

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et Productique

Présenté par :

DJABALLAH Fatima El Zahraa

Thème

INFLUENCE DES MODES DE FRAISAGE SUR LA QUALITE DES SURFACES

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
SALAMANI Mohamed	PROFESSEUR	Président
DAOUDARI Ameer	MAA	Encadreur
ARSLANE MUSTAPHA	MCB	Examinateur

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM/...../2024

إهداء

من قال أنا لها نالها

لم تكن الرحلة قصيرة و لا ينبغي لها أن تكون

لم يكن الحلم قريبا و لا الطريق كان محفوا بالتسهيلات،

لكني فعلتها و نلتها.

الحمد لله حبا و شكرا و امتنانا الذي بفضلها أنا اليوم انظر إلى حلم طال
انتظاره و قد أصبح واقعا افتخر به.

إلى ملاكي الطاهر و قوتي بعد الله داعمتي الأولى و الأبدية أمي أهديك هذا
الإنجاز الذي لولا تضحياتك لما كان له وجود ممتنة لان الله قد اصطفاك لي من
البشر أما يا خير سند و عوض.

إلى روح أبي الطاهرة إلى الذي عشت في خيرته و هو حي و لم ينقطع عني
خيرته و هو عند ربه.

إلى من دعمني بلا حدود زوجي.

إلى من قيل فيهم 'سنشد عضدك بأخيك'

و آمن بقدراتي و وقفن خلفي كظلي أخواتي ماريا ، سلمى ، بشرى ، آلاء.

إلى من مد يده دون كلل أو ملل وقت ضعفي أخي الحسن أدامك الله ضلعا ثابتا
لي.

Remerciement

Je tiens c'est avec grand plaisir je dédie ce modeste travail d'un profond amour :

En premier lieu je remercie le bon dieu pour tout puissant pour la santé, la force, la santé , la patience, la volonté qu'il ma accordé durant toutes ces années d'études , ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés permis de mener à bien ce travail .

En suit j'adresse mes profond remerciement a mon encadreur Mr.DAOUARI AMEUR Professeur a l'université de M'sila pour ca guidance et ses précieux conseille tout ou longe de mon parcoure sa patience , son professionnalisme et son disponibilité ont été d'une aide précieuse dans la réalisation de mes mission et dans mon développement personnel .

Je tiens a remercie chaleurs ment tout mes profs qui m'ont enseigné durant touts ces années d'étude.

Ainsi que tous les ingénieurs de Société Algérienne des industrie Electric gazier (MEI), l'unité de contrôle de qualité exactement Mr.NOUIOUA et Mr.Sadoune.

Un grand remercie a toutes les personne qui ont participe et m'ont aide de près ou de loin dons ce mémoire exactement CLUB SPORTIF AMATEUR SIDI THAMEUR .

A chaque âme qui a partager secrètement ses prière avec moi

Sommaire

Sommaire.....	
Table des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des symboles.....	
Introduction générale.....	02

Chapitre I : Procédés de fabrication par enlèvement de matière

Introduction.....	05
I.1. Principe.....	11
I.2. Production par enlèvement de matière.....	12
I.2.1. Le tournage.....	12
I.2.1.1. Définition du procédé.....	12
I.2.1.2. Mouvements de tournage.....	12
I.2.1.3. Outils de tournage.....	14
I.2.1.4. Les principales opérations de tournage.....	15
I.2.2. Le fraisage.....	17
I.2.2.1. Définition du procédé.....	17
I.2.2.2. Mouvement de fraisage.....	17
I.2.2.3. Outils de fraisage.....	18
I.2.2.4. Les principales opérations de fraisage.....	21
I.2.3. Perçage et alésage.....	22
I.2.3.1. Description générale du perçage.....	23
I.2.3.2. Etude des outils de perçage.....	24

I.2.3.3. Travaux courants de perçage.....	25
I.2.3.4. Description générale de l'opération d'alésage.....	26
I.2.3.5. Outils d'alésage.....	26
I.2.4. Rabotage et brochage.....	31
I.2.4.1. Définition du rabotage.....	31
I.2.4.2. Outils de rabotage.....	32
I.2.4.3. Travaux de rabotage.....	32
I.2.4.4. Définition du brochage.....	33
I.2.4.5. Machine de brochage.....	33
I.2.5. Rectification, rodage et super finition.....	34
I.2.5.1. La rectification.....	34
I.2.5.2. Procédés de rectification.....	35
I.2.5.3. Les principales opérations de rectification.....	35
I.2.5.4. Le rodage.....	37
I.2.5.5. La super finition.....	39
Conclusion.....	41

Chapitre II : Généralité sur le fraisage

Introduction.....	43
II.1. Définition.....	43
II.1.2. Mouvements relatifs entre l'outil et la pièce.....	44
II.1.3. L'outil-fraise.....	45
II.1.4. Aciers et alliages constitutifs des fraises.....	51
II.1.5. Les principaux éléments géométriques de la fraise.....	52
II.2. Vitesse de coupe et vitesse d'avance.....	53
II.2.1. Vitesse de coupe.....	53
II.2.2. Choix des vitesses de coupe en fraisage.....	55
II.2.3. L'avance.....	56

II.3. Les machines à fraiser.....	57
II.3.1. Définition.....	57
II.3.2. Différent types de machines à fraiser.....	59
II.3.3. Chaines cinématiques des fraiseuses.....	64
II.3.4. Gammes de vitesses et d'avances des machines à fraiser.....	65
II.3.5. Graissage et lubrification.....	65
II.3.6. Modes de fixation des pièces.....	70
II.4. Les deux modes de fraisage.....	71
II.4.1. Les deux types de fraisage.....	72
II.4.2. Les deux modes de travail.....	74
II.5. Opération de coupe.....	76
II.5.1. Surfaçage.....	76
II.5.2. Rainurage.....	77
II.5.3. Epaulement.....	79
II.5.4. Perçage et alésage.....	79
II.5.5. Sciage- profilage.....	81
Conclusion.....	84

Chapitre : Etat de surface en usinage

Introduction.....	86
III.1. Etat de surface.....	86
III.1.1. Généralité sur les états de surface.....	86
III.1.2. Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface.....	86
III.1.3. Les différents défauts surfaciques.....	87
III.1.3.1. Prise en compte des défauts du 1 ^{er} et 2 ^{ème} ordre.....	88
III.1.3.2. Prise en compte des défauts du 3 ^{ème} et 4 ^{ème} ordre.....	89
III.1.3.3. Défauts de position des surfaces entre-elle.....	90

III.2. La rugosité.....	93
III.2.1. Critères de rugosité.....	93
III.2.2. Mesure de la rugosité.....	96
III.2.2.1. Appareils à palpeur.....	98
III.2.2.2. Le rugosimètre.....	98
III.2.2.2.1. Le rugosimètre avec patin.....	99
III.2.2.2.2. Le rugosimètre sans patin.....	100
III.2.2.2.3. Mesure tridimensionnelle.....	100
III.2.2.2.4. Profilomètre laser.....	102
III.2.2.2.5. Méthodes de mesure interférométrique.....	103
III.2.2.3. Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique.....	104
Conclusion.....	105

Chapitre IV : Partie expérimentale

Introduction.....	107
IV.1. Présentation du mode de travail.....	107
IV.2. Moyens utilisés.....	107
IV.2.1. Machine-outil.....	107
IV.2.2. Matériau utilisé pour les essais de fraisage.....	108
IV.2.3. Outil de coupe.....	108
IV.3. Identification de l'expérience.....	109
IV.4. Mode opératoire.....	111
IV.5. Résultats et discussion.....	114
IV.5.1. Résultats.....	115
IV.5.2. Discussion.....	115
Conclusion générale.....	118

TABLE DES FIGURES

Chapitre I : Procédés de fabrication par enlèvement de matière

Figure I.1 Diagramme résumé les différents procédés de mise en forme d'une pièce.....	5
Figure I.2 Les procédés d'usinage.....	6
Figure I.3 Schéma des éléments dans l'action d'usinage.....	7
Figure I.4 Outil de forme.....	8
Figure I.5 Outil d'enveloppe.....	9
Figure I.6 Les mouvements en tournage.....	14
Figure I.7 Les outils de tournage.....	15
Figure I.8 Des outils de forme, des outils rotatifs.....	15.
Figure I.9 Les diverses opérations d'usinage.....	16
Figure I.10 Les mouvements de coupe.....	18
Figure I.11 Les outils de fraisage.....	19
Figure I.12 Fraise en deux parties.....	20
Figure I.13 Les deux modes de travaille en fraisage.....	21
Figure I.14 Les diverses opérations d'usinage sur le fraisage.....	21
Figure I.15 Les forets de gros diamètres.....	23
Figure I.16 Les forets de petits diamètres.....	23
Figure I.17 Usinage du trou selon un mouvement hélicoïdal.....	23
Figure I.18 Foret à centrer normale.....	24
Figure I.19 Les formes du foret.....	25
Figure I.20 Les forets-alésoir.....	27
Figure I.21 Alésoir cylindrique ou conique.....	27

Figure I.22 Alésoir creux et plein.....	28
Figure I.23 Alésoir à queue cylindrique ou conique.....	28
Figure I.24 Alésoir expansible en bout.....	29
Figure I.25 La tête à réglage micromètre.....	30
Figure I.26 La tête universelle.....	30
Figure I.27 La barre d'alésage et la barre porte grain.....	31
Figure I.28 Opération de rabotage.....	32
Figure I.29 Machine à brocher horizontale.....	33
Figure I.30 Machine à brocher verticale.....	34
Figure I.31 Rectification cylindrique intérieure.....	35
Figure I.32 Les opérations de rectification.....	36
Figure I.33 Rodage des surfaces cylindriques intérieure.....	38
Figure I.34 Rodage des surfaces plane.....	39
Figure I.35 La super finition.....	44

Chapitre II : Généralité sur fraisage

Figure II.1 Les mouvements relatifs.....	44
Figure II.2 Angles de coupes caractéristiques.....	45
Figure II.3 Types de dents.....	46
Figure II.4 Types de fraises à denture fraisée.....	50
Figure II.5 Types de fraises à lames ou plaquette rapportées	51
Figure II.6 Fraises à profil constant.....	51
Figure II.7 Fraiseuse universelle.....	58
Figure II.8 Schéma d'une fraiseuse.....	59
Figure II.9 Fraiseuse horizontale.....	59
Figure II.10 Fraiseuse horizontale universelle.....	60
Figure II.11 Fraiseuse universelle (huré).....	62

Figure II.12 Fraiseuse verticale.....	62
Figure II.13 Le graissage d'une fraiseuse.....	67
Figure II.14 Le schéma d'une installation simple de lubrification pour une fraiseuse horizontale.....	70
Figure II.15 Mode de fixation des pièces.....	71
Figure II.16 Fraisage en bout.....	73
Figure II.17 Des traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce.....	73
Figure II.18 Fraisage de profil.....	74
Figure II.19 Des traces laissé par les dents de la fraise sur la pièce...	74
Figure II.20 Le fraisage combine.....	75
Figure II.21 Fraisage en concordance.....	75
Figure II.22 Fraisage en opposition.....	76
Figure II.23 Opération d'une surfaçage.....	78
Figure II.24 Opération de rainurage.....	79
Figure II.25 Epaulement.....	80
Figure II.26 Les opérations de perçage et alésage.....	81
Figure II.27 Le sciage.....	82
Figure II.28 Denture de fraise-scies.....	83
Figure II.29 Opération de profilage.....	84

Chapitre III : Etat de surface sur l'usinage

Figure III.1 Facteur intervenant sur l'obtention de l'état de surface.....	87
Figure III.2 Défauts macro géométriques et micro géométriques.....	88
Figure III.3 Paramètre de rugosité.....	90
Figure III.4 Caractéristique du profil.....	94
Figure III.5 Les différents critères de la rugosité.....	96

Figure III.6 Présentations schématiques d'un appareil à palpeur.....	98
Figure III.7 Rugosimètre avec patin	99
Figure III.8 Rugosimètre sans patin.....	100
Figure III.9 Appareille de mesure tridimensionnelle.....	102
Figure III.10 Profilomètre laser.....	103
Figure III.11 Principe de mesure interférométrique.....	103

Chapitre : Partie expérimentale

Figure IV.1 La fraiseuse universelle.....	108
Figure IV.2 Fraise à surface à plaquettes C.M.....	109
Figure IV.3 Pièce en acier non allié.....	110
Figure IV.4 Pièce en acier faiblement allié.....	110
Figure IV.5 Pièce en aluminium.....	111
Figure IV.6 Les pièces avant l'usinage.....	113
Figure IV.7 Rugosimètre.....	113
Figure IV.8 Mesure des pièces.....	113
Figure IV.9 Fraisage en opposition.....	115
Figure IV.10 Fraisage en concordance.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : procédés de fabrication par enlèvement de matière

Tableau I.1 Les nombres d'opérations.....	10
Tableau I.2 Les opération de tournage.....	17
Tableau I.3 Les opérations de fraisage.....	22
Tableau I.4 Les opérations de rectification.....	37

Chapitre II : Généralité sur le fraisage

Tableau II.1 Vitesse de coupe.....	55
Tableau II.2 Avance par dents.....	57

Chapitre III : Etat de surface en usinage

Tableau III.1 Symboles de forme.....	88
Tableau III.2 Tolérances d'orientation.....	90
Tableau III.3 Tolérances de position.....	91
Tableau III.4 Tolérances de battements.....	92
Tableau III.5 Les valeurs de L en fonction Rp.....	93

Chapitre IV : Partie expérimentale

Tableau IV.1 Conditions de coupe.....	110
Tableau IV.2 Les résultats de la rugosité.....	114

Introduction générale

Il est évident de dire que la fabrication mécanique ou la productique s'intéresse à la réalisation de pièces mécaniques qui entrent dans la production des sous ensembles formant les produits complets ou mécanismes industriels. Cette production fait appel à plusieurs procédés et techniques mettant en œuvre une diversité de composants et paramètres qui ne cessent d'être engagés dans les différentes recherches de leur développement.

Actuellement, l'usinage par enlèvement de copeaux reste encore le procédé le plus répandu, malgré l'apparition de techniques nouvelles telles que le laser, l'électroérosion ou le jet d'eau. Pour la réalisation des surfaces des pièces il existe plusieurs procédés d'usinage, ainsi qu'un nombre important d'opérations de finition.

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

Le fraisage, est l'un des procédés les plus souvent utilisée dans l'obtention des pièces mécaniques. En effet, c'est un procédé qui est caractérisé par la flexibilité, la simplicité des opérations et de la gamme d'usinage. L'efficacité et la qualité de ce processus dépendent fortement des modes de travail utilisé, en effet cette thèse va se focaliser spécifiquement sur l'étude de l'influence des modes de fraisage sur l'état de surface (la rugosité).

L'état de surface, qui est le souci primordial et de toute actualité, est connu comme l'ensemble des écarts géométrique de la surface d'une pièce par rapport à sa spécification idéale, de ce fait, les défauts de surface jouent un rôle important dans l'aptitude d'une pièces mécanique à remplir une fonction donnée, ces défauts sont divisés en défauts macrogéométriques qui englobent les écart de forme et l'ondulation, et les défauts microgéométrique sont quantifiés par l'arrachement et la rugosité.

De ce fait, la structure superficielle lors de l'usinage classique des métaux par enlèvement de matière est déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la surface usinée.

Notre recherche a été couronnée par une partie expérimentale, mettant en œuvre un ensemble d'outillages classiques et standards le plus souvent utilisés, qu'on applique sur un groupe de pièces soigneusement choisis. L'objectif de notre travail pratique est de présenter et de montrer les différentes étapes qui ont conduit à l'usinage de nos pièces, ainsi que la mise en évidence de l'effet des modes de fraisage sur l'état de surface.

CHAPITRE I

PROCEDES DE FABRICATION PAR ENLEVEMENT DE MATIERE

Introduction

Dans un atelier de production, deux principaux types d'activités peuvent être distinguées, à savoir : les activités d'assemblage des pièces composants des produits manufacturés existants sur marché ; et les activités de mise en forme de la matière qui consistent à obtenir des pièces.

Le façonnage de ces pièces, qui connaît toujours une large utilisation, peut se faire de deux façons.

- ❖ Mise en forme par enlèvement de matière : c'est le domaine de l'usinage dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût des fabrications et améliorer la qualité du travail réalisé.
- ❖ Mise en forme sans enlèvement de matière : c'est le domaine du façonnage par déformation plastique à savoir le formage à chaud ou à froid, de la fonderie, du frittage, etc.

Les deux solutions de mise en forme se complètent ; très souvent l'usinage permet de parachever une pièce brute par fonderie ou par formage, le diagramme de la figure. I.1 résume les différents procédés de mise en forme d'une pièce mécanique en fonction de l'état de la matière. [1]

L'obtention des formes requises d'une pièce par enlèvement de matière est encore à ce jour le procédé de fabrication le plus répandu malgré les progrès réalisés par les procédés de mise en forme des matériaux (formage, fonderie...). L'usinage est très couramment utilisé

dans l'industrie, car il est capable d'enlever des volumes de matière très importants en un temps relativement court, il permet donc d'obtenir des pièces de formes complexes avec un coût raisonnable et ce pour différents matériaux. L'usinage (tournage, fraisage, perçage...) est le processus de formage des métaux les plus répandus dans l'industrie de mécanique. L'objectif final de la fabrication est de créer des produits rapidement, économiquement et avec une haute qualité. Grand nombre de procédés de coupe sont disponibles, mais on se concentre dans ce chapitre sur l'usinage par enlèvement de matière à l'aide des procédés offrant un grand débit de matière comme le tournage, le fraisage et le perçage. Dans ce chapitre une étude bibliographique sur les différents types de procédés d'usinage par enlèvement de matière.[1]

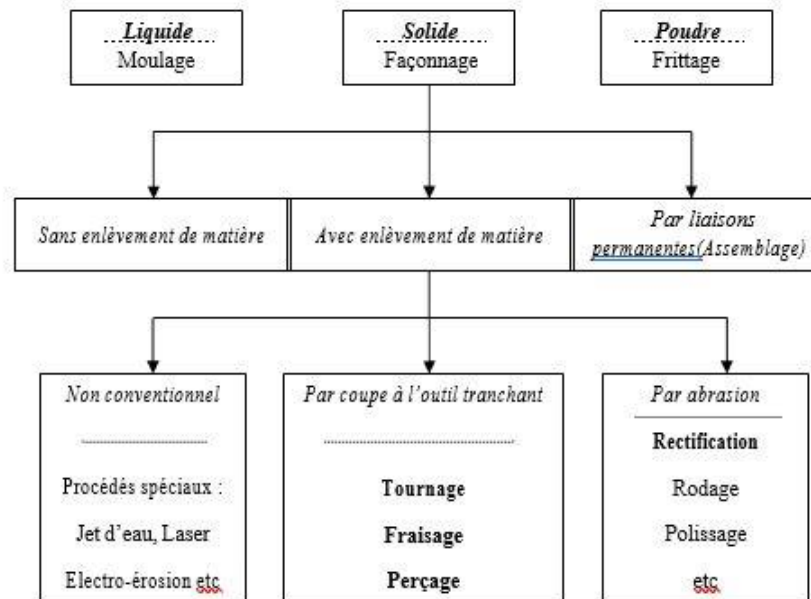


Figure. I.1 : Diagramme résumé les différents procédés de mise en forme d'une pièce [1]

I.1.Principe

Le terme usinage, synonyme du mot enlèvement de matière ou enlèvement de copeaux, désigne tous les moyens mis en œuvre pour obtenir une pièce ayant des côtes et des tolérances fixées à l'avance, à partir d'une pièce brute venue de la forge ou de fonderie. L'usinage d'une pièce mécanique met en œuvre un seul ou un ensemble de procédé(s), à savoir : le tournage, le fraisage, le perçage ou/et les procédés d'usinage par abrasion (tel que la rectification, le rodage, le polissage, la superfinish etc.).



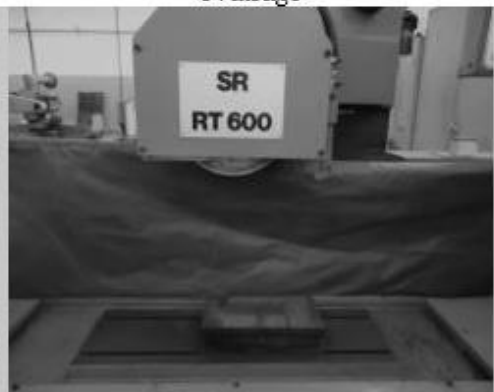
Tournage



Fraisage



Perçage



Un des procédés d'usinage par abrasion : la rectification

Figure. I.2: Les procédés d'usinage [2]

Il consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de matière à froid et sans déformation plastique.

La quantité de matière enlevée est dite copeaux et le dispositif avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines-outils pour assurer l'usinage d'une pièce. D'où les éléments intervenant dans l'action d'usinage sont essentiellement (figure. I.2) :

- la pièce à usiner,
- un appareillage destiné à supporter la pièce nommé porte pièce,
- un outil destiné à produire le copeau,
- un appareillage destiné à supporter l'outil nommé porte outil,
- une machine-outil qui assure les différents mouvements nécessaires à l'usinage.

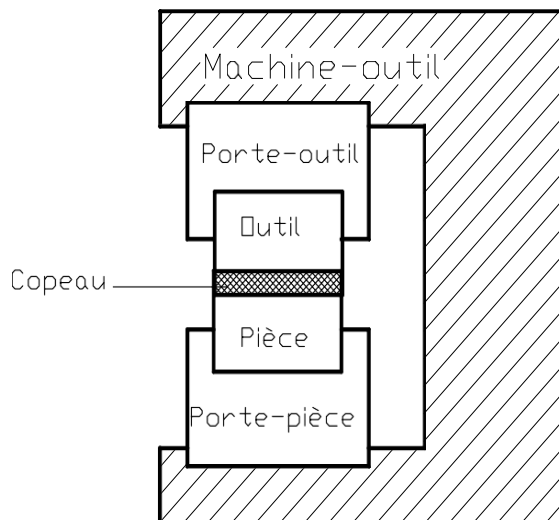


Figure. I.3 : Schéma des éléments dans l'action d'usinage [2]

Le schéma de la (figure. 1.3) est généralement applicable pour tous les procédés d'usinage déjà décrits, à savoir : le tournage, le fraisage, le perçage et les procédés d'usinage par abrasion. Les machines employées dans les ateliers d'usinage comprennent :

- Les tours établis avec un encombrement et des configurations variables selon les formes, les grandeurs et les cadences de production des pièces qu'ils en sont destinés à produire,
- Les fraiseuses qui offrent plus de flexibilité par rapports aux tours en termes de création des formes plus complexes sur les pièces à usiner,
- Les perceuses employées pour générer les emplacements des vis ou des rivets dans les pièces,
- Les aléseuses destinées à l'alésage des cylindres des machines à vapeur, des corps de pompes, etc.,
- Les rectifieuses qui favorisent l'obtention d'un état de surface beaucoup meilleure que les machines déjà décrites (tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses),
- Les raboteuses assurant le dressage des pièces telles que les bâtis des machines, les plaques de fondation, etc.

Quel que soit la machine adoptée pour l'usinage, la procédure de travail est la même. Cette dernière ne dépend que de la fonctionnalité de la pièce dans le mécanisme où elle en doit être montée. En effet :

- si cette dernière est une pièce de rechange (pièce unitaire) et le service de maintenance doit usiner une similaire pour faire fonctionner la machine défectueuse.

- si le client communique à la société une série de pièces à usiner.

L'usinage consiste à enlever la matière de façon à donner à la pièce brute la forme voulue en produisant des surfaces planes, cylindriques, coniques et/ou spéciales. La génération de ces surfaces peut être obtenue :

- **Par un travail de forme** : Pour ce type de travail, l'outil épouse sa forme à la pièce. Il est nommé outil de forme : c'est la géométrie de son arête tranchante qui détermine le profil de la surface obtenue. La génératrice correspond à l'arête tranchante de l'outil (figure. I.4).

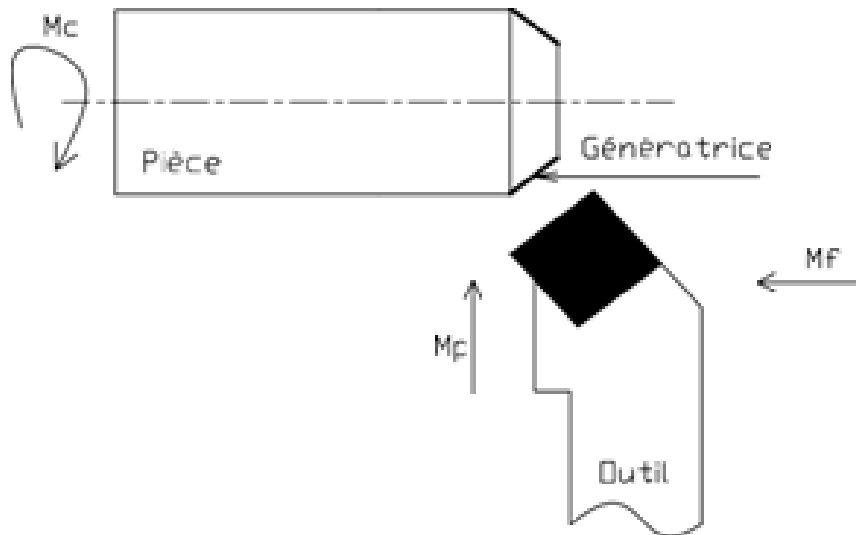


Figure. I.4 : Outil de forme [2]

- **Par un travail d'enveloppe** : Au cours de ce travail, nommé encore travail par génération, la génératrice correspond à l'ensemble des positions successives du point générateur de l'outil et ce dernier est nommé outil d'enveloppe. (Figure. I.5)

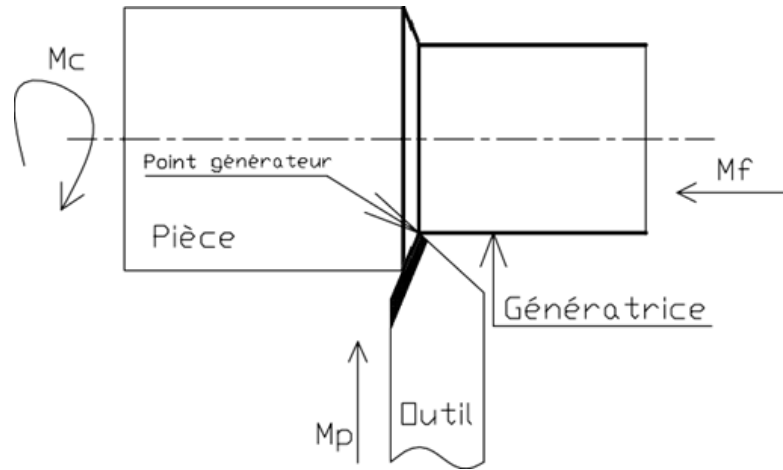


Figure.I.5 : Outil d'enveloppe [2]

Les deux méthodes (travail de forme et travail d'enveloppe) peuvent s'exécuter en : une, deux ou trois passes pour avoir la forme finale de la surface requise à savoir[2] :

L'ébauche : elle permet d'enlever un maximum de matière en un minimum de temps. Durant ce type de travail, l'outil devra résister à des efforts de coupe importants : il est donc massif.

