

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER (LMD)

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie Mécanique Pro

Thème

**CONCEPTION ET REALISATION D'UNE FRAISE A LAMER
A PILOTE INTERCHANGEABLE, INCORPOREE DANS LA
FABRICATION MECANIQUE.**

Réalisé par :

- HAMZAOUI Amir
- BOUALLEGUE Med Akram

Dirigé par : Dr. GHILANI.L

Membres de jury :

- Dr. TOUATI Sofiane Président.
- Dr. BERKIA Abdelhak Examineur.

2021-2022

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

Avant tout à MES CHERS PARENTS

REKKAB Fouzia, Mohammed Ma petite sœur Dhikra, qui m'a soutenue durant toutes ces années de formation.

A MA FAMILLE

Que ce modeste travail soit l'expression de ma reconnaissance pour leur soutien moral qu'elle n'a cessé de prodiguer.

A notre ENCADREUR

nos professeurs qui nous ont soutenus tout le long de nos études GHILANI Laala.

A MES AMIS

(BOUALLEGUE Akram, Groupe Abattoir, MORDJANE Fakhreddine...)

Pour l'amour et le respect qu'ils m'apportent, pour leurs aides, leurs encouragements et leurs disponibilités.

Et à toute la promotion 2021/2022.

Pour toi...

HAMZAOUI Amir

Dédicace

- ✚ *Ma famille; mes parents (SEKHRAOUI Dinara, Abd rahim) ;*
- ✚ *Grand-mère Hanifa bousbiaat*
- ✚ *Tous mes frères; Islem, Aymen, Nasro, Rami*
- ✚ *A Mes amis (Amir Hamza, MORDJANE Fakhraddine Sofiane Sakhraoui, Mouaiz koutiti charaf rafiik ...)*
- ✚ *Tous les étudiants de la promotion 2021/2022;*
- ✚ *Mon encadreur Dr.GHELANI Laala ;*
- ✚ *Chef de service ;*

Tous mes amis et collègues.

Je dédie ce modeste travail.

BOUALLEGUE Med Akram

Remerciement

Toute la gratitude et le merci à Dieu notre créateur qui nous a donné la force pour effectuer et achever ce travail. Ainsi nos parents qui nous aident. Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadreur Mr: **GHILANI Laala** Pour avoir accepté de diriger notre travail, Pour ses précieux conseils, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité. Grâce à lui, notre travail s'est déroulé. Nous remercions également Mr: **ABBOUDI Abdelaaziz ; Mr KHADHRAOUI Fayçal ; CHITOUR Mourad** et à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation à l'université à notre aide et conseils. Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à l'ensemble des institutions suivantes sans qui ce travail de recherche n'aurait pu être réalisé :

L'Université d'**ABBES LAGHROUR/ KHENCHELA**

Fondation des constructions mécaniques **ECMK HESAN MARIR**

Direction de production **SONATRACH ADRAR**

Comme nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail :

- **Dr. BERKIA Abdelhak**
- **Dr. TOUATI Sofiane**

Enfin, à toute la famille avec ses supports réconfortants dans les bons et les mauvais moments en particulier.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
<i>Chapitre I: Généralités sur les différents procédés d'usinage.</i>	
I.1 Généralité	3
I.2. Partie I- Mise en forme par méthodes conventionnelles	4
I.2.1. Obtention par usinage	4
I.2.1.1. Tournage	4
a) Tournage extérieur	4
b) Tournage intérieur	5
I.2.1.2. Tournage de pièces métalliques	6
I.2.1.3. Principaux usinages réalisables sur un tour	6
a) Chariotage	6
b) Dressage	7
c) Chanfreinage	7
d) Centrage	7
e) Perçage	8
f) Alésage	8
g) Rainurage	8
h) Tronçonnage	9
i) Filetage et taraudage	9
j) Tournage de forme	9
k) Détalonnage	9
I.2.1.2.Fraisage	10
I.2.1.2.1.Principe de travail	10
I.2.1.2.2Modes de fraisage	10
a)Fraisage de face	10
b) Fraisage de profil	11
c) Fraisage en opposition	12
d) Fraisage en concordance ou<<en avalant>>	12
I.2.1.3. Perçage	12
I.2.1.4.Brochage	13
I.2.1.5. Rectification	13
I.2.1.5.1.Principe de la rectification	13

Sommaire

I.2.1.5.2. Schéma de principe et fonctionnement	13
I.2.1.5.3. Mode d'action de l'outil meule	14
(a) Rectification plane	14
(b) Rectifieuse cylindrique	15
(c) Rectification externe cylindrique	15
(d) Rectification intérieur cylindrique	16
(e) Rectifieuse sans centre	16
(f) Rectifieuse sans centre extérieur	17
(g) Rectifieuse sans centre intérieur	17
I.2.1.5.4. Avantages de la rectification	18
I.2.2. Obtention par deformation	18
I.2.2.1. Forgeage	18
I.2.2.2. Laminage	19
I.2.2.3. Emboutissage	20
I.2.2.4. Estampage	21
I.2.2.5 Matriçage	21
I.2.2.6. Filage	22
(a) Filage direct	22
(b) Filage inverse	23
(c) Filage inverse en conteneur	23
(d) Filage sur aiguille	23
I.2.2.7. Tréfilage	24
I.2.2.8 Cintrage	25
I.2.2.9. Pliage	25
I.2.2.10 Extrusion	26
I.2.3. Obtention par fusion (fonderie) Moulage	27
I.2.3.1. Moulage non permanent (moulage au sable)	27
I.2.3.2. Moules permanents	28
(a) Moulage en coquille par gravité	29
(b) Moulage sous pression	29
I.2.4. Obtention par assemblage	30
I.2.4.1 Soudage	30
I.2.4.2 Collage	30

Sommaire

I.2.4.3 Rivetage	31
I.2.4.4 Agrafage	31
I.3. Partie II Mise en forme par méthodes non -conventionnelles (avancées	32
I.3.1. Obtention par usinages (très) grande vitesse (UGV)	32
I.3.1.1.Introduction	32
I.3.1.2. Caractéristiques de l'UGV	33
I.3.1.3. Phénomènes thermiques	34
I.3.2. Obtention par Électroérosion	35
I.3.2.1.Usinage en plongée (Enfonçage)	36
I.3.2.2. Usinage par découpage à fil	36
I.3.3. Obtention par frittage	37
I.3.4 Obtention par Découpage	39
I.3.4.1. Découpage laser	39
I.3.4.2. Découpage jet d'eau	40
I.3.4.3. Découpage plasma	40
I.3.5.Usinage photochimique	41
I.3.5.1. Principe	42
I.3.5.2. Objectifs	42
I.3.5.3. Avantages de l'usinage photochimique	42
I.3.5.4. Secteurs d'activités	43
<i>Chapitre II : Etude et conception des outils de fraisage.</i>	
II.1 Introduction	45
II.2 Définition	45
II.3.Différents types des fraiseuses	46
II. 3.1 Fraiseuses universelles	46
II.3.2 Fraiseuses de production (à programme, commande numérique	46
II.4.Principe de la fraiseuse	47
II.5.Mode de travail en fraisage	48
II.6.Comparaison entre les 2 modes	49
II.7. L'outil de coupe	49
II.8.La mise en position de (pièce et de la fraise)	50
II.9.Techniques de fraisage (les operations)	52
II.10.Paramètres de coupe	53

Sommaire

II.11.Géométries de coupe	53
II.12.Éléments d'outil	55
II.12.1.Choix des outils de fraisage	55
II.13.Principe de la coupe des métaux	57
II.14.Paramètres techno-économiques d'usinage	59
II.15.Durée de vie d'un outil de coupe	60
II.16.Affûtage	65
II.17.Les different models de fraise-outlies	67
II. Conclusion	69
<i>Chapitre III: Réalisations et modélisation numérique de la fraise étudiée</i>	
III.1-Introduction	71
III.2. La CAO	71
III.3. La FAO	72
III.4.Description d'une fraise cylindrique	72
(a) Sens de coup	72
(b) Type de denture	72
III.5. Les principaux éléments géométriques de la fraise	73
III.6. Etapes de réalisation de la fraise cylindrique	73
(a) Dessin de définition (plan d'ensemble)	73
(b) Gamme d'usinage	74
(c) Traitement thermique	74
III.7. Classification des traitements thermiques	75
III.8. Etapes de réalisation d'un outil	75
III.9. Gamme d'usinage	76
III.10. Les traitements thermiques	89
III.11. Dessin	90
III.11.1Introduction	90
(a) SolidWorks	90
(b) Caractéristiques d'une fraise cylindrique	91
(c) Abaqus	92
(d) Rapport de simulation	93
Conclusion	99
Bibliographie	101

Liste des tableaux

Chapitre I: Généralités sur les différents procédés d'usinage.

/

Chapitre II : Etude et conception des outils de fraisage.

Tab.II.1.comparaison entre les modes de travail en fraisage	49
Tab.II.2. Les opérations de fraisaige	52
Tab.II.3. Type des fraises en acier rapide (ARS)	56
Tab.II.4. .Les modèles de fraise-outils	68

Chapitre III: Réalisation & modélisation numérique de la fraise étudiée

/

Liste des figures

Chapitre I: Généralités sur les différents procédés d'usinage.

Fig. I.1.Schéma d'élaboration de tournage mécanique	4
Fig. I.2. Usinage externe sur tour	5
Fig. I.3.Principales opération de tournage interne sur tour	5
Fig. I.4 .Schéma de l'opération de chariotage	4
Fig. I.5.Schéma d'élaboration de dressage	7
Fig. I.6. Schéma d'opération de Chanfreinage	7
Fig. I.7.Opération de centrage	7
Fig. I.8.Opération de perçage	8
Fig. I.9.Schéma de réalisation d'un alésage	8
Fig. I.10 Schéma de l'opération de rainurage	8
Fig. I.11 Opération de tronçonnage	9
Fig. I.12. Schéma d'opérations de filetage	9
Fig. I.13. Tournage de forme	9
Fig. I.14. Profil d'une fraise de forme à denture détalonnée	10
Fig. I.15.Principe de fraisage	10
Fig. I.16 Schéma de fraisage de face	11
Fig. I.17. Fraisage de profil	11
Fig. I.18. Fraisage combiné	11
Fig. I.19. Fraisage en opposition	12
Fig. I.20. Fraisage en avalant	12
Fig. I.21.schéma de perçage	12
Fig. I.22.Nomenclature des broches	13
Fig. I.23. Principe de rectification	13
Fig. I.24. Opération de la rectification plane	14
Fig. I.25. Schéma d'une rectifieuse plane	15
Fig. I.26. Schéma d'une rectifieuse cylindrique	16
Fig. I.27. Opérations de rectification extérieure	16
Fig. I.28. Rectification Intérieure	16
Fig. I.29. Schéma d'une rectifieuse sans centre	17
Fig. I.30. Rectification sans centres extérieure	17
Fig. I.31. Rectification sans centres intérieure	17
Fig. I.32. Principe rectifieuse sans centres	18
Fig. I.33.Schéma d'élaboration par forgeage	19
Fig. I.34 Schéma d'élaboration de laminage	20
Fig. I.35 Principe d'emboutissage (pièces forgées)	21
Fig. I.36 Schéma d'élaboration par estampage	22
Fig. I.37. Schéma d'élaboration par matriçage	22
Fig. I.38. Produits filés en alliage d'aluminium	24
Fig. I.39. Atelier de tréfilage	25
Fig. I.40. Procédés de cintrage	26
Fig. I.41. Schéma d'élaboration de pliage de tôles	26
Fig. I.42. Extrusion des pièces de différentes formes	27
Fig. I.43. Pièce plastique moulée par injection	28
Fig. I.44 Moulage en sable	29
Fig. I.45.Moulage en coquille	29
Fig. I.46.Moulage sous pression	30
Fig. I.47.Assemblage par soudage	31

Liste des figures

Fig. I.48.Assemblage par collage	31
Fig. I.49.Assemblage par rivets	32
Fig. I.50. Agrafeuse manuelle professionnelle	32
Fig. I.51. Plages de vitesses de coupe pour différents matériaux	36
Fig. I.52 Principe de fonctionnement électroérosion (Enfonçage)	36
Fig. I.53. Principe de fonctionnement électroérosion (Robot- fil)	38
Fig. I.54 Schéma d'élaboration par frittage	38
Fig. I.55 Plaquette de coupe amovible	39
Fig. I.56 Presse hydraulique à découper	40
Fig. I.57 Machine de découpage laser	40
Fig. I.58. Découpage par jet d'eau	41
Fig. I.59.Découpage plasma réalisé par un robot industriel	41
Fig. I.60.Pièces réalisées par usinage photochimique	43
Fig. I.61. Illustration des secteurs d'activités	43
<i>Chapitre II : Etude et conception des outils de fraisage.</i>	
Fig. II.1. Fraiseuses universelles	46
Fig. II.2. Fraiseuse à commande numérique à banc fixe	47
Fig. II.3. Eta d'une fraiseuse CNC	47
Fig. II.4 Cône de broche ISO	47
Fig. II.5. Principe de fraisage	47
Fig. II.6 Principes de fraisage de face(en bout)	48
Fig. II.7 Principes de fraisage de profil	48
Fig. II.8. Travail en opposition	48
Fig. II.9. Travail en avalent	48
Fig. II.10. Les modes de fraisage	49
Fig. II.11.Fraise en acier rapide	50
Fig. II.12. Fraise avec plaquettes en carbure métalliques	50
Fig. II.13. La partie active d'une fraise.	50
Fig. II.14.Etau	50
Fig. II.15. la méthode de fixation d'une pièce	51
Fig. II.16. Le mandarin	51
Fig. II.17 Schéma d'une plaque support	51
Fig. II.18 Illustration des paramètres de coupe	53
Fig. II.19. Coupe en fraisage	53
Fig. II.20. Visualisation de la vitesse de coupe Vc	54
Fig. II.21 Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant	55
Fig. II.22 zones d coupe	58

Liste des figures

Fig. II.23. La zone de cisaillement	58
Fig. II.24 Géométrie de la formation d'un copeau	59
Fig. II.25. Calcul du Tt en fraisage (en bout)	59
Fig. II.26. Calcul du Tt en fraisage (en roulant)	60
Fig. II.27 les zones d'usure	61
Fig. II.28 Processus d'usure par abrasion	61
Fig. II.29. Processus d'usure par adhésion	61
Fig. II.30. L'usure par diffusion	62
Fig. II.31. L'usure et ses paramètres	63
Fig. II.32. Usure en dépouille (abrasion)	63
Fig. II.33. Figure 30 Usure en cratère (chimique)	63
Fig. II.34 Usure en entaille (adherence)	64
Fig. II.35. Usure en fissuration	64
Fig. II.36. Usure thermique (déformation plastique)	64
Fig. II.37. Courbe d'usure par apport le temps	65
Fig.II.38. Affûteuse universelle	66
Fig. II.39 Denture à double hélice alternées	68
Fig. II.40 Denture droite	68
Fig. II.41 Denture hélicoïdale à gauche	68
Fig. II.42. Denture hélicoïdale à droite	68
Fig. II.43. Fraises de forme	69
Fig. II.44 Fraise cylindrique	69
Fig. II 45. Fraise conique	69
Fig. II.46. Schéma de Fraise une taille et deux tailles	69
Fig. II.47. Fraise à trou taraudé	69
Fig. II.48. Fraise à trou	69

Chapitre III: Réalisation & modélisation numérique de la fraise étudiée

Fig. III.1. Les différentes étapes de conception et fabrication un produit	71
Fig. III 2. L'usinage d'épaulements d'une fraise cylindrique 2T	72
Fig. III 3. L'angle d'hélice (h)	73
Fig. III 4. Les différents angles	74
Fig. III 5. Schéma descriptive le Profil de la pièce 1 de l'outil	74
Fig. III 6. Schéma descriptive le Profil de la pièce 2 de l'outil	74

Liste des figures

Fig. III.7. Schéma descriptive le Profil de 2eme pièce	75
Fig. III.8. Pièce 1 (Q402.03-4-D24-1)	76
Fig. III 9. Pièce 2 (Q402.03-4-D24-2)	76
Fig. III 10. Une pièce formé dans le programme	91
Fig. III 11. Mise en plan dan SW	91
Fig. III 12. Les 3 modules	92

Résumé

Le fraisage est l'une des opérations d'usinage largement appliquées dans la fabrication industrielle d'outils et d'équipements en raison de son efficacité dans l'état de surface obtenu.

Pour répondre à cet état de fait et afin d'augmenter la durée de vie et la qualité des pièces usinées, une démarche de conception globale de la pièce de fabrication est nécessaire. Toutes les étapes, à savoir depuis la conception puis réalisation jusqu'à finition de pièce, doivent être respectées et étudiées.

L'objectif principal du travail est de faire une conception et réaliser & modéliser une pièce en acier W18 avec le logiciel SOLIDWORKS.

الطحن هو أحد عمليات الآلات المطبقة على نطاق واسع في التصنيع الصناعي للأدوات والمعدات بسبب كفاءتها في حالة السطح التي تم الحصول عليها.

ومن أجل الاستجابة لهذه الحالة وزيادة مدة الخدمة ونوعية الأجزاء الآلية، من الضروري اتباع نهج شامل لتصميم الجزء الصناعي. يجب اتباع ودراسة جميع الخطوات، من التصميم إلى الانتهاء من الجزء.

SOLIDWORKS باستخدام برنامج W18 الهدف الرئيسي من العمل هو تصميم وبناء وتصميم جزء فولاذي.

Introduction générale

Introduction générale

L'usinage par enlèvement de matière désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'obtenir une surface par enlèvement de copeaux à l'aide d'un outil tranchant. Cette technique ancienne reste une technique de fabrication importante et très répandue. Dans la mise en forme des métaux par la coupe, le procédé de tournage représente à lui seul, dans l'industrie, plus du tiers de l'usinage par enlèvement de copeaux.

L'objectif des travaux de recherche en fabrication mécanique a toujours été de trouver des solutions pour améliorer la productivité et la qualité des pièces usinées, faire le plus de pièces possibles, le plus rapidement possible, en réduisant au mieux les coûts et les défauts de production. Ces opérations s'insèrent dans la succession des opérations de mise en forme à deux niveaux principalement soit comme opération de:

- Découpe d'une ébauche destinée à être laminée, forgée, emboutie...
- Mise à la cote de pièces préalablement moulées, frittées, embouties, ou assemblées par soudage ;

L'outillage est un vaste domaine où on peut trouver plusieurs formes d'outils vu la diversité des opérations en Fraisage, à chaque opération son outil de coupe et chaque outil de coupe son porte outil. Notre objectif, en procédant à ce travail, est d'utiliser les moyennes possibles pour la conception et la réalisation d'une fraise à lamer à pilote interchangeable, nous avons proposé une gamme d'usinage développée, à l'aide des mesures expérimentales fiables basées sur des logiciels numériques, Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur « CFAO » et des Machines-Outils à Commande Numérique « MOCN ».

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

- **Chapitre I** : porte sur une recherche bibliographique sur les différents procédés d'usinage.
- **Chapitre II** : porte sur les différentes géométries des outils de coupe, pour faire savoir c'est quoi un outil de coupe ainsi (Dans notre cas fraise à lamer)
- **Chapitre III** : d'une façon générale ce dernier chapitre porte sur la conception et les étapes de fabrication de la fraise destinée à l'opération de fraisage aussi le traitement thermique adéquat au matériau utilisé.

*Chapitre I:
Généralités sur les différents procédés
D'usinage.*

I.1 Généralité

Il existe de nombreux moyen d'obtenir des pièces mécaniques, le travail d'un technicien d'usinage sera de choisir le ou les procédés de fabrication les plus adaptés à la pièce à fabriquer. A savoir : le plus simple à mettre en œuvre, le plus rapide, le moins cher et qui permet d'assurer la qualité et la cadence demandée, On considère 4 grandes familles de procédés d'obtention des pièces mécaniques :

- Par enlèvement de matière d'une pièce brute
- Par assemblage de plusieurs éléments
- Par fusion de la matière
- Par déformation plastique de la matière

(a) Partie I – Mise en forme par méthodes conventionnelles: Parmi les différentes techniques de transformation de la matière, la mise en forme par enlèvement de matière (usinage) présente un poste onéreux tant par le parc de machines mobilisé que par les outils de coupe utilisés ou la perte inévitable de la matière par formation de copeaux, mais néanmoins c'est la seule méthode qui permet de produire des formes complexes avec des tolérances très serrées.

- Usinage ;
- Fusion (fonderie) ;
- Déformation plastique ;
- Assemblage (Rivetage, Boulonnage, Soudage,...).

(b) Partie II – Mise en forme par méthodes non – conventionnelles: Quand on parle usinage ou machine-outil, on pense souvent au tournage, fraisage, rectification,...or ne pense pas aux procédés d'usinage avancées tels que l'électroérosion, l'ultrason, l'électrochimique, pour ne citer que trois procédés modernes. Les procédés d'usinage conventionnels mettent en jeu, pour l'enlèvement de copeaux, des efforts de coupe importants, deviennent difficiles pour l'usinage des matériaux durs ne permettent pas l'obtention des formes complexes. Les procédés d'usinage modernes ne nécessitent pratiquement aucun effort de coupe, mais leurs débits de matière enlevée est très faible comparativement au dédit de tournage par exemple. Cependant dans certains cas, seuls les usinages modernes peuvent être envisagés :

- (a) Usinages à Grande Vitesse (UGV) ;
- (b) Électroérosion ;
- (c) Découpage ;

- (d) Frittage ;
- (e) Usinage photochimique ;

I.2. Partie I– Mise en forme par méthodes conventionnelles

I.2.1. Obtention par Usinage

Consiste à obtenir la forme finale par arrachements de petits morceaux de matière (copeaux). De manière générale on appelle usinage ces procédés. On y distingue :

- ❖ Tournage ;
- ❖ Fraisage ;
- ❖ Perçage ;
- ❖ Rectification ;
- ❖ Brochage

I.2.1.1. Tournage

Un outil de coupe à une seule pointe se déplace axialement, le long de la pièce, en enlevant de la matière pour former différentes caractéristiques telles que des encoches, des cônes, des chanfreins et des contours. Ces caractéristiques sont généralement usinées à une faible profondeur de coupe radiale et des passes multiples sont effectuées jusqu'à ce que le diamètre voulu soit atteint. Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage. En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux voir (Fig. I.1).

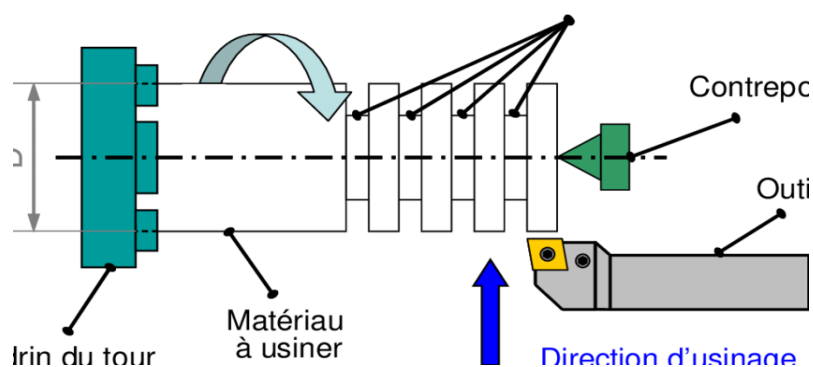


Fig. I.1 Schéma d'élaboration de tournage mécanique.

(a) Tournage extérieur

On distingue (Fig. I.2) :

- Tournage longitudinal (chariotage, axe z), réalisation d'un diamètre ;

- Tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement ;
- Tournage par profilage ou contournage, réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique ;
- Tournage de gorges, dégagements ;
- Filetage, réalisation d'un pas de vis ;
- Tronçonnage.

Outil de décolletage
Usinage externe

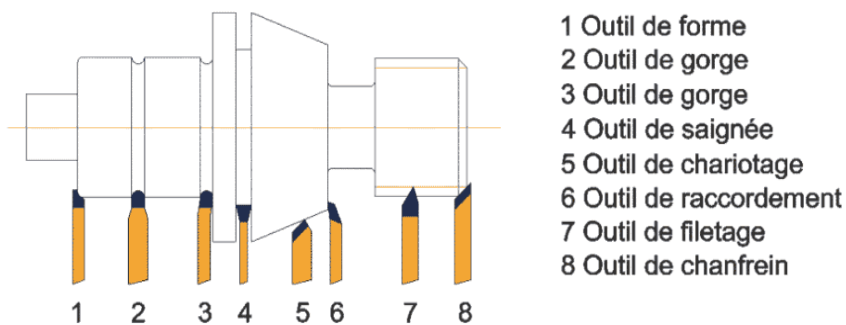


Fig. I.2. Usinage externe sur tour.

(b) Tournage intérieur

Usinage interne sur tour (Fig. I.3) :

- Alésage ;
- Dressage ;
- Tournage intérieur par contournage ;
- Tournage de dégagement, gorges ;
- Taraudage, réalisation
- d'un filetage intérieur ;
- Chambrage.

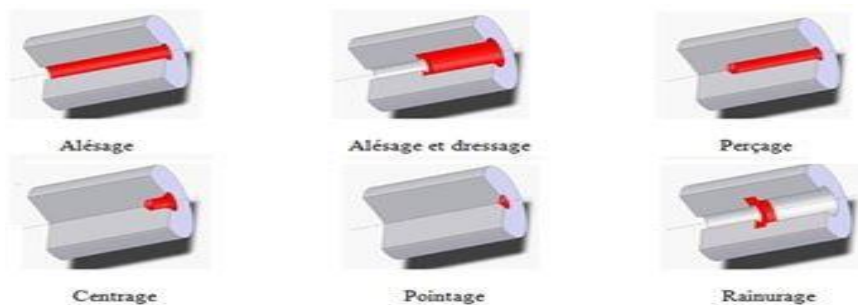


Fig. I.3. Principales opérations de tournage interne sur tour.

