réduire le frottement et l'usure dans les surfaces en contact, notamment des améliorations de la géométrie de l'outil, des matériaux, des revêtements d'outil , des paramètres de coupe, des fluides de coupe ou lubrifiants , de la finitionde surface et de l'amélioration de la texture de surface .

II.6. Fraisage :

La figure 2.7 montre les mouvements de coupe en fraisage.

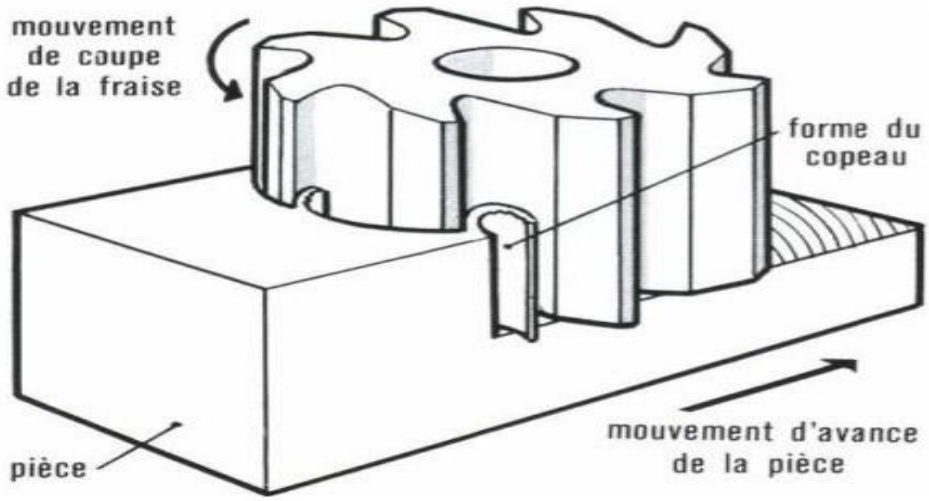

Figure 2.7 : mouvements de coupe en fraisage.

II.6.1. Classification des fraiseuses

Les machines-outils plus utilées pour le fraisge sont :

- Fraiseuses universelles ;
- Fraiseuses horizontales ;
- Fraiseuses verticales ;
- Fraiseuses à commande numérique ;

II.7. Conclusion

Ce chapitre est consacré aux différents types d'usinage et plus particulièrement le tournage. Les montages d'usinage ont été mis en exergue afin d'assurer une meilleure mise en position de la pièce lors du choix des paramètres de coupe.

Chapitre III

Paramètres de coupe

III.1. Introduction

Le choix des paramètres de coupe telles que la fréquence de rotation , la vitesse d'avance , la profondeur de coupe , la géométrie de l'outil de coupe … jouent un rôle Primordiale sur la durée de vie des outils de coupe , l'état de surface des piéces usinées les tolérances de fabrications et la productivité .

III.2. Choix des paramètres de coupe [3,13]

Il y a trois facteurs influençant sur le choix des paramètres de coupe, qui sont :

- L'opération d'usinage ;
- La forme de l'outil ;
- La matière de la pièce ;

III.2.1. Paramètres de coupe en tournage

- Vitesse de coupe

La vitesse de coupe est liée directement à la fréquence de la broche (voir figure)

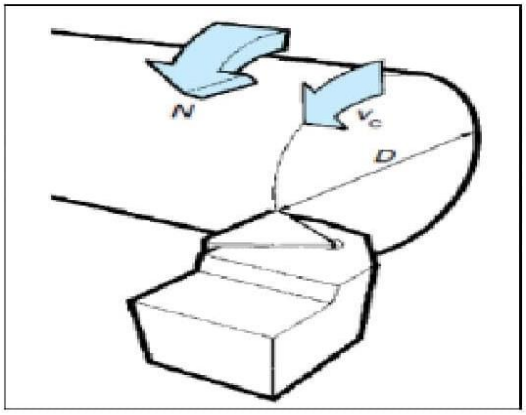

Figure 3.1 : représentation de vitesse de coupe. [3]

La relation de la vitesse de coupe est donnée par (1). [13]

$$Vc = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \qquad (1)$$

- V_c: vitesse de coupe (m/min) ;

- D: Diamètre à usiné (mm) ;

- N: Fréquence de rotation (tr/min) ;

- **Vitesse d'avance**

La vitesse d'avance Vf est liée au déplacement de l'outil par rapport au bâti (figure)

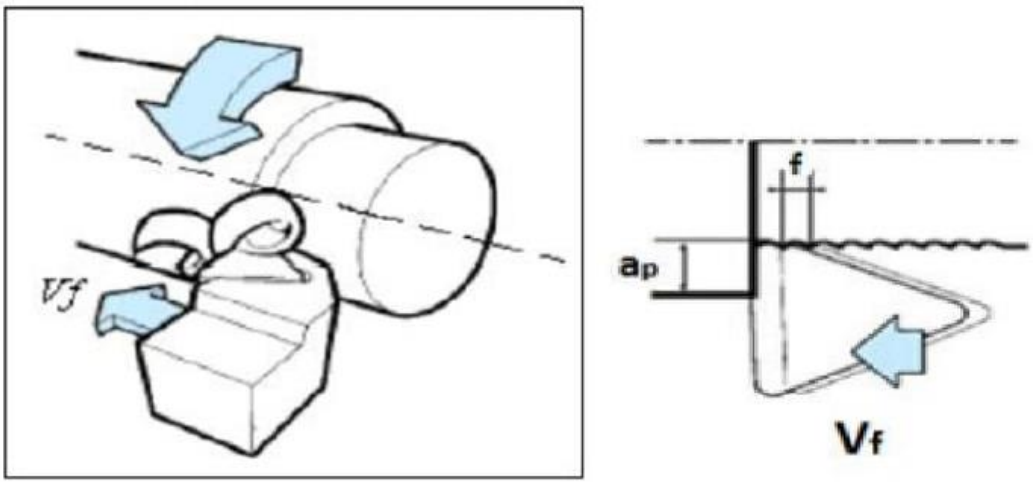

Figure 3.2 : représentation de vitesse d'avance. [3]

