



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ « ABBES LAGHROUR » KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE**



Département de Génie Mécanique

N° de série : ...

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Génie Mécanique.

Option : Construction Mécanique

Conception et Réalisation d'un Outil à Gorge

*Réalisé par : - GHELLOUDJ Farid
- HAFSAOUI Yazid*

Dirigé par : DR. CHERMIME brahim

Membres de jury :

- CHITOUR Mourad MAA Président
- BARKIA.Abd elhak MAA Examineur
- CHERMIME brahim MCB Encadreur

Présenté le 20/06/2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Ce mémoire représente pour nous une riche expérience d'initiation à la recherche ou il nous a été possible de renforcer nos connaissances et d'acquérir des nouveautés sur
la construction mécanique

Nous remercions très chaleureusement et exprimons notre profonde gratitude au notre encadreur «Dr .[CHERMIME BRAHIM](#)» pour nous avoir proposé ce sujet de thèse, par sa disponibilité, sa rigueur, ses précieux conseils et sa patience.

Nous s'adressons nos plus sincères remerciements à

« [M.CHITOUR. Mourad](#) » et
« [M.BARKIA. Abdelhak](#) » qui ont bien voulu accepter de nous faire honneur pour participation en tant qu'examineurs.

Nous exprimons, enfin nos gratitude et nos remerciement a tous les enseignants, le personnel du département des sciences et techniques, ainsi qu'à nos collègues de la promotion de master [2017/2018](#)

Dédicases

**À ceux qui m'ont indiqués la bonne voie, à ceux qui attendent
patiemment le fruit de leur éducation...**

**À ma mère, la source de joie et de tendresse, qui était toujours à côté
de moi pour me donner force et encouragement.**

**À mon père que dieu le garde pour nous A
ma femme**

A ma petite famille

A mes chers frères

A mes chères sœurs

**À mes chers amis et collègues, je leurs souhaite tout le succès
dans leur vie professionnelle.**

FARID

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents pour leur

Encouragement

Et leur morale Qui a toujours cru en moi

*Et su mes redonner confiance lorsque la
motivation n'était plus au rendez-vous.*

A mes frères et mes sœurs

A ma femme ,

A ma petite famille

A vous tous

Je dédie ce travail

YAZID

SOMMAIRE

• Introduction	02
CHAPITRE I OUTILS DE TOUR	04
I-1 Introduction	05
I. 2 Type des outils de tournage	06
I.2.1 Outils pour l'usinage extérieur	06
I.2.1.1 Outil à charioter coudé	06
I.2.1.2 Outil à charioter droit	07
I.2.1.3 Outil charioté à couteau	08
I.2.1.4 Outil à dresser d'angle	08
I.2.1.5 Outil à saigner droit	09
I.2.1.6 Outil à tronçonner	09
I.2.1.7 Outil à gorge	10
I.2.1.8 Outil à fileter extérieur	11
I.2.1.9 Outil pelle	12
I.2.1.10 Outil à moleter	13
I.2.2 Les Outils pour l'usinage interne	14
I.2.2.1 Outil à aléser	14
I.2.2.2 Outil à aléser dresser	15
I.2.2.3 Outil à Chamber	15
I.2.2.4 Outil à fileter inter	16
I.3. Matériaux des outils	18
I.3.1 Classification des outils	18
I.3.1.1 Aciers de construction	19
I.3.1.2 Aciers de construction d'usage général (aciers au carbone)	19
I.3.1.3 Aciers de construction ordinaires (aciers courants)	19
I.3.1.4 Aciers de construction de qualité	20
I.3.1.5 Aciers de décolletage	20
I.3.1.6 Aciers d'amélioration	21
I.3.1.7 Aciers alliés au chrome	21
I.3.1.8 Aciers alliés au chrome-manganèse	21
I.3.1.9 Aciers alliés au chrome-silicium-manganèse	21
I.3.1.10 Aciers alliés au chrome-nickel	22
I.3.1.11 Aciers de cémentation	23
I.3.1.12 Aciers alliés au chrome	23
I.3.1.13 Aciers alliés au chrome-vanadium	23
I.3.1.14 Aciers alliés au chrome-nickel	23
I.3.1.15 Aciers alliés au chrome-manganèse	23
I.3.1.16 Aciers de nitruration	24
I.3.1.17 Aciers pour constructions soudées	25
I.3.1.18 Aciers à roulements	26
I.3.1.19 Aciers à haute résistance (Maraging)	27
I.3.1.20 Aciers à haute tenue à l'usure	28
I.3.1.21 Aciers austénitiques au manganèse	28
I.3.1.22 Aciers à haute tenue à la corrosion (aciers inoxydables)	29
I.3.1.23 Aciers inoxydables au chrome	29
I.3.1.24 Aciers inoxydables au chrome-nickel	30
I.3.1.25 Aciers inoxydables ferritiques	31
I.3.1.26 Aciers inoxydables austénitiques	31
I.3.1.27 Aciers inoxydables martensitiques	32
I.3.2 Aciers à outils	32

I.3.2.1 Aciers à outils de la classe 1	33
I.3.2.2 Aciers à outils de la classe 2	34
I.3.2.2.1 Aciers au manganèse et au manganèse-vanadium	34
I.3.2.2.2 Aciers au chrome	35
I.3.2.2.3 Aciers au chrome-molybdène	35
I.3.2.2.4 Aciers au chrome-tungstène	35
I.3.2.2.5 Aciers au nickel-chrome	35
I.3.2.3 Aciers à outils de la classe 3	35
I.3.2.4 Aciers à outils de la classe 4	36
I.3.2.4.1 Matériaux des outils acier rapide	36
I.3.2.4.2 Aciers rapides courants	37
I.3.2.4.3 Aciers rapides au tungstène-molybdène	37
I.3.2.4.4 Aciers extra-rapides	37
I.3.2.4.5 Aciers rapides spéciaux au cobalt	37
I.3.2.4.6 Aciers rapides à haute teneur en vanadium	38
I.3.2.4.7 Aciers au molybdène-cobalt	38
I.3.2.4.8 Aciers rapides au tungstène	38
I.3.2.4.9 Aciers rapides au molybdène	39
I.3.2.4.10 Carbures métalliques à outils	39
I.3.2.4.11 Aciers et alliages spéciaux	40
I.3.2.4.12 Aciers magnétiques doux	40
I.3.2.4.13 Aciers et alliages pour éléments chauffants	41
I.3.2.4.14 Alliages aux propriétés dilatométriques	42
I.4 Angle des outils de tour	42
I.4.1 Les parties de l'outil	43
I.4.2 Les plans de l'outil	44
I.4.3 Détermination des angles de coupe	45
I.4.3.a Angles de coupe positive	49
I.4.3.b Angles de coupe négative	50
CHAPITRE II	OUTIL DE GORGE
II -1 Réalisation des outils	52
II -2 Démarche d'élaboration	52
II -3 Démarche d'élaboration des gammes de fabrication	53
II .3.1 ÉTAPE 1P : Étude des surfaces élémentaires	54
II .3.2 ÉTAPE 2 P : Identification des surfaces géométriques de base	54
II .3.3 ÉTAPE 3 P : Choix des entités d'usinage	55
II .3.4 ÉTAPE 4 : Regroupement d'opération en phase	56
a) Règles de regroupement	56
b) Approche économique	56
II .3.5 ÉTAPE 5 : Ordonnancement des phases et choix du posage	56
II .4 Démarche générale de recherche des surfaces d'appuis	57
II.2 Gamme d'usinage	59
II.3 Contrôles	60
II.3.1 L'instrument de contrôles	60
.1 Gabarits à mâchoire	60
a) Contrôle de formes lisses	61
b) Filetage cylindrique	62
c) Filetage conique	63
II.3.1.2 Les pieds à coulisse	64

a) Types de pieds à coulisse	65
b) Utilisation et entretien du pied a coulisse	69
c) Description	71
d) Fonctions	71
II.3.1.3 Rapporteur d'angle	72
a) Fonctions	72
b) Rapporteur d'angles universel	74
c) Rapporteur d'angle universel numérique	75
CHAPITRE III TRAITEMENTS SUPERFICIELLES	76
III.1 Introduction	77
III.2 Types de traitements de surface	78
III.2.1 Nettoyage des surfaces	78
a. Le dégraissage	78
b. Le décapage	78
III.2.2 Traitement optique	78
III.2.3 Traitement par transformation structurale	79
III.2.4 Traitement organique et organo-minéraux	79
III.2.5 Traitement mécanique	79
III.2.6.1 Aérogommage	79
III.2.6.2 Ébavurage	79
III.2.6.3 Brunissage	79
III.2.6.4 Galetage	79
III.3 Sablage	80
III.3.1 Introduction	80
III.3.2 Les différents abrasifs	80
III.3.3 Sableuses et les cabines de sablage	81
III.3.4 Les application possible avec des abrasifs	83
III.3.5 Information complémentaire	85
III.3.6 Accessoires de sablage pour sableuse	86
III.4 Contrôle de dureté	89
III.4.1 Introduction	89
III.4.2 Carctérisation mécanique	89
a) Microdureté	
b) Mesures de dureté par pénétration	89
III.4.3 Essai de dureté Brinell	90
III.4.4 Essai de dureté Vickers	91
III.4.5 Essai de dureté Rockwell	93
III.4.6 Essai de Traction	95
III.4.7 Les éprouvettes	95
III.4.8 Diagramme de traction	97
III.4.9 Module d'élasticité	98
III.4.10 Structures métallographiques des aciers	100
III.4.10.1 Austénite	100
III.4.10.2 Perlite	101
III.4.10.3 Trostite	102
III.4.10.4 Martensite	102
III.4.10.5 Ferrite	102
III.4.10.6 Bainite	103
III.4.10.7 Sorbite	104

Fer α	104
Fery	104
CHAPITRE IV PARTIE DE SIMULATION	105
SOLIDWORKS	106
IV-1-1 Introduction	106
IV-1-2 Représentation géométrique	107
IV-2 ABAQUS	108
IV-2- 1 Introduction	108
IV-2- 2 contraintes selon V Mises	111
IV-2- 3 contraintes selon XX	112
IV-2- 4 contraintes selon YY	113
IV-2- 5 contraintes selon ZZ	114
IV-2- 6 contraintes selon XY	115
IV-2- 7 contraintes selon XZ	116
IV-2- 8 contraintes selon YZ	117
IV-2- 9 Déplacement E11	118
IV-2- 10 Déplacement E12	118
IV-2- 11 Déplacement E13	119
IV-2- 12 Déplacement E22	119
IV-2- 13 Déplacement E23	120
IV-2- 14 Déplacement E33	120
Conclusion Générale	122
Liste bibliographiques	123
Résumé	124

LISTE DES FIGURE

CHAPITRE I

OUTIL DE TOUR

Figure. I-1 : Cinqe outil à charioter	06
Figure I-2 : Outil à charioter coudé	07
Figure. I-3 : Outil à charioter coudé	07
Figure I-4 : Outil à charioter droit	07
Figure I. 5 : Outil à charioter droit	07
Figure I.6 : Outil à charioter droit	07
Figure I-7 : Outil charioter à couteau	08
Figure I-8 : Outil charioter à couteau	08
Figure I-9 : Outil à dresser d'angle	08
Figure I-10 : Outil à dresser d'angle	08
Figure I-11 : Outil à saigner droit	09
Figure I-12 : Outil à saigner droit	09
Figure I-13 : Outil à saigner droit et gauche	09
Figure I-14 : Outil à tronçonner	10
Figure I-15 : Outil à tronçonner	10
Figure I-16 : Outil à tronçonner	10
Figure I-17 : Outil à gorge	11
Figure I-18 : Outil à gorge	11
Figure I-19 : les défirents outils a gorge	11
Figure I-20 : Outil à fileter extérieur	11
Figure I-21 : Outil à fileter extérieur	11
Figure I-22 : les défirent outils de filetage extérieur et enterreur	12
Figure I-23 : Outil pelle	12
Figure I-24 : Outil pelle	12
Figure I-25 : Outil pelle	12
Figure I-26 : Outil à moleter	13
Figure I-27 : Outil à moleter	13
Figure I-28 : les outils et opération de tournage extérieur	13
Figure I-29 : Outil à aléser	14
Figure I-30 : Outil à aléser	14
Figure I-31 : Outil à aléser dresser	15
Figure I-32 : Outil à aléser dresser	15
Figure I-33 : Outil à Chambrer	15
Figure I-34 : Outil à Chambrer	15
Figure I-35 : Outil à Chambrer	16
Figure I-36 : Outil à fileter inter	16
Figure I-37 : Outil à fileter inter	16
Figure I-38 : Outil à fileter inter	16

Figure I-39 : les outils et opération de tournage intérieur	17
Figure I-40 : diagramme de carbure métallique	40
Figure I-41 : Angles du taillant (outil en main).	42
Figure I-42 : Angles du taillant (outil en travail)	43
Figure I- 43 : La partie la plus importante de l'outil	44
Figure I-44 : les plans de l'outil (en main)	44
Figure I-45 : définit les angles	45
Figure I-46 : les plans de l'outil	46
Figure I-47 : La fragilité en pointe de l'outil	46
Figure I-48 : La direction de dégagement du copeau	46
Figure I-49 : La robustesse et la réversibilité de la plaquette	47
Figure I-50 : L'angle de direction d'arête κ	47
Figure I-51 : L'angle de direction d'arête κ	48
Figure I-52 : Choix de l'angle de coupe	49
Figure I-53 : Angles de coupe positifs	50
Figure I-54 : Angles de coupe négatifs	50

CHAPITRE II OUTILS DE GORGE

Figure II.1 : Identification des surfaces géométriques de base	53
Figure II-2 : gammes de fabrication	55
Figure II-3 : Gabarits à mâchoire Calibre extérieur	60
Figure II-4 : Calibre intérieur	60
Figure II-5 : Tampon lisse plat	61
Figure II-6 : tampon lisse double	61
Figure II-7 : Gabarits à mâchoire double	61
Figure II-8 : Gabarits à mâchoire double	61
Figure II-9 : Mâchoire dite par enfilade	62
Figure II-10 : Mâchoire dite par enfilade	62
Figure II- 11 : Mâchoire réglable	62
Figure II- 12 : Mâchoire réglable	62
Figure II- 13 : Tampon fileté double	63
Figure II- 14 : Tampon fileté double	63
Figure II- 15 : Tampons filetés simples	63
Figure II- 16 : Tampons filetés simples	63
Figure II- 17 : Les tampons ou bagues	63
Figure II- 18 : Les tampons ou bagues	63
Figure II- 19 : Contrôle de Filetage conique	64
Figure II- 20 : Contrôle de Filetage conique	64
Figure II- 21 : pied à coulisse universel (à becs)	65
Figure II- 22 : pied à coulisse à cadran	65
Figure II- 23 : pied à coulisse à affichage électronique (digital)	65
Figure II- 24 : pied à coulisse à pointes à réglage fin	66
Figure II- 25 : Pied à coulisse universel	66
Figure II- 26 : Lecteur pied à coulisse	66
Figure II- 27 : Pied à coulisse	67
Figure II- 28 : Pied à coulisse	67
Figure II- 29 : pied à coulisse de profondeur	70
Figure II- 30 : Utilisation de pied a coulisse	71

Figure II- 31 : Rapporteur d'angle	72
Figure II- 32 : placement de l'origine du rapporteur	73
Figure II- 33 : origine du rapporteur et sommet de l'angle alignés	73
Figure II- 34 : ligne de foi du rapporteur alignée de l'angle	73
Figure II- 35 : ligne de foi du rapporteur alignée sur un coté de l'angle	74
Figure II- 36 : l'angle vaut 45 degrés	74
Figure II- 37 : Rapporteur d'angle universel	75
Figure II- 38 : Rapporteur d'angle universel numérique	75

CHAPITRE III TRAITEMENTS SUPERFICIELLES

Figure III- 1 : Sableuses et les cabines de sablage	81
Figure III- 2 : Exposition d'une cabine	82
Figure III- 3 : Tuyauteries de sablage	86
Figure III- 4 : Porte-Buse	86
Figure III- 5 : Raccords	87
Figure III- 6 : Vannes et détendeurs	87
Figure III- 7 : Vannes et détendeurs	88
Figure III- 8 : Couvercles et grilles tamis	88
Figure III- 9 : Essai de dureté Brinell	90
Figure III- 10 : Essai de dureté Vickers	92
Figure III- 11 : Essai de dureté Vickers	94
Figure III- 12 : Exemple d'une éprouvette de traction	97
Figure III- 13 : Schéma représentant 2 types différents de courbes de traction	98
Figure III- 14 : Courbe de traction monotone de l'acier XC38 en température	98
Figure III- 15 : Austénite d'un acier 1.7% C	101
Figure III- 16 : Structure perlitiques dans un acier eutectoïde	101
Figure III- 17 : ferrite+perlite (0.3% C de carbone)	101
Figure III- 18 : Martensite	102
Figure III- 19 : Ferrite granulaire	103
Figure III- 20 : Ferrite aciculaire	103
Figure III- 21 : Bainite 0.22% C	103

CHAPITRE IV PARTIE DE SIMULATION

Figure IV- 01 : Représentation géométrique	107
Figure IV- 02 : Porte à outil de fixation de notre outil de gorge	108
Figure IV-03 : Modèle discrétisé	110
Figure IV-04 : Patch des graphes	110
Figure IV-05 : contraintes selon v mises	111
Figure IV-06 : Distribution des contraintes V. Mises	111
Figure IV-07 : contraintes selon XX	112
Figure IV-08 : Distribution des contraintes normale σ_{xx}	112
Figure IV-09 : contraintes selon YY	113
Figure IV-10 : Distribution des contraintes normale σ_{yy}	113
Figure IV-11 : contraintes selon ZZ	114
Figure IV-12 : Distribution des contraintes normale σ_{zz}	114
Figure IV-13 : contraintes selon XY	115
Figure IV-14 : Distribution des contraintes tangentielle σ_{xy}	115
Figure IV-15 : contraintes selon XZ	116
Figure IV-16 : Distribution des contraintes tangentielle σ_{xz}	116

Figure IV-17 : contraintes selon YZ	117
Figure IV-18 : Distribution des contraintes tangentielle σ_{yz}	117
Figure IV-19 : Déplacement E11	118
Figure IV-20 : Déplacement E12	118
Figure IV-21 : Déplacement E13	119
Figure IV-22 : Déplacement E22	119
Figure IV-23 : Déplacement E23	120
Figure IV-24 : Déplacement E33	120

Liste des tableaux

CHAPITRE I

OUTILS DE TOUR

Tableau I-1 : Outil à aléser	14
Tableau I-2 : Outil à aléser et à dresser	15
Tableau I-3 : Outil à chambrer	16
Tableau I-4 : Outil à fileter intérieurement	16
Tableau I-5 : Aciers alliés au chrome-nickel	22
Tableau I-6 : Aciers alliés au chrome-manganèse	24
Tableau I-7 : Aciers de nitruration	25
Tableau I-8 : Aciers pour constructions soudées	26
Tableau I-9 : Aciers à roulements	27
Tableau I-10 : Aciers à haute résistance	28
Tableau I-11 : Aciers austénitiques au manganèse	29
Tableau I-12 : Aciers inoxydables au chrome	29
Tableau I-13 : Aciers inoxydables au chrome-nickel	30
Tableau I-14 : Aciers inoxydables ferritiques	31
Tableau I-15 : Aciers inoxydables austénitiques	31
Tableau I-16 : Aciers inoxydables martensitiques	32
Tableau I-17 : Aciers à outils de la classe 1	34
Tableau I-18 : Aciers à outils de la classe 3	36
Tableau I-19 : Aciers rapides au tungstène	38
Tableau I-20 : Aciers rapides au molybdène	39

CHAPITRE II

OUTIL DE GORGE

Tableau II-1 : nombre de graduation qui se trouve sur le vernier	66
---	----

CHAPITRE III TRAITEMENTS SUPERFICIELLES

Tableau III -1 : accessoires de sablage	82
Tableau III -2 : Les applications possibles avec des abrasifs	83
Tableau III -3 : Le corindon brun	84
Tableau III -4 : Microbille de verre	84
Tableau III -5 : Grenaille métallique	84
Tableau III -6 : Les exigences techniques de chaque principe	94
Tableau III -7 : Valeur typique du module d'élasticité pour différents métaux	99

INTRODUCTION
GENERALE

I-1 Introduction générale :

L'industrie mécanique s'est développée grâce aux technologies diversifiées de fabrication de Pièces et composants qui constituent les ensembles et sous-ensembles mécaniques. Cependant Les techniques de moulage et d'estampage n'arrivent pas à satisfaire les besoins mécaniques en pièces et composants spécifiques. Parmi les principaux procédés de fabrication mécanique, il est indispensable d'en citer l'usinage des métaux qui a contribué le plus dans la fabrication et la finition des pièces de précision. L'usinage des métaux consiste à façonner et finir une surface de pièce de configuration donnée par un ensemble d'opérations à effectuer à l'aide de machines outils. Nous allons voir comment intervient la raison humaine pour l'obtention d'une géométrie déterminée de la pièce grâce à l'harmonisation de l'interaction de plusieurs mouvements imposés tant à la machine, qu'à l'outil de coupe qui fait partie de cette machine-outil, qu'à la surface de la pièce à usiner. Cette dynamique de coupe constitue une technologie de précision qui, par taillage de matière, arrive à concevoir les assemblages les plus recherchés.

Nous entendons parler de tournage, de fraisage, de perçage, de rabotage, etc., mais les nuances sont tellement variées et diversifiées selon la nature du composant à obtenir qu'il faut impérativement savoir chacune des opérations à mettre en œuvre car dans la plus part des cas la combinaison de plusieurs procédés est inévitable. A titre d'exemple, nous évoquons l'opération de perçage qui paraît relativement la plus simple car quiconque connaît bien la perceuse manuelle. Mais dès que vous êtes en présence de dizaines de milliers de perçages de différents diamètres à réaliser sur des matériaux différents, comme dans le cas d'un véhicule, cela devient un véritable domaine de la technologie car, en outre, il faut bien tenir compte des efforts physiques et conditions de perçage pour ne pas altérer les propriétés mécanique des matériaux en fin d'usinage.

La dynamique d'usinage fait appel aux connaissances physiques des efforts des solides en mouvements, celles des propriétés particulières des matériaux et la métrologie dimensionnelle. Bref, l'usinage des matériaux, est un procédé noble qui, de nos jours, se manifeste par la présence de machines numériques programmables, et occupe la place prépondérante dans l'industrie mécanique notamment. Les potentiels d'usinage d'un pays servent d'indice de développement dans cette technologie. C'est pourquoi les bases de ce module de technologie d'usinage sont destinées aux étudiants de cette filière. Un module que tous les élèves ingénieurs du tronc commun de technologie auront l'occasion de le suivre et pouvoir même voir pratiquement la concrétisation de certaines opérations fondamentales dont

les effets sont remarquables et appréciés.

Ce qui nous intéresse dans cette partie est la coupe des métaux qui consiste à l'usinage des surfaces fonctionnelles des pièces mécaniques par enlèvement de la matière (copeaux) au moyen d'outils de coupe.

Avant l'évolution des techniques de coupe, la coupe des métaux s'effectuait avec des outils à main très simples dont certains se sont conservés jusqu'à nos jours sans changement important (lime d'ajusteur, pointe de graveur, scie, burin).

Aujourd'hui l'effort musculaire se trouve évincé par le travail de machines spéciales dites machines-outils (tour, fraiseuse, perceuse, rectifieuse, mortaiseuse, raboteuse, etc....).

Donc l'outil de coupe est un organe de machine outil qu'en cours d'opération agit directement sur l'ébauche par enlèvement de matière pour produire une surface conforme à celle spécifiée sur le dessin de définition. Dans l'usinage le matériau de base est à l'état solide appelé ébauche (état initial), après enlèvement du métal par coupe (transformation) on obtient la pièce mécanique à l'état final conforme aux spécifications du dessin de définition.[1]

CHAPITRE I

Outils de tour

I.2- Introduction :

L'outil de tour désigne un des nombreux outils utilisés, avec un porte-outil, sur un tour.

La plupart du temps la pièce tourne à une vitesse de coupe calculée (vitesse de rotation en

Mètres par minute) accompagnée d'une avance travail : vitesse d'avance

(Exprimée en millimètre par minute). Les outils de tournage mécanique existent dans une

Grande variété de formes en fonction des conditions particulières des opérations effectuées.

(Tournage interne et tournage externe) La fabrication du métal dur de l'outil est réalisée par Frittage.

Les outils les plus répandus sont constitués d'une plaquette amovible montée sur un corps d'outil

Par brasage, avec une vis ou aussi par bridage. Certains outils de petites dimensions sont fabriqués

Entièrement en métal dur. L'utilisation des outils amovibles permet d'augmenter la durée de vie de

L'outil grâce au changement des plaquettes usées.

Type (classification) des outils coupants :

- Outils de fraisage
- Outils de perçage
- Outils de tournage

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser aux outils de tournage

I.2 Type des outils de tournage

I.2.1 Outils pour l'usinage extérieur

Ils sont de deux sortes :

- à droite :

c'est-à-dire qu'ils servent à travailler de la droite vers la gauche (de la contre pointe ou poupée mobile vers le mandrin) désignation ISO **R**.

- à gauche :

c'est-à-dire qu'ils servent à travailler de la gauche vers la droite (du mandrin vers la poupée mobile) désignation ISO **L**.

Relativement facile à affûter, et très économique.

Résiste aux chocs (ne pas exagérer tout de même).

Pour l'usinage des matières plastique n'utiliser que ce type d'outils.

Une seule direction de travail possible pour la réalisation de cylindres ou de cônes extérieurs. Si la pièce comporte un épaulement on obtient une surface en travail d'enveloppe et une surface en travail de forme.[2]

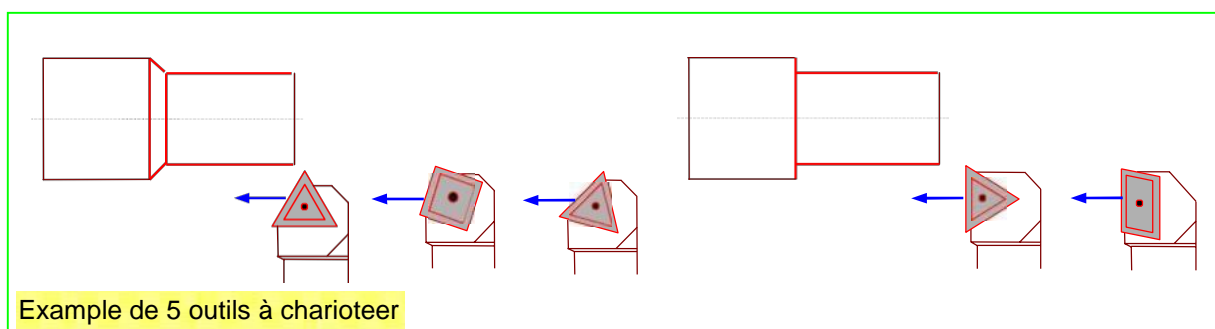


Figure. I-1 : Cinque outils à chariotier

I.2.1.1 Outil à chariotier coudé

C'est l'outil le plus couramment utilisé, est utilisé pour l'ébauche comme la finition. Dans les opérations de cylindrage, de dressage et l'alésage de grand Ø. Son inclinaison permet le bon déroulement du copeau.

Le fait de le détalonner comme indiqué sur le dessin, cela permet la réalisation de chanfreins ou ébavurages, à l'entrée des alésages, sans avoir besoin d'utiliser un autre outil.

