



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار - عنابة -

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA-

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY–ANNABA-

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

INTITULE

**Contribution à l'amélioration de la qualité
d'usinage en fraisage à sec**

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. LAGRED Ahmed

PRESENTE PAR : TAHRAOUI Mohamed El Haddi

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Pr. BOUCHELAGHEM A

EXAMINATEURS : Pr. LAOUAR L

Dr. MEKHILEF S

Année 2018

★ Remerciements ★

*Je tiens avant tout à remercier Allah pour la force et la volonté qu'il m'a données
pour pouvoir achever ce travail.*

*J'exprime toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire **M. LAGRED
Ahmed** pour son aide, son soutien, ses conseils ainsi que la confiance qu'il m'a fait en
acceptant de m'encadrer.*

Je remercie également les enseignants du département Génie mécanique.

*Je tiens également à remercier le personnel du AMM et TSS de SIDER El-Hadjar.
Annaba pour leurs aides pendant le stage.*

*Je remercie mes parents **TAHRAOUI Kamel** et **DJERIDI Samira** pour leurs
soutiens et contribution à la réalisation de ce travail.*

*Enfin, mes sincères remerciements vont à mes amies **BENJERIOU Bilal**,
BOUTABA Lakhdar et **SALHI Ryad**.*

★ *Dédicace* ★

Je dédie ce travail aux être les plus chers à moi dans ce monde :

mes parents

A ma sœur

A toute ma famille

A mes amis

Table des matières

Liste des figures iv
Liste des tableaux vi
Liste des symboles vii
Introduction générale 8

Chapitre I : Le fraisage

I.1 Introduction 9
I.2 Les fraiseuses 10
 I.2.1 Types de fraiseuse..... 11
 I.2.1.1 Fraiseuse universelle..... 11
 I.2.1.2 Fraiseuse verticale..... 11
 I.2.1.3 Fraiseuse horizontale..... 12
I.3 Types de fraisage 13
 I.3.1 Types de fraisage (les opérations)..... 15
I.4 Les types de fraises..... 20
 I.4.1 Caractéristiques des fraises..... 20
 I.4.2 Classification des fraises..... 22
 I.4.3 Composants des fraises..... 23
 I.4.4 Les modèles de fraises..... 23
 I.4.5 Les plaquettes..... 31
I.5 Paramètres de coupe en fraisage..... 34
 I.5.1 Vitesse de coupe..... 34
 I.5.2 Choix des avances..... 35
 I.5.3 Choix des profondeurs de passes..... 35
 I.5.4 Formules pour le fraisage..... 35

Chapitre II : Qualité d'usinage

II.1 Qualité dimensionnelle 36
 II.1.1 Cotation..... 36
 II.1.1.1 Généralités 36
 II.1.1.2 Eléments de la cotation 36
 II.1.1.3 Groupement des cotes 37
II.2 Tolérances dimensionnelles..... 40
 II.2.1 Définition d'une tolérance 40
 II.2.2 Termes et définitions 40
 II.2.3 Ajustements 41
 II.2.3.1 Définition 41
 II.2.3.2 Différents types d'ajustements..... 41
 II.2.3.3 Jeux et serrages extrêmes 42
 II.2.4 Système ISO/AFNOR de tolérances – Ajustements..... 43
 II.2.4.1 Système ISO /AFNOR de tolérances..... 43
 II.2.4.2 Positions relatives des écarts ou intervalles de tolérance..... 43

II.2.4.3 Principe et désignation d'un ajustement.....	44
II.2.4.4 Système normal d'alésage et d'arbre.....	45
II.2.4.5 Choix des ajustements	47
II.2.4.6 Tableaux (abaques).....	48
II.2.5 Qualité de forme et de position	52
II.2.5.1 Généralités sur les tolérances géométriques.....	52
II.3 Qualité d'état de surface	58
II.3.1 Généralités	58
II.3.2 L'état géométrique de la surface	58
II.3.2.1 Définitions.....	58
II.3.2.2 Analyse d'une surface.....	58
II.3.2.3 Défauts géométrique de surface	59
II.3.2.4 Les paramètres de la rugosité.....	59
II.3.2.5 Inscription normalisée d'un état de surface.....	60
II.3.2.6 Choix des états de surface	62
II.4 Contrôle de la qualité	64
II.4.1 Généralités	64
II.4.2 Contrôle dimensionnel	64
II.4.2.1 Mesure directe des longueurs.....	64
II.4.2.1.1 Pied à coulisse.....	64
II.4.2.1.2 Micromètres.....	66
II.4.2.2 Mesure des angles	67
II.4.2.2.1 Equerres	67
II.4.2.2.2 Rapporteur d'angles	68
II.4.2.3 Mesure indirecte des longueurs (par comparaison)	69
II.4.2.3.1 Comparateur à cadran	69
II.4.2.4 Les vérificateurs à tolérance	69
II.4.2.5 Mesure de la rugosité.....	71
II.5 Étalonnage.....	72
II.5.1 Étalonnage, vérification et ajustage d'un équipement de mesure.....	72
II.5.2 Étalons.....	73

Chapitre III : Fraisage à sec

III.1 Fluides de coupe	75
III.1.1 Définition	75
III.1.2 Composition des fluides de coupe.....	75
III.2 Rôle du liquide de coupe.....	77
III.3 Coût de la lubrification.....	78
III.4 Influence de la lubrification sur les ouvriers.....	78
III.5 Influence de la lubrification sur l'environnement.....	80
III.6 Usinage à sec.....	81
III.6.1 Cas typiques de recours à un arrosage.....	82
III.6.2 Caractérisations des outils pour l'usinage à sec.....	83
III.6.3 Nouvelles technologies développées pour usinage à sec	84

III.6.4 Avantages et inconvénients en usinage à sec.....	84
<i>Etude expérimentale</i>	
IV.1 Introduction.....	85
IV.2 Mode d’obtention de la pièce	85
IV.2.1 L’oxycoupage.....	85
IV.2.2 Identification de matériau.....	86
IV.3 Réalisation des éprouvettes.....	87
IV.3.1 Machines utilisées.....	87
IV.4 Les étapes de réalisation de la pièce	91
IV.4.1 Dessin de définition	91
IV.4.2 Routage d’usinage de la pièce dans l’atelier AMM	92
IV.4.3 Contrat de phases	93
IV.4.4 Gamme d’usinage.....	104
IV.4.5 Programmation du contour sur une fraiseuse CNC (Solid Concept)	108
IV.5 Essais préliminaires	110
IV.6 Mesure de la rugosité	113
IV.6.1 L’appareil utilisé	113
IV.6.2 Surfaces mesurées	113
IV.6.3 Résultats	114
IV.6.4 Discussion des résultats.....	114
IV.7 Conclusion et Perspective.....	114
<i>Conclusion générale</i>	115
<i>Références bibliographiques</i>	116

Liste des figures

Chapitre I : LE FRAISAGE

Fig I.1	Fraiseuse universelle (HURON).....	11
Fig I.2	Fraiseuse verticale (HURON)	12
Fig I.3	Fraiseuse horizontale (HERMELE)	12
Fig I.4	Fraisage en bout	13
Fig I.5	Fraisage en roulant.....	13
Fig I.6	Fraisage en avalant.....	13
Fig I.7	Fraisage en opposition.....	14
Fig I.8	Fraisage d'épaulements.....	15
Fig I.9	Surfaçage.....	16
Fig I.10	Fraisage de profils.....	16
Fig I.11	Fraisage de rainures.....	17
Fig I.12	Chanfreins.....	18
Fig I.13	Le tournage-fraisage.....	18
Fig I.14.1	Taillage des engrenages par fraise mère.....	19
Fig I.14.2	Taillage des engrenages par fraise module.....	19
Fig I.15	Les tailles des fraises.....	20
Fig I.16	Les formes des fraises.....	21
Fig I.17	Les dentures des fraises.....	21
Fig I.18	Modes de fixation des fraises.....	22
Fig I.19	Fraise scie à fente Diam.45mm WOLFCRAFT.....	23
Fig I.20	Fraise à surfacer.....	24
Fig I.21	fraise cylindrique 2 taille.....	24
Fig I.22	fraise à rainurer 2 dents.....	25
Fig I.23	fraise pour rainures en T.....	26
Fig I.24	Fraise HSS pour logement de clavettes.....	26
Fig I.25	Fraise d'ébauche 4 dents.....	27
Fig I.26	Fraise 3 tailles à denture alternée.....	27
Fig I.27	fraise d'angle.....	28
Fig I.28	fraise isocèle.....	28
Fig I.29	fraise à chanfreiner.....	29
Fig I.30	Fraise hérisson.....	30

Chapitre II : QUALITE D'USINAGE

Fig II.1	Les éléments normalisés de cotations et tolérances.....	37
Fig II.2	Cotation en parallèle.....	38
Fig II.3	Cotation en série.....	38
Fig II.4	Cotation en coordonnées.....	38
Fig II.5	Cotation d'une corde, arc et angle	39
Fig II.6	Cotation des rayons.....	39
Fig II.7	les déférents termes de tolérance.....	41

Fig II.8	les différents types d'ajustement.....	41
Fig II.9	Positions relatives des écarts ISO (Alésage)	44
Fig II.10	Positions relatives des écarts ISO (Arbre)	44
Fig II.11	Système de l'alésage normal H.....	46
Fig II.12	Le système de l'arbre normal h.....	46
Fig II.13	Coûts comparés indicatifs en fonction de la tolérance.....	47
Fig II.14	Les tolérances géométriques.....	52
Fig II.15	Analyse d'une surface.....	58
Fig II.16	L'écart moyen arithmétique du profil (Ra)	59
Fig II.17	Hauteur de profil maximum Rz (moyenne)	59
Fig II.18	Hauteur de profil totale Rt.....	60
Fig II.19	Symboles de base normalisés (NF ISO 1302)	60
Fig II.20	Spécification de l'état de surface.....	60
Fig II.21	Exemple de cotation, position des symboles.....	61
Fig II.22	Prix de revient et spécifications.....	62
Fig II.23	Pied à coulisse.....	64
Fig II.24	Types de pieds à coulisse.....	66
Fig II.25	Micromètre.....	66
Fig II.26	Types de micromètres d'extérieur.....	67
Fig II.27	Types de micromètres intérieurs.....	67
Fig II.28	Les équerres.....	68
Fig II.29	Types de rapporteur d'angles.....	68
Fig II.30	Types de comparateurs.....	69
Fig II.31	Instruments de vérification.....	70
Fig II.32	Rugosimètre.....	71
Fig II.33	Réglage d'un micromètre.....	73
Fig II.34	Étalons (bagues et cales)	73
Chapitre III : FRAISAGE A SEC		
Fig III.1	Utilisation de lubrifiants pendant l'usinage.....	75
Fig III.2	Composition générale du lubrifiant.....	76
Fig III.3	Usinage à sec.....	82
ETUDE EXPERIMENTALE		
Fig IV.1	L'oxytome 5 des AMM (Type : SAF)	87
Fig IV.2	Fraiseuse universelle HURON (MU5).....	89
Fig IV.3	Fraiseuse CNC (SXB)	90
Fig IV.4	La pièce (guide) pendant le fraisage (surfaçage)	110
Fig IV.5	Les échantillons.....	111
Fig IV.6	Echantillon 1, face 1 : Ebauche sans lubrification.....	111
Fig IV.7	Echantillon 1, face 2 : Finition sans lubrification.....	112
Fig IV.8	Echantillon 2, face 1 : Ebauche avec lubrification.....	112
Fig IV.9	Echantillon 2, face2 : Finition avec lubrification.....	112
Fig IV.10	Rugosimètre (Mitutoyo surfsteste 301)	114

Liste des tableaux

Chapitre I : LE FRAISAGE

Tableau I.1	Vitesse de coupe pour fraises en ARS.....	34
Tableau I.2	Vitesse de coupe pour fraises en carbures.....	34
Tableau I.3	L'avance par dent.	35
Tableau I.4	Choix des profondeurs de passes.....	35

Chapitre II : QUALITE D'USINAGE

Tableau II.1	Principales qualités (ISO)	43
Tableau II.2	Des indications sur les qualités que l'on peut attendre (en moyenne) des principaux procédés d'usinage.....	47
Tableau II.3	Ajustements usuels alésage H.....	48
Tableau II.4	Extraits de tolérances ISO pour alésage.....	49
Tableau II.5	Extraits de tolérances ISO pour arbre.....	50
Tableau II.7	Tolérance ISO pour arbre et alésage.....	51
Tableau II.7	les tolérances géométriques.....	53
Tableau II.8	Tolérances de forme.....	55
Tableau II.9	Tolérances de position.....	57
Tableau II.10	Exemples d'inscription d'états de surface.....	61
Tableau II.11	Relation entre rugosité moyenne (Ra) et désignation conventionnelle.....	61
Tableau II.12	Rugosité Ra des principaux procédés de fabrication.....	63
Tableau II.13	Classement des cales étalons.....	74

Chapitre III : FRAISAGE A SEC

Tableau III.1	Influence fluide de coupe sur Asthem.....	79
----------------------	---	-----------

Liste des Symboles

Symboles	Définition	Cotes
Ae :	Profondeur de coupe radiale	mm.
Ap :	Profondeur de coupe axiale	mm.
Dcap :	Diamètre de coupe à la profondeur de coupe ap	mm.
Dm :	Diamètre usiné (diamètre composant)	mm.
Fz :	Avance par dent	mm.
Fn :	Avance par tour	mm/tr.
N :	Vitesse de broche	tr/mn.
Vc :	Vitesse de coupe	m/mn.
Ve :	Vitesse de coupe effective	mm/min.
Vf :	Avance table	mm/min.
Hex :	Épaisseur maximale des copeaux	mm.
Hm :	Épaisseur moyenne des copeaux	mm.
Kc :	Force de coupe spécifique	N/mm ² .
Pc :	Puissance nette	Kw.
Mc :	Couple	Nm.
Q :	Débit copeaux	Cm ³ /min.
Rz :	Hauteur maximal du profil	µm.
Ra :	Écart moyen arithmétique du profil	µm.
Rt :	Ecart total	µm.

Introduction générale

Dans la société de consommation actuelle, la demande pour des produits innovants, de qualité, bons marchés ne cesse d'augmenter. L'objectif des travaux de recherche en fabrication mécanique a toujours été de trouver des solutions pour améliorer la productivité et la qualité des pièces usinées ; faire le plus de pièces possibles, le plus rapidement possible, en réduisant au mieux les coûts et les défauts de production. Le but d'une opération d'usinage est d'enlever la matière sous forme des copeaux pour produire les pièces désirées. Les procédés d'usinage par enlèvement de matière sont nombreux, comme le fraisage, le perçage, ou le tournage...

L'opération de fraisage est utilisée pour usiner des pièces prismatiques. Nos travaux ont pour but d'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage à sec (amélioration d'état de surface). Ce travail a été effectué au niveau des AMM de SIDER El-Hadjar pendant la période de stage de fin d'étude (de 13 jusqu'au 31 mars 2018).

Ce mémoire comprend trois chapitres et une partie expérimentale. Nous avons présenté quelque lien direct avec l'amélioration de la qualité des pièces.

Nous avons rappelé dans le premier chapitre le fraisage en générale : les fraiseuses, mode de fraisage, les types de fraises etc... . Le chapitre deux nous avons présenté la qualité d'usinage ; les tolérances, ajustements, et les affichages des abaques (tableaux) utilisées. Et puisque nous traitons du sujet du fraisage à sec il était nécessaire d'évoquer cette technologie ses avantages, ses inconvénients et cela a fait l'objet du troisième chapitre.

Et comme dernière partie nous avons terminé ce travail par une partie recherche sur la qualité d'usinage en fraisage avec et sans lubrification.

Chapitre I : Le fraisage

I.1. Introduction

Le fraisage est un des processus d'enlèvement de copeaux. Les matières travaillées dans le fraisage et autres processus d'usinage sont : acier au carbone, cuivre, acier inoxydable, aluminium, bois, matières synthétiques, ...etc.

Les pièces élaborées à partir de ce procédé ont un rôle plus important dans l'industrie, l'automobile, machinerie, télécommunications, et autres composants électriques et électronique.

Il existe différents types de fraisage : fraisage de cavités, tournage-fraisage, fraisage de filet, frontal, engrenage, de rampe. Planifié pour obtenir des pièces avec des surfaces planes.

L'élément le plus important de fraisage est la machinerie, la machine utilisée est appelée fraiseuse. Il existe des fraiseuses de différents types, les fraiseuses selon l'orientation de l'outil, ils peuvent être horizontaux, verticales et universelles. Les fraiseuses spéciales peuvent être circulaires, copieuses, portique ou de pont mobile, les fraiseuses selon le nombre des axes peuvent être de trois, quatre, et cinq axes.

Chacune de ces fraiseuses peuvent avoir des dispositifs supplémentaires qui améliorent la tâche exécutée. Par exemple, les dispositifs de fixation des pièces, des outils, des contrôles. [1]

I.2. Les fraiseuses

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous les types de pièces mécaniques, la fraiseuse est capable d'enlever de la matière sur une pièce initiale afin de la transformer en une tout autre pièce. La fraiseuse peut également être munie d'autres éléments tels que de foret, de taraud ou d'alésoir pour réaliser des opérations différentes comme le perçage, le taraudage et l'alésage.

Il existe différents types de fraiseuses que nous allons vous présenter. Selon l'orientation de l'outil, les fraiseuses peuvent être 3, 4 ou 5 axes. Auparavant, les différentes catégories de fraiseuses étaient la fraiseuse horizontale, verticale ou universelle, car les axes étaient fixes.

Aujourd'hui, les machines à manivelles se font de plus en plus rares et les machines numériques permettent de bouger simultanément des axes. La classification se fait donc en axes c'est-à-dire en fonction des contraintes rencontrées durant les opérations d'usinage. D'autres types de fraiseuses spéciales peuvent aussi être circulaires, copieuses, portiques ou encore dite à reproduire. De plus, chacune de ces fraiseuses peut comprendre des accessoires et des dispositions supplémentaires afin d'améliorer et de rendre confortable la tâche à exécuter. Les pièces élaborées grâce au fraisage sont en général des pièces qui servent à la fabrication de nombreux objets dans les secteurs de l'automobile, de l'industrie, de la machinerie, de l'électronique, de l'électricité ou encore des télécommunications.

- **Fraiseuse à 3 axes :** Une fraiseuse à trois axes comporte une broche verticale et une broche horizontale, mais la fraiseuse est dans tous les cas parallèle à la table lors de l'usinage. C'est donc à la table d'être positionné différemment en fonction du but recherché sur la pièce. La broche horizontale sert en fait à évacuer plus simplement les copeaux.
- **Fraiseuse à 4 axes :** La fraiseuse à quatre axes a généralement les mêmes particularités que la fraiseuse à trois axes sauf qu'elle est dotée en plus d'un plateau tournant qui est un véritable atout dans les domaines de la production mécanique telle que l'aviation ou l'automobile.
- **Fraiseuse à 5 axes :** Une fraiseuse à cinq axes comporte toujours trois axes linéaires, mais aussi deux axes rotatifs qui peuvent varier selon le modèle choisi. En termes de position des axes rotatifs, il existe ensuite trois modèles qui sont les deux axes sur la tête de la machine, les deux axes sur la table ou un seul axe sur la table. [2]

I.2.1. Types de fraiseuse

I.2.1.1. Fraiseuse universelle

La machine de base est une fraiseuse à axe horizontal dont la table est orientable ; les mouvements d'avance sont donnés à la table ; l'arbre porte-fraise est animé du mouvement de rotation uniquement.

La machine est conçue de telle manière qu'elle peut recevoir une tête universelle et des équipements spéciaux tels que : appareils diviseurs, tables circulaires, appareil à mortaiser etc...

Elle permet en principe l'exécution de toutes les opérations courantes : son universalité est due surtout à la possibilité de la convertir en fraiseuse horizontale ou verticale et de pouvoir assurer l'entraînement des appareils diviseurs.



Fig. I.1. Fraiseuse universelle (HURON).

I.2.1.2. Fraiseuse verticale

Ce qui différencie le plus cette dernière de la précédente, c'est que la tête verticale possède un déplacement axial de broche ; la table n'est pas orientable ; elle n'est pas conçue pour recevoir des organes de conversion ; la tête ne peut être démontée mais elle est orientable dans un plan. Elle est surtout employée pour exécuter des surfaçages, rainures et épaulements avec des capacités de coupe bien supérieures, comparé à une machine tête universelle.

En outre, le déplacement axial du fourreau de broche permet la réalisation successive d'épaulements ou des surfaçages à des niveaux étagés sur une même pièce en épargnant le mécanisme du mouvement vertical de la console qui reste bloqué pendant toute la durée des opérations.



Fig. I.2. Fraiseuse verticale (HURON).

I.2.1.3. Fraiseuse horizontale

Trois mouvements d'avance de la table porte-pièce ; la table n'est pas orientable.

La machine est rarement commercialisée sous cette forme. Les constructeurs prévoient dans la plupart des cas la possibilité d'y adapter des accessoires - tête universelle - tête verticale.



Fig. I. 3. Fraiseuse horizontale (HERMLE).

I.3. Types de fraisage

Selon l'état de surface souhaité, l'état de la machine, la qualité de l'outil, les dimensions des surfaces à usiner, la position des surfaces sur la machine, les dimensions de la fraise et le débit souhaité, il existe deux types de fraisage, à savoir :

- **le fraisage de face ou en bout** : l'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface fraisée.
- **le fraisage de profil ou en roulant** : l'axe de la fraise est parallèle à la surface usinée. [3]

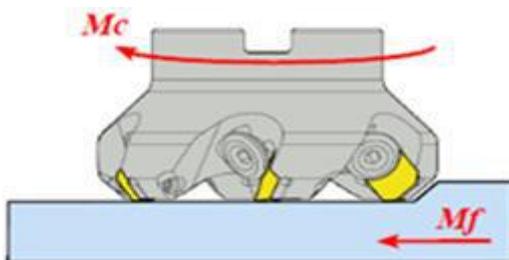


Fig. I.4. Fraisage en bout.

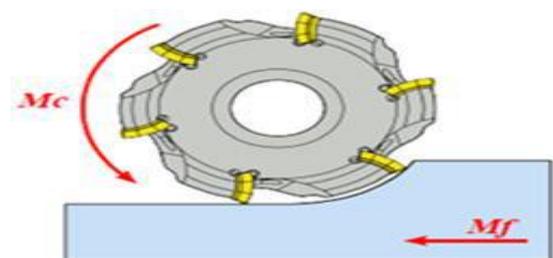


Fig. I.5. Fraisage en roulant.

Pour chaque type de fraisage, il existe :

A. Fraisage en avalant

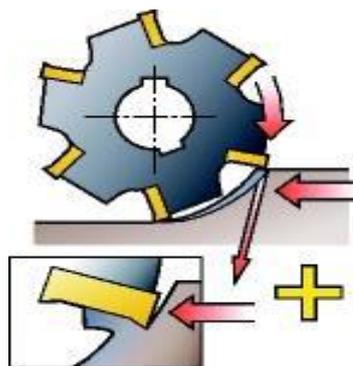


Fig. I.6. Fraisage en avalant.

Dans le fraisage en avalant, l'outil avance dans le sens de sa rotation.

- Le fraisage en avalant doit toujours être préféré si la machine-outil, le bridage et la pièce le permettent.

- Dans le contournage en avalant, les copeaux sont plus épais en entrée qu'en sortie. Ceci permet d'empêcher l'arête de frotter contre la surface et de brunir avant de s'engager en coupe.
- Les copeaux épais sont préférables et les forces de coupe ont tendance à tirer la pièce et à faire avancer la fraise en maintenant l'arête engagée.

Il existe des exceptions où le fraisage en opposition est préférable :

- Mais comme la fraise a tendance à être tirée vers l'intérieur de la pièce, la machine doit contrôler l'avance de la table au moyen du dispositif de rattrapage de jeu.
- Si l'outil est attiré vers l'intérieur de la pièce, l'avance a tendance à augmenter, ce qui peut entraîner une épaisseur de copeaux excessive pouvant mener à la rupture de l'arête.
- Le fraisage en opposition peut être avantageux s'il existe de grandes variations dans la surépaisseur d'usinage.

B. Fraisage en opposition

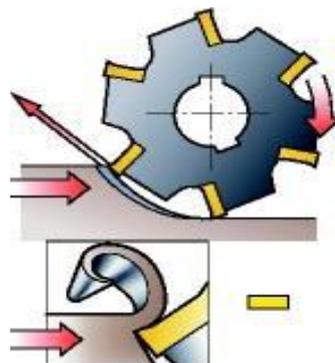


Fig. I .7. Fraisage en opposition.

Dans le fraisage en opposition, la direction de l'avance est opposée au sens de rotation de l'outil.

- L'épaisseur des copeaux commence à zéro et augmente vers la fin de la coupe. Les forces de coupe ont tendance à éloigner la fraise de la pièce.
- Les fortes contraintes de traction exercées sur l'arête lorsqu'elle quitte la matière entraînent souvent sa rupture.
- L'arête de coupe doit entrer en coupe par la force, ce qui produit un effet de frottement ou de brunissage, élève la température et écrouit souvent la matière (que l'arête suivante devra couper). ces différents facteurs réduisent la durée de vie de l'outil.
- Les forces, qui sont principalement radiales, ont tendance à décoller la pièce de la table.

- Les copeaux plus épais en sortie réduisent la durée de vie de l'outil.
- L'épaisseur importante des copeaux en sortie et leur température élevée provoque parfois un collage ou un soudage sur l'arête de coupe. Le copeau se retrouve ainsi entraîné avec l'arête jusqu'à la prochaine entrée en coupe de celle-ci. La force centrifuge peut aussi provoquer un arrachement avec écaillage de l'arête. [4]

I.3.1. Opérations de fraisage

A. Fraisage des épaulements

Le fraisage des épaulements usine deux surfaces simultanément, l'une verticale, l'autre horizontale.

La réalisation d'un épaulement avec un angle exact de 90° est l'une des principales exigences.

Le fraisage des épaulements peut s'effectuer avec des fraises à surfacer-dresser conventionnelles, mais aussi avec des fraises en bout, des fraises hérisson et des fraises-disques.

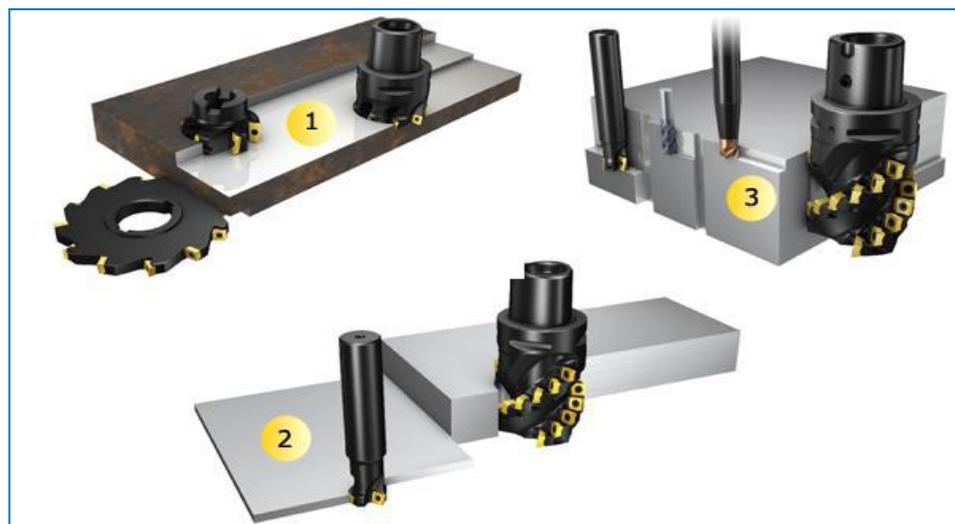


Fig. I .8. Fraisage des épaulements.

B. Surfaçage

Le surfaçage est l'opération de fraisage la plus courante. Elle peut s'effectuer avec une grande variété d'outils. Les fraises avec un angle d'attaque de 45° sont les plus fréquemment utilisées, mais les fraises à plaquettes rondes, les fraises à surfacer-dresser et les fraises hérisson peuvent aussi être utilisées dans certaines conditions.



