

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE  
Département : Génie mécanique  
Domaine : SCIENCES TECHNOLOGIES  
Filière : Génie mécanique  
Spécialité : Fabrication mécanique et productique

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Influence des paramètres de coupe sur la rugosité  
de surface lors du tournage de l'acier Z200C12

Présenté par : *Mokhtari Heithem*

Encadrant : *Benchiheub Slimane* Grade MCA Université Badji Mokhtar

## Jury de Soutenance :

Mr. A. LAGRED	MCA	Université Badji Mokhtar	Président
Mr. S. BENCHIHEUB	MCA	Université Badji Mokhtar	Encadrant
Mr. R. BOUZIANE	MCA	Université Badji Mokhtar	Examineur

Année Universitaire : 2024/2025

# REMERCIEMENTS

AVANT TOUTE CHOSE, JE RENDS GRÂCE À DIEU POUR LE DON DE LA VIE, LA FOI, ET LA FORCE QU'IL M'A ACCORDÉS AFIN D'AVANCER SUR CE CHEMIN ET D'HONORER CEUX QUI ME SONT CHERS. C'EST GRÂCE À SA VOLONTÉ QUE J'AI PU PARVENIR À CETTE ÉTAPE DE MON PARCOURS.

JE SOUHAITE EXPRIMER MA PROFONDE GRATITUDE ET MON SINCÈRE RESPECT À MON ENCADRANT, DR. BENCHIHEUB SLIMANE, POUR SA DISPONIBILITÉ, SES CONSEILS PRÉCIEUX ET SON ACCOMPAGNEMENT BIENVEILLANT TOUT AU LONG DE CE TRAVAIL.

MES REMERCIEMENTS LES PLUS CHALEUREUX VONT ÉGALEMENT À L'ENSEMBLE DE MES ENSEIGNANTS, DE LA LICENCE JUSQU'AU MASTER, POUR LA QUALITÉ DE LEUR ENSEIGNEMENT ET LEUR CONTRIBUTION ESSENTIELLE À MA FORMATION ACADÉMIQUE.

JE REMERCIE ENFIN LES MEMBRES DU JURÝ, POUR L'HONNEUR QU'ILS ME FONT EN ACCEPTANT D'ÉVALUER CE MÉMOIRE.

# DÉDICACE

JE DÉDIE CE TRAVAIL À DES PERSONNES QUI OCCUPENT UNE PLACE TOUTE PARTICULIÈRE DANS MA VIE :

À MA CHÈRE MAMAN,  
POUR TON AMOUR INCONDITIONNEL, TES SACRIFICES SILENCIEUX, TON SOUTIEN CONSTANT ET TA PRÉSENCE RASSURANTE À CHAQUE ÉTAPE DE MON PARCOURS. TU ES MA SOURCE D'INSPIRATION ET DE COURAGE. QUE CE MODESTE TRAVAIL SOIT UN HOMMAGE À TOUT CE QUE TU M'AS DONNÉ.

À MON FRÈRE,  
POUR TA COMPLICITÉ, TA PATIENCE ET TES ENCOURAGEMENTS. MERCI D'AVOIR TOUJOURS CRU EN MOI, MÊME DANS LES MOMENTS LES PLUS INCERTAINS.

À MES AMIS,  
POUR VOS ENCOURAGEMENTS, VOS MOTS BIENVEILLANTS ET VOTRE AMITIÉ SINCÈRE QUI M'A PORTÉ(E) TOUT AU LONG DE CE CHEMIN.

À MA FAMILLE,

POUR VOTRE AMOUR, VOS PRIÈRES ET VOTRE CONFIANCE. VOUS ÊTES LES PILIERS  
DE MA RÉUSSITE.

---

# SOMMAIRE

---

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Résumé.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des abréviations.....	
Introduction générale.....	

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR L'USINAGE

I.1 Introduction.....	1
I.2 Tournage mécanique.....	1
I.3 Machine-outil pour tournage.....	2
I.4 Les différentes opérations d'usinage.....	3
I.5 Les divers assemblages Lors du tournage.....	5
I.6 Les Outil de coupe .....	6
I.7 Formation du copeau.....	7
I.8 Condition de coupe.....	8
I.8.1 Vitesse de coupe.....	8
I.8.2 L'avance en tournage.....	9
I.9.1.Choix du matériau de l'outil de coupe.....	11
I.10 Usure des outil de coupe.....	15
I.10.1 Définition de l'usure.....	15

I.10.2 Usure en cratère.....	16
II.1.3 Usure en dépouille.....	17
Conclusion.....	19

## **CHAPITRE II**

### **Les Traitements Thermiques Et La Rugosité**

II.1 Introduction.....	20
II.2 Influence de l'interaction des paramètres de coupe sur la rugosité.....	20
II.3 Les irrégularités de la surface usinée.....	20
II.4 Traitements thermiques.....	22
II.4.1 Introduction .....	22
II.4.2 La trempe.....	23
II.4.3 Le revenu .....	24
II.4.4 Influence de la composition chimique de l'acier .....	26
II.4.5 Le Recuit .....	27
Conclusion.....	28

# CHAPITRE III

## Procédure Expérimentale

III.1 Introduction.....	29
II.2 Procédure expérimental.....	29
III.2.1 Préparation des échantillons.....	30
III.2.2 Fours de TTH.....	30
III.2.3 Traitements thermiques.....	31
III.3 Description générale.....	32
III.3.1 Matériau usiné.....	33
III.3.2 Régime de coupe .....	34
III .4 Résultats expérimentaux.....	36
Conclusion.....	39

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I

Figure I.1 Méthode de tournage	1
Figure I.2 Éléments d'un tour	2
Figure I.3 Les instruments à transporter sur un chariot. Épaulement conique et épaulement droit.	3
Figure I.4 L'entraînement en extérieur sur formes cylindriques et coniques	3
Figure I.5 Alésage cylindrique et alésage conique	4
Figure I.6 Différents instruments à charioter et dresser	4
Figure I.7 Divers outils à aléser et dresser	4
Figure I.8 Outil à tronçonner	5
Figure I.9 Outils à fileter	5
Figure I.10 Montage en lunette	6
Figure I.11 Éléments de l'outil de coupe	7
Figure I.12 copeau continue	7
Figure I.13 Copeau cisailé	8
Figure I.14 Copeau discontinue	8
Figure I.15 Types d'avance	10
Figure I.16 Principaux paramètres de coupe	10
Figure I.17 Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant	11
Figure I.18 Évolution de l'usure dans le temps	16
Figure I.19 Usure en cratère	17
Figure I.20 Usure en dépouille	18

## **CHAPITRE II**

Figure II.1 Profil de surface	20
Figure II.2 Les diverses sortes de défauts de surface	21
Figure II.3 Ligne moyenne	21
Figure II.4 Paramètres de rugosité liés à la ligne	22
Figure II.5 Indicateurs de rugosité	22
Figure II.6 Cycle complet (trempe, revenu)	25
Figure II.7 Influence de la teneur en éléments d'alliages sur la dureté des aciers à 0.35%C avec la température de revenu.	26
Figure II.8 Etat Recuit	27
Figure II.9 Etat Trempé	27

## **CHAPITRE III**

### **Procédure Expérimentale**

Figure III.1 Débitage	30
Figure III.2 Four électrique	31
Figure III. 3 Tour parallèle SN50 Classic	32
Figure III.4 Pièce usinée	33
Figure III.5 Outil à tronçonner	33
Figure III.6 Outil à charioter et dresser	33
Figure III.7 Plaquettes carbure métallique(P30)	34

Figure III.8 la pièce	35
Figure III.9 Rugosimètre (Someco RT10 plus)	35

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **CHAPITRE III**

Tableau III.1 Propriétés physiques du Z200C12	30
Tableau III.2 Duretés avant et après traitement thermiques	31
Tableau III.4 Tableau des valeurs de rugosité (Ra) en fonction de Vitesse de rotation (N)	36
Tableau III.5 Tableau des valeurs de rugosité (Ra) en fonction de La profondeur de passe (ap)	37
Tableau III.6 Tableau des valeurs de rugosité (Ra) en fonction de l'avance (f)	38

## Resume

Ce mémoire traite de l'influence des conditions d'usinage et des traitements thermiques sur la qualité de surface lors du tournage. Il commence par une présentation des notions fondamentales liées au processus d'usinage, en insistant sur les conditions de coupe optimales, la formation des copeaux et les formes d'usure des outils. Ensuite, il explore en détail les traitements thermiques appliqués aux matériaux métalliques, leurs objectifs, leurs méthodes et leurs effets sur les propriétés mécaniques. L'étude aborde également la rugosité de surface, en mettant en évidence les facteurs qui l'affectent et son importance dans la qualité des pièces usinées. Une démarche expérimentale rigoureuse a été adoptée, utilisant des équipements tels qu'un tour, des fours de traitement thermique, un outil de coupe, une pièce à usiner et un rugosimètre. Les essais réalisés ont permis d'évaluer la rugosité obtenue selon différentes conditions d'usinage et de traitement. Les résultats obtenus montrent une corrélation directe entre les paramètres de coupe, les traitements thermiques et la qualité de surface, ce qui permet d'optimiser les procédés de fabrication et d'améliorer les performances globales de l'usinage.

## ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة تأثير ظروف التشغيل والمعالجة الحرارية على جودة السطح أثناء عملية الخراطة. وقد بدأت بعرض المفاهيم الأساسية المرتبطة بعمليات التشغيل، مع التركيز على شروط القطع المثلى، وآليات تكوين الرايش، وأنواع الاهتراء التي تصيب أدوات القطع وتؤثر على أدائها وعمرها. كما تم التطرق بشكل مفصل إلى المعالجات الحرارية التي تُجرى على المواد المعدنية، موضحة أهدافها، طرق تنفيذها، وتأثيرها على الخصائص الميكانيكية. وتم تسليط الضوء أيضًا على خشونة السطح، من خلال تحليل العوامل المؤثرة عليها ودورها الحيوي في تحديد جودة الأجزاء المُشكلة. اعتمدت الدراسة على منهجية تجريبية دقيقة، استخدم فيها عدد من الأجهزة مثل المخرطة، أفران المعالجة الحرارية، أداة القطع، قطعة التشغيل وجهاز قياس الخشونة. وقد أُجريت تجارب متنوعة لتقييم خشونة السطح الناتجة تحت ظروف تشغيل ومعالجة مختلفة. وأظهرت النتائج وجود علاقة مباشرة بين متغيرات القطع والمعالجة الحرارية وجودة السطح، مما يتيح إمكانية تحسين عمليات التصنيع ورفع كفاءة الأداء في ورش التشغيل.

## Summary

This thesis examines the influence of machining conditions and heat treatments on surface quality during the turning process. It begins by presenting the fundamental concepts of machining, with a focus on optimal cutting conditions, chip formation mechanisms, and types of tool wear. The work then explores in detail the various heat treatments applied to metallic materials, their purposes, methods, and their effects on mechanical properties. Surface roughness is also discussed, highlighting the factors that influence it and its significance in determining the quality of machined parts. A rigorous experimental methodology was followed, involving equipment such as a lathe, heat treatment furnaces, a cutting tool, a

workpiece, and a surface roughness tester. The tests carried out aimed to assess the surface roughness under different machining and treatment conditions. The results revealed a direct correlation between cutting parameters, thermal treatments, and surface quality, enabling the optimization of manufacturing processes and improving the overall performance of machining operations.

## **Introduction générale**

L'usinage a longtemps été un processus crucial dans le secteur de la construction mécanique, qui permet d'ajuster les matériaux solides par le biais de l'élimination de matière pour obtenir des pièces aux dimensions exactes et répondant aux exigences spécifiques. Traditionnellement, les études se sont focalisées sur deux directions majeures : d'une part, l'avancement technologique pour améliorer la productivité et la qualité des produits terminés ; d'autre part, la création de modèles physiques et mathématiques qui aident à comprendre et à prédire les forces de coupe, les distributions thermiques et les propriétés des surfaces usinées. Ainsi, le processus d'usinage reste une méthode indispensable, assurant des surfaces de qualité supérieure, conformes aux diverses exigences industrielles. Face à la complexité grandissante des systèmes de production et à une concurrence renforcée, les fabricants sont contraints de développer des machines toujours plus performantes et rapides pour maximiser la productivité. L'industrie de la mécanique comprend une grande variété de pièces, des plus petites aux plus grandes, qui constituent un système mécanique intégré dans lequel les éléments en mouvement subissent des frictions. Pour prévenir l'usure anticipée, il est essentiel de lubrifier les surfaces qui se touchent. En général, tous les processus de production ont pour objectif d'optimiser les caractéristiques mécaniques et géométriques des surfaces produites, tout en assurant leur conformité aux exigences techniques et conditions d'exploitation.