I.2.1.2. Tournage de pièces métalliques

La fabrication d'une pièce métallique brute en tournage conventionnel se fait typiquement en cinq opérations :

- (1) Ecroûtage du brut : on enlève la couche extérieure, qui a un mauvais état de surface et contient de nombreux défauts (calamine, corrosion, fissures, inclusions, écrouissage important, ...) ; il s'agit d'une passe d'environ 0.5 à 1 mm ;
- (2) Contrôle du diamètre obtenu, ce qui permet de déterminer combien il faut enlever de matière pour arriver à la cote visée ;
- (3) Passes d'ébauche d'une profondeur de plusieurs mm, pour enlever la matière ;
- (4) Contrôle du diamètre avant finition ;
- (5) Passe de finition, d'une profondeur inférieure à 0.5 mm mais supérieure au copeau minimum, afin d'avoir une bonne tolérance dimensionnelle et un bon état de surface.

I.2.1.3. Principaux usinages réalisables sur un tour

- Tournage cylindrique extérieur avec pointe et contre-pointe (entre pointes), appelé chariotage, avec passes de dégrossissage et de finition ;
- Dressage avec passes de dégrossissage et de finition ;
- Chariotage conique ou tournage conique par orientation du chariot porte outil avec passes de dégrossissage et finition ;
- Filetage, tronçonnage, perçage et tournage intérieur (alésage).

(a) Chariotage

Est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure. L'alésage, une surface intérieure cylindrique ou cambrage. (Fig. I.4)

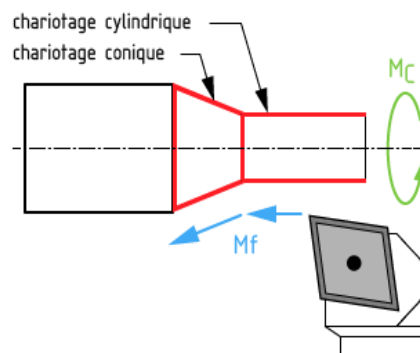


Fig. I.4 Schéma représenté l'opération de chariotage.

(b) Dressage

Un outil de coupe à une seule pointe se déplace radialement, le long de l'extrémité de la pièce, enlevant une fine couche de matériau pour obtenir une surface plane et lisse. La profondeur de la face, généralement très petite, peut être usinée en un seul passage ou peut être atteinte en usinant à une profondeur de coupe axiale plus petite et en effectuant des passages multiples. (Fig. I.5).

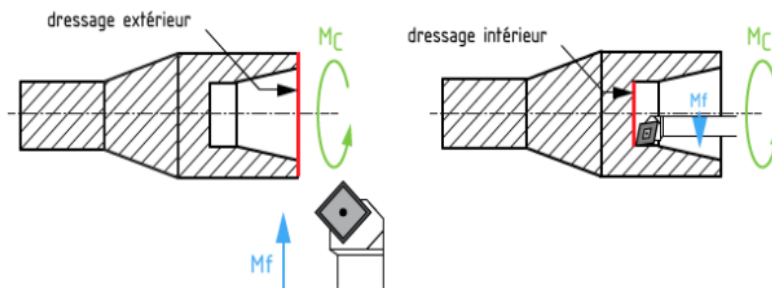


Fig. I.5 Schéma d'élaboration de dressage.

(c) Chanfreinage

Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif (voir Fig. I.6).

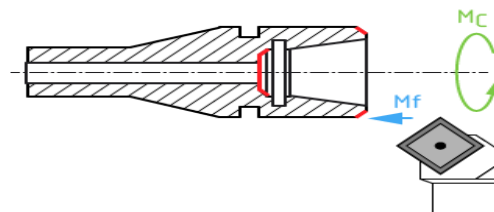


Fig. I.6 Opération de Chanfreinage.

(d) Centrage

L'opération consiste à usiner à l'extrémité de la pièce à dresser un centre qui servira de logement à la pointe. Les axes des deux centres doivent se confondre avec l'axe géométrique de la pièce (Fig. I.7).

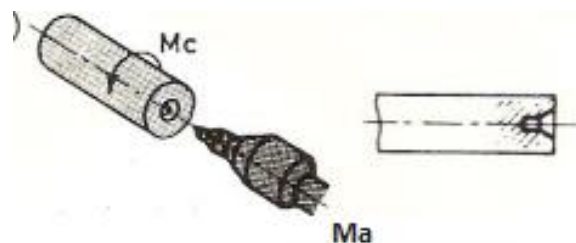


Fig. I.7 Opération de centrage.

(e) Perçage

Un foret entre dans la pièce par l'extrémité et découpe un trou d'un diamètre égal au sien. (Fig. I.8).



Fig. I.8 Opération de perçage

(f) Alésage

Un outil de coupe pénètre axialement dans la pièce et taille la matière le long d'une surface interne pour former différentes caractéristiques telles que des entailles, des cônes, des chanfreins et des contours. L'outil d'alésage est généralement un outil de coupe à pointe unique, qui peut être réglé pour couper le diamètre souhaité en utilisant une tête d'alésage réglable. L'alésage est généralement effectué après le perçage d'un trou afin d'en élargir le diamètre ou d'obtenir des dimensions plus précises. (Fig. I.9).

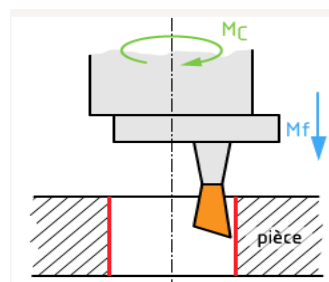


Fig. I.9 Schéma de réalisation d'un alésage.

(g) Rainurage

Un outil de coupe à une seule pointe se déplace radialement, sur le côté de la pièce, en découpant une rainure de largeur égale à celle de l'outil de coupe. Des coupes multiples peuvent être effectuées pour former une rainure plus large que la largeur de l'outil et des outils de coupe de formes spéciales peuvent être utilisés pour créer des rainures de géométrie variable. (Fig. I.10).

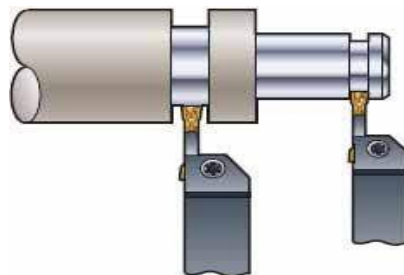


Fig. I.10 Schéma montré l'opération de rainurage.

(h) Tronçonnage

Un outil de coupe à une seule pointe se déplace radialement, sur le côté de la pièce, et continue jusqu'à ce que le centre ou le diamètre intérieur de la pièce soit atteint, ce qui permet de tronçonner ou de couper une partie de la pièce. (Fig. I.11).

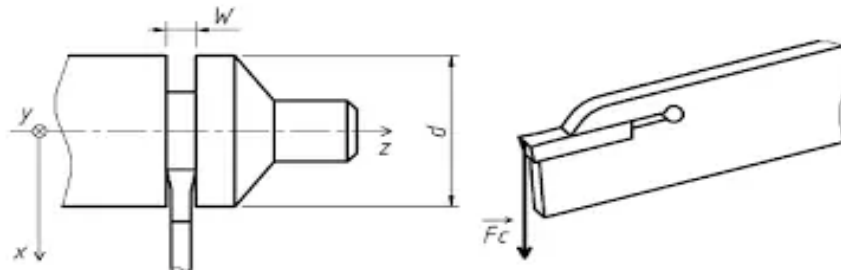


Fig. I.11 Opération de tronçonnage.

(i) Filetage et taraudage

Un outil de coupe pénètre axialement dans la pièce par l'extrémité et coupe des filets internes dans un trou existant. (Fig. I.12).

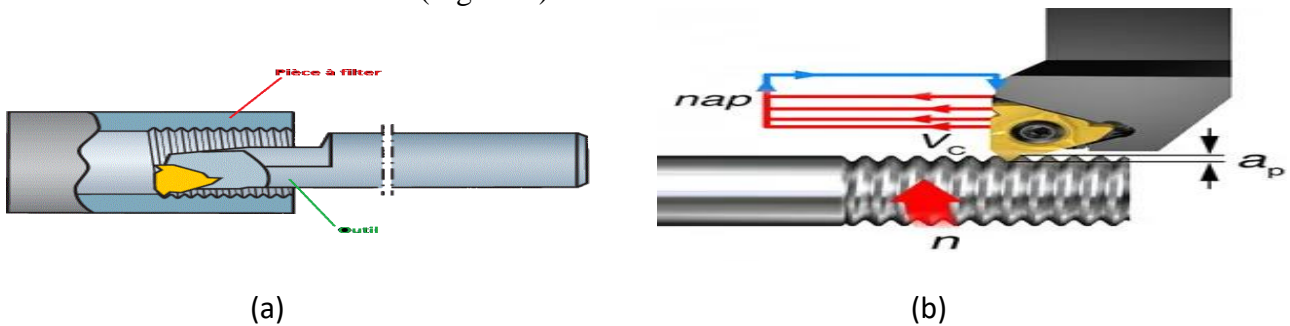


Fig. I.12. Opération de filetage : a) intérieur (taraudage), b) extérieur (filetage).

(j) Tournage de forme

Consiste à exécuter des pièces de révolution complexe: sphère, cylindre, plan, cône... (Fig. I.13).

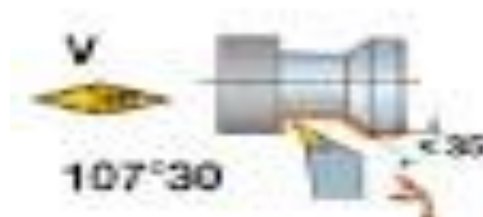


Fig. I.13. Tournage de forme.

(k) Détalonnage

C'est une opération qui consiste à réaliser un angle de dépouille de la fraise et pour but de faire l'arrête de ce dernier (fraise) plus haute que le dos de la dent de façon à permettre à la fraise d'exécuter le découpage normale. Le détailonnage est plus employé pour l'usinage des fraises de forme (Fig. I.14).



Fig. I.14 Profil d'une fraise de forme à denture détalonnée.

I.2.1.2.Fraisage

Le fraisage est un procédé d'usinage réalisable sur des machines-outils appelées fraiseuses. Il permet la réalisation des pièces prismatiques ou de révolution, de profils spéciaux tel qu'hélices, cames, engrenages... (Fig. I.15). L'outil –appelé fraise- est toujours animé 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.

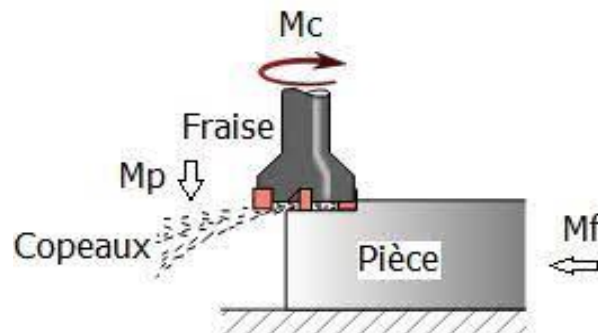


Fig. I.15.Principe de fraisage.

I.2.1.2.1.Principe de travail

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.

I.2.1.2.2.Modes de fraisage

On distingue deux modes : le fraisage de face et le fraisage de profil.

(a) Fraisage de face

Ce mode de fraisage est réalisé avec le bout d'une fraise "deux tailles ou une taille", d'une fraise à dents rapportées, avec les faces d'une fraise trois tailles et se trouve combiné (face et profil) dans l'usinage associé des surfaces. La surface obtenue est généralement d'une précision géométrique meilleure que celle obtenue en fraisage de profil. Lorsque l'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface, chaque dent laisse un trait croisé sur la pièce (voir figure) et il est nécessaire que la fraise sorte complètement de la pièce, ce qui augmente la course de travail.

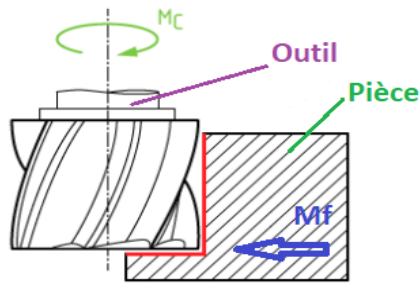


Fig. I.16 Schéma de fraisage de face.

(b) Fraisage de profil

Est un mode de fraisage où l'axe de la fraise est parallèle au plan de la pièce usinée.

Ce mode peut être caractérisé par la présence de légères ondulations sur la surface obtenues après usinage. Ces ondulations sont présentes à cause des dents de la fraise. Néanmoins, elles dépendent de la vitesse d'avance et du diamètre de l'outil. Par exemple, si la vitesse d'avance est importante, les ondulations seront d'autant plus visibles.

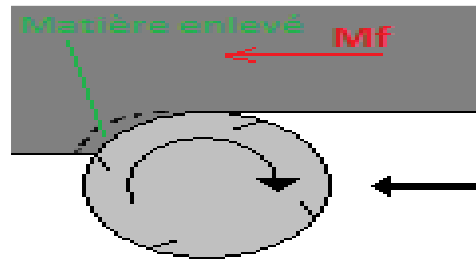


Fig. I.17. Fraisage de profil.

On peut également effectuer **un fraisage combiné**, c'est-à-dire de face et de profile en même temps. C'est le cas des fraises **2 tailles**, **3 tailles**, travaillant simultanément en bout et en roulant : c'est le fraisage combiné (Fig. I.18).

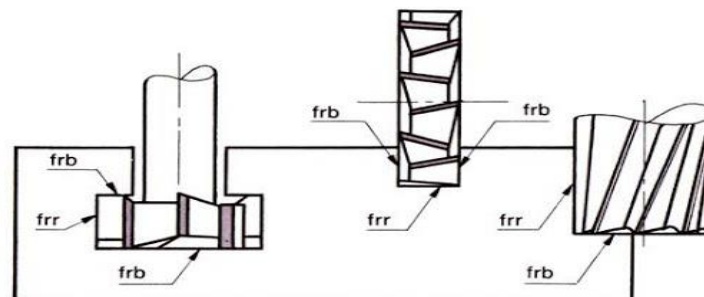


Fig. I.18. Fraisage combiné.

Lors d'une opération de fraisage de profil et selon le sens de rotation de l'outil par rapport à la pièce, Il existe deux manières de procéder :

(c) Fraisage en opposition

Fraisage au cours duquel, par rapport à la tête de la fraiseuse, la vitesse des dents en contact avec la matière est dans le sens opposé de la vitesse de la pièce usinée, l'effort de coupe tangentiel s'opposant à l'avance de la pièce à fraiser. (Fig. I.19).

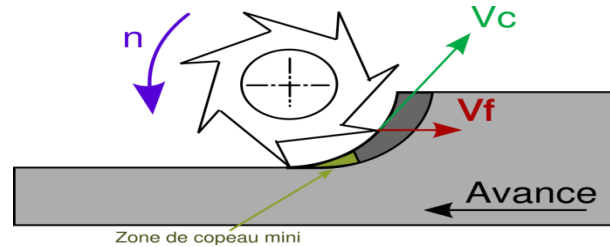


Fig. I.19. Fraisage en opposition.

(d) Fraisage en concordance ou « en avalant »

Dans le cas de fraisage en avalant, la direction d'avance est la même que le sens de rotation de la fraise. L'épaisseur de copeau va donc diminuer jusqu'à être égale à zéro à la fin de la passe (Fig. I.20).

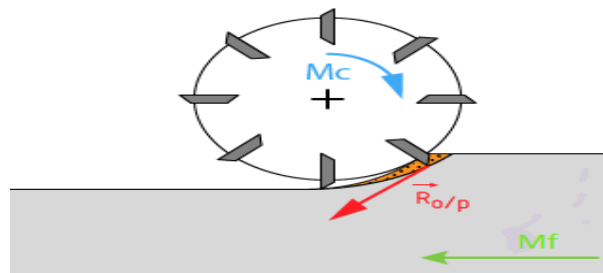


Fig. I.20. Fraisage en avalant.

I.2.1.3. Perçage

Le perçage est un procédé d'usinage qui consiste à obtenir un trou circulaire par enlèvement de copeaux.

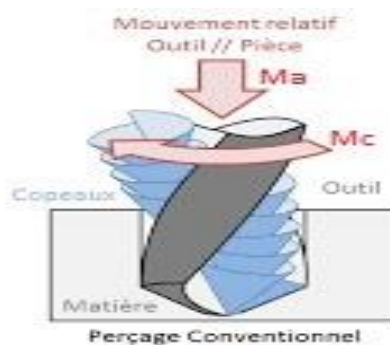


Fig. I.21 Schéma de perçage .

➤ **Principe de travail**

Le perçage est obtenu à l'aide d'un outil de coupe appelé foret. Il est animé d'un mouvement de rotation continu et d'un mouvement d'avance.

I.2.1.4. Brochage

Méthode de travail des métaux, utilisée pour usiner ou calibrer des trous de forme particulière ou des profils extérieurs au moyen d'une broche. Le brochage consiste à raboter les parois d'un trou au moyen d'un outil appelé (broche), pourvu d'un grand nombre de dents et animé d'un mouvement de translation rectiligne. On utilise pour cela une brocheuse. Le brochage permet d'effectuer tous les usinages intérieurs à cannelures, les rainures de clavettes, etc., et même les rainures hélicoïdales ainsi que des profils extérieurs.



Fig I.22 Nomenclature des broches, (a) Broches de formes internes, (b) Broches de formes externes.

I.2.1.5. Rectification

I.2.1.5.1. Principe de la rectification (Fig. I.23)

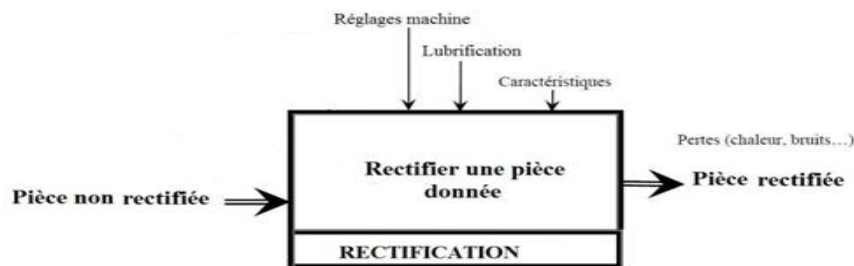


Fig. I.23. Principe de rectification.

I.2.1.5.2. Schéma de principe et fonctionnement

La rectification est un procédé d'usinage sur machines-outils qui consiste à enlever la matière, sous forme de petits copeaux (grains), au moyen d'un outil particulier appelé meule. On fait appel à ce procédé pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surfaces et aux conditions de dureté des pièces.

I.2.1.5.3. Mode d'action de l'outil meule

I.2.1.5.3. Mode d'action de l'outil meule

Une meule est constituée de matière abrasive qui vient arracher à la pièce de minuscules fragments qui sont éjectés (contrairement à l'usinage par arrachement de copeaux) (voir figure ci-dessous), les températures associées à ce procédé sont très élevées dans la zone de coupe, c'est pourquoi les copeaux ont l'apparence d'étincelles.

À la différence des autres procédés d'usinage où le nombre de lèvres de l'outil est bien défini et limité, dans le cas de la rectification, l'outil présente à la pièce un nombre très élevé d'arêtes de coupe, chaque arête étant un grain d'abrasif sur la meule (Fig. I.24). De plus, on a un faible taux d'enlèvement de matière, le procédé de rectification est très lent mais produit des pièces d'une haute précision avec un excellent fini de surface. On utilise la rectification pour réaliser les usinages de précision des surfaces après trempe ou afin d'obtenir des IT (intervalles de tolérances) extrêmement serrés. Toutefois, on doit tenter de minimiser l'utilisation de ce procédé car sa faible productivité augmente de manière importante les coûts de production de la pièce associée.

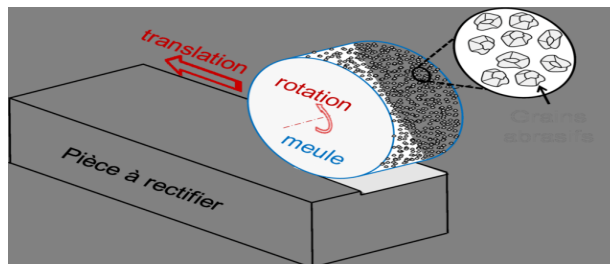


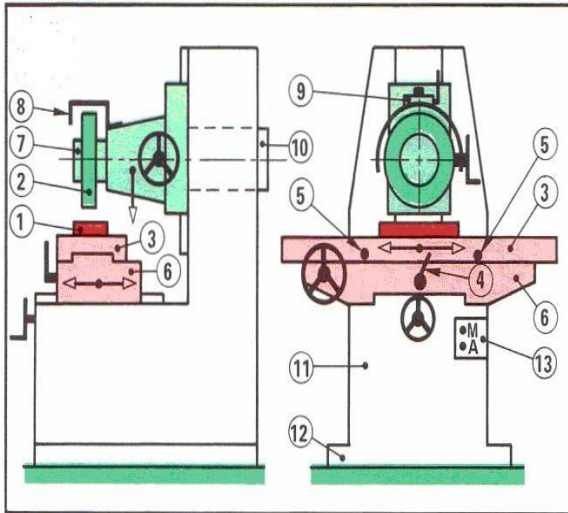
Fig. I.24. Opération de la rectification plane.

Au cours de la **rectification**, l'outil de coupe appelé meule est animé d'un mouvement de rotation, la pièce se déplace en translation (**rectification plane**) ou tourne autour de son axe tout en se déplaçant en translation le long de son axe (**rectification cylindrique**). La rectification se fait sur des rectifieuses planes et cylindriques. Il y a trois types de formes principales que l'on rectifie : **surfaces planes**, de **révolutions intérieures** et **extérieures** (voir ci-dessous).

(a) Rectification plane

Elle est constituée d'un bâti de fonte, d'une poupée porte-meule et d'une table horizontale mobile sur les glissières du bâti. La pièce est immobilisée sur la table au cours du travail grâce à l'attraction exercée par une plaque électromagnétique (Fig. I.25). Un moteur électrique entraîne en rotation la broche et la meule au moyen d'une transmission par courroie.

L'avance est assurée par le déplacement transversal de la poupée porte-meule commandé par une vis.

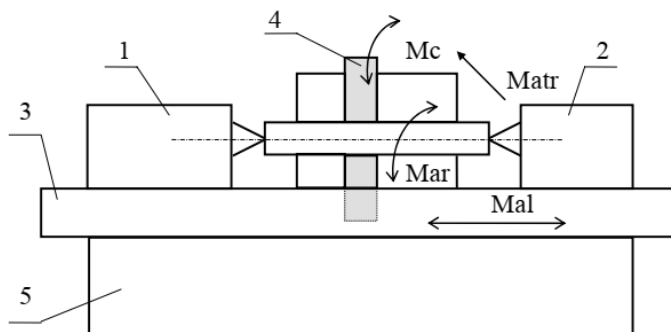


1. pièce
2. Outil;
3. Etau;
4. Table ;
5. Chariot;
6. Chariot porte-outil;
7. Coulisseau.
8. Levier de réglage de la boîte des vitesses
9. Système d'avance automatique ;
10. Moteur ;
11. Bâti ;
12. Socle;
13. Contacteur.

Fig. I.25. Schéma d'une rectifieuse plane.

(b) Rectifieuse cylindrique

La construction de la rectifieuse cylindrique est plus complexe (Fig. I.26). En plus d'une poupée porte-meule montée sur les glissières du bâti, et d'une table à commande hydraulique mobile en direction longitudinale, cette machine comprend une poupée fixe et une poupée mobile fixée sur la table. La pièce montée entre les centres de ces poupées est entraînée en rotation à une vitesse atteignant 3000 Tr/min. La poupée porte-meule est déplacée en sens transversal au moyen d'un mécanisme d'avance transversale.



1. Poupée fixe ;
2. Poupée mobile ;
3. Table coulissante ;
4. Meule ;
5. Bâti.

Fig. I.26. Schéma d'une rectifieuse cylindrique

Il existe différents types de rectification cylindrique :

(c) Rectification externe cylindrique : permet de rectifier les parties extérieures d'une pièce cylindrique (Fig. I.27).

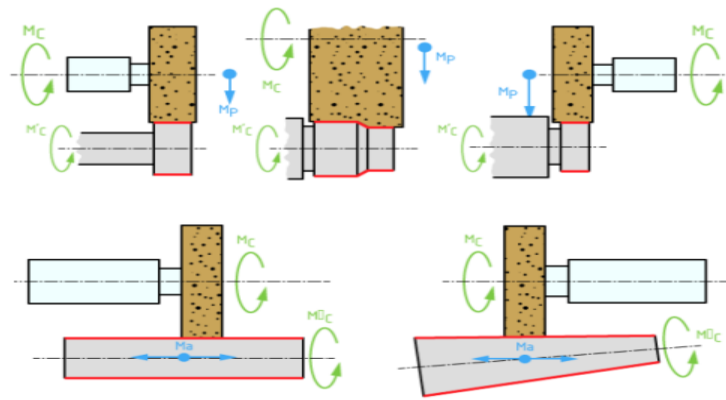


Fig. I.27. Opérations de rectification extérieure.

(d) **Rectification intérieure cylindrique** : permet de rectifier les parties intérieures d'une pièce cylindrique. La meule tourne à l'intérieur de l'alésage à rectifier fixe. On procède de même avec un cône intérieur à la différence que la pièce est inclinée de l'angle de la conicité divisé par deux sur le porte-pièce (fig.I.28).

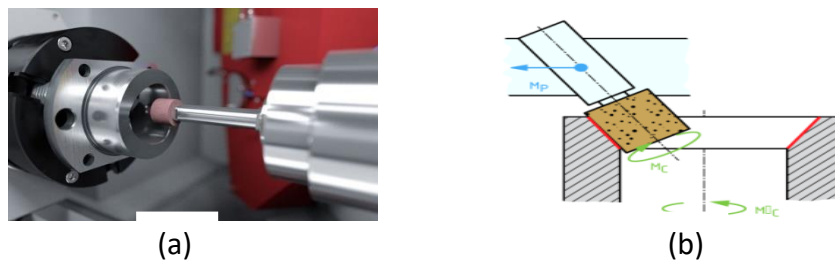


Fig. I.28. Rectification Intérieure, a) cylindrique, b) conique.

