

---

**Université ABBES LAGHROUR Khenchela**



جامعة عباس لغرور خنشلة  
Faculté de Sciences et Technologie  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Département de Génie Mécanique  
قسم الهندسة الميكانيكية



# Mémoire

de fin d'études Pour l'obtention du diplôme  
**MASTER (LMD)**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Option : Construction Mécanique**

## Thème

---

Etude de l'influence des paramètres de coupe  
sur une fraise cylindrique à deux tailles.

---

Réalisé par :

- Laiouar Chahrazed
- Bouacid Houda

Dirigé par : Dr.Chermime.B

Membres de jury :

- Dr. Chitour.M
- Mr. Touati.A

---

**Année universitaire : 2019-2020**

---

## *Remerciement*

*Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces pour accomplir ce travail.*

*Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur Mr. Chermim qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés.*

*Nos remerciements vont également à tous nos Professeurs qui ont mis toutes leurs compétences à notre disposition, et tout le personnel technique et administratif de département de construction mécanique spécialement Mr. Berkia.*

*Un grand merci à tous les enseignants durant toutes nos années d'étude, qui ont nous guidé à suivre le bon chemin.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à nos parents, nos frères et sœurs et spécialement à notre chère amie K. SARA pour leurs soutiens et leurs encouragements durant toutes ses années.*

# *Dédicace*

*À nos chers parents*

*À nos chers frères*

*À nos chères sœurs*

*À la famille LAOUAR et la famille BOUACID*

*À nos enseignants de l'école primaires jusqu'à l'université*

*À toutes la promotion master mécanique*

*2019-2020*

*À tous ceux qui nous sont chers*

**LAOUAR CHARAZED**

**BOUACID HONDA**

# SOMMAIRE

**Remerciement**

**Dédicace**

**Introduction générale**

## CHAPITRE I

### ETUDE DES OUTILS DE COUPE

|  |    |
|--|----|
| I.1.Introduction.....  | 04 |
| I.2.Le fraisage.....   | 05 |
| I.2.1.Les outils de fraisage .....                                 | 05 |
| I.2.2.Les modèles des fraises.....                                 | 06 |
| I.2.2.1. Fraise à deux tailles.....                                | 06 |
| I.2.2.2.La fraise cylindrique 2 tailles.....                       | 07 |
| I.2.2.3.La fraise-scie.....  | 08 |
| I.2.2.4.La fraise 1 taille à rainurer.....                         | 08 |
| I.2.2.5.La fraise à surfacer.....                                  | 09 |
| I.2.2.6.La fraise à rainurer 2 dents.....                          | 09 |
| I.2.2.7.La fraise pour rainurer en T.....                          | 10 |
| I.2.2.8.La fraise pour logement de clavette-disque.....            | 11 |
| I.2.2.9.La fraise d'ébauche.....                                   | 11 |
| I.2.2.10.La fraise à 3 tailles (à denture droite ou alternée)..... | 12 |
| I.2.2.11.La fraise d'angle (ou fraise pour queue d'aronde) .....   | 12 |
| I.2.2.12.La fraise isocèle.....                                    | 13 |
| I.2.2.13.La fraise à chanfreiner.....                              | 13 |
| I.2.2.14.La fraise pour 1/2 cercle.....                            | 14 |
| I.2.2.14.Les fraises à plaquettes carbure amovibles.....           | 14 |
| I.2.3.Les procédés de fraisage.....                                | 15 |

|  |    |
|--|----|
| I.2.4. Les opérations de fraisage.....             | 16 |
| I.2.5. Les fraiseuses.....                         | 17 |
| I.3. Le tournage.....                              | 18 |
| I.3.1. Les outils de tournage.....                 | 19 |
| I.4. Le perçage.....                               | 20 |
| I.4.1. Les outils de perçage.....                  | 20 |
| I.5. Le taraudage.....                             | 21 |
| I.5.1. Les tarauds.....                            | 22 |
| I.6. Choix du matériau de l'outil de coupe .....   | 23 |
| I.7. Nature des matériaux des outils de coupe..... | 24 |
| I.8. Revêtements .....                             | 27 |

## CHAPITRE II

### PARAMETRES DE COUPE DES FRAISES CYLINDRIQUE

|  |    |
|--|----|
| II.1. Les paramètres de coupe .....                                      | 29 |
| II.1.1. La vitesse de coupe $V_c$ .....                                  | 29 |
| II.1.2. La vitesse d'avance $V_f$ .....                                  | 31 |
| II.1.2.1. Les types d'avances .....                                      | 34 |
| II.1.2.2. Mouvements de coupe et d'avance .....                          | 34 |
| II.1.3. La profondeur de passe $a$ .....                                 | 35 |
| II.2. Influence des différents paramètres .....                          | 35 |
| II.2.1. Influence des conditions de coupe .....                          | 35 |
| II.2.2. Influence de lubrification .....                                 | 36 |
| II.2.3. Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil ..... | 36 |
| II.3. Conditions technique des outils coupants.....                      | 36 |
| II.4. Éléments d'outil .....   | 37 |
| II.4.1. Faces et arêtes d'outil .....                                    | 37 |
| II.4.2. Les angles de l'outil.....                                       | 39 |
| II.5. La géométrie de l'outil.....                                       | 40 |
| II.6. Différents types d'usure de l'outillage.....                       | 41 |
| II.6.1. Usure en dépouille.....  | 41 |
| II.6.2. Usure en entaille.....   | 41 |
| II.6.3. Usure en cratère.....  | 42 |
| II.6.4. Ecaillage de l'arête de coupe.....                               | 43 |
| II.6.5. Arêtes rapportées.....   | 43 |
| II.6.6. Déformation plastique.....                                       | 44 |
| II.6.7. Fissurations de l'arête de coupe ou usure en peigne.....         | 45 |
| II.7. Les caractéristiques d'une fraise.....                             | 45 |

# CHAPITRE III

## SIMULATION PAR ABAQUS DES EFFORTS D'UNE FRAISE CYLINDRIQUE

|   |    |
|---|----|
| III.1.Solidworks .....  | 49 |
| III.1.1.Introduction sur SolidWorks .....   | 49 |
| III.1.1.1.Définition du logiciel SolidWorks .....   | 49 |
| III.1.1.1.1.Modèle géométrique .....  | 49 |
| III.1.1.1.2.Paramétrique .....  | 49 |
| III.1.1.1.3.Basée sur des fonctions .....   | 49 |
| III.1.1.2.Historique .....  | 50 |
| III.1.1.3.Fonctionnement .....  | 50 |
| III.1.1.3.1.Pièce .....   | 51 |
| III.2.Description d'une fraise cylindrique 2 tailles.....                                 | 52 |
| III.2.1.Arête et faces de coupe et dépouille.....   | 52 |
| III.2.2.Dessin de définition de la fraise cylindrique à deux tailles étudiée.....         | 53 |
| III.2.3.Mise en plan.....   | 54 |
| III.2.4.Caractéristiques d'une fraise cylindrique 2 tailles.....                          | 54 |
| III. 3.ABAQUS .....   | 54 |
| III.3.1.Introduction sur l'ABAQUS .....   | 54 |
| III.3.1.1.Généralité sur le code de calcul .....  | 54 |
| III.3.1.2.Organisation de l'interface Abaqus CAE (complète Abaqus<br>environnement) ..... | 56 |
| III.3.2.Contraintes de Von Mises.....   | 56 |
| III.3.3.Simulation de la fraise cylindrique à deux tailles.....                           | 57 |
| III.3.4.Maillage de l'outil.....  | 57 |
| III.3.5.Chargement de la fraise.....  | 58 |
| III.3.6.Résultats.....  | 59 |

|  |    |
|--|----|
| III.3.6.1.Les contraintes selon ZZ ..... | 59 |
| III.3.6.2.Les contraintes selon YY ..... | 60 |
| III.3.6.3.Les contraintes selon XX ..... | 61 |
| III.3.6.4.Les contraintes selon XZ ..... | 61 |
| III.3.6.5.Les contraintes selon YZ ..... | 62 |
| III.3.6.6.Les contraintes selon XY ..... | 63 |
| III.3.6.7.La courbe.....                 | 64 |
| III.4.Discution .....                    | 64 |
| <b>Conclusion générale</b>               |    |

# LISTES DES FIGURES

## CHAPITRE I

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figure I.1</b>  | Les différentes opérations en fraisage industrielles .....   | 05 |
| <b>Figure I.2</b>  | a) b) Fraise à 2 tailles .....                               | 06 |
| <b>Figure I.3</b>  | L'outil de fraisage .....                                    | 07 |
| <b>Figure I.4</b>  | Fraise cylindrique 2 taille.....                             | 07 |
| <b>Figure I.5</b>  | La fraise-scie.....  | 08 |
| <b>Figure I.6</b>  | La fraise 1aile .....  | 08 |
| <b>Figure I.7</b>  | La fraise à surfacer .....                                   | 09 |
| <b>Figure I.8</b>  | La fraise à rainurer 2 dents .....                           | 10 |
| <b>Figure I.9</b>  | La fraise pour rainure en T .....                            | 10 |
| <b>Figure I.10</b> | La fraise pour logement de clavette- disque .....            | 11 |
| <b>Figure I.11</b> | La fraise d'ébauche .....                                    | 11 |
| <b>Figure I.12</b> | La fraise à rainurer, 3 tailles, à denture alternée .....    | 12 |
| <b>Figure I.13</b> | Fraise d'angle .....   | 12 |
| <b>Figure I.14</b> | La fraise isocèle .....                                      | 13 |
| <b>Figure I.15</b> | La fraise à chanfreiner .....                                | 13 |
| <b>Figure I.16</b> | La fraise demi-cercle.....                                   | 14 |
| <b>Figure I.17</b> | La fraise à plaquettes carbure amovibles .....               | 15 |
| <b>Figure I.18</b> | Fraisage en bout .....                                       | 15 |
| <b>Figure I.19</b> | Fraisage en roulant .....                                    | 16 |
| <b>Figure I.20</b> | Opération d'usinage en fraisage .....                        | 16 |
| <b>Figure I.21</b> | Fraiseuse à commande numérique .....                         | 17 |
| <b>Figure I.22</b> | Fraiseuse universelle .....                                  | 18 |
| <b>Figure I.23</b> | Différents opérations en tournage industrielles.....         | 19 |
| <b>Figure I.24</b> | Opérations d'usinage en tournage.....                        | 20 |
| <b>Figure I.25</b> | Forêt .....  | 20 |
| <b>Figure I.26</b> | Forêt à centrer.....   | 21 |
| <b>Figure I.27</b> | Forêt à pointer .....  | 21 |
| <b>Figure I.28</b> | Alésoir .....  | 21 |
| <b>Figure I.29</b> | Taraudage.....   | 22 |
| <b>Figure I.30</b> | Les tarauds .....  | 22 |
| <b>Figure I.31</b> | Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant ..... | 23 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Figure I.32</b> | Disposition des matériaux à outils selon la ténacité et la dureté ..... | 24 |
|--------------------|---|----|

## CHAPITRE II

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Figure II.1</b>  | Phénomène de coupe en fraisage.....                        | 29 |
| <b>Figure II.2</b>  | La vitesse de coupe $V_c$ .....                            | 30 |
| <b>Figure II.3</b>  | La vitesse d'avance.....                                   | 32 |
| <b>Figure II.4</b>  | Mouvements de coupe et d'avance.....                       | 34 |
| <b>Figure II.5</b>  | Illustration des plans et angles en main d'une fraise..... | 38 |
| <b>Figure II.6</b>  | les angles de coupe d'une fraise.....                      | 40 |
| <b>Figure II.7</b>  | Géométrie de la fraise cylindrique.....                    | 40 |
| <b>Figure II.8</b>  | Usure en dépouille (abrasion).....                         | 41 |
| <b>Figure II.9</b>  | Usure en entaille (adhérence).....                         | 42 |
| <b>Figure II.10</b> | Usure en cratère (chimique).....                           | 42 |
| <b>Figure II.11</b> | Usure mécanique (Ecaillage).....                           | 43 |
| <b>Figure II.12</b> | Usure par adhérence (Arête rapportée).....                 | 44 |
| <b>Figure II.13</b> | Usure thermique (déformation plastique).....               | 44 |
| <b>Figure II.14</b> | Usure en peigne.....                                       | 45 |
| <b>Figure II.15</b> | Les formes de fraise.....                                  | 45 |
| <b>Figure II.16</b> | Les différents types de dentures de fraise.....            | 46 |
| <b>Figure II.17</b> | Le mode de fixation de la fraise.....                      | 46 |

## CHAPITRE III

|                      |  |    |
|----------------------|--|----|
| <b>Figure III.1</b>  | Les trois concepts de base (SOLIDWORKS).....   | 50 |
| <b>Figure III.2</b>  | Schéma descriptive d'une fraise cylindrique à deux tailles sur le<br>solidworks..... | 52 |
| <b>Figure III.3</b>  | Dessin de définition d'une fraise cylindrique à deux tailles.....                    | 53 |
| <b>Figure III.4</b>  | Structure d'une analyse sous ABAQUS.....   | 55 |
| <b>Figure III.5</b>  | Organisation d'abaqus.....   | 56 |
| <b>Figure III.6</b>  | La fraise cylindrique réalisée par Solidworks.....                                   | 57 |
| <b>Figure III.7</b>  | Maillage de la fraise réalisée.....  | 58 |
| <b>Figure III.8</b>  | Mode de chargement.....  | 58 |
| <b>Figure III.9</b>  | Contrainte de Von-Mises.....   | 59 |
| <b>Figure III.10</b> | Contraintes selon le plan ZZ.....  | 60 |
| <b>Figure III.11</b> | Contraintes selon YY.....  | 60 |
| <b>Figure III.12</b> | Contraintes selon XX.....  | 61 |
| <b>Figure III.13</b> | Contraintes selon XZ.....  | 62 |
| <b>Figure III.14</b> | Contraintes selon YZ.....  | 62 |
| <b>Figure III.15</b> | Contraintes selon XY.....  | 63 |
| <b>Figure III.16</b> | Répartition des contraintes de Von-Mises en fonction de déplacement.....             | 64 |

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE II

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Tableau II.1</b> | Avance par dent pour les fraises en acier rapide HSS..... | 33 |
|---------------------|---|----|

## CHAPITRE III

|                       |                                    |    |
|-----------------------|------------------------------------|----|
| <b>Tableaux III.1</b> | Etapes pour obtenir un volume..... | 51 |
|-----------------------|------------------------------------|----|

## Résumé

L'objectif de ce travail est de montrer l'influence des paramètres de coupe sur une fraise cylindrique à deux tailles. Après les essais que nous avons faits à l'usine de construction mécanique de Khenchela, et notre mémoire nous avons constaté une grande influence des paramètres de coupe sur notre fraise cylindrique étudiée, notamment la vitesse de coupe et d'avance.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو إظهار تأثير معاملات القطع على فريزة اسطوانية . بعد التجارب التي أجريناها في مصنع الصناعات الميكانيكية بخنشلة ، ومذكرتنا ، لاحظنا تأثيرًا كبيرًا لمعايير القطع على الفريزة المدروسة ، خاصةً منها سرعة القطع وسرعة التقدم.

## Summary

The objective of this work is to show the influence of cutting parameters on a two-size cylindrical milling cutter. After the tests we made at the Khenchela machine building plant, and our memory, we noticed a great influence of the cutting parameters on our cylindrical milling cutter, especially the cutting speed and the feed rate.

# **INTRODUCTION GENERALE**

### Introduction générale

Les différentes techniques de transformation de matière (fabrication) est un sujet important dans le domaine industriel. L'usinage par enlèvement de copeaux occupe un espace présumé dans la fabrication, c'est la méthode qui permet de produire des formes complexes et très précises sans changement des caractéristiques de la matière usinée.

En général, tous les procédés de fabrication mécanique ont pour objectif l'amélioration des caractéristiques mécaniques, et géométriques des surfaces usinées, afin qu'elles répondent aux exigences techniques et aux conditions de fonctionnement.

L'outillage est un vaste domaine où on peut trouver plusieurs formes d'outils vu la diversité des opérations en tournage, à chaque opération son outil de coupe et chaque outil de coupe son porte outil.

Les outils de coupe sont faits par de matériaux doit posséder des bonnes propriétés mécaniques et technologiques tels que les aciers rapides...

Le fraisage est l'un des procédés d'usinage les plus utilisés, ses résultats dépendent initialement du choix des conditions de coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance et la profondeur de passe). La réussite d'une opération de fraisage est évaluée à l'aide des paramètres technologiques et économiques (productivité, coût, état de surface ...etc.) résultants. Les études expérimentales ont permis d'étudier le problème de la sélection des conditions de coupe.

Le travail réalisé et présenté dans ce mémoire s'articule de la façon suivante :

- Chapitre I : porte sur une recherche bibliographique sur les différents outils de coupe en basant sur la fraise cylindrique à deux tailles.
- Chapitre II : porte sur l'étude de l'influence des paramètres de coupe sur une fraise cylindrique.
- Chapitre III : d'une façon générale ce dernier chapitre porte sur la simulation de la fraise cylindrique à deux tailles par le logiciel ABAQUS.

# CHAPITRE I

# ETUDE DES OUTILS DE COUPE

**I.1.Introduction**

Dans ce chapitre on a étudié les outils coupants, ces outils sont des instruments destinés à travailler par enlèvement de la matière sous forme de copeaux. Il existe une grande variété d'outil : des outils mono-coupe (tournage), et multi-coupe (fraisage, perçage, etc....).

Quel que soit leurs destinations ainsi que leurs différents aspect extérieur, n'importe quel outil comporte une partie active, c'est-à-dire celle qui enlève directement la matière sous forme de copeaux et un corps d'outil qui porte les éléments composants l'outil.

Les outils de coupe sont fabriqués par de matériaux possèdent des bonnes propriétés mécaniques tels que la dureté, la résistance à corrosion et aussi la résistance aux hautes températures.

L'objectif de ce chapitre est de connaître les outils de coupe en basant sur la fraise cylindrique à deux tailles.

## **I.2.Le fraisage**

C'est un procédé d'usinage, cette technique permet l'obtention des pièces de forme globalement prismatiques, il utilise des outils de coupe à dents multiples de forme circulaire appelés fraises. Dans le cas du fraisage : l'outil tourne, la pièce se déplace.

La fraise est animée d'un mouvement circulaire uniforme (mouvement de coupe) son axe est généralement fixe.

La pièce est solidaire d'une table qui est déplacée en fonction de l'usinage à réaliser (mouvement d'avance).



