

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Laboratoire de structures

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du Diplôme de master en Génie Mécanique, Option Construction Mécanique

**Comportement thermique mécanique d'un outil de coupe
lors d'une opération de chariotage du procédé de tournage**

Proposé et encadré par :

Pr.TEMMAR Mustapha

Dr.MELZI Nesrine

Réalisé par :

BRAHIMI Sara

BOUAMER Zakia

Année universitaire 2021 / 2022

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du Département de Mécanique de l'Université Saad Dahlab de Blida 1.

Selon la tradition, et à travers cette page de remerciements, nous tenons à saluer toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

Nous sommes très reconnaissants Monsieur Temmar et Madame Melzi pour nous avoir dirigés tout au long de ce travail. Nous leurs présentons également nos plus sincères gratitude pour la confiance et la sympathie qu'ils nous ont témoignés tout au long de ce travail.

Nous voudrions tout d'abord remercier les membres du jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail.

Nous remercions tous nos enseignants du Département de mécanique.

Nous exprimons toute notre gratitude à Monsieur Hamza de l'atelier d'usinage de notre département.

A tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire

Au meilleur parent, mon père et ma mère qui peuvent être si fières de moi et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour nous aider à avancer dans la vie.

Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent que vous nous avez consacré.

A mon très cher grand père AHMED qui nous a quittés très tôt, tu as toujours été fier de moi pour le moindre effort que je fais. J'aurai aimé que tu sois présent à mes côtés dans ce jour spécial.

A mes prunelles de mes yeux MOUSSA et LYES mes frères que dieu les garde pour moi.

A mes oncle et tante, cousin, cousine qui ont été à mes côtés dans mes bons moments comme dans les pires, merci pour le soutien l'amour et les conseils qui m'ont aidé à atteindre mes objectifs.

Ma sœur que la vie m'a donné LISA ma meilleur amie ma confidente, j'apprécie tous ce que tu as fait et tu fais et tu vas faire que Allah te garde.

Sans oublier mes plus belle rencontre mes copine de la cité avec qui j'ai passé la meilleure année universitaire : SARA, SISSI, AMEL, KATIA, KAMELIA, NAWAL, HAMIDA, LYDIA, LYDIA, MASSILIA, NADIA, SIHEM, SAMIA

A mon binôme SARA (Zakia) et sa gentille famille père mère et ses sœurs merci pour tous ce que vous m'avais fait.

SARA

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents père et mère qui m'ont toujours apporté leurs précieux conseils, leur confiance, amour et surtout leur soutien moral je vous aime très fort

A mes sœurs KENZA WASSILA SOUMIA et mon petit frère adorable ABDE ELRAHMAN, qui m'ont toujours soulevés et accompagnés avec patience et encouragement, beaucoup d'amour.

A mon beau-frère SIDALI qui m'a encouragé pendant tout le long de mes études

A mes petit neveux et nièces que j'aime plus que tous MELINA, RAYAN, IYADE, la prunelle de mes yeux ASSIL.

A toute ma famille BOUAMER qui m'ont aidé de près ou de loin à atteindre mes objectifs.

A mon binôme SARA qui a supporté mes changements d'humeur et pour ça compréhension durant nos année d'études.

Mon meilleur ami j'espère que notre amitié continuera mémé si nous sommes loin l'une de l'autre

Je te souhaite tout le bonheur et succès dans ta vie

ZAKIA

Résumé :

Les pièces mécaniques (appareils, machines,...) sont obtenues par plusieurs procédés : moulage, assemblage, formage (laminage, forgeage, estampage, ...) ou usinage (coupe des métaux). L'usinage par enlèvement de matière permet d'élaborer des pièces mécaniques finies. L'outil de coupe enlève de la surépaisseur pour générer une nouvelle surface. Cette coupe est influencée principalement par les propriétés du matériau de la pièce à usiner, la géométrie de l'outil de coupe, les conditions de coupe, les conditions de lubrification et les paramètres dynamiques (raideur, amortissement) du système usinant.

Notre travail consistera à bien comprendre le phénomène de contact entra l'outil de coupe et la pièce à usiner en utilisant comme exemple, le procédé de tournage dans le but de développer et d'améliorer la performance du procédé d'usinage. Ainsi pour étudier le Comportement de l'outil de coupe lors d'une opération de chariotage du procédé De tournage.

Mots Clés : Usinage par enlèvement de matière, procédé de tournage, Système POM (Pièce-Machine-outil-Machine-outil), phénomène d'usinage, outils de coupe.

يتم : ملخص
القولبة ، والتجميع ، : من خلال عدة عمليات (...الأجهزة ، الآلات ،) الحصول على الأجزاء الميكانيكية
تجعل المعالجة الآلية . (قطع المعادن) أو التشغيل الآلي (...الدرفلة ، والتزوير ، والختم ،) والتشكيل
تزيل أداة القطع السماكة الزائدة . عن طريق إزالة المواد من الممكن عمل الأجزاء الميكانيكية النهائية
يتأثر هذا القطع بشكل أساسي بخصائص المواد لقطعة العمل ، وهندسة أداة القطع ، لإنشاء سطح جديد
لنظام التشغيل الآلي (الصلابة ، والتخميد) وظروف القطع ، وظروف التشحيم والمعلومات الديناميكية
يتألف عملنا من فهم ظاهرة التلامس بين أداة القطع وقطعة العمل باستخدام مثال ، عملية التقليل من
وبالتالي دراسة سلوك أداة القطع أثناء عملية الدوران . أجل تطوير وتحسين أداء عملية التصنيع
أداة -آلة -جزء) POM التصنيع عن طريق إزالة المواد ، عملية الخراطة ، نظام : الكلمات المفتاحية
، ظاهرة التشغيل الآلي ، أدوات القطع (أداة -أداة -

Abstract

Mechanical parts (devices, machines,...) are obtained by several processes: molding, assembly, forming (rolling, forging, stamping,...) or machining (metal cutting). The machining by removal of material makes it possible to work out finished mechanical parts. The cutting tool removes excess thickness to generate a new surface. This cutting is mainly influenced by the material properties of the workpiece, the geometry of the cutting tool, the cutting conditions, the lubrication conditions and the dynamic parameters (stiffness, damping) of the machining system.

Our work will consist in understanding the phenomenon of contact between the cutting tool and the workpiece using as an example, the turning process in order to develop and improve the performance of the machining process. Thus to study the behavior of the cutting tool during a turning process.

Keywords: Machining by material removal, turning process, POM system (Part-Machine-Tool-Machine-Tool), machining phenomenon, cutting tools.

SOMMAIRE

1. USINAGE PAR ENLEVEMENT DE MATIERE

1.1	INTRODUCTION :	01
1.2	LA MISE EN FORME DE LA MATIERE	02
1.3	COUPE DES METAUX :	03
1.3.1	Mouvement de coupe (Mc):	04
1.3.2	Mouvement d'avance (Ma):	04
1.3.3	Mouvement de profondeur (Mp) :	05
1.4	OUTIL DE COUPE :	06
1.4.1	Définition des faces de l'outil:	06
1.4.2	Angles de l'outil :	07
1.5	MATERIAUX DES OUTILS DE COUPE :	09
1.6	COPEAU :	10
1.6.1	Les différents types de copeau:	10
1.7	VITESSE DE COUPE :	12
1.8	LUBRIFICATION :	13
1.9	LES PROCEDES D'USINAGE :	14
1.9.1	Tournage:	14
1.9.2	Fraisage:	15
1.9.3	Perçage:	15
1.9.4	Rectification:	16
1.9.5	Usinage sur l'étau-limeur:	16
1.9.6	Usinage sur la raboteuse :	17
1.10	conclusion	18

2. LE PROCEDE DE TOURNAGE

2.1	INTRODUCTION :	19
2.2	LE TOURNAGE :	20

2.3	LA MACHINE OUTIL : TOUR.....	21
2.4	DIFFERENTES OPERATIONS DE TOURNAGE:.....	22
2.5	OUTIL :.....	23
2.6	CONDITIONS DE COUPE :.....	27
2.6.1	Vitesse de coupe.....	27
2.6.2	Vitesse d'avance Vf et l'avance par tour f.....	28
2.6.3	Profondeur de passe « a ».....	29
2.7	MONTAGES DANS LE TOURNAGE:.....	29
2.8	CONCLUSION :.....	31
3. SIMULATION NUMERIQUE EN 3D DE PROFIL DE LA TEMPERATURE A L'INTERFACE OUTIL- PIECE		
3.1	INTRODUCTION :.....	32
3.2	DESCRIPTION DES MATERIAUX.....	32
3.2.1	Matériaux de la pièce:	32
3.2.2	Matériau de l'outil :.....	34
3.3	Loi de comportement et critère d'endommagement :.....	34
3.4	Les étapes à suivre pour la modélisation :.....	35
3.5	Les propriétés physiques et mécaniques de l'outil:.....	35
3.6	La modélisation de la pièce à usiner :.....	35
3.6.1	Acier inoxydable :.....	36
3.6.2	Alliage Aluminium:.....	36
3.6.3	Alliage de titane :.....	37
3.6.4	ACIER XC48:.....	37
3.7	Le modèle thermique 3D du dispositif de coupe :.....	38
3.8	Le maillage et gestion de contact :.....	39
3.9	Les résultats de simulation:.....	39
3.10	Discussion des résultats de la simulation numérique:.....	42
3.11	conclusion :.....	44

Liste des figures

CHAPITRE 1 : usinage par enlèvement de matière

Figure 1.1 : Les différents procédés d'usinage	03
Figure 1.2 : La coupe des métaux.....	04
Figure 1.3 : Mouvement de l'outil et de la pièce en tournage	05
Figure 1.4 : Critère permettant de définir les paramètres de coupe.....	06
Figure 1.5 : Les principaux éléments d'une pièce à usiner et d'un outil	06
Figure 1.6 : élément de l'outil	07
Figure 1.7 : La géométrie de l'outil de coupe	08
Figure 1.8 : Angles du taillant (outil en main).....	08
Figure 1.9 : Angles du taillant (outil en travail).....	09
Figure 1.10 : Modal d'un copeau	11
Figure 1.11 : Familles de copeau	13
Figure 1.12 : Procède de tournage	16
Figure 1.13 : Procède de fraisage	17
Figure 1.14 : Procède de perçage.....	17
Figure 1.15 : Procède de rectification	18
Figure 1.16 : Procède d'usinage sur l'étau limeur.....	18

Chapitre 2 : Les procédés de tournage

Figure 2.1 : Mouvement de coupe et d'avance en tournage	21
Figure 2.2 : Procédure de tournage (opération de chariotage).....	22
Figure 2.3 : Procédure de tournage (opération de dressage).....	22
Figure 2.4 : Constitution d'un tour parallèle	23
Figure 2.5 : L'opération classique en tournage (technique de l'ingénieur).....	24
Figure 2.6 : Angle de coupe latéral	25
Figure 2.7 : Rayon du bec	26
Figure 2.8 : Influence du rayon du bec sur la rugosité de la surface	26
Figure 2.9 : état de surface	27
Figure 2.10 : Outil à plaquette carbure	27
Figure 2.11 : Opérations d'usinages en tournage	28
Figure 2.12 : Vitesse de coupe	29
Figure 2.13 : Vitesse de coupe V_c ; D diamètre et vitesse de rotation N.....	30
Figure 2.14 : Vitesse d'avance V_f et avance par tour F	30
Figure 2.15 : La profondeur de passe	31
Figure 2.16 : Montage en lunette	32

Chapitre 3: simulation numérique en 3D des transferts de chaleur lors d'une opération de chariotage

Figure 3.1: Acier inoxydable et la corrosion	35
Figure 3.2: le maillage de l'outils et la pièce.....	42
Figure 3.3: Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de l'acier XC48 pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$	43
Figure 3.4 : Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe deacier inoxydable pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$	43
Figure 3.5 : Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de alliage aluminnum pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$	44
Figure 3.6: Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lorsde la découpe de alliage de titane pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$	44

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Les différentes formes macrographiques de copeaux	03
Tableau 3.1 : Les propriétés physique et mécanique de carbure métallique	38
Tableau 3.2 : paramètres de la loi de Johnson Cook de l'acier inoxydable	38
Tableau 3.3 : Les propriétés physique et mécanique de l'acier inoxydable	38
Tableau 3.4 : paramètres de la loi de Johnson Cook de l'alliage d'Aluminium.....	39
Tableau 3.5 : Les propriétés physique et mécanique de l'alliage de d'aluminium.....	39
Tableau 3.6 : paramètres de la loi de Johnson Cook de l'alliage de titane.....	39
Tableau 3.7 : Les propriétés physique et mécanique de l'alliage de titane	39
Tableau 3.8 : paramètres de la loi de Johnson Cook de l'acier XC48.....	40
Tableau 3.9 : Critère d'endommagement de Johnson Cook de l'ACIER XC48.....	40
Tableau 3.10 : Les propriétés physiques et mécaniques de l'acierXC45.....	41

Nomenclature

Symbole	Unité	Désignation
VC	(m/min)	Vitesse de coupe
Ω	(rad/ min)	vitesse angulaire
Me		Mouvement de coupe
Mf		Mouvement d'avance
Mp		Mouvement de profondeur
D	(mm)	Diamètre de la pièce
N	(tr/min)	Vitesse de broche
F	(mm/tr)	Avance par tour
Vf	(mm/min)	La vitesse d'avance
A	(mm)	Profondeur de passe
α	Rad	Angle de dépouille
β	Rad	Angle de taillant
γ	Rad	Angle de coupe
L	(mm)	Longueur totale de déplacement de l'outil

INTRODUCTION GENERALE

Le monde est en évolution perpétuelle et par conséquent le domaine de la fabrication mécanique n'échappe pas à l'exception. Les procédés de fabrication par enlèvement de Matière par ses nouveaux techniques et techniques d'usinage ont permis de prendre le pas avec les autres domaines de fabrications comme : la déformation à froid, la déformation à chaud, le moulage, l'ajout de matière, etc.). L'usinage par les procédés classiques comme le tournage, le fraisage et la rectification ont recours très souvent à des éléments tranchants (outil de coupe) dont la résistance et la géométrie sont spécifiques et l'interaction entre la pièce et l'outil de coupe en mouvement relatif produit par arrachement du copeau.). L'enlèvement de matière nécessite l'emploi d'un élément physique permettant d'extraire de la matière d'un volume de base appelé brut (bloc, barre, plaque,) dans le but d'obtenir une pièce finie ou semi-finie.