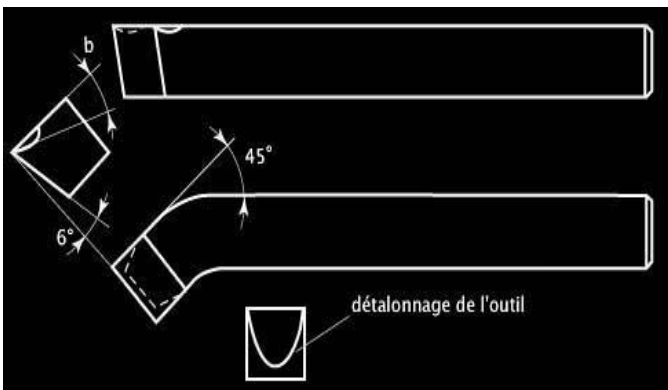


Figure. I-2 : Outil à charioter coudé

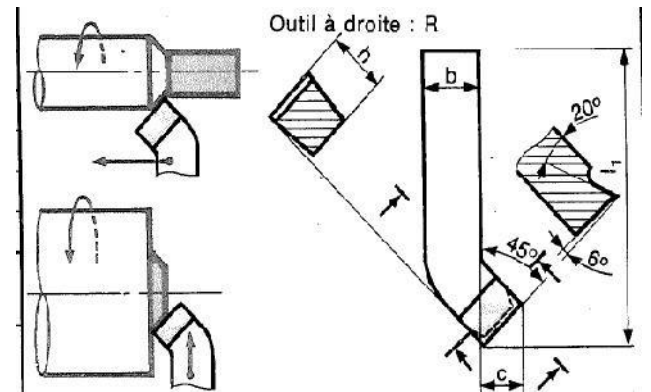


Figure. I-3 : Outil à charioter coudé

I.2.1.2 Outil à charioter droit

Identique à l'outil précédemment cité, il peut facilement être réalisé dans un barreau en acier rapide.

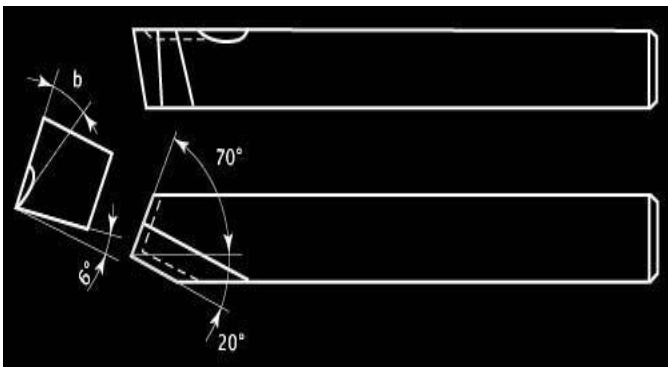


Figure. I-4 Outil à charioter droit

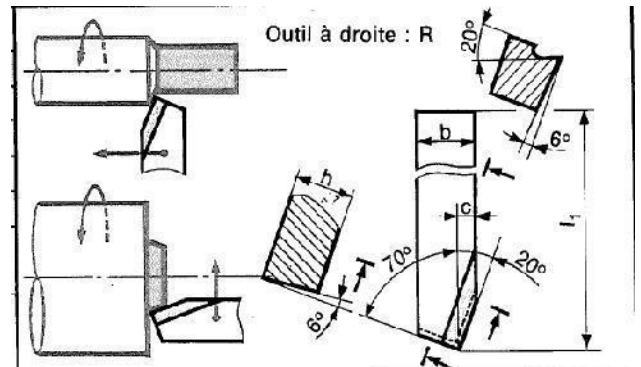


Figure. I-5 : Outil à charioter droit

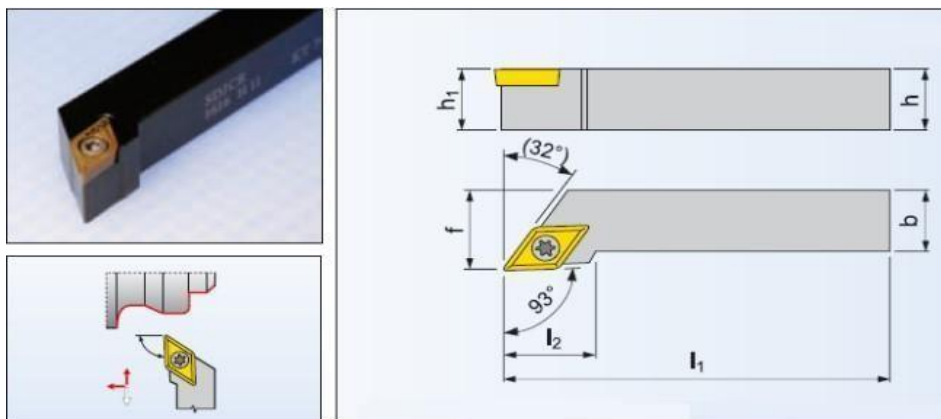


Figure. I-6 : Outil à charioter droit

I.2.1.3 Outil chariotier à couteau

Utilisé pour le dressage des faces, pour la réalisation d'épaulement et de décolletage. Il permet la réalisation de passe importante avec une faible avance. Avec une petite largeur de cuillère (gorge d'enroulement du copeau) et une avance adaptée, il est possible d'obtenir un brise copeau, et donc avoir un copeau qui se casse en venant buter soit contre la face de la pièce au fur et à mesure que celui ci avance (grande avance auto), ou bien qu'il vienne se casser contre l'outil. Cela pour éviter de faire des copeaux longs et dangereux Pour obtenir cela il faut diminuer la vitesse de rotation et augmenter l'avance. C'est aussi valable pour tous les outils, exter et inter, mis à part les outils à fileter et à tronçonner entre autres. Cela est important pour l'usinage de l'inox, car les guirlandes de cette matière sont très dangereuses, et elles coupent très bien la chair par exemple.

Car il faut penser au copeau lors de l'usinage, mais aussi lors du nettoyage du bac à copeaux.

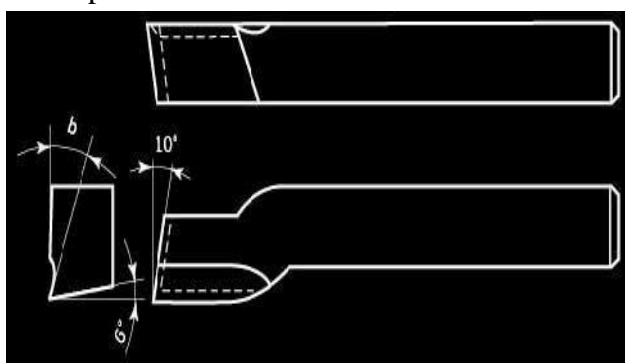


Figure. I-7 : Outil chariotier à couteau

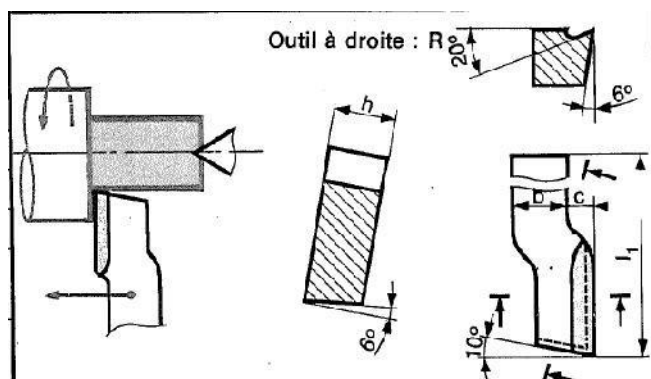


Figure. I-8 : Outil chariotier à couteau

I.2.1.4 Outil à dresser d'angle

Utilisé pour l'usinage de petite surface, mais aussi pour l'ébauche d'épaulement

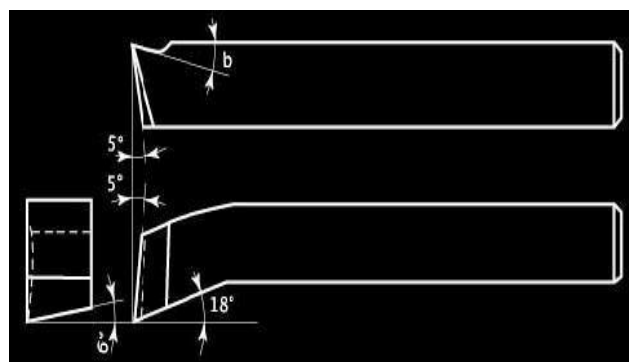


Figure. I-9 : Outil à dresser d'angle



Figure. I-10 Outil à dresser d'angle

I.2.1.5 Outil à saigner droit

Relativement fragile du fait de faible section, à utiliser avec délicatesse, car nous pouvons être confrontés à un broutement provoqué par le soulèvement de la pièce, si l'avance manuelle de l'outil est trop importante. C'est pour cela qu'il ne doit jamais être utilisé avec une avance automatique.

Si possible à utiliser à l'envers, car le copeau aurait tendance à rester au-dessus de l'outil et donc dans la gorge réalisée, là c'est le bourrage.

Pour éviter cela il est bon de réaliser un léger rayon incliné en bout (tout comme pour l'outil à tronçonner), le copeau ainsi réalisé est plus large que la gorge et donc cela l'oblige à s'évacuer plus facilement.

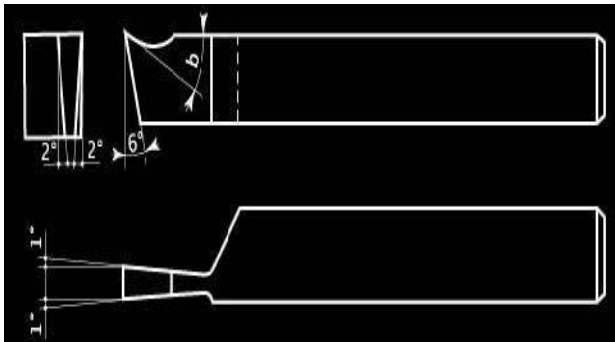


Figure. I-11 : Outil à saigner droit



Figure. I-12 : Outil à saigner droit

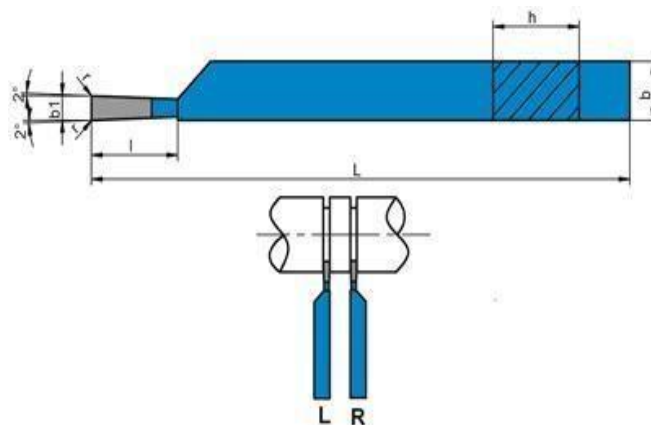


Figure. I-13: Outil à saigner droit et gauche

I.2.1.6 Outil à tronçonner :

La conception de cet outil permet le saignage et le tronçonnage dans de meilleures conditions que l'outil précédemment cité. La pièce tournant à l'envers tend à plaquer la broche sur ses coussinets inférieurs plus rigides et donc supprime tout broutement. De plus sa forme incurvée lui donne une élasticité qui permet un travail dans de meilleures conditions.

Il est tout de même recommandé comme l'outil précédent, de réaliser un léger arrondi en

bout, qui peut être incliné comme indiqué sur le dessin, pour permettre l'évacuation du copeau.

Ne pas hésiter à arrêter de faire avancer l'outil régulièrement afin de casser le copeau, en effet lors de cette opération, il est facile de réaliser de belle guirlande, mais cela est TRES DANGEREUX. Le copeau peu s'enrouler autour du mandrin, et donc en même temps embarquer tout ce qui se trouve à proximité.

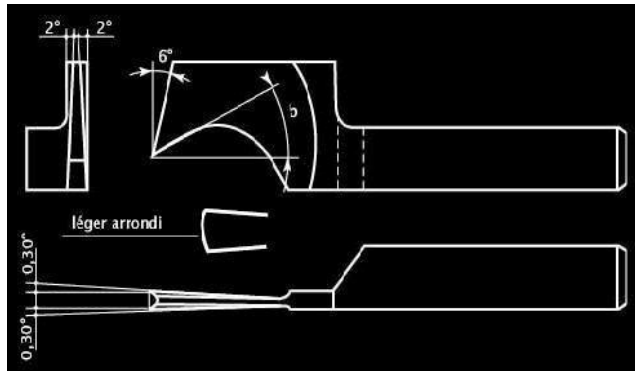


Figure. I-14 : Outil à tronçonner

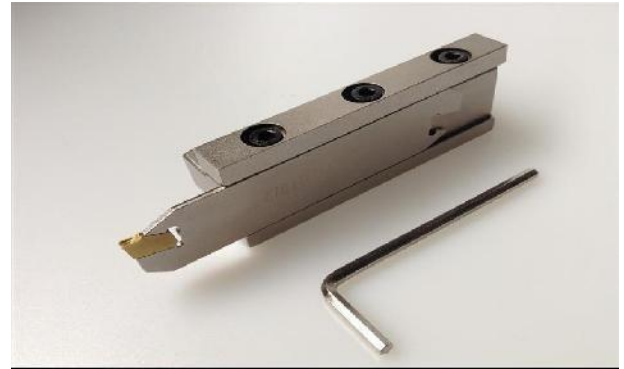


Figure. I-15 : Outil à tronçonner



Figure. I-16 : Outil à tronçonner

I.2.1.7 Outil à gorge

De même conception que l'outil à saigner, il permet des saignées moins profondes, mais plus larges, il est donc plus trapu et sa partie active plus courte. Il est bon de faire un chanfrein de détalonnage sur l'angle supérieur arrière de l'outil, en effet après un certain nombre d'affûtage, la partie coupante est plus basse et donc moins large que la partie arrière de l'outil, cela est à réaliser aussi sur l'outil à saigner.

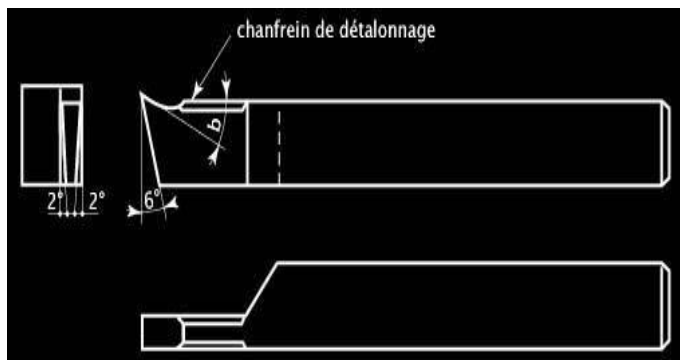


Figure. I-17 : Outil à gorge



Figure. I-18 : Outil à gorge



Figure. I-19 : les différents outils à gorge

I.2.1.8 Outil à fileter extérieur :

Cet outil peut être réalisé dans un barreau en acier rapide, il est utilisé pour la réalisation de filetage extérieur. Son angle de 60° pour les filetages métriques, doit être de 55° pour les filetages Whitworth.

L'usinage d'un filetage est une opération délicate, mais avec un peu d'attention se réalise facilement.

Le travail doit se faire sur un seul flanc à la fois, nous avons donc plusieurs possibilités pour cela.

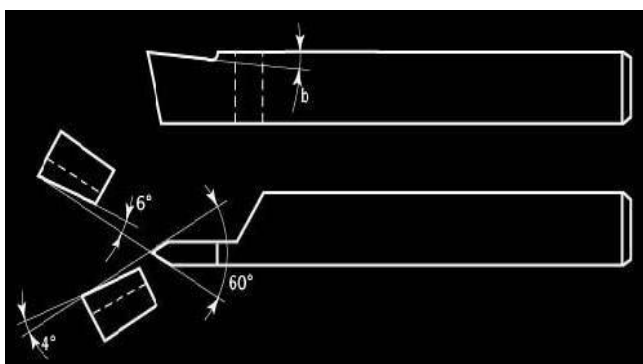


Figure. I-20 : Outil à fileter extérieur



Figure. I-21: Outil à fileter extérieur



Figure. I-22 : les différents outils de filetage extérieur et intérieur

I.2.1.9 Outil pelle

Permet la réalisation en ébauche de gorge importante. Généralement utilisé pour le défonçage, perpendiculairement à l'axe de la pièce.

Utilisé de préférence à l'envers, il peut servir pour des opérations de carottage (gorge circulaire sur la face de pièce, mais aussi pour la découpe d'une rondelle ou bague qui nécessiterait d'enlever beaucoup de métal pour la réalisation de l'alésage, par exemple, une rondelle de D 150mm, d 130 mm épaisseur 20 mm.

Dans ce dernier exemple, il est nécessaire de bien détailler la partie inférieure de l'outil pour qu'il ne vienne pas toucher le Ø de la pièce.

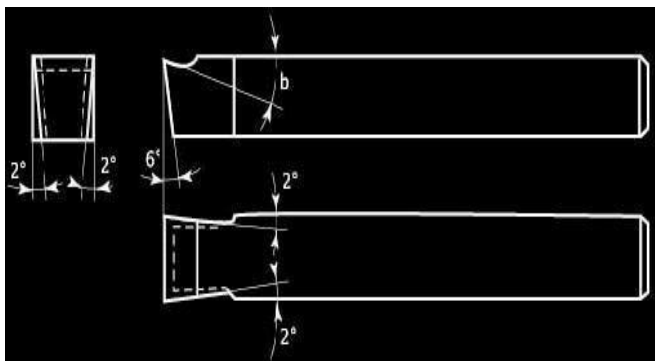


Figure. I-23 : Outil pelle



Figure. I-24 : Outil pelle

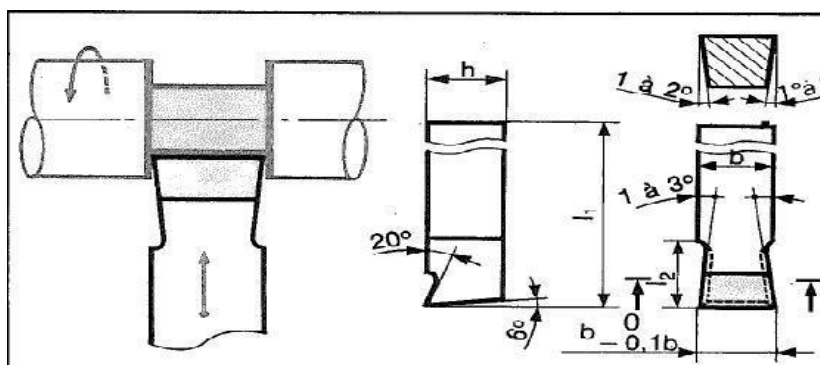


Figure. I-25 : Outil pelle

I.2.1.10 Outil à moleter :

Il sert à apposer une surface striée servant le plus souvent à une meilleure prise d'une surface (exemple : poignées). le moletage est de moins en moins utilisé en raison des normes actuelles. l'outil à moleter classique ne travaille pas par enlèvement de matière, mais par refoulement. les molettes sont des disque en acier rapide, montées sur un axe. suivent le type de stries, leur pas et leurs inclinaisons peuvent varier. il existe également des outils à moleter par enlèvement de copeaux.[2]

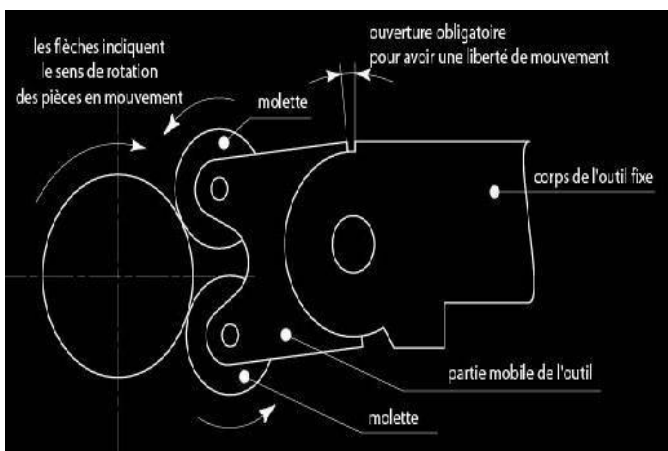


Figure. I-26 : Outil à moleter



Figure. I-27 : Outil à moleter

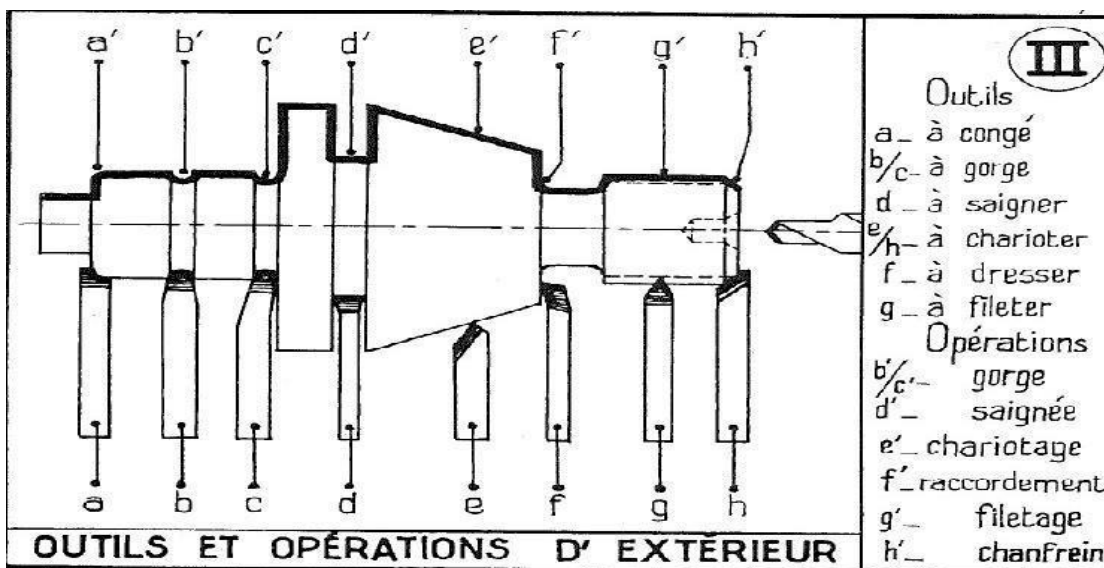


Figure. I-28 : les outils et opération de tournage extérieur

I.2.2 Les Outils pour l'usinage interne:

Pour l'utilisation de ces outils, il est recommandé de prendre toujours un outil le plus gros possible et que la partie hors de la tourelle soit la plus petite possible, cela pour éviter tout problème de brouillage, vibration...

Ils se placent dans un porte-outils avec une embase en vé pour un meilleur maintien, toujours mettre une cale entre l'outil et la vis de serrage pour éviter le marquage du corps de l'outil.

Ce dernier point est valable aussi pour les outils exter.

I.2.2.1 Outil à aléser:

Utilisé pour l'ébauche et la finition des alésages simples. Plus robuste que l'outil à aléser dresser.

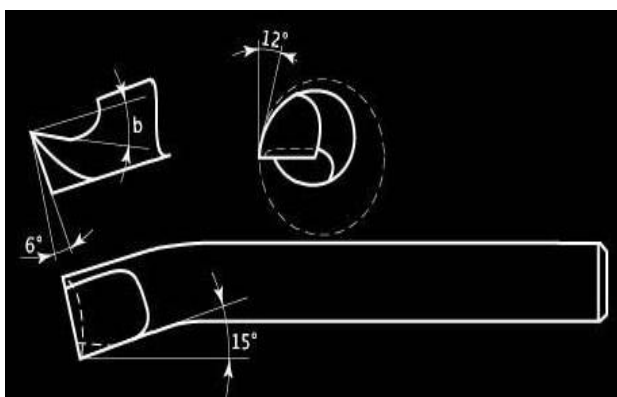


Figure. I-29 : Outil à aléser

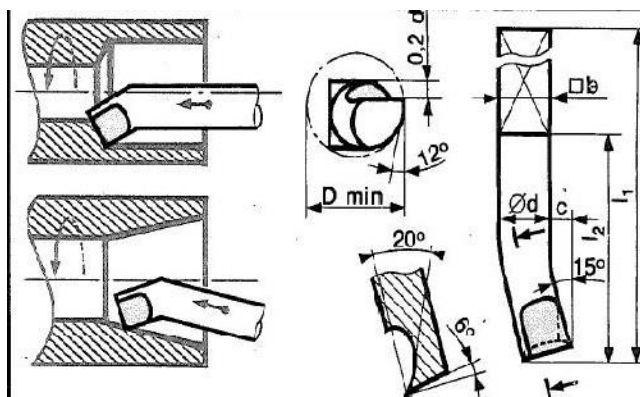


Figure. I-30: Outil à aléser

OUTIL A ALÉSER												NF E 66-370
b	d	l ₁	l ₂	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	c	D min	
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27	
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34	
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43	
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52	

EMPLOI :
Alésage de cylindres ou de cônes à partir d'un trou brut ou ébauché.

DÉSIGNATION :
Outil à aléser 16 q-20°, NF E 66-370.

Tableau I-1 : Outil a aléser

I.2.2.2- Outil à aléser dresser:

Surtout utilisé pour la finition, mais aussi pour la réalisation d'épaulement inter, ou dressage de la face d'un trou borgne par exemple.

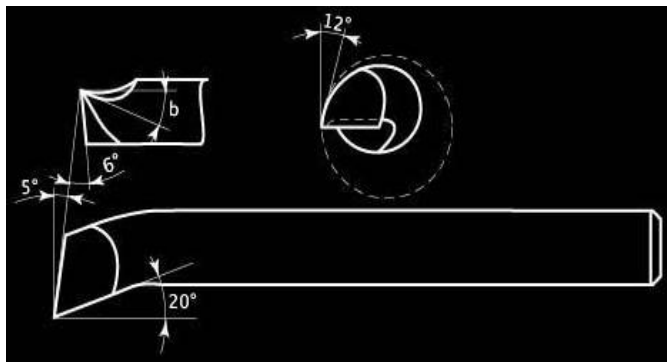


Figure. I-31: Outil à aléser dresser

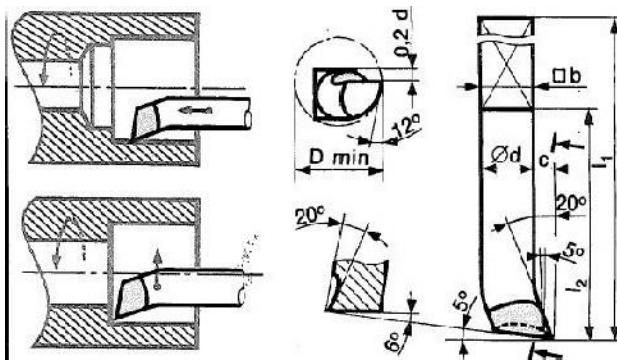


Figure. I-32 : Outil à aléser dresser

OUTIL A ALÉSER ET A DRESSER												NF E 66-371	
b	d	l ₁	l ₂	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	c	D min		
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27		
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34		
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43		
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52		

EMPLOI :
Alésage et dressage à partir d'un trou.

DÉSIGNATION :
Outil à aléser et à dresser 16 q-20°, NF E 66-371.