La relation de la vitesse d'avance est donnée par l'équation (2).[13]

$$Vf = f \times N \qquad (2)$$

- Vf : vitesse d'avance (mm/mn) ;
- F : Avance par tour (mm) :
- N : fréquence de rotation (tr/mn) ;

- **Profondeur de passe [24]**

La profondeur de passe est donnée en fonction de la :

- Puissance de la machine
- Rigidité de la pièce et de l'outil ;
- Nature du matériau à usiner ;
- Taille de copeau minimum ;
- Forme du bec de l'outil ;

III.3. temps technologique de chariotage [3,13,24]

Le temps technologique de chariotage est donnée en fonction des paramètres suivants :

- Nombre de passes n ;
- La longueur d'usinage L ;
- La fréquence de rotation N ;
- L'avance par tour f :
- La distance d'approche li ;
- La vitesse de coupe Vc ;

Le temps technologique de coupe est donné par la relation (3).[24]

$$\mathbf{Ttc} = \frac{n(L+l)\pi \times d}{f \times Vc} \qquad (3)$$

III.4. Paramètres de coupe en fraisage

Les paramètres de coupe en fraisage sont choisis en fonction des paramètres suivantes :

- Type de machine (mécanisme, plage de vitesse) ;
- La puissance de la machine ;
- Matériau de l'outil (ARS , carbure ,…)
- Matériaux de transormation (acier , aluminium,…)

La figure 3.3 présente les paramètres de coupe .

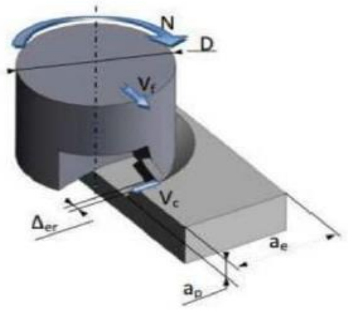

Figure 3.3 : représentation paramètres de coupe.

- **Vitesse de coupe V_C [21]**

La relation de la vitesse de coupe est donnée par l'équation (4). [13]

$$V_C = R \times \omega$$

$$N = \frac{Vc \times 1000}{\pi \times D}$$

$$V\ c = = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \qquad (4)$$

D : Diamètre de la fraise (mm).

N : Vitesse de broche (tr/min).

Vc : Vitesse de coupe (m/mm).

La figure 3.4 illustre la vitesse de coupe

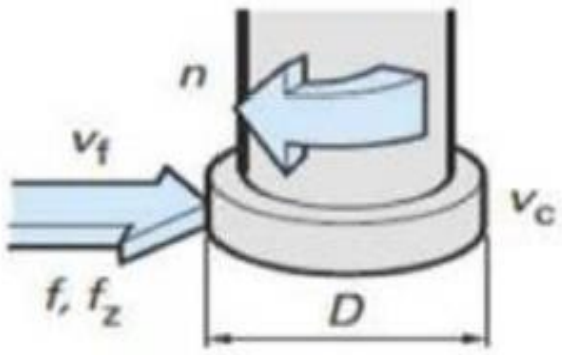

Figure 3.4 : vitesse de coupe

- **Vitesse d'avance Vf [21]**

La vitesse est donnée par la relation suivante par l'expression (5).[13]

Vf = f x Z x N

Z : nombre de dents de la fraise .

N : la fréquence de rotation .

Vf : Vitesse d'avance (mm/mn)

F : Avance par dent (mm/dent)

N : fréquence de rotation en tours par minute (tr/mn)

La figure 3.5 montre la vitesse d'avance en fonction du nombre de dents de la fraise et de la vitesse de rotation .

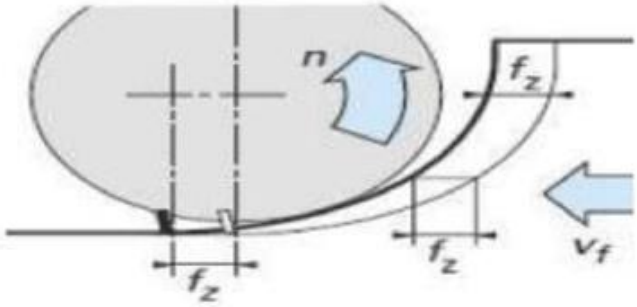

Figure 3.5 : la vitesse d'avance en fonction du nombre de dents de la fraise et de la vitesse de rotation .

- **Profondeur de passe**

La profondeur de passe est donnée en fonction de la :

- Puissance de la machine ;
- Rigidité de la pièce et de l'outil ;
- Nature du matériau à usiner ;
- Taille de copeau minimum ;
- Forme du bec de l'outil ;
- Nature du matériau et état de la machine ;

III.5. Etat de l’art

L'opération de tournage est une opération d'usinage de base des métaux largement utilisée dans les industries traitant de la coupe des métaux [1]. La sélection des paramètres d'usinage pour une opération de tournage est une tâche très importante pour atteindre des performances élevées [2]. Par hautes performances, nous entendons bonne usinabilité, meilleur état de surface, moindre taux d'usure de l'outil, taux d'enlèvement de matière plus élevé, rythme de production plus rapide, etc.

La finition de surface d'un produit est généralement mesurée en termes d'un paramètre appelé rugosité. Il est considéré comme un indice de qualité du produit [3]. Une meilleure finition de surface peut apporter sur les propriétés de résistance telles que la résistance à la corrosion, la résistance à la température et durée de vie plus élevée de la surface usinée [4,5]. En plus des propriétés de résistance, la finition de surface peut également affecter le comportement fonctionnel des pièces usinées, comme dans le frottement, transmission de la chaleur, capacité de distribution et de maintien d'un lubrifiant, etc. [6,7]. La finition affecte également les coûts de production [3]. Pour les raisons précitées, la minimisation de la rugosité est essentielle, ce qui peut être obtenu en optimisant une partie de la coupe paramètres. L'usure de l'outil est un phénomène inhérent à toute opération de coupe traditionnelle. Les chercheurs s'efforcent vers l'élimination ou la minimisation de l'usure de l'outil car l'usure de l'outil affecte la qualité du produit ainsi que le coûts de production. Afin d'améliorer la durée de vie de l'outil, des études approfondies sur les caractéristiques d'usure de l'outil doivent être menées [8]. Certains des facteurs qui affectent l'usure de l'outil et la rugosité de la surface sont les paramètres d'usinage tels que la vitesse de coupe, l'avance, la profondeur de coupe, etc., le matériau de l'outil et ses propriétés, matériau de la piece et ses propriétés et la géométrie de l'outil.