Fig. I .9. Surfaçage.

C. Fraisage des profils

Le fraisage de profils couvre le fraisage multi axes de formes concaves et convexes, 2 et 3 dimensions.

Plus la pièce est volumineuse et plus la configuration de la machine est complexe, plus la planification du processus est importante.

Le processus d'usinage doit être divisé en au moins trois types d'opérations :

- ébauche ;
- semi-finition ;
- finition.



Fig. I .10. Fraisage de profils.

D. Fraisage des rainures

Le fraisage des rainures est une opération qui s'effectue mieux avec une fraise-disque qu'avec une fraise en bout.

- Les rainures (ou les gorges) peuvent être longues ou courtes, fermées ou ouvertes, rectilignes ou non, profondes ou non, larges ou étroites.
- Le choix d'un outil dépend normalement de la largeur et de la profondeur de la rainure, et, dans une certaine mesure, de sa longueur.
- Le type de machine disponible et la fréquence de l'opération déterminent s'il convient d'utiliser une fraise en bout, une fraise hérisson ou une fraise disque.
- Les fraises-disques sont les plus efficaces pour usiner des rainures longues et profondes en grand nombre, surtout si une fraiseuse horizontale est utilisée. Mais comme les fraiseuses verticales et les centres d'usinage sont de plus en plus fréquents, les fraises en bout et les fraises hérisson sont aussi beaucoup utilisées.



Fig. I .11. Fraisage des rainures.

E. Fraisage des chanfreins

Les chanfreins, les entailles en V, les dégagements, la préparation en vue de la soudure et l'ébavurage sont des opérations fréquentes sur les bords des pièces. En fonction du type de machine et du montage, ces opérations peuvent être faites de plusieurs manières. Il est possible d'utiliser une petite fraise en bout, une fraise hérisson ou une fraise à chanfreiner.

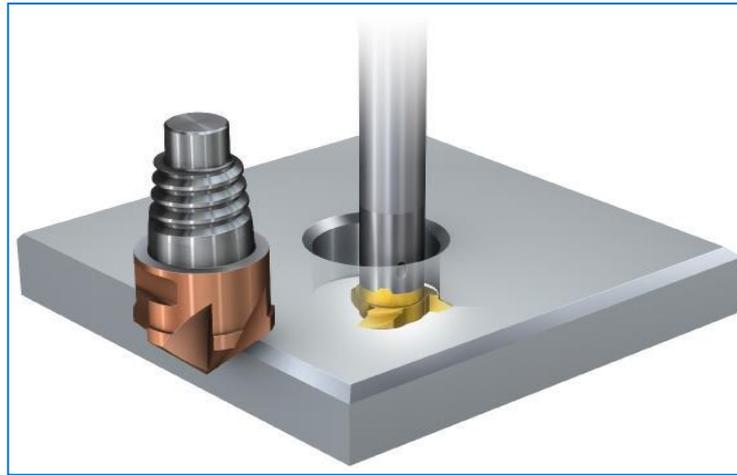


Fig. I .12. Fraisage des chanfreins.

F. Tournage-fraisage

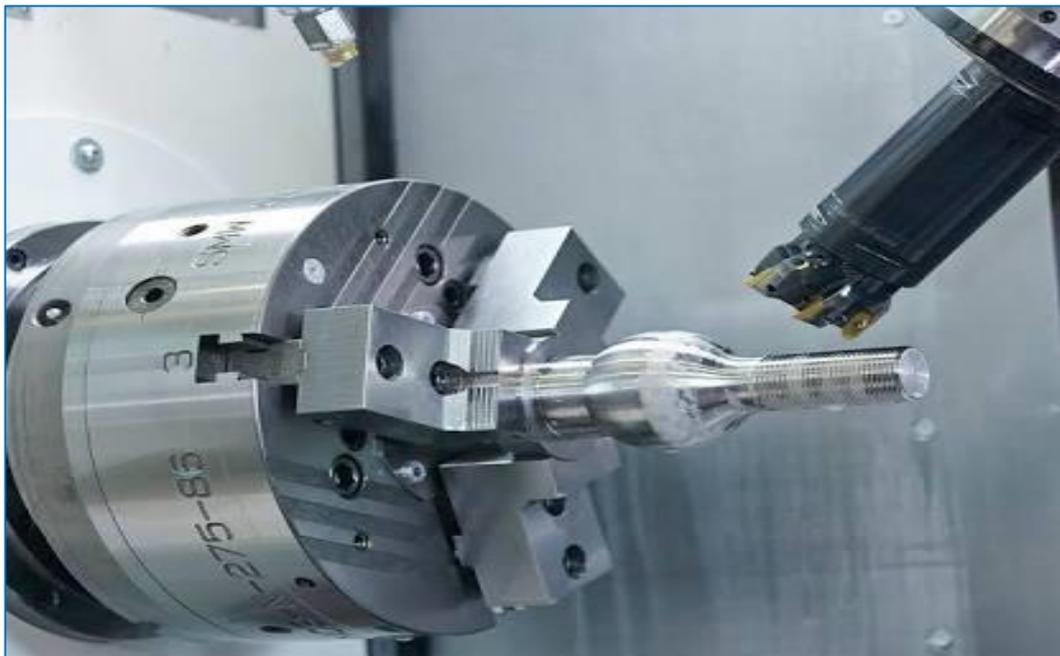


Fig. I .13. Le tournage-fraisage.

Le tournage-fraisage se définit comme le fraisage d'une surface courbe en faisant tourner la pièce sur son axe.

Le tournage-fraisage permet d'usiner des formes excentrées très différentes de celles que l'on peut réaliser par tournage ou par fraisage. Il permet d'obtenir des débits copeaux très élevés et de profiter d'un contrôle des copeaux remarquables.

- Il est possible de produire des surfaces cylindriques en faisant avancer la fraise dans la direction radiale pendant la rotation.
- En déplaçant la fraise simultanément dans deux directions, il est possible de produire des surfaces excentrées, par exemple des cames sur un arbre.
- Pour usiner une forme conique, 5 axes sont nécessaires.
- Le tournage-fraisage de profils complexes, par exemple des aubes de turbine, demande le mouvement simultané sur 5 axes (ou 4) : 2 ou 3 axes pour la pièce et 1 ou 2 axes pour l'outil.

G. Taillage des engrenages



Fig. I .14.1. Taillage des engrenages par fraise mère.

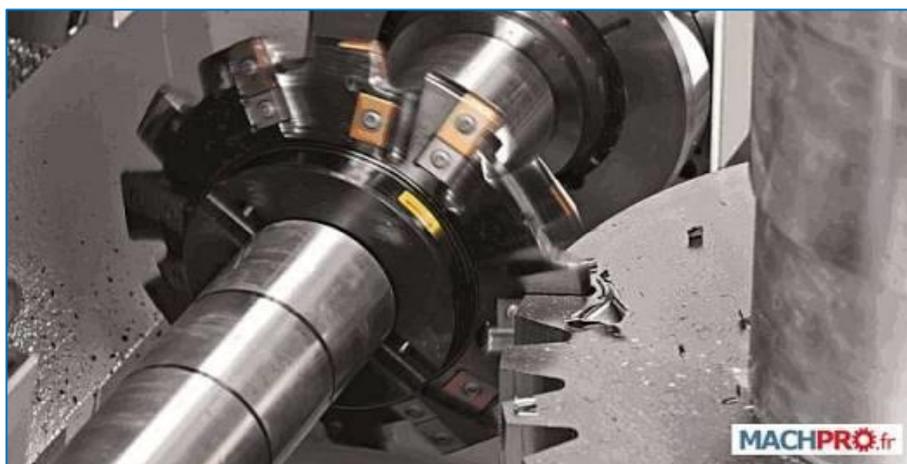


Fig. I .14.2. Taillage des engrenages par fraise module.

Le taillage par fraise-mère est actuellement le procédé le plus utilisé. Il est plus rapide que les procédés de taillage par outil crémaillère et outil pignon, l'usinage se faisant en continu sans allers retours d'outil générant des pertes de temps.

Ce procédé est extrêmement utilisé dans le secteur automobile qui nécessite de nombreux pignons, notamment pour les boîtes de vitesses. [5]

I.4. Les types de fraises

Une fraise présente la forme d'un solide de révolution (cylindre-tronc de cône –disque) portant plusieurs outil élémentaires(ou dents) répartis régulièrement sur la périphérie. Chaque dent de la fraise est comparable à la partie active d'un outil de tour, leur géométrie est définie aussi du même système de plans que celle des outils de tour.

I.4.1. Caractéristiques des fraises

A. La taille : suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent :

- fraises à une taille ;
- fraises à deux tailles ;
- fraises à trois tailles.

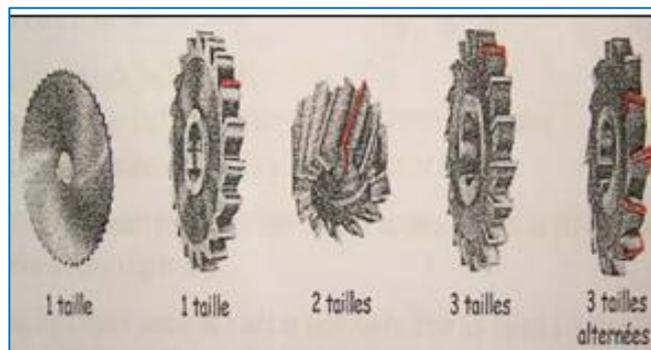


Fig. I .15. Les tailles des fraises.

B. La forme : suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil :

- les fraises cylindriques ;
- fraises coniques, biconiques ;
- fraises de forme ;
- fraises à lames ou à outils rapportés.

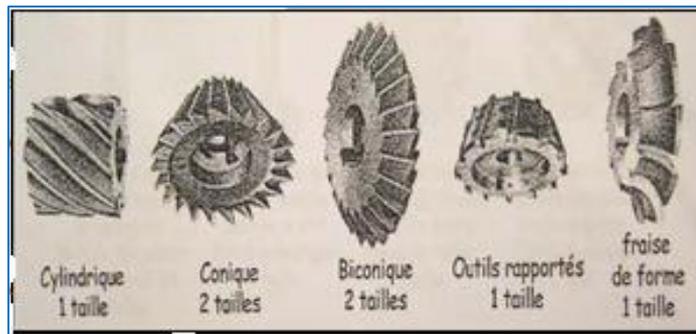


Fig. I .16. Les formes des fraises.

C. La denture

- Si l'arête tranchante de la fraise est parallèle, on a :
 - une denture droite.
- Si l'arête tranchante est inclinée par rapport à l'axe de la fraise, on a :
 - une denture hélicoïdale à droite ou à gauche ;
 - une denture à double hélice alternée.

Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.

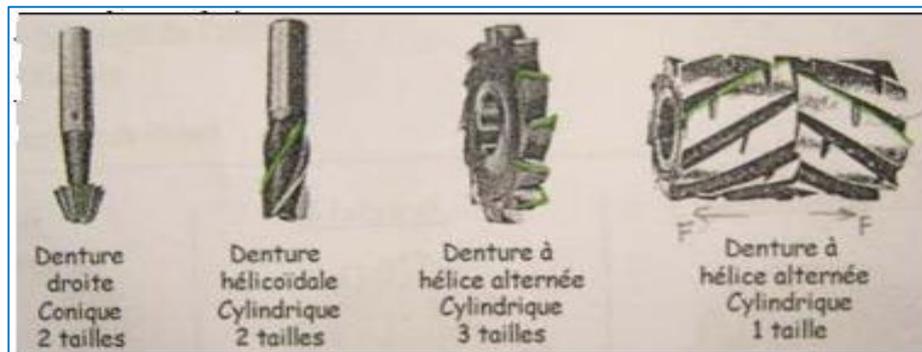


Fig. I .17. Les dentures des fraises.

D. Le mode de fixation

On distingue deux modes de fixation distincts :

- à trou : lisse, lisse rainurer ou taraudé ;
- à queue : cylindrique ou conique.



Fig. I .18. Modes de fixation des fraises.

E. Construction

Les fraises peuvent être à denture fraisée (ex : fraise conique deux tailles $\alpha 60^\circ$), ou à denture détalonnée et fraisée (ex : fraise-disque pour crémaillères). Elles sont en acier rapide. Pour les fraises à outils rapportés sur un corps de fraise, les dents fixées mécaniquement sont en acier rapide, ou le plus souvent en carbure métallique.

I.4.2. Classification des fraises

- **Fraises monoblocs** : Ce sont des fraises dont la denture est taillé dans la masse on rencontre 2 types de fraises monoblocs :
 - Fraise à denture taillé ou fraisée ;
 - Fraise à profil constant.

- **Fraises à denture rapportée** : sont intéressantes du fait de la fabrication du corps de fraise en acier ordinaire au carbone et des dents en acier à coupe rapide ou alliage spécial. 2 types se rencontrent souvent :
 - fraises à outils rapportés ;
 - fraises à plaquettes rapide.

- **Fraises rouleaux** : c'est une fraise monobloc cylindrique à trou lisse pourvu d'une rainure pour clavette d'entraînement. Les fraises plus larges possèdent un alésage chambré qui assure un meilleur guidage fraise/arbre.

I.4.3. Composants des fraises

Il existe plusieurs groupes de matériaux entrants dans la composition des fraises :

- les fraises en acier rapide ;
- les fraises en carbure monobloc ;
- les fraises à plaquettes carbure amovibles ou brasées ;
- les fraises CBN (nitrure de bore cubique) ;
- les fraises diamant. [6]

I.4.4. Les modèles de fraises

a. La fraise-scie

Il existe plusieurs fraises-scies :

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

La fixation de la fraise-scie se fait la plupart du temps sur un mandrin porte fraises à bagues ou un mandrin à pompe. Dans les deux cas l'entraînement de la fraise se fait au moyen d'une clavette insérée dans le mandrin.

La fraise-scie trouve son utilité dans les dégagements d'angle, dans le sciage de deux parties qui doivent avoir une certaine élasticité (voir schéma), ou pour l'usinage de rainures étroites et très profondes qui ne seraient pas réalisables avec une fraise à rainurer, dans ce cas la fraise-scie 3 tailles est préférable.

La fraise-scie a un inconvénient ; étant souvent de grand diamètre son dégagement n'est pas aisé.



Fig. I .19. Fraise scie à fente Diam.45mm WOLFCRAFT.

b. La fraise à surfacer

Il existe plusieurs types de fraise à surfacer :

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

La partie coupante d'une fraise à surfacer est faite :

Soit :

- d'une fraise monobloc en Acier Rapide (AR) ;
- d'outils rapportés en AR ;
- d'outils rapportés à plaquettes brasées en carbure de tungstène ;
- de plaquettes de carbure de tungstène amovibles (à jeter).



Fig. I .20. Fraise à surfacer.

c. La fraise cylindrique 2 tailles

La fraise cylindrique 2 tailles peut être utilisée pour plusieurs usages :

- avec sa face plane, elle peut surfacer ;
- avec sa périphérie, le contournage est fréquemment réalisé ;
- mais sa fonction principale, réside dans l'usinage d'épaulements.



Fig. I .21. Fraise cylindrique 2 taille.

d. La fraise à rainurer**➤ La fraise à rainurer 2 dents**

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

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

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

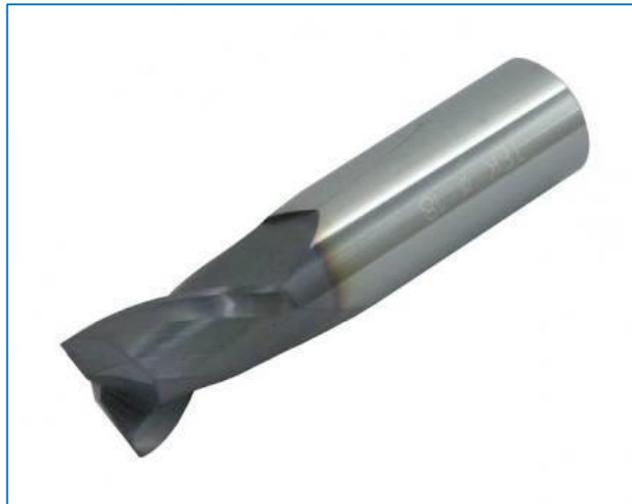


Fig. I .22. Fraise à rainurer 2 dents.

➤ La fraise pour rainures en T

Cette fraise qui ressemble à une fraise 3 tailles sert à usiner les deux parties qui sont en retrait dans une rainure en T.

Les rainures en T sont très employées sur les machines-outils (tables) et également sur de nombreux outillages pour la fixation de matériels.

Cette fraise se trouve soit en attachement conique, soit en attachement cylindrique.

Elle est très souvent à denture alternée, mais on la trouve également en denture droite.

Leurs dimensions sont en rapport avec les dimensions des rainures, qui elles sont normalisées.

Pour l'usinage, il faut tout d'abord faire une rainure droite (col de la rainure) avec une fraise 3 tailles, puis usiner les deux parties en retrait de la rainure en T suivant le guide.



Fig. I .23. Fraise pour rainures en T.

e. La fraise pour logement de clavette-disque

Elle est à denture droite ou à denture alternée. Ses dimensions sont normalisées, car les clavettes sont des éléments mécaniques également normalisés.

L'usinage se fait en une seule passe de plongée.



Fig. I .24. Fraise HSS pour logement de clavettes.

f. La fraise d'ébauche

La fraise d'ébauche est une fraise dont la partie coupante des dents est munie de brise-copeaux disposés en spirale sur le pourtour de la fraise.

Ces brise-copeaux peuvent être de deux profils : (voir schéma)

- d'ébauche ;
- de demi-finition.

On trouve également des fraises d'ébauche à pastilles interchangeables en carbure de tungstène.

Comparée à une fraise 2 tailles normale, la fraise d'ébauche permet un enlèvement de métal important avec un effort moindre.



Fig. I .25. Fraise d'ébauche 4 dents.

g. La fraise 3 tailles (à denture droite ou alternée)

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

Ce type de fraise existe à alésage pour monter sur un arbre ou avec moyeu. Le rainurage s'effectue en déplaçant la pièce perpendiculairement à l'axe de la fraise.

La largeur de la rainure est obtenue en décalant la pièce sur un axe parallèle à l'axe de la pièce. La profondeur de la rainure est atteinte en relevant la pièce de la valeur souhaitée.

La fraise 3 tailles extensible (3 tailles à dentures alternées) peut être considérée comme deux fraises 3 tailles accolées et dont on peut régler l'écartement au moyen de rondelles d'épaisseur très précises.

Ce réglage de l'écartement des 2 fraises permet d'usiner des rainures calibrées en une seule passe.



Fig. I .26. Fraise 3 tailles à denture alternée.

h. La fraise d'angle (ou fraise pour queue d'aronde)

La fraise d'angle est une fraise à 2 tailles dont l'angle H n'est plus de 90° ; il prend des valeurs de 45° , 60° , ou 70° .

La fraise d'angle sert à usiner des glissières appelées : glissières à queue d'aronde. Cette fraise a un attachement à queue cylindrique ou à queue au cône morse.

L'usinage de ces glissières se fait tout d'abord en ébauchant à l'aide d'une fraise 2 tailles ou 3 tailles, puis on passe la fraise d'angle pour calibrer la glissière à la dimension voulue.

L'opération s'effectue par petites passes car la denture ne permet pas un gros débit de copeaux.



Fig. I .27. Fraise d'angle.

i. La fraise isocèle

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

Sa denture est droite.

La valeur de l'angle peut prendre différentes valeurs : 30° , 45° , 60° , 90° . Cette fraise possède un alésage, donc son attachement se fait sur un arbre muni d'une clavette.



Fig. I .28. Fraise isocèle.

j. La fraise à chanfreiner

La fraise à chanfreiner est une fraise qui est disponible avec deux valeurs de l'angle de pointe H : 60° et 90°.

Elle sert comme son nom l'indique à faire des chanfreins sur des bords de trous ou sur des arêtes rectilignes ou courbes.

Ce n'est pas une fraise à gros débit de copeaux, elle casse les angles.



Fig. I .29. Fraise à chanfreiner.

k. fraises hérisson

Les fraises hérisson sont une bonne solution pour les applications de fraisage plus lourdes requises par les épaulements profonds et larges.

- Débit copeaux élevé.
- Généralement utilisées pour l'ébauche étant donné que la texture de surface se caractérise par un fraisage latéral avec avance élevée.

Ces fraises sont exigeantes du point de vue de :

- la stabilité ;
- l'état de la broche ;
- l'évacuation des copeaux ;

- l'attachement ;
- la puissance.

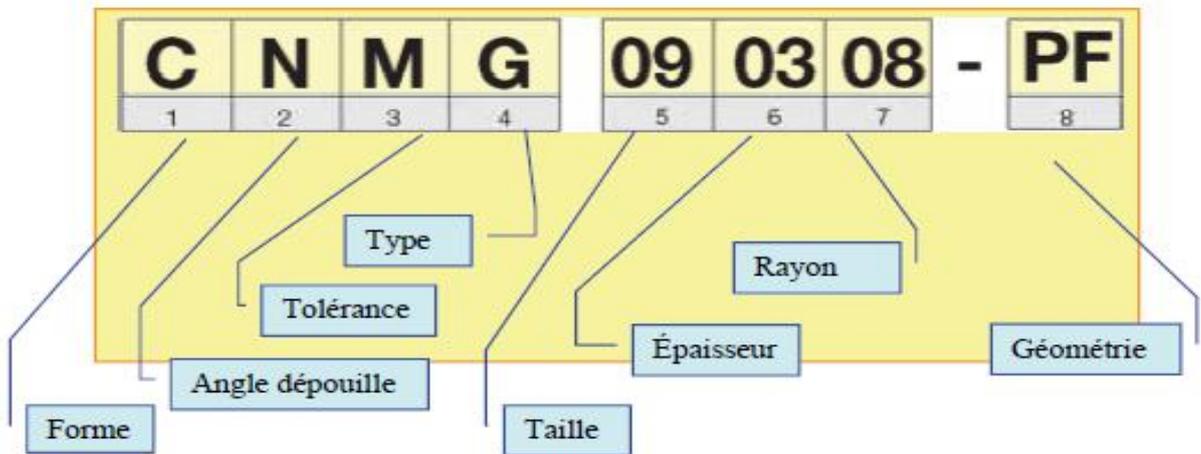
Les forces radiales sont très importantes. Il s'agit d'une application de fraisage latéral difficile. Les fraises hérisson courtes conviennent aux opérations suivantes :

- épaulement larges (sens radial) et peu profonds.
- rainures dans le plein si la profondeur est égale au diamètre (possibilité de contourner les limitations machine).



Fig. I .30. Fraise hérisson.

I.4.5. Les plaquettes [7]



Une recherche catalogue s'impose pour chaque fournisseur. Les paramètres de recherche sont les suivants :

a. La forme des plaquettes

1. FORME DE PLAQUETTE						
80° C	55° D	R	S	T	35° V	80° W

b. L'angle de dépointe de la plaquette

2. ANGLE DE DÉPOINTE DE LA PLAQUETTE		
5° B	7° C	0° N

c. Le type de plaquette

4. TYPE DE PLAQUETTE	
A	G
M	T

d. La taille de plaquette



5. TAILLE DE PLAQUETTE = LONGUEUR D'ARETE DE COUPE							
<i>l mm:</i>	06-19	07-15	06-12	09-19	06-22	11-16	06-08

e. Le rayon de plaquette

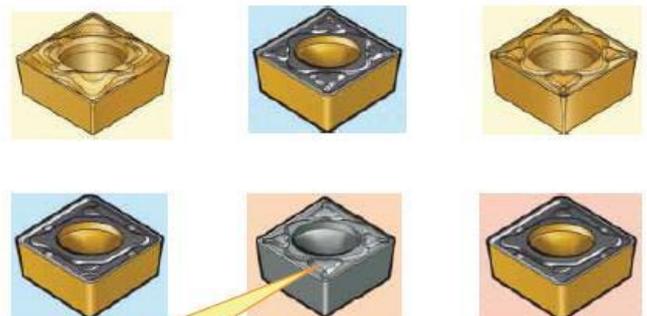
7. RAYON DE BEC	
	04 $r_{\epsilon} = 0,4$
	08 $r_{\epsilon} = 0,8$
	12 $r_{\epsilon} = 1,2$
	16 $r_{\epsilon} = 1,6$
	24 $r_{\epsilon} = 2,4$

f. Les angles de plaquette

8. La géométrie – Propre au fabricant

Celui-ci peut ajouter un code : un symbole de deux lettres pour décrire la géométrie de la plaquette.

PF = ISO P Finition
MR = ISO M Ébauche



Forme du brise copeau défini si plaquette ébauche ou finition

g. La composition et le recouvrement de plaquette

Recouvrement différent pour améliorer certaines propriétés. Ex : oxyde d'alumine, titane TiN, TiCN, TiAlN, Al₂O₃, et autres.
PVD ; déposition physique en phase vapeur à *t*° basse (400° à 600°) sous vide.
CVD ; déposition chimique en phase vapeur à *t*° haute (700° à 1050°) sous vide.



Mélange carbure à granulométrie différente liant et additif. Ex : Cobalt.

h. Forme de l'arête de coupe

Léger

L



Fraisage léger.
Faibles forces de coupe. Faibles avances.

Choix de base
Moyen

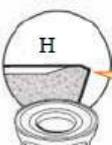
M



Fraisage général dans la plupart des matières.

Lourd

H



Fraisage lourd.
Forces de coupe élevées. Fortes avances.

Ici, nous pouvons constater un renforcement de l'arête de coupe par un chanfrein (pour de gros efforts de coupe).

ISO/ANSI	L	M	H
Aciers	P 		
Aciers inoxydables	M 		
Fontes	K 		
Non-ferreux	N 		
Matériaux réfractaires	S 		
Métaux trempés	H 		

I.5. Paramètres de coupe en fraisage

I.5.1. Vitesse de coupe

Vitesse de coupe en (**m /min**) pour des fraises en acier rapide et carbures a plaquettes (durée de vie de 60 à 120min) :

FRAISES ARS	Surfaçage en bout prof 2mm	Epaulement en bout prédominant prof 5mm	Epaulement en roulant prédominant prof 2mm	Rainure débouchante prof 8mm	Rainure non débouchante + plongée prof 1mm
Matières usinées R en N/mm ²					
Aciers non alliés recuits 400	29	28	34	27	35
Aciers non alliés trempés 800	20	20	24	19	24
Aciers alliés recuits 500	29	28	34	27	35
Aciers alliés trempés 1100	16	16	19	15	20
Aciers a outils recuits HB250	20	20	24	19	24
Fontes grises 200HB	19	19	23	18	23
Alliages cuivreux 100 HB	110	108	129	106	131
Alliages cuivreux 160 HB	50	49	59	48	60
Alliages aluminium HB 60	280	280	340	280	346
Alliages trempés aluminium HB 140	170	170	204	167	207
Alliages aluminium coulés avec silicium	66	65	80	64	81

Tableau I.1. Vitesse de coupe pour fraises en ARS.

FRAISES carbures	Surfaçage en bout prof 4mm plaquettes	Rainure débouchante prof 2mm	Rainure débouchante prof 8mm
Matières usinées R en N/mm ²			
Aciers non alliés recuits 400	140	133	116
Aciers non alliés trempés 800	95	90	79
Aciers alliés recuits 500	148	137	120
Aciers alliés trempés 1100	73	69	62
Aciers a outils recuits HB250	101	96	84
Fontes 200HB	83	79	69
Alliages cuivreux 100 HB	330	314	272
Alliages cuivreux 160 HB	218	206	180
Alliages aluminium HB 60	990	717	624
Alliages trempés aluminium	475	451	393
Alliages aluminium coulés avec silicium	178	169	147

Tableau I.2. Vitesse de coupe pour fraises en carbures.

I.5.2. Choix des avances

En première approche, l'avance par dent F_z sera de 1/300 à 1/500 ème du diamètre de fraise.
Valeur d'avance par dent en proportion du diamètre de fraise.

FRAISES ARS	Surfaçage en bout prof 2mm	Epaulement en bout prédominant prof 5mm	Epaulement en roulant prédominant prof 2mm	Rainure débouchante prof 8mm	Rainure non débouchante + plongée prof 1mm
Matières usinées R en N/mm ²					
Aciers non alliés recuits 400	1/350	1/450	1/350	1/600	1/150

Tableau I.3. L'avance par dent.

