

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

**MASTER**

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

**BELLIL TAKFARINAS**

**BELBESSAI BOUALEM**

## Thème

---

**Usure des plaquettes d'usinage,  
étude de quelques travaux de recherche**

---

Soutenu le 13/10/2020 devant le jury composé de:

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Mr. LAGGOUNE Radouane   | Président  |
| Mr. BELAMRI Abdelatif   | Rapporteur |
| Mr. BENSALIM Nasreddine | Examineur  |

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

# REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont premièrement à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a données durant toutes ces longues années.

Tout d'abord nous tenons à remercier notre promoteur de ce travail monsieur BELAMRI ABDELATIF pour son suivi, sa disponibilité ainsi que les nombreuses discussions que nous avons eues autour de ce mémoire.

Nous adressons nos plus vifs remerciements aux messieurs les membres du jury pour avoir accepté cette charge ainsi que l'intérêt qu'ils ont portée à notre travail de recherche.

Nos chaleureux remerciements vont à l'ensemble de notre famille tout particulièrement nos parents pour leurs support inconditionnel, vous nous avez toujours encouragé à aller plus loin dans les domaines qui nous plaisent, ainsi que tous les membres de nos familles, nous vous en suis reconnaissant aujourd'hui.

Nous tenons à remercier tout les travailleurs du HALL de technologie de l'université de Bejaïa.

Enfin, nous remercions tous nos amis avec qu'on a partagé notre quotidien durant ces longues années et pour tous les bons moments qu'on a passé ensemble.

# Dédicaces

Mon travail est dédié à ma mère comme expression de ma profonde reconnaissance, à la femme la plus belle de ma vie, à l'ange qui a appris seulement à aimer qui ne pourrait jamais mais jamais perdre cette habitude. J'apprécie énormément ton sacrifice. A la mère, l'ombre de clémence de dieu sur la terre et pour l'humanité.

Je dédie aussi ce modeste travail à mon père, je lui dis : j'espère que tu es fier de ton fils papa !!

A mes deux frères je consacre pour vous toutes mes paroles et mes expressions fraternelles, mes mots qui volent comme des oiseaux qui se dirigent vers vous, ces oiseaux qui vous remercient pour votre soutien quotidien, vos prières. Je n'oublie jamais mes proches.

Ainsi à :

La famille bellil

Wisseem (biya) Ma raison de vivre.

Tous mes amis(es).

Mes coéquipières de la branche Génie Mécanique.

***Bellil takfarinas.***

<<Que ce mémoire soit un témoignage de mon affection>>.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes chers frères et sœurs pour leur appui et leur encouragement permanents, et leur soutien morale

Ainsi à :

La famille BELBESSAI

Tous mes amis(es).

Toute la promotion Master Mécanique 2019/2020.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

**BELBESSAI Boualem.**

<<Que ce mémoire soit un témoignage de mon affection>>.

# Table de matières

|  |          |
|--|----------|
| Liste des figures  |          |
| Liste des tableaux                                       |          |
| Liste des abréviations                                   |          |
| <b>Introduction générale</b> .....                       | <b>1</b> |
| <b>Chapitre I : Notions fondamentales</b>                |          |
| I. Introduction.....                                     | 2        |
| I.1 Historique des outils de coupe.....                  | 2        |
| I.1.1 Définition de l’outil de coupe.....                | 2        |
| I.1.2 Domaine d’utilisation .....                        | 3        |
| I.1.3 Propriété des outils de coupe .....                | 3        |
| I.2 Exigence principale de l’outil de coupe .....        | 4        |
| I.3 Classification de l’outil de coupe .....             | 5        |
| I.3.1 Coupe orthogonale.....                             | 6        |
| I.3.2 Coupe oblique.....                                 | 6        |
| I.4 Forme et géométrie des outils de coupe .....         | 7        |
| I.4.1 Plans références d’outil en main.....              | 8        |
| I.5 Définition des principaux angles .....               | 9        |
| I.6 Efforts de coupe.....                                | 11       |
| I.7 Plaquette de coupe.....                              | 12       |
| I.7.1 Définition des plaquettes de coupe.....            | 12       |
| I.7.2 Nature des matériaux des plaquettes de coupe ..... | 12       |
| I.8 Principaux matériaux des plaquettes de coupe.....    | 13       |
| I.8.1 Aciers Rapides.....                                | 13       |
| I.8.2 Carbures métalliques .....                         | 14       |
| I.8.3 Carbures micrograin .....                          | 14       |
| I.8.4 Aciers et carbures revêtus.....                    | 15       |
| I.8.5 Cermets.....                                       | 15       |
| I.8.6 Céramiques .....                                   | 15       |
| I.8.7 Nitrure de Bore Cubique CBN .....                  | 16       |

|  |    |
|--|----|
| I.8.8 Diamant polycristallin .....   | 16 |
| I.9 Illustration des aptitudes des matériaux des plaquettes d'usinage .....        | 17 |
| I.10 Choix des matériaux des plaquettes pour outils en usinage .....               | 17 |
| I.11 Forme géométrique des plaquettes de coupe.....                                | 20 |
| I.12 Les plaquettes réversibles.....   | 21 |
| I.13 Conclusion.....   | 22 |
| <br>   |    |
| <b>Chapitre II : Technologie de fabrication de plaquettes et leur mode d'usure</b> |    |
| II. Introduction .....   | 23 |
| II.1 Procédure d'élaboration des plaquettes en carbure de tungstène .....          | 23 |
| II.2 La structure des outils (WC-Co).....  | 26 |
| II.2.2 Métal dur fritté .....  | 27 |
| II.2.2.1 Données techniques.....   | 28 |
| II.2.3 Propriétés des carbures.....  | 29 |
| II.3 Processus de fabrication des plaquettes de coupes .....                       | 30 |
| II.3.1 Préparation de la poudre .....  | 31 |
| II.3.2 Séchage-granulation.....  | 32 |
| II.3.3 La mise en forme : compression et usinage a cru .....                       | 32 |
| II.3.4 Le frittage.....  | 34 |
| II.3.4.1 Procédure d'élaboration de frittage .....                                 | 35 |
| II.3.4.1.1 Le deliantage.....  | 35 |
| II.3.4.1.2 La montée en temperature .....  | 35 |
| II.3.4.1.3 L'apparition de la phase liquide .....                                  | 35 |
| II.3.4.1.4 Le palier de frittage.....  | 35 |
| II.3.4.1.5 Le frittage sinter-HIP .....  | 36 |
| II.3.4.2 Le refroidissement.....   | 36 |
| II.3.5 La rectification .....  | 36 |
| II.3.6 Le revêtement.....  | 37 |
| II.3.6.1 Procédé de revêtement CVD .....   | 37 |
| II.3.6.2 Procédé de revêtement PVD .....   | 39 |
| II.3.7 Contrôle finale et expédition.....  | 40 |
| II.4 Mode d'usure.....   | 41 |
| II.4.1 Les phénomènes d'usure.....   | 41 |

|  |    |
|--|----|
| II.4.1.1 Les phénomènes mécaniques .....       | 42 |
| II.4.1.2 Les phénomènes physico-chimiques..... | 42 |
| II.4.2 Manifestations de l'usure .....         | 43 |
| II.4.2.1 Usure en cratère.....                 | 43 |
| II.4.2.2 Usure en dépouille.....               | 44 |
| II.4.2.3 Usure en entaille.....                | 45 |
| II.4.2.4 Usure par écaillage .....             | 45 |
| II.5 Conclusion .....                          | 46 |

### **Chapitre III : Influence des paramètres de coupe l'usure des plaquettes**

|   |           |
|---|-----------|
| III. Introduction .....   | 48        |
| III.1 Influence des paramètres de coupe sur l'usure .....                     | 48        |
| III.1.1 La vitesse de coupe .....   | 48        |
| III.1.2 L'avance.....   | 51        |
| III.1.3 Profondeur de passe .....   | 52        |
| III.1.4 la lubrification.....   | 53        |
| III.1.5 Influence d'effort de coupe.....                                      | 54        |
| III.2 Durée de vie d'un outil de coupe .....                                  | 56        |
| III.3 Lois de durée de vie .....  | 56        |
| III.3.1 Evolution de l'usure d'outil dans le temps en fonction de $V_c$ ..... | 56        |
| III.3.2 Modèle de GILBERT.....  | 57        |
| III.4 Conclusion .....  | 58        |
| <b>Conclusion générale .....</b>  | <b>59</b> |

## Liste des figures

### **Chapitre I Etude bibliographique**

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1 : outil de coupe .....  | 4  |
| Figure I.2 : exemple d'outil de coupe .....  | 6  |
| Figure I.3 : Configuration de la coupe orthogonale .....                                     | 6  |
| Figure I.4 : Illustration de la coupe orthogonale et oblique .....                           | 7  |
| Figure I.5 : Schéma des directions de l'arête en coupe orthogonale et oblique .....          | 7  |
| Figure I.6 : Plans sur un outil en main [Norme NF E 66-502] .....                            | 8  |
| Figure I.7 : Angles de coupe sur un outil en main .....                                      | 9  |
| Figure I.8 : Influence de l'angle d'inclinaison d'arrête le sens d'écoulement du copeau..... | 10 |
| Figure I.9 : Influence de l'angle de dépouille .....   | 11 |
| Figure I.10 : Influence de l'angle de coupe le sens dégagement du copeau .....               | 11 |
| Figure I.11 : Disposition les matériaux d'outil solen la ténacité et la dureté .....         | 13 |
| Figure I.12 : aptitudes des matériaux des plaquettes d'usinage .....                         | 17 |
| Figure I.13 : Matériaux à outil de coupe en fonction de paramètres de coupe .....            | 20 |
| Figure I.14 forme géométrique des plaquettes de coupe .....                                  | 21 |
| Figure I.15 : Plaquettes réversibles et non réversibles.....                                 | 21 |

### **Chapitre II Technologie de fabrication des plaquettes et leur mode d'usure**

|  |    |
|--|----|
| Figure II.1 : Procédure de fabrication du carbure de tungstène par frittage .....  | 24 |
| Figure II.2 : Résumé de la fabrication des outils en carbure de tungstène, suivi d'une préparation d'arête et d'un surfaçage ..... | 25 |
| Figure II.3 : Comparaison des préparations d'arête et de la géométrie brise copeau sur deux plaquettes carbure .....               | 25 |

|  |    |
|--|----|
| Figure II.4 : Géométries des arêtes préparées De gauche à droite : arête circulaire unitaire, avec $a/b=1$ , une arête à forme plate puis une arête en « chute d'eau » ..... | 26 |
| Figure II.5 : Microstructures de plaquette carbure après frittage Relation entre la grosseur des grains et le % de Co dans le carbure cémenté .....                          | 27 |
| Figure II.6 : Microstructure du métal dur WC/Co .....  | 28 |
| Figure II.7 : relation entre les caractéristiques du carbure, la teneur en cobalt et la taille de grain du carbure de tungstène .....  | 29 |
| Figure II.8 : cycle de fabrication.....  | 30 |
| Figure II.9 : Préparation de la poudre WC/Co .....   | 31 |
| Figure II.10 : Opération de compression de la poudre WC/Co .....   | 33 |
| Figure II.11 : frittage des plaquettes .....   | 34 |
| Figure II.12 : rectification des plaquettes .....  | 36 |
| Figure II.13 : Exemple d'une plaquette disponible avec différents revêtements .....  | 37 |
| Figure II.14 : Procédé de revêtement CVD Photo d'une Polisseuse .....  | 38 |
| Figure II.15 : Coupe au microscope des différentes couches appliquées sur la plaquette carbure lors d'un revêtement CVD .....  | 38 |
| Figure II.16 : Procédé de revêtement PVD.....  | 39 |
| Figure II.17 : Coupe au microscope des différentes couches appliquées sur la plaquette carbure lors d'un revêtement PVD.....   | 40 |
| Figure II.18 : Contrôle final et expédition des plaquettes.....  | 40 |
| Figure II.19 : Les phénomènes d'usure en fonction de la température.....   | 41 |
| Figure II.20 : Usure en cratère .....  | 43 |
| Figure II.21 : Usure en dépouille .....  | 44 |
| Figure II.22 : Usure en entaille .....   | 45 |
| Figure II.23 : Usure par écaillage.....  | 46 |

### **Chapitre III Influence des paramètres de coupe sur l'usure**

|  |    |
|--|----|
| Figure III.1 : Evolution de l'usure en dépouille (VB) du GC4015 en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe lors de l'usinage de l'acier C30 .....   | 49 |
| Figure III.2 : Evolution de l'usure en dépouille (VB) du P35 en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe lors de l'usinage de l'acier C30 .....  | 49 |
| Figure III.3 : Aspect final de l'usure en dépouille principale VB de GC4015: a) $V_c=120\text{m/mn}$ , b) $V_c=150\text{m/mn}$ , c) $V_c=180\text{m/mn}$ , d) $V_c=250\text{m/mn}$ , .....                                       | 50 |
| Figure III.4 : Aspect final de l'usure en dépouille principale VB de P35: a) $V_c=120\text{m/mn}$ , b) $V_c=150\text{m/mn}$ , c) $V_c=180\text{m/mn}$ , d) $V_c=250\text{m/mn}$ , .....  | 50 |
| Figure III.5 : Influence de l'avance sur la température de coupe, obtenues avec des plaquettes types P10 et P35, échantillon XC18 à $V_c = 150 \text{ m/mn}$ et $a_p = 0,5 \text{ mm}$ .....                                     | 51 |
| Figure III.6 : Influence de la profondeur de passe sur la température de coupe, obtenues avec des plaquettes types P10 et P35, échantillon XC18 (brut de livraison), à $V_c = 150 \text{ m/mn}$ et $f = 0,08 \text{ mm/t}$ ..... | 52 |
| Figure III.7 : Profils 2D de la face de coupe de l'outil lors de l'utilisation des stratégies de lubrification.....  | 54 |
| Figure III.8 : Evolution des efforts de coupe en fonction du temps d'usinage $V_c = 180 \text{ m/min}$ ; $a_p = 0,5 \text{ mm}$ ; $f = 0,08 \text{ mm/tr}$ .....   | 55 |
| Figure III.9 : Evolution de l'effort de coupe en fonction du temps d'usinage $V_c = 350 \text{ m/min}$ ; $a_p = 0,5 \text{ mm}$ ; $f = 0,08\text{mm/}$ .....   | 55 |
| Figure III.10: usure en dépouille pour différentes vitesses de coupe.....  | 56 |
| Figure III.11:Droite de Taylor .....   | 57 |

### **Liste des tableaux**

|   |
|---|
| Tableau I.1 : Comparaison et emploi des différents types de matériaux pour outils en usinage...17 |
| Tableau II.1 : les caractéristiques physicochimiques des éléments du métal dur fritté.....28      |
| Tableau III.1 : valeur de k pour acier.....56   |

## Liste des abréviations

**AR** : acier rapide

**HSS** : acier rapide supérieur

**Vc** : vitesse de coupe

**Vf** : vitesse d'avance

**f** : avance

**CBN** : nitrure de bore cubique

**W** : tungstène

**D** : molybdène

**V** : vanadium

**C** : chrome

**Co** : cobalt

**PVD** : procédé de recouvrement de surface par des atomes ou molécules

**CVD** : chemical vapor deposition (dépôt chimique en phase vapeur)

**MPE** : mélange prêt à l'emploi

**WC/Co** : carbure cémenté

**VB** : usure en dépouille

**ap** : profondeur de passe

**WC** : teneur en carbone

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

L'usinage par enlèvement de matière demeure l'un des procédés de fabrication les plus largement utilisés et le plus important dans l'industrie mécanique. Cependant, l'influence de l'usure des outils de coupe sur la qualité de l'état de surface et la durée de vie de l'outil de coupe reste le problème principal auquel sont confrontés les professionnels de l'usinage.

L'usure des outils est un facteur important affectant la productivité et la rentabilité des processus de coupe des métaux. Elle est en fonction de plusieurs facteurs notamment du matériau usiné, du procédé de coupe, des conditions de coupe (vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe). Ce phénomène résulte à la fois du contact et du glissement relatif entre l'outil et la pièce d'une part et l'outil et le copeau d'autre part. En outre, sa prépondérance est fortement dépendante, entre autres, des températures élevées à l'interface outil-matière

Dans ce contexte, l'usure des outils de coupe semble être un phénomène compliqué à étudier, du fait de ses nombreuses origines, notamment physico-chimiques (affinités entre certains matériaux constituant le couple plaquette/pièce, etc.) ou thermo-mécaniques (abrasion, diffusion, adhésion, etc.). Également, l'usure des outils de coupe a un impact considérable sur le déroulement de l'opération de coupe : augmentation des efforts de coupe, des vibrations, changement de morphologie de copeau et de la température de l'outil ce qui entraîne une détérioration de la qualité de la surface à usiner.

Il est donc essentiel de maîtriser le phénomène d'usure des outils de coupe et d'étudier son effet sur l'intégrité de surface. Il est ainsi intéressant de rechercher des méthodes permettant de réduire l'usure des outils.

Nous avons partagé ce mémoire en trois chapitres :

- Un premier chapitre présentant des notions générales sur l'usinage et les outils de coupe.
- Un deuxième chapitre, dans lequel on présente les différentes étapes de l'élaboration des plaquettes d'usinage ainsi que le phénomène de l'usure et les différents types de l'usure des outils de coupe.
- Un troisième chapitre, dans lequel nous avons présenté l'influence des paramètres de coupes sur l'usure

Enfin nous achèverons ce mémoire par une conclusion générale.

# Chapitre I

*Notions fondamentales*

## I. Introduction

L'usinage est une famille de techniques de fabrication de pièces par enlèvement de copeaux. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance).

### I.1 Historique des outils de coupe

Contrairement à d'autres espèces, les humains ont été capables de s'adapter à de nouveaux environnements naturels et de survivre partout. Nous le devons à la technologie et à la capacité de développer de nouveaux outils.

Il y a plus de deux millions d'années, au Paléolithique, les premiers humains ont commencé à fabriquer des instruments. Bien que ces premiers instruments fussent assez simples, leur fabrication montre une série d'étapes qui ont démontré une certaine intelligence. Ces outils ressemblaient à des pierres sculptées sur un ou deux côtés qui formaient un tranchant.

Petit à petit, avec la parution du premier tour en 1751 'tour à charioter à bâti métallique'. Les outils de coupe dans le monde d'usinage a évolué dans le but de minimiser et optimiser le temps d'usinage, le cout, usure des machine outilles et la qualité du travail obtenue.

#### I.1.1 Définition de l'outil de coupe

Un outil de coupe consiste en un corps et une queue. Un corps est la partie de l'outil portant des éléments coupants ou les plaquettes. La queue de l'outil est la partie par laquelle celui-ci est maintenue.

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.

### I.1.2 Domaine d'utilisation

On distingue deux domaines :

- Outils de coupe fixes : monoblocs, à pastilles brasées, à pastilles montées, ils sont généralement utilisés en tournage mécanique et en fraisage.
- Outils de coupe tournants : ce sont les forets hélicoïdaux, alésoir-machine, fraise à deux tailles.

### I.1.3 Propriété des outils de coupe

Certains outils sont en acier ; c'était le cas de premiers outils d'usinage, et ils sont de plus en plus remplacés par des céramiques de type « carbures ». Certains aciers à outils sont appelés aciers « rapides » (AR, ou HSS pour high speed steel). Les nuances typiques d'acier à outil sont :

Pour travaille à froid :

- Les aciers à 12 % de chrome : par exemple X153CrMoV12,
- Les aciers à 5 % de chrome : par exemple X140CrMoV5-4-4,
- Les aciers à 8 % de chrome : par exemple X125CrMoV8-3-1,
- Les aciers rapides, par exemple HS6-5-4 ou HS10-2-5-8 ;

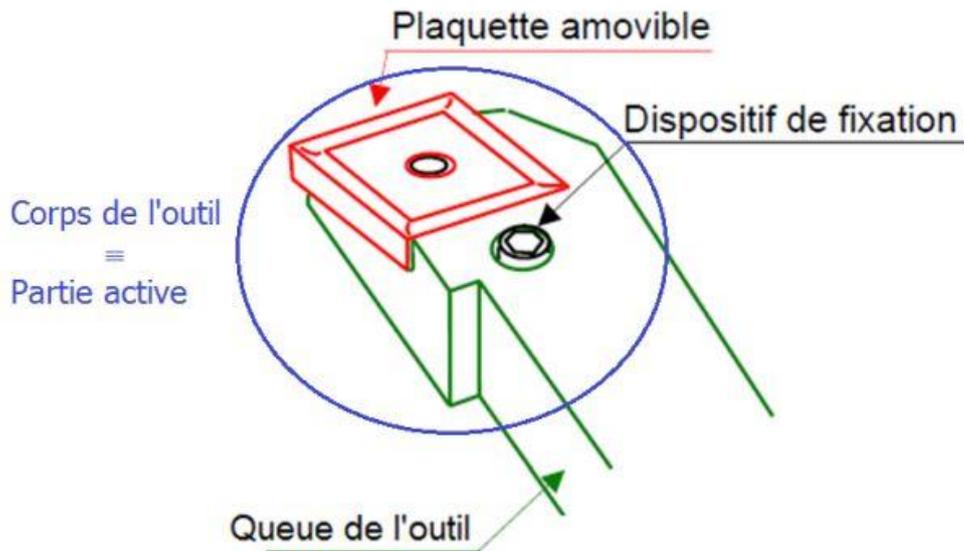
Pour le travail à chaud : X37CrMoV5-1, 55NiCrMoV-7, HS6-5-2.