Tableau I-2 : Outil a aléser et a dresser

I.2.2.3- Outil à Chambrer

Utilisé pour l'usinage de gorges, de chambrage (évidemment inter pour diminuer la portée d'un alésage par exemple, une réserve de graisse...) de gorge de dégagement de filetage. Ne pas hésiter à lui faire un rayon dans chaque angle pour éviter de faire un angle vif (amorce de cassure) dans la pièce à usiner.

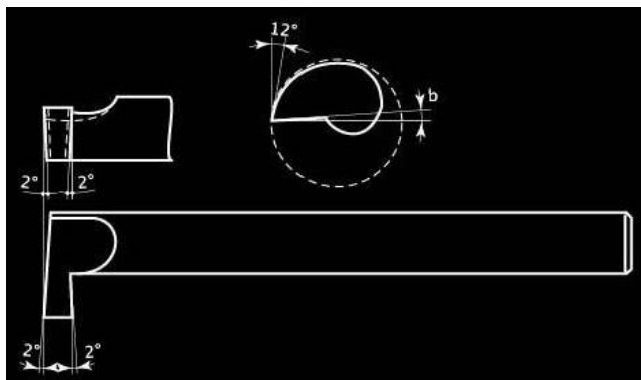


Figure. I-33: Outil à Chambrer

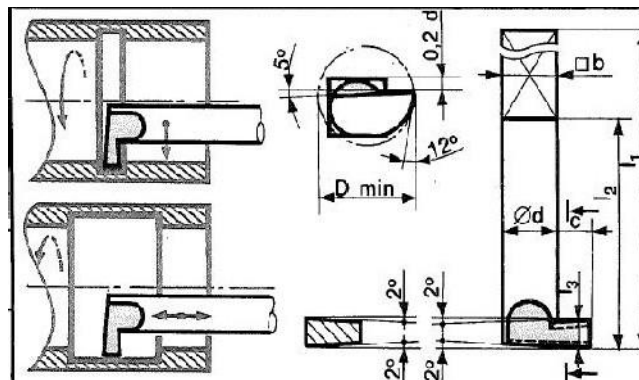


Figure. I-34: Outil à Chambrer



Figure. I-35: Outil à Chambrer

OUTIL A CHAMBRER														NF E 66-372
b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28	
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35	
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43	
12	12	180	50	5	8	22	—	—	—	—	—	—	—	

EMPLOI :
Chambrage. Exécution de gorges Intérieures.

DÉSIGNATION :
Outil à chambrer 16 q-5°, NF E 66-372.

Tableau I-3 : Outil à chambrer

I.2.2.4- Outil à fileter inter

Même utilisation que pour l'extérieur sauf qu'il n'est pas possible de le réaliser par pénétration oblique, son dégagement est facilité lorsqu'une gorge est réalisée dans les mêmes conditions que pour les filetages externe.

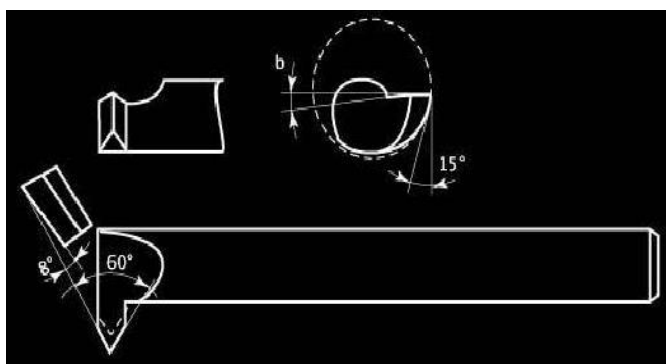


Figure. I-36 : Outil à fileter inter

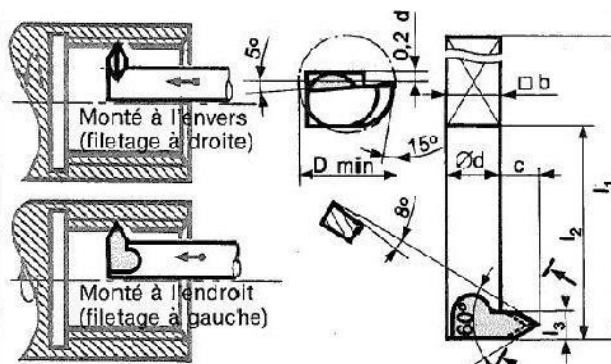


Figure. I-37: Outil à fileter inter



Figure. I-38 : Outil à fileter inter

OUTIL A FILETER INTÉRIEUREMENT														NF E 66-373
b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28	
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35	
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43	
12	12	180	50	5	8	22	—	—	—	—	—	—	—	

EMPLOI :
Filetage intérieur à droite ou à gauche.

DÉSIGNATION :
Outil à fileter intérieurement 16 q-5°, NF E 66-373.

Tableau I-4 :Outil a fileter intérieurement

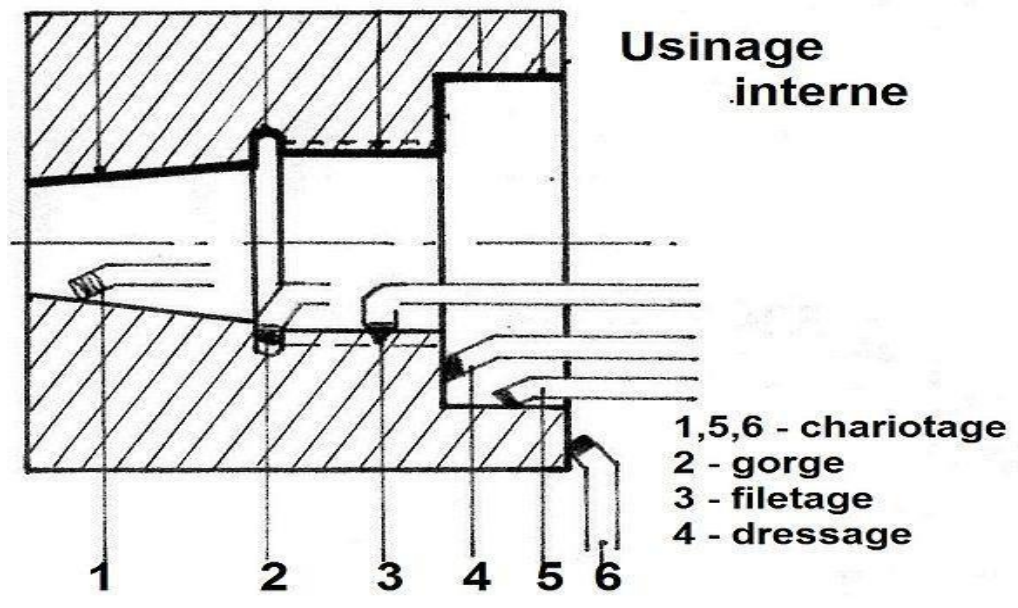


Figure. I-39 : les outils et opération de tournage intérieur

I.3 Matériaux des outils :

Introduction:

- Les aciers à coupe rapide , appelés couramment aciers rapides présentent en commun la propriété de pouvoir acquérir après trempes une dureté élevée et de la conserver aux hautes températures , de l'ordre de 600 à 650° C à un degré supérieur à celui des autres aciers, utilisé d'abord exclusivement pour la coupe des métaux, les aciers rapides ont depuis trouvé de nombreuses applications dans le domaine de la mise en forme des métaux sans production de copeaux
- Les caractéristique requises pour la mise en forme avec ou sans enlèvement de copeaux sont essentiellement la dureté (a froid et surtout à chaud) la résistance à l'usure et la ténacité, ces caractéristiques ont été obtenues au moyen d'additions importantes d'éléments tels que le chrome et le cobalt donnant, l'un la trempabilité l'autre la dureté à chaud, l'augmentation de la teneur en vanadium de ces aciers ainsi que l'augmentation correspondante de la teneur en carbone ont conduit à la mise au point de nuances d'aciers rapides dites sur carburées, dont la résistance à l'usure et la dureté à chaud sont nettement supérieures à celles des aciers rapides classiques.
- L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : *High speed steel*, abrégé HSS.
- Les aciers rapides sont généralement utilisés pour leurs propriétés de dureté élevées (> 60 HRC) et leur niveau de résilience acceptable (propriété de résistance au choc). Ils présentent en général une forte résistance à l'usure du fait de leur fort alliage et de la présence significative d'éléments producteurs de carbures durs tels que le tungstène et le vanadium.[3]

I.3.1. Classification des aciers

I.3.1.1 Aciers de construction

Dans les groupes des aciers de construction, on trouve les aciers au carbone et les aciers alliés, destinés à la fabrication des éléments de machines, utilisés dans la construction des ouvrages d'art et des édifices. La teneur en carbone dans ce groupe d'aciers ne dépassent pas 0,5 à 0,6 %.

Un acier de construction doit posséder en plus des bonnes propriétés mécaniques, de bonnes propriétés technologiques telles que se prêter bien au formage (laminage; forgeage, emboutissage, etc.), à l'usinage, au soudage, avoir une pénétration de trempe élevée et une faible aptitude aux déformations et aux tapures de trempe.

Il existe des centaines de nuances d'aciers de construction. Les aciers de construction sont élaborés dans des fours martin (acides et basiques), dans des fours électriques ouverts et dans des convertisseurs à soufflage supérieur.

I.3.1.2 Aciers de construction d'usage général (aciers au carbone)

Les aciers de construction au carbone forment deux classes, celles des aciers courants (ordinaires) et de qualité. D'après les conditions et le degré de désoxydation on distingue trois types de nuances.

I.3.1.3 Aciers de construction ordinaires (aciers courants)

Ils sont moins purifiés et contiennent donc plus de soufre, de phosphore et certaines autres inclusions non métalliques. Ils sont employés pour des pièces peu importantes tels que les fers marchands, laminés à chaud (poutres, barres, cornières, tôles, ...).

Ils sont très employés aussi dans la fabrication des éléments de machines peu importantes (axes, arbres, pignons, doigts de chenilles, bagues, boulons, écrous), les propriétés mécaniques d'un acier ordinaire peuvent être sensiblement améliorées par un traitement thermique (généralement une trempe à l'eau après chauffage). Ainsi après trempe à l'eau, la limite élastique des tôles laminées s'accroît légèrement sans que la plasticité ne se dégrade ($A = I5$ à 26 %).

Pour les constructions soudées, on utilise essentiellement les aciers calmés et semi-calmés à faible teneur en Mn et Si. Les aciers prévus à cet effet doivent avoir une faible aptitude au vieillissement thermique.

Pour les nuances devant être utilisées dans les régions froides, le seuil de rupture à froid acquiert une grande importance. Les aciers doivent être calmés et traités thermiquement (amélioration ou normalisation).

Les aciers de construction ordinaires, ayant une composition chimique définie et demandent une bonne tenue à l'usure, (axes, poussoirs, vis sans fin, pignons), subissent généralement une cémentation ou cyanuration. [3]

I.3.1.4 Aciers de construction de qualité

Ces aciers ont une composition chimique plus rigoureuse, des teneurs plus faibles en soufre ($< 0,04\%$) et en phosphore ($< 0,035\%$), et suivant le degré de désoxydation, ils peuvent être calmés ou effervescents. Les aciers à faible teneur en carbone, donc à faible résistance, à plasticité élevée et à bonne soudabilité, s'emploient pour des pièces peu sollicitées. L'aptitude de ces aciers à l'estampage est d'autant plus faible que leur teneur en carbone est plus élevée. Les aciers de qualité sont utilisés :

- Sans traitement thermique.
- Avec le traitement de normalisation.
- Avec un traitement de cémentation lorsque les pièces demandent de faibles charges et une bonne tenue à l'usure (arbres à came, axes, leviers, etc.).

Les aciers à teneur moyenne en carbone (0,3 à 0,5) %, s'emploient après une normalisation, une amélioration et une trempe superficielle pour des pièces très variées dans la construction mécanique (vilebrequins, bielles, pignons, tiges, etc.). A l'état normalisé, la résistance de ces aciers est plus grande que celle des aciers à bas carbone, alors que la

Plasticité est plus basse. A l'état recuit, ces aciers se prêtent bien à l'usinage. L'acier à 0,45 % C est souvent utilisé pour les roues dentées et les arbres.

Les aciers contenant entre 0,6 et 0,85 % C possèdent une résistance et une limite élastique plus grandes et une tenue à la l'usure plus élevée. Ils s'emploient après trempe et revenu, normalisation et revenu, ainsi qu'après trempe superficielle pour la fabrication des ressorts, tiges, rondelles, cylindres de laminoirs, etc.

Les aciers au carbone de qualité, contiennent du manganèse (0,7 à 1) %, ce qui permet d'améliorer la résistance en augmentant la pénétration de trempe et de réduire légèrement la plasticité

I.3.1.5 Aciers de décolletage

Les aciers de décolletage possèdent de bonnes aptitudes à l'usinage tout en assurant un bon état de surface. Ils contiennent généralement une teneur accrue en soufre et en phosphore. Le soufre se combine au manganèse en formant MnS sous forme d'inclusions allongées dans le sens du laminage et contribue à la formation d'un copeau court et cassant. Le phosphore améliore la dureté et la résistance, et élève le seuil de fragilité à froid.

La teneur en carbone varie de 0,08 à 0,45 %, celle du manganèse de 0,7 à 1,5 %, celle du soufre de 0,08 à 0,30 % et celle du phosphore de 0,08 à 0,15 %. La résistance et la dureté augmentent, alors que la plasticité diminue avec la teneur en carbone.

Exemples :

- Acier à 0,12 % C, $R = 420 \text{ N/mm}^2$, $HB = 160$, $A = 22\%$.
- Acier à 0,40 % C, $R = 600 \text{ N/mm}^2$, $HB = 207$, $A = 14\%$.

Parfois on rajoute à l'acier de 0,15 à 0,30 % de plomb qui fond lors de la coupe et diminue ainsi la résistance, les frottements et l'effort de coupe.

Les aciers de décolletage étirés à froid (écrouis) ont une résistance assez élevée (jusqu'à 800 N/mm²), l'emploi de ces aciers est destiné à la fabrication de vis, de boulons, d'écrous, ainsi qu'aux pièces fortement sollicitées.

I.3.1.6 Aciers d'amélioration

Ce sont les aciers utilisés après trempe et revenu à haute température et contenant entre 0,3 et 0,5 % C. Les aciers d'amélioration doivent avoir une limite élastique élevée, une faible susceptibilité à l'entaille, une bonne pénétration de trempe et une faible aptitude à la fragilité de revenu.

Les nuances contenant entre 0,35 et 0,45 % s'emploient surtout pour les pièces de sections relativement petites, ou sollicitées par des charges relativement faibles. Pour des pièces volumineuses, on emploie les aciers alliés pour augmenter la pénétration de trempe. Pour des pièces encore plus grandes, on utilise les aciers fortement alliés exposés ci-après

I.3.1.7. Aciers alliés au chrome

L'addition du chrome de 0,8 à 1,2 % accroît la pénétration de trempe et permet de former un carbure plus dur que la cémentite, ce qui contribue à l'augmentation de la dureté, de la résistance à la rupture et à l'usure, sans accroître la fragilité.

Les aciers alliés au chrome peuvent contenir d'autres éléments tels que le bore (0,002 à 0,005) % qui augmente la pénétration de trempe et le vanadium (0,1 à 0,2) % qui renforce les propriétés mécaniques de l'acier.

I.3.1.8 Aciers alliés au chrome-manganèse.

L'addition combinée de chrome (0,9 à 1,2 %) et du manganèse (0,9 à 1,2) % permet d'accroître suffisamment la résistance et la pénétration de trempe. Ces aciers s'emploient pour des pièces de sections variant de 20 à 40 mm. L'addition supplémentaire de titane à l'acier, abaisse son aptitude à la surchauffe.

I.3.1.9 Aciers alliés au chrome-silicium-manganèse (chromansil)

Les propriétés mécaniques de ces aciers sont très élevées. La composition chimique moyenne est constituée de :

- 0,2 à 0,3 % C.
- 0,9 à 1,1 % Cr.
- 0,8 à 1,1 % Mn.
- 0,9 à 1,2 % Si.

Les caractéristiques mécaniques des aciers au Cr-Si-Mn après trempe à l'huile (880°C) et revenu (540°C) sont les suivantes :

- R = 1100 N/mm².
- Re = 850 N/mm².
- A = 10 %.
- K = 50 J/cm².
- Z = 45 %.

Les aciers "chromansil" possèdent une bonne soudabilité une faible pénétration de trempe. Celle ci peut être améliorée par une addition de 1,4 à 1,8 % de nickel.

I.3.1.10 Aciers alliés au chrome-nickel

Ces aciers possèdent une bonne résistance, une bonne ductilité et une grande pénétration de trempe. Ils sont employés pour la fabrication de grosses pièces de formes complexes, sollicitées en service à des chocs et des charges vibratoires.

Le nickel assure la ductilité maximale, et combiné au chrome, ils assurent une pénétration de trempe élevée. Combiné au molybdène, le nickel abaisse sensiblement le seuil de fragilité à froid.

Enfin nous avons rassemblé les principales nuances des aciers alliés d'amélioration et leurs caractéristiques dans le tableau ci-dessous. [3]

Nuance DIN	Rm (daN/mm ²)	K (J/cm ²)	Applications technologiques
41 Cr 4	80 à 120	5 à 7	Boulonnerie pour matriçage à froid, à chaud. Se prête à la trempe par induction.
50 CrV 4	90 à 130	4 à 5	Essieux et arbres fortement sollicités. Se prête à la trempe par induction.
25 CrMo 4	65 à 105	7 à 10	Pièces d'avions, d'automobiles fortement sollicitées. Vilebrequins, leviers de direction, bielles, arbres.
42 CrMo 4	75 à 130	5 à 8	
30 CrMoV 9	90 à 145	4 à 6	Pièces de grande résistance : engrenages, axes.
24 NiCr 14	75 à 120	8 à 12	Pignons, roues dentées.
35 NiCr 18	110 à 165	4 à 7	Pièces très sollicitées, grande résistance aux chocs.
36 NiCrMo 4	75 à 130	6 à 10	Pièces pour flexion, chocs, torsion alternée : bielles, vilebrequins, arbres de cardans, d'engrenages, fusées d'essieux, leviers.
30 NiCrMo 8	90 à 145	5 à 8	
34 NiCrMo 6	80 à 130	6 à 9	
40 Mn 4	70 à 105	4 à 6	Pièces de faibles sections : boulons, vis, arbres.
37 MnSi 5	70 à 120	3 à 6	Pièces pour haute résistance à l'usure : roues d'engrenages, arbres.

Tableau I-5 : Aciers alliés au chrome-nickel

I.3.1.11 Aciers de cémentation

Ce sont des aciers à faible teneur en carbone (0,10 à 0,25) %. Après trempe, cémentation et revenu à basse température, la dureté de la couche cémentée atteint 62 HRC et celle du cœur (20 à 40) HRC.

Les aciers de cémentation doivent avoir au cœur des propriétés mécaniques élevées, en particulier, une très haute limite élastique. Les éléments d'alliage améliorent les propriétés mécaniques.

I.3.1.12 Aciers alliés au chrome

La teneur en chrome des pièces simples, varie de 0,7 à 1 %, la profondeur de la couche cémentée atteint 1,5 mm. Une trempe à l'huile, suivie de cémentation, donne au cœur des pièces, une structure bainitique. Les propriétés mécaniques sont de l'ordre de :

- $R = (700 \text{ à } 800) \text{ N/mm}^2$.
- $R_e = (500 \text{ à } 650) \text{ N/mm}^2$.
- $A = (11 \text{ à } 12) \%$.
- $K = (60 \text{ à } 70) \text{ J/cm}^2$.

I.3.1.13 Aciers alliés au chrome-vanadium

L'addition de vanadium (0,1 à 0,2) % à un acier au chrome, améliore ses propriétés mécaniques, celles-ci, deviennent au cœur.

- $R = (750 \text{ à } 800) \text{ N/mm}^2$.
- $R_e = (550 \text{ à } 600) \text{ N/mm}^2$.
- $A = (12 \text{ à } 13) \%$.
- $K = 80 \text{ J/cm}^2$.

La faible pénétration de trempe de ces aciers ne permet de les utiliser que pour des pièces de petites dimensions (axes de pistons, arbres à cames).

I.3.1.14 Aciers alliés au chrome-nickel

L'addition simultanée de chrome et de nickel augmente la résistance, la plasticité et la ductilité au cœur des pièces. De plus, le nickel augmente la résistance et la ductilité de la couche cémentée.

Ces aciers sont employés pour les grosses pièces supportant, en service, des charges dynamiques importantes. Ils sont peu susceptibles de surchauffe en cémentation prolongée et n'ont pas de tendance à la sursaturation en carbone de la couche superficielle. L'addition de tungstène ou de molybdène aux aciers au chrome-nickel, accroît la stabilité de l'austénite surfusionnée et par conséquent, la pénétration de trempe.

I.3.1.15 Aciers alliés au chrome-manganèse

Dans beaucoup de cas, puisque les aciers au chrome-nickel coûtent chers, ils sont remplacés par les aciers au chrome-manganèse qui sont employés pour la fabrication des engrenages, des arbres, etc.

Les aciers alliés au chrome- manganèse sont moins résistants à la surchauffe et possèdent une ductilité plus faible par rapport aux aciers chrome-nickel. Une faible addition de titane (0,03 à 0,09) % à cet acier donne après cémentation, trempe. revenu, une couche cémentée de dureté élevée (60 HRC), une pénétration de trempe très faible, ainsi une faible addition de molybdène l'accroît et donne une dureté maximale en surface.

Dans le tableau ci-dessous, nous avons porté les principales nuances d'aciers alliés de cémentation et leurs applications. [3]

Nuance DIN	Rm (daN/mm ²)	Dureté (HB)	Applications technologiques
13 Cr 3	50 à 60	141 à 183	Pièces de construction avec exigences extraordinaires, résistance du cœur très élevée, haute résistance à l'usure: vis sans fin, engrenages..
15 CrNi 6	60 à 75	169 à 211	
18 CrNi 8	60 à 80	183 à 225	
15 CrMo 5	60 à 75	169 à 211	Pièces soumises à des efforts élevées de tous genre : roues dentées, engrenages de boîtes de vitesses, arbres à cames.
20 CrMo 5	75	220	
16 MnCr 5	60 à 70	155 à 200	
20 MnCr 5	60 à 75	169 à 211	
18 NiCrMo 6	115 à 150	210	Axes, engrenages, pignons, leviers de direction.

Tableau I-6 : Aciers alliés au chrome-manganèse[3]

I.3.1.16 Aciers de nitruration

Appliquée à un acier non allié, la nitruration ne donne qu'un durcissement faible et la pénétration de l'azote en profondeur fragilise les pièces. Par conte, il suffit d'introduire une faible quantité d'aluminium (1 à 2) % ou éventuellement d'autres éléments d'alliage, tels que le chrome, pour que la consolidation en surface s'intensifie sans affecter le cœur. L'addition d'une certaine quantité de molybdène, assure le maintien prolongé à 550°C et ne change pas la résilience (pas de fragilisation).

La dureté obtenue dans la couche nitrurée est d'autant plus élevée que le teneur en aluminium est plus forte. Pour obtenir une résistance au cœur, plus importante, on augmente la teneur en carbone (jusqu'à 0,5 %), en gardant inchangée celle de l'aluminium. Le tableau suivant rapporte les principales nuances de nitruration et leurs caractéristiques.

Désignation	Caractéristiques				Applications
	Rm	Re	A	K	
	(da/mm ²)		(%)	(J/cm ²)	
30 CDA 6-612	800	700	18	19	Axes, vilebrequins, arbres, engrenages
45 CDA 6-12	900	800	16	16	Outils d'emboutissage, de sertissage, engrenages fortement chargés.
30 CAD 6-6	800	700	18	19	Même usage que ci-dessus. Couche nitrurée plus tenace et moins dure.
40 CAD 6-6	900	800	15	16	
30 CAD 6-3	800	700	18	19	
45 CAD 6-3	900	800	15	16	
20 CD 12	700	600	22	18	Pièces soumises au chocs importants et nécessitant une grande résistance à l'écaillage
30 CD 12	800	700	19	23	
30 CD 12 revenu à 550°C	1300	1200	11	8	
Z 35 CS 8	950	850	18	6	Pièces résistant à l'oxydation à chaud : soupapes à tiges nitrurées.
Z 50 CNW 20	880	450	30	10	

Tableau I-7 : Aciers de nitruration[3]

I.3.1.17 Aciers pour constructions soudées

Comme leur nom l'indique, les aciers pour constructions soudées doivent d'abord avoir une bonne soudabilité. De plus, il est nécessaire qu'ils aient une limite élastique assez élevée et ils ne doivent pas être susceptibles de rupture par fragilité. Ces aciers contiennent en général :

- Une faible teneur en carbone (0,15 à 0,22) % cause des exigences de soudabilité.
- Une teneur relativement élevée en manganèse à cause des exigences de résistance mécanique.
- Eventuellement de faible addition de chrome et de molybdène.

Les aciers pour constructions soudées sont très employés en construction, métalliques soudées et en chaudronnerie, notamment, dans le domaine ferroviaire (wagons, etc.).

Ces propriétés s'obtiennent pour une teneur en carbone supérieure à 0,5 % après trempe et revenu à 500°C, du point de vue composition chimique, les aciers à ressorts diffèrent très peu des aciers de construction, mais les conditions d'élaboration sont plus

rigoureuses.

Généralement la limite élastique des aciers à ressorts au carbone est supérieure à 800 N/mm² et celles des aciers à ressorts alliés est supérieure à 1000 N/mm². Après trempe, tout le volume de la pièce doit avoir une structure martensitique.

La nuance avec la teneur la plus élevée en carbone (1,25 à 1,32) % est pauvre en manganèse (0,1 à 0,25) %. Cette nuance est utilisée, après traitement, pour faire des rubans de scie, de la coutellerie, des lames de grattoirs, etc. Les teneurs moyennes en éléments d'alliages contenus dans les aciers à ressorts sont : Si : (1,5 à 2,8) %, Mn : (0,6 à 1,2) %, Cr : (0,2 à 1,2) %, Ni : (1,4 à 1,7) %, W : (0,8 à 1,2) %.

Ces éléments assurent la pénétration de trempe, affinent le grain et augmentent la tenue à la relaxation. Le silicium élève la pénétration de trempe et retarde la décomposition de la martensite pendant le revenu. Les autres éléments sont plus ou moins présents suivant l'usage des ressorts.

Dans le cas courant, les ressorts sont durcis par trempe et revenu à moyenne température, ou par écrouissage superficiel (grenailage) qui permet d'augmenter la limite de fatigue. L'emploi des aciers à ressorts est très varié (voir tableau ci-dessous).

- Dans le cas de sollicitations normales, on utilise les aciers au manganèse-silicium.
- Dans le cas où s'impose un amortissement efficace et une longue durée de vie sous sollicitations élevées, on emploie les aciers au chrome-silicium et au chrome- vanadium. [3]

Nuances DIN	Re (daN/mm ²)	Dureté (HB)	Applications
46 Si 7	90	255	Ressorts de suspension pour locomotives et wagons.
60 SiMn 5	85	250	Ressorts en spirales, coniques, hélicoïdaux, à lames.
46 Mn 7	75 à 90	230	Ressorts soumis à un taux élevé de flexion alternée : Ressorts à lames, ressorts à boudins.
67 SiCr 5	85	240	Ressorts de soupapes et régulateurs.
50 CrV 4	80	235	Ressorts à boudins, barres de torsion, ressorts de soupapes (T = 350°C).