Toutefois, en dépit de tous les efforts déployés, les surfaces usinées ne sont jamais totalement lisses. Ces dernières retiennent inévitablement les marques résultant du mouvement de l'instrument ou des vibrations de la machine-outil, ce qui peut conduire à des défauts comme la rugosité.

La première section se concentre sur les concepts globaux de l'usinage, tout en accordant une attention spéciale au tournage. Elle couvre en particulier les définitions, les principes de base, les diverses procédures de tournage, ainsi que les conditions de coupe comme la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe.

La seconde section traite de la rugosité des surfaces, y compris ses propriétés, les méthodes pour la mesurer, ainsi que les techniques pour améliorer la qualité de la surface, comme les traitements thermiques.

La troisième partie est expérimentale et traite de l'analyse des données et des résultats. Elle offre une analyse détaillée des paramètres examinés, y compris l'impact de l'avance et de la lubrification sur la rugosité.

Le mémoire se termine par une conclusion générale mettant en lumière les points principaux abordés au cours de ce travail.

# **CHAPITRE I**

## **Le tournage mécanique**

## I.1 Introduction

L'usinage est une suite de procédés qui permettent de produire une pièce en retirant de la matière. Il s'agit de l'emploi de machines-outils pour retirer de la matière, afin que le modèle d'origine prenne la forme et les dimensions désirées. Cette méthode nous permet d'obtenir des pièces avec une grande précision. Au cours du processus d'usinage d'une pièce, le retrait de matière est réalisé grâce à l'association de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'instrument : le mouvement de coupe et le mouvement d'avance. On peut créer la surface désirée de deux façons : en utilisant des outils de forme ou des outils d'enveloppe. Lors de l'usinage au modèle, la surface finale est définie par le bord coupant de l'outil. Dans le contexte d'un travail englobant,

La surface obtenue est déterminée par le tranchant de l'instrument. Pour un travail enveloppant, la surface finale est déterminée par l'association des mouvements de coupe et d'avance. En règle générale, tout processus de fabrication mécanique vise à optimiser les caractéristiques mécaniques et géométriques des surfaces à travailler.

## I.2 Tournage mécanique

Usinage Le tournage est une méthode de fabrication mécanique par coupe qui permet de créer des pièces aux formes dérivées d'une révolution d'un profil autour d'un axe, donnant naissance à des pièces comme un cylindre, un cône, une toupie ou une quille, etc. Ce profil est généré par le déplacement d'outils coupants sur un plan virtuel xz, l'axe z étant l'axe de révolution.

Le tournage est une technique d'usinage qui consiste à enlever de la matière à partir d'un matériau brut, c'est-à-dire le volume initial à partir duquel on veut donner forme à la pièce à usiner. On désigne ce type de machine par le terme « tour ». Un moteur électrique entraîne une broche en rotation pour créer un mouvement de coupe, tandis qu'un système de serrage (mandrin, pince, etc.) assure la fixation du matériau brut pendant l'usinage. Des chariots fixes facilitent le déplacement des outils de coupe le long des axes x et z pour les positionner en contact avec la matière brute, générant ainsi le mouvement d'avance. Cette série de gestes facilite l'élimination de matière sous forme de déchets. On peut aussi réussir à percer sur un tour.



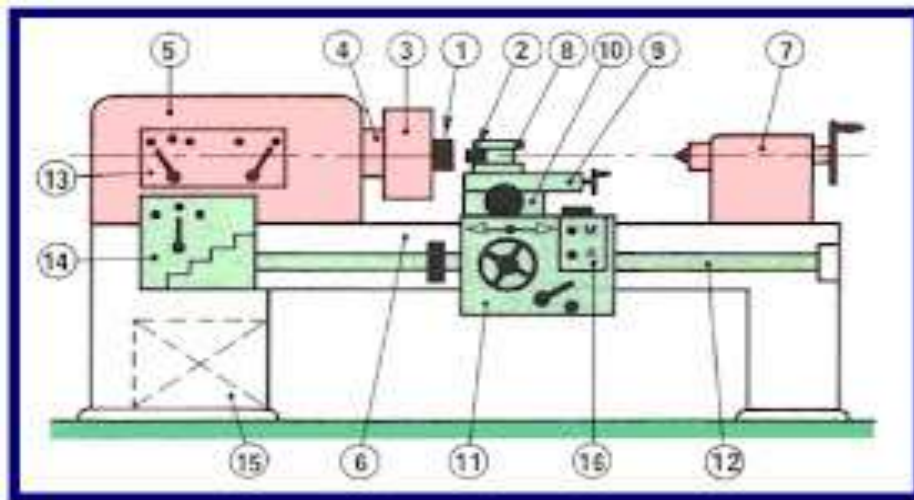
**Fig I.1** Méthode de tournage[1]

### I.3 Machine-outil pour tournage

Le tour est une machine industrielle spécialement conçue pour la fabrication de pièces mécaniques via un procédé d'usinage basé sur l'enlèvement de matière sous forme de copeaux. Cette configuration permet d'exécuter une variété d'opérations, allant du tournage classique aux opérations plus complexes comme le tournage polygonal [2].

La pièce à usiner est fixée solidement dans le mandrin à l'aide des mors. Ce mandrin est entraîné en rotation par un moteur via la broche. L'outil de coupe, quant à lui, est monté sur un porte-outil et maintenu par des vis de fixation. Ce porte-outil est ensuite positionné sur une tourelle adaptée à cet usage.

Les déplacements de l'outil sont assurés par des moteurs d'avance qui commandent les mouvements du chariot, à la fois transversalement et longitudinalement, permettant ainsi un usinage précis et contrôlé [3].



**FigI.2** Éléments d'un tour[3].

1 = Pièce

2 = Outil

3 = Mandrin

4 = Broche

5 = Poupée fixe

6 = Banc

7 = Poupée mobile

8 = Tourelle porte-outils

9 = Chariot supérieur

10 = Chariot transversal

11= Trainard

12 = Barre de chariotage

13 = Boîte des vitesses

14 = Boîte des avances

15 = Moteur

16 = Contacteur

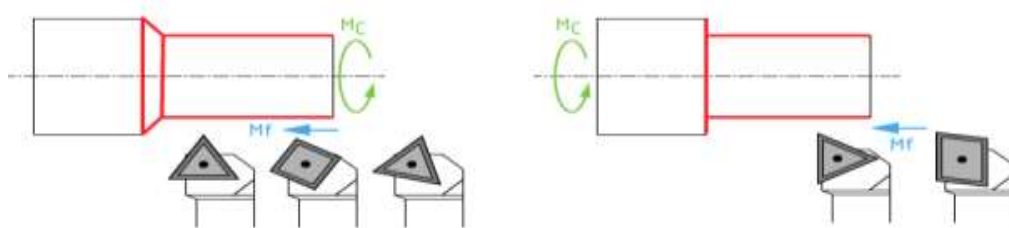
### I.4 Les différentes opérations d'usinage

Les diverses procédures d'usinage Lors des opérations en extérieur, il est généralement possible de décomposer les pièces complexes en sections de coupe simples, ce qui facilite le choix des outils et des réglages de coupe. Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base:

- ✓ Usinage longitudinal, ou par translatage ;
- ✓ Habillage ;
- ✓ Usinage conique ;
- ✓ Contournement ; [2]

- **Les outils à charioter**

Les outils de transport. Ces instruments offrent une unique orientation de travail pour la confection de cylindres ou de cônes extérieurs. Dans le cas où la pièce a un épaulement, on obtient une surface de travail enveloppante ainsi qu'une surface de travail formelle. La figure suivante présente quelques exemples d'instruments à charioter. [5]

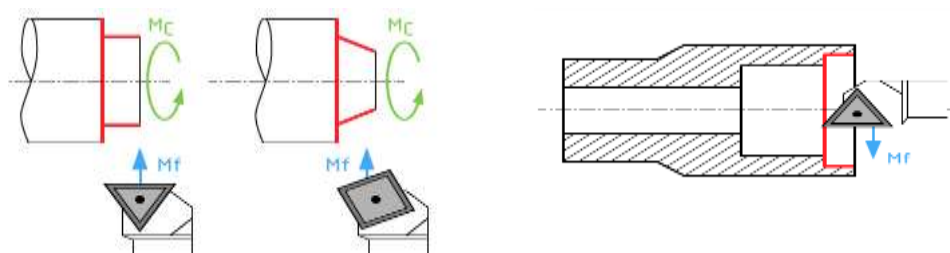


**FigI.3** Les instruments à transporter sur un chariot. Épaulement conique et épaulement droit.

[5]

- **Les outils à dresser**

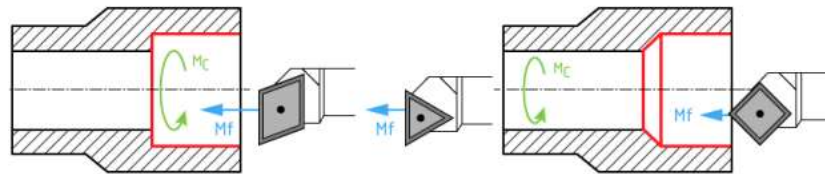
Les instruments à préparer Avec ce genre d'appareils, il n'existe qu'une seule orientation de travail possible, perpendiculairement à l'axe de la pièce, pour travailler des surfaces planes internes ou externes. Si la pièce inclut un épaulement, on obtient une surface de travail enveloppante et une surface de travail en forme.



**FigI.4** L'entraînement en extérieur sur formes cylindriques et coniques[5]

- **Les outils à aléser**

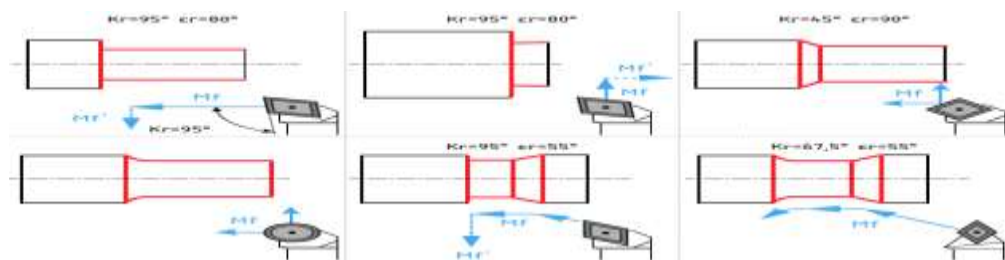
Les instruments pour le perçage à alésoir. On observe les mêmes principes pour les outils d'alésage que pour ceux de l'extérieur. Les outils d'alésage sont des instruments qui ne permettent qu'une seule orientation de travail pour façonner des cylindres ou des cônes internes



**FigI.5** Alésage cylindrique et alésage conique [5]

- **Les outils à chariotter-dresser**

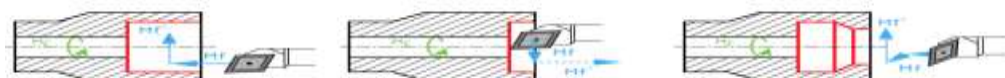
Les équipements à pousser-placer Les outils de transport et de mise en place sont des instruments qui offrent au moins deux orientations de travail, ce qui leur permet d'exécuter des tâches de déplacement et d'arrangement de surfaces extérieures dans le cadre du travail d'enveloppe.



**FigI.6** Différents instruments à chariotter et dresser [5]

- **Les outils à aléser-dresser**

Les instruments de dressage et d'alésage Ces outils offrent au moins deux orientations de travail pour effectuer des opérations d'alésage et de dressage des surfaces internes.



**FigI.7** Différents instruments de perçage et de dressage [5]

- **Les dispositifs pour le rainurage**

Ces outils ont comme utilisation la réalisation des opérations de rainurage.

- **Les outils a tronçonner**

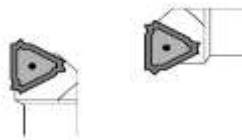
Les outils pour la coupe du bois. On utilise ces dispositifs pour effectuer les opérations de découpage en tronçons.



**FigI.8** Outil à tronçonner[5]

- **Les instruments de filetage**

Ce sont des outils utilisés pour la réalisation des opérations de filetage.

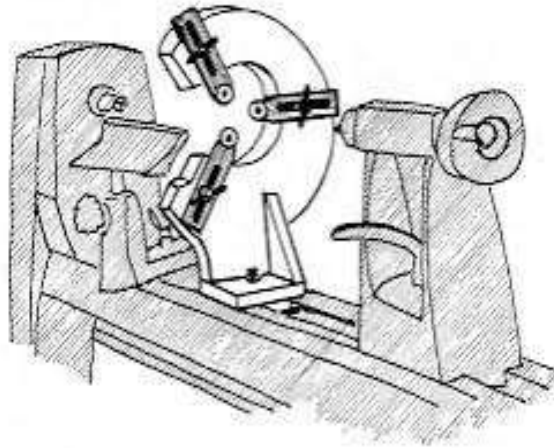


**Fig I.9** Outils à fileter[5]

### **I.5 Les divers assemblages Lors du tournage**

On distingue plusieurs types de montages : On applique les mêmes principes d'utilisation pour les outils d'alésage que pour ceux d'extérieur. • Installation sur un mandrin à trois mors, adapté au tournage extérieur ou intérieur.