I.5.3. Choix des profondeurs de passes

On recherchera la profondeur de passe qui permet le débit de copeaux maximum sachant que quand on augmente la profondeur de passe la vitesse de coupe et l'avance diminuent légèrement.

Profondeur	Vitesse coupe	Fz mm	Vf mm/mn	Section frontale mm2	Débit mm3/mn
1mm	133	0.25	831	50	41550
2	124	0.22	682	100	68200
4	119	0.18	535	200	107000
8	116	0.17	493	400	197200

Tableau I.4. Choix des profondeurs de passes.

I.5.4. Formules pour le fraisage

Avance de table, **Vf** (mm/min)

$$v_f = f_z \times n \times Z_{EFF}$$

Vitesse de broche, **n** (tr/min)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times DC_{ap}}$$

Avance par tour, **fn** (mm/tr)

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Puissance nette, **Pc** (kW)

$$P_c = \frac{a_e \times AP \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Vitesse de coupe, **Vc** (m/min)

$$v_c = \frac{\pi \times DC_{ap} \times n}{1000}$$

Avance à la dent, **fz** (mm)

$$f_z = \frac{v_f}{n \times Z_{EFF}}$$

Débit copeaux, **Q** (cm³/min)

$$Q = \frac{AP \times a_e \times v_f}{1000}$$

Couple, **Mc** (Nm)

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

Chapitre II : Qualité d'usinage

II.1. Qualité dimensionnelle

II.1.1. Cotation

II.1.1.1. Généralités

La cotation a pour but d'indiquer les dimensions de la pièce dessinée, sans que l'on soit obligé de les mesurer sur le dessin, ce qui ne serait ni commode ni précis. Les dimensions à inscrire sont celles de la pièce, quelle que soit l'échelle de dessin.

Les longueurs et les tolérances s'expriment en millimètres, les angles en degrés ; en cas de dérogation justifiée, faire toujours suivre la cote du symbole de l'unité employée.

La cotation est une opération importante et difficile ; elle ne doit comporter ni erreur ni oubli.

II.1.1.2. Eléments de la cotation

L'inscription d'une cote comprend le tracer des lignes d'attache, de la ligne de cote, des flèches, des chiffres.

A. La ligne de côte

Elles sont parallèles aux segments à coter et distantes de ceux-ci d'au moins de 5 mm, elles sont tracées en trait continu fin. Une ligne de côte ne doit pas coïncider avec une autre ligne de dessin, ni avec un axe.

Une ligne de cote ne doit jamais coupée une arête ou une autre ligne de cote, mais elle peut couper un axe ou une ligne d'attache.

B. Lignes d'attaches

Elles sont perpendiculaires aux segments à coter et dépassant légèrement les lignes de côtes. En cas de nécessité elles peuvent être tracées obliquement mais parallèle entre elle.

On évite dans la mesure du possible qu'une ligne d'attache soit coupée par une autre ligne de dessin. Il est admis d'utiliser une ligne du contour comme ligne d'attache.

C. Les flèches

Les flèches limitent la ligne de cote et sont formées de deux branches ayant une ouverture de 30° à 45°.

Elles sont tracées en trait continu fort, toutes les flèches d'un même dessin sont identiques.

Si l'intervalle entre deux lignes d'attache est trop petit on tourne les flèches en dehors ou on les remplace par des points.

D. La valeur de la cote

Elle est exprimée en (mm) ou en degré (°). La valeur de la cote ne doit jamais être coupée par une ligne du dessin. Elle est située :

- au-dessus d'une ligne de cote horizontale.
- à gauche d'une ligne de cote verticale.

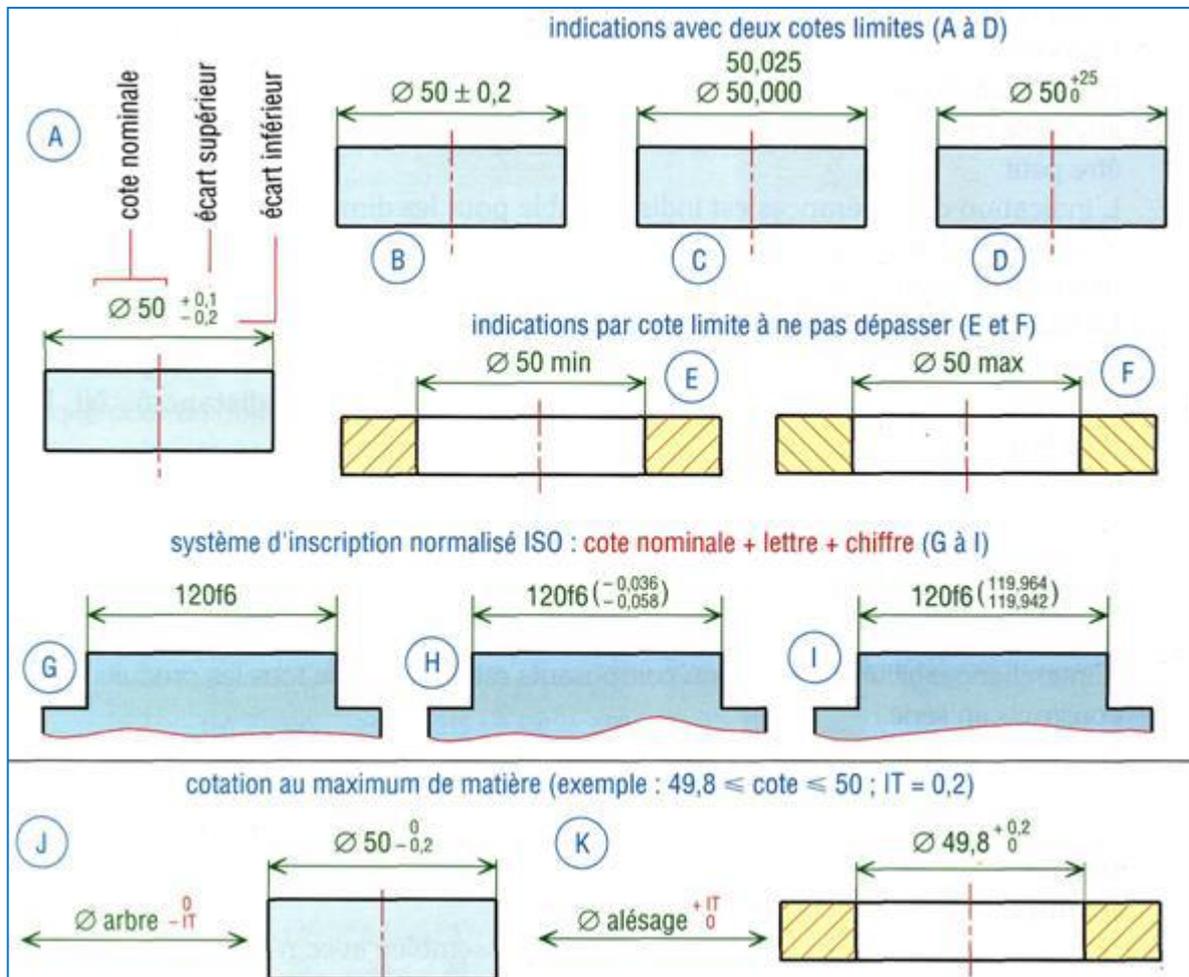


Fig. II.1. Les éléments normalisés de cotations et tolérances. [9]

II.1.1.3. Groupement des côtes

Le groupement des côtes se justifie par :

- un contrôle plus rapide de la cotation ;
- moins de risque d'erreurs au cours de l'usinage de la pièce ;
- chaque cote ne doit être inscrite qu'une seule fois.

❖ Cotation en parallèle

Elle s'effectue sur des lignes parallèles, ayant même direction à partir d'une origine commune.

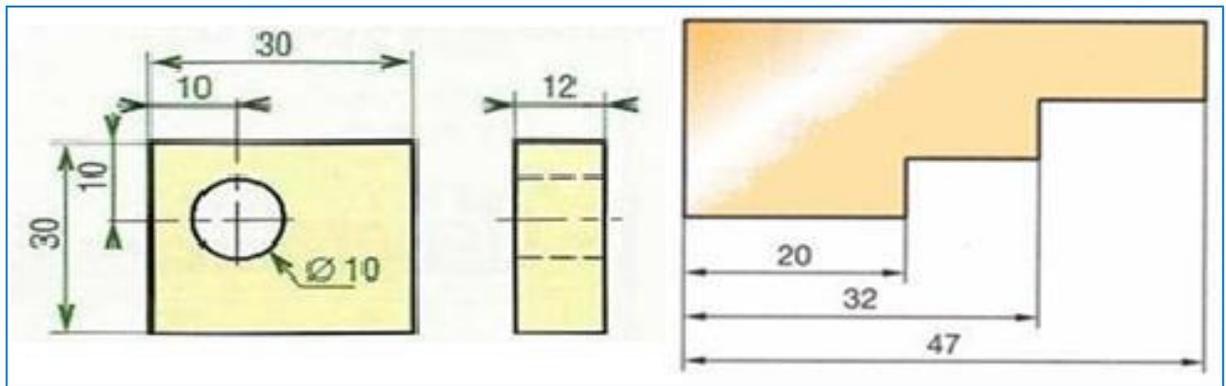


Fig. II.2. Cotation en parallèle.

❖ Cotation en série

C'est une cotation se suivant sans aucun chevauchement.

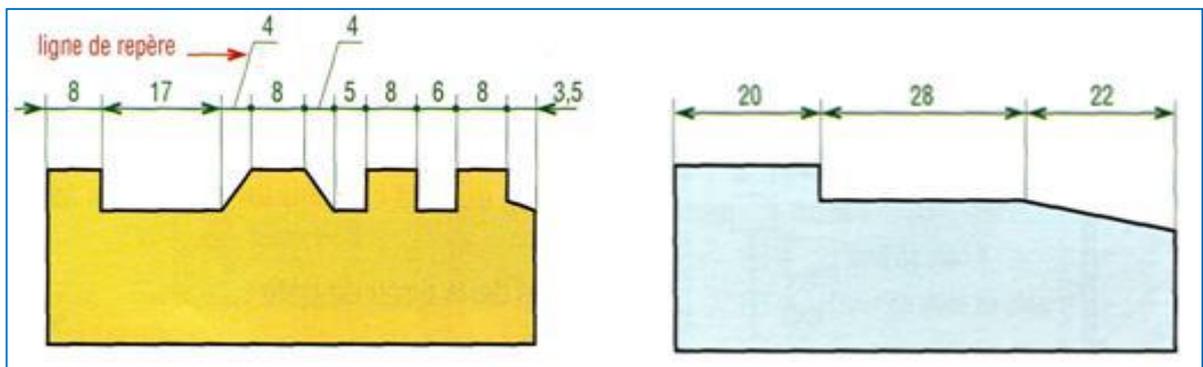


Fig. II.3. Cotation en série.

❖ Cotation en coordonnées

Il peut être intéressant dans certains cas de grouper les cotes sur un tableau en dehors du dessin, ce groupement s'effectue suivant les deux directions X et Y perpendiculaires.

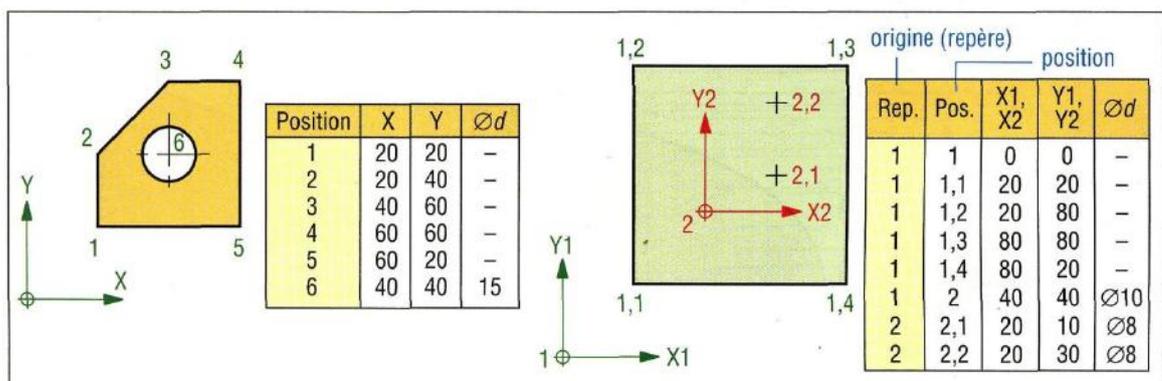


Fig. II.4. Cotation en coordonnées.

❖ Cotation de demi-vue et quart de vue

Dans les demi-vues, prolonger légèrement les lignes de cote au-delà de l'axe de symétrie de la partie conservée.

❖ Eléments identiques

Pour éviter des répétitions de côtes, on peut utiliser des lettres de repères renvoyant à une légende.

❖ Cotation d'une corde, arc et angle

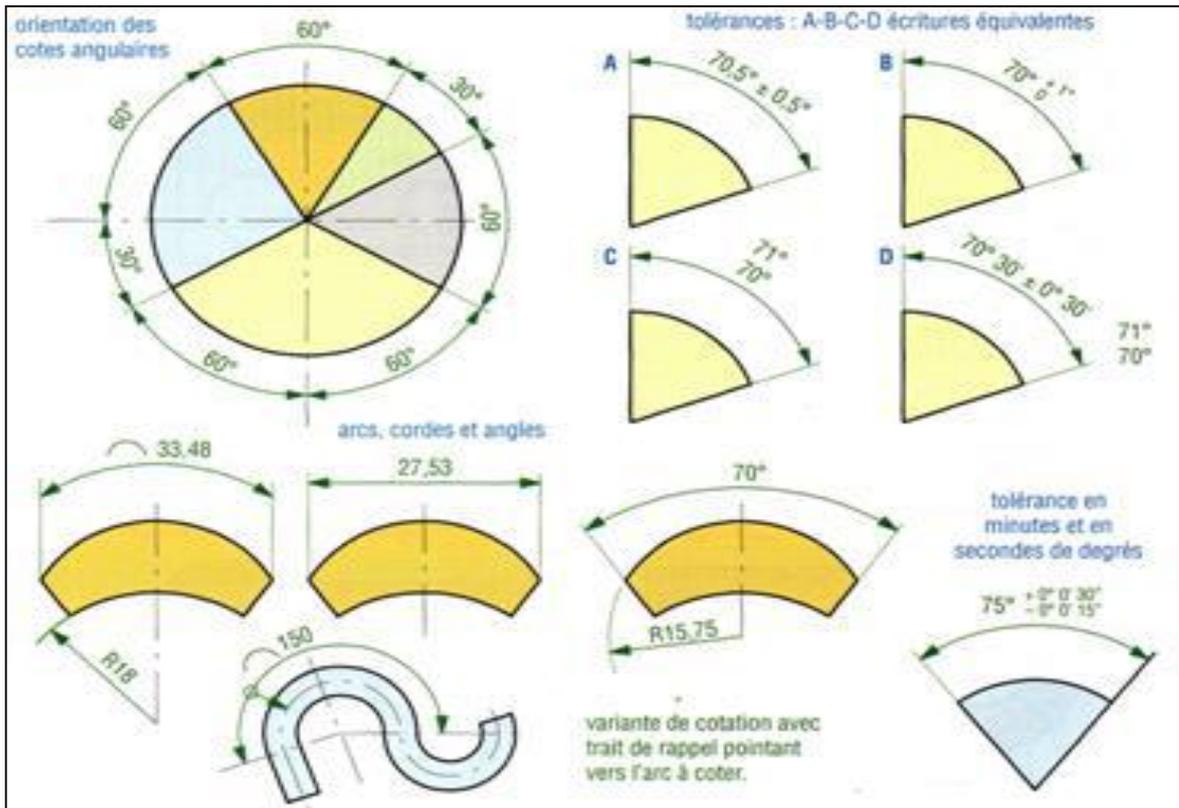


Fig. II.5. Cotation d'une corde, arc et angle.

❖ Cotation des rayons

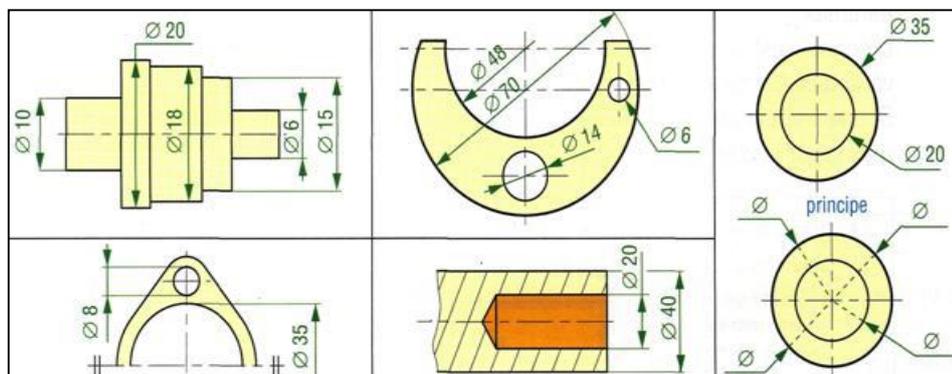


Fig. II.6. Cotation des rayons.

II.2. Tolérances dimensionnelles

II.2.1. Définition d'une tolérance

Des pièces mécaniques sont assemblées pour assurer une fonction (guidage, positionnement, glissement, étanchéité, etc...).

Les imprécisions inévitables des procédés de fabrication empêchent la réalisation d'une pièce aux dimensions exactes, fixées à l'avance.

Pour satisfaire à sa fonction, il suffit que chaque dimension de la pièce soit fabriquée entre des limites admissibles dont l'écart représente la tolérance (ou intervalle de tolérance).

II.2.2. Termes et définitions

A. Arbre : terme utilisé par convention pour désigner tout élément extérieur d'une pièce, même non cylindrique.

B. Alésage : terme utilisé par convention pour désigner tout élément intérieur d'une pièce, même non cylindrique.

C. Dimensions

- **Dimension nominale :** dimension par référence à laquelle sont définies les dimensions limites obtenues par application des écarts supérieur et inférieur.
- **Dimension effective :** dimension d'un élément obtenue par mesurage.
- **Dimensions limites :** les deux dimensions extrêmes admissibles d'un élément entre lesquelles doit se trouver la dimension effective, les dimensions limites elles-mêmes étant incluses.
 - **Dimension maximale :** plus grande dimension admissible d'un élément.
 - **Dimension minimale :** plus petite dimension admissible d'un élément.

D. Écart : différence algébrique entre une dimension (effective, maximale, etc.) et la dimension nominale correspondante.

- **Écarts limites :** écart supérieur et écart inférieur.
- **Écart supérieur (ES, es) :** différence algébrique entre la dimension maximale et la dimension nominale correspondante
- **Écart inférieur (EI, ei) :** différence algébrique entre la dimension minimale et la dimension nominale correspondante
- **Écart fondamental :** dans le présent système, celui des écarts qui définit la position de la zone de tolérance par rapport à la ligne zéro.

E. Tolérance : différence entre la dimension maximale et la dimension minimale (c'est-à-dire, différence entre l'écart supérieur et l'écart inférieur). [8]

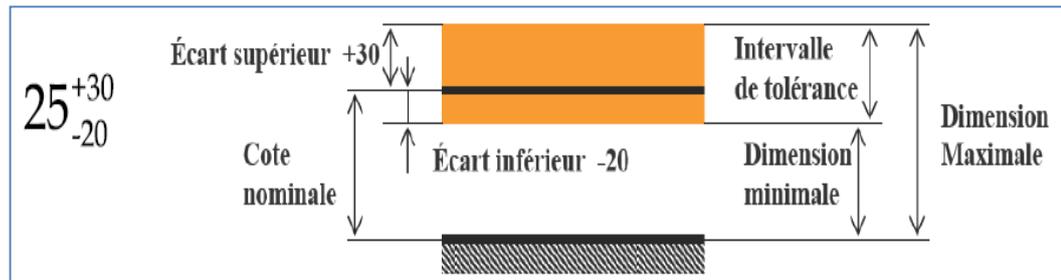


Fig. II.7. Les différents termes de tolérance.

II.2.3. Ajustements

II.2.3.1. Définition

C'est la relation résultant de la différence, avant assemblage, entre les dimensions de deux éléments (alésage et arbre) destinés à être assemblés.

II.2.3.2. Différents types d'ajustements

- **Ajustement avec jeu :** ajustement assurant toujours un jeu entre l'alésage et l'arbre après assemblage, c'est-à-dire un ajustement dans lequel la dimension minimale de l'alésage est supérieure ou, dans le cas extrême, égale à la dimension maximale de l'arbre.
- **Ajustement incertain :** ajustement assurant tantôt un jeu, tantôt un serrage après assemblage en fonction des dimensions effectives de l'alésage et de l'arbre, c'est-à-dire que les zones de tolérance de l'alésage et de l'arbre se chevauchent complètement ou en partie.
- **Ajustement avec serrage :** ajustement assurant toujours un serrage entre l'alésage et l'arbre après assemblage, c'est-à-dire un ajustement dans lequel la dimension maximale de l'alésage est inférieure ou, dans le cas extrême, égale à la dimension minimale de l'arbre.

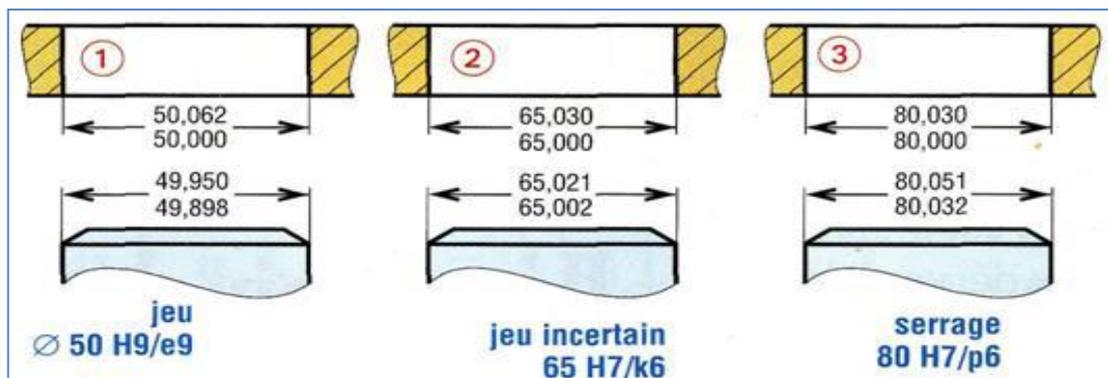


Fig. II.8. Les différents types d'ajustement. [9]

II.2.3.3. Jeux et serrages extrêmes

a. Jeu : Différence entre les dimensions, avant assemblage, de l'alésage et de l'arbre, lorsque cette différence est positive, c'est-à-dire lorsque le diamètre de l'arbre est inférieur au diamètre de l'alésage.

- **jeu minimal :** dans un ajustement avec jeu, différence positive entre la dimension minimale de l'alésage et la dimension maximale de l'arbre.

$$J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

- **jeu maximal :** dans un ajustement avec jeu ou un ajustement incertain, différence positive entre la dimension maximale de l'alésage et la dimension minimale de l'arbre.

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

b. Serrage : valeur absolue de la différence entre les dimensions, avant assemblage, de l'alésage et de l'arbre, lorsque cette différence est négative, c'est-à-dire lorsque le diamètre de l'arbre est supérieur au diamètre de l'alésage.

- **serrage minimal :** dans un ajustement avec serrage, différence négative, avant assemblage, entre la dimension maximale de l'alésage et la dimension minimale de l'arbre.

$$S_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$$

- **serrage maximal :** dans un ajustement avec serrage ou un ajustement incertain, différence négative, avant assemblage, entre la dimension minimale de l'alésage et la dimension maximale de l'arbre.

$$S_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$$

II.2.4. Système ISO/AFNOR de tolérances – Ajustements

II.2.4.1. Système ISO /AFNOR (Association française de normalisation) de tolérances

Dans le but d'homogénéiser les intervalles de tolérance, on a défini des classes **qualités** qui fixent la valeur de l'intervalle de tolérance (IT) en fonction de la dimension ou cote nominale. Ces classes qualité sont exprimées par des nombres de 0 à 16. Le nombre 0 définissant la meilleure qualité (IT le plus faible).

En mécanique courante, on utilise les qualités comprises entre 5 et 13. Voir tableau ci-dessous.

Principales qualités ou tolérances (IT) ISO (IT en micromètre : $1\mu\text{m} = 0.001\text{ mm}$)													
dimensions nominales en mm													
au-delà de →	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
à (inclus) →	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970

Tableau II.1. Principales qualités (ISO). [9]

II.2.4.2. Positions relatives des écarts ou intervalles de tolérance

Une qualité étant fixée, l'intervalle de tolérance peut se positionner de diverses façons par rapport à la cote nominale.

La position de ces intervalles de tolérance est exprimée par une lettre, de A à ZC ou zc.

- Cette lettre est une Majuscule lorsque la pièce est un contenant ou alésage.

Alésages : A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, K, M, N, O, P, R, S, T, U, V, X Y, Z, ZA, ZB, ZC.

- Cette lettre est une minuscule lorsque la pièce est un contenu ou arbre.

Arbres : a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, j, js, k, m, n, o, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc.

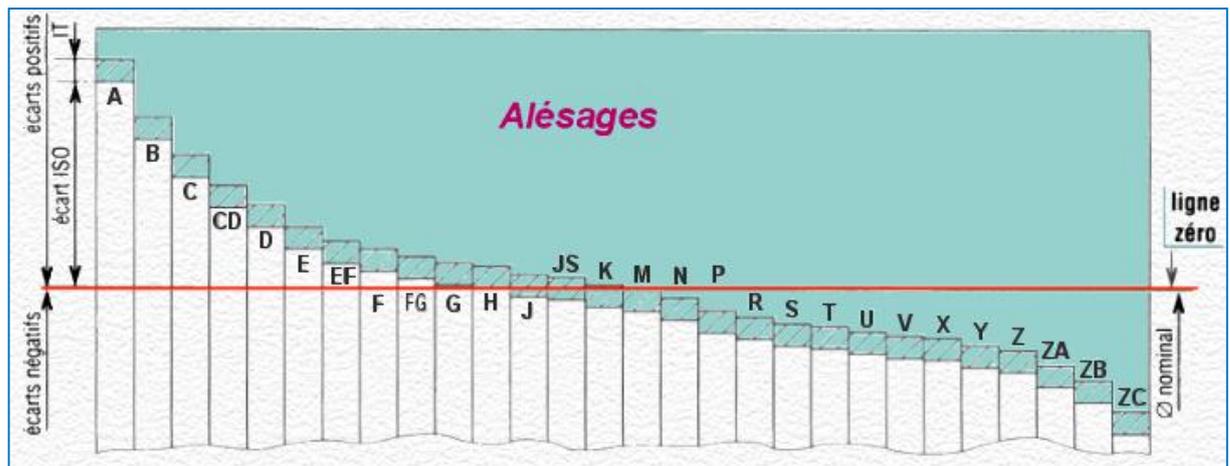


Fig. II.9. Positions relatives des écarts ISO (Alésage).[9]

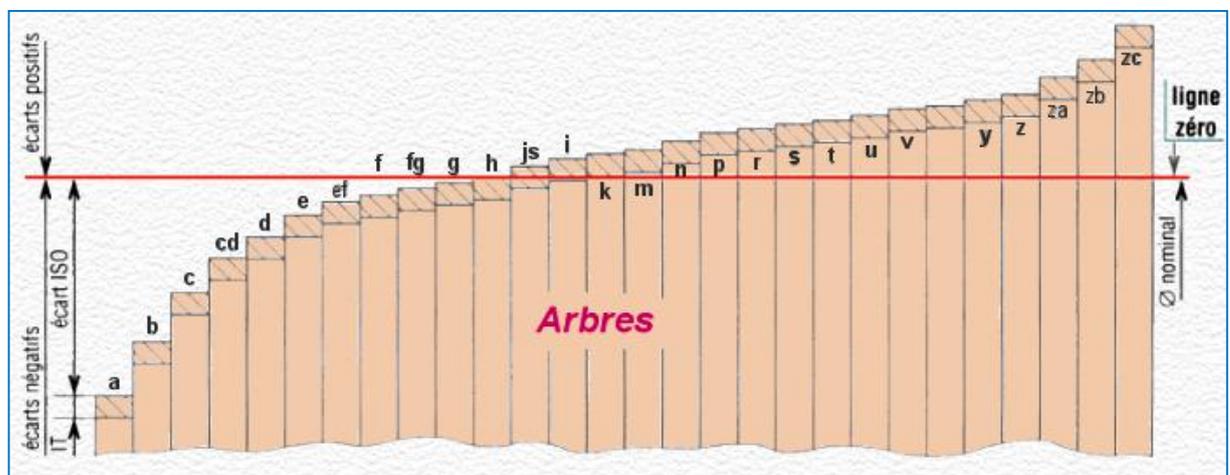


Fig. II.10. Positions relatives des écarts ISO (Arbre).[9]

II.2.4.3. Principe et désignation d'un ajustement

A. Classe de tolérance

Une classe de tolérance doit être désignée par la ou les lettres représentant l'écart fondamental suivie(s) d'un nombre représentant le degré de tolérance normalisé.