Tableau I-8 : Aciers pour constructions soudées

I.3.1.18 Aciers à roulements

Les aciers à roulements doivent satisfaire à des exigences très rigoureuses en ce qui concerne les inclusions non métalliques. Leur présence dans la partie sollicitée, provoque une concentration de contraintes qui entraîne une rupture de fatigue prématurée. Les bagues, rouleaux et bielles, exigent dans les conditions de travail, une dureté, une tenue à l'usure et une résistance, élevées.

A l'état recuit, ces aciers ont une structure perlitique à grains fins, assez usinable avec une dureté d'environ 187 HB. Après trempe à l'huile et revenu à basse température (200°C) la dureté atteint (61 à 66) HRC.

Les bagues, les rouleaux et les bielles sont fabriquées en acier à haut carbone contenant du chrome. Dans le cas de grosses pièces, on utilise comme addition, du chrome-manganèse-silicium ou du chrome-nickel (aciers de cémentation). Pour les roulements travaillant dans des milieux agressifs, on emploie l'acier inoxydable à 1,2 % C et 1,4 % Cr.

Dans le tableau, ci-dessous, nous avons porté quelques nuances d'aciers pour roulements et leurs principales applications. [3]

Nuances DIN	Rm (daN/mm ²)	Dureté (HRC)	Applications
105 Cr 4	70	63 à 67	Roulements à bagues de 10 à 17 mm de diamètre.
100 Cr 6	70	63 à 66	Bagues de roulements à billes, disques et anneaux de butées à billes et à galets, sièges de roulements.
100 CrMn 6	73	63 à 66	Bagues de plus de 30 mm d'épaisseur de paroi à l'état fini.
X90 CrMoV 18	85	57 à 59	Roulements inoxydables, rouleaux à billes, à galets.

Tableau I-9 : Aciers à roulements

I.3.1.19 Aciers à haute résistance (Maraging)

Les exigences de ces aciers sont les suivantes :

- Une résistance mécanique élevée.
- Une bonne tenue à la rupture fragile.
- Une fiabilité élevée en service.

Ces prescriptions correspondent, dans une grande mesure, aux aciers martensitiques de vieillissement qui contiennent très peu de carbone (< 0,03 %) et appelés aciers « Maraging ». Ce sont les ferronickels martensitiques traités par durcissement structural. Ils sont souvent additionnés de cobalt, de molybdène, de niobium, etc., pour assurer le vieillissement.

Lors du vieillissement, le chrome consolide la martensite, améliore la tenue à la corrosion. Le manganèse provoque le vieillissement de la martensite Fe-Ni, mais diminue la plasticité et la ductilité de la martensite vieillie.

Le plus utilisé des aciers Maraging est le Z3 NKDT 18-9-5 contenant 18 % Ni, 9 % Co, 5 % Mo, et 0,7 % Ti. Son traitement thermique comporte un recuit d'une heure à 820°C avec un refroidissement à l'air, suivi d'un traitement de vieillissement de 3 heures à environ 480°C. Les caractéristiques mécaniques après recuit et vieillissement sont portées dans le tableau ci-dessous. [3]

Etat	R _m (N/mm ²)	R _e (N/mm ²)	A (%)	Z (%)	KCV (J/cm ²)
Recuit	650 à 1020	630 à 700	15 à 20	70 à 80	31 à 45
Vieilli	1750 à 1950	1650 à 1850	10 à 12	48 à 57	31 à 45

Tableau I-10 : Aciers à haute résistance

L'acier Maraging se distingue donc par ses bonnes propriétés de résistance et de ductilité. A l'état trempé, il se prête bien à l'usinage, au corroyage et au soudage. Les aciers martensitiques de vieillissement s'emploient dans les industries aéronautiques, navales, dans les constructions d'appareils de mesure et de contrôle, etc.

I.3.1.20 Aciers à haute tenue à l'usure

Il existe deux classes d'aciers résistant à l'usure :

- Les aciers austénitiques au manganèse.
- Les aciers martensitiques au chrome.

I.3.1.21 Aciers austénitiques au manganèse

Ces aciers sont des aciers austénitiques à haute teneur en manganèse, de composition moyenne de (0,9 à 1,3) % C et de (11,5 à 14,5) % Mn.

Ces aciers n'ont pas une dureté particulièrement élevée, mais ils possèdent une aptitude remarquable à s'écrouir sous l'effet de faibles déformations plastiques. Ils ont de ce fait, une très bonne tenue au frottement, convenablement traités, ils sont très peu fragiles. Leur haute aptitude à s'écrouir, les empêche d'être usinables et ils ne peuvent être mis en forme que par moulage et rectification. Après coulée, ils sont constitués d'austénite et de carbure en excès $(Fe, Mn)_3C$, qui se précipite aux joints de grains en altérant la résistance et la ductilité.

Les aciers austénitiques au manganèse conviennent pour des pièces de frottement (rails de chemins de fer, godets d'excavateur, mâchoires de concasseur, etc.). L'acier le plus connu de cette catégorie est l'acier "Hadfield" de désignation normalisée Z 120 M 12, dont les caractéristiques mécaniques sont consignés dans le tableau ci-dessous. [3]

Etat	Rm (N/mm ²)	Re (N/mm ²)	A (%)	Z (%)	Dureté (HB)
Trempe à l'eau	850 à 1050	340 à 440	40 à 60	35 à 40	160
Ecroui (10 à 20) %	1200 à 1250	800 à 900	15 à 25	-	200

Tableau I-11 : Aciers austénitiques au manganèse

L'addition d'environ 1 % de molybdène permet d'éviter les précipitations indésirables de carbure, et de surclasser l'acier Hadfield du point de vue résistance à l'abrasion.

I.3.1.22 Aciers à haute tenue à la corrosion (aciers inoxydables)

La tenue à la corrosion s'obtient en ajoutant aux aciers ordinaires, des éléments chimiques qui forment en surface, des pellicules protectrices fortement liées au métal de base et qui empêchent ainsi le contact direct métal-milieu corrosif.

Les éléments d'addition (chrome, aluminium, silicium) se dissolvent dans le fer et forment, pendant l'échauffement de l'acier, des couches protectrices d'oxydes tels que $(Cr, Fe)_2O_3$, $(Al, Fe)_2O_3$. Au fur et à mesure que la teneur des éléments d'addition est élevée, plus la tenue à la corrosion s'élève en température :

- Avec (5 à 8) % Cr, on peut atteindre $T = (700 \text{ à } 750)^\circ\text{C}$.
- Avec (15 à 17) % Cr, on peut atteindre $T = (950 \text{ à } 1000)^\circ\text{C}$
- Avec 25 % Cr et 5 % Al, on peut atteindre $T = 1300^\circ\text{C}$.

Les aciers à haute tenue à la corrosion peuvent être classés en deux groupes principaux : les aciers alliés au chrome qui, après refroidissement à l'air obtiennent une structure martensitique ou ferritique et les aciers alliés au chrome-nickel à structure austénitique.

I.3.1.23 Aciers inoxydables au chrome

L'addition à l'acier entre 12 et 14 % de chrome, rend positif le potentiel électrochimique du métal qui devient ainsi résistant à la corrosion dans l'atmosphère, l'eau potable, l'eau de mer et dans plusieurs sortes d'acides, de sels et d'alcalis. Les aciers inoxydables au chrome contiennent une faible teneur en carbone et éventuellement des additions d'aluminium pour améliorer la résistance à la corrosion à chaud. Il est indiqué deux types de ces aciers dans le tableau ci-dessous. [3]

Nuances	% C	% Cr	Traitements thermiques	Rm (N/mm ²)	Re (N/mm ²)	A (%)
Z3 C 13	0,03	13	Trempe (air ou huile) à 950°C et revenu (2 à 4) h vers $(650 \text{ à } 700)^\circ\text{C}$	550 à 700	350 à 550	15
Z5 CA 13	0,05	13		450 à 600	250 à 450	20

Tableau I-12 : Aciers inoxydables au chrome

Malgré sa faible teneur en carbone, l'acier Z3 C13 prend partiellement par la trempe, une structure martensitique. L'acier est inoxydable, grâce à la présence d'aluminium

(0,2 %). Ces deux nuances sont soudables. La tenue à la corrosion des aciers à 13% Cr est meilleur, mais à condition que tout le chrome soit à l'état de solution solide. Dans ce cas, il forme à la surface une couche protectrice dense de type Cr_2O_3 .

Les aciers Z12 C13 et Z20 C13 s'emploient pour les pointeaux des carburateurs, les ressorts, les instruments chirurgicaux, les aciers à plus forte teneur en chrome (17 % et plus) ont une tenue à la corrosion plus élevée. L'acier Z12 C17 s'emploie après recuit de recristallisation vers 750°C dans l'industrie alimentaire et l'industrie légère.

Les aciers ferritiques Z15 C 25 et Z15 C 28 s'emploient, le plus souvent, sans traitement thermique pour la fabrication des pièces travaillant dans des milieux agressifs (acide nitrique bouillant, ...). Ces nuances résistent à l'oxydation à chaud jusqu'à 1150°C en atmosphère sulfureuse. Leurs caractéristiques mécaniques à chaud sont faibles et elles deviennent facilement fragiles après quelques temps de maintien à haute température, probablement à cause du grossissement exagéré du grain.

I.3.1.24 Aciers inoxydables au chrome-nickel

Ce sont des aciers austénitiques, additionnés généralement de chrome, nickel ou de manganèse. Ils ont une faible limite d'écoulement, une résistance modérée, une plasticité élevée et une bonne tenue à la corrosion dans les milieux oxydants. Les caractéristiques de quelques nuances d'aciers inoxydables Cr-Ni, après trempe à l'eau à 1150°C sont rapportées dans le tableau suivant. [3]

Nuances	Composition chimique				Rm (N/mm ²)	Re (N/mm ²)	A (%)
	% C	% Cr	% Ni	% Si			
Z15 CN24-12	0,15	24	12		600	250	35
Z10 CN25-20	0,10	25	20	-	600	250	35
Z12 NCS38-18	0,12	18	38	2	600	300	30

Tableau I-13 : Aciers inoxydables au chrome-nickel

Des nuances voisines à celles mentionnées dans le tableau, teneurs en carbone plus élevée, permettent d'améliorer la coulabilité en moulage. Les teneurs en nickel peuvent être abaissées en raison de l'influence gammagène du carbone. Les aciers inoxydables au chrome-nickel coûtent très chers. C'est pourquoi, on a recours à des aciers moins coûteux dans lesquels le nickel est remplacé par le manganèse. Ces aciers servent dans la fabrication des appareils travaillant dans des milieux faiblement corrosifs.

Par trempe (1050°C), les aciers au Cr-Ni-Mn, acquièrent une structure austénitique. Dans le domaine de déformation, ils subissent, d'une part, un fort durcissement, et d'autre part, une transformation partielle en martensite.

Les tableaux suivants résument différentes nuances d'aciers inoxydables ferritiques, austénitiques et martensitiques ainsi que leurs domaines d'applications.

I.3.1.25 Aciers inoxydables ferritiques :

Nuances DIN	HB état recuit	R (dan/mm ²)	Applications
X8 Cr17	150	45 à 60	Ustensiles de cuisines, ferrures de portes, revêtements de comptoirs.
X8 CrTi17	150	45 à 60	Résistant à la corrosion intercrystalline : bacs, pales d'agitateurs.
X8 CrMoTi17	160	50 à 65	Résistant aux acides : citrique, sulfurique, borique bouillant, acétique froid et bouillant, sulfate d'ammoniac bouillant, iode sec, vinaigre.

Tableau I-14 : Aciers inoxydables ferritiques**I.3.1.26 Aciers inoxydables austénitiques :**

Nuances DIN	HB état recuit	R (dan/mm ²)	Applications
X12 CrNi18-8	175	50 à 70	Ustensiles de cuisines, ferrures de portes et fenêtres, Instruments chirurgicaux, sièges de soupapes.
X10 CrNiTi18-9	185	50 à 75	Ustensiles, appareils pour l'industrie alimentaire et chimique, pièces pour réacteurs nucléaires.
X12 CrNiS18-8	175	50 à 70	Crochets à viandes, écrous, vis à bielles.
X8 CrNi12-12	175	50 à 65	Ustensiles de cuisines
X5 CrNiMo18-12	175	50 à 70	Instruments de chirurgie, conduite d'eau résiduaire, gicleurs résistant aux acides, armatures.

Tableau I-15 : Aciers inoxydables austénitiques

I.3.1.27 Aciers inoxydables martensitiques :

Nuances DIN	HB état recuit	R (dan/mm ²)	Applications
X10 Cr13	160	50 à 65	Instruments médicaux, canons de fusils de chasse, rivets, ustensiles de cuisine.
X20 Cr13	240	60 à 70	Moulage : hélices de navires, roues, godets pour turbines. Forgeage : arbres, boulons.
X40 Cr13	225	70 à 85	Instruments de chirurgie, couteaux de table, hachoir, pieds à coulisse.
X35 CrMo17	260	70 à 85	Aciers inattaquables à l'eau de mer, bonne résistance à chaud.
X22 CrNi17	260	80 à 95	
X90 CrMoVCo17	265	70 à 85	Disques perforés pour cuisine, couteaux, bistouris.

Tableau I-16 : Aciers inoxydables martensitiques[3]

I.3.2 Aciers à outils

Les aciers à outils sont des aciers au carbone et alliés à plus de 0,5 % C. Ils sont caractérisés par :

- Une dureté élevée (60 à 65) HRC.
- Une grande résistance à l'usure.
- Une forte résistance mécanique.

Dans le cas général; ce sont des aciers hypereutectoïdes et lédéburitiques, dont la structure après trempe et revenu à basse température se compose de martensite et de carbures. Pour les outils qui demandent une ductilité relativement élevée (matrices de formage à chaud), on emploie des aciers hypoeutectoïdes. Après trempe et revenu à haute température, ils acquièrent une structure de sorbite.

On distingue actuellement quatre classes d'aciers à outils :

- Classe 1 : aciers au carbone pour travail à froid.
- Classe 2 : aciers alliés pour travail à froid.
- Classe 3 : aciers pour travail à chaud
 - avec chocs : forgeage, estampage, matriçage.
 - Sans chocs : moules, pièces de filage.
- Classe 4 : aciers à coupe rapide.

Les aciers à outils sont repérés, indépendamment de la désignation normalisée, par quatre chiffres :

- Le premier indique la classe.
- Les trois autres dépendent du groupe, du sous-groupe d'emploi et des éléments d'alliages dominants.

I.3.2.1 Aciers à outils de la classe 1

Ce sont des aciers au carbone destinés pour le travail à froid. Cette classe d'aciers est utilisée pour l'outillage à main. Les aciers au carbone doivent assurer, après trempe et revenu à basse température, une dureté élevée de l'arête tranchante des outils (60 à 65)HRC, nettement supérieure à celle du métal usiné, ainsi qu'une bonne tenue à l'usure pour conserver l'état de l'arête tranchante.

La faible stabilité de l'austénite surfusionnée affaiblit la pénétration de trempe des aciers à outils au carbone. La pénétration de trempe totale lors du refroidissement à l'eau ne s'obtient que pour des dimensions inférieures à (10 à 12) mm des outils.

C'est pourquoi les nuances contenant entre 0,5 et 1,2 % de carbone, s'emploient généralement pour des outils de petites dimensions (limes, forets aléseurs, ...).

Dans le cas où les outils subissent en service des charges dynamiques, il est recommandé d'utiliser des aciers hypoeutectoïdes et eutectoïdes traités thermiquement, de manière à obtenir une structure de type troostite.

Pour les outils, (comme les fraises, tirets, scies, grattoirs, ...), on emploie des aciers hypereutectoïdes (1 à 1,3) % C traités et à structure composée de martensite et de carbures.

Les aciers au carbone présentent les avantages suivants :

- Prix modéré.
- Faible dureté et bon usinage à l'état recuit.
- Bonne aptitude à la transformation à l'état recuit.

Quelques nuances d'aciers à outils de la classe 1, avec des exemples d'applications, sont exposées dans le tableau ci-après. [3]

Nuances AFNOR	Température moyenne (°C)			Dureté HRC	Applications
	Recuit	Trempe	Revenu		
XC 50	750 à 780	830 E	150 à 300	54	Outils de forage, fourches, râpeaux.
XC 60	750 à 780	825 E 850H	200 à 300	60 à 63 60 à 62	Petites matrices, outils de chocs, barres.
XC 70	750 à 780	800 E 850 H	150 à 250	61 à 63	Scie à bois, marteaux, fers de rabots.
XC 80	750 à 780	800 E 800 H	150 à 250	63 à 64 62	Matrices, cisailles, poinçons, estampes, scies circulaires.
XC 90	750 à 780	790 E 790 H	150 à 300	63 à 64 63	Burins, tourneurs, coutellerie, matrices, chirurgie.
XC 100	700 à 750	790	150 à 250	63 à 65	Ciseaux, burins, poinçons, touches à froid
XC 110	700 à 750	780 E	150 à 250	64 à 65	Matrices à chaud, Outils pour meules.
XC 120	700 à 750	180 E	150 à 250	65	Calibres, jauges, burins, outils à bois.

Recuit : recuit d'adoucissement, E : eau, H : huile

Tableau I-17 : Aciers à outils de la classe 1

I.3.2.2 Aciers à outils de la classe 2

Ce sont les aciers à outils pour travail à froid. Les aciers à outils alliés pour travail à froid, de même que les aciers à outils au carbone ne sont pas très résistants, et de ce fait, sont employés pour la coupe des matériaux relativement doux et à de faibles vitesses de coupe, la température en service ne dépasse pas 2350°C.

Les aciers à outils alliés au chrome, vanadium, molybdène, ... font preuve d'une grande stabilité de l'austénite surfusionnée et par suite d'une grande pénétration de trempe. Le traitement thermique comporte une trempe à l'huile et un revenu à 200°C afin de réduire les déformations et les gauchissements des outils. Les aciers à outils pour travail à froid sont de plusieurs sortes. [3]

I.3.2.2.1 Aciers au manganèse et au manganèse-vanadium

Les teneurs moyennes sont de l'ordre de 0.8 % C, 2,1 % Mn et de 0 à 0,25 % V. Les aciers de cette classe sont appelés aciers indéformables. Ils ont pour principale Caractéristique, une bonne indéformabilité au traitement thermique due à une température de trempe relativement basse. On les trempe, soit à l'huile, soit au bain de sels par trempe étagée. Ils forment une solution commode pour les outils de précision et

de mesure, ne demandant pas une résistance particulière à l'usure (poinçons, matrices de découpage, calibre vérificateurs, instruments de mesure, ...).

I.3.2.2.2 Aciers au chrome

La composition moyenne comporte les additions suivantes : (1 à 2,1) % C, (0,2 à 1,3) % Cr, (0 à 0,25) % V. Les aciers à faible teneur en chrome présentent une faible trempabilité et

sont employés pour de petits outils à fabriquer en grande série (mèches, tarauds, ...), et pour des pièces demandant une bonne tenue au choc ou à la flexion (extracteurs, butées, ...).

Les nuances, à plus forte teneur en chrome (13 %) et contenant du vanadium, sont très indéformables et très résistantes à la flexion et sont destinées à la fabrication, par exemple, de filières, mandrins d'étirage, galets de formage, matrices d'extension à froid, molettes de coupes, fraises et outils à bois.

I.3.2.2.3 Aciers au chrome-molybdène

La composition moyenne de ces aciers comporte : (1 à 1,5) % C, (5 à 12) % Cr, (0,9 à 1,1) % Mo, (0,1 à 0,4) % V. Les aciers de ce type se déforment très peu à la trempe et sont employés pour les mêmes catégories d'outils que précédemment.

I.3.2.2.4 Aciers au chrome-tungstène

Ces aciers contiennent en général, les teneurs suivantes : (0,4 à 1,1) % C, 0,9 % Mn, (0,85 à 1,1) % Cr, (1 à 2) % W. Ces aciers sont d'un emploi très général, ils sont durs, tenaces et d'un assez grand pouvoir trempant. Leur application est très variée, outils coupants (forets, mèches, cisailles .), alésoirs, tarauds, filières, poinçons, matrices, etc.

I.3.2.2.5 Aciers au nickel-chrome

Ces aciers contiennent 0,35 % C, 1,7 % Cr, 3,75 % Ni. C'est une nuance particulière, réservée pour les outillages d'estampage à froid, comportant des gravures de grande finesse et d'un prix élevé.

I.3.2.3 Aciers à outils de la classe 3

Ce sont des aciers à outils pour travail à chaud Dans cette catégorie d'aciers, on peut distinguer deux classes principales :

- Les aciers au Cr-W-Mo-V.
- Les aciers au Ni-Cr-Mo.

Quelques nuances d'aciers à outils pour travail à chaud sont mentionnées, à titre d'exemple, dans le tableau suivant :

N° d'ordre	% C	% Cr	% W	% Mo	% V	% Ni
1	0,6	0,9	1,85	0,2	0,15	-
2	0,4	5	1,3	1,4	0,4	-
3	0,3	2,5	9	0,3	0,4	-
4	0,55	0,85	-	0,45	-	1,75
5	0,4	1,5	-	0,5	-	4,3

Tableau I-18 : Aciers à outils de la classe 3

La nuance au Cr-W, repérée sous le numéro 1 dans le tableau précédent, possède une grande résistance à l'état traité, une haute limite de fatigue notamment aux chocs répétés et une bonne stabilité au revenu jusqu'à 500°C. On l'emploie comme outillage travaillant aux

chocs à des températures moyennes : poinçons de perçage, lames de cisailles à chaud, petites matrices diverses.

La deuxième nuance qui contient 5 % Cr, est un acier indéformable pour outillage travaillant à chaud. Il est réservé aux emplois demandant à la fois une haute résistance à la compression et une bonne tenue aux chocs thermiques entre 300 et 600°C.

La troisième nuance contenant une très forte teneur en tungstène (9 %), est caractérisée par une grande dureté et une bonne tenue à l'usure. Cet acier peut être utilisé jusqu'à la température de 650°C.

Les deux autres nuances au nickel-chrome-molybdène ont une excellente pénétration de trempe et sont employés pour les grosses matrices d'estampage à chaud. [3]

I.3.2.4 Aciers à outils de la classe 4:

I.3.2.4.1 Matériaux des outils acier rapide

Cette classe contient les aciers à coupe rapide. Les aciers à coupe rapide ou simplement les aciers rapides sont caractérisés par :

- Une bonne tenue à chaud.
- Une bonne dureté.
- Une résistance mécanique et une tenue à l'usure élevée.
- La propriété de garder la structure martensitique à chaud à 600°C.

L'utilisation des aciers de coupe par rapport aux aciers à outils ordinaires, permet d'augmenter sensiblement la vitesse de coupe de 2 à 4 fois et la tenue de l'outil de 10 à 30 fois.

L'élément d'alliage principal est le tungstène. Plus la teneur en tungstène est élevée, plus les qualités de coupe de ces aciers sont meilleures et ceci jusqu'à environ 23%. Au delà de cette teneur, le tungstène semble n'avoir aucun effet.

Les teneurs en chrome sont en général, de l'ordre de 4 à 4,5 %. Le molybdène peut remplacer le tungstène et la tenue à chaud de ces aciers s'améliore en présence de vanadium et de cobalt.

Les aciers rapides contiennent des carbures lédéburitiques. A l'état recuit, ils sont constitués de ferrite alliée et de carbures de type M_6C , $M_{23}C_6$, MC , M_3C dont le principal acier dans les aciers rapides est le M_6C , la ferrite comporte la plus grande partie dissoute de chrome.

La structure d'un acier moulé comporte un eutectique complexe qui ressemble à la lédéburite et qui se dépose aux joints de grains.

Pour assurer une bonne tenue à chaud, les outils rapides sont soumis à une trempe de 1200 à 1300°C pour avoir une meilleure dissolution des carbures secondaires, et obtenir au chauffage, de l'austénite hautement alliée au Cr, W, Mo, et V. Ceci assure, après trempe, une structure martensitique à haute stabilité, donc une bonne tenue à chaud. La trempe est suivie d'un revenu multiple à haute température.

Les nuances commerciales d'aciers rapides peuvent se classer comme suit.

I.3.2.4.2 Aciers rapides courants

Ces Aciers sont aussi appelés 'aciers 18-4-1' et ils contiennent environ 18 % W, 4 % Cr, 1 % V. Ils sont employés pour les outils coupants à grande vitesse (forets, tarauds, alésoirs, ...), ainsi que pour le petit outillage demandant une grande résistance à l'usure à chaud et sans chocs thermiques (matrices spéciales, filières,...).

I.3.2.4.3 Aciers rapides au tungstène-molybdène

La teneur moyenne de ces aciers est de 6 % W, 6 % Mo, 4 % Cr et 2 % V. Le molybdène remplace, en partie, le tungstène. Une teneur donnée de molybdène peut remplacer une teneur, à peu près, double de tungstène.

I.3.2.4.4 Aciers extra-rapides

Ces aciers contiennent en moyenne 18 % W, 4 % Cr, 1 % Mo et 2 % V. Ils sont utilisés pour outils de finition devant présenter des arêtes aiguës et une grande constante de profil (peignes à fileter les tubes, fraises, broches, alésoirs, ...).

I.3.2.4.5 Aciers rapides spéciaux au cobalt

Ce sont des aciers rapides qui contiennent, en plus de la teneur moyenne, environ entre 2 et 15 % Co. Ils sont destinés à être utilisés dans des conditions de travail très sévères.

- Usinage de métaux durs (aciers traités, fontes trempes).
- Vitesses de coupes très élevées (tours automatiques, tours à barres).
- Section du copeau forte (dégrossissage, rabotage).

I.3.2.4.6 Aciers rapides à haute teneur en vanadium

La teneur en vanadium atteint 5 %. Le carbure de vanadium est à l'origine de la supériorité de ces aciers, en ce qui concerne, la tenue à la coupe.

I.3.2.4.7 Aciers au molybdène-cobalt

Ce sont des aciers à coupe rapide; de dureté exceptionnelle (59 à 70) HRC, permettant d'usiner les alliages à haute résistance massique et les alliages réfractaires.

Dans les tableaux suivants, nous avons rapporté quelques nuances d'aciers rapides :

- Aciers rapides au tungstène.
- Aciers rapides au molybdène.