- Assemblage sur pointes ou tournage en lunettes adapté pour le tournage externe de pièces longues et flexibles. On fait appel à des lunettes comme aides visuelles. Dans cette configuration, l'axe de la pièce doit toujours être aligné avec l'axe de la broche du tour ;
- Configuration mixte ;



**FigI.10** Montage en lunette

## **I.6 Les outils de coupe**

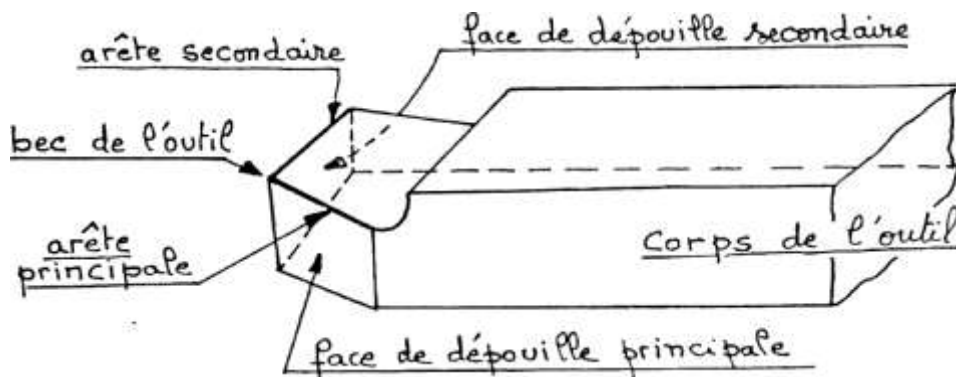
Les outils de coupe sont indispensables pour retirer de la matière sous forme de copeaux lors des opérations d'usinage. La forme géométrique de l'outil détermine en grande partie les profils qu'il est possible d'usiner sur une pièce. Bien qu'il existe une grande variété d'outils, leurs composants essentiels restent globalement similaires.

Pour faciliter l'approche des différents éléments qui composent un outil de coupe, cette section prend comme référence un outil utilisé en tournage. Les notions abordées ici pourront ensuite être appliquées à d'autres types d'outils. L'objectif est de fournir les bases nécessaires à la compréhension des phénomènes de coupe développés par la suite. Les définitions détaillées sont disponibles dans la norme ISO 3002/1982.

Un outil de coupe comprend généralement deux parties : le corps et la queue. Le corps correspond à la zone qui porte les parties actives, comme les arêtes de coupe ou les plaquettes. Dans certains cas, ces arêtes sont directement usinées dans le corps. Quant à la queue, elle assure le maintien de l'outil en le fixant solidement à l'outil porte-pièce ou à la machine.

La partie de l'outil qui intervient directement dans l'opération de coupe (les arêtes, la face de coupe et la face de dépouille) est appelée partie active. On y distingue différentes faces et arêtes qui sont illustrées sur la figure 9 (les arêtes, la force de coupe et la face de dépouille).

[4]



**FigI.11** Eléments de l'outil de coupe

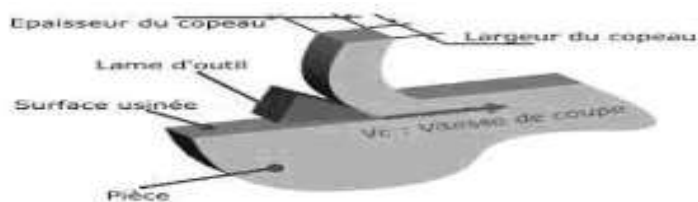
### I.7 Formation du copeau

La génération du copeau lors de l'usinage est un phénomène physique complexe qui met en jeu des déformations plastiques et élastiques de la matière. Ce processus s'accompagne de divers effets, notamment un frottement important entre la pièce et l'outil, une production de chaleur significative, ainsi que l'apparition possible d'un dépôt de matière appelé **arête rapportée**, se formant sur l'arête de coupe de l'outil. De plus, le copeau subit un enroulement et un détachement, tandis que la surface usinée peut durcir sous l'effet de l'écrouissage. Par ailleurs, la zone active de l'outil est progressivement soumise à l'usure en raison de ces sollicitations.

La manière dont le copeau se forme influence directement l'état de surface de la pièce finie, en particulier sa rugosité. Cette formation varie selon les paramètres d'usinage tels que la vitesse de coupe, l'avance, la profondeur de passe et le type de matériau usiné.

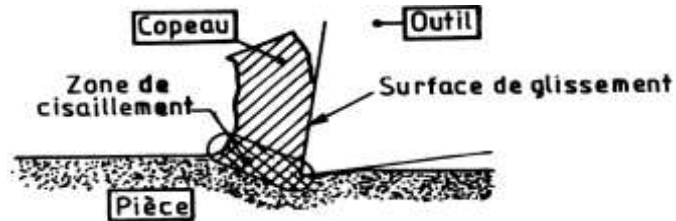
Lorsqu'on usine des métaux ductiles comme les aciers, on observe principalement **trois formes de copeaux**

- ✓ **Le copeau continu** : se produit à grande vitesse, notamment avec les matériaux ductiles. Il se manifeste par un écoulement régulier et linéaire de la matière, formant un ruban homogène.



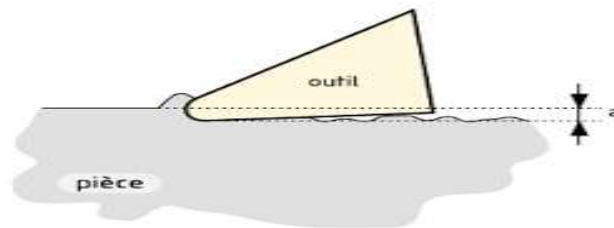
**FigI.12** Copeau continue

- Le copeau cisailé : Ce type de copeau apparaît lors d'un usinage d'acier effectué à une vitesse de coupe intermédiaire. La surface du copeau en contact direct avec l'outil est lisse, tandis que sa face opposée présente des stries ou entailles distinctes. Ces marques traduisent une organisation nette des fragments, fortement reliés entre eux et orientés selon une direction précise.



**FigI.13** Copeau cisailé

- Le copeau discontinu : Ce type de copeau se forme principalement lors de l'usinage de matériaux durs et peu ductiles, généralement à des vitesses de coupe réduites. Il est constitué de fragments distincts, qui subissent des déformations plastiques et présentent peu ou pas de liaison entre eux.



**FigI.14** Copeau discontinu

## I.8 Condition de coupe

### I.18.1 Vitesse de coupe

La vitesse de coupe  $V_c$  (m/min) (en mètres par minute) correspond à la distance que parcourt en une minute l'extrémité d'une dent de l'outil. Lors d'une opération de tournage, cette vitesse représente le déplacement relatif entre l'outil et la pièce, autrement dit la vitesse tangentielle au niveau du point de contact entre la pièce en rotation et la pointe de l'outil. Cette grandeur, toujours exprimée en mètres par minute (m/min), se calcule selon la formule suivante :

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

**Eq I.1**

Avec :

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

$D$  : diamètre en mm au point d'usinage ;

$N$  : vitesse de rotation de la pièce en tr / min ;

En permutant les termes de la formule précédente, on obtient :

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

**EqI.2**

est la vitesse de rotation  $N$  que l'opérateur règle directement sur la machine-outil. Pour cela, il est nécessaire de connaître la vitesse de coupe  $V_c$ , dont la valeur est souvent déterminée à partir d'expériences pratiques ou de données empiriques.

Plusieurs facteurs influencent le choix de la vitesse de coupe :

- La nature du matériau à usiner : généralement, plus le matériau est tendre, plus la vitesse de coupe peut être élevée.
- Le type de matériau constituant l'outil de coupe.
- La géométrie de l'outil ainsi que le type d'usinage effectué (ébauche, finition, filetage, etc.).
- L'utilisation d'un lubrifiant, qui favorise l'augmentation de la vitesse en réduisant les frottements.
- La qualité et la rigidité du tour, car une machine plus rigide peut supporter des vitesses de coupe plus élevées. [6]

### **I.8.2 L'avance en tournage**

L'avance désigne la distance parcourue par l'outil le long de l'axe de rotation de la pièce pendant une révolution complète. Cette vitesse de déplacement est généralement fixée après des essais pratiques, prenant en compte différents critères techniques déjà évoqués. En première approximation, l'avance correspond à l'épaisseur du copeau retiré à chaque passage. Le réglage de cette avance s'effectue directement sur la machine-outil par l'opérateur.

Pour déterminer la vitesse d'avance de l'outil en tournage, on applique la formule suivante:

$$V_f = f N$$

**Eq I.4**

Avec :

$f$  : avance en mm/tour

$N$  : fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min [6]

## - Les types d'avances

On distingue principalement trois catégories d'avances lors de l'usinage :

1. Avance longitudinale : correspond au déplacement de l'outil parallèle à l'axe de la pièce en cours d'usinage.
2. Avance transversale : désigne le mouvement de l'outil perpendiculaire à l'axe de la pièce.
3. Avance oblique : se réfère à un déplacement de l'outil effectué sous un angle quelconque par rapport à l'axe de la pièce.[7]

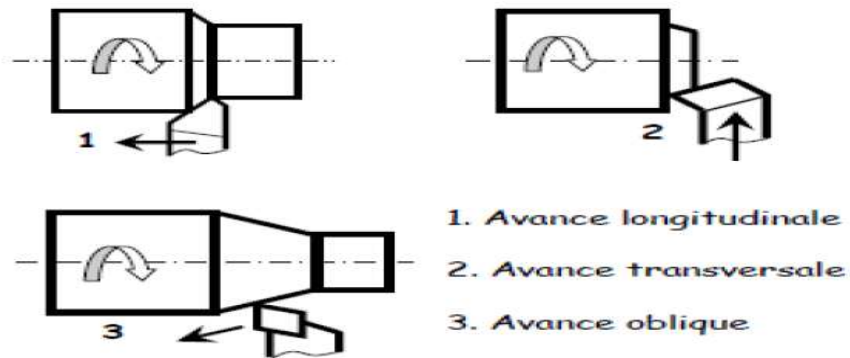


Fig I.15 Types d'avance [7]

## - Profondeur de passe

symbolisée par  $a_p$  et exprimée en millimètres, correspond à la portion de l'arête de coupe qui pénètre dans le matériau lors de l'usinage. Pour une coupe orthogonale, elle représente la longueur effective de l'outil engagée dans la pièce. En tournage, elle est définie comme la différence entre le rayon initial de la pièce avant usinage et celui après.

- Cette mesure s'effectue toujours à angle droit par rapport à la direction d'avance, et non pas dans l'axe de l'arête de l'outil.
- Choisir une profondeur de passe trop importante peut imposer une charge excessive sur l'outil et la machine, risquant ainsi de causer des défaillances prématurées. À l'inverse, une profondeur trop faible rallonge la durée de l'usinage sans amélioration significative de la qualité.



Fig I.16 Principaux paramètres de coupe

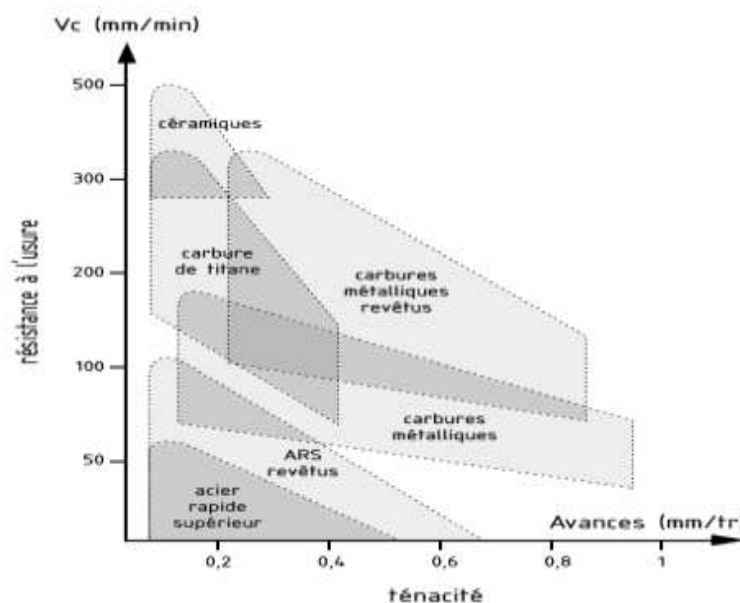
## I.9 Choix du matériau de l'outil de coupe

Les matériaux utilisés pour fabriquer la partie active des outils de coupe doivent répondre à plusieurs exigences essentielles, notamment :

- Offrir une excellente résistance à l'usure causée par le frottement.
- Présenter une bonne capacité à absorber les chocs, c'est-à-dire une ténacité suffisante.
- Posséder une dureté élevée afin de résister à la pénétration lors de la coupe.
- Maintenir leurs propriétés mécaniques même à des températures élevées, ce qui inclut une bonne dureté à chaud.
- Supporter efficacement les pressions exercées pendant l'usinage.
- Faire preuve d'une grande stabilité chimique face au matériau usiné ainsi qu'à l'environnement (air, fluides de coupe, etc.).
- Limiter l'adhésion avec le matériau usiné sous des conditions de haute pression et haute température.
- Être accessibles économiquement, tant en coût d'achat qu'en facilité de mise en forme, et se composer d'éléments abondants.