**Figure I.1** : Les différentes opérations en fraisage industrielles.

### **I.2.1.Les outils de fraisage**

On distingue 3 catégories :

#### **a) Les fraises deux tailles**

Elles possèdent deux dentures diamètre maximum 80, elles sont monoblocs.

#### **b) Les fraises cloches à surfacer**

Elles sont monoblocs.

#### **c) Les fraises à surfacer à outils rapportés**

Elles sont utilisées pour l'usinage des grandes surfaces. [1]

## I.2.2. Les modèles des fraises

Le choix de type de la fraise dépend de l'opération que l'on veut réaliser.

### I.2.2.1. Fraise à deux tailles

La fraise est un outil qui permet d'usiner la matière (métal, bois, etc.). Généralement utilisée sur une fraiseuse pour faire du fraisage. [2]

La fraise à 2 tailles se trouve avec différents attachements :

- À queue conique (cône Morse ou cône standard américain) ;
- À queue cylindrique (surtout dans les petits diamètres) ;
- A alésage cylindrique, pour monter sur des mandrins à pompe. [2]

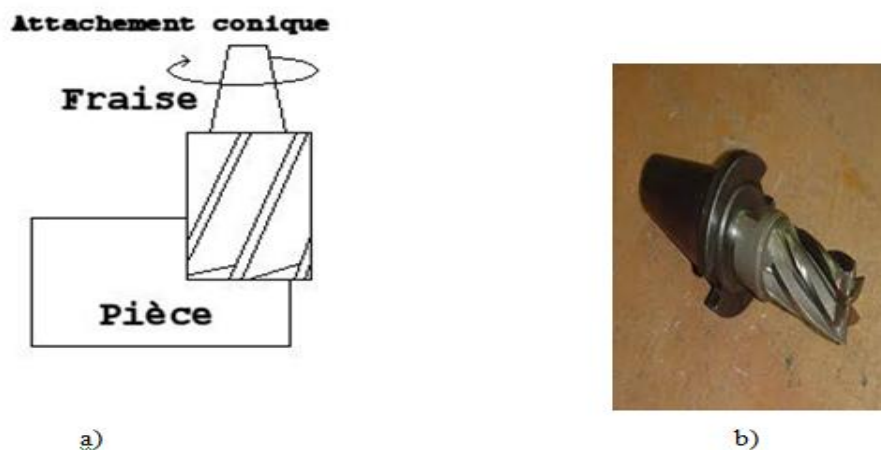


Figure I.2 : a) b) Fraise à 2 tailles.

Les différentes parties principales de l'outil existantes sur un outil de coupe sont :

**a) Le corps** : Il assure la liaison de l'outil avec le porte-outil, il est prismatique ou cylindrique.

**b) La queue** : Pour les fraises, les forêts, on appelle « queue » l'élément qui permet la liaison de l'outil avec le porte-outil. La queue est cylindrique ou conique (cône morse **CM** ou standard américain **SA**).

**c) La partie active** : C'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal.

Elle est caractérisée par sa forme et son matériau. La dureté de la partie active doit être plus grande que celle du métal à travailler. [3]

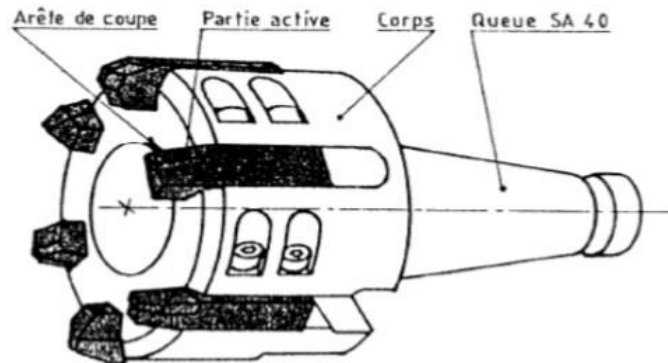


Figure I.3: L'outil de fraisage.

### I.2.2.2. La fraise cylindrique 2 tailles

Peut-être utilisée pour plusieurs usages :

- Avec sa face plane, elle peut surfacer ;
- Avec sa périphérie, le contournage est fréquemment réalisé ;
- Mais sa fonction principale, réside dans l'usinage d'épaulements. [2]

Elle peut avoir une « coupe au centre », c'est-à-dire que les dents se rejoignent au centre de la fraise, ce qui permet de faire un évidement.



Figure I.4 : Fraise cylindrique 2 tailles.

### I.2.2.3. La fraise-scie

Il existe plusieurs fraise-scie :

- La fraise-scie 1 taille ;
- La fraise-scie 3 tailles ;
- La fraise-scie à denture Heller.

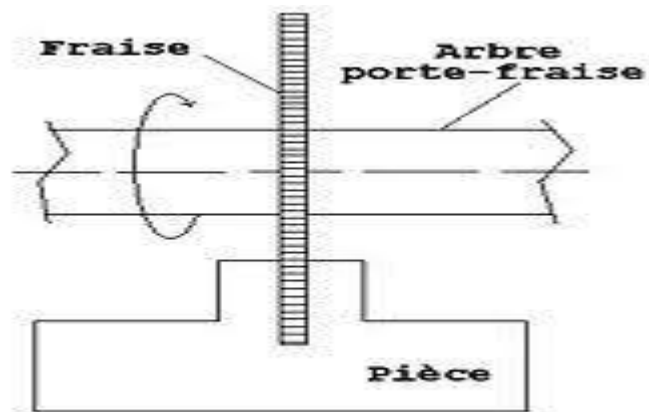


Figure I.5 : La fraise-scie.

### I.2.2.4. La fraise 1 taille à rainurer

La fraise à rainurer 1 taille peut être considérée comme une fraise-scie à 1 taille, mais de plus petit diamètre, pour être plus rigide. [2]



Figure I.6 : La fraise 1 taille.

### I.2.2.5. La fraise à surfacer

Il existe plusieurs types des fraises à surfacer :

- La fraise 1 taille à surfacer ;
- La fraise cloche à surfacer ;
- La fraise à surfacer-dresser (qui permet de surfacer très près d'un épaulement).

L'attachement de la fraise à surfacer se fait par :

- Un attachement conique (cône morse ou cône standard américain SA) ; pour les diamètres petits à moyens ;
- Un attachement direct sur le nez de la fraiseuse (de loin le plus rigide pour les grands diamètres). [2]

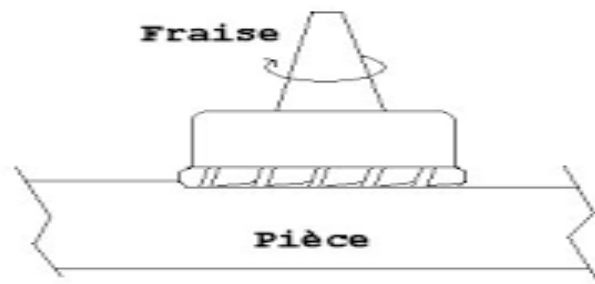


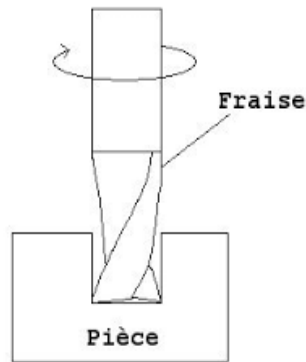
Figure I.7 : La fraise à surfacer.

### I.2.2.6. La fraise à rainurer 2 dents

La fraise à rainurer 2 dents est une fraise qui sert à usiner des rainures droites ou circulaires, là où la fraise 3 tailles ne peut effectuer cette opération d'usinage.

Ce type de fraise existe aussi avec coupe centrale : une des deux dents a une arête de coupe plus grande, sa longueur est égale ou supérieure au rayon. Cela permet de plonger dans la matière sans faire de perçage au préalable.

La fraise à rainure 2 dents se présente avec un attachement à queue cylindrique pour les petits diamètres et à queue conique pour les gros diamètres. [2]



**Figure I.8 :** La fraise à rainurer 2 dents.

### **I.2.2.7. La fraise pour rainurer en T**

Cette fraise qui ressemble à une fraise 3 tailles sert à usiner les deux parties qui sont en retrait dans une rainure en T. Les rainures en T sont très employées sur les machines-outils (tables).

Cette fraise se trouve soit en attachement conique, soit en attachement cylindrique. Elle est très souvent à denture alternée, mais on la trouve également en denture droite. [2]

Leurs dimensions sont en rapport avec les dimensions des rainures, qui elles sont normalisées. Pour l'usinage, il faut tout d'abord faire une rainure droite (col de la rainure) avec une fraise 3 tailles, puis usiner les deux parties en retrait de la rainure en T suivant le guide.



**Figure I.9 :** La fraise pour rainure en T.

### I.2.2.8. La fraise pour logement de clavette-disque

Elle est à denture droite ou à denture alternée. Son attachement est principalement la queue cylindrique. Ses dimensions sont normalisées, car les clavette sont des éléments mécaniques également normalisés. L'usinage se fait en fait en une seule passe de plongée. [2]

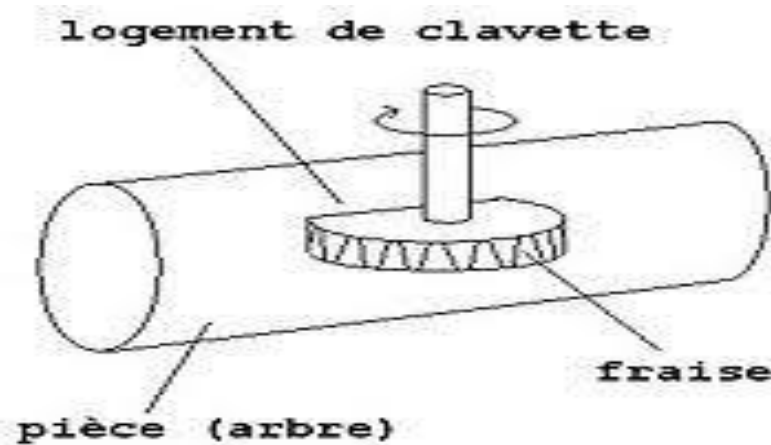


Figure I.10 : La fraise pour logement de clavette- disque.

### I.2.2.9. La fraise d'ébauche

La fraise d'ébauche est une fraise dont la partie coupante des dents est munie de brise-copeaux disposés en spirale sur le pourtour de la fraise. Ces brise-copeaux peuvent être de deux profils : [2]

- d'ébauche ;
- de demi-finition.

On trouve également des fraises d'ébauche à pastilles interchangeables en carbure de tungstène. Comparée à une fraise 2 tailles normale, la fraise d'ébauche permet un enlèvement de métal important avec un effort moindre



Figure I.11 : La fraise d'ébauche.

### I.2.2.10. La fraise à 3 tailles (à denture droite ou alternée)

La fraise 3 tailles sert à exécuter des rainures avec des faces latérales parfaitement parallèles, car la flexion de la fraise et son affutage n'influe pas sur le profil de la rainure, contrairement au rainurage à l'aide d'une fraise 2 tailles.

Ce type de fraise existe à alésage pour monter sur un arbre ou avec moyeu. Le rainurage s'effectue en déplaçant la pièce perpendiculairement à l'axe de la fraise. La largeur de la rainure est obtenue en décalant la pièce sur un axe parallèle à l'axe de la pièce. La profondeur de la rainure est atteinte en relevant la pièce de la valeur souhaitée. [2]



Figure I.12 : La fraise à rainurer, 3 tailles, à denture alternée.

### I.2.2.11. La fraise d'angle (ou fraise pour queue d'aronde)

La fraise d'angle est une fraise à 2 tailles dont l'angle  $H$  n'est plus du  $90^\circ$ ; il prend des valeurs de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , ou  $70^\circ$ . La fraise d'angle sert à usiner des glissières appelées : glissières à queue d'aronde. Cette fraise a un attachement à queue cylindrique ou à queue au cône morse. L'usinage de ces glissières se fait tout d'abord en ébauchant à l'aide d'une fraise 2 tailles ou 3 tailles, puis on passe la fraise d'angle pour calibrer la glissière à la dimension voulue. L'opération s'effectue par petites passes car la denture ne permet pas un gros débit de copeaux.

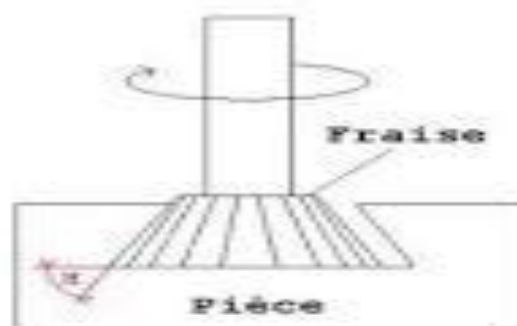


Figure I.13 : Fraise d'angle

### I.2.2.12. La fraise isocèle

La fraise isocèle est une fraise à 2 tailles qui est utilisée pour usiner des empreintes à un angle précis (par exemple usinage d'un vé, voir schéma).

Une fraise isocèle est aussi utilisée pour faire 2 chanfreins simultanément dans des rainures par exemple. Sa denture est droite. La valeur de l'angle peut prendre différents valeurs : 30°, 45°, 60°, 90°. Cette fraise possède un alésage, donc son attachement se fait sur un arbre muni d'une clavette. [2]

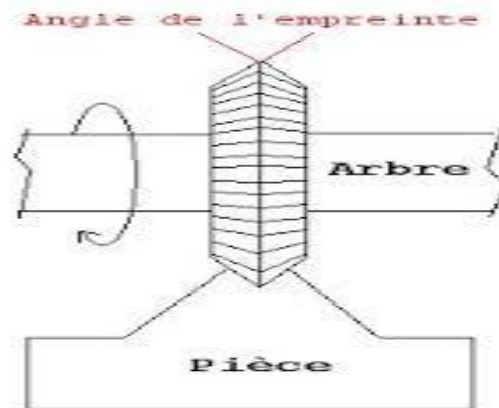


Figure I.14 : La fraise isocèle.

### I.2.2.13. La fraise à chanfreiner

La fraise à chanfreiner est une fraise qui est disponible avec deux valeurs de l'angle de point H : 60° et 90°. Elle sert comme son nom l'indique à faire des chanfreins sur des bords de trous ou sur des arêtes rectilignes ou courbes.

Cette fraise se trouve avec attachement à queue cylindrique pour l'usinage de chanfreins sur les arêtes de pièces et la fraise à queue conique est préférée pour chanfreiner les trous.

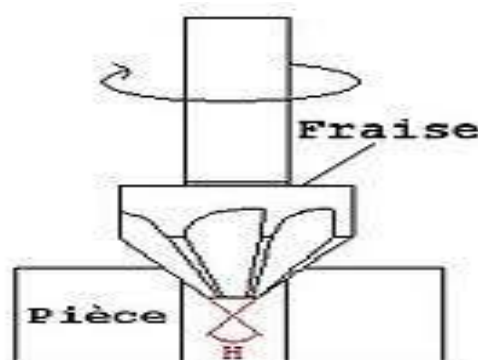


Figure I.15 : La fraise à chanfreiner.

### I.2.2.14. La fraise pour 1/2 cercle

Il y a deux modèles :

- la fraise convexe ;
- la fraise concave.

La fraise demi-cercle, est une fraise à profil constant, c'est-à-dire qu'après réaffûtage, elle conserve son profil d'origine. La fraise concave sert à usiner des parties convexes.

La fraise convexe est utilisée pour usiner des parties concaves. Cette fraise à un attachement par alésage, aussi est-elle montée sur un mandrin muni d'une clavette, comme la fraise 3 tailles.

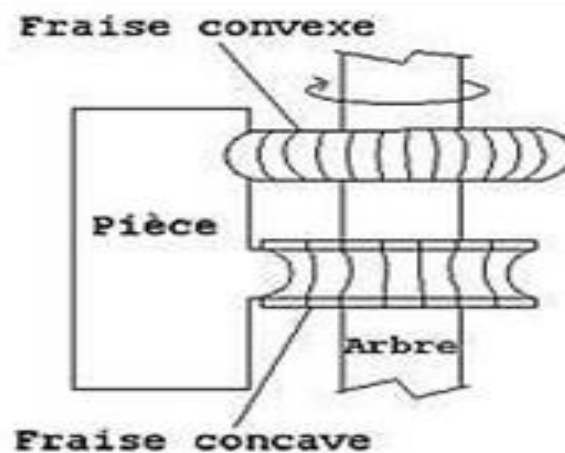


Figure I.16 : La fraise demi-cercle.

### I.2.2.15. Les fraises à plaquettes carbure amovibles

Fraise à pastilles rapportées. Ces fraises utilisent des plaquettes carbure amovibles :

- la fraise à surfacer ;
- la fraise à surfacer et dresser ;
- la fraise à rainurer ;
- la fraise 3 tailles. [2]



Figure I.17 : La fraise à plaquettes carbure amovibles.

### I.2.3. Les procédés de fraisage

a) Fraisage de face « en bout » : La surface usinée est sous la fraise



Figure I.18 : Fraisage en bout. [4]

On distingue les points suivant :

- Série de courbes sécantes appelées cycloïde (traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce) ;
- Bonnes conditions de coupe (état de surface bon).

- b) Fraisage de profil « en roulant » : La surface usinée est tangente à la génératrice de la fraise

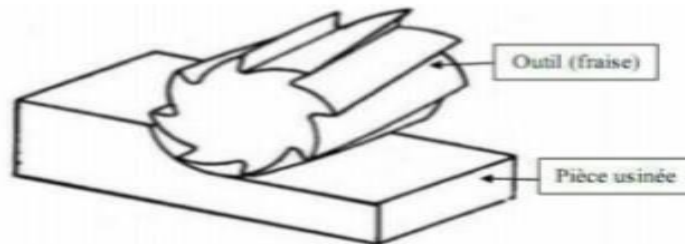


Figure I.19 : Fraisage en roulant. [4]

On distingue les points suivant :

- Série d'ondulations (traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce) ;
- Chaque dent de la fraise taille un copeau d'épaisseur soit croissant, soit décroissant ;
- État de surface moins bon.