III.6. Effet du métal en cours d'usinage

Les propriétés physico-mécaniques du métal en cours d'usinage ont une grande influence sur la vitesse de coupe permise par l'outil. Cette influence est prédéterminée par la chaleur générée lors de la coupe et la répartition de la chaleur entre le copeau, la pièce, l'outil et le milieu environnant [12].

III.7. Effet de la vitesse de coupe sur la durée de vie de l'outil

Il a été établi expérimentalement qu'il existe une relation définitive entre la vitesse de coupe etla durée de vie de l'outil : avec une augmentation de la vitesse de coupe, la durée de vie de l'outilest réduite [13].

III.8. Effet de l'avance et de la profondeur de passe

Étant donné que le taux d'avance et la profondeur de passe influencent les forces de coupe et la température, ils ont une forte influence sur la vitesse permise par l'outil. Une vitesse de coupe et une profondeur de coupe accrues entraînent une augmentation des températures à la zone de coupe. À des températures élevées, l'usure chimique devient un mécanisme d'usure prédominantet accélère souvent l'affaiblissement du bord de coupe, entraînant une défaillance prématurée de l'outil (écaillage), c'est-à-dire la rupture du bord de l'outil de coupe. De plus, il est observé que lorsque le taux d'avance est augmenté, les contraintes résiduelles passent de compressives à tensiles [14]. Une étude a montré que la dureté influe grandement sur les propriétés du matériau en termes de variation élevée des propriétés de contrainte de fluage. Les contraintes résiduelles deviennent de plus en plus compressives à mesure que la dureté de la pièce augmente[15].

III.9. conclusion

Le choix des paramètres de coupe appropriés peut avoir un impact significatif sur la qualité de la pièce finie, la durée de vie de l'outil et l'efficacité globale du processus d'usinage.

Une étude experimentale est envisagée pour améliorer l’état de surface d’une pièce en function de la vitesse de coupe.

Chapitre IV

Etude expérimentale et modélisation

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude expérimentale sur l'influence de la vitesse de coupe sur l'état de surface. Les essais expérimentaux ont été réalisés au sein de l'atelier d'usinage du département de Génie-Mécanique, Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaïd de Tlemcen.

IV.2. Etude expérimentale

IV.2.1 Machine utilisée

Les opérations d'usinage ont été réalisées sur un tour parallèle conventionnel TOS TRENCIN (figure 4.1), dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 4.1

Figure 4.1: Machine utilisée.

Tableau 4.1: Caractéristiques de la machine utilisée

Diamètre admis au-dessus du banc	400 mm
Diamètre admis au-dessus du chariot	220 mm
Diamètre maximum à charioter	600 mm
- Largeur du plateau de serrage	230mm
Hauteur des pointes au-dessus du banc	200mm
Distance entre pointes	1060mm
Longueur de tournage	1000mm
Couple de torsion permis	1200 N.m
Poids maximale de la pièce à usiner	300 Kg
Vitesses de rotation	Min= 45 tr/min - Max=2000 tr/min
Vitesses d'avance	Min= 0,08 mm/tr – Max=6,40 mm/tr
Puissance de la machine	6,8 KW

IV.2.2. Outil de coupe

Outil de coupe utilisé est en carbure métallique fourni par La société PMO (Figure 4.2), dont l'angle de dépouille**α = 6°,** l'angle de direction d'arête **kr= 45°**, l'angle de coupe **ɣ=4°,** l'angle de taillant**β = 80°,**

Figure 4.2: Outil de coupe utilisé.

IV.2.3. Matériau utilisé

Dans ce travail, le matériau utilisé est un acier doux **S 235** (figure4.3). Les caractéristiques de ce matériau sont données dans le tableau 4.2

Figure 4.3: Matériau utilisé.

Tableau 4.2: Caractéristiques du matériau utilisé

Caractéristiques physiques						
R_e N/mm²	R_m N/mm²	A %	KCU J/cm²	HRC	R Ω	ρ Kg/dm³
177,66	486,96	25,3	204.04	75	0.5	8.17

Caractéristiques chimiques								
Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Pourcentage	0,139	0,204	1,062	0,013	0,011	0,190	0,030	0,036

IV.2.4. Plan des essais

Le but de cette étude est la détermination de l'évolution de l'état de surface en fonction de la vitesse de coupe. Afin d'atteindre cet objectif, on a effectué une série de 25 essais (figure 4.4), en variant les vitesses de coupe dont la profondeur et la vitesse d'avance sont constantes.

Figure 4.4: Eprouvettes.

A- ESSAI 1

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.3

TABLEAU 4.3 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 1.

N (tr/min)	Ap	F	Vc	Ra [µ]
500	0,5	0,08	80	0 ,56
500	0,5	0,08	70	0,64
500	0,5	0,08	60	0,76
355	0,5	0,08	45	0,89

Figure 4.5: Eprouvette de l'essai 1.

La figure 4.6 présente l'évolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap = 0,5 mm et f = 0,08 (mm/tr).