Le diagramme qui nous permet de déterminer les différents domaines des matériaux à outil ;

- Il est représentatif des conditions normales d'utilisation de ces outils, en ébauche, pour les aciers et les fontes. Il ne peut être utilisé pour choisir les conditions de coupe ; [9]



**Fig I.17** Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant [9]

- **Nature des matériaux des outils de coupe**

L'usinage, qu'il s'agisse de métaux ou de polymères, exige des matériaux pour outils de coupe possédant des caractéristiques spécifiques telles qu'une dureté élevée même à des températures importantes, une bonne résistance à l'usure due aux frottements continus entre l'outil, la pièce et le copeau, ainsi qu'une stabilité chimique satisfaisante.

À l'origine, les outils étaient fabriqués en acier rapide, où le corps et la partie coupante formaient un seul et même élément. Lorsqu'ils s'usaient, ces outils étaient simplement réaffûtés. Cependant, avec les progrès technologiques et l'apparition de nouveaux matériaux, les barreaux en acier rapide ne répondent plus pleinement aux exigences modernes.

L'introduction de matériaux avancés tels que les carbures métalliques, les céramiques, le nitrure cubique de bore (CBN) et le diamant a révolutionné les performances des outils, permettant ainsi leur utilisation industrielle à grande échelle.

- **Aciers rapides**

Les outils en aciers rapides (AR) ou aciers rapides supérieurs (ARS) sont principalement constitués d'un acier faiblement allié soumis à un traitement thermique spécifique. Plusieurs types d'outils en ARS existent, différenciés par leur composition métallurgique. Généralement, ces aciers contiennent entre 0,7 % et 1,6 % de carbone, de 12 % à 20 % de tungstène, de 3,5 % à 10 % de molybdène, ainsi que des traces de vanadium et de cobalt, éléments qui augmentent leur dureté.

- **Les outils en ARS** sont utilisés pour des vitesses de coupe relativement basses afin de limiter l'échauffement excessif, ce qui pourrait entraîner une perte des propriétés mécaniques, notamment la trempe dispersée. Une vitesse trop élevée provoque également une usure rapide du tranchant de l'outil.

- **Remarque sur les aciers rapides**

Les vitesses de coupe recommandées pour les aciers rapides se situent généralement entre 25 et 35 mètres par minute lors de l'usinage des aciers. Leur dureté varie entre 60 et 70 HRC, et cette dureté est conservée jusqu'à une température d'environ 550 °C. De nos jours, ce type de matériau est principalement réservé à certains outils spécifiques, tels que les forets ou les outils avec des angles de coupe faibles.

- **Carbures métalliques**

Les outils en carbures métalliques sont essentiellement composés de carbure de tungstène (phase alpha), associé à des carbures secondaires comme ceux de titane, tantale ou niobium (phase gamma). Ces grains de carbure, d'une taille comprise entre 0,2 et 1 micron, sont liés

par un liant généralement constitué de cobalt (phase bêta) représentant entre 8 % et 20 % du matériau.

L'ajout de carbures secondaires tels que le titane, le tantale ou le niobium améliore considérablement les performances à haute température, permettant à l'outil de supporter des températures allant jusqu'à 1000 °C. Cette composition réduit également les frottements, ce qui autorise des vitesses de coupe élevées pouvant atteindre 100 m/min.

Les outils en carbure affichent une dureté élevée, de l'ordre de 80 à 90 HRC, et bénéficient d'une durée de vie nettement supérieure à celle des outils en acier rapide ou acier rapide supérieur. Ils sont largement utilisés aujourd'hui, sous forme de plaquettes brasées (fixation permanente) ou de plaquettes amovibles fixées mécaniquement (fixation non permanente). Cette dernière solution permet d'exploiter des plaquettes à plusieurs faces de coupe, optimisant ainsi l'économie et la flexibilité en production.

#### – **Carbures revêtus**

Les carbures métalliques frittés, obtenus par un procédé de frittage, présentent de nombreux avantages, notamment en termes de dureté et de résistance à l'usure. Cependant, leur principal point faible réside dans leur ténacité relativement faible. Cette fragilité est généralement liée à la proportion des différents composants dans le matériau.

Pour pallier cette limitation, des outils équipés de plaquettes en carbures revêtus ont été développés. Ces plaquettes sont recouvertes d'une fine couche protectrice composée de matériaux variés, parmi lesquels les plus couramment utilisés sont :

- Le nitrure de titane (TiN) ;
- L'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) ;
- Le carbure de titane (TiC) ;
- Le carbonitrure de titane (TiCN) ;
- L'alumino-nitrure de titane (TiAlN).

Chaque type de revêtement confère à l'outil des propriétés spécifiques améliorant ses performances dans des conditions particulières. Il est également possible d'appliquer plusieurs couches successives de matériaux différents pour tirer parti des avantages combinés de chaque revêtement.

#### – **Céramiques**

Les outils de coupe en céramique sont généralement constitués de plaquettes frittées à base d'alumine ( $Al_2O_3$ ), de nitrure de silicium ( $Si_3N_4$ ), souvent appelées plaquettes Sialon, ou encore d'oxyde de chrome ( $Cr_2O_3$ ). Ils se distinguent par leurs excellentes propriétés thermomécaniques, ce qui les rend particulièrement adaptés aux opérations

d'usinage en coupe continue. En revanche, leur utilisation est déconseillée pour des coupes discontinues en raison de leur fragilité, qui peut entraîner des éclats sur les arêtes et des fissurations dues aux chocs thermiques. Ces outils peuvent fonctionner à des vitesses de coupe élevées, atteignant jusqu'à 500 m/min pour l'usinage des aciers, tout en conservant leurs performances jusqu'à des températures avoisinant 1200 °C. Ils permettent ainsi d'obtenir une qualité de surface remarquable sur les pièces usinées.

– **Cermets**

Les outils en cermet sont constitués de composés tels que les carbures, nitrures, carbonitrures ou borures, associés à un liant métallique ou à un alliage à base de métaux ferreux comme le cobalt, le nickel, ou des combinaisons telles que nickel-fer ou nickel-chrome. Comparés aux métaux durs classiques, les cermets présentent une densité plus faible, mais offrent une dureté et une résistance à l'usure nettement supérieures, avec des valeurs de dureté situées entre 1500 et 2000 HV. Ils conservent leurs propriétés mécaniques même à haute température, ce qui les rend particulièrement efficaces pour l'usinage à grande vitesse, pouvant supporter des conditions thermiques allant jusqu'à 1000 °C. Ces matériaux sont particulièrement adaptés aux opérations de finition et d'usinage de haute précision, notamment lorsque l'on utilise de faibles avances combinées à des vitesses de coupe élevées.

– **Nitride de bore cubique NBC**

Le CBN, ou nitride de bore cubique, est un matériau extrêmement dur, spécialement conçu pour l'usinage des matériaux difficiles tels que les aciers trempés, les fontes ainsi que les alliages à base de cobalt ou de nickel. Contrairement au diamant, il présente une excellente stabilité thermique et ne s'oxyde pas sous l'effet de températures élevées. Cependant, son utilisation exige un strict respect des conditions de coupe : la machine doit offrir une stabilité maximale, une grande rigidité mécanique, ainsi qu'un système d'arrosage efficace et constant pendant l'usinage. Les plaquettes en CBN sont principalement employées dans les opérations de finition, en particulier pour l'usinage de pièces de haute précision.

– **Diamant**

Le diamant est couramment utilisé comme matériau abrasif, notamment dans la fabrication des meules, soit sous forme de grains incrustés ou brasés sur un support, soit comme composant d'outils à arête unique destinés aux opérations de finition ou d'affûtage de meules. Bien qu'il possède une dureté exceptionnelle, il présente une faible stabilité thermique : au-delà de 650 °C, il commence à se transformer en graphite. En revanche, il est particulièrement

adapté à l'usinage de matériaux non ferreux tels que les alliages d'aluminium, de cuivre ou de magnésium, ainsi que les résines thermodurcissables et autres matériaux similaires.[10]

#### – Les revêtements et les procédés de fabrication

Dans le domaine de l'usinage, les outils fabriqués en acier rapide ou en métal dur sont fréquemment recouverts de couches protectrices, simples ou multiples. Ces revêtements améliorent considérablement la durée de vie des outils, permettent des vitesses de coupe plus élevées et contribuent à une meilleure qualité de finition des surfaces usinées. Il existe une variété de revêtements, chacun offrant des propriétés spécifiques adaptées à différents usages :

- **Nitride de titane (TiN)** : revêtement standard reconnu pour sa polyvalence.
- **Carbonitride de titane (TiCN)** : caractérisé par une dureté élevée et une excellente résistance à l'usure par abrasion.
- **Oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ )** et **nitride de silicium ( $Si_3N_4$ )** : ces matériaux céramiques peuvent être enrichis par d'autres composants selon les performances souhaitées, tels que l'oxyde de zirconium ( $ZrO_2$ ), le carbure de titane (TiC) ou encore le carbure de silicium (SiC).
- **Le diamant** : réservé à l'usinage des matériaux non ferreux et des non-métaux abrasifs comme les céramiques ou le carbone, grâce à sa dureté exceptionnelle.
- **Nitride de bore cubique (CBN)** : utilisé principalement pour l'usinage des métaux ferreux trempés, en raison de sa résistance à la chaleur et à l'usure.

Ces revêtements jouent un rôle essentiel dans l'optimisation des performances des outils de coupe, en prolongeant leur durée de vie et en améliorant les conditions de travail en milieu industriel.

## I.10 Usure des outils de coupe

### I.10.1 Définition de l'usure

L'usure désigne un phénomène complexe résultant d'interactions mécaniques, physiques et chimiques entre deux surfaces en contact relatif, entraînant une perte progressive de matière. Elle se manifeste par une dégradation de la masse, des dimensions, et de la géométrie d'un composant, accompagnée souvent par la formation de débris et par des transformations superficielles.

Bien que souvent perçue comme un facteur négatif à maîtriser – car elle altère les performances des systèmes – l'usure peut aussi avoir des effets bénéfiques dans certains cas, comme lors de l'affûtage naturel des outils ou la finition par rectification.

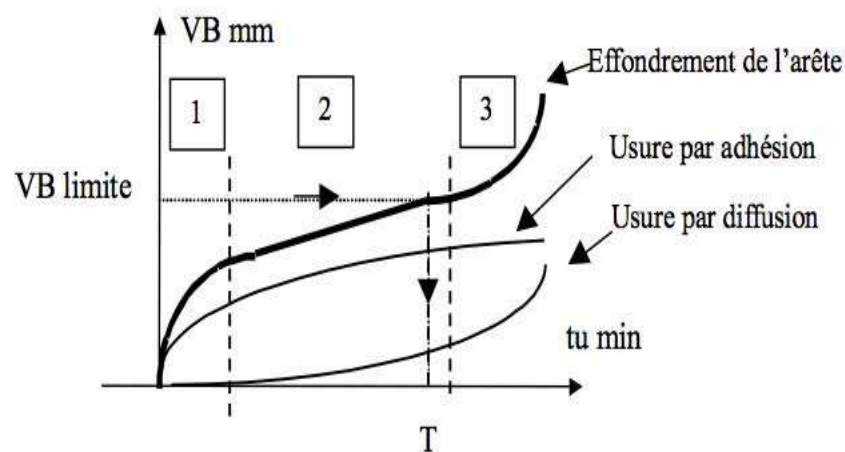
Sur le plan chimique, certaines couches superficielles, bien que moins dures, peuvent offrir une meilleure résistance au frottement si elles sont chimiquement stables, notamment dans des environnements agressifs.