I.3.2.4.8 Aciers rapides au tungstène :

Analyse		HB état recuit	Rm (dan/mm ²)	Applications	Matériaux
Elément	%				
C	0,8	235	80	Tarauds, fraises à fileter, mèches hélicoïdales.	Aciers avec Rm<90 daN/mm ²
W	18,5	-	-		
V	1,0	277	95		
C	0,8	235	80	Outils soumis à de gros efforts, grandes vitesses de coupe, fortes passes	Aciers, fontes à résistance élevée, acier moulé, fonte malléable.
W	18,5	-	-		
Mo	0,8	277	95		
V	1,7				
Co	5,0				
C	0,75	277	95	Outils pour conditions de travail sévères, dégrossissage.	Moulage des aciers, aciers inoxydables au Cr-Ni.
W	18,5	-	-		
Mo	0,8	321	110		
V	1,7				
Co	10,0				

Tableau I-19 : Aciers rapides au tungstène[3]

I.3.2.4.9 Aciers rapides au molybdène :

Analyse		HB état recuit	Rm (dan/mm ²)	Applications	Matériaux
Elément	%				
C	1,2	235	90	Outils soumis à des contraintes élevées, dégrossissage et finition sur tours.	Aciers austénitiques et alliages de grande résistance.
W	9,5	-	-		
Mo	4,0	277	95		
V	3,5				
Co	10,5				
C	0,8	235	90	Scies à métaux, scies circulaires, mèches hélicoïdales.	Aciers de résistance Rm < 90 daN/mm ²
W	6,7	-	-		
Mo	5,2	277	95		
V	2,0				
C	0,8	235	90	Outils extra-tenaces : tarauds, mèches.	Aciers de résistance Rm < 90 daN/mm ²
W	2,0	-	-		
Mo	9,2	277	95		
V	1,3				
C	1,2	240	90	Fraises, alésoirs, roulettes à découper, à racler	Aciers, fontes, bronzes, laitons, alliages d'aluminium.
W	6,5	-	-		
Mo	5,2	300	95		
V	3,5				

Tableau I-20 : Aciers rapides au molybdène

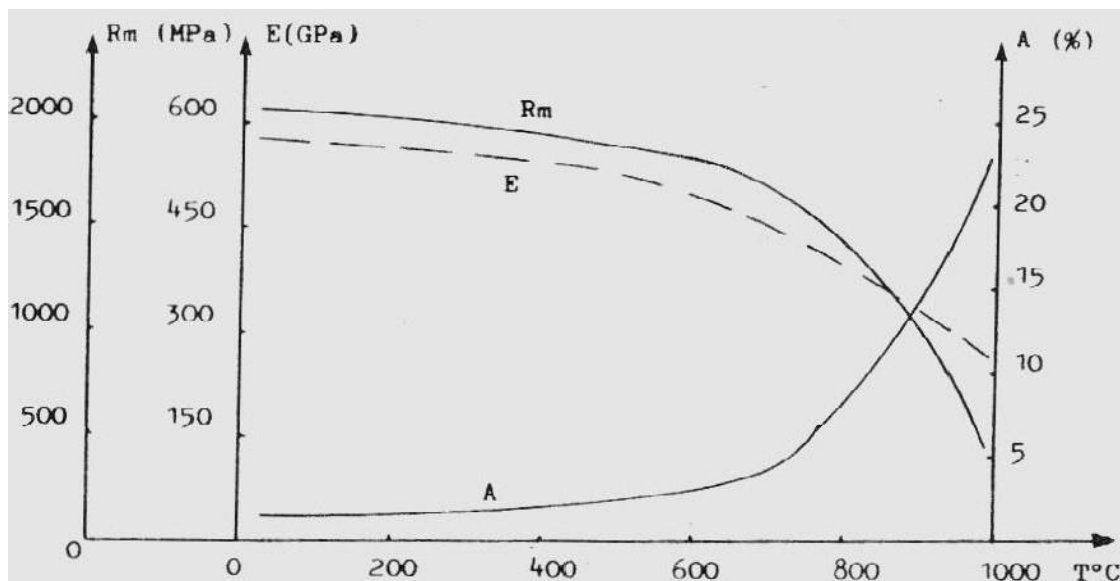
I.3.2.4.10 Carbures métalliques à outils

On appelle carbures métalliques, les alliages constitués de tungstène et de titane, alliés au cobalt. Les carbures de tungstène WC et de titane TiC, très durs et fragiles sont agglomérés par une phase ductile de cobalt.

Les carbures métalliques contiennent en général (85 à 36) % WC, (6 à 60) % TiC et (3 à 25) % Co. La dureté et la tenue à l'usure des carbures métalliques restent importantes jusqu'à 800°C. Ils permettent de travailler avec une arête tranchante échauffée jusqu'à des températures plus élevées que dans le cas des aciers à outils, (fig. 139), ce qui veut dire qu'ils peuvent être utilisés à des vitesses de coupe plus grandes.

Les alliages au titane-tungstène s'emploient essentiellement pour l'usage des aciers au carbone et alliés. Ils sont élaborés sous forme de plaquettes fixées aux supports, généralement en acier ordinaire, non pas par fusion, mais par frittage. A cet effet, les

poudres TiC et WC, finement broyées (1 à 3) μm et mélangées à du cobalt pulvérisé dans des proportions bien définies, sont compactées puis elles sont frittées vers 1500°C.



Variation Rm, E, A = f(T) de la nuance
WC + 6,5 % Co.

Figure I-40: diagramme de carbure métallique[3]

I.3.2.4.11 Aciers et alliages spéciaux

Cette partie du chapitre est consacrée à quelques aciers et alliages ayant des propriétés physiques particulières et dont les caractéristiques mécaniques présentent un intérêt secondaire.

conséquent, pour accroître l'énergie magnétique, il faut augmenter H_c . Pour augmenter la force coercitive, il faut que la structure de l'alliage comporte des défauts de structure (lacunes, dislocations, blocs, ...), qui constituent une distorsion du réseau cristallin.

Pour la fabrication des aimants, on utilise les aciers à haut carbone, environ 1 % C, additionnés de chrome, de tungstène, de cobalt, ... Ces aciers se prêtent bien à l'usinage et au corroyage, mais possèdent une énergie magnétique relativement faible. Ainsi, on les utilise pour les aimants peu importants. Les alliages les plus importants dans l'industrie des aimants sont ceux à base des éléments de transition Fe, Co et Ni, additionnés également de Cu, Al, Co, Ti, Nb, pour augmenter la force coercitive. Ces alliages sont durs et fragiles, donc ils ne se déforment pas. Les aimants s'obtiennent selon la forme par moulage, suivi de rectification.

Pour obtenir des propriétés magnétiques élevées de ces alliages, on procède au chauffage vers 1200 à 1300°C, puis d'une trempe à une vitesse propre pour chaque type d'alliage, suivie d'un revenu vers 550 à 650°C.

I.3.2.4.12 Aciers magnétiques doux

Ces aciers sont employés dans le domaine de l'électrotechnique. Les aciers à faible teneur en carbone (0,05 à 0,005) %, et contenant du silicium (0,8 à 4,8) %, sont très employés pour les tôles magnétiques. ils doivent avoir :

- Une faible force coercitive H_c .

- Une haute perméabilité magnétique.
- Des pertes par hystérésis très faibles.

Pour avoir ces caractéristiques, le matériau ferromagnétique doit avoir une structure homogène (solution solide ou métal pur), et doit être purifié des impuretés et des inclusions telles que la cémentite, l'oxygène et le soufre. Le matériau doit être complètement recristallisé (vers 1200°C), afin d'éviter les effets de l'écroutissage (forte réduction du paramètre μ et accroissement de H_c).

Le silicium forme avec le fer une solution solide, ce qui permet d'augmenter la résistance électrique, et donc de diminuer les pertes de courants tourbillonnaires. De plus, le silicium augmente la perméabilité magnétique, abaisse quelque peu la force coercitive et les pertes par hystérésis.

L'estampage à froid, la coupe, l'enroulement des noyaux à tôles dégradent les propriétés magnétiques des aciers, c'est pour cela, qu'il est recommandé d'appliquer un recuit entre 750 et 790°C. L'acier pour transformateur est livré sous forme de bandes et tôles laminées à froid, et ayant une texture magnétique orientée.

a-Permalloy :

Ce sont les alliages à permittivité initiale et à permittivité maximale élevées, permettant d'obtenir une induction magnétique importante et de faibles champs. Les permalloys sont à base de nickel (40 à 80) %, et contiennent souvent du molybdène et du chrome.

b-Ferrites :

Les ferrites sont des oxydes complexes de fer et de métaux bivalents de types $nMo.mFe_2O_3$ (où M est un métal bivalent) obtenus par agglomération de poudres. Leurs caractéristiques sont essentiellement la résistivité élevée (10^3 à 10^7) Ωcm et la magnétisation de saturation relativement faible.

Les ferrites s'emploient dans le cas des hautes fréquences et des hyperfréquences lorsque l'utilisation des ferromagnétiques devient impossible par les grandes pertes en énergie électromagnétique. Elles servent en radio-électronique et en radiotechnique pour la fabrication des antennes à tiges magnétiques, des noyaux des amplificateurs, etc. Les ferrites en $MgO-MnO-Fe_2O_3$ servent de mémoires d'ordinateurs. [3]

I.3.2.4.13 Aciers et alliages pour éléments chauffants

La présence d'une solution solide dans un alliage favorise l'obtention d'une haute résistance électrique. Les aciers et alliages prévus comme éléments chauffants, doivent posséder une bonne tenue à l'oxydation à chaud et une résistance suffisante au chauffage pour pouvoir conserver en service leurs formes.

On emploie, le plus souvent, les aciers au chrome-aluminium à basse teneur en carbone de type ferritique (fechral et chromal). Plus la teneur en chrome et en aluminium est élevée, meilleures sont les caractéristiques des éléments de chauffage. Les aciers au Cr-Al sont peu plastiques, ainsi pour en faire des éléments, le métal doit être chauffé vers 200 à 350°C, suivant les dimensions des pièces.

Nous avons déjà noté que les alliages au nickel ont une haute résistance électrique par formation de solution solide. Parmi ces alliages, il y a essentiellement les alliages au

nickel- chrome, appelés ‘nichromes’. Pour réduire le prix des nichromes et conserver ou améliorer les caractéristiques de résistance, une partie du nickel est remplacée par du fer, ces alliages s’appellent ‘ferronichromes’ et sont utilisés à 950 ou 1000°C. Les nichromes sont employés aussi bien pour la fabrication des ustensiles de ménage, que des éléments de chauffage des fours électriques

I.3.2.4.14 Alliages aux propriétés dilatométriques

Ce sont des alliages à base de Fe-Ni, très employés dans la construction mécanique et surtout dans la construction des appareils. Le coefficient de dilatation ‘ α ’ entre -100°C et

+100°C, diminue brusquement lorsque la teneur en nickel augmente jusqu’à 36 % et il s’accroît par la suite, si la teneur continue à augmenter. Ce comportement est largement exploité en technique.

Ainsi les éléments des machines et des appareils devant conserver des dimensions constantes entre -100 et +100°C se font en alliages austénitiques (% C < 0,05 et 36 % Ni), appelés ‘elvar’. Ces alliages, dont le coefficient de dilatation $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ est constant dans l’intervalle de température (-50 à +100)°C, sont utilisés comme étalons de longueur en métrologie, comme pièce dans certains appareils de mesures géodésiques.

I.4 Angle des outils de tour :

Pour faciliter l’explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes.

La (figure I-41) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux, l’angle de dépouille α , l’angle de taillant β et l’angle de coupe γ . [3]

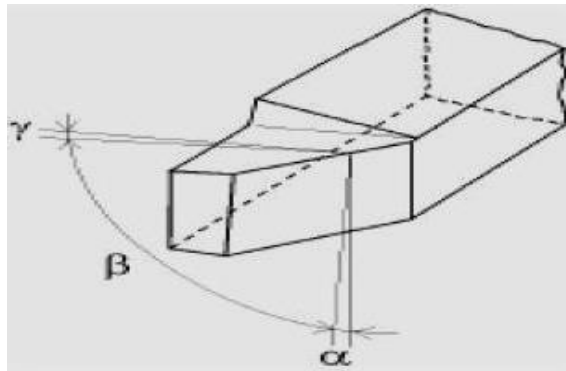


Figure I-41: Angles du taillant (outil en main).

La (figure I-42) illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail : outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).

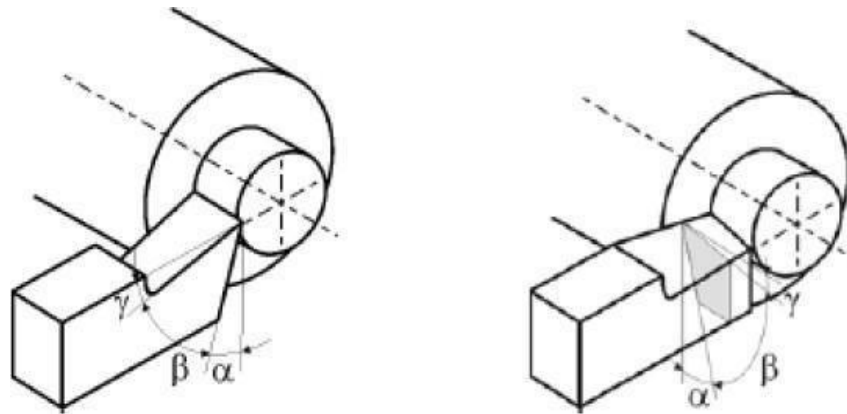


Figure I-42: Angles du taillant (outil en travail) .

Globalement, l'angle de dépouille α influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe γ a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc. L'angle de taillant β affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à 90°

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Dans le cas où la somme est supérieure à 90° , on parle de coupe négative (γ négatif).

I.4.1 Les parties de L'outil :

La partie la plus importante de l'outil est l'arête de coupe, intersection d'une face de coupe sur laquelle glisse le copeau, et d'une face en dépouille opposée à la surface tranchée, i.e. partie active, dont la dureté doit être plus grande que celle du métal à travailler. Sur tous les outils il est nécessaire de dépouiller certaines surfaces pour éviter leur frottement avec les surfaces engendrées. L'étude des outils peut prendre comme modèle celle de l'outil prismatique:

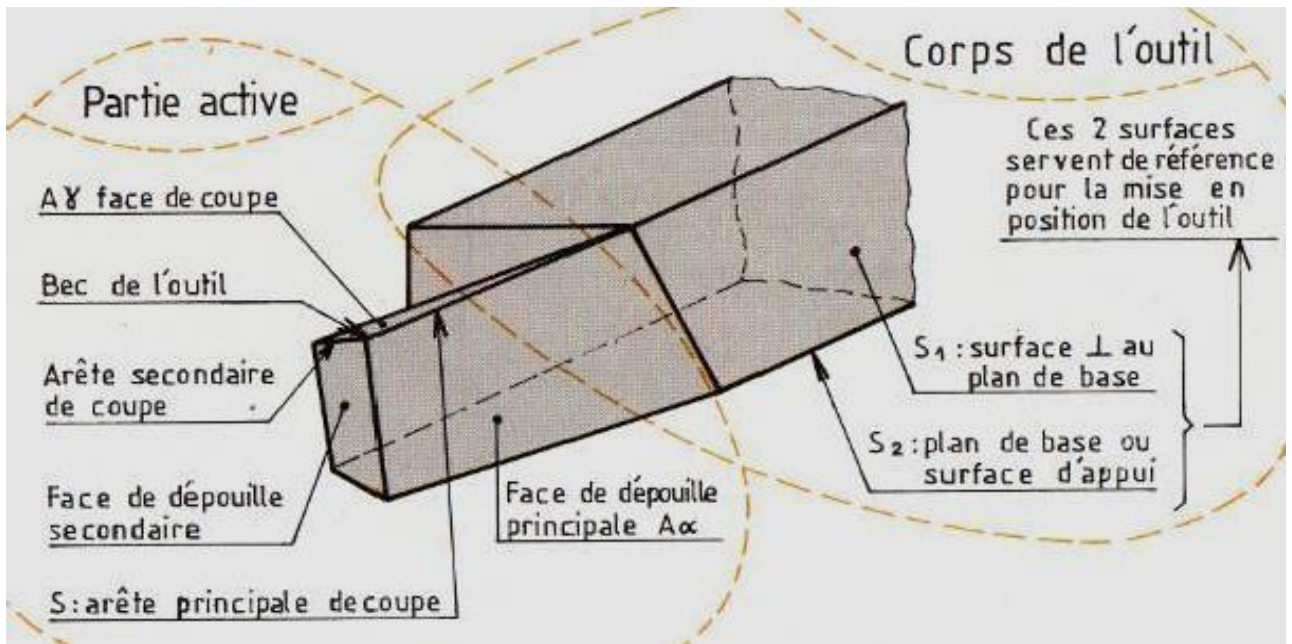


Figure. I-43 : La partie la plus importante de l'outil

I.4.2 Les plans de l'outil :

Les angles de la partie active sont définis par trois plans P_r , P_f et P_s eux même repérés en fonction des vecteurs vitesse de coupe V et d'avance V_f :

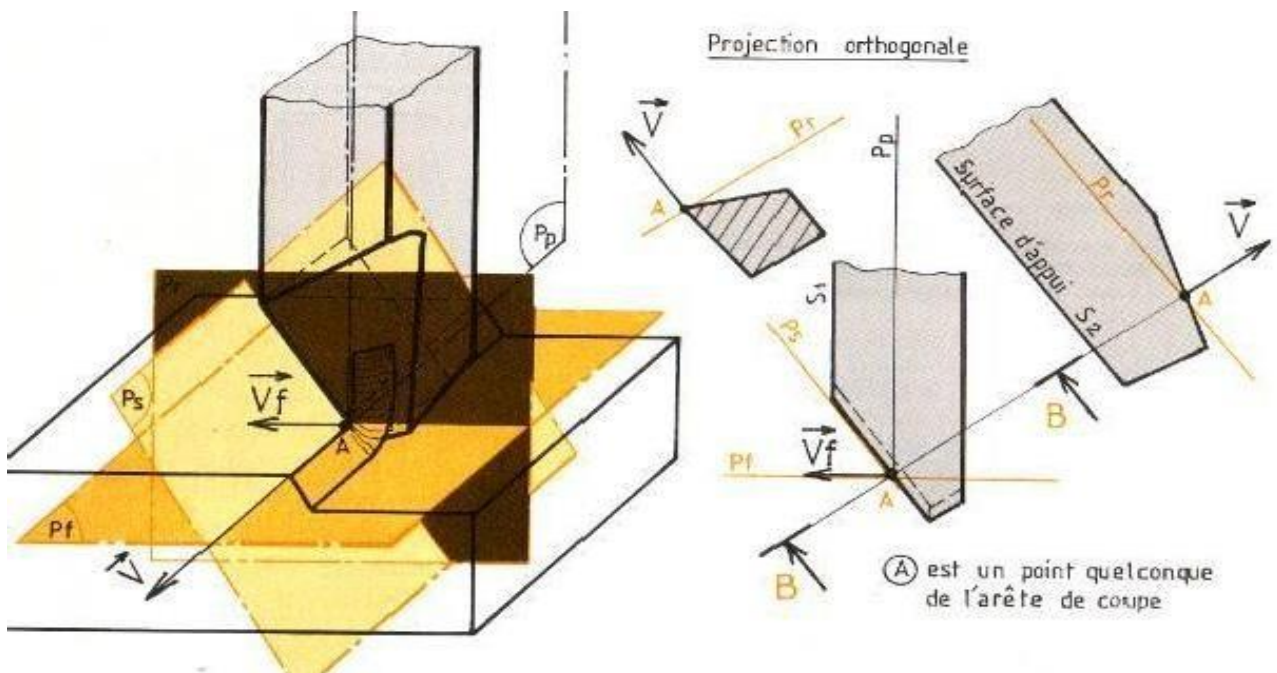


Figure. I-44 : les plans de l'outil (en main)

- P_r plan de référence (en marron), passant par le point A de l'arête et perpendiculaire à la direction du vecteur vitesse de coupe V
- P_s plan d'arête (en beige), perpendiculaire au plan P_r et contenant la tangente à l'arête S
- P_f plan de travail conventionnel (en orange), perpendiculaire au plan P_r et parallèle à la direction du vecteur avance V_f .

On définit ainsi les angles:

- de direction d'arête d'outil K_r , angle entre P_f et P_s mesuré dans P_r , dépend du travail d'usinage (forme de la surface à générer, ébauche ou finition), angle à gauche ou à droite
- d'inclinaison d'arête d'outil λ_{s+} , angle que fait l'arête de coupe S et le plan P_r , dépend du genre et du type de travail (ébauche ou finition, choc ou continu). Une valeur négative a pour but d'augmenter la résistance du bec et d'orienter le déroulement du copeau.
- de coupe γ , dépend du matériau usiné
- de dépouille α (Ci. 6° pour l'acier rapide, 4° à 8° pour les carbures métalliques)
- de taillant β (dépend de la résistance à la coupe du métal à usiner) [4]

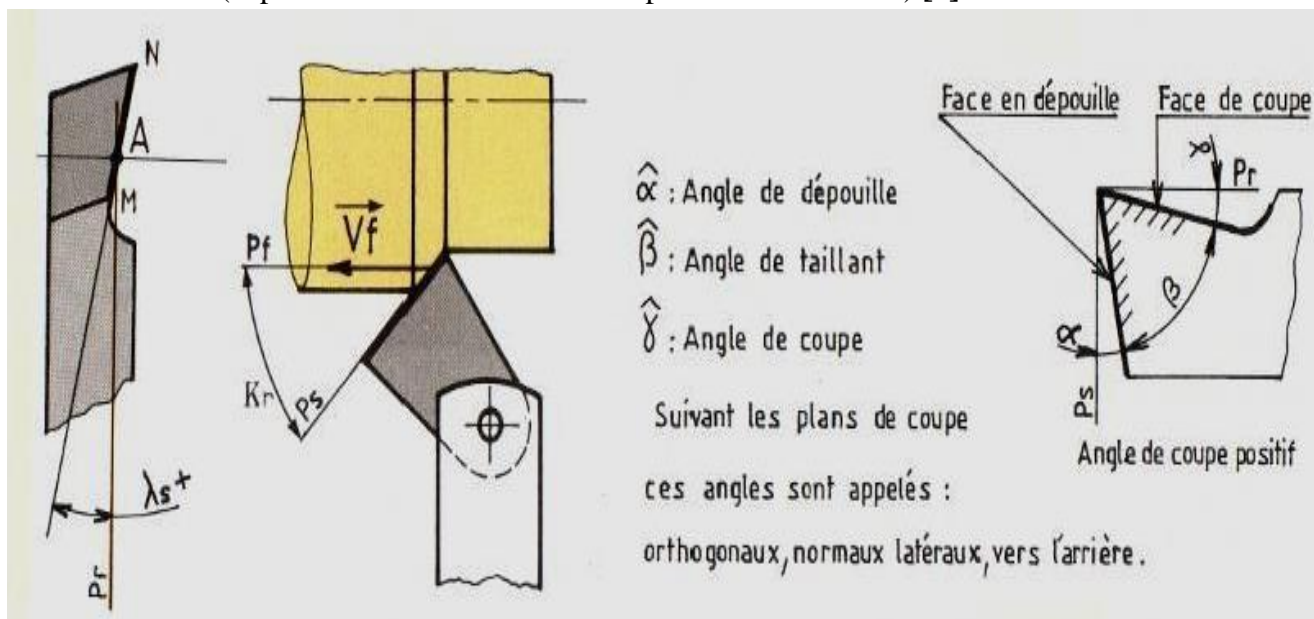


Figure. I-45 : définit les angles

Le bec de l'outil joue un rôle important sur la rugosité de la surface engendrée, car il diminue la hauteur des stries. La section du corps de l'outil et la longueur de l'arête de coupe sont fonction de l'avance et de la profondeur de passe.

Détermination des angles de coupe : outil en main

Spécifier la face de coupe, face de dépouille et arête de coupe Déterminer les vecteurs

V_c et V_f en un point O de l'arête de coupe Associer le repère

(O, X_0, Y_0, Z_0)

Identifier les plans de l'outil (en main) P_r , P_f , P_o et P_s

$\{P_r \perp V_c\}$; $\{P_f = (V_f, V_c)\}$; $\{P_s \text{ contient l'arête et } \perp P_r\}$; $\{P_o \perp P_r \text{ et } P_s\}$

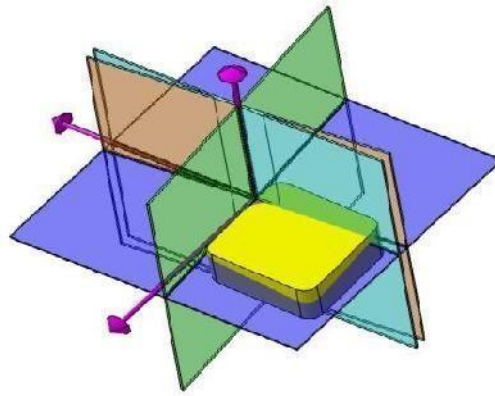


Figure I-46: les plans de l'outil (en main)

Projeter la plaquette dans ces plans pour identifier les angles de l'outil

Dans P_r : angle de direction d'arête κ

Dans P_0 : angles des face : γ_0 α_0 β_0

Dans P_s : angle d'inclinaison d'arête λ

Car ils influencent sur :

La longueur d'arête en travail

L'entrée en matière en début de passe La sortie de passe

La fragilité en pointe de l'outil

La direction de dégagement du copeau

La robustesse et la réversibilité de la plaquette

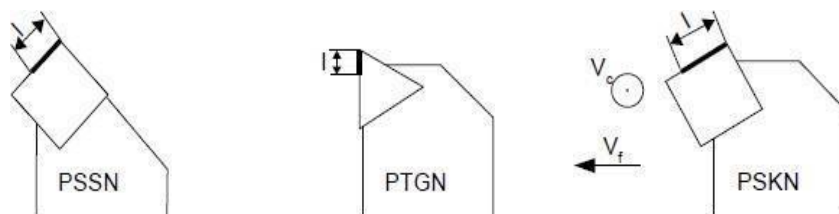


Figure. I-47 : La fragilité en pointe de l'outil

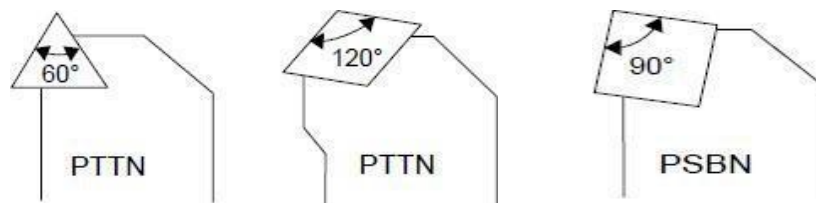


Figure. I-48 : La direction de dégagement du copeau

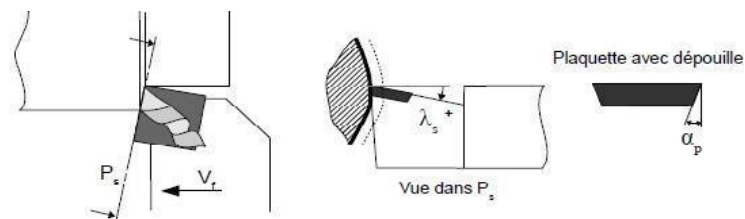


Figure. I-49 : La robustesse et la réversibilité de la plaquette

Une fois encore, le but n'est pas de former des spécialistes des outils de coupe mais d'entrevoir la complexité des outils et de maîtriser les bases élémentaires.
L'angle de direction d'arête κ

représente l'orientation de l'arête de coupe par rapport à la direction d'avance de l'outil dans le plan de référence P_r

Influe sur la géométrie usinable, l'épaisseur de copeau (et donc les efforts), la fragilité de la

pointe de l'outil...

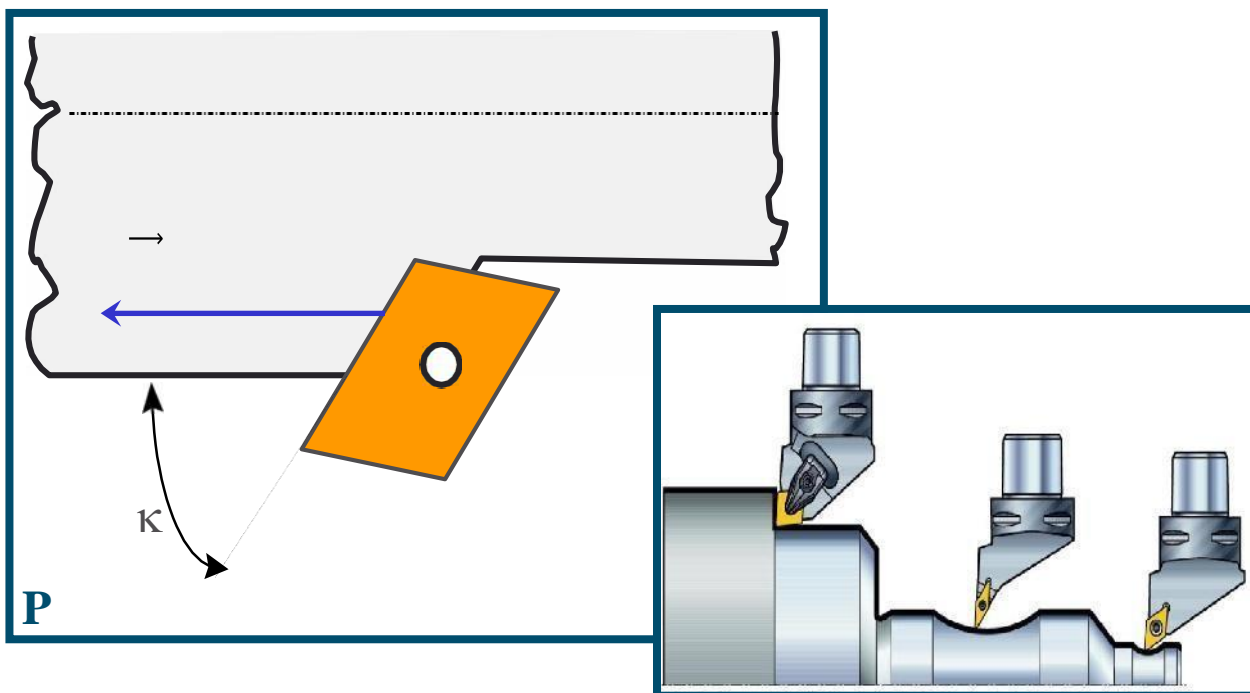


Figure I-50 : L'angle de direction d'arête κ

représente l'orientation de l'arête de coupe par rapport à la direction d'avance de l'outil dans le plan de référence P_r

Influe sur la géométrie usinable, l'épaisseur de copeau (et donc les efforts), la fragilité de la pointe de l'outil....

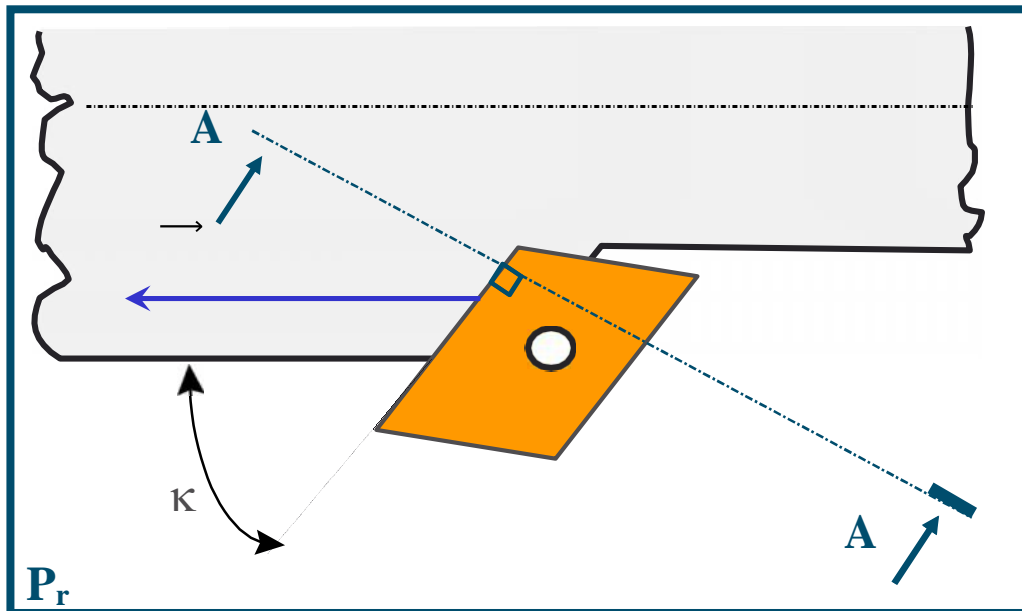


Figure I-51 : L'angle de direction d'arête κ

Dans le plan orthogonal P_0

Trois angles, définis par rapport à la vitesse de coupe

Angle de coupe γ_0 , par rapport à la face de coupe

qui joue directement et principalement
sur les efforts de coupe

Angle de dépouille α_0 , par rapport à la face... de dépouille

qu'on prendra soin de garder positif pour
éviter le talonnage, $\alpha_0 \sim 5-6^\circ$

Et angle de taillant β

caractéristique de l'outil lui-même et non de son orientation

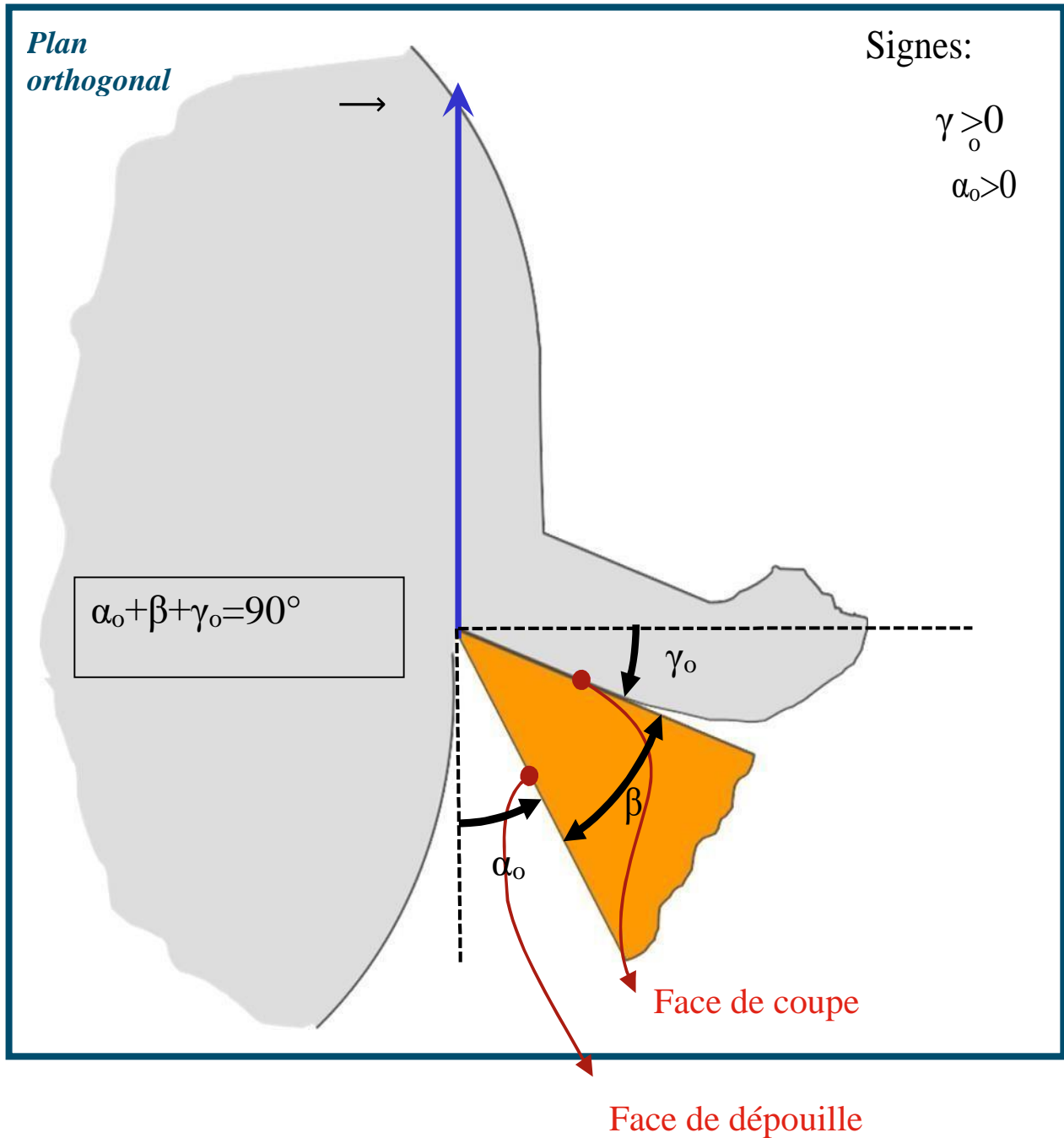


Figure I-52: Choix de l'angle de coupe

Fonction du matériau et de sa dureté

Ex : comment découper le beurre en fonction du réglage de son frigo...

Angles de coupe positifs

Pour l'usinage de matériaux mous

Efforts moindres : réduction des vibrations, pour machines moins puissantes ou peu

rigides...

Fragilité de l'outil coupant...

Angles de coupe négatifs

Pour l'usinage de matériaux durs

Réversibilité de la plaquette, usinage au choc...

Efforts importants, machines de plus grande puissance et rigidité,... [5]

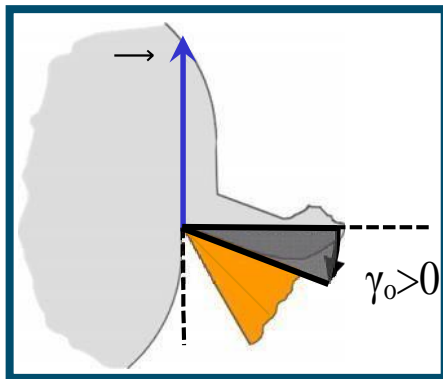


Figure I-53 : Angles de coupe positifs

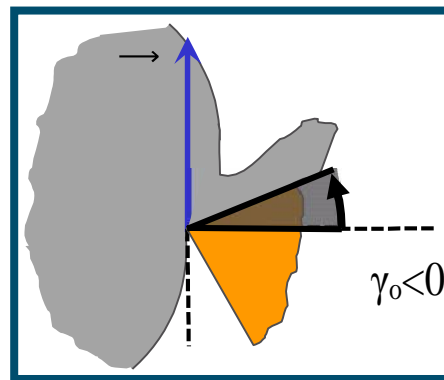


Figure I-54 : Angles de coupe négatifs

CHAPITRE II

Outil de gorge

II -1 Réalisations des outils :**II -2 Démarche d'élaboration :**

Les analyses morphologiques montrent que l'on peut séparer les pièces mécaniques en deux grands groupes

qui sont:

- le groupe des pièces cylindriques;
- le groupe des pièces prismatiques.

La figure 5 présente, selon le groupe d'appartenance des pièces et le savoir-faire de l'entreprise, les

principales démarches d'élaboration des gammes de fabrication. Elle fait apparaître :

- une similitude globale de la démarche, quelle que soit la nature des pièces, qui conduit après réalisation et validation à un archivage représentant un nouveau savoir faire pour l'entreprise;
- une différence concernant le mode d'accès à la mémoire (le codage n'intéresse que les pièces cylindriques);
- l'existence de structures types pour les gammes de pièces cylindriques avec en conséquence une étape particulière notée 5 pour ce type de pièces. [6]

II -3 Démarche d'élaboration des gammes de fabrication

Dossier
Ressource

LES PIÈCES PRISMATIQUES

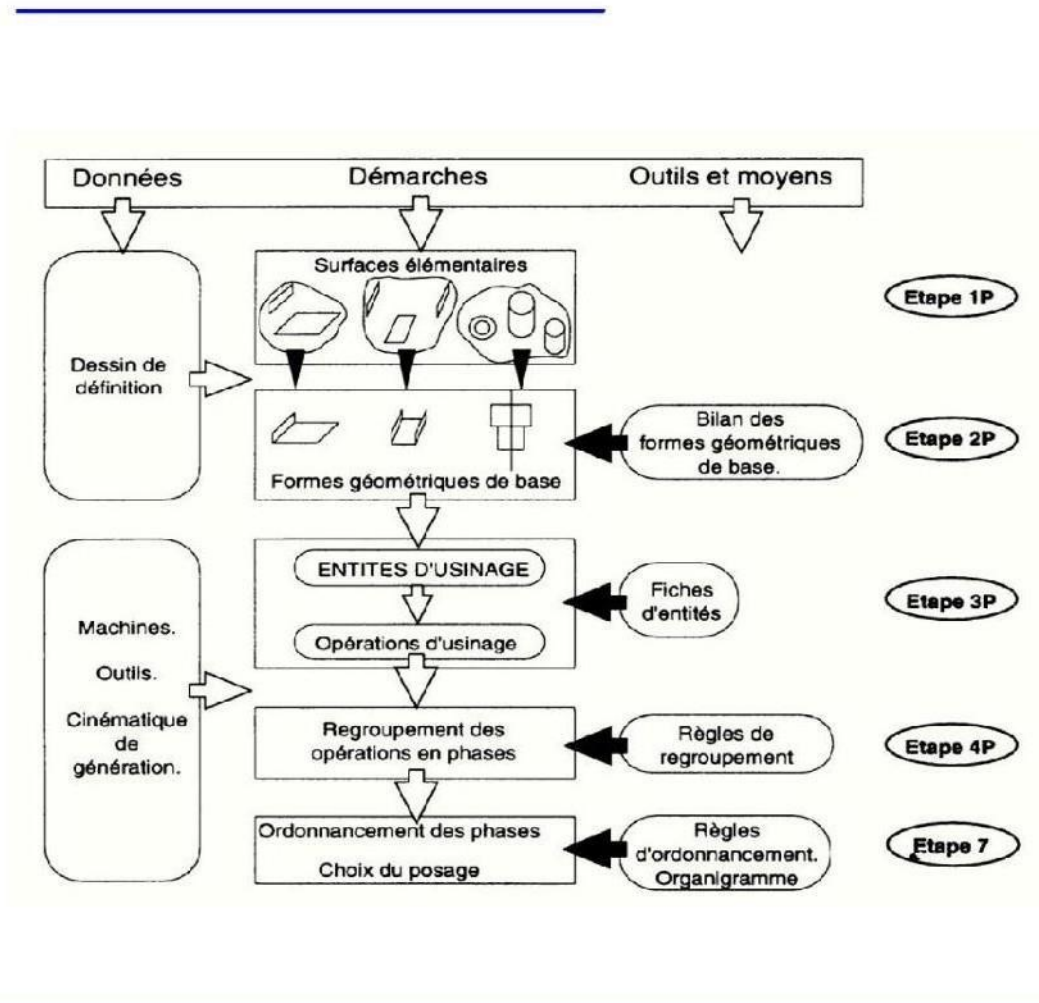


Figure II.1 : Identification des surfaces géométriques de base

II .3.1 ÉTAPE 1P : Étude des surfaces élémentaires :

Une surface élémentaire est une surface géométrique simple (plane, cylindrique) que l'on ne peut plus géométriquement décomposer.

A partir de l'analyse des spécifications dimensionnelles et de rugosité relatives à chacune des surfaces à usiner constituant la pièce, des tableaux comme celui ci-dessous permettent de faire une première prévision relative au nombre d'opérations à effectuer en fonction des niveaux de qualité souhaités (état de surface, précision dimensionnelle, etc.). Ceci constitue un premier élément à prendre en compte dans la détermination du nombre d'outils à employer.

II .3.2 ÉTAPE 2 P : Identification des surfaces géométriques de base

En fabrication, il est souvent possible d'associer plusieurs surfaces élémentaires afin de les usiner simultanément (avec le même outil). Cette étape consistera à identifier l'ensemble de ces compositions de surfaces en se référant à une base de données de formes géométriques usinables et répertoriées.

Le tableau ci-dessous présente de manière non exhaustive une telle base de données. L'association des différentes formes géométriques permet de composer la majorité des pièces mécaniques courantes. A l'intérieur de cette base, une forme particulière, appelée « profil », permet de traiter le cas de géométries complexes comme on peut en trouver sur des pièces provenant de l'industrie aéronautique entièrement usinées après forgeage.

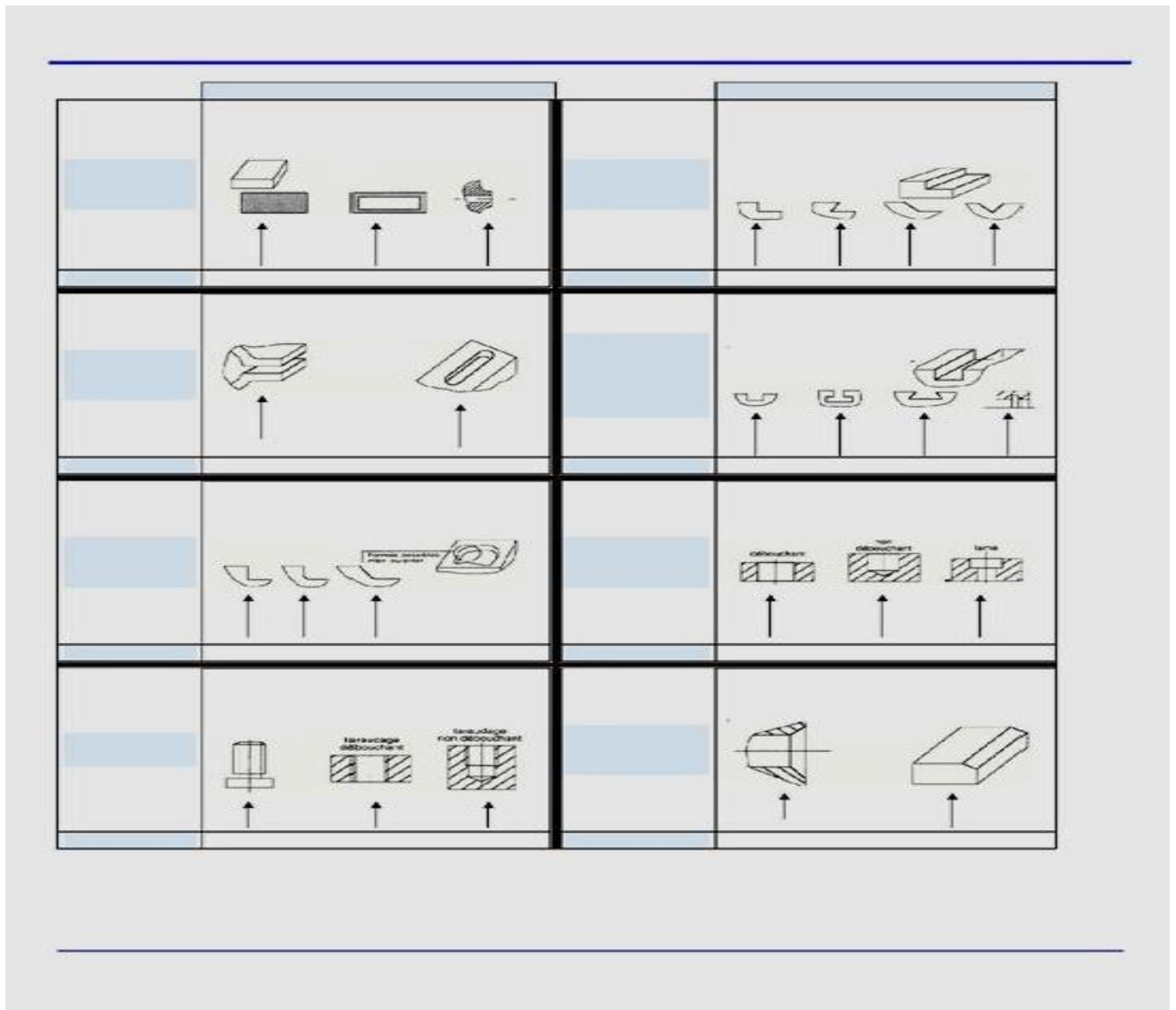


Figure II.2 : gammes de fabrication

II .3.3 ÉTAPE 3 P : Choix des entités d'usinage

L'étape précédente fait appel uniquement à l'aspect géométrique des formes à usiner et permet de les identifier . Il s'agit maintenant de prévoir leur usinage .c'est-à-dire de faire un choix d'outils en fonction de la machine prévue. [7]

Définition :

une entité d'usinage est l'association d'une forme géométrique de base (exemple : le trou lamé) avec un ensemble composé d'une machine-outil, d'un outil et de sa cinématique de génération.

L'ensemble « outil / cinématique de génération » Va permettre de définir le type d'opération (fraisage, perçage, etc.). Chaque entité forme donc un tout indissociable. Il est intéressant de remarquer que certains logiciels de fabrication assistée par ordinateur adoptent cette démarche (association d'une forme géométrique, d'un outil et d'un cycle d'usinage).

La banque de données technologiques consiste en un inventaire des solutions possibles d'usinage en termes de choix d'outil et de cinématique de génération pour chacune des formes géométriques de base répertoriées et pour chaque machine-outil. L'inventaire correspondant au tour CNC et CU est fourni sous forme de fiches ci-après.

Cette banque de données ne doit pas être confondue avec la mémoire de l'entreprise; elle va permettre de rechercher l'adéquation entre la forme géométrique à générer et l'outil à employer pour la Machine prévue.

II .3.4 ÉTAPE 4 : Regroupement d'opération en phase

a) Règles de regroupement :

Ces règles comme nous le verrons s'appliquent également aux pièces cylindriques.

Approche technologique :

La précision du positionnement relatif des surfaces usinées tient :

à la dispersion de mise en position dans le cas de surfaces liées géométriquement aux éléments physiques de posage (une seule surface par axe relève de ce cas);

à la précision intrinsèque de la machine pour les surfaces dont les positions relatives résultent des déplacements obtenus par la machine et des écarts éventuels de la remise en position des outils.

L'influence des dispersions sur l'IT des cotes fabriquées Les dispersions de mise en position de la pièce sur son montage étant plus importantes que celles dues aux déplacements dans la machine (surtout pour les machines à commande numérique), la gamme d'usinage devra limiter le nombre de fois où la pièce sera posée sur la machine (voir figure 7).

b) Approche économique

Le but recherché est de réduire au maximum les coûts de production. En conséquence il faut réduire les temps improductifs et, parmi eux, les temps de montage-démontage, les temps de transfert, etc. Ceci conduit également à la limitation du nombre de montages-démontages.

Ces deux approches permettent d'énoncer les règles suivantes :

Règle 1 :

Associer un maximum d'opérations dans une même phase. Ceci ne peut se réaliser sans la connaissance des possibilités en termes de cinématique de génération, de nombre d'outils, de fonctionnalité de directeurs de commande numérique, etc., des machines-outils et des outillages. Cela montre l'importance des dossiers machines. Cet aspect complémentaire amène à la deuxième règle [8]

Règle 2 :

Exploiter au maximum les possibilités des machines et des outillages.

Ces deux critères permettent de déterminer le nombre et le contenu des phases pour une pièce et une unité de production données. Il reste maintenant à ordonnancer ces phases et à faire un choix de posage pour chacune d'elles.

II .3.5 ÉTAPE 5 : Ordonnancement des phases et choix du posage

Nous avons vu que la dispersion de mise en position était prépondérante pour la précision de la pièce à usiner. La qualité de la mise en position isostatique (stabilité, précision) est donc déterminante. Nous en déduisons des règles concernant le posage de la pièce.

Règle 3 :

La qualité du posage doit être le critère prépondérant pour la mise en place de la pièce sur la machine-outil.

Règle 4 :

Le posage doit permettre l'accessibilité maximale aux surfaces usinées. Cette règle vise à diminuer le nombre de reprises, ce qui joue sur la qualité globale de la pièce, sur les temps et finalement sur le coût total; elle est en complet accord avec la règle d'association maximale des opérations. [9]

Règle 5 :

Le posage doit se traduire par une réalisation du porte-pièce la plus simple possible. Cette règle vise à simplifier au maximum le montage pour réduire son coût, ce qui entraîne une réflexion plus profonde sur le choix des surfaces de départ qui ne doivent pas être forcément celles liées par une « cote » aux surfaces usinées. L'étape suivante qui consiste à prévoir, par le calcul, la valeur des cotes fabriquées, permettra de qualifier le processus retenu, d'un point de vue dimensionnel et géométrique. Si le résultat est négatif, les changements à apporter seront induits par le calcul :

Les Gammes de Fabrication

- ✓ modification de la surface de départ suivant un ou plusieurs axes;
- ✓ modification d'un des procédés retenus;
- ✓ modification d'un outil;
- ✓ modification des associations d'opérations.

Règle 6 :

Le posage doit permettre l'ablocage.

Il est impératif de maintenir la pièce en position lorsqu'elle est soumise aux efforts de coupe, c'est le rôle du dispositif d'ablocage (serrage). La position des points de serrage est fortement induite par celle des points d'isostatisme; il est donc nécessaire de vérifier dès cet instant que le serrage est possible et que les surfaces à usiner restent accessibles.

II .4 Démarche générale de recherche des surfaces d'appuis :

Si l'on rapproche l'ensemble des quatre dernières règles, la réflexion que l'on peut conduire pour aboutir au choix d'un ordonnancement et simultanément de repères de posage peut se traduire par l'organigramme de la figure 8. Cette démarche privilégie un système bien particulier de mise en position:

un appui plan, qui procure à la pièce la meilleure stabilité possible, une dispersion de reprise minimale et une grande simplicité de réalisation;

un centreur-locating, qui permet de libérer tout le pourtour de la pièce et donne souvent des

possibilités de maintien en position très simples.

Toutefois, la démarche proposée n'exclut pas, en fonction de la morphologie de la pièce traitée, d'autres possibilités de mise en position. Chaque pièce est un cas particulier et la solution universelle n'existe pas. Le technicien chargé de la préparation doit avant tout faire preuve de bon sens et veiller à toujours appliquer les règles précédemment établies.

L'ensemble de ces règles R1 à R6 permet de trouver un processus parmi plusieurs possibles avec, comme souci principal, le prix de revient. Son application conduit à privilégier l'aspect économique (association maximale des opérations rendue possible par le choix du posage, déterminé lui-même par la volonté de rendre le montage d'usinage le plus simple possible), tout en visant une qualité maximale (choix de la mise en place de la pièce sur la machine). L'aspect technologique s'inscrit dans une démarche de vérification des solutions les plus économiques :

- vérification des possibilités des outillages et des machines;
- vérification de la possibilité de maintien en position de la pièce sous les efforts de coupe.

II.2 Gamme d'usinage :

- 1** - préparation d'un barreau qui se compose de :
 - Acier rapide partie active
 - Acier au carbone XC 38 partie de fixation
- 2** - Mise en forme sur une fraise
- 3** - Réalisation des angles sur une fraiseuse.
 - Angle de coupe
 - Angle de dépouille
- 4** - Contrôle des opérations de fraisage
- 5** - Traitement thermique des deux parties
 - Acier rapide HRC 62 - 65
 - Acier au carbone HRC 40 - 45
- 6** Les opérations de finition
 - Rectification plane
 - Rectification et affutage des angles
- 7** - Contrôle finale de l'outil [10]

Contrôles :

II.3.1 L'instrument de contrôles :

II.3.1 .1 Gabarits à mâchoire :

Les **gabarits à mâchoire** sont des outils de contrôle utilisés dans l'industrie mécanique permettant de vérifier de façon simple le respect des exigences fonctionnelles des pièces après usinage. Ils sont utilisés en cours de procès de production ou de réception

Principe :

Le principe du contrôle d'une grandeur mécanique par calibre à limite est basé sur l'utilisation d'un calibre **ENTRE** et d'un calibre **N'ENTRE PAS** parfois appelés **GO** et **NO GO**. Ce contrôle ne donne pas de renseignement sur la valeur de la grandeur. En revanche, il renseigne sur le fait que la grandeur mesurée est dans la tolérance spécifiée et nécessaire pour assurer le fonctionnement d'un ensemble mécanique.

C'est donc en principe un contrôle de fabrication ou même de réception mais ce n'est pas une mesure. Les calibres à limite ne sont pas des appareils mesureurs (comme un pied à coulisse par exemple). Son avantage réside dans la simplicité et la rapidité du contrôle. Elle permet un tri des pièces mais elle ne permettra pas de faire un diagnostic sur une éventuelle non-conformité. [11]

La grandeur mesurée est dite dans la tolérance si :

- le calibre *ENTRE* n'interfère pas avec la grandeur, c'est-à-dire pénètre.
- le calibre *N'ENTRE PAS* interfère avec la grandeur, c'est-à-dire ne pénètre pas.

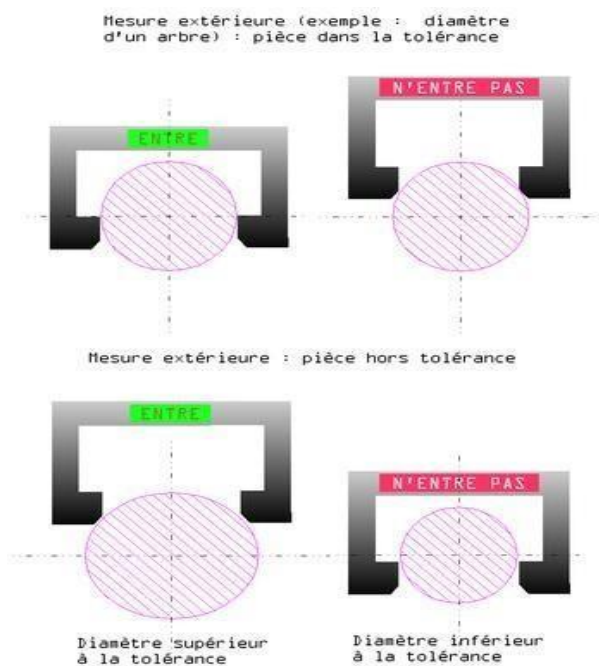


Figure II-3 : Gabarits à mâchoire Calibre extérieur

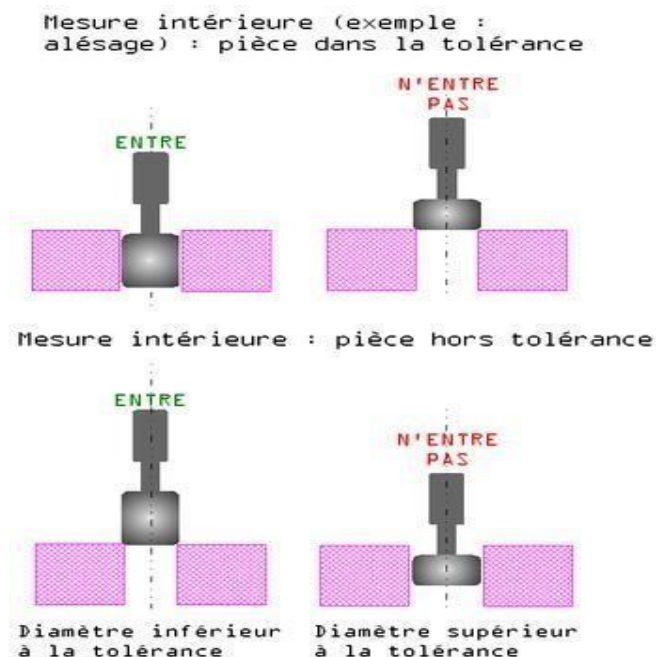


Figure II-4 : Calibre intérieur

a) Contrôle de formes lisses:

Alésage : Le calibre est appelé dans ce cas un *tampon*. Il existe des tampons « pleins » de forme cylindrique et des tampons dits plats.

Pour vérifier un alésage, le tampon *ENTRE* doit pénétrer sur la totalité de l'alésage sans que le contrôleur n'applique une force trop importante. Dans le cas d'utilisation d'un tampon plat, le contrôleur doit faire pénétrer le tampon successivement suivant deux plans axiaux perpendiculaires. Le tampon *N'ENTRE PAS* ne doit pas pénétrer en étant utilisé à la main sans force excessive.



Figure II-5 : Tampon lisse plat



Figure II-6 : tampon lisse double

Arbre : Le calibre est appelé ici une mâchoire. Il existe plusieurs modèles de mâchoire : mâchoire double avec un côté *ENTRE* et un *N'ENTRE PAS*, des mâchoires simples, des mâchoires simples dites à l'enfilade, des mâchoires réglables. Les mâchoires à l'enfilade et réglables comportent une partie *ENTRE* et une partie *N'ENTRE PAS* placées l'une derrière l'autre. Le contrôleur vérifie en un seul geste la dimension de sa pièce. Il est également possible d'utiliser des bagues.

La mâchoire *ENTRE* doit pénétrer sur la pièce sous l'effet de son propre poids. De même, la mâchoire *N'ENTRE PAS* ne doit pas pénétrer sous l'effet de son propre poids (si l'arbre est horizontal). Pour vérifier la totalité de l'arbre, il faut effectuer le contrôle en plusieurs positions.



Figure II-7 : Gabarits à mâchoire double



Figure II-8 : Gabarits à mâchoire double



Figure II-9 : Mâchoire dite par enfilade



Figure II-10 : Mâchoire dite par enfilade



Figure II-11 : Mâchoire réglable



Figure II-12 : Mâchoire réglable

Contrôle de filetage :

b) Filetage cylindrique :

Le contrôle est ici effectué avec quatre tampons :

- deux tampons (filetage intérieur) ou bagues (filetage extérieur) lisses (ENTRE et N'ENTRE PAS)
- deux tampons (filetage intérieur) ou bagues (filetage extérieur) filetés (ENTRE et N'ENTRE PAS)

Les tampons ou bagues lisses permettent de vérifier le diamètre intérieur (filetage intérieur) ou extérieur (filetage extérieur) en « sommet de filet ». Les tampons ou bagues filetés permettent de vérifier le diamètre du filetage à « flanc de filet ». Les deux grandeurs étant indépendantes il est impératif d'effectuer le contrôle avec les deux jeux de calibres.



Figure II-13 : Tampon fileté double

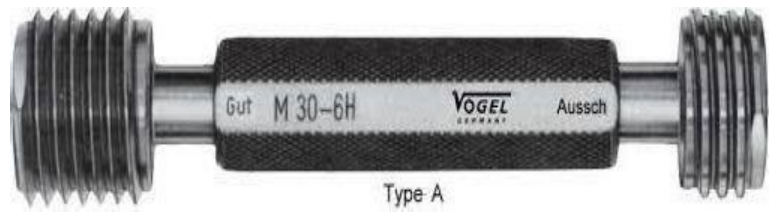


Figure II-14 : Tampon fileté double



Figure II-15 : Tampons filetés simples

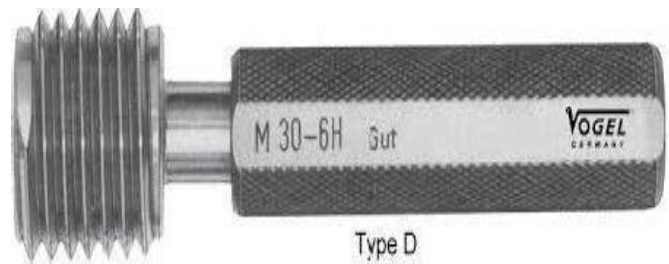


Figure II-16 : Tampons filetés simples



Figure II-17 : Les tampons ou bagues



Figure II-18 : Les tampons ou bagues

c) Filetage conique :

Le contrôle d'un filetage conique par calibre à limite n'est pas effectué par des tampons ENTRE et N'ENTRE PAS mais à l'aide de calibres dont la tolérance est matérialisée par une encoche située sur le haut du calibre (tampon pour filetage intérieur et bague pour filetage extérieur). Le calibre contrôle dans ce cas une pénétration. Pour être conforme, la face supérieure du filetage ne doit pas être en dessous ou au-dessus des deux plans représentés par l'encoche.

De même les calibres ne doivent pas « boiter » ce qui indiquerait alors un angle du cône trop faible ou trop important. [12]

De la même manière que pour le filetage cylindrique, le contrôle s'effectue à l'aide d'un calibre lisse qui vérifie le cône en sommet de filet et un calibre fileté qui vérifie le cône à flanc de filet.

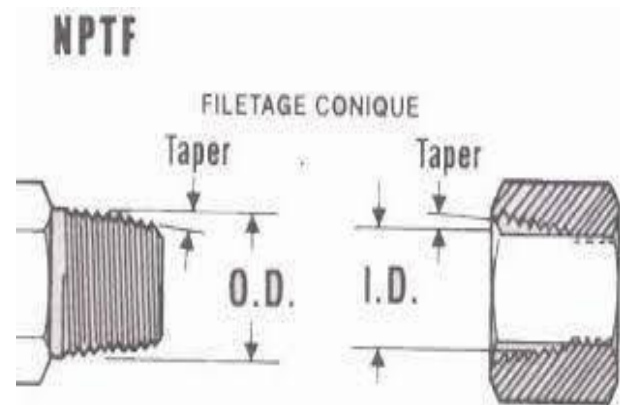
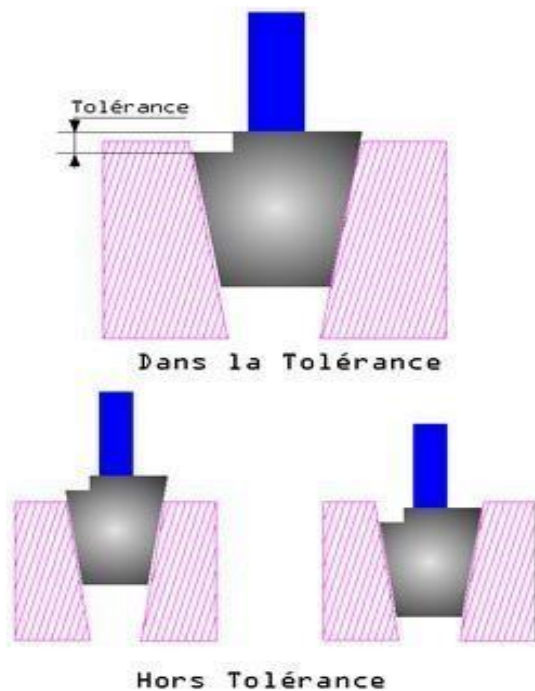


Figure II-19 : Contrôle de Filetage conique

Figure II-20 : Contrôle de Filetage conique

II.3.1.2 Les pieds à coulisse :

Un **pied à coulisse** est un instrument de mesure de longueur composé essentiellement de deux parties coulissantes l'une par rapport à l'autre. Cet instrument est très utilisé en mécanique, il permet de mesurer facilement les cotes extérieures d'une pièce et le diamètre d'un alésage. Il est également utilisé pour mesurer les diamètres des arbres, avec une ouverture pouvant

Les pieds à coulisse se prêtent particulièrement bien aux mesures rapides, ce d'autant plus qu'ils permettent de mesurer l'extérieur, l'intérieur et la profondeur d'une pièce. En raison des possibilités multiples de mesure, de leur exécution simple et de leur maniement facile, ce sont les instruments le plus utilisés dans la métallurgie

a) Types de pieds à coulisse :

pied à coulisse universel (à becs)

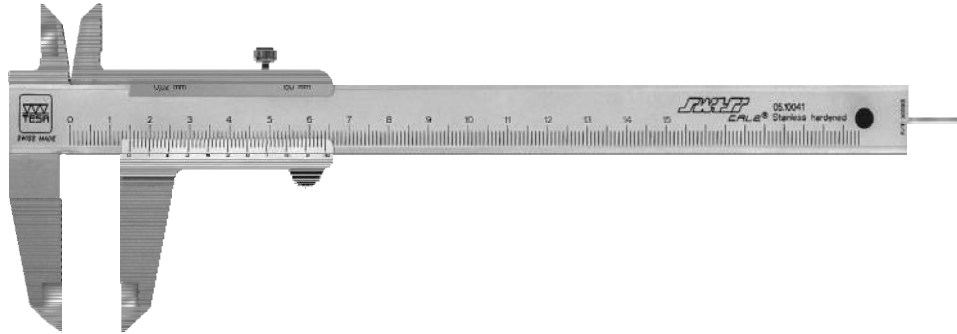


Figure II-21 : pied à coulisse universel (à becs)

pied à coulisse à cadran

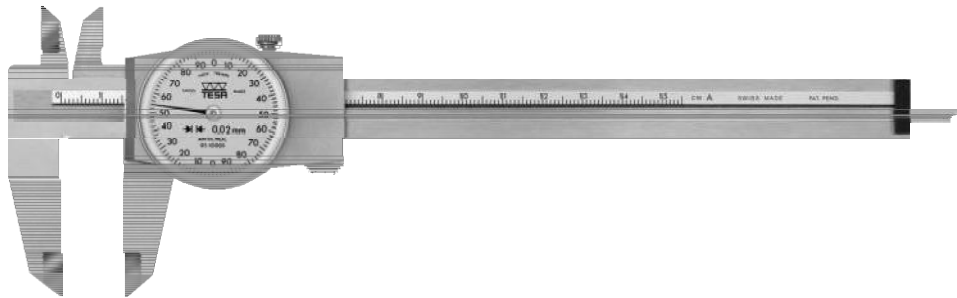


Figure II-22 : pied à coulisse à cadran

pied à coulisse à affichage électronique (digital)

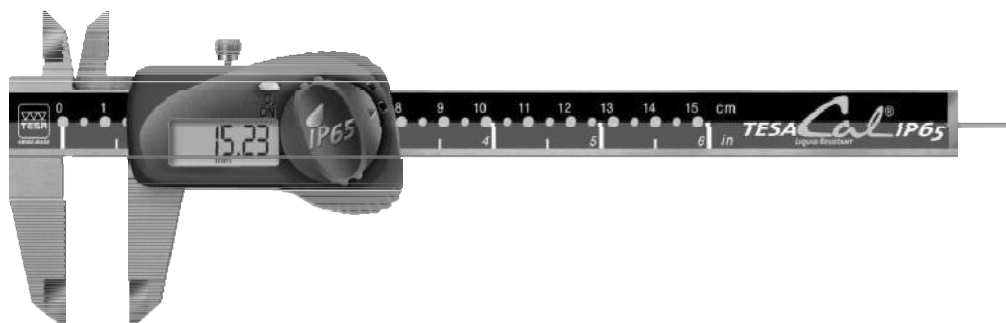


Figure II-23 : pied à coulisse à affichage électronique (digital)

pied à coulisse à pointes à réglage fin

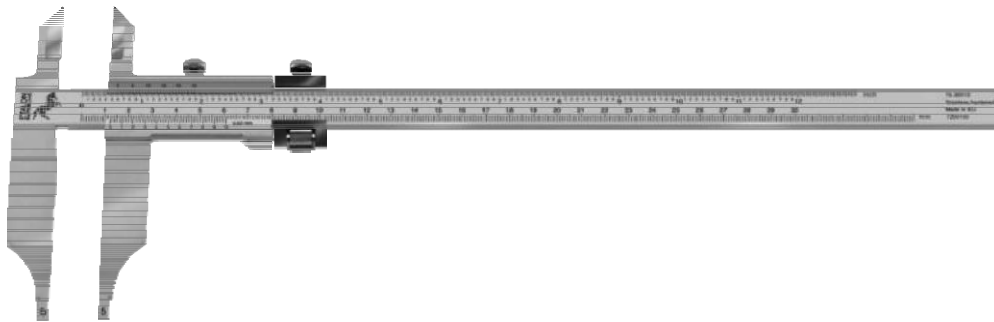


Figure II-24 : pied à coulisse à pointes à réglage fin

En fonction du nombre de graduations qui se trouvent sur le vernier, la précision de lecture du pied à coulisse est :

Nombres de graduation sur le vernier	10	20	50
Graduation de la règle	0 à X mm de mm en mm	0 à X mm de mm en mm	0 à X mm de mm en mm
Précision de lecture du pied à coulisse	1/10 de millimètre	1/20 de millimètre	1/50 de millimètre

Tableau II-1 : nombre de graduations qui se trouvent sur le vernier

1 . Pied à coulisse avec une précision de lecture au 1/10 de millimètre

Principe

Sur le vernier au 1/10^{ème}, 9 mm sont partagé en 10 parties valant chacune 0,9 mm . Sur la règle, chaque graduation vaut 1 mm.

Chaque écart d'une graduation entre la règle et le coulisseau vaut : $1\text{mm} - 0,9\text{mm} = 0,1\text{mm}$ soit 1/10^{ème}

Lecture

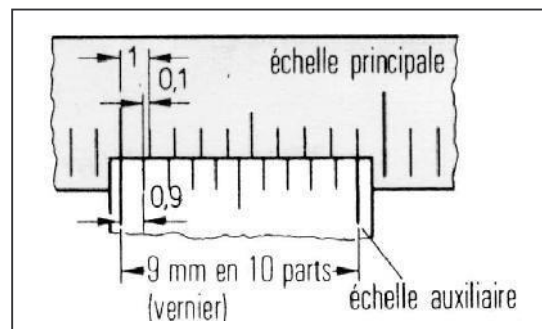


Figure II-25 : Pied à coulisse universel

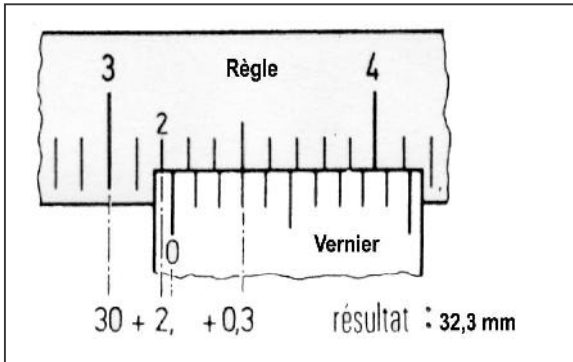


Figure II-26 : Lecteur pied à coulisse

Si le 0 du vernier était juste en face de la graduation 2 de la règle, la lecture serait : 32 mm (exactement)

Dans le schéma de gauche, le 0 du vernier se trouve à droite du 2 de la règle ; la mesure est donc de plus de 32 mm.

Pour avoir la mesure exacte, il suffit de regarder quelle graduation du vernier se trouve exactement en face d'une graduation de la règle, ici, c'est la graduation 3.

La mesure exacte est donc de 32,3mm

$$30 + 2 + 0,3 = 32,3 \text{ mm}$$

Figure II-26 : Lecteur pied à coulisse

1 . Pied à coulisse avec une précision de lecture au 1/20 de millimètre

Principe

Sur le vernier au 1/20^{ème}, ce sont 19 mm partagés en 20 parties et valant chacune 0,95 mm . Sur la règle, chaque graduation vaut 1 mm.

Chaque écart d'une graduation entre la règle et le coulisseau vaut : 1mm - 0,95mm soit 0,05 mm soit 1/20

1 . . Pied à coulisse avec une précision de lecture au 1/50 de millimètre

Principe

Sur le vernier au 1/50^{ème}, ce sont 49 mm partagés en 50 parties et valant chacune 0,98 mm. Sur la règle, chaque graduation vaut 1 mm.

Chaque écart d'une graduation entre la règle et le coulisseau vaut : 1mm - 0,98mm = 0,02 mm soit 1/50^{ème}

Lecture

ATTENTION: pour la mesure des dimensions intérieures, ne pas oublier d'ajouter l'épaisseur des becs du pied à coulisse c'est à dire 2 fois 5mm soit 10 mm.

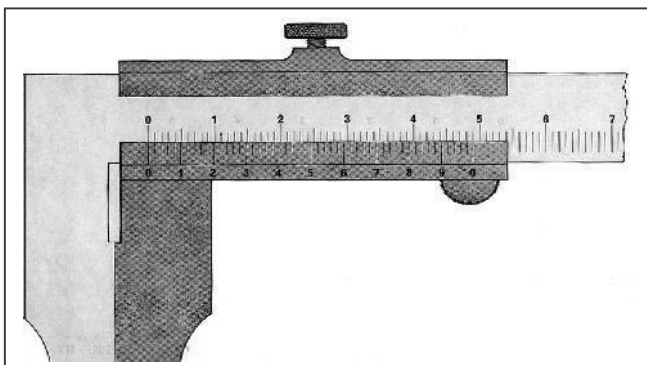
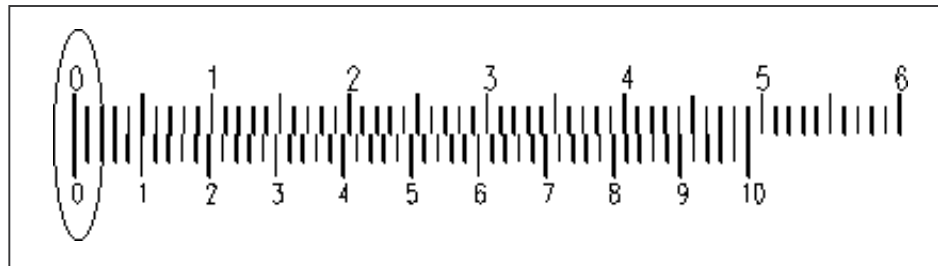


Figure II-27 : Pied à coulisse

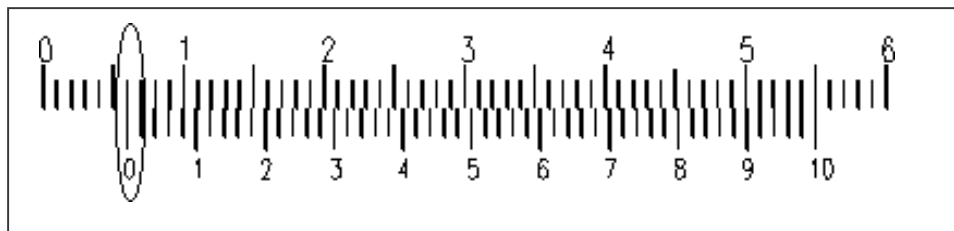


Figure II-28 : Pied à coulisse

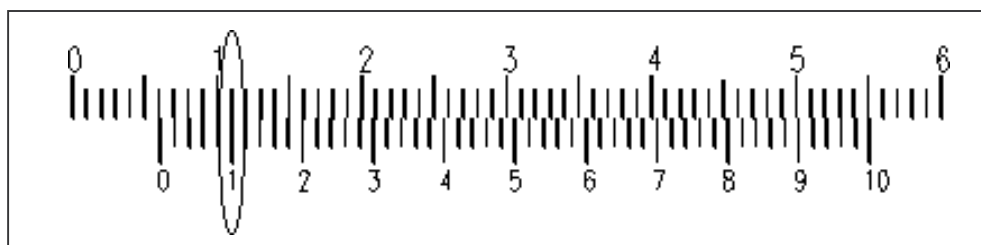
- Les chiffres figurant sur le vernier indiquent les dixièmes de millimètre.
- Chaque graduation comprise entre les chiffres indiquant les dixièmes, représente $2/100$ de mm.
- Le nombre de centièmes est donné par la graduation du vernier qui coïncide parfaitement à une graduation de la règle.



1/ les becs sont en contact, le zéro du vernier coïncide au zéro de la règle.
 Les zéros de la règle et du vernier correspondent. Ici la valeur lue correspond à **0**

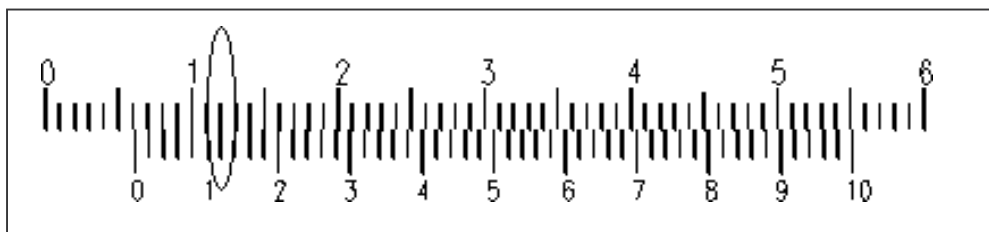


2/ Le zéro du vernier correspond exactement à une valeur des graduations de la règle. Ceci indique donc que la valeur lue correspond à un nombre juste de millimètre.
 Ici on lit **6 mm**



3/Le zéro du vernier ne correspond pas à une division de la règle. Le nombre de mm est donné par la graduation de la règle qui se trouve immédiatement à gauche de la division zéro du vernier.

- Le zéro du vernier ne correspond pas à une valeur des graduations de la règle, mais il est placé à droite d'une graduation de la règle.
- Dans l'exemple ci-dessus le zéro du vernier se situe juste à droite du "6" de la règle, ce qui signifie que l'on a "un peu plus de 6 millimètres. Mais la valeur n'est pas juste.
- Il faut donc chercher si une autre graduation du vernier correspond à une graduation de la règle.
- Dans un premier temps on regarde si une graduation marquée d'un chiffre (représentant les dixièmes de millimètres) correspond à une graduation de la règle.
- Ici le "1" du vernier correspond exactement à une graduation de la règle. **On lira donc : 6 mm et 1 dixième.**



4/ Ci-dessus on trouve la même valeur de millimètres que dans l'exemple précédent, mais la graduation indiquant les dixièmes ne correspond pas. Il faudra alors chercher la graduation des centièmes qui correspond exactement à une graduation de la règle.

On s'aperçoit que le repère indiquant **1 dixième se situe juste après** une graduation de la règle, mais que la graduation indiquant **2 dixièmes se situe, elle juste avant** une graduation de la règle.

Cela signifie que la valeur des centièmes se trouvera entre ces deux graduation du vernier. **Ici on lira : 6mm, 1dixième et deux centièmes.** (on lit 1 cinquantième de mm mais cela correspond à 2/100 de mm)

b) Utilisation et entretien du pied à coulisse

Le pied à coulisse est un instrument de précision et à ce titre, il ne peut fournir d'indications exactes que s'il est en parfait état et manipulé avec toutes les précautions qui s'imposent,

pour cela :

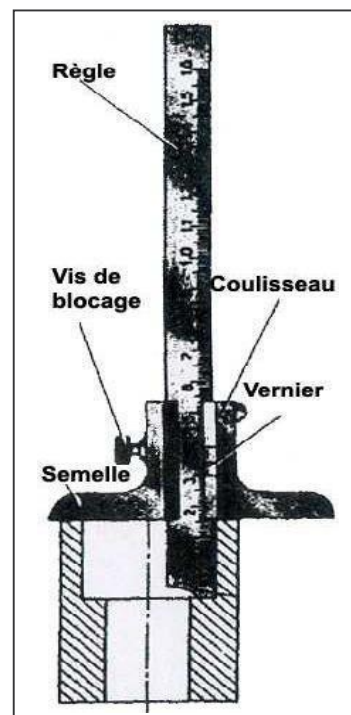
- Ne pas pincer fortement les becs sur la pièce à mesurer
- Il faut éviter de le choquer et de le placer avec directement avec l'outillage à main
- En règle générale, si vous n'avez pas le pied à coulisse dans la main pour effectuer une mesure, le pied à coulisse doit être dans son étui de protection.

2 – La jauge de profondeur ou pied à coulisse de profondeur

De conception un peu différente de par sa fonction, c'est une règle sans bec et coulisseau à deux becs appelés semelles ; le pied de profondeur fonctionne et se lit de la même manière qu'un pied à coulisse.



Figure II-29 : pied à coulisse de profondeur



Généralités / dénominations des parties :

Les pieds à coulisse sont constitués d'une perche avec une graduation millimétrique. Le coulisseau mobile est aussi doté d'un bec et d'une graduation appelée vernier. Lorsque le pied à coulisse est fermé, le trait zéro du vernier s'aligne sur le trait zéro de la graduation de la perche.

c) Description :

Il est composé essentiellement :

- d'une règle fixe graduée, munie d'une tête comportant une face plate correspondant à la position de référence **0**, et un curseur, muni d'une tête présentant une surface plate en opposition avec la face de référence.
- suivant le type, on trouve soit des becs arrondis pour les mesures intérieures ou des petits becs en opposition sur la partie supérieure.
- les mesures de profondeur peuvent être assurées par une jauge prolongeant le curseur, coulissant à l'arrière de la règle principale, affleurant le bout de la règle en position **0**.

La lecture dimensionnelle s'effectue :

- soit par un vernier ou à un cadran à aiguille pour les pieds à coulisse analogiques.
- soit par un afficheur à cristaux liquides, monté sur la partie coulissante des pieds à coulisse numériques. Ces derniers utilisent le principe du potentiomètre linéaire.

Ce type de technologie permet une mise à zéro (référence) du curseur pour n'importe quelle localisation des becs mobiles, et permet un enregistrement informatique via une prise RS-232 pour la réalisation éventuelle de contrôle statistique.

d) Fonctions :

Un pied à coulisse moderne (numérique) a pour fonction principale de mesurer trois types de dimensions :

- des dimensions extérieures, épaisseur, diamètre, d'une pièce, par les becs principaux ;
- des dimensions intérieures d'un perçage, alésage d'une pièce par les petits becs supérieurs ;
- la profondeur d'un trou ou la hauteur d'une pièce posée sur un support par la jauge de profondeur.

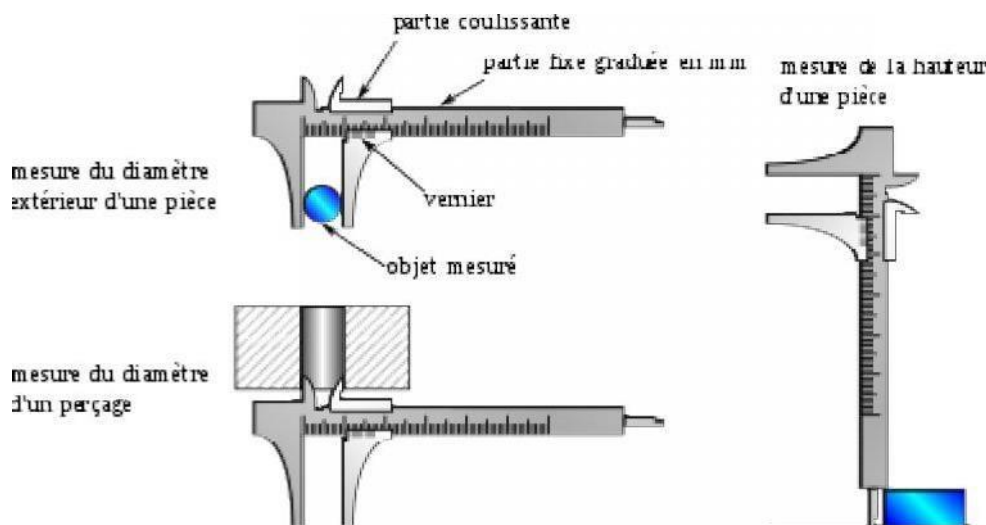


Figure II-30 : Utilisation de pied a coulisse

II.3.1.3 Rapporteur d'angle :

Un rapporteur (ou rapporteur d'angle) est un outil utilisé en géométrie pour mesurer des angles et pour construire des figures géométriques. Les rapporteurs utilisés par les élèves sont la plupart du temps gradués en degrés, mais il existe plusieurs variantes : certains ont une double graduation (en degrés et en radians, ou en degrés et en grades), certains forment un disque complet alors que d'autres ne sont que des demi-disques.

L'usage du rapporteur est parfois remplacé par l'usage d'un demi-carré.

Le rapporteur trigonométrique est un instrument de mesure matérialisant le cercle trigonométrique et fournissant une correspondance degrés-radians.

Un théodolite n'est rien d'autre qu'un ensemble de deux rapporteurs (horizontal et vertical) de haute précision [13]

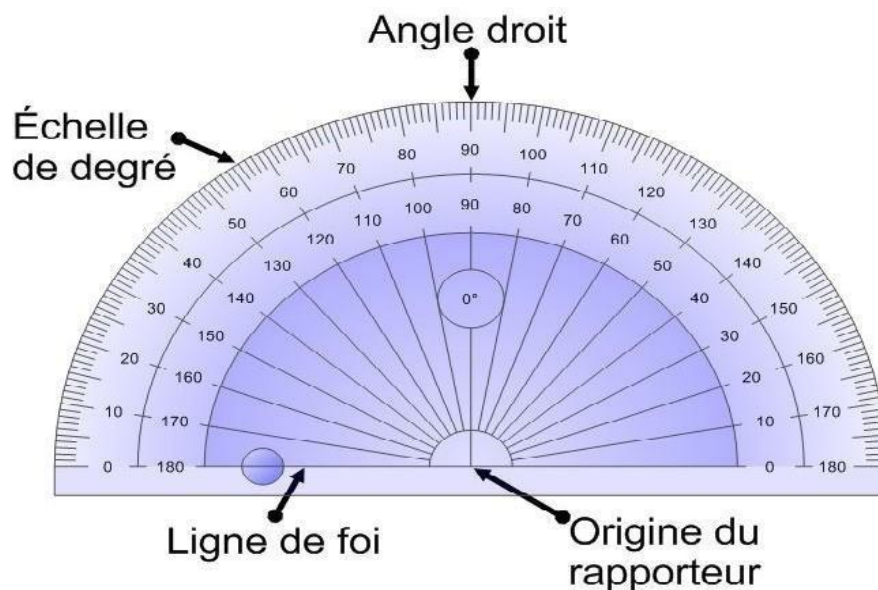


Figure II-31 : Rapporteur d'angle

a) Fonctions:

Afin de mesurer un angle à l'aide d'un rapporteur d'angle, il suffit de suivre les étapes suivantes :

Étape 1 : On place l'origine du rapporteur (le point milieu du demi-cercle) sur le sommet de l'angle.

Étape 2 : On aligne la ligne de foi (ligne du zéro) du rapporteur avec l'un des côtés de l'angle.

Étape 3 : On lit la mesure de l'angle à l'endroit où le deuxième côté de l'angle rencontre les graduations (lignes) du rapporteur. Selon qu'il s'agit d'un angle aigu ou d'un angle obtus, on lira la mesure de l'angle sur l'une ou l'autre des échelles de degré.

Supposons que nous voulons mesurer la valeur de l'angle aigu ci-dessous à l'aide d'un

b) Rapporteur d'angle :

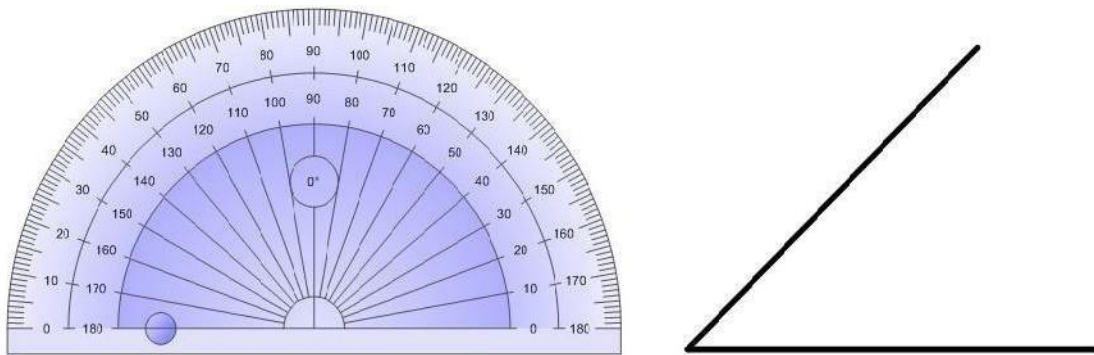


Figure II-32 : placement de l'origine du rapporteur

1. Il faut placer l'origine du rapporteur sur le sommet de l'angle.

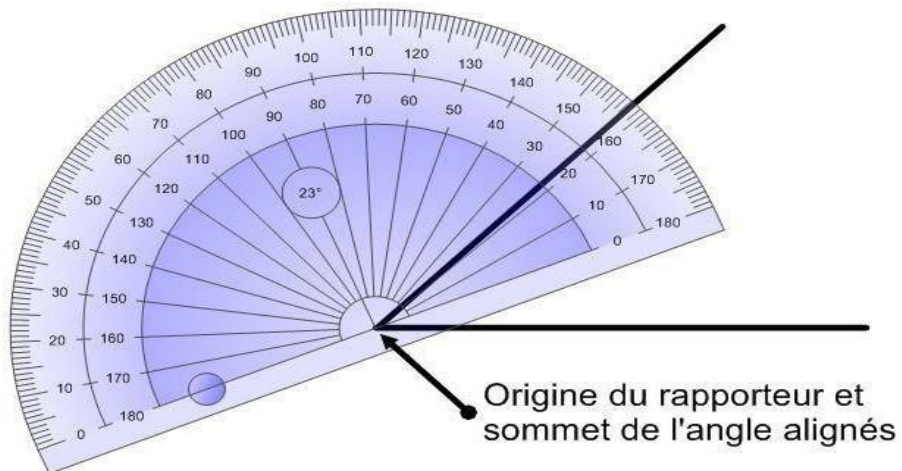


Figure II-33 : origine du rapporteur et sommet de l'angle alignés

2. Il faut aligner la ligne de foi du rapporteur avec l'un des côtés de l'angle.

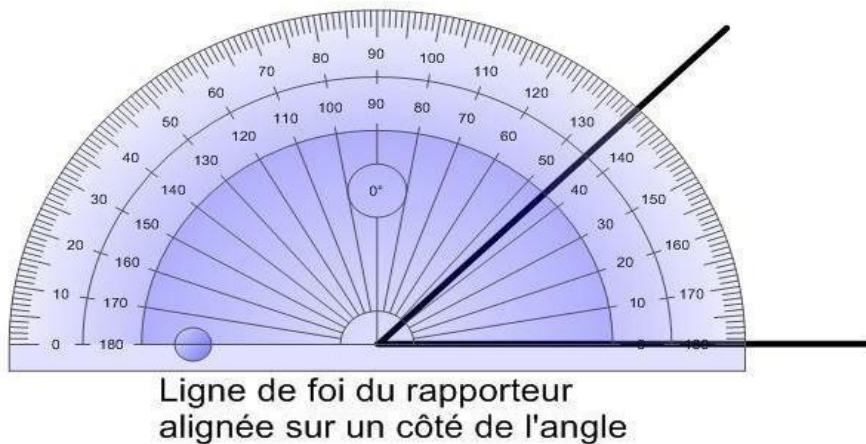
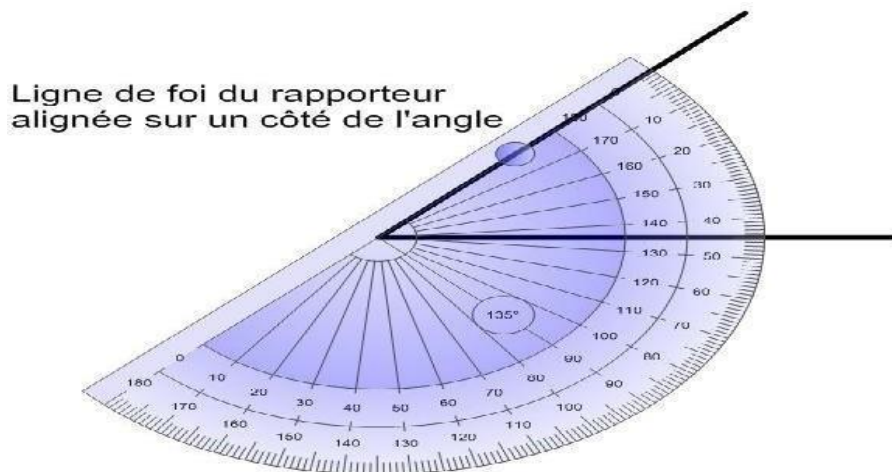
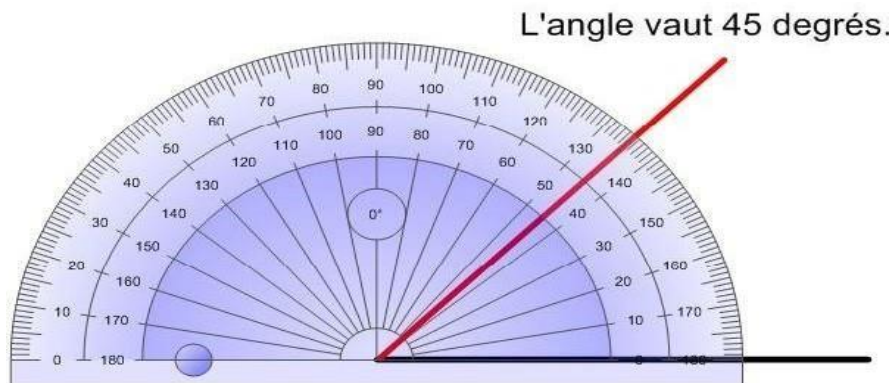


Figure II-34 : ligne de foi du rapporteur alignée de l'angle

On pourrait aussi placer le rapporteur de la façon suivante:

**Figure II-35** : ligne de foi du rapporteur alignée sur un coté de l'angle

3. On lit la valeur de l'angle grâce aux graduations du rapporteur. Étant donné qu'on mesure un angle aigu, on lira la mesure qui est inférieure à 90° .

**Figure II-36** : l'angle vaut 45 degrés

c) Rapporteur d'angles universel :

Lecture sans parallaxe par graduation du vernier et du cadran sur une même ligne (les erreurs de lecture sont ainsi évitées au maximum)

Acier inox

Lecture anti-reflet

Arêtes de mesure trempées

Avec loupe panoramique

Avec équerre supplémentaire

En étui

La graduation du cadran est $4 \times 90^\circ$, **précision de lecture $1/12^\circ = 5'$** .

La règle est coulissante sur toute sa longueur, elle est interchangeable



Figure II-37 : Rapporteur d'angle universel.

Rapporteur d'angle universel numérique :

Affichage en degrés ou en minutes d'angle. Ajustage simple à partir de points de référence fixes.

La règle de mesure est mobile et peut être bloquée sur toute la longueur.

Réglage de précision pour un ajustage précis des mesures d'angle choisies.

Preset : pré-réglage d'angles choisis, par ex. pour des mesures de tolérance.

Data/Hold : enregistrement (conservation) ou envoi de la valeur affichée.

Inversion du sens de mesure. [13]

- Remise à zéro à n'importe quelle position.



Figure II-38 : Rapporteur d'angle universel numérique

CHAPITRE III

Taitements Superficielles

III.1 Introduction :

Les traitements superficiels des aciers ont pour but l'abstention d'une dureté élevée en surface jointe à une ténacité et une ductilité importante à cœur simultanément est obtenue une augmentation de la résistance à l'usure et à la fatigue.

on peut obtenir ce résultat de trois manières différentes.

- Modification d'une zone superficielle par traitement thermique localisé (chauffage superficiel et trompe).
- Modification d'une zone superficielle par traitement thermique de diffusion d'un élément d'alliage par contact avec un milieu adapté :
 - Nitruration : diffusion d'azote
 - *Sulfonitruration* : diffusion de soufre et d'azote
 - Chromisation
 - Boruration
 - Shérardisation : diffusion de zinc
- Modification d'une zone superficielle par diffusion suivie d'un traitement thermique affectant la zone modifiée.
 - Cémentation : diffusion de carbone + durcissement par trompe
 - Carbonitruration : diffusion de carbone et d'azote + durcissement par trompe.

Types de traitements de surface

Nettoyage des surfaces :

Avant tout traitement, le nettoyage des surfaces est une phase essentielle qui a pour objet d'enlever les souillures existant à la surface des pièces et qui comprend deux opérations distinctes [15]

a. Le dégraissage

Le dégraissage est le fait d'enlever les traces de graisse d'un autre élément. Le dégraissage est une étape préparatoire indispensable à une opération de traitement thermique ou de traitement de surface telle que le nickelage et la phosphatation.

b. Le décapage

Le décapage est un procédé qui consiste à éliminer une couche de matière déposée sur la surface d'une autre matière. Selon le contexte, il s'agit d'enlever des couches de peinture, vernis, cire, pigments ou des traces de corrosion sur une surface. Des techniques mécanique, chimique ou thermique peuvent être utilisées pour ce faire.

Dépôt par voie thermique :

Étamage : L'**étamage** est une opération de traitement de surface qui consiste à appliquer une couche d'étain sur une pièce métallique.

Par immersion en métal fondu : galvanisation par le zinc, étamage et plombage

Dépôt par projection thermique :

L'**hexa-plasma** ou **protection plasma** est un traitement thermique superficiel, à l'aide d'une torche à plasma de pièces en contact et soumises à des réactions de frottement, de roulement ou de corrosion.

Le **flame-plating** est un procédé de projection thermique qui permet d'obtenir, en surface, pour n'importe quel métal, les propriétés du carbure de tungstène massif grâce à une projection à vitesse supersonique de particules sur la surface à revêtir. La force de projection est obtenue par une explosion.

III.2.2 Traitement optique :

Un **traitement antireflet** est un traitement de surface permettant de diminuer la part de lumière réfléchi et donc augmenter la part de lumière transmise au travers d'un dioptre. Il existe plusieurs méthodes : certaines consistent à déposer un assemblage lamellaire de matériaux diélectriques en surface, d'autres à effectuer une corrugation de la surface du matériau. Ces deux techniques visent à diminuer voire annuler le coefficient de réflexion de la lumière sur un spectre donné de longueurs d'onde. constitué de plusieurs couches minces de matériaux transparents, est parfois utilisé sur des vitres ou des verres de lunettes.

Diffusion d'éléments non métalliques carbonituration (dont la cémentation et la nitruration sont des cas particuliers), boruration, sulfurations, bleuissement

Diffusion d'éléments métalliques (chromisation, aluminisation)

III.2.3 Traitement par transformation structurale :

Voie thermique : fusion superficielle, trempe superficielle

Voie mécanique : grenailage, galetage

III.2.4 Traitement organique et organo-minéraux :

Application d'un revêtement de peinture par enduction

Par thermolaquage

Par électrophorèse ou cataphorèse

Dépôt sol- gel : Les procédés sol-gel permettent la production de matériaux vitreux, éventuellement microporeux à macroporeux par polymérisation sans recourir à la fusion.

Traitement mécanique :

Aérogommage :

L'aérogommage est un procédé de traitement de surface dérivé de la technique de sablage. Cela consiste en la projection d'un abrasif naturel à l'aide d'air comprimé à basse pression en vue du décapage ou nettoyage de surface. Quand de l'eau est ajoutée au mélange d'abrasif et d'air, on appelle cela de la "brumisation" ; ne pas confondre avec l'hydrogommage qui correspond à la technique du sablage pour laquelle on utilise 80 % d'eau et 20 % de sable.

III.2.6.2 Ébavurage :

En fabrication, la bavure désigne un surplus involontaire de matière souvent de faible épaisseur, comme si la matière avait été poussée. C'est inesthétique, peut être coupant et peut générer des problèmes lors d'opérations d'assemblage ultérieures.

III.2.6.3 Brunissage

Le brunissage désigne deux techniques bien distinctes :

le brunissage chimique, procédé d'oxydation superficielle des aciers obtenue par voie chimique, permettant l'obtention d'un aspect noir ; le brunissage mécanique, technique de polissage utilisée en finition d'un revêtement métallique comme la dorure ou l'argenture ou d'une fabrication en argent, en or, en cuivre ou en alliage cuivreux.

III.3 Galetage

En fabrication, la bavure désigne un surplus involontaire de matière souvent de faible épaisseur, comme si la matière avait été poussée. C'est inesthétique, peut être coupant et peut générer des problèmes lors d'opérations d'assemblage ultérieures.

Brunissage Le brunissage désigne deux techniques bien distinctes :

le brunissage chimique, procédé d'oxydation superficielle des aciers obtenue par voie chimique, permettant l'obtention d'un aspect noir ; le brunissage mécanique, technique de polissage utilisée en finition d'un revêtement métallique comme la dorure ou l'argenture ou

d'une fabrication en argent, en or, en cuivre ou en alliage cuivreux.

Galetage Le galetage est un procédé industriel réalisé en finition et super finition.

Grenaillage

III.3 Sablage:

Introduction:

Le sablage est une technique industrielle de nettoyage des surfaces utilisant un abrasif projeté à grande ou faible vitesse à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper.

Selon le type de pièces à traiter et le type de contaminant, on utilise un abrasif et une granulométrie adaptés. L'air comprimé est parfaitement asséché et déshuilé.

Pour le décapage de peinture sur pièces fragiles (tôles minces) : On utilise un abrasif de type Corindon de faible granulométrie (oxyde d'alumine) avec une faible pression d'air comprimé (de 3 à 4 bar maxi).

Pour le décapage de peinture de forte épaisseur sur pièces robustes (radiateurs, mobilier de jardin, etc...) : On utilise une grenaille métallique angulaire d'une dureté inférieure au support à décaper et d'une granulométrie moyenne (de l'ordre de 0,3 mm). La surface traitée aura une faible rugosité permettant ainsi l'application et le parfait accrochage d'une peinture ou d'une poudre époxy sans ponçage de la surface.

Pour une préparation de surface avant métallisation : On utilise une grenaille métallique angulaire très dure (62 à 64 HRC) et d'une granulométrie moyenne (de l'ordre de 03 – 05 mm). La rugosité doit être importante afin de garantir une parfaite adhérence de la couche de métallisation (Zinc projeté à chaud). Afin d'obtenir une forte rugosité, la pression de projection est relativement élevée (de l'ordre de 4 à 5 bar). Le support doit être sablé sur 100% de sa surface (SA 3).

Le sablage peut être fait en extérieur mais avec pour conséquence une pollution importante par la dispersion des poussières et des contaminants, cette pratique est régie par des règles strictes. Conformément aux normes en vigueur, le sablage est fait dans une cabine en jet libre, cette dernière est ventilée, l'abrasif est récupéré et recyclé, les poussières et contaminants sont stockés et évacués en décharge contrôlée. [14]

III.3.2 Les différents abrasifs

Il est impératif de choisir soigneusement l'abrasif à projeter, selon le but recherché.

Le terme sablage vient du fait qu'à l'origine on utilisait du sable comme abrasif : anciennement en frottant la pièce avec, puis en le projetant sur la pièce. Parfois de l'eau est ajoutée au sable, principalement dans le but de limiter la production de poussières.

Cette technique est utilisée dans le bâtiment pour le nettoyage des murs par projection de sable.

Elle est utilisée pour tatouer les vitres des automobiles avec un numéro spécifique, on utilise un sable très fin et un pochoir du motif à reproduire. Cela tend à dissuader les voleurs de

dérober le véhicule.

Le sable n'est presque plus utilisé dans le sablage, à cause de la silice cristalline qu'il contient. Celle-ci, en s'accumulant dans les poumons, cause chez les sableurs la silicose, maladie mortelle incurable. En remplacement, on utilise en sablage des scories vitrifiées, du corindon et d'autres types de produits plus techniques en fonction de ce que l'on cherche à obtenir. Les poussières émises lors des opérations de sablage proviennent non seulement de l'abrasif, mais aussi du support décapé, et peuvent donc se révéler particulièrement dangereuses, en particulier lors des opérations de ravalement de façades 1.

Dans l'industrie et le traitement de surfaces "haut de gamme" (horlogerie, maroquinerie, aéronautique, mais également automobile), de nouvelles solutions techniques apparaissent avec des corindons blancs de taille très réduite (jusqu'à 3000 mesh) ou des carbures de silicium et non pas de la silice (en black ou green). Les process peuvent être réalisés à sec ou en voie humide, par projection, mais parfois par tribofinition afin de moins modifier les contraintes internes (voilage de pièces fines ou réduction des diamètres de perçage).

III.3.3 Sableuses et les cabines de sablage:

Une sableuse se connecte à un compresseur et s'utilise pour les travaux en extérieur comme le grenailage de pièces métalliques (portails, grilles, charpentes...), le décapage du bois (volets, escaliers, poutres...) ou bien encore le ravalement de façade et le nettoyage de bâtiments. Contrairement à une cabine de sablage, il est préférable d'utiliser des abrasifs non recyclables, ces derniers ne pouvant pas être récupérés après utilisation. [16]



Figure III-1: Sableuses et les cabines de sablage

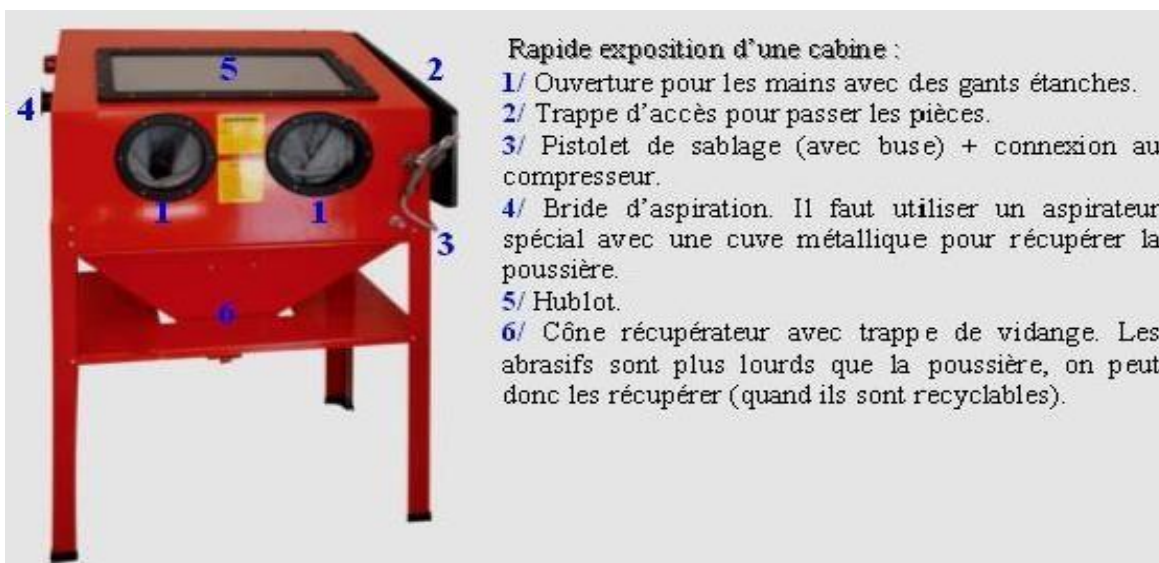


Figure III- 2: Exposition d'une cabine

La cabine de sablage (étanche) se connecte à un compresseur. L'utilisation de cette machine rend possible le travail en intérieur et la récupération du sable (les abrasifs recyclables).

Bilan :

Machines	Utilisation
Sableuse	Pour