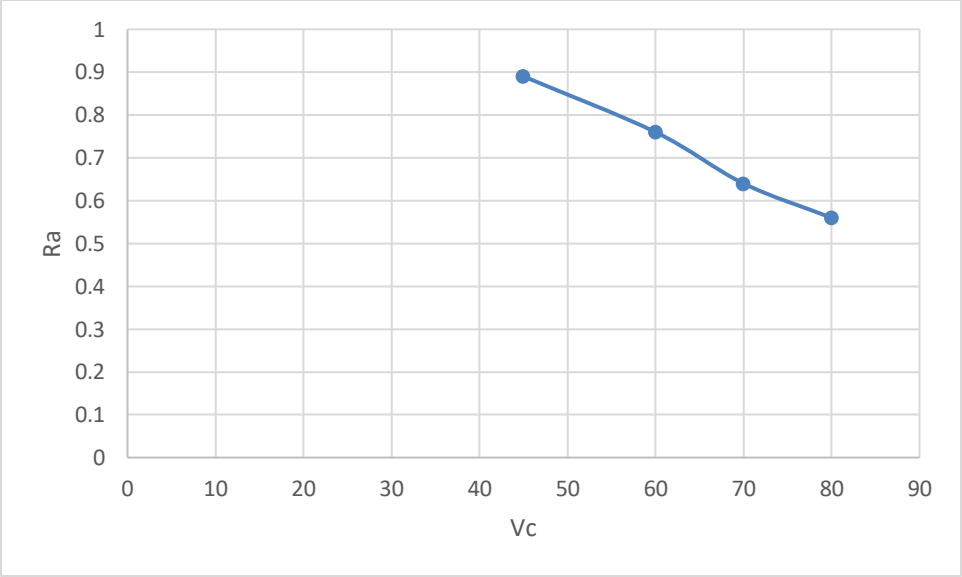

Figure 4.6: Evolution de Ra en fonction de Vc pour l'essai 1.

A- ESSAI 2

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.4

TABLEAU 4.4 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 2.

N (tr/min)	Ap mm	F mm/tr	V cm/mn	Ra [µ]
125	0,5	0,08	20	1,76
180	0,5	0,08	22	1,52
250	0,5	0,08	30	1,31

Figure 4.7: Eprouvette de l'essai2.

La figure 4.8 presente l'evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap = 0.5 mm,Vf = 0.08mm/tr.

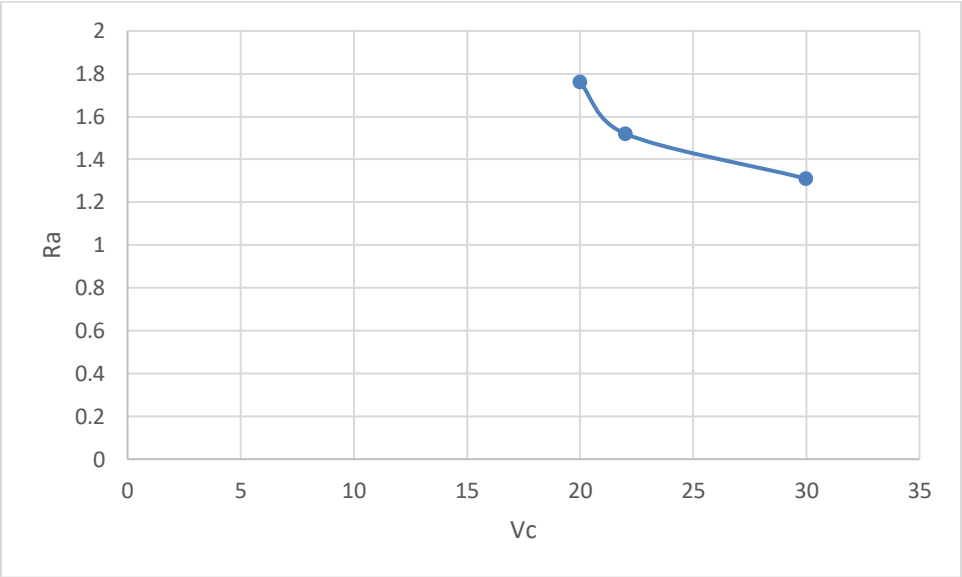

Figure 4.8: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(2).

A- ESSAI 3

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.5

TABLEAU 4.5 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 3.

N (tr/min)	Ap	F	Vc	Ra [µ]
125	0,5	0,12	20	1,86
125	0,5	0,12	22	1,62
125	0,5	0,12	30	1,42
125	0,5	0,12	35	1,37

La figure 4.9 présente Eprouvette de l'essai3:

Figure 4.9: Eprouvette de l'essai3.

La figure 4.10 presente l'evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap =0.5,Vf = 0.12

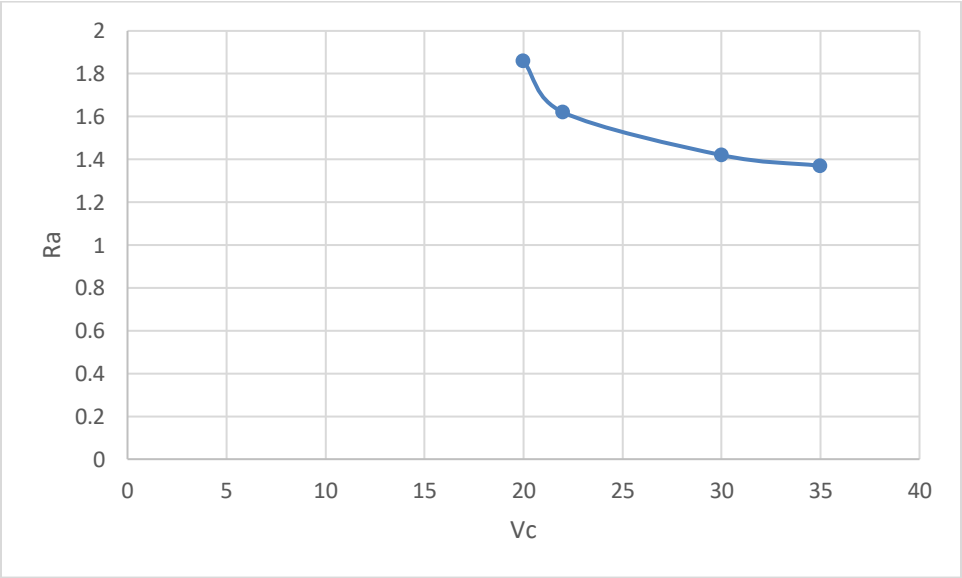

Figure 4.10: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(3).

A- ESSAI 4

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.6

TABLEAU 4.6 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 4.

N (tr/min)	Ap	F	Vc	Ra [µ]
125	0,5	0,20	20	1,93
180	0,5	0,20	22	1,63
250	0,5	0,20	25	1,42

La figure 4.11 présente eprouvette de l'essai 4:

Figure 4.11: Eprouvette de l'essai 4.