(e) **Rectifieuse sans centres**

C'est une variante de la rectifieuse cylindrique. Elle porte deux meules animées de rotation dans un même sens, mais une meule constitue l'outil de travail, tandis que l'autre assure l'entraînement (Fig. I.29). La pièce à rectifier est fixée entre la lame et la roue régulatrice. La rotation de la roue régulatrice provoque la rotation de la pièce usinée. Une rotation contraire est imposée à la meule pour réaliser l'opération de rectification

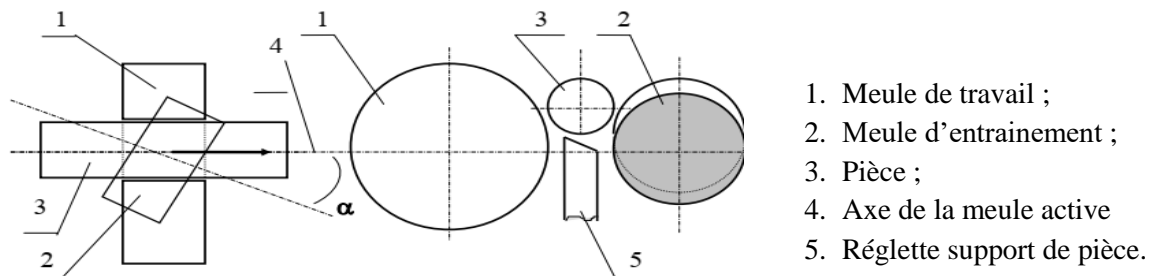


Fig. I.29. Schéma d'une rectifieuse sans centre.

Il y'a deux types de rectification sans centre :

(f) **Rectification sans centre extérieure** (Fig. I.30)

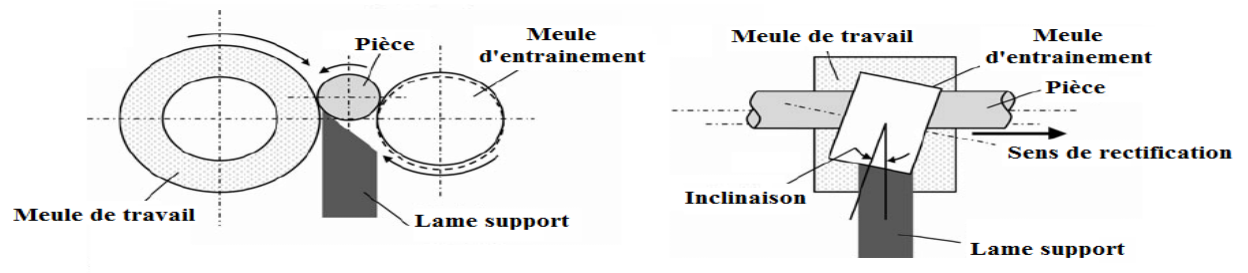


Fig. I.30. Rectification sans centres extérieure.

(g) **Rectification sans centres intérieure** (Fig. I.31)

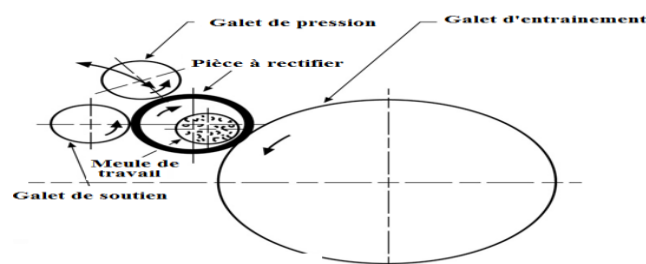
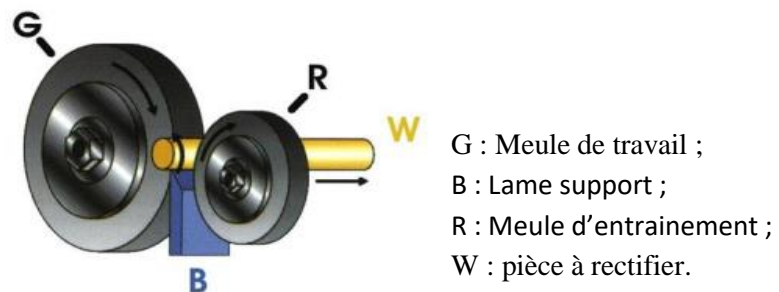


Fig. I.31. Rectification sans centres intérieure.

Le principe de fonctionnement est le suivant (Fig. I.31) :

- La pièce à rectifier se trouve entre deux meules, prenant appui sur lame support ;
- La pièce entraînée en rotation se voit imprimer un déplacement axial entre les meules, qui est en l'occurrence le mouvement d'avance.
- Le mouvement d'avance est communiqué principalement par **la meule d'entraînement**, tandis que la meule de travail coupe le métal. Ce mouvement est réalisé en faisant tourner l'axe de la meule d'entraînement dans un plan vertical d'un angle : $\alpha = 1,5$ à 6° pour la rectification ébauche, et d'un angle : $\alpha = 0,5$ à $1,5^\circ$ pour la finition (Fig. I.32).



G : Meule de travail ;
 B : Lame support ;
 R : Meule d'entraînement ;
 W : pièce à rectifier.

Fig. I.32. Principe rectifieuse sans centres.

Ces trois exemples simples ne sont qu'un bref aperçu des multiples situations de rectification possible.

I.2.1.5.4. Avantages de la rectification

- Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs ;
- Pouvoir atteindre des tolérances de l'ordre du micromètre (0,001 mm) ;
- Obtenir un état de surface poussé ($< 0,1 Ra$) ;
- Permet d'être plus précis sur l'usinage ;
- Usinage des matériaux les plus durs.

I.2.2. Obtention par déformation

I.2.2.1. Forgeage

Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur un matériau, à froid ou à chaud, afin de le contraindre à épouser la forme voulue. Sous l'action d'une forte pression ou d'une succession de chocs, un bloc de métal chauffé (800 à 1200 °C) se déforme plastiquement vers les surfaces restées libres. Aucune matrice ne délimite la déformation du matériau, et la forme obtenue dépend fortement du savoir-faire de l'opérateur (Fig. I.33). L'opération peut s'effectuer avec un outillage manuel ou à l'aide d'un marteau-pilon ou d'une presse hydraulique. La forge libre permet d'obtenir des ébauches ou des pièces brutes, et n'est pas adapté au travail en série.

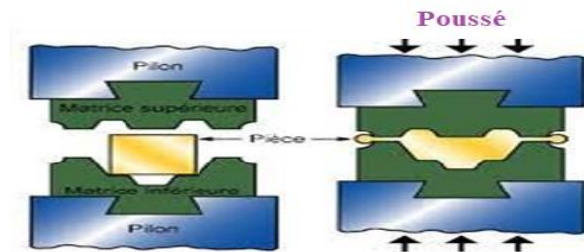


Fig. I.33 Schéma d'élaboration par forgeage (pièces forgées).

❖ Avantages

- Pas d'outillage spécialisé selon la pièce à obtenir ;
- Les pièces forgées ont une résistance mécanique supérieure aux mêmes pièces usinées, du fait du fibrage de la pièce consécutif au forgeage.
- Réduction des coûts d'usinage.
- Gain de matière.

❖ Inconvénients

- Géométrie des formes intérieures limitée (poinçonnage uniquement),
- La qualité des surfaces obtenues (IT8 à IT10) nécessite la plupart du temps un usinage (cas des surfaces fonctionnelles),
- Nécessite beaucoup d'énergie (métal chauffé).

- Cas de forge libre : une grande qualification des ouvriers est requise pour la réalisation de pièces complexes,

Type de forgeage

Il existe deux types de forgeage qui sont le forgeage à chaud et le forgeage à froid :

➤ Forgeage à chaud

Pièce de métal chauffé à haute température puis formé par compression dans un moule. La pièce est refroidie très rapidement pour augmenter sa rigidité. Effectivement, les molécules encore en mouvement ont encore des relations entre elles et lors du refroidissement les molécules sont figées instantanément avec encore leurs liaisons. La pièce forgée est ébavurée de son oxyde de fer suite à son échauffement (souvent avec du sable). La pièce est ensuite polie pour enlever toutes les imperfections.

➤ Forgeage à froid

Le forgeage à froid est un procédé par lequel on obtient une déformation d'une pièce sans chauffage préalable. L'extrusion à froid encore appelée forge de précision est un procédé de forgeage à froid. Le coût des outillages et les machines très robustes imposent un usage orienté pour la fabrication en série, dans le domaine de l'automobile, de la visserie, et de la quincaillerie en général. Pièces creuses : s'apparente à l'emboutissage, mais à la place de tôle, on emploie des lopins qui sont des galettes en métal, généralement découpées dans un profilé cylindrique par tronçonnage ou cisailage.

I.2.2.2. Laminage

Le matériau est déformé par compression continue au passage entre deux cylindres tournant dans des sens opposés appelés laminoirs. Le laminage peut s'effectuer à froid ou à chaud. Les laminoirs sont souvent utilisés les uns à la suite des autres afin de réduire progressivement l'épaisseur des profilés. La plupart des tôles plates brutes sont obtenues par laminage. (Fig. I.34).

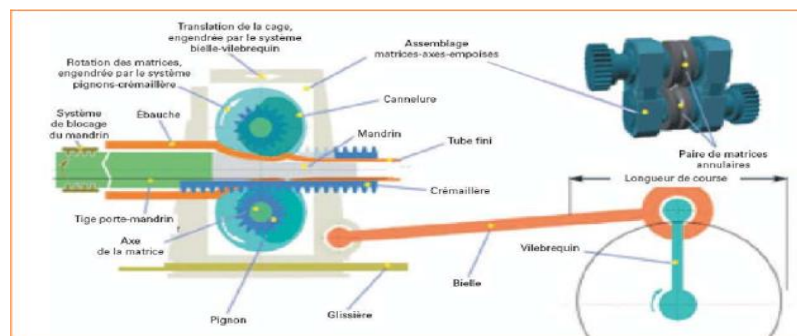


Fig. I.34 Schéma d'élaboration de laminage.

I.2.2.3. Emboutissage

L'emboutissage est une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. L'ébauche en tôle est appelée « Becker », c'est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau. L'emboutissage est un procédé de fabrication très utilisé dans l'industrie automobile, dans l'électroménager, etc.

Le principe est fondé sur la déformation plastique du matériau (en général un métal), déformation consistant en un allongement ou un rétreint local de la tôle pour obtenir la forme (Fig. I.35).

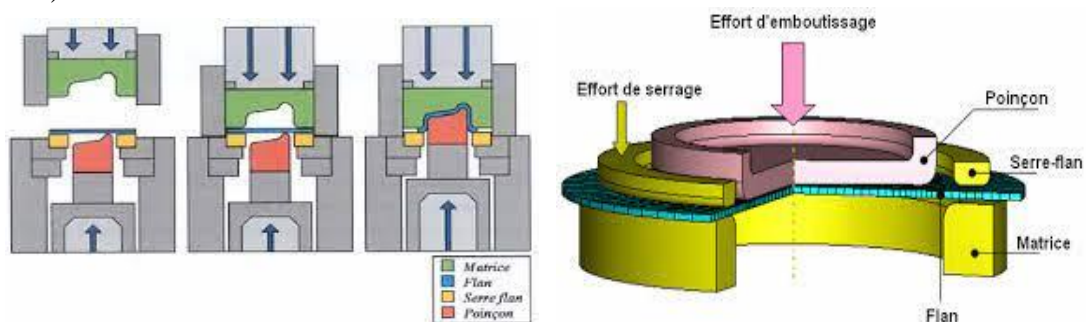


Fig. I.35 Principe d'emboutissage (pièces forgées) .

Types de l'emboutissage

a) L'emboutissage à froid

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage double effet mais peut aussi l'être sur un outillage simple effet dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage. Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique. En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes. A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'écrouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue).

b) L'emboutissage à chaud

Principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application. Cette technique facilite la

déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles. Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement. Enfin, cette technique nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes.

I.2.2.4. Estampage

On commence par faire l'ébauche de la pièce désirée, en plaçant le lopin dans la matrice d'ébauche. Une fois celle-ci prête, on la met dans la matrice ayant la forme de la pièce voulue. Puis, on vient découper les cordons de bavures (voir Fig. I.36). Le matriçage, réservé aux métaux non ferreux, est une variante de l'estampage (on dit aussi « estampage de précision »). Dans ce cas, la presse hydraulique lente se substitue au marteau-pilon et la pièce est insérée par force dans un outillage (matrice) démontable. L'intérêt technique de ces procédés est la compression des molécules de matière selon la forme de la pièce d'où des résistances extrêmes aux efforts mécaniques.

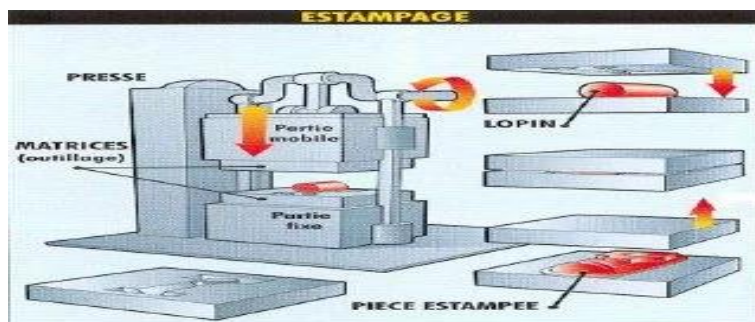


Fig. I.36 Schéma d'élaboration par estampage.

❖ Avantages

- Les mêmes que pour le forgeage libre, avec plus de rapidité et une meilleure précision.

❖ Inconvénients

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Prix de revient élevé des matrices rapidement « usées ».

I.2.2.5 Matriçage

La forge par matriçage consiste à former par déformation plastique après chauffage des pièces brutes réalisées en alliages tels que les alliages d'acier d'aluminium, de cuivre, de titane, de nickel, etc.

Le matriçage est une opération de forge effectuée à l'aide d'outillages appelés des matrices (demi-matrice supérieure et demi-matrice inférieure). Les matrices portent en creux la forme de la pièce (Fig. I.37).

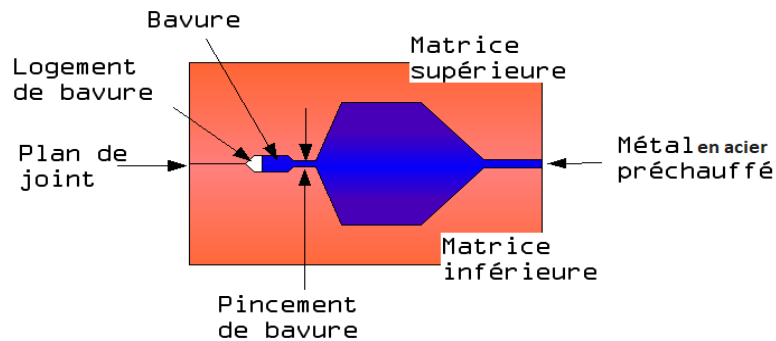


Fig. I.37 Schéma d'élaboration par matriçage.

I.2.2.6. Filage

Le filage à chaud des métaux et alliages est un procédé de transformation utilisé industriellement pour la fabrication de tubes et de barres pleines ou creuses de sections diverses (fig. I.38). À son origine, le procédé a été utilisé pour la transformation des métaux non ferreux, puis, grâce à une invention française dans les années 1940, pour la transformation des aciers et des métaux réfractaires. Les progrès réalisés depuis la Seconde Guerre mondiale permettent aujourd'hui d'envisager l'utilisation du filage pour la fabrication de tubes en acier ordinaire, en parallèle avec les procédés classiques de laminage. Ce mode de fabrication permet d'obtenir de grandes longueurs d'un profil quelconque ou d'un tube en partant d'un bloc de métal de section circulaire ou carrée, et cela en une seule opération, alors que les autres procédés nécessitent plusieurs passages successifs du produit dans la ou les machines servant à la transformation.

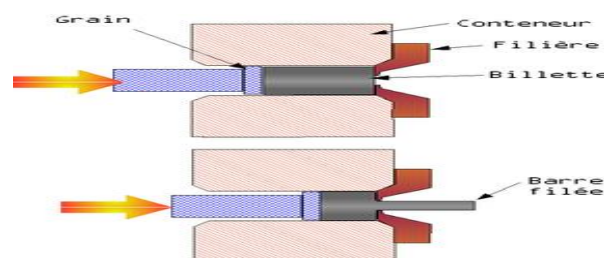


Fig. I.38 Produits filés en alliage d'aluminium

(a) Filage direct

C'est le procédé de filage le plus simple. Il présente des inconvénients principalement à cause du frottement du métal sur la surface interne du conteneur. Ce frottement pouvant avoir

des conséquences sur les outillages eux-mêmes mais également sur la structure du métal. La maîtrise de la lubrification modère cet inconvénient.

(b) Filage inverse

Dans le cas du filage inverse, la filière est placée à l'extrémité d'un poinçon. La billette chauffée est placée dans le conteneur. L'on plaque une tête sur le conteneur. C'est donc l'ensemble, billette, conteneur et tête qui avance vers la filière. Le métal file à l'intérieur du poinçon.

Le gros avantage de la méthode réside dans la suppression des frottements entre la billette et le conteneur. L'effort de filage est minoré ce qui permet l'utilisation de presses de moins forte puissance. L'absence de frottement supprime une partie des échauffements ce qui permet une meilleure maîtrise de la structure métallique et limite le risque de défauts de surface. Dans le cas de l'aluminium, on peut supprimer presque complètement la zone corticale à gros grains. Il est plus facile de maîtriser les tolérances géométriques.

L'inconvénient provient du poinçon qui compte tenu de sa forme creuse est plus fragile et travaille au flambage. De plus le montage des outillages est plus complexe et nécessite des alignements plus rigoureux que la méthode en direct. De plus, le nombre de formes possibles est plus limité que le filage direct.

(c) Filage inverse en conteneur

Il s'agit là d'une méthode beaucoup moins utilisée que les deux précédentes. L'objectif est différent puisque le produit obtenu est un tube avec un fond (appelé étui). Les longueurs de filage sont forcément plus courtes. Cette méthode est utilisée pour la fabrication de composants d'armement (douille d'obus, ogive), de bouteilles à gaz en acier ou en alliage d'aluminium. Les formes sont limitées.

La billette chauffée ou froide et lubrifiée est placée dans une matrice fermée à une extrémité par un tasseau. Un poinçon vient pousser sur la billette qui file le long du poinçon en formant un étui. Il est éjecté grâce à une poussée sur le tasseau.

(d) Filage sur aiguille

Le filage sur aiguille permet de filer des tubes. Le matériau de départ est une billette évidée. Elle peut être évidée par perçage, usinage ou forgeage. Le poinçon est équipé d'une aiguille qui est emmanchée sur la billette creuse. En poussant dans la filière, le métal est contenu entre la filière et l'aiguille. On obtient un tube monobloc sans soudure.

Il existe une variante dite filage sur nez d'aiguille où l'aiguille est fixe.

I.2.2.7. Tréfilage

Le tréfilage est la réduction de la section d'un fil en métal par traction mécanique sur une machine à tréfiler (Fig. I.39). Les usines spécialisées dans le tréfilage sont appelées des tréfileries. L'écrouissage y est important et nécessite un traitement thermique (type de recuit pour les faibles sections) évitant au fil d'être trop cassant et améliorant sa plasticité.

Le fil machine, sous forme de bobine, est enroulé sur un ou des cabestans, qui, par frottement, exercent une traction sur le fil. Le fil passe dans une filière, en amont du cabestan, qui impose au fil une déformation par réduction de section. La filière est abondamment lubrifiée, pour assurer le maintien d'un bon état de surface du fil métallique et pour assurer le refroidissement et contrer l'échauffement provoqué par l'écrouissage du métal. Le tréfilage est également utilisé dans la fabrication des pâtes alimentaires industrielles.

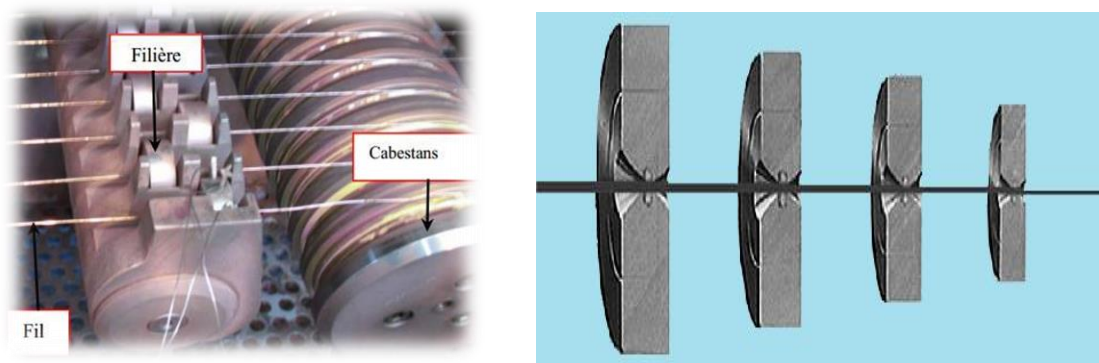


Fig. I.39 Atelier de tréfilage.

Types de tréfilage

a) Tréfilage à sec

Indépendamment des organes d'entraînement (moteurs et boîtes de vitesse), ainsi que des dispositifs de tréfilage (filières) et de lubrification (boîtes à savon), le fil passe successivement d'une filière à l'autre via des bobines d'enroulement servant de cabestan pour la traction du fil à travers la filière. Celles-ci comportant, en général à leur base, une zone appelée chasse, dont le profil est tel que chaque nouvelle spire chasse la précédente pour prendre sa place au cours de l'enroulement et permettre ainsi une bonne accumulation des diverses spires en vue d'un dévidage ultérieur correct, tout en faisant diminuer progressivement la contrainte de traction du fil. Les machines de tréfilage à sec se présentent schématiquement sous la forme d'une succession d'ensembles « boîte à savon – filière – cabestan », et se distinguent des façons suivantes :

- Systèmes d'accumulation du fil (simples ou doubles chasses).
- Diamètre des cabestans (généralement entre 250 et 900 mm).
- Trajet du fil (avec ou sans torsion).

- Mode et intensité du refroidissement du fil.

b) Tréfilage humide

Principe d'une machine voie humide dont l'ensemble est immergé dans un bac contenant un lubrifiant en solution aqueuse. Dans ce cas, c'est le glissement des fils sur les cabestans qui compense l'usure des filières, Ce procédé concerne plus particulièrement les fils fins d'un diamètre généralement inférieur à 1 mm. Son avantage facilite la concentration d'une vingtaine de filières dans un espace assez réduit.

I.2.2.8 Cintrage

Le cintrage est un procédé mécanique de déformation d'un tube ou d'une barre, suivant un rayon et un angle avec une cintruse. Le terme cintrage est aussi utilisé pour désigner globalement la transformation d'un produit cintré. Il existe plusieurs techniques : par enroulement, par poussée, par roulage et par emboutissage (Fig. I.40).

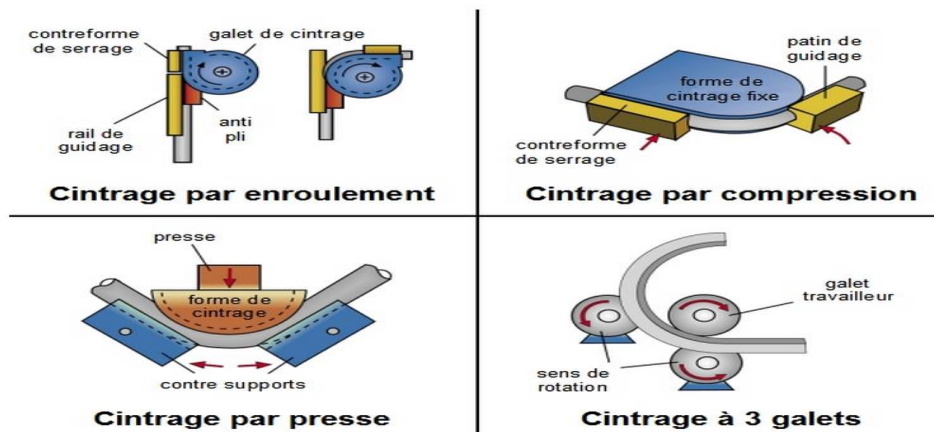


Fig. I.40 Procédés de cintrage.

I.2.2.9. Pliage

Le pliage est une opération de mise en forme par déformation permanente de tôles. Cette opération est effectuée à froid, elle consiste à donner la forme désirée à des tôles planes dont l'épaisseur dépasse rarement 5mm. Pour atteindre la déformation plastique du matériau il faut que les contraintes dépassent la limite élastique pour que la déformation reste permanente. Celle-ci sera en appui sur 2 lignes d'appuis et s'apparente à la flexion. (Fig. I.41).

Il existe plusieurs types de pliage tels que : le pliage en V, le pliage en l'air, le pliage en tombé de bord ou en L, le pliage en U, etc.

❖ Avantages

- Outillage simple : presses hydrauliques avec différents poinçons et matrices.

❖ Inconvénients

- Ressaut élastique résiduel difficile à prévoir ;
- Longueur de pliage limitée.

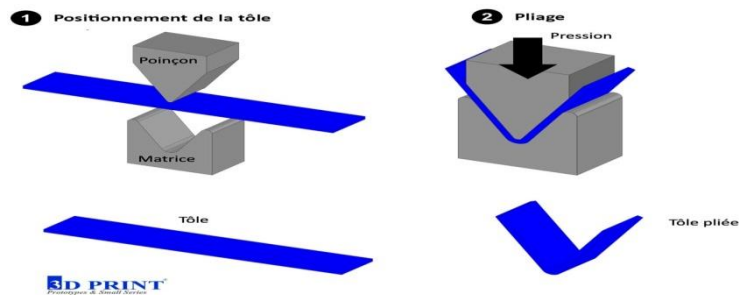


Fig. I.41 Schéma d'élaboration de pliage de tôles.