### I.2.4. Les opérations de fraisage

On peut effectuer plusieurs opérations par une fraiseuse selon le besoin de production

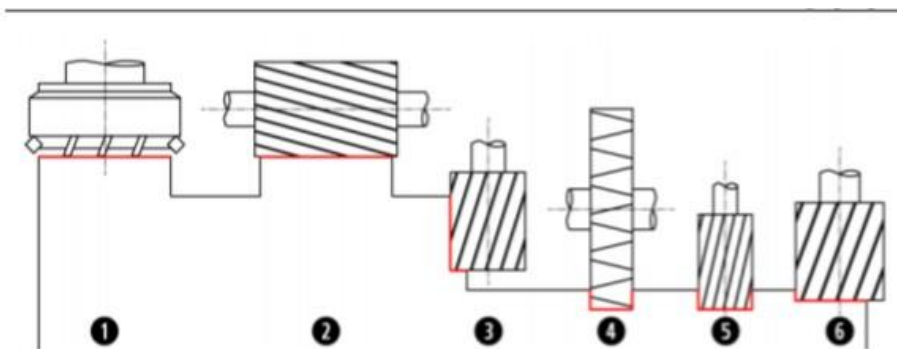


Figure I.20 : Opération d'usinage en fraisage. [5]

- |  |  |
|--|--|
| 1. Surfaçage de face                     | 4. Rainurage 3 tailles                 |
| 2. Surfaçage de profil                   | 5. Rainurage 2 tailles                 |
| 3. Surfaçage-dressage prédominant profil | 6. Surfaçage-dressage prédominant face |

**I.2.5. Les fraiseuses**

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de contournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe).

**a) Les fraiseuses de production**

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de codes alphanumérique pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé. La fraiseuse à commande numérique est une fraiseuse connectée à un système de commande numérique.



**Figure I.21 :** Fraiseuse à commande numérique.

**b) Les fraiseuses universelles**

Cette machine sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans l'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche, il suit une trajectoire qui

interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière. Elles sont généralement utilisées dans les ateliers d'outillage.

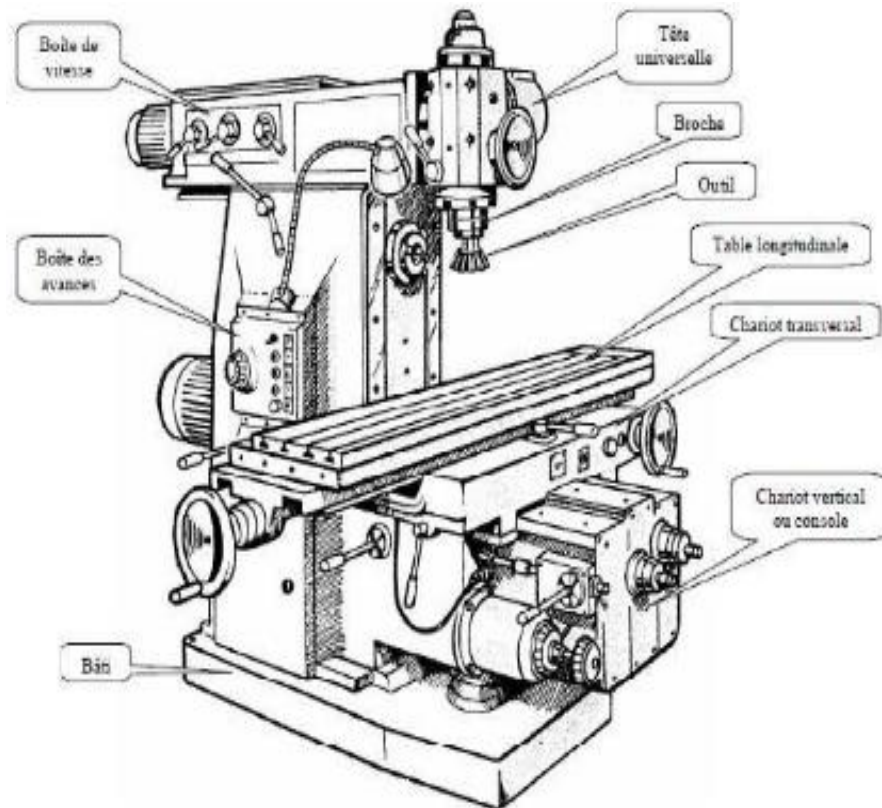


Figure I.22 : Fraiseuse universelle.

### I.3. Le tournage

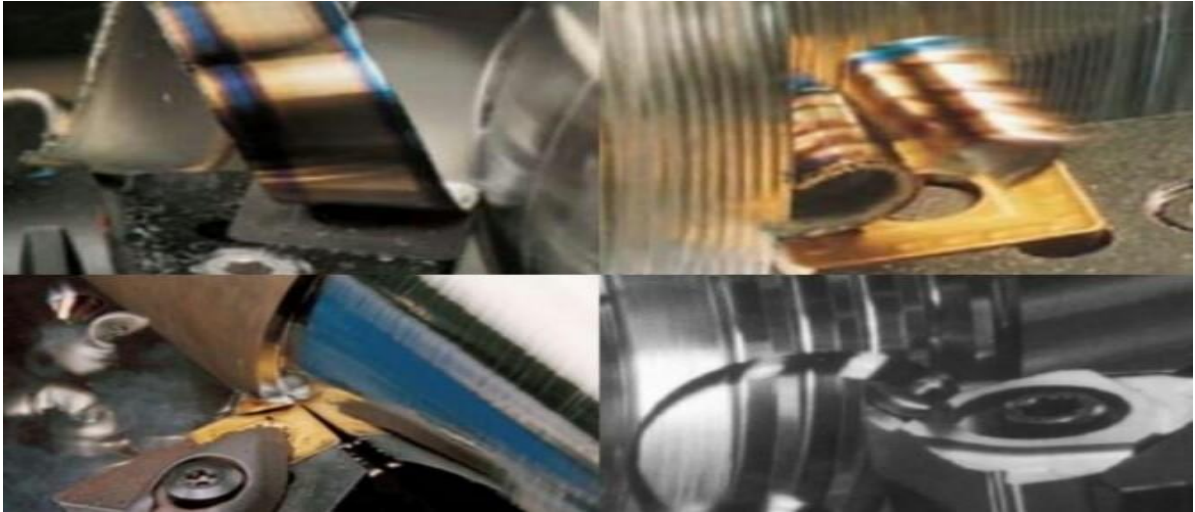
Tournage concerne l'ensemble de l'opération réalisée sur de tours. On réalise par ce type d'usinage tous les surfaces de révolution.

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé.

L'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce.

On distingue deux classes d'opération de tournage :

- Les opérations de tournage extérieur ;
- Les opérations de tournage intérieur.



**Figure I.23 :** Différentes opérations en tournage industrielles.

### I.3.1. Les outils de tournage

On choisit la forme de l'outil en fonction de l'opération et de la forme de la pièce à réaliser.

Sur un tour on dispose de deux classes d'outils :

- Outils intérieurs ;
- Outils extérieurs.

La figure I.24 représente les différentes opérations d'usinage pouvant être exécutées sur les tours.

1. Outil à saigner
2. Outil à charioter droit
3. Outil à retoucher
4. Outil pelle
5. Outil à retoucher
6. Outil à fileter (extérieur)
7. Outil à charioter coudé
8. Outil couteau
9. Outil à dresser d'angle
10. Outil à dresser les faces
11. Outil à chambrer
12. Outil à aléser
13. Outil à fileter (intérieur)
14. Outil à aléser et dresser

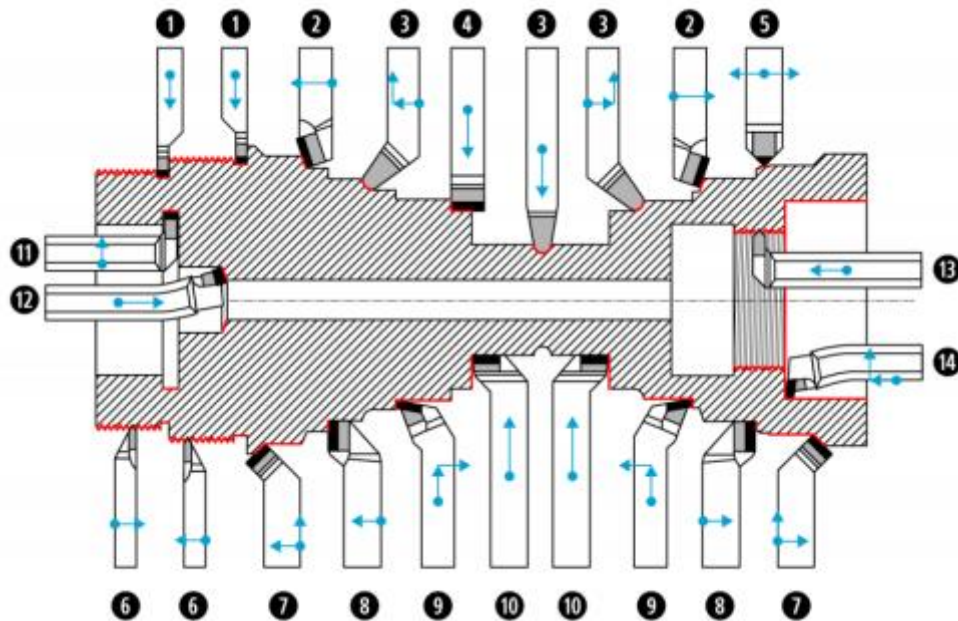


Figure I.24 : Opérations d'usinages en tournage.

#### I.4. Le perçage

Le perçage est un usinage par enlèvement la matière (ou copeaux), le terme perçage regroupe toutes les techniques ayant pour objet d'exécuter des trous du forme cylindrique avec un outil de coupe. Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse.

Cet usinage peut également s'effectuer avec l'outil fixe et la pièce tournant sur un tour.

[6]

##### I.4.1. Les outils de perçage

Les outils de perçage comportent tous une machine tournante (le plus souvent un moteur, mais parfois une manivelle pour le perçage à main)

Cette opération définit d'un trou quelconque dans une pièce par les forêts. [7]

- **Forêt** : Pour percer des trous



Figure I.25 : Forêt.

- **Forêt à centrer** : Pour situer l'axe d'une pièce en tournage



**Figure I.26** : Forêt à centrer.

- **Forêt à pointer** : Pour positionner un perçage



**Figure I.27** : Forêt à pointer.

- **Alésoir** : Pour la finition d'un trou de bonne qualité



**Figure I.28** : Alésoir.

### **I.5.Le taraudage**

Le taraudage est l'opération qui consiste à usiner un filet à l'intérieure d'un alésage et à creuser dans un trou un sillon hélicoïdal au moyen d'un outil appeler taraud sur une surface cylindrique intérieur.



Figure I.29 : Taraudage.

### I.5.1. Les tarauds

Un jeu de tarauds composé de 3 tarauds :

- **L'ébaucheur, (taraud n°1)** : taraud ébaucheur permet de commencer le taraudage dans le trou percé, qui a cône d'entrée très long.
- **L'intermédiaire, (taraud n°2)** : taraud intermédiaire permet de creuser davantage les filets dans l'alésage.
- **Le finisseur, (taraud n°3)** : taraud finisseur permet de finir le taraudage aux cotes normalisées dans le trou percé à diamètre prédéterminé, qui a cône d'entrée très court... [8]

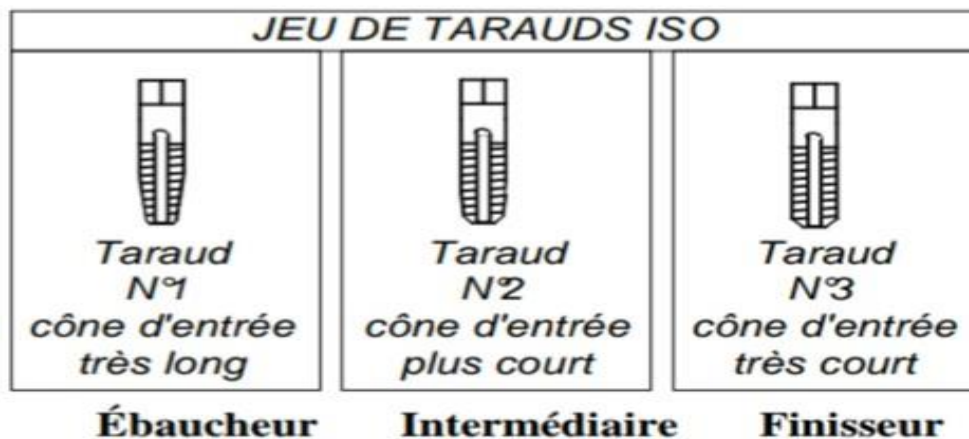


Figure I.30 : Les tarauds.

### I.6.Choix du matériau de l'outil de coupe

La partie active des outils de coupe et donc les matériaux servant à leur constitution doivent posséder certaines propriétés :

- Une bonne résistance mécanique au frottement-résistance à l'usure ;
- Une bonne résistance aux chocs-ténacité ;
- Une bonne résistance à la pénétration- dureté ;
- Une bonne résistance à la chaleur- garder ces propriétés à haute température ;
- Une bonne résistance à la pression ;
- Une grande stabilité chimique vis-à-vis du matériau usiné et de l'atmosphère environnante (air, liquide..) ;
- Une faible adhésion avec le matériau usiné sous haute pression et haute température ;
- Un bas prix d'achat et de mise en forme, ainsi que l'abondance des éléments de composition. [9]

Le diagramme qui nous permet de déterminer les différents domaines des matériaux à l'outil. Il est représentatif des conditions normales d'utilisation de ces outils, en ébauche, pour les aciers et les fontes. Il ne peut être utilisé pour choisir les conditions de coupe. [10]

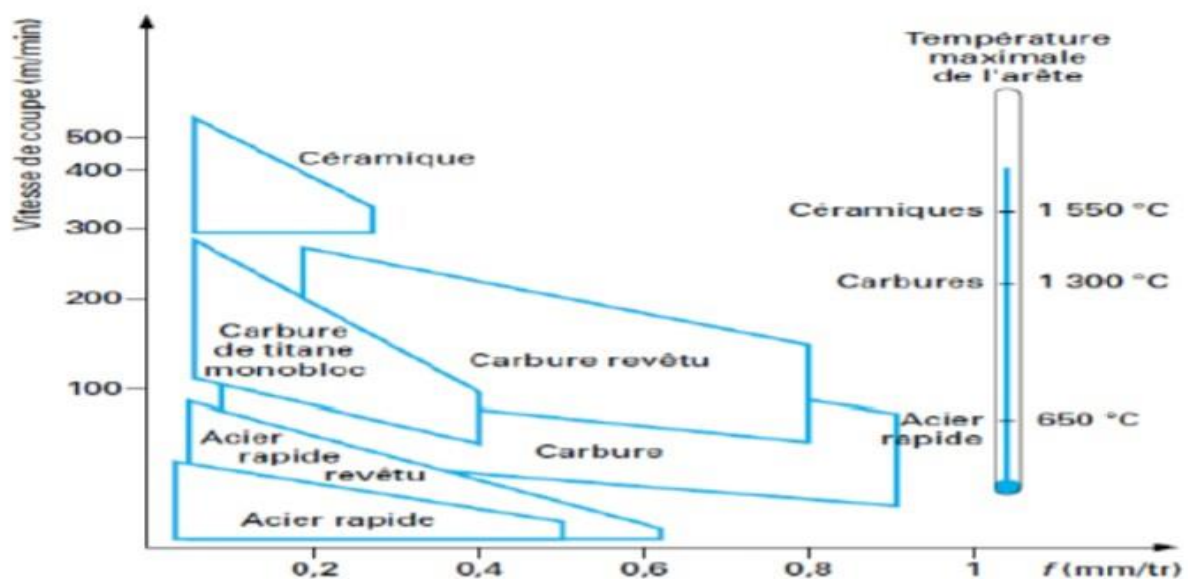


Figure I.31 : Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant. [10]

### I.7. Nature des matériaux des outils de coupe

L'usinage des métaux nécessite l'utilisation de matériaux coupants ayant des 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 ou le corps et la partie active d'outil étaient en une seule barre, quand l'outil est usé, on l'affutait.

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, céramiques, les CBN et le diamant qui a rendu possible l'exploitation industrielle de ces techniques.

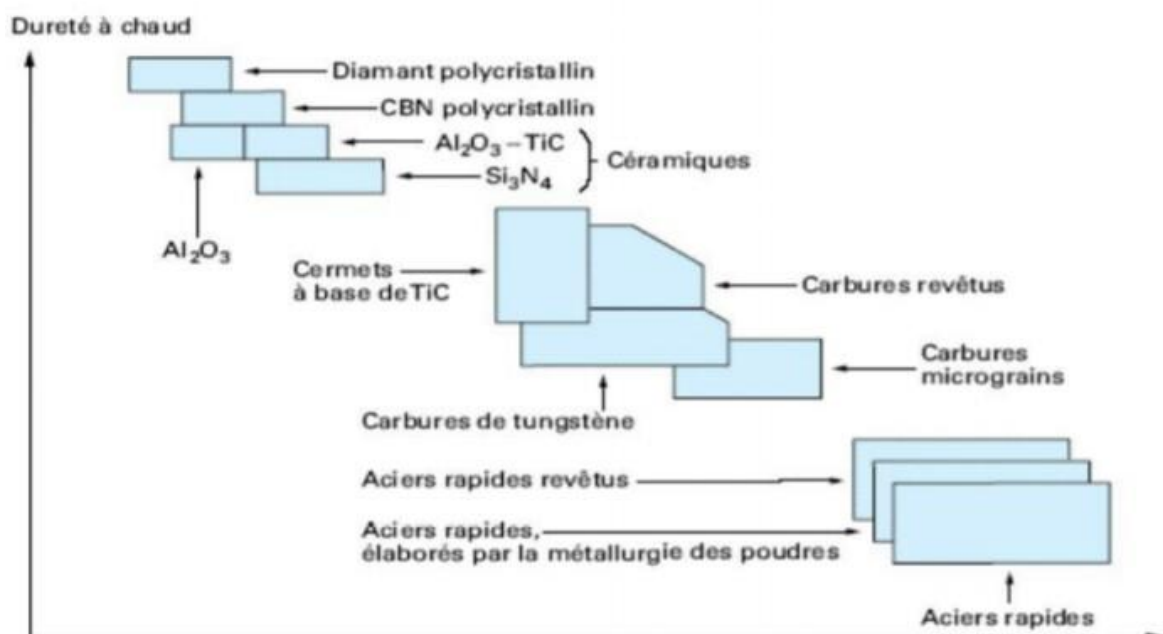


Figure I.32 : Disposition des matériaux à outils selon la ténacité et la dureté. [11]

- **Aciers rapides**

Est un acier faiblement allié qui a subi un traitement thermique, plusieurs outils en ARS (acier rapide supérieure) sont disponibles.