La figure 4.12 presente l'evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap = 0.5 , Vf = 0.20

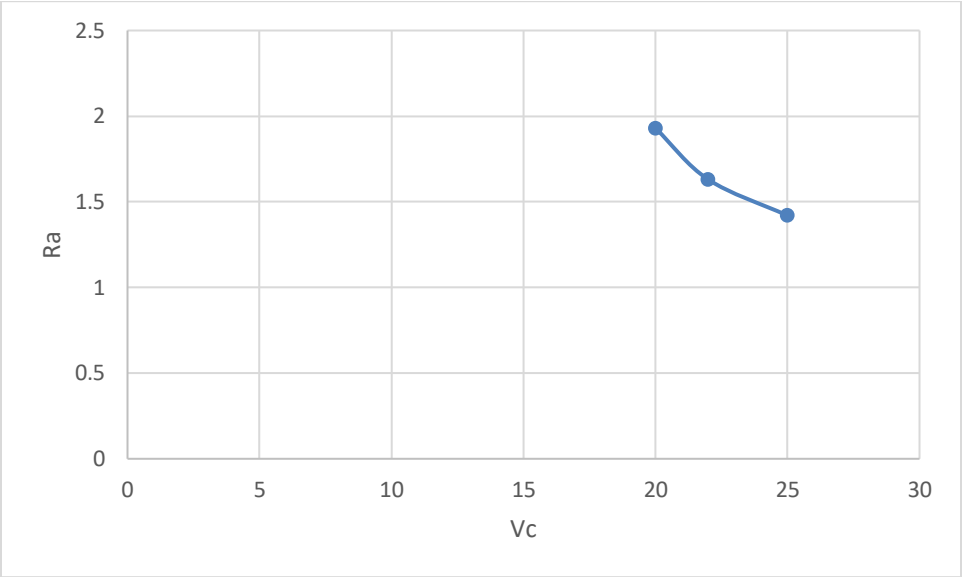

Figure 4.12: evolution de la rugosité en fonction de la Vitesse de coupe(4).

A- ESSAI 5

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.7

TABLEAU 4.7 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 5.

N (tr/min)	Ap	f	Vc	Ra [µ]
125	1	0,24	20	2,12
180	1	0,24	22	1,72
180	1	0,24	25	1,57
250	1	0,24	30	1,45

La figure 4.13 montre eprouvette de l’essai 5 :

Figure 4.13: Eprouvette de l’essai5.

La figure 4.14 presente l’evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap = 1,Vf = 0.24

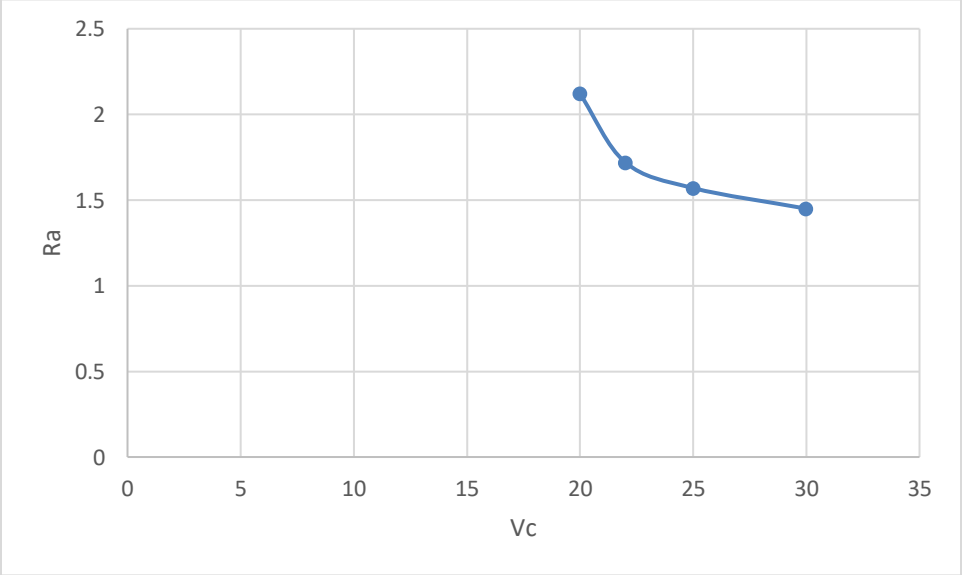

Figure 4.14: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(5).

A- ESSAI 6

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.8

TABLEAU 4.8 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 6.

N (tr/min)	Ap	F	Vc	Ra [µ]
180	1	0,28	20	2,21
180	1	0,28	22	2,12
250	1	0,28	30	1,96

Figure 4.15: Eprouvette de l'essai6.

La figure 4.16 presente l'evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe

avec Ap = 1 ,Vf = 0.28

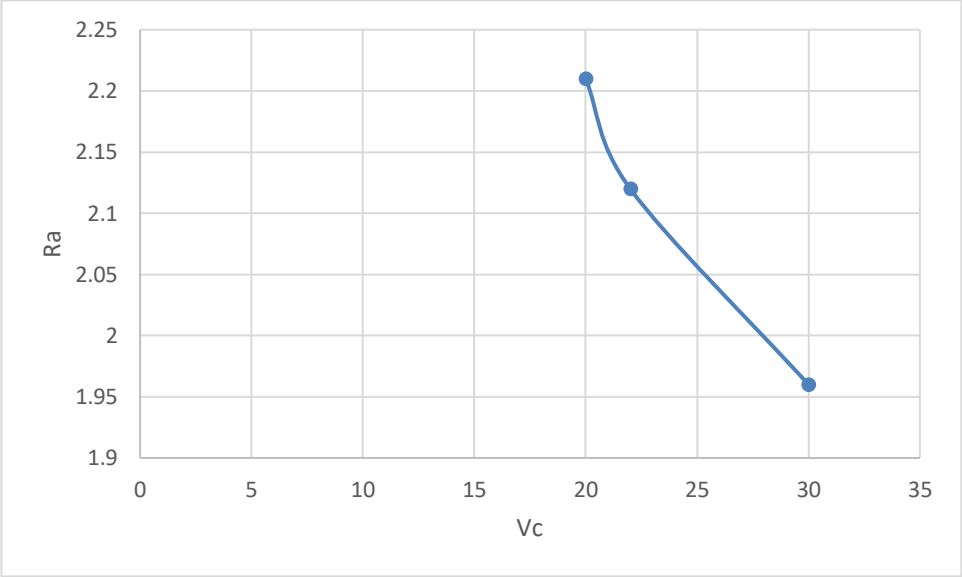

Figure 4.16: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(6).