I.2.2.10 Extrusion

Un matériau chauffé et compressé est contraint de traverser une filière ayant la section de la pièce à obtenir. Cette technique permet d'obtenir en continu un produit pouvant être très long (barre, tube, profilé, tôle...), (Fig. I.42).

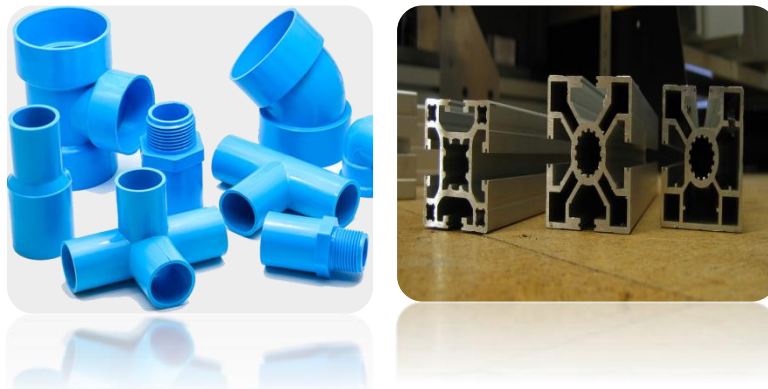


Fig. I.42 Extrusion des pièces de différentes formes.

❖ Avantages

- Meilleure précision que le matriçage ou l'estampage ;
- Bons états de surface ;
- Sections des profilés pouvant être creux et très complexes.

❖ Inconvénients

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Formes limitées à des « extrusions » (voir figure ci-dessous).

I.2.3. Obtention par fusion (fonderie) Moulage

Le moulage est un procédé de fabrication qui permet de réaliser des pièces par coulée du métal en fusion dans un moule. On s'adresse à lui pour : la fabrication de pièces de formes compliquées qu'il serait difficile ou impossible de réaliser par tout autre procédé, ou pour la production à des prix de revient plus intéressants de pièces plus simples ; profiter des propriétés physiques ou d'utilisation (dilatation, corrosion, frottement, usure, basses et hautes températures) et des propriétés mécaniques des divers métaux et alliages coulés ; couler des alliages difficilement usinables. La plupart des pièces de fonderie sont des ébauches qui sont ensuite partiellement usinées comme, par exemple, les carters de moteur automobile (produits en alliage d'aluminium pour alléger le moteur). (Fig. I.43).

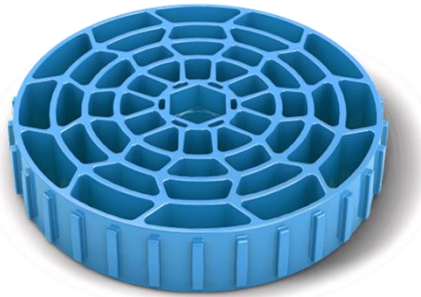


Fig. I.43. Pièce plastique moulée par injection.

Les procédés de moulage sont classés en deux grandes catégories. On distingue principalement la fonderie effectuée avec :

- Des moules non permanents, ou "moules perdus", généralement en sable ;
- Des moules permanents en métal, qu'on appelle aussi "coquilles".

I.2.3.1. Moulage non permanent (moulage au sable)

C'est le procédé de moulage le plus universel et le plus couramment employé, et qui reste toujours très compétitifs avec d'autres procédés plus modernes. Il permet de couler aussi bien de grosses pièces unitaires, que de petites et moyennes pièces en série, sur chantiers de moulage mécanisés, quel que soit l'alliage. Cette technique utilise des moules en sable lié avec de l'argile et de l'eau. Le moulage peut se faire avec ou sans modèle. Il peut être en bois, en plâtre ou métallique. Pour que le modèle puisse être démoulé sans abîmer l'empreinte, on est amené à donner de la «dépouille» aux plans orientés dans le sens du démoulage, c'est-à-dire à les rendre légèrement obliques ; lorsque des faces sont en «contre dépouille », le modèle est réalisé en plusieurs parties démontables. Dans les cas de moulage sans modèle les empreintes et les noyaux sont obtenus par taillage du sable de moulage.

Les principaux avantages de cette méthode résident dans la rapidité de moulage et le taux de récupération très élevé du sable. Il est utilisé pour le moulage des pièces en fonte, acier et métaux non ferreux (fig. I.44)

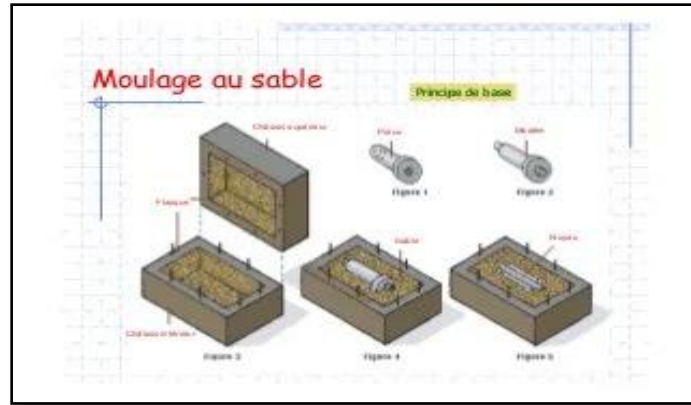


Fig. I.44 Moulage en sable.

I.2.3.2. Moules permanents

Un moule réutilisable est utilisé pour la coulée en moule permanent. Les avantages de ce procédé incluent les suivants :

- Composants près des côtes ;
- Meilleure finition de la surface ;
- Propriétés mécaniques améliorées.
- Les produits finis ne présenteront pas de détails fins.

En matière de fonderie à coulée en moule permanent, un moule réutilisable est fabriqué à partir de métal, généralement de la fonte grise. Il est construit à partir de deux ou plusieurs pièces et doté d'une charnière pour pouvoir extraire le moulage du moule. Le métal liquide est versé dans le moule par simple gravité. La fonderie en moule permanent est utilisée pour produire des moulages à partir d'alliages d'aluminium, de magnésium et de cuivre. Les pièces d'acier et de fer peuvent être coulées dans des moules en graphite. Le terme de fonderie en moule permanent et de coulée en coquille sont souvent employés pour désigner le même procédé.

Les moules sont métalliques (en fonte ou en aciers spéciaux réfractaires), permettent de couler un grand nombre de pièces. On distingue les procédés suivants :

- Moulage en coquille par gravité ;
- Moulage sous pression.

(a) Moulage en coquille par gravité

C'est le procédé de moulage en coquille le plus simple. On coule directement le métal liquide à l'aide d'une louche ou d'une petite poche de coulée dans l'empreinte d'un moule métallique qui peut comporter ou non des noyaux métalliques ou en sable suivant les pièces à fabriquer et leur complexité. (Fig. I.45).

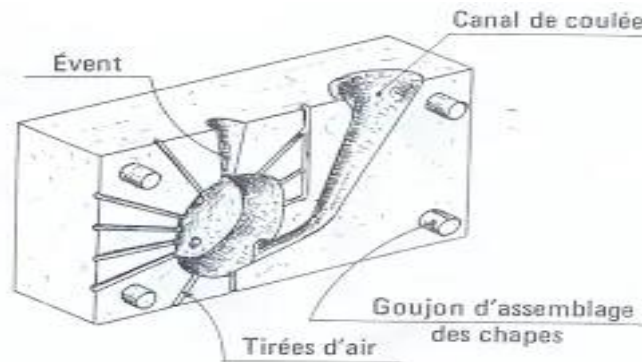


Fig. I.45. Moulage en coquille.

(b) Moulage sous pression

Le métal est injecté sous forte pression dans le moule par l'intermédiaire d'un piston agissant sur le métal liquide versé dans un conteneur (voir Fig. I.36). Les avantages sont nombreux ; citons parmi les plus significatifs :

- Bel aspect des pièces ;
- Très grande précision,
- Réduisant les masses et limitant l'usinage ;
- Possibilité d'inserts ;
- Meilleure étanchéité des pièces (carburateurs en zamak par exemple) ;
- Faibles dépouilles permettant d'économiser la matière, etc.

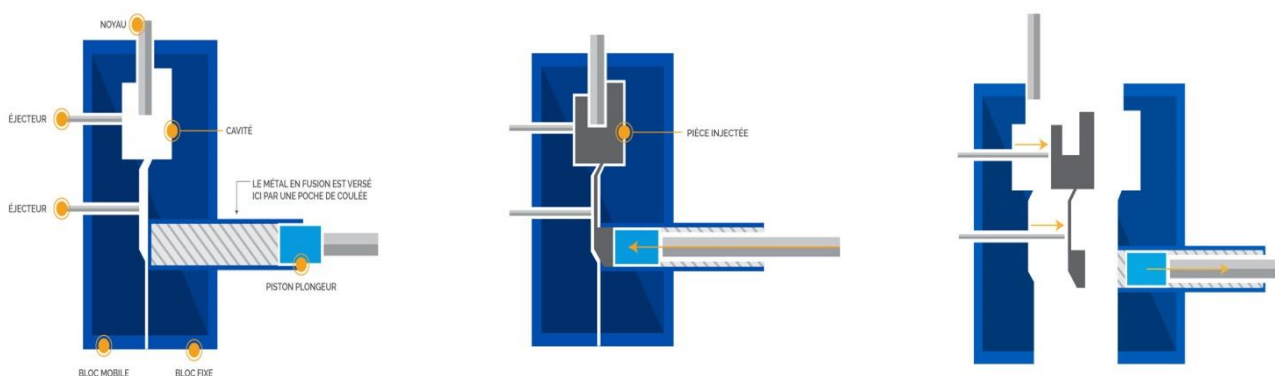


Fig. I.46 Moulage sous pression.

I.2.4. Obtention par assemblage

I.2.4.1 Soudage

Le soudage est un procédé d'assemblage par fusion des parties des deux pièces en contact. Cette mise en fusion est faite par chauffage, par pression, ou par une combinaison des deux. Le soudage par chauffage est la méthode la plus employée aujourd'hui. Le soudage assure la continuité des pièces à assembler contrairement au rivetage, sertissage, collage ou boulonnage qui présentent des discontinuités physiques ou chimiques (Fig. I.47).

Dans le cas particulièrement important des matériaux métalliques, on distingue trois techniques d'assemblages par soudage peuvent être ainsi clairement définies :

- **Le soudage** : opération qui consiste à provoquer la fusion de proche en proche des bords des pièces à assembler, généralement de natures très voisines. L'emploi d'un métal d'apport peut être utilisé ;
- **Le brasage** : opération qui consiste à assembler deux pièces métalliques de natures identiques ou différentes par capillarité d'un métal d'apport dans un joint à recouvrement. Ce dernier a un point de fusion toujours inférieur à ceux des métaux de base qui ne fondent pas durant l'opération ;
- **Le soudobrasage** : technique qui se rapproche du soudage par son mode opératoire (joint réalisé de proche en proche) et du brasage (utilisation de métal d'apport dont le point de fusion est inférieur à ceux des deux métaux de base).

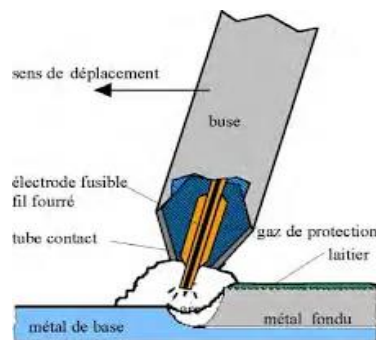


Fig. I.47 Schéma d'assemblage par soudage .

I.2.4.2 Collage

On peut définir le collage comme le procédé permettant de maintenir de façon durable et solide deux substrats entre eux. La liaison entre ces deux supports est alors d'origine chimique, et non mécanique. La colle est déposée sur le ou les substrats, Mais pour obtenir de bonnes performances, la colle doit être compatible avec le support. L'adhésion sur un solide fait ainsi intervenir deux notions principales (fig. I.48):

- L'interaction liquide solide, qui caractérise l'adhésion ;

- Le mouillage, qui caractérise l'étalement du liquide sur le solide.

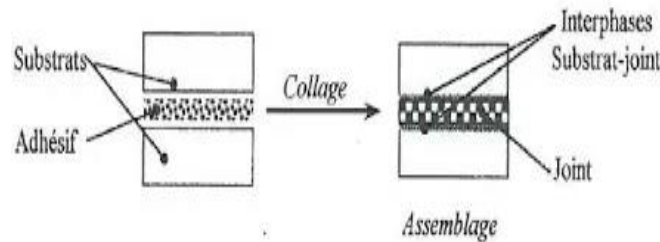


Fig. I.48 Schéma d'assemblage par collage .

I.2.4.3 Rivetage

Le rivetage est un assemblage de pièces à l'aide de rivets. C'est un assemblage définitif, c'est-à-dire non démontable sans destruction de l'attache (voir Fig. I.49). Quoiqu'il existe depuis peu un type de rivet imprimant une empreinte hélicoïdale, lors du montage, dans son logement, permettant ainsi un démontage et un remontage ultérieur sans destruction du rivet.

Un autre procédé beaucoup plus élaboré est le rivetage par fluage radial : ce système est de nos jours le plus fiable des assemblages rivetés.

Les avantages du rivetage par rapport aux autres types d'assemblages sont :

- Il n'y a pas de risque de changement de structure de matériau (trempe) comme dans le cas du soudage ;
- Il n'y a pas de retrait ;
- Assemblages rivetés sont faciles et sûres à contrôler et aussi faciles et peu coûteux à réaliser sur chantier, l'assemblage peut être démonté, si besoin, en ôtes les têtes (en détruisant le rivet).

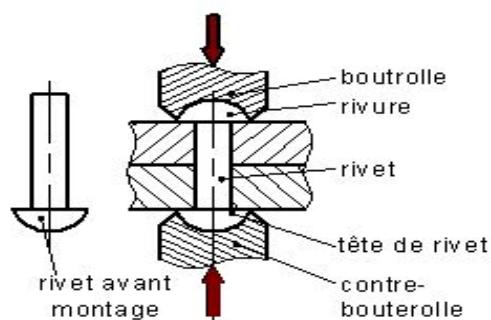


Fig. I.49 Schéma d'assemblage par rivets.

I.2.4.4 Agrafage

L'assemblage par agrafe présente une légère précontrainte et est quasiment étanche aux liquides et à l'air. Le pliage s'effectue en trois étapes : à 30°, 75° et 90°. La structure de la surface ne sera pas endommagée et la machine s'adapte automatiquement aux différentes épaisseurs de tôle. Elle permet de façonner les bords des éléments en tôle. Ensuite une tôle

assemblée par agrafage sur bords relevés est placée sur l'agrafe. De la sorte on peut assembler au minimum deux pièces l'une avec l'autre (fig. I.50).



Fig. I.50. Schéma d'une agrafeuse manuelle professionnelle.

I.3. Partie II – Mise en forme par méthodes non -conventionnelles (avancées)

I.3.1.Obtention par Usinages (Très) Grande Vitesse (UGV)

I.3.1.1.Introduction

L'usinage à Grande Vitesse, aussi appelé UGV, est une opération d'enlèvement de matière à des vitesses de coupe élevées à ceux utilisés en usinage conventionnel, ces grandes vitesses engendrant un phénomène de coupe spécifique permettant des gains de qualité et de productivité. L'augmentation de la V_c améliore la qualité. L'augmentation de la V_f améliore la productivité. En règle générale, on estime ces vitesses sur UGV par rapport à celles utilisées sur CUCN :

- $V_c \times 5 \text{ à } 10$
- $V_f \times 10$

Par exemple, lors d'usinage d'acier à des vitesses de coupe de 30 à 200 m/min, on parle d'usinage conventionnel, alors que des vitesses de coupe de 500 à 2000 m/min correspondent au domaine de l'UGV (fig. I.51).



Fig. I.51. Plages de vitesses de coupe pour différents matériaux.

Cependant, l'intégration de l'usinage à grande vitesse dans un atelier de fabrication impose le respect de certaines contraintes, sans lesquelles le procédé peut devenir dangereux et économiquement peu rentable. Augmenter la vitesse peut paraître simple, mais les mécanismes physiques qui interviennent ne sont plus les mêmes qu'en usinage traditionnel et ils se révèlent relativement complexes. En effet, les paramètres d'usinage ont une réelle influence sur les efforts de coupe, la puissance de la machine, la température atteinte sur la surface usinée et dans l'outil, l'usure des outils, le frottement entre l'outil de coupe et le copeau et l'intégrité de la surface usinée, entre autres. Pour réaliser des applications en UGV, on a recours à des machines-outils rigides et optimisées pour ce type d'usinage ainsi que des commandes numériques offrant des options et des caractéristiques spécifiques. Il est également nécessaire d'utiliser une méthode de programmation de pointe permettant des trajectoires d'outils optimales et une surépaisseur d'usinage constante pour chaque opération et outil. Il s'agit là d'une condition indispensable pour garantir la sécurité et la qualité du processus d'usinage avec une productivité élevée. Tout l'équipement de production, y compris les outils de coupe et les attachements, doit être spécialement conçu pour l'UGV. Malgré la complexité du procédé et les contraintes liées à sa mise en place, l'usinage à grande vitesse assure des gains importants en performances techniques et économiques.

L'UGV impose donc une augmentation des performances des algorithmes de calcul. Le choix du logiciel de FAO est essentiel car l'utilisation d'un logiciel non adapté peut amener des défauts sur la pièce fabriquée. Un logiciel adapté à l'UGV doit permettre de calculer les trajectoires sur une machine à CN (MICN) en prenant en compte les effets dynamiques, et permettre le choix des stratégies d'usinage adaptées à l'UGV.

I.3.1.2. Caractéristiques de l'UGV

❖ Machine

- Rigide et amortie ;
- Broche rapide et puissante ;
- Bâti très stable ;
- Parties mobiles en translation rapides et légères (accélé. De 1g) ;
- CNC de très grande qualité ;
- Montage des outils précis, indéformable et de sécurité ;
- Arrosage très abondant ;
- Evacuation des copeaux adaptée ;
- Sécurité.

❖ **Outils :**

Composites (phase dure + liant) :

- Carbure (Tungstène, Titane) + Nitrure = Cermets.
- Nitrure (titane, silicium, diamant (PKD) bore cubique) + oxydes ;
- Carbure (tungstène, titane) + oxydes = céramiques (blanches, noires, oxydes renforcés).

I.3.1.3. Phénomènes thermiques

Les sollicitations thermiques sont générées lors de la coupe par l'auto-échauffement au sein du matériau de la pièce et par les frottements à l'interface outil/pièce.

En usinage conventionnel, l'énergie calorifique s'évacue dans les copeaux mais également dans la pièce et l'outil dans des proportions non négligeables. Ainsi, le matériau subit un traitement thermique local (trempe superficielle) qui modifie les caractéristiques de la pièce finie. En UGV, la nature de la formation du copeau est différente et l'énergie de la coupe s'évacue à plus de 80% dans les copeaux. Bien que des énergies plus importantes soient mises en jeu, les échanges thermiques entre le copeau et la pièce n'ont plus le temps d'avoir lieu: celle-ci reste pratiquement à température ambiante.

❖ **Avantage :**

Globalement, l'UGV apporte :

- l'obtention d'un excellent état de surface de l'ébauche jusqu'à la finition (souvent sur une même machine) ce qui permet une réduction du temps de polissage de finition,
- une précision dimensionnelle plus grande et une meilleure répétabilité pour la production de séries,
- une meilleure qualité des pièces usinées en termes d'intégrité de surface,
- une réduction des efforts d'usinage,
- l'usinage de matériaux très durs, difficilement usinés auparavant,
- l'usinage de formes complexes et de parois minces,
- l'obtention de copeaux fragmentés, plus simples à évacuer,
- une réduction des délais de fabrication qui se traduit par une augmentation de la productivité,
- Réduction des coûts de production.

❖ **Gains de productivité**

- augmentation du volume unitaire de copeaux.
- usure moindre des outils.

- nouvelle conception des gammes d'usinage.
- forces de coupe plus faibles.
- réduction des coûts et des temps principaux d'usinage.
- évacuation de la chaleur avec le copeau.

❖ Inconvénients

Parmi les principaux inconvénients liés à la pratique de l'usinage à grande vitesse on peut signaler :

- Les opérateurs et programmeurs des machines doivent suivre des formations particulières qui diffèrent considérablement de celles nécessaires pour l'usinage conventionnel,
- Une erreur humaine peut avoir des conséquences très significatives sur la machine, du fait des importantes vitesses et des accélérations mises en jeu lors du déplacement des différents composants,
- Des précautions maximales au niveau de la sécurité doivent être adoptées : les machines doivent être dotées de carters résistant à des sollicitations du type impact. De même, les outils et pièces tournantes doivent faire l'objet de contrôles fréquents afin de détecter de possibles défaillances par fatigue.
- Différentes techniques de mise au point,
- Problèmes humains pour valoriser cette technique,
- Coûts d'installation (environ 50 000 à 300 000 €),
- Protection de l'utilisateur contre les risques de bris accidentels d'outils ou d'éjection de plaquettes ; évacuation des copeaux,
- Surveillance continue de la broche, des outils et de la machine.

I.3.2. Obtention par Électroérosion

- La pièce à usiné et l'électrode sont plongées dans un liquide diélectrique qui circule en permanence ;
- Un générateur à impulsion fournit les décharges électriques dont la durée et la tension sont réglées en fonction du matériau de la pièce qui est relié à l'anode et l'outil qui relie à la cathode ;
- A chaque impulsion il se produit une décharge électrique entre la pièce et l'outil qui provoque l'érosion de la pièce pour environ 99% et de l'outil pour environ 1%.
- L'électrode à la forme complémentaire de la forme à réaliser ;
- Les particules du métal brûlé sont entraînées par le liquide diélectrique.

I.3.2.1. Usinage en plongée (Enfonçage)

L'électroérosion met en œuvre l'énergie électrique pour enlever du métal de la surface d'une pièce, sans établir de contact avec cette pièce. Un courant électrique de haute fréquence est appliqué entre l'électrode de l'outil et la pièce, créant des étincelles qui franchissent l'intervalle et vaporisent de petites zones de la pièce (fig. I.52).

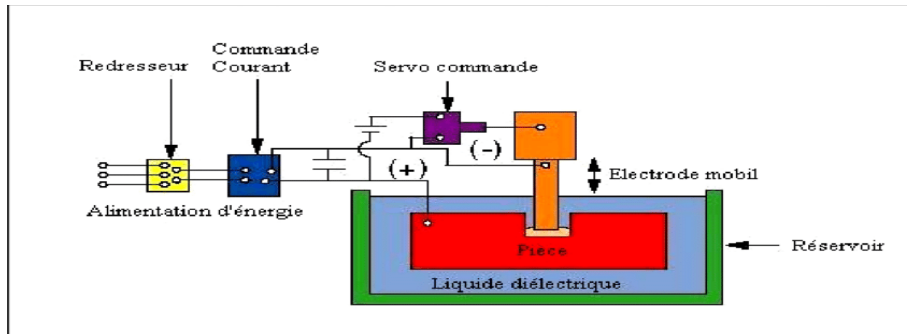


Fig. I.52 Principe de fonctionnement électroérosion (Enfonçage).

I.3.2.2. Usinage par découpage à fil

L'électroérosion à fil est une autre variante très répandue. Elle consiste à utiliser comme électrode-outil un fil métallique généralement en cuivre ou bien alliage de cuivre zinc « laiton » parfaitement calibré (0.05 à 0.35) en circulation continue. Un jet de liquide diélectrique (eau dé-ionisée) permet d'enlever les débris d'usinage entre le fil et le bloc de matière à usiner. Un mouvement du fil par rapport à la pièce permet de modifier l'angle d'attaque et d'usiner des formes réglées variées. La manipulation du fil se fait à l'aide d'un système multiaxial complexe permettant d'orienter le fil de découpe pour obtenir des pièces complexes 3D (Fig. I.53). Cette technique est très utilisée pour l'obtention de micro-pièces de haute précision ainsi que pour l'élaboration des micro-outils que nous retrouvons sur les machines de fraisage ou de perçage.

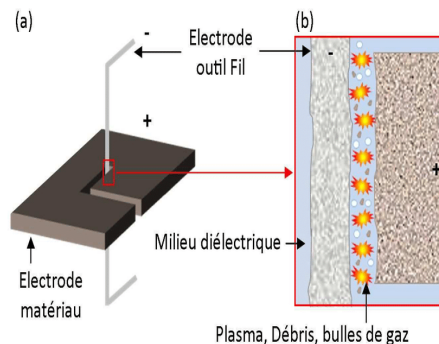


Fig. I.53. Principe de fonctionnement électroérosion (Robot- fil).

❖ **Avantage**

- Usinage possible de matériaux trempés et durs, impossibles à usiner avec les procédés par enlèvement de copeaux ;
- Usinage de formes tridimensionnelles « démoulables » (l'outil pénètre dans la pièce et y laisse sa forme complémentaire) et hélicoïdales (en donnant à l'outil un mouvement de rotation conjuguée avec son mouvement de translation) ;
- Bons états de surface ($R_a \gg 2 \text{ mm}$) et précision ($\gg 20\text{mm}$).
- Faible prix de revient pour de grandes séries de pièces complexes, précises et saines, qui peuvent être utilisées à l'état brut ;
- La porosité naturelle des pièces frittées permet la fabrication de filtres et de coussinets autolubrifiants ;

❖ **Inconvénients**

- Ce procédé ne s'applique qu'aux matières conductrices de l'électricité ;
- Coût du matériel (spécifique à chaque forme de pièce à obtenir) et usure de l'outil électrode ;
- La porosité naturelle peut devenir un inconvénient dans le cas de problèmes d'étanchéité par exemple ;
- Le principe de la compression conduit à des pièces non homogènes (porosité plus élevée au milieu), et dont les qualités de résistance mécanique sont faibles pour les métaux frittés.

I.3.3. Obtention par frittage

Une poudre (ou un mélange de poudre), généralement métallique, est comprimée dans un moule, puis chauffée dans un four à vide (ou à atmosphère contrôlée) à une température inférieure à la température de fusion du principal constituant (fig. I.54).