Ces outils doivent être régulièrement affûtés. Les outils en acier peuvent être eux-mêmes usinés pour faire des outils dits « de forme », similaire aux profils de défonceuse.

Les outils de coupe modernes sont composés d'un support appelé porte-outil en acier et d'une partie amovible appelée plaquette de coupe en carbures. La plaquette est fixée par une vis ou une bride sur son support. Cela permet d'adapter parfaitement son outil selon la matière que l'on souhaite usiner, de l'opération que l'on doit effectuer ou des contraintes particulières. Cette plaquette dispose de plusieurs arêtes de coupe qui permettent une réduction des coûts d'utilisation. La durée de vie moyenne d'un outil en carbure de tungstène revêtu est de 20 min en tournage et de 45 min en fraisage (temps de contact outil/matière).

La plaquette est donc une pièce d'usure. Cette géométrie permet :

- de ne pas avoir à changer l'outil complet ;
- de réduire le coût de l'outil, les carbures étant bien plus chers que l'acier ;
- d'avoir des propriétés mécaniques différentes : les carbures sont très durs ce qui permet un usinage à grande vitesse, mais sont fragiles.



**Figure I.1** : outil de coupe.

## I.2 Exigence principale de l'outil de coupe

Il existe une étroite dépendance entre les performances des machines-outils et celles des outils de coupe, qui réside dans les différentes actions sur ces outils et les conditions d'utilisation de ces outils. Pour une meilleure coupe des métaux, l'arête tranchante d'un outil de coupe doit posséder une grande résistance à l'usure avec une dureté supérieure à celle de la pièce à usiner. Certaines précautions particulières doivent être prises en compte à la partie active de l'outil afin de posséder les qualités suivantes:

- Résistance élevée aux sollicitations (résistance aux chocs, à la traction, à la compression etc.).
- Dureté élevée des faces de coupe et de dépouille, des surfaces dont l'intersection forme l'arête coupante pour pouvoir pénétrer dans le métal usiné.

Aussi pour une grande production en coupe de métal, l'outil doit remplir les exigences suivantes (selon la Société SandvikCoromant) :

- Dure pour résister à l'usure de dépouille et déformation ;
- Avoir une haute ténacité pour résister à la cassure ;
- Etre chimiquement inerte avec la pièce ;
- Etre chimiquement stable pour résister à l'oxydation et dissolution ;
- Avoir une bonne résistance aux chocs thermiques [1].

### I.3 Classification des outils de coupe

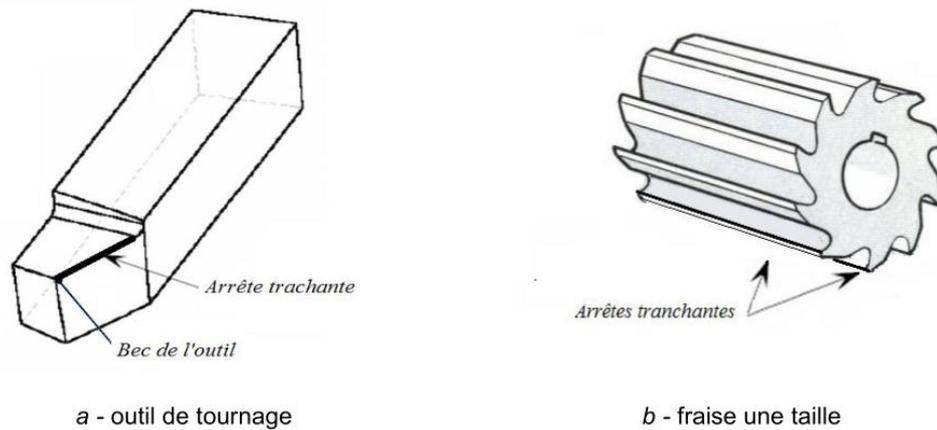
Les machines-outils utilisent une grande gamme d'outils d'usinage et cela selon le type d'opération et la forme de la pièce a réalisé. On distingue deux classes :

- **Outils à arrête unique**

Ce type d'outils a la particularité d'avoir une seule arrête tranchante, ils sont uniquement utilisés en tournage et en rabotage (Étau limeur), leur pointe est généralement arrondie pour former un rayon de bec d'outil.

- **Outils à arrête multiples**

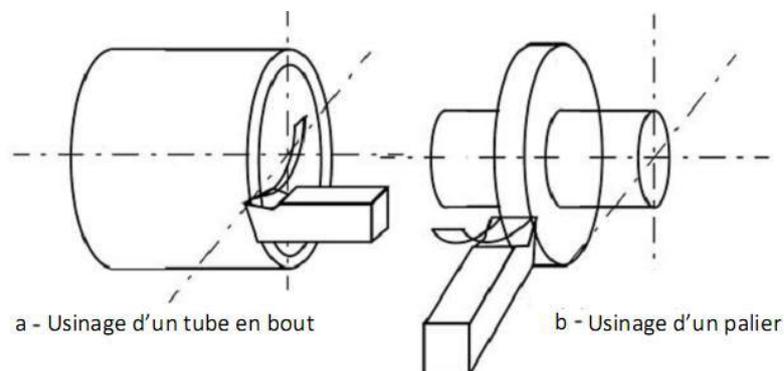
Ces outils comme leur nom l'indique possèdent plusieurs arrêtes tranchantes et sont de forme cylindrique. On les utilise dans les opérations de parage, d'alésage et de fraisage où le mouvement de coupe est leurs attribué (effort de coupe...). (Figure I.2)[2].



**Figure I.2 :** exemple d'outil de coupe[2].

### I.3.1 Coupe orthogonale

La coupe orthogonale est la configuration la plus simple pour usiner une pièce. Cette configuration est actuellement est peut employer dans le monde industriel. En effet, dans la pratique, seuls quelques procédés classiques permettent d'obtenir ces conditions comme par exemple le rabotage, le tournage de tube en bout et l'usinage de palier.



**Figure I.3 :** Configuration de la coupe orthogonale.[3].

La figure I.3 met en situation la coupe orthogonale au moment où l'outil coupe la matière avec une seule arête tranchante et lorsque cette dernière est perpendiculaire à la vitesse d'avance et à la vitesse de coupe  $V_c$ .

### I.3.2 Coupe oblique

Une deuxième représentation schématique de la formation du copeau où on peut la rencontrer dans la plupart des procédés d'usinage sur machine-outil, est la coupe oblique (Figure I.4).

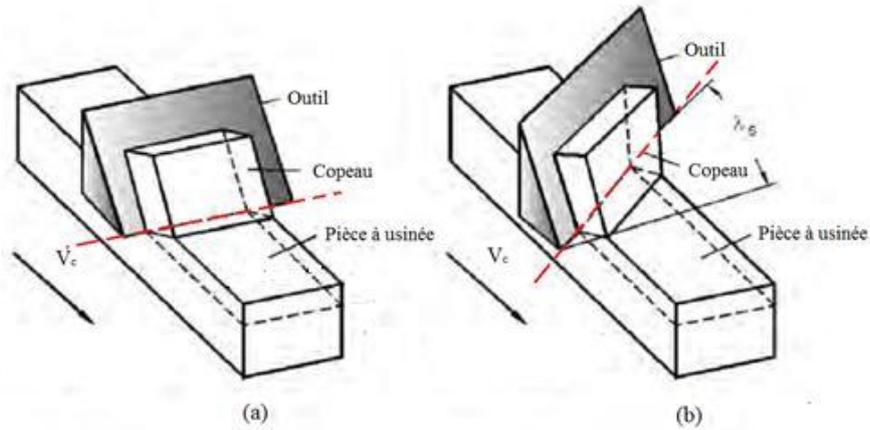


Figure I.4 : Illustration de la coupe orthogonale et oblique.

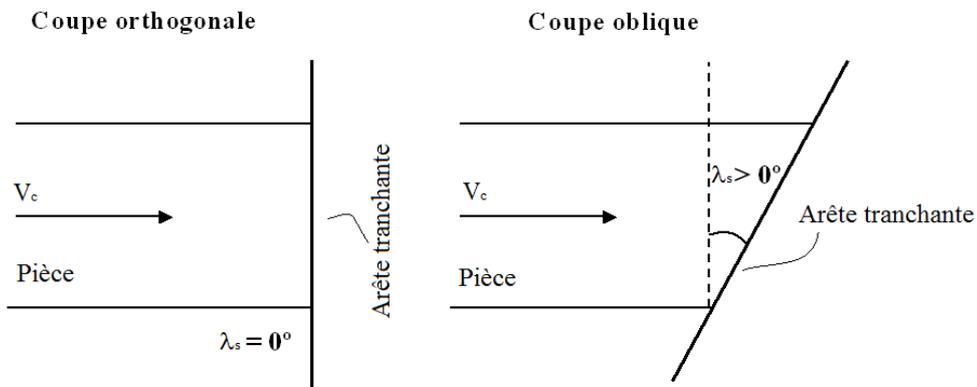


Figure I.5 : Schéma des directions de l'arête en coupe orthogonale et oblique

Ajouter une inclinaison  $\lambda_s$  à l'outil permet d'analyser la coupe, par une approche plus réaliste et ainsi l'étude de la formation du copeau dans le cas le plus général. Cependant, la coupe oblique n'est qu'une transposition du cas orthogonal par rotation du plan de cisaillement (Figure I.5), mais l'étude du cas général de coupe des métaux s'avère le plus complexe.

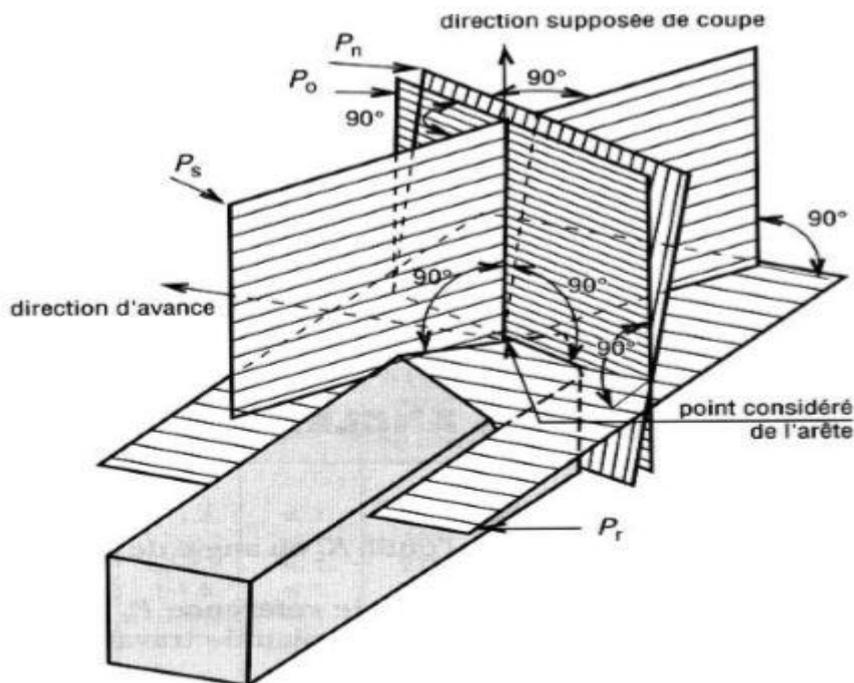
#### I.4 Forme et géométrie des outils de coupe

Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et les différents paramètres géométriques de sa partie active. Il est nécessaire de définir les différents angles caractéristiques de l'outil. Ces derniers sont établis selon les plans de références dans le système de l'outil en main.

### I.4.1 Plans références d'outil en main [4].

Les plans établis pour observer les différentes sections orthogonales de la partie active de l'outil sont les suivantes :

- $P_r$  : plan parallèle à la face d'appui de l'outil.
- $P_s$  : plan tangent à l'arête et perpendiculaire à  $P_r$
- $P_o$  : plan contenant la vitesse de coupe théorique  $V_c$  au point de l'arête et perpendiculaire à  $P_r$  et perpendiculaire à  $P_s$  ( $P_o$  est incliné par rapport à  $V_f$ ).
- $P_n$  : plan perpendiculaire à  $P_o$  et perpendiculaire à l'arête.
- $P_f$  : plan perpendiculaire à  $P_r$  et parallèle à la vitesse d'avance  $V_f$ .



**Figure I.6 :** Plans sur un outil en main [Norme NF E 66-502] [4].

À partir de ses plans on peut définir des systèmes d'angles selon chaque section voulue en notant toujours les désignations d'angles suivants :

- $\alpha$ : angle de dépouille principal
- $\beta$ : angle de taillant
- $\gamma$  : angle de coupe
- $\psi$  : angle de direction complémentaire de l'arête

Pour distinguer les angles de coupe d'un plan à l'autre, on attribue l'indice du plan choisi pour chaque angle observé dans sa section.

Exemple : Sur le plan  $P_f$ , les angles observés sont :  $\alpha_f$ ,  $\beta_f$  et  $\gamma_f$ .

**Remarque**

Le choix de ces paramètres dépend directement de la forme de l'outil de coupe et sa nuance, de la matière de la pièce à usiner, du type de machine-outil et de l'opération à exécuter et des contraintes de finition du produit exigé.

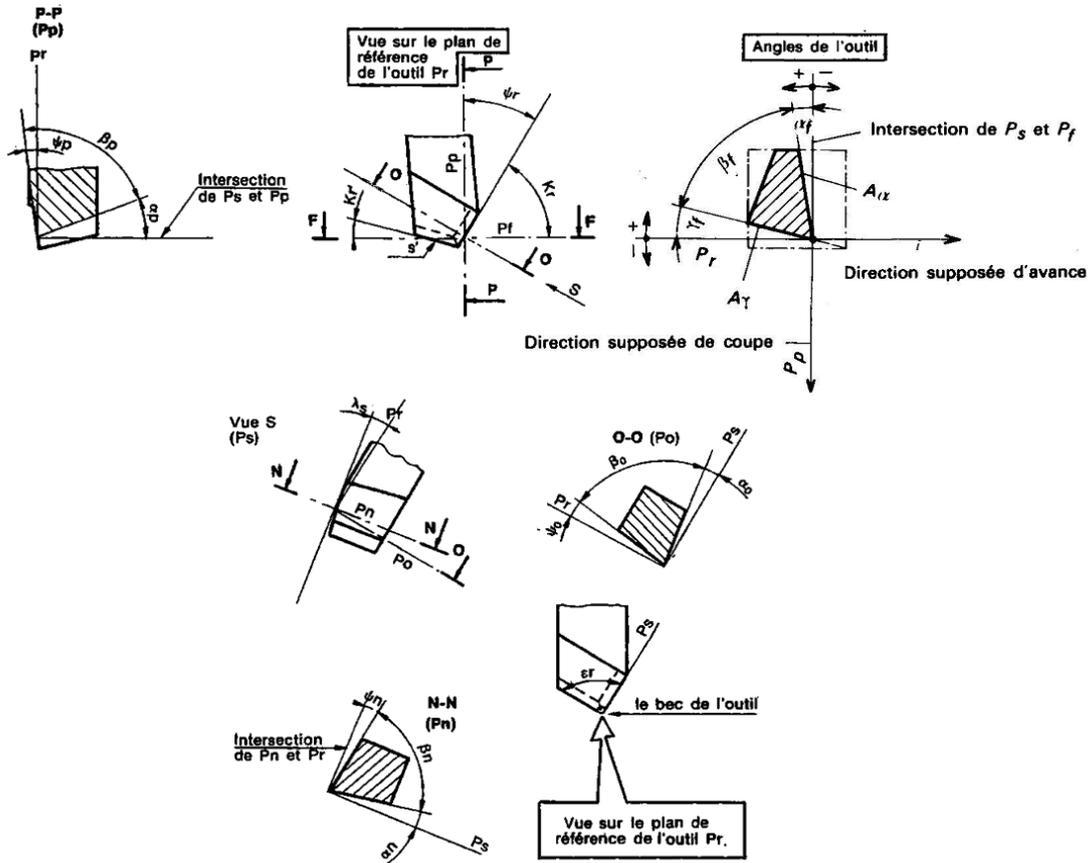


Figure.I.7 : Angles de coupe sur un outil en main[5].

**I.5 Définition des principaux angles[6].**

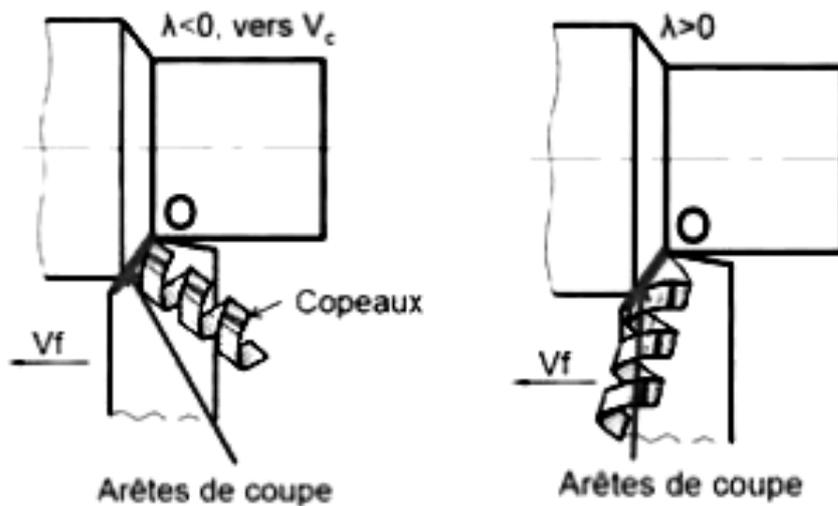
L'angle de direction d'arête principale  $K_r$  est l'angle mesuré dans le plan de référence  $P_r$  entre le plan d'arête de l'outil  $P_s$  et plan de travail conventionnel  $P_f$ . L'angle de direction d'arête est un facteur déterminant dans le choix de la machine suivant sa puissance.

- pour des valeurs  $K_r < 90^\circ$  on a une entrée en contact progressif de l'arête de coupe avec la matière à usiner ;

- pour des valeurs trop petites de  $K_r$  la longueur de contact arête de coupe/matière augmente, ce qui provoque également une augmentation des efforts de coupe ;
- l'angle  $K_r$  influe aussi sur la direction d'évacuation des copeaux

L'angle de direction d'arête secondaire  $K_r'$  est l'angle mesuré dans le plan de référence  $P_r$  entre et la face de dépouille et le plan de travail conventionnel  $P_f$  L'angle d'inclinaison d'arête  $\lambda_s$  est l'angle mesuré dans le plan d'arête de l'outil  $P_s$  entre l'arête et le plan  $P_r$  :

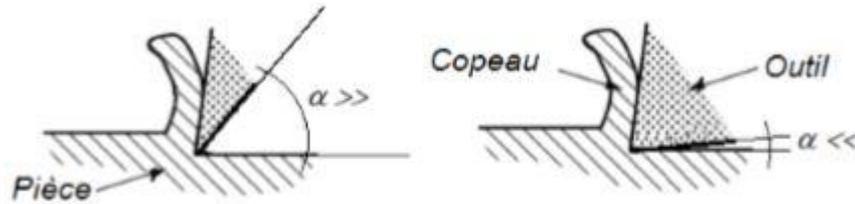
- les outils avec  $\lambda_s < 0^\circ$  s'utilisent pour des usinages d'ébauche, en raison de la robustesse de l'arête de coupe, et de la bonne fragmentation des copeaux ;
- les outils avec  $\lambda_s > 0^\circ$  s'utilisent pour des usinages de finition, les valeurs du copeau minimum étant plus faibles.



**Figure.I.8** : Influence de l'angle d'inclinaison d'arête le sens d'écoulement du copeau.

L'angle de dépouille  $\alpha$  est l'angle entre le plan d'arête de l'outil  $P_s$  et la face de dépouille.

- si l'angle  $\alpha$  est trop grand, l'outil présente une arête trop fragile ;
- si l'angle  $\alpha$  est trop petit la surface de contact pièce/face de dépouille augmente, ce qui induit le risque de talonnage.

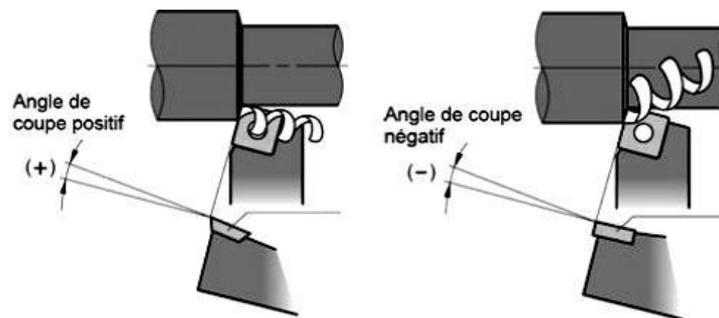


**Figure.I.9** : Influence de l'angle de dépouille.

L'angle de taillant  $\beta$  est l'angle entre la face de dépouille et la face de coupe. L'angle de pointe  $\epsilon_r$  est l'angle mesuré dans le plan de référence  $Pr$  entre la face de dépouille principale et la face de dépouille secondaire.

L'angle de coupe  $\gamma$  est l'angle entre la face de coupe et le plan de référence  $Pr$ . L'angle de coupe est un paramètre décisif dans la formation du copeau et selon le matériau à usiner, il peut passer d'une valeur positive à une valeur très négative.

- un angle  $\gamma$  trop grand fragilise l'arête et provoque un écoulement continu de copeau ;
- un angle  $\gamma$  trop petit provoque le frottement du copeau sur la face de coupe ;
- des valeurs  $\gamma < 0$  sont réservées aux outils en carbure métallique et en céramique, en raison de la bonne tenue aux efforts et du fait que les copeaux se brisent facilement.