A- ESSAI 7

Les conditions de coupe et la rugosité de cet essai sont regroupées dans le tableau 4.9

TABLEAU 4.9 : RÉSULTATS DE L'ESSAI 7.

N (tr/min)	Ap	f	Vc	Ra [µ]
125	1	0,36	20	2,32
180	1	0,36	22	2,21
250	1	0,36	25	2,12

La figure 4.17 montre eprouvette de l’essai 7 .

Figure 4.17: Eprouvette de l’essai 7.

La figure 4.18 presente l’evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe avec Ap = 1,Vf = 0.36

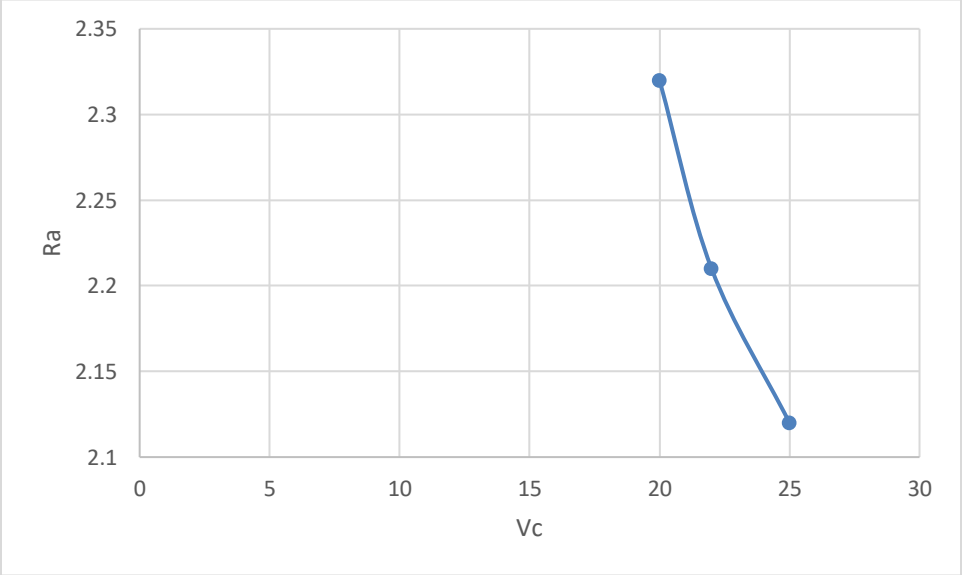

Figure 4.18: Evolution de la rugosité en fonction de la vitesse de coupe(7) .

IV.3. Interprétation des résultats

D’après les sept graphes , on a constaté que La vitesse de coupe possède une influence significative sur la rugosité de surface, les résultats obtenus montrent que l'état de surface de l’acier doux s' améliore lorsque la vitesse de coupe augmente.

IV.4. Modélisation

Dans cette partie, on a utilisé le logiciel minitab afin de développer deux modèles mathématiques pour la rugosité Ra sous la contrainte de la variation de vitesse de coupe.

Le premier modèle est une fonction linéaire sans interaction (équation (6)). Le deuxième modèle est une fonction linéaire avec interaction (équation (7)).

$$Ra = -0,8400 - 2,100\ Pa + 8,000\ Vf + 0,02000\ Vc \quad (6)$$

$$Ra = 1,562 + 0,0002\ Vc - 0,92\ Ap + 10,47\ F + 0,005\ Vc*Ap - 0,269\ Vc*F \quad (7)$$

Les résultats obtenus par ce logiciel sont donnés dans la figure

Minitab - Untitled - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Factorial Regression: Ra versus Pa; Vf; Vc

The following terms cannot be estimated and were removed:
Pa*Vf; Pa*Vc; Vf*Vc; Pa*Vf*Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0,132600	0,044200	*	*
Linear	3	0,132600	0,044200	*	*
Pa	1	0,005568	0,005568	*	*
Vf	1	0,003938	0,003938	*	*
Vc	1	0,001000	0,001000	*	*
Error	0	*	*		
Total	3	0,132600			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
*	100,00%	*	*

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0,5950	*	*	*	
Pa	-1,0500	-0,5250	*	*	*	198,00
Vf	2,240	1,120	*	*	*	851,50
Vc	0,7000	0,3500	*	*	*	267,50

Regression Equation in Uncoded Units

F*Vc	0,1056	0,0528	0,0411	1,28	0,216	1,78
F*Ap	-0,0897	-0,0449	0,0260	-1,72	0,102	1,54

Minitab - Untitled - [Sessior

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

The following terms cannot be estimated and were removed:
Ap*F; Vc*Ap*F

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	2,82649	0,565298	28,31	0,000
Linear	3	2,50661	0,835538	41,85	0,000
Vc	1	0,34001	0,340015	17,03	0,003
Ap	1	0,00145	0,001451	0,07	0,794
F	1	0,00354	0,003540	0,18	0,684
2-Way Interactions	2	0,10621	0,053103	2,66	0,124
Vc*Ap	1	0,00005	0,000051	0,00	0,961
Vc*F	1	0,01634	0,016344	0,82	0,389
Error	9	0,17969	0,019965		
Total	14	3,00617			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,141298	94,02%	90,70%	76,77%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0,595	0,246	2,42	0,038	
Vc	-2,341	-1,171	0,284	-4,13	0,003	23,87
Ap	-0,332	-0,166	0,617	-0,27	0,794	223,48
F	-0,481	-0,240	0,571	-0,42	0,684	168,62
Vc*Ap	0,077	0,038	0,762	0,05	0,961	275,21
Vc*F	-1,293	-0,647	0,715	-0,90	0,389	191,01

Regression Equation in Uncoded Units

Effects Pareto for Ra

La figure 4.19 illustre l'impact de la vitesse de coupe Vc sur la rugosité Ra. On remarque que la vitesse de coupe a une influence importante sur la rugosite par rapport à la profondeur de passe et la vitesse d'avance pour l'acier .