En générale ils ont une teneur en carbone de 0,7 à 1,6 %, en tungstène de 12 à 20%, en molybdène de 3,5 à 10% et des traces de vanadium et cobalt pour avoir plus de duretés.

L'usinage par les outils en ARS s'effectue à faible vitesse de coupe pour éviter l'échauffement trop important. (Les vitesses de coupe variaient entre 25 à 35 m/mn, dureté varie entre 60 et 70 HRC).

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

- **Carbures métalliques**

Les principaux composants des outils en carbures métalliques sont le carbure de tungstène (phase  $\alpha$ ), et le carbure de titane, de tantale ou le niobium (phase  $\gamma$ ) et d'un élément de liaison entre les grains de carbure (taille de 0.2 à 1  $\mu\text{m}$ ) généralement du cobalt (phase  $\beta$ ) de l'ordre de 8 à 20%. L'ajout du carbure de titane de tantale ou de niobium permet d'augmenter. Les propriétés à haute température (jusqu'à 1000°C) en réduisant le frottement, donc un choix de vitesses de coupe très importantes allant jusqu'à 100 m/min, Cet élément procure aussi à l'outil une durée de vie supérieure à celle des outils en AR ou ARS. La dureté des outils en carbure est de l'ordre de 80 à 90 HRC. 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.

- **Carbures revêtus**

Les carbures métalliques frittés (obtenus par frittage) non revêtus présentent beaucoup d'avantages mais l'inconvénient majeur est sa faible ténacité. Ces propriétés sont inversement proportionnelles aux quantités de ses composants. Afin de remédier à ce problème, les outils à plaquettes en carbures revêtus ont été mis en œuvre où ils ont appliqué un matériau de revêtement, dont les plus utilisés sont :

- Nitrure de titane TiN ;
- Oxyde d'aluminium Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ;
- Carbure de titane TiC ;
- Carbonitrure de titane TiCN;
- Alumino-nitrate de titane TiAlN.

Chaque élément de revêtement apporte à l'outil une aptitude meilleure dans un domaine particulier. Il est possible d'appliquer plusieurs couches de différents matériaux de revêtement pour combiner leurs différents avantages.

- **Céramiques**

Les outils à plaquettes en céramique amovibles ont une grande dureté (donc une faible ténacité) et une grande stabilité à haute température. Ils permettent un grand débit de matière. Mais nécessitent une grande stabilité de la machine et un strict respect des conditions de coupe. Ils sont généralement utilisés pour les opérations de finition.

Ces outils acceptent un usinage à une vitesse de coupe de 500 m/min pour les aciers, et gardent ses caractéristiques jusqu'à des températures de 1200°C, donnant un excellent état de surface des pièces usinées

- **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. [11]

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.

- **Nitride de bore cubique NBC**

Ce sont des outils à plaquettes amovibles en nitride de bore cubique (matériau le plus dur après le diamant) noté CBN. Il comporte l'avantage de ne pas s'oxyder à haute température. Son utilisation requiert une machine stable, une grande rigidité de la pièce et de porte pièce et un arrosage.

- **Diamant**

Le diamant a un faible coefficient de frottement. Il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à basse température tel que les alliages d'aluminium, les alliages de cuivre, les alliages de magnésium thermodurcissables etc. et ne convient pas à l'usinage des matériaux ferreux. [11]

il est instable à haute température, à 650°C il se transforme en graphite. Il convient parfaitement à usinage des alliages d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables...etc.

### **Remarque**

Le choix de l'outil de coupe dépend directement de la matière à usiner ainsi que l'opération à réaliser.

## **I.8. Revêtements**

Souvent, les outils en acier rapide ou en métal dur sont revêtus d'une ou plusieurs couches, ils possèdent une durée de vie plus longue et permettent une augmentation des vitesses d'usinage et un état de surface meilleur. Les différents types de revêtement sont :

- Le nitrure de titane (TiN), matériau standard ;
- Le carbonitrure de titane (TiCN), grande dureté, bonne résistance à l'abrasion ;
- L'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et nitrure de silicium (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), appartiennent à la classe des céramiques. Ce sont deux matériaux de base auxquels on peut additionner différentes matières en fonction des caractéristiques recherchées : oxyde de zirconium (ZrO<sub>2</sub>), carbure de titane (TiC) ou du carbure de silicium (SiC) ;
- Le diamant utilisé pour l'usinage de métaux non-ferreux et de non-métaux abrasifs tels que : carbone ou céramique ;
- Le nitrure de bore utilisé pour l'usinage de métaux ferreux trempés. [5]

**CHAPITRE II**  
**PARAMETRES DE COUPE**  
**DES FRAISES**  
**CYLINDRIQUES**

## II.1. Les paramètres de coupe

Les paramètres de coupe sont, d'une part, des valeurs qui caractérisent les déplacements de l'outil et de la pièce usinée (paramètres de coupe cinématiques) et d'autre part, les valeurs des surépaisseurs d'usinage et des dimensions de coupe (paramètres de coupe géométriques). Les conditions de coupe sont une notion plus large qui inclut les paramètres géométriques et cinématiques de coupe en plus d'autres facteurs qui influencent l'usinage tels que le matériau usiné, le matériau et la géométrie de l'outil, les fluides de coupe, l'état de la machine-outil, etc.

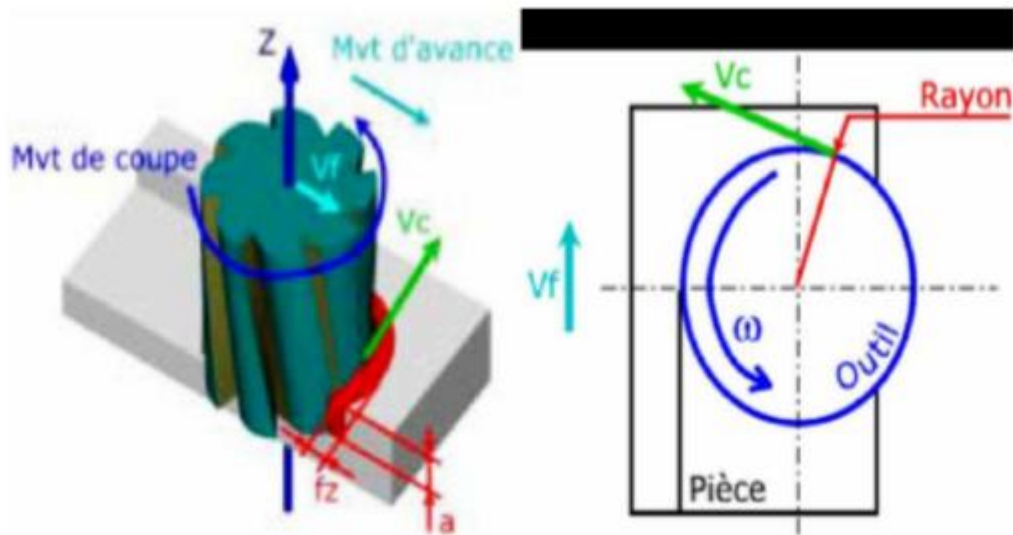


Figure II.1 : Phénomène de coupe en fraisage.

### II.1.1. La vitesse de coupe $V_c$ [m/mn]

La vitesse de coupe ou  $V_c$ , est le chemin circonférentiel (ou périmètre) parcouru par un point situé sur le diamètre extérieur de la pièce pendant une minute on l'exprime en mètres par minute ou encore m/min [12]. Les facteurs influant sur la vitesse de coupe sont généralement :

- Avec le type de matière à usiner et le matériau de l'outil ;
- Selon la nature de l'opération (ébauche ou finition) ;
- Par rapport au type d'usinage effectué (application d'un coefficient réducteur lorsque l'usinage est délicat) ;
- Fonction d'utilisation des conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

Les valeurs usuelles des vitesses de coupe, fonction de la matière à usiner et de la matière de l'outil, sont données dans des abaques.

## Étude de l'influence des paramètres de coupe sur une fraise cylindrique à deux tailles.

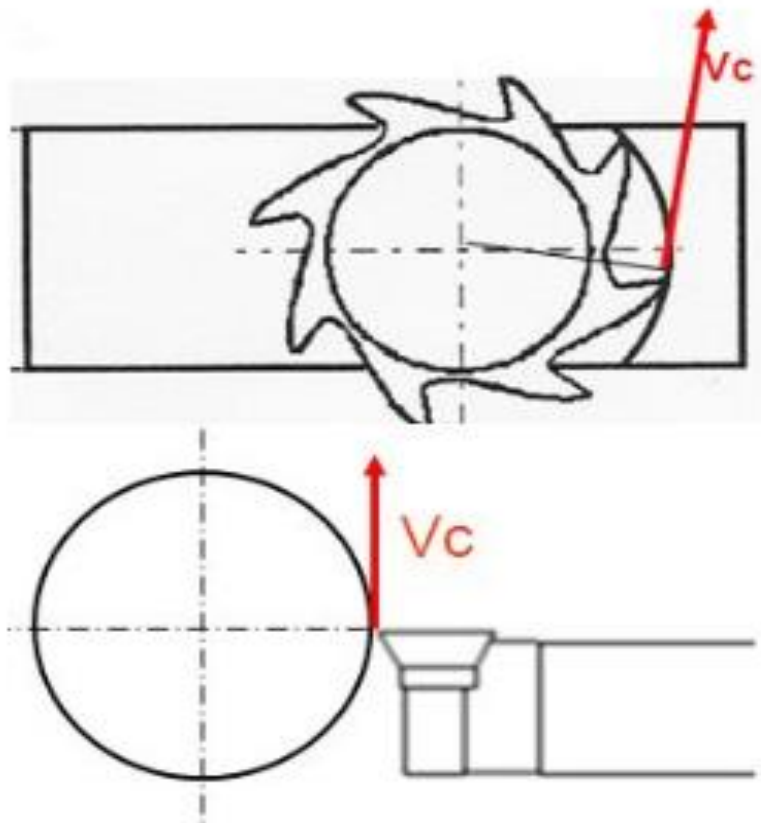
Pour calculer la vitesse de coupe, en somme, la longueur du copeau en mètres pendant l'unité de temps « minute ».

Un point sur une fraise de diamètre «  $d$  » en mm parcourant un tour, effectue une distance de  $\pi \times d$ . en mm

Si elle tourne à «  $N$  » en tr/min, en une minute nous aurons  $\pi \times d \times N$  = sa vitesse de coupe  $V_c$ , en mm par min. [13]

Pour avoir des m/min : il suffit de diviser par 1000

En résumé, nous aurons : 
$$V_c = \frac{\pi \times d \times N}{1000}$$



**Figure II.2 :** La vitesse de coupe  $V_c$ . [14]

Donc la vitesse de rotation à l'aide de la formule : 
$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

$V_c$  : la vitesse de coupe en [m /min] ;

$N$  : la vitesse de rotation en [Tr/min] ;

$d$  : diamètre de la pièce à usiner ou diamètre de la fraise en [mm].

La notion de vitesse de coupe ( $V_c$ ) est extrêmement importante car déterminante dans le calcul de la fréquence de rotation. De plus, cette variable doit être déterminée directement par l'opérateur en fonction des travaux qu'il effectue.

En règle générale, sur machine conventionnelle [15] :

- **Ebauche en HSS**

10 <  $V_c$  < 30 m/min pour les aciers jusqu'à 100kg/mm<sup>2</sup> et inox ;

25 <  $V_c$  < 45 m/min pour les laitons, bronze UE12, aluminium.

- **Finition en HSS**

20 <  $V_c$  < 50 m/min pour les aciers jusqu'à 100 Kg/mm<sup>2</sup> et inox ;

30 <  $V_c$  < 60 m/min pour les laitons, bronze UE12, aluminium.

- **Ebauche au carbure**

60 <  $V_c$  < 150 m/min pour les aciers jusqu'à 100 Kg/mm<sup>2</sup> et inox ;

100 <  $V_c$  < 180 m/min pour les laitons, bronze UE12, aluminium.

- **Finition au carbure**

120 <  $V_c$  < 220 m/min pour les aciers jusqu'à 100 Kg/mm<sup>2</sup> et inox ;

140 <  $V_c$  < 260 m/min pour les laitons, bronze UE12, aluminium. [15]

### **Remarque**

D'une manière générale  $V_c$  ébauche est inférieure à  $V_c$  finition.

### **II.1.2. La vitesse d'avance $V_f$**

Indique la vitesse de déplacement de l'outil en direction de la pièce, exprimée en unité de distance par unité de temps. Elle se note  $V_f$  et est exprimée en mm/min (millimètre par minute).

Ce paramètre se calcule par la formule suivante :

$$V_f = f_z \times z \times n$$

$V_f$  : la vitesse d'avance en mm/min ;

$f_z$  : avance par dent en mm/dent ;

$z$  : nombre de dents de la fraise ;

$n$  : la fréquence de rotation de l'outil en tr/min.

- **L'avance par tour (f en mm/tr)**

Est une valeur spécialement utilisée pour calculer l'avance et déterminer l'aptitude d'une fraise à surfacer à travailler en finition. Elle indique de combien l'outil avance au cours d'une rotation.

- **L'avance par dent ( $f_z$  en mm/dent)**

Est un important paramètre en fraisage. La fraise étant un outil à arêtes multiples, il faut en effet disposer d'un moyen de mesure pour contrôler que chacune de ces arêtes travaille dans des conditions satisfaisantes. L'avance par dent indique la distance linéaire parcourue par l'outil alors qu'une certaine dent est engagée. L'avance par dent représente aussi la distance couverte entre la pénétration de deux dents successives dans la pièce. Elle peut donc être exprimée en fonction du nombre d'arêtes de l'outil ( $z$ ) et de l'avance par minute, ou sous forme d'avance par tour. [16]

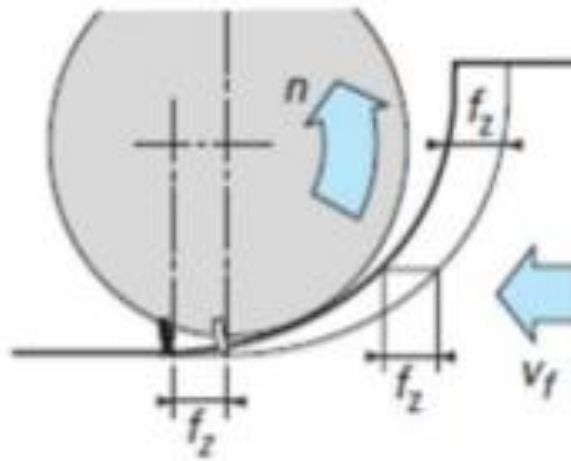


Figure II.3 : La vitesse d'avance. [16]

$f_z$  : dépend principalement de la matière à usiner, du type d'outil et du type de fraise.

Tableau II.1 : Avance par dent pour les fraises en acier rapide HSS.

| Matières                                  | Avances en mm/dents        |                           |                           |                           |                           |                           |                   |                           |
|---|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
|   | Fraisage cylindrique       |                           |                           | Fraisage en bout          |                           |                           | Fraisage à fendre |                           |
|   | Ebauche                    |                           | Finition                  | Ebauche                   |                           | Finition                  | Ebauche           | Finition                  |
|   | Profond.<br>Jusqu'à<br>8mm | Profond<br>Jusqu'à<br>5mm | Profond<br>Jusqu'à<br>1mm | Profond<br>Jusqu'à<br>8mm | Profond<br>Jusqu'à<br>5mm | Profond<br>Jusqu'à<br>1mm |                   | Profond<br>Jusqu'à<br>1mm |
| Acier<br>jusqu'à 60<br>kp/mm <sup>2</sup> | 0.22                       | 0.26                      | 0.10                      | 0.25                      | 0.30                      | 0.12                      | 0.08              | 0.05                      |
| Acier de 60<br>à 90 kg/mm                 | 0.20                       | 0.24                      | 0.08                      | 0.22                      | 0.27                      | 0.10                      | 0.07              | 0.04                      |
| Acier de 90<br>à 110<br>kg/mm             | 0.17                       | 0.22                      | 0.06                      | 0.20                      | 0.24                      | 0.08                      | 0.06              | 0.03                      |
| Acier de<br>plus de 110<br>kg/mm          | 0.10                       | 0.12                      | 0.04                      | 0.12                      | 0.14                      | 0.06                      | 0.05              | 0.03                      |
| Fonte<br>jusqu'à 180<br>HB                | 0.22                       | 0.30                      | 0.08                      | 0.25                      | 0.34                      | 0.10                      | 0.08              | 0.06                      |
| Fonte de<br>plus de 180<br>HB             | 0.18                       | 0.20                      | 0.06                      | 0.18                      | 0.20                      | 0.08                      | 0.06              | 0.04                      |
| Laiton                                    | 0.24                       | 0.28                      | 0.10                      | 0.25                      | 0.30                      | 0.10                      | 0.08              | 0.05                      |
| Alliages<br>légers, Alu                   | 0.10                       | 0.12                      | 0.04                      | 0.12                      | 0.16                      | 0.06                      | 0.10              | 0.06                      |
| Cuivre                                    | 0.26                       | 0.30                      | 0.08                      | 0.26                      | 0.30                      | 0.10                      | 0.10              | 0.05                      |

### II.1.2.1. Les types d'avances

On distingue trois sortes d'avance :

#### a) Avance longitudinale

On appelle avance longitudinale si l'outil se déplace parallèlement à l'axe d'ébauche.

#### b) Avance transversale

On appelle avance transversale si l'outil se déplace perpendiculairement à l'axe de l'ébauche.

#### c) Avance oblique

On appelle avance oblique si l'outil se déplace sous un angle par rapport à l'axe de l'ébauche. [17]

### II.1.2.2. Mouvements de coupe et d'avance

La fraise est toujours animée d'un mouvement de rotation autour de son axe  $M_c$  (mouvement de coupe). Il est situé et bloqué sur une porte – fraise, lui-même fixé dans la broche de la machine.

Un ensemble de chariots se déplaçant suivant trois axes orthogonaux, permet d'animer la pièce d'un mouvement d'avance dans l'espace  $M_a$  (mouvement d'avance) noté encore  $M_f$ .