La demi-finition : elle permet d'avoir une bonne approche de la surface finale, d'assurer la régularité du copeau de finition et la précision géométrique de position.

La finition : Elle doit être précédée d'une ébauche et d'une demi-finition. On en cherche le plus souvent une bonne qualité de surface : dimensions, forme et rugosité dans les tolérances permises par le dessin

de définition. Les efforts sont plus faibles que pour une ébauche, l'outil est donc plus fin.

Remarque :

Selon l'intervalle de tolérance IT de la cote inscrite dans le dessin de définition, la qualité ou la rugosité de la surface à usiner, le nombre des opérations peut varier de l'unité au nombre quatre comme indiqué dans le tableau suivant :

<i>Nombre d'opérations/conainte</i>	1	2	3	4
Qualité \geq 12	x			
Qualité9-10-11		x		
Qualité7-8			X	
Qualité \leq 6				x
Ra \geq 3,2	x			
1,6 \leq Ra<3,2		x		
0,8<Ra<1,6			X	
Ra \leq 0,8				x
IT>0,4	x			
0,15 \leq IT<0,4		x		
0,02 \leq IT<0,15			X	
IT \leq 0,02				x

Tableau. I.1 : les nombres d'opération

En effet:

- o Si le nombre des opérations est égal à l'unité, le fabricant exécute une finition directe.
- o Si le nombre d'opérations demandé est de deux, l'opérateur fait une ébauche et une finition

- o S'il est égal à trois, il réalise une ébauche, une demi-finition et une finition.
- o S'il est égal à quatre, il effectue les trois opérations : ébauche, demi-finition et finition et ajoute un des procédés d'usinage par abrasion tel que la rectification.

I.2. Production par enlèvement de matière

Il existe différentes techniques d'usinage, parmi lesquelles on peut citer :

I.2.1. Le Tournage

I.2.1.1. Définition du procédé :

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière qui permet la mise en forme des pièces de révolution sur des machines-outils appelées « Tours ».

I.2.1.2. Mouvements de tournage : (Fig.I.6)

En tournage, la combinaison de trois mouvements est nécessaire pour produire, au moyen d'un outil de coupe, les différents types de surfaces des pièces mécaniques :

- Mouvement de coupe (**Mc**)

La rotation de la pièce est le mouvement de coupe. Ce dernier est, généralement, celui le plus rapide parmi les autres, il est exprimé par la vitesse de coupe.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \text{ (m/min)}$$

Où :

d est le diamètre de la pièce en mm

N est la fréquence de rotation de la pièce en tr/min

- Mouvement d'avance (**Ma**) :

Le déplacement lent de l'outil dans le sens longitudinal, transversal ou oblique par rapport à l'axe de la broche est appelé mouvement d'avance a (mm / tr).

- Mouvement de pénétration (**Mp**) :

C'est le déplacement de l'outil dans une direction généralement perpendiculaire au mouvement d'avance et permet de régler la position de l'outil en profondeur avant chaque nouvelle passe P (mm). [3]

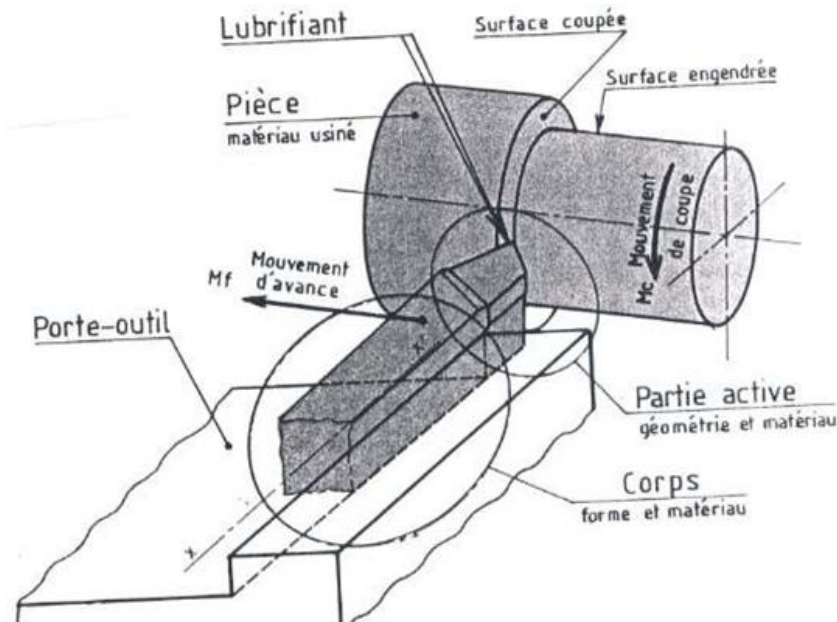


Figure.I.6 : Les mouvements en tournage [3]

I.2.1.3. Outils de tournage :

Les outils de tournage sont des barreaux prismatiques qui se terminent par une partie active (arête vive ou arête tranchante). Cette dernière permet la rupture d'une portion de métal appelée (copeau).

Pour que l'arête tranchante d'un outil de coupe reste vive le plus longtemps possible, la matière qui constitue la partie active doit être plus dure que la pièce à usiner. Le corps de l'outil doit résister aux contraintes de flexion et de torsion, sa résilience doit être suffisante pour supporter les vibrations brusques dues aux efforts de coupe. D'où l'idée de fabriquer un outil en deux parties : une partie active en matériau dur et une partie passive sur laquelle est rapportée la partie active par brasage ou par fixation mécanique des plaquettes (Fig.I.7).

Pour réaliser une surface de profil déterminé, les outils de tournage (Fig.I.8) peuvent être à corps prismatique (non rotatif), des outils de forme ou des outils rotatifs. Ces outils travaillent selon deux modes :

- Travaille avec des outils d'enveloppe : Dans ce mode de travail, le mouvement d'avance et le mouvement de coupe sont combinés afin

de produire une trajectoire de la pointe del'outil correspondant au profil souhaité. Ces outils peuvent être d'extérieur ou d'intérieur.

- Travaille avec des outils de forme : Dans ce mode de travail, l'arête tranchante de l'outil présente le même profil que celui de la surface à réaliser. Ces outils sont appelés « à profil constant » et peuvent être d'extérieur ou d'intérieur.

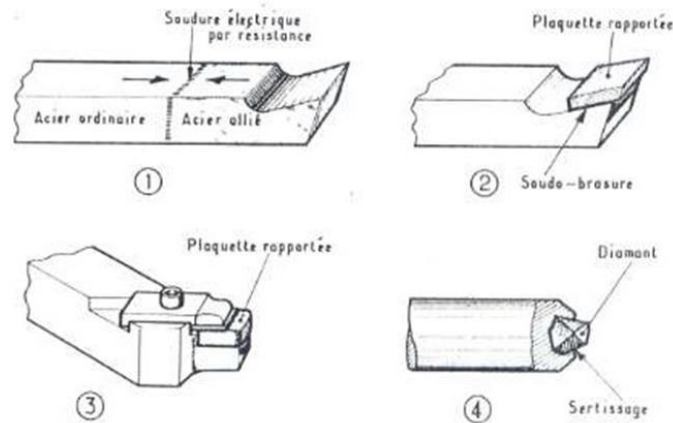


Figure. I.7 : Les outils de tournage [3]

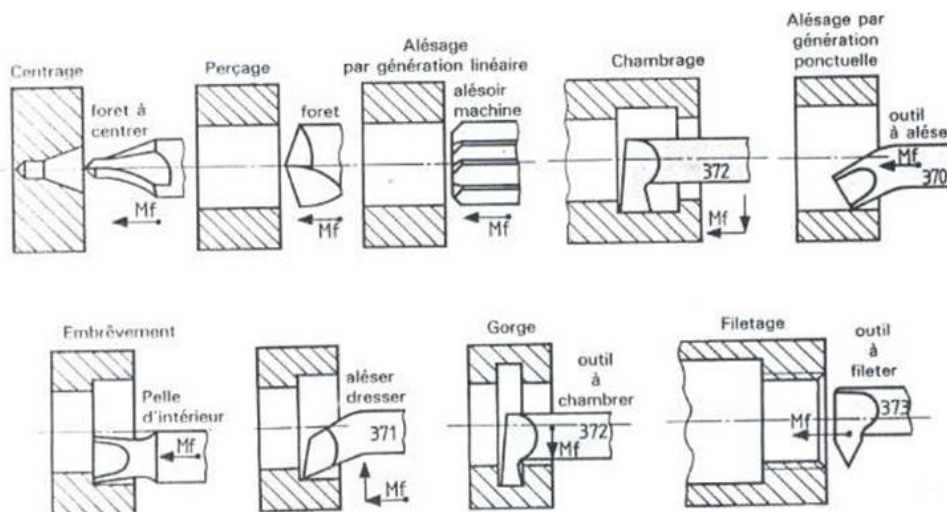


Figure. I.8 : Des outils de forme, des outils rotatifs [3]

I. 2.1.4. Les principales opérations de tournage :

En tournage les outils ne comportent qu'une seule arête tranchante dont l'engagement dans la matière provoque la coupe de celle-ci. Le déplacement de l'outil se fait en une ou deux directions principales de

travail, selon l'angle de direction de l'arrête de coupe K_r . Si cet angle est droit, un seul déplacement sera possible, quand il a des valeurs inférieures à cette valeur on peut l'utiliser pour travailler dans les deux sens, longitudinal et transversal, des déplacements permis sur la machine.

Le mouvement de coupe M_c est réalisé par la pièce qui est serrée dans un porte-pièce appelé mandrin. Il est possible de réaliser des opérations de tournage extérieur et intérieur.

Sur la figure suivante sont reproduites les diverses opérations d'usinage pouvant être mises en place sur les machines-outils de type tours.

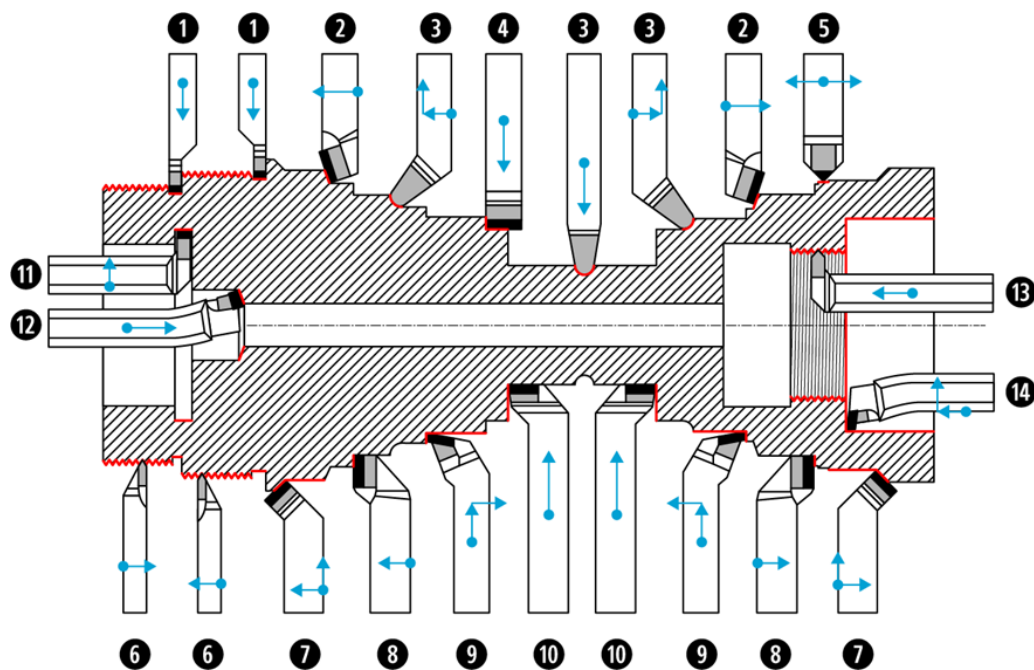


Figure.I.9 : Les diverses opérations d'usinage [2] [20]

No. outil	Désignation outil
1	Outil à saigner
2	Outil à charioter droit
3	Outil à retoucher
4	Outil pelle
5	Outil à retoucher
6	Outil à fileter (extérieur)
7	Outil à charioter coudé
8	Outil couteau

9	Outil à dresser d'angle
10	Outil à dresser les faces
11	Outil à chambrer
12	Outil à aléser
13	Outil à fileter(intérieur)
14	Outil à aléser et dresser

Tableau. I.2 : les opérations en tournage

I.2.2. Le Fraisage

I.2.2.1. Définition du procédé :

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière qui permet de réaliser des surfaces planes sur des pièces, généralement, prismatiques sur des machines-outils appelées « Fraiseuses ». Grâce à l'emploi des montages et appareils spéciaux tels que les diviseurs, il est possible de réaliser des usinages très particuliers. Par exemple le taillage des roues dentées, le fraisage hélicoïdal etc.

I.2.2.2. Mouvements de fraisage : (Fig.I.10)

En fraisage, pour produire au moyen d'une « Fraise » différents types de surfaces sur des pièces mécaniques, la combinaison de trois mouvements est nécessaire.

- Mouvement de coupe (**Mc**) :

La rotation de la fraise autour de son axe est le mouvement de coupe. Ce dernier est exprimé par la vitesse de coupe (V_c).

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \text{ (m/min)}$$

Ou :

d est le diamètre de la fraise en mm

N est la fréquence de rotation de la fraise en tr/min.

- **Mouvement d'avance (Ma) :**

La translation de la table de la machine sur laquelle est fixée la pièce dans le sens longitudinal, transversal et vertical est appelé mouvement d'avance.

- Avance par dents (a_z : mm/dent). Valeur proposée par les concepteurs des fraises.
- Avance par minute (a_m : mm/min). $V_f = a_t \cdot N_f = a_z \cdot z \cdot N_f$
- Avance de penetration (**M_p**):

Le déplacement de la fraise ou de la table pour régler de la position de l'outil par rapport à la pièce avant chaque nouvelle passe est appelé mouvement de pénétration. Il est exprimé en (mm).[4]

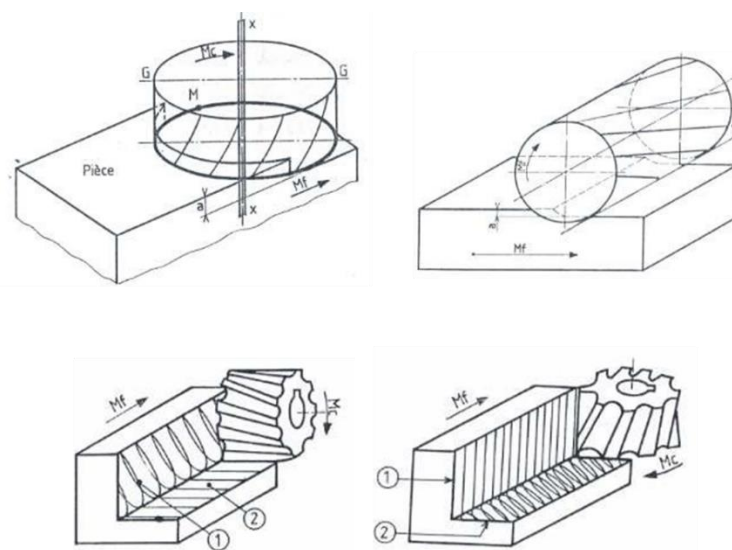


Figure.I.10 : Les mouvements de coupe[2] [10]

I.2.2.3. Outils de fraisage :(Fig.I.11)

Les outils de fraisage sont de nature différente que celle des outils utilisés en tournage car la fraise est munie de plusieurs dents distribuées sur un corps cylindrique, conique ou de forme et peuvent être hélicoïdales (20°-30°) ou droites. Par ailleurs, la fraise est un outil tournant autour d'un axe

de telle sorte que les arêtes coupantes sont affectées d'un déplacement propre par rapport à la pièce en mouvement d'avance. Ce déplacement permet à chaque arête tranchante d'enlever une portion de métal appelée « copeau ».

Pour que les dents de la fraise restent toujours vives, elles ne doivent pas s'user rapidement, ainsi la matière qui les constitue doit être plus dure que la pièce à usiner.

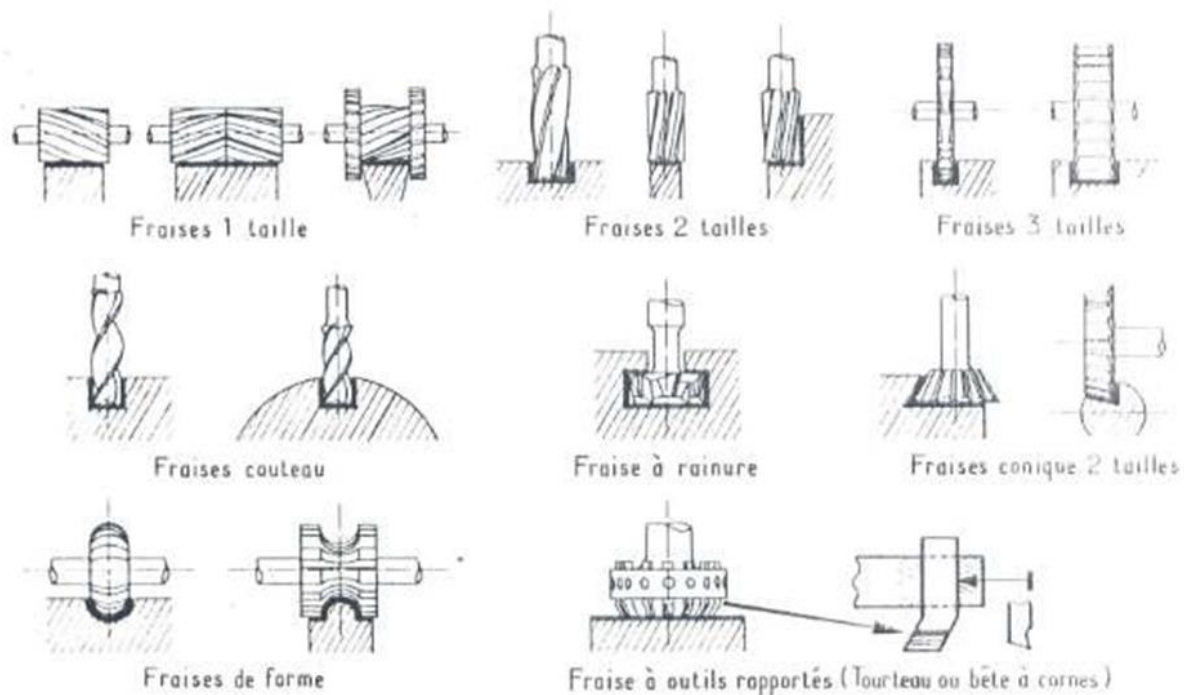


Figure.I.11 : Les outils de fraisage [18]

Le corps de la fraise doit résister aux contraintes de torsion dues aux efforts de coupe d'où l'intérêt de fabriquer la fraise en deux parties (Fig.I.12)

:

- Les dents en plaquettes en matériau dur.
- Le corps sur lequel sont rapportées les dents mécaniquement ou par brasage.

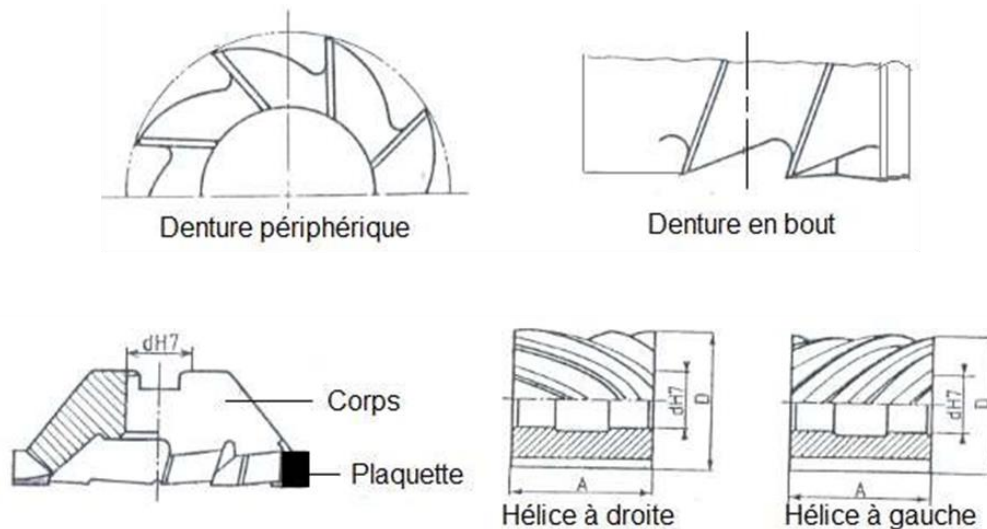


Figure. I.12 : Fraise en deux parties [18]

Pour réaliser une surface de profil déterminé que ce soit en fraisage de profil ou de face, les fraises travaillent selon deux modes (Fig.I.13) :

- Fraisage en « concordance » ou en « avalant » : Dans ce cas, la rotation de la fraise est dans le même sens que le mouvement d'avance de la pièce. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur maximale de copeau.
- Fraisage en « opposition » : Dans ce cas, la rotation de la fraise est opposée à celle du mouvement d'avance de la pièce. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur nulle de copeau et se termine par une épaisseur égale à celle du copeau minimum

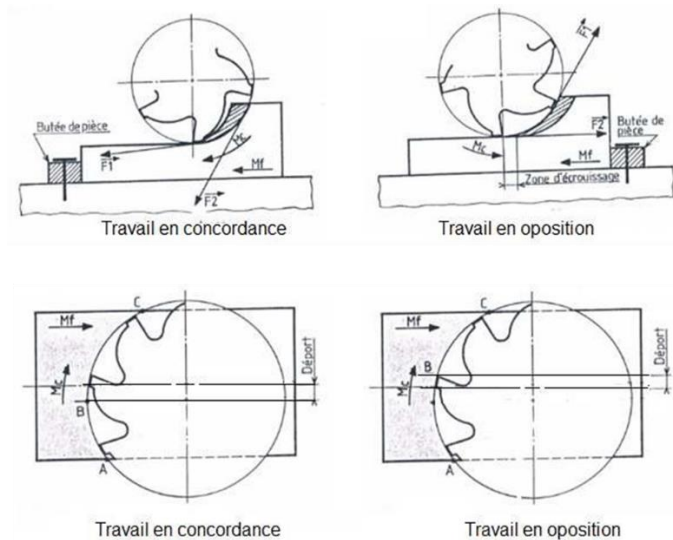


Figure. I.13 : Les deux modes de travaille en fraisage [17]

I.2.2.4. Les principales opérations de fraisage :

En fraisage les outils comportent plusieurs arêtes tranchantes. Par rapport au tournage le déplacement selon les axes principaux de la machine (trois directions de travail) n'est plus réalisé par l'outil mais par la pièce qui est fixée dans un porte-pièce appelé étau. Le mouvement de coupe M_c est réalisé par l'outil.

Sur la figure suivante sont reproduites les diverses opérations d'usinage pouvant être mises en place sur les machines-outils de type fraiseuses.

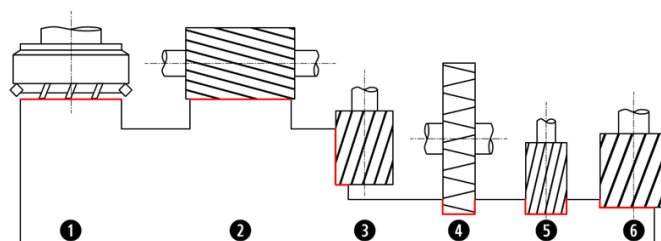


Figure. I.14 : Les diverses opérations d'usinage sur le fraisage [20]

No. outil	Désignation outil
1	Surfaçage de face
2	Surfaçage de profil
3	Surfaçage-dressage prédominant profil
4	Rainurage3tailles
5	Rainurage2tailles
6	Surfaçage-dressage prédominant face

Tableau. I.3 : les opérations de fraisage

I. 2.3. Perçage et Alésage

I.2.3.1. Description générale du perçage :

Le perçage ou le forage est une très ancienne technique. Elle représente environ 15% des travaux industriels par usinage à l'outil coupant. L'opération de perçage consiste à réaliser des surfaces cylindriques intérieures en pleine matière avec des outils « forêts » sur des machines appelées « perceuses ».

Pour que l'opération de perçage soit correctement réalisée, il faut que le système de perçage « Machine-Outil - Dispositif - Outil - Pièce » rempli les conditions suivantes :

- Une bonne coaxialisé de l'outil par rapport à la broche de la machine ;
- Une liaison rigide entre l'outil et la broche par cône de centrage et tenon d'entraînement

Pour les forêts de gros diamètres (Fig. I.15) et par mondain à serrage concentrique pourles forêts de petits diamètres (Fig.I.16) ;

I. 2.3.2. Etude des outils de perçage :

En fonction des formes et des dimensions des trous à réaliser, on peut citer les types suivants :

- Forêts à centrer normal, protégé, et tronqué, etc. Destinés à réaliser des trous de centre. (Fig.I.18,a) ;
- Forêts à queue cylindrique, série normale et série courte. Destinés à réaliser des trous de petits diamètres et de différentes longueurs. (Fig.I.18,b) ;
- Forêts à queue conique. Destinés à réaliser des trous de gros diamètres et de différentes longueurs.
- Forêts à trous d'huile pour réaliser des trous profonds afin d'assurer une bonne lubrification de la zone de coupe. (Fig.I.18,c).
- Forêts à dégagement central des copeaux. Utilisé principalement pour dégager les copeaux fragmentés

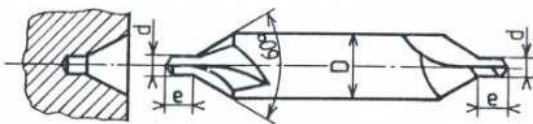


Figure. I.18,a : Forets à centrer normale

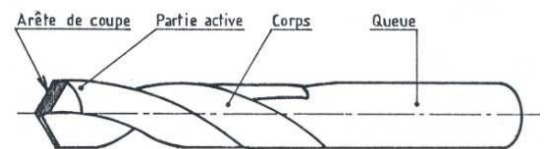


Figure. I.18,b : Forets à queue cylindrique

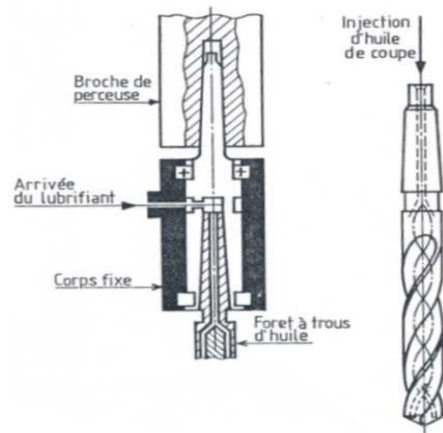


Figure. I.18,c : Forets à trous d'huile

Figures I.18(a,b,c) [10] [17]

I. 2.3.3 Travaux courants de perçage :

En raison de la forme de la forêt, les surfaces résultantes sont cylindriques ou coniques (Fig.I.19). Les trous percés peuvent être borgnes ou débouchant.