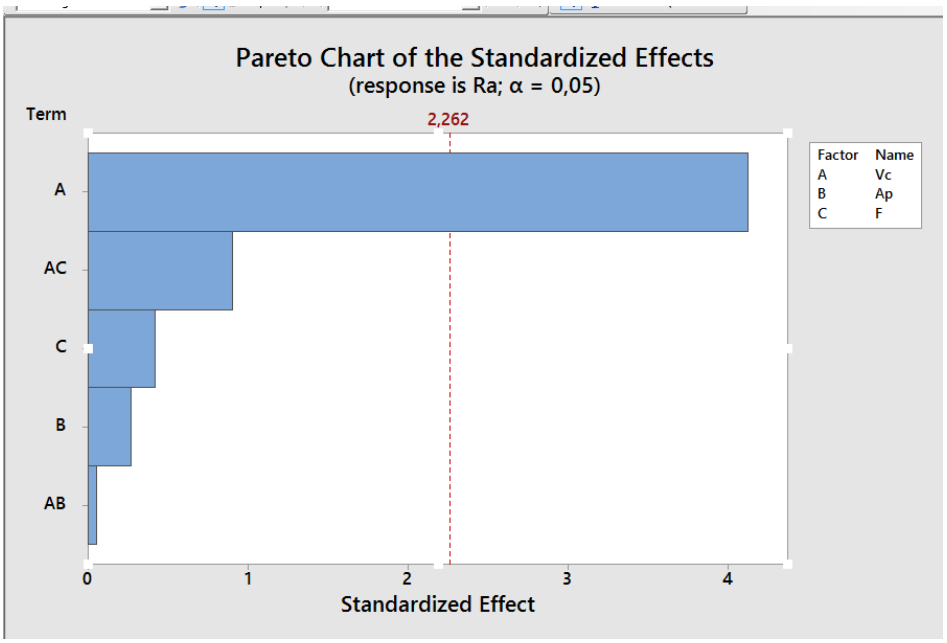

Figure 4.19: Effet de la vitesse de coupe Vc sur la rugosité Ra.

IV.5. Outil développé

Un outil d'aide au calcul des paramètres de coupe, telles que la vitesse de coupe, vitesse d'avance, la rugosité …., a été développé sous logiciel VB 6.

La figure 4.20 présente le module développé.

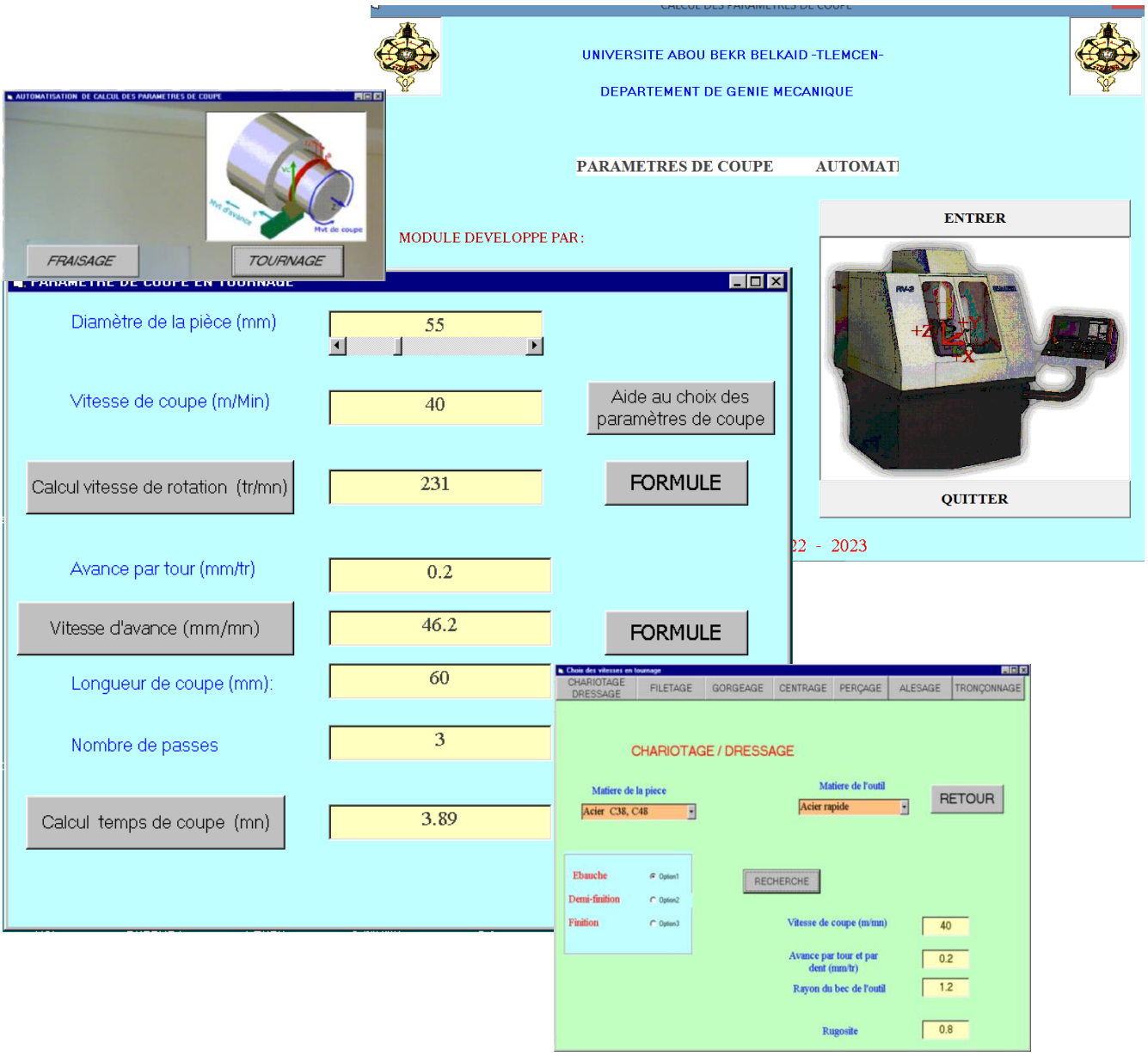

Figure 4.20: Présentation de logiciel.