La métallurgie des poudres se décompose en deux étapes :

- **Etape 1 :** Le pressage ou la compaction des poudres, puis le frittage ou une consolidation à haute température.
- **Etape 2 :** La poudre de base est d'abord mélangée avec des poudres d'alliages (et un lubrifiant). La mise en forme à froid est effectuée par une presse de 100 à 10000 tonnes suivant la pièce finale. Par ce système, on obtient directement une pièce formée sans usinage (pièce finie).

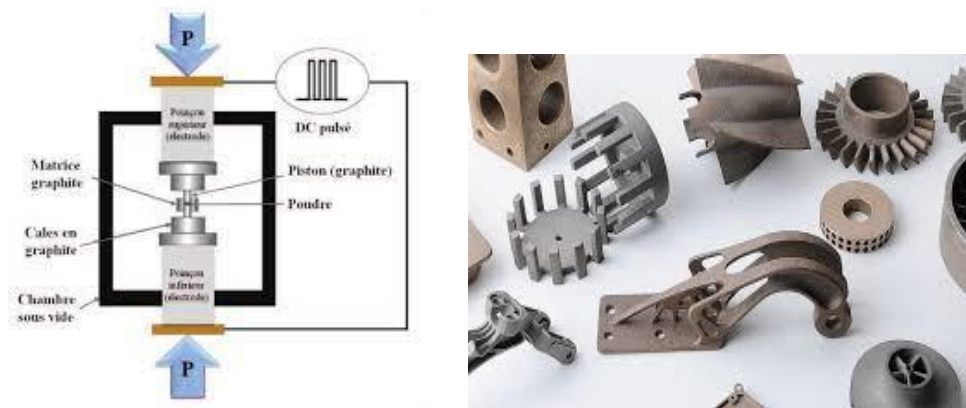


Fig. I.54 Schéma d'élaboration par frittage.

Le frittage ou la consolidation est réalisé dans un four à une température proche de la fusion du métal. Il est souvent réalisé sous vide ou sous atmosphère protectrice pour éviter l'oxydation par l'oxygène de l'air. Il existe également une méthode de frittage par laser (prototypage rapide). Dans ce cas, on applique sur une surface plate une mince couche de poudre de métal mélangée à un liant (fig. I.55). Les lasers, dont la précision n'est plus à démontrer délimitent la pièce et solidifient la poudre. Une autre couche de poudre est ensuite appliquée jusqu'à l'obtention de la pièce finale. Cette technique permet notamment de former des cavités avec une bonne précision. Au final, la pièce est "agitée" pour éliminer les poudres non agglomérées. Il faut tenir compte également de la porosité résiduelle, de l'ordre de 5 à 10% en fonction des alliages utilisés. Cette porosité est parfois volontaire notamment pour la fabrication de philtres, mais éliminée au maximum dans certaines productions nécessitant un matériau dur (Carbure de tungstène).



Fig. I.55 Plaquette de coupe amovible pour outil d'usinage en céramique frittée.

❖ **Avantage :**

- Faible prix de revient pour de grandes séries de pièces complexes, précises et saines, qui peuvent être utilisées à l'état brut.

- La porosité naturelle des pièces frittées permet la fabrication de filtres et de coussinets autolubrifiants.
- Autorise l'obtention de nouveaux alliages.

❖ **Inconvénients :**

- La porosité naturelle peut devenir un inconvénient dans le cas de problèmes d'étanchéité par exemple ;
- Le principe de la compression conduit à des pièces non homogènes (porosité plus élevée au milieu), et dont les qualités de résistance mécanique sont faibles pour les métaux frittés.

I.3.4 Obtention par Découpage

Le découpage est un procédé de fabrication de pièces. C'est une sorte de cisailage sur un contour fermé. Une différence est faite sur les termes :

- Découpage, afin d'obtenir un pourtour défini selon une forme et des cotes précises ;
- Poinçonnage, afin d'ajouter une pièce (exemple : une perforation).

Le poinçon poinçonne la plaque (tôle, papier, carton, mousse, etc.) et une pièce découpée est obtenue (fig. I.56).

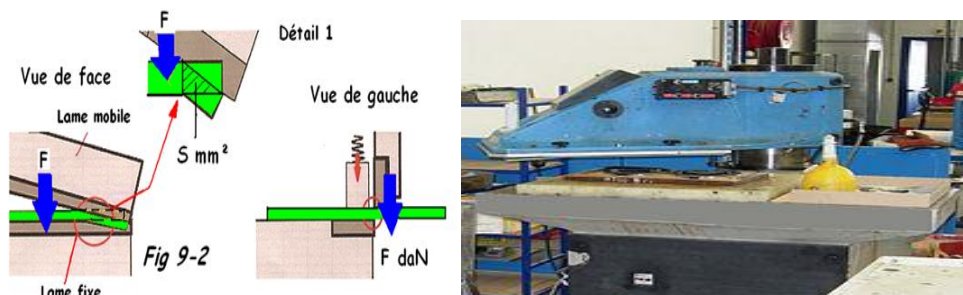


Fig. I.56 Presse hydraulique à découper.

I.3.4.1. Découpage laser

Ce procédé permet une découpe précise, nette et rapide de nombreux matériaux jusqu'à 25 mm. La découpe se fait sans effort sur la pièce et la zone affectée thermiquement (ZAT) est assez faible (de l'ordre de 0,5 mm sur les métaux) ce qui permet d'avoir des pièces très peu déformées. La réalisation de trou est facile mais leur diamètre doit être au moins égal à l'épaisseur de la tôle quand cette tôle est supérieure à 10 mm. Souvent, il est aussi possible de graver (texte, etc.) avec la même machine. La découpe s'effectue sur des plaques de matière ce qui donne généralement des objets plats une fois découpés. Certains matériaux, comme l'argent, ou le cuivre, sont toutefois plus difficiles à découper au laser à cause de leur fort pouvoir réfléchissant, dans ce cas, mieux vaut utiliser la découpe par jet d'eau haute pression (fig. I.57).



Fig. I.57 Machine de découpage laser.

I.3.4.2. Découpage jet d'eau

L'eau, ou plus exactement le fluide, peut contenir des additifs, notamment pour faciliter la coupe du matériau. La découpe au jet d'eau additionnée d'abrasif, permet la découpe de métaux, pierres, marbres, verre dans des épaisseurs allant jusqu'à 600 millimètres.

On distingue deux techniques de découpage (fig. I.58):

- La découpe à l'eau pure (tous les matériaux se coupant au cutter) ; buse de coupe de 0,08 mm à 0,30 mm ;
- La découpe à l'eau chargée d'abrasif (tout matériaux) ; l'eau passe par la buse, on y adjoint le sable, l'eau et le sable passent par le canon de focalisation qui assure une cylindricité du mélange ; buse de coupe de 0,20 mm à 0,40 mm ;
- Un seul matériau ne peut être découpé au jet d'eau : le verre trempé, qui casse dès les premiers millimètres de découpe à cause des trop fortes contraintes présentes dans le matériau ;
- L'eau sous très haute pression (jusqu'à 6150 bars) sort de la buse de découpe.

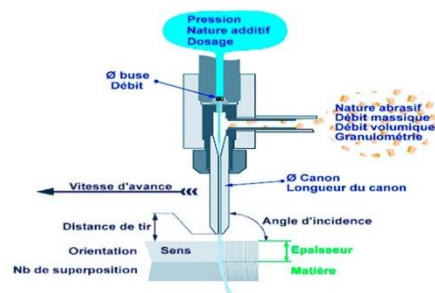


Fig. I.58. Découpage par jet d'eau.

I.3.4.3. Découpage plasma

Le découpage plasma diffère par les mélanges gazeux utilisés. Le jet de plasma est généré par l'arc électrique qui s'établit entre une électrode intérieure à la torche de coupage et

la pièce. Le mélange gazeux ionisé à la sortie de la tuyère forme le plasma. Le pouvoir calorifique du jet (environ 18 000 °C) provoque une fusion quasi instantanée qui se propage dans toute l'épaisseur de la pièce. Le découpage plasma est principalement utilisé par les entreprises du secteur de la Métallerie. Il permet la découpe de tôles en métal sur des épaisseurs de 0 à 160 mm avec une précision de plus ou moins 0,2 mm (fig. I.59).

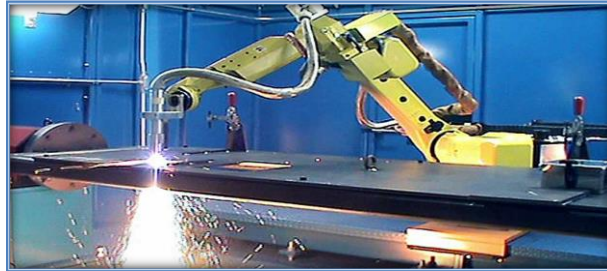


Fig. I.59 Découpage plasma réalisé par un robot industriel.

Sur une machine de découpe plasma, la température extrêmement élevée fait fondre instantanément le métal tandis que le gaz sous pression chasse au fur et à mesure les gouttelettes de métal en fusion. L'usage de la torche de découpage au plasma doit se faire impérativement dans des locaux spécialement ventilés ou en plein air à cause de dégagement de gaz toxiques généré par les très hautes températures de travail. Certains systèmes de découpe au plasma comprennent un apport d'eau sous forme d'un jet calibré qui, jaillissant de la torche plasma, permet de refroidir le métal sitôt après sa découpe plasma, évitant également le dégagement de ces gaz toxiques.

I.3.5. Usinage photochimique

L'usinage chimique est une technologie qui permet d'obtenir des pièces découpées et/ou gravées, très précises et sans bavure, dans du métal. La découpe photochimique présente avantages considérables comparé aux autres technologies présentes sur les marchés tels que la découpe mécanique, l'étampage, l'électroérosion à fil ou la découpe laser. Les deux éléments principaux du procédé d'usinage photochimique sont les solutions d'attaques chimiques et les résines photosensibles (ou photorésist) (fig. I.60).



Fig. I.60 Pièces réalisées par usinage photochimique.

I.3.5.1. Principe

Les deux éléments principaux du procédé d'usinage photochimique sont les solutions d'attaques chimiques et les résines photosensibles (ou photorésist). De manière simplifiée, cette méthode de fabrication peut être décomposée en quatre phases :

- La préparation de surface qui consiste à optimiser la surface du matériel afin d'obtenir la meilleure adhérence avec le photorésist.
- L'opération de photolithographie.
- La phase de gravure chimique.
- Le strippage qui consiste à retirer le photorésist et assurer le nettoyage final des pièces.

I.3.5.2. Objectifs

L'usinage photochimique permet la fabrication de pièces dans quasiment tous les métaux mais également dans certains matériaux comme par exemple le verre ou le polyimide. Mais ce sont les aciers inoxydables, les métaux ferreux et les métaux cuivreux qui représentent la majorité des productions en usinage photochimique. On utilise, principalement dans l'industrie, des panneaux de quelques microns à 2mm d'épaisseur. Appliquée à des matériaux de faibles épaisseurs (inférieures à 0.1mm) et combinée à la précision de la photolithographie, cette méthode assure la production de pièces avec des formes géométriques très complexes et aux tolérances serrées. Généralement, les tolérances données pour des pièces en usinage photochimique sont de +/- 10% de l'épaisseur du matériel usiné.

I.3.5.3. Avantages de l'usinage photochimique :

- Pratiquement tous les métaux peuvent être usinés ;
- Pas de bavure ;
- Haute précision ;
- Pas de modification des propriétés physiques du matériel de base ;
- Possibilité de géométrie très complexe ;
- Le procédé peut être utilisé pour des feuilles de métal allant de 0.01mm à 2mm ;
- Réalisation de pièces en vrac (sans attache) ;
- Réalisation de l'outillage rapide et peu coûteux ;
- Découpe et gravure en un seul procédé.

I.3.5.4. Secteurs d'activités (fig. I.61)

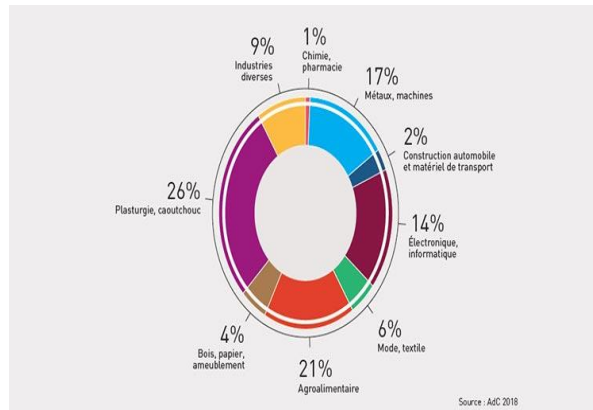


Fig. I.61. Illustration des secteurs d'activités

*Chapitre II:
Etude et conception des outils
de fraisage.*

II.1. Introduction

L'usinage représente environ de 33% de l'industrie mécanique si on considère que cette dernière est composée de trois différentes parties : la conception, la construction et la maintenance.

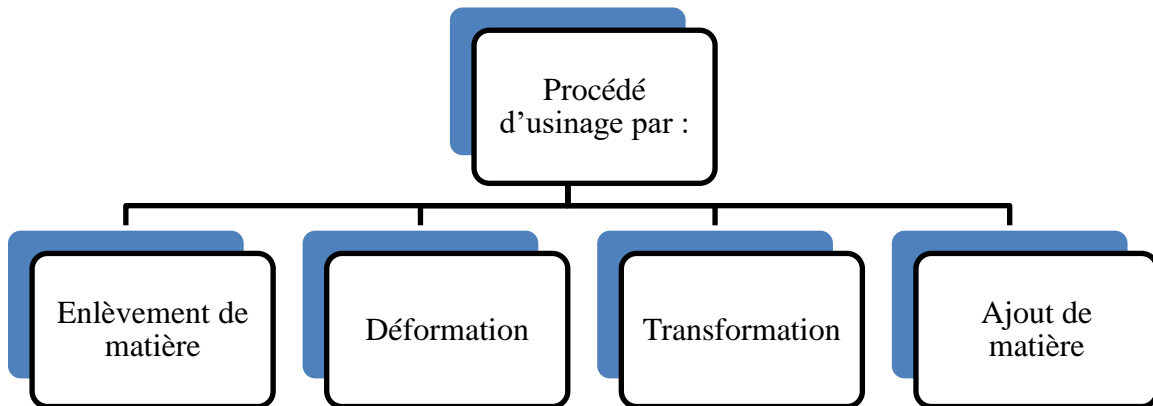


Fig. II. Schéma des procédés d'usinage

Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, 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 conjugaison 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). Il existe deux manières de générer la surface recherchée : par travail de forme ou par travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme, c'est la forme de l'arête tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue. Dans le cas du travail d'enveloppe, c'est la conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale. Les procédés d'usinage les plus répandus sont le tournage, le perçage, le fraisage.

Dans ce chapitre, nous sommes en train d'étudier l'opération de fraisage.

II.2. Définition

L'opération de fraisage est sans aucun doute l'une des plus polyvalentes, permettant l'obtention de surfaces planes précises et aussi dans le cas des fraiseuses à commande numérique, de profils complexes et de surfaces 3D. Dans ce type de mise en forme, l'outil est entraîné en rotation par la broche de la machine, et un déplacement relatif est effectué entre la

pièce et l'outil de coupe afin de produire sur la pièce la forme désirée. Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de tournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. On note qu'il existe plusieurs types de fraiseuses. Dans le fraisage en bout, la surface usinée est perpendiculaire à l'axe de la fraise ; dans le fraisage en roulant, elle est parallèle à cet axe.

II.3. Différents types des fraiseuses

Le fraisage s'effectue sur différents types de machines :

II.3.1. Fraiseuses universelles

Cette machine (Figure 1) 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 (les copeaux). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. L'appellation « fraiseuse à commande numérique » n'est pas très utilisée, on parlera plutôt de centre d'usinage 3 axes.

- 1- base.
- 2- Volant.
- 3- L'établi.
- 4- Tête de fraisage rotative universelle.
- 5-Broche horizontale.
- 6-Poignée de changement de vitesse.
- 7- Colonne verticale.

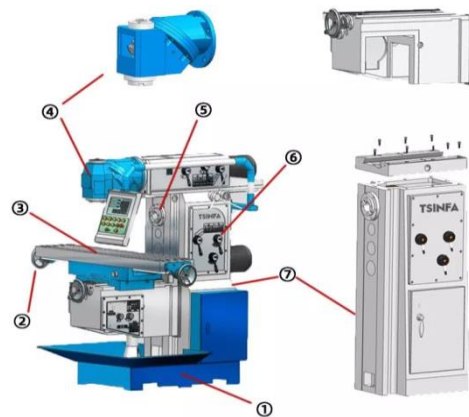


Fig. II.1. Fraiseuses universelles

II.3.2. Fraiseuses de production (à programme, commande numérique)

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées décodées alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé (Fig. 2). La fraiseuse à commande numérique est une fraiseuse connectée à un système de commande numérique.



Fig. II.2. Fraiseuse à commande numérique à banc fixe

II.4. Principe de la fraiseuse

La pièce à usiner est serrée dans l'étau (figure 3). L'étau est positionné par l'intermédiaire de rainures en T puis serré sur la table. La table peut se déplacer suivant les axes X, Y et Z soit manuellement (à l'aide des volants) soit automatiquement (avec des moteurs électriques). Un cône de broche est fixé sur la fraise, l'ensemble est mis en position sur la broche et serré par une visse. La broche est entraînée en rotation par un moteur électrique indépendant.

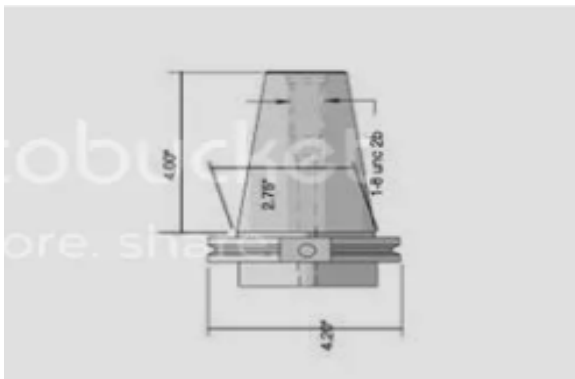


Fig. II.3. Eta d'une fraiseuse CNC



Fig. II.4. Cône de broche ISO

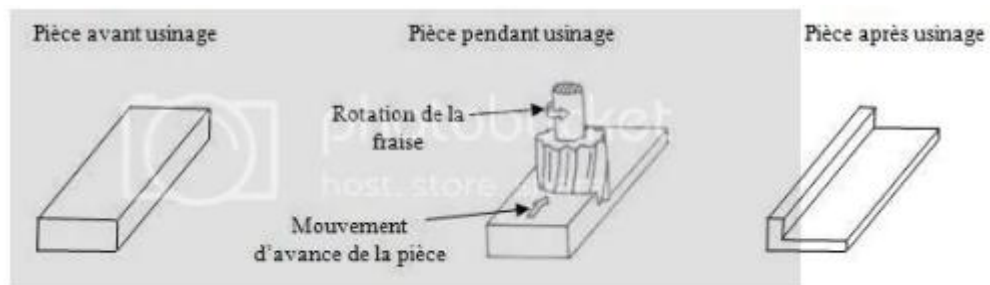


Fig. II.5. Principe de fraisage

- (a) **le fraisage de face ou en bout** : l'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface fraisée.

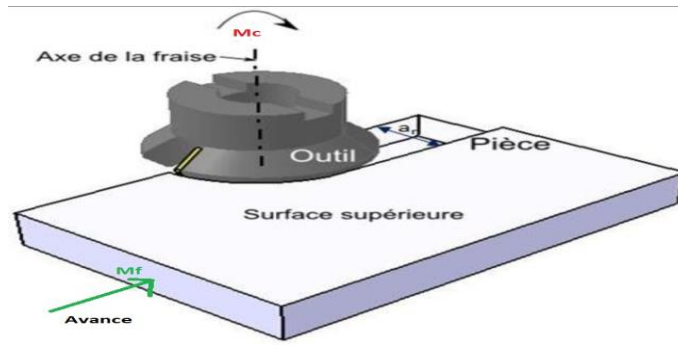


Fig. II.6. Principes de fraisage de face (en bout).

(b) le fraisage de profil ou en roulant : l'axe de la fraise est parallèle à la surface usinée.

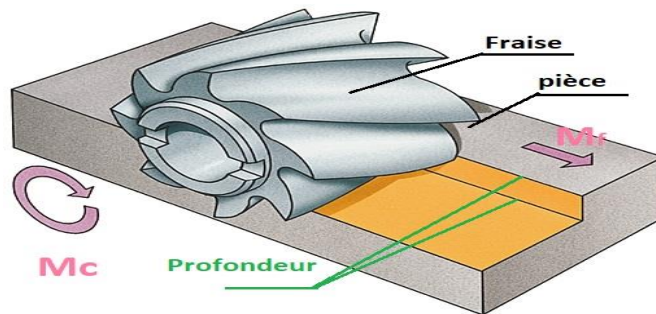


Fig. II.7. Principes de fraisage de profil

II.5. MODES DE TRAVAIL EN FRAISAGE

Au niveau des différents mouvements de translation, c'est un dispositif vis-écrou qui permet la transformation du mouvement de rotation (généralisé par le moteur) en mouvement de translation. Ce dispositif possède un jeu interne. Pour éviter qu'il y ait un brusque rattrapage de ce jeu lors de l'usinage, il faut veiller à ce que l'effort exercé par la fraise sur la pièce soit opposé à la vitesse d'avance de la pièce par rapport à la fraise. On dit qu'il faut travailler en « opposition » et pas en « concordance ».

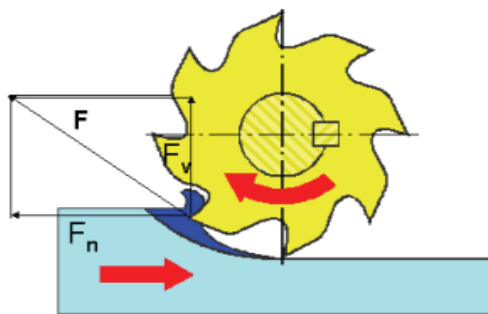


Fig. II.8. travail en opposition

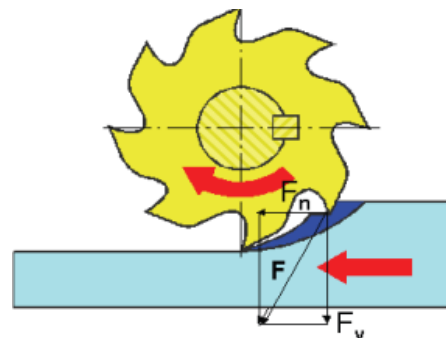


Fig. II.9. Travail en avalent

II.6. COMPARAISON ENTRE LES 2 MODES

fraisage en opposition	fraisage en concordance
<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'attaque avec une épaisseur nulle, ce qui peut entraîner un refus de coupe (copeau mini) sur la surface à générer ➤ Si refus, l'attaque se fait sur une surface écrouie par la dent suivante ➤ Les efforts de coupe sont importants (refus de coupe) ➤ Les efforts de coupe tendent à faire sortir la pièce de la mise en position ➤ Seul ce mode de travail peut être utilisé sur les fraiseuses ayant des vis sans rattrapage de jeux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'attaque de la dent se fait avec l'épaisseur maximale (pas de refus) ➤ La sortie de la dent se fait sur la surface à générer avec une épaisseur nulle mais le copeau est déjà créé ce qui facilite la coupe ➤ Les dents attaquent sur l'épaisseur maximale qui génère des chocs ➤ Les efforts de coupe plaquent les pièces sur ses appuis ➤ La machine doit être équipée d'une avance de table sans jeu

Tableau 1 comparaison entre les modes de travail en fraisage

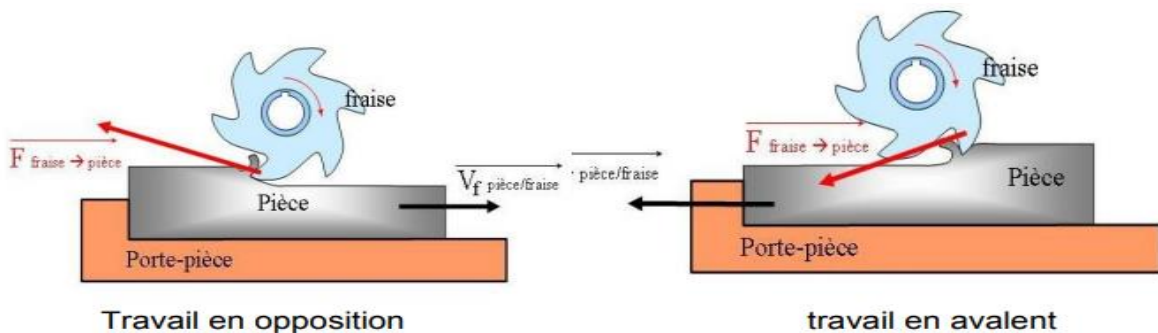


Fig. II.10.les modes de fraisage

II.7.L'OUTIL DE COUPE

En fraisage l'outil de coupe est à arête multiple. La fraise peut être un outil monobloc en acier rapide supérieur. Lorsqu'un outil de cette nature est utilisé, il peut être affuté. Les parties actives de la fraise peuvent aussi être en carbure métallique. On parle alors de plaquettes qui sont positionnées et fixées sur le corps porte-plaquette. Une plaquette comporte en général plusieurs arêtes de coupe (2, 3 ou 4 selon la géométrie). Lorsque toutes les arêtes sont usées la plaquette est jetée.



Fig. II.11. Fraise en acier rapide



Fig. II.12. Fraise avec plaquettes en carbure métalliques

La partie active comporte trois parties :

- la face de coupe sur laquelle se déroule le copeau ;
- la face de dépouille qui est en regard de la surface qui vient d'être usinée
- l'arête de coupe, partie coupante qui est l'intersection de la face de coupe et de la face de dépouille.