Un mouvement de pénétration ( $M_p$ ) donné à la pièce (et dans certaines machines particulières à l'outil) est indispensable pour régler la surépaisseur à enlever à chaque passe. [18]

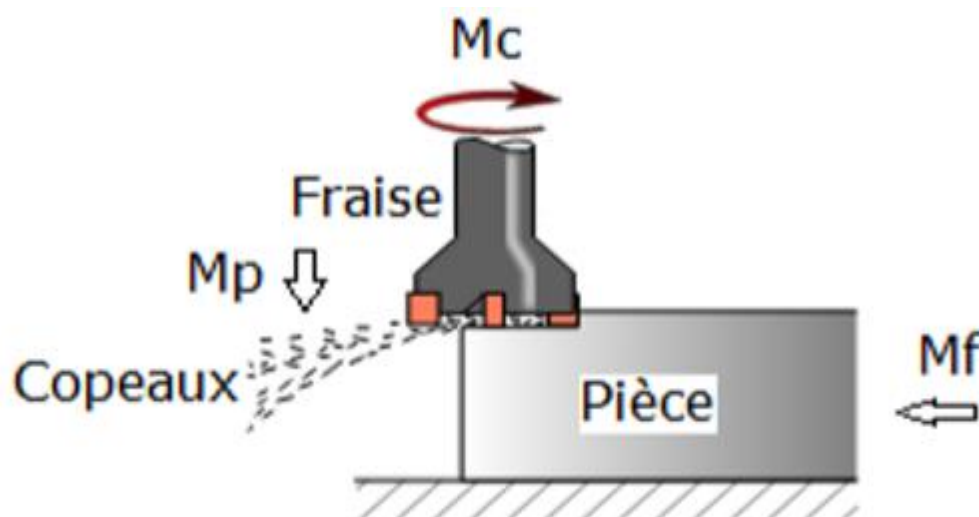


Figure II.4 : Mouvements de coupe et d'avance. [18]

**II.1.3. La profondeur de passe  $a$  (mm)**

La profondeur de passe est la quantité de matière enlevé dépend de l'engagement de l'outil dans la pièce. [13]

Les limites sont déterminées par :

- La puissance de la machine ;
- La rigidité de la pièce et de l'outil ;
- Nature de matériau à usiner ;
- Le type d'usinage (surfaçage, rainurage, ébauche/ finition). [19]

Donc elle tend à diminuer lorsque les exigences dimensionnelles, géométriques et d'état de surface deviennent plus rigoureux.

Elle ne doit pas être cependant inférieure au copeau minimum. La valeur maximale est limitée par la rigidité de l'outil et la puissance de la machine. [20]

**II.2. Influence des différents paramètres de coupe**

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

**II.2.1. Influence des conditions de coupe****a) Vitesse de coupe**

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

**b) Avance**

Les grandes avances font augmenter l'intensité des efforts de coupe, et diminuent la durée de vie de l'outil.

**c) Profondeur de passe**

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.

**d) Matériau usiné**

Son influence sur l'usure dépend de ses propriétés physiques (conductibilité thermique), de ses propriétés mécaniques (pression spécifique de coupe) et de ses propriétés chimiques (% de certains éléments d'addition).

**II.2.2. Influence de lubrification**

L'influence de la lubrification étant assez complexe, on la caractérise souvent par l'absence ou la présence de lubrification lors des essais. Dans le cas où il y a présence de lubrification, on spécifie si le lubrifiant employé est un lubrifiant de graissage pour faciliter le glissement du copeau sur la face de coupe de l'outil, ou si le lubrifiant est de refroidissement pour diminuer la température dans la région du bec de l'outil. 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.

**II.2.3. Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil**

Son influence sur l'usure dépend de ses propriétés physiques (conductibilité thermique), de ses propriétés mécaniques (pression spécifique de coupe) et de ses propriétés chimiques (% de certains éléments d'addition), le matériau de l'outil intervient, lui aussi par ses propriétés mécaniques, mais aussi par ses propriétés physico-chimiques, entre autres par ses propriétés thermiques.

**II.3. Conditions technique des outils coupants**

Les conditions technique des outils coupants sont les bases de fabrication et de réception des outils coupants, elles comprennent les exigences technique, les règles de réception, le marquage et l'emballage, etc. nous présentons ci-après la partie principale des exigences techniques.

- La partie active de l'outil coupant ne doit pas présenter la lamellation, la crique, l'éraflure, la bavure, l'endommagement de choc et l'amorce de rouille ; s'assurer que la surface rectifiée est exempte de la tache noire et de la brûlure et que les lames d'outils en métal dur sont exemptes des stries ;
- La surface non rectifiée doit subir le sablage ou le bleuissage après le traitement thermique, et il ne doit pas présenter les souillures sur les filets intérieurs ;

- L'arête coupante doit être acérée sans partie émoussée et ébréchure ;
- Les centres d'usinage et la contre-pointe doivent être rodés avec soin, en s'assurant de l'absence de faux rond et de l'endommagement ;
- Les outils coupants rectifiés sur la table magnétique doivent subir la démagnétisation ;
- L'outil coupant traité peut présenter la trace légère.

## **II.4.Éléments d'outil**

Il existe une grande diversité d'outils de coupe. Toutefois, les principaux éléments des différents outils sont semblables. Ainsi, afin de simplifier la compréhension de différents éléments définissant un outil quelconque, nous nous baserons sur un outil de coupe en fraisage. Les définitions peuvent ensuite être déduites pour tout autre type d'outil.

### **II.4.1.Faces et arêtes d'outil**

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil et une partie active, La partie active peut être constituée du même matériau que le corps, on parle alors d'outils monoblocs (carbures et aciers rapides) ou d'un matériau différent (inserts rapportés ou plaquettes pour les carbures, les cermets, les céramiques, les poly-cristallins de bore ou de diamant).

Les différents plans et angles de l'outil sont définis par rapport au plan de référence. Deux systèmes peuvent être définis : l'outil en main et l'outil en travail. Ces deux systèmes permettent respectivement de définir la position de l'arête de coupe lorsque l'outil est au repos ou lorsqu'il usine. L'orientation, dans la configuration outil en main, de l'arête de l'outil de coupe, de la face de coupe ( $A\gamma$ ) et de la face de dépouille ( $A\alpha$ ) est définie par l'expression de différents angles caractéristiques. Pour définir ces angles, des plans de références (Pr, Ps, Po, Pf, Pp, Pn) doivent être introduits (Figure II.5).

Les angles positionnant l'arête de coupe sont donc définis grâce à ces différents plans. L'angle de direction d'arête de l'outil  $K_r$  est l'angle projeté dans le plan Pr entre l'arête de coupe et la direction d'avance, défini par la direction de la vitesse d'avance.

L'angle d'inclinaison d'arête de l'outil  $\lambda_s$  est l'angle dans le plan Ps entre l'arête de coupe et le plan de référence de l'outil Pr.

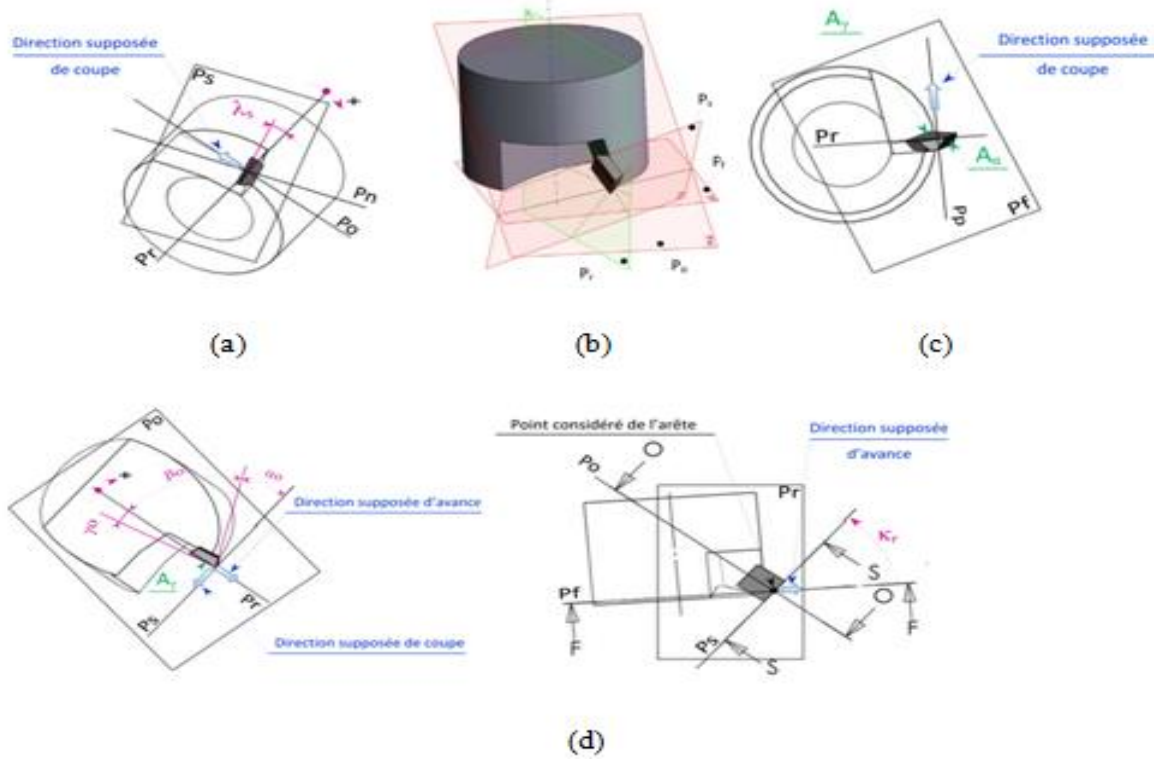


Figure II.5 : Illustration des plans et angles en main d'une fraise.

- (a) Vue dans le plan d'arête de l'outil, Ps ;
- (b) Vue dans le plan de travail de l'outil, Pf ;
- (c) Vue dans le plan de référence de l'outil, Pr;
- (d) Vue dans le plan orthogonal de l'outil, Po.

Lorsque l'on considère l'outil en travail, le plan de référence est défini par rapport à la cinématique de la coupe .

Le plan de référence en travail, Pre est défini perpendiculaire à la direction de la vitesse résultante de coupe au point P (Figure II.5). La vitesse effective de coupe instantanée est la composition à tout instant de la vitesse de coupe et de la vitesse d'avance.

$$\vec{V_e} = \vec{V_c} + \vec{V_f}$$

La vitesse effective présente une inclinaison d'un angle  $\delta$  résultant de la composition des vitesses. Ainsi, la géométrie de l'arête de coupe peut être définie lorsque l'outil est en travail ; Des plans et angles dont la définition et la position sont semblables peuvent alors être définis.

Le plan d'arête en travail  $P_{se}$  est tangent à l'arête et perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$  au point P. Ce plan contient la direction de la vitesse résultante de coupe, Le plan de travail,  $P_{fe}$ , contient la direction de la vitesse d'avance et la direction de la vitesse de coupe au point considéré de l'arête.

Ce plan est perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$ . Le plan vers l'arrière en travail,  $P_{pe}$ , est perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$  et au plan de travail  $P_{fe}$ , au point P.

### **II.4.2. Les angles de l'outil**

Les caractéristiques géométriques de la partie active de l'outil de coupe sont définies dans le plan orthogonal  $P_o$  par les angles :

#### **a) Angle d'hélice**

C'est l'angle compris entre l'axe longitudinal de la fraise et l'inclinaison de la denture. L'angle sera faible (environ  $5^\circ$ ) pour l'usinage de métaux à copeaux courts tels que la fonte et ira en augmentant pour les métaux légers (aluminium) ( $25^\circ$ ) ou l'usinage des aciers spéciaux : inox par exemple.

#### **b) Angle de taillant**

C'est l'angle qui constitue la partie coupante de la dent de la fraise. Plus il est aigu, plus il est fragile.

#### **c) Pente d'affûtage ou Angle de coupe**

Cet angle influe sur la façon dont se forme le copeau sur la face de coupe. Plus il est grand, plus l'effort de coupe diminue. L'angle de coupe est plus important pour l'aluminium que pour la fonte par exemple.

#### **d) Angle de dépouille**

L'angle de dépouille évite le frottement (talonnage) de l'arrière de la dent sur la partie de la pièce déjà usinée. [21]

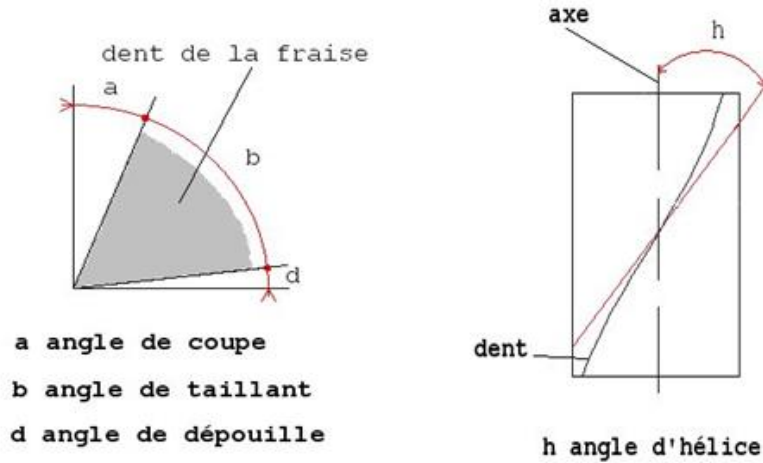


Figure II.6 : Les angles de coupe d'une fraise. [21]

La somme de les trois angles (angle de coupe, angle de taillant, angle de dépouille) est égale à  $90^\circ$ .

### II.5. La géométrie de l'outil

Pour maîtriser l'élaboration d'un outil, il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres. En effet on doit connaître le matériau employé pour obtenir l'outil, le type de travail qui lui sera demandé, mais en premier lieu il faut s'intéresser à sa géométrie.

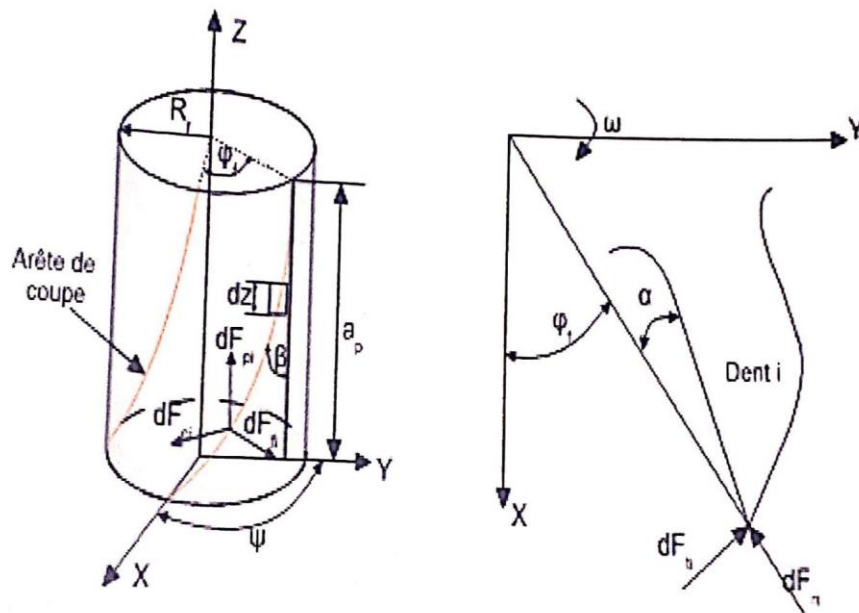


Figure II.7 : Géométrie de la fraise cylindrique.

## II.6. Différents types d'usure de l'outillage

En fonction des conditions de coupe, l'usure peut se produire suivant la surface de dépouille, suivant la surface d'attaque ou suivant les deux surfaces en même temps.

### II.6.1. Usure en dépouille

Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil et provoque une bande striée parallèle à l'arête de coupe (Figure II.8). Elle influe sur l'état de surface de la pièce usinée et sur la précision dimensionnelle de l'usinage car elle modifie la position de l'arête de coupe. C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible VB. Les valeurs indiquées se rapportent généralement à une tenue d'outil (durée de vie  $T=15$  min). VB critique = 0,6 mm en ébauche et 0,3 mm en finition. Cela est dû à une vitesse de coupe excessive ou à une mauvaise position angulaire de l'outil (face de coupe / pièce).

#### ➤ Mesures correctives

- Choisir une nuance présentant une meilleure résistance à l'usure ;
- Réduire la vitesse de coupe.



**Figure II.8 :** Usure en dépouille (abrasion).

### II.6.2. Usure en entaille

Ce type d'usure se caractérise par une entaille localisée tant sur la face de coupe que sur la face de dépouille, au niveau de la profondeur de coupe voir (Figure II.9). Il est provoqué par l'adhérence (soudage par pression du copeau) et la déformation. Il est courant dans l'usinage des aciers inoxydables et superalliages réfractaires. Ce genre d'usure due à des phénomènes métallurgiques (calamine des pièces forgées, différence de taille de grain des pièces moulées).

**➤ Mesures correctives**

- Accroître la rigidité de l'arête de coupe ;
- Réduire l'avance.



**Figure II.9 :** Usure en entaille (adhérence).

**II.6.3. Usure en cratère**

C'est une usure en creux sur la face de coupe, caractérisée par la profondeur de cratérisation (indice K T). Lors de l'usinage, la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoquent une diffusion importante (réaction chimique) de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion (Figure II.10).

L'usure est souvent constatée sur les outils carbures, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil. Généralement l'usure due à une vitesse de coupe excessive ou à une avance trop faible.

**➤ Mesures correctives**

- Utiliser des nuances de métal dur revêtu ;
- Choisir des plaquettes à géométrie positive ;
- Réduire la vitesse de coupe ou augmenter l'avance.



**Figure II.10 :** Usure en cratère (chimique).

### II.6.4. Ecaillage de l'arête de coupe

L'écaillage ou la rupture de l'arête survient en cas de surcharge des contraintes de traction mécanique. Celles-ci sont dues à différentes causes telles que le martèlement des copeaux, une profondeur de coupe ou une avance excessive, des inclusions de sable dans la matière de la pièce, des vibrations ou une usure excessive de la plaquette (Figure II.11).

#### ➤ Mesures correctives

- Choisir une nuance plus tenace ;
- Utiliser une plaquette présentant une géométrie d'arête plus stable ;
- Réduire l'avance en début de coupe, en cas d'écaillage par impact de copeaux ;
- Choisir une géométrie brise-copeaux différente ;
- Modifier l'angle de direction d'arête de l'outil ;
- Faire une préparation d'arête de coupe (rodage de l'arête de 0,04 mm par exemple).