Pour bien comprendre ce phénomène, nous nous sommes intéressés à étudier le comportement d'un outil de coupe lors d'une opération de chariotage du procédé de tournage. Les résultats obtenus vont nous permettre d'établir des corrélations fortes entre les différents contacts entre la pièce et l'outil de coupe.

Notre travail, comportement d'un outil de coupe lors d'une opération de chariotage du procédé de tournage, va nous permettre de prendre un exemple d'une des opérations de tournage à savoir le chariotage.

Notre travail se divise en quatre chapitres :

Dans le chapitre 1, une recherche bibliographique introduira les notions nécessaires sur l'usinage en général.

Le chapitre 2 sera consacré au procédé de tournage.

Le chapitre 3 présentera les résultats des simulations relatives à notre travail. Ce démonstrateur permettra de valider les différents comportements des différents paramètres d'usinage intervenant lors de l'usinage.

La dernière partie, à savoir la conclusion générale, présentera les résultats obtenus tout au long de notre travail.

CHAPITRE 1 :
USINAGE PAR ENLÈVEMENT DE
MATIERE

1.1 INTRODUCTION

L'usinage par enlèvement de matière est réalisé avec le déplacement d'un outil coupant par rapport à la pièce. Généralement, les machines-outils permettent de générer deux mouvements distincts : le mouvement de coupe défini par la trajectoire et la vitesse de coupe et, le mouvement d'avance définie par la trajectoire et la vitesse d'avance. Ces deux mouvements peuvent être appliqués à l'outil, à la pièce ou aux deux

Le domaine des procédés d'usinage est extrêmement vaste. Il est généralement caractérisé par l'action d'un outil sur un matériau pour obtenir une nouvelle forme.

Traditionnellement, les procédés d'usinage mécanique sont divisés entre les opérations dites traditionnelles et les opérations dites non traditionnelles en distinguant les techniques d'usinage classique des autres. Mais il semble pertinent de classer schématiquement les procédés d'usinage selon les phénomènes physiques mis en jeu.

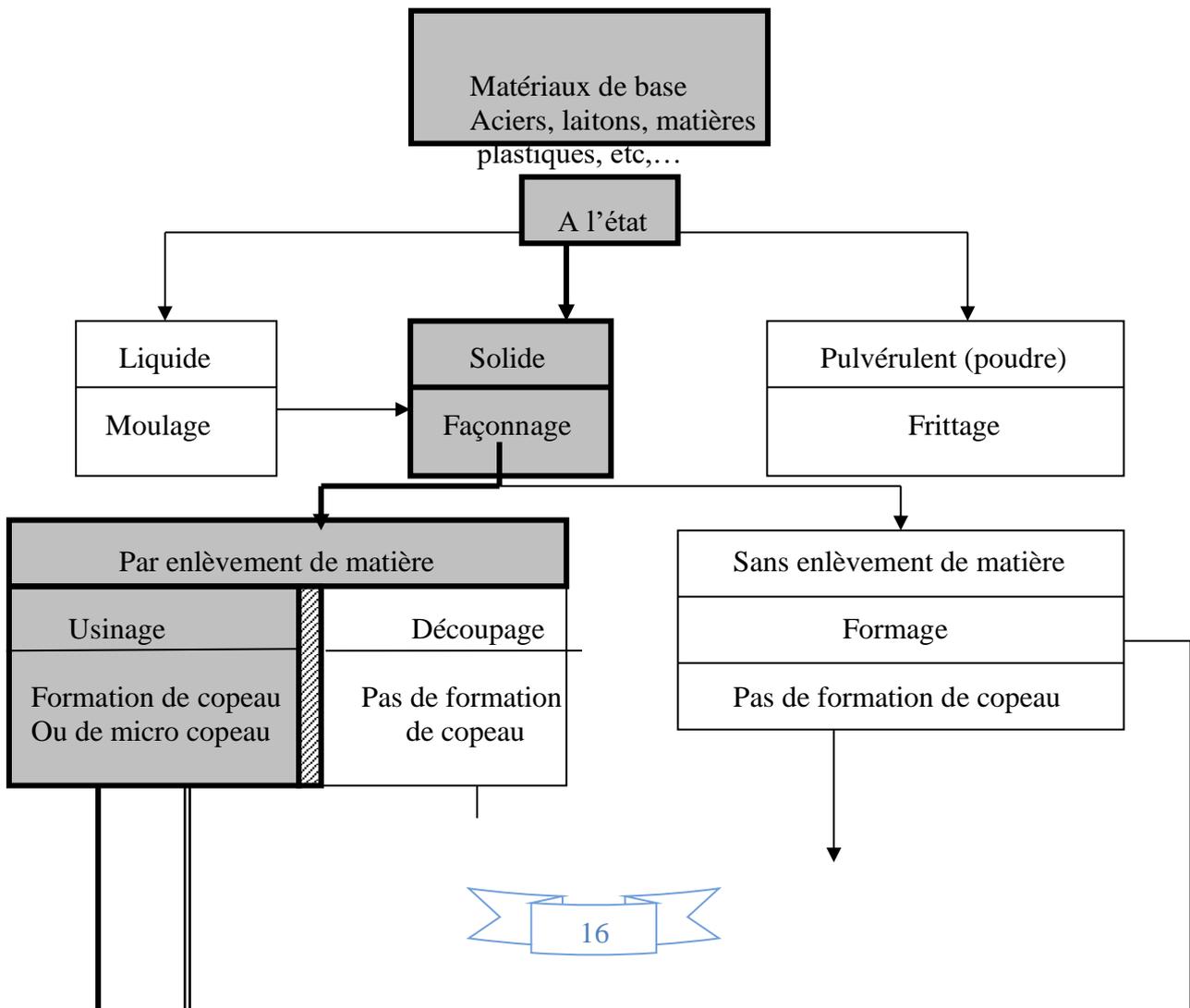
Ces derniers peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Les procédés physico-chimiques,
- Les procédés mécaniques.

1.2 LA MISE EN FORME DE LA MATIERE

Généralement la mise en forme de la matière pour produire des pièces de différents types de machines et d'appareils fait appel à des techniques très diverses et suivant l'état de la matière (liquide, solide ou pulvérulent), voir figure 1.1 [1]

Quand le matériau est solide il peut être usiné soit par enlèvement de matière ou par usinage sans enlèvement de matière.



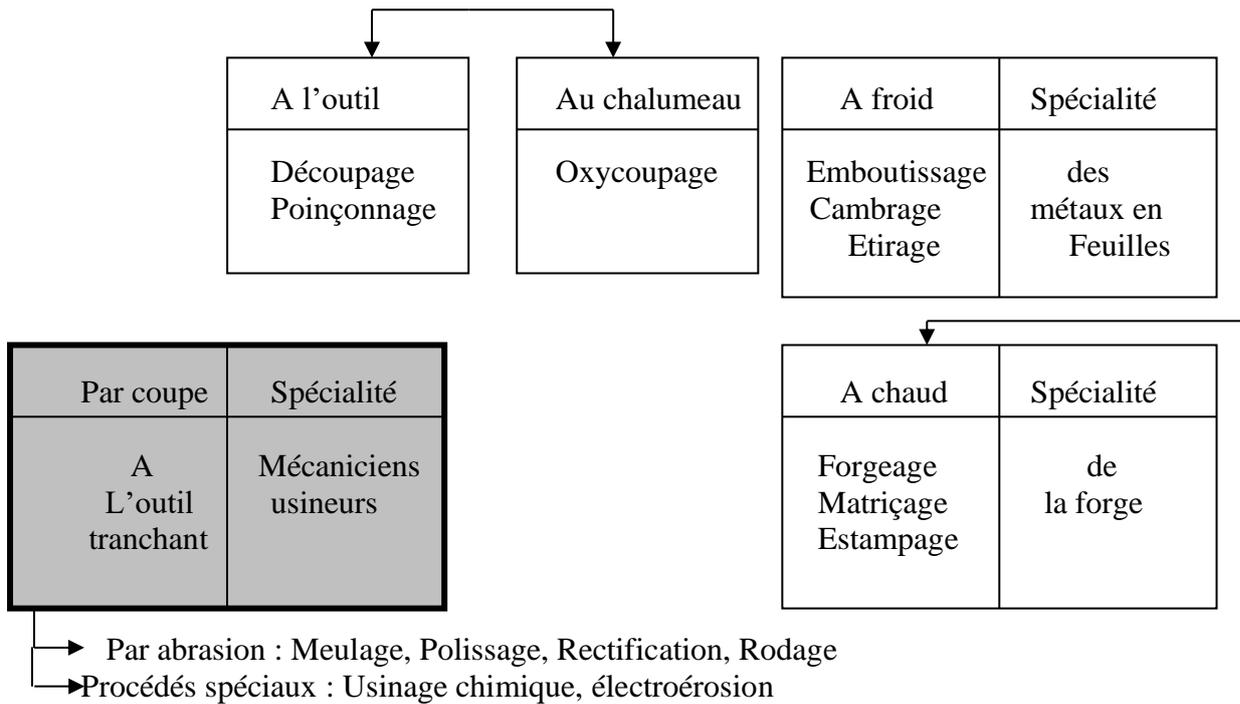


Figure 1.1 : Les différents procédés d'usinage [1]

1.3 COUPE DES METAUX

La coupe des métaux (ou usinage) consiste à enlever une couche de métal pour obtenir une pièce finie conforme au dessin de définition. [3]. [4]

Cette coupe est effectuée sur des machines à l'aide d'outils tranchants de dimensions et de formes diverses.

Lors de l'usinage, on trouve:

- Une lame d'outil qui pénètre dans la matière et enlève un copeau,
- L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner, où les mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

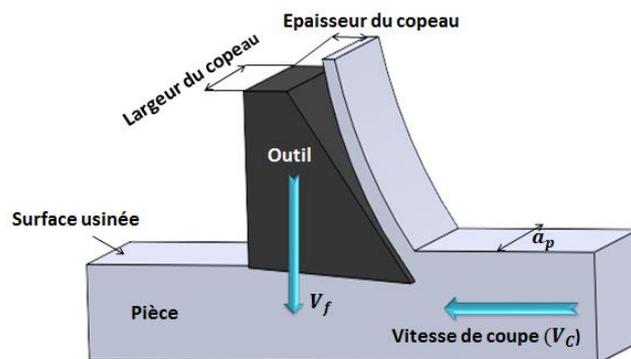


Figure 1.2: La coupe des métaux [4]

La conjugaison de 3 mouvements soit à l'outil ou soit à la pièce permet la coupe. Ces 3 mouvements sont : Le mouvement de coupe, le mouvement d'avance et le mouvement de profondeur.

1.3.1 Mouvement de coupe (M_c):

Le mouvement de coupe est un mouvement relatif principal entre l'outil et la pièce. Il est le mouvement principal à l'élaboration du copeau pendant la course de la machine. Il est caractérisé par la vitesse de coupe v_c qui est une vitesse instantanée du point considéré de l'arête par rapport à la pièce.

Dans le cas du mouvement circulaire, la vitesse de coupe est une fonction de la vitesse de rotation n et du diamètre D de l'élément en rotation.

Pour le tournage, il faut prendre le diamètre du cercle qui se trouve sur le point de l'arête de coupe le plus éloigné de l'axe de rotation.

1.3.2 Mouvement d'avance (M_a):

Au mouvement de coupe, on ajoute un autre mouvement relatif entre l'outil et la pièce, le mouvement d'avance, nécessaire à la génération de la surface de la pièce. Il peut être composé de plusieurs mouvements mais seulement de façon à ce qu'au moins une de ses composantes soit rectiligne. Le mouvement d'avance est caractérisé par la vitesse d'avance v_f qui est une vitesse instantanée du mouvement d'avance du point considéré de l'arête de coupe par rapport à la pièce. Elle est exprimée soit en mm/min soit en mm/tour.