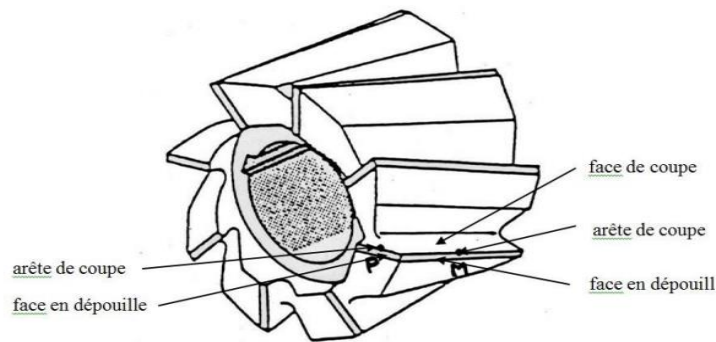


Fig. II.13. La partie active d'une fraise

II.8.LA MISE EN POSITION (de pièce et de la fraise)

- a) **L'étou :** Cette porte pièce est composée de 2 mors.
 Le mors fixe, lié au bâti et le mors mobile, en liaison Glissière avec le bâti permet le serrage de la pièce.
 La pièce est placée entre les deux mors de l'étou.

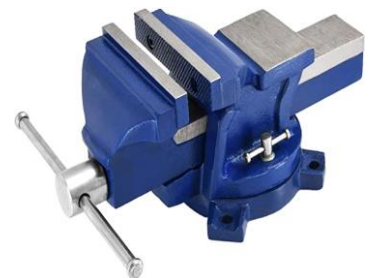


Fig. II.14. Etou.

En fonction de la morphologie de la pièce, il peut être nécessaire de placer des cales pour surélever les surfaces à usiner.

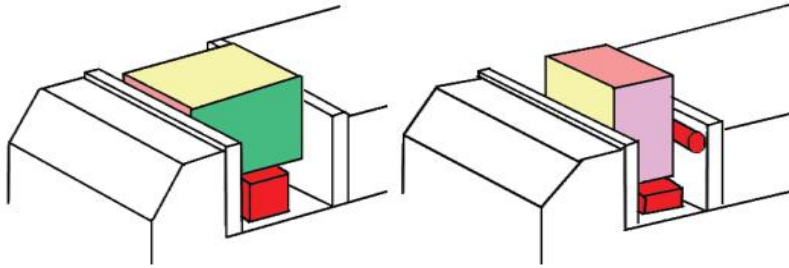


Fig. II.15. la méthode de fixation d'une pièce

- b) **Le mandrin** : On l'utilise pour les pièces de formes extérieures cylindriques. Cela permet de monter des pièces cylindriques sur une fraiseuse pour usiner des poches, ou des trous de passage pour les vis (4 trous à 120°).

Diamètre maxi :

- avec mors \emptyset normal = $\emptyset 120$
- avec mors grand \emptyset = $\emptyset 220$

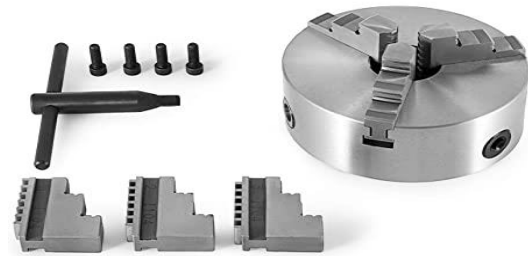


Fig. II.16. Le mandrin

- c) **Plaque support pour fraiseuse** : Elle permet de fixer les pièces minces grâce aux trous taraudés M8 situés tous les 30mm. La plaque est ensuite mise en position dans l'étau de la fraiseuse pour l'usinage. Plaque : 250x150 (8 trous x 5 trous), trous distants de 30 mm et taraudés M8.



Fig. II.17. Schéma d'une plaque support

II.9. Techniques de fraissage (LES OPERATIONS)


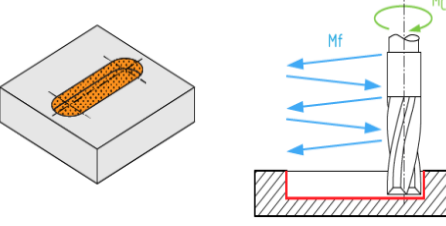
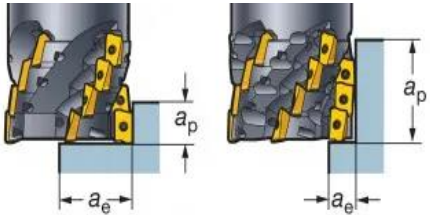

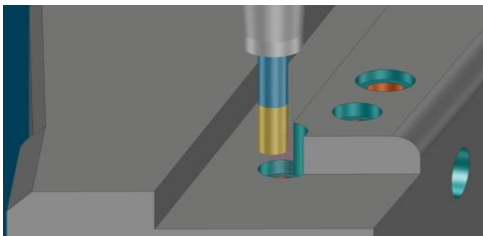
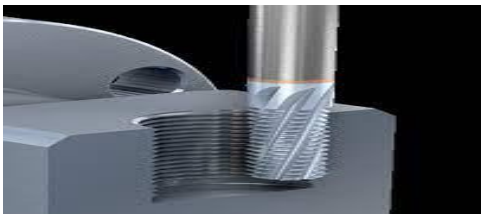
Operations	Dessins
<p>Surfaçage : Fabrication d'un plan par une fraise.</p>	
<p>Rainurage : Evidement de faible largeur. Les parois sont verticales et peuvent suivre un contour.</p>	
<p>plans épaulés (épaulement) : Association de 2 plans perpendiculaires.</p>	
<p>Poche : Forme en creux délimitée par des surfaces verticales quelconques (cylindre, plan, courbe...). Plusieurs poches peuvent se superposer. La poche est à priori à fond plat.</p>	
<p>Perçage : Ce sont des trous. Ils sont débouchant (surface bleu) ou Borgnes. (Surface jaune)</p>	
<p>Filetage : Le filetage à la fraise (interpolation hélicoïdale) vous permet de créer des filetages et des taraudages sur des surfaces cylindriques</p>	

Tableau 2LES OPERATIONS DE FRAISAGE.

II.10. Paramètres de coupe

Les paramètres de coupe sont des éléments constants ou variables, qui dépendent les uns des autres afin d'obtenir le meilleur compromis possible pour un usinage. Le mouvement de coupe anime l'outil (fraise tournante). Le mouvement d'avance est un mouvement de translation de l'outil. (Fig.18)

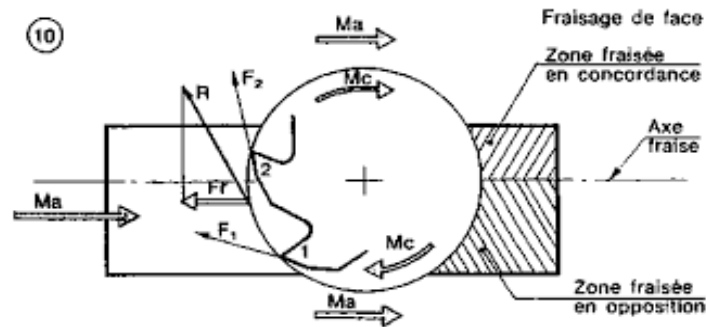


Fig. II.18. Illustration des paramètres de coupe.

La qualité de la surface usinée et le temps d'usinage dépendent du choix des paramètres de coupe. Les paramètres de coupe sont :

- la vitesse de coupe V_c .
- l'avance f_z par tour et par dent.
- la profondeur de passe a .

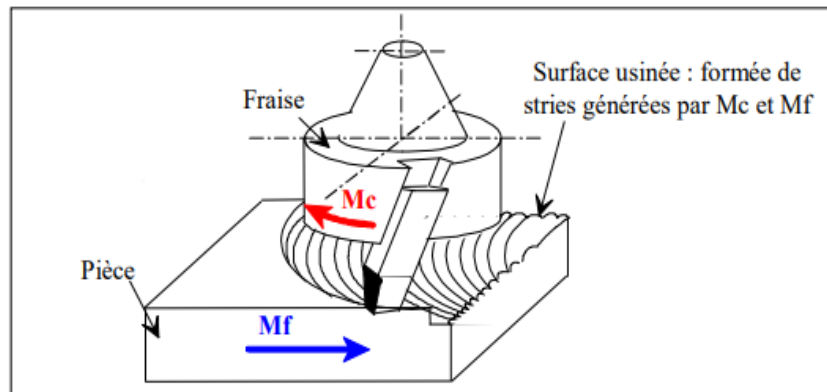
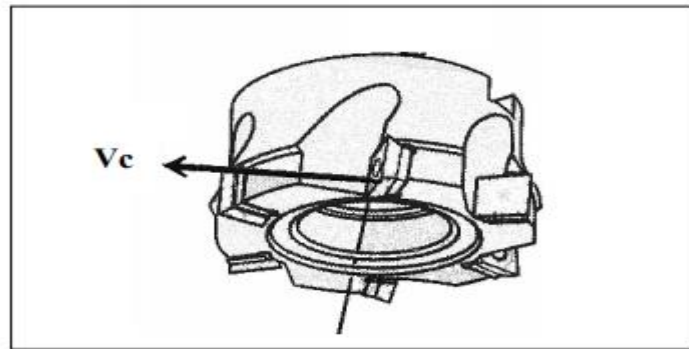


Fig. II.19. Coupe en fraisage

II.11. Géométries de coupe

(a) LA VITESSE DE COUPE (V_c)

- **Définition :** La vitesse de coupe est notée V_c et exprimée en m/min. C'est la vitesse relative de la pièce par rapport à la pointe d'une dent. La vitesse de coupe est représentée par un vecteur tangent à l'élément en rotation.

Fig. II.20. Visualisation de la vitesse de coupe V_c

- **Procédure de réglage :** Fréquence de rotation n (tr/min)

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \cdot D}$$

n : Fréquence de rotation tr/min.

V_c : Vitesse de coupe m/min.

D : Diamètre de l'outil mm.

(b) **L'AVANCE (f_z)**

- **Définition :** L'outil de fraisage est un outil avec plusieurs arêtes de coupe. On parlera d'avance par tour et par dent. Cela représente la distance parcourue sur la pièce par une dent après une rotation d'un tour de l'outil.

- **Procédure de réglage :** la vitesse d'avance V_f

On règle la vitesse d'avance V_f grâce à f_z (avance par tour et par dent). La vitesse d'avance correspond à la vitesse de déplacement de la pièce par rapport à l'outil pour le déplacement des axes X, Y et Z.

$$V_f = f_z \times Z \times n$$

V_f : Vitesse d'avance mm/min.

f_z : Avance mm/ (tr. Dent).

Z : nombre de dents de la fraise.

n : Fréquence de rotation tr/min.

(c) **LA PROFONDEUR DE PASSE (a_p)**

- **Définition :** La profondeur de passe est l'engagement de l'outil dans la pièce. Elle est notée a_p et exprimée en mm.
- **Procédures de réglage :**
- Sur machines conventionnelles :
 - on tangente sur la surface ;
 - dégagement le long de la surface ;

- prise de passe manuelle (au vernier) ;
- Sur machines à commande numérique :
 - La prise de passe est comprise dans la programmation des points.

II.12.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.12.1.Choix des outils de fraisage

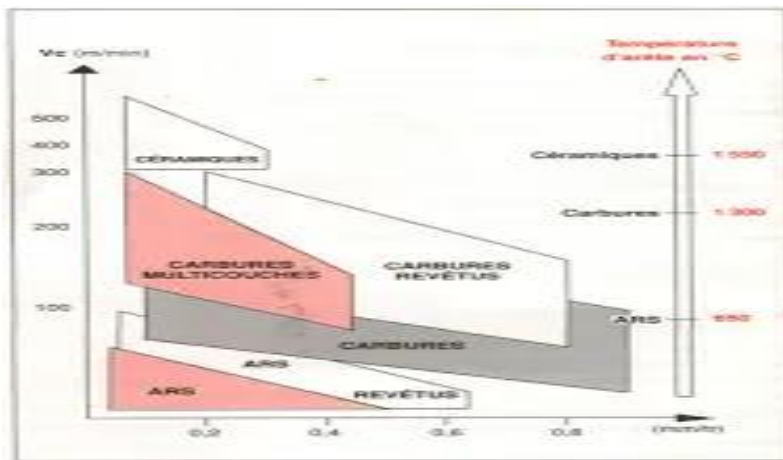



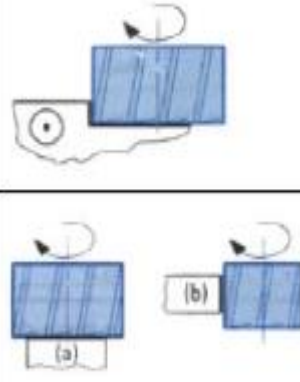

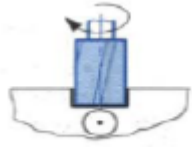

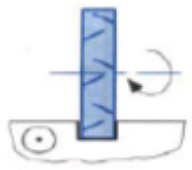


Fig. II.21. Domaines d’emploi des divers matériaux à outil coupant.

(a) Les fraises en acier rapide (ARS)

Visualisation	Identification de L’outil	Types d’opérations réalisées	Schéma d’usinage
	Fraise 1T à surfacer	Surfaçage en roulant ou en profile	 ⊙ : direction projetée du mouvement d’avance
	Fraise cloche à surfacer	Surfaçage en bout ou de face	

	Fraise 2T à queue conique	Surfaçages combinés à prédominance en roulant Surfaçage en roulant	
	Fraise 2T à alésages et à entraînement par tenon	Surfaçages combinés à prédominance en bout Restrictivement : - surfaçage en bout (a) -surfaçage en bout (b)	
	Fraise 2T à queue cylindrique	Rainurage de profile peu précis	
	Fraise à rainurer deux lèves à coupe centrale	Rainurage en bout Qualité usuelle obtenue /9	

Tab.II.3. Type des fraises en acier rapide (ARS).

(b) Carbures métalliques

Les principaux composants des outils en carbures métalliques sont le carbure de tungstène (phase α), et le carbure de titane, de tantale ou le niobium (phase γ) et d'un élément de liaison entre les grains de carbure (taille de 0.2 à 1 μm) généralement du cobalt (phase β) de l'ordre de 8 à 20%. [13] 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.

(c) **Céramiques**

Les outils en céramique sont généralement des plaquettes frittées d'alumine Al_2O_3 ou de Nitrure de silicium Si_3N_4 dits plaquettes Salon ou d'oxyde de chrome Cr_2O_3 . Ils possèdent de bonnes caractéristiques thermomécaniques, ils sont favorables à l'usinage en coupe continue, mais à éviter dans le cas de coupe discontinue où l'outil présente des défauts d'ébréchure du bord des plaquettes et un craquage thermique car des outils fragiles. 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.

(d) **Nitrure de bore cubique**

CBN est un matériau très dur prévu pour l'usinage des aciers trempés, des fontes et d'alliages à base de nickel ou cobalt. Il n'oxyde pas à haute température contrairement au diamant. Pour travailler avec ce matériau, il faut être très rigoureux au niveau des conditions de coupe (machine stable, grande rigidité et un arrosage permanent durant l'usinage). Les plaquettes en nitrure de bore sont destinées principalement à la finition des pièces de précisions

(e) **Diamant**

Le diamant est fortement utilisé comme composant des meules en abrasif, ou des grains sertis ou brasés sur un corps pour les outils tranchant à arête unique réservée à des travaux de finition et de réaffûtage de meules, il est instable à haute température, à 650°C il se transforme en graphite. Il convient parfaitement à l'usinage des alliages d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables...etc.

II.13.Principe de la coupe des métaux

Les métaux sont coupés à l'aide d'un instrument tranchant sur une surface moins rigide qu'eux. Ces forces nous produisent des zones de frottement comme la zone de cisaillement, qui nous produit une petite fraction du métal, appelée copeau.

La zone du frottement entre la matière usinée et l'outil de coupe est la zone (2) (figure 22) là où le copeau se forme. Il y a aussi un frottement entre l'outil de coupe et la pièce usinée dans la zone (3), ce frottement dans la zone (3) provoque une usure d'outil.

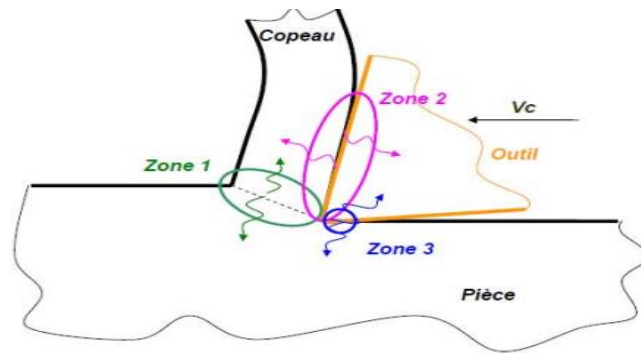


Fig. II.22. zones d coupe

Ces trois domaines sont :

- **Zone de cisaillement** : Lorsque l'outil entre en contact avec la couche de surface de la pièce, la pièce progresse

Provoque une forte pression sur la substance et génère une forte coupure entre le membre Outil et surface de la pièce. Cet espace de formation de copeaux est

La zone de cisaillement primaire est appelée et s'étend du bord sophistiqué à la surface extérieure de la Chip. L'angle du plan de cisaillement dépend de différentes géométries à l'interface de coupe. Cela a ainsi formé un frottement sur la face de la coupe de l'instrument; Cette zone de frottement entre l'instrument et la puce est appelée zone de cisaillement secondaire). A générer de la chaleur résultant d'une déformation plastique d'une part, et Outil de copeaux et outil de friction conduisent à une température élevée dans ce Surface. La chaleur résultante est répartie entre la puce, l'outil et la pièce.

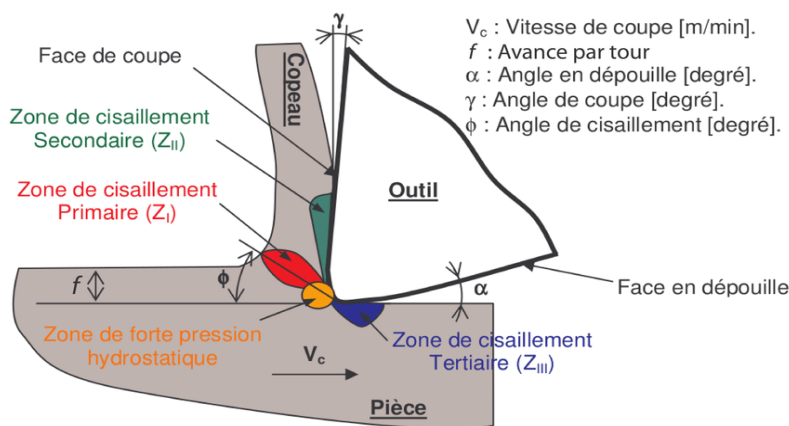


Fig. II.23. Les zone de cisaillement

- **Zone d'écroutissage de la pièce** : Dans cette zone, le frottement a lieu entre la surface nouvellement usinée et la surface de dépouillement de l'outil.
- **Zone d'écroutissage du copeau** : Cette friction provoque l'usure de l'outil à l'avant de la découpe tout en générant de la chaleur.

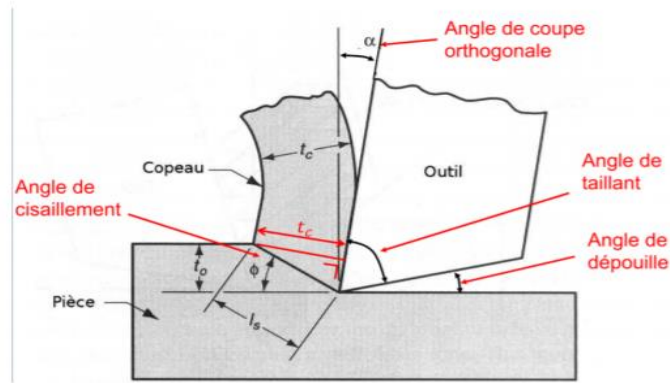


Fig. II.24. Géométrie de la formation d'un copeau.

II.14. Paramètres techno-économiques d'usinage

❖ **Temps d'usinage:** Le temps technologique représente la durée du travail effectué par un (plusieurs) outil(s). Il est fonction uniquement des moyens matériels et tient compte de l'engagement et du dégagement de l'outil.

Il s'exprime par la relation : $T_u = t_m + t_{cs} \left(\frac{t_m}{T} \right) + t_h$ (min)

- t_{cs} (temps outil) : temps de changement d'outil y compris le temps de réaffûtage si nécessaire,
- T : durée de vie de l'outil de coupe ;
- t_h : temps auxiliaires (montage et démontage pièce, prise de passes) ;
- t_m (Temps technologique) : temps de machine (temps de coupe avec une avance) ;

- **Temps technologique pour le fraisage en bout :** Pour les opérations de fraisage on fait intervenir dans le calcul des temps technologiques le nombre de dents Z et le diamètre D de l'outil (fraise). Dans le cas d'un travail de fraisage en bout nous avons :

$$Tt = k \frac{(D + l_1 + l_2 + L)}{aZN}$$

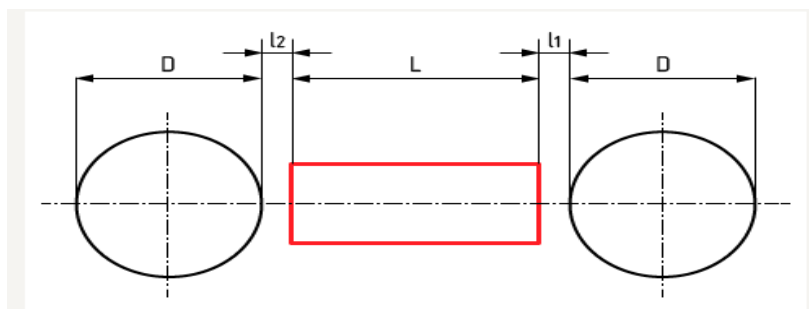


Fig. II.25. Calcul du Tt en fraisage (en bout)

- **Temps technologique pour le fraisage en roulant :** On exprime alors ce temps sous la forme suivante :

$$Tt = k \frac{(D \sin \alpha + l_1 + l_2 + L)}{aZN}$$

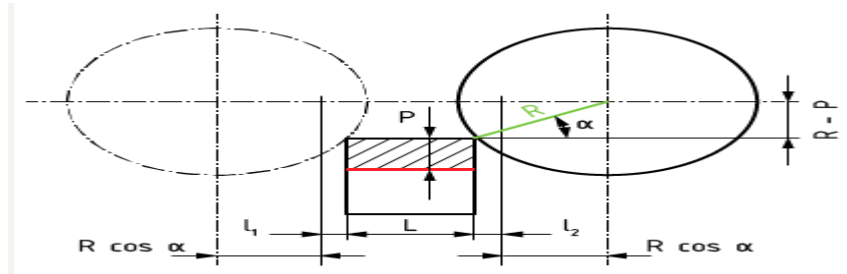


Fig. II.26. Calcul du Tt en fraisage (en roulant)

- ❖ **Coût d'usinage :** la formule du coût d'usinage sous la forme :

Coût total = Frais fixes + Coût machine + Coût outil

$$C_u = (C_0 \times t_m) + (C_0 \times t_{cs}) + C_t \times \left(\frac{t_m}{T} \right) + C_0 \times (t_h)$$

- C_t : Coût d'une arrête de coupe en \$/ arrête.
- C_u : Coût d'usinage unitaire ;
- C_0 : Coût de machine en \$/ min ;

II.15. Durée de vie d'un outil de coupe

La qualité de travail d'un outil dépend de son degré d'usure qui influence directement

- la qualité de surface,
- la tenue de l'outil,
- la puissance nécessaire à la coupe.

A un certain degré d'usure, il y a destruction de l'arête qui provoque l'arrêt de la coupe. La durée de vie d'un outil sera donc liée à ce degré d'usure et il faudra maîtriser son évolution par rapport aux paramètres d'usinage. Pratiquement, on se fixera quelques objectifs concrets à tenir sur le poste d'usinage, comme :

- le volume de copeaux produit entre deux changements d'arête,
- le nombre de pièces usinées entre deux changements d'arête,
- la longueur d'usinage réalisée entre deux changements d'arête.

L'expérience montre deux zones d'usure sur les outils de coupe, comme indiquées ci-dessous.

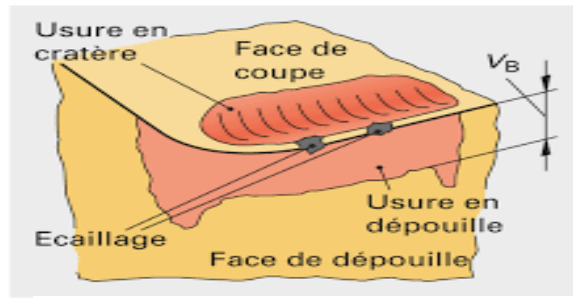


Fig. II.27. les zones d'usure

1. Les phénomènes d'usure

L'usure des outils de coupe est la conséquence de divers mécanismes (phénomène mécanique Et phénomène physico – chimique).

a. Les phénomènes mécaniques

- **Abrasion** : Ce mécanisme s'opère lorsque la pièce et le copeau frottent avec des pressions de contact importantes sur l'outil et si la matière comporte des constituants (alumine, nitrure, carbure, oxyde) plus durs que l'outil.

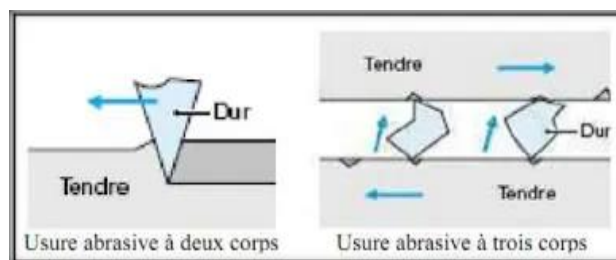


Fig. II.28. Processus d'usure par abrasion.

- **Adhésion** : Cette usure est due aux états de surface de la pièce et de l'outil durant l'usinage.

Ces entités frottent les unes contre les autres. 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 l'outil, soit à l'usure de l'outil, si la micro – soudure sur le copeau est plus résistance que celle de l'outil.