D'un point de vue fonctionnel, l'usure peut être définie comme la détérioration progressive de la surface active d'un matériau causée par le frottement ou le mouvement répété d'un autre corps contre elle.[08]

L'évolution de l'usure d'un outil de coupe se divise généralement en trois phases :

- Zone I: période initiale de rodage, marquée par une usure rapide liée à l'ajustement de l'arête au régime d'usinage.
- Zone II : phase d'usure régulière, où la dégradation suit une progression quasi-linéaire et contrôlée.
- Zone III : stade final d'usure accélérée, annonçant un effondrement imminent de l'arête de coupe. [09]

Ce schéma permet d'anticiper l'évolution de l'usure et d'intervenir au bon moment pour maintenir l'efficacité du processus d'usinage.



**Fig I.18** Evolution de l'usure dans le temps

### I.10.2 Usure en cratère

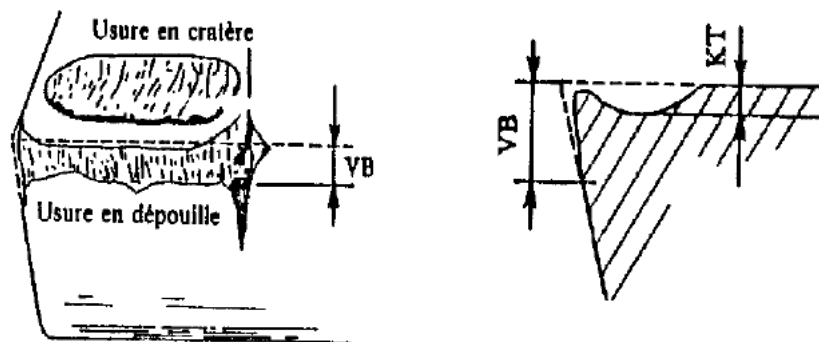
L'usure en cratère se manifeste par l'apparition d'une cavité sur la face de coupe de l'outil, généralement provoquée par le frottement intense avec les copeaux. Pour l'analyser, on mesure deux paramètres principaux : la profondeur du cratère, notée  $K_T$ , et la distance séparant l'axe du cratère de l'arête de coupe initiale, désignée  $K_M$ . L'étude de cette usure consiste également à établir le rapport entre ces deux grandeurs, ce qui permet d'évaluer

l'intensité et la position de la détérioration. Cette forme d'usure peut affecter les performances de coupe et compromettre la précision de l'usinage si elle n'est pas maîtrisée.

Cette usure peut, à long terme, affecter la durabilité de l'outil, se traduisant par une réduction de sa durée de vie due à un effondrement ou un recul de l'arête de coupe. Elle résulte principalement du frottement continu entre le copeau et la face de coupe de l'outil. Pendant l'usinage, la combinaison de températures élevées à l'interface entre le copeau et l'outil, ainsi que des pressions de contact importantes, favorise un transfert de matière de l'outil vers le copeau par un mécanisme d'adhésion.

Ce type d'usure est fréquemment observé sur les outils en carbure et entraîne souvent la rupture de la pointe de l'outil. Une valeur critique d'usure est définie, au-delà de laquelle l'outil est considéré comme inutilisable en raison du risque accru de défaillance.

L'apparition de cette usure est généralement liée à une vitesse de coupe trop élevée ou à une avance insuffisante lors de l'usinage.



**Fig I.19** Usure en cratère

### **II.10.3 Usure en dépouille**

L'usure en dépouille résulte du frottement entre la pièce et la face de dépouille de l'outil, ce qui engendre une bande striée parallèlement à l'arête de coupe. Ce phénomène influence directement la qualité de la surface usinée ainsi que la précision dimensionnelle, car il modifie la position effective de l'arête de coupe. Cette usure est un indicateur clé de la durée de vie de l'outil, généralement caractérisée par une valeur limite d'usure admissible, notée VB.

Les causes principales de ce type d'usure sont une vitesse de coupe trop élevée ou un mauvais réglage angulaire de l'outil par rapport à la pièce. L'usure en dépouille est la forme la mieux

étudiée et la plus courante chez les outils coupants. En règle générale, la largeur de cette usure reste relativement constante sur la partie centrale et droite de l'arête principale.

La mesure de la largeur d'usure en dépouille est simple à réaliser, et son augmentation entraîne une dégradation progressive des performances de l'outil. Il est également observé que tous les matériaux utilisés pour fabriquer des outils de coupe présentent initialement un taux d'usure en dépouille élevé, qui tend ensuite à diminuer rapidement après un court temps de fonctionnement, à moins que les vitesses de coupe ne soient excessivement élevées.

Après une phase initiale où l'usure en dépouille est relativement élevée, son évolution tend généralement à devenir plus régulière et uniforme. Cependant, lorsque cette usure dépasse un certain seuil, son taux s'accélère rapidement, ce qui peut entraîner une défaillance soudaine de l'outil.

La largeur de l'usure en dépouille, notée VBB, constitue une mesure fiable pour évaluer l'état d'usure d'un outil. Une valeur prédéfinie de VBB sert couramment de référence pour déterminer la durée de vie utile d'un outil avant qu'il ne soit nécessaire de le remplacer. [10]



**Fig I.20** Usure en dépouille

Causes :

- Une vitesse de coupe excessive.
- Une qualité de matériau (nuance) trop dure ou résistante, entraînant des contraintes importantes.
- Une résistance insuffisante à l'usure de l'outil utilisé.
- Un système d'arrosage ou de lubrification inadapté ou insuffisant.

Solutions :

- Diminuer la vitesse de coupe pour limiter la génération de chaleur et l'usure.
- Sélectionner une nuance d'outil mieux adaptée, en équilibrant ténacité et résistance à l'usure selon les exigences du travail.

- Mettre en place un arrosage efficace pour réduire la température et les frottements durant l'usinage.

### **Conclusion**

Ce chapitre a abordé les notions fondamentales liées à l'usinage, en mettant particulièrement l'accent sur le tournage. Il a présenté les conditions de coupe optimales, expliqué les mécanismes de formation des copeaux, et décrit les différents types d'usure qui peuvent se développer sur les outils de coupe, affectant ainsi leur performance et leur durée de vie.

# **CHAPITRE II**

## **Les Traitements thermiques et la rugosité**

## II.1 Introduction

Les irrégularités résultant de la déformation de la surface traitée définissent la structure de surface lors de l'usinage des métaux par enlèvement de copeaux. Elle varie essentiellement en fonction du trajet d'usinage, des conditions de coupe, du matériau usiné et de la rigidité du dispositif d'usinage.

## II.2 Influence des paramètres de coupe sur la rugosité

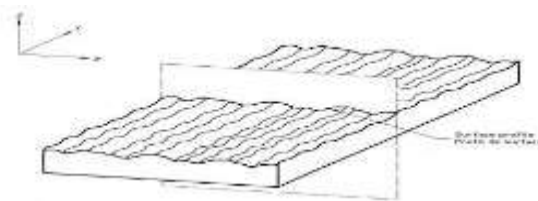
- **La rugosité**

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, et 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.

## II.3 Les irrégularités de la surface usinée

La capacité d'un composant à accomplir une fonction spécifique est influencée par plusieurs éléments, y compris les propriétés de sa surface. La microgéométrie de la surface caractérise l'état de surface, un élément crucial pour certaines fonctions comme le frottement, le glissement, le roulement, l'étanchéité et parfois même l'apparence. Pour que les pièces puissent être contrôlées, il faut chiffrer les caractéristiques d'une surface. L'identification des caractéristiques d'une surface se réalise sur un profil de cette dernière.

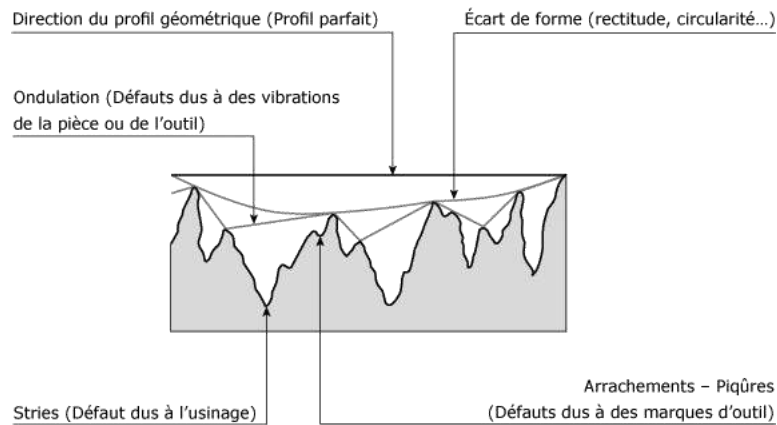


**Fig II.1** Profil de surface

✓ La norme NF E 05-

515 établit six niveaux de défauts de surface, du plus important au moins significatif : Déviation de la forme (échelle macroscopique) : défaut dans la planéité, la rectitude et la circularité. Ondulation (à l'échelle macroscopique) : la distance entre les crêtes varie de 0,5 à 2,5 mm. Pour les stries et sillons (anomalies périodiques ou pseudopériodiques, à l'échelle microscopique), la distance entre les crêtes ne dépasse pas 0,5 mm. Anomalies localisées (éch

elle microscopique) : trace d'outil, décollement, fissure, point. Structure cristalline (à l'échelle méso-scopique) Réseau cristallin (à l'échelle nano-scopique)[11];



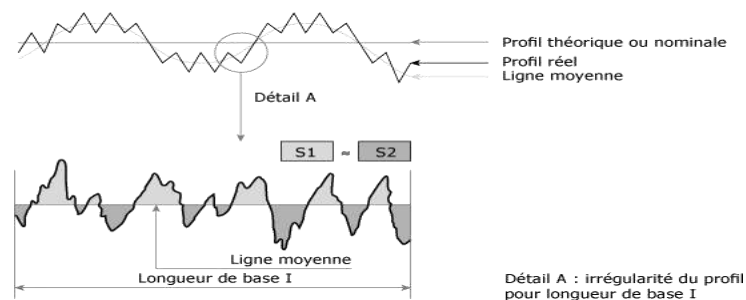
**Fig II.2** Les diverses sortes de défauts de surface [11]

– Longueur de base et ligne moyenne

La longueur de base (notée  $l$ ) correspond à une portion spécifique du profil mesuré, utilisée pour analyser les irrégularités de la surface. Elle permet d'isoler les variations significatives du relief tout en excluant les ondulations trop larges ou les détails microscopiques.

Quant à la ligne moyenne, elle sert de référence pour l'évaluation de la rugosité. Il s'agit d'une droite mathématique calculée de manière à minimiser la somme des carrés des écarts verticaux entre cette ligne et le profil mesuré sur la longueur de base – on parle alors de la « méthode des moindres carrés ». Cette ligne reflète la tendance générale du relief, en équilibrant les volumes de matière situés au-dessus et en dessous d'elle.

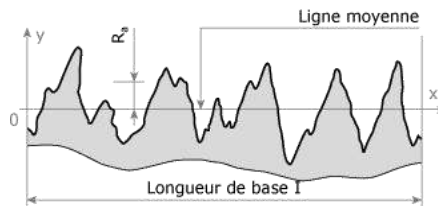
Autrement dit, la surface située au-dessus de la ligne moyenne est approximativement égale à celle située en dessous, sur toute la longueur considérée.



**Fig II.3** Ligne moyenne

– Moyenne arithmétique du profil

Ce paramètre, le plus utilisé en rugosité, représente la moyenne des écarts absolus entre le profil de la surface et la ligne de référence, calculée sur une longueur donnée. Il offre une mesure simple et globale de l'état de surface.



**FigII.4** Paramètres de rugosité liés à la ligne

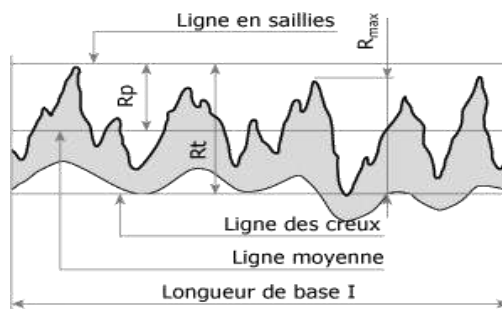
**Remarque :**

Les valeurs suivantes représentent les niveaux normalisés de rugosité moyenne  $R_a$  (exprimés en micromètres) : 50 – 25 – 12,5 – 6,3 – 3,2 – 1,6 – 0,8 – 0,4 – 0,2 – 0,1 – 0,05 – 0,025 – 0,0125.

Il est recommandé d'utiliser exclusivement ces valeurs lors de l'indication des états de surface sur les dessins techniques.

**Critères de rugosité**

- ✓ Amplitude maximale des irrégularités :  $R_{maxi}$  ;
- ✓ Amplitude maximale du profil :  $R_t$  ;
- ✓ Hauteur maximale de la saillie :  $R_p$  ;
- ✓ Autres critères de rugosité :  $R_{maxi}$ ,  $R_t$ ,  $R_p$ .