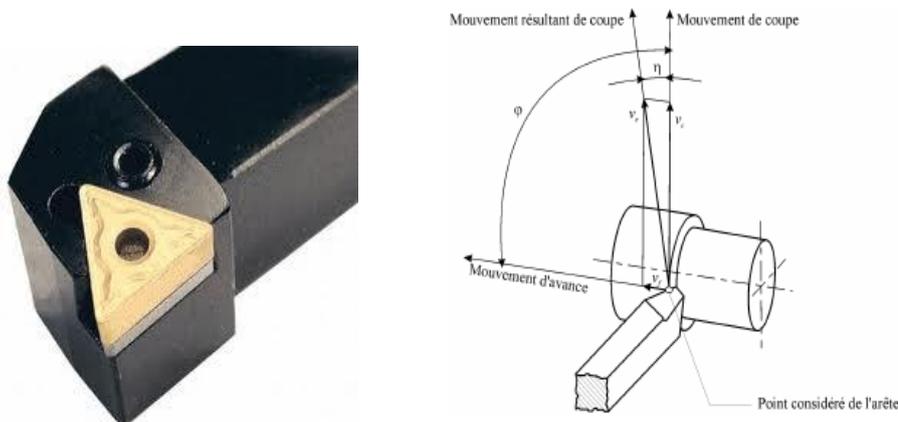


Figure 1.3 : Mouvements de l'outil et de la pièce en tournage

1.3.3 Mouvement de profondeur (M_p):

Les paramètres d'usinage sont des grandeurs qui caractérisent les mouvements de l'outil et de la pièce à usiner ainsi que les valeurs de la surépaisseur d'usinage et de la section de coupe. Le mouvement de profondeur est un mouvement perpendiculaire aux mouvements de coupe et d'avance. Il détermine la pénétration de l'outil dans la pièce (l'épaisseur du copeau à enlever).

Pour enlever de la matière en cours d'usinage, deux mouvements sont nécessaires : mouvement de coupe et mouvement d'avance. D'une manière générale, ces mouvements de coupe peuvent être donnés soit par la pièce soit par l'outil.

Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil,...), on doit régler les paramètres de coupe ; ou, il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de coupe, comme le montre la figure suivante :

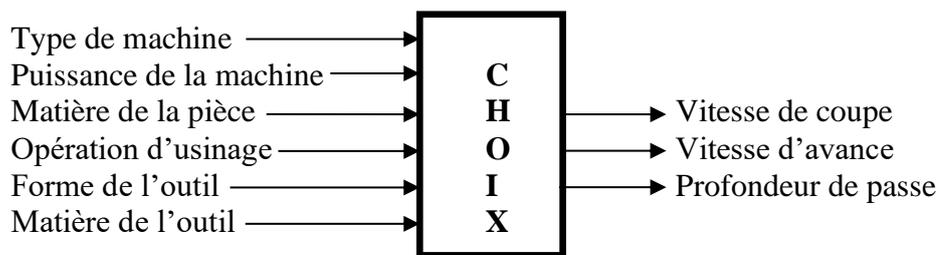


Figure 1.4: Critères permettant de définir les paramètres de coupe [11]

La figure 1.5 suivante illustre les principaux éléments d'une pièce à usiner et d'un outil. La surface de la pièce sujette à l'usinage est appelée surface de la pièce. Elle peut être brute (résultant de différents procédés comme moulage, forgeage, laminage, etc.) ou obtenue par usinage au cours d'opérations précédentes. La surface engendrée (ou surface usinée) est une surface désirée, générée par le processus d'enlèvement de matière (un outil de coupe au

cours d'usinage). Les deux surfaces sont reliées par une surface engendrée intermédiaire (générée pendant l'usinage par une arête coupante) appelée surface coupée.

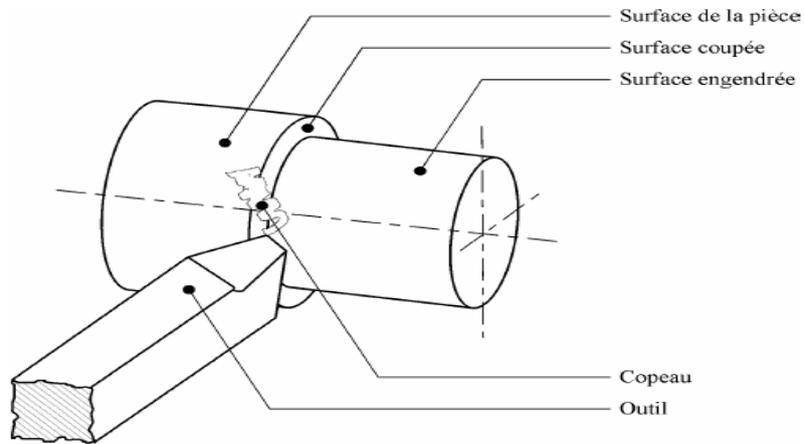


Figure 1.5 : Les principaux éléments d'une pièce à usiner et d'un outil [12]

1.4 OUTIL DE COUPE :

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil comportant une ou plusieurs parties actives. La partie active est constituée d'une arête de coupe, intersection de la face de coupe ($A\gamma$) et de la face de dépouille ($A\alpha$). [13]

1.4.1 Définition des faces de l'outil:

$A\gamma$: face de coupe (γ : "gamma") \Rightarrow Face sur laquelle glisse le copeau.

$A\alpha$: face de dépouille (α : "alpha") \Rightarrow Face devant laquelle passe la surface qui vient d'être usinée.

S : arête de coupe principale \Rightarrow intersection entre $A\gamma$ et $A\alpha$ [13]

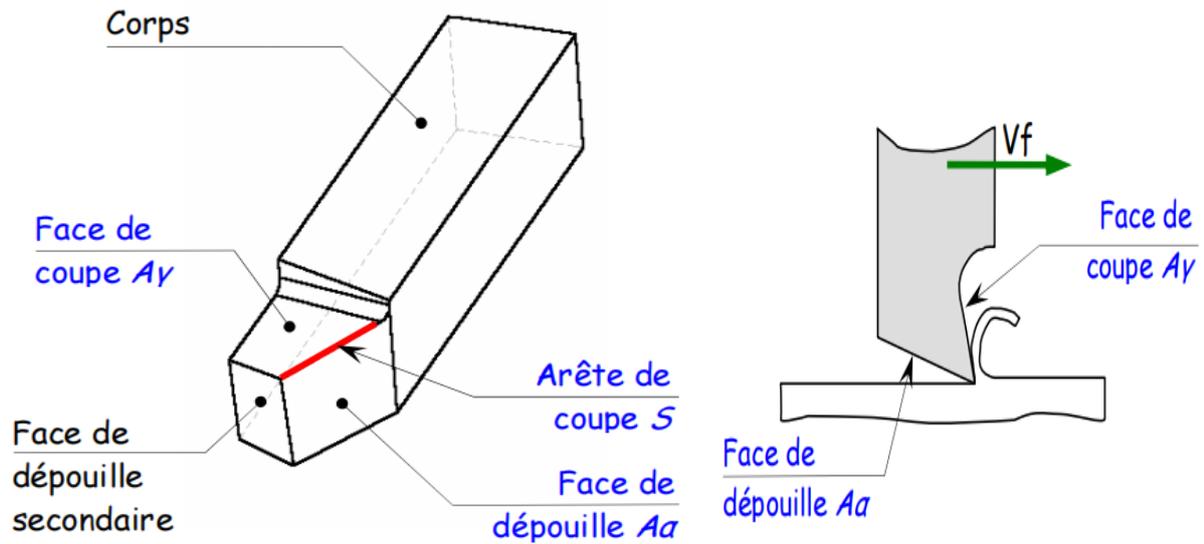


Figure 1.6: Eléments de l'outil [13]

Remarque:

Le sens de l'outil est défini par la position de l'arête de coupe (S). En considérant l'outil tenu en main verticalement et le bec en bas :

- l'outil est dit à droite, si, son arête tranchante est orientée vers la droite.
- l'outil est dit à gauche, si son arête tranchante est orientée vers la gauche.
- Si la partie active de l'outil est symétrique par rapport à l'axe de l'outil, ce dernier travaille indifféremment à droite et à gauche, l'outil est neutre.

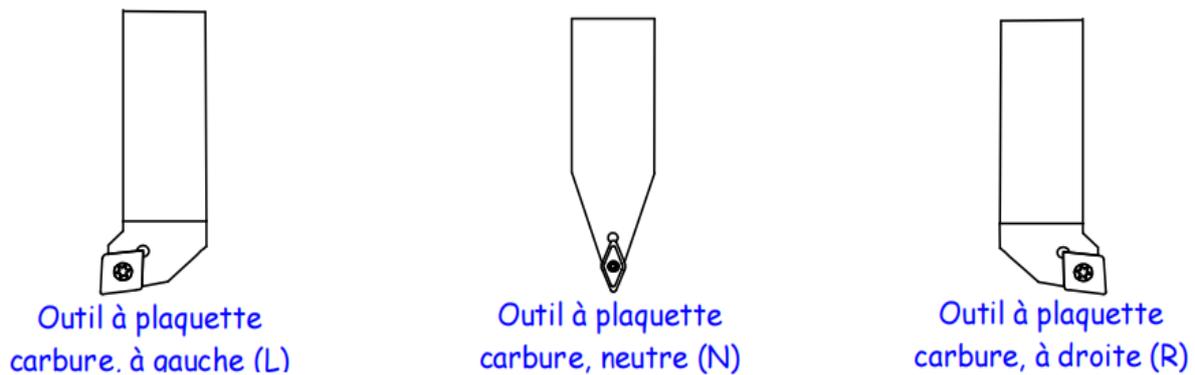


Figure 1.7 : la géométrie de l'outil de coupe[13]

1.4.2 Angles de l'outil :

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur lesdits phénomènes.

La figure 1.8 suivante illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux du taillant:

L'angle de dépouille α ,

L'angle de taillant β

L'angle de coupe γ .

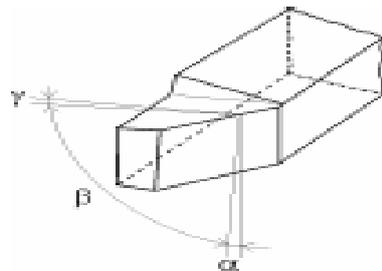


Figure 1.8 : Angles du taillant (outil en main)

La figure 1.9 suivante illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail : outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).

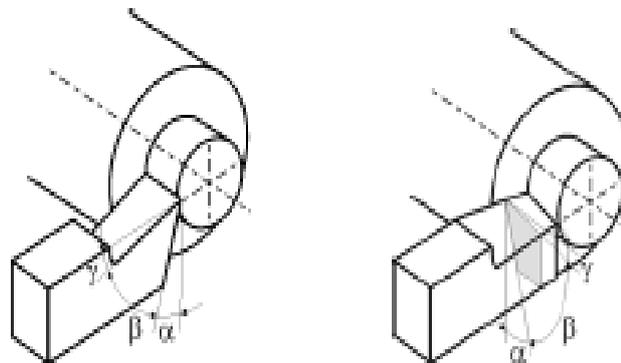


Figure 1.9 : Angles du taillant (outil en travail)

Globalement, l'angle de dépouille α influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil.

L'angle de coupe γ a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc.

L'angle de taillant β affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à 90° .

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (1.1)$$

Dans le cas où la somme de α et de β est supérieure à 90° , on parle de coupe négative (γ négatif).

1.5 MATERIAUX DES OUTILS DE COUPE

Pour résister aux sollicitations sévères que le tranchant de l'outil subit dans la coupe, la partie active de celui-ci doit être constituée d'un matériau présentant des qualités particulières :

- Une dureté élevée pour pouvoir pénétrer dans le métal usiné,
- Une résistance mécanique élevée (particulièrement à la compression) pour résister aux efforts de coupe,
- Une résistance aux chocs pour éviter l'écaillage de l'arête de coupe (croûte de la matière usinée que se dépose sur le bec de l'outil, en formant une deuxième arête tranchante), elle détériore l'état de surface et crée un échauffement plus accentué de la partie active,
- Une résistance au frottement suffisamment élevée pour limiter les efforts d'usure sur les faces de coupe et de dépouille,
- Une conservation de la dureté à des températures élevées (500 à 4400°C),
- Un bon fini de la face d'attaque et de dépouille pour respecter l'état de surface demandé (un bon pierrage après chaque affûtage est souhaitable).

Un bon outil doit permettre un maximum de rendement pour un minimum d'usure.

Toutes ces caractéristiques nous amènent à employer les matériaux suivants, classés par ordre de dureté croissante:

- **Les aciers au carbone trempés ou aciers fondus** : Ils contiennent entre 0.8 à 1.2% de carbone. Leur dureté à froid atteint 65 HRC (essai Rockwell ou cône de diamant d'angle 120° C),
- **Les aciers au carbone alliés (aciers rapides)** : Ils sont des aciers avec des pourcentages importants d'éléments d'alliages, tel que le Tungstène (W) ou molybdène (D), Le Chrome (C), Le vanadium (V), le cobalt (K),...
- **Les aciers au tungstène (W) trempés (aciers rapides supérieurs),**
- **Les alliages durs ou alliages coulés** : Ils sont obtenus par fusion de métaux purs avec du carbone (C) au four électrique. Leur composition est la suivante :

Carbone (C) : 2.5 à 4% .

Cobalt (Co) : 40 à 50 %, Tungstène (W) : 25 à 80 %, Chrome (Cr) : 25 à 82 %, Fer (Fe) : environ 4%, Manganèse (Mn) : un peu. Ils conservent leur dureté à une température assez élevée (700 ° C),

- **Les carbures métalliques frittés** : Ces matériaux, dits « carbures », connaissent un développement de plus en plus grand, dus à leurs performances de coupe. Leur très grande variété de leurs caractéristiques et leurs conditions d'élaboration par la technique du frittage font de ces matériaux une utilisation très fréquente dans le domaine de la coupe,
- **Les céramiques,**
- **Les corps super abrasifs,**
- **Les diamants.**

1.6 COPEAU :

Le copeau est la partie de matière qui se détache lors de la coupe dans un procédé d'usinage.

L'état de la surface usinée dépend des conditions de coupe. Il existe une avance en dessous de laquelle il ne faut pas descendre sous peine de n'avoir aucune formation de copeau.