**Figure.I.10** : Influence de l'angle de coupe le sens dégagement du copeau.

## I.6 Efforts de coupe

Les efforts de coupe sont la résultante de séparation du copeau, son enlèvement et des actions de fragmentation du copeau, avec de grandes actions de pression et de friction dans ce procédé, produisant des efforts qui s'exercent en plusieurs directions.

## **I.7 Plaquette de coupe**

### **I.7.1 Définition des plaquettes de coupe**

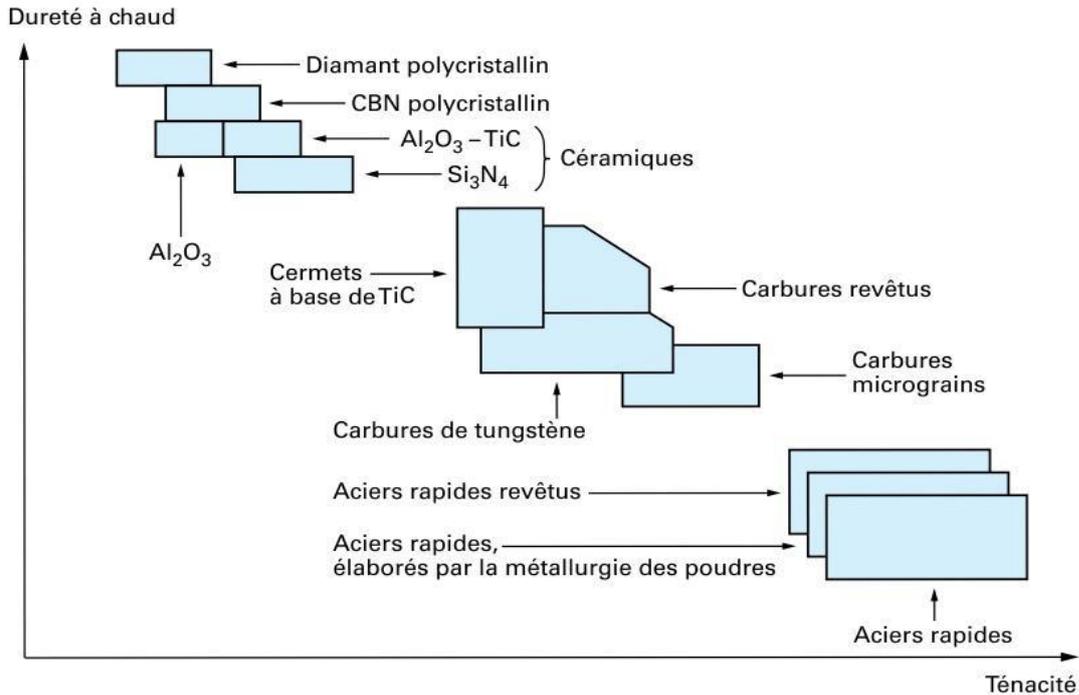
Ce sont des composants élaborés et utilisés pour des outils de coupe destinés aux professionnels comme aux particuliers, les plaquettes d'usinage sont des dispositifs spécifiques utilisés pour les finitions lors de travaux de découpe sur divers matériaux. Lors de la fabrication, le professionnel, souvent en usine, utilisera une plaquette de coupe pour assurer un travail soigné tout en précision. Carbone, céramique, acier, voire bronze nécessitent l'intervention des plaquettes d'usinage pour une coupe professionnelle, ou un tournage de qualité. Ces éléments sont des consommables, il faut en prendre grand soin.

### **I.7.2 Nature des matériaux des plaquettes de coupe**

L'usinage des métaux ou des polymères nécessite l'utilisation de matériaux coupants ayant d'excellentes propriétés, une bonne dureté à haute température vue les frottements permanent outil / pièce et outil/copeau, de résistance à l'usure et de stabilité chimique.

Les premiers outils étaient en acier rapide où le corps et la partie active d'outil étaient en une seule barre, quand l'outil est usé, on l'affûtait. Les venues de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux, le barreau en acier rapide ne remplit pas les exigences technologiques voulues. C'est l'apparition des outils en carbures métalliques, les céramiques, les CBN (Nitrure de Bore Cubique) et le diamant qui a rendu possible l'exploitation industrielle de ces techniques. Les principales matières utilisées pour les outils de coupes modernes sont représentés dans la (figure I.11).

Des conditions optimales d'usinage sont à rechercher pour un outil et une pièce donnés. Cette recherche ne peut être établie que par un protocole expérimental très rigoureux..



**Figure I.11:** Disposition des matériaux d'outil selon la ténacité et la dureté [7].

## I.8 Principaux matériaux des plaquettes de coupe

### I.8.1 Aciers rapides

Ce sont des aciers fortement alliés qui contiennent plus de 0,7 % de carbone et des éléments d'addition susceptibles de former des carbures :

- dans tous les cas environ 4 % de chrome (C) ;
- du tungstène (W), du molybdène (D), du vanadium (V), en proportions variables ;
- éventuellement du cobalt (K) qui a pour rôle d'augmenter la dureté à chaud.

Ils ont la propriété de pouvoir acquérir, après trempe, une dureté très élevée, et de la conserver jusqu'à une température de l'ordre de 600 °C. Il existe un grand nombre de combinaisons possibles de ces alliages, la norme NF A 35-590 en retient 16, parmi lesquelles des aciers sur carburés et des aciers au cobalt.

Les vitesses de coupe pour ce type varient entre 25 et 35 m/mn pour les aciers. Leur dureté varie entre 60 et 70 HRC, et sera maintenue jusqu'à 550 °C.

Actuellement, ce matériau est utilisé seulement pour certains outils comme les forêts ou les outils à faible angle tranchants.

### I.8.2 Carbures métalliques

Ils sont fabriqués selon la technique de métallurgie des poudres par frittage. Ils sont constitués :

- de substances dures (60 à 95 % du carbure) qui donnent la dureté et donc la résistance à l'usure. Elles se composent de carbure de tungstène (WC) phase ( $\gamma$ ), de carbure de titane (TiC), de carbure tantale (TaC) et de carbure de niobium (NbC) (phase  $\gamma$ ).
- de substances liantes qui donnent la ténacité au carbure. La plus employée est le cobalt (Co) car il dissout facilement les différents carbures (phase  $\beta$ ). On obtient différentes nuances de carbures en faisant varier le pourcentage des substances dures et liantes. Ces nuances présentent des tenues plus ou moins importantes à l'usure (selon la dureté) et aux chocs (selon la ténacité) en fonction de l'utilisation prévue. La résistance à la chaleur et la conductivité thermique dépendent :
  - de la taille des grains WC ;
  - du % de Co ;
  - du contenu de la phase  $\gamma$  .

Aujourd'hui, ces outils sont de plus en plus utilisés, comme plaquettes brasées (fixation permanente) ou plaquettes amovibles par fixation mécanique (fixation non permanente), cette dernière permet l'utilisation de plaquettes à plusieurs faces de coupe [8].

### I.8.3 Carbures micrograin

Ils sont caractérisés par une structure granulométrique très fine du carbure de tungstène (0,2 à 1  $\mu\text{m}$ ), lié par du cobalt (6 à 13 %).

Ils ont une ténacité plus élevée pour une dureté constante et de ce fait peuvent entrer dans le domaine des applications de matériaux tels que l'acier rapide. Cette nuance permet des arêtes beaucoup plus fines par suite, l'obtention d'angles de coupe très positifs. Aciers et carbures revêtus.

### I.8.4 Aciers et carbures revêtus

Les aciers rapides et les carbures existent de plus en plus sous forme revêtus.

Ce revêtement en couches de quelques microns (1 à 20  $\mu\text{m}$ ) est constitué, selon les applications :

- de nitrure de titane (TiN), d'une dureté d'environ 2 000 HV (jaune d'or) ;
- de carbure de titane (TiC), d'une dureté d'environ 3 900 HV (gris) ;
- de carbonitride de titane (Ti) (C1N), d'une dureté de 3 000 HV (gris) ;
- d'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), d'une dureté d'environ 2 400 (noir).

Ces revêtements améliorent très nettement les possibilités des outils, en particulier la durée de vie, grâce à une réduction importante du frottement copeau/outil et pièce/outil.

Les résultats sont surtout spectaculaires sur les aciers rapides (certains fabricants de fraises annoncent une augmentation de la durée de vie de 500 %) [8].

### **I.8.5 Cermets**

Les outils Cermets sont en carbures, en nitrures, en carbonitride ou en borure avec un liant de grains un métal ou un alliage ferreux (cobalt, nickel, nickel - fer, nickel – chrome, etc.). Ils ont par rapport aux métaux durs conventionnels une densité faible avec une dureté et une résistance à l'usure plus élevées. Leurs duretés sont de l'ordre de 1500 à 2000 HV. Ils ne perdent pas leur capacité à chaud en usinage à grande vitesse ou aux températures extrêmes allant jusqu'à 1000°C.

Les cermets sont destinés pour les opérations de finition et l'usinage de précision qui sollicitent un travail à grandes vitesses de coupe et à faibles avances [2].

### **I.8.6 Céramiques**

Les céramiques se présentent sous forme de plaquettes frittées, il existe deux grandes familles de céramiques :

- les céramiques à base d'alumine sous deux aspects : les céramiques pures de couleur blanche composées d'oxyde d'aluminium et d'autres oxydes métalliques ; les céramiques mixtes de couleur grise composée d'oxydes d'aluminium et de carbures métalliques.
- les céramiques à base de nitrure de silicium : ce sont des matériaux nouveaux, les plus connus étant les sialons. Elles sont de couleur noire, composée de nitrure de silicium et d'oxydes métalliques.

En pratique, les céramiques sont prévues pour supporter des vitesses de coupe élevées à des températures importantes. Elles résistent bien à l'usure mais mal aux chocs. Elles sont souvent utilisées sur des machines puissantes pour l'usinage des métaux ferreux. Elles ne conviennent pas pour les alliages légers et pour les alliages de titane (problèmes chimiques). Elles peuvent être revêtues de TiN et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [9].

### **I.8.7 Nitrure de bore cubique CBN**

Le nitrure de bore cubique est un des matériaux de coupe des plus durs (dureté supérieure aux céramiques et aux carbures).

Il s'agit de particules de nitrure de bore cubique et une matière liante céramique. Il se présente généralement sous la forme d'une pointe qui est brasée sur un support de carbure. Il peut également être fritté sur chaque pointe du support carbure, ce qui améliore la sécurité.

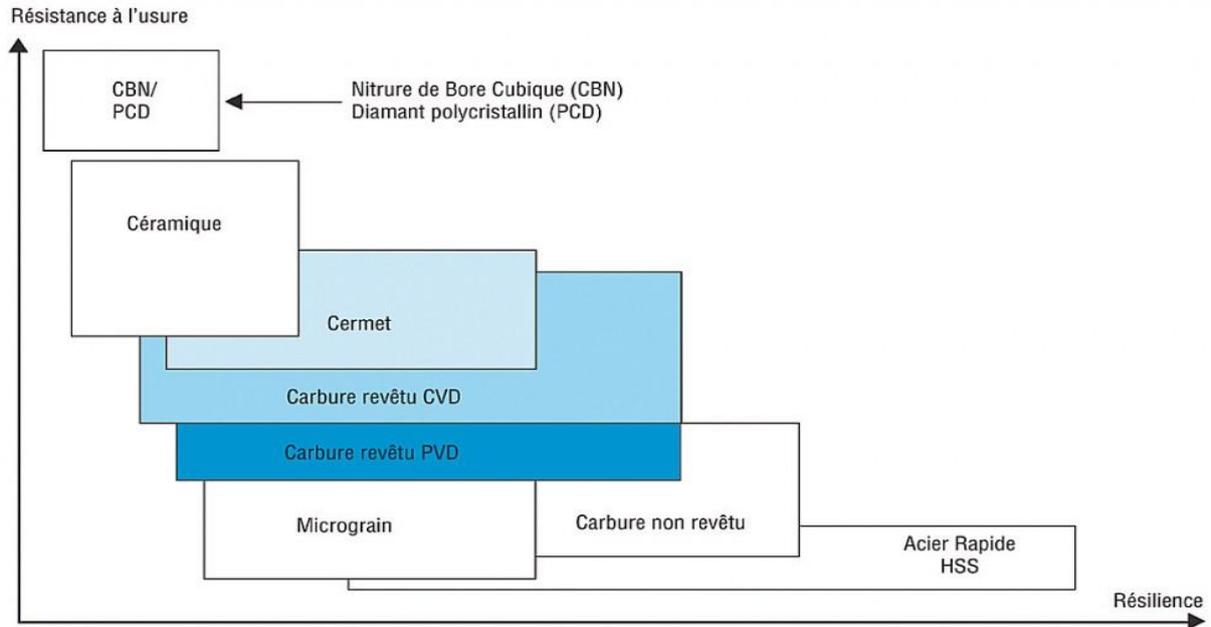
Les plaquettes peuvent être revêtues (PVD) de TiN, ce qui facilite la détection de l'usure. Une nuance additionnée de nitrure de titane, très dure, est principalement utilisée en finition pour les aciers trempés, les aciers trempés, les aciers cimentés et pour les fontes trempées. Une nuance de CBN pure, très résistante à l'usure, mais aussi très tenace est recommandée pour les aciers et les fontes trempées dans des conditions difficiles [8].

### **I.8.8 Diamant polycristallin (DP ou PCD)**

Le diamant polycristallin est composé de cristaux à grains ns de diamètres compris entre 5 et 30µm. Les plaquettes de coupe sont découpées par électroérosion dans un disque de diamant polycristallin. Il est recommandé pour la finition et la semi-finition des métaux non ferreux (aluminium, cuivre, plomb) et pour les matières non métalliques telles que le graphite et les composites.

**I.9 Illustration des aptitudes des matériaux des plaquettes d’usinage**

La photo suivant nous montre la résistance à l’usure des matériaux par apport à leur résilience :



**Figure I.12 :** aptitudes des matériaux des plaquettes d’usinage [8].

**I.10 Choix des matériaux des plaquettes pour outils en usinage**

Le Choix des matériaux des plaquettes dépend du matériau à usiner (aluminium, font, acier etc.), l’opération (ébauche, finition, semi finition etc.) et la machine à usiner.

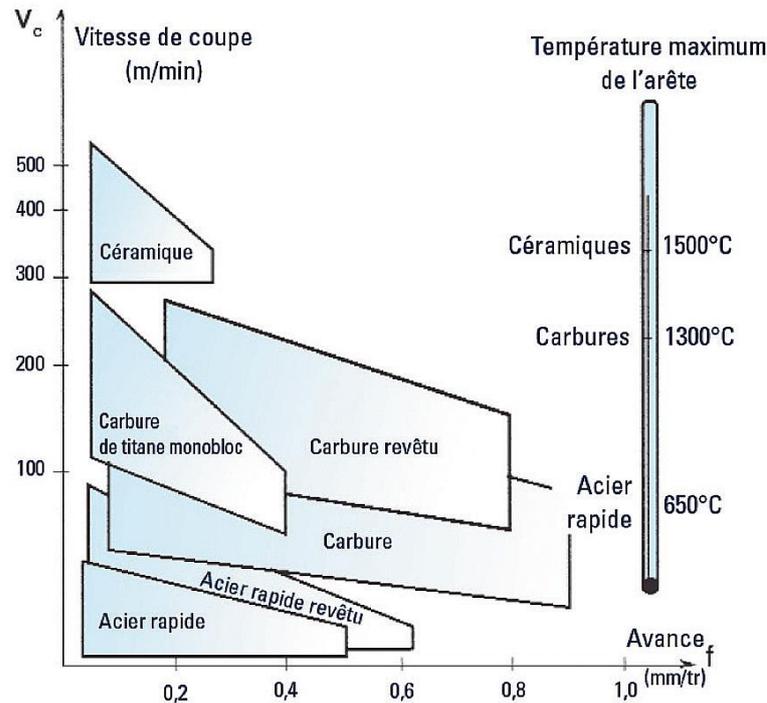
Le tableau suivant présente une comparaison et l’emploi des différents types de matériaux pour outils en usinage :

| Matériau     | Opération         |         |          | Matières à usiner                                   |                     | Remarques  |
|--------------|-------------------|---------|----------|---|---------------------|--|
|              | Travail aux chocs | Ebauche | finition | Bons résultats                                      | Résultats médiocres |  |
| Acier rapide | +++               | +       | +++      | Alliages légers, fontes, aciers inoxydables, titane | Matériaux durs      | Usinage de matériaux qui nécessite une bonne acuité d’arête. |

|                            |    |     |     |   |                                       |   |
|----------------------------|----|-----|-----|---|---------------------------------------|---|
| Acier rapide revêtus       | ++ | ++  | +++ | Alliages et fontes en fraisage de petites tailles de petit diamètre |                                       | Une bonne durée de vie pour des outils à arête fine. Ces outils existent surtout en fraisage et en perçage. |
| Carbure métallique         | ++ | ++  | ++  | Gamme de nuances adaptée à la plupart des matériaux                 |                                       | Emploi limité dans le cas des matériaux à usiner de très grande dureté.                                     |
| Carbure revêtus            | +  | +++ | ++  | Aciers, fontes, alliages réfractaires                               |                                       | Pour l'ébauche associée au revêtement CVD   |
| Carbure microgain revêtus  |    | +   | +++ | Aciers traités, fontes aciers alliés, aciers inoxydables            |                                       | Dureté importante et résistance convenable. Certaines nuances résistent mal aux chocs. Revêtement PVD.      |
| Carbure de titane monobloc |    | +   | +++ | Aciers au carbone, aciers alliés, fontes                            | Alliages de titane<br>Alliages légers | Dureté importante – Bonne acuité d'arête<br>Bon état de surface – Mauvaise tenue aux chocs.                 |

|                            |  |  |     |  |  |   |
|----------------------------|--|--|-----|--|--|---|
| Cermet                     |  |  | +++ | Fontes<br>Aciers traités<br>110 <Rm<<br>160,<br>daN/mm2, –<br>Réfractaires | Alliages de<br>titane<br>Alliages<br>légers<br>Aciers<br>inoxydables<br>pour les<br>céramiques | Finition à grandes<br>vitesses – Résistance<br>à l’usure élevée<br>Bonne tenue à la<br>température<br>Tenue aux chocs<br>aléatoires<br>Nécessité des<br>machines puissantes<br>et rigides.  |
| Céramiques                 |  |  | +++ | Fontes<br>Aciers traités<br>110 <Rm<<br>160,<br>daN/mm2, –<br>Réfractaires | Alliages de<br>titane<br>Alliages<br>légers<br>Aciers<br>inoxydables<br>pour les<br>céramiques | Finition à grandes<br>vitesses – Résistance<br>à l’usure élevée<br>Bonne tenue à la<br>température<br>Tenue aux chocs<br>alléatoires<br>Nécessité des<br>machines puissantes<br>et rigides. |
| Nitride de bore<br>cubique |  |  | +   | +++  | Aciers<br>trempés,<br>aciers<br>cémentés,<br>fontes<br>trempées                                | Nuance pure et<br>recommandée pour<br>conditions difficiles.  |
| Diamant<br>polycristallin  |  |  | +   | +++  | Métaux non<br>ferreux,<br>graphite et<br>composites  | Finition et semi-<br>finition.  |

**Tableau I.1** : Comparaison et emploi des différents types de matériaux pour outils en usinage [8].



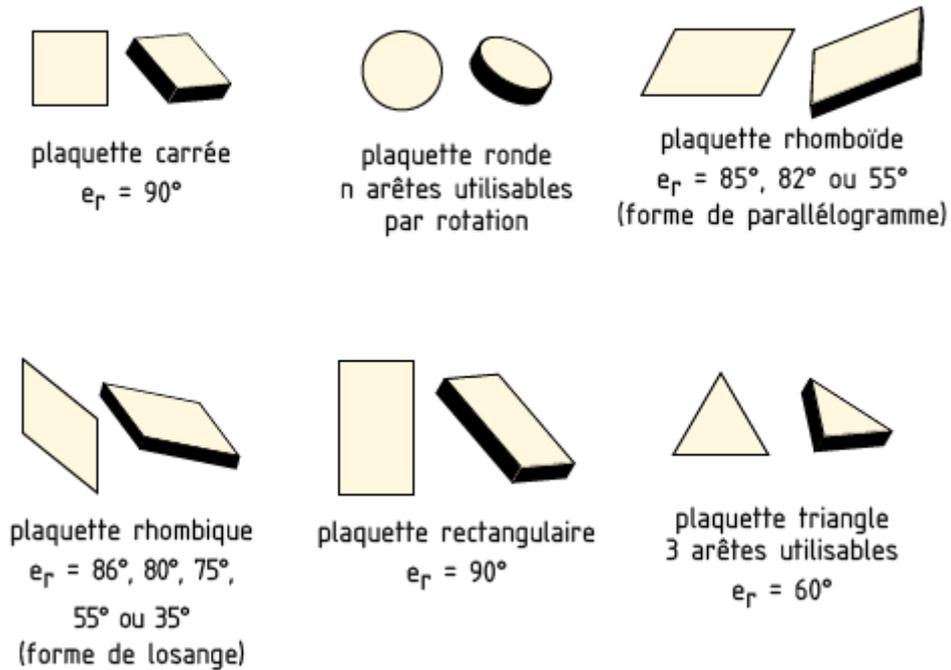
**Figure.I.13:** Matériaux à outil de coupe en fonction de paramètres de coupe [4].