**FigII.5** Indicateurs de rugosité

**II.4 Traitements thermiques**

**II.4.1 Introduction**

Les traitements thermiques visent à améliorer les caractéristiques mécaniques des matériaux afin d'optimiser leur comportement en service. Parmi les procédés les plus couramment utilisés, on distingue:

- ✓ Le Recuit
- ✓ Le Revenu
- ✓ La Trempe [12]

## II.4.2 La trempe

### • Trempe de masse

La trempe de masse est un traitement thermique visant à accroître significativement la dureté de l'acier, en provoquant la transformation de l'austénite en martensite. Ce procédé se déroule en trois étapes principales :

Montée en température : cette phase a pour objectif de porter l'acier à l'état austénitique.

Pour un acier hypoeutectoïde (contenant entre 0 et 0,85 % de carbone), la température de chauffage doit dépasser le point critique  $A_{c3}$  d'environ 50 °C. La plage de température correspondant à  $A_{c3}$  varie de 721 °C à 906 °C, selon la teneur en carbone de l'alliage. Ainsi, la température de traitement est ajustée en fonction de cette composition.

### • A teneur en carbone et phases de la trempe

Pour un acier eutectoïde, contenant environ 0,85 % de carbone, la température de chauffage recommandée est d'environ 780 °C, soit la température critique  $A_{c1}$  augmentée de 50 °C. Dans le cas des aciers hypereutectoïdes, dont la teneur en carbone est comprise entre 0,85 % et 1,7 %, la même température de référence ( $A_{c1} + 50$  °C) est généralement utilisée.

Phase de maintien à température

La durée de maintien à la température d'austénitisation dépend de plusieurs facteurs :

- La taille et la forme de la pièce à traiter ;
- La nature de l'acier ;
  - ✓ Environ 15 min pour les aciers ordinaires,
  - ✓ Jusqu'à 30 min pour les aciers alliés riches en carbures.
- Refroidissement

La phase de refroidissement, effectuée à l'air, à l'eau ou à l'huile, est décisive dans la constitution de la microstructure finale. Selon la vitesse de refroidissement, différentes structures peuvent se former, classées par dureté croissante :

troostite, bainite, et martensite – cette dernière étant la plus dure et la plus recherchée dans les traitements de trempe.

### • Fluide de trempe:

La trempe se réalise par immersion dans l'eau, pulvérisation d'eau ou soufflage d'air. Le fluide le plus fréquemment employé est l'eau froide ( $T < 40^{\circ}\text{C}$ ). Dans certaines circonstances, l'eau froide peut entraîner un refroidissement excessif (par exemple : pour des pièces ayant des formes complexes) et générer des tensions internes préjudiciables à l'utilisation de la pièce (déformations, danger de corrosion sous tension ou même rupture de la pièce si les tensions deviennent trop élevées).

Dans cette situation, on peut recourir à de l'eau chaude ( $T > 50^{\circ}\text{C}$ ) ou à de l'huile. Dans certaines circonstances précises, il est possible d'utiliser d'autres fluides comme les liquides glycolés pour minimiser la génération de tensions internes.

#### • Trempe superficielle ou localisée

L'objectif est d'obtenir une augmentation significative de la dureté de revêtement, tout en préservant une bonne ductilité jusqu'au cœur de la section. Cette méthode implique, jusqu'au cœur de la pièce. Cette méthode repose sur de porter localement la surface d'un élément en acier à la température d'austénisation, soit par chauffage direct, soit par induction, puis de le refroidir rapidement. La plupart du temps, le refroidissement se fait par pulvérisation d'eau sous pression.

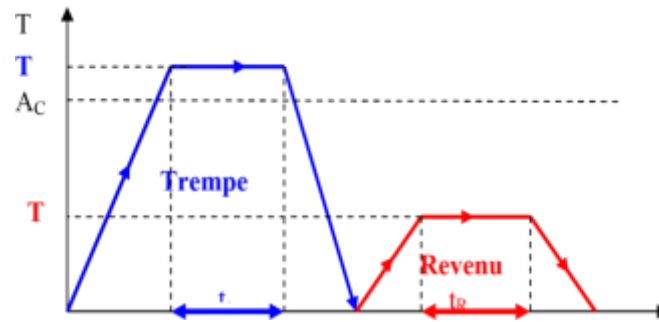
### II.4.3 Le revenu

Concept et objectifs du revenu

Après la trempe, le métal présente une dureté élevée due à la formation de martensite, mais il devient également très fragile avec une faible ductilité et résilience, ce qui limite son usage direct. Le revenu est un traitement thermique qui consiste à réchauffer l'acier à une température inférieure à la température critique  $A_{c1}$ , puis à le maintenir à cette température pendant un certain temps.

Cette opération permet de réduire les contraintes internes accumulées lors de la trempe, d'augmenter la ductilité et la ténacité du métal, tout en conservant une résistance mécanique acceptable. Contrairement à la trempe, le revenu offre un meilleur contrôle des transformations microstructurales grâce à un chauffage plus lent et maîtrisé.

Ainsi, en ajustant la température de revenu et la durée de maintien, on peut optimiser les propriétés mécaniques du matériau pour qu'il réponde aux exigences d'utilisation tout en évitant les risques de fragilité ou de déformation.



**Fig II.6** Cycle complet (trempe, revenu)

### • Différents types de revenu

Le revenu provoque une modification progressive de la structure du matériau, le rapprochant d'un état physicochimique plus stable, sans toutefois atteindre totalement cet équilibre. Le choix des paramètres, tels que la température de revenu ( $T_R$ ) et la durée de maintien ( $t_R$ ), permet de contrôler précisément ce processus, modulant ainsi le degré de transformation et les propriétés finales obtenues.

#### ✓ Revenu de relaxation ou de détente

Ce type de revenu se réalise généralement à des températures comprises entre 180°C et 250°C, mais plutôt une détente des contraintes multiples causées par le refroidissement rapide de la trempe et la transformation de l'austénite en martensite. Cela entraîne une petite baisse de la dureté et une légère augmentation de la résilience. On l'applique sur des pièces qui subissent des sollicitations intenses sans impact ou qui doivent maintenir une dureté superficielle élevée...

#### ✓ Revenu de structure ou classique

Ce type de revenu s'effectue à des températures situées entre 500°C et la température critique  $A_{c1}$ . Il entraîne une amélioration notable des propriétés telles que la résilience (K), la ductilité (A) et la ténacité (Z), tandis que la dureté (H) ainsi que les résistances mécaniques à la traction ( $R_m$ ) et à l'écoulement ( $R_e$ ) diminuent sensiblement. Ce procédé permet d'obtenir un compromis optimal entre résistance et élasticité, adapté aux besoins spécifiques des aciers selon leur usage.

#### ✓ Revenu de durcissement

Lorsque le revenu est réalisé à des températures comprises entre 450°C et 600°C sur des aciers alliés, il peut entraîner un phénomène de durcissement secondaire. Ce type de revenu est particulièrement observé dans les aciers au chrome destinés aux outils ainsi que dans les aciers rapides, renforçant ainsi leur dureté et leurs performances mécaniques. Le processus commence par la précipitation de carbures complexes qui sont maintenus en

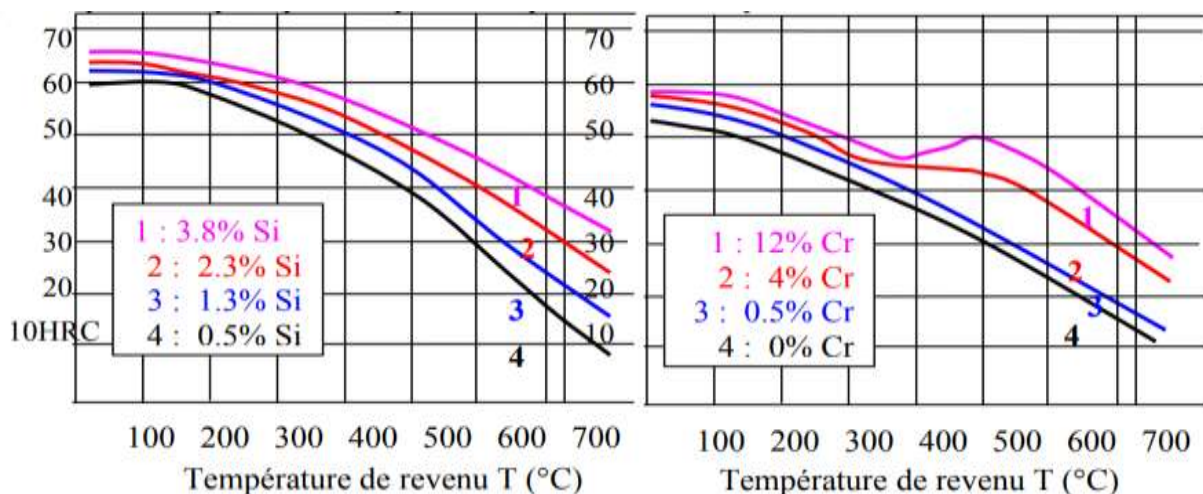
solution dans une portion résiduelle d'austénite, suivie par la déstabilisation de cette austénite qui se convertit en martensite lors du refroidissement. Ces deux changements consécutifs nécessiteront donc une source de revenu additionnelle pour prévenir une fragilisation excessive due à la martensite secondaire. (Concernant certains aciers rapides, trois cycles de revenu peuvent être requis).

#### ✓ Variation des propriétés mécaniques au cours du revenu

Les changements structuraux pendant le processus de revenu ont un impact significatif sur les caractéristiques mécaniques. La diversité des structures obtenues permet de comprendre pourquoi le revenu est un outil efficace et très flexible pour obtenir une série de propriétés adaptées aux exigences opérationnelles. Il est également essentiel de considérer les interactions potentielles afin de pouvoir analyser précisément les changements observés dans les propriétés obtenues. Les caractéristiques des aciers sont affectées par le revenu à travers deux facteurs majeurs : l'un est inhérent aux aciers et l'autre leur est extérieur. [12]

#### II.4.4 Influence de la composition chimique de l'acier

La nature chimique de l'acier constitue un facteur fondamental qu'il est crucial de bien maîtriser afin de prévoir et d'anticiper son comportement durant le traitement thermique de revenu.



**Fig II.7** Influence des composants d'alliage sur la dureté des aciers contenant 0,35%C en relation avec la température de traitement thermique.

## II.4.5 Le Recuit

L'objectif est d'intégrer l'acier dans une certaine structure pour faciliter son usinage ou sa transformation par déformation plastique, ou pour régénérer la structure. La pièce subit un cycle thermique, comprenant une élévation de température, un changement par déformation plastique, ou pour revitaliser la structure. L'élément passe par un cycle thermique qui inclut une montée en température entre 700° et 1000°, suivie d'une stabilisation à cette chaleur, puis d'un refroidissement graduel. Observation microscopique d'exemples de formations à un grossissement de : 500 fois sur un acier C40 contenant 0,40% de carbone.



**Fig II.8** Etat Recuit      **Fig II.9** Etat Trempé

Dans le contexte industriel, un recuit est principalement caractérisé par deux aspects majeurs.

- ✓ Le réchauffement de la température ;
- ✓ La durée du processus ;

En réalité, on ne doit pas sous-estimer deux autres aspects cruciaux qui sont :

- ✓ Le taux de réchauffement ;
- ✓ Le taux de refroidissement ;
- ✓ En tenant compte des précautions inhérentes à ces deux éléments, notamment lors du franchissement des points de transformation eutectoïdes qui nécessitent une attention particulière.
- ✓ Le recuit est une procédure de traitement thermique mise en œuvre pour atteindre un état d'équilibre thermodynamique. Son cycle englobe les opérations ci-après :
- ✓ Chauffage à vitesse contrôlée jusqu'à une température dite de recuit (TRc), variable selon la nature du recuit
- ✓ Régulation de la température par le biais d'un maintien isotherme. Cette période peut fluctuer selon les préparations antérieures, la dimension de l'élément et les effets à produire..

Le refroidissement doit obligatoirement se faire lentement, soit à l'air calme, soit dans un four, conformément à une règle établie. Le recuit engendre divers effets qui influencent l'acier suite à son traitement ;

Il supprime les impacts des procédés de traitement précédents, qu'ils soient mécaniques (comme le tréfilage, le laminage, le forgeage...) ou thermiques (tel que la trempe). En d'autres termes, il élimine les états hors d'équilibre.