Cette avance minimale dépend du matériau, de la vitesse et du type d'outil utilisés, et définit le copeau minimum. Si l'avance est plus faible, il n'y a plus de coupe, mais un écrouissage qui crée un échauffement préjudiciable à l'état de surface de la pièce et à l'outil.



Figure 1.10 : modal d'un copeau [9]

1.6.1 Les différents types de copeau:

La forme des copeaux varie et dépend des conditions d'usinage et du couple outil/matière. Le tableau 1.2 présente les différentes formes macrographiques de copeaux obtenus en usinage, classées selon la norme ISO DIS 3685.

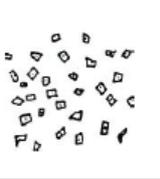
1 : copeau ruban	2 : copeau tubulaire	3 : copeau en spirale	4 : copeau hélicoïdal en rondelle	5 : copeau hélicoïdal conique	6 : copeau élémentaire	7 : copeau aiguille	8 : copeau en arc
11 : Long	21 : Long	32 : plat	41 : Long	51 : Long	61 : Enchevêtré		
12 : Court	22 : Court	32 : Conique	42 : Court	52 : Court	62 : détaché		
13: Enchevêtré	23: Enchevêtré		43: Enchevêtré	53: Enchevêtré			

Tableau 1.1 : Les différentes formes macrographiques de copeaux [9]

Pour les métaux, le processus de formation du copeau est principalement basé sur des déformations plastiques.

Selon les conditions de coupe, on rencontre trois familles de copeaux :

- Le copeau continu : la continuité du matériau y est préservée, et les déformations plastiques dans les zones de cisaillement sont quasi stationnaires.
- Le copeau segmenté : il est composé d'éléments plus ou moins connectés entre eux, résultant de variations périodiques de la couche superficielle ; ce qui conduit à des zones alternées de déformations locales très peu cisillées.
- Le copeau dentelé : il est en majorité formé d'éléments séparés, dus plutôt à une rupture du matériau qu'à un cisaillement de celui-ci. [14]

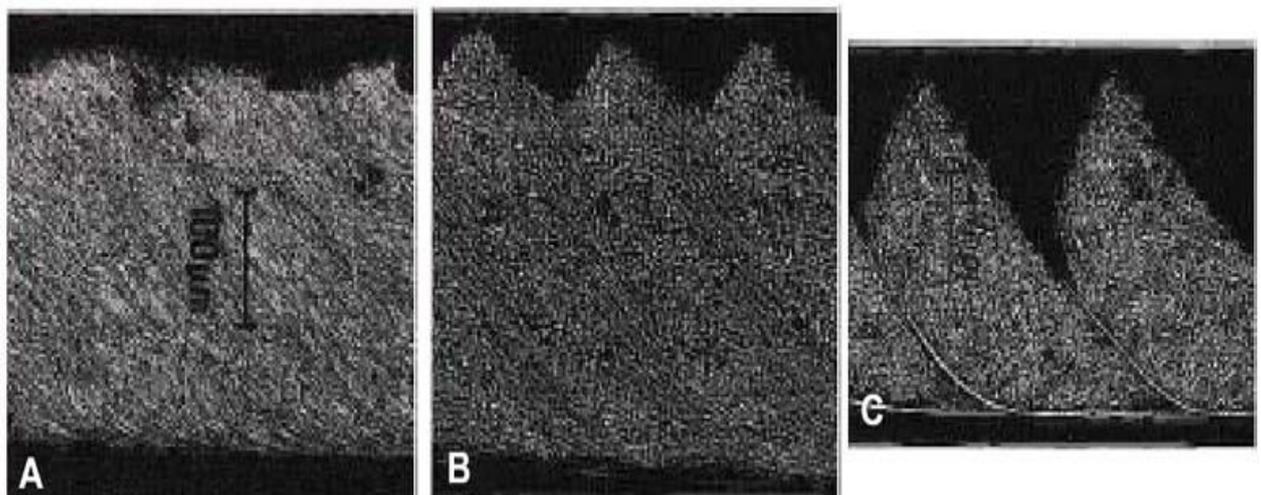


Figure 1.11 : A : copeau continu ; B: copeau segmenté ; C: copeau dentelé

Les familles de copeau [14]

1.7 VITESSE DE COUPE

La vitesse de coupe supposée en un point A de l'arête de l'outil est la vitesse relative de l'outil par rapport à la pièce. Elle se mesure en mètres par minutes (m/min).

Taylor a été le premier à effectuer une étude expérimentale relative à la détermination des vitesses de coupe types, en fonction des différents facteurs, pour des dimensions de copeaux données et une durée de l'outil bien déterminée.

Herbert a repris les travaux de Taylor et, pour l'expérimentation, il a imaginé une machine spéciale. Le commandant Denis, en opérant sur la machine d'Herbert, a étudié systématiquement le problème et c'est lui qui en a poussé le plus loin l'étude.

Ses travaux sont à la base de la détermination pratique des vitesses de coupe.

La vitesse de coupe est un facteur important de la production. Plus la vitesse de coupe est grande, plus le temps d'usinage est petit. Toutes les conditions de travail restent les mêmes, la quantité de chaleur résultant du travail de coupe pendant un temps déterminé augmente avec la vitesse de coupe. Comme cette chaleur doit être évacuée en partie par le métal qui constitue l'outil, la température de la partie active de l'outil augmente, sa dureté diminue, son usure se produit plus rapidement : l'outil est rapidement hors d'usinage.

Il existe une vitesse-limite qui correspond à l'usure immédiate de l'outil et, pour un travail déterminé, une vitesse économique qui correspond au meilleur prix de l'usinage, compte tenu du coût de l'affûtage de l'outil. [5]

De nombreux travaux ont été faits pour rechercher quelles sont les vitesses de coupe les plus avantageuses à utiliser. Aucune conclusion définitive n'a pu être établie ; le choix de la vitesse de coupe dépend, en effet, d'un très grand nombre de facteurs et les essais à effectuer sont toujours très longs, puisque ce sont des essais fondés sur l'usure de l'outil.

La vitesse augmente si :

- la section du copeau est faible,
- l'épaisseur du copeau est faible (petit avance, angle de direction peu important),
- l'outil est correctement refroidi (lubrification abondante).

Les facteurs qui ont une influence sur le choix de la vitesse de coupe dépendent de l'outil, de la matière usinée, des conditions de coupe :

- **Facteurs qui dépendent de l'outil :**

- ✓ Nature et traitement thermique du métal constituant l'outil,
 - ✓ Forme de la partie active et dimensions : profil, angles de coupe,
 - ✓ Fini de la face de coupe.
- **Facteurs qui dépendent du métal à usiner :**
 - ✓ Nature métallurgique : composition, état laminé, étiré ou coulé,
 - ✓ Dureté et résistance à la traction,
 - ✓ Caractère d'usinabilité et d'abrasion.
- **Facteurs qui dépendent des conditions de coupe :**
 - ✓ Avance par tour ou par coup selon le type d'usinage,
 - ✓ Profondeur de passe,
 - ✓ Lubrification,
 - ✓ Genre d'usinage : discontinu ou continu.

1.8 LUBRIFICATION

La formation du copeau s'accompagne d'un important dégagement de chaleur dû au frottement du copeau glissant sur la face de coupe et au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil.

L'échauffement de la partie active est fonction de la vitesse de coupe. Lors de l'usinage, cette partie active de l'outil doit être réduite pour ne pas entraîner sa perte de dureté.

Aussi, les conséquences de l'augmentation de la température sur la pièce provoquent une dilatation de la pièce et des contraintes résiduelles en surface. En effet, dans la zone de formation du copeau, la température tend à augmenter la plasticité du métal et par conséquent, elle permet une diminution notable des efforts de coupe.

Pour éviter tous les phénomènes de chaleur, il est recommandé d'utiliser lors de l'usinage des lubrifiants ou des agents de refroidissement.

Ils agissent :

- En diminuant le coefficient de frottement copeau-outil et outil-pièce, c'est l'effet lubrifiant,
- En refroidissant l'outil et la pièce pour évacuer la chaleur produite, c'est l'effet réfrigérant.

En pratique, le débit doit être abondant et fonction de la puissance absorbée. La pression doit être suffisante pour évacuer les débris métalliques et pénétrer entre la face de coupe et le copeau. C'est essentiellement la partie active de l'outil qui doit être refroidie.

Un fluide de coupe convenablement choisi a une influence sur :

- L'usure de l'outil (réduction),
- Le choix de la vitesse de coupe,
- La rugosité de la surface usinée.

Parmi les produits lubrifiants, on peut citer :

- Les huiles minérales, elles sont issues de la distillation du pétrole,
- Les huiles solubles, ce sont des mélanges d'huiles minérales, d'émulgateurs et d'inhibiteurs de corrosion ajoutés à de l'eau,
- Les fluides synthétiques pour travaux spéciaux.

1.9 LES PROCÉDES D'USINAGE

Lors de l'usinage par enlèvement de matières, on utilise plusieurs procédés.

Les procédés d'usinage les plus répandus sont:

- Tournage,
- Fraisage,
- Perçage,
- Rectification,
- Rabotage,
- Usinage sur l'étau-limeur,
- Etc,....

1.9.1 Tournage:

Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention des surfaces de révolution intérieures et extérieures, des surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage...

Dans ce procédé, M_c est une rotation continue communiquée à la pièce tandis que M_a et M_p sont donnés par l'outil.



Figure 1.12 : Procédé de tournage [15]

1.9.2 Fraisage:

Le fraisage est un procédé de fabrication où l'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil de coupe, d'une part, et l'avancée de la pièce à usiner d'autre part

Dans ce procédé, M_c est une rotation continue communiquée à l'outil (fraise). M_a et M_p sont communiqués à la pièce.



Figure 1.13 : Procédé de fraisage [15]

1.9.3 Perçage:

Consiste à exécuter des surfaces cylindriques intérieures à l'aide d'outils rotatifs. L'outil de coupe, appelé foret, est animé d'un mouvement de rotation continu et d'un mouvement de déplacement longitudinal.

M_c est circulaire et est communiquée à l'outil (foret ou outil à percer). M_a est rectiligne et est communiquée à l'outil. M_p est appliqué par tour de l'outil et se confond à M_a .

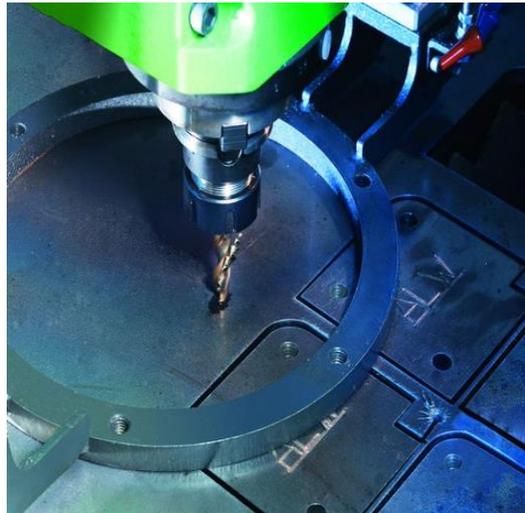


Figure 1.14 : Procédé de perçage [15]

1.9.4 Rectification:

C'est un procédé d'usinage utilisé pour les pièces usinées et traitées (traitement thermique). L'outil est la meule. M_c , M_a et M_p varient suivant le type de rectification.



Figure 1.15 : Procédé de rectification [15]

1.9.5 Usinage sur l'étau-limeur:

Dans ce procédé, M_c est un mouvement rectiligne alternatif de l'outil. M_p est donné par l'outil et M_a est communiqué à la pièce

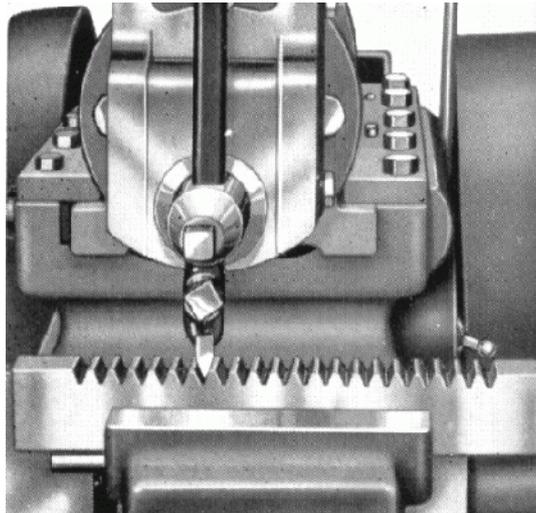


Figure 1.16 : Procédé d'usinage sur l'étau limeur

1.9.6 Usinage sur la raboteuse:

M_c est un mouvement rectiligne alternatif donné à la pièce. M_p et M_a sont communiqués à l'outil.

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre de notre étude une recherche bibliographique sur les notions de base de l'usinage ainsi que les outils de coupe et les matériaux des outils de coupe et aussi les copeaux et ses différents types et on a parlé aussi de la vitesse de coupe

CHAPITRE 2 :

PROCÉDÉ DE TOURNAGE

2

2.1 INTRODUCTION

L'usinage est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de la matière à froid et sans déformation en utilisant un outil de coupe.

Le tournage est l'un des procédés d'usinage. Il occupe une place très importante dans la fabrication mécanique à cause de sa simplicité et la possibilité de produire par lequel un grand nombre de forme géométrique. [12].

Dans ce chapitre nous présentons généralité sur le tournage, qui contient des définitions, les conditions de coupe, le type de machine utilisé dans le tournage.