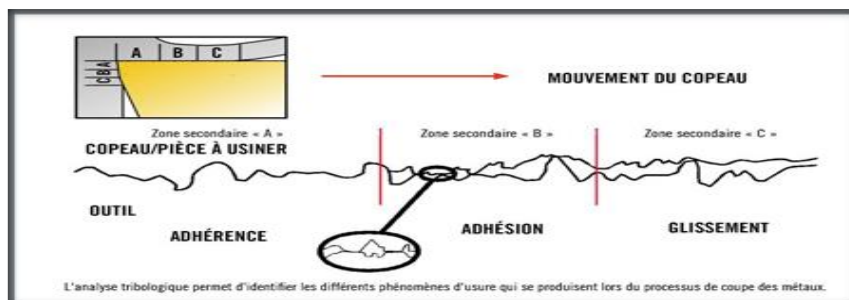


Fig. II.29. Processus d'usure par adhésion

- Fissuration : Lors de l'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.
- Déformation plastique : La combinaison des hautes températures à l'interface (outil/copeau) et de la pression exercée sur l'outil provoque la déformation plastique d'une partie de l'outil (arête de coupe).

a. Les phénomènes (physico – chimique)

- Oxydation : Durant l'usinage lubrifié avec le liquide de coupe et à cause de l'élévation de température de l'outil, l'eau contenue dans les fluides de coupe va se vaporiser. Cette vaporisation de l'eau avec l'oxygène de l'air provoque une fragilisation de l'outil par oxydation.
- Diffusion chimique : Ce phénomène apparaît pour des températures élevées où la structure de l'outil change sous l'effet de migrations de ses constituants chimiques vers le copeau.

Les hautes températures et les pressions exercées permettent de donner suffisamment d'énergie aux atomes pour que ceux-ci puissent migrer de l'outil vers le copeau ou vice versa (figure 27). La diffusion chimique des éléments de la pièce vers l'outil à haute température conduit à former la couche adhérente BUL. Cette couche adhérente forme une barrière thermique entre la pièce et l'outil.

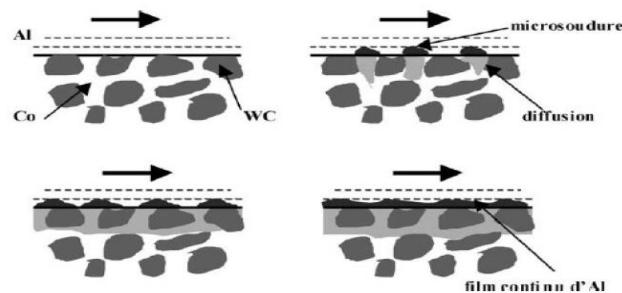


Fig. II.30.L'usure par diffusion

1. CRITERES D'USURE

En coupe des métaux l'outil est très sollicité par de fortes contraintes et de hautes températures conduisant ce dernier à des endommagements de toutes sortes (usures combinées) (voir figure). C'est pour cela que des critères d'usure sont mis au point. Une valeur critique d'usure est fixée pour chaque type d'usure observée sur l'outil. Le changement d'outil ou d'arête est fonction de la valeur critique de l'usure la plus dominante conduisant à la ruine de l'outil.

1. TYPES D'USURE ET CRITÈRES ASSOCIÉS

En reprenant l'outil ci-contre, il est possible de définir les usures sur les deux faces principales de la façon suivante :

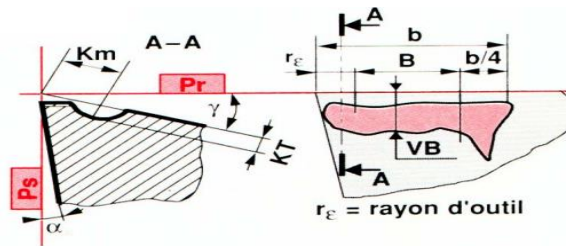


Fig. II.31. l'usure et ses paramètres.

- **USURE EN DÉPOUILLE (VB)** : Elle s'observe sur la face de dépouille principale et apparaît suivant une bande striée brillante parallèle à l'arête principale. Elle est due essentiellement aux températures élevées et au frottement continu de la pièce sur l'outil, elle se manifeste lors de travaux de finition à vitesse de coupe importante et à faible avance. Son critère associé est VB qui est la distance de l'arête de coupe initiale à la droite associée aux crêtes situées sur la face de dépouille. Cette distance est mesurée dans la zone B. Dans certains cas, on la caractérise par VB max (mesuré également dans la zone B).

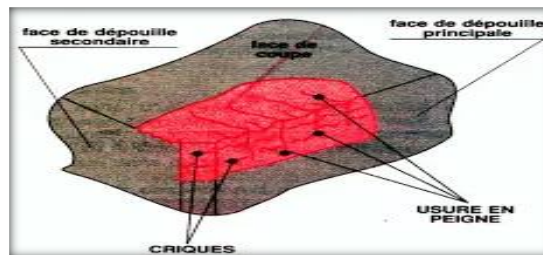


Fig. II.32. Usure en dépouille (abrasion).

- **USURE EN CRATÈRE (KT)** : Elle s'observe sur la face de coupe et apparaît sous la forme d'une cuvette créée par le frottement intense du copeau sur cette face. Elle se manifeste principalement lors des travaux d'ébauche à faible vitesse de coupe et à vitesse d'avance élevée. Son critère associé est KT qui est la profondeur du cratère. On peut également caractériser cette usure par le rapport KT/KM.



Fig. II.33. Usure en cratère (chimique).

- **USURE PAR ÉCAILLAGE OU EN ENTAILLE** : Elle s'observe le long de l'arête de coupe et est due à un écrouissage local de l'outil. Elle se manifeste principalement lors des usinages interrompus.



Fig. II.34.Usure en entaille (adhérence).

-**USURE PAR EFFONDREMENT D'ARETE OU DÉFAILLANCE BRUTALE** : Ce critère d'usure est pris en considération si le phénomène intervient après une période de coupe significative. Elle se manifeste par dégradation quasi instantanée de la coupe et se rencontre essentiellement sur des outils en acier rapide, lors d'usinages à vitesse de coupe très élevée ou lorsque le matériau à usiner présente des caractéristiques mécaniques très élevées.

- **USURE PAR FISSURATION** : Des fissures et des criques apparaissent sur la partie active de l'outil lors d'usinages avec des conditions de coupe inadaptées au travail réalisé.

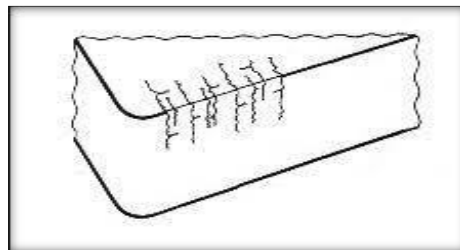


Fig. II.35.Usure en fissuration

- **DEFORMATION PLASTIQUE** : La déformation plastique de l'outil est due aux importantes contraintes et à la température élevée de l'outil. On observe principalement la déformation de l'arête de coupe de l'outil.



Fig. II.36.Usure thermique (déformation plastique)

1. Dépendance entre l'usure et le temps

La relation entre la valeur de l'usure et le temps représentée par la courbe (Fig. II.34) peut-être divisée en trois périodes :

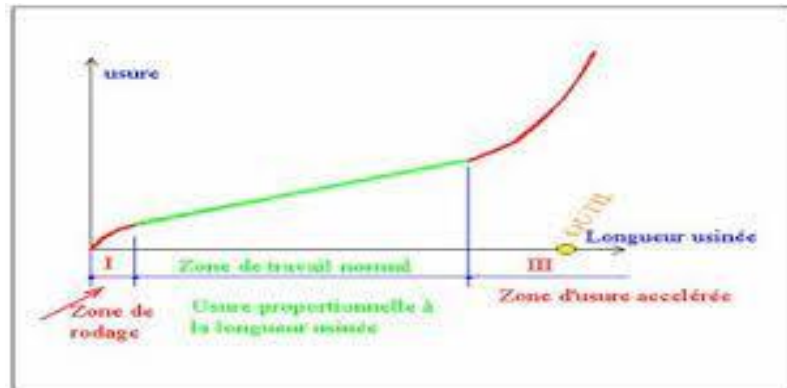


Fig. II.37. Courbe d'usure par rapport au temps

- **Période I** : Usure initiale ou rodage (à éviter pour les réglages) ;
- **Période II** : Usure normale ou domaine normal d'utilisation de l'outil ;
- **Période III** : Usure accélérée (catastrophique) danger de rupture.

II.16. Affûtage

Pour qu'un couteau assure sa fonction essentielle –couper– il faut lui donner ou lui redonner un pouvoir de coupe optimal. Ce travail s'effectue régulièrement suivant une fréquence qui varie selon le degré de sollicitation du couteau, chaque fois que l'affilage ne restitue plus suffisamment son pouvoir de coupe. C'est la raison pour laquelle les opérations d'affûtage et d'affilage sont indissociables. L'affûtage implique l'enlèvement d'une quantité plus importante d'acier pour ramener le tranchant à son angle d'origine ou, éventuellement, lui donner volontairement un nouvel angle. Le profil de cet outil peut également être adapté à vos besoins.

1) **Principe général de l'affûtage** : Le but d'un affûtage est de rendre un outil coupant tout en lui retirant un minimum de matière et en respectant son profil et ses angles de coupe.

Le principe est basé sur deux étapes incontournables. D'abord un meulage, qui permet d'éliminer l'arête émoussée, de retirer les éventuelles ébréchures ou de lui redonner son angle de coupe.

Puis un d'émorfilage de l'arête affûtée, qui consiste à retirer le « morfil » (résidu d'acier très fin, à peine visible) qui s'est formé sur l'arête coupante lors du meulage.

2) Machines d'affûtage verticales et horizontales

La plupart des affûteuses sont verticales. Les faces latérales de la meule sont verticales et la tranche utilisée pour l'affûtage est horizontale.

On trouve cependant sur le marché un certain nombre d'affûteuses horizontales. L'affûtage s'effectue alors sur la face supérieure de la meule. La rotation de la meule ne permettant pas la circulation du lubrifiant, le réservoir est monté au-dessus de la machine.






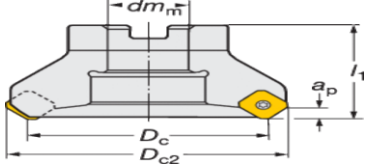

Le tranchant obtenu avec une meule horizontale est parfaitement droit. Il est légèrement concave (diamètre de la meule) sur une meule verticale. A condition que la meule soit de taille normale, cette concavité n'a absolument aucune incidence sur l'outil ni sur son fonctionnement. Voir page suivante.





L'inconvénient majeur des meules horizontales est la variation de vitesse et de puissance d'affûtage en fonction de la distance par rapport au centre de la meule. Par ailleurs, l'usure est plus importante au centre de la meule que vers sa périphérie, la surface y étant plus petite. Contrairement aux meules verticales, il est également très difficile d'obtenir un plan parfaitement horizontal.



Fig. II.38. Affûteuse universelle.

II.17. Les différents modèles de fraise-outils

Modèle	Description	Figure
Fraises cloches à entraînement par tenons	Utilisation : Le profil de la denture réduit la puissance absorbée. Elles ont un grand rendement. On les utilise principalement pour l'usinage des alliages légers.	
Fraises monoblocs	Cette fraise possède une coupe au centre afin de permettre l'opération de fraisage en plongée	
Fraise d'angle	La fraise d'angle sert au fraisage des guidages coniques (dans le cadre de la fabrication de machines) mais aussi au fraisage en bout et au fraisage roulant.	
Fraise concave	La fraise concave est demi-ronde et possède une denture détalonnée. Elle sert à réaliser des rainures convexes.	
Fraise convexe	La fraise convexe est demi-ronde et possède une denture détalonnée. Elle est utilisée pour réaliser des rainures concaves.	
Fraises à surfacer et à dresser	Elles sont robustes et permettent un grand rendement.	
Fraise conique	La fraise conique est utilisée pour la création de guides de coupe pour queue d'aronde (que l'on retrouve dans les angles des boîtes ou les côtés d'un tiroir).	

Fraises 2 T à queue cône morse	/	
Fraise à noyer	La fraise à noyer permet de fraiser les chanfreins servant à noyer les têtes de vis dans du bois ou matière assimilée.	
Fraise à plaquettes interchangeable	La fraise à plaquettes est idéale pour les grands diamètres d'outils (de 1 à 160 mm). Elle ne nécessite pas de réaffutage car les plaquettes sont jetables.	
Fraise à rainures en T	Il ne faut pas confondre la fraise à rainurer et la fraise pour rainures en T ! La fraise à rainures en T ressemble à une fraise 3 tailles et sert à usiner les deux parties en retrait d'une rainure en T.	

Tab.II.4. Les modèles de fraise-outils.

1) Caractéristiques des fraises

- ✓ **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.



Fig. II.39. Denture à double hélice alternées



Fig. II.40. Denture droite



Fig. II.41. Denture hélicoïdale à gauche



Fig. II.42. Denture hélicoïdale à droite

- ✓ **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.



Fig. II.43. Fraises de forme



Fig. II.44. Fraise cylindrique



Fig. II.45. Fraise conique

- ✓ **Taille :** Suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, on distingue les fraises : une taille, deux tailles ou trois tailles.



Fig. II.46. Schéma de Fraise une taille et deux tailles.

- ✓ **Mode de fixation :** à trou lisse ou taraudé, à queue cylindrique ou conique.

✓



Fig. II.47. Fraise à trou taraudé



Fig. II.48. Fraise à trou

- ✓ **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.

- ✓ **Nombre de dents:** Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.

CONCLUSION

La technique de fraisage permet de repousser les limites liées à l'évacuation du copeau. Le copeau étant fractionné par le phénomène axial, nous pouvons maintenant concevoir des fraises ayant des domaines d'application plus vastes : une même fraise ayant de bonnes performances dans des matériaux différents. Pour cela, le comportement de la tête de fraisage doit être peu dépendant des caractéristiques du matériau percé.

*Chapitre III: Réalisation & modélisation
numérique de la fraise étudiée.*

III.1. Introduction

Dans le monde industriel, la conception de produit consiste à inventer, développer et commercialiser sur un marché, un bien ou un service nouveau,

L'étape de conception d'un produit constitue l'étape clé où les leviers sont les plus importants concernant l'évolution des profils environnementaux des produits sous l'angle d'épuisement des ressources et d'impact environnemental.

La conception de produits industriels peut être considérée comme un processus complexe, suite à de nombreuses étapes de travail de l'idée à la réalisation pratique, à travers des étapes de la création, de la simulation, optimisation, tests, etc.

L'activité de conception va de l'émergence de l'idée à la définition détaillée du produit ou du procédé en incluant une phase de conception préliminaire.

De nos jours, ces objectifs peuvent être atteints, en utilisant des techniques de conception et de fabrication ultra sophistiquées appelés la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur).

La CFAO est la synthèse de la CAO et de la FAO apparue dans les années 1970 avec l'introduction des machines-outils à commande numérique.

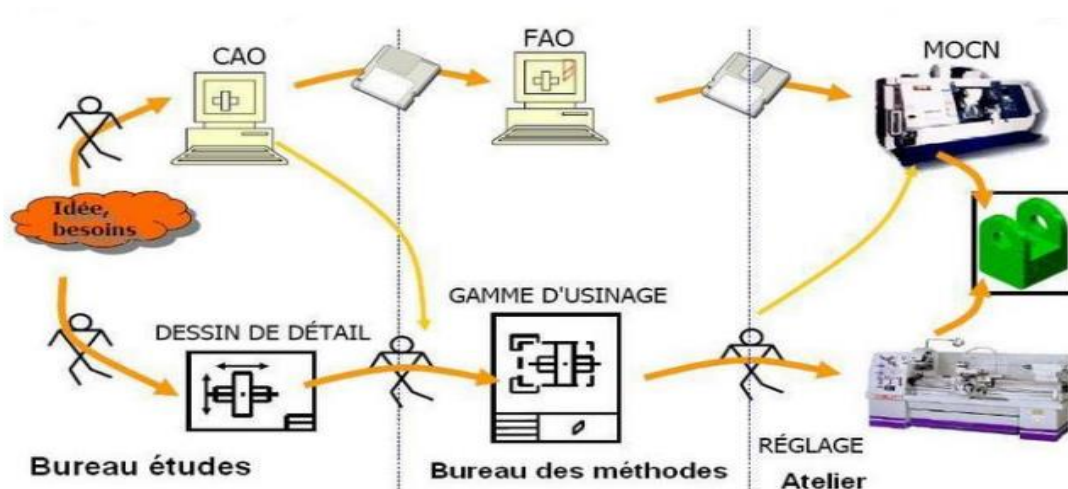


Fig. III .1.les différentes étapes de conception et fabrication un produit.

III.2.La CAO

La CAO peut être définie comme étant l'ensemble des outils logiciels et les techniques informatiques qui permettent d'aider le concepteur dans la conception et la mise au point d'un produit. Un système de CAO permet de représenter et d'étudier le fonctionnement d'un objet sans l'avoir fabriqué réellement, c'est-à-dire en mode virtuel

III.3. La FAO

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) est l'utilisation de logiciels et de machines contrôlées par ordinateur pour automatiser un processus de fabrication.

Sur la base de cette définition, vous avez besoin de trois composants pour qu'un système FAO fonctionne:

- Logiciel qui indique à une machine comment fabriquer un produit en générant des parcours d'outils.
- Machines capables de transformer la matière première en produit fini.
- Le post-traitement convertit les parcours d'outils en un langage que les machines peuvent comprendre.

III.4. Description d'une fraise cylindrique

La fraise cylindrique est un outil qui permet d'usiner la matière (métal, bois, etc.). Elle est généralement utilisée sur une fraiseuse pour faire du fraisage. Il faudra bien faire attention à ne pas confondre le sens de coupe et le sens de l'hélice. La fraise cylindrique peut être utilisée pour plusieurs usages :

- avec sa périphérie, le contournage est fréquemment réalisé ;
- avec sa face plane, elle peut surfacer ;

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.

La fraise se trouve avec différents attachements :

- à queue conique (cône Morse ou cône standard américain) ;
- à queue cylindrique (surtout dans les petits diamètres) ;

(a) Sens de coup

Les fraises sont dites « en coupe à droite » si, en vue de dessus par rapport à la broche de la machine, elles tournent dans le sens horaire (appelé aussi sens anti-trigonométrique).

(b) Type de denture

L'inclinaison des arêtes de coupe peut varier d'une fraise à l'autre, la fraise peut être à :

- dentures droites ;
- dentures hélicoïdales (avec l'hélice à gauche ou à droite) ;
- dentures alternées (double hélice).

III.5. Les principaux éléments géométriques de la fraise

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

- **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.
- **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.
- **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.

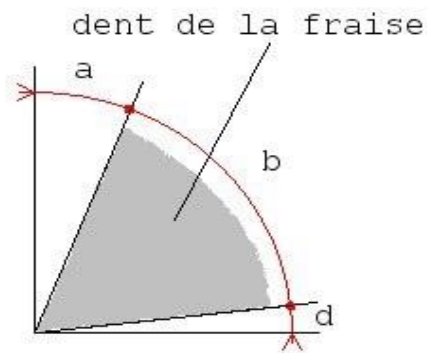


Fig. III .4.a) angle de coupe; b) angle de taillant;
c) angle de dépouille.

III.6. Etapes de réalisation la fraise

Suite aux analyses effectuées sur la pièce modèle (La nuance et la dureté), nous passons par trois étapes pour obtenir le produit fini :

- Dessin de définition (plan d'ensemble) :** représente une pièce ou une partie d'objet projeté sur un plan avec tous ses détails comme les dimensions en cotations normalisées et les usinages.

Comme ce dessin de la pièce 1 de notre outil :

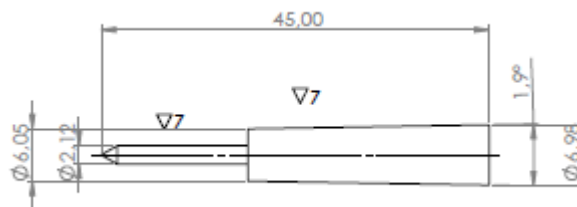


Fig. III.5. Schéma descriptive le Profil de la pièce 1 de l'outil

Et deuxième dessin de la pièce 2 de notre outil :

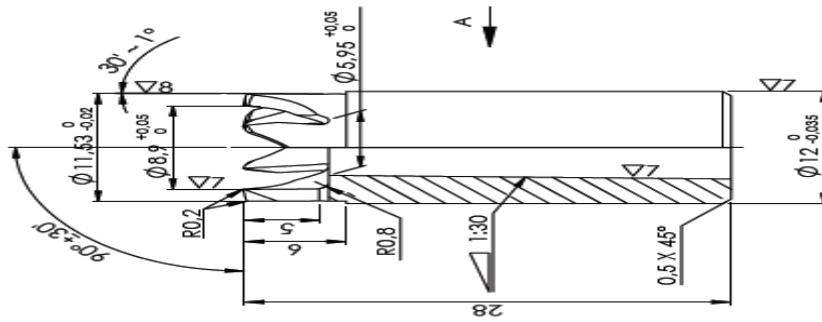


Fig. III .6.Schéma descriptive le Profil de la pièce 2 de l'outil

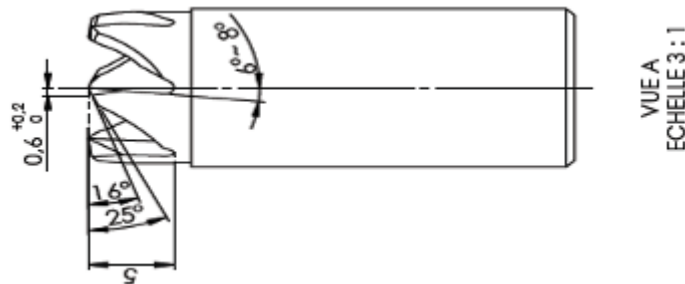


Fig. III .7.Schéma descriptive le Profil de 2eme pièce

(b) **Gamme d'usinage** : est une feuille donnant l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinage d'une pièce en fonction des moyens d'usinage. La feuille résume l'étude et doit :

- permettre l'identification de la pièce étudiée ;
- présenter très clairement la succession des phases ;
- préciser les surfaces usinées à chaque phase ;
- indiquer le temps alloué pour l'usinage de la pièce.

(c) **Traitement thermique** : est un groupe de procédés industriels utilisés pour en modifier les propriétés physiques, mécaniques et parfois chimiques. De tels traitements sont utilisés lors de la fabrication des matériaux. Il implique l'utilisation du chauffage et/ou du refroidissement, normalement à des températures extrêmes, pour obtenir le résultat souhaité, tel que la modification de la friabilité, de la dureté, de la ductilité, de la fragilité, de la plasticité, de l'élasticité ou de la résistance du matériau.

Les traitements thermiques jouent également un rôle important dans le domaine de la tribologie.

III.7. Classification des traitements thermiques

- Traitements dans la masse (amélioration des propriétés de masse) :

- Trempe
- Revenu
- Recuit

Traitements superficiels (amélioration des propriétés superficielles) :

- Durcissement par trempe après chauffage superficiel :
 - Induction électromagnétique
 - Flamme (chalumeau)
 - Laser
- Torche à plasma, hexa-plasma
- Faisceau électronique
- Traitements thermochimiques :
 - Diffusion d'éléments métalliques: chromisation(Cr), aluminisation(Al), chrome aluminisation (Cr et Al), manganisation (Mn), shérardisation(Zn), etc.
 - Diffusion d'éléments non métalliques: cémentation(C), nitruration (N), carbonituration (C et N), nitrocarburation (N et C), sulfonitrocarburation (S, N et C), oxynitrocarburation (O, N et C), boruration (B), noirciment (évite l'oxydation), etc.

III.8. Etapes de réalisation d'un outil :

Notre outil est divisé en deux pièces :

- **Pièce 1** : Q402.03-4-D24-1 (voir le figure 5).

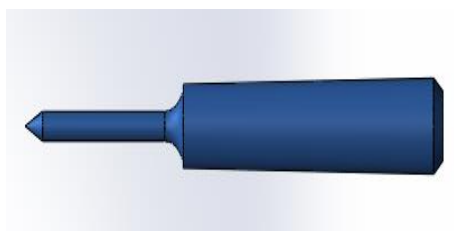


Fig. III 8.pièce 1 (Q402.03-4-D24-1)

- **Pièce 2** : Q402.03-4-D24-2 (voir le figure 6).