**Figure II.11** : Usure mécanique (Ecaillage).

### II.6.5 Arêtes rapportées

Les arêtes rapportées résultent d'une accumulation de métal de la pièce usinée sur la face de coupe, en particulier dans le cas de matériaux difficilement usinables. Il arrive parfois que cet apport de métal se détache et détériore l'arête de coupe. Il mène en outre à des états de surface médiocres. Le phénomène est dû à une vitesse de coupe et une avance trop faible ou des angles de coupe non appropriés (Figure II.12).

#### ➤ Mesures correctives

- Accroître la vitesse de coupe ;
- Utiliser des métaux durs revêtus ou des cermets ;

- Choisir une géométrie d'arête positive ;
- Travailler avec arrosage.



**Figure II.12** : Usure par adhérence (Arête rapportée).

### **II.6.6. Déformation plastique**

Elle est occasionnée par une sollicitation trop importante de l'arête de coupe (matériaux usinés trop durs) en combinaison avec des températures d'usinages élevées. La zone de déformation plastique du matériau dépassée (Figure II.13).

#### **➤ Mesures correctives**

- Réduire la vitesse de coupe ;
- Réduire l'avance ;
- Utiliser une nuance de métaux durs plus résistante à l'usure.



**Figure II.13** : Usure thermique (déformation plastique).

### II.6.7. Fissurations de l'arête de coupe ou usure en peigne

Lorsque l'arête de coupe subit des refroidissements brusques, des fissures perpendiculaires à l'arête apparaissent. Ce type de fissure est fréquent en cas de coupes interrompues, ce qui est courant en fraisage. L'utilisation de l'arrosage aggrave ce phénomène (Figure II.14).

#### ➤ Mesures correctives

- Utiliser une nuance présentant une meilleure résistance aux chocs thermiques ;
- Contrôler l'arrosage.



Figure II.14 : Usure en peigne.

### II.7. Les caractéristiques d'une fraise

#### a) La taille

Suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, il existe des fraises une taille, deux tailles ou trois tailles. [22]

#### b) La forme

Suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, il existe des fraises cylindriques, coniques et des fraises de forme. [22]



Figure II.15 : Les formes de fraise. [22]

### c) La denture

Suivant le sens d'inclinaison des arêtes tranchantes par rapport à l'axe de la fraise, il existe les dentures hélicoïdales à droites ou à gauche et les dentures à double hélice alternées. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise, la denture est droite. [22]



Figure II.16 : Les différents types de dentures de fraise. [22]

### d) Nombre de dents

Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents. [23]

### e) Dimensions

- Pour une fraise deux tailles : diamètre et hauteur taillée ;
- Pour une fraise trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre de l'alésage ;
- Pour une fraise conique pour queue d'aronde : l'angle, le diamètre de l'outil et l'épaisseur.

### f) Mode de fixation

À trou lisse ou taraudé, à queue cylindrique ou conique. [23]



Figure II.17 : Le mode de fixation de la fraise. [22]

**CHAPITRE III**  
**SIMULATION PAR**  
**ABAQUS DES EFFORTS**  
**D'UNE FRAISE**  
**CYLINDRIQUE**

### **III.1.Solidworks**

#### **III.1.1.Introduction sur SolidWorks**

La conception du support a été réalisée par une conception CAO sous le logiciel SolidWorks version 2016.

Par conséquent, ce chapitre a été introduit par une première partie donnant une vision générale sur le logiciel CAO/DAO « SolidWorks ».

Ensuite, une deuxième partie qui traite la méthode de la conception en 3D du support en donnant tous les détails ainsi que les différentes étapes de conception. [24]

##### **III.1.1.1.Définition du logiciel SolidWorks**

L'utilisation du logiciel SolidWorks 2016 a été choisi vu que je le maîtrise et du fait qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre pièce ; de plus il nous permet d'enregistrer le dessin sous les différents formats (DXF, STL, STEEP, etc...).

SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétrée basée sur des fonctions, associatif. [24]

##### **III.1.1.1.1.Modèle géométrique**

Le plus complet utilisé dans les systèmes de CAO, utilisant les informations qui relient les géométries du modèle entre elles (exemple : telle surface se rencontre avec telle arête). [24]

##### **III.1.1.1.2.Paramétrique**

Les cotes et les relations utilisées pour créer une fonction sont saisies et stockées dans le modèle ce qui permet de les changer rapidement et sans difficulté, (Changement de la cote 76 en 116 par exemple). [24]

##### **III.1.1.1.3.Basée sur des fonctions**

En effet un modèle SolidWorks est formé d'éléments individuels appelés fonctions. Ce sont des fonctions géométriques telles que les bossages, les enlèvements de matière, les perçages, les congés, les chanfreins. [24]

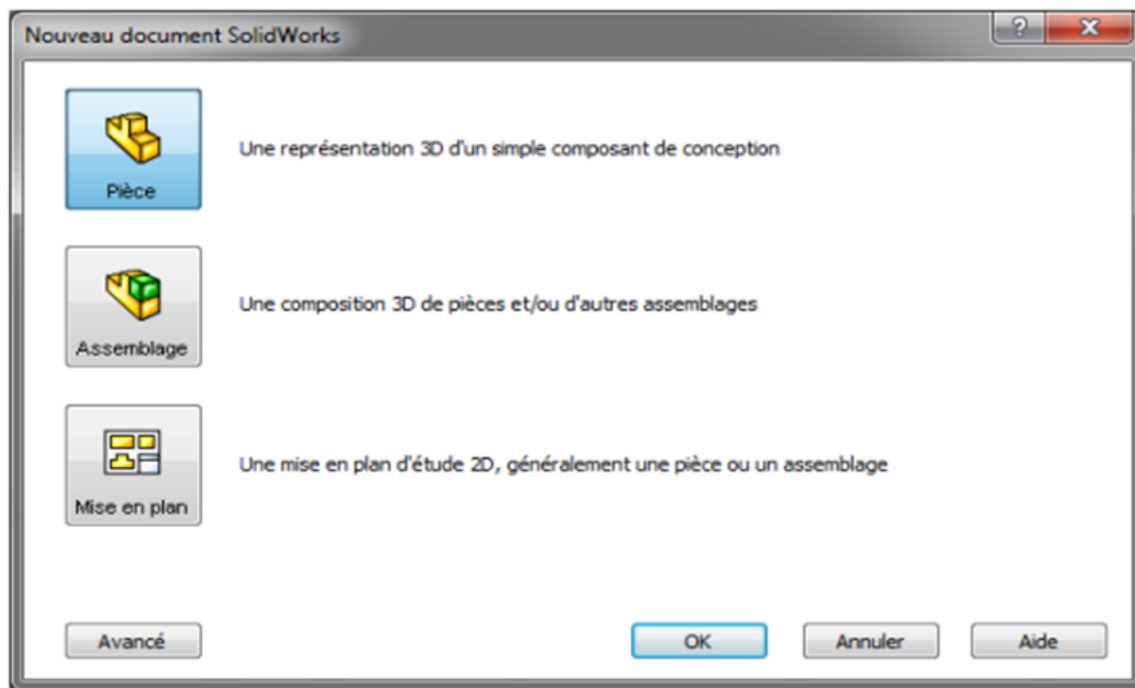
### III.1.1.2. Historique

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes.

Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Michelin, AREVA, PatekPhilippe, MegaBlocs, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud et le Ministère de l'Éducation nationale français. [24]

### III.1.1.3. Fonctionnement

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.



**Figure III.1 :** Les trois concepts de base (SOLIDWORKS). [24]

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

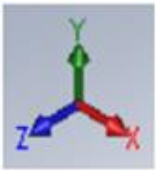
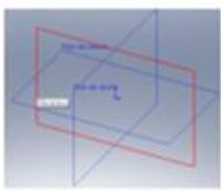
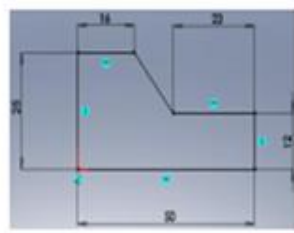
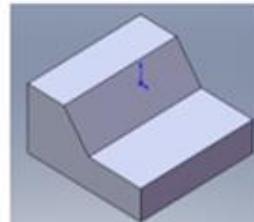
### III.1.1.3.1. Pièce

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, SolidWorks permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode.

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométries, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise. [24]

- **Etapes pour obtenir un volume**

Tableaux III.1 : Etapes pour obtenir un volume. [24]

| 1   | 2   | 3  | 4   |
|---|---|--|---|
| <b>Définir<br/>une origine</b>  | <b>Choisir<br/>un plan</b>  | <b>Tracer<br/>une esquisse</b>   | <b>Générer<br/>un volume</b>  |
|  |  |  |  |

Activ

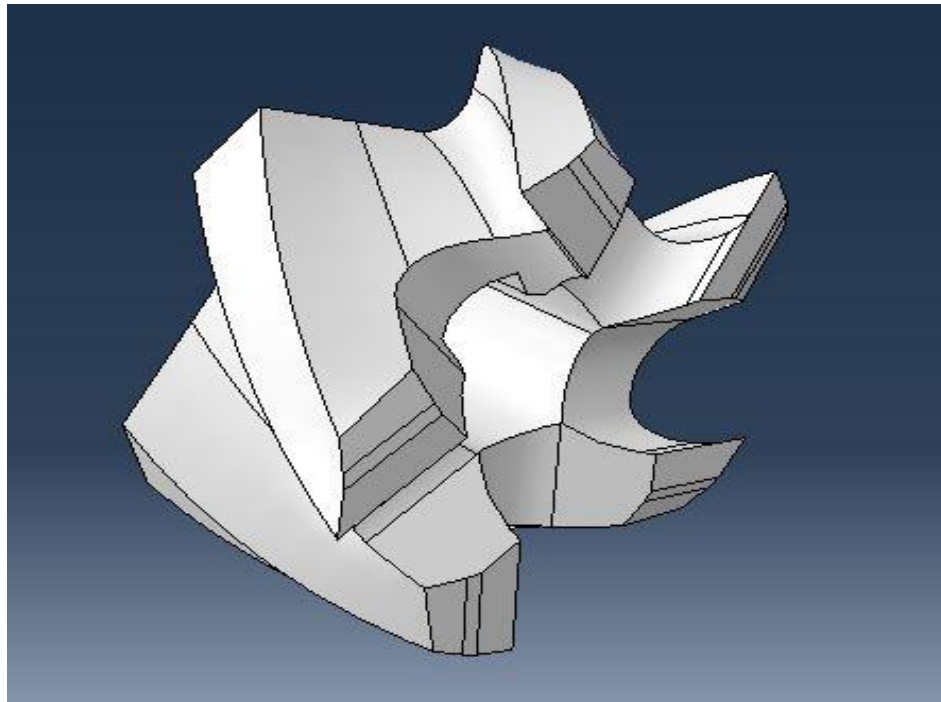
### III.2. Description d'une fraise cylindrique 2 tailles

#### III.2.1. Arête et faces de coupe et dépouille

Un outil coupant (fraise cylindrique 2T) est constitué d'une partie active : c'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal (voir figure III.2). Elle est caractérisée par sa forme et son matériau. Sa durée de vie doit être plus grande que celle du métal à travailler.

L'élément essentiel de la partie active de l'outil est formé par :

- **Arête de coupe** : est formée par l'intersection des faces de coupe et de dépouille ;
- **Face de coupe** : est la face où vient « s'enrouler » le copeau lors de l'usinage ;
- **Face de dépouille** : est compris entre le témoin et la tangente au cercle enveloppe des arêtes de la fraise au point de contact de ce cercle avec l'arête tranchante de la dent considérée. L'angle de dépouille a une grande importance dans la bonne réalisation du travail de coupe puisqu'il a pour but d'éviter le talonnement des dents sur la surface usinée.

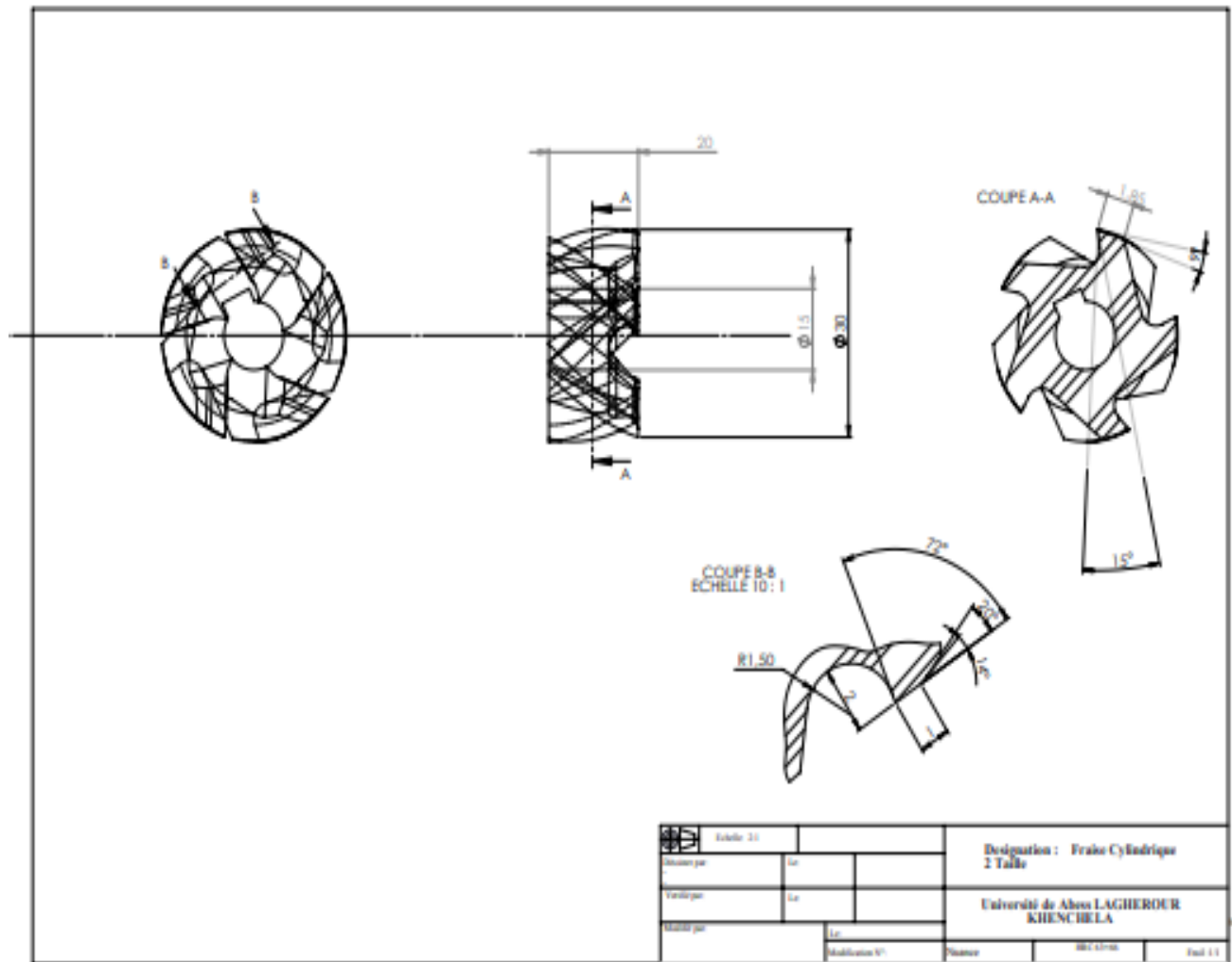


**Figure III.2** : Schéma descriptive d'une fraise cylindrique à deux tailles sur le SOLIDWORKS.

**III.2.2. Dessin de définition de la fraise cylindrique à deux tailles étudiée**

La première étape consiste en l'évaluation des requis provenant du bureau d'études.

Le dessin de définition réalisé par (BE) des usines (bureau qui prépare la conception d'un objet), il représente l'objet avant sa construction avec tous ses détails comme les dimensions en cotations normalisées et les usinages, il doit être les respecter. Ces détails facilitent la réalisation de ce travail aux exécutants. Et le dessin de définition de notre fraise cylindrique 2T indiqué ci-dessous.



**Figure III.3 :** Dessin de définition d'une fraise cylindrique à deux tailles.

### III.2.3.Mise en plan

- Longueur totale = 20 mm ;
- Diamètre de la fraise = 30 mm ;
- La partie active = 20 mm ;
- Angle de coupe  $\Omega = 15^\circ$  ;
- Angle de dépouille  $\alpha = 9^\circ$ .

### Remarque

La somme des angles de coupe doit être égale à  $90^\circ$ .

### III.2.4.Caractéristiques d'une fraise cylindrique 2 tailles

- Partie active : acier rapide ARC (W18Cr4v) ; (20 mm) ;
- Module de Young = 21000 ;
- Coefficient de poisson = 0.3.

## III.3.ABAQUS

### III.3.1.Introduction sur l'ABAQUS

D'un point de vue technique, les résultats obtenus grâce à ABAQUS sont le bilan des énergies, des forces nodales, des déformations, des déplacements, des contraintes, des vitesses, des accélérations et de toutes les grandeurs physiques nécessaires à la conception d'un modèle.

ABAQUS est un code de calcul par la méthode des éléments finis créé en 1978. Il est avant tout un logiciel de simulation de problèmes très variés en mécanique. Simuler la réponse physique des structures soumises à des chargements, des températures, des impacts ou autres conditions extérieures, Il est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants de problèmes non-linéaires. [25]

#### III.3.1.1.Généralité sur le code de calcul ABAQUS

ABAQUS compose de trois produits :

ABAQUS/Standard ,ABAQUS/Explicit, ABAQUS/CAE.