Jusqu'en 1850, les outils à main sont presque exclusivement employés par les artisans (menuisiers, forgeron, ajusteur,...). L'ouvrier prépare l'outil et parfois le conçoit, il l'anime et le conduit par sa force musculaire.

De 1850 à 1914, les machines-outils prennent une place sans cesse accrue dans les ateliers. Il s'agit de machines simples (tour, fraiseuse, perceuse, raboteuse) nécessitant un grand nombre d'opérations manuelles. L'ouvrier équipe le porte-pièce et le porte-outil ; il sélectionne les éléments de coupe n , a , p prend les passes successives et effectue les mesures.

Depuis 1914, les machines-outils automatiques se substituent de plus en plus souvent aux machines classiques.

Depuis 1946, les dispositifs électro-mécaniques, hydro-mécaniques, puis électroniques nous amènent dans la période actuelle. L'intervention de l'opérateur se réduit à un rôle de surveillance dans le cas de certaines machines actuelles capables de mesurer la qualité des pièces produites et s'auto régler.

Par contre avec l'usage des machines-outils automatiques, le rôle des techniciens s'accroît et se diversifie pour la préparation des travaux et des outillages spéciaux.

De cette spécialisation, on peut classer les machines-outils de la manière suivante : Machines semi-automatiques, machines automatiques et machines automatiques spéciales.

De cette étape, les procédés d'usinage ont pris de l'importance et leur domaine d'application est devenu très spécifique. Actuellement, et grâce à la technologie, n'importe quelle forme de pièce mécanique peut être réalisée.

2.2 LE TOURNAGE

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé. L'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce. [12].

La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes). [12].

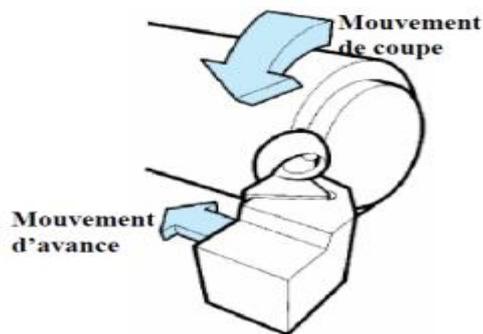


Figure 2.1 : Mouvements de coupe et d'avance en tournage [12].

En pratique, le tournage longitudinal est la technique de tournage la plus pratiquée. L'outil se déplace parallèlement à l'axe longitudinal de la pièce à usiner et réduit à cette occasion son diamètre.

Lors du tournage transversal, la surface à usiner se trouve la plupart du temps à la verticale de l'axe longitudinal de la pièce à usiner. À cette occasion, le travail de l'outil s'opère de l'extérieur vers le centre ou inversement.

Les figures 2.2 et 2.3 illustrent ce procédé.

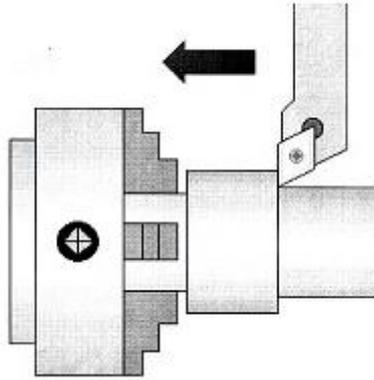


Figure 2.2 : Procédure de tournage (opération de chariotage)

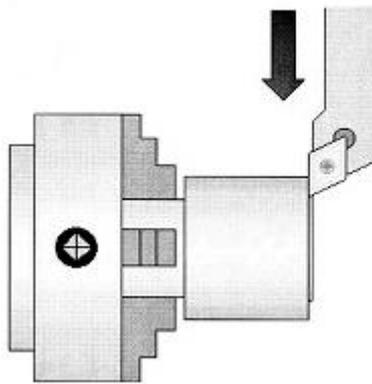


Figure 2.3: Procédure de tournage (opération de dressage)

2.3 LA MACHINE OUTIL : TOUR

Le type de machine utilisé en tournage est le tour. On peut classer les tours en deux catégories :

1. **Les tours parallèles** qui sont réservés aux travaux unitaires et en petite série,
2. **Les tours spéciaux automatiques et semi-automatiques** qui sont destinés au travail en série.

On distingue deux classes : tours monobroches et tours multibroches (le nombre de broches porte-pièces est : 4, 6 ou 8 broches). Chaque broche comporte généralement deux chariots porte-outils radiaux et un porte-outil axial. Les outils travaillent simultanément.

On trouve : tour semi-automatique à décolleter, tour revolver, tour à copier, tour à commande numérique,... La figure 2.4 représente un tour parallèle :

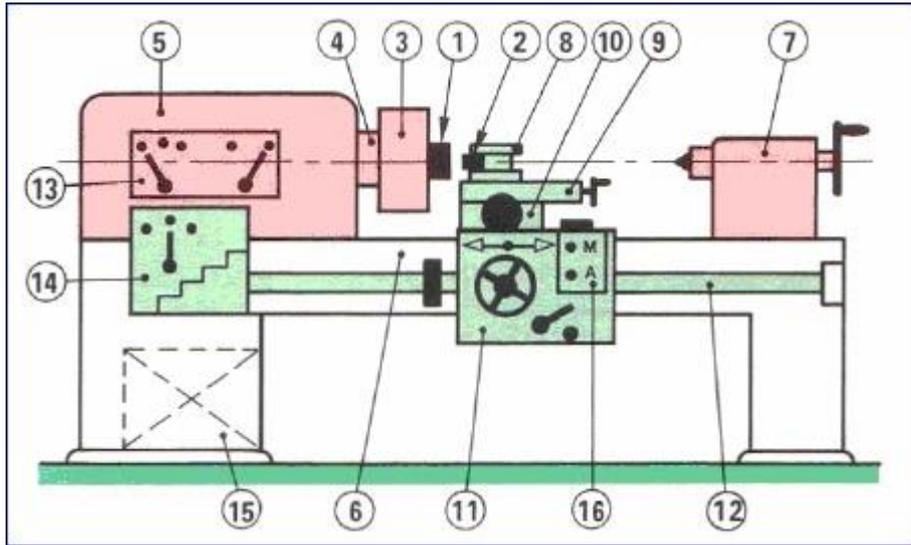


Figure 2.4: Constitution d'un tour parallèle

Avec :

(1) Pièce	(9) Chariot supérieur
(2) Outil	(10) Chariot transversal
(3) Mandrin	(11) Traînard
(4) Broche	(12) Barre de chariotage
(5) Poupée fixe	(13) Boite des vitesses
(6) Banc	(14) Boite des avances
(7) Poupée mobile	(15) Moteur
(8) Tourelle porte-outils	(16) Contacteur

Les tours les plus courants utilisés sont:

- Les tours parallèles à charioter et à fileter,
- Les tours à copier,
- Les tours semi-automatiques,
- Les tours automatiques,
- Les tours automatiques multibroches,
- Les tours à commande numérique.

2.4 DIFFERENTES OPERATIONS DE TOURNAGE

En tournage extérieur, on peut souvent dissocier les pièces complexes en profils de coupe élémentaires pour le choix des outils et des paramètres de coupe.

Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base :

1. tournage longitudinal, ou chariotage,
2. dressage,
3. tournage de cônes,
4. contournage,

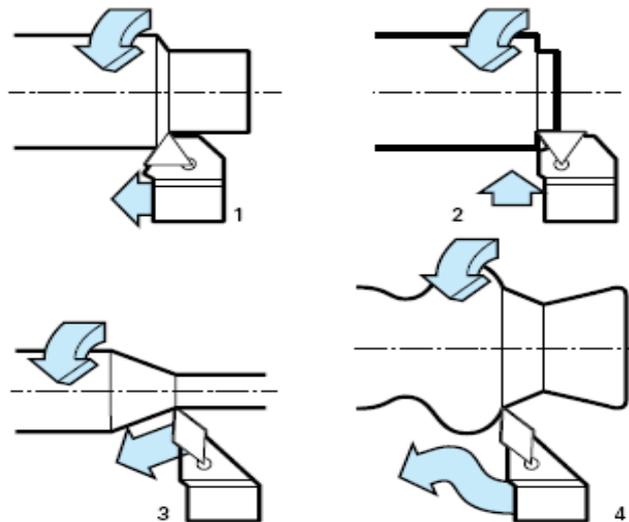


Figure 2.5 : Les opérations classiques en tournage (Techniques de l'Ingénieur) [10]

1. En chariotage, le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce.

2. En dressage, le mouvement d'avance est une translation rectiligne de l'outil perpendiculaire à l'axe, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère un plan orthogonal à l'axe.

3. En combinant les deux types de déplacements précédents (avance de l'outil en translation rectiligne oblique/axe), on génère des cônes de révolution.

4. Enfin, en donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque (profil de contournage), on peut obtenir une forme de révolution quelconque. Ces différentes opérations correspondent à un usinage dit « dégénération » ou « d'enveloppe » : la forme obtenue, à l'échelle macro géométrique, ne doit rien à la forme de l'outil qui l'a générée.

En d'autres termes, la forme obtenue dépend uniquement de la trajectoire de l'outil, à la rugosité près.

À l'opposé, les gorges, filetages, etc., sont obtenues par reproduction dans la pièce du profil de l'outil et sont qualifiés d'usinage« de forme ».

2.5 OUTIL

L'outil est l'intermédiaire entre la machine et la pièce à usiner. La partie active d'un outil est foncée dans la pièce et se déplace mécaniquement par rapport à celle-ci de façon à éliminer la surépaisseur sous forme de copeau.

Les angles caractéristiques de l'outil sont : angle de dépouille, angle de taillant, angle de coupe, angle d'inclinaison de l'arête, angle de direction de l'arête, angle de direction complémentaire et l'angle de pointe.

A titre d'exemple, l'angle de coupe latéral est défini dans le plan latéral (Pf) défini par la vitesse d'avance V_f et la vitesse de coupe V_c .

Cet angle est représenté dans la figure 2.6.

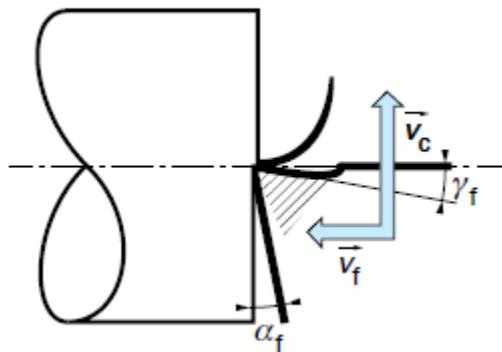


Figure 2.6 : Angle de coupe latéral

Aussi, toujours dans le plan latéral (\vec{V}_f , \vec{V}_c), on constate qu'un angle de dépouille, α_f , est nécessaire pour éviter le frottement de la face en dépouille sur la pièce.

Comme pour l'angle de coupe, sur les outils à pastille rapportée, l'angle de dépouille résulte de la géométrie de plaquette et de l'inclinaison conféré par le porte plaquette.

Ce phénomène est illustré dans la figure 2.7

La forme du bec influence l'état de surface.

Les principales formes sont :

- L'intersection vive,
- Le rayon,
- Le plat.

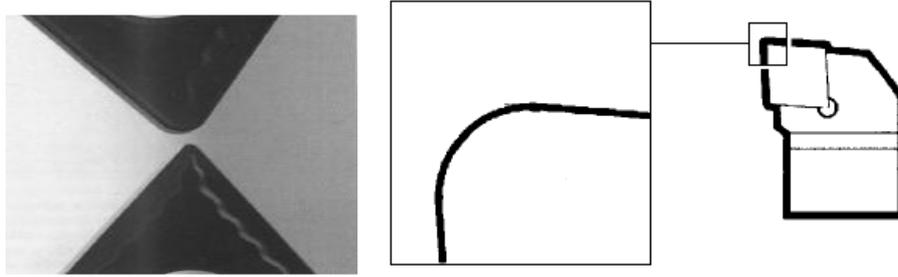


Figure 2.7: Rayon du bec

Le choix du rayon de bec est fonction de l'opération à effectuer : ébauche ou finition.

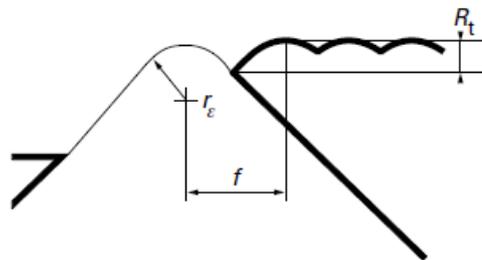


Figure 2.8 : Influence du rayon du bec sur la rugosité de la surface

Avec :

R_t = Rugosité

Un trop grand rayon du bec détermine sur une partie de l'arête de coupe des copeaux très minces, dont l'épaisseur ne permet plus la coupe réelle. En conséquence, il y aura une formation d'un copeau gratté avec une usure prématuré de l'outil.

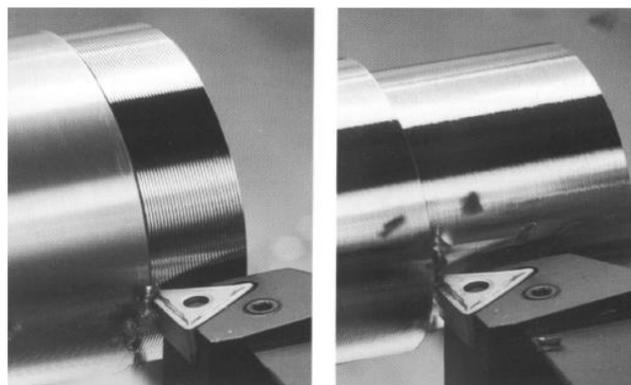


Figure 2.9 : Etat de surface

Les outils les plus courants sont normalisés. Les parties actives sont des mises rapportées en:

- **Acier rapide** (NF E 66-361 à 373),
- **En carbure:**
 - ✓ Les plaquettes brasées (les outils les plus courants sont normalisés) (NF E 66-331 à 343),
 - ✓ Les plaquettes amovibles à jeter (les principales formes et dimensions sont normalisées),
- **En céramique**, les plaquettes sont brasées ou à jeter.