Il donne aux matériaux un équilibre physico-chimique, mécanique et structural grâce à un refroidissement progressif. Par conséquent, la structure obtenue est celle indiquée sur les diagrammes d'équilibre à température ambiante ; Elle offre également aux matériaux de Possédant des caractéristiques supérieures en matière de ductilité, c'est-à-dire qu'elle augmente considérablement les indices de résilience (K) (résistance aux impacts), l'expansion en pourcentage (A%) et la striction (Z), tout en minimisant les valeurs de résistance à la rupture (Rr), limite élastique (Re) et dureté (H) ;

Techniquement, on peut identifier diverses formes de recuits en fonction des objectifs recherchés. Toutefois, il convient de souligner que le gradient de température utilisé se positionne généralement aux alentours des lignes A1 et A3 dans le diagramme suivant. Il convient également de souligner qu'un seul recuit peut rectifier plusieurs défauts à la fois, donc répondre à plusieurs objectifs.

### **Conclusion**

Ce chapitre décrit en profondeur les diverses formes de traitements thermiques destinés aux matériaux métalliques, explicitant leurs finalités, leurs méthodes, ainsi que leurs impacts sur Les caractéristiques mécaniques. Il aborde également la rugosité de surface, en soulignant les éléments qui l'affectent et son rôle déterminant dans la qualité des pièces fabriquées.

# **Chapitre III**

## **Procédure Expérimentale**

### **III.1 Introduction**

La maîtrise des propriétés mécaniques est essentielle pour le choix judicieux des matériaux dans les différentes applications industrielles, en particulier lors des opérations d'usinage. L'amélioration de ces propriétés dépend principalement de la composition chimique des matériaux ainsi que de leur microstructure, elle-même influencée par les traitements thermiques appliqués.

Dans cette optique, une série d'essais a été réalisée sur l'acier Z200C12.

La première partie de ces essais porte sur les traitements thermiques appliqués à cet acier. Il a été soumis à une trempe à cœur à 960 °C, suivie d'un revenu à différentes températures (200 °C). La dureté de sept échantillons a ensuite été mesurée. Un examen métallographique a également été effectué à l'aide d'un microscope optique afin d'observer la microstructure du matériau après traitement.

La seconde partie de l'étude s'intéresse à l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface, notamment la rugosité Ra, obtenue lors de l'usinage du matériau Z200C12.

### **III.2 Procédure expérimentale**

- Matériau utilisé : Z200C12

L'acier Z200C12 est un acier allié largement utilisé dans de nombreuses applications industrielles en raison de ses excellentes propriétés mécaniques et de sa bonne résistance à la corrosion. Il est principalement composé de fer, enrichi en carbone et en éléments d'alliage tels que le chrome, le nickel et le manganèse, ce qui lui confère un équilibre optimal entre résistance, ductilité et aptitude à l'usinage.

Ce matériau est fréquemment employé dans les secteurs de l'automobile, la fabrication de machines industrielles et d'autres domaines exigeant des matériaux à la fois résistants et durables. De plus, l'acier Z200C12 peut subir différents traitements thermiques, permettant d'ajuster ses caractéristiques mécaniques en fonction des besoins spécifiques de chaque application.

- **Employabilité**

Acier destiné au travail à froid, caractérisé par une excellente résistance à l'usure grâce à sa forte teneur en carbures de chrome. Il offre également une capacité de coupe exceptionnelle, notamment pour le traitement de tôles d'une épaisseur allant jusqu'à 4 mm. Cet acier se distingue par une bonne trempabilité, une faible variation dimensionnelle après traitement thermique, et une ténacité modérée. Il s'agit d'un acier classique de la famille des aciers au chrome ledeburitiques contenant 12 % de chrome.

- **Propriétés physiques du Z200C12**

Dureté à la livraison	Résistance à la traction Rm	Dureté d'utilisation
max. 250 HB.	env. 850 N/mm'	max. 62 HRC

**Tableau III.1** Propriétés physiques du Z200C12

- **Composition chimique du Z200C12**

C 1.96, Mn 0.35, Si 0.33, P 0.054, S 0.020, Cu 0.039, Al 0.030, Ti 0.006, Nb 0.007, Ni 0.238

Cr 11.586, Mo 0.053, Sn 0.002, FE% 85.267, Ceq 2.023, N 0.0066.

- **Composition chimique AFNOR en ‰**

C Si Mn P S Cr W

1,9 - 2,2 0,1 - 0,6 0,2 - 0,6 0 - 0,03 0 - 0,03 11,0 - 13,0 ≤ 0,8

### III.2.1 Préparation des échantillons

#### Découpage

Afin de réaliser les traitements thermiques requis pour l'analyse du comportement de notre acier, des barres cylindriques en Z200C12, d'une longueur de 170 mm, ont été sectionnées en deux échantillons à l'aide d'une scie dans l'atelier d'usinage de l'AMM El-Hadjar.



**Fig III.1** Débitage

#### III.2.2 Fours de TTH

Les traitements thermiques nécessaires dans le cadre de cette étude ont été réalisés à l'aide d'un four de laboratoire situé dans les ateliers de l'AMM El-Hadjar. Ce dispositif présente une capacité maximale de 50 kg, avec une vitesse de montée en température de 250 °C par heure, et peut atteindre une température maximale de 1200 °C. Ces caractéristiques techniques assurent une maîtrise adéquate des paramètres thermiques requis pour le traitement des aciers alliés de type Z200C12.



**FigIII.2** Four électrique

### III.2.3 Traitements thermiques

Dans le cadre de l'étude expérimentale, sept échantillons en acier Z200C12 ont été préparés. Un premier échantillon a été conservé à l'état initial comme échantillon témoin, afin d'effectuer une analyse microstructurale de référence et une mesure de sa dureté avant traitement. Les 2 échantillons restants ont subi un traitement thermique en deux étapes :

- ✓ Trempe à l'air depuis à une température d'austénitisation de 960 °C, maintenue pendant 20 minutes afin d'assurer une transformation complète de l'austénite.
- ✓ Revenu effectué à trois températures différentes : 200 °C chaque revenu étant maintenu pendant 2 heures. Deux échantillons ont été traités pour chaque température, dans le but de valider la reproductibilité des résultats obtenus.

À l'issue des traitements, des mesures de dureté ont été réalisées sur tous les échantillons traités, ainsi qu'une mesure de la rugosité de surface (Ra) pour ceux ayant subi l'opération de revenu.

- **Essai de dureté**

L'essai de dureté a été réalisé après un cycle thermique composé des étapes suivantes :

- ✓ Chauffage : les échantillons ont été portés à une température de 960 °C pour la phase de trempe, suivie d'un revenu effectué à 200 °C selon les cas.
- ✓ Temps de maintien : un maintien de 20 minutes a été appliqué à 960 °C, puis un revenu de 2 heures à la température choisie.
- ✓ Refroidissement : la trempe a été effectuée dans l'huile, tandis que le refroidissement après le revenu s'est fait à l'air libre.

Nuance	Dureté avant Traitement	Dureté après Traitement
Acier Z200C12	39 HRC	49 HRC

**Tableau III.2**Duretés avant et après traitement thermiques0

### III.3 Description générale

Le SN50 Classic est un tour central universel destiné aux utilisateurs professionnels. Il est conçu pour la production à l'unité ou en petites séries, et il est également adapté aux opérations de maintenance et de réparation. C'est un modèle classique doté d'un moteur principal de 5,5 kW.

Les caractéristiques les plus importantes sont :

- ✓ Petites dimensions
- ✓ Entretien peu exigeant
- ✓ Longue durée de vie
- ✓ Faibles coûts d'exploitation
- ✓ Utilisation simple et ergonomique

Le rapport « prix/performance » favorable

Différentes versions avec une large gamme d'accessoires spéciaux

Haute précision d'usinage

Possibilité de couper différents types de filets avec une large gamme de pas

#### • Caractéristiques

Machines d'excellentes performances conçues pour la production à la pièce et en petite série, également adaptées aux opérations de maintenance et de réparation. Des machines précises et fiables avec une large gamme de designs et des accessoires spéciaux.

Les pièces importantes de la machine sont en fonte grise - minimisant l'apparition de vibrations et de vibrations pendant l'usinage.

longue durée de vie et précision d'usinage constante.

Grattage manuel des pièces importantes de la machine - grande précision d'usinage.

Percée pour augmenter le diamètre de fonctionnement et le lit en forme de delta - haute résistance à la déformation et évacuation en douceur des copeaux.

Entraînement de broche avec embrayages et frein - démarrage et arrêt en douceur du mouvement. Un levier pour le contrôle quadridirectionnel du sens de déplacement de la glissière avec des embrayages d'alimentation réglables



**Fig III. 3** Tour parallèle SN50 Classic



**Fig III.4** Pièce usinée

### **III.3.1** Matériau usiné

Outil de coupe utilisé:

Outil à tronçonner et outil à charioter et dresser.



**FigIII.5** Outil à tronçonner



**Fig III.6** Outil à charioter et dresse

- **Plaquette de tournage**

Plaquette de tournage en carbure utilisée principalement pour l'usinage des métaux, notamment les aciers.

Classe de plaquette : P30

P : Groupe de matériaux à usiner → Aciers non alliés ou faiblement alliés

30 : Indice de dureté/ténacité :

P30 indique une bonne ténacité, convenant à des opérations d'ébauche à vitesse moyenne ou faible.

La KC850 est une qualité de carbure revêtu

Nuance KC850

conçue pour :

- ✓ Tournage d'aciers à vitesse modérée à élevée
- ✓ Bonne ténacité, bonne tenue à l'usure abrasive
- ✓ Stabilité thermique correcte, adaptée pour usinage avec ou sans lubrification
- ✓ Contrôle efficace des copeaux (brise-copeaux intégré)



**Fig III.7** Plaquette carbure métallique  
(P30)

### **III.3.2 Régime de coupe**

Le régime de coupe a été choisi en fonction du matériau utilisé et de l'outil de coupe employé lors de la réalisation de la pièce demandée.

- **Présentation de l'éprouvette**

L'éprouvette découpée respectivement au diamètre  $D = 80\text{mm}$  (mise en longueur), et préparée en 9 paliers. Les pièces de longueur  $L = 170\text{ mm}$  et diamètre  $D = 80\text{mm}$  et réalisées en 8 paliers (usinée avec lubrification). Largeur du palier  $10\text{ mm}$ , Séparé par des gorges de profondeur de  $4\text{mm}$  et largeur de  $4\text{mm}$



**FigIII.8** la pièce

- **Essai de dureté**

L'échantillon est placé sur la machine de test, en contact avec un pénétrateur à pointe pyramidale en diamant, normalisée, de base carrée et présentant un angle de  $136^\circ$  entre les faces opposées au sommet. Une charge est ensuite appliquée pendant une durée de 5 à 10 secondes, entraînant la pénétration de l'indenteur dans la matière. Après relâchement de la charge, on mesure à l'aide d'une règle les deux diagonales de l'empreinte carrée laissée sur l'échantillon. La moyenne de ces deux diagonales est ensuite calculée, ce qui permet de déterminer la dureté du matériau à l'aide de tables de correspondance (abaques).

- **Le Rugosimètre**

Le Rugosimètre RT-10 Plus est un appareil portable conçu pour mesurer la rugosité des surfaces métalliques ou usinées, offrant des fonctionnalités avancées par rapport au modèle standard RT-10.

Avantages du RT-10 Plus

- ✓ Portabilité
- ✓ Polyvalence
- ✓ Facilité d'utilisation
- ✓ Analyse approfondie



**Fig III.9** Rugosimètre (Someco RT10 plus)

### **III.4 Résultats expérimentaux**

#### **Routage d'usinage**

L'usinage réalisé lors de l'opération de chariotage, en utilisant les paramètres spécifiés dans le tableau ci-dessous, permet d'analyser la rugosité de surface obtenue en fonction de plusieurs facteurs : la vitesse de coupe ( $V_c$ ), l'avance ( $f$ ), la profondeur de passe ( $a$ ), ainsi que la vitesse d'avance.