- **ABAQUS/Standard**

ABAQUS Est un solveur généraliste qui recourt à un schéma traditionnel d'intégration implicite Résolution basée sur l'algorithme de Newton-Raphson et la méthode de Riks ; Problèmes linéaires et non linéaires Géométrie 1D, 2D, 3D et Axisymétrique ; Nombreuses procédures d'analyse dans le domaine temporel et fréquentiel. [25]

- **ABAQUS/Explicit**

ABAQUS/ Explicite Un schéma d'intégration explicite pour résoudre des problèmes dynamique ou quasi-statiques non-linéaires. Analyse non linéaire (discrétisation spatiale et temporelle) Problème transitoire et dynamique des structures Résolution basée sur la méthode explicite d'intégration en temps. [25]

- **ABACUS/CAE**

ABAQUS /CAE Constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour lesdits solveurs. Chacun de ces produits est complété par des modules additionnels et optionnels, spécifiques à certaines applications. ABAQUS fut d'abord conçu pour analyser les comportements non-linéaires. Il possède en conséquence une vaste gamme de modèles de matériau. Ses modélisations d'élastomères, en particulier, méritent d'être reconnues. [25]

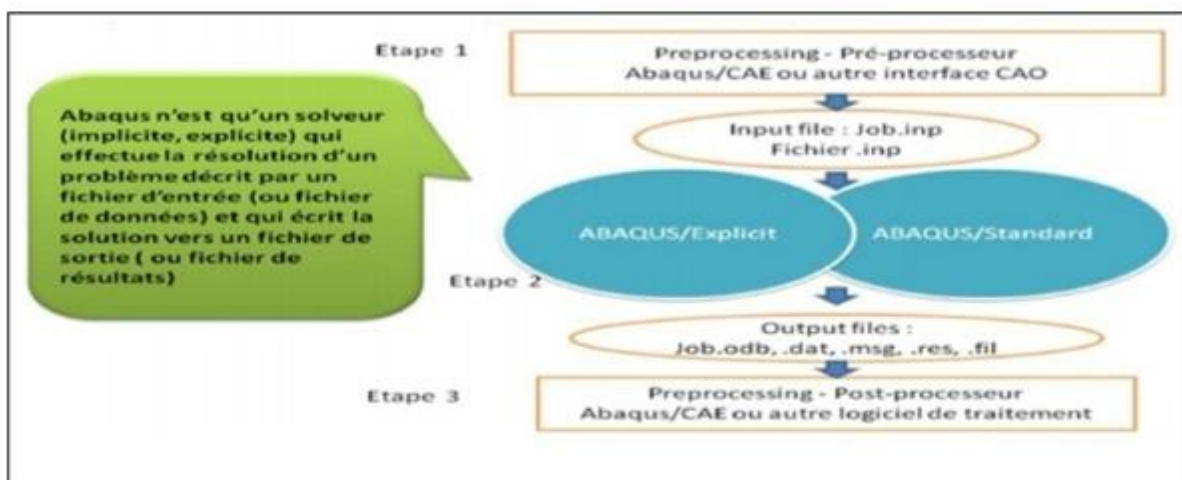


Figure III.4 : Structure d'une analyse sous Abaqus. [25]

### III.3.1.2. Organisation de l'interface Abaqus CAE (complète Abaqus environnement)

Il est important de savoir que le module CAE figure 2 que vous allez utiliser pour créer votre jeu de données est relativement récent (quelques années) et qu'il est plutôt destiné à la mise en données de problèmes relativement classiques.

Donc pas toutes les commandes utilisables dans Abaqus et fait souvent le choix de paramètres par défaut. [25]

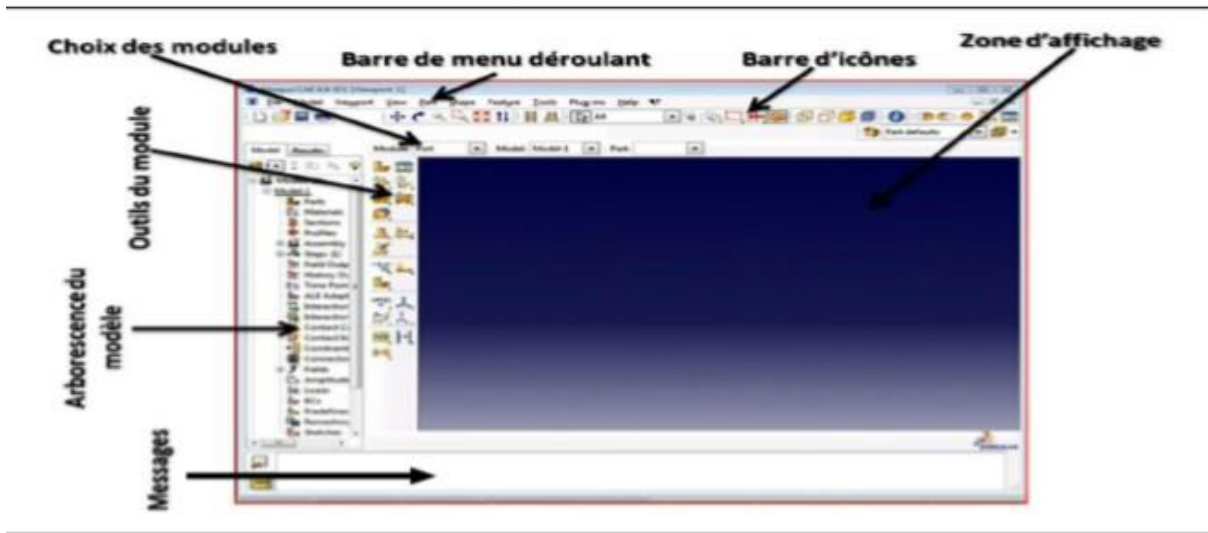


Figure III.5 : Organisation d'abaqus. [25]

### III.3.2. Contraintes de Von Mises

Le critère de von Mises est basé sur la théorie de von Mises-Hencky, connue aussi sous le nom de théorie de l'énergie de distorsion maximale.

En utilisant les contraintes principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , la contrainte de von Mises s'exprime comme suit :  $\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2}$

La théorie prévoit qu'un matériau ductile commence à céder lorsque la contrainte de von Mises atteint un niveau égal à la contrainte limite. Dans la plupart des cas, la limite d'élasticité est utilisée comme contrainte limite. Cependant, le logiciel vous permet d'utiliser la limite de rupture en traction ou de définir votre propre contrainte limite.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limite}}$$

### III.3.3. Simulation de la fraise cylindrique à deux tailles

- étude statique

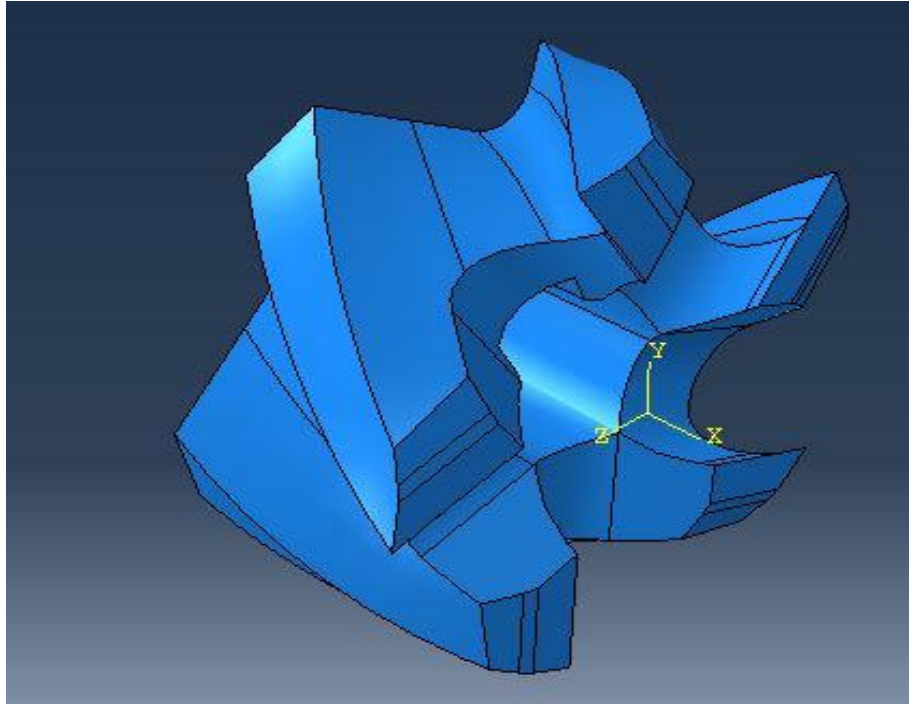


Figure III.6 : La fraise cylindrique réalisée par Solidworks.

### III.3.4. Maillage de l'outil

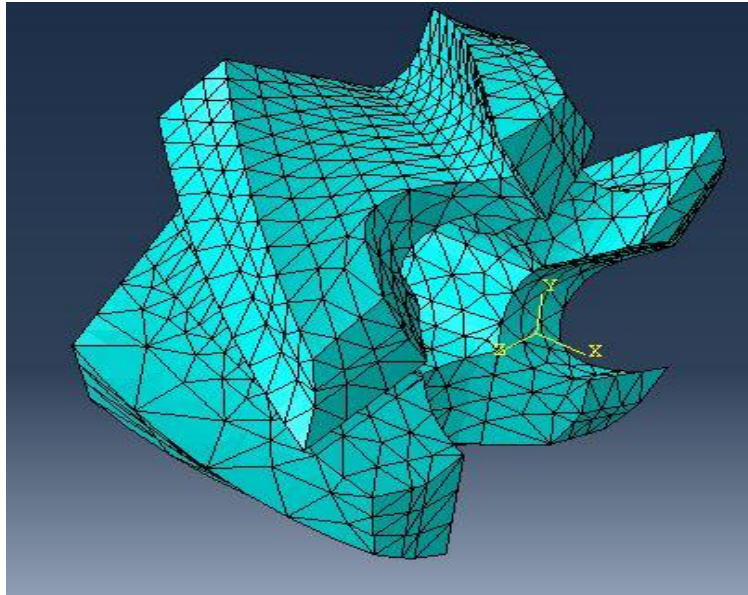
Un maillage est une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien définis. L'objet d'un maillage est de procéder à une simplification d'un système par un modèle représentant ce système et, éventuellement, son environnement (le milieu), dans l'optique de simulations de calculs ou de représentations graphiques. le bon maillage qui est :

- Permet d'avoir des résultats proches de la réalité.
- Permet au calcul de tourner avec les moyens disponibles (capacités du système informatique), et en un temps compatible avec la durée du projet.

Pour avoir un résultat proche de la réalité, on est souvent tenté d'utiliser un maillage fin.

Le maillage est défini par (son repère ; les points le constituant, caractérisés par leurs coordonnées ; les cellules, constituant des polytopes reliant n de ces points).

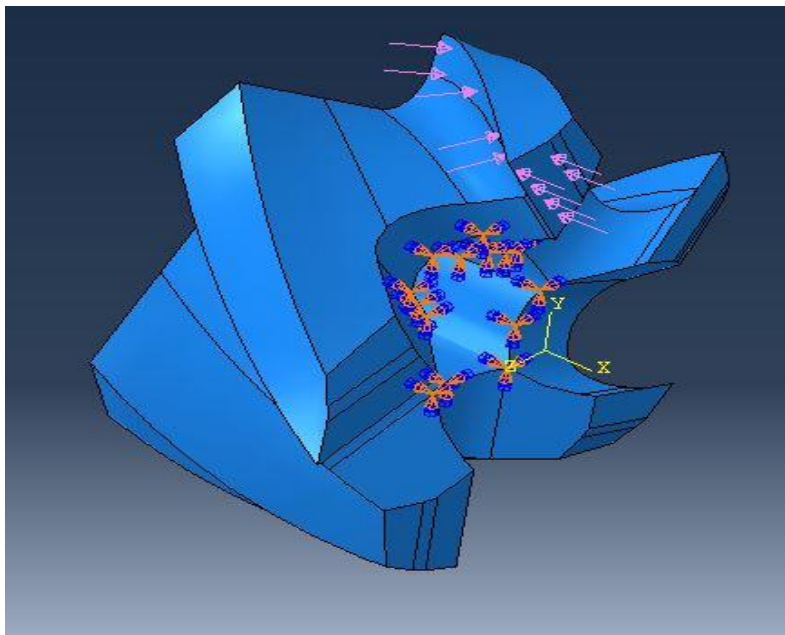
Et peut être caractérisé notamment par (sa dimension ; son volume; sa finesse ; la géométrie des cellules).



**Figure III.7 :** Maillage de la fraise réalisée.

### III.3.5.Chargement de la fraise

Nous allons définir les chargements nécessaires à la simulation, et appliquer un encastrement au milieu (trou) de la fraise cylindrique.



**Figure III.8 :** Mode de chargement.

### III.3.6.Résultats

C'est ce qui se passe à la fraise cylindrique en une fraction de seconde, et la même chose se produit à toutes les dents de la fraise ; on a fait l'étude donc sur une seule dent et on l'a généralisé sur les restes dents.

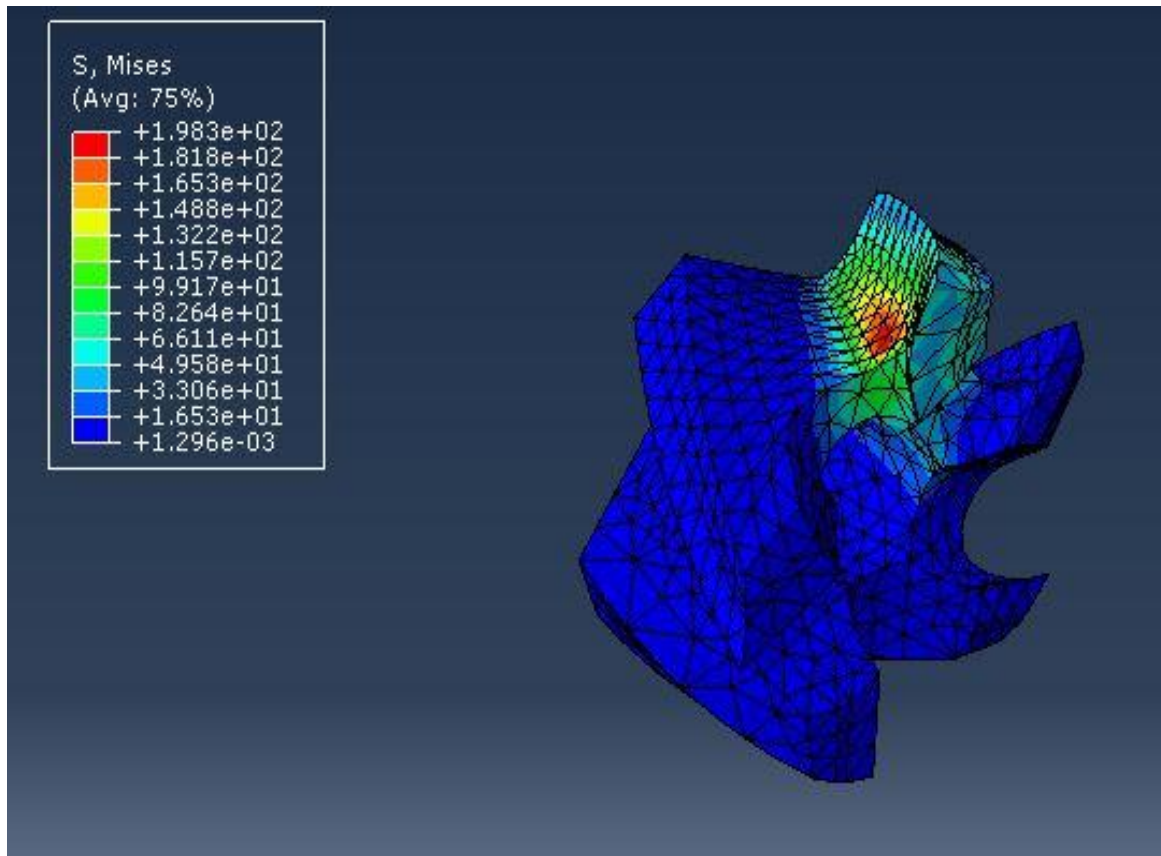


Figure III.9 : Contraintes de VonMises.

#### III.3.6.1.Les contraintes selon ZZ

Contrainte de Von Mises :

- **Min** :  $-7.906e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa),
- **Max** :  $+1.002e+02$  N/mm<sup>2</sup> (MPa).

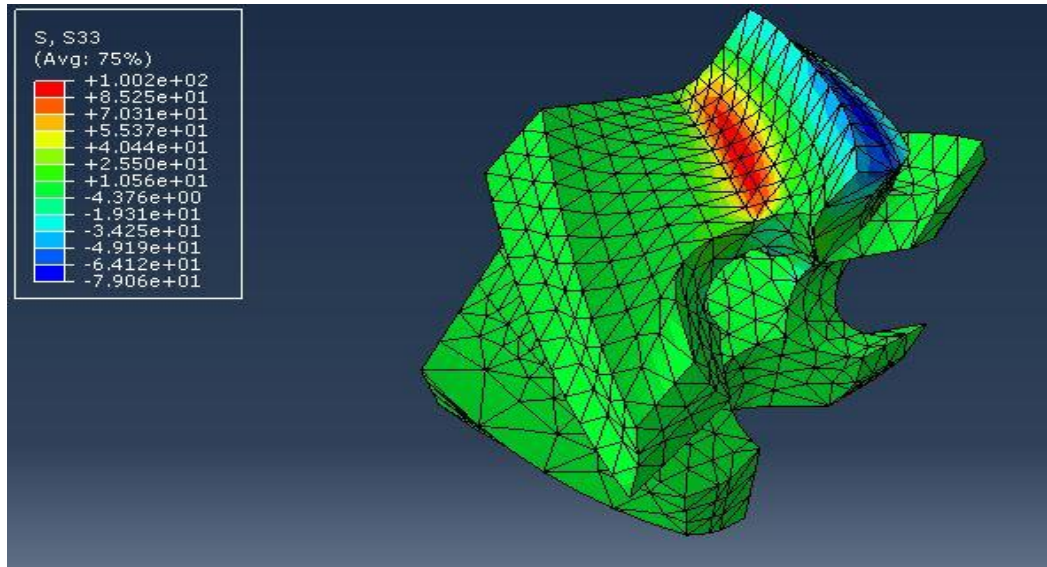


Figure III.10 : Contraintes selon le plan ZZ.

Nous constatons sur le plan ZZ la concentration des contraintes sur une zone rouge, ceci traduit l'usure de l'arête au premier position.

### III.3.6.2. Les contraintes selon YY

Contrainte de Von Mises :

→ **Min**  $-9.637e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa) ;

→ **Max**  $+1.686e+02$  N/mm<sup>2</sup> (MPa).