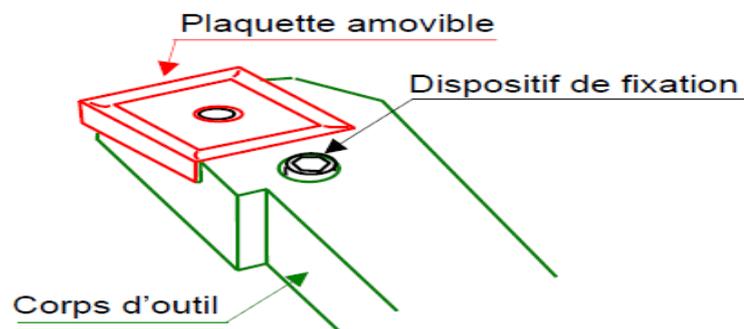


Figure 2.10: Outil à plaquette carbure

Les outils à plaquettes amovibles sont généralement constitués d'un corps en acier (XC48) avec des surfaces de référence pour la mise en position de la plaquette par rapport aux surfaces de référence du corps de l'outil, d'une plaquette préaffûtée en carbure ou en céramique, et d'un dispositif de maintien en position de la plaquette dans son logement.

En tournage, les différents outils sont représentés dans la figure 2.11 suivante :

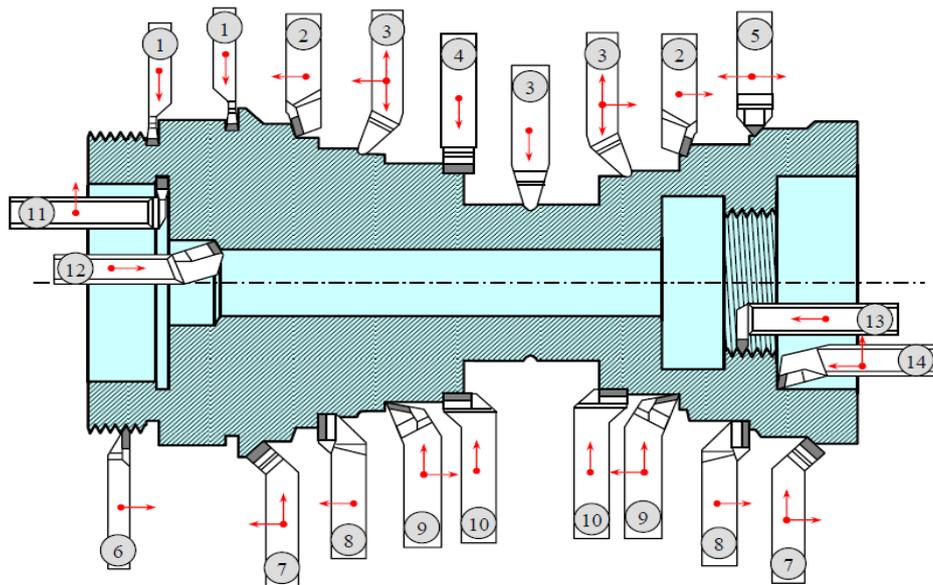


Figure 2.11: Opérations d'usinages en tournage [14]

Avec :

Désignation	Désignation
(1) Outil à saigner	(8) Outil couteau
(2) Outil à charioter droit	(9) Outil à dresser les angles
(3) Outil à retoucher	(10) Outil à dresser les faces
(4) Outil pelle	(11) Outil à chambrer
(5) Outil à retoucher	(12) Outil à aléser
(6) Outil à fileter	(13) Outil à tarauder
(7) Outil coudé à charioter	(14) Outil à aléser

Pour effectuer le choix d'un outil de tournage, les paramètres à prendre en compte sont :

- Matière de la pièce, usinabilité,
- Configuration de la pièce : forme, dimension, surépaisseurs d'usinage,
- Limitations : tolérances, état de surface,
- Machine : type, puissance, conditions d'utilisation et caractéristiques,
- Stabilité, rigidité de la prise de pièce et de la pièce,

2.6 CONDITIONS DE COUPE

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

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

- Le type de la machine (mécanisme, gamme des vitesses,...)
- La puissance de la machine
- La matière de l'outil (ARS, carbure...)
- La matière usinée (acier, aluminium...)
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement) [16]

2.6.1 Vitesse de coupe

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

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

$$Vc(m/min) = D/2 (m) \times \omega(\text{rad}/\text{min}) \quad (2.1)$$

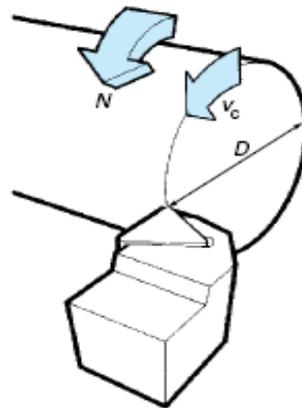


Figure 2.12 : Vitesse de coupe [17]

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

$$N (\text{tr} / \text{min}) = \frac{1000 \times Vc(m/min)}{\pi D(mm)} \quad (2.2)$$

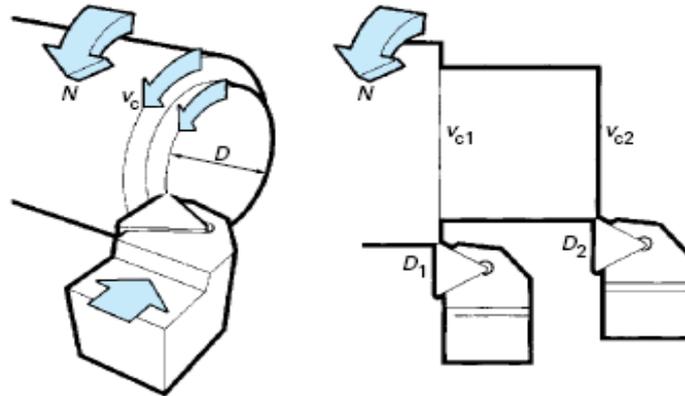


Figure 2.13 : Vitesse de coupe V_c , diamètre D et vitesse de rotation N [17]

Il convient d'observer que la vitesse de coupe n'est constante que si la vitesse de broche et le diamètre de la pièce demeurent inchangés.

Pour une productivité maximale et une meilleure qualité des surfaces obtenues, il est souhaitable de maintenir la vitesse de coupe constante.

Cette vitesse est choisie en fonction, notamment des matériaux de la pièce et de l'outil, la lubrification et de la durée de vie souhaitée pour l'outil.

2.6.2 Vitesse d'avance V_f et l'avance par tour f

La vitesse d'avance (mm/min), que la figure (2. 14) montre, est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance V_f est donnée par la formule suivante [17]

$$V_f (mm/min) = f (mm/tr) \times N (tr/min) \quad (2.3)$$

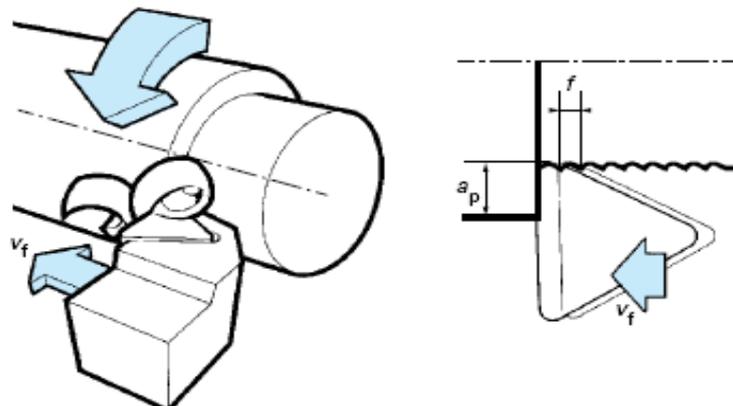


Figure2.14 : Vitesse d'avance V_f et avance par tour f [17]

2.6.3 Profondeur de passe « a »

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

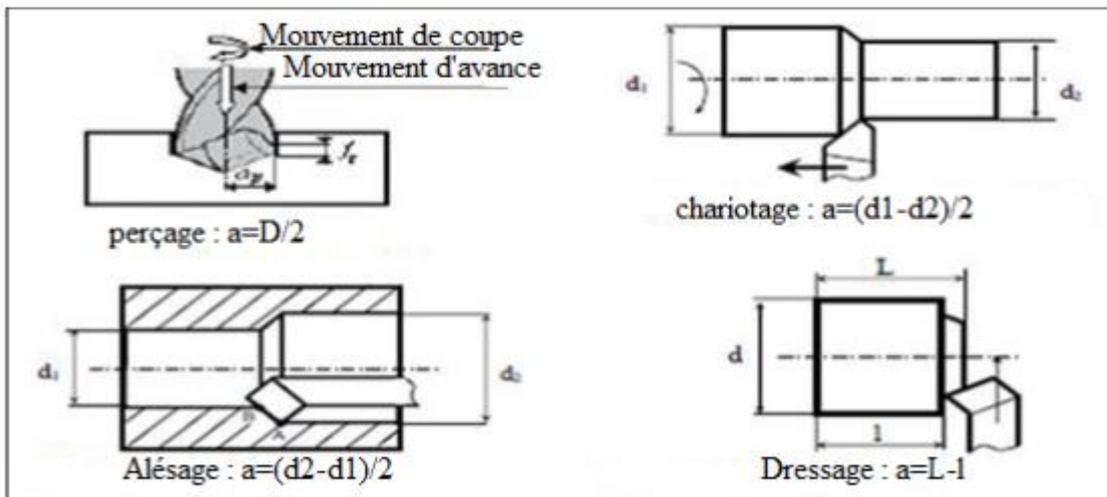


Figure2.15 : Les profondeurs de passe [12]

2.7 MONTAGES DANS LE TOURNAGE

Les différents montages sont :

- Montage en l'air sur mandrin à trois mors qui convient pour le tournage extérieur ou intérieur des pièces courtes ($L < 2\emptyset$),
- Montage entre pointes ou tournage en lunettes qui convient pour le tournage extérieur des pièces longues et flexibles ($L > 2\emptyset$). On utilise des lunettes qui sont des supports auxiliaires. Dans ce montage, l'axe de la pièce doit coïncider en permanence avec l'axe de la broche du tour,
- Montage mixte.

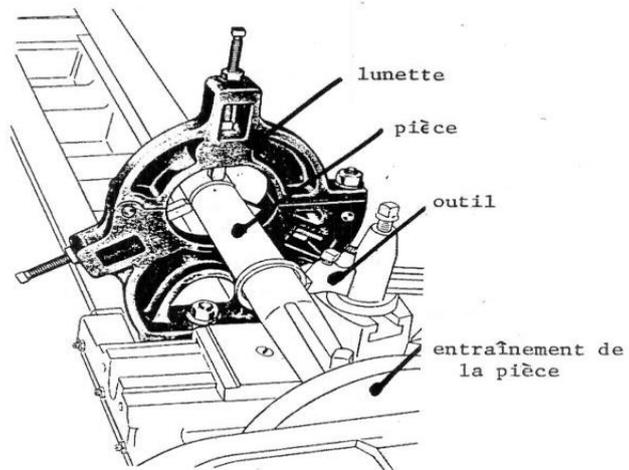


Figure 2.16: Montage en lunette

CONCLUSION :

A partir des données de ce chapitre, on peut dire que l'usinage par tournage est le plus utilisé. Ce procédé est basé sur certains paramètres comme la vitesse de coupe qui influe sur l'état de surface de la pièce usinée.

CHAPITRE 3 : SIMULATION NUMERIQUE EN 3D DE PROFIL DE LA TEMPÉRATURE A L'INTERFACE OUTILS – PIÈCE

3

3.1 INTRODUCTION :

Les constructeurs cherchent des méthodes pour étudier et comprendre l'outil et processus de coupe de métaux. Cela est dans le but d'améliorer la qualité de l'outil de coupe,

sa durée de vie et ses performances et diminuer le cout de fabrication. Parmi ces méthodes, on a la méthode des éléments finis, qui consiste à chercher une solution approchée du problème.

Cette méthode donne des résultats numériques à partir de l'analyse mathématique du problème (en particulier, son écriture, sa forme variationnelle et l'étude des propriétés). On peut voir le comportement de l'outil de coupe lors de l'opération de chariotage de dressage dans le groupe (outil pièce) par plusieurs logiciels (ABAQUS, NASTRAN, DEFORM3 et ANSYS)

Dans ce chapitre, l'étude et la simulation numérique de l'outil et la pièce sont effectuée à l'aide de logiciel des éléments finis ANSYS workbench.

3.2 DESCRIPTION DES MATERIAUX

3.2.1 Matériau de la pièce:

3.2.1.1 *Acier inoxydable :*

L'**acier inoxydable**, couramment appelé **acier inox** ou **inox**, est un acier (alliage à base de fer et de carbone), comportant moins de 1,2 % de carbone et plus de 10,5 % de chrome, dont la propriété remarquable est d'être peu sensible à la corrosion et de ne pas se dégrader en rouille.