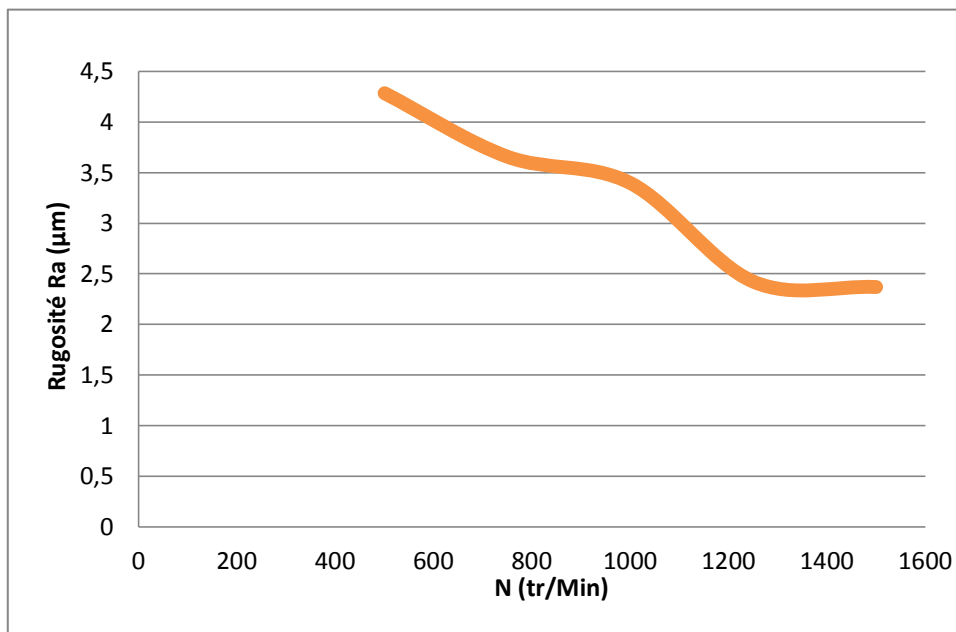
**Essai I:**

Paramètres d'usinage :

- ✓ L'avance est fixée à  $f = 0,75$  mm/tr.
- ✓ La vitesse de rotation ( $N$ ) est modifiée selon les besoins de l'essai.
- ✓ La profondeur de passe est maintenue constante à  $a_p = 0,5$  mm.

Ntr/min	f mm/tr	apmm	Ra
500	0.75	0.5	4.2 85
750	0.75	0.5	3.6 57
1000	0.75	0.5	3.397
1250	0.75	0.5	2.4 23
1500	0.75	0.5	2.369

**Tableau III.3** Tableau des valeurs de rugosité ( $R_a$ ) en fonction de Vitesse de rotation ( $N$ )



**FigIII.10** Variation de la rugosité ( $R_a$ ) en fonction de Vitesse de rotation ( $N$ )

Le graphe III.1 montre que la rugosité ( $R_a$ ) diminue avec l'augmentation de la vitesse de rotation ( $N$ ). Par exemple,  $R_a$  passe de 4,2  $\mu\text{m}$  à 500 tr/min à 1,8  $\mu\text{m}$  à 1500 tr/min.

Cela montre qu'une vitesse de rotation plus élevée améliore la qualité de surface. Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la surface usinée devient lisse. Cette diminution s'explique par le fait qu'une vitesse plus grande réduit les forces de coupe et améliore la qualité de finition de la pièce.

## Essai 2

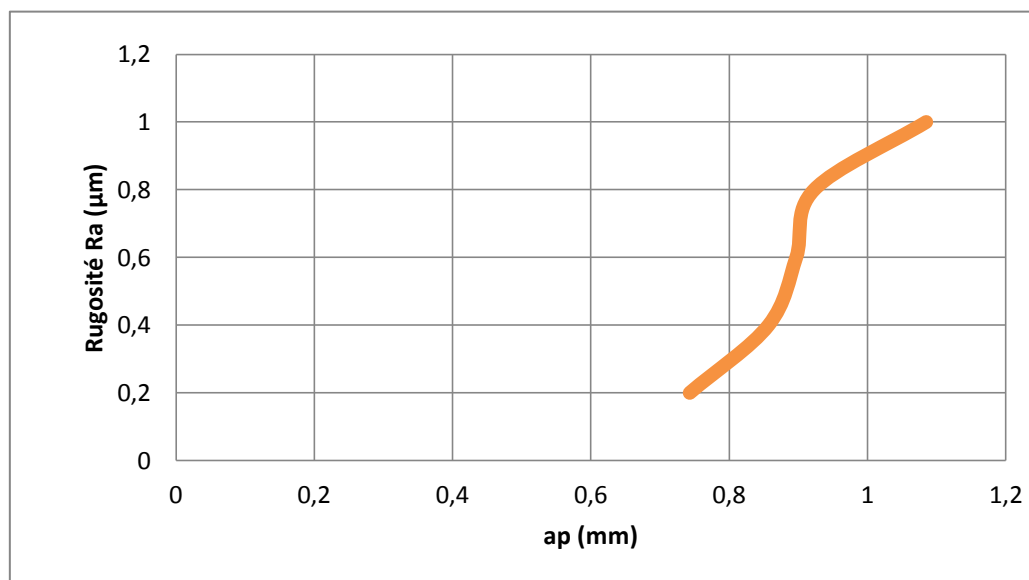
Paramètres d'usinage :

Les conditions appliquées sont les suivantes :

- ✓ Une avance constante de 0,75 mm/tr a été utilisée.
- ✓ La vitesse de rotation 1500 tr/min.

Ntr/min	fmm/tr	apmm	Ra
1500	0.75	0.2	0.743
1500	0.75	0.4	0.857
1500	0.75	0.6	0.897
1500	0.75	0.8	0.923
1500	0.75	1	1.085

**Tableau III.4** Tableau des valeurs de rugosité (Ra) en fonction de La profondeur de passe (ap)



**Fig III.11** Variation de la rugosité (Ra) en fonction de La profondeur de passe (ap)

Le graphe III.2 montre que la rugosité (Ra) augmente avec la profondeur de passe (ap).

Lorsque  $a_p$  augmente par exemple, lorsque  $a_p$  passe de 0,6 mm à 1,0 mm, la rugosité augmente fortement, atteignant environ 1,1  $\mu\text{m}$ , la rugosité devient plus élevée, ce qui indique une dégradation de la qualité de surface. Cette tendance s'explique par le fait qu'une profondeur de passe plus importante génère des efforts de coupe plus élevés et une déformation plus marquée du matériau, ce qui entraîne une surface plus rugueuse.

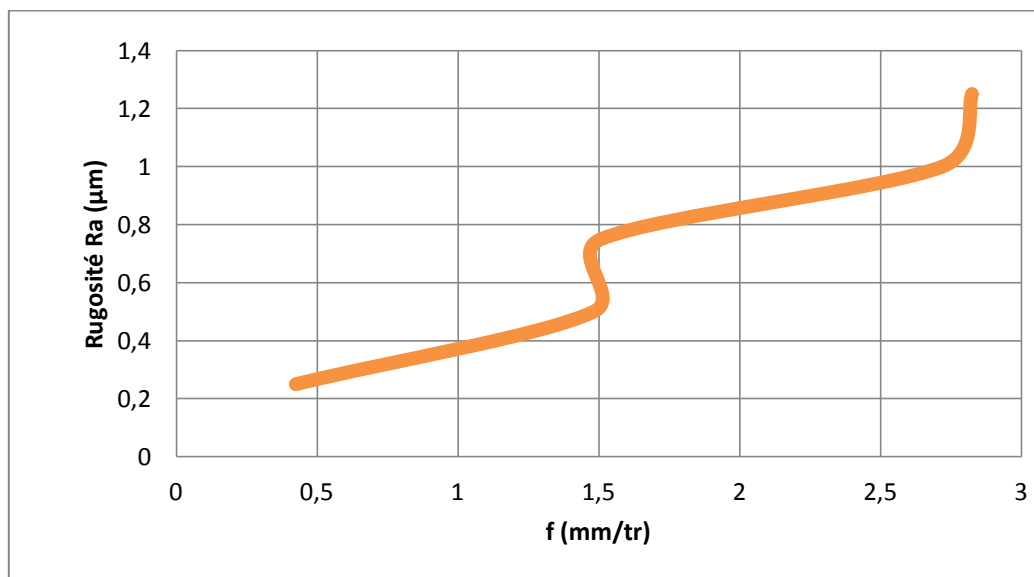
### Essai 3

Paramètres d'usinage appliqués :

Dans cette opération la profondeur de passe maintenue à 0,5 mm, tandis que la vitesse de rotation 1500 tr/min.

Ntr/min	fmm/tr	$a_p$ mm	Ra
1500	0.25	0.5	0.424
1500	0.5	0.5	1.482
1500	0.75	0.5	1.508
1500	1.0	0.5	2.720
1500	1.25	0.5	2.825

**Tableau III.5** Tableau des valeurs de rugosité (Ra) en fonction de l'avance ( f )



**Fig III.12** Variation de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance ( f )

Le graphe III.3 montre que la rugosité ( $R_a$ ) augmente avec l'avance ( $f$ ). Plus l'avance est élevée, plus la surface devient rugueuse par exemple,  $R_a$  passe d'environ  $0,3 \mu\text{m}$  à  $0,4 \text{ mm/tr}$  à  $1,3 \mu\text{m}$  à  $2,5 \text{ mm/tr}$ . cela s'explique par le fait qu'une grande avance laisse des traces plus profondes sur la pièce usinée. Ainsi, pour obtenir une meilleure qualité de surface, il est préférable d'utiliser une avance plus faible.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exposé de manière détaillée la méthodologie expérimentale adoptée. Nous avons décrit avec précision l'ensemble des équipements utilisés, notamment le tour, les fours TTH, la pièce à usiner, l'outil de coupe ainsi que le rugosimètre. Les essais réalisés avaient pour objectif principal l'évaluation de la qualité de surface à travers l'analyse de la rugosité obtenue pour chaque condition d'usinage.

## **Conclusion Générale**

Dans le cadre de ce travail, nous avons exploré deux volets complémentaires. Le premier volet, à caractère bibliographique, a permis d'établir les fondements théoriques relatifs à l'usinage, avec un accent particulier sur le tournage et la rugosité de surface. Le second volet, de nature expérimentale, a consisté en une série d'essais visant à analyser l'influence de différents paramètres de coupe sur l'état de surface, à travers diverses conditions et scénarios d'usinage. L'analyse des résultats obtenus a mis en évidence plusieurs constats importants. D'abord, la rugosité constitue un critère fondamental pour évaluer la qualité d'une surface usinée, et le paramètre  $R_a$  s'avère être un indicateur pertinent et largement utilisé à cet effet. Ensuite, il a été démontré que l'état de surface dépend fortement des paramètres de coupe, notamment de l'avance, dont l'augmentation se traduit généralement par une détérioration de la qualité de finition. Par ailleurs, l'emploi de lubrifiants s'est révélé bénéfique, améliorant significativement la rugosité, un effet également observé lors de l'augmentation de la vitesse de coupe. Ce phénomène s'explique par la réduction des frottements entre l'outil et la pièce grâce à la formation d'un film lubrifiant, ce qui permet non seulement d'obtenir une meilleure finition, mais aussi d'allonger la durée de vie de l'outil. Ces résultats soulignent l'importance d'un choix rigoureux et réfléchi des conditions de coupe, qui doivent être adaptées à la géométrie de l'outil et aux contraintes du procédé, afin d'atteindre les standards de qualité souhaités. Dans une perspective de continuité, il serait pertinent d'approfondir cette étude par une analyse topographique détaillée des surfaces usinées, afin de mieux caractériser les microstructures générées et d'enrichir la compréhension des mécanismes d'interaction entre outil, pièce et conditions de coupe.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1][https://fr.wikipedia.org/wiki/Tournage\\_m%C3%A9canique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tournage_m%C3%A9canique) Consulté le 24 Fèv 2025
- [2][https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour\\_\(machine-outil\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_(machine-outil)) Consulté le 24 Fèv 2025
- [3]<http://www.acheter-vendre-machines.fr/2008/07/2-principe-de-fonctionnement-dun->  
Consulté le 27 Fèv 2025
- [4]**TAMERHani**. Influence des paramètres de coupe sur la rugosité de surface (acier XC18). PFE, MASTER FMP Université Badji Mokhtar Annaba, 2020.
- [5][https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/chapitre\\_2\\_4\\_1\\_2.html](https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/chapitre_2_4_1_2.html) Consulté le 27 Fèv 2025
- [6][https://elearningdeprecatd.univannaba.dz/pluginfile.php/61114/mod\\_resource/content/1/Cours%20N%27.pdf](https://elearningdeprecatd.univannaba.dz/pluginfile.php/61114/mod_resource/content/1/Cours%20N%27.pdf) Consulté le 27 Fèv 2025
- [7]**BOUGOFFA Ramez Med Lamine** L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de (l'acier XC48). PFE, MASTER FMP Université Badji Mokhtar Annaba 2018
- [8]**JEAN-PIERRE CORDEBOIS ET COLL**, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003
- [9]**ALAIN PASSERON**, « Tournage », Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997
- [10][https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/CM\\_bennegadi.pdf](https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/CM_bennegadi.pdf) [11] **SOUHIR. GARA**, Procédés d'usinage ingénieur de l'ENI de Tunis.
- [11]<https://www.maxicours.com/se/cours/etat-de-surface-et-indice-de-rugosite-1/> Consulté le 30 Fèv 2025
- [12]<https://fr.scribd.com/document/388910157/Chapitre-6-Traitements-Thermiques-Thermochimiques>