- ✚ Trou débouchant
- ✚ Trou borgne
- ✚ Trou borgne à fond plat
- ✚ Trou alésé (H8)
- ✚ Trou taraudé
- ✚ Trou avec lamage cylindrique
- ✚ Trou avec lamage conique
- ✚ Trou avec lamage cylindrique profond

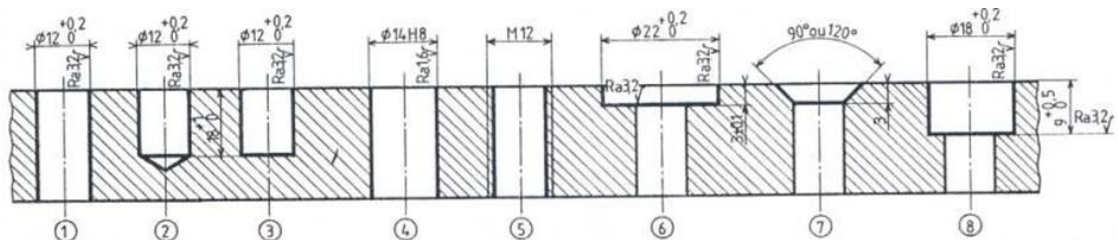


Figure. I.19 : Les formes du foret [10] [18]

I.2.3.4 Description générale de l'opération d'alésage :

Le mot « Alésage » est, souvent, employé pour désigner l'opération d'usinage des surfaces de révolution intérieures. L'objet de l'opération est d'apporter au trou déjà existant une finition qui en garantit les dimensions et l'état de surface tout en assurant une bonne cylindricité et un bon calibrage du diamètre avec un outil d'alésage. Le procédé est réalisé par rotation de la pièce ou de l'outil selon la machine utilisée (tour, perceuse, fraiseuse, aléseuse, etc.).[5]

I.2.3.5 Outils d'alésage :

L'opération d'alésage peut être réalisée à l'aide de deux types d'outils : par les outils de forme tels que les forêts-aléseurs et les alésoirs et par les outils d'enveloppe tels que les barres d'alésage ou les barres porte-graines.

A) Les outils de forme :

Ce sont des outils à dimensions fixes (non réglables) et ne supportent pas trop d'affûtage pour ne pas affecter leur calibrage. Les deux types sont les suivants :

- **Le forêt-aléseur :** (Fig.I.20)

Il est utilisé pour agrandir des trous bruts avec forte surépaisseur qui est très souvent irrégulièrement répartie. La forme de cet outil est presque identique à celle de la forêt, à la différence que sa partie de guidage comporte un nombre de 3 ou 4 goujures assurant le dégagement des copeaux et un guidage parfait dans le trou. La partie active est caractérisée par la présence de 3 ou 4 arrêtes tranchantes et l'angle de pointe varie entre 90° et 140° alors que l'angle d'hélice est de 15° à 25°.

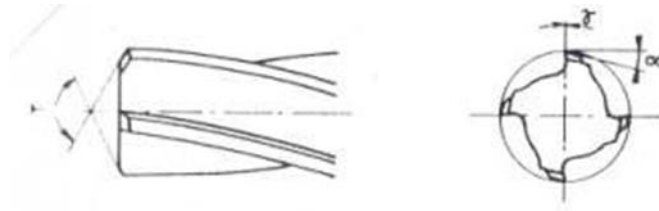


Figure. I-20 : Le Foret-aléreur [10]

▪ **Les alésoirs :**

En fonction du travail à réaliser (ébauche ou finition), les alésoirs peuvent avoir différentes formes : cylindriques ou coniques (Fig. I.21), creux et pleins (Fig. I.22), à queue cylindrique ou conique (Fig. I.23).

Un alésoir de finition est employé souvent pour réaliser un alésage débouchant. Ses arêtes tranchantes sont peu inclinées sur l'axe et les goujures droites ou hélicoïdales ont une influence négligeable sur la qualité de coupe de l'outil mais elles doivent faciliter le guidage et le bon dégagement des copeaux.

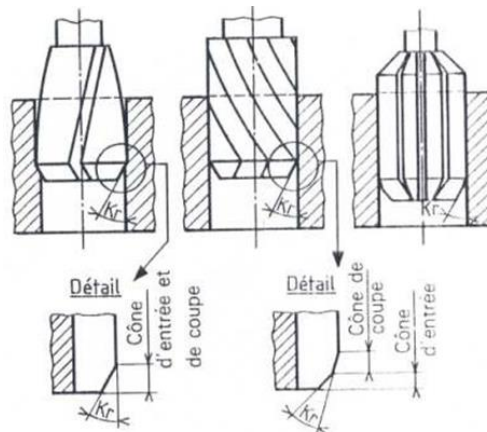


Figure. I.21 : alésoir cylindrique ou conique [10]

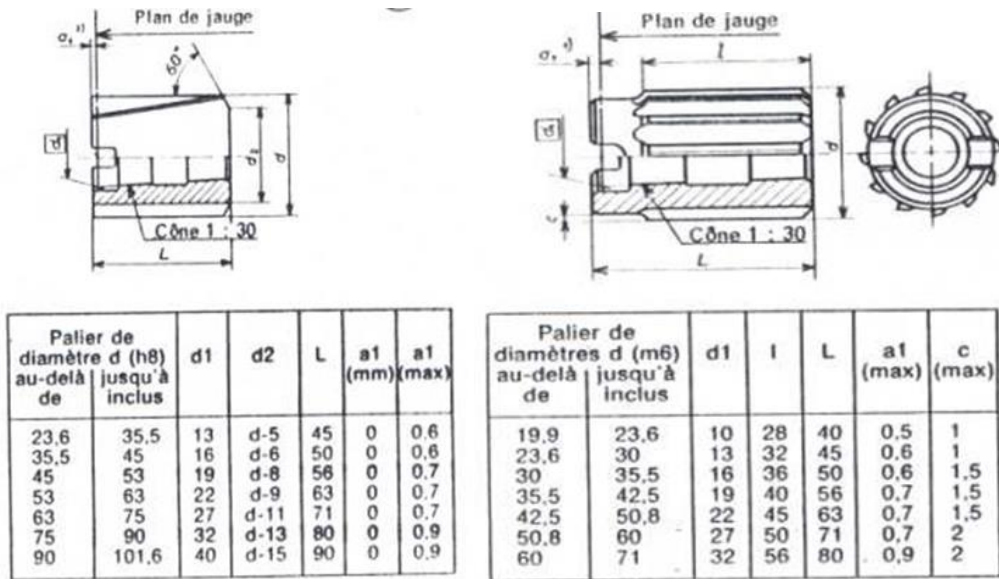


Figure. I.22 : alésoir creux et plein [17]

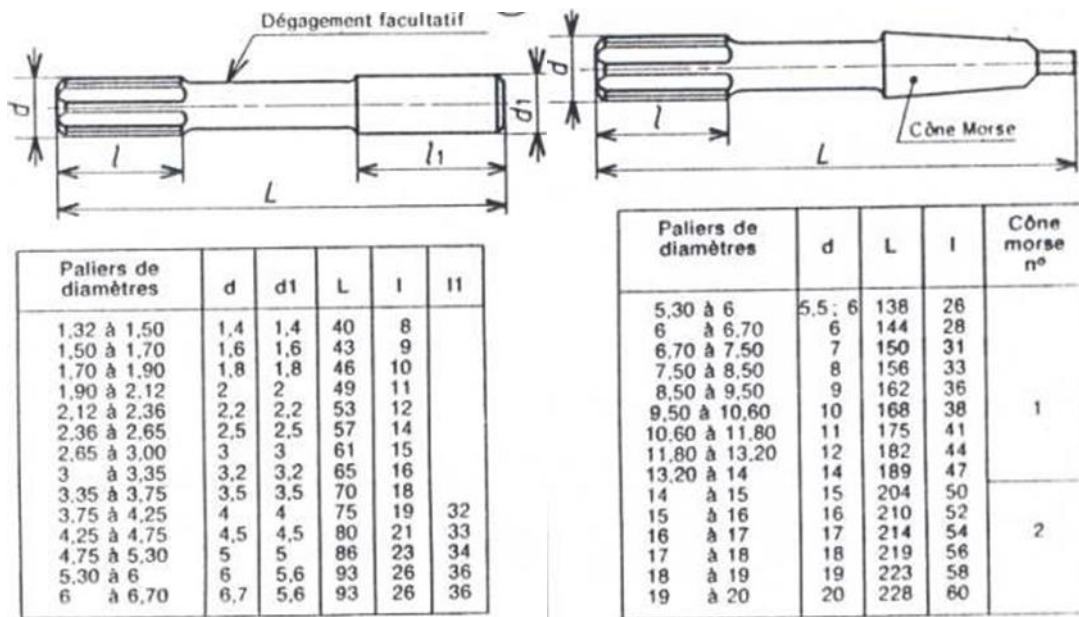


Figure. I.23 : alésoir à queue cylindrique ou conique [17]

B) Les outils d'enveloppe :

Ce sont des outils à dimension variable avec lesquels on peut obtenir des alésages à dimensions et tolérances diverses et peuvent résister à des affûtages répétés.

- **L'alésoir expansible en bout :** (Fig. I.24)

C'est un alésoir monobloc, rendu expansible sous l'action d'un élément d'expansion (vis de réglage à faible conicité) permettant un léger gonflement de la pointe. Par conséquent, une faible variation du diamètre de l'outil de 0,15 à 0,25 mm

Cet outil est très fragile puisque les lames sont disposées sur sa circonférence.

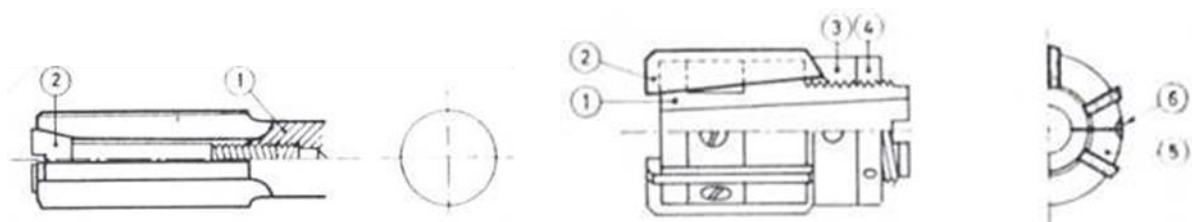


Figure. I.24 : Les alésoirs expansibles en bout [17]

- **La tête à réglage micrométrique :** (Fig. I.25)

L'unité d'alésage micrométrique est un outil de précision, monté sur une barre en montage droit (90°) ou oblique (53°). Ce dernier montage (oblique) permet de réduire les vibrations lors de l'alésage des trous borgnes. La tête comporte une plaquette amovible qui peut être réglée à 0.001 mm près. Elle convient pour des alésages courts en réalisant des passes successives jusqu'au calibrage du diamètre. Ceci est rendu possible par déplacement micrométrique de l'outil dans le sens radial.

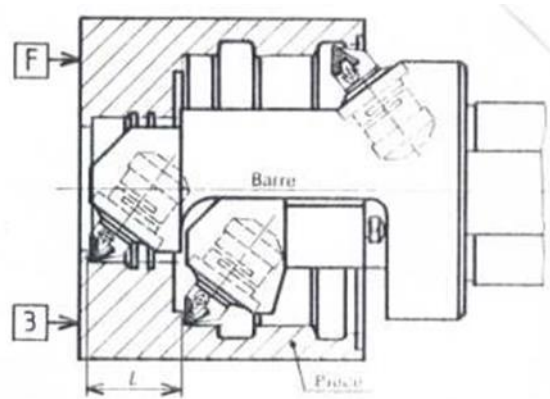


Figure. I.25 : La tête à réglage micromètre [17]

▪ **La tête universelle :** (Fig. I .26)

Les têtes universelles permettent de réaliser, sur des pièces fixes, des opérations diverses sur aléseuses, machines à pointer ou fraiseuses.

Elles sont composées d'un corps comportant une glissière en queue d'aronde, d'un coulisseau porte-outil à réglage micrométrique. Les principales opérations réalisées sont de type : alésage, chariotage, gorgeage, dressage des faces, alésage et dressage consécutifs, etc.

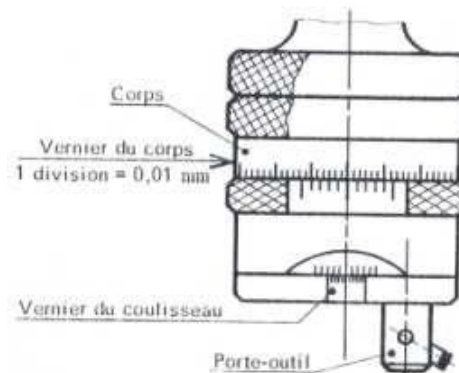


Figure. I.26 : La tête universelle [17]

▪ **La barre d'alésage et la barre porte grains :**

La barre d'alésage montée en l'air ou appuyée par son extrémité porte un ou plusieurs outils à plaquettes amovibles (Fig. I.27,1) ou des grains (Fig. I.27,2). Les différents outils (grains) travaillant successivement ou simultanément. Elles sont utilisées pour des opérations d'ébauche et de

demi-finition. En finition, il faut placer les outils symétriquement et prévoir des sections de copeaux égales.

Si la barre est longue, le problème de déformation se pose. Alors, elle doit être supportée à l'autre extrémité par une lunette.

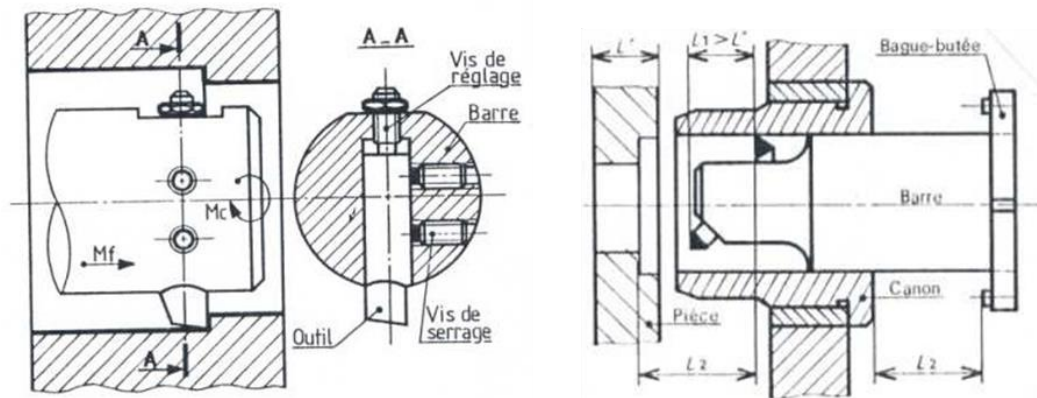


Figure. I.27.1 ,2 : La barre d'alésage et la barre porte grain [17]

I.2.4. Rabotage et Brochage

I.2.4.1. Définition du rabotage :

Le rabotage est une opération d'usinage qui consiste à exécuter des surfaces planes ou de forme à génératrice droite avec un outil à raboter semblable à un outil de tournage sur des raboteuses, sur des étaux limeurs ou sur des mortaiseuses. Le mouvement de coupe et celui d'avance sont donnés à l'outil ou à la pièce suivant la machine utilisée. Le mouvement de coupe est rectiligne alternatif alors que le mouvement d'avance est rectiligne discontinu. Les travaux de rabotage sont limités à la production des pièces en petite série et unitaire. Actuellement, les travaux de rabotage ont pratiquement disparu au profit des procédés de fraisage et de brochage dans la production en grande série.[6]

I. 2.4.2. Outils de rabotage :

Les outils de rabotage sont identiques à ceux utilisés en tournage. Les plus courants sont normalisés dont 1es parties actives sont fabriquées en acier rapide ou en plaquettes de carbure métallique brasées sur un corps en acier résistant aux chocs. Les outils en carbure sont utilisés avec profit lorsque les machines sont puissantes et en bon état tout en choisissant des nuances qui peuvent résister aux chocs.

I. 2.4.3. Travaux de rabotage :

Les travaux de rabotage peuvent être des travaux de surfacage et de réalisation des profils à génératrice de forme courbe ou droite selon une directrice droite.

Des travaux spécifiques peuvent être réalisés sur mortaiseuses dans des surfaces intérieures dont le mouvement de coupe rectiligne alternat donné à l'outil qui se déplace verticalement sur coulisseau, alors que la pièce reçoit un mouvement de déplacement discontinu à chaque aller-retour de l'outil (Fig. I.28).

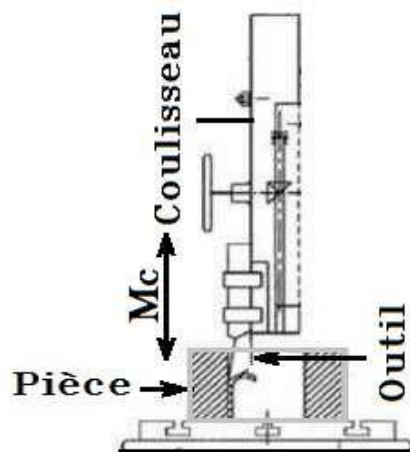


Figure. I.28 : opération de rabotage [10]

I. 2.4.4 Définition du brochage :

Le brochage est un procédé d'usinage des surfaces intérieures et extérieures à l'aide d'un outil de forme à tranchant multiple appelé « broche ».

Les broches sont fabriquées en acier rapide ayant une dureté de (64 à 68 HRC) ou en carbure dans le cas où la dureté des pièces peut atteindre 40 HRC. Une broche est formée de plusieurs outils pelles placés les uns derrière les autres, dont chacun enlève un copeau d'épaisseur (e). En général, l'outil est animé d'un mouvement de coupe rectiligne en réalisant l'usinage en un seul passage de l'outil. Ce procédé est très rapide et très productif par rapport à d'autres procédés d'usinage, c'est pour cela qu'il est utilisé dans la production en grande série et en masse.[6]

I. 2.4.5 Machines de brochage :

Les machines de brochage ont une conception très simple. Un seul mouvement de translation est nécessaire dont la commande est réalisée par un système hydraulique. En fonction du sens de déplacement de la broche, les machines de brochage sont de deux types :

- Machines à brocher horizontales :(Fig. I.29)

Elles possèdent un chariot horizontal pour le déplacement de la broche et sont réservées aux travaux d'intérieur. Elles occupent une grande surface au sol.

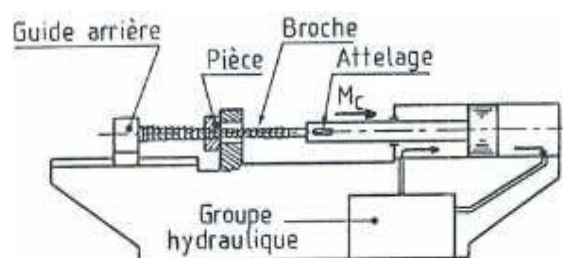


Figure. I.29 : Machine à brocher horizontale [10]

- Machines à brocher verticales :(Fig. I.30)

Elles sont de plus en plus utilisées aussi bien pour les brochages intérieurs et extérieurs. Elles correspondent à la tendance actuelle de fabrication qui exige l'utilisation des machines moins encombrantes au sol.

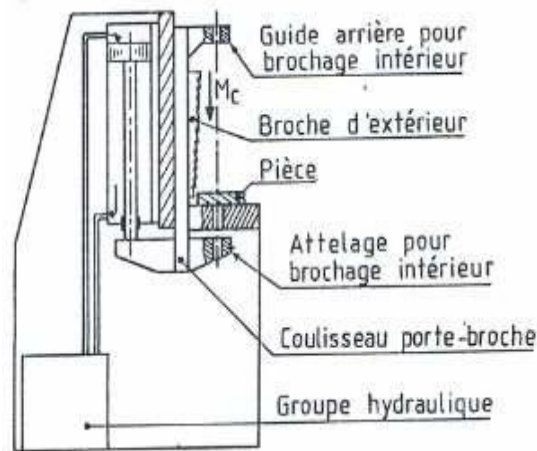


Figure I.30 : Machine à brocher verticale [10]

I. 2.5. Rectification, Rodage et Superfinition

I. 2.5.1. La Rectification :

Pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surface et aux conditions de dureté des pièces, on est amené à utiliser des outils différents de ceux qui sont généralement utilisés pour couper la matière.

Le meulage ou rectification est un procédé qui consiste à couper rapidement et en assez grande quantité de très petites particules de matière à l'aide d'un outil à tranchants multiples appelé « meule ». Ce procédé est utilisé, dans la plupart des cas, pour des travaux d'ébauche

fine, de finition, voire de superfinition (qualité 7-6-5) des pièces très dures en acier ayant subi des traitements thermiques (cimentation, trempe, carbonitruration, etc.), en fonte ou en d'autres alliages. Pour qu'un travail de rectification conduise à un bon résultat, il faut judicieusement choisir la meule et les conditions de travail.[7]

I. 2.5.2 Procédés de rectification :

- A) Rectification cylindrique extérieure
- B) Rectification cylindrique intérieure (Fig. I.31.1,2)
- C) Rectification par planétaire (Fig.I.31.3)
- D) Rectification sans centres ou «Centrless »
- E) Rectification plane
- F) Rectification des filetages
- G) Rectification des engrenages

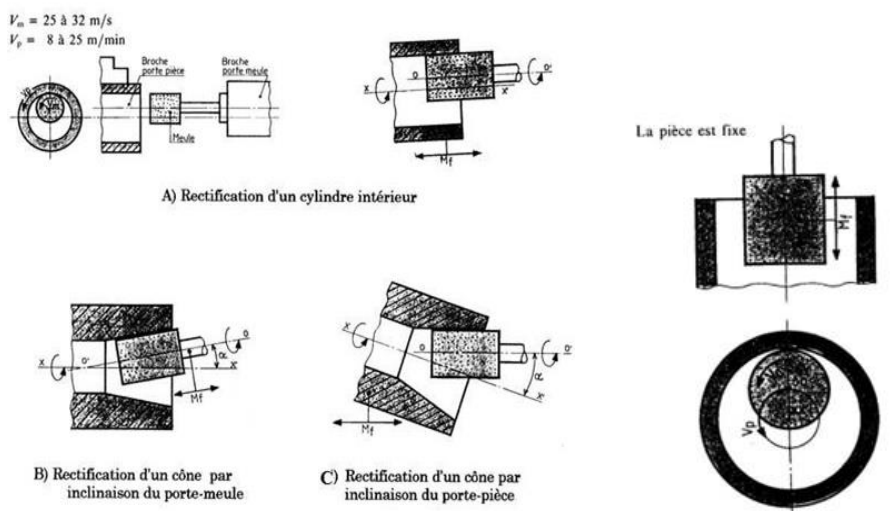


Figure. I.31.1,2 :Rectification cylindrique intérieure

Figure .I 31.3 : Rectification par planétaire

Figures I.31(1,2 et 3) [2]

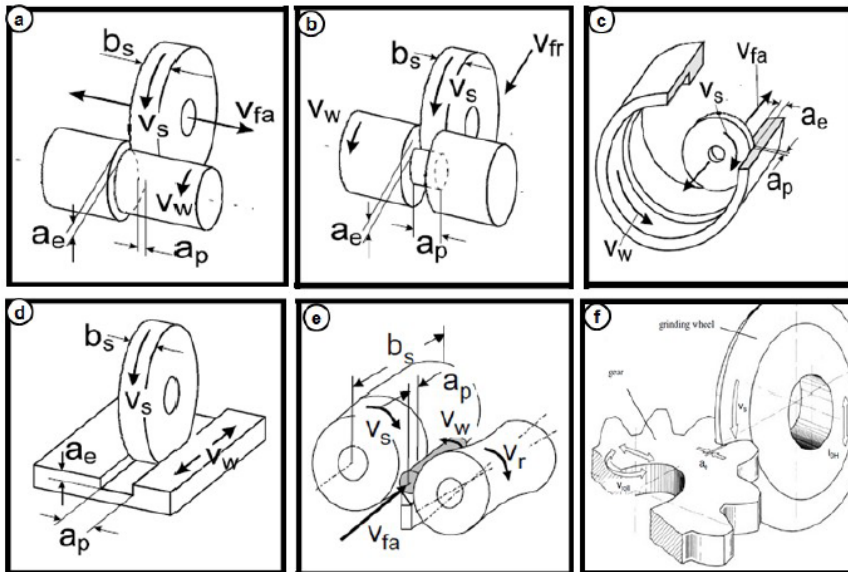
I. 2.5.3 Les principales opérations de rectification

Chapitre 1 La rectification consiste en l'usinage à très grande vitesse, par abrasion, des surfaces des pièces, au moyen de cristaux coupants. C'est une opération de finition pour laquelle la génération des

surfaces cylindriques ou planes peut se faire :

-Par balayage de la surface par la meule (travail d'enveloppe)

- Par plongée (hors pièce ou en pleine matière, dans la pièce (travail de forme). La fixation de la pièce et son maintien sont faits par des moyens classiques (mandrins, étaux, pinces, etc.) soit par des outillages spéciaux soit enfin par des tables (plateaux) magnétiques.



Figurel.32: Operations de rectification [19]

Num. opération	Désignation
1	Rectification cylindrique extérieure
2	Rectification conique extérieure
3	Rectification en plongée et épaulement droit
4	Rectification cylindrique intérieure
5	Rectification conique intérieure
6	Rectification de forme intérieure
7	Rectification d'angle par meule conique
8	Rectification extérieure sans centres
9	Rectification intérieure sans centres
10	Rectification plane par meule tangentielle
11	Rectification plane par meule boisseau

12	Rectification plane par meule boisseau
13	Rectification plane sur plateau rotatif
14	Rectification d'angle
15	Rectification de forme
16	Rectification plane extérieure
17	Rectification d'une rainure intérieure
18	Rectification sphérique
19	Rectification hélicoïdale

Tableau.I.4: les opérations de rectification

I. 2.5.4 Le Rodage :

Le rodage a pour but d'améliorer les états de surfaces en diminuant l'importance des stries et permet d'obtenir une surface rodée de rugosité entre 0.1-0.2 μm . Par contre, ce procédé ne peut pas corriger les défauts de forme de la surface usinée s'ils existent (circularité, cylindricité, rectitude, etc.)

On peut distinguer deux types de rodage :

A) Rodage des surfaces cylindriques intérieures : (Fig. I.33)

Le rodage intérieur est, fréquemment, utilisé au cours des opérations de finition des cylindres de moteurs ou des alésages sur lesquels une bonne qualité de surface est exigée (0.25 μm). L'outil comportant trois ou quatre bâtons rodoirs, fixés sur un support expansible, est monté flottant sur la broche de la machine à roder. Ce montage permet l'auto-centrage du rodoir dans l'alésage.

L'outil reçoit un mouvement hélicoïdal résultant de la combinaison d'une rotation à la vitesse de 30-50 m/min et d'une translation alternative à la vitesse de 10-20 m/min.