La présence de chrome en solution au-delà de 10,5 % dans la matrice d'un acier provoque la formation d'une couche protectrice d'oxyde de chrome qui lui confère son inoxydabilité.

D'autres éléments peuvent être ajoutés, notamment le nickel qui améliore les propriétés mécaniques en général et la ductilité en particulier, ou encore le titane qui améliorent la stabilité de l'alliage pour des températures autres qu'ambiante

L'acier inoxydable est devenu indispensable dans de nombreux domaines :

Aéronautique, outillage, industries mécaniques, chimiques, transports, etc.

Il est entièrement recyclable.

Composition de l'acier inoxydable
c'est le chrome qui donne sa qualité inoxydable à nos aciers

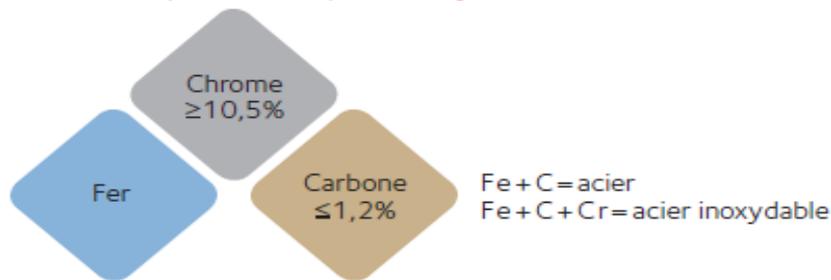


Figure 3.1:Acier inoxydable et la corrosion [22]

3.2.1.2 *Alliage d'aluminium :*

Un alliage est un mélange de différents métaux, souvent créé pour améliorer la résistance et la durée dans le temps du matériau de départ.

Un alliage d'aluminium est typiquement constitué de ce dernier comme métal principal et est souvent associé à d'autres éléments, tel que le silicium, l'étain, le cuivre, l'étain et le magnésium selon l'application souhaitée. Avec la bonne combinaison d'éléments, l'aluminium peut acquérir beaucoup plus de résistance et dans certains cas même dépasser les performances de l'acier.

3.2.1.3 *Alliage de titane TI-6A-4V:*

Les alliages de titane sont des métaux qui contiennent un mélange de titane et d'autres éléments chimiques. Ces alliages ont une résistance à la traction et une ténacité très élevées (même à des températures extrêmes).

Ils sont légers, ont une résistance à la **corrosion extraordinaire** et la capacité de résister à des températures extrêmes

Le titane existe sous deux formes cristallographiques:

- À température ambiante, le titane non allié appelée **phase alpha (α)**
- A température du titane pur atteint 885 °C appelée température [19]

3.2.1.4 *Acier XC48:*

Acier au carbone, aussi appelé C45 (0,5-0,52% de carbone, 0,5-0,8% de Manganèse).

Acier de bonne usinabilité, soudabilité médiocre, possédant de bonnes caractéristiques mécanique (R min 660MPa, Re min 375MPa), une bonne résistance aux chocs, et possède une bonne aptitude aux traitements thermiques.

3.2.2 Matériau de l'outil

L'outil utilisé dans notre simulation contient une plaquette de carbure métallique. C'est un matériau composite constitué de nombreux éléments. Les possibilités de fabrication des alliages au carbure sont virtuellement illimitées. Les pourcentages des éléments de base que sont le carbure de tungstène et le cobalt peuvent varier, de même que la taille de grain des poudres utilisées.

Des additifs divers peuvent y être mélangés afin de limiter la croissance des Grains et d'allonger la durée de vie.

.

3.3 Loi de comportement et critère d'endommagement

Pour voir le comportement des matériaux en usinage, il y'a plusieurs facteurs qui rentrent en jeux:

- la sensibilité à la vitesse,
- la sensibilité à la température,
- l'érouissage.

La loi d'endommagement de Johnson Cook est utilisée comme critère de rupture ductile .Nous avons choisi cette loi pour notre simulation. [20].

Ce critère fait apparaître des :

- La contrainte équivalente,
- La vitesse de déformation,
- Les températures (ambiante, transition et fusion du matériau)

3.4 Les étapes à suivre pour la modélisation :

Avec logiciel ANSYS 17.2 on a fait la simulation de comportement de contact entre l'ensemble (pièce et outil) lors de l'opération de chariotage dans procédés d'usinage.

Etapes de l'étude :

MATERIAL → GEOMETRY → MESTI → CONTACT → SOLVER → BONDARY SETUP → RESULT

- ❖ Premièrement, la création du modèle pièce et outil sur ANSYS workbench, Il faut prendre les résolutions par l'analyse explicite.
- ❖ Deuxièmement, le choix de matériau à partir de la bibliothèque de logiciel, en caractérisant pour chaque pièce les propriétés mécaniques et physiques.
- ❖ Troisièmement, le choix de maillage. Pour avoir une grande précision des résultats, on doit choisir les mailles les plus petites, puis on doit définir les conditions aux limites et chargement.
- ❖ La dernière partie, la récupération des résultats de cette simulation.

3.5 Les propriétés physiques et mécaniques de l'outil:

Propriété	Unité	carbure métallique
Densité	Kg /m	12800
Coefficient de poisson	/	0.22
Module de young	Gpa	800
Chaleur spécifique	J/kg k	226

Tableau 3.1: Les propriétés physique et mécanique de carbure métallique [21]

3.6 La modélisation de la pièce à usiner :

3.6.1 Acier inoxydable :

Les paramètres et les critères de la loi de Johnson Cook sont donnés dans les tableaux

suivants :

A (MPA)	B (MPA)	C	N	M	T (fusion) K
453	402	0.036	0.471	0.77	1700

Tableau 3.2 : paramètres de la loi de Johnson Cook de l'acier inoxydable

Les propriétés physiques et mécaniques de l'acier inoxydable sont représentées dans le tableau suivant :

Propriété	Unité	Carbure métallique
Densité	Kg/m	7750
Coefficient de poisson	-----	0.31
Module de young	pa	1.93 E11
Chaleur spécifique	J/kg k	480

Tableau 3.3: Les propriétés physique et mécanique de l'acier inoxydable

3.6.2 Alliage Aluminium:

A (MPA)	B (MPA)	C	N	M	T(K)
186.4	114.2	0.00390	0.337	1	665

Tableau 3.4: paramètres de la loi de Johnson Cook de l'alliage d'Aluminium

Les propriétés physiques et mécaniques de l'alliage d'aluminium sont représentées dans le tableau suivant :

Propriété	Unité	Carbure métallique
Densité	Kg/m	2770
Coefficient de poisson	////////	0.33
Module de young	pa	7.1 E10
Chaleur spécifique	J/kg k	875

Tableau 3.5: Les propriétés physique et mécanique de l'alliage d'aluminium

3.6.3 Alliage de titane :

A (MPA)	B (MPA)	C	N	M	T (K)
1098	1092	0.014	0.93	1.1	1933.2

Tableau 3.6: paramètres de la loi de Johnson Cook de l'alliage de titane

Les propriétés physiques et mécaniques de l'alliage de titane sont représentées dans le tableau suivant :

propriété	Unité	Carbure métallique
Densité	Kg/m	4620
Coefficient de poisson	-	0.36
Module de young	pa	9.6 E10
Chaleur spécifique	J/kg k	522

Tableau 3.7: Les propriétés physique et mécanique de l'alliage de titane

3.6.4 ACIER XC48:

Les paramètres et les critères de la loi de Johnson Cook sont donnés dans les tableaux

suivants :

A (MPA)	B(MPA)	C	N	M	T(K)
553.1	600.8	0.013	0.234	1	1733

Tableau 3.8: paramètres de la loi de Johnson Cook de l'acier XC48

D1	D2	D3	D4	D5	ϵ_0 (s-1)
0.25	4.38	2.68	0.002	0.61	1

Tableau 3.9: Critère d'endommagement de Johnson Cook de l'ACIER XC48

Les propriétés physiques et mécaniques de l'acier XC48 sont représentées dans le tableau suivant :

Propriété	Unité	Carbure métallique
Densité	Kg/m	7870
Coefficient de poisson	-	0.3
Module de young	Gpa	210
Chaleur spécifique	J/Kg k	432
Coefficient de dilatation thermique	(m/m°C)	11.9*10-6

Tableau 3.10: Les propriétés physique et mécanique de l'acier XC48

3.7 Le modèle thermique 3D du dispositif de coupe :

Le modèle thermique 3D est développé pour décrire la répartition de la température dans la Coupe régulière et le processus de refroidissement.

Les coordonnées cartésiennes de diffusion peuvent être écrites :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho c}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

T : température (C°)
k : conductivité thermique (W / mk)
c : chaleur spécifique (j / kgk)
 ρ : densité (kg/m³)

3.8 Le maillage et gestion de contact :

L'outil de coupe contient 79301 éléments, et 56971 nœuds, le couplage thermomécanique est introduit. La distribution des mailles est pareille sur toutes les faces de l'outil. On a fait le raffinement de maillage pour des résultats plus précis. La densité de maillage est très élevée sur la face de contact de l'outil pour obtenir les résultats de transfère de chaleur. Les propriétés de contact sont : coefficient de frottement 0,4 et le coefficient dynamique est 0,1 et la constant de dégradation est égal à 0. La température ambiante est 22°C (295K). Le contact sous forme d'une méthode de surface maitre et de nœuds esclaves. On définit la surface maitre (corps rigide) et surfaces esclaves (corps déformable) en sélectionnant l'ensemble (outil / pièce).

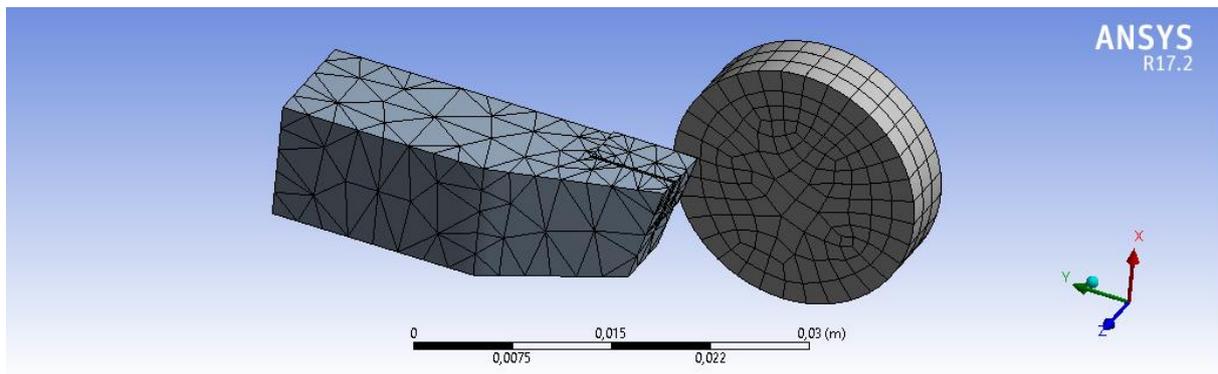


Figure 3.2: le maillage de l'outil et la pièce

3.9 Les résultats de simulation:

Dans notre simulation de chariotage, nous arrivons à obtenir des transferts de chaleur à la face de contact (outil /pièce).

Nous remarquerons que l'enlèvement de matière dégage une chaleur, et pour étudier cette variation on a fixé la vitesse de coupe à $V_c = 300\text{m/min}$ et on varie le matériau. Puis, on a fait

une comparaison avec l'ACIER XC48 conformément au travail de Madame Melzi Nesrine dans sa thèse doctorat. [18]

VC = 300 m/min, f=0.4mm/tr :

1^{er} CAS : ACIER XC48 :