La figure I.13 représente le diagramme qui donne un titre indicatif pour situer les différents domaines d'utilisation des matériaux pour outils.

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.

### I.11 forme géométrique des plaquettes de coupe

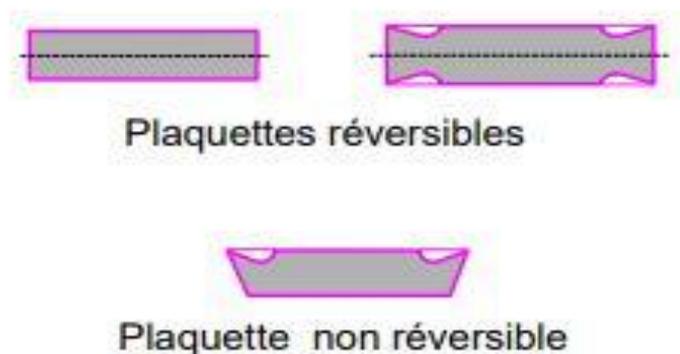
On utilise principalement des plaquettes de formes carrées, rondes, rectangulaires, rhombiques, rhomboïdales, triangulaires. La forme de la plaquette est choisie en fonction des surfaces à obtenir et du cycle de travail. Si plusieurs formes conviennent on choisira celle qui donne la meilleure résistance mécanique (er maximum). Si le critère résistance n'est pas prépondérant, on choisira la plus économique, c'est à dire celle qui permet de disposer du maximum d'arêtes utilisables (plaquette carrée). Il existe également des plaquettes de formes hexagonale, octogonale et pentagonale.



**Figure.I.14:** forme géométrique des plaquettes de coupe.

### I.12 Les plaquettes réversibles

Une plaquette est dite réversible si elle présente un plan de symétrie parallèle à ses deux faces les plus importantes. Elle peut alors être retournée sur son corps d'outil et voit le nombre de ses arêtes doublé, ce qui la rend particulièrement intéressante du point de vue économique. Ainsi une plaquette carrée passe de 4 à 8 arêtes utilisables.



**Figure.I.15:** Plaquettes réversibles et non réversibles.

**I.13 Conclusion**

Les plaquettes d'usinage sont aussi diverses que variés suivant leurs caractéristiques et leur utilisation. Le choix de l'outil de coupe adéquate pour l'opération d'usinage dépend de l'opération a effectué, type de la machine, matériaux à usiner, paramètre de coupe, etc...

# **Chapitre II**

*Technologie de fabrication des  
plaquettes et leur mode d'usure*

## II Introduction

Quels que soient la taille, le matériau ou la conception des composants, la plaquette qu'on utilise peut faire toute la différence dans notre productivité de fabrication. La sélection de la bonne nuance plaquette pour notre opération d'usinage spécifique nous aide à garder une longueur d'avance sur la concurrence. Le monde de la coupe des métaux ne serait pas le même sans plaquettes. Les plaquettes eux-mêmes sont faites de certains des matériaux les plus durs au monde.

Pour mieux comprendre la complexité du processus de leur fabrication, prenons l'exemple des plaquettes les plus traditionnelles, celles en carbure cémenté. Produit de la métallurgie des poudres, le carbure est fabriqué selon un processus minutieusement contrôlé. Sa structure et sa composition sont très importantes pour obtenir les performances attendues en usinage

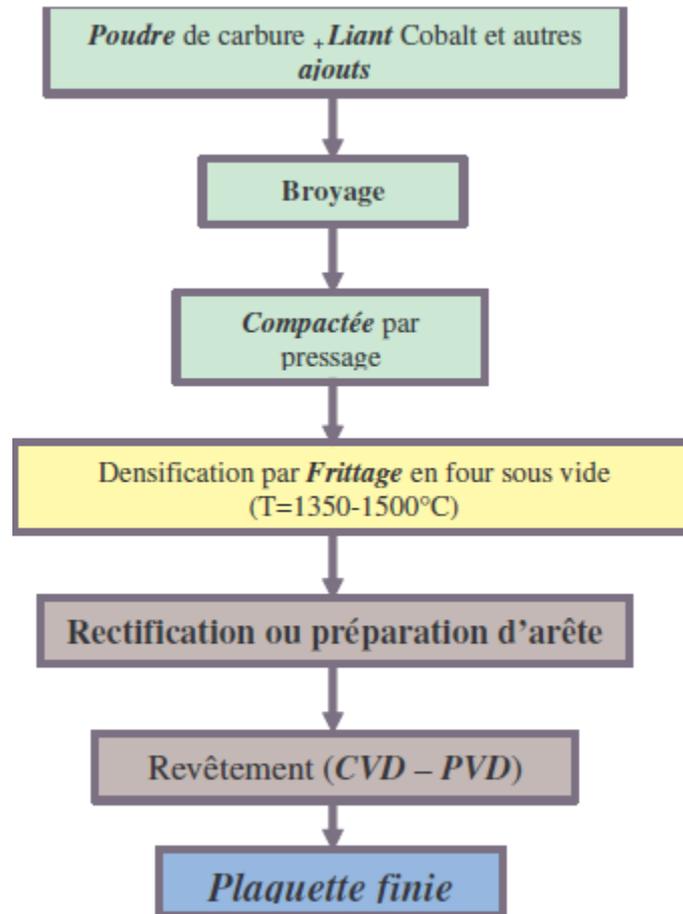
### II.1 Procédure d'élaboration des plaquettes en carbure de tungstène

Le carbure de tungstène est fabriqué par un procédé qui s'appelle le frittage (Figure II-1). Ce procédé est issu de la métallurgie des poudres dans lequel les matières premières sont des poudres métalliques. Dans le cas d'une plaquette pour outil de coupe, le mélange de poudres contient environ 80% de carbure de tungstène et 20% de cobalt utilisé comme liant entre les grains de tungstène

Ce processus comprend plusieurs étapes : préparation de la poudre, pressage de la poudre, frittage, traitement des plaquettes et revêtement. En utilisant différents types de poudre de tungstène obtenue par réduction, on peut produire toute une variété de nuances adaptées à chaque type d'applications.

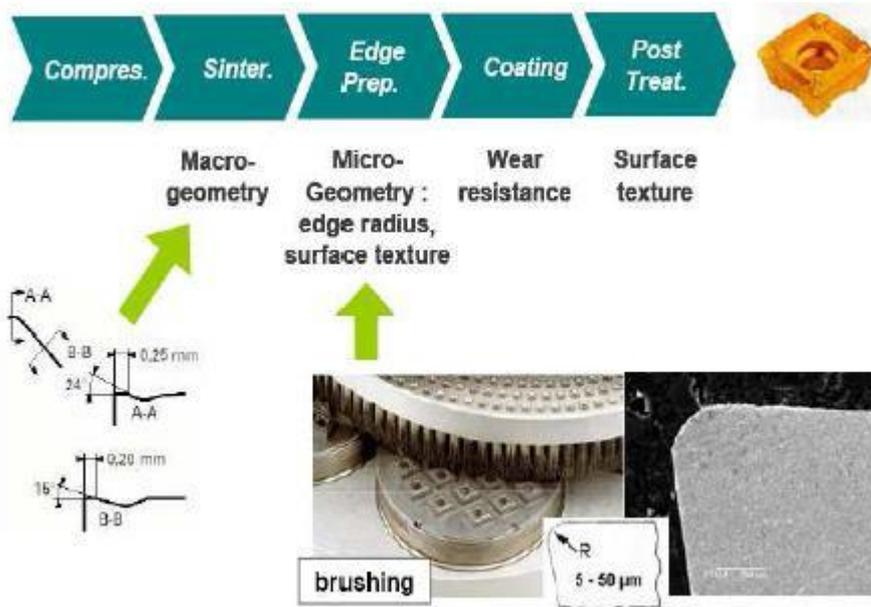
Après pesage, les poudres sont mélangées par broyage, puis compactées par pressage dans des presses utilisant des matrices spéciales. Après pressage, les plaquettes présentent une porosité proche de 50% en volume. Elles sont ensuite densifiées par un frittage à des températures situées entre 1350°C et 1550°C sous vide ou sous pression en atmosphère gaz neutre [10].

Pendant le processus de frittage, le carbure de tungstène et tout autre carbure sont partiellement dissous dans le liant métallique. L'existence d'un eutectique entre le cobalt, et les carbures, permet de former une phase liquide à une température inférieure à la température de fabrication du cobalt pur

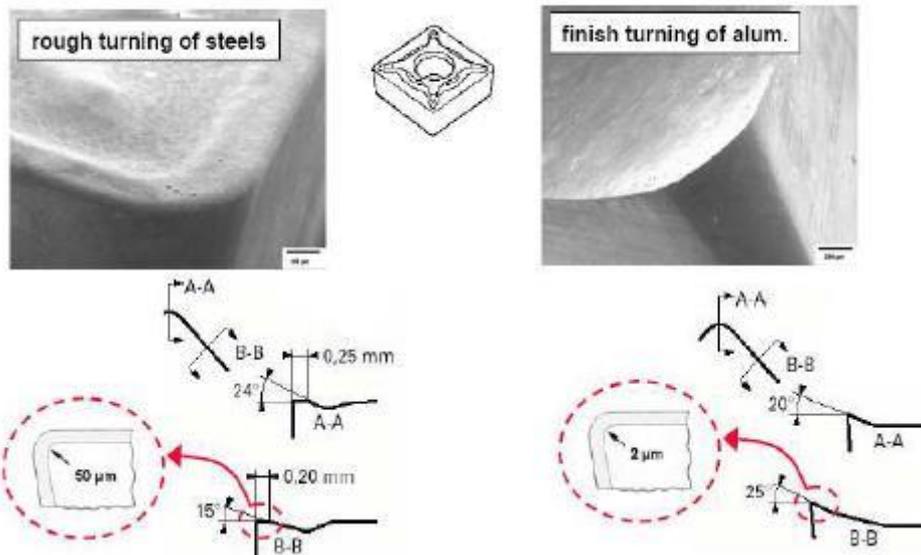


**Figure II.1 :** Procédure de fabrication du carbure de tungstène par frittage .

La Figure II.2 présente les étapes de fabrication des plaquettes carbure. Après l'opération de pressage, le frittage est réalisé pour élaborer la macro géométrie de l'outil. Cette macro géométrie englobe le brise copeau, proche de l'acuité d'arête dans le cas des géométries de tournage. Les géométries brises copeau sont intégrées lors du pressage. Une coupe transversale, permet d'observer la géométrie et les autres caractéristiques telles que l'angle de coupe ou le listel, intégrées à la plaquette [10].



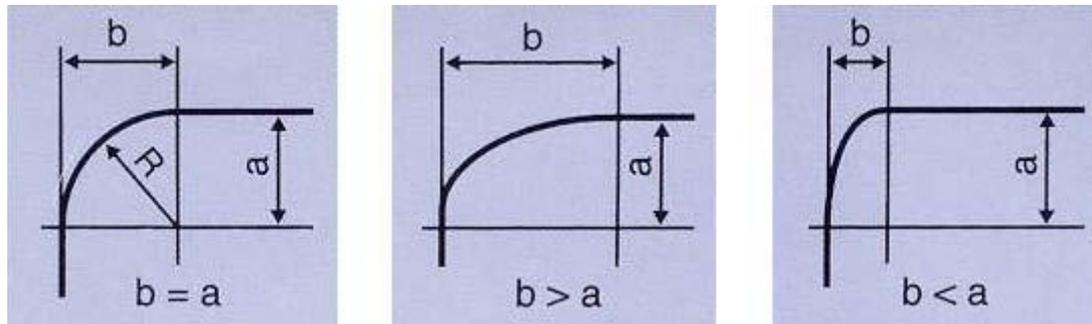
**Figure II.2:** Résumé de la fabrication des outils en carbure de tungstène, suivi d'une préparation d'arête et d'un surfaçage.



**Figure II.3:** Comparaison des préparations d'arête et de la géométrie brise copeau sur deux plaquettes carbure.

La Figure II.3 représente une géométrie brise copeau standard sur deux plaquettes carbure employé en tournage avec préparation d'arête. La préparation d'arête observée est en fonction de la matière et de l'opération d'usinage préconisée [10].

A l'issue de l'opération de préparation, la géométrie des arêtes de coupe peut être modifiée par brossage. Trois formes géométriques différentes de préparation d'arête peuvent être observées [11].



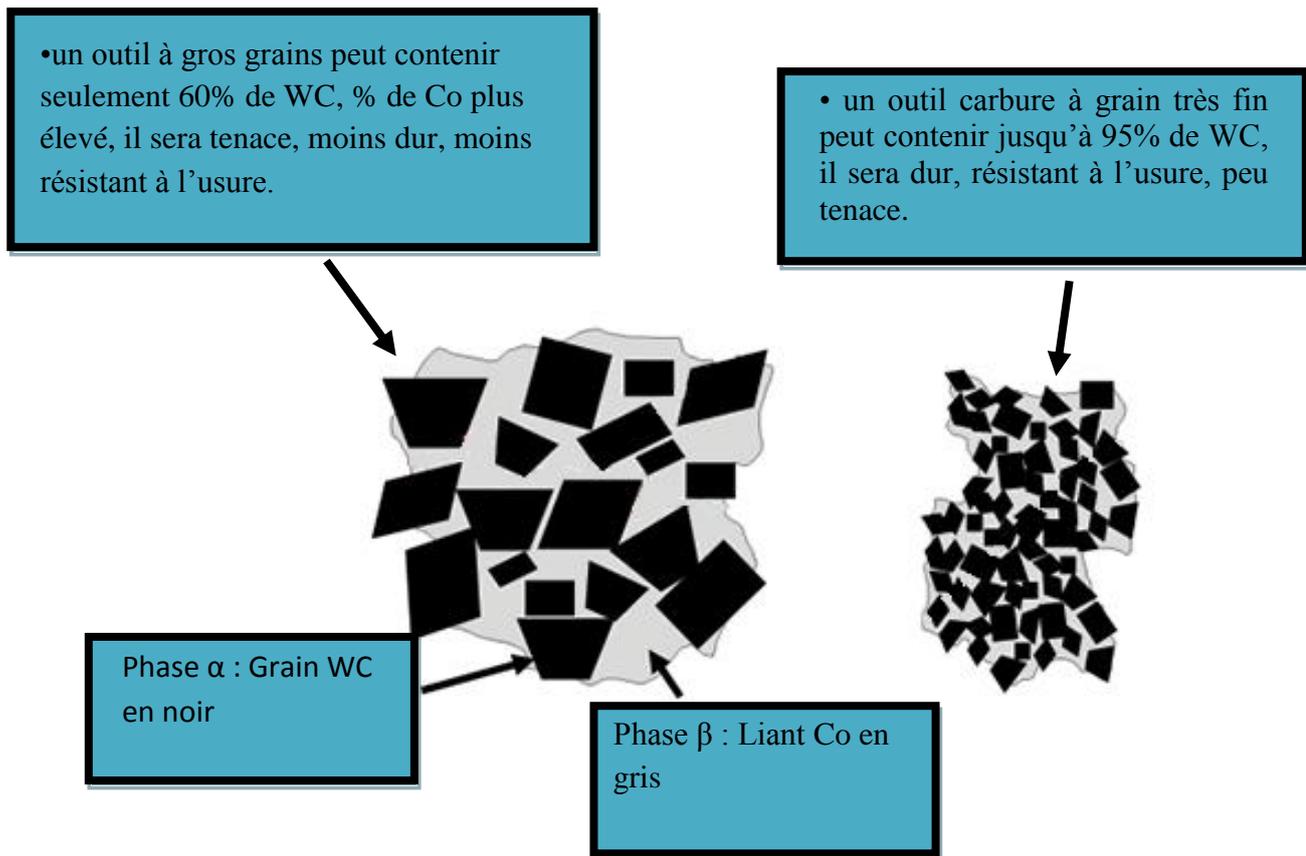
**Figure II.4 :** Géométries des arêtes préparées. De gauche à droite : arête circulaire unitaire, avec  $a/b=1$ , une arête à forme plate puis une arête en « chute d'eau » [11].

En modifiant les paramètres de la machine, la composition et la direction des brosses, différentes formes géométriques peuvent être conçues. Ces différentes formes géométriques, liées à la géométrie du brise copeau, jouent un rôle dans l'écoulement des copeaux, les contraintes mécaniques, et plus tard, sur le développement de l'usure.

## II.2 La structure des outils (WC-Co)

La composition chimique et la granulométrie du carbure affectent considérablement les propriétés mécaniques et physiques des outils en carbures. Par conséquent il est bien de comprendre l'importance de la métallurgie d'une plaquette de coupe (Figure II-5). Il y'a trois phases principales dans les métaux durs :

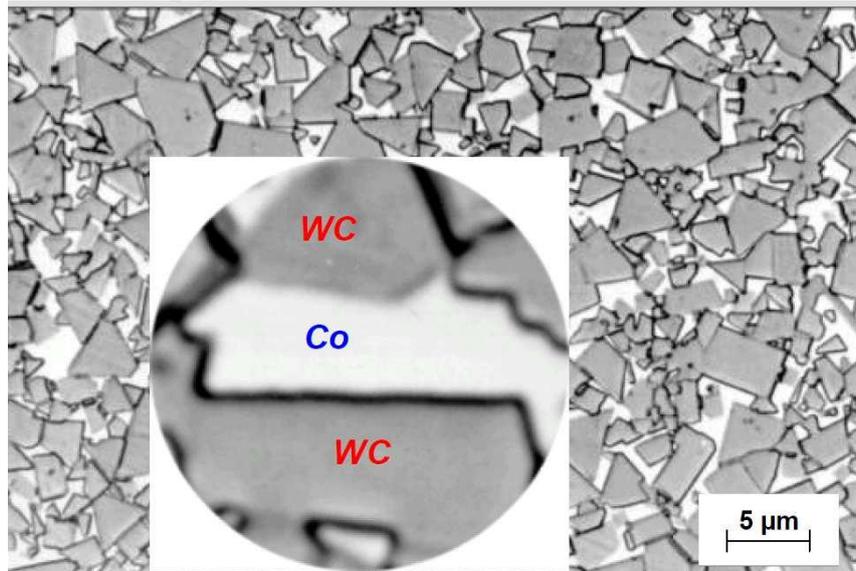
- la phase  $\alpha$  composée de grains monophasés de carbure de tungstène (WC), est une des phases dures.
- la phase  $\beta$  (ou phase métallique liante) est principalement composée de cobalt. C'est cette phase qui donne la ténacité au carbure cimenté.
- la phase  $\gamma$  (ou phase cubique) regroupe essentiellement les autres carbures à base de titane, tantale. Cette phase améliore la tenue à chaud du carbure.



**Figure II.5 :** Microstructures de plaquette carbure après frittage. Relation entre la grosseur des grains et le % de Co dans le carbure cémenté [12].

### II.2.2 Métal dur fritté

Le métal dur est fabriqué par métallurgie des poudres. Les principaux composants, le carbure de tungstène (la substance dure) et le liant (tel que le cobalt ou le nickel) ne sont pas combinés par fusion, mais la poudre est comprimée puis frittée sous haute température et pression. De plus, afin d'obtenir les caractéristiques requises, nous ajoutons de petites quantités de carbures auxiliaires et d'autres métaux aux composants principaux.



**Figure II.6 :** Microstructure du métal dur WC/Co [13].

### II.2.2.1 Données techniques

Le tableau II.1 représente les caractéristiques physicochimiques des éléments du métal dur fritté

| Eléments \ Caractéristiques    | Carbure de tungstène | Tungstène       | cobalt               |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| Formule moléculaire            | WC                   | W               | Co                   |
| Masse molaire (g/mol)          | 195,9                | 183,85          | 58,93                |
| Densité (g/cm <sup>3</sup> )   | 15,8                 | 19,3            | 8,9                  |
| Point de fusion (°C)           | 2870                 | 3422            | 1495                 |
| Point d'ébullition (°C)        | 6000                 | 5555            | 2870                 |
| Structure cristalline          | Hexagonale           | Cubique centrée | Cubique face centrée |
| Dureté Vickers (Hv)            | 1550                 | 500             | 320                  |
| Module de Young (GPa)          | 720                  | 407             | 290                  |
| Module d'élasticité (GPa)      | 550                  | 410             | 210                  |
| Conductivité thermique (W/mK)  | 84,02                | 174             | 100                  |
| Résistante à la traction (GPa) | 0,3448               | 1,510           | 0,8                  |
| Couleur                        | Gris métallique      | Gris acier      | Argente              |

**Table II.1** Les caractéristiques physicochimiques des éléments du métal dur fritté [13].

### II.2.3 Propriétés des carbures :

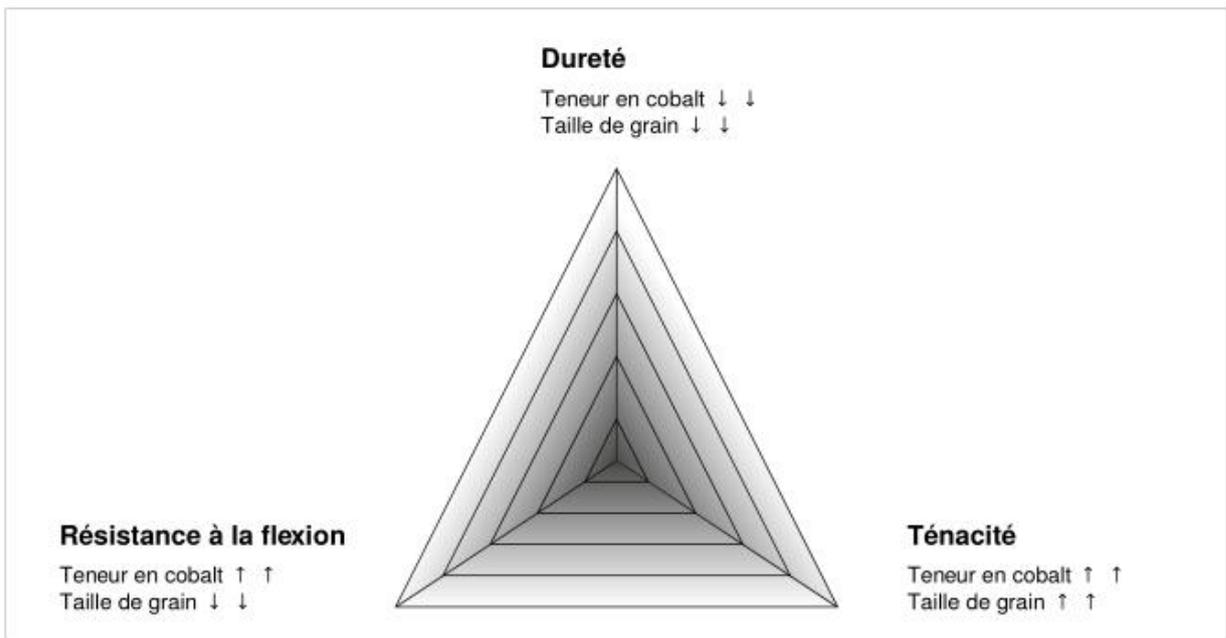
Les principaux paramètres permettant d'optimiser les caractéristiques relatives à l'application voulue sont la teneur en cobalt et la taille de grain du carbure de tungstène.