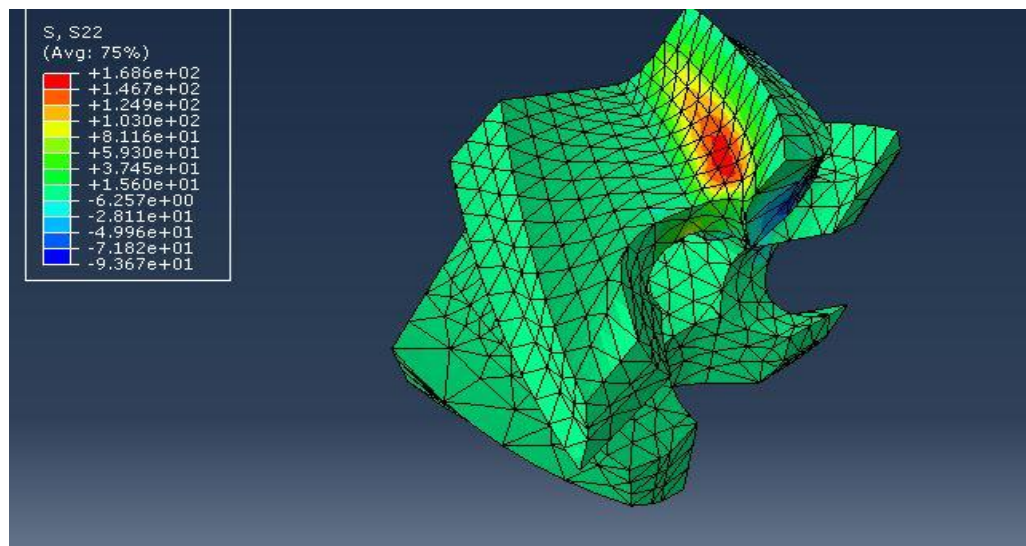


Figure III.11 : Contraintes selon YY.

Pour le plan YY la valeur maximale de la contrainte de Von-Mises est  $+1.686e+02$  N/mm<sup>2</sup>, dans cet endroit la fraise s'use rapidement avant les autres endroits.

### III.3.6.3. Les contraintes selon XX

Contrainte de Von Mises :

- **Min** :  $-6.128e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa) ;
- **Max** :  $+6.209e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa).

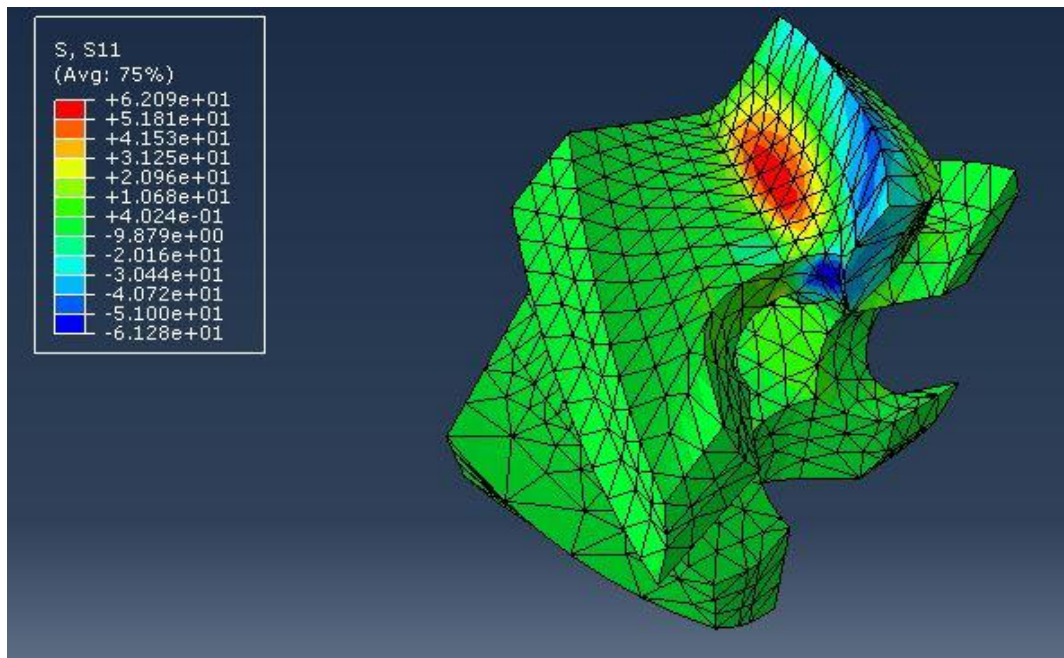


Figure III.12 : Contraintes selon XX.

On ceci concerne le plan XX, nous voyons une zone rouge étalée sur l'arête de la dent, ceci explique une grande usure de la dent.

### III.3.6.4. Les contraintes selon XZ

Contrainte de Von Mises :

- **Min** :  $-4.904e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa) ;
- **Max** :  $+3.169e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa).

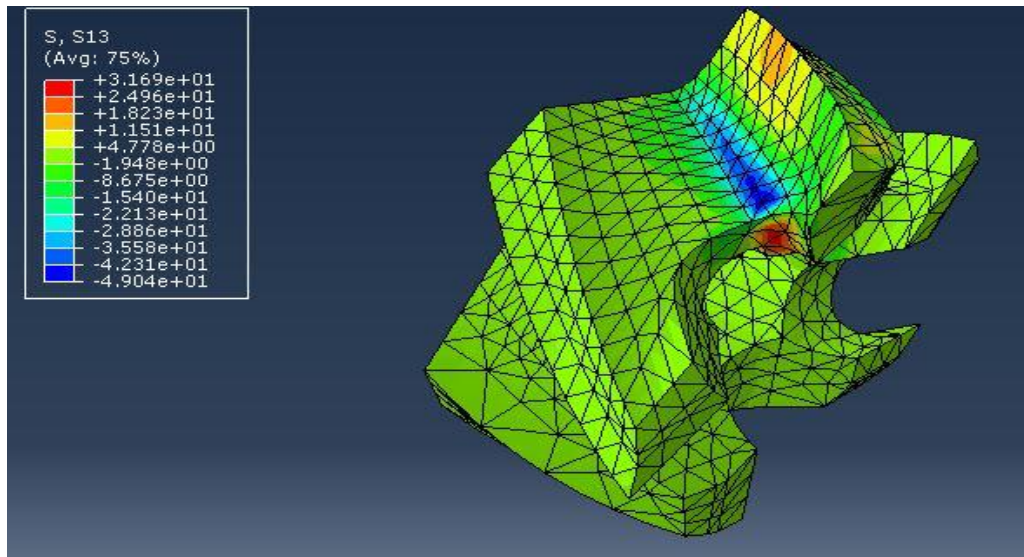


Figure III.13 : Contraintes selon XZ.

Sur le plan composé XZ l'effort sera distribuée sur toute l'arête de la coupe (voir la valeur maximale  $+3.169e+01 \text{ N/mm}^2$ ) donc la zone rouge est moins que d'autre plan.

### III.3.6.5. Les contraintes selon YZ

Contrainte de Von Mises :

- **Min** :  $-7.727e+01 \text{ N/mm}^2$  (MPa) ;
- **Max** :  $+3.824e+01 \text{ N/mm}^2$  (MPa).

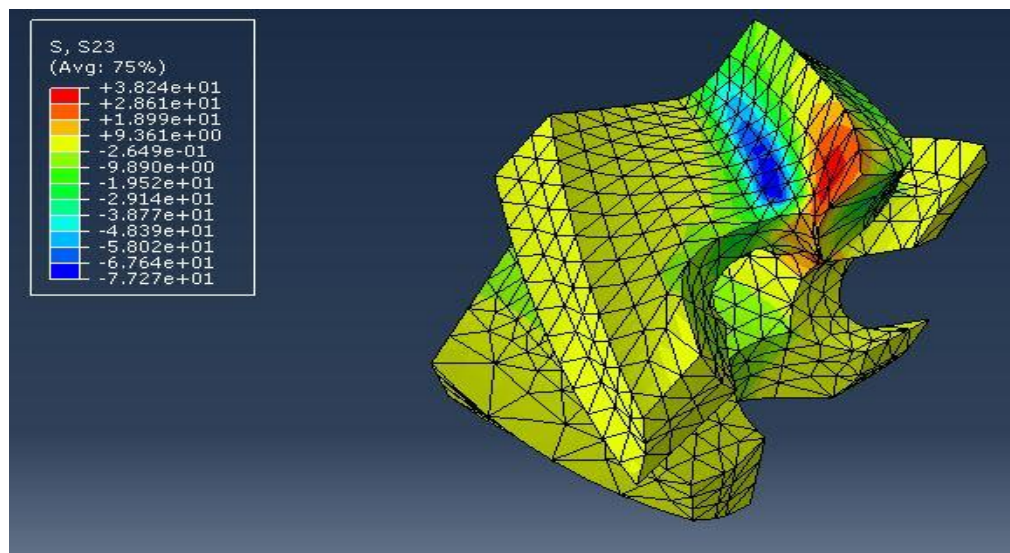


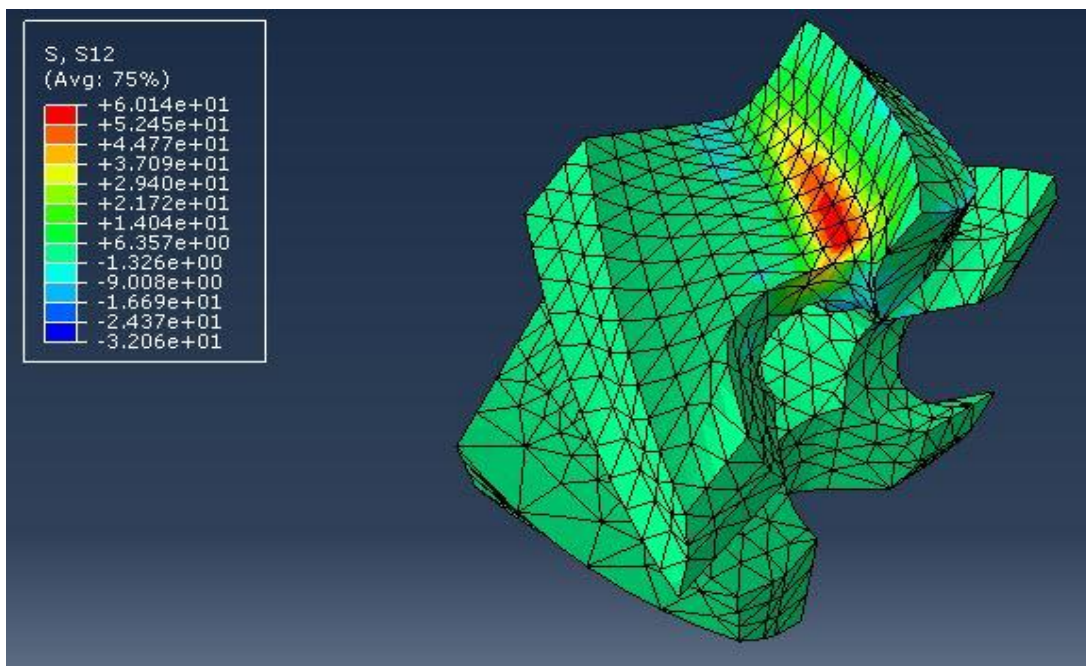
Figure III.14 : Contraintes selon YZ.

Sur le plan composé YZ l'effort sera distribuée sur l'arête de la coupe (la valeur maximale  $+3.824e+01$  N/mm<sup>2</sup>) donc la zone rouge est moins que les autres plan.

### III.3.6.6. Les contraintes selon XY

Contrainte de Von Mises :

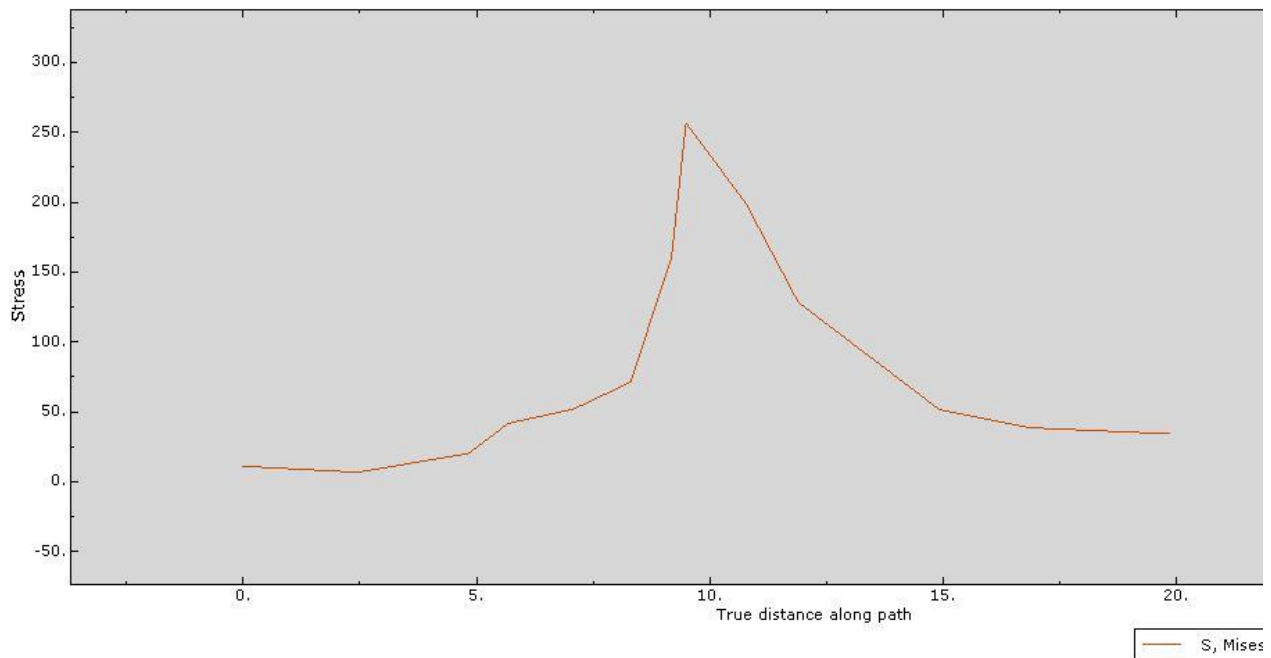
- **Min** :  $-3.206e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa),
- **Max** :  $+6.014e+01$  N/mm<sup>2</sup> (MPa).



**Figure III.15** : Contraintes selon XY.

Pour le plan XY la valeur maximale de la contrainte de Von-Mises est  $+6.014e+01$  N/mm<sup>2</sup>, dans cette endroit la fraise s'use rapidement.

### III.3.6.7. La courbe



**Figure III.16** : Répartition des contraintes de Von-Mises en fonction de déplacement.

Sur la **figure III.16** nous avons représenté la contrainte de Von-Mises en fonction de déplacement nous remarquons que la valeur maximale de contrainte est 250 N/mm<sup>2</sup>, au niveau de cette zone l'outil subit une concentration de contrainte qui va engendrer une grande usure de l'outil.

### III.4. Discussion

Dans notre modèle on a fait la coupe pour désigner les zones dangereuses sur l'arrête de coupe (les zones rouges), qui indiquent la concentration des contraintes. la présence d'un congé et l'arrondi permet de réduire cette concentration de contrainte qui créerait un angle vif.

# **CONCLUSION GENERALE**

### Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à étudier l'influence des paramètres de coupe sur une fraise cylindrique à deux tailles.

Au terme de cette étude on peut conclure que l'état de la fraise cylindrique et la surface à usiner dépend directement de régime de coupe et en particulier l'avance.

Les grandes avances diminuent la durée de vie de l'outil.

L'influence de la profondeur de passe reste modeste sur l'usure.

La lubrification améliore nettement l'état de surface mais ne l'assure jamais. Le choix de la géométrie de l'outil ainsi que celui d'une machine-outil précise sont requis.

Le choix de la matière en œuvre et la qualification de l'ouvrier sont d'une grande importance.

Et c'est ce que les études et expériences que nous avons prouvées dans le 3<sup>ème</sup> chapitre.

### Bibliographies

- [1] A. Castel, Technologie Professionnelle Générale, Paris, 1980.
- [2] Alain Passeron, « tournage » technique de l'ingénieur, BM 7086, 1997.
- [3] S. BENZAADA coupe des métaux 2001.
- [4] Gilles Prod'Homme, « Commande Numérique des Machines-Outils », Technique de l'ingénieur, Traité Génie Mécanique, B7130, PP. 3, 1997.
- [5] BOUGOFFA RMEZ. MOHAMEDLAMINE, L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier XC48, Master Fab. M 2018.
- [6] E. Felder ; « procédés d'usinage », article B7000, technique de l'ingénieur.
- [7] B. Vielle « usinage », méthodes et fabrication, conservatoire national des arts page 9.
- [8] Jacob, J.Malesson, Y. Ricque, D. Hachette, Guide pratique de l'usinage-tournage, technique, Paris, 1992.
- [9] JEAN-PIERRE CORDEBOIS ET COLL, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003.
- [10] Alain Passeron, « tournage » technique de L'ingénieur, BM 7086, 1997.
- [11] [http://www.univ-usto.dz/image/consenligne/CM\\_bennegadi.pdf](http://www.univ-usto.dz/image/consenligne/CM_bennegadi.pdf).
- [12] Brigitte Remaël, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles «Usinage», Septembre 2018.
- [13] A.Ouchati, Sciences de l'ingénieur – Unité de production – Usinage, les paramètres de coupe.
- [14] M.Rahou, F.Sbaa, automatisation des instructions d'usinage cas paramètres de coupe «4<sup>th</sup> International conference on computer Intergrated Manufacturing CIP 2007», Université Abou Bakr Belkaid Telemcen, 2007.
- [15] Article de SIDER-MECA by Otelo «Machines-Outils», définir les paramètres de coupe.
- [16] S.SFRANI, cours fabrication mécanique, université Abdelkader Mira-Bejaia.
- [17] J.Vergnas, «Usinage, technologie et pratique», Génie mécanique DUNOD. ISBN 2-04-011186-7, BORDAS, Paris 1982.
- [18] <http://hssforum.com/Français/5-FRAISAGE.pdf>
- [19] Cristophe@cnc fraises.fr «fraisage, définir les paramètres de coupe».
- [20] Apports théoriques productiques, ateliers BAC PRO – Technicien d'usinage.
- [21] [Wikiwand.com/Fr/Fraise-\(outil\)](http://Wikiwand.com/Fr/Fraise-(outil))
- [22] KERROUZ SIHAM, Cours Fabrication mécanique, Centre universitaire Ahmed Zabana Relizane.

## **Bibliographies**

---

- [23] <http://www.enst.dz/tronc-commun/fraisage.pdf>
- [24] Benbekhti Ahmed, «Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique.», Master Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2013.
- [25] MEFTAH KAMEL, cours introduction général au logiciel ABAQUS, université de Biskra, 2013.