IV.6. Conclusion

Une étude expérimentale a été réalisée afin de ressortir l'influence de la vitesse de coupe sur de l'état de surface. On a constaté que le choix de la vitesse de coupe joue un rôle primordial sur l'obtention d'un bon état de surface. Ce chapitre a été enrichi par une modélisation sous logiciel minitab pour développer un modèle mathématique entre la rugosité et la vitesse de coupe.

Conclusion générale

La rugosité d'une pièce usinée est la présence d'irrégularités à sa surface. L'effet de la vitesse de coupe sur la rugosité fait référence à l'influence de la variation de cette vitesse pendant le processus d'usinage sur l'état de surface obtenu.

Lecoupe joue un rôle crucial dans la rugosité de la surface et la durée de vie de l'outil, car elle apporte les résultats que vous obtenez. En considérant le coupe, en observant une diminution de la rugosité, ce qui conduit à une nette amélioration de l'état de surface et une réduction de l'usure. Par conséquent, le coupe joue un rôle déterminant dans l'optimisation de la durée de vie de l'outil et l'obtention d'une surface de qualité.

Cette étude vise à examiner l'influence de la vitesse de coupe sur l'état de surface de la pièce. Pour atteindre cet objectif, deux parties ont été développées.

La première partie aborde les notions générales de l'usinage, en insistant particulièrement sur le tour. La deuxième partie du présent est une étude expérimentale basée sur le choix approprié de la vitesse de coupe pour améliorer la qualité de surface d'une pièce mécanique.

L'étude expérimentale se concentre sur les aspects suivants

- Débitage du brut des éprouvette (Ø50 x 80) mm ;
- Profondeurs de passe 0.5 mm, 1 mm ;
- Chariotage (Ø49x13) mm, (Ø47x13) mmsur TP EP 1500PMO, Faculté de technologie ;
- Montage mixte
- Usinage sons démonter les éprouvette (pas de sous phase) ;
- Varier et modifier la vitesse de coupe ;
- Métrologie (contrôle de l'état de surface de la pièce à l'aide d'un comparateur *Mitoyou* de précision 0.001) ;
- La vitesse de coupe de l'acier a l'aide d'un outil CM est 4 fois supérieure a la vitesse de coupe avec un outil on acier rapide

Cette etude montre que le choix de la vitesse de coupe joue un rôle primordial sur l'obtention d'une bonne qualité de surface. Ce travail a été enrichi par une modélisation

sous logiciel MIITAB pour développer un modèle mathématique entre la rugosité et la vitesse de coupe.

En perspectives, ce travail sera élargi au tournage avec lubrification en vue de l'amélioration de la vitesse de coupe de base des aciers de l'ordre de 10 m/mn la qualité de surface de la pièce et en fraisage.

REFERENCES

[1] A Chevalier “Guide Du Technicien En Productique”, Hachette Technique, Paris, 1998.

[1] Ateliers d'ingénierie de base G.Sukumaran. Livres de liens, 2003

[2] Boyer H.E . “Manuel des métaux”, édition Desk, (1985),

[4]. Kumar, G., "Optimisation multi-objectifs des paramètres de coupe et géométriques dans l'opération de tournage pour réduire les forces de coupe et la rugosité de surface », B.Tech. thèse, Département de génie mécanique, Institut national de technologie, Rourkela. (2013),

[5]. Yang WH et Tarng Y.S., , « Optimisation de la conception des paramètres de coupe pour opérations de tournage basées sur la méthode Taguchi », Journal of Materials Processing Technologie, 84(1) pp.112–129. (1998)

[6]. Makadia A.J. et Nanavati J.I., , « Optimisation des paramètres d'usinage pour opérations de tournage basées sur la méthodologie de surface de réponse », Mesure, 46(4)

pp.1521-1529. (2013)

[7]. Neseli S., Yaldiz S. et Turkes E., , « Optimisation des paramètres de géométrie d'outil pour les opérations de tournage basées sur la méthodologie de surface de réponse », Measurement, 44. (2011)

[8]. Bouacha K., Yallese M.A., Mabrouki T. et Rigal J.F., « Analyse statistique des rugosité de surface et forces de coupe à l'aide de la méthodologie de surface de réponse en tournage dur de l'acier à roulement AISI 52100 avec l'outil CBN », International Journal of Refractory Metals et Hard Materials, 28(3), p. 349-361. (2010),

[9]. MS Lou, J.C. Chen et C.M. Li, , "Technique de prédiction de la rugosité de surface pour Fraisage en bout CNC », Journal of Industrial Technology, 15(1). (1999)

[10]. MS Lou et J.C. Chen, , "Système de reconnaissance de la rugosité de surface en cours de opérations de fraisage en bout », International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 15(1) p. 200–209. 52 (1999)

[11]. Faisal, M.F.B.M., , "Caractérisation de l'usure de l'outil de coupe en carbure Plaquettes revêtues de nitrure de titane (TiN) en une seule opération de tournage en AISI Acier D2 », B.Tech. thèse, Département de génie manufacturier, Université de malysia. (2008)

[12]. Arshinov V.," Théorie de la coupe des métaux et conception des outils de coupe ", 2e édition, MIR Publishers, Moscou, 1973.

[13]. Musialek, K.,., "Rôle et importance des fluides de coupe dans la haute efficacité Usinage", le 2ème Séminaire Workshop: Network Proceeding,Finlande, 1999.

[14]. Tugrul, "Effets de la géométrie de pointe, travail dureté de la pièce, vitesse d'avance et de coupe sur la rugosité de surface et les efforts en finition tournage d'acier trempé AISI H13", Int J Adv. Manuf. Technol 25, Springer-Verlag London (2005).

[15]. Guo YB "Propriétés mécaniques de l'acier trempé AISI 52100 en dur procédés d'usinage". ASME J Manuf. Sci. Eng. 124 (2002).