#### Dureté



Nuance de carbure (exemple extrême) :

- ▲ Dureté très élevée : 2650 HV30
- ▲ Faible taille de grain : < 0,5 μm
- ▲ Basse teneur en cobalt : 0,4 %
- ▲ Résistance à la corrosion si l'on ajoute du Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>



#### Résistance à la flexion



#### Ténacité

Nuance de carbure (exemple extrême) :

- ▲ Résistance élevée à la flexion : > 4000 MPa
- ▲ Faible taille de grain : < 0,5 μm
- ▲ Basse teneur en Co : ~ 8,5 %
- ▲ Résistance élevée à l'usure : 1930 HV30

Nuance de carbure (exemple extrême) :

- ▲ Ténacité suffisante : teneur en Co 20 %
- ▲ Bonne résistance à l'usure : 1030 HV30
- ▲ Grain moyen gros ou extragros

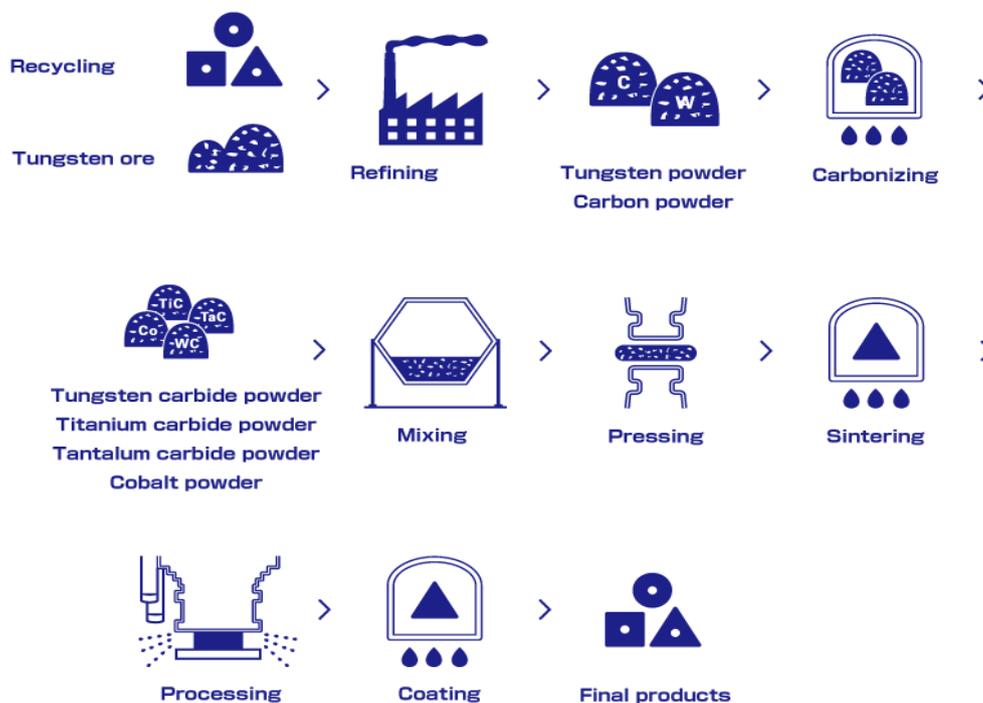
**Figure II.7 :** relation entre les caractéristiques du carbure, la teneur en cobalt et la taille de grain du carbure de tungstène [14].

Les propriétés mécaniques essentielles du carbure dépendent de la teneur en liant (Co) et de la taille de grain. La dureté, c'est-à-dire la résistance à l'usure augmente de façon inversement proportionnelle par rapport à la ténacité. Cela signifie, plus le matériau est dur, plus il est sensible aux contraintes d'entaille et aux impacts (le paramètre difficilement définissable de la « résistance aux impacts » corrèle fortement avec la ténacité du matériau).

En revanche, la résistance à la flexion ne dépend pas directement de la dureté, mais de la taille de grain du carbure de tungstène et de la teneur en cobalt. L'usure adhésive (« tendance à l'adhésion ») décroît p.ex. Quand la taille de grain et la teneur en cobalt du carbure utilisé diminuent. Ces dépendances déjà à elles seules (la liste pourrait s'allonger à l'infini pour d'autres phénomènes d'usure et mécanismes de défaillance) démontrent que le choix de la bonne nuance de carbure n'est possible que sur la base d'une approche systématique et/ou à partir des expériences acquises avec d'autres processus similaires [14].

### II.3 Processus de fabrication des plaquettes de coupes

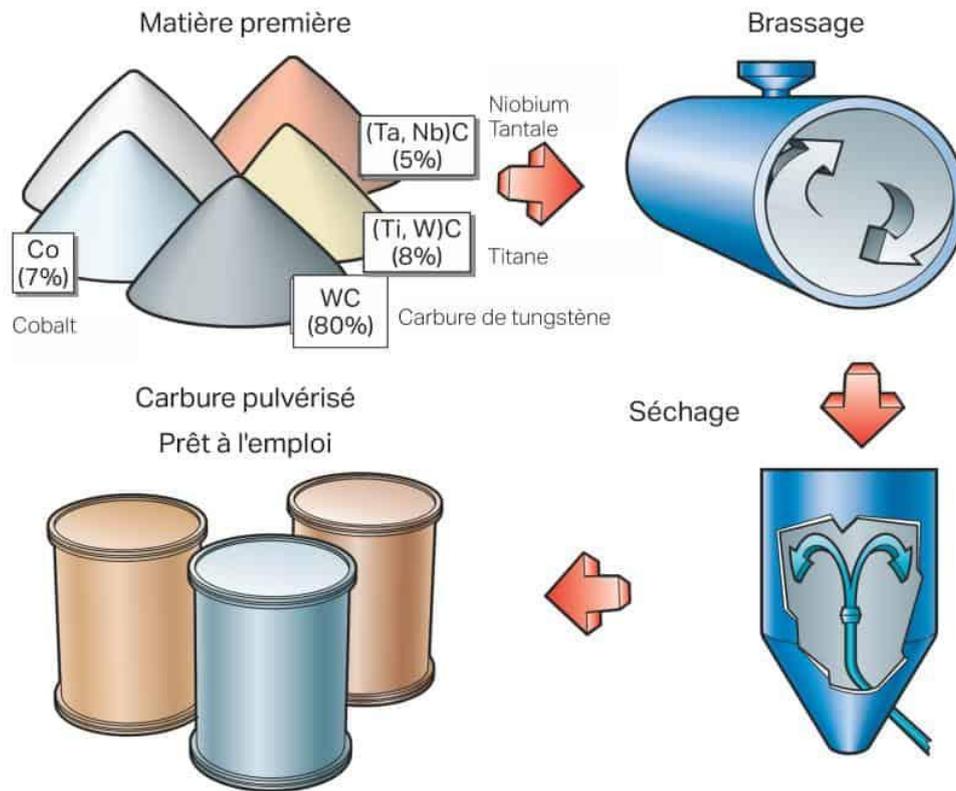
Les plaquettes de coupe sont produites par la métallurgie des poudres, ce qui implique une grande variété de produits demandant des processus de fabrication avec des étapes différentes (Figure II.8)



**Figure II.8** : cycle de fabrication.

### II.3.1 Préparation de la poudre

Nous obtenons les poudres en broyant les matières premières : carbure de tungstène, cobalt, carbure de titane, tantale... Ces poudres sont mélangées entre elles pour obtenir la nuance souhaitée pour notre plaquette. Ces poudres sont ensuite séchées, tamisées et stockées dans des conteneurs. (Figure II.9)



**Figure II.9 :** Préparation de la poudre WC/Co.

Les poudres de cobalt et de carbure de tungstène sont mélangées par broyage en milieu liquide. L'objectif de ce broyage n'est pas de diminuer la taille des grains, mais de casser les agglomérats et d'obtenir un mélange parfaitement homogène. On utilise des agents broyants en carbure cémenté afin d'éviter toute pollution. Un liant organique soluble dans le liquide est ajouté dès l'étape du broyage afin de garantir sa parfaite répartition [15]. Le rôle de ce liant organique est :

- De permettre une étape ultérieure de granulation
- De protéger les poudres de l'oxydation
- De donner une tenue à crû satisfaisante aux comprimés afin de permettre leur usinage

### II.3.2 Séchage-granulation

A l'issue du broyage, le liquide chargé des particules de cobalt et de carbure de tungstène, et dans lequel est dissous ce liant organique, subit une opération de séchage-granulation. Le liquide est pulvérisé en fines gouttelettes dans une chambre de séchage où circule de l'azote chaud. Les gouttelettes sont séchées, et on récupère des granulés de diamètre variant de 40 à 200  $\mu\text{m}$ , dans lesquels les poudres WC et Co sont intimement liées par le liant organique [15].

La poudre ainsi granulée est appelée « mélange prêt à l'emploi » (MPE). Les MPE ne sont plus pulvérulents et ceci présente plusieurs avantages :

- ils peuvent être manipulés sans risque par les opérateurs
- la forme sphérique des granulés confère au mélange une bonne coulabilité d'où des remplissages rapides et homogènes.

La densité apparente des mélanges granulés varie de 2,8 à 3,5  $\text{g/cm}^3$ .

### II.3.3 La mise en forme : compression et usinage a crû

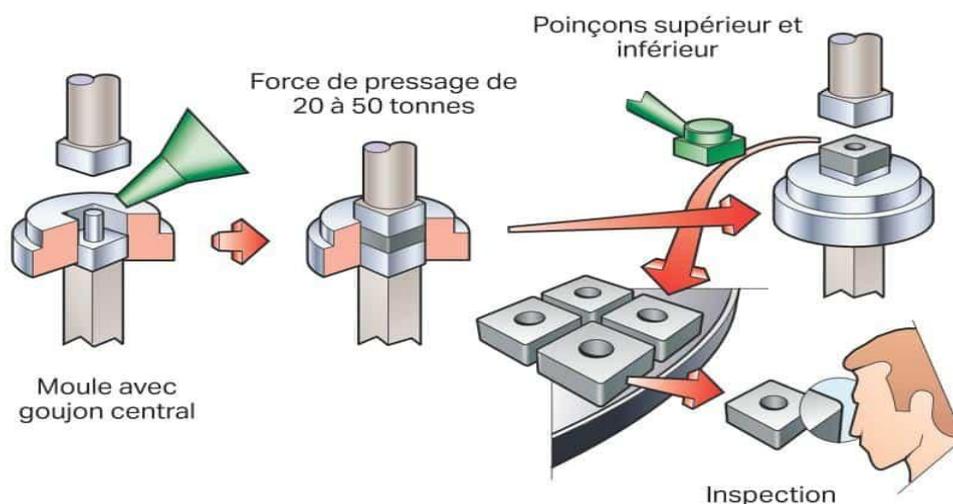
Le procédé de mise en forme le plus utilisé est la compression uni axiale en matrice fermée. Cette opération est réalisée sur des presses hydrauliques, mécaniques ou rotatives. Les presses hydrauliques ont en règle générale des capacités plus importantes (supérieures à 50 tonnes) que les presses mécaniques, mais ont l'inconvénient d'être plus lentes. Les presses rotatives comportent 10 à 30 jeux d'outillages identiques et tournent à la vitesse de 15 à 50 tours par minute, ce qui leur donne une très grande productivité, mais des coûts d'outillage également très importants. Les domaines d'utilisation de ces différentes presses sont donc clairement délimités :

- les presses hydrauliques sont réservées aux pièces présentant une surface comprimée étendue, avec une hauteur réduite comparée à leur surface. Les séries sont en général de taille limitée.
- les presses mécaniques sont les plus utilisées, car elles permettent la compression de pièces de petite ou de moyenne taille. La cadence de frappe varie de 10 à 20 coups par minute, ce qui autorise déjà la réalisation de grandes séries.

- les presses rotatives sont réservées aux très grandes séries et souvent pour des pièces plutôt petites. En effet les coûts importants d'outillage ne peuvent être amortis que sur un très grand nombre de pièces.

La compression en matrice fermée permet un très bon contrôle des dimensions du comprimé : Les cotes sont données par la géométrie de la matrice et par la hauteur comprimée. Par contre, il y a pendant l'opération de compression des frottements poudre/matrice, qui génèrent un gradient de densité sur le comprimé. Ces variations de densité donneront des variations dimensionnelles après frittage, et les pièces devront être reprises en rectification si les déformations sont inacceptables pour l'application envisagée. Pour pallier cet inconvénient, on utilise également souvent la compression isostatique à froid en particulier dans le cas de pièces très volumineuses, pour lesquelles ces variations dimensionnelles deviennent trop importantes. Lors de la compression isostatique, la poudre est introduite dans une chaussette de polyuréthane ou de latex. Après avoir fait un vide étanche, la chaussette est placée dans une enceinte remplie d'eau, où l'on augmente la pression jusqu'à un niveau de compression compris entre 150 et 200 MPa (1500 à 2000 bar). Ce mode de mise en forme se caractérise par des gradients de densité réduits, mais la géométrie du comprimé n'est pas parfaitement maîtrisée. Aussi il est nécessaire d'usiner le crû avant frittage pour obtenir une parfaite maîtrise des cotes frittées [15].

L'opération de compression se fait par réarrangement des grains les uns par rapport aux autres. La densité des comprimés correspond à environ 52 à 55 % de la densité frittée, soit 7,5 à 8,5 g/cm<sup>3</sup>.



**Figure II.10** : Opération de compression de la poudre WC/Co.

### II.3.4 Le frittage

Le durcissement de la plaquette se fait par frittage dans un four à environ 1500°C durant 13 heures. Durant cette étape, les grains de cobalt fondent et viennent lier les grains de carbure qui se rapprochent les uns des autres par capillarité. En sortant du four, les plaquettes ont réduit de 50% de leur volume initial et sont presque aussi dures que le diamant.

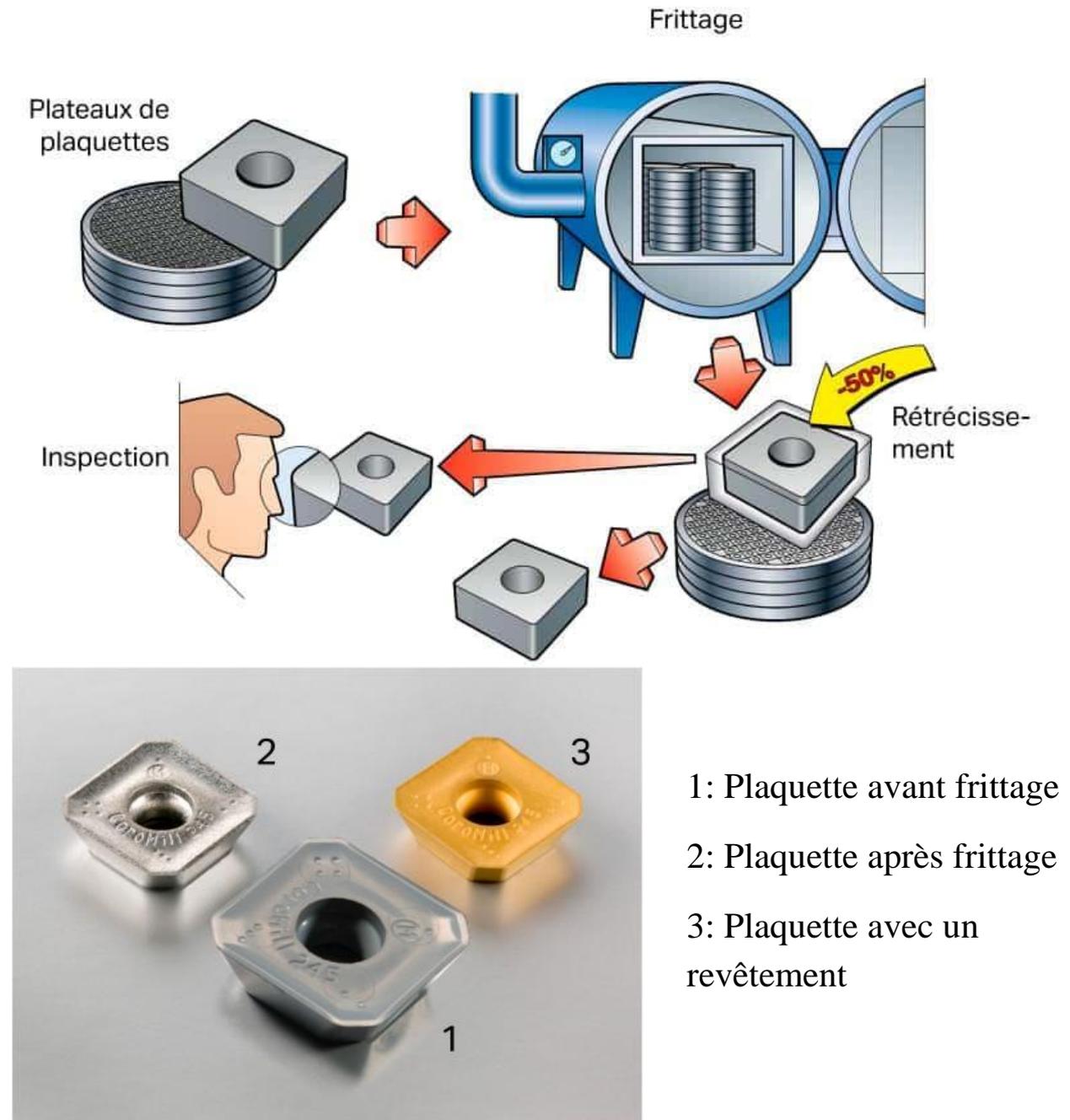


Figure II.11 : frittage des plaquettes.

### **II.3.4.1 Procédure d'élaboration du frittage**

#### **II.3.4.1.1 Le déliantage**

Il se réalise entre 100 et 450°C sous une atmosphère d'azote ou d'hydrogène selon le liant organique à éliminer. Pendant cette montée en température, le liant se décompose en sous-produits gazeux, qui sont éliminés par la circulation des gaz.

#### **II.3.4.1.2 La montée en température**

En fin de déliantage, on réalise un vide primaire, puis on monte en température jusqu'à l'apparition de la phase liquide. Les oxydes de cobalt et de tungstène répartis à l'état de traces sont alors réduits en consommant une partie du carbone libre disponible. Pendant la montée, le carbure de tungstène se dissout dans le cobalt jusqu'à atteindre la solubilité maximale de 16 masse % à 1275°C. A l'apparition de la phase liquide, plus de 80 % du retrait s'est réalisé en phase solide. Un squelette de WC a été formé essentiellement par réarrangement des grains de WC. On note déjà un factage des grains de WC [15].

#### **II.3.4.1.3 L'apparition de la phase liquide**

La fusion de la solution solide Co-WC se produit entre 1275 et 1340 °C, température à laquelle le cobalt est complètement fondu. On fait alors un palier en température afin de s'assurer que toutes les pièces du four passent en phase liquide en même temps, avant de poursuivre la montée. On casse également le vide avec de l'argon, afin de limiter la cinétique de vaporisation du cobalt. Les mécanismes débutés en phase solide tels que le réarrangement et la dissolution/précipitation du WC s'accélèrent [15].

#### **II.3.4.1.4 Le palier de frittage**

La température de frittage dépend de la composition de la nuance (taille des grains de WC, teneur en cobalt). Elle varie entre 1350 et 1500°C. Après quelques minutes, le carbure est complètement densifié. Seuls quelques pores isolés restent stables. La taille des pores stables dépend de la composition de la nuance. En fin de frittage, les grains de WC ont grossi (mûrissement d'Ostwald) et sont facettés. En plus du mûrissement d'Ostwald, il existe une croissance dite anormale des grains de WC : les plus petits grains se dissolvent dans la matrice et le WC dissous précipite de façon préférentielle sur les grains les plus gros et leur croissance est alors catastrophique. Afin de maîtriser la qualité des frittés, on ajoute d'autres carbures métalliques, qui inhibent ou ralentissent ces phénomènes [15].