Exemple

- H7 (alésages) ;
- h7 (arbres).

B. Dimension tolérance

Une dimension tolérance doit être désignée par la dimension nominale suivie du symbole de la classe de tolérance requise ou des écarts indiqués en clair.

Exemple

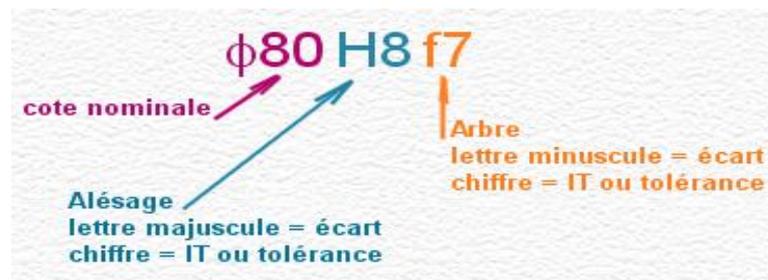
- 32H7 ;
- 80js8 ;
- 100g6.

C. Ajustement

Une exigence d'ajustement entre deux éléments à assembler doit être désignée par :

- la dimension nominale commune ;
- le symbole de classe de tolérance de l'alésage ;
- le symbole de classe de tolérance de l'arbre.

Exemple de désignation



II.2.4.4. Système normal d'alésage et d'arbre

➤ Système de l'alésage normal **H**

C'est le système le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre. Dans ce système l'alésage H est toujours pris comme base. Seule la dimension de l'arbre est à choisir.

➤ Le système de l'arbre normal **h**

Beaucoup moins utilisé que le système de l'alésage normal, il est utilisé dans certaines applications comme par exemple la fabrication de platines en matière plastique moulée avec insertion d'axes en acier.

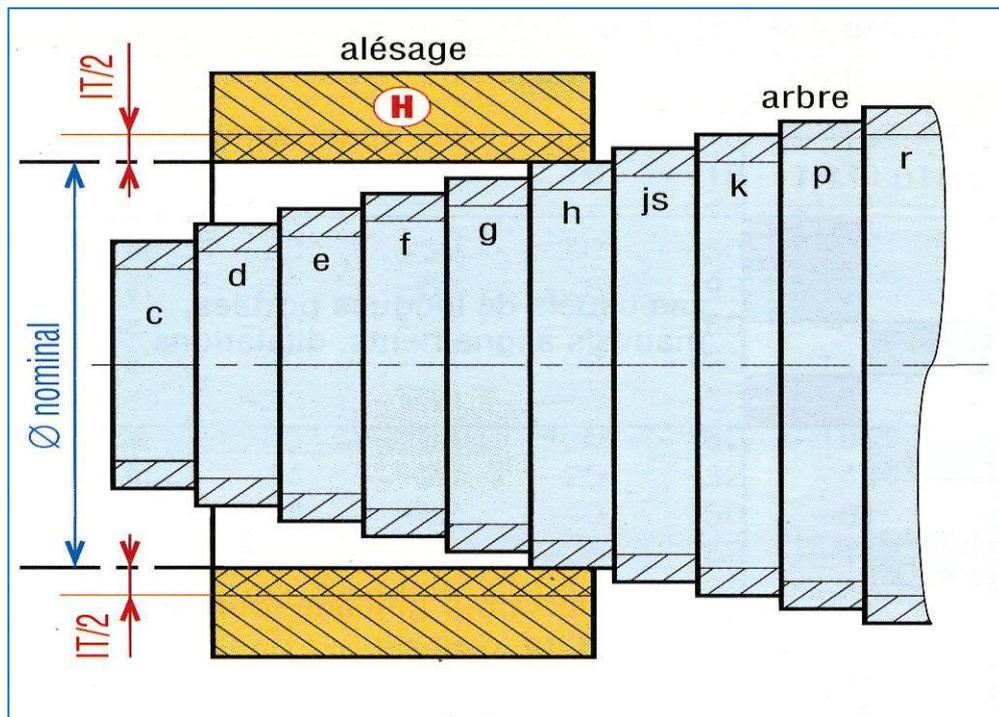


Fig. II.11. Système de l'alésage normal H. [9]

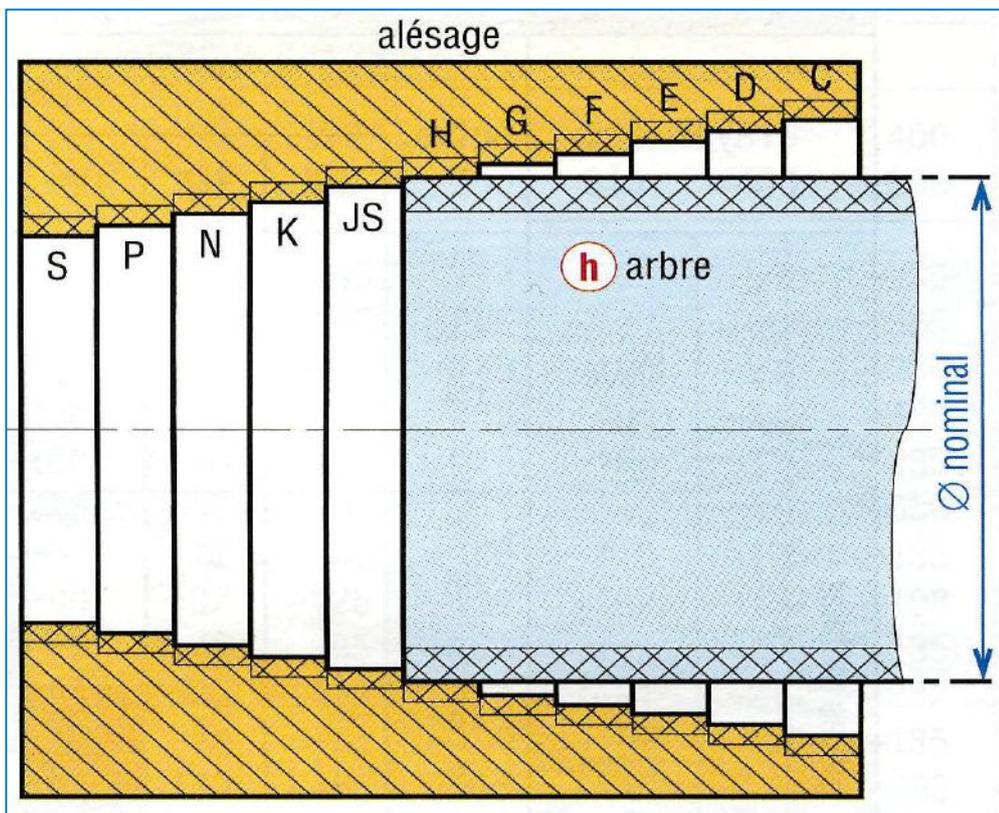


Fig. II.12. Le système de l'arbre normal h. [9]

II.2.4.5. Choix des ajustements

Les couts augmentent avec le degré de précision exigé. Pour un ajustement, on associe le plus souvent un alésage de qualité donnée avec un arbre de qualité voisine immédiatement inférieure (sensiblement mêmes difficultés d'obtention et mêmes coûts).

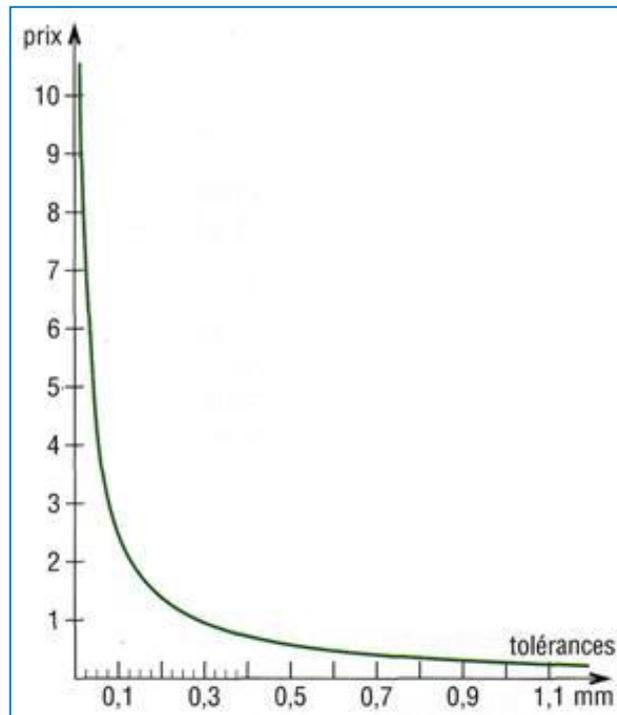


Fig. II.13. Coûts comparés indicatifs en fonction de la tolérance. [9]

Qualités usuelles indicatives des principaux procédés d'usinage																
IT (qualité)	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
oxycoupage	■															
sciage	■															
rabotage			■													
perçage			■													
fraisage			■													
perçage + alésoir				■				■								
alésage			■						■							
brochage			■					■								
tournage			■						■							
rectification									■							
rodage											■					
superfinition														■		

Tableau II.2 .Des indications sur les qualités que l'on peut attendre (en moyenne) des principaux procédés d'usinage. [9]

II.2.4.6. Tableaux (abaques)

Ajustements usuels – alésage H													
type	arbre	alésage						observations					
		H6	H7	H8	H9	H10	H11						
pièces mobiles	jeu élevé	c11								cas usuels de longues portées, mauvais alignements, dilatations...			
		c10											
		c9											
		d10											
	jeu moyen	d9								cas usuels pour guidage tournant ou glissant avec jeu (bon graissage assuré)			
		d8											
		e9											
		e8											
		e7											
		f8											
	jeu faible	f7								pour guidage précis			
		f6											
pièces immobiles	ajusté	g6								assemblage possible à la main	pour centrage et positionnement ne peut pas transmettre des efforts	pas de détérioration des pièces au démontage	
		g5											
		h9											
		h7											
	jeu incertain	h6								assemblage au maillet			
		h5											
		js7											
	peu serré	js6								assemblage à la presse	pour transmission d'efforts	détérioration des pièces au démontage	
		js5											
		k6											
		k5											
		m7											
	interférence	serré	m6								assemblage à la presse lourde ou par dilatation (frettage)		
			n6										
fort serré		p6											
		r6											
		s7											
		s6											
		t6											
u6													
x7													

cas les plus utilisés

Tableau II.3. Ajustements usuels alésage H. [9]

Extraits de tolérances ISO pour alésage (en microns : 1 µm = 0,001 mm)														
		dimensions nominales (en mm)												
au-delà de à (inclus)		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	
D10	ES	+60	+78	+98	+120	+149	+180	+220	+260	+305	+355	+400	+440	+480
	EI	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145	+170	+190	+210	+230
E9	ES	+39	+50	+61	+75	+92	+112	+134	+159	+185	+215	+240	+265	+290
	EI	+14	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+72	+85	+100	+110	+125	+135
F8	ES	+20	+28	+35	+43	+53	+64	+76	+90	+106	+122	+137	+151	+165
	EI	+6	+10	+13	+16	+20	+25	+30	+36	+43	+50	+56	+62	+68
G7	ES	+12	+16	+20	+24	+28	+34	+40	+47	+54	+61	+69	+75	+83
	EI	+2	+4	+5	+6	+7	+9	+10	+12	+14	+15	+17	+18	+20
H6	ES	+6	+8	+9	+11	+13	+16	+19	+22	+25	+29	+32	+36	+40
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H7	ES	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H8	ES	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+72	+81	+89	+97
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H9	ES	+25	+30	+36	+43	+52	+62	+74	+87	+100	+115	+130	+140	+155
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H10	ES	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+210	+230	+250
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H11	ES	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	+290	+320	+360	+400
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12	ES	100	+120	+150	+180	+210	+250	+300	+350	+400	+460	+520	+570	+630
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H13	ES	140	+180	+220	+270	+330	+390	+460	+540	+630	+720	+810	+890	+970
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	ES	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+18	+22	+26	+30	+36	+39	+43
	EI	-6	-6	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-14	-16	-16	-18	-20
JS13	±E	±70	±90	±110	±135	±165	±195	±230	±270	±315	±360	±405	±445	±485
K6	ES	+0	+2	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4	+5	+5	+7	+8
	EI	-6	-6	-7	-9	-11	-13	-15	-18	-21	-24	-27	-29	-32
K7	ES	0	+3	+5	+6	+6	+7	+9	+10	+12	+13	+16	+17	+18
	EI	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-28	-33	-36	-40	-45
M7	ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EI	-12	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57	-63
N7	ES	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-14	-14	-16	-17
	EI	-14	-16	-19	-23	-28	-33	-39	-45	-52	-60	-66	-73	-80
P7	ES	-6	-8	-9	-11	-14	-17	-21	-24	-28	-33	-36	-41	-45
	EI	-16	-20	-24	-29	-35	-42	-51	-59	-68	-79	-88	-98	-108

Tableau II.4. Extraits de tolérances ISO pour alésage. [9]

Extraits de tolérances ISO pour arbres (en microns : 1 μm = 0,001 mm)														
dimensions nominales (en mm) NF EN 20286-2, ISO 286-2														
au-delà de à (inclus)	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	
d9	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-45	-60	-76	-93	-117	-142	-174	-207	-245	-285	-320	-385	
d10	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-60	-78	-98	-120	-149	-180	-220	-260	-305	-355	-400	-480	
d11	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-80	-105	-130	-160	-195	-240	-290	-340	-395	-460	-510	-630	
e7	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-24	-32	-40	-50	-61	-75	-90	-107	-125	-146	-162	-198	
e8	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-28	-38	-47	-59	-73	-89	-106	-126	-148	-172	-191	-232	
e9	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-39	-50	-61	-75	-92	-112	-134	-159	-185	-215	-240	-290	
f6	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-12	-18	-22	-27	-33	-41	-49	-58	-68	-79	-88	-108	
f7	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83	-96	-108	-131	
f8	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106	-122	-137	-165	
g5	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-20	
	ei	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-27	-32	-35	-40	-47	
g6	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-20	
	ei	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-60	
h5	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18	-20	-23	-27	
h6	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22	-25	-29	-32	-40	
h7	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-63	
h8	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63	-72	-81	-97	
h9	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	-100	-115	-130	-155	
h10	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-40	-48	-58	-70	-84	-100	-120	-160	-185	-210	-230	-250	
h11	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-60	-75	-90	-110	-130	-160	-190	-220	-250	-290	-320	-400	
h13	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-140	-180	-220	-270	-330	-390	-460	-540	-630	-720	-810	-970	
j6	es	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+12	+13	+14	+16	+16	+20	
	ei	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-11	-13	-16	-20	
j7	es	+6	+8	+10	+12	+13	+15	+18	+20	+22	+25	+26	+31	
	ei	-4	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-15	-18	-21	-26	-32	
js5		± 2	$\pm 2,5$	± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	$\pm 7,5$	± 9	± 10	11,5	$\pm 12,5$	$\pm 13,5$
js6		± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	± 8	$\pm 9,5$	± 11	12,5	$\pm 14,5$	± 16	± 18	± 20
js7		± 5	± 6	$\pm 7,5$	± 9	$\pm 10,5$	$\pm 12,5$	± 15	$\pm 17,5$	± 20	± 23	± 26	$\pm 28,5$	$\pm 31,5$
js9		$\pm 12,5$	± 15	± 18	$\pm 21,5$	± 26	± 31	± 37	$\pm 43,5$	± 50	$\pm 57,5$	± 65	± 70	$\pm 77,5$
js11		± 30	$\pm 37,5$	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
js13		± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360	± 405	± 445	± 485
k5	es	+4	+6	+7	+9	+11	+13	+15	+18	+21	+24	+27	+29	+32
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
k6	es	+6	+9	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+28	+33	+36	+40	+45
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
m6	es	+8	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	ei	+2	+4	+6	+7	+9	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
m7	es	+12	+16	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55	+63	+72	+78	+86
	ei	+2	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
n5	es	+8	+13	+16	+20	+24	+28	+33	+38	+45	+51	+57	+62	+67
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37	+40
n6	es	10	+16	+19	+23	+28	+33	+39	+45	+52	+60	+66	+73	+80
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37	+40
p6	es	+12	+20	+24	+29	+35	+42	+51	+59	+68	+79	+88	+98	+108
	ei	+6	+12	+15	+18	+22	+26	+32	+37	+43	+50	+56	+62	+68

Tableau II.5. Extraits de tolérances ISO pour arbre. [9]

Tolérances ISO pour arbres et alésages													
dimensions nominales (en mm)													
au-delà de à (inclus)	1	3	6	10	18	24	30	40	50	65	80	100	
	3	6	10	18	24	30	40	50	65	80	100	120	
c11	es	-60	-70	-80	-95	-110	-110	-120	-130	-140	-150	-170	-180
	si	-120	-145	-170	-205	-240	-240	-280	-290	-330	-340	-390	-400
r6	es	+16	+23	+28	+34	+41	+41	+50	+50	+60	+62	+73	+76
	ei	+10	+15	+19	+23	+28	+28	+34	+34	+41	+43	+51	+54
C11	ES	+120	+145	+170	+205	+240	+240	+280	+290	+330	+340	+390	+400
	EI	+60	+70	+80	+95	+110	+110	+120	+130	+140	+150	+170	+180
S7	ES	-14	-15	-17	-21	-27	-27	-34	-35	-42	-48	-58	-66
	EI	-24	-27	-32	-39	-48	-48	-59	-59	-72	-78	-93	-101
U7	ES	-18	-19	-22	-26	-33	-40	-51	-61	-76	-91	-111	-131
	EI	-28	-31	-37	-44	-54	-61	-76	-86	-106	-121	-146	-166
au-delà de à (inclus)	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	
	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	
c11	es	-200	-210	-230	-240	-260	-280	-300	-330	-360	-400	-440	-480
	ei	-450	-460	-480	-530	-550	-570	-620	-650	-720	-760	-840	-880
r6	es	+88	+90	+93	+106	+109	+113	+126	+130	+144	+150	+166	+172
	ei	+63	+65	+68	+77	+80	+84	+94	+98	+108	+114	+126	+132
C11	ES	+450	+460	+480	+530	+550	+570	+620	+650	+720	+760	+840	+880
	EI	+200	+210	+230	+240	+260	+280	+300	+330	+360	+400	+440	+480
S7	ES	-77	-85	-93	-105	-113	-123	-138	-150	-169	-187	-209	-229
	EI	-117	-125	-133	-151	-159	-169	-190	-202	-226	-244	-272	-292
U7	ES	-155	-175	-195	-219	-241	-267	-295	-330	-369	-414	-467	-517
	EI	-195	-215	-235	-265	-287	-313	-347	-382	-426	-471	-530	-580

Tableau II.6. Tolérances ISO pour arbres et alésages. [9]

 **Note**

Température de référence : La température à laquelle sont spécifiées les dimensions dans le système ISO de tolérances et d'ajustements est 20°C.

II.2.5. Qualité de forme et de position

II.2.5.1. Généralités sur les tolérances géométriques

Les tolérances dimensionnelles usuelles (ajustements...) ne suffisent pas toujours pour définir rigoureusement la forme géométrique d'un objet. Malgré la cotation tolérance des dimensions, des défauts géométriques nuisibles au fonctionnement et à l'assemblage sont toujours possibles.

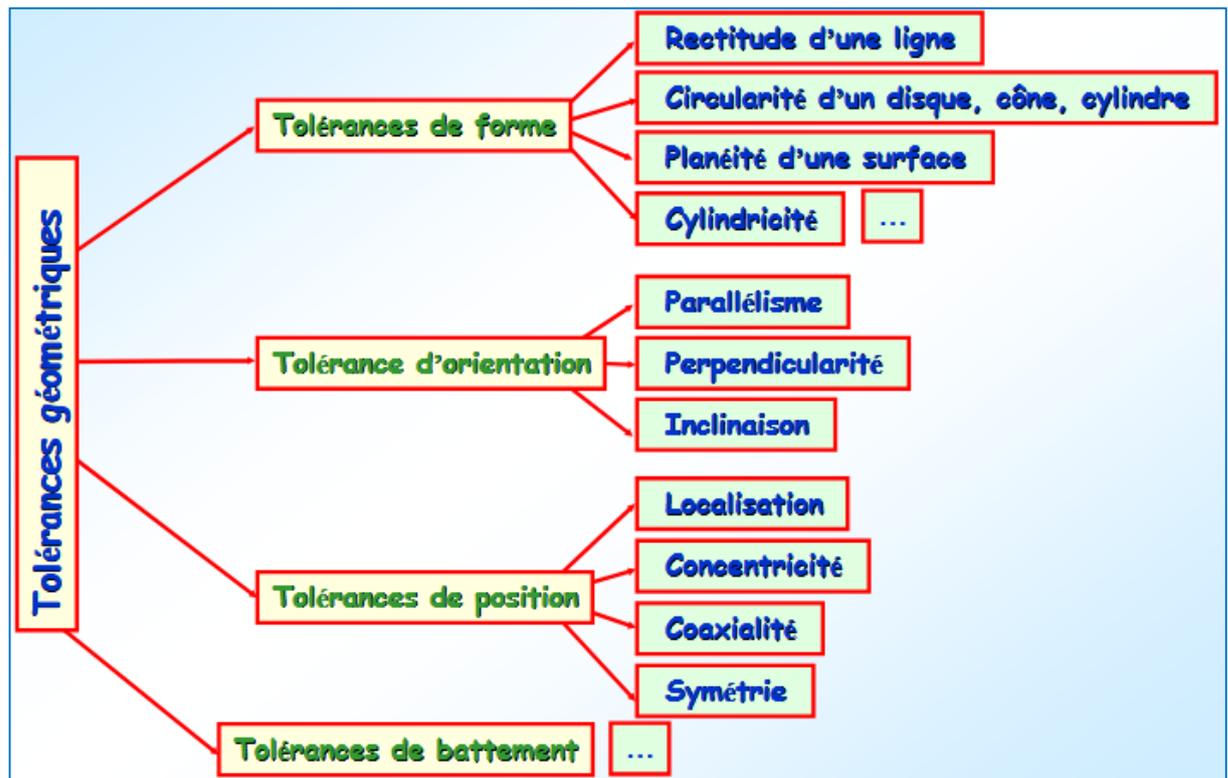


Fig. II.14. Les tolérances géométriques. [10]

Les tolérances géométriques - ISO 1101				
type de tolérances	cas	symbole (ISO)	observation	
tolérances de forme	rectitude		s'utilisent sans élément de référence	
	planéité			
	circularité			
	cylindricité			
	profil d'une ligne			également utilisées avec tolérances de position, d'orientation et élément de référence
	profil d'une surface			
tolérances d'orientation	parallélisme		s'utilisent avec élément de référence (axe, plan...)	
	perpendicularité			
	inclinaison			
tolérances de position	concentricité (centres) coaxialité (axes)			
	symétrie			
	localisation			
tolérances de battement	battement circulaire			
	battement total			
Symboles complémentaires				
<ul style="list-style-type: none"> (E) exigence ou principe de l'enveloppe (F) condition à l'état libre (pièces non rigides) (L) exigence au minimum de matière (M) exigence au maximum de matière (P) zone de tolérance projetée ∅ zone de tolérance cylindrique ou circulaire S ∅ zone de tolérance sphérique 	<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none"> indication de l'élément de référence dimension théoriquement exacte indication de référence partielle tout autour (profil) 		

Tableau II.7. Les tolérances géométriques. [11]

A. Tolérance de forme

- **Rectitude** : une ligne quelconque de la surface supérieure, parallèle au plan de projection dans lequel l'indication est donnée, doit être contenue entre deux droites parallèles distantes de 0,2. Leur longueur est celle de l'élément spécifié.



- **Planéité** : la zone de tolérance est limitée par deux plans parallèles distants de 0,2 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié. Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance.



- **Circularité** : le pourtour de chaque section droite du cylindre doit être compris entre deux cercles concentriques distants de 0,2.



- **Cylindricité** : la zone de tolérance est limitée par deux cylindres coaxiaux distants de 0,2 dont la longueur est celle de l'élément spécifié. Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance.



- **Profil d'une ligne quelconque** : dans chaque coupe parallèle au plan de dessin, le profil tolérance doit se situer entre deux lignes englobant des cercles de diamètre 0.2 dont les centres se trouvent sur une ligne de forme géométrique idéale.



- **Profil d'une surface quelconque** : la surface considérée doit se situer entre deux surfaces englobant des sphères de diamètre 0.2, dont les centres se trouvent sur une surface de forme géométrique idéale. [12]



Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
rectitude —			La ligne sommet doit rester entre deux droites parallèles (du dessin) distantes de 0,1, parallèles ou non aux autres parties de l'objet.
			Chaque génératrice du cylindre doit rester entre deux droites parallèles distantes de 0,05, parallèles ou non à l'axe.
			L'axe du cylindre doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,2, coaxiale ou non à l'axe de la pièce
planéité 			La surface de la pièce doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,2, parallèles ou non aux autres parties de l'objet.
circularité 			Le profil de chaque section perpendiculaire à l'axe doit rester entre deux cercles concentriques distants de 0,1, centrés ou non sur l'axe du cylindre.
cylindricité 			La périphérie du cylindre doit être contenue entre deux cylindres coaxiaux distants de 0,1 (englobe la rectitude et la circularité).
profil d'une ligne 			Le profil de chaque ligne doit rester entre deux lignes qui enveloppent des cercles de diamètre 0,2 centrés sur le profil théorique spécifié.
profil d'une surface 			La surface de l'objet doit rester entre deux surfaces qui enveloppent des sphères de diamètre 0,4 centrées sur la surface théorique spécifiée.

Tableau II.8 .Tolérances de forme. [11]

B. Tolérance de position

- **Coaxialité** : l'axe du cylindre tolérance doit se situer à l'intérieur d'un cylindre de diamètre 0,1, coaxial à l'axe de référence A-B.