Le dispositif permettant l'expansion du rodoir assure une pression de rodage de l'ordre de 1-5 bars (Bar=Kg/cm²) pour le rodage de finition.

Au cours du rodage, la surface doit être lubrifiée avec de l'huile, du pétrole, du gazole etc. Pratiquement, tous les matériaux peuvent être rodés : aciers traités ou non traités, pièces chromées, matières plastiques, carbures, etc. Le contrôle de la cote rodée s'effectue automatiquement par déclenchement de la machine si le calibre entre dans l'alésage.

L'outil est animé d'un mouvement hélicoïdal

- Vitesse de rotation : 35 à 45 m/min
- Vitesse de translation : 8 à 15 m/min

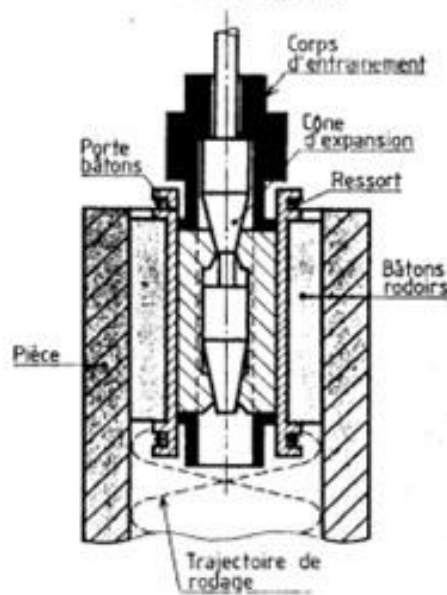


Figure. I.33 :Rodage des surfaces cylindriques intérieures [29]

B) Rodage des surfaces planes : (Fig. I.34)

En fonction de dimensions des pièces rodées, on peut envisager deux montages de rodage :

➤ **Premier montage :**

Dans le cas où les pièces sont de petites dimensions, on peut roder plusieurs pièces à la fois. Les pièces sont emprisonnées dans des cages entre deux plateaux en fonte dont les faces sont rigoureusement planes. Le plateau supérieur est fixe en rotation assurant la pression de rodage, alors que le plateau inférieur est animé de deux mouvements de rotation dont l'un

autour de l'axe X-X et l'autre autour de l'axe Y-Y. Pour qu'il y ait un rodage, l'abrasif est amené par le liquide d'arrosage.

➤ **Deuxième montage :**

Lorsque la pièce a des dimensions importantes, le rodoir plan en fonte, enrobé d'une pâte à roder, reçoit un mouvement de rotation continue accompagner parfois d'un mouvement oscillatoire. Le support porte-pièce est animé, à son tour, d'un mouvement de rotation. Une légère pression est appliquée sur le rodoir pour assurer le rodage.[7]

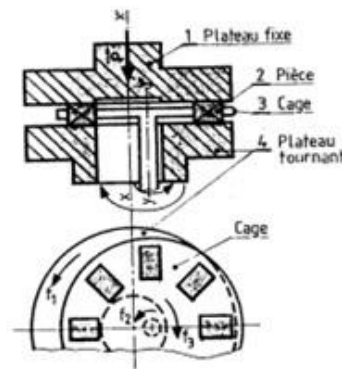


Figure. I.34 : Rodage des surfaces plane [29]

I. 2.5.5 La Superfinition :

Comme le rodage, la superfinition (Fig. I.35) a pour objet de réduire la rugosité des surfaces de révolution extérieures et de supprimer la couche altérée par la rectification (couche de Beilby). La superfinition s'effectue sur une machine spéciale ou bien sur un tour spécialement équipé avec un outil constitué par des pierres abrasives à finesse de grains ayant l'indice jusqu'à 1000.

A la différence du rodage, la rotation est donnée à la pièce, alors que la translation et le battement sont donnés à l'outil. L'amplitude de battement est faible (1 à 6 mm), alors que sa fréquence est très élevée (2500 battements par minute).[7]

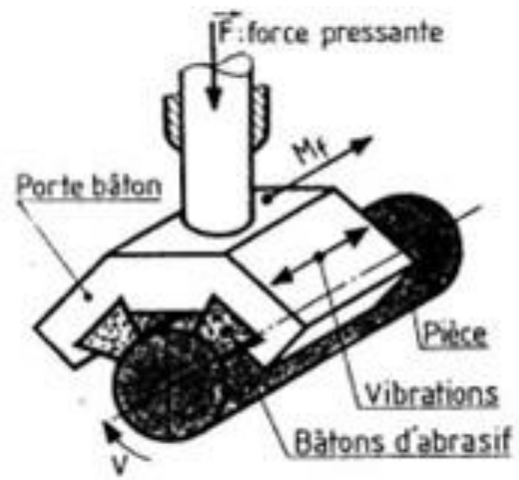


Figure. I.35 : La super finition [29]

Conclusion

L'usinage par enlèvement de matière est un procédé qui consiste à enlever ou couper le matériau d'une pièce avec un outil donnant lieu à cet excédent de matière, qui est séparé de la pièce avec le même outil. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce. Les procédés d'usinage par enlèvement de matière traditionnels remontent à plusieurs siècles, étant une évolution des procédés manuels. Ce sont, entre autres : tournage, fraisage, perçage, sciage etc. L'usinage par enlèvement de matière présente de nombreux avantages, notamment :

- Atteint de très faibles tolérances (précision dimensionnelle élevée).
- Des coins très aiguisés peuvent être obtenus sur la pièce résultante.
- Préserve les propriétés mécaniques du matériau (contrairement au formage par exemple).
- Fonctionnement très polyvalent.
- Il n'est pas plus cher que d'autres procédés tels que le formage.

CHAPITRE II

GENERALITE SUR LE FRAISAGE

Introduction

En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce mécanique à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de produits semi-finis (tôles, barres, etc.) requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques. L'une d'entre elles est l'usinage, c'est-à-dire un enlèvement de matière par un outil coupant. L'usinage d'une pièce se décompose en une succession d'opérations, définie par la gamme d'usinage établie par le bureau des méthodes à partir du dessin de définition issu du bureau d'études. L'usinage traditionnel s'effectue, en respectant les règles de la coupe des métaux, sur des machines-outils classiques ou automatisées on va prendre la fraiseuse comme une machine-outil de discussion. Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur le fraisage (les procédés de fraisage et les paramètres de coupe ainsi que les différents modes de fixation de la pièce...). [8]

II.1.Définition

Le fraisage est un procédé d'enlèvement de matière dont le rôle primordial est l'obtention de surfaces planes ou prismatiques. L'outil employé pour effectuer ce travail est la fraise.

Ce procédé est caractérisé par deux mouvements :

- Mouvement de **rotation** de l'outil-fraise, entraîné par la broche de la machine (mouvement rapide circulaire de coupe **Mc**) ;
- Mouvement de **translation** de la pièce fixée sur la table de la machine (mouvement lent rectiligne uniforme d'avance **Ma**).

II.1.2. Mouvements relatifs entre l'outil et la pièce :

Les mouvements relatifs, entre l'outil et la pièce, exigés par le fraisage sont : le mouvement de coupe, le mouvement d'avance, le mouvement de profondeur.

Mouvement de coupe M_c :

C'est le mouvement principal qui produit l'enlèvement de la matière, il est donné par la rotation de l'outil.

Mouvement d'avance M_a :

C'est le mouvement rectiligne donné à la pièce pendant l'usinage. L'outil rencontre ainsi constamment de la matière à enlever.

Mouvement de profondeur M_p :

C'est le mouvement rectiligne qui règle la profondeur de la pénétration dans la matière. Il est généralement donné à la pièce, mais dans certaines machines particulières il est donné à l'outil. [9]

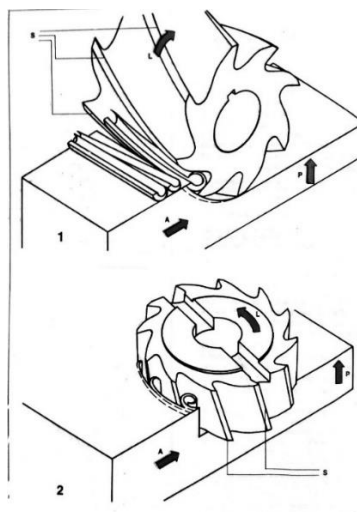


Figure.II.1: Les mouvements relatifs [9]

II.1.3.L'outil-Fraise:

La fraise est un outil multiple, formé par plusieurs taillants disposés radialement sur une circonférence. Une fraise présente la forme d'un solide de révolution*(cylindre, cône, tronc de cône, etc.), portant plusieurs outils élémentaires ou dents réparties régulièrement sur la périphérie. [9]

On y retrouve les angles de coupe caractéristiques normalisés :

α = angle de dépouille ;

β = angle de pente d'affutage.

Angle de tranchant : $\delta = 90^\circ - (\alpha + \beta)$. (Eq 1)

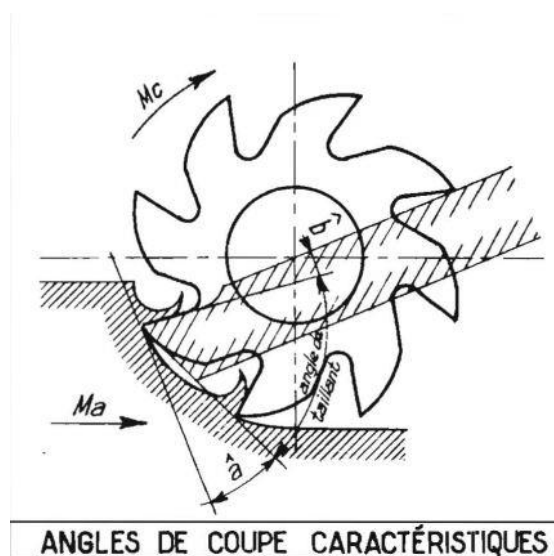


Figure. II .2 : Angle de coupe caractéristiques [9]

Les dents peuvent être : [9]

- Soit taillées dans la masse du solide de révolution (Fig. II.3,1) ;
- Soit amovibles et maintenues sur le corps de fraise par un système goupillage approprié.

La (figure.II 3,2) représente une fraise dite <<à lames rapportées>> et la (figure.II. 3,3) une fraise à outils cylindriques clavetés.

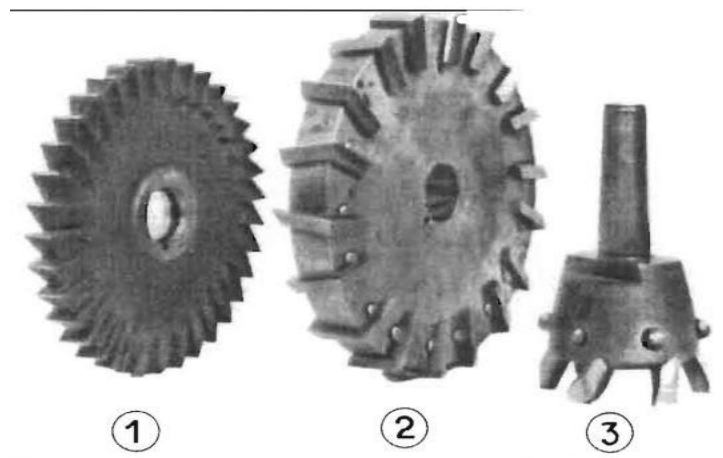
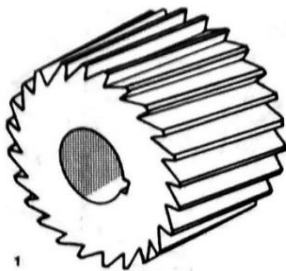


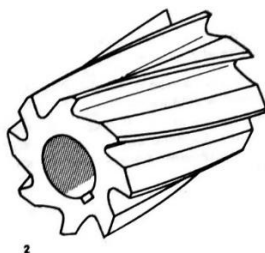
Figure.II.3 : Types de dents [9]

Exemples des principales fraises à denture fraisée :

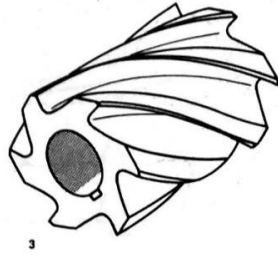
1. Fraise cylindrique ou fraise à rouleau à denture hélicoïdale du type normal.



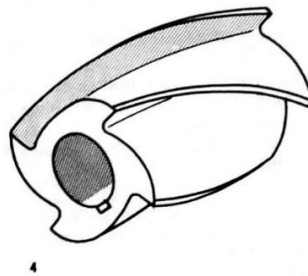
2. Fraise à rouleau à denture hélicoïdale pour le travail des matières dures et tenaces.



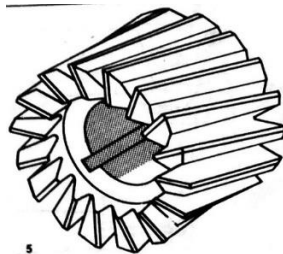
3. Fraise à rouleau à denture hélicoïdale pour le travail des matières de moyenne résistance.



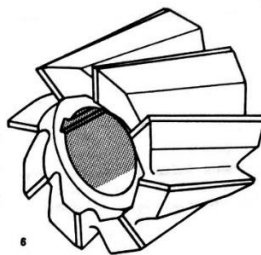
4. Fraise à rouleau à denture hélicoïdale pour le travail d'alliages légers.



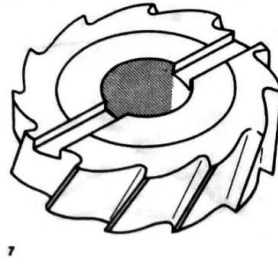
5. Fraise en bout à deux tailles à trou lisse ou à manchon du type normal. Elle est apte au travail des matières dures et tenaces.



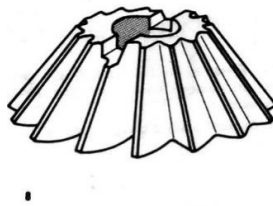
6. Fraise en bout à deux tailles, à trou lisse, à grand rendement. Apte au travail des aciers doux et semi- durs.



7. Fraise en bout à deux tailles, à trou lisse et entraînement par clavettes transversales. Apte au travail des aciers doux et demi- durs.



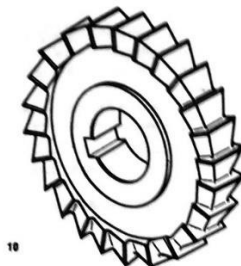
8. Fraise conique pour le fraisage des glissières de machines-outils.



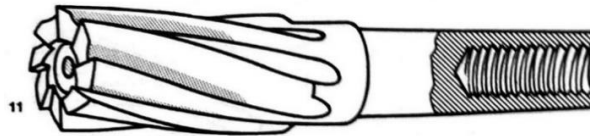
9. Fraise à disque à trois tailles, du type à grand rendement, et denture hélicoïdale alternée.



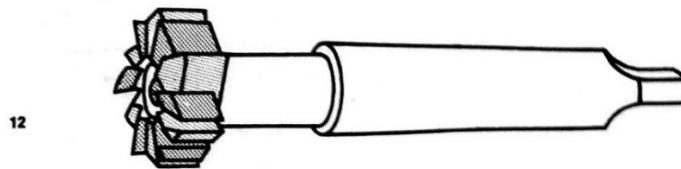
10. Fraise à disque à trois tailles, du type normal, à denture droite.
Utilisée pour le fraisage de rainures étroites.



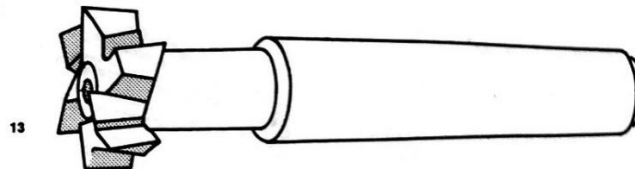
11. Fraise en bout à deux tailles, à denture hélicoïdale, à queue conique morse et trou fileté.



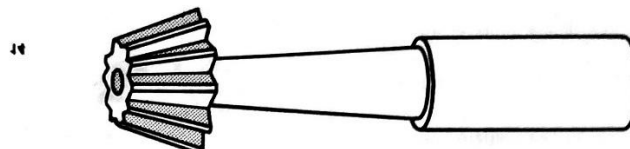
- 12.** Fraise pour rainures en T à denture droite avec queue conique morse et tenon d'entraînement.



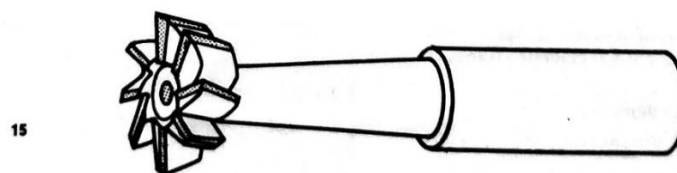
- 13.** Fraise pour rainures en T, du genre à grand rendement, à denture hélicoïdale alternée et queue conique à trou fileté.



- 14.** Petite fraise d'angle ou conique, à conicité convergente et queue cylindrique, utilisée pour les travaux d'outillage.



- 15.** Petite fraise conique à queue cylindrique et conicité divergente.



- 16.** Fraise en bout à deux tailles, à emboîtement conique morse et tenon d'entraînement.

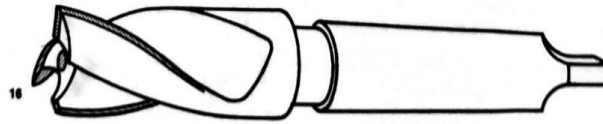
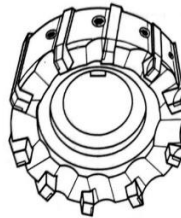


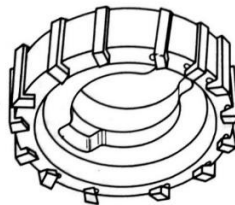
Figure.II.4 : Types de fraises à denture fraisée [19]

Exemples de fraises à lames ou plaquettes rapportées :

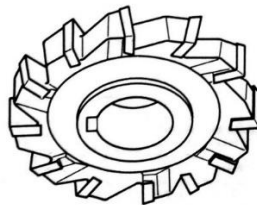
1. Ces fraises, appelées parfois tourteaux, sont munies de plaquettes en carbures métallique et sa destinée à l'usinage de l'acier, de la fonte et des alliages légers.



2. Fraise en bout à deux tailles à surfacer, à dent rapportées en acier rapide fixées dans le corps de la fraise à l'aide de broches.



3. Fraise à trois tailles, à denture alternée et plaquettes de carbures métalliques.



4. Fraise en bout à deux tailles à denture hélicoïdale et plaquettes en alliage dur, avec queue conique morse et trou fileté.

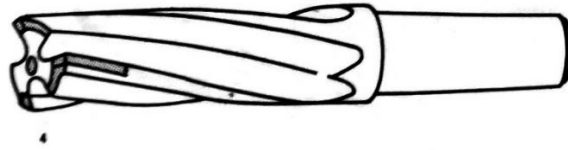


Figure.II.5 : Types de fraises à lames ou plaquette rapportées [19]

Exemples de fraises à profil constant : [10]

Les fraises à profil constant sont employées pour les travaux de mise en forme ou profilage.

Fraise de forme : Ces fraises (**A**) sont utilisées, en particulier, pour l'usinage de surfaces convexes.

Fraise module : Cette fraise (**B**) est utilisée pour le découpage de l'entre-dent des engrenages.

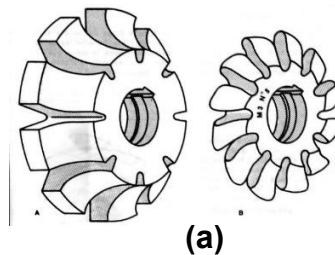


Figure. II.6 : Fraises à profil constant [17]

II. 1.4. Aciers et alliages constitutifs des fraises :

L'acier au carbone n'est plus guère utilisé pour la fabrication des fraises.

L'acier rapide, qualité ordinaire (14 à 18% de tungstène) convient pour tous travaux courants sur aciers d'une résistance $R = 80 \text{ kgf/mm}^2$ environ*.

L'acier rapide, qualité supérieure (haute teneur en tungstène ou cobalt) convient pour des travaux de rendement effectués sur machines modernes

suffisamment puissantes. La construction des fraises à lames rapportées se prête particulièrement à l'utilisation des lames en alliages spéciaux tels :

Le stellite : alliage de tungstène, cobalt, chrome, carbone, en proportions variables ;

Les carbures durs : (de tungstène, de tantale, de titane, etc.).

L'emploi de ces derniers, bien que permettant les plus hautes vitesses de coupe connues jusqu'à ce jour, restait limité par suite de la fragilité des arêtes tranchantes.

II.1.5. Les principaux éléments géométriques de la fraise

La forme géométrique des taillants d'une fraise, est soumise, comme pour tous les outils qui travaillent par enlèvement de copeaux, à trois angles fondamentaux formés par les faces A et P qui déterminent les angles de coupe ou angles d'affûtage α , β et γ .

Pour les fraises à denture hélicoïdale, on tient compte de l'angle δ , qui détermine l'inclinaison de l'arête tranchante par rapport à l'axe de la fraise, et qui est appelé angle d'attaque. [11]

Angle d'hélice ou angle d'attaque α' : C'est l'angle compris entre l'axe longitudinal de la fraise et l'inclinaison de la denture. L'angle sera faible (environ 5°) pour l'usinage des métaux à copeaux courts tels que la fonte et ira en augmentant pour les métaux légers (aluminium) (25°) ou l'usinage des aciers spéciaux: inox par exemple. [11]

Angle de taillant β : 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 γ : 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 α : C'est l'angle qui évite le frottement (talonnage) de l'arrière de la dent sur la partie de la pièce déjà usinée. [11]

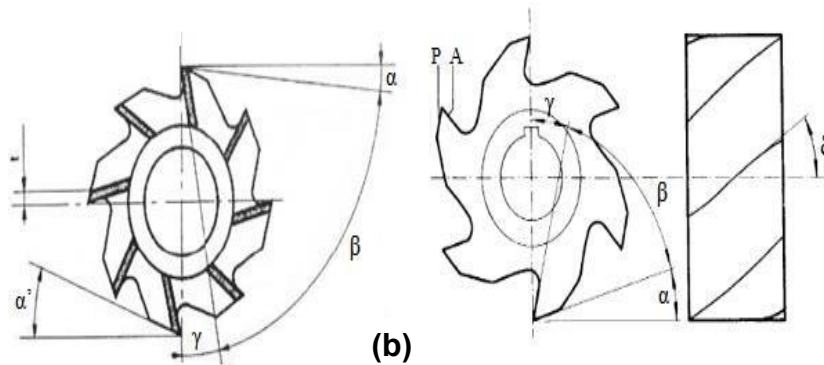


Figure .II.6: La géométrie de la fraise

II.2.Vitesse de coupe et vitesse d'avance

II.2.1. Vitesse de coupe:

On entend par vitesse de coupe d'une fraise, la vitesse circonférentielle des points P des dents de la fraise en contact avec la pièce à usiner.

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n \quad (\text{Eq 2})$$

Dans laquelle :

V_c = vitesse de coupe en mètres par minute (m/min).

D = diamètre de la fraise en mètres.

N = nombre de tours par minute effectués par la fraise.

$\pi = 3,14\dots$

Si l'on veut exprimer le nombre de tours par minute en fonction de la vitesse de coupe, on obtient :

$$n = \frac{V}{\pi.D} \text{ tr/min.} \quad (\text{Eq 3})$$

Pour introduire la valeur du diamètre de la fraise exprimée en millimètres, ainsi qu'il est d'usage dans les ateliers, la formule ci-dessus se transforme en :

$$n = \frac{1000.V}{\pi.D} \text{ tr/min.} \quad (\text{Eq 4})$$

La vitesse de coupe v , que l'on doit parfois introduire dans cette équation, dépend de plusieurs facteurs :

- Qualité de la matière à travailler.
- Qualité de la matière de la fraise ou de l'outil.
- Genre de l'usinage à exécuter, donc, genre d'outil employé.
- Dimensions du copeau, qui seront plus grandes dans les opérations de dégrossissage, et plus petites dans la finition.
- Genre d'ablocage de la pièce à usiner.
- Capacités de la machine.
- Degré de finition des surfaces à usiner.

Tableau Des Vitesse De Coupe

Matière à usiner	Fraises à rouleau à surfacer en acier rapide		Fraises en bout (2 tailles) en acier rapide		Fraises à rainurer (3 tailles) (fraise à disque) en acier rapide		Fraises en bout à dents rapportées en alliage dur		Fraise à profil constant en acier rapide lo		Fraise pour T en acier rapide	Fraise à queue Ø inférieur à 10mm en acier rapide	Fraise à queue Ø supérieur à 10 mm en acier rapide	
	Dégrossissage passe de 5 mm	Finition passe de 0,5 mm	Dégrossissage passe de 5 mm	Finition passe de 0,5mm	Dégrossissage passe de 5 mm	Finition passe de 0,5 mm	Dégrossissage passe de 5 mm	Finition passe de 0,5 mm	Dégrossissage	Finition		Dégrossissage et finition passe égale au 1/4 Ø fraise	Dégrossissage passe égale au 1/4 Ø fraise	Finition
Acier allié extra-dur	8-12	13-18	8-12	13-18	9-12	13-16	45-60	55-65	6-10	8-12	8-10	8-10	10-14	14-16
Acier dur	10-16	16-18	12-16	16-25	12-18	16-25	62-80	80-90	8-12	14-16	10-12	10-12	14-20	20-26
Acier doux	15-20	20-35	16-22	25-35	18-25	20-30	100-125	125-140	15-18	18-22	12-18	12-18	18-24	20-28
Fonte dure et fonte malléable	12-18	18-25	12-16	18-25	12-18	18-25	45-55	50-90	10-15	14-18	8-10	8-10	12-14	18-25
Fonte demi-dure	20-25	25-30	16-22	25-30	20-25	25-30	55-65	60-100	16-20	18-22	18-22	15-20	22-25	25-28
Bronze	30-40	40-50	30-40	40-50	30-40	40-50	70-120	80-200	20-30	30-40	25-30	20-24	35-45	40-50
Laiton	35-50	50-70	35-50	50-70	35-50	50-70	80-120	80-200	40-50	50-60	40-45	22-28	36-60	60-70
Cuivre	30-50	45-80	30-50	45-80	30-50	45-80	100-180	180-300	30-40	35-45	22-25	20-24	30-50	50-80
Aluminium et ses alliages	150-220	250-300	200-250	300-350	150-220	300-350	500-600	800-1000	120-150	150-200	150-200	120-160	120-150	150-200

Tableau.II.1 : vitesse de coupe

I.2.2. Choix des vitesses de coupe en fraisage

Vitesse de coupe et durée de vie de l'outil : [12]

Toutes les méthodes expérimentées jusqu'à ce jour, pour la détermination des vitesses de coupe en fonction des autres variables ; tels que : épaisseur du copeau, largeur du copeau, constitution de l'outil, nature du métal travaillé, etc. découlent surtout des deux éléments fondamentaux suivants :

1. **Une vitesse de coupe de base**, correspondant au rendement maximum de l'outil, c'est-à-dire à la production maximale de copeaux entre deux affutages pour une durée d'outil définie.
2. **Des coefficients** permettant de corriger cette vitesse de base lorsque les autres variables de coupe sont modifiées.