### II.3.4.1.5 Le frittage sinter-HIP

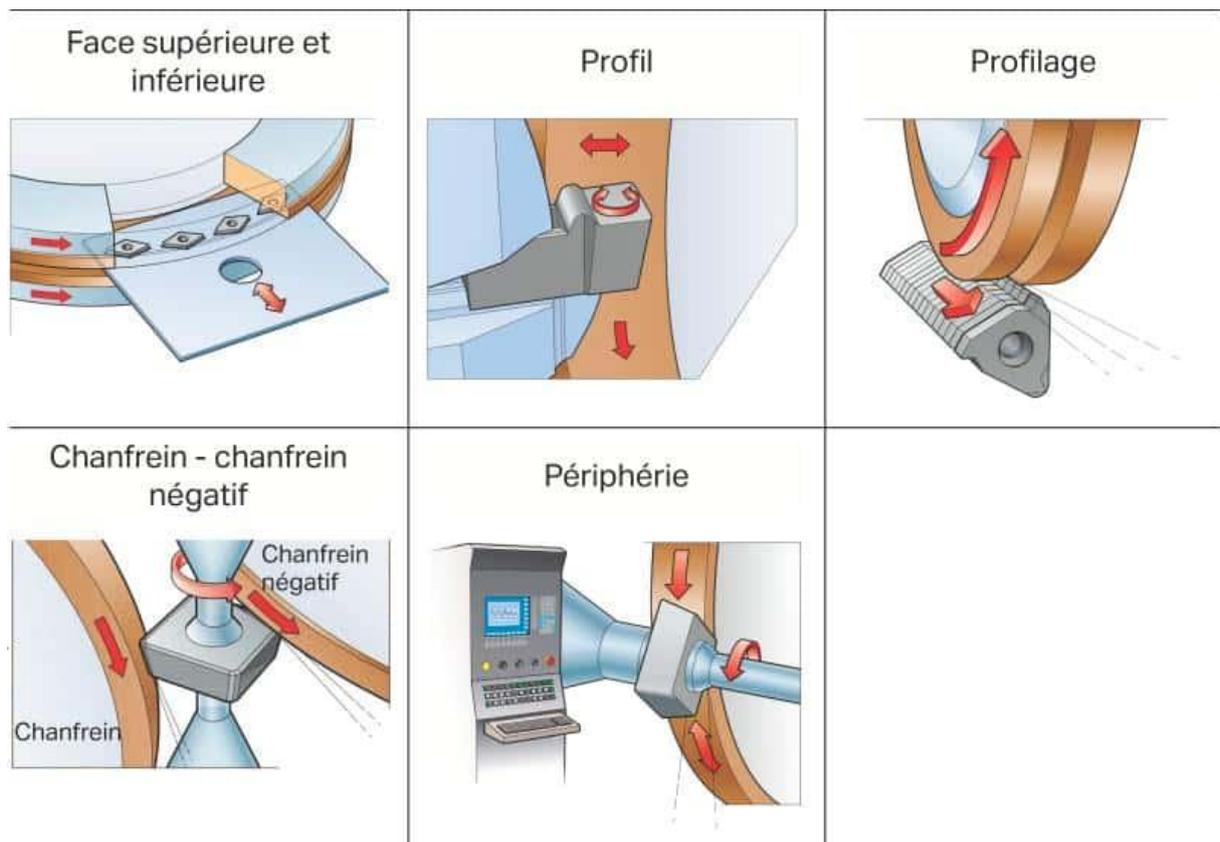
Lorsque le four le permet, on augmente la pression d'argon dans le four jusqu'à 60 à 100 bar. Cette pression supplémentaire permet de réduire les derniers pores stables

### II.3.4.2 Le refroidissement

Il se fait lentement sous argon, jusqu'à température ambiante. Il s'est alors écoulé entre 15 et 48 heures pour un cycle industriel. Pendant l'opération de frittage, se produit un retrait linéaire de 18 à 20%. Les pièces obtenues sont complètement denses, la porosité résiduelle ne dépassant pas 0,02 vol. % dans la très grande majorité des cas

### II.3.5 La rectification

Les surfaces de coupe sont rectifiées pour garantir leur précision, la plaquette étant tellement dure que la meule utilisée pour les rectifier est composée de million de petit diamants synthétiques industriels.



**Figure II.12** : rectification des plaquettes.

### II.3.6 Le revêtement

Les plaquettes peuvent ensuite être revêtues pour améliorer encore leurs caractéristiques, Deux procédés existent : 'CVD' (Dépôt chimique en phase vapeur) et 'PVD' (Dépôt physique en phase vapeur)



**Figure II.13** : Exemple d'une plaquette disponible avec différents revêtements.

Il est possible de reconnaître le revêtement appliqué sur une plaquette en fonction de sa couleur.

#### II.3.6.1 Procédé de revêtement CVD

Lors du procédé 'CVD', le revêtement est formé suite à une réaction chimique avec différents gaz, le four est maintenu entre 800 et 1100°C pendant une trentaine d'heures. Le revêtement obtenu a une épaisseur de 2 à 20 microns. Ce procédé permet d'obtenir des revêtements épais et d'épaisseur constante qui donne une très bonne résistance à l'usure à l'outil ainsi qu'une bonne résistance thermique (Figure II-14)

Avantages du revêtement CVD:

- Possibilité de réaliser des revêtements épais
- Possibilité de réaliser des revêtements d'épaisseur constante
- Très bonne adhérence du revêtement sur le carbure de la plaquette
- Excellente résistance à l'usure (au détriment de la résistance aux chocs)

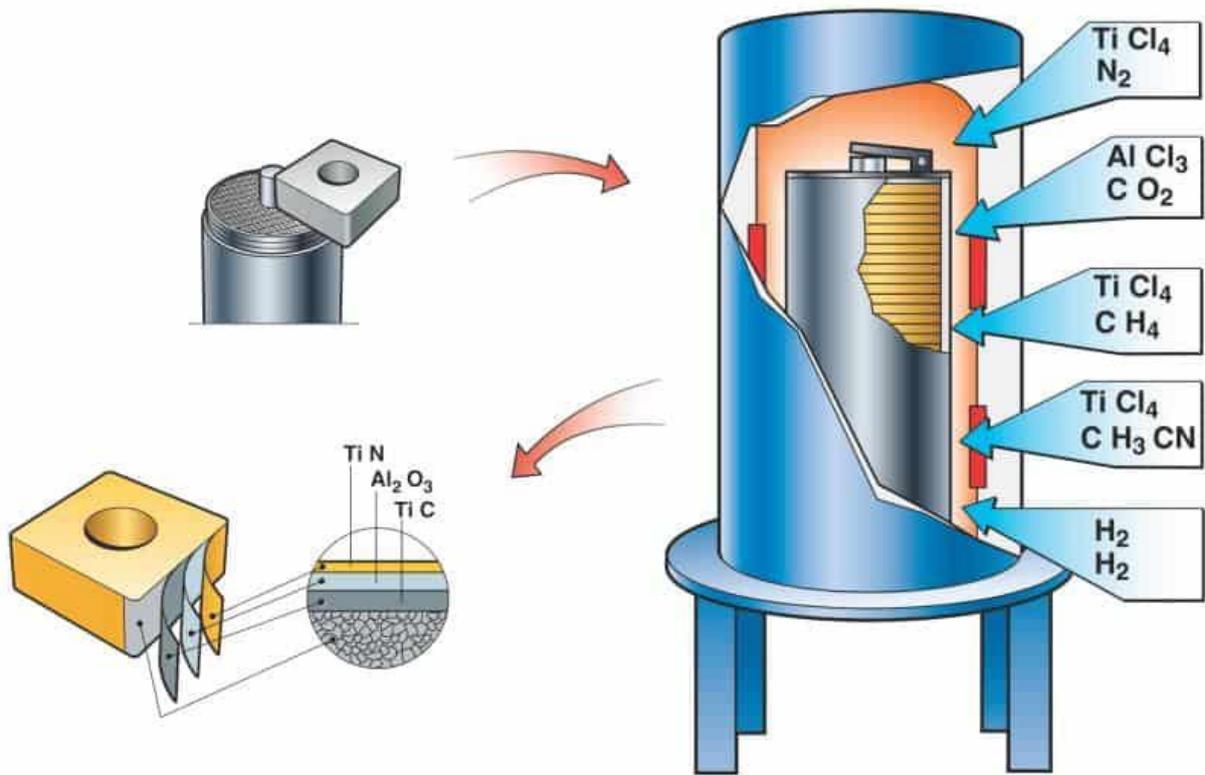


Figure II.14 : Procédé de revêtement CVD.

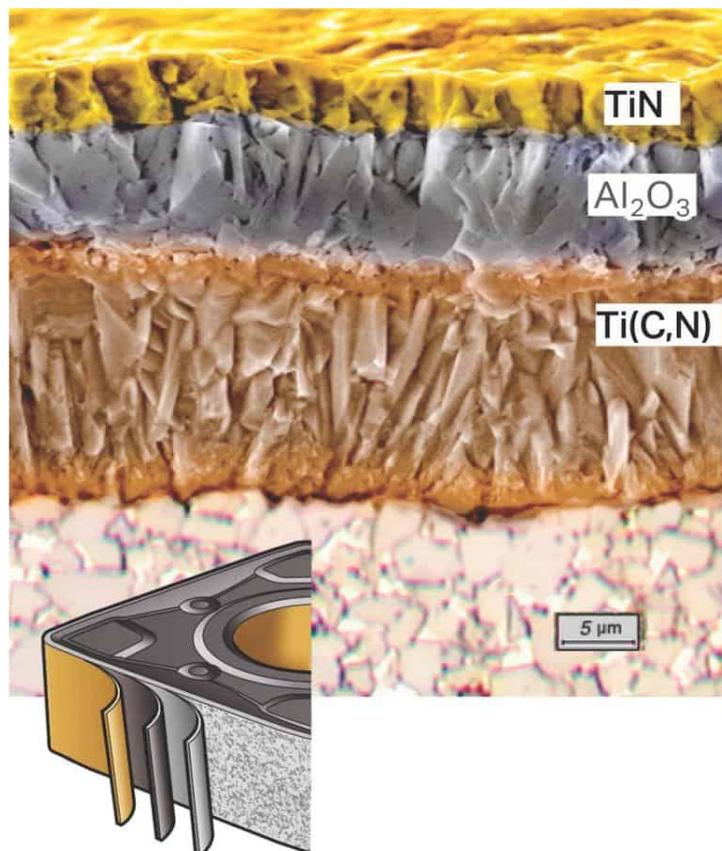


Figure II.15 : Coupe au microscope des différentes couches appliquées sur la plaquette carbure lors d'un revêtement CVD.

### II.3.6.2 Procédé de revêtement PVD

Lors du procédé 'PVD', le revêtement est transporté sur la plaquette d'une source métallique (généralement le titane) par un gaz ionisé qui se condense à la surface de la plaquette (comme quand l'air humide se condense sur les route en hiver pour former du verglas). Le revêtement obtenu possède une épaisseur de 2 à 6 microns, ce revêtement plus mince permet d'obtenir des arrêtes de coupe plus vives (plus coupantes) et donne à la plaquette une meilleure résistance aux chocs.

Avantages du revêtement CVD:

- Le procédé PVD donne une bonne ténacité à l'arête de coupe
- Les revêtements PVD permettent de conserver des arrêtes plus vives
- Le procédé PVD peut s'utiliser sur des outils carbure monobloc

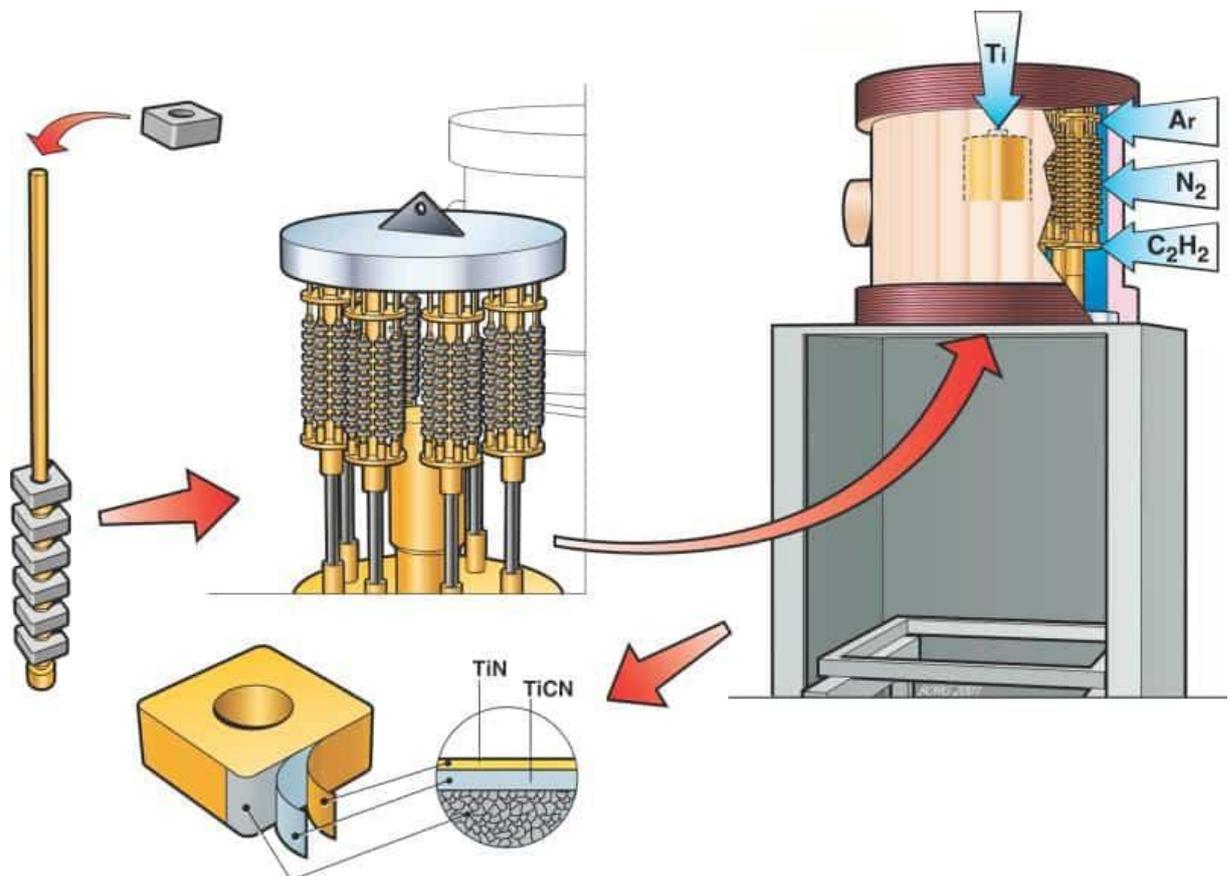
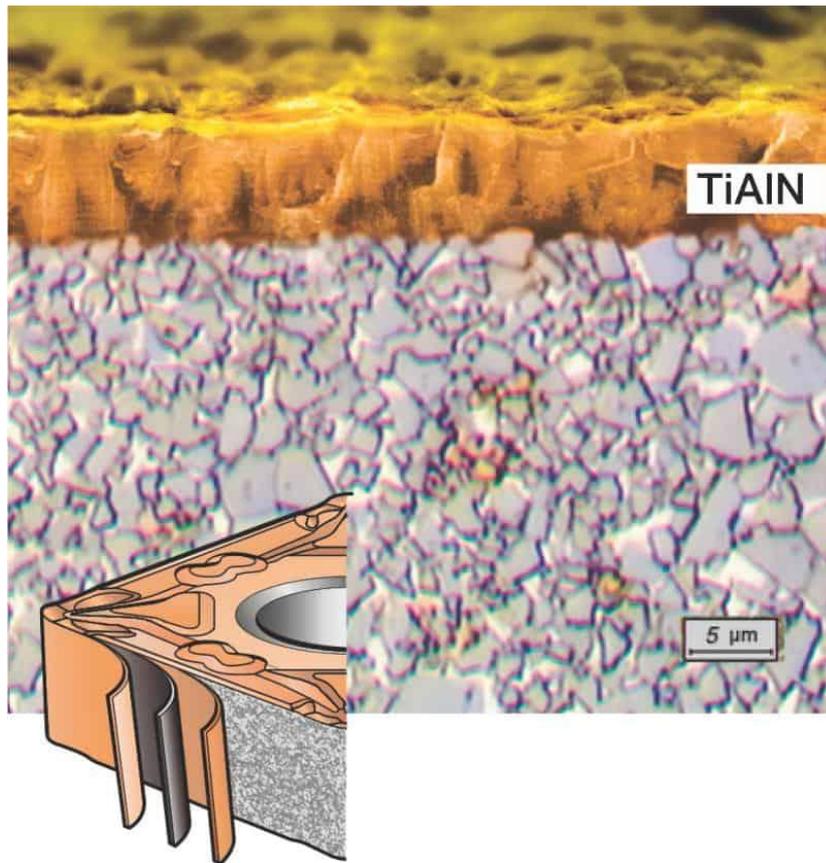


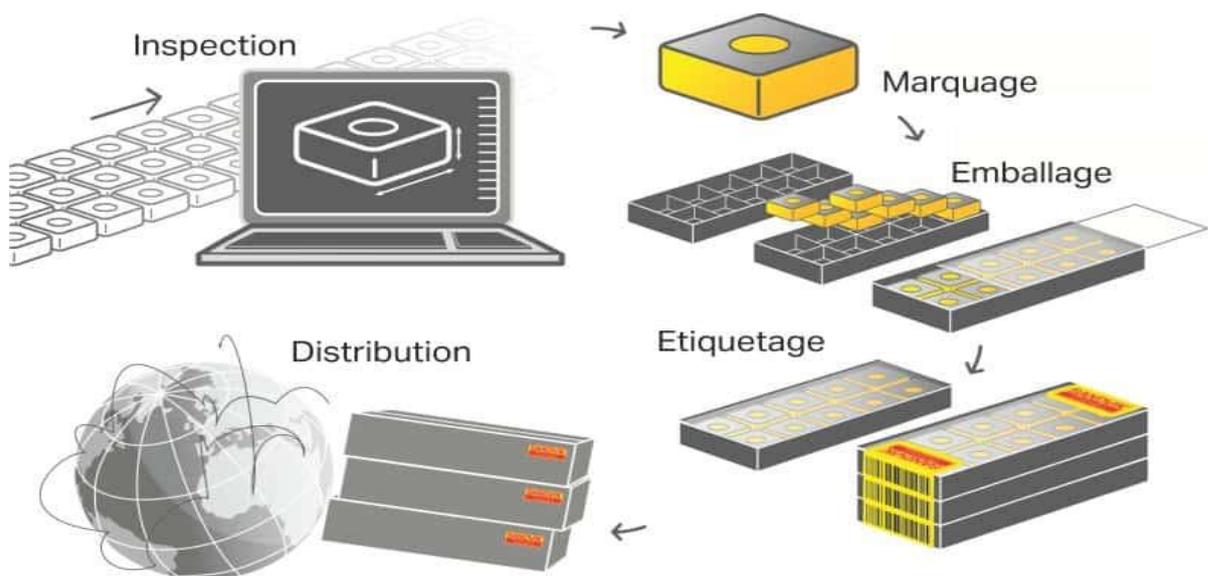
Figure II.16 : Procédé de revêtement PVD.



**Figure II.17 :** Coupe au microscope des différentes couches appliquées sur la plaquette carbure lors d'un revêtement PVD.

### II.3.7 Contrôle final et expédition

Les plaquettes sont une dernière fois contrôlées, puis marquées (marquage laser), emballées et expédiées.



**Figure II.18 :** Contrôle final et expédition des plaquettes.

## II.4 Mode d'usure

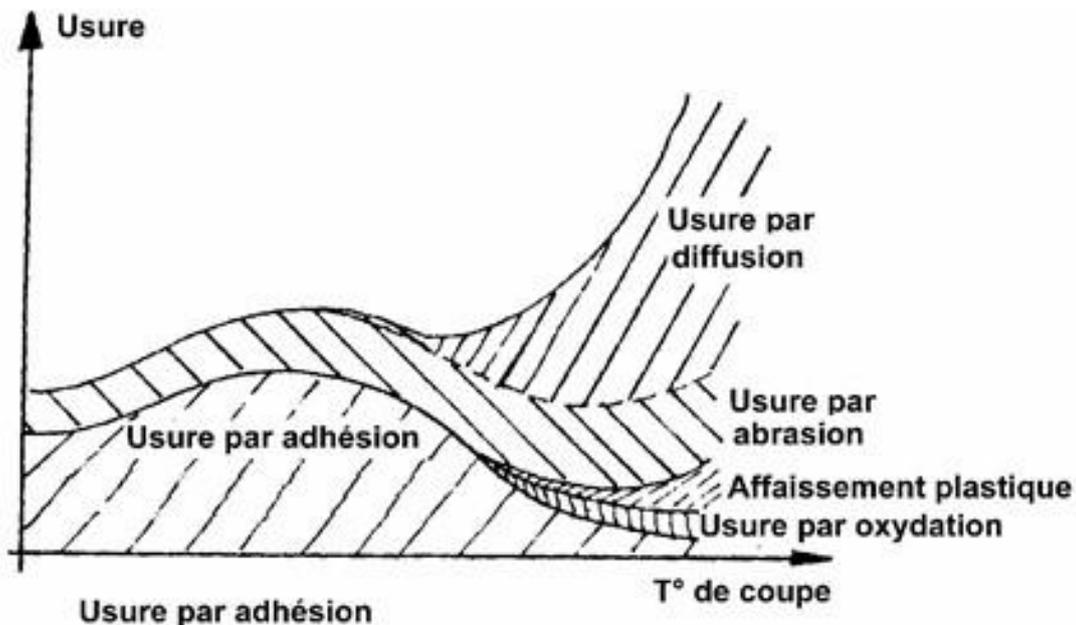
L'usure, d'après la définition normalisée, est la perte progressive de matière de la surface active d'un corps par suite du mouvement relatif d'un autre corps sur cette surface. Dans la formation du copeau, la partie tranchante de l'outil en mouvement relatif avec la pièce et le copeau est soumise à des sollicitations mécaniques et thermiques très intenses qui provoquent son usure et sa détérioration rapide [16].