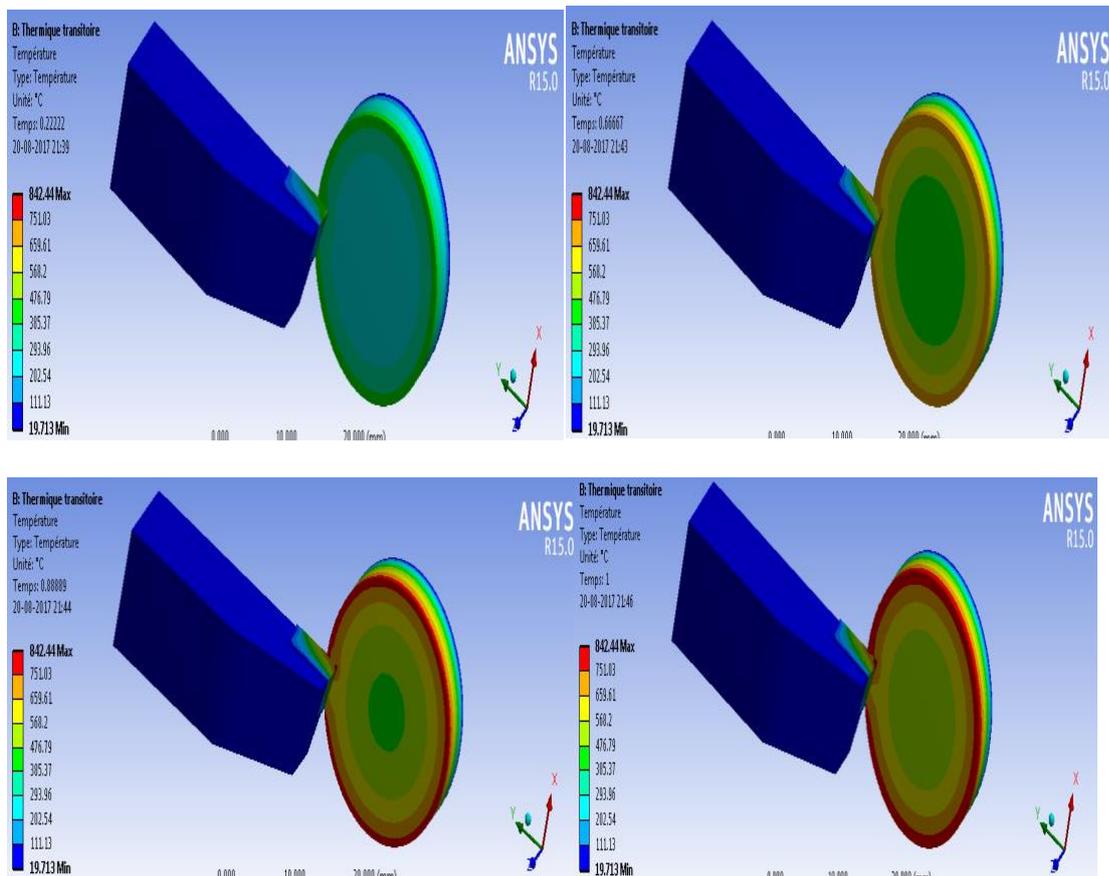
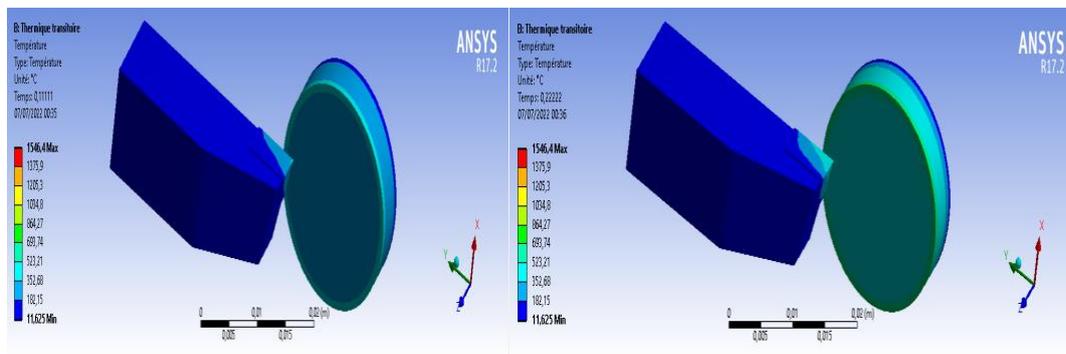


Figure 3.3 Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de l'acier XC48 pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$

2^{ème} CAS :ACIER INOXYDABLE :



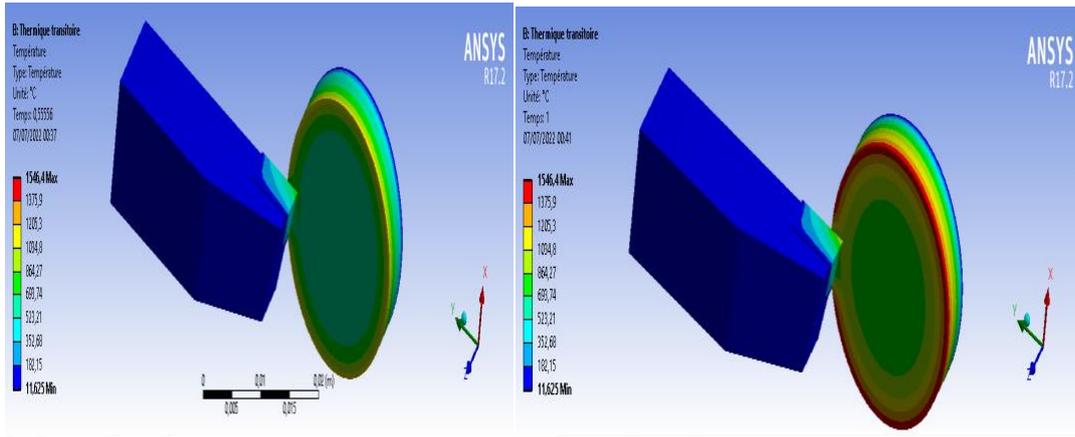


Figure 3.4 :Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de acier inoxydable pour $V_c = 300\text{m} / \text{min}$, $f = 0,4\text{mm} / \text{tr}$

3^{ème} cas :ALLIAGE D'ALUMINUM :

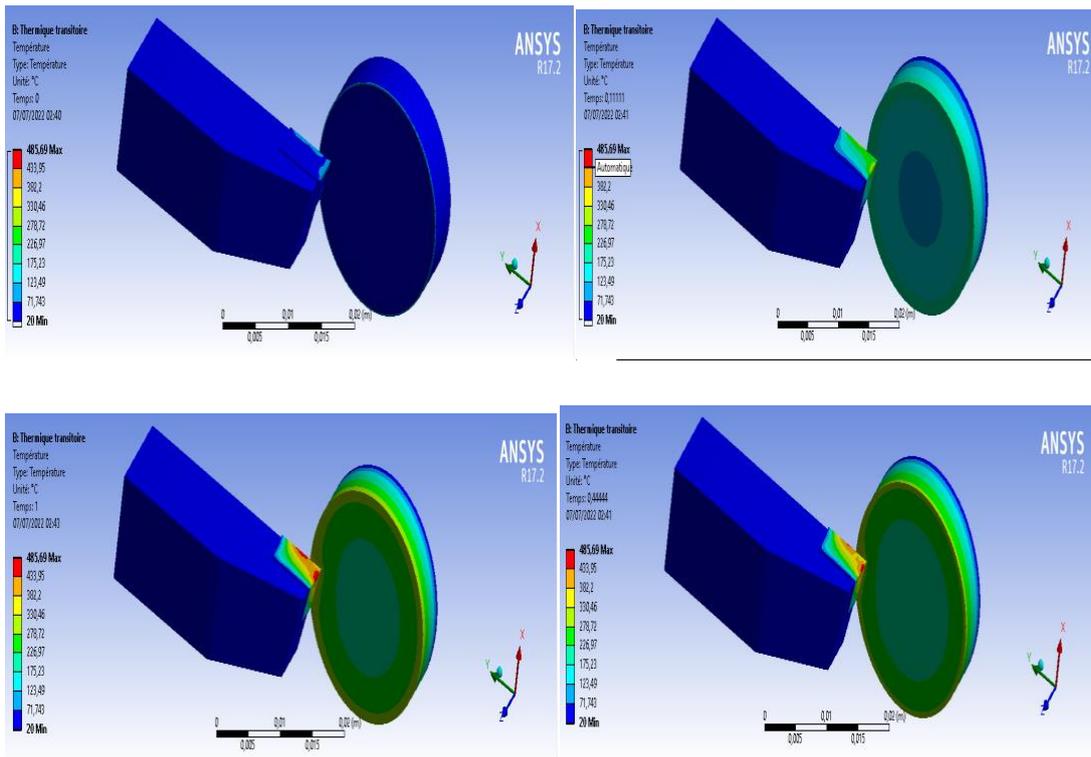


Figure 3.5: Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de alliage aluminium pour $V_c = 300\text{m} / \text{min}$, $f = 0,4\text{mm} / \text{tr}$

4^{ème} cas : ALLIAGE DE TITANE :

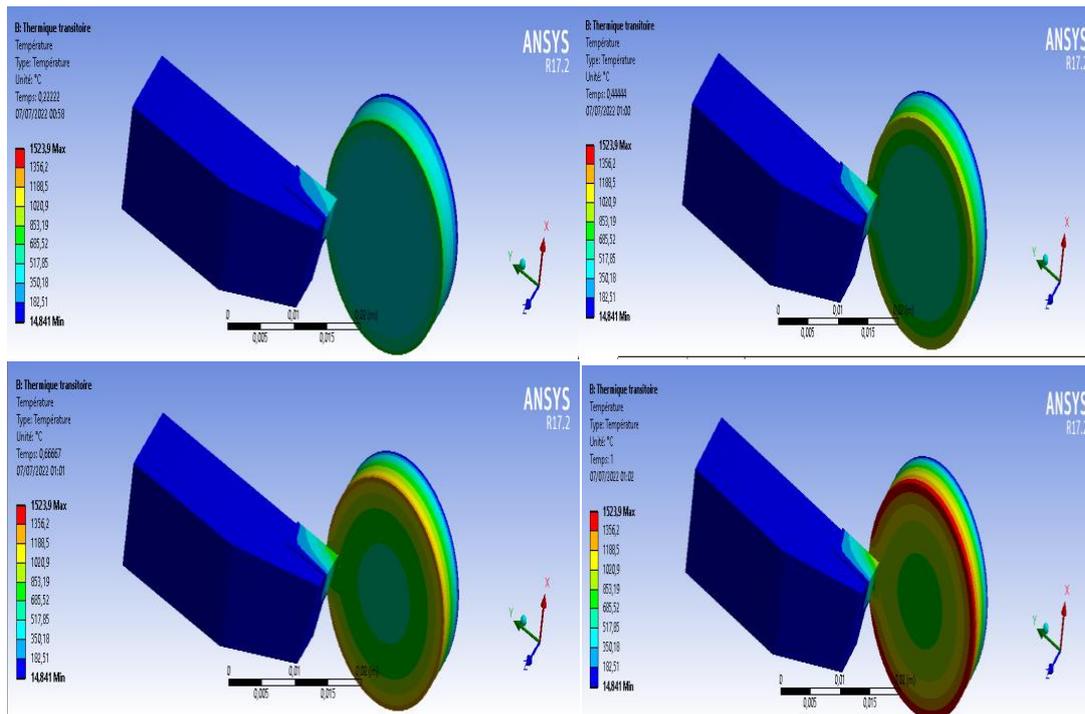


Figure 3.6 : Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de alliage de titane pour $V_c = 300\text{m / min}$, $f = 0,4\text{mm / tr}$

3.10 Discussion des résultats de la simulation numérique :

Les figures (3.3),(3.4),(3.5)et (3.6) montrent les résultats de simulation) d'une vitesse de 300 m/min et d'une avance de 0.4 mm/tr.

On constate sur les figures précédentes qu'il y'a une variation de température au niveau du contact (Pièce /Outil).

Pour la vitesse de coupe à 300m/min, la température maximale varie pour chaque matériau :

- ❖ 842.44°C pour : ACIER XC 48
- ❖ 1546.4 °C pour : ACIER INOXYDABLE
- ❖ 485.69 °C pour : ALLIAGE D'ALUMINUM
- ❖ 1523.02 °C pour: ALLIAGE DE TITANE

D'après les résultats de notre simulation, on constate que:

- ◆ La température varie en fonction du type des matériaux

- ◆ La chaleur résultante de l'opération de coupe s'évacue dans le copeau
- ◆ Le contact entre l'outil et la pièce produit une température importante
- ◆ Le frottement pièce /outil dégage une température considérable

Conclusion générale :

Dans le présent travail, on a simulé numériquement en 3D, à l'aide de logiciel ANSYS 17.2, une opération de tournage. Le but est d'étudier le comportement de l'outil à charioter lors de cette opération de tournage. Aussi, notre travail nous a permis d'analyser et d'étudier l'influence thermique lors de l'interface du contact pièce/outil.

Dans la première partie de ce travail, on a fait des recherches sur le thème. On a commencé par une recherche bibliographique, et par la suite, on a procédé à la modélisation numérique de l'opération de chariotage en 3D en utilisant la méthode des éléments finis.

Pour déterminer la température au niveau de point de contact entre l'outil et la pièce, on a choisi la loi de JOHNSON- COOK. Celle-ci nous permet de déterminer le transfert de chaleur entre l'outil et la pièce au point de contact.

Par la suite, on a défini les caractéristiques et la température idéale de chaque matériau lors d'une opération de chariotage, dans le but de faire le bon choix de conditions de coupe pour augmenter la durée de vie de l'outil.

Ainsi, on peut déterminer le meilleur choix de la condition de coupe lors de l'usinage tout en évitant l'endommagement de la pièce.

En perspective, on souhaite appliquer les résultats de la simulation sur un setup réel d'une opération de coupe

Bibliographie

- [1] **Y. Schoefs, S. Fournier et J. C. Leon**, Productique mécanique, Edition Delagrave, 1994, France
- [2] **D. Gelin, M. Vincent**, Eléments de fabrication, Les Editions Foucher, 1995
- [3] **A.Toumine**, Cours d'usinage, Groupe conception production, INSA de Lyon, France
- [4] **L. Pimbaud, G. Layes, J. Moulin**, Guide pratique de l'usinage, tome 1, Edition Hachette, France, 2003
- [5] **D. Gelin, M. Vincent**, Eléments de fabrication, Edition Ellipses Pais, France, 1995
- [6] **M.Balazinski**, Fabrication mécanique avancée, MEC 4530, Ecole Polytechnique de Monreale, Canada
- [7] **R. Berghida**, Impact de la signature des outils de coupe sur la variation de la géométrie des pièces mécaniques, Mémoire de magister, Département de génie mécanique, Juin 2006
- [8] **M.Temmar**, Cours de fabrication mécanique, Département de mécanique, Université Saad Dahlab de Blida
- [9] **C. Barlier et L. Girardin**, Mémotech ; productique matériaux et usinage, 1995
- [10] **R. Butin, M. Pinot**, Fabrications mécaniques, Tome II, Les Editions Foucher, 1981
- [11] **Groupe Kislér France**, Mesure des efforts de coupe
- [12] **L. Pimbaud, G. Layes et J. Moulin**, Guide pratique de l'usinage, tome 1, Edition Hachette, France. 2003