Les leçons précédentes ont fait ressortir l'extrême complexité des phénomènes qui se produisent pendant le fraisage, notamment dans le cas du fraisage de profil.

L'expérience prouve que l'application brutale au fraisage de telle ou telle méthode, donnant des résultats satisfaisants en tournage et rabotage, peut conduire à de graves déboires dus aux causes suivantes :

- La difficulté de définir exactement les variables épaisseur et largeur de copeau ;
- L'extrême diversité des formes de denture de fraises ; il est parfois très difficile d'assimiler une dent de fraise à tel ou tel outil de tour ou rabotage, dont on connaît parfaitement le mode d'action.

En outre, on ne doit pas perdre de vue que, si l'affutage d'un outil de tour, par exemple, est une opération relativement aisée et rapide, il n'en est pas de même de l'affutage d'une fraise, beaucoup plus long et coûteux. [12]:

II. 2.3.L'avance :

On entend par avance, le déplacement de la table de la fraiseuse, donc de la pièce, accompli pendant la course de travail. La vitesse d'avance V_f , s'exprime en millimètres par minute (mm/min).

L'avance par dent a , multipliée par le nombre de dents z de la fraise, donne l'avance par tour.

L'avance par tour, multipliée par le nombre de tours par minute de la fraise, donne l'avance V_f .

Soit :

$$V_f = a \cdot z \cdot n \quad \text{mm/min} \quad (\text{Eq 5})$$

Pour établir la valeur de la vitesse d'avance ou simplement de l'avance V_f , il est nécessaire de connaître l'avance par dent de la fraise a .

L'avance par dent **a**, exprimée en mm est déterminée expérimentalement, et dépend de la matière à travailler, de la fraise et de la profondeur de passe. [13]

Dans le tableau ci-dessous sont consignées quelques valeurs d'avances par dent, suivant la fraise employée, et la matière à travailler pour une profondeur de passe de 3 mm [13]

On peut constater que les avances par dent pour les travaux de finition exécutés avec des fraises en bout, des fraises à rainurer ou à profil constant, sont réduites de moitié jusqu'au tiers de celles des travaux de dégrossissage.

Tableau des avances par dents

Matière	Fraises à rouleau à surfacer et Fraises en bout		Fraises à dents rapportées		Fraises à trois tailles en acier rapide		Fraises de forme en acier rapide		Fraise à queue en acier rapide	
	Dégross.	Finition	Dégross.	Finition	Dégross.	Finition	Dégross.	Finition	Dégross.	Finition
Acier allié extra-dur	0,1	0,04	0,1	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Acier dur	0,15	0,05	0,2	0,1	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
Acier doux	0,2	0,08	0,25	0,1	0,07	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Fonte normale (grise)	0,2	0,08	0,3	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,06
Fonte dure (blanche)	0,1	0,04	0,2	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,05
Bronze	0,15	0,06	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Laiton	0,2	0,1	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Alliages d'aluminium	0,1	0,05	0,5	0,15	0,07	0,03	0,03	0,01	0,04	0,08

Tableau. II.2 : avance par dents

II.3. Les machines a fraiser

II.3.1.Définition:

Les machines-outils utilisées pour le fraisage sont appelées fraiseuses. Ces fraiseuses présentent sensiblement toutes la même disposition générale d'agencement des organes mécaniques, elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

Les fraiseuses de production destinées au travail en méthode série, elles sont à broche verticale ou horizontale, les mouvements des chariots sont en générale automatisés.

Les fraiseuses universelles elles sont essentiellement utilisées dans les ateliers d'outillage ou de fabrication de petite série.

Dans tous les cas, l'outil fraise est animé du mouvement circulaire de coupe.

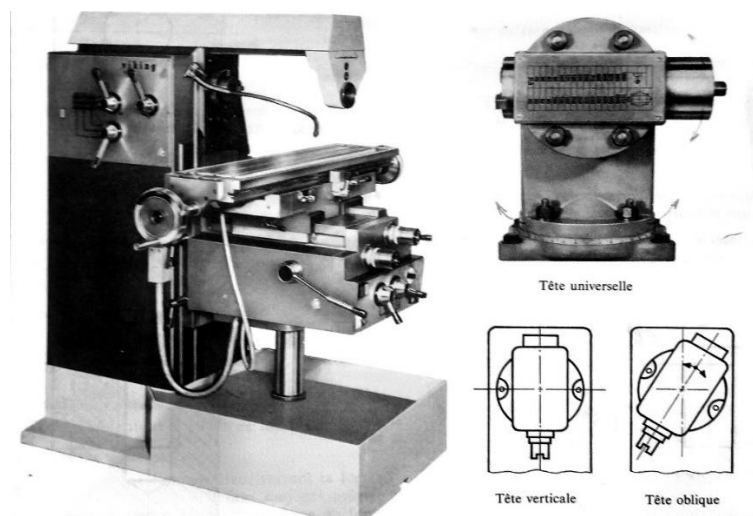


Figure.II.7 : Fraiseuse universelle [10]

Schéma d'une fraiseuse et liaisons entre les différents organes

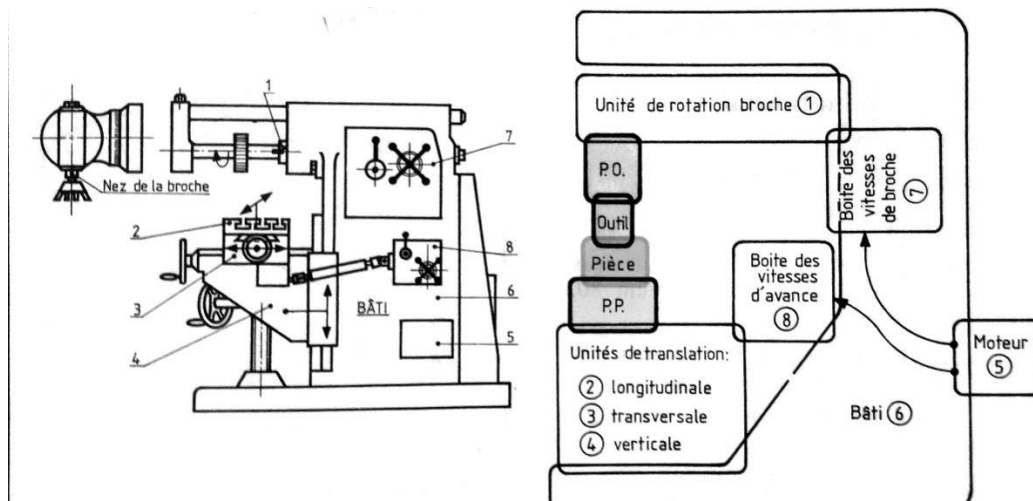


Figure. II.8 : Schéma d'une fraiseuse

[10]

II.3.2. Différents types de machines à fraiser :

On distingue : [14]

Fraiseuse horizontale ce sont les machines conformes à la (figure.II.9). La fraiseuse horizontale utilise des fraises montées sur un arbre porte-fraise horizontale. Utilisées pour le surfaçage, pour l'exécution de rainures et de profils rectilignes.

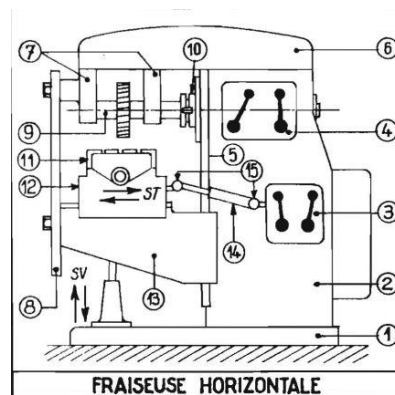


Figure. II.9 : Fraiseuse Horizontale [10] [17]

Certaines de ces fraiseuses dites horizontales universelles sont munies d'un chariot en deux pièces (fig. II.10) : une partie supérieure orientable **b** et le chariot proprement dit **d**, assemblé par une coulisse circulaire **c** munie d'une graduation.

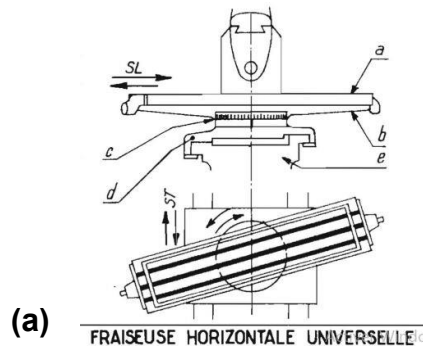


Figure. II.10 : Fraiseuse Horizontale Universelle [10] [17]

Principaux éléments d'une fraiseuse horizontale :

A Colonne ou bâti contenant : le moteur, les mécanismes du mouvement principal de travail, ceux du mouvement d'avance et la broche disposée horizontalement.

B Broche.

C Arbre porte-fraise commandé par la broche.

D Support ou bras raidisseur de l'arbre porte-fraise.

E Console ou chariot inférieur ; se déplace verticalement suivant les glissières F usinées directement dans la colonne.

G Vis pour le déplacement vertical de la console.

H Vernier de l'arbre de commande de la vis G.

I Chariot transversal.

L Glissière du chariot transversal.

M Volant et vernier pour la commande du chariot transversale.

N Chariot supérieur et table porte-pièce.

O Boîte de vitesse de l'avance automatique de la table porte-pièce.

P Arbre télescopique à double articulation par cardans pour la transmission de l'avance automatique à la table porte-pièce.

Q Volant manuel de commande de l'avance longitudinale de la table porte-pièce.

R fraise.

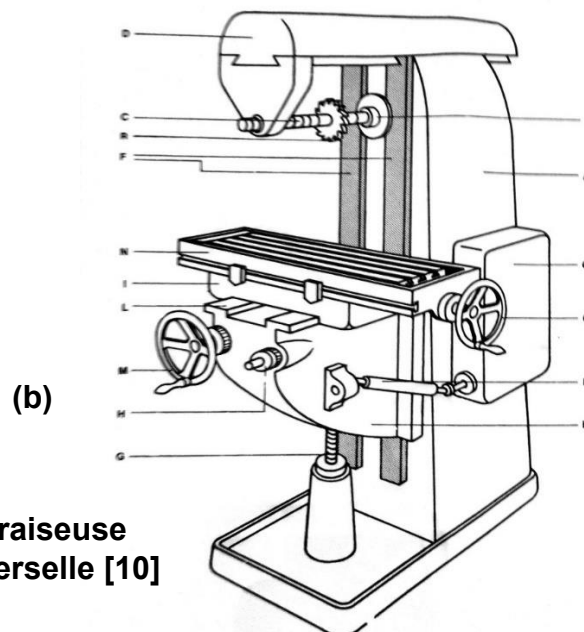


Figure II.10 (b):Fraiseuse horizontale universelle [10]

Fraiseuse universelle on désigne habituellement ainsi toute machine dans laquelle le mécanisme à orientations multiples de la broche fait partie intégrante de l'ensemble mécanique, et n'est pas le fait de l'adaptation d'une tête amovible. Le système Hure (fig. II.11).



Figure. II.11 : Fraiseuse Universelle (Huré)

Utilisées pour exécuter de nombreuses formes de fraisage, y compris les formes hélicoïdales.

Fraiseuse verticale est équipée d'une broche porte-fraise verticale et inclinable. On rencontre toutefois les trois variants ci-après:

- a) Tête porte-broche reliée au bâti par une coulisse circulaire verticale (fig. II.12,2), ce qui permet une position oblique de la broche ;
- b) Tête porte-broche montée sur coulisse rectiligne verticale ; ce qui permet réglage et travail en plongée (fig. II.12, 1) ;
- c) Combinaison des solutions a) et b) (fig. II.12, 3).

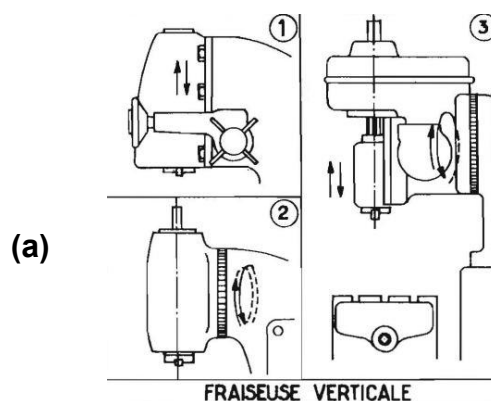


Figure. II.12 : Fraiseuse Verticale (1- Tête porte montée sur coulisse ; 2- Tête porte broche reliée au bâti ; 3- Combinaison des solution 1,2) [17] [8]

Fraiseuse pour outillages la fraiseuse pour outillages est une machine très souple, aux multiples possibilités de mouvements des têtes horizontales et verticales ainsi que de la table porte-pièce.

Employées pour le fraisage de pièces légères, mais de formes compliquées.

Éléments principaux d'une fraiseuse à outillages

A Bâti ou colonne.

B Chariot porte-broche.

C Broche de l'arbre porte-fraise horizontale.

D Commande de mise en position des broches et avance transversale.

E Latte millimétrée pour la vérification de la position transversale.

F Support de la tête porte-broche verticale.

G Tête porte-broche verticale et inclinable.

H Broche verticale.

I Commande de l'avance sensitive de la broche verticale.

L Support de la table porte-pièce.

M Commande des déplacements longitudinaux de la table.

N Latte millimétrée pour le contrôle des déplacements longitudinaux.

O Commande des déplacements verticaux de la table.

La machine ne possède pas de chariot transversal. L'avance transversale est donnée par le chariot porte-broche horizontale B.

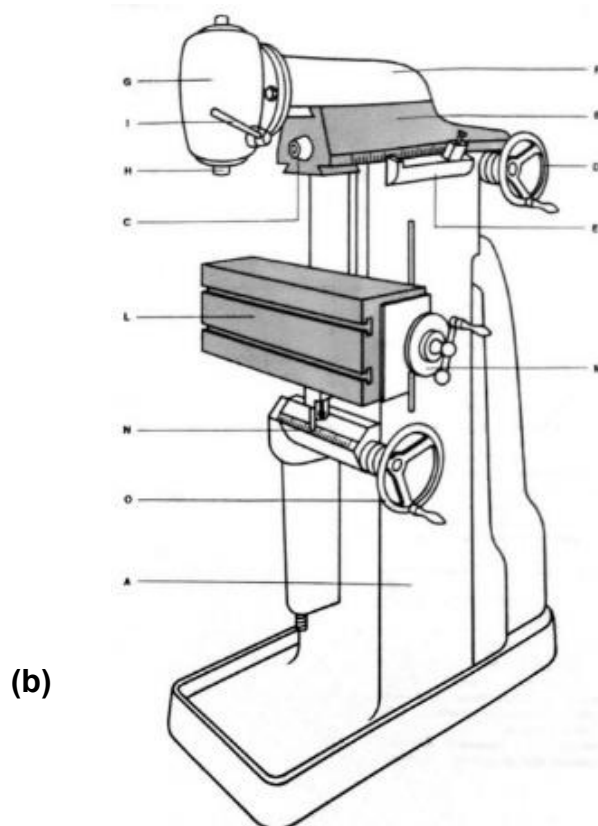


Figure II.12 bis: Fraiseuse vertical

Fraiseuse à banc fixe (genre raboteuse) c'est une fraiseuse de production. Elle peut travailler, en même temps, avec une ou plusieurs fraises montées sur un ou plusieurs arbres. Utilisées pour dresser et usiner des pièces de grandes dimensions.

Fraiseuse à copier ou à reproduire cette fraiseuse est munie d'un dispositif qui permet de reproduire de contours même compliqués, suivant un modèle ou gabarit qui guidera la fraise le long de la forme à exécuter.

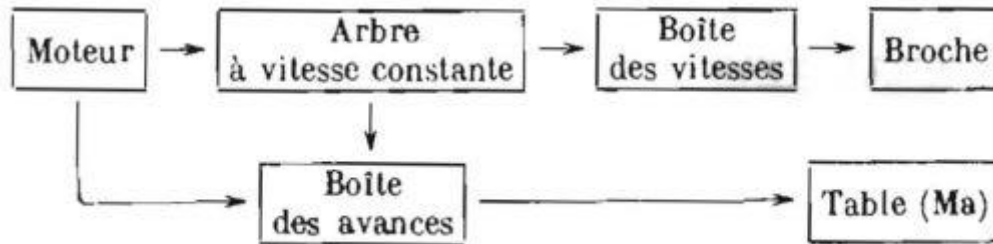
Utilisées pour l'exécution de pièces aux formes compliquées et irrégulières.

II. 3.3. Chaines cinématiques des fraiseuses

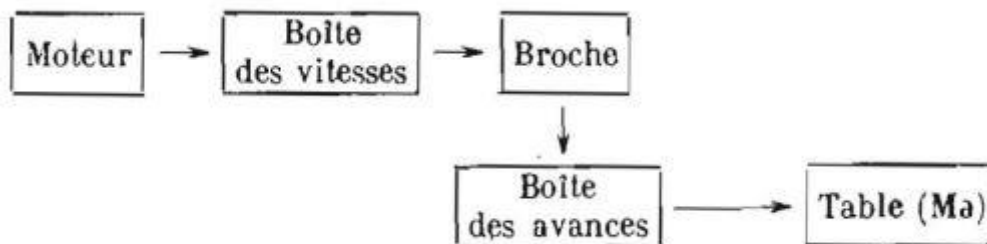
Nous avons fait allusion aux deux systèmes de chiffrage des avances d'une machine à fraiser : avance par minutes **A** et avance par tour de broche **a**.

On obtient l'un ou l'autre de ces deux systèmes selon le dispositif adopté pour la prise du mouvement de la boîte des avances :

1°Cas : Prise du mouvement sur le moteur ou sur l'arbre à vitesse constante (arbre primaire de la boîte de vitesses), cela fournit des avances par minutes.



2°Cas : Prise du mouvement sur la broche même. Cela fournit des avances par tour de broche.



Les machines modernes sont munies de moteurs électriques auxiliaires ou de dispositifs permettant les déplacements rapides des organes portepièces. [14]

II.3.4. Gammes de vitesses et d'avances des machines à fraiser

Sur toute fraiseuse bien étudiée, la gamme des nombres de tours de broche n , de même que la gamme des avances, doit être établie suivant une progression géométrique.

Les termes extrêmes de cette progression devraient être au moins dans le rapport de 1 à 100 afin de permettre, dans de bonnes conditions de coupe, l'usinage de tous matériaux, depuis les aciers alliés jusqu'aux métaux tendres.

Pratiquement, cette proportion est difficile à tenir. Certains constructeurs ont prévu sur leurs machines une gamme normale et sur demande, une gamme rapide.

II. 3.5.Graissage et Lubrification

1. Graissage [15]

Les fraiseuses demandent un graissage adéquat et constant de leurs organes mobiles. Suivant le genre de machine, le graissage peut être : forcé, semi-automatique, par barbotage.

L'huile après avoir lubrifié les organes situés le long du circuit, retombe dans le réservoir.

1.1 Graissage forcé : c'est un graissage automatique, obtenu au moyen d'une pompe commandée par le moteur de la machine. Il sert au graissage de la boîte de vitesses des avances et des engrenages de commande de la broche.

L'huile suit un circuit déterminé, dans lequel elle est envoyée sous pression par une pompe à piston ou à engrenages, qui l'aspire d'un réservoir appelé carter d'huile.

1.2 Graissage semi-automatique : sert pour le graissage de l'ensemble de la console et des différents chariots. Dans ce système l'huile est amenée directement aux organes à lubrifier par un circuit tubulaire.

1.3 Graissage par barbotage : employé pour graisser la boîte de vitesses de la broche et des avances. Les engrenages inférieurs de la boîte sont partiellement immergés dans un bain d'huile.

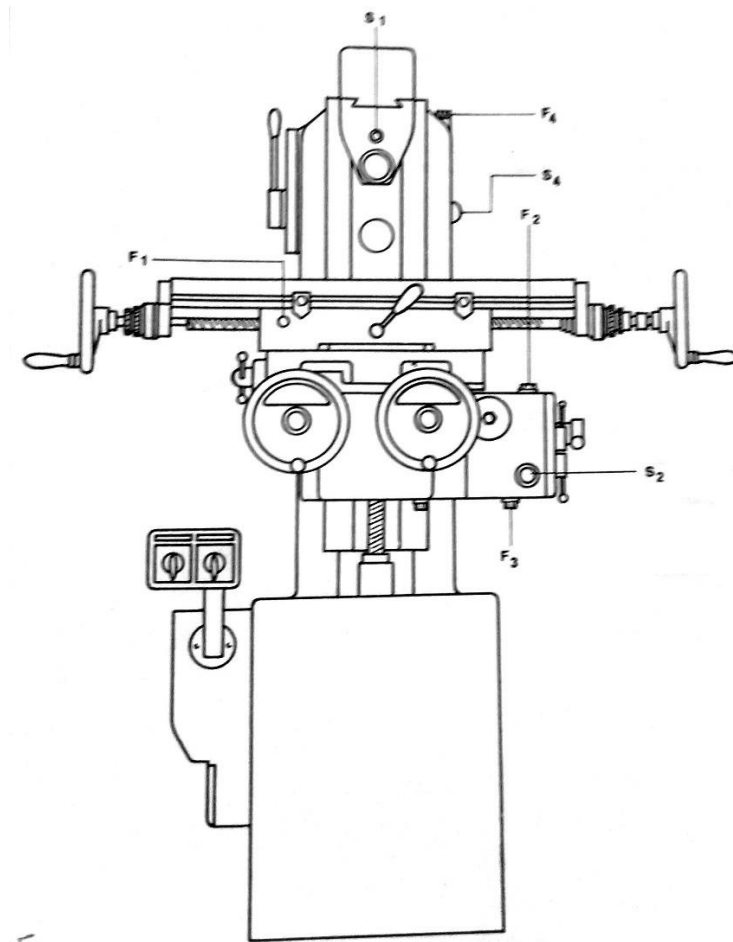


Figure. II.13 : Le graissage d'une fraiseuse [15]

La (figure. II.13) représente une petite fraiseuse, dont on a mis en évidence les regards de contrôle et les ouvertures pour le remplissage ou la vidange d'huile.

F1 Graissage des surfaces coulissantes transversales et longitudinales.

S1 Regard ou témoin du niveau d'huile dans le support.

F2 Ouverture pour le remplissage d'huile dans la console.

S2 Témoin du niveau d'huile dans la console.

F3 Vidange de la console.

F4 Ouverture de remplissage d'huile dans la boîte de vitesses de la broche.

S4 Témoin du niveau d'huile de la boîte.

2. Lubrification [15]

La lubrification consiste à faire arriver un abondant jet de fluide dans la zone de contact entre l'outil et la pièce en cours d'usinage.

La lubrification offre les avantages suivants :

- Une moindre usure des taillants, ce qui assure une longévité plus grande de la fraise.
- Réduction de l'encrassement des dents causé par l'enlèvement des copeaux.
- Une meilleure finition des surfaces fraisées.

2.1 Lubrifiants

Les principaux lubrifiants sont : **[15]**

- a) Emulsion d'eau et d'huile.
- b) Huile de coupe.
- c) Pétrole.

Le pourcentage d'huile varie de 5% pour l'usinage des aciers doux, du bronze et du laiton, à 25% pour les aciers durs.

Les principales qualités demandées à un lubrifiant sont :

- Pouvoir élevé de refroidissement.
- Eviter l'encrassement des taillants.
- Viscosité réduite.
- Absence de corrosion et d'oxydation

2.2. Exemple d'un circuit de lubrification

La figure.10 montre le schéma d'une installation simple de lubrification pour une fraiseuse horizontale.

A Socle de la machine.

B Réservoir du lubrifiant.

C Moteur de la pompe de lubrification.

D Commutateur de commande de la pompe.

E Corps de la pompe.

F Filtre noyé dans le réservoir.

G Canalisation d'arrivée du lubrifiant.

H Tube articulé accouplé au robinet.

I Support du robinet sur les glissières inférieures du support.

L Articulation pour l'orientation et la fixation de l'embout.

M Robinet.

N Rainure de la table et canal d'irrigation du lubrifiant.

O Canalisation de retour du lubrifiant au réservoir.

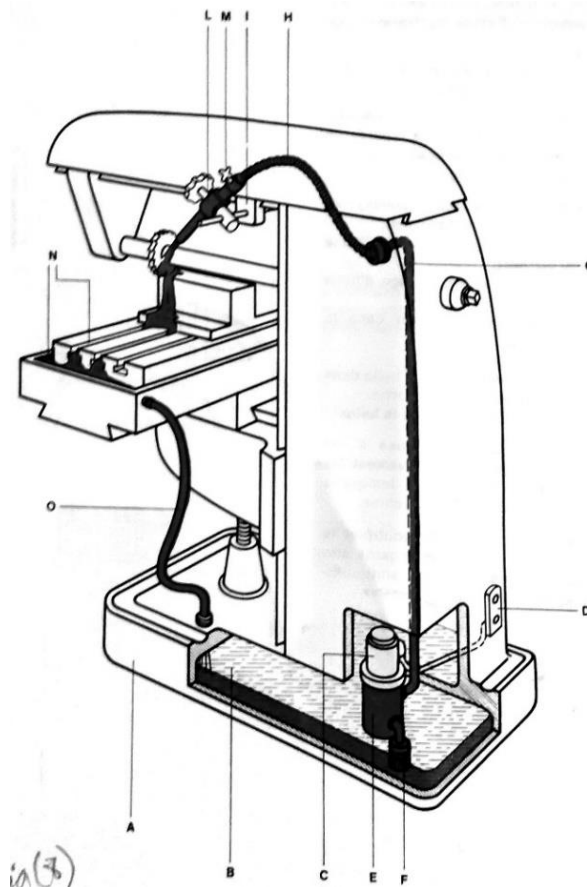


Figure.II.14 : Le Schéma d'une installation simple de lubrification pour une fraiseuse horizontale [15]

II.3.6. Modes de fixation des pièces :

Avant de l'usinage des pièces, il faut s'assurer de :

- La mise en position de la surface usinée par rapport aux référentielles machines.
- L'immobilisation de la pièce en cours d'usinage.
- L'absence de déformation au moment du blocage.

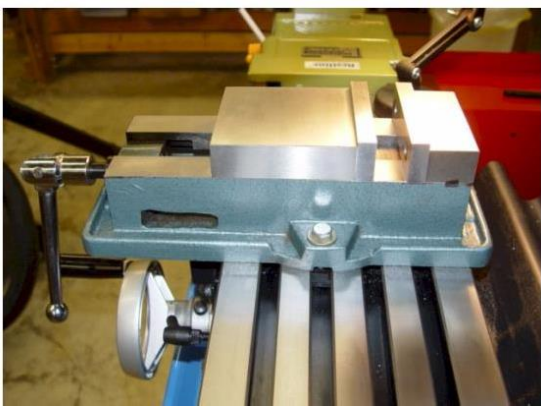
6.1. L'étau :

Ce porte-pièces est très utile pour le blocage en fraisage. Le serrage peut être assuré de façon mécanique, par action hydraulique ou pneumatique. L'utilisation de mors spéciaux permet l'immobilisation des pièces

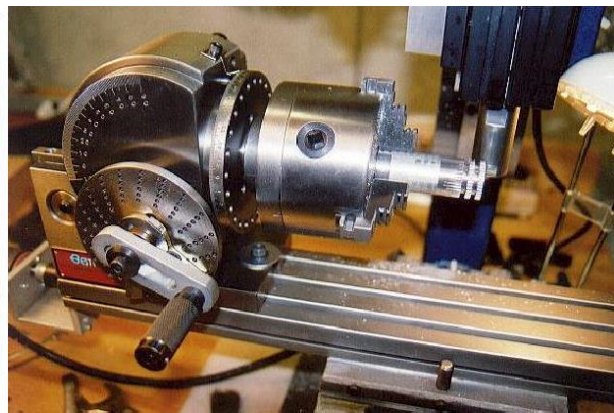
cylindriques en positions axe horizontale, ou verticale. L'immobilisation des pièces minces, et le fraisage de surface oblique.

6.2. Plateau circulaire :

Ce porte-pièce est pourvu d'une table circulaire dont les rainure en T permettent le bridage des pièces de la même façon que sur la table de fraiseuse.



Fixation sur la table avec les brides



Plateau circulaire

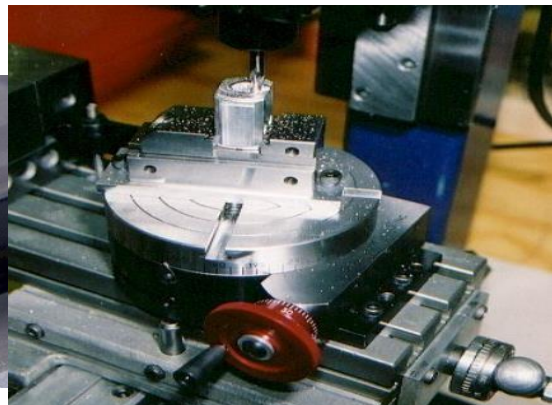


Figure II.15 : Modes de fixation des pièces (l'étau ; plateau circulaire

II.4. Les deux modes de fraisage

Une fraise peut présenter des arêtes tranchantes :

- Soit sur sa surface latérale ;
- Soit en bout (arêtes perpendiculaires à l'axe) ;
- Soit latéralement et en bout à la fois.

Les fraises peuvent donc engendrer :

- Des surfaces planes parallèles à leur axe ;
- Des surfaces planes obliques par rapport à leur axe ;
- Des surfaces planes perpendiculaires à leur axe ;
- Des surfaces quelconques en forme et position.

L'aspect et le degré de fini de ces surfaces varient selon la position de la surface engendrée par rapport à l'axe de la fraise. [16]

II.4.1. Les deux types de fraisage :

- **Le fraisage en bout (de face) (frb)** : L'axe de la fraise est perpendiculaire au plan fraisé.

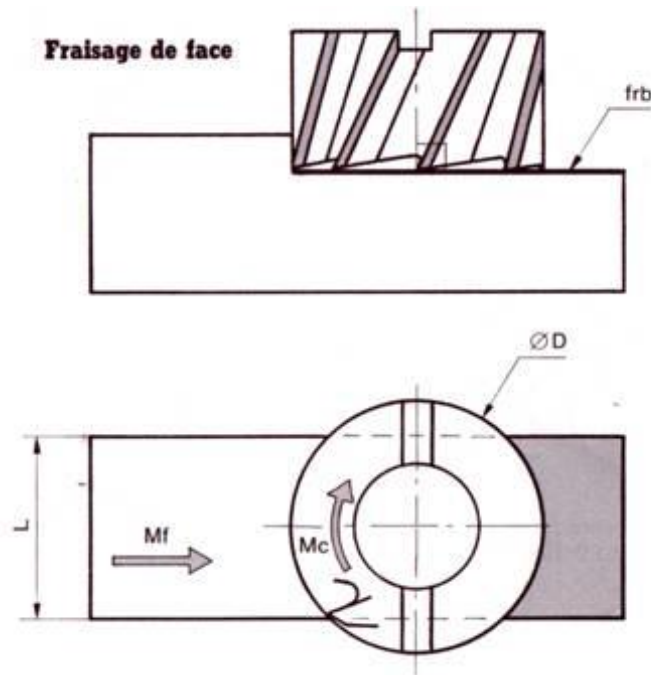


Figure. II.16 : Fraisage en bout [8]

L'aspect d'une surface usinée en fraisage en bout est caractérisé par une série de courbes sécantes appelées **cycloïdes** correspondant à la trace laissée par les dents de la fraise sur la pièce.

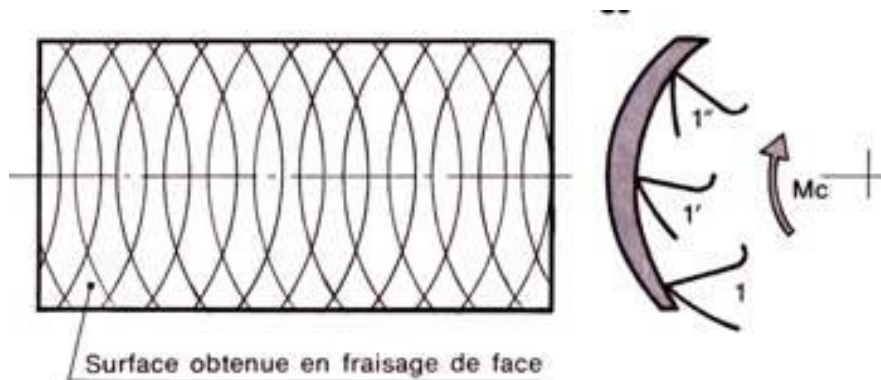


Figure. II.17 : Des traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce (fraisage en bout) [29]

- **Fraisage en roulant (de profil) (frr)** : la génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée.

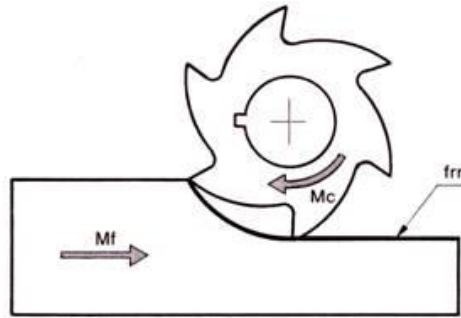


Figure. II.18 : Fraisage de profil [8]

Pour le fraisage en roulant, la surface usinée présente une **série d'ondulations** laissées par les dents de la fraise : celles-ci dépendent de l'avance et du diamètre de l'outil.

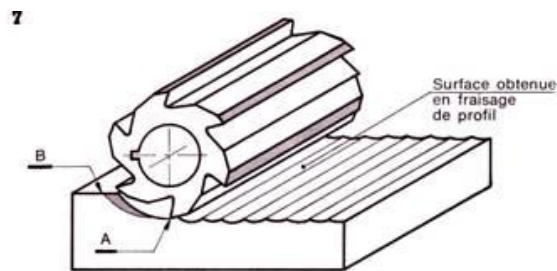


Figure. II.19 : Des traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce (fraisage en roulant) [30]

Les deux types de fraisage peuvent se trouver en application au cours d'une même opération. C'est le cas des fraises 2 tailles, 3 tailles, travaillant simultanément en bout et en roulant : c'est le fraisage combiné. [16]

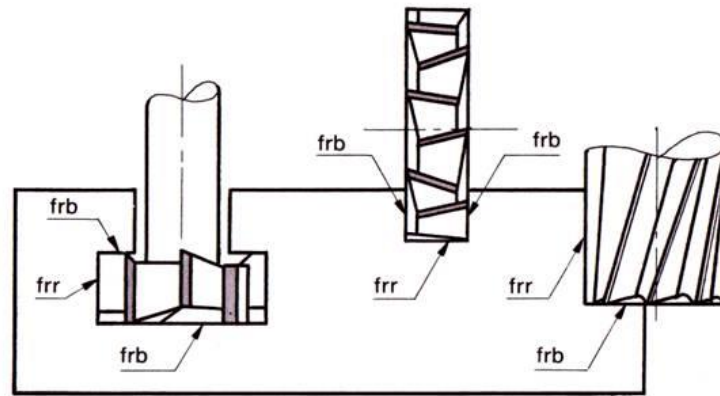


Figure. II.20 : Le fraisage combine

II.4.2. Les deux modes de travail :

Que ce soit en fraisage de profil ou de face, on distingue deux modes de travail :

- Fraisage en <concordance>(ou en <avalant>) ;
- Fraisage en <opposition>.

A. Fraisage en concordance :

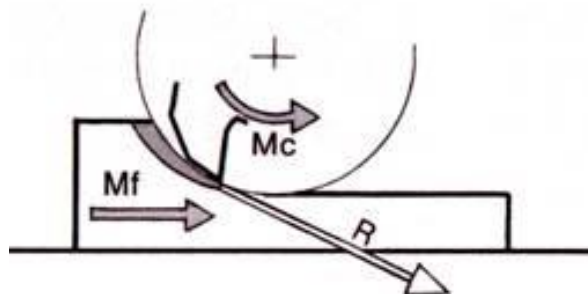


Figure.II.21 : Fraisage en concordance [17]

Dans la pièce, la trajectoire de rotation de la fraise est dans le **même sens** que le mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur maximale de copeau, solution favorable à l'obtention d'une bonne rugosité. La résultante des efforts de coupe R est dirigée dans le même sens que le M_f . Elle tend à faire plaquer la pièce sur ses appuis. Les efforts de coupe F_1 et F_2 tendent à appliquer la pièce sur ces appuis, par contre le jeu axial de fonctionnement vis-écrou est constamment rattrapé. [17]

B. Fraisage en opposition :

Dans la pièce la trajectoire de rotation de la fraise est **opposée** à celle du mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur nulle de copeau, il s'en suit que le métal est écroui jusqu'à ce que l'épaisseur devienne égale à l'épaisseur du copeau taillé minimal. La résultante R des efforts de coupe est dirigée dans le sens opposé au M_f . Elle tend à soulever la pièce de ses appuis. Les efforts de coupe F_1 et F_2 tendent à soulever la pièce qui doit donc être rigidement tenue, par contre le jeu axial de fonctionnement vis-écrou n'est pas rattrapé. [17]

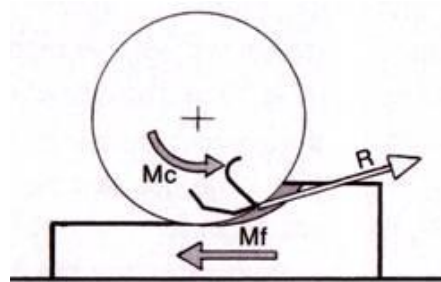


Figure. II.22 : Le fraisage en opposition [17]

II. 5. Opération de coupe

II. 5.1. Surfaçage (fraisage des surfaces planes) :

Comme on l'aura remarqué, la plupart des travaux réalisables sur les fraiseuses sont le fraisage de surfaces planes, appelés surfaçage.

Toutefois, il faut se rappeler que la fraiseuse n'est pas l'unique machine-outil employée pour ces travaux.

Le surfaçage peut être réalisé par les machines-outils suivantes : fraiseuses quand les surfaces sont larges, pas trop longues et qu'elles demandent une bonne planéité et un bon fini. Les faces qui exigent une bonne planéité et un bon parachèvement, comme les faces des glissements, des glissières ou coulisses, d'organes de machines, subissent un grattage après le fraisage. [19]

Dans la comparaison entre fraises à taille cylindrique ou périphérique et à taille en bout ou plane, on a vu les raisons pour lesquelles il est préférable d'utiliser la fraise à taille en bout pour le surfaçage.

La face doit être en premier lieu, dégrossie et ensuite finie.

Le dégrossissage devrait être réalisé en une seule passe, en laissant une surépaisseur de ~ 0.5 mm pour la finition, si l'on utilise des fraises en acier rapide, et de ~ 1 mm, si ce sont des fraises à denture rapportée en métal dur. Les vitesses de coupe et l'avance sont choisies, pour les deux passes, suivant les tableaux de l'atelier. [19]

La profondeur de passe se règle par le volant de commande du chariot inférieur ou console. Pour le mouvement d'avance, on insère la commande automatique.

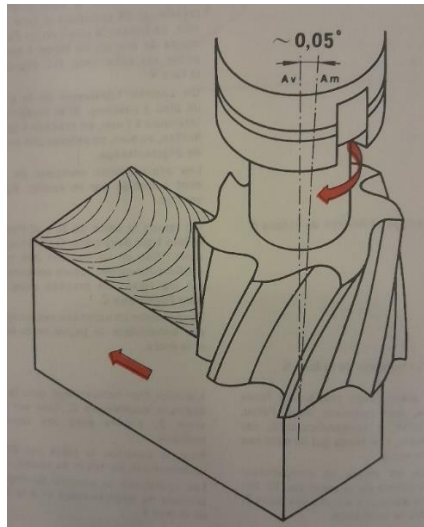


Figure. II.23 : opération de surfaçage

II.5.2.Rainurage :

L'usinage de rainures ou encoches est une opération typique du fraisage. La rainure peut être exécutée avec une fraise à trois tailles sur fraiseuse horizontale(A), ou avec une fraise à queue sur fraiseuse verticale(B).

Au moyen de la fraise à trois tailles, on obtient une rainure mieux usinée, surtout sur les flancs, qui ont, de ce fait une meilleure géométrie que celle obtenue par des fraises à queue.

En effet, cette dernière peut être sujette à une rotation légèrement excentrée et à de petits fléchissements latéraux, ce qui a pour résultat de rendre moins régulière la face usinée et la géométrie des rainures.

Dans certains cas particuliers, comme celui de la figure B par exemple, il n'est pas possible d'employer une fraise à rainurer et on doit nécessairement recourir à l'utilisation d'une fraise à queue. [19]

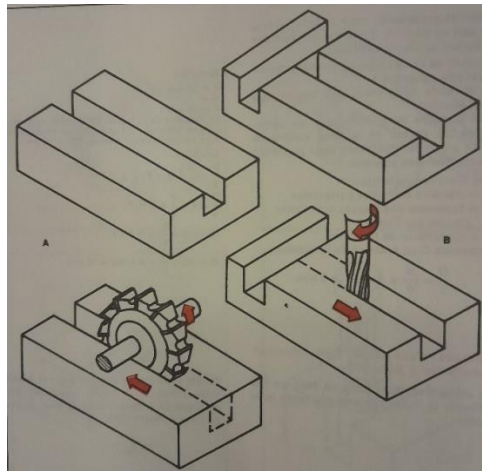
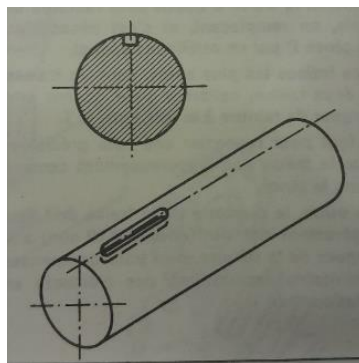
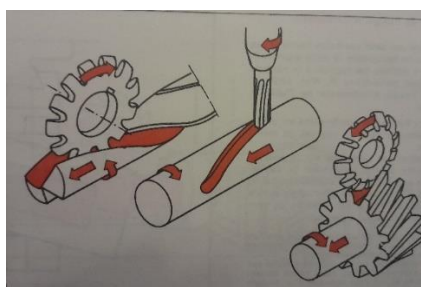


Figure. II.24 : opération de rainurage [19]

Parmi les types que nous trouvons :



Rainure de cale (figure.II.24,1) [19]



Rainurage hélicoïdale (figure. II.24,2)[19]

II.5.3. Epaulement:

Se réfère à la création d'une surface plane perpendiculaire à l'axe de rotation de la fraise. Cela implique généralement de définir une zone

spécifique sur la pièce à usiner ou la fraise peut créer une transition nette entre deux surfaces, souvent en enlevant le matériau excédentaire. Cela est couramment utilisé pour obtenir des bords droits et des contours précis dans l'usinage des pièces.

Ce fraisage peut être exécuté soit avec une fraise à trois tailles, soit par un couple de fraises ou par une fraise à queue.

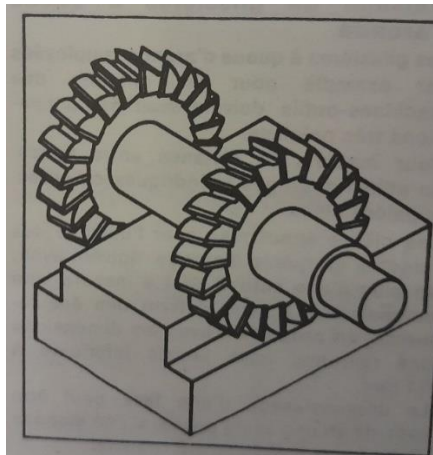


Figure.II.25 : Epaulement

II.5.4.Perçage - Alésage :

Les travaux de perçage et d'alésage sont assez rarement réalisés sur une fraiseuse, sauf pour des cas particuliers. L'opération de perçage est aisée si la fraiseuse dispose d'une avance sensitive de la broche, par contre, si la fraiseuse ne possède pas cette avance, le perçage s'avérera malaisé. En effet pour dégager le copeau et pour lubrifier, le mouvement vertical à donner au foret, devra s'effectuer en man œuvrant l'ensemble des chariots porte-pièce.

La fraiseuse présente le désavantage, de devoir fixer dans une pince, les outils d'un diamètre à 10mm. Ce qui oblige à changer, en même temps que l'outil, également la pince.

Les outils qui possèdent un cône Morse ($\varnothing > 10$ mm) peuvent être fixes directement dans un mandrin standard américain morse.

On évitera donc, quand ce n'est pas nécessaire, d'utiliser la fraiseuse pour forer, même dotée d'une avance sensitive de la broche, on doit chaque fois opérer une laborieuse substitution d'outils. [19]

L'avantage important offert par la fraiseuse en comparaison d'une perceuse, est d'éviter un traçage préalable de la pièce.

Les chariots longitudinal et transversal. De la fraiseuse, permettent de donner des positions exactes a la pièce à forer.

Ceci peut avantager le perçage sur fraiseuse même pour de petites séries de pièces en effet on évitée le traçage et on élimine l'utilisation d'outillages de forage pinces guides etc...

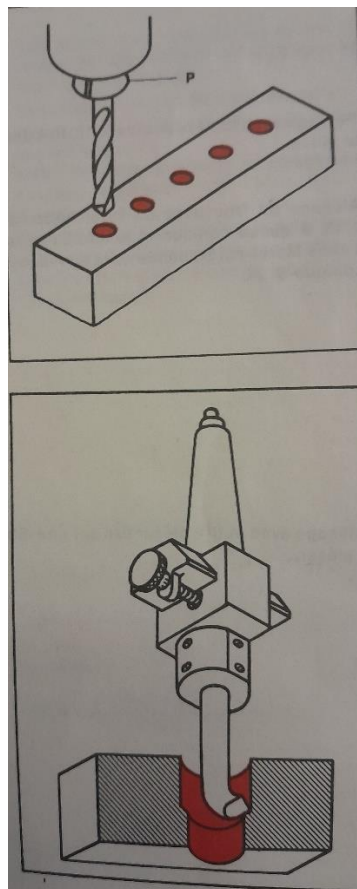


Figure. II.26, 1-2 : Les opérations de perçage et alésage [19]

II.5.5.Sciage – Profilage :

Le sciage :

Le sciage est un rainurage caractérisé par une grande profondeur de passe et une faible largeur de copeau ; il permet d'obtenir soit des <saignées>* profondes (fig.26.1,2) ; soit des débits par tronçonnage de barres ou jets de forme quelconque.

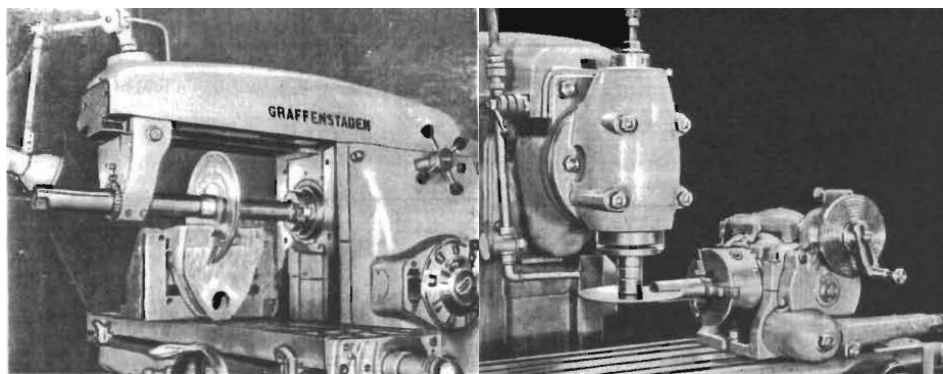


Figure. II.27.1,2 : Le sciage

Fraises utilisées ce sont des fraises-scies <à trancher> ; en forme de disque d'épaisseur 0.5 à 6mm et diamètres jusqu'à 300mm. Leurs faces latérales, rectifiées, sont légèrement évidées pour éviter le frottement en cours de travail.

On trouve actuellement plusieurs types de denture :

- _ Dentures courantes classées suivant le pas en dentures grosses, demi grosses, moyennes, fines.
- _ Dentures à coupes latérales alternées.
- _ Dentures à grand rendement composées de dents d'ébauche et de finition alternées, les premières présentant une surélévation **h** par rapport aux suivantes et deux chanfreins latéraux, à 45°. [19]

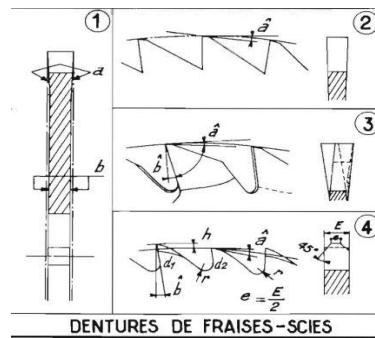


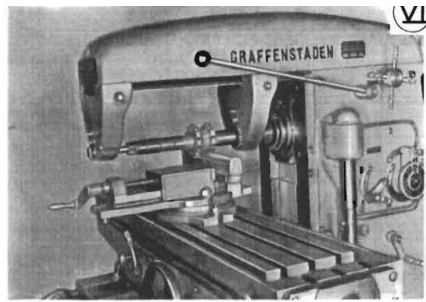
Figure. II.28 : Dentures de fraises-scies

Le profilage :

Nous rangeons dans cette catégorie tous les travaux effectués par un fraisage de profil dans lequel la génératrice de coupe de l'outil présente une forme suivante :

- _ une ligne droite non parallèle à l'axe ;
- _ une ligne brisée ;
- _ une courbe quelconque.

Fraises utilisées si les fraises coniques ou biconiques à deux tailles sont généralement construites en <denture fraisée>, la grande majorité des fraises pour profilage appartient au type : <à profil constant et denture détalonnée>. Par suite de la valeur nulle de l'angle de pente d'affutage, chaque dent d'une fraise de ce type agit à la façon d'un poinçon plutôt que d'un outil de coupe. [19]



OPÉRATION DE PROFILAGE *Cliche' Soc. Alsacienne de Cons. Méca*

Figure. II.29 : Opération de profilage

CONCLUSION

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

Pour répondre à cet état de fait à fin d'augmenter la durée de vie et la qualité des pièces usinées, une démarche de modélisation globale de l'impact du procédé de fabrication est nécessaire. Toutes les étapes, à savoir depuis l'obtention du brut jusqu'à la finition de la pièce, doivent être respectées et étudiées. La modélisation de la coupe est particulièrement importante, car les opérations de finition, qui confèrent à la surface la majorité de ses propriétés, sont généralement des opérations d'usinage.

CHAPITRE III

ETAT DE SURFACE

EN USINAGE

Introduction

L'État de surface est un paramètre technologique très important du fait qu'il est en relation avec de nombreuses propriétés d'usage des pièces mécaniques, les défauts de surface jouent un rôle primordial dans l'aptitude d'une pièce à remplir une fonction donnée. L'usinage est l'un des procédés les plus utilisés dans l'industrie mécanique. Le fraisage reste le plus souvent nécessaire à l'obtention des produits finaux, surtout si les tolérances exigées sur le produit final sont faibles.

III.1.État de surface

III.1.1. Généralités sur les états de surface :

La structure superficielle lors de l'usinage des métaux par enlèvement de copeaux est déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la surface usinée. Elle varie essentiellement selon la méthode d'usinage, les conditions de coupe, la matière à usiner et la stabilité d'ensemble de l'opération[21].

III.1.2. Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface

En mécanique, l'état de surface est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées [21].

Parmi les divers facteurs qui affectent l'état de surface d'une pièce mécanique, les facteurs dominants sont la géométrie de l'outil de coupe, l'avance, et les vibrations relatives entre l'outil et la pièce [22].

D'après Ichikawa, (la figure.III.1) montre les différents facteurs qui peuvent influencer sur l'obtention de l'état de surface désirée dans le cas d'usinage.

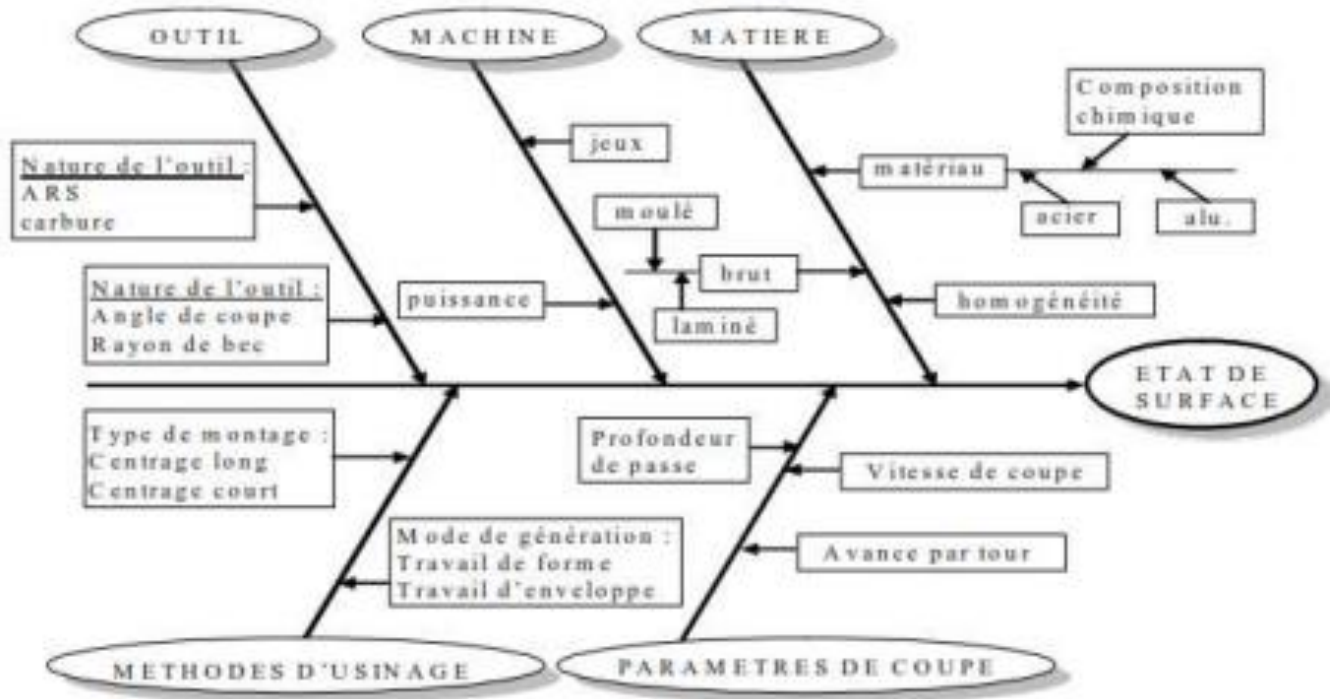


Figure.III.1 : Facteurs intervenant sur l'obtention de l'état de surface [13]d'après la méthode Ichikawa

III.1.3. Les différents défauts surfaciques

On appelle état de surface l'ensemble des écarts géométriques de la surface d'une pièce par rapport à sa spécification idéale. L'aptitude d'une surface à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions notamment des caractéristiques de ces états de surface. Les défauts de surface jouent un rôle important dans l'aptitude d'une pièce mécanique à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (Fig. III.2). L'état de rugosité dépend en effet des caractéristiques très diverses telles que :

- le frottement de glissement et de roulement,

- la résistance au matage,
- l'étanchéité,
- la résistance à l'écoulement des fluides,
- la facilité d'accrochage des revêtements,
- la résistance aux efforts alternés.

Les différents défauts peuvent se classer en différents ordres ou types :

- ❖ Défauts macro-géométriques des premiers et deuxièmes ordres.
- ❖ Défauts micro-géométriques des troisièmes et quatrièmes ordres.

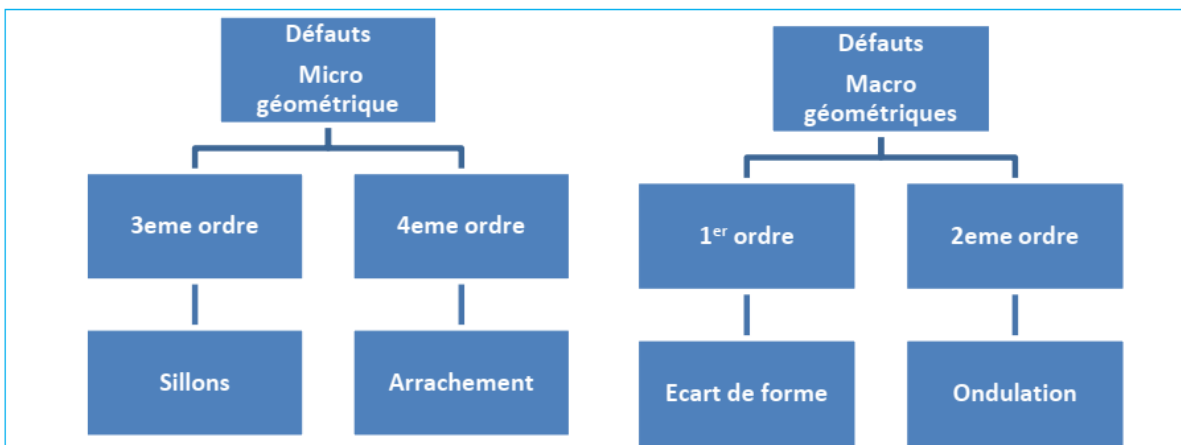


Fig.III.2 : Défauts Macro géométriques et Micro géométriques

III. 1.3.1 Prise en compte des défauts du 1er et 2ème ordre

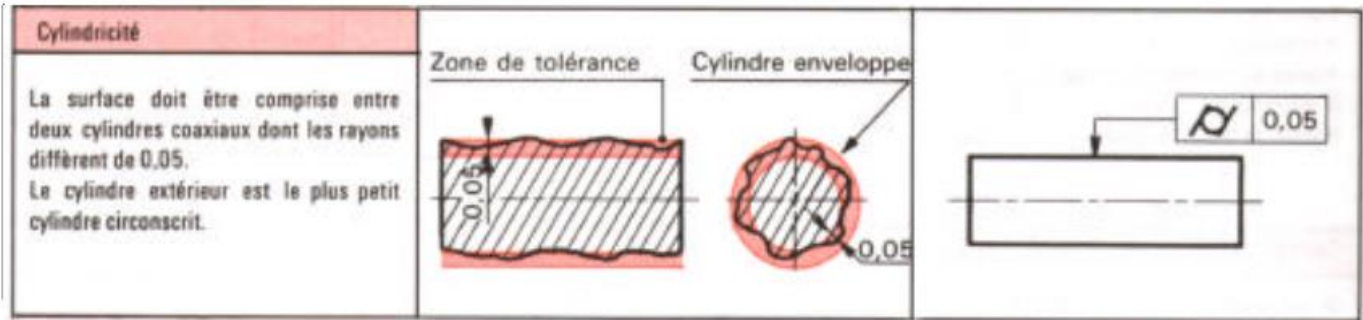
Ces défauts sont pris en compte pour la validité des pièces par les

Tolérances de forme :

SYMBOLES DE FORMES	
PLANEITE	
RECTITUDE	
CYLINDRICITE	
CIRCULARITE	
FORME D'UNE SURFACE QUELCONQUE	
FORME D'UNE LIGNE QUELCONQUE	

Tableau.III.1 : symbole de forme

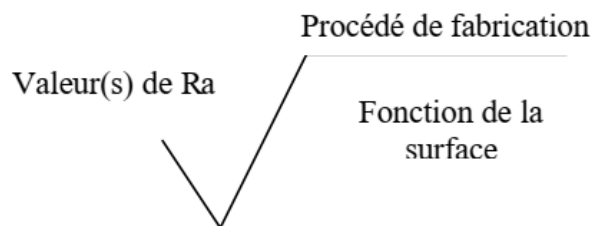
Exemple d'application :



III. 1.3.2. Prise en compte des défauts du 3 EME et 4 EME ordre

Ces défauts qui caractérisent la rugosité de la surface sont pris en compte par les critères de rugosité.

Nous ne considèrerons ici que l'écart moyen arithmétique noté **Ra** et dont la valeur est indiquée en μm .



Indication normalisée :

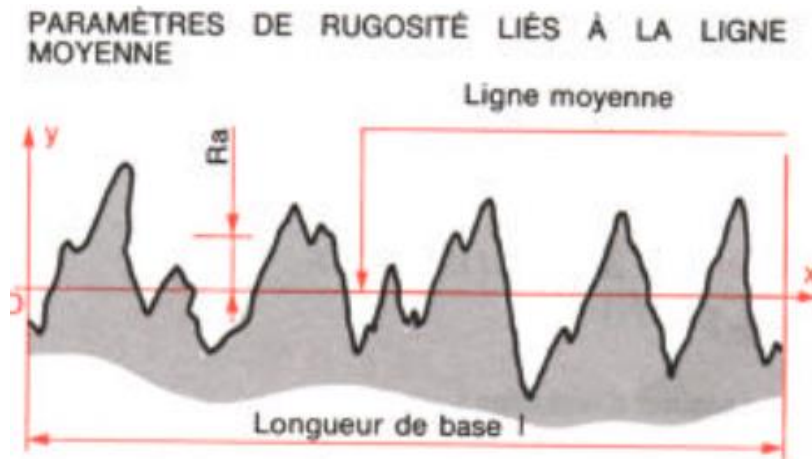


Figure.III.3 : paramètres de rugosité [28]

III.1.3.3. Défauts de position des surfaces entre-elle

Ces défauts sont pris en compte par les tolérances d'orientation, de position et de battement.

Ces tolérances définissant la position de surfaces entre-elles, on distingue :

- Les surfaces dites de référence désignée par ou
- Les surfaces désignées repérées par

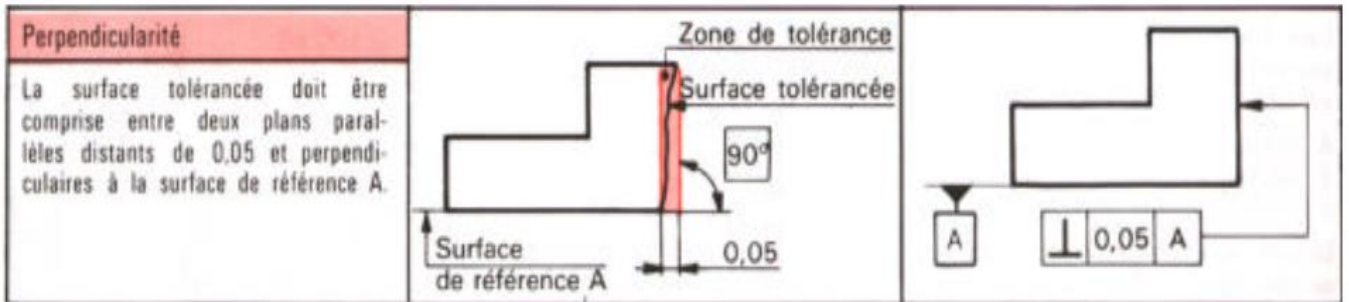
✓ Tolérances d'orientation :

Elles définissent l'orientation d'une surface par rapport à une autre. Au nombre de trois: Inclinaison, Parallélisme, Perpendicularité.

	TOLÉRANCES D'ORIENTATION		
SYMBOLE			
SIGNIFICATION	Inclinaison	Parallélisme	Perpendicularité

Tableau.III.2 : tolérances d'orientation

Exemplé d'application :



✓ **Tolérances de position:**

Elles définissent la position d'une surface par rapport à une autre surface ou à un groupe de surfaces.

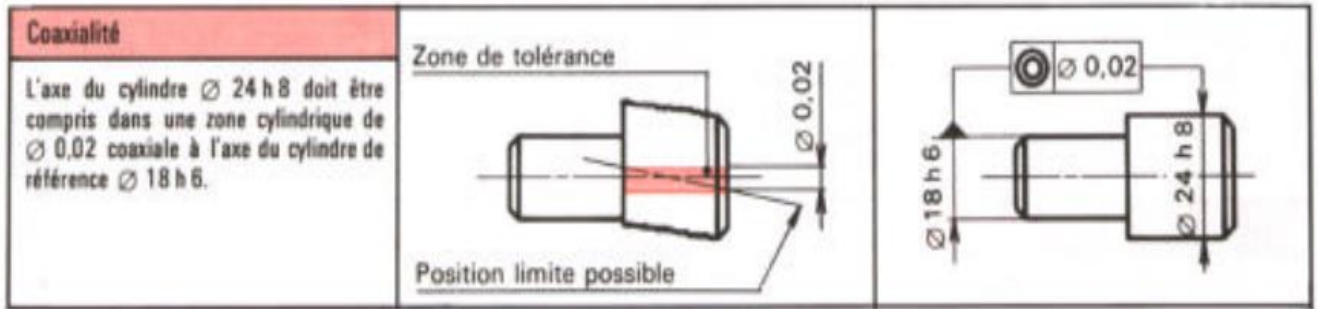
Au nombre de trois: **Localisation, Coaxialité, Symétrie.**

TOLÉRANCES DE POSITION		
Localisation	Coaxialité Concentricité	Symétrie

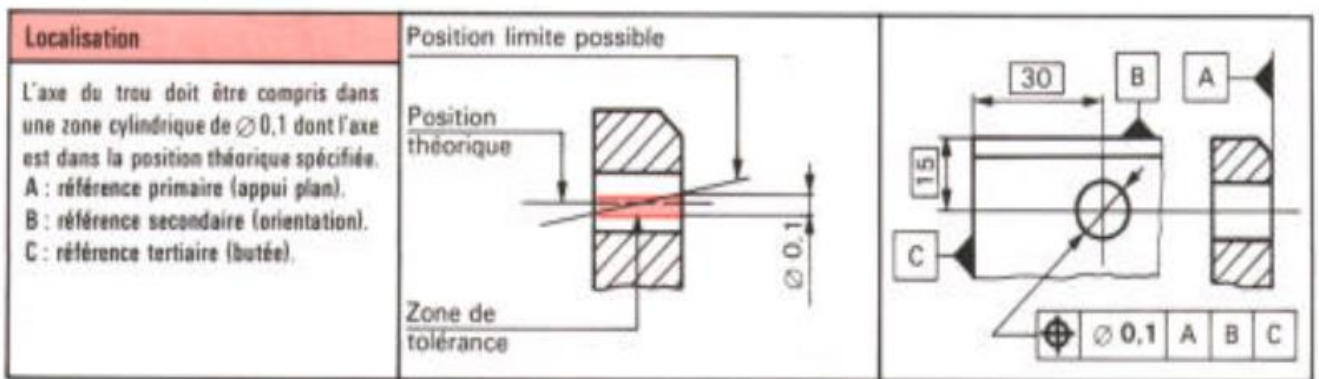
Tableau.III.3 : tolérances de position

Exemple d'application :

On notera le caractère Ø dans la valeur de la tolérance lorsque la zone de tolérance est un cylindre.



Dans le cas d'une localisation, on remarque que les cotes qui permettent de situer la forme localisée (ici un perçage), sont encadrées et sans tolérance. En effet, la tolérance de ces cotes est incluse dans la tolérance de localisation.



✓ **Tolérances de battement:**

Elles ne s'appliquent qu'aux pièces de révolution, dans le sens radial ou axial.

Battement simple (ligne) Battement total (surface).



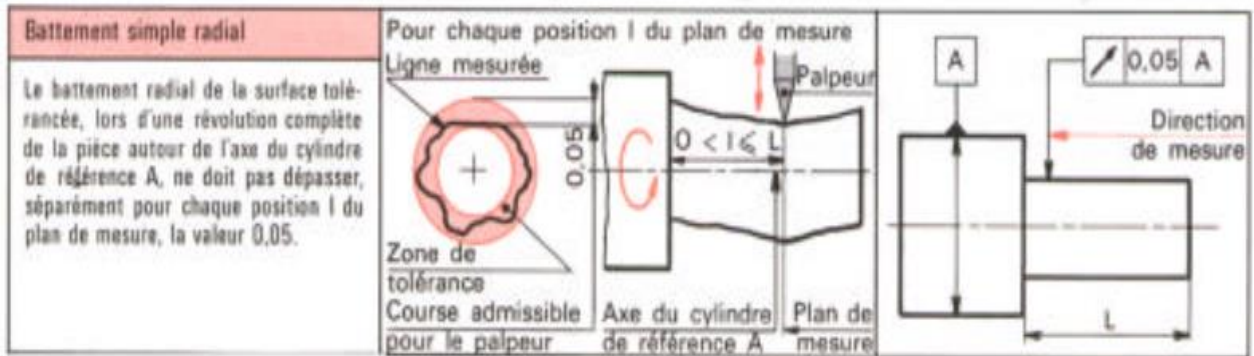
SYMBOLE		
SIGNIFICATION	Battement simple	Battement total

Tableau.III.4 : tolérances de battement

Exemple d'application :



I.2. La rugosité

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique. Si les surfaces usinées ne sont pas parfaites, c'est parce qu'elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, etc. Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.). Plus l'indice de rugosité est faible, plus l'état de surface est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [23]

III.2.1. Critères de rugosité

Schématisons une surface réelle par son profil géométrique dont les écarts HI par rapport à la valeur nominale sont donnés en dix points (Fig.III.4)

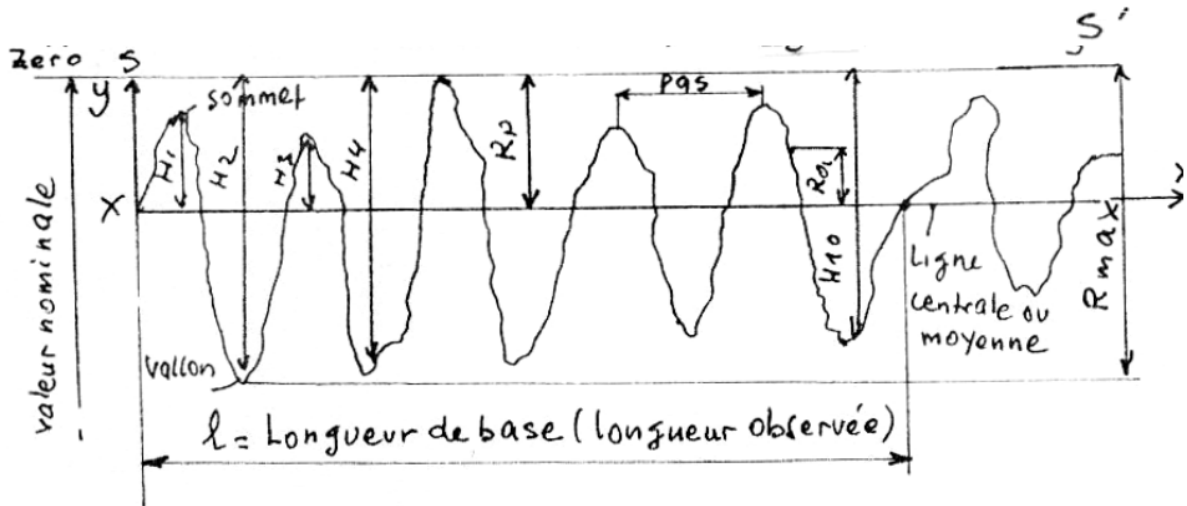


Figure. III.4 : Caractéristique du profil [28]

L'observation d'une telle surface permet de la caractériser par :

- Le profil géométrique SS' , plan de section théorique passant par les sommets les plus élevés.
- La ligne centrale ou moyenne XX' équilibrant sommets et vallons située de part et d'autre dans la longueur de base l , elle sert de zéro à R_a dans les profilomètres.
- L : est la longueur de base qui est choisie de telle façon qu'elle ne doit pas comprendre d'autres défauts. Elle est normalisée et fonction de la valeur R_p .

l en mm	R_p en microns
0,08	0 à 0,5
0,25	0,5 à 0,6
0,80	1,5 à 10
2,50	10 à 40
8,00	40 à 63
25,00	63 à 320

Tableau.III.5 : les valeurs de L en fonction de R_p

Une rugosité est définie par trois valeurs fondamentales appelées critères de rugosité :

- **Rmax** : profondeur maximale : C'est la distance entre le plus haut sommet et le plus bas vallon ou creux.
- **Rp**:profondeur moyenne entre SS' et XX'.

$$R_p = \frac{(H_1 + H_3 + H_5 + H_7 + H_9) - (H_2 + H_4 + H_6 + H_8 + H_{10})}{5}$$

(Eq.6)

- **Ra**: écart moyen arithmétique, des ordonnées y par rapport à XX' :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dy = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

(Eq.7).

La fabrication d'une surface est d'autant plus coûteuse que la rugosité est faible. Chaque procédé de fabrication est limité dans l'obtention de la rugosité.

- **R_v** : Profondeur maximale du profil de rugosité R en dessous de la ligne moyenne sur la longueur d'évaluation l_m .

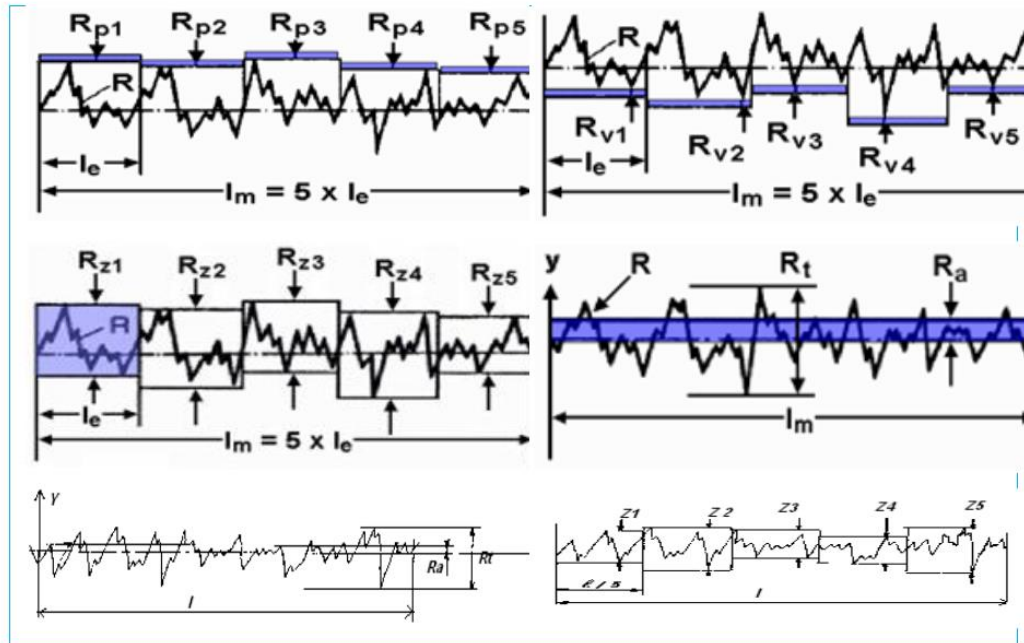


Fig.III.5 : Les différents critères de la rugosité. [28]

III.2.2. Mesure de la rugosité

Le développement des instruments de mesure de surfaces a commencé dès 1919, par un dispositif mécanique simple, attribué à Schmalz c'est le premier instrument destiné à l'usage d'engineering. C'est Berndt qui en 1924 eu l'idée de l'utilisation des méthodes optiques pour la mesure de surface, suivit plus tard (en 1928) par Andrews. La mesure de surface a toujours été un grand souci dans tous les pays du monde. Dès 1930 en URSS Limnik a élaboré de nouvelles méthodes spécifiques basées sur l'interférométrie pour mesurer l'état de surface. Le premier appel à la normalisation des surfaces a été lancé aux Etats-Unis par Harrison en 1930.

Cet appel a incité Abatt en 1933 à développer un instrument de mesure de surface qui a pour principe la technique dite de palpement, malgré la

lenteur de son développement qui a duré plusieurs années et l'hésitation de son emploi au début de sa conception, aujourd'hui cette technique est utilisée couramment. Plus tard en 1935 l'analyseur de surface conçu par la Ciede développement de brosse de Cleveland a eu plus de succès que l'instrument d'Abbat parce qu'il avait un enregistreur de diagrammes. En 1934 en Allemagne KARL ZEISS a conçu plusieurs instruments optiques de mesure de surface. En Angleterre en 1939 Schlesinger a étudié les problèmes liés à la spécification des surfaces convenables, ses travaux ont été édités en 1940 et publiés dans des articles en 1942. L'instrument de mesure des surfaces le plus réussi a été l'auto collimateur pour la mesure de la planéité plutôt que de la rugosité [24].

Il existe plusieurs moyens d'évaluer l'état de surface que l'on peut classer en trois groupes selon que l'évaluation est effectuée sur une surface ou sur un profil. Ces moyens sont utilisés :

Soit couramment dans l'industrie, appareil à palpeur avec contact, méthodes mécaniques. Soit rarement pour des applications spécifiques, appareil à palpeur sans contact, méthodes optiques ; soit encore plus rarement dans des laboratoires de recherche et développement [25].

Méthodes mécaniques en raison de leurs simplicités et leurs grandes diversités, les méthodes mécaniques peuvent englober une vaste gamme de paramètres de rugosité, les instruments conventionnelles de mesure de surfaces utilisant ces méthodes présentent certains inconvénients tels que :

- Technique relativement lente,
- La force du palpeur peut parfois endommager la surface,
- Limitation sur des secteurs de mesure.

Les avantages évidents sont :

- Souplesse pour adopter une large diversité de forme verticale,
- Très haute résolution dans la direction verticale [26].

III.2.2.1. Appareils à palpeur :

Dans l'industrie le moyen le plus utilisé est l'appareil de mesure d'état de surface à palpeur, avec contact de ce dernier sur la surface à caractériser (profilomètre mécanique 2D). Suivant son degré de perfectionnement, ce type d'équipement permet la mesure de tous ou parties des paramètres d'états de surface. En effet, l'évaluation des paramètres de profil primaire et d'ondulation nécessite une référence de guidage externe. Représente, de façon schématique, un appareil à palpeur dont les différents composants sont définis ci-après : Chaîne de mesure : chaîne fermée qui comprend tous les éléments mécaniques reliant la pièce à mesurer et la pointe du palpeur.[27]

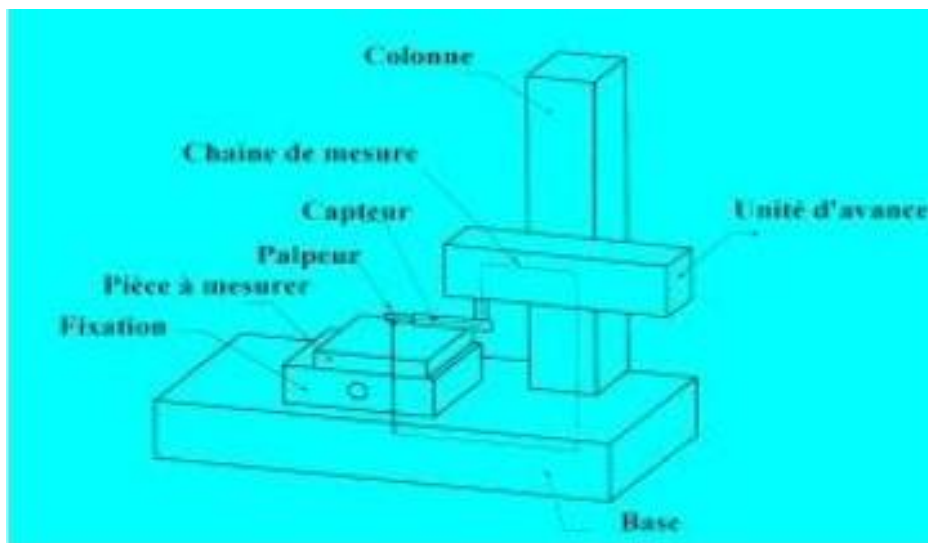


Figure.III.6 : présentations schématiques d'un appareil à palpeur

III. 2.2.2. Le rugosimètre :

Le rugosimètre est un instrument de mesure avec contact. Son palpeur parcourt la surface à mesure afin d'en extraire différentes mesures

concernant les paramètres de rugosité et d'ondulation dans certains cas. Les rugosimètres sont des instruments maniables à faible investissement, ce qui en fait l'un des appareils les plus accessibles pour inspecter les surfaces de vos produits. Il existe toutefois différents types de rugosimètres. [27]

III.2.2.2.1. Le rugosimètre avec patin :

C'est l'entrée de gamme. Le palpeur de cet appareil est guidé par un patin, de cette manière, il ne permet de mesurer qu'une surface plane avec un patin, le palpeur ne peut mesurer que les paramètres de rugosité. Le patin permet de guider le palpeur, mais sa présence peut affecter l'exactitude de la mesure sur certains types de surface. Toutefois, le patin rend l'appareil robuste et facile à transporter. [27]

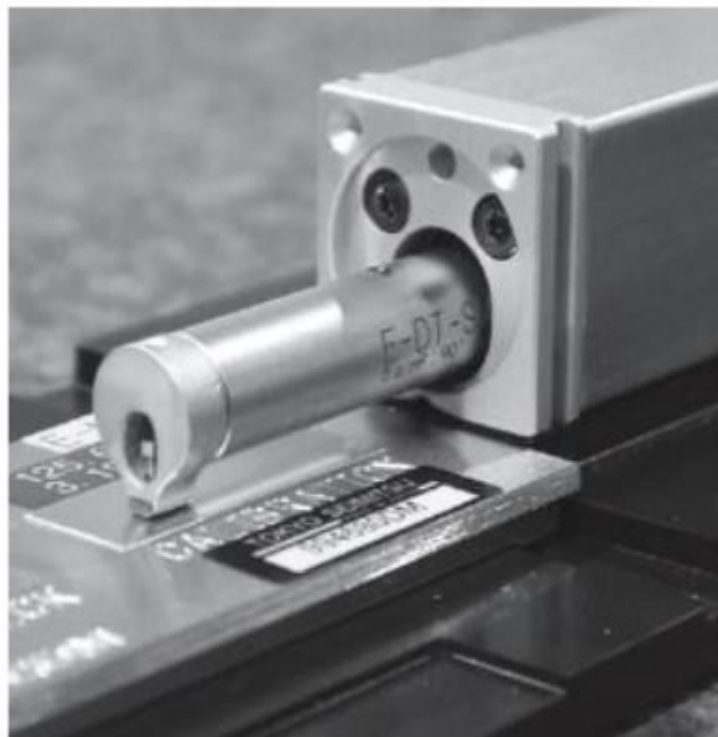


Figure.III.7 : Rugosimètre avec patin

III.2.2.2.2. Le rugosimètre sans patin

À l'inverse, les rugosimètres avec palpeur sans patin utilisent un guide interne de l'appareil pour contrôler le palpeur. Ce guide interne est capable d'effectuer de gérer des surfaces plus complexes.

Les rugosimètres sans patin sont souvent un choix préférable puisque le guide interne permet au palpeur d'obtenir de bien meilleurs résultats C'est également un excellent choix pour effectuer des mesures sur des empreintes Plastiform.



Figure.III.8 : Rugosimètre avec patin

III. 2.2.2.3. Mesure tridimensionnelle

La caractérisation de l'état d'une surface ne peut se limiter à l'analyse d'une trajectoire. L'objectif recherché est la caractérisation et l'analyse de l'intégralité d'une surface ou d'une portion de surface est pour connaître son relief, sa texture et ses défauts de surface. Les avancées technologiques repoussent toujours la connaissance et la mesure des états de surface. Ces dernières années ont vu un grand développement d'équipements destinés à la quantification de la topographie de surface, grâce à l'évolution

- Des appareils de mesure à contact (ajout d'un troisième axe de mesure).
- De la microscopie à haute résolution.
- Du traitement de l'information et du traitement d'image.

La mesure tridimensionnelle des états de surface dépasse le cadre du contrôle qualité des surfaces sur des produits industriels. L'image tridimensionnelle permet d'augmenter les possibilités d'analyse de la texture des surfaces. Elle est destinée davantage à la recherche et à l'expertise et permet ainsi d'optimiser la fonction pour laquelle est destinée une surface, frottement, adhérence, étanchéité, lubrification, écoulement, etc. Les problèmes rencontrés dans la mesure du profil de surface sont négligeables par rapport à ceux rencontrés dans la mesure tridimensionnelle qui sont communs à tous les instruments et sont comme suit :

- A.** Maintenir des données de la hauteur précise entre les trajectoires.
- B.** Adopter un model numérique approprié.
- C.** Adopter un modèle d'échantillonnage qui permet a assez de zones d'être suffisamment couvertes avec un temps et un prix raisonnable.
- D.** Maintenir une résolution suffisante pour détecter les défauts et autres caractéristiques non standards [28].



Figure.III.9 : Appareille de mesure tridimensionnelle

III.2.2.2.4. Profilomètre laser

Ces méthodes sont très proches de la méthode par contact, à savoir qu'elles nécessitent l'exploration de la surface au moyen d'une série de trajectoires parallèles régulièrement espacées par déplacement de l'échantillon ou de la source. Les coordonnées Z sont acquises à l'aide d'un capteur optique à source laser. La méthode peut être coaxiale ou basée sur le principe de la triangulation suivant que le faisceau émis et le faisceau réfléchi suivent le même trajet ou une trajectoire différente. La figure.III.11 illustre le principe d'un profilomètre laser. La méthode coaxiale nécessite un système de déplacement vertical permettant l'asservissement du point de focalisation du faisceau laser sur la surface. L'exploitation des données, calcul des paramètres et visualisation de la surface, se fait avec les mêmes outils que ceux utilisés par la méthode avec contact. |



Figure.III.10 : Profilomètre laser

III. 2.2.2.5. Méthodes de mesure interférométrique :

L'interférométrie est habituellement utilisée pour la mesure d'une longueur donnée par comparaison de deux chemins optiques.

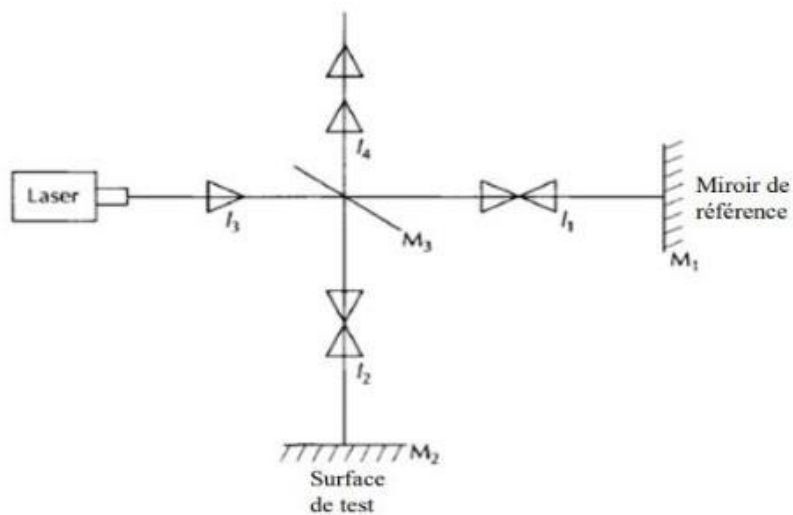


Figure.III.11 : Principe de mesure interférométrique

La lumière d'une source est divisée à l'aide d'un miroir séparateur, une partie du faisceau est dirigé sur la pièce, l'autre sur un miroir de référence. Après réflexion, les deux faisceaux sont de nouveau

superposés au niveau du miroir séparateur. Le chemin de référence est $l_3 + l_1 + l_4$ tandis que le chemin d'essai (à mesurer) a une longueur $l_3 + l_2 + l_4$, la comparaison doit se faire entre l_1 et l_2 et leur combinaison dépend de leurs différences de phase parfois en les additionnant et parfois en les soustrayant sous une lumière cohérente. Si le miroir M_1 est fixe, la longueur l_2 peut être déterminée en comptant le nombre de maxima vue par l'œil, chaque maxima correspond à une différence de marche de $\lambda/2$ entre l_1 et l_2 , le balayage des deux miroirs M_1 et M_2 est normal. [27]

III. 2.2.3. Comparaison entre la méthode optique et la méthode mécanique (palpage) :

Le fait que les méthodes optiques sont strictement fondées sur des lois d'optiques peuvent être un avantage comme elles peuvent être un inconvénient, par exemple si la résolution est fixée alors l'angle opposé à la lentille ne peut pas être changé par conséquent aucun de ces trois éléments : angle, la résolution, et le point focale ne peut être changé sans affecté les autres. Avec la méthode de palpage il est possible d'orienter l'angle du palpeur et de changer la dimension de la pointe du palpeur sans affecté l'un vis à vis de l'autre.[27]

Conclusion

L'état de surface joue un rôle crucial dans de nombreuses industries, influençant la fonctionnalité, la durabilité et même l'esthétique des produits. Etant donné que l'obtention d'une rugosité de surface précise peut être coûteuse et difficile dans la fabrication d'aujourd'hui, les opérations de finition de surface nécessitent la meilleure méthodologie pour générer les finitions souhaitées sur les pièces fabriquées.

En conclusion, la gestion et l'optimisation de l'état de surface sont essentielles pour garantir la qualité et la fiabilité des produits dans un large éventail d'applications.

CHAPITRE IV

PARTIE EXPERIMENTALE

Introduction

Il existe aujourd'hui de très nombreuses techniques de fabrication ou de mise en forme permettant de donner vie à des objets. Parmi celle-ci, on retrouve notamment la technique du fraisage. Elle est en passe de devenir un procédé d'usinage toujours plus plébiscité par les industriels (et même les particuliers). Tant les possibilités d'usinage sont nombreuses et tant les machines et les outils de coupe sont de plus en plus diversifiés et efficaces.

La qualité des pièces obtenue par ce procédé dépend de plusieurs paramètres tels que la puissance des machines utilisées, la nuance de la matière à usiner, les caractéristiques des outils de coupe utilisés et évidemment les modes de travail de ce procédé, sur lesquels est porté notre projet de fin d'études.

IV. 1. Présentation de travail

Dans cette partie, nous allons commencer par expliquer les différentes étapes et les opérations qui ont conduit à l'usinage de les pièces étudié. Puis nous allons parler des différentes expériences que nous avons menées afin d'étudier l'influence des modes de fraisage sur la qualité des pièces usinées. Nous allons également expliquer comment nous avons mesuré la rugosité de surface et l'appareillage utilisé pour cette étude.

IV.2. Moyens utilisés

IV. 2.1. Machine-outil :

La machine-outil qui a servi à nos essais est une fraiseuse universelle situé au niveau de la société algérienne des industries électriques et gazières (MEI). (Figure. IV.1).



Figure. IV.1 : La fraiseuse universelle

[Source SAEIG]

IV.2.2. Matériau utilisé pour les essais de fraisage

Les matériaux que nous avons utilisé dans nos essais pour cette expérience ont été regroupés selon les trois catégories suivantes :

Pièce 01 : Acier faiblement allié de nuance 42CD4

Pièce 02 : Acier non allié de nuance A60

Pièce 03 : Aluminium

IV.2.3. Outil de coupe

L'outil de coupe que nous avons utilisé aux essais, est une fraise à surfacer à plaquettes carbure métallique de 80 mm de diamètre, (figure. IV.2). Elle est composée de trois éléments essentiels : un cône morse, des plaquettes et une cloche.

C'est une fraise à surfacer sur laquelle sont montées 4 plaquettes amovibles à fixation par vis.

Remarque:

Deux nuances des outils de coupe peuvent être décrites au niveau de l'unité d'usinage.

Pastille 1 a pour compositions:

W=63,13, Ta=0,173, Co=7,42, Fe=0,184, Cr=0,352, Ti=28,62

Pastille 2 a pour compositions

Nb=0,093, W=54,37, Co=3,46, Al=7,76

On doit noter qu'on s'est fixé à travailler avec une seule nuance (pastille1).



Figure. IV.2 : Fraise à surface à plaquettes C.M

IV. 3. Identification de l'expérience

Notre objectif par ce travail expérimental est de mettre en évidence et de connaître pour chaque mode de fraisage le degré et la valeur de rugosité de la surface réalisée.

Pour mener l'expérience et vérifier notre objectif nous avons travaillé avec 03 pièces, chacune d'une nuance différente. Pour les opérations de surfaçage de ces trois pièces de matériaux différents, j'ai choisi les paramètres de coupes extraits des tableaux (fourni par les fabricants) pour l'usinage.

Les facteurs d'influence sur lesquels je me suis appuyé lors du choix des conditions de coupe dans les abaques sont :

- La matière à usiner : (aluminium, acier faiblement allié, acier non allié).
- L'outil : sa matière (en carbure métallique).
- Le type d'usinage : (finition).
- La machine : sa puissance, sa rigidité, sa capacité.

Type D'usinage	Pièce (Nuance)	Vc (m/min)	fz (mm/dent)	ap (mm)
Finition	42CD4	150	0.05	0.5
	A60	180	0.05	0.5
	Aluminium	350	0.1	0.5

Tableau. IV.1 : condition de coupe [28]

Le paramètre mis en jeu dans cette étude est le mode de fraisage (en opposition ou en concordance), ces deux modes ont été appliqué sur chaque face des pièces usinée.



Fig.IV.3 : Pièce en acier non allié



Fig.IV.4 : Pièce en acier faiblement allié



Figure. IV.5 : pièce en aluminium

IV.4. Mode opératoire

Tout d'abord, on nettoie la machine outil et le poste de travail puis on procède à la fixation d'outil (la fraise est montée en bout de la broche), et la fixation de la pièce à usiner.

Après avoir extrait les conditions de coupe pour chaque matériau à partir de tableau mentionné ci-dessus, on a fait les calculs nécessaires (nombre de rotation de l'outil et la vitesse d'avance) pour l'usinage de ces trois pièces :

NB : On détermine la fréquence de rotation de l'outil et la vitesse d'avance par les formules usuelles décrites dans le chapitre 2.

- Pour l'acier faiblement allié (42CD4)

Détermination de «n» :

$$n = \frac{1000.V_c}{\pi.D} = \frac{1000 \times 150}{3,14 \times 80} \quad (\text{Eq 8})$$

$$n = 597,13 \text{ tr/min}$$

avec :

V_c : de tableau

D : diamètre de la fraise

π : constante

Détermination de $\langle\langle V_f \rangle\rangle$:

$$V_f = F_z \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 4 \times 597,13$$

$$V_f = 119,42 \text{ mm/min}$$

Avec :

F_z : de l'abaque.

Z : nombre de dents 4 dents.

n : nombre de rotation.

➤ Pour l'acier non allié (A60)

Détermination de $\langle\langle n \rangle\rangle$:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \times 180}{3,14 \times 80}$$

$$n = 716,56 \text{ tr/min}$$

Détermination de $\langle\langle V_f \rangle\rangle$:

$$V_f = F_z \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 4 \times 716,56$$

$$V_f = 143,31 \text{ mm/min}$$

➤ Pour l'aluminium

Détermination de $\langle\langle n \rangle\rangle$:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \times 350}{3,14 \times 80}$$

$$n = 1393,3 \text{ tr/min}$$
 Tapez une équation ici.

Détermination de $\langle\langle V_f \rangle\rangle$:

$$V_f = F_z \cdot Z \cdot n = 0,1 \times 4 \times 1393,31$$

$$V_f = 557,3 \text{ mm/min}$$

L'application de ces trois paramètres sur la fraiseuse a savoir : nombre de rotation, vitesse d'avance et la profondeur de passe, extrait des abaques, pour l'opération de surfacage est pratiqué sur les deux modes de fraisage (fraisage en opposition et en concordance) sur chaque face de ces pièces.

Une fois l'usinage terminée, on a ramené ces pièces à l'unité de contrôle qualité afin de mesurer la rugosité par l'appareillage adéquat (rugosimètre) pour contrôler l'état de surface.

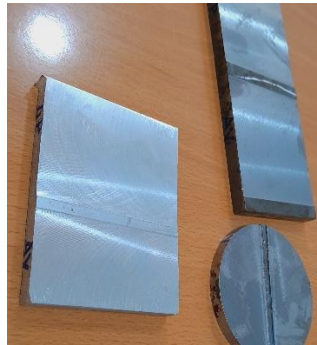


Figure. IV.6 : les pièces après l'usinage



Figure. IV.7 : rugosimètre

Source SAEIG



FigureIV: Mesure des pieces

IV. 5. Résultats et discussions

IV .5 .1 . Résultats

Après avoir pris toutes les mesures nécessaires ; l'usinage a été effectué sur toutes les pièces en bonne circonstances et on a abouti aux résultats suivants :

		Mode de travail	
Finition	Les pièces	Fraisage en opposition	Fraisage en Avalant
	42CD4	Ra = 0,6 μm	Ra = 0,8 μm
	A60	Ra = 0,9 μm	Ra = 1,5 μm
	Aluminium	Ra = 0,4 μm	Ra = 0,5 μm

Tableau. IV.2 : les résultats de rugosité

IV.5.2. Discussion

Dans le fraisage en concordance la direction de déplacement de la table est dirigée dans le même sens que de rotation de la fraise et l'attaque d'une dent se fait sur un copeau épais, ce dernier occasionne des chocs répétés, ces derniers sont la cause principale de l'écaillage des plaquettes.

L'usinage en avalant crée un jeu dans la vis de translation ce qui entraîne des vibrations qui affectent l'état de surface de la pièces, C'est une technique ou opération à conseiller pour les matériaux écrouissable.

Dans le travail en opposition la direction du déplacement de la table est opposée du sens de rotation de la fraise dans la zone de coupe ;et l'épaisseur de coupe, nulle au départ, augmente jusqu'à la fin de la passe.

On peut dire alors que le fait de travailler en opposition, la force de coupe générée annule ce jeu, et permet de tenir la cote et l'état de surface. Au contraire, en avançant la force générée tire dans le sens du jeu, alors du coup, elle donne une avance irrégulière et saccadée.

Nous arrivons au résultat et nous conseillons les gens à utiliser en général le fraisage en opposition et d'engager le deuxième mode pour les matériaux écrouissables.

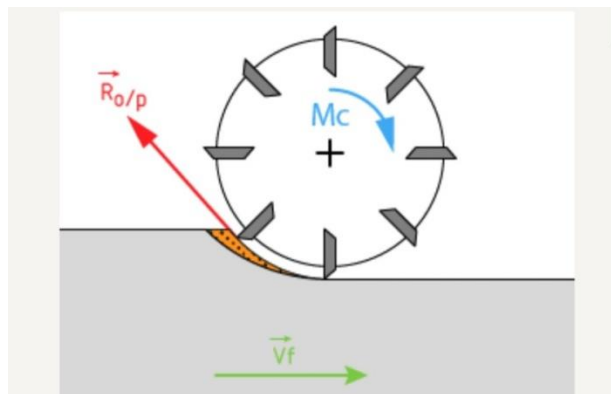


Figure.IV.9 : fraisage en opposition [19]

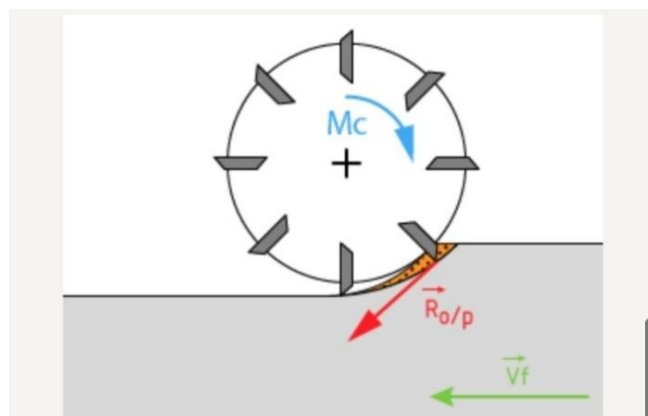


Figure.IV.10 : fraisage en concordance [19]

Conclusion Générale

Encore se manifeste le processus de production légendaire <usinage>, qui reste toujours parmi les méthodes de façonnage les plus adoptées dans le secteur de la production.

En effet l'usinage, qui est le mode de production par enlèvement de matière, a connu et connaît toujours de larges utilisations dans le domaine de l'industrie. On constate toujours que les ateliers mécaniques de production par usinage sont impérativement équipés de machines outil de surfacage telles que les fraiseuses, et nul ne peut ignorer la valeur et la place spéciale du fraisage.

Les modes de fraisage (en opposition et en avalant) étudiés dans cette recherche sont des techniques impliquant le déplacement de l'outil de coupe par rapport à la pièce de travail de manières différentes ; ce qui a révélé une influence en termes de qualité de la surface.

A ce stade nous recommandons aux opérateurs et aux responsables du bureau de méthode de prendre soins aux différents réglages pendant la préparation des outillages et du poste de travail; et d'éviter la confusion entre les deux modes.

Il est visible que le choix entre ces deux techniques dépend largement des caractéristiques de la pièce à usiner, des exigences de la surface finale et des contraintes de production.

On constate que le fraisage en opposition donne de bons résultats en terme de qualité de surface (précisément la rugosité) dans tout les cas d'utilisation, par contre le fraisage en concordance est connu d'être utilisé dans les situations où la machine-outil, la pièce et le bridage le permettent ou dans le cas particulier de matériaux écrouissables (par exemple l'acier inoxydable).

On peut dire que sur fraiseuse traditionnelle et dans 99% des cas d'utilisation on ne peut pas usiner en avalant, et ceci pour la raison simple que la machine-outil est équipée de vis de translation standard sur les axe x, y, z, ce qui crée un jeu dans la vis de transmission trapézoïdale et notamment des jeux d'inversion très importants.

On conclu alors que le fait de travailler en opposition, la force de coupe générée annule ce jeu, et permet de tenir la cote et l'état de surface. Au contraire, en avalant la force générée tire dans le sens du jeu, alors du coup, elle donne une avance irrégulière

Références

[1] É. Felder. " Procédés d'usinage "Article de Technique de l'ingénieur. traité B7000, 1997 , Fr.

[2] Souhir Gara. "Productique procédés d'usinage Tournage Fraisage Perçage Rectification". Ellipses,2014, Tunisie

[3] D. Layachi. " Procédés d'obtention des pièces mécaniques " doctorat, Université de annaba, 2009, algerai.

[4] Brodmen R. « Roughness from and waviness measurement by means of light scattering »Prec. Eng8 (1986) ; 221-226.

[5] W.Christian,W.Masclé. "Fabrication avancée et méthodes industrielles Tome 1". Presses internationales Polytechnique 2012,Canada.

[6] J. VERNGNAS, « Usinage, technologie et pratique ». Edition Dunod.

[7] E. LECOEUR, « Usinage sur Machines-Outils ». Edition Delagrave.

[8] DOURNIER, « Fraisage des Métaux ». Edition De la grave.

[9] R.Saba et E.Tarasco, « Machines outils Fraisage». Edition A. de boeck-Bruxelles.

[10] R.Butain, M.Pinot,Fabrication mecanique,Technologie, T1, 2, 3,Foucher 1981 Paris.

[11] P. DEPEYRE, « Cours de Fabrication mécanique ». Université de la réunion, France.

[12] Michel Colombie, Jean-Pierre Cordebois et coll. "Fabrication par usinage (2ème édition)".Dunod, 2013, Fr.

[13] L. Rimbaud, G. Layes, J. Moulin. "Guide pratique de l'usinage–fraisage". Hachette Technique,2006 , Fr.

[14] D. Gelin, M. Vincent. "Éléments de fabrication". Ellipses. France.

[15] Malal Kane. "Contribution à l'étude de l'influence de la rugosité et des effets non newtoniens dans les contacts sévères lubrifiés". Thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, 2003 , Fr.

[16] A. Sarazin. "Les solutions Sandvik coromant aux problématiques d'états de surface". Antoine SARAZIN, 2010, Fr.

[17] **R.Dietrich et al, Précis de Construction mécanique,T2, Nathan-Afnor, France 1979**

[18] S,Bensaada, Coupe des metaux, Edition universite Européenne, 2010

[19] JC. Gruescu et al, Preparation de production en productique mecanique- Etude de fabrication et analyse d'usinage,univ-Lille 2015 FR

[20] JC. Giroud, les principales operation d'usinage,Revue Fluids and lubricants.
Source :cours fabrication mecanique, univ de Lille, 2021 FR

[21] Jacques Boulanger. Tolérances et écarts dimensionnels, géométriques et d'états de surface, sous la direction Eric Felder, BM 74 technique de l'ingénieur. Janvier 2000.

[22] Cheung C.F, W.B. Lee. A theoretical and experimental investigation of surface roughness formation in ultra-precision diamond turning. International Journal of Machine Tools manufacture (40) 979- 1002. 2000.

[23] C. Barlier et R. Bourgeois, Memotech , Conception et dessin, Edition rue Michael Raraday,Saint-Quentin en yvelines, 2011 FR

[24] J.Barton, C. Guillement. Le verre : science et technologie. EDP Sciences, 2005.

[25] Ashby MF. « On materials and shapes» Acta Metall 39 (1991) : 1025-39.

[26] bourbia mounira , influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs répercussions sur un contact mécanique, thés magister 2009, Département de Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur ,Universté Badji Mokhtar.

[27] Youcef Hachem, Mohamed Lamine Guendouz. "Prédiction de la Rugosité des Surfaces". Mémoire de master, Université Kasdi Mearbah Ouargla, 2017/2018 , DZ.

[28] B.Claude, P.Barlier. "Mémotech - Génie mécanique". Educalivre, 2003, Fr.

[29] A.Campa et J,Rollet, Procédes d'usinage T3,Technologie professionnelle generale, pour les mecaniciens, Foucher 1971,FR.

[30] A.Aoussa, Etude de la gamme d'usinage d'un support d'enrouleuse de toles et etude de l'effet des parametres de fraisage sur la rugosité, These Master, univ Annaba 2014 DZ.

Résumé :

L'état de surface, et plus précisément la rugosité reste encore et pour toujours le souci primordial et de toute actualité de tous les industriels et chercheurs. De ce fait, les défauts de surface jouent un rôle important dans l'aptitude d'une pièces mécanique à remplir ses fonctions exigées.

Le fraisage, est l'un des procédés les plus souvent utilisés comme une technique favorisée pour l'obtention des pièces mécaniques. C'est un procédé qui est caractérisé par la flexibilité, la simplicité des opérations et de la gamme d'usinage. L'efficacité et la qualité de ce processus se voit dépendant fortement des modes de travail utilisé, en effet cette thèse va se focaliser spécifiquement sur l'étude de l'influence des modes de fraisage sur l'état de surface (la rugosité).

ملخص

تظل حالة السطح، وبشكل أدق الخشونة، هي الشغل الشاغل والحالي لجميع المصنعين والباحثين. ونتيجة لذلك تلعب عيوب السطح دوراً هاماً في قدرة الجزء الميكانيكي على أداء وظائفه المطلوبة. يعد التفريز أحد العمليات الأكثر استخداماً كأسلوب مفضل للحصول على الأجزاء الميكانيكية. إنها عملية تتميز بالمرونة وبساطة العمليات ونطاق المعالجة. تعتمد كفاءة وجودة هذه العملية بشكل كبير على طرق العمل المستخدمة، في الواقع ستركز هذه الأطروحة بشكل خاص على دراسة تأثير طرق التفريز على حالة السطح (الخشونة).

Summary :

The surface condition, and more precisely the roughness, remains the primary and current concern of all manufacturers and researchers. As a result, surface defects play an important role in the ability of a mechanical part to perform its required functions.

Milling is one of the processes most often used as a favored technique for obtaining mechanical parts. It is a process which is characterized by flexibility, simplicity of operations and machining range. The efficiency and quality of this process is highly dependent on the working methods used, in fact this thesis will focus specifically on the study of the influence of milling methods on the surface condition (roughness).

Mots clés : Usinage , Fraisage, Modes de fraisage, Rugosité