La plaquette subit constamment un effort important, ce qui entraîne son usure. Si elle n'est pas traitée, l'usure peut être une source de surcoût pour la production et entraîner des effets néfastes ou une faible productivité pour un fabricant.

Il est toujours recommandé de choisir la plaquette et les paramètres de démarrage qui conviennent le mieux à l'opération d'usinage

### II.4.1 Les phénomènes d'usure

L'usure des plaquettes de coupe est la conséquence de divers mécanismes (phénomène mécanique et phénomène physico-chimique). Ces phénomènes d'usure varient en fonction de la température :



**Figure II.19** : Les phénomènes d'usure en fonction de la température [16].

### II.4.1.1 Les phénomènes mécaniques

- **Abrasion** : Il est dû au frottement de la matière de la pièce le long de la partie avant de la face de dépouille de la plaquette. Ce sont les particules dures qui sont à l'origine de cette usure. Elles peuvent être présentes dans la pièce sous la forme d'inclusions et de précipités ou provenir de l'outil lui-même par d'autres mécanismes d'usure telle que l'adhésion.
- **Adhésion** : cette usure est due au frottement de la matière (pièce usinée et copeau) sur la plaquette. A cause des fortes pressions il y a des micros-soudures qui se créent et se rompent au cours de l'usinage. Ce processus conduit soit à l'apparition de l'arête rapportée si ces micros-soudures sont plus résistantes que celles de la plaquette, soit à l'usure de la plaquette, si la micro-soudure sur le copeau est plus résistance que celle de la plaquette.
- **Déformation plastique** : les hautes températures à l'interface (outil/copeau) et la pression exercée sur la plaquette provoquent la déformation plastique de l'arête de coupe. Les conditions d'usinage sévères (grandes vitesses de coupe et grandes avances) ainsi que la dureté élevée de certaines pièces sont donc favorables à l'apparition de tels phénomènes.
- **Fissuration** : Durant le processus d'usinage, l'outil est soumis à des contraintes thermiques et mécaniques très importantes. La combinaison des hautes températures à l'interface outil / copeau et des vibrations de l'outil engendrées par la déformation plastique peut provoquer des fissures au sein de l'outil.

### II.4.1.2 Les phénomènes physico-chimiques

- **Corrosion** : le contact du matériau naissant avec l'air ou le lubrifiant crée une corrosion chimique ou électrochimique.
- **Diffusion** : cette usure apparaît à une certaine vitesse élevée, donc a une certaine température. La structure de la plaquette change due a la migration des constituants chimiques de l'outil vers le copeau ou de la matière usinée vers la plaquette.

## II.4.2 Manifestations de l'usure

Lors du procédé d'usinage, les différents phénomènes d'usure peuvent se produire et c'est les conditions d'usinage qui détermineront les mécanismes d'usure qui manifesteront sous différentes formes.

### II.4.2.1 Usure en cratère

L'usure en cratère, est un motif d'usure concave sur la face de coupe de la plaquette à une courte distance de l'arrête de coupe. Elle se produit lorsque des copeaux s'écoulent sur la face de la plaquette à très haute température. Une combinaison de diffusion, de décomposition et d'usure abrasive provoque ce type d'usure.



**Figure II.20** : Usure en cratère [17].

Causes :

- Vitesse de coupe et/ou avance trop élevée
- Nuance trop tenace
- Brise-copeaux trop étroit

Solution :

- Réduire la vitesse de coupe et/ou l'avance.
- Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure
- Choisir une géométrie plus ouverte/positive.

### II.4.2.2 Usure en dépouille

Cette usure est visible sur le côté (face de dépouille) de la plaquette et il existe plusieurs façons de l'identifier. Par exemple, l'état de surface s'aggraverà à mesure que l'usure en dépouille augmentera. Elle est provoquée par le frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil.



**Figure II.21** : Usure en dépouille [17].

Cause :

- Vitesse de coupe trop élevée
- Nuance trop tenace
- Résistance à l'usure insuffisante
- Arrosage insuffisant.

Solution :

- Réduire la vitesse de coupe
- Choisir une nuance mieux adaptée en fonction des besoins en ténacité ou en résistance à l'usure
- Utiliser l'arrosage.

### II.4.2.3 Usure en entaille

L'entaille se produit lorsqu'une surface abrasive de la pièce ébrèche la profondeur de la zone de coupe sur une plaquette. Les surfaces coulées, les surfaces oxydées, les surfaces durcies par le travail ou les surfaces irrégulières peuvent toutes provoquer des entailles. Les surfaces forgées, les surfaces oxydées, les surfaces durcies par le travail ou les surfaces irrégulières peuvent toutes provoquer des entailles.



**Figure II.22** : Usure en entaille [17].

#### Causes

- Matières collantes ou sujettes à l'écroûissage en coupe
- Utiliser un angle d'attaque proche de 90°
- La géométrie est trop négative

#### Solutions

- Utiliser une arête plus vive
- Réduire l'angle d'attaque
- Sélectionner une nuance à revêtement
- Modifier la profondeur de coupe.

### II.4.2.4 Usure par écaillage

L'écaillage provient d'une instabilité mécanique. Les inclusions dures dans la surface du matériau coupé et les coupes interrompues entraînent des concentrations d'efforts localisés et peuvent provoquer l'écaillage de la plaquette.



**Figure II.23 :** Usure par écaillage [17].

Causes :

- Arête rapportée.
- Mauvaise élimination du copeau.
- Géométrie trop fragile.
- Nuance d'outil est trop faible

Solution :

- Outil à ténacité élevée.
- Augmentez l'angle de coupe
- Augmentez le chanfrein du bec.
- Réduire le taux d'alimentation au début de la coupe

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu le processus de fabrication des plaquettes de coupe, ce procédé qui est le frittage est issu de la métallurgie des poudres dans lequel les matières premières sont des poudres métalliques.

Pour mieux comprendre ce processus, nous avons pris comme exemple les plaquettes en carbure cémenté qui sont les plus traditionnelles, on a vu d'abord la structure des outils en carbure de tungstène et nous avons appris que la quantité de cobalt utilisée et la taille des grains du carbure de tungstène ont toutes deux un impact sur les caractéristiques de

performance du carbure, telles que la dureté, la résistance à la flexion et la ténacité à la rupture.

Ensuite nous avons présenté les différentes étapes de fabrication de ces plaquettes de coupe : préparation des poudres métalliques, pressage de la poudre, le frittage, le revêtement et enfin le contrôle finale.

Nous avons par la suite résumez les différents mécanismes d'usure des plaquettes de coupe telles que l'adhésion, l'abrasion et la diffusion qui sont déterminés par les propriétés mécaniques et physico-chimiques de la pièce et de l'outil ainsi que par les conditions de coupe, et on a vu les formes dont ces mécanismes d'usure se manifestent.

# Chapitre III

*Influence des paramètres de coupe sur  
l'usure des plaquettes*

### III.Introduction

L'analyse d'usure des outils est devenue un domaine de recherche essentiel dans le scénario actuel d'usinage de masse ou de production de masse dans les industries notamment en cas d'usinage de matériaux durs tel que la fabrication de roulements, d'engrenages, d'arbres, etc. et offre une alternative à l'opération de meulage. Dans ce chapitre on va étudier l'influence des principaux paramètres de coupe sur l'usure des plaquettes de coupe.

#### III.1 Influence des paramètres de coupe sur l'usure

On peut observer deux grands groupes de paramètres dans le processus de coupe. Le premier est formé par la matière usinée et le deuxième est les conditions de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification).

##### III.1.1 La vitesse de coupe

La vitesse de coupe notée  $V_c$  est un paramètre fondamental pour la formation du copeau. Elle dépend de la configuration d'usinage, du procédé et du couple outil/matière. La définition de la vitesse de coupe est très importante car elle détermine la vitesse de rotation de la pièce.

La vitesse de rotation de la pièce est définie par:

$$N = 1000 V_c \div \pi D$$

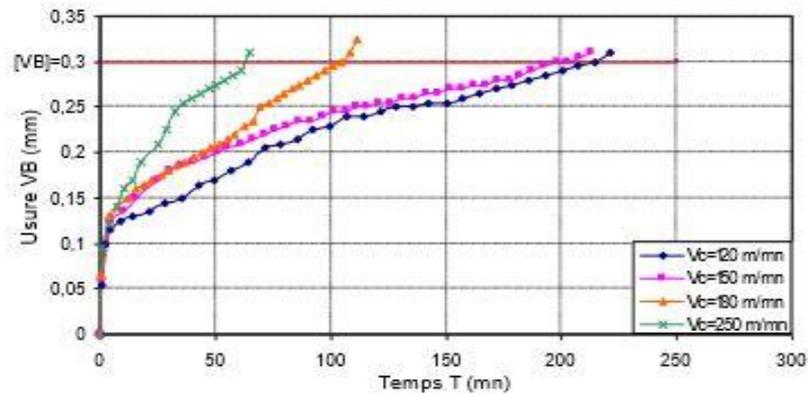
Où  $D$  (mm) est le diamètre final de la pièce.

La température de coupe étant croissante avec la vitesse de coupe, ce paramètre aura une très grande influence sur l'usure.

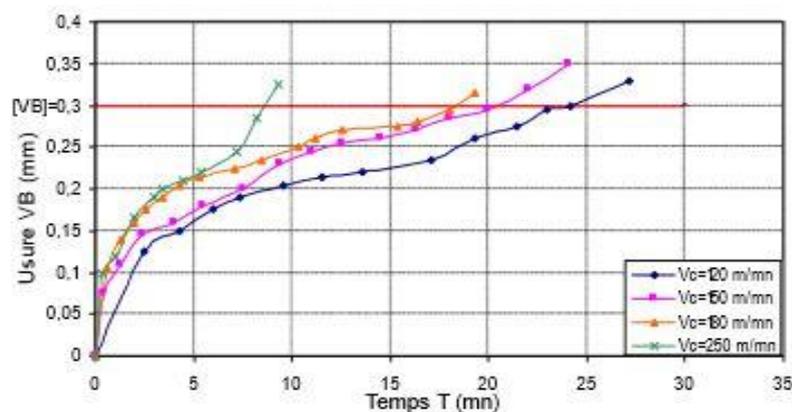
Les figures III.1 et III.2 illustrent l'évolution de l'usure en dépouille du (GC4015 et P35) en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe. L'analyse de ces courbes d'usure montre également que la vitesse de coupe a une influence importante sur l'évolution de l'usure.

On remarque que si on augmente la vitesse de coupe l'usure s'accroît d'une façon remarquable. Cet accroissement brusque de l'usure peut réduire considérablement l'étendue de la zone d'usure normale ceci est bien clair sur les figures surtout lors de l'utilisation de la vitesse  $V_c=250$  m/min. Par contre pour l'utilisation de la vitesse  $V_c=120$  m/min la zone de l'usure normale est plus étendue. L'usure admissible

[VB=0.3mm] est illustrée sur les figures par une ligne horizontale parallèle à l'axe des abscisses[18].

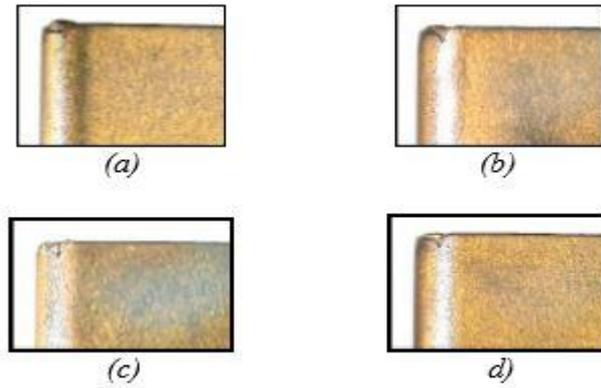


**Figure III.1:** Evolution de l'usure en dépouille (VB) du GC4015 en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe lors de l'usinage de l'acier C30 [18].

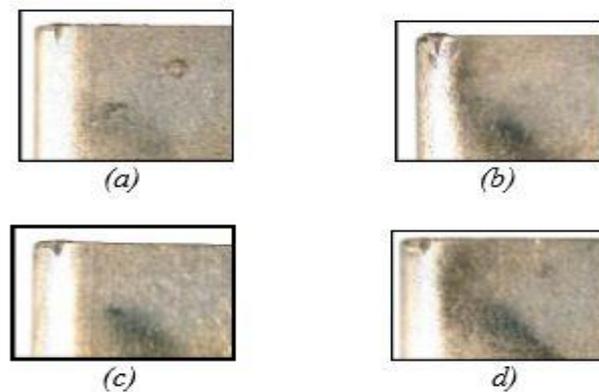


**Figure III.2 :** Evolution de l'usure en dépouille (VB) du P35 en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe lors de l'usinage de l'acier C30. [18]

Afin d'expliquer l'aspect de l'évolution de l'usure en dépouille VB en fonction du temps pour les différentes vitesses de coupe testées, les figures III.3 et 4 ont été introduites pour exprimer et montrer l'aspect final de la morphologie de l'usure VB. Il ressort de ces figures que l'usure VB se manifeste par une bande striée régulière.



**Figure III.3 :** Aspect final de l'usure en dépouille principale VB de GC4015: a)  $V_c=120\text{m/mn}$ , b)  $V_c=150\text{m/mn}$ , c)  $V_c=180\text{m/mn}$ , d)  $V_c=250\text{m/mn}$  [18].



**Figure III.4.** Aspect final de l'usure en dépouille principale VB de P35: a)  $V_c=120\text{m/mn}$ , b)  $V_c=150\text{m/mn}$ , c)  $V_c=180\text{m/mn}$ , d)  $V_c=250\text{m/mn}$ , [18].

Les résultats des essais d'usure ont montré que, chaque matériau de coupe testé présente différents comportements à l'usure. Ceci est fonction principalement de la composition chimique et de la structure. Par conséquent le meilleur comportement à l'usure est observé avec le carbure revêtu (GC4015) suivi par le carbure non revêtu (P35).

L'usure en dépouille est principalement due à l'abrasion, suite aux frottements entre l'outil et la pièce. Cette usure résulte d'un arrachement en surface de l'outil causé par des particules souvent anguleuses et de grande dureté contenues dans le matériau usiné C30 (précipités en inclusion).

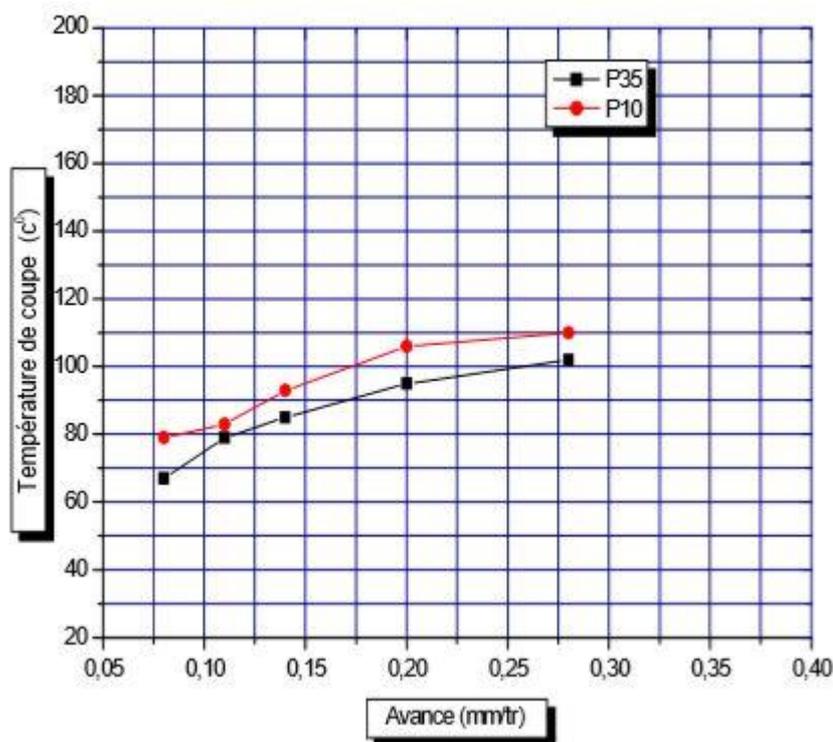
Dans l'intervalle des vitesses de coupe (120 – 150)m/min, les durées de vie des outils (GC4015 et P35) chutent respectivement de 8% et de 17%. Par contre, pour la plage des vitesses de coupe plus élevées (180 – 250) m/min, les durées de vie de ces mêmes outils (GC4015 et P35) chutent respectivement de 40% et de 55%.

Les modèles mathématiques déterminés, montrent que la vitesse de coupe a une influence capitale sur la durée de vie des outils. En effet, avec son augmentation la tenue des deux matériaux de coupe diminue. Ces modèles sont très utiles pour l'élaboration des abaques et aussi pour l'optimisation éventuelle du processus de coupe [18].

### III.1.2 l'avance

L'avance notée  $f$ , correspond à la différence de déplacement de l'outil entre deux itérations ou deux révolutions (une révolution de la pièce dans le cas du tournage).

La profondeur de passe et l'avance influe sur la formation du copeau car elles modifient la section du copeau et donc l'énergie nécessaire au cisaillement de la matière.



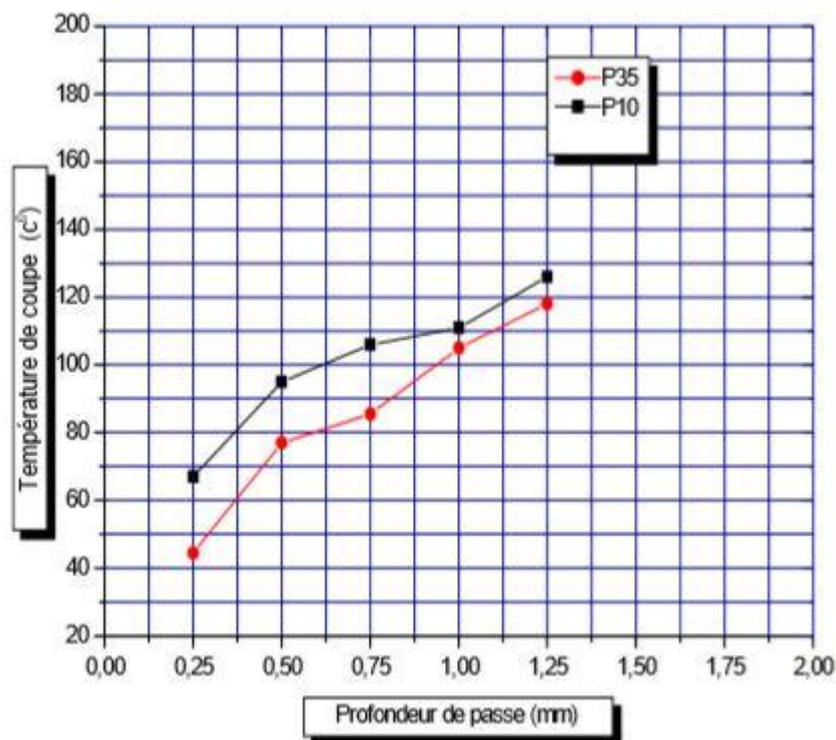
**Figure III.5:** Influence de l'avance sur la température de coupe, obtenues avec des plaquettes types P10 et P35, échantillon XC18 à  $V_c = 150$  m/mn et  $a_p = 0,5$  mm [19].

L'analyse des courbes obtenues figures (III.5) dans des conditions expérimentales identiques pour les deux matériaux de coupe montre que les performances des plaquettes P35 dépassent et de loin celles de l'outil P10.

La comparaison des d'évolution de la température de coupe en fonction du temps de coupe figures (III.5), montrent que les amplitudes des températures atteintes augmentent en fonction de l'avance. D'une manière générale on observe une évolution croissante de la température plus ou moins rapide suivant la valeur de l'avance, cette évolution s'achève dans tous les cas par un palier final. se qui veut dire que l'augmentation de l'avance  $f$  entraîne une augmentation de la température de coupe qui entraîne lui aussi la diminution de la durée de vie de la plaquette de coupe ainsi qu'un mauvais usinage[19].

### III.1.3 Profondeur de passe

La profondeur de passe notée  $a_p$ , 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.



**Figure III.6 :** Influence de la profondeur de passe sur la température de coupe, obtenues avec des plaquettes types P10 et P35, échantillon XC18 (brut de livraison), à  $V_c = 150$  m/mn et  $f = 0.08$  mm/t [19].

D'après la figure (III.6) mettent en évidence :

L'augmentation de la profondeur de passe provoque l'accroissement de la quantité totale de la chaleur dégagée et ceci pour les deux cas étudiés.

La quantité de chaleur en fonction de la profondeur de passe s'accompagne de l'accroissement de la longueur engagée de l'arête tranchante.