- **Symétrie** : le plan médian de la rainure doit se situer entre deux plans parallèles distants de 0,1, étant symétriques par rapport au plan médian de l'élément de référence A



- **Localisation** : l'axe du trou doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,1 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié et symétriquement disposés par rapport à la position exacte du plan spécifié par rapport à la surface de référence. [12]



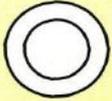
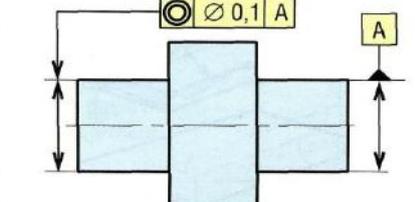
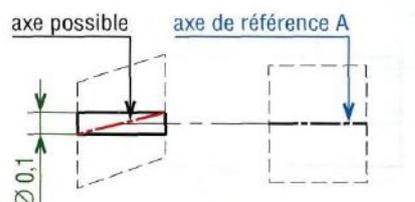
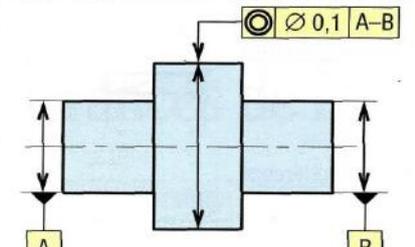
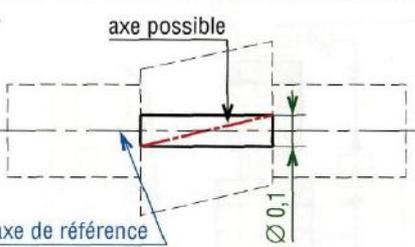
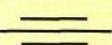
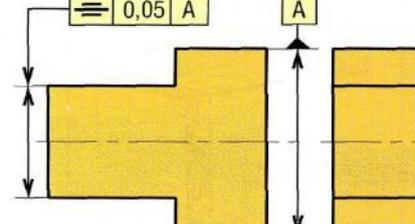
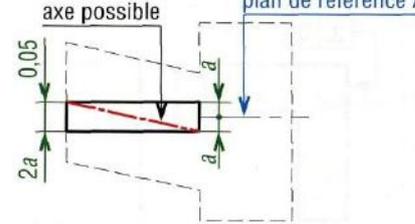
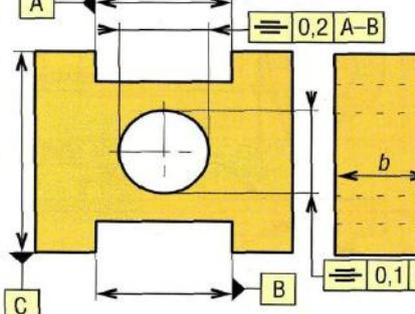
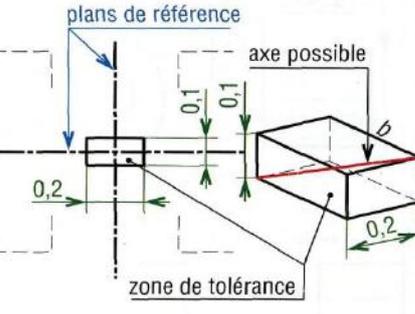
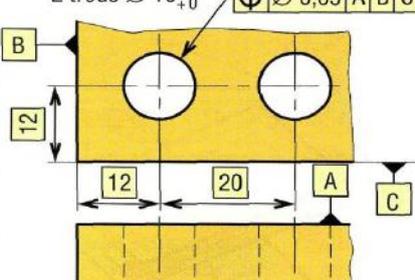
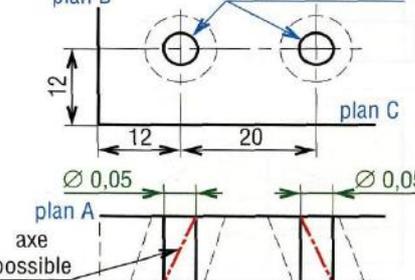
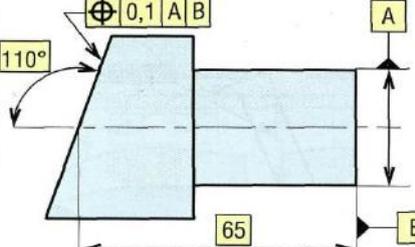
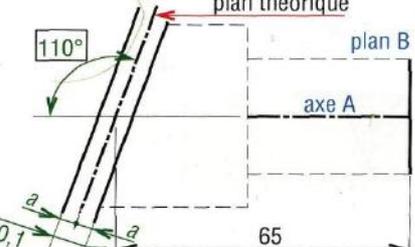
Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
concentricité et coaxialité 			L'axe du cylindre à gauche doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,1 dont l'axe est celui du cylindre droit (A).
			L'axe du cylindre au milieu doit être contenu dans une zone cylindrique de diamètre 0,1 dont l'axe est celui des deux autres cylindres.
symétrie 			Le plan médian de la partie gauche doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,05 et disposés symétriquement par rapport au plan A médian de la partie droite.
			L'axe du trou doit être contenu dans un parallélépipède 0,2 x 0,1 d'épaisseur b, d'axe l'intersection des plans médians (A-B) et (C).
localisation 			Les axes des trous doivent être contenus dans des cylindres de diamètre 0,05 d'axes perpendiculaires à A et positionnés par les cotes encadrées.
			La surface doit rester entre deux plans parallèles distants de 0,1, inclinés de 110° par rapport à A symétriquement par rapport au plan théorique (à 65 de B).

Tableau II.9. Tolérances de position. [11]

II.3. Qualité d'état de surface

II.3.1. Généralités

L'aptitude d'une pièce, a une fonction donnée, dépend d'un ensemble de conditions, notamment des caractéristiques de ses états de surface. Le terme " état de surface" englobe :

- l'état géométrique de la surface ;
- l'état mécanique de la surface.

II.3.2. L'état géométrique de la surface

II.3.2.1. Définitions

- ❖ **Surface d'un corps** : c'est le lieu des points qui délimitent une portion de l'espace. La surface d'une pièce est composée d'une ou plusieurs surfaces élémentaires.
- ❖ **Surface nominale** : c'est une surface parfaite, elle est définie géométriquement par des cotes nominales. Par exemple, pour la surface cylindrique : $\varnothing 30$.
- ❖ **Surface spécifiée** : c'est la surface géométrique affectée des tolérances de fabrication.
- ❖ **Surface réelle** : c'est la surface qui résulte des procédés de fabrication.
- ❖ **Surface mesurée** : la surface mesurée est le résultat de l'exploration, à l'aide des instruments de mesure. [8]

II.3.2.2. Analyse d'une surface

Si l'on coupe normalement une surface par un plan, on obtient une courbe appelée : "profil de surface".

C'est à partir de ce profil que l'on analyse les différents défauts de la surface. On classe les défauts géométriques en quatre ordres de grandeur.

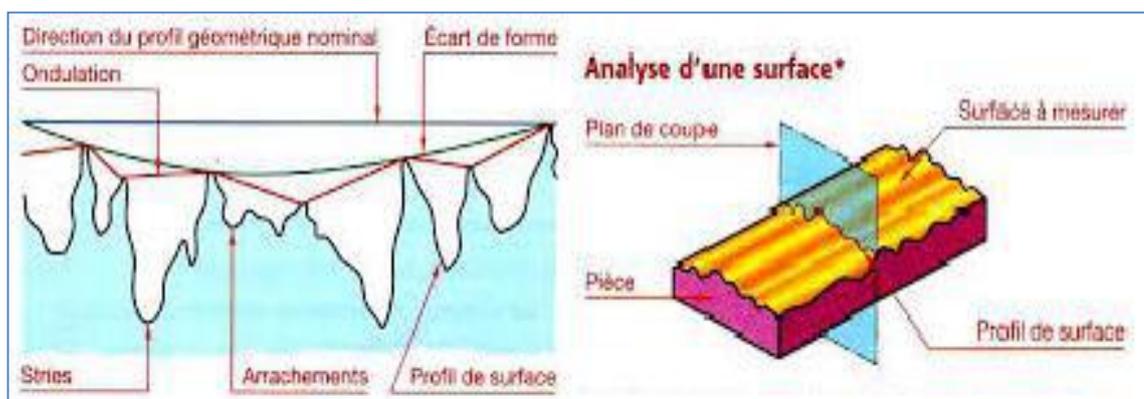


Fig. II.15. Analyse d'une surface. [13]

II.3.2.3. Défauts géométrique de surface

Les caractéristiques et défauts possibles d'une surface peuvent être divisés en quatre catégories, en allant du plus grand au plus petit :

- **défauts d'ordre 1** : ils correspondent aux défauts géométriques des surfaces : planéité, rectitude, circularité, etc.
- **défauts d'ordre 2** : ils sont relatifs aux ondulations, sortes de collines et de vallées successives inscrites dans le profil et engendrées par les vibrations, déformations des machines, broutements, traitements thermiques.
- **défauts d'ordre 3** : ce sont les stries de rugosité, sortes de sillons tracés avec régularité dans le relief des ondulations par les outils de coupes.
- **défauts d'ordre 4** : plus irréguliers, parfois accidentels, ils correspondent à des arrachements, fentes ou fissures dans la matière, etc... [8]

II.3.2.4. Les paramètres de la rugosité

A. Rugosité R_a : écart moyen arithmétique du profil.

Correspond à la moyenne des valeurs absolues des écarts entre le profil et une ligne moyenne de ce profil.

$$R_a = \frac{z_1 + \dots + z_n}{n}$$

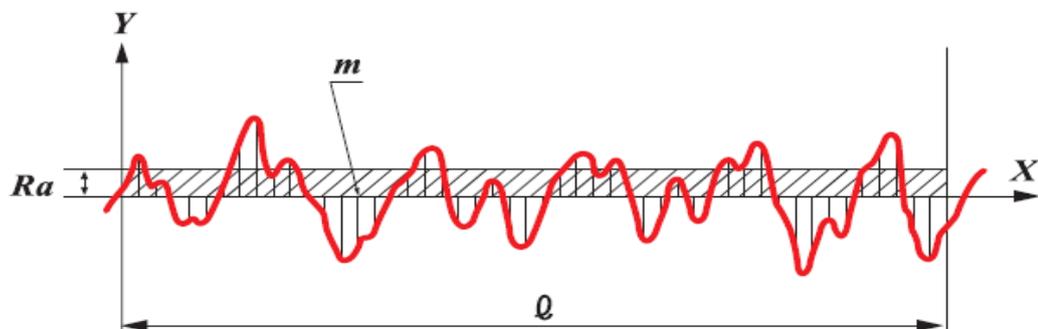


Fig. II.16. L'écart moyen arithmétique du profil (R_a).

B. Rugosité R_z : hauteur maximal du profil.

Distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux $R_z = R_p + R_v$

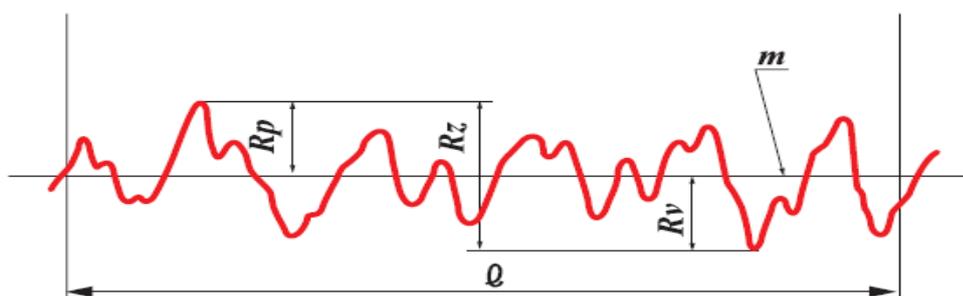


Fig. II.17. Hauteur de profil maximum R_z (moyenne).

C. **Rugosité R_t** : la hauteur de profil totale est la somme de la hauteur de la crête la plus élevée du profil et de la profondeur de creux la plus importante dans la longueur d'évaluation (qui correspond normalement à cinq longueurs de référence).

$$R_t = \max(R_{pi}) + \max(R_{vi})$$

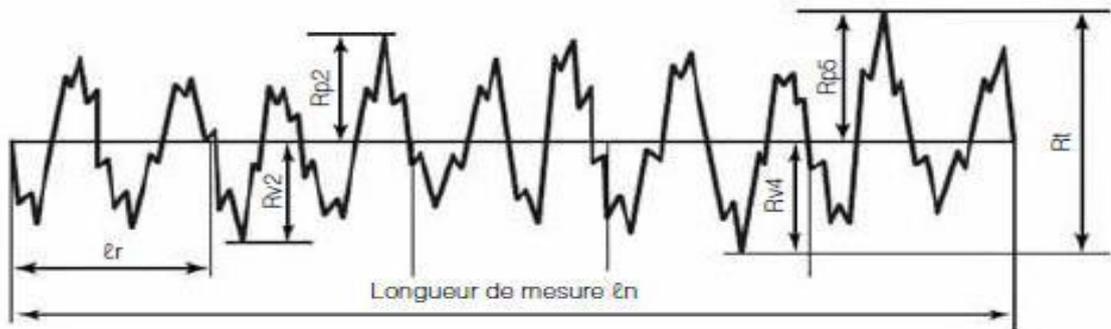


Fig. II.18. Hauteur de profil totale R_t .

II.3.2.5. Inscription normalisée d'un état de surface

La norme utilisée repose essentiellement sur la normalisation ISO et est commune, à quelques nuances près, à la plupart des pays industrialisés.

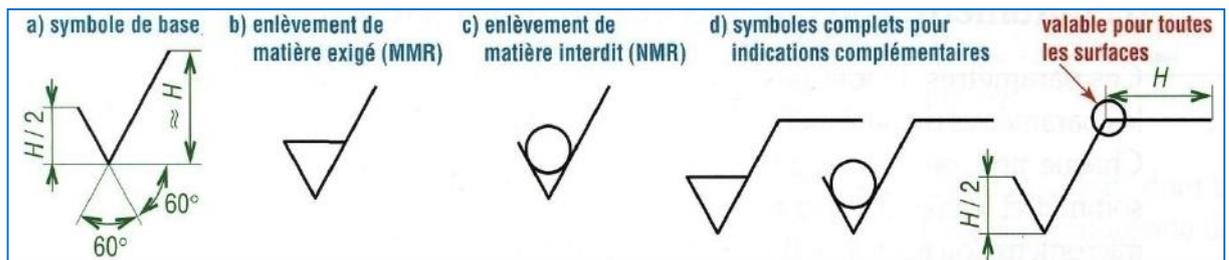


Fig. II.19. Symboles de base normalisés (NF ISO 1302). [9]

Le R_a (écart moyen arithmétique) est l'indicateur de rugosité le plus utilisé sur les dessins de définition.

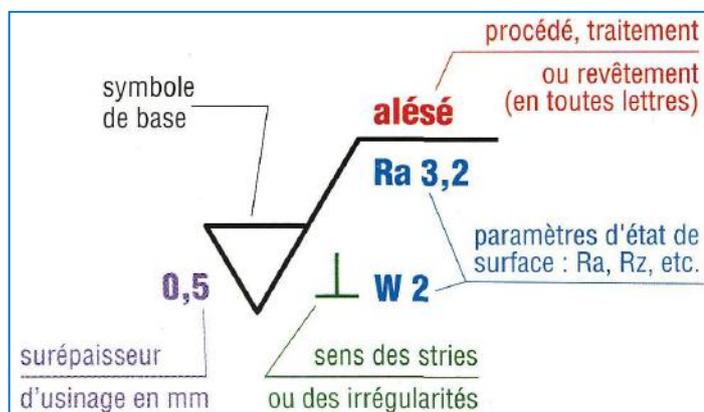


Fig. II.20. Spécification de l'état de surface. [9]

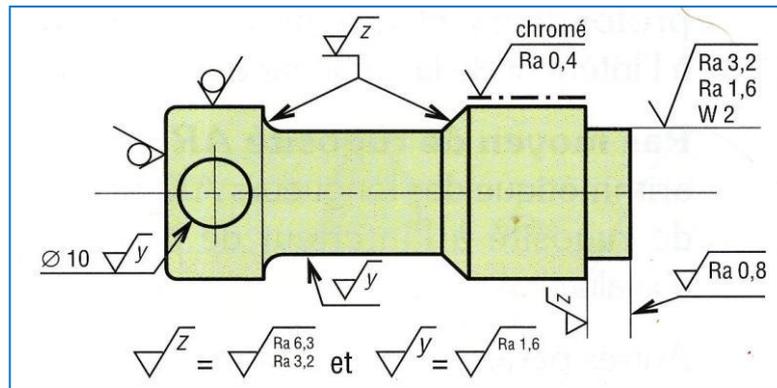


Fig. II.21. Exemple de cotation, position des symboles. [9]

États de surface – Principe et exemples d'inscription			
symbole	signification	symbole	signification
	surface avec spécification obtenue sans enlèvement de matière : fonderie, forgeage, extrusion, etc. ; hauteur maximale de rugosité Rz = 0,5 ; règle des 16 %		surface avec spécification obtenue par usinage. Ra doit être compris entre 0,8 et 1,6 µm (0,8 ≤ Ra ≤ 1,6) surépaisseur d'usinage : 0,5 mm
	si la longueur de base (fig.3) diffère des valeurs normalisées elle doit être indiquée (ici Lr = 2,5 mm, Ln = 5 Lr) ; Ra = 1,6 µm		surface obtenue par tournage : Ra = 3,2 µm ; profondeur moyenne d'ondulation W = 5 µm ; stries d'usinage perpendiculaire au plan de projection
	surface usinée, traitée par chromage, 6,3 ≤ Rz ≤ 16 µm avec une longueur de base limitée à 2,5 mm. « Règle des 16 % » U pour limite supérieure ; L pour limite inférieure.		état de surface obtenu sans usinage, traitement par cémentation, rugosité Rz = 16 µm ; spécifications valables pour toutes les surfaces du contour
<p>Éléments utilisés pour indiquer les exigences d'état de surface</p> <p>limite supérieure ou inférieure (L) filtre bande de transmission paramètre de surface longueur d'évaluation interprétation règle du max ou règle des 16 % valeur limite du paramètre</p>			

Tableau II.10. Exemples d'inscription d'états de surface. [9]

Rugosité moyenne Ra		Poids maximum Rz	Rugosité moyenne en dix points Rz ₁₀	Longueur étalon Rz • Rz ₁₀ l (mm)	Symbole
Séries standards	Moyenne arithmétique ac (mm)	Séries standards			
0.012 a	0.08	0.05s	0.05z	0.08	
0.025 a		0.1 s	0.1 z		
0.05 a		0.2 s	0.2 z		
0.1 a		0.4 s	0.4 z		
0.2 a		0.8 s	0.8 z		
0.4 a	0.8	1.6 s	1.6 z	0.8	
0.8 a		3.2 s	3.2 z		
1.6 a		6.3 s	6.3 z		
3.2 a	2.5	12.5 s	12.5 z	2.5	
6.3 a		25 s	25 z		
12.5 a	8	50 s	50 z	8	
25 a		100 s	100 z		
50 a		200 s	200 z		
100 a	—	400 s	400 z	—	—

Tableau II.11. Relation entre rugosité moyenne (Ra) et désignation conventionnelle.

II.3.2.6. Choix des états de surface

Le Tableau II.12 indique les rugosités que l'on peut attendre des principaux procédés de production.

Remarque

- **Ra > 6,3** : spécifications peu sévères, correspondant à ce qu'il est possible d'obtenir avec un grand nombre de pièces brutes, sans usinage complémentaire.
- **1,6 ≤ Ra ≤ 6,3** : spécifications moyennes, correspondent à ce qu'il est possible d'obtenir usuellement avec les procédés d'usinages classiques.
- **Ra < 1,6** : spécifications devenant sévères, l'utilisation de ces valeurs doit être faite avec réflexion et concertation car les temps de production et les prix de revient augmentent très rapidement à partir de ce cas (**fig.22**). 0,4 : fini très fin ; 0,0125 : extra-fin. [9]

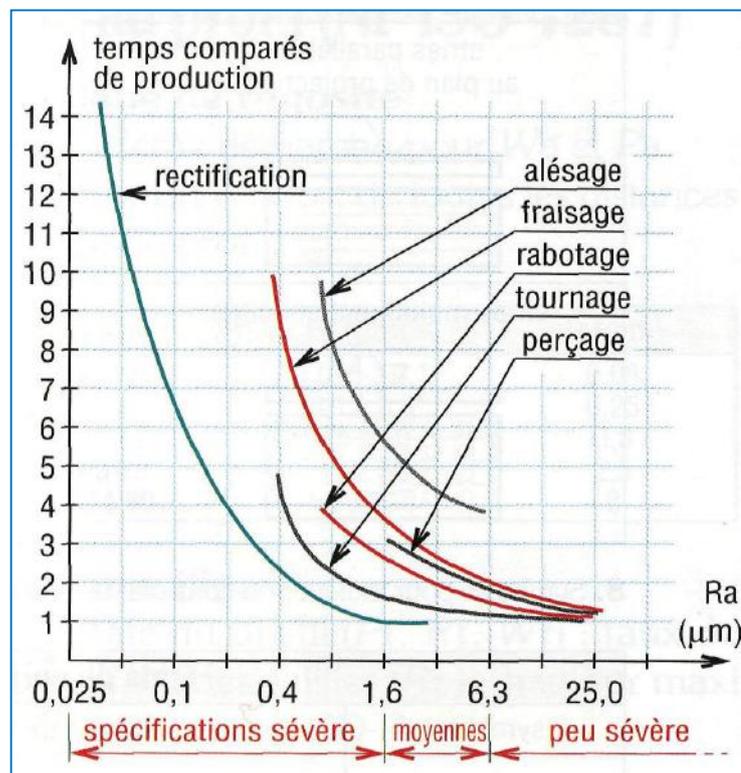


Fig. II.22. Prix de revient et spécifications. [9]

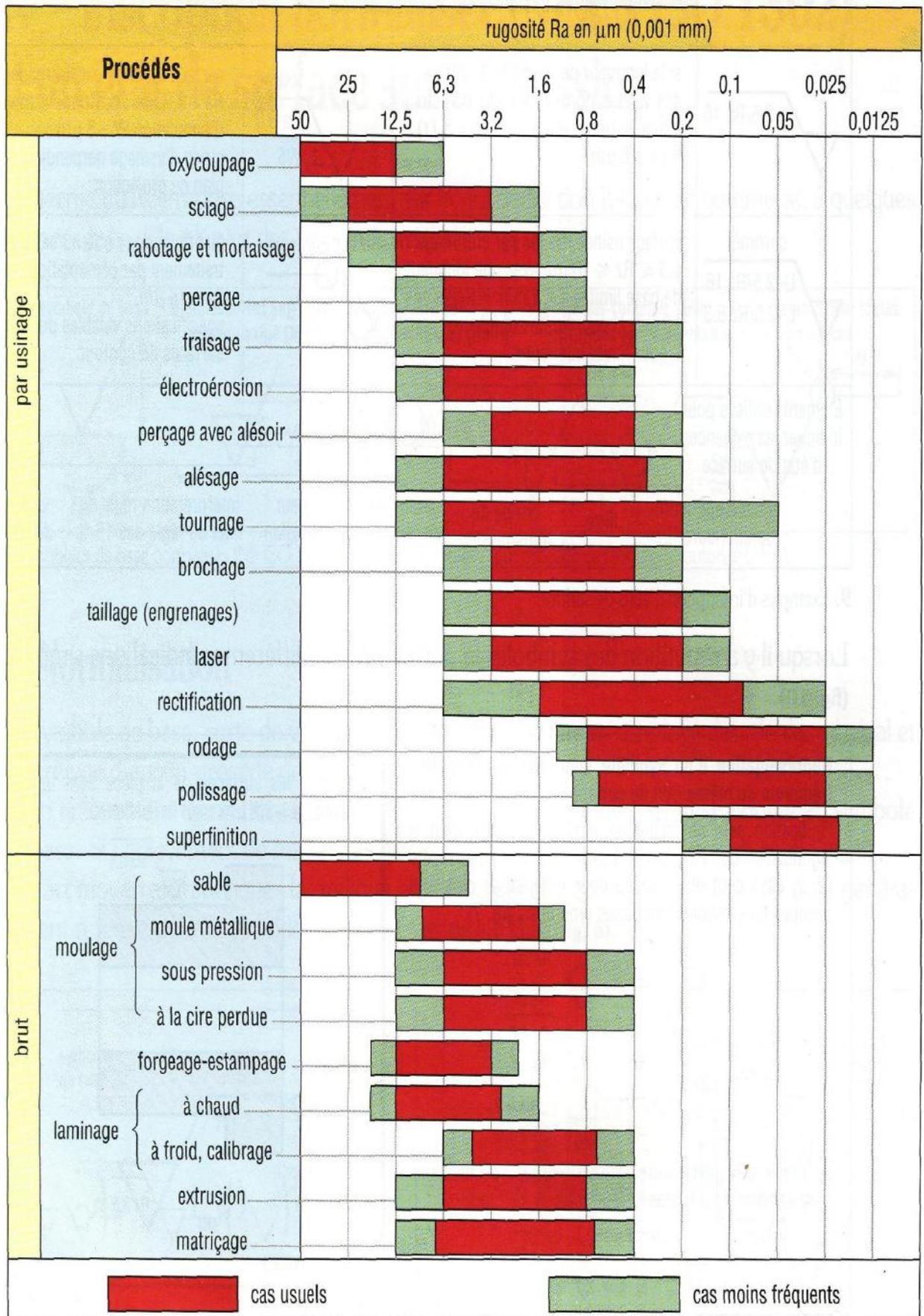


Tableau II.12. Rugosité Ra des principaux procédés de fabrication. [9]

II.4. Contrôle de la qualité

II.4.1. Généralités

L'ensemble des procédés et instruments de vérification et de contrôle constitue "la métrologie".

La métrologie est l'ensemble des moyens techniques utilisés pour le contrôle de pièces mécaniques.

A. Vérification

On entend par vérification les mesures ou les comparaisons effectuées à l'aide d'instruments appropriés au cours de l'usinage de la pièce.

La vérification a pour but de guider l'ouvrier depuis l'ébauche jusqu'à la finition.

Les instruments de vérification sont le plus généralement à lecture et à cote variable.

B. Contrôle

On entend par contrôle les mesures ou les comparaisons effectuées sur la pièce terminée, aux conditions de tolérances imposées pour son montage ou pour son interchangeabilité.

Les instruments de contrôle sont le plus généralement à cote fixes ; ils permettent d'éviter les différences qui peuvent résulter de mesure faites par des personnes différentes.

✚ **Note :** Ces contrôles s'effectuent dans un local dont la température est voisine de 20°C, et les pièces doivent être ébavurées et nettoyées avant le contrôle.

II.4.2. Contrôle dimensionnel

II.4.2.1. Mesure directe des longueurs

II.4.2.1.1. Pied à coulisse

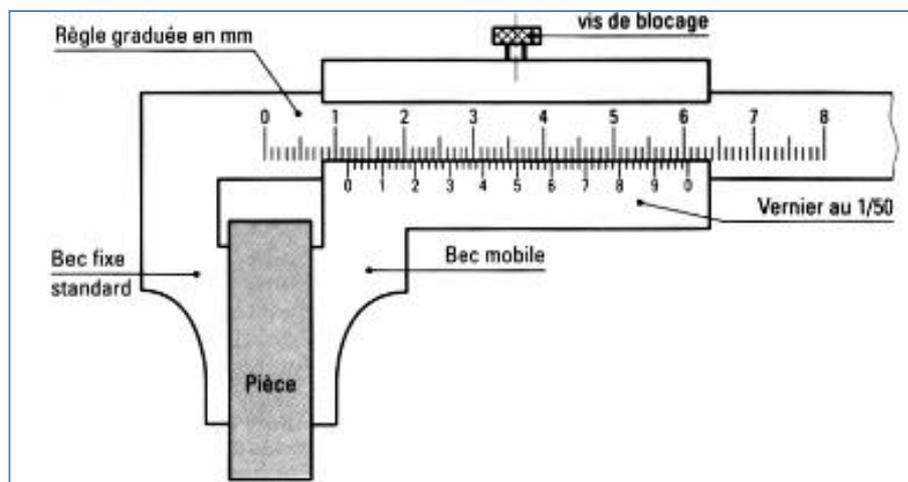


Fig. II.23. Pied à coulisse.

➤ Principe de fonctionnement

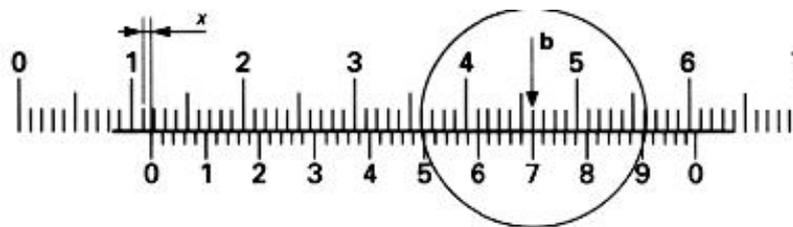
Un coulisseau portant un vernier au 1/50 et un bec mobile se déplacent sur une règle en fonction de la grandeur de la pièce à mesurer. La position de mesurage peut être stabilisée par la vis de blocage.

➤ Principe de lecture

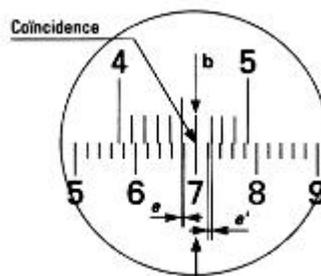
a. Lire un nombre entier de mm sur la règle juste à gauche du zéro du vernier :



b. Lire la fraction de mm (x) sur le vernier :



c. Repérer la coïncidence des graduations entre la règle et le vernier en appliquant la méthode des écarts symétriques :



➤ Types de pieds à coulisse

- **Pieds à coulisse à vernier** : le vernier permet de lire les fractions de division. Les résolutions les plus courantes sont : 1/10 ème, 1/20 ème ou 1/50 ème de mm ; le vernier complète donc la règle graduée en apportant une exactitude dans la mesure.
- **Pieds à coulisse à montre** : ils sont dotés d'un cadran circulaire gradué avec une aiguille. différentes résolutions existent : 0,05 - 0,02 ou encore 0,01 mm .
- **Pieds à coulisse à lecture digitale** : pour un affichage rapide dans un écran à cristaux liquides. Ils peuvent avoir différentes fonctions : conversion des millimètres en pouces (inch), blocage de l'affichage, conservation des mesures en mémoire, transmission des données vers un ordinateur (grâce à une sortie de données).



Fig. II.24. Types de pieds à coulisse.

II.4.2.1.2. Micromètres

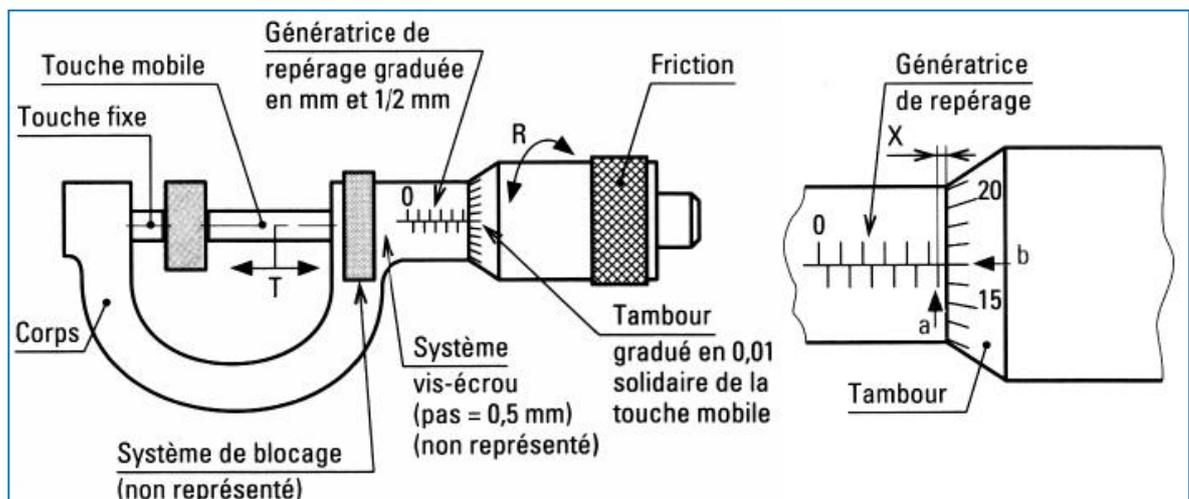


Fig. II.25. Micromètre.

➤ Principe de lecture sur micromètre

- a. Lire le nombre entier de millimètres et de 1/2 mm sur la génératrice de repérage (dernière graduation découverte par le tambour) Lire la fraction de millimètre (X) sur le tambour gradué en 0,01: $17 \times 0,01 = 0,17$.

- **Types de micromètres**
- **Micromètres d'extérieur**
 - Lecture de la dimension sur vernier.
 - Lecture de la dimension numérisée.



Fig. II.26. Types de micromètres d'extérieur.

- **Micromètres d'intérieur**
 - Lecture de la dimension sur vernier Lecture de la dimension sur vernier.
 - Micromètre à becs d'intérieur alésomètre 3 touches.

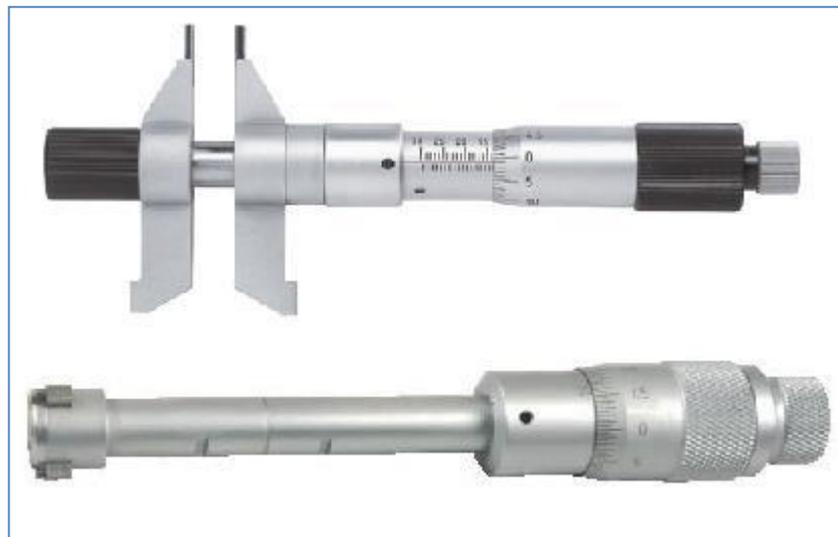


Fig. II.27 : Types de micromètres intérieurs.

II.4.2.2. Mesure des angles

II.4.2.2.1. Équerres

Ce sont des calibres, en acier spécial trempé, constitués de deux branches qui forment entre elles un angle donné.



Fig. II.28. Les équerres.

II.4.2.2.2. Rapporteur d'angles

➤ Principe de fonctionnement

Une règle mobile se déplace autour d'un axe par rapport à une règle fixe solidaire de l'axe.



Fig. II.29. Types de rapporteur d'angles.

II.4.2.3. Mesure indirecte des longueurs (par comparaison)

II.4.2.3.1. Comparateur à cadran

➤ **Principe de fonctionnement**

Pour un déplacement de 1 mm du palpeur lié à la crémaillère, l'aiguille liée au pignon terminal de la chaîne cinématique fait 1 tour. Le cadran étant divisé en 100 graduations, chaque graduation est égale à : $1 \text{ mm}/100$, soit 0,01 mm.

➤ **Principales utilisations**

- Mesurer l'écart entre un étalon et une pièce à mesurer.
- Réaliser les différents réglages géométriques sur la machine.

➤ **Conditions normales d'utilisation**

- Vérifier, avant usage, la fidélité de réponse (retour à la même graduation).
- Vérifier le vissage du palpeur.
- Réduire les porte-à-faux lors du montage du comparateur sur le support (ci-contre).

➤ **Types de comparateurs**

- Comparateur à cadran numérique.
- Comparateur à levier (d'intérieur).



Fig. II.30. Types de comparateurs.

II.4.2.4. Les vérificateurs à tolérance

Les vérificateurs à tolérance sont employés pour s'assurer que les cotes des pièces exécutées sont bien comprises entre les tolérances prévues sur le dessin.

Ils ne doivent pas être utilisés en cours de fabrication, car l'ouvrier travaillerait en aveugle, ne sachant jamais quelle profondeur de passe il faut prendre pour terminer le travail.

➤ Principe de vérification

La pièce "entre" ou "n'entre pas".

➤ Quelques instruments de vérification



Fig. II.31. Instruments de vérification.

II.4.2.5. Mesure de la rugosité

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne pas sont suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise un rugosimètre qui détermine de manière sûre et précise un certain nombre de paramètres de rugosité (Ra, Rz...). Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'un rugosimètre on peut citer les domaines suivants :

- **Mécanique** : l'optimisation de la rugosité permet un meilleur ancrage mécanique, notamment au sein de dispositifs où les forces de friction jouent un rôle fonctionnel prépondérant.
- **qualité** : l'utilisation d'un rugosimètre permet le contrôle de la qualité de finition en bout de chaîne de production, permettant de détecter et de corriger d'éventuels problèmes survenus durant l'usinage.

➤ Rugosimètre

Est un instrument utilisé pour mesurer le relief d'une surface, notamment dans le but d'en évaluer la rugosité ou la micro-géométrie. Les rugosimètres sont à leur origine dotés d'une pointe très fine en diamant qui lit l'altitude lorsqu'on la déplace le long de la surface. Il existe deux types de [14] rugosimètre :

- Rugosimètre portable.
- Rugosimètre fixe.



Fig. II.32. Rugosimètre.

II.5. Étalonnage

II.5.1. Étalonnage, vérification et ajustage d'un équipement de mesure

D'après le vocabulaire international de métrologie (VIM) édition 2008, l'étalonnage est une opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir un résultat de mesure à partir d'une indication.

En clair, cette opération consiste à mesurer la même grandeur avec l'équipement à étalonner et l'équipement étalon, et à comparer les indications des deux instruments, puis à exploiter les résultats de cette comparaison.

La seconde étape dont parle le VIM, consiste à exploiter les résultats de la première. Il peut s'agir de trois actions :

- **la correction manuelle du résultat lu (réglage);**
- **la vérification du matériel ;**
- **l'ajustage du matériel.**
- La correction manuelle consiste à modifier la valeur lue.
- La vérification métrologique consiste à apporter la preuve à partir des mesures (étalonnage) que des exigences spécifiées, c'est-à-dire les erreurs maximales tolérées (EMT), sont satisfaites. Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de conformité (suivie d'une remise en service) ou de non-conformité (suivie d'un ajustage, d'une réparation, d'un déclassement ou d'une réforme de l'appareil).
- L'ajustage est un ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer.

On s'intéresse à l'étalonnage comme une action qui permet :

- le réglage des instruments de mesure tels que : pieds à coulisse, micromètres, comparateur, ...
- l'analyse de la répétabilité des résultats des mesures, ou la comparaison avec des données déjà obtenues.

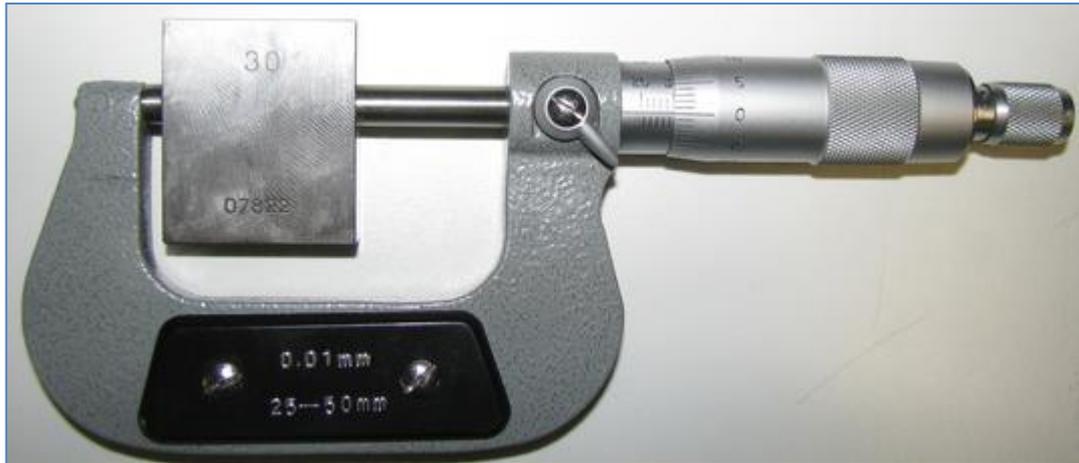


Fig. II.33. Réglage d'un micromètre.

II.5.2. Étalons

Un étalon est une réalisation de la définition d'une grandeur donnée, avec une valeur déterminée et une incertitude de mesure associée, utilisée comme référence.

Pour simplifier, un étalon est une matérialisation d'une grandeur donnée dont on connaît la valeur avec une grande exactitude. Un étalon sert à étalonner des instruments qui mesurent la même grandeur.



Fig. II.34. Étalons (bagues et cales).

L'opérateur chargé d'effectuer une mesure dimensionnelle dans un atelier de production ou dans un laboratoire de métrologie va utiliser pour réaliser cette mesure des étalons de longueurs différentes. Ces étalons lors de leur acquisition doivent être accompagnés d'un certificat délivré par un organisme de normalisation en métrologie, qui définit leurs caractéristiques exactes. La normalisation actuellement en vigueur range les cales étalons dans quatre classes d'étalonnage suivant les défauts mesurés sur celles-ci (Tableau II.13).

Dimension nominale		Classe 00 μm	Classe 0 μm	Classe 1 μm	Classe 2 μm	Classe 3 μm
de	jusqu'à	± 0.06	± 0.12	± 0.20	± 0.45	± 0.80
	10	± 0.07	± 0.14	± 0.30	± 0.60	± 1.20
10	25	± 0.10	± 0.20	± 0.40	± 0.80	± 1.60
25	50	± 0.12	± 0.25	± 0.50	± 1.00	± 2.00
50	75	± 0.14	± 0.30	± 0.60	± 1.20	± 2.50
75	100	± 0.20	± 0.40	± 0.80	± 1.60	± 3.00
100	150	± 0.25	± 0.50	± 1.00	± 2.00	± 4.00

Tableau II.13 : Classement des cales étalons. [15]

Chapitre III : Fraisage à sec

La sévérité des sollicitations que subit l'outil pendant la coupe peut être si importante que l'utilisation de lubrifiant conditionne le succès de l'opération. Même si dans certaines applications, on cherche ouvertement à éliminer les fluides de coupe pour des raisons variées telles que la diminution des coûts liés à leur utilisation ou leur traitement, l'aspect environnemental ou la sécurité des opérateurs de machines-outils, toujours est-il qu'ils sont indispensables pour certains usages et qu'ils ne peuvent être complètement remplacés ou bannis à l'heure actuelle. [16]

III.1. Fluides de coupe

III.1.1. Définition

Un fluide d'usinage est un liquide qui, appliqué sur la partie active de l'outil, facilite l'opération d'usinage et contribue à améliorer la durée de vie de l'outil ou la productivité de l'opération.



Fig. III.1. Utilisation de lubrifiants pendant l'usinage. [17]

III.1.2. Composition des fluides de coupe

On distingue deux grandes familles parmi les fluides de coupe :

- **les huiles de coupe entières ;**
- **les fluides de coupe à base d'eau.**

Les huiles de coupe entières sont des produits qui ne contiennent pas d'eau. Elles se composent d'huile de base (minérale, végétale, animale ou synthétique) à laquelle on ajoute

différents additifs (antioxydant, antibrouillard, anti-usure (AU), extrême-pression (EP), onctuosité etc...) dans le but d'améliorer ses propriétés naturelles et de lui en conférer de nouvelles. Les bases d'origine minérale sont le plus souvent utilisées pour les huiles entières de coupe traditionnelles. Les bases d'origine végétale, pas encore bien appliquée dans les formulations traditionnelles à cause de leur stabilité thermique inférieure par rapport aux huiles minérales, sont souvent utilisées dans la micro-lubrification. Les lubrifiants d'aujourd'hui sont constitués d'environ 93% d'huile de base et 7% d'additifs en moyenne. Ce sont les additifs qui sont la clé de la performance chimique du lubrifiant.

En ce qui concerne les fluides de coupe à base d'eau, ce sont des produits que l'on obtient par la dispersion d'huile minérale ou synthétique (et d'additifs) dans l'eau stabilisée par des émulsifiants. Il existe aussi des solutions qui sont entièrement à base d'eau, auxquelles on ajoute des agents anticorrosion, des agents mouillants ainsi que des additifs (biocides, extrême-pression (EP), anti-mousse etc...).

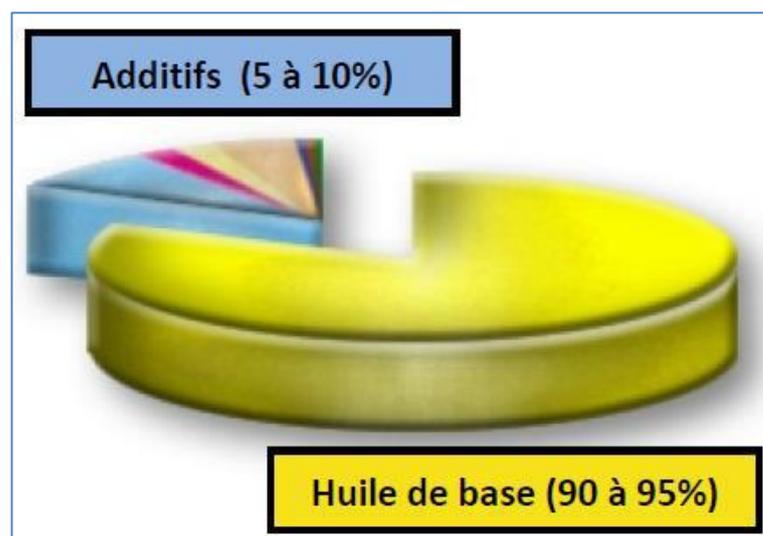


Fig. III.2. Composition générale du lubrifiant.

Les fluides de coupe à base d'eau ont un très grand pouvoir de réfrigération car ils contiennent de l'eau (la capacité thermique de l'eau = 4,2 J/gK alors que celle de l'huile = 1,9 J/gK). Ils sont utilisés par exemple pour les opérations à grandes vitesses de coupe où la fonction de refroidissement est prépondérante. Les huiles entières, fortement concentrées en additifs chimiques, sont utilisées dans les applications où la fonction lubrifiante permettra d'améliorer la qualité de l'usinage. En fonction du matériau usiné, de l'outil coupant et des paramètres de coupe, le choix du fluide de coupe adéquat pour une application donnée peut être réalisé entre les huiles entières de coupe ou les fluides aqueux. [16]

III.2. Rôle du liquide de coupe

Les fonctions principales d'un fluide de coupe sont :

- a. Réduire la quantité de chaleur :** premièrement, en diminuant la quantité de travail nécessaire pour surmonter la contrainte du cisaillement de matériau usiné et deuxièmement, en lubrifiant les interfaces de contact entre pièce-outil et outil-copeau (réduction du coefficient de frottement).
- b. Évacuation des copeaux :** ce rôle est essentiel pour certains processus de coupe. En particulier le perçage, qui nécessite un arrosage sous pression (jet du fluide) afin de chasser les copeaux hors du trou. Sans fluide ou avec fluide, mais sans pression suffisante, les copeaux peuvent se souder dans le trou, la rugosité de la surface usinée augmente et la stabilité du système baisse.
- c. Formation des copeaux :** la formation du copeau est également affectée lorsque le fluide de coupe est appliqué au cours d'une opération d'usinage. L'arrosage modifie le roulage de copeau qui change son épaisseur ainsi que le gradient de température dans le corps du copeau. La direction dans laquelle le fluide de coupe est appliqué est un facteur important pour le roulage de copeau. La forme du roulage de copeau affecte la taille et la profondeur maximale d'usure sur la face de coupe de l'outil. L'effet combiné de la taille et de l'emplacement de la profondeur maximale d'usure sur la face de coupe de l'outil a une influence essentielle sur la durée de vie de l'outil.
- d. Réduction de la formation de l'arête rapportée :** l'utilisation de fluide de coupe diminue le soudage de copeau sur la face de coupe de l'outil (arête rapportée) et l'usure par l'adhérence.
- e. Absorption de la poussière et du brouillard de métal pendant l'usinage :** la zone de cisaillement (principalement la première zone) est la principale source d'émission de poussières au cours de l'usinage. Le fluide de coupe absorbe une grande partie des poussières et du brouillard.
- f. Inhibition de la corrosion :** la corrosion peut se produire à tout moment au cours de la vie d'un métal, mais elle peut s'accélérer lorsque la température et l'humidité relative sont élevées (les conditions d'une opération d'usinage). La protection contre la corrosion et la rouille est possible avec l'ajout d'additifs au fluide de coupe. Les additifs sont sélectionnés selon le type de métal impliqué, les fonctions recherchées du fluide de coupe, etc... [18]

III.3. Coût de la lubrification

L'élimination du fluide de coupe présente un intérêt financier par l'élimination des coûts des huiles et de retraitement et un intérêt environnemental. Le problème de la suppression ou la réduction de ces fluides de coupe est de maintenir la qualité des pièces usinées. La lubrification a un coût non négligeable 16 % du total des frais qui résulte des prix :

- de l'huile utilisée, de son stockage et de son transport ;
- de l'eau additionnée (huile soluble) ;
- de la dépollution des copeaux car plusieurs constituants de l'huile sont des polluants ;
- de l'entretien (contrôle des niveaux et suivi de consommation) ;
- des équipements : pompes, jets, dispositifs de pulvérisation.

La réduction de ce lubrifiant a des avantages économiques sur le cycle de vie, par exemple, la consommation annuelle par réservoir de machine d'un lubrifiant concentré est de 2.5 litres. L'huile est diluée à environ 5.5 % et est distribuée par un réseau centralisé. Ce lubrifiant coûte autour de 3 euros / L. Ce prix augmente donc le prix total d'usinage dans le cas d'utilisation du lubrifiant.

III.4. Influence de la lubrification sur les ouvriers

L'utilisation des fluides de coupe pose beaucoup de problèmes pour la santé des personnes qui sont en contact avec ces fluides dans le lieu de travail. Les différentes maladies liées à l'utilisation de ces fluides de coupe sont des maladies cutanées et respiratoires liées à la manipulation des huiles. Il est fortement recommandé d'éliminer ou de réduire l'utilisation de ces fluides pour assurer une bonne santé des personnes. Les huiles entières ou fluides aqueux, sont potentiellement en contact avec les mains et les avant-bras des opérateurs.

➤ Le risque chimique

Des substances dangereuses peuvent se retrouver, au sein de la formulation des fluides de coupe (comme certains additifs, biocides...), se former au cours du stockage, comme c'est le cas des nitrosamines ou bien au cours de l'utilisation (hydrocarbures aromatiques polycycliques et nitrosamines).

Il existe deux voies de contaminations : par contact cutané et par inhalation (brouillard d'huile/aérosols).

Les fluides d'usinage peuvent être à l'origine de lésions non cancéreuses :

- irritation de la peau (pH élevé, additifs...) ;
- allergies cutanées [biocides, métaux dissous ou sous forme de particules provenant des alliages usines ou des outils, formaldéhyde, colophane...] ;
- affections respiratoires (huiles et additifs, formaldéhyde, métaux dissous (cobalt) ou sous forme de particules].

Mais les composants chimiques des fluides peuvent également présenter un potentiel cancérigène ou toxique pour la reproduction :

❖ Cancérogène

- Cancers cutanés ;
- Cancers du larynx ;
- Cancers broncho-pulmonaires ;
- Cancers de l'estomac.

❖ Autres pathologies

- Pathologies respiratoire ;
- Pathologies cutanées.

SOURCE	PÉRIODE	CAS	MÉTIER	POPULATION EXPOSÉE	AGENT CAUSAL	REMARQUES
CNAM	1996	0		~ 180 000		
ONAP	1997	1	ouilleur	~ 180 000	huile de coupe	
PP COCHIN	1991-1995	1	tourneur	22 000	fluide de coupe	plutôt syndrome asthmatiforme
PP COCHIN	1995-1998	0				
PP CRÉTEIL	1995-1998	1	tourneur	< 22 000	huile de coupe	plus 2 cas dus aux isocyanates
PP FD WIDAL	1995-1998	1	régleur presse		éthanolamines	
		1	tourneur		éthanolamines	
		1	technicien		huile minérale	
MT LYON	1997	1	décolleteur	~ 10 000	huile de coupe	asthme exacerbé par brouillard d'huiles
CRAM NANTES	1996-1998	1	tourneur	1 600	fluide aqueux	plus 1 cas d'hyper-réactivité bronchique avec asthme périodique
DRT ILE DE FRANCE	1999	0		1 500		

Tableau III.1. Influence fluide de coupe sur Asthme. [20]

Note

Tous les fluides d'usinage peuvent se charger en métaux dangereux provenant de la solubilisation des métaux usines ou des outils de coupe (nickel, cobalt, cadmium, béryllium, plomb, chrome...), dont certains ont un potentiel cancérogène et/ou toxique pour la reproduction. Il est indispensable de connaître la composition de l'alliage usine à l'aide des fiches techniques, des fiches de données de sécurité ou à défaut de la déclaration du fournisseur sur la présence éventuelle de métaux dangereux. [19]

III.5. Influence de la lubrification sur l'environnement

Les lubrifiants rejetés dans l'environnement peuvent se retrouver directement au contact de l'eau lorsqu'il s'agit d'équipements travaillant à proximité des cours d'eau ou du littoral. Or il suffit d'un litre de lubrifiant pour polluer mille litres d'eau potable.

De façon générale, la dispersion des lubrifiants dans l'environnement affecte les différents compartiments du milieu naturel. Un sol souillé peut donner lieu à une contamination des nappes d'eau souterraines via la migration des produits au travers du sol et conduire à la pollution des eaux de rivières par les eaux de ruissellement qui emportent avec elles les agents polluants. De la pollution environnementale, découle un impact sanitaire ; c'est la qualité des eaux qui est en question et, plus ponctuellement, ce sont les cultures qui peuvent être contaminées. Ce constat permet d'identifier les lubrifiants comme une source de pollution non négligeable. [20]

L'élimination des fluides de coupe est souhaitable pour éviter les pollutions réellement ou potentiellement générées par ces produits. La production des huiles minérales est réalisée dans les raffineries très polluantes. Le stockage de ces huiles nécessite des installations très coûteuses pour assurer un niveau de sécurité acceptable (feu, gaz, fuite). Un nettoyage/dégraissage efficace des pièces usinées est essentiel dans toutes les industries de transformation des métaux (après usinage ou déformation à froid ou à chaud, avant et après traitements thermiques, avant soudage ou brasage/diffusion ...). Il faut nettoyer les pièces métalliques afin d'éliminer les huiles et graisses présentes sur leur surface. Malgré le développement et la mise sur le marché de nouveaux produits de nettoyage, les solvants chlorés fournis dans des systèmes en boucle fermée constituent généralement la meilleure solution. Outre leur supériorité technique, ils possèdent,

lorsqu'ils sont utilisés en système fermé, des atouts uniques en termes de sécurité des conditions de travail, de protection de l'environnement et de rentabilité.

Ces solvants offrent des avantages et propriétés spécifiques pour les applications de nettoyage/dégraissage des métaux :

- Ininflammabilité.
- Compatibilité avec de nombreux contaminants tels que les huiles ou les copeaux et poussières métalliques.

Cependant, le traitement de ces solvants usagés reste un point très problématique pour l'avenir de cette filière. La famille de Normes ISO 14001 relative à la mise en place d'un système de management environnemental, préconise la prise en compte de toutes les phases du cycle de vie d'un produit afin d'en réduire leur impact potentiel sur l'environnement. Il est ainsi recommandé de confiner les lieux de stockage et les machines utilisant les fluides de coupe afin de limiter la pollution des sols et de l'eau. L'application du fluide de coupe conventionnel crée des problèmes techno-environnementaux sévères.

L'usinage avec fluide de coupe pose des problèmes aussi bien économiques, techniques, environnementaux que pour la santé des personnes. Le travail à sec peut répondre en partie à ces problèmes en respectant certaines limitations. [21]

III.6. Usinage à sec

Beaucoup d'entreprises, notamment parmi celles moyennes et petites, connaissent très mal les apports que l'usinage à sec leur ouvrirait si elles acceptaient de regarder de près sa relative simplicité de mise en œuvre. Cette technologie exige, bien sûr, d'abord de s'informer avec précision sur ce qu'elle implique et sur ses exigences. Elle demande, ensuite, de prendre des décisions pour essayer avec le maximum de moyens existants de s'y initier en pratique afin d'identifier dans quelles applications elle jouera le meilleur rôle.

Ce n'est qu'après qu'elle conduira à des investissements un peu plus sérieux mais avec une garantie d'amortissement rapide, puis de rentabilité importante.

Aujourd'hui, on doit admettre que si l'utilisation d'un liquide d'arrosage lors de l'usinage des métaux assurait aux outils d'être toujours maintenus uniformément froids, il n'y aurait aucune justification pour cet article. Malheureusement, la difficulté réside dans le fait qu'un liquide d'arrosage est un moyen de refroidissement qui agit de façon intermittente. Or, cette

intermittence est une raison importante pour que l'on n'y fasse appel qu'avec de bonnes précautions. En effet, dans le cas où l'utilisation d'un liquide de refroidissement aboutit à des résultats néfastes et qu'il provoque des changements de température dans l'interface outil-matière, il est nettement plus dangereux qu'utile.

Or, une grande diversité d'outils et de matériaux de coupe peuvent, à l'heure actuelle, soutenir de fortes températures pour autant qu'elles restent stables suffisamment longtemps.

Mais, ils ne font preuve que d'une patience et d'une tolérance très limitée devant le moindre changement.



Fig. III.3. Usinage à sec.

III.6.1. Cas typiques de recours à un arrosage

L'usinage d'empreintes profondes est l'un des cas où, dans l'atelier, on préfère l'emploi d'un liquide d'arrosage. Un fort débit de liquide chasse les copeaux hors des espaces confinés, là où de l'air comprimé aurait toutes les chances de ne pas être efficace. Pour la même raison, le perçage se fait sous arrosage, généralement par des canalisations internes de l'outil. Dans les deux cas, le liquide d'arrosage n'a pas pour but de refroidir mais d'évacuer les copeaux. Un autre cas où l'on fait appel à un liquide d'arrosage, c'est lorsqu'il doit aussi servir de lubrifiant.

Avec la tendance à utiliser des vitesses d'avance de plus en plus rapides, on utilise aussi plus de fraises hémisphériques afin d'amener la pièce plus près de sa forme définitive durant l'ébauche. Cependant, une difficulté rencontrée avec les fraises hémisphériques est que leur profil produit des vitesses de coupe diminuant progressivement pour aller jusqu'à devenir nulles à leur extrémité. Cette caractéristique engendre un danger à moins de satisfaire à deux conditions :

- que la passe soit très peu profonde,
- que la surface de la pièce reste pratiquement perpendiculaire à l'axe de l'outil. Dans ces conditions, l'extrémité de la fraise n'enlève pas vraiment des copeaux dans une mesure telle qu'elle soit "traînée" à travers la surface de pièce.

Avec les aciers inoxydables les plus doux, notamment ceux prétraités thermiquement, cet effet peut, cependant, affecter la qualité de surface de la pièce. Là, les propriétés lubrifiantes d'un liquide d'arrosage peuvent limiter le phénomène et protéger la qualité de surface obtenue. Pour cette raison, chaque fois que l'on utilise une fraise hémisphérique, que le fini de surface à obtenir est un facteur critique et que la géométrie ne comporte à peu près que des surfaces planes, on n'hésite pas à usiner sous arrosage.

Mais, même dans ces conditions, il existe un pas à franchir pour améliorer le travail.

Dans des ateliers semblables à celui pris ici en exemple où les techniques d'usinage à grande vitesse sont appliquées dans de l'acier inoxydable, éviter un liquide d'arrosage est une solution qui prolonge la tenue d'outil. Et, il y a un second avantage. Non seulement usiner à sec améliore la précision mais on a vite réalisé que c'est une technique plus propre.

Et, elle ouvre la porte à d'autres économies. Là où l'on peut utiliser plus largement l'air comprimé, on utilise moins de lubrifiant de coupe et la dépense pour ce lubrifiant diminue, de même que les coûts pour se débarrasser des fluides usés. Rien n'est à négliger pour rationaliser les économies de fabrication. [22]

III.6.2. Caractérisations des outils pour l'usinage à sec

Outils de coupe revêtus autorisent :

- l'augmentation de la vitesse de coupe ;
- la création d'une barrière thermique entre l'outil et la surface à usiner ;
- la réduction des temps de contact entre l'outil et la pièce.

Les plaquettes en cermets à base de carbonitride de titane (résistance élevée à l'usure) sont principalement utilisées, bien qu'un revêtement soit nécessaire.

Les revêtements :

- film d'oxyde d'alumine (barrière thermique) ;
- film de nitrure de titane-aluminium (procédé Dépôt Physique en phase Vapeur (PVD)) ;
- revêtement à base de cobalt (dureté et ténacité élevées) ;
- revêtement glissant de bisulfure de molybdène (facilite le perçage et le taraudage à sec) ;
- revêtement multicouches.

III.6.3. Nouvelles technologies développées pour usinage à sec

- Une unité de refroidissement est intégrée dans l'outil ;
- un jet d'air comprimé est généré dans la machine et est conduit à travers l'outil ;
- refroidissement sous un effet physique ;
- obtention d'une température au-dessous de zéro degré d'air froid et l'envoyé sur la plaquette amovible et sur la pièce à usiner ;
- nouvelles commandes numériques UGV (Usinage Grand Vitesse).

III.6.4. Avantages et inconvénients en usinage à sec

Avantages

- Augmentation de la vitesse de coupe ;
- coûts de production réduit ;
- meilleur respect de l'environnement ;
- meilleures conditions de travail ;
- optimisation de l'état de surface (la finition n'est parfois pas nécessaire) ;
- durée de vie des outils quasiment similaire à leur utilisation avec lubrifiant.

Inconvénients

- Nécessité d'une grande maîtrise du processus ;
- difficultés de mise en valeur des avantages ;
- nécessité d'évacuer les copeaux diffuseurs de chaleur ;
- tous les matériaux ne sont pas usinables à sec ;
- coûts élevés des outils et machines permettant ce processus. [23]

Chapitre IV : Etude expérimentale

IV.1. Introduction

Un guide ou un crochet est une pièce qui fonctionne dans le four, en particulier dans la porte du four conçu pour résister à des températures élevées.

Nous avons choisi cette pièce, parce qu'elle était en phase de fabrication pendant la période de notre stage aux AMM, ce qui nous a conduits à mener nos essais.

Malheureusement, nous n'avons pas pu suivre le processus de montage de la pièce en raison du manque de temps et de nombreux arrêts dans l'atelier.

IV.2. Mode d'obtention de la pièce

La pièce (guide) obtient par l'oxycoupage sur une machine qui s'appelle l'Oxytome 5.

IV.2.1. L'oxycoupage

L'oxycoupage est un procédé de découpe des métaux, par oxydation localisée mais continue, à l'aide d'un jet d'oxygène pur. Il est nécessaire, pour cela, de porter à une température d'environ 1 300 °C, dite température d'amorçage, le point de la pièce où l'on va commencer la coupe, qui peut être manuelle ou automatisée selon un gabarit de coupage. Ce procédé nécessite :

- Une flamme de chauffe (oxy-gaz) pour l'amorçage et l'entretien de la coupe, où plusieurs types de gaz peuvent être utilisés ;
 - acétylène,
 - tétrène : mélange d'hydrocarbures dont l'acétylène et le propadiène ;
- Un jet de coupe central d'oxygène pur, venant en milieu de buse, qui permet la combustion dans la saignée et sur toute l'épaisseur à couper. Ce jet de coupe a aussi un rôle mécanique d'élimination des oxydes formés (scories). L'efficacité de la coupe sera améliorée par un très haut degré de pureté de l'oxygène.

❖ Tôle de métal découpé par oxycoupage :

Le choix du combustible se fera en fonction de différents paramètres tels que l'épaisseur de la pièce, la vitesse de coupe, le temps de préchauffage ou la qualité de la coupe. L'oxycoupage est

utilisé pour des aciers doux ou faiblement alliés, et sur des épaisseurs allant de quelques millimètres à près d'un mètre pour les pièces les plus massives.

Le chalumeau est un outil employé pour la découpe ou la soudure thermique de pièces de métal. La source de chaleur est obtenue par la combustion d'un mélange gaz.

C'est plus spécifiquement la partie d'un poste de soudure autogène par laquelle s'échappe la flamme et qui permet de réaliser le mélange entre combustible et carburant. Elle est composée d'un mélangeur, d'une lance et d'une buse.

Dans le cas d'un chalumeau oxyacétylénique, les gaz utilisés sont l'oxygène pur et l'acétylène, dont la combustion dégage une énergie importante (du fait de la triple liaison carbone-carbone et de l'efficacité de l'oxycombustion). La température de la flamme peut dépasser 3 100 °C.

IV.2.2. Identification du matériau

- ✓ Désignation Européenne : S235JR ou 1.0037.
- ✓ Désignation Allemande : St 37-2.
- ✓ Désignation Française : E24-2, E24 ou **A37**.

C'est un acier de construction non allié d'usage général.

Masse volumique : Kg/dm³ : 7.8.

a. Caractéristiques mécaniques du métal

Le matériau utilisé est un acier au carbone, de nuance A37, avec les caractéristiques suivantes :

- pourcentage de carbone (%C) : 0,18 à 0,22.
- résistance à la rupture **R (daN/mm²)** : 36 à 44.
- charge unitaire à la limite d'allongement rémanent **Re (daN /mm²)** : 19 à 23.
- allongement pour cent **A %**: 23 à 29.
- résistance au choc de CHARPY **KCU (daJ/cm²)** : 5 à 7. [8]

b. La composition chimique

La composition chimique de l'acier **A37** est représenté dans le tableau suivant :

Symboles	Eléments	%
C	Carbone	0,18 à 0,22
Mn	Manganèse	1.40
P	Phosphore	0.045
S	Soufre	0.045
N	Azote	0.009
Fe	Fer	Le reste

IV.3. Réalisation des éprouvettes

IV.3.1. Machines utilisées

a. La machine utilisée en oxycoupage (Oxytome 5)

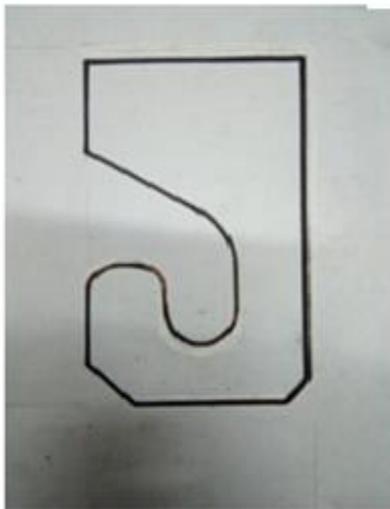
➤ Capacité de machine

- Déplacement longitudinal (X) : 6500 mm
- Déplacement transversal (Y) : 3000 mm
- Poids : 800 kg.
- Dimensions du plateau : 6500 x 3000mm.
- Chalumeau(x) : 1 buse.
- Gaz : oxygène et plasma.



Fig.IV.1. L'oxytome 5 des AMM (Type : SAF).

➤ Les étapes de réalisation d'oxycoupage en photos



b. Fraiseuse universelle (HURON MU5)**Fig.IV.2.** Fraiseuse universelle HURON MU5.**Caractéristiques de Fraiseuse universelle HURON MU5**

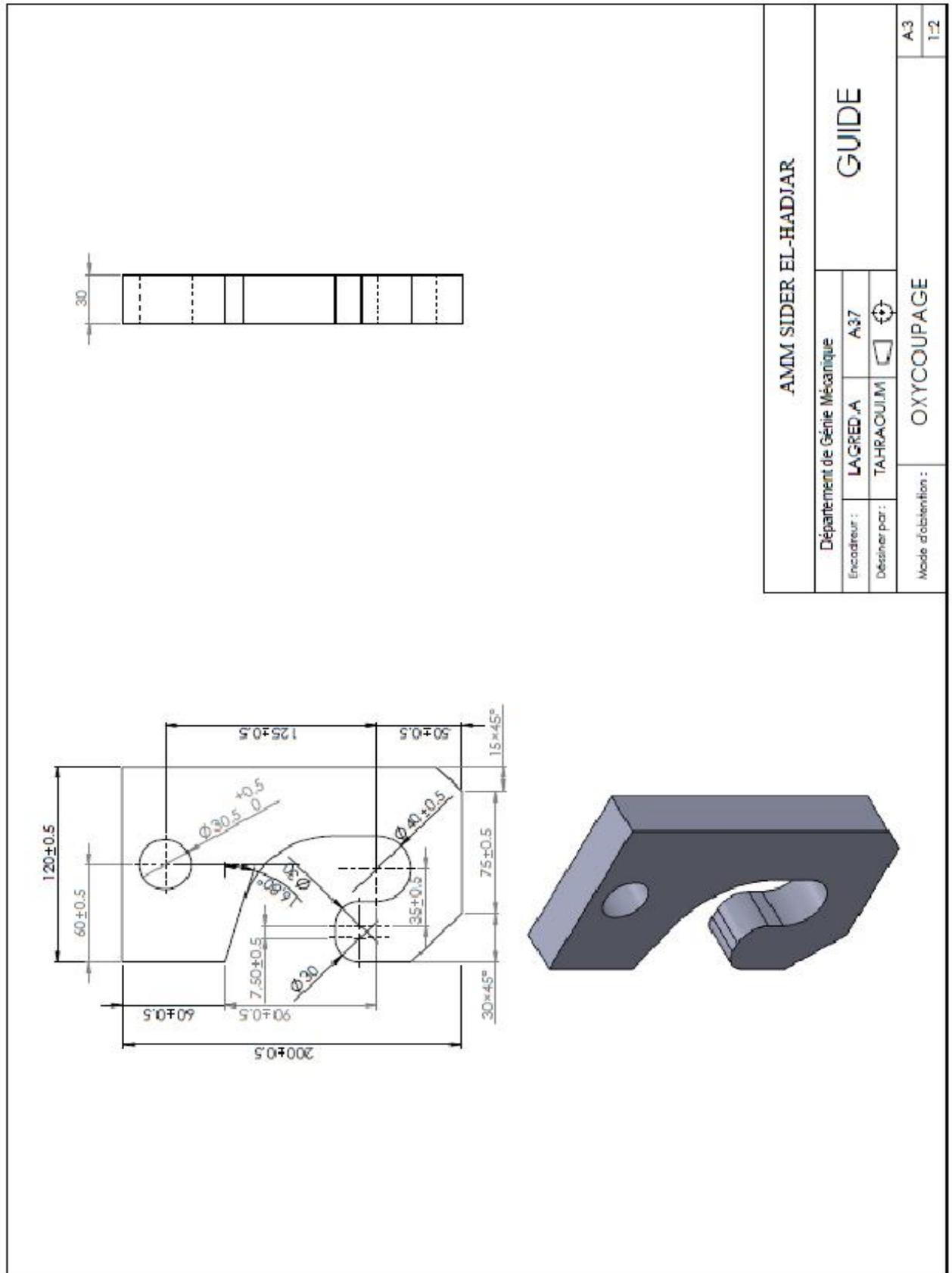
- **Course X** : 1000 mm.
- **Courses Y** : 500 mm.
- **Course Z** : 1000 mm.
- **Cône** : SA 50.
- **Vitesse de rotation** : de 30 à 1300 t/min.
- **Surface table** : 1635 x 460 mm.
- **Tête** : universelle.
- **Visu 3 axes**.
- **Avance** : automatique 3 axes.
- **Tension** : 380 V.
- **Largeur** : 2200 mm.
- **Profondeur** : 3000 mm.
- **Hauteur totale** : 2200 mm.
- **Poids** : 4,5 T.
- **Puissance** : 14.5 Kw.

c. Fraiseuse CNC (SXB)**Fig.IV.3.** Fraiseuse CNC (SXB)**Caractéristiques de Fraiseuse CNC (HURON SXB)**

- **Axe X (longitudinal) :** 2450.0 mm.
- **Axe Y (transversal) :** 730.0 mm.
- **Axe Z (vertical) :** 1030.0 mm.
- **Longueur de la table :** 2400.0 mm.
- **Largeur de table :** 700.0 mm.
- **Charge maximale sur la table :** 5000.0 kg.
- **Capacité du moteur de broche :** 14.5 Kw.

IV.4. Les étapes de réalisation de la pièce

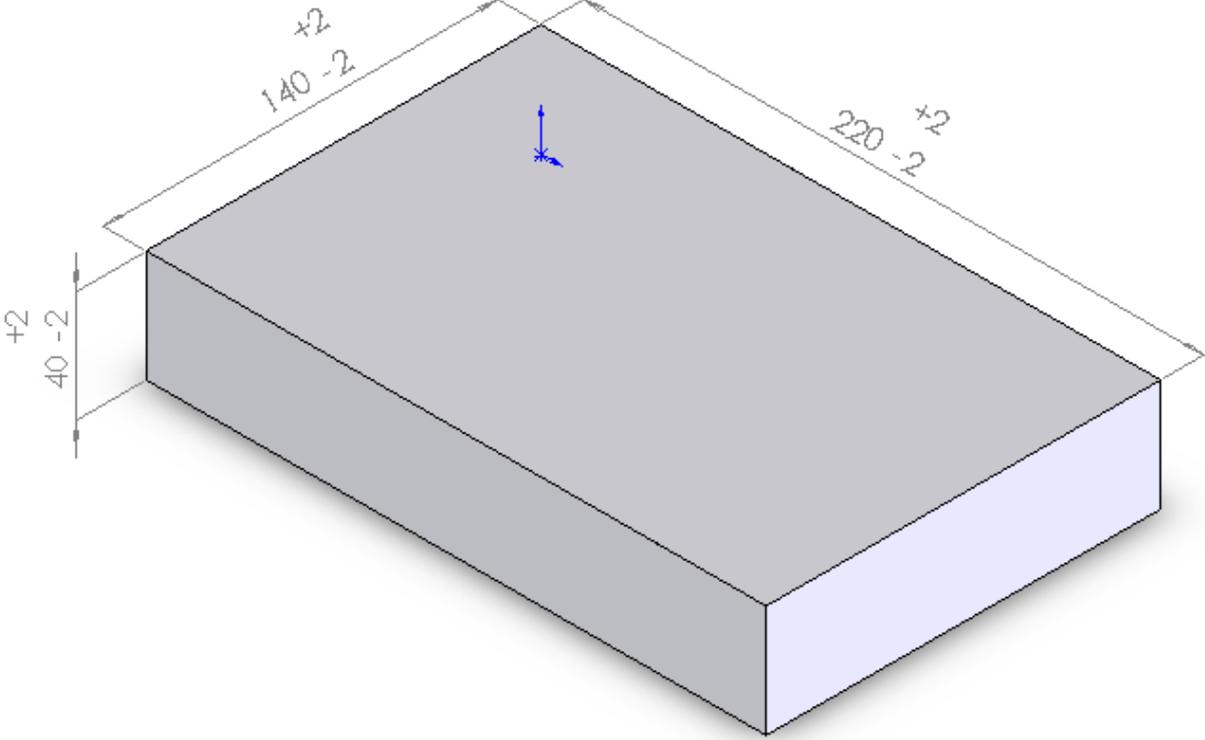
IV.4.1. Dessin de définition



IV.4.2. Routage d'usinage de la pièce dans l'atelier AMM

N° de phase	Sous phase opération	Machine outils
100	Contrôle de brut	
200	<p>Oxycoupage :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Couper tôle Ep : 40×140 ; L=220 ➤ Matière : A37 	Oxytome 5
300	Contrôle de phase	
400	<p>Fraisage : (Montage sur étau)</p> <p><u>S/Phase 310</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Réaliser le parallélépipède EP : $30_{-0,5}^{+0,5} \times 120_{-0,5}^{+0,5} \times 200_{-0,5}^{+0,5}$ <p><u>S/Phase 320</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ à L=105 ; réaliser le chanfrein 15×45° ➤ à L=90 ; réaliser le chanfrein 30×45° <p><u>S/Phase 330</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ à L=25 /60 ; Percer (1) trou $\text{Ø}30_0^{+0,5}$ mm débauchant 	<p>Fraiseuse</p> <p>MU5</p>
500	Contrôle de phase	
600	<p>Fraisage (CNC) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A L=60 ; Réaliser le contour Suivant programme. 	<p>Fraiseuse</p> <p>SXB</p>
700	Contrôle final	

IV.4.3 Contrat de phases

CONTRAT DE PHASE		DATE : 08 /05/2018	
PREVISIONNEL		Pièce : GUIDE (crochet)	
PHASE N° : 100		Matière : A37	
NOM : TAHRAOULM		Programme : Petite série	
DESIGNATION : Couper tôle			
MACHINE : Oxytome 5		Echèle : 1 :2	
			
OPERATIONS		OUTILS	
Oxycoupage		Chalumeau	

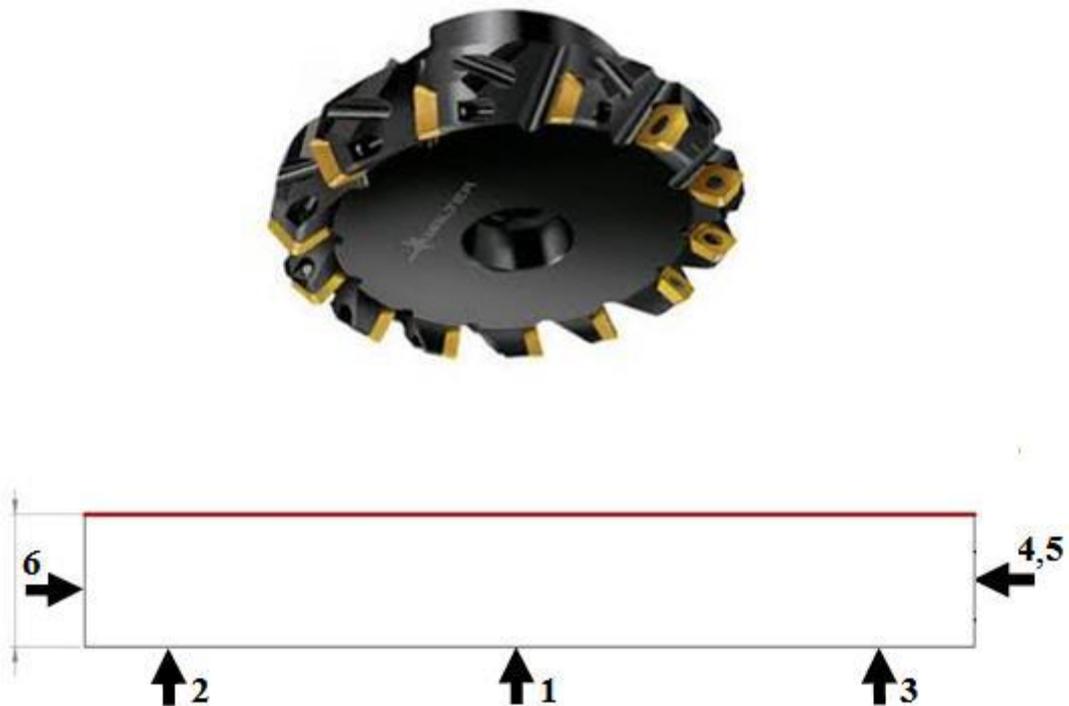
CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N° : 200 S/PHASEN° : 210	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOULM	Programme : Petite série

DESIGNATION : Surfaçage (la face A)

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU 5) Echèle : 1 :2



OPERATIONS	OUTILS	V_c	F_z	a_p	N
		m/min	mm/tr	(mm)	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	100	0,3	2	200

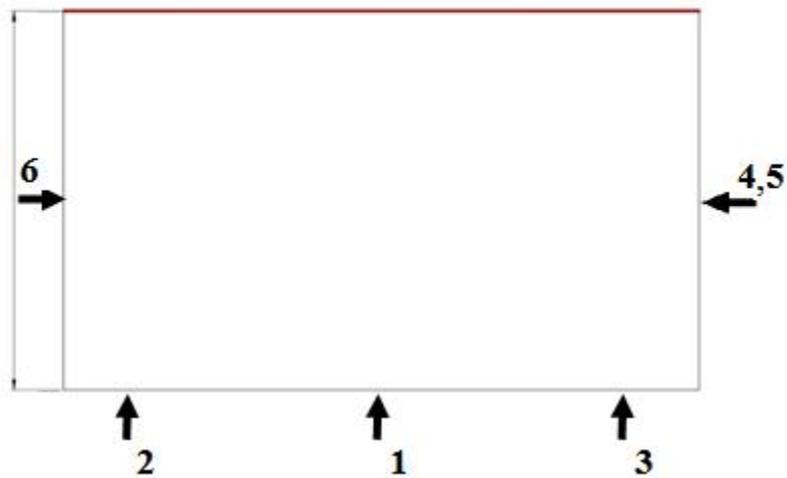
CONTRAT DE PHASE		DATE : 08 /05/2018			
PREVISIONNEL		Pièce : GUIDE (crochet)			
S/PHASE N° :220		Matière : A37			
NOM : TAHRAOUL.M		Programme : Petite série			
DESIGNATION : surfaçage (la face B)					
MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5)			Échèle : 1 :2		
 <p>The image shows a 3D model of a circular end mill with yellow inserts and a 2D technical drawing of a rectangular bar. The bar has a length of 6 units and a width of 4.5 units. Three upward-pointing arrows labeled 2, 1, and 3 are positioned below the bar, indicating the locations of the cutting forces.</p>					
OPERATIONS	OUTILS	V_c m/min	F mm/tr	a_p mm	N Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacier Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 230	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOUL.M	Programme : Petite série

DESIGNATION : surfacage (la face C)

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5)

Echèle : 1 :2



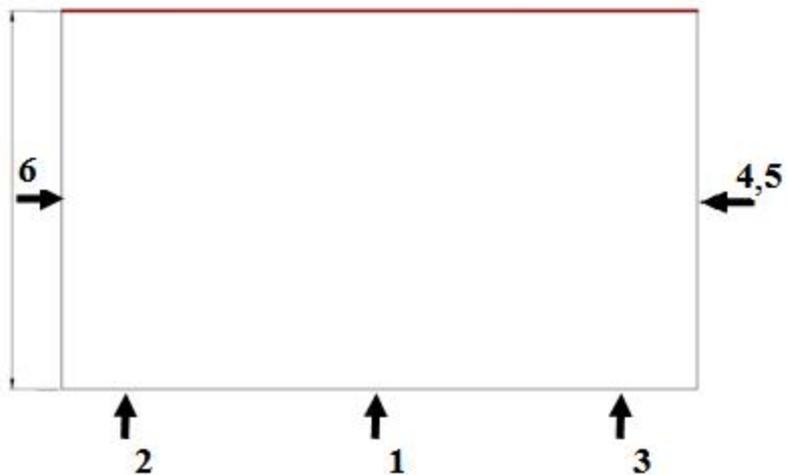
OPERATIONS	OUTILS	V _c	F	A _p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 240	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOULM	Programme : Petite série

DESIGNATION : surfaçage (la face D)

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5)

Echèle : 1 :2

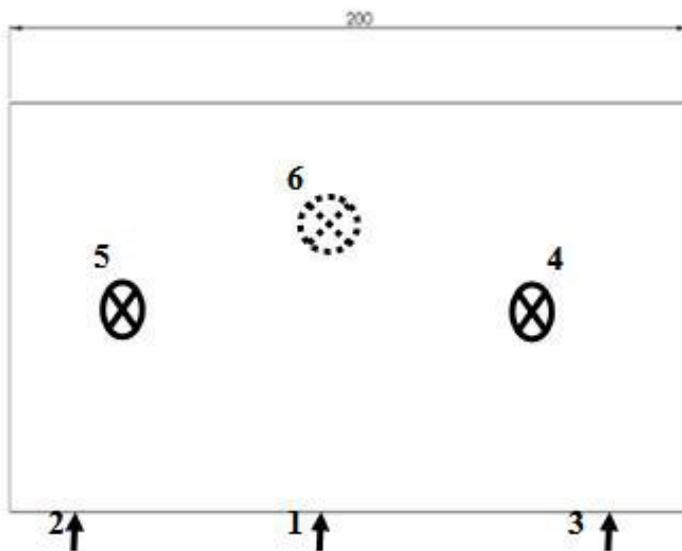


OPERATIONS	OUTILS	V_c	F	a_p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 250	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOULM	Programme : Petite série

DESIGNATION : surfaçage (la face E)

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5) Echèle : 1 :2

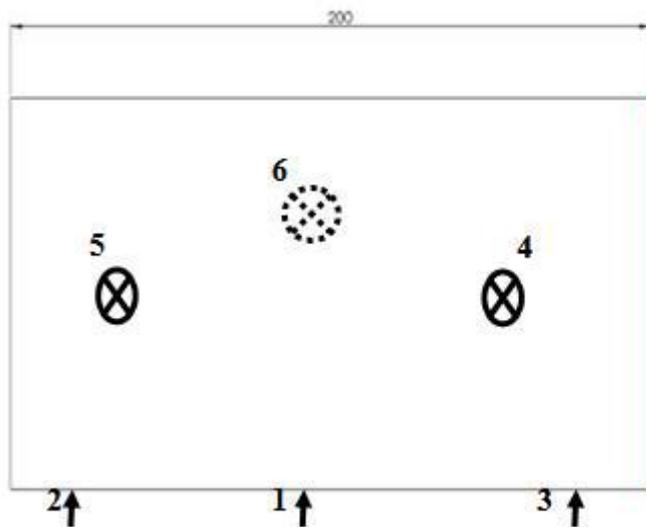


OPERATIONS	OUTILS	V _c	F	A _p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacier Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 260	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOULM	Programme : Petite série

DESIGNATION : surfacage (la face F)

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5) Echèle : 1 :2

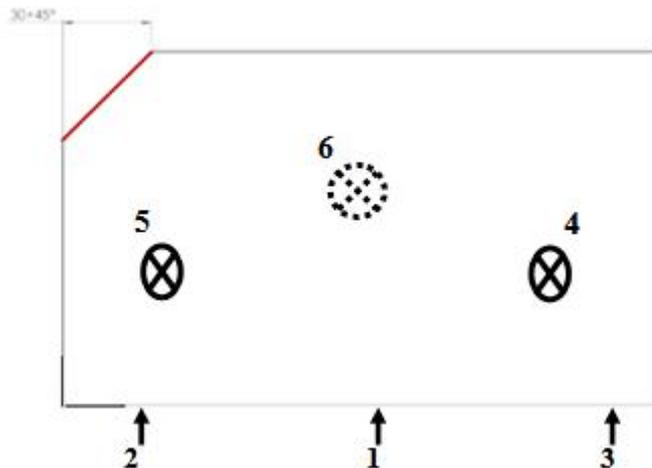


OPERATIONS	OUTILS	V _c m/min	F mm/tr	A _p mm	N Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S//PHASE N° : 270	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOULM	Programme : Petite série

DESIGNATION : réaliser le chanfrein 30×45°

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5) Echèle : 1 :2

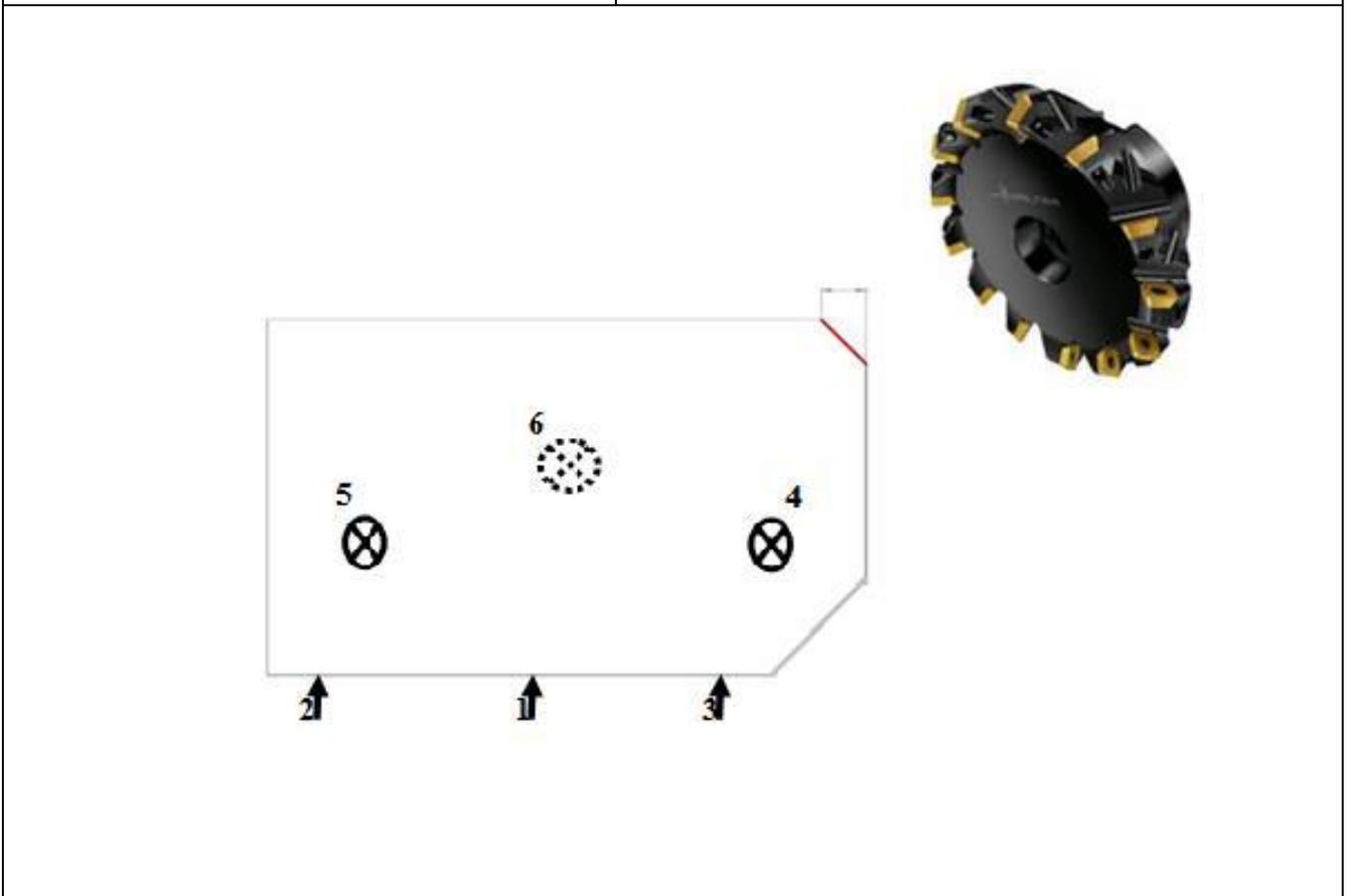


OPERATIONS	OUTILS	V _c	F	A _p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 280	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOUI.M	Programme : Petite série

DESIGNATION : réaliser le chanfrein 15×45°

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5) Echèle : 1 :2

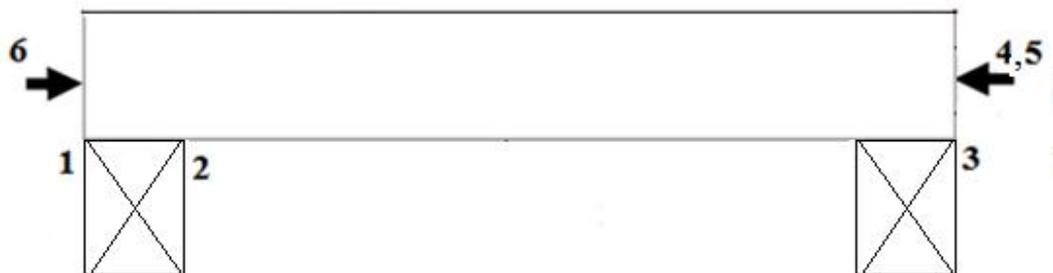
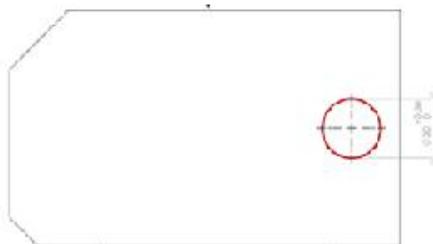


OPERATIONS	OUTILS	V _c	F	a _p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Fraisage	Fraise à surfacer Ø 160.	Les mêmes conditions			

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL S/PHASE N° : 290	DATE : 08 /05/2018
	Pièce : GUIDE (crochet)
	Matière : A37
NOM : TAHRAOUI.M	Programme : Petite série

DESIGNATION : Perçage 01 trou Ø 30^{+0,5} débauchant à L=25/60

MACHINE : Fraiseuse universelle (MU5) Echèle : 1 :2

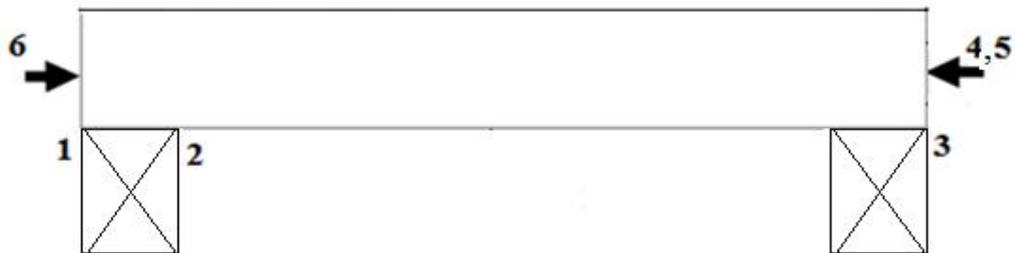
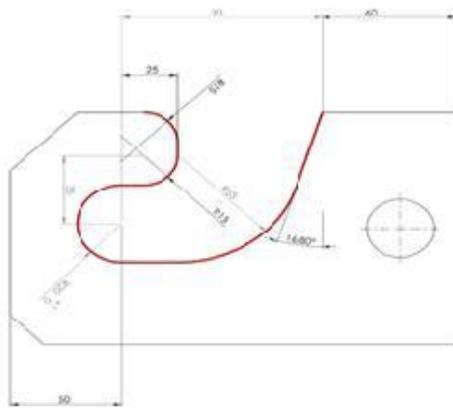


OPERATIONS	OUTILS	V _c	F	A _p	N
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min
Perçage	Foret de Ø30 en ARS.	30	0,3	2	320

CONTRAT DE PHASE	DATE : 08 /05/2018
PREVISIONNEL	Pièce : GUIDE (crochet)
PHASE N° : 300	Matière : A37
NOM : TAHRAOUI.M	Programme : Petite série

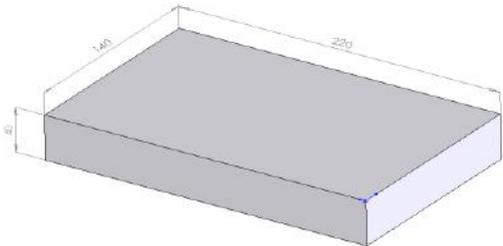
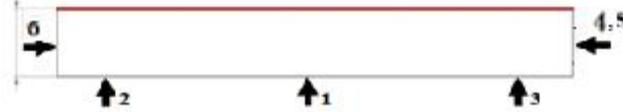
DESIGNATION : réaliser le contour suivant programme à L=60

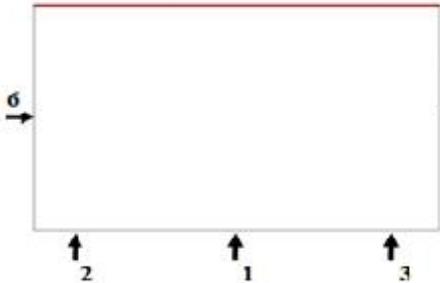
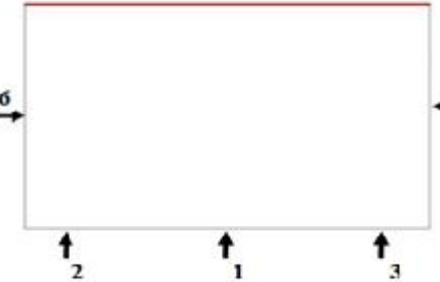
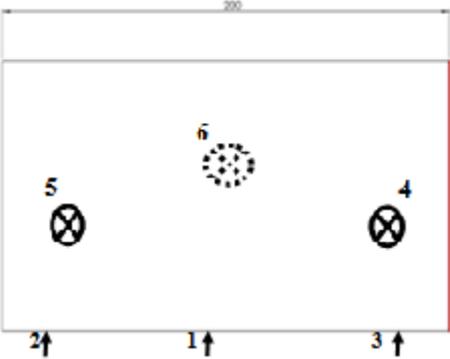
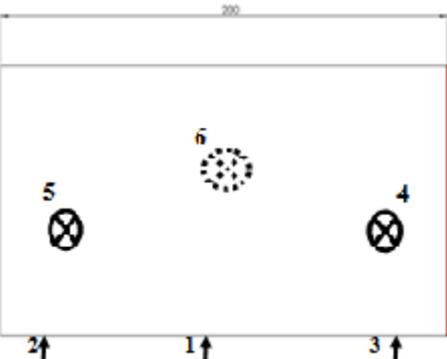
MACHINE : Fraiseuse CNC (SXB) Echèle : 1 :2

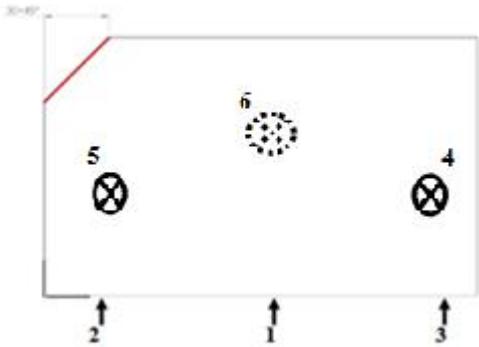
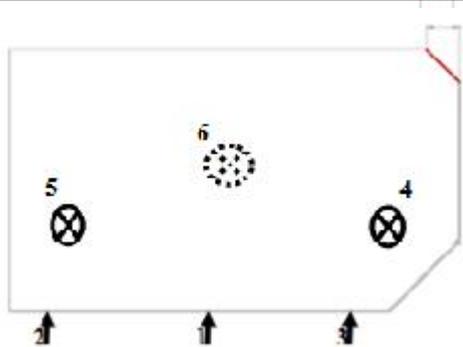


OPERATIONS	OUTILS	V_c	F	A_p	N	T_t
		m/min	mm/tr	mm	Tr/min	min
Contournage	Fraise 2 tailles.	Les conditions selon logiciel				

IV.4.4. Gamme d'usinage

Nom : Tahraoui		Prénom : Mohamed el haddi		FM et Productique		Date :	
Pièce : guide				Matière A37			
Phase 100 : Contrôle de brut							
Phase 200							
Machine : Oxytome 5							
Opérations		Outils		Dessin + mise en position			
<p>➤ Oxycoupage</p> <p>-couper tôle</p> <p>EP : 40×140 ; L=220</p>		-Chalumeau					
Phase 300 : contrôle							
Phase 400							
Machine : Fraiseuse universelle							
Opérations		Outils		Dessin + mise en position			
<p>Surfaçage</p> <p>-Réaliser le parallélépipède</p> <p>EP :</p> <p>$30^{+0,5}_{-0,5} \times 120^{+0,5}_{-0,5} \times 200^{+0,5}_{-0,5}$</p> <p><u>S/Phase 410 :</u></p> <p>-Tourner la pièce a la face A</p> <p>-Enlever la matière jusqu'à EP = 35</p>		-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)					
<p><u>S/Phase 420 :</u></p> <p>-Tourner la pièce a la face B</p> <p>-Enlever la matière jusqu'à $30^{+0,5}_{-0,5}$</p>		-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)					

<p>S/Phase 430 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tourner la pièce a la face C -Enlever la matière jusqu'à <p style="text-align: center;">$EP = 130$</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	
<p>S/Phase 440 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tourner la pièce a la face D -Enlever la matière jusqu'à <p style="text-align: center;">$EP = 120^{+0,5}_{-0,5}$</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	
<p>S/Phase 450 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tourner la pièce a la face E -Enlever la matière jusqu'à <p style="text-align: center;">$EP = 210$</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	
<p>S/Phase 460 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tourner la pièce a la face F -Enlever la matière jusqu'à <p style="text-align: center;">$EP = 200^{+0,5}_{-0,5}$</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	

<p>S/Phase 470 :</p> <p>-Réaliser le chanfrein -à L=105 ; chanf=30×45°</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	
<p>S/Phase 480 :</p> <p>-Réaliser le chanfrein -à L=90 ; chanf=15×45°</p>	<p>-Fraise à surfacer Ø160 (tourteau)</p>	
<p>S/Phase 490 :</p> <p>-Perçage 01 trou Ø 30^{+0,5} débauchant à L=25/60</p>	<p>-Foret Ø 30</p>	
<p>Phase 500 : contrôle</p>		

IV.4.5. Programmation du contour sur une fraiseuse CNC (Solid Concept)

%fraisage 2018 *

N10 G71 G90 G94*

N20 G97 T1 L+0 R+0 M6*

N30 T1 G17 S3000 F80 M4 M9 (Contournage 3D)*

N40 G00 X-16.25 Y-145 Z+10*

N50 Z+5*

N60 G01 Z-29.995 F26*

N70 G00 X-11.25 F80*

N80 G01 X-10*

N90 G03 I-10 J-140 X-5 Y-140*

N100 G02 I+15 J-140 X+15 Y-120*

N110 G01 X+25*

N120 G02 I+25 J-140 X+45 Y-140*

N130 G01 Y-150*

N140 G03 I+60 J-150 X+75 Y-150*

N150 G01 Y-125*

N160 G03 I+25 J-125 X+39.452 Y-77.134*

N170 G01 X-1.445 Y-64.787*

N180 G03 I-2.89 J-69.573 X-7.677 Y-68.128*

N190 G01 X-8.038 Y-69.325*

N200 G00 X-9.483 Y-74.111*

N210 Z+5*

N220 G00 Z+10*

N230 (Temps estime de l'usinage : 3min 56s)*

N240 (Temps total estime : 3min 57s)*

N250 M5*

N260 M2*

N9999 %fraisage 2018 *

➤ **Descriptions des fonctions de programmation sur (SolidConcept)**

N : numéro de bloc.

X : dimension du mouvement sur axe.

Y : dimension du mouvement sur axe.

Z : dimension du mouvement sur axe.

L : répétition de cycle

R : Rayon.

F : Avance travail.

G et **M** : Fonction préparatoire (G-codes) (M-codes).

S : Vitesse de broche.

T : Numéro outil.

Commandes	Description
G00	Avance rapide en coordonnées cartésiennes (la vitesse rapide est programmée par le constructeur).
G01	Interpolation linéaire en coordonnées cartésiennes.
G02	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées cartésiennes.
G03	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire (trigonométrique) en coordonnées cartésiennes.
G17	Sélection du plan.
G71	Indication de cotes en millimètre.
G90	Programmation en cotes absolues.
G 94	Avance par minute, vitesse d'avance A en mm/mn.
G 97	Vitesse constante.
M02	Fin de programme pièce.
M04	Rotation de broche sens trigonométrique.
M05	Arrêt de broche.
M06	Changement d'outil.
M09	Arrêt des arrosages.

Tableau IV.1. Fonction préparatoire (G-codes et M-codes). [24]

IV.5. Essais préliminaires

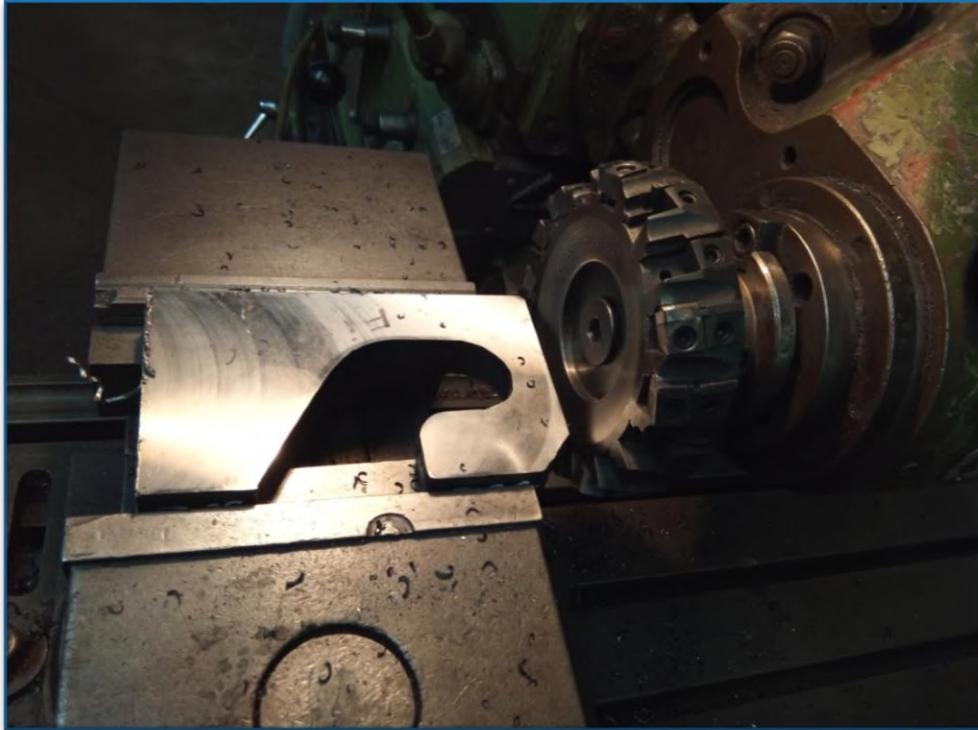


Fig.IV.4. La pièce (guide) pendant le fraisage (surfaçage).

Pour réaliser les essais, nous avons besoin d'au moins quatre échantillons, comme suit :

- ❖ **Echantillon 1** : ébauche sans lubrifiant.
 - ❖ **Echantillon 2** : finition sans lubrifiant.
 - ❖ **Echantillon 3** : ébauche avec lubrifiant.
 - ❖ **Echantillon 4** : finition avec lubrifiant.
- } **Pièce 1**
- } **Pièce 2**



Fig.IV.5. Les échantillons.



Fig.IV.6. Echantillon 1, face 1 : ébauche sans lubrification.



Fig.IV.7. Echantillon 1, face 2 : finition sans lubrification.



Fig.IV.8. Echantillon 2, face 1 : ébauche avec lubrification.



Fig.IV.9. Echantillon 2, face2 : finition avec lubrification.

IV.6. Mesure de la rugosité

IV.6.1. L'appareil utilisé

Mitutoyo surfteste 301 : est un dispositif de mesure de la rugosité qui permet des résultats précis et se caractérise également par une imprimante, comme indiqué dans la photo suivante ;



Fig.IV.10. Rugosimètre (Mitutoyo surfteste 301).

IV.6.2. Surfaces mesurées

Dans chaque surface, nous avons choisi deux lignes de 0,8 cm pour la mesure de la rugosité, comme le montre l'image suivante.



IV.6.3. Résultats

Avec lubrification	N° Essai	Configuration d'usinage	Vc (m/min)	fz (mm/dent)	ap (mm)	Ra (μm)
Ebauchage	1	Opposition	100	0,3	2	2,38
	2		100	0,3	2	2,27
Finition	3	Opposition	180	0,1	0,25	2,53
	4		180	0,1	0,25	2,32

Sans lubrification	N° Essai	Configuration d'usinage	Vc (m/min)	fz (mm/dent)	ap (mm)	Ra (μm)
Ebauchage	1	Opposition	100	0,3	2	5,73
	2		100	0,3	2	3,37
Finition	3	Opposition	180	0,1	0,25	2,04
	4		180	0,1	0,25	1,84

IV.6.4. Discussion des résultats

Les résultats obtenus peuvent être divisés en deux observations principales :

- la première observation est dans le processus d'ébauchage : nous observons la différence entre l'ébauchage avec lubrification et sans lubrification. Les résultats ont montré que nous pouvons obtenir une meilleure qualité de surface si nous utilisons du liquide.
- la deuxième observation est dans le processus de finition : les résultats montrent le contraire de ce qui a été montré dans les opérations d'ébauchage. Les valeurs montrent que nous un bon état de surface si le liquide est éliminé.

IV.7. Conclusion et Perspective

Sur la base des résultats obtenus dans les essais, et comme mentionné dans le chapitre précédent (chapitre III) sur la possibilité de réduire l'utilisation de la lubrification,

Je pense qu'il est possible d'abandonner l'utilisation du lubrifiant dans l'opération de finition et de maintenir son utilisation dans le processus d'ébauche. Cela nous permet d'obtenir quelques avantages :

- possibilité d'améliorer la qualité d'usinage ;
- réduire les coûts ;
- réduire les risques sur les ouvriers et sur l'environnement.

Conclusion générale

Ce travail de recherche est une contribution à l'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage à sec.

Nous avons choisi le fraisage parce qu'il est le processus le plus utilisé dans les ateliers. La première partie de notre recherche c'est une définition du processus et mentionner ses caractéristiques, les types, les opérations et les outils de coupe etc... ; cela me permet de mieux connaître le processus et ses techniques.

La deuxième partie j'ai présenté de manière plus large le domaine des tolérances et des ajustements et leurs importances dans le monde de la qualité de la fabrication mécanique.

L'usinage à sec est un sujet de recherche ouvert, nombreuses études examinent la possibilité d'abandonner les fluides de coupe ou de réduire leurs utilisations. De notre point de vue, et à travers les résultats obtenus, nous avons trouvé qu'il est possible de réduire l'utilisation par, l'élimination des fluides de coupe dans la finition et de les garder dans le processus d'ébauchage. Cela nous donnera une meilleure qualité de surface ainsi que d'autres avantages tels que la diminution du prix et la réduction du risque sur les ouvriers et l'environnement.

Références bibliographiques

- [1] <http://www.gestiondecompras.com>
- [2] <http://www.usimm.ca>
- [3] **Souhir GARA**. Cours interactif : Le fraisage ; Institut Supérieur des Études Technologiques de Nabeul ; 2015/2016.
- [4] <http://www.Sandvik.Coromant.com>
- [5] **Anglade BRUCE –Horsin Molinaro HELENE**. Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère.
- [6] <http://fr.wikipedia.org/w/index.com>
- [7] IFPM FORMATION. Editeur Responsable : Brigitte REMACLE, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles édition septembre 2015.
- [8] **M.NORBERT et P.PHILIPPE**, Aide-mémoire. Edition : Achevé d'imprimer sur les presses des ateliers HENRI PELADAN. UZES(GARD) EN 1972.
- [9] http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/Cotation_Tolerancee.htm
- [10] Éléments de dessin technique, Hocine KEBIR.Maître de Conférences à l'UTC ; Poste : 7927, Hocine.kebir@utc.fr.
- [11] http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/Tolerances_Geometriques.htm
- [12] <http://www.europrecis.fr/ CONNAISSANCE-METROLOGIE.html>
- [13] STS IPM – Étude des produits et des outillages ; 12/2009 – jgb - etats_de_surface.odt.
- [14] OFPPT ; résumé théorique & guide de travaux pratiques. Royaume du Maroc.
- [15] **I. ZIDANE** ; cours métrologie ; Université Djilali Bounaama Khemis Miliana.

[16] **Aleksandra Bierla** ; Usinage des aciers prétraités à l'huile entière-effets physico-chimiques des additifs soufres ; thèse de doctorat le 24 septembre 2009, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité "Génie mécanique – procédés de fabrication". Paris.

[17] <http://braidwoodgear.com/usinage-pieces-mecaniques-importance-lubrification/>

[18] **Kadda MEHALA**, Polycopies Lubrification Industrielle, Faculté de Génie Mécanique, Département de Génie Mécanique 2016-2017, Université des sciences et de la Technologie d'Oran Mohammed Boudiaf.

[19] Direction régionale des Entreprises, de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi Centre - Val de Loire 2017, www.centre-val-de-loire.directe.gouv.fr

[20] **Pascale DE CARO**, Christine CECUTTI ; Laboratoire de chimie agro-industrielle, UMR 1010 INRA/INP- ENSIACET, 118 route de Narbonne, 31077 Toulouse cedex 04.

[21] **Rami MOHAMMAD**, étude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec mise en place de critères d'aide à la décision du changement de plaquette application au cas de l'ébauche de turbines de pompage, thèse de doctorat 2011, département génie mécanique, l'Université Toulouse III - Paul Sabatier.

[22] TRAMETAL - Spécial "Techniques du III^e Millénaire" – 2006.

[23] **Jérémy CHAUVOT** et **Anthony DAULHAC** ; ECO-CONCEPTION USINAGE A SEC .Cours de **T. MASRI** ; 2008/2009.

[24] **H.BENLAHMIDI** et **H.AOUCI**, Fabrication Assistée par Ordinateur.TP Production Ecole Supérieure de Technologie. Rouïba 2013.