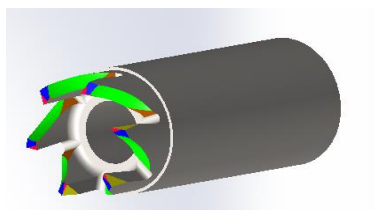
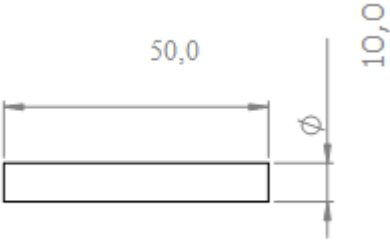
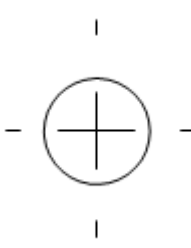


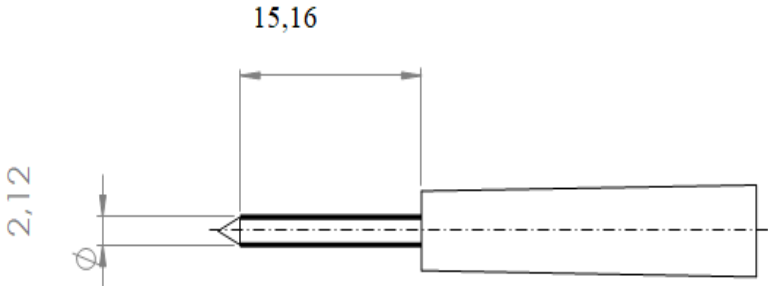
Fig. III .9.pièce 2 (Q402.03-4-D24-2)

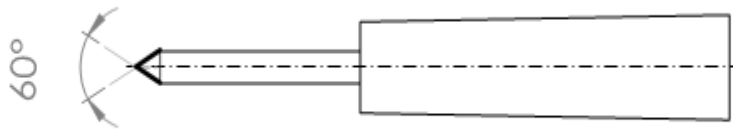
III.9. Gamme d'usinage

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Ensemble :	Nom de la machine: Tour parallèle	Matière : XC45
Elément : Arbre		Brut : cylindre
Machine-outil : Machine à scier ultradiam	Désignation : Débitage	
		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Débitage	Lame scie	Jauge Générale
Désignation de port-pièce	Etau en V	Temps d'usinage : 60s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 1 sur 7

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : XC45
Elément : Arbre	Tour parallèle	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour		Désignation : Tournage
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Dressage : dresser vers 45 mm. 2-Chariotage : charioter vers 7 mm.	1-Outil à dresser 2-Outil à charioter	Pieds à coulisse
Désignation de port-pièce	Mandrin à Trois mors	Temps d'usinage :
		60s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 2 sur 7

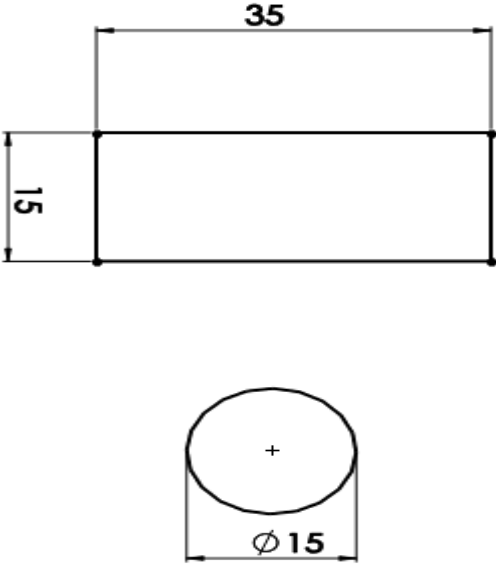
Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : XC45
Elément : Arbre	Tour parallèle	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour	Désignation : Tournage	
		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Centrage : Centrer la pièce dans les deux phases.	Foret à centrer 60	/
Désignation de port-pièce	Mandrin à trois mors	Temps d'usinage :
		60s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 3 sur 7

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : XC45
Elément : Arbre	Tour parallèle.	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour		Désignation : Tournage
 <p>The drawing shows a cylindrical shaft with a chamfered end. The chamfer length is labeled as 2,12. The length of the chamfered section is labeled as 15,16. The shaft is shown in a perspective view with a dashed line indicating the axis.</p>		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Chariotage: charioter la 2eme partie vers $\varnothing 2,12$	Outil sa profiler De rayon 1.5 utilisé pour la finition du profile	Pieds à coulis
Désignation de port-pièce	Mandrin trois mors	Temps d'usinage : 45s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 4 sur 7

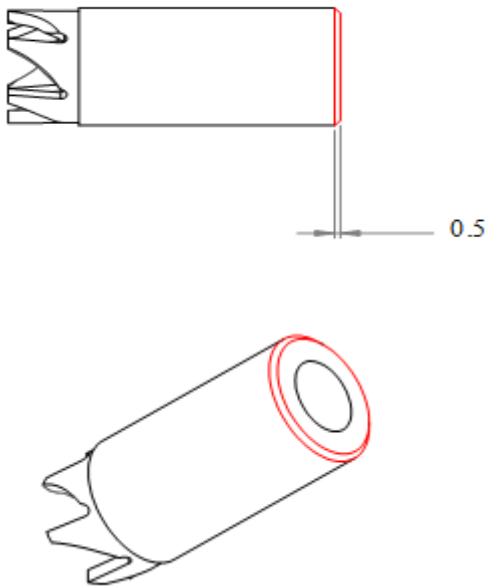
Ensemble :	Nom de la machine : Tour parallèle	Matière : XC45
Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Machine-outil : Tour	Désignation : Tournage	
 <p>A technical drawing of a cutting tool. It shows a cylindrical tool holder on the right, connected to a narrower cylindrical neck, which ends in a pointed cutting edge. A dashed line represents the central axis. An arc with arrows indicates a 60-degree angle at the cutting tip.</p>		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Chanfreinage: utiliser l'outil découpe Pour donner l'angle fini 60°	Outil sa plaquette 30	Jauge Générale
Désignation de port-pièce	Mandrin à trois mors	Temps d'usinage : 120 s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 5 sur 7

Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : XC45
Elément : Arbre	Tour parallèle	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour	Désignation : Tournage	
<p>The drawing shows a shaft with a diameter of 6.05 on the left, a length of 45.00, a diameter of 28.00 in the middle, an angle of 1.9 degrees on the right, and a diameter of 6.98 on the far right.</p>		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Chariotage inclinée : faire le chariotage d'angle de 0.95°	Outil à charioter	Jauge générale
Désignation de port-pièce	Mandrin à trois mors	Temps d'usinage : 90s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 6 sur 7

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 1	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : XC45
Elément : Arbre	Rectifieuse	Brut : cylindre
Machine-outil : Rectifieuse		Désignation : rectification
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Rectification : rectifier la pièce totalement	Cylindre à rectifier	Jauge générale
Désignation de port-pièce	-Etau en V	Temps d'usinage : 60 S
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 7 sur 7

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 2	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Elément : Arbre		Brut : cylindre
Machine-outil : machine à scier ultra diam		Désignation : Débitage
		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Débitage	Lame scie	Jauge générale
Désignation de port-pièce	-Etau en V	Temps d'usinage :
		60 S
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 1 sur 6

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 2	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Elément : Arbre	Tour en parallèle	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour	Désignation : Tournage	
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Dressage: dresser la pièce vers $29\varnothing$ 2-Chariotage: charioter vers $13\varnothing$ 3-Centrage: centrer la pièce	1- Outil adressé 2- Outil charioté 3- Foret	Pieds coulisse
Désignation de port-pièce	Mandrins trois mors	Temps d'usinage : 360 S
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 2 sur 6

Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 2	
Machine-outil : Tour	Désignation : Tournage	
		
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Chanfreinage	Outil de Chanfreinage	Jauge Générale
Désignation de port-pièce	Mandrins trois mors	Temps d'usinage : 90 S
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 3 sur 6

Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Elément : Arbre	Tour parallèle	Brut : cylindre
Machine-outil : Tour		Désignation : Tournage
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-Perçage; percer avec le fore un trou de 6.10 \varnothing 2-Alésage; utiliser l'alésoir conique pour donner un trou de forme cône	1-Foret 2-Alésoir	Jauge Générale
Désignation de port-pièce	Mandrins trois mors	Temps d'usinage : 240 s
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 4 sur 6

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 2	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Elément : Arbre	Fraiseuse horizontale	Brut : cylindre
Machine-outil : Fraiseuse		Désignation : Fraisage
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
Fraisage : fait le fraisage pour donner les dents de l'outil	Fraise à l'Angel 45	Rapporteur d'angle
Désignation de port-pièce	L'axe	Temps d'usinage :
		480 S
Nb des pce <i>ab</i> pour une fois	01	Feuille 5 sur 6

Phase N : 01	Fiche d'opération d'usinage Pièce 2	
Ensemble :	Nom de la machine :	Matière : W18
Elément : Arbre	Rectifieuse	Brut : cylindre
Machine-outil : Rectifieuse	Désignation : Rectification	
Désignation des opérations	Outils	Vérificateurs
1-rectification extérieur: vers $\varnothing 12$ & $\varnothing 11.53$ 2-rectification intérieur: vers $\varnothing 6.05$ & $\varnothing 6.98$ 3-affûter le dépouille: vers $\varnothing 6.72$ 4-affûter l'angle de coupe: vers 22°	Cylindre à rectifier	Jauge Générale
Désignation de port-pièce	Mandrin	Temps d'usinage :
		240 S
Nb des pce fab pour une fois	01	Feuille 6 sur 6

III.10. Les traitements thermiques

❖ Pièce 01

Four de boire de sel:

Etape 01 : Trempe : 820° - 850°

Etape 02 : Revenu : 320° - 180°

Etape 03 : Refroidissement avec l'huile : jusqu'à 50°

Etape 04 : Contrôle de la pièce : HRC : 57

❖ Pièce 02

Etape 01 : Four de boire de sel : T 850° - Nuance 45.

Four de boire de sel : T 1280° - Nuance W18.

Etape 02 : Trempe(1) 850°C : 4-6 min.

Trempe(2) 1280°C : 30-32 s.

Etape 03 : Revenu de nitrate : 560°C-1 h/4 fois.

Etape 04 : Contrôle de la pièce : HRC : 63

III.11. Dessin

III.11.1. Introduction

Il faut savoir que les logiciels de conception et de calcul assistés par ordinateur sont très nombreux sur le marché. Les plus utilisés sont Nastran, Catia, ABAQUS et SolidWorks. Tous ces logiciels effectuent les mêmes tâches, c'est à dire qu'ils génèrent des structures, leurs caractéristiques et leurs comportements (exemple une table avec 8 pieds de différentes longueurs en liège et devant soutenir une charge de 2T en son centre), ensuite ils calculent le devenir de ces structures (déformations, ruptures, plastification...) et enfin ils permettent de traiter ces résultats afin d'en sortir des données utilisables et exploitables. La plupart des entreprises utilisent un assortiment de ces logiciels qui sont plus ou moins performants dans l'une ou l'autre de ces tâches, par exemple, dessiner avec Catia, calculer avec ABAQUS et faire du post traitement avec Nastran.

Dans notre étude, nous nous appuierons sur deux programmes :

- SolidWorks
- Abaqus.

(a) SolidWorks :

Le logiciel SOLIDWORKS est un modeler volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

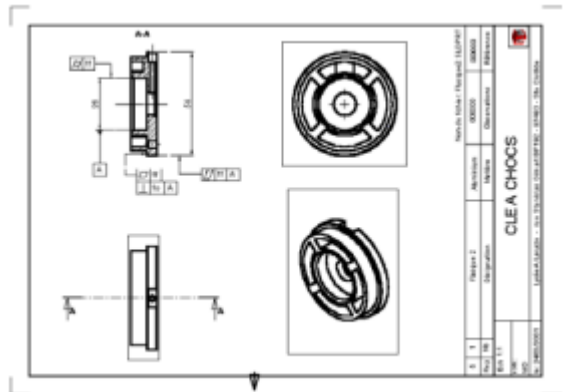
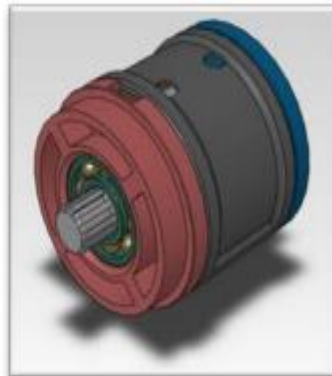
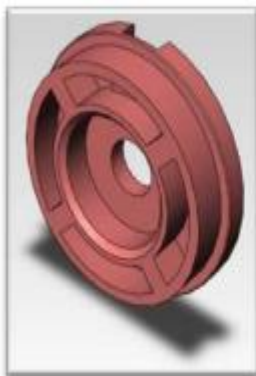


Fig. III.11. Une pièce formé dans le programme.

Fig. III .10. mise en plan dan SW

SOLIDWORKS est un système à cotation piloté. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception.

Un modèle SolidWorks est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des

documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle.

Le logiciel SolidWorks comprend 3 modules élémentaires :

Pièce, Assemblage, Mise en plan.

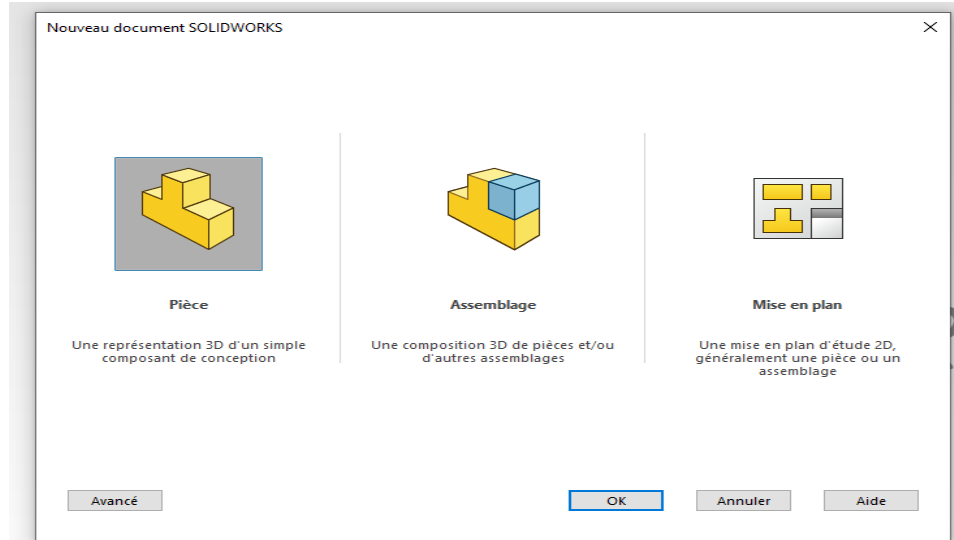


Fig. III .12.les 3 modules

En fonction du type de licence, d'autres compléments peuvent être implémentés. Dans la version SolidWorks Premium sont disponibles les compléments suivants : SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow-Simulation, Photo-View 360, SolidWorks Motion.

Mise en plan

- Longueur totale = 28mm ;
- La partie active = 6 mm ;
- Partie de fixation = 22 mm ;
- Angle de coupe $\Omega = 22^\circ$;
- Angle de dépouille $\alpha = 16^\circ$;
- Angle taillant $\beta = 25^\circ$;

(b) Caractéristiques d'une fraise cylindrique

- Partie active : acier rapide **ARC (W18Cr4v)** ; (15mm) ;
- Partie de guidage : acier au carbone **(XC45)** (45mm) ;
- Module de Young = 21000 ;
- Coefficient de poisson = 0.3 ;

(c) Abaqus :

ABAQUS est avant tout un logiciel de simulation par éléments finis de problèmes très variés en mécanique. Il est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants de problèmes non-linéaires.

ABAQUS est donc un progiciel de calcul éléments finis qui se compose de trois produits : ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit et ABAQUS/CAE.

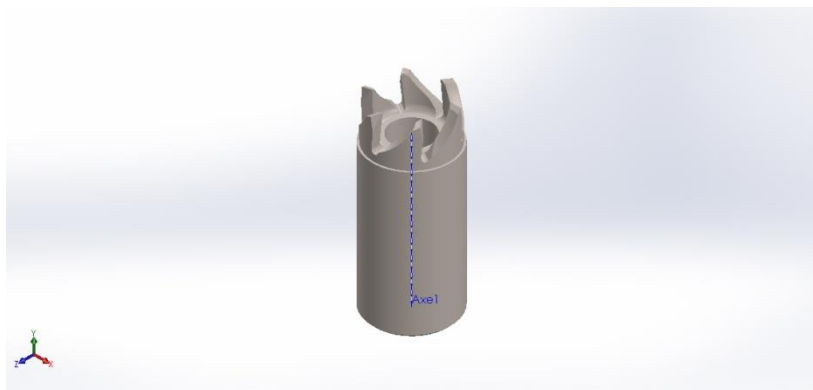
- **ABAQUS/Standard** est un solveur généraliste qui recourt à un schéma traditionnel d'intégration implicite.
- **ABAQUS/Explicit** est un solveur qui emploie un schéma d'intégration explicite pour résoudre des problèmes dynamiques ou quasi-statiques non-linéaires.
- **ABAQUS/CAE** constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour les dits solveurs. Chacun de ces produits est complété par des modules additionnels et/ou optionnels, spécifiques à certaines applications.

ABAQUS est très largement utilisé dans les industries automobiles et aéronautiques. En raison du large spectre de ses capacités d'analyse et de sa bonne ergonomie, il est également très populaire dans les milieux universitaires, pour la recherche et l'éducation. Le cœur du logiciel ABAQUS est donc ce qu'on pourrait appeler son "moteur de calcul". À partir d'un fichier de données (caractérisé par le suffixe .in), qui décrit l'ensemble du problème mécanique, le logiciel analyse les données, effectue les simulations demandées et fournit les résultats dans un fichier .odb.

Deux tâches restent à accomplir : générer le fichier de données (cela s'appelle aussi effectuer le prétraitement), et exploiter les résultats contenus dans le fichier .odb (ou post traitement). La structure du fichier de données peut se révéler rapidement complexe : elle doit contenir toutes les définitions géométriques, les descriptions les maillages, les matériaux, les chargements, etc..., suivant une syntaxe précise. Il faut savoir que le pré traitement et le post traitement peuvent être effectués par d'autres logiciels. ABAQUS propose le module ABAQUS CAE, interface graphique qui permet de gérer l'ensemble des opérations liées à la modélisation :

- La génération du fichier de données,
- Le lancement du calcul proprement dit,
- L'exploitation des résultats.

(d) Rapport de simulation



Simulation de Q402.03-4-D24-2

Date: mardi 24 mai 2022
Concepteur: Solidworks
Nom d'étude: Dynamique 1
Type d'analyse: Analyse dynamique linéaire (Modale en fonction du temps)

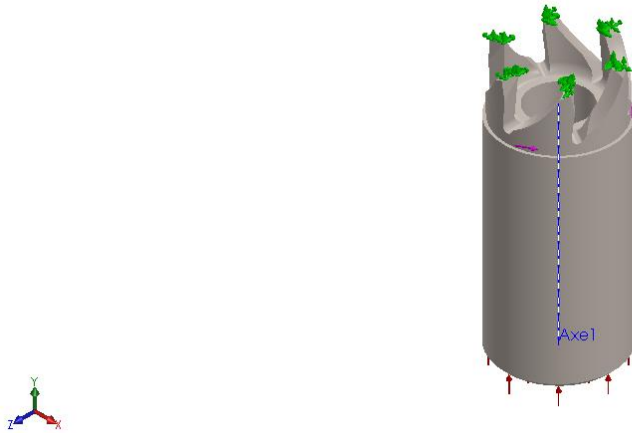
Sommaire

Description.....	94
Informations sur le modèle.....	95
Propriétés de l'étude.....	95
Unités.....	96
Propriétés du matériau.....	96
Actions extérieures.....	97
Informations sur le maillage.....	97
Résultats de l'étude.....	98

Description


Fraise à lamer à pilote interchangeable

Informations sur le modèle



Nom du modèle: Q402.03-4-D24-2
Configuration actuelle: Défaut

Corps volumiques

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Répétition circulaire7 	Corps volumique	Masse:0.03 kg Volume:1.97026e-006 m ³ Masse volumique:7700 kg/m ³	

Propriétés de l'étude


Nom d'étude	Dynamique 1
Type d'analyse	Analyse dynamique linéaire (Modale en fonction du temps)
Type de maillage	Maillage volumique
Nombre de fréquences	15
Type de solveur	FFEPlus
Faible raideur:	Désactivé(e)
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Inclure la pression du fluide calculée par SOLIDWORKS Flow Simulation	Désactivé(e)
Instant de début	0 secondes
Instant de fin	1 secondes

Incrément de temps	0.01 secondes
Effets des chargements permanents	Désactivé(e)
Dossier de résultats	Document SOLIDWORKS

Unités

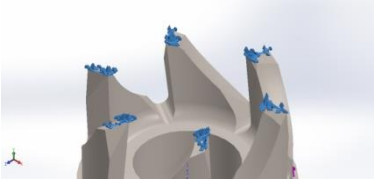
Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

Propriétés du matériau

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom: Acier allié Type de modèle: Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max. Limite d'élasticité: 6.20422e+008 N/m² Limite de traction: 7.23826e+008 N/m² Module d'élasticité: 21000 N/m² Coefficient de Poisson: 0.3 Masse volumique: 7700 kg/m³ Module de cisaillement: 7.9e+010 N/m² Coefficient de dilatation thermique: 1.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Répétition circulaire7) (Q402.03-4-D24-2)</p>

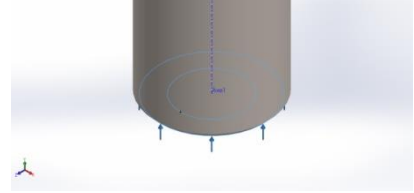
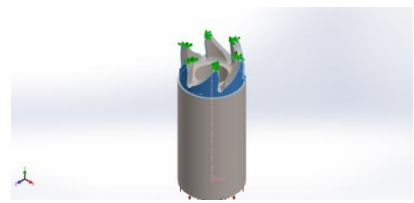
Données de la courbe:N/A

Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		Entités: 6 face(s) Type: Géométrie fixe

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	0.00766129	-13.4552	0.00112228	13.4552
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Pression-1		Entités: 1 face(s) Type: Normal à la face sélectionnée Valeur: 50 Unités: N/m^2 Angle de phase: 0 Unités: deg
Couple-1		Entités: 1 face(s) Référence: Axe1 Type: Moment de torsion Valeur: 250 N.m

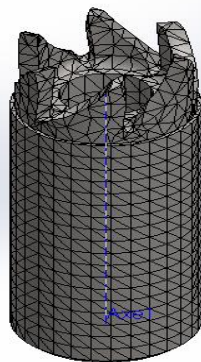
Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.25419 mm
Tolérance	0.0627097 mm
Tracé de qualité du maillage	Haute

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de noeuds	14178
Nombre total d'éléments	8652
Aspect ratio maximum	32.524
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	95.9
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.0578
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:03
Nom de l'ordinateur:	AMIR

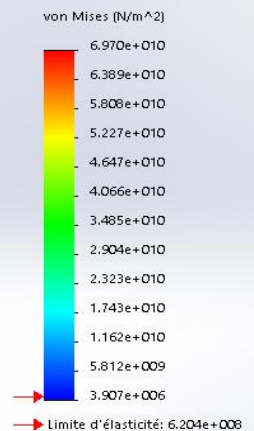
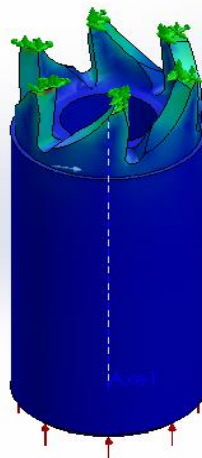
Nom du modèle: Q402.03-4-D24-2
 Nom de l'étude: Dynamique 1(-Défaut-)
 Type de maillage: Maillage volumique



Résultat de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON : contrainte de von Mises au pas de temps n°: 100(1 secondes)	3.907e+006N/m ² Noeud: 11407	6.970e+010N/m ² Noeud: 8164

Nom du modèle: Q402.03-4-D24-2
 Nom de l'étude: Dynamique 1(-Défaut-)
 Type de tracé: Dynamique linéaire Contrainte nodale Contraintes1
 Tracé: 100 temps: 1 secondes



Q402.03-4-D24-2-Dynamique 1-Contraintes-Contraintes1

Participation massique (normalisée)

Mode No	Fréquence(Hertz)	Direction X	Direction Y	Direction Z
1	1.1358	0.82585	8.2279e-009	0.013701
2	1.1385	0.013728	8.802e-009	0.82684
3	2.6077	5.7162e-008	0.11204	6.3783e-009
4	6.2735	0.033856	9.4547e-007	0.11808
5	6.2784	0.11894	1.1439e-006	0.033776
6	7.3124	3.2074e-007	0.87461	9.3114e-009
7	21.932	1.1162e-009	0.0021806	1.0181e-011
8	22.851	0.0022215	6.0896e-009	1.7166e-005
9	22.857	1.8124e-005	2.5623e-011	0.0022083
10	23.729	2.5214e-010	1.0356e-009	1.349e-009
11	23.739	1.6226e-008	1.7116e-009	4.8786e-010
12	25.647	8.4612e-012	2.5443e-008	1.938e-010
13	25.651	2.428e-009	1.5779e-008	2.4814e-010
14	30.489	2.4563e-009	2.2966e-008	2.7763e-009
15	30.496	3.135e-009	3.2805e-010	3.0259e-010
		Somme X = 0.99461	Somme Y = 0.98883	Somme Z = 0.99462

Conclusion générale.

L'objectif principal de ce mémoire est l'étude de phénomène d'enlèvement de la matière et plus exactement pour le cas de fraisage, en utilisant le logiciel de conception SW et la réalisation

On a varié dans la partie théorique les différentes opérations d'usinage mécanique (tournage, fraisage, rectification), et dans la partie pratique on étudiée la conception et réalisation d'un outil de coupe, ce dernier nous en a donné les résultats suivants :

- Une conception bonne et méticuleuse nous donne un outil de coupe de haute précision ;
- La gamme d'usinage est nécessaire pour un travail ordonné et sans erreur ;
- Les traitements thermiques produisent un outil de propriétés mécaniques & physiques élevées ;
- On peut travailler avec une seul fraise plusieurs opérations en changeant le pilote ;
- Avec la simulation nous pouvons étudier l'effet sur l'outil auquel vous êtes exposé pendant le travail ;

Bibliographie

- (1) Éric Felder, Procédés d'usinage.
- (2) A. Passeron, Techniques d'ingénieur, tournage.
- (3) S. Hwan Suh, S. Kyoong Kang, Dae-Hyuk Chung, Theory and design of CNC Systems.
- (4) SolidWorks Education, Conception mécanique et technologie.
- (5) Hellden, U., 1987. An assessment of woody biomass, community forests, land use and soil erosion in Ethiopia. Lund Studies in Geography, Ser C General, Mathematical and Regional Geography No. 14, Lund University Press, Lund, 75 pp.
- (6) Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of crust stability and erodibility: 1. theory and methodology. European Journal of Soil Science, 47, 425–437.
- (7) Coupe des métaux, Pierozak-Jean Pierre. Edition OPU Alger 1988.
- (8) Technologie, A Castel et A. Dupont. Edition Desforges Paris.
- (9) Fabrication Mécanique, Tome I, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris.
- (10) Malau C. CFAO et cérame-céramiques usinables, mise en oeuvre clinique. 2016;96.
- (11) <https://di.univblida.dz/jspui/bitstream/123456789/11142/1/project2020%20corrig%C3%A9%20final2255.pdf4>
- (12) Sandvik-Coromant, «Fraisage », Technique de l'Ingénieur, Traité Génie Mécanique, BM 7 082, 1997