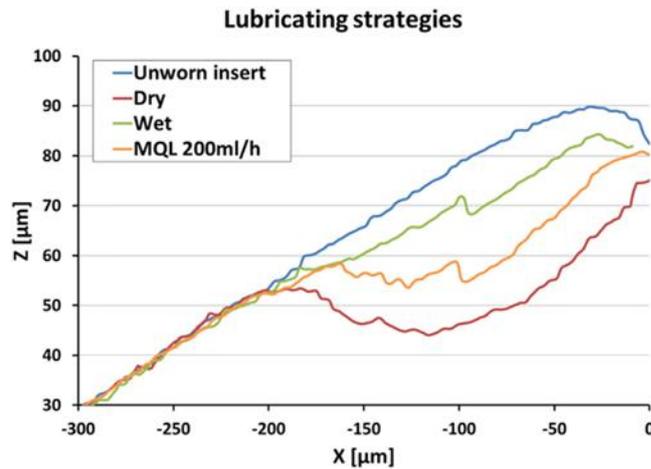
Le contact plus élevée améliore l'évacuation de la chaleur dans le corps de l'outil, car le volume de la partie active de l'outil augmente.

Donc La variation de la profondeur de passe modifie légèrement l'écoulement de la chaleur le long de l'arête tranchante, son influence reste modeste sur l'usure.

#### **III.1.4 la lubrification**

Son influence intervient faiblement sur le coefficient de frottement pièce/outil et copeau/outil, mais permet la baisse de la température de la partie active de l'outil. Donc on va prendre exemple de la stratégie de lubrification/refroidissement pour réduire l'usure des outils Usure en dépouille[20].

La température élevée générée par le glissement des copeaux favorise le phénomène de diffusion entre la couche collée et l'outil déterminant une paupérisation des éléments du substrat, notamment du cobalt utilisé comme liant, et provoquant la fragilisation de la matrice de l'outil. La résistance mécanique détermine une augmentation de l'action abrasive due à l'écoulement des copeaux, ce processus conduisant à l'extraction des grains de WC( teneur en carbone )et entraînant la formation d'usure du cratère. Dans le même temps, le frottement au niveau de la face de coupe copeau-outil contribue à augmenter la température de l'outil, et donc le phénomène de diffusion. La réduction du coefficient de frottement entre le copeau et la face de coupe de l'outil peut être une solution pour réduire à la fois le phénomène abrasif et l'augmentation de température associée sans provoquer la fragilisation du matériau de l'outil. Pour faire, deux stratégies différentes ont été testées, à savoir l'utilisation du fluide de coupe conventionnel et du MQL avec un débit d'huile égal à 200 ml/h. Pour évaluer l'étendue de l'usure en cratère, les profils 2D de la face de coupe de l'outil après découpe selon les stratégies de lubrification refroidissement testées ont été comparés au profil non revêtu et à celui obtenu après découpe à sec (voir Figure III.7)[20].



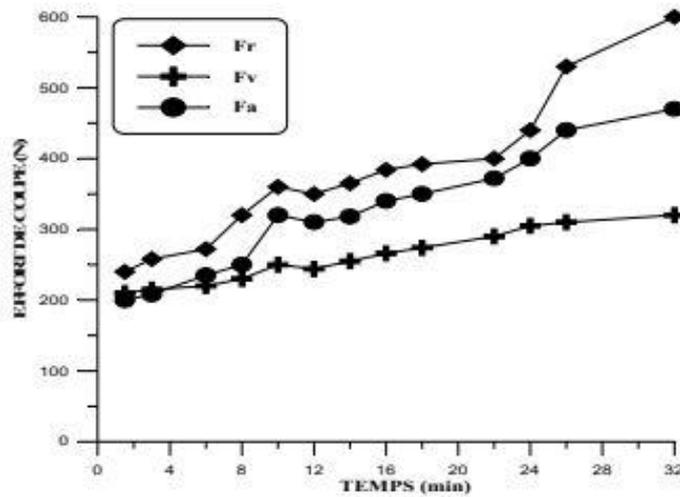
**Figure III.7** Profils 2D de la face de coupe de l'outil lors de l'utilisation des stratégies de lubrification[20].

Les profils 2D ont été obtenus dans une position centrale fixe de la face de coupe à partir des images du profileur 3D (X est la distance de l'arête de coupe): en utilisant comme ligne de base le changement de la pente de la plaquette au niveau de la face de coupe, spécifiquement conçu pour améliorer le glissement de coupeaux, il était possible d'aligner efficacement les profils de plaquettes. Le graphique de la figure FigureI.7 montre comment les deux stratégies de lubrification peuvent réduire l'usure du cratère par rapport au cas sec, avec les meilleurs résultats obtenus en utilisant la stratégie du fluide de coupe conventionnelle. Il convient de souligner que la solution MQL doit être considérée comme une stratégie de lubrification pure, car la quantité limitée d'huile fournie peut réduire le frottement mais n'est pas en mesure d'éliminer la chaleur générée pendant le processus de coupe. Au contraire, lors de l'utilisation du fluide de coupe conventionnel, la présence simultanée d'huile synthétique et d'eau garantit à la fois la lubrification et le refroidissement.

### III.1.5 Influence d'effort de coupe

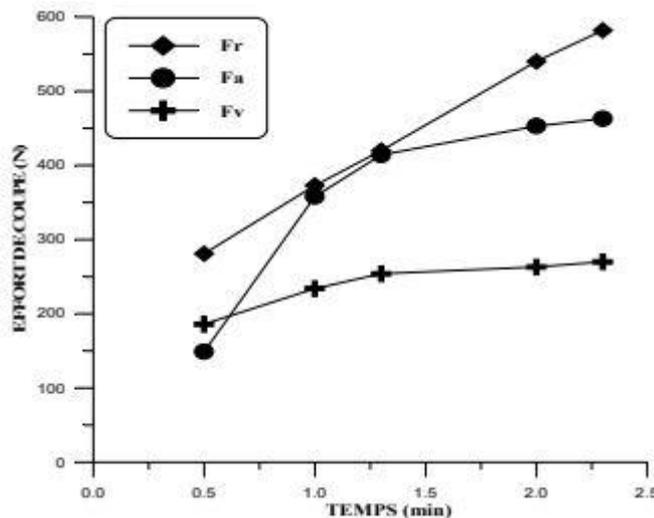
Les figures III.8 illustre l'évolution des efforts de coupe en fonction du temps d'usinage et de l'usure lors de l'usinage du 100Cr6 avec le CBN7020 et cela pour deux vitesses de coupe testées. Il ressort que les composantes de l'effort de coupe augmentent en fonction du temps d'usinage. Ceci est une conséquence de l'évolution de l'usure sur les surfaces en dépouille et d'attaque de l'outil, puisque dans ce cas la surface de contact entre l'outil et la pièce augmente ce qui augmente les forces de frottements qui s'ajoutent aux efforts de coupe. L'analyse des courbes à la vitesse de 180 m/min, montre que l'évolution des efforts en fonction du temps et de l'usure,

passé par trois périodes. La première période est d'une durée de coupe de 10 minutes ce qui correspond à une usure VB de 0,175 mm[21].



**Figure III.8 :** Evolution des efforts de coupe en fonction du temps d'usinage  $V_c = 180$  m/min ;  $a_p = 0,5$  mm ;  $f = 0,08$  mm/tr[21].

On remarque l'augmentation de l'usure du matériau de coupe induit une augmentation des efforts de coupe.



**Figure III.9 :** Evolution de l'effort de coupe en fonction du temps d'usinage  $V_c = 350$  m/min ;  $a_p = 0,5$  mm ;  $f = 0,08$  mm/t [21].

La figure III.9 présente le même essai que la figure III.8 mais avec une  $V_c = 350$  m/min, et on remarque l'augmentation de la vitesse de coupe contribue à la diminution des efforts de coupe.

Pour un bon fonctionnement des plaquettes de coupe et une dure de vie maximal, le bon choix des conditions de coupe et judicieux pour son influence sur évolution des efforts de coupe.

### III.2 Durée de vie d'un outil de coupe

Selon la norme ISO 3685 la durée de vie  $T$  d'un outil est le temps de coupe totale d'un outil nécessaire pour atteindre un critère de durée de vie spécifique.

Généralement on choisit comme critère d'usure l'un des trois critères suivants :

- Défaillance brutale due à la déformation plastique de l'arête. Ce critère n'est employé que pour les outils en acier rapide ou les outils en céramique.
- Usure frontale, employé pour les outils, caractérisé soit par l'usure frontale moyenne soit par l'usure frontale maximale.
- Usure en cratère, employé seulement pour les outils en carbure métallique, caractérisé par la profondeur de cratère.

### III.3 Lois de durée de vie

#### III.3.1 Evolution de l'usure d'outil dans le temps en fonction de $V_c$

L'usure est sensiblement linéaire dans le temps, pour un outil rodé. On peut éviter l'usure accélérée du début, de même que la partie non linéaire survient qu'après limite d'usure de cet outil. On peut donc déterminer les temps  $T_i$  pour lesquels on atteint la limite de durée de vie pour une vitesse  $V_i$ . En prenant le même critère et en veillant à ce que toutes les autres variables restent constantes ( $f$ ,  $a_p$ ), il est possible de déterminer la relation liant la durée de vie d'un outil à la vitesse de coupe[22].

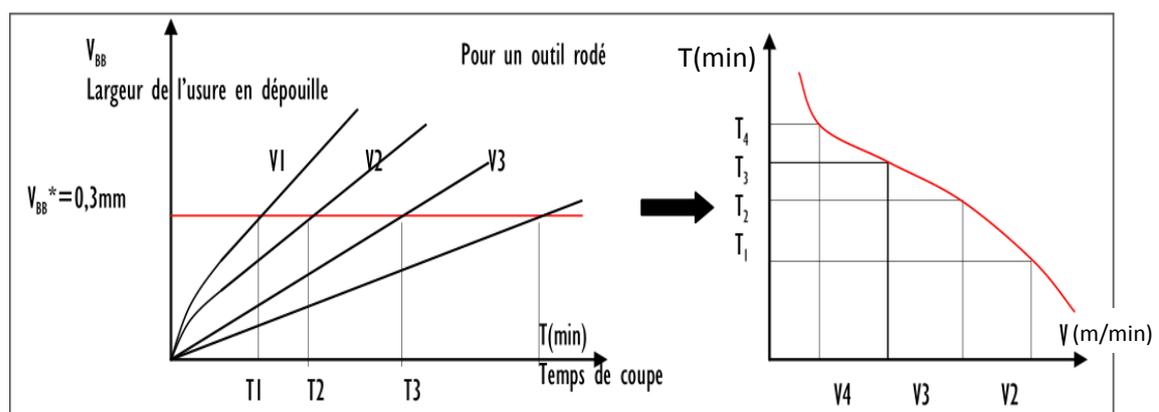
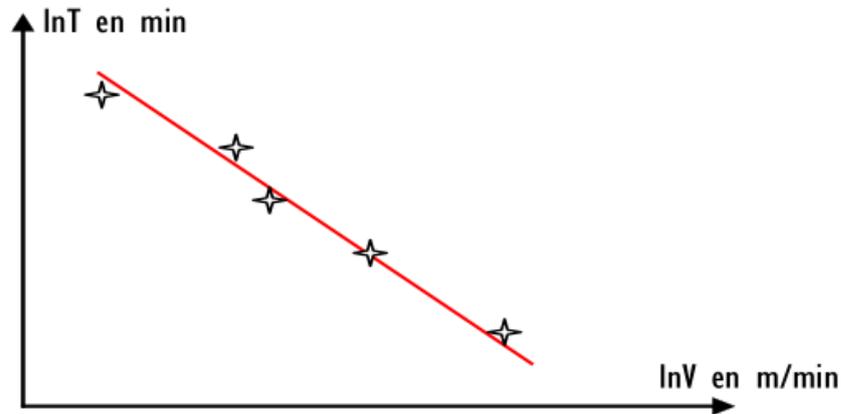


Figure III.10: usure en dépouille pour différentes vitesses de coupe[22].

En reportant sur un graphe à coordonnées logarithmiques, elle devient pratiquement une droite (figure III.10), elle est connue sous le nom de droite de TAYLOR.



**Figure III.11:**Droite de Taylor[22].

La norme lui donne le nom de la courbe V-T, son équation est écrite sous la forme :

$$V \cdot T^{(-1/k)} = C ; C \text{ étant une constante}$$

V est la vitesse de Coupe en m/min

T est la durée de vie de l'outil à la vitesse V et s'exprime en mn

K est  $\text{tg}(\alpha)$ , pente de la droite, il dépend du matériau de la pièce et de l'outil

C est une constante qui correspond à la vitesse de coupe qui donnerait une durée de vie de 1 mn. Pour les aciers usinés au CM, C vaut de 200 à 800 m/mn

Quelques valeurs de k pour l'usinage des aciers :

| K          | Matériau à outil |
|------------|------------------|
| -5 à -8    | ARS              |
| -2,5 à -6  | Carbure          |
| -1,5 à 2,5 | Céramique        |

**Tableau III.1 :** valeur de k pour acier.

### III.3.2 Modèle de GILBERT

En 1950, Gilbert a proposé la généralisation du modèle de Taylor en introduisant l'influence de la vitesse d'avance et de la profondeur de passe ; elle est caractérisée par l'équation :

$$T = C \cdot V^n \cdot f^x \cdot a^y$$

C: dépend de la nuance de l'outil et du matériau usiné,

a : Profondeur de passe en mm

f : Avance en mm /tr,

x, y : Exposants dépendant de la nuance de l'outil.

Ce modèle est plus complet que celui de Taylor mais il est très difficile de conduire des essais d'après ce modèle vu le nombre de variables.

### **Remarque**

Il est important de vérifier si le logement de plaquette est en bon état et s'il n'a pas été endommagé lors d'un usinage précédent ou lors des manipulations.

Vérifications :

- Logements de plaquettes déformés par l'usure. La plaquette ne s'appuie pas correctement sur les côtés. Vérifier l'espacement avec une cale d'épaisseur de 0.02 mm (0.0008 pouce).
- Il ne doit pas y avoir d'espaces dans les angles ni entre la cale-support et le fond du logement.
- Cale-support endommagée. Les angles des cales-support ne doivent pas être écaillés au niveau de la zone de coupe.
- Usure de la cale-support due à la fragmentation des copeaux ou à la pression de la plaquette.

### **III.4 Conclusion**

Les trois principaux paramètres du tournage sont la vitesse, l'avance et la profondeur de coupe. Ces paramètres ont un effet sur la durée de vie d'outil. Le choix de ces principaux paramètres se fait à l'aide des abaques élaborés à partir des essais de laboratoire, le bon choix des conditions conduit à minimiser le duré d'usinage qui influe sur le cout budgétaire.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

L'usure des outils de coupe peut être définie comme la défaillance graduelle de l'outil de coupe due à un usinage régulier. Elle se produit généralement pendant l'opération de coupe. Même si des conditions de coupe appropriées ont été sélectionnées. L'usure de l'outil se produit en raison de l'augmentation de la température dans la zone de coupe. Dans le tournage, des valeurs plus élevées de paramètres de coupe offrent des opportunités pour augmenter la productivité, mais elles impliquent également un plus grand risque de détérioration de la qualité de surface et de la durée de vie de l'outil. Selon les recherches précédentes, les différents types d'usure de l'outil dépendent de la nature de l'outil, du matériau de la pièce, des conditions de coupe et de l'opération d'usinage (tournage, fraisage, perçage ...). La vitesse de coupe joue un grand rôle dans l'occurrence d'usure de l'outil. A haute vitesse de coupe, l'usure de l'outil augmentera rapidement. Une augmentation de la vitesse de coupe dans toutes les opérations d'usinage augmente la température, ce qui diminue la dureté du matériau de l'outil et facilite l'apparition de phénomènes comme l'abrasion et la diffusion. Les grandes avances font augmenter l'intensité des efforts de coupe, et diminuent la durée de vie de l'outil. La variation de la profondeur de passe modifie légèrement l'écoulement de la chaleur le long de l'arête tranchante, son influence reste modeste. Une usure élevée de l'outil produira une mauvaise finition de surface.

L'usure des outils peut être classée comme

- Adhésion
- Phénomènes thermiques (déformation plastique, diffusion thermique et réaction chimique)
- Phénomènes mécaniques (abrasion, écaillage, fracture et fatigue)

Pendant l'opération d'usinage, de grandes déformations et des gradients de déformation peuvent être générés dans le matériau de travail. En outre, il peut augmenter la température. La contrainte et la température à la surface de l'outil influencent les dommages au niveau de l'outil de coupe. Cette usure de l'outil ne peut pas être évitée pendant l'usinage mais elle peut être réduite ou minimisée en analysant et en contrôlant les facteurs qui peuvent augmenter ce problème. L'usure de l'outil est toujours influencée par les conditions de coupe telles que la vitesse de coupe, la vitesse d'avance, la profondeur de coupe et les fluides de coupe.

L'usure de l'outil est l'un des critères utilisés pour mesurer la durée de vie de l'outil. Plus une usure et des dommages plus rapides de l'outil se produisent, plus la durée de vie de l'outil diminue. La durée de vie de l'outil peut être définie comme le temps utilisable qui s'est écoulé avant que l'outil de coupe ne produise des pièces acceptables

## Références bibliographiques

- [1] Sadredine, ABAINIA. *OPTIMISATION DES PARAMÈTRES GEOMÉTRIQUES COMBINÉS DES OUTILS DE TOURNAGE BASÉE SUR LES EFFORTS DE COUPE ET LES VIBRATIONS D'OUTIL*. 2015.
- [2] Larbi, BENNEGADI Mohammed El Larbi. *Coupe des Métaux en fabrication mécanique et productive*. 2018.
- [3] Yaich, Mariem. *Contribution à la fiabilisation de la modélisation numérique de l'usinage de pièces en titane*. Sfax, Tunisie : s.n., 2017.
- [4] Guenaël Germain. *Contribution à l'optimisation du procédé d'usinage assisté laser*. Sciences de l'ingénieur [physics]. Arts et Métiers ParisTech, 2006.
- [5] Hamza, CHAIB. *Etude Et Conception De Fabrication D'une Contre-Pointe Tournante*. 2019.
- [6] Madjid, ISSAADI et AMIRA, MERABTINE. *Etude de l'influence des paramètres de coupe sur La précision de l'état de surface obtenue par usinage En tournage*. 2015.
- [7] A. Ali, "Etude Du Comportement En Usure Des Outils De Coupe En Fonction Du Revêtement," vol. 1309296, 2006.
- [8] Barlier, Claude. *Les matériaux pour outils de coupe en usinage*. 2015.
- [9] S.ADIMA. *Technologie des Fabrications Mécaniques*. 2015.
- [10] VASQUES, Brigitte. *Etude Du Comportement Du rayon d'arrête et de son influence sur l'intégrité de surface en tournage a sec*. 2008.
- [11] Rech, Joël. *Contribution à la compréhension des modes d'actions tribologiques et thermiques des revêtements en usinage. Application au cas du taillage de dentures à la fraise-mère à grande vitesse*. 2002.
- [12] Antonín Kříž, Vojtěch Průcha , David Bricín. *The Potential for Heat Treating Cemented Carbides*. 2018.

- [13] G. WEGNEZ, P. HENQUET. Amélioration du procédé de fabrication des plaquettes de filetage pour le secteur pétrolier . 2013.
- [14] Ceratizit. Wear parts. 2015.
- [15] Pauty, Emmanuel. Les carbures cémentés WC-Co. [book auth.] Patrick and Langlois, Patrick and Pádua, Agílio Boissinot. Matériaux et joints d'étanchéité pour les hautes pressions. 2011, pp. 81--95.
- [16] Abdelillah, KARA-ALI Djamel. Contribution à la modélisation Coupe – paramètres d'usinage à l'aide de la Méthode de Traitement de Données par Groupe. 2013.
- [17]Insert Wear Problems and Solutions. *Iscar Ltd. Web Site.* [En ligne] <https://www.iscar.com/Products.aspx/CountryId/1/ProductId/12344>
- [18] A. Bouziane, L. Boulanouar, M. W. Azizi, and O. Keblouti, “ETUDE DE L ’ EFFET DE LA VITESSE DE COUPE SUR L ’ USURE DES OUTILS DE COUPE EN CARBURE METALLIQUE REVETU ET NON,” 2016.
- [19] F. Dolatabadi, “Étude De L ’Influence Du Mode De Lubrification Sur Les Performances D’Usinage Du Composite À Matrices D’Aluminium Étude De L’Influence Du Mode De Lubrification Sur Les Performances D’Usinage Du Composite À Matrices D’Aluminium,” 2010.
- [20] S. Sartori, A. Ghiotti, and S. Bruschi, “Hybrid lubricating/cooling strategies to reduce the tool wear in finishing turning of difficult-to-cut alloys,” *Wear*, vol. 376–377, pp. 107–114, 2017, doi: 10.1016/j.wear.2016.12.047.
- [21] Yallese, Mohamed Athmane et al. *ETUDE DES EFFORTS ET DE LA TEMPERATURE DE COUPE LORS DE TOURNAGE DUR DE L'ACIER AISI 52100 PAR UN OUTIL CBN.* 2007.
- [22] Usure des outils-Lois d'usure. [En ligne] 21 Mars 2010. [http://vsncq.free.fr/IMG/pdf/4\\_Usure\\_des\\_outils-Lois\\_d\\_usure.pdf](http://vsncq.free.fr/IMG/pdf/4_Usure_des_outils-Lois_d_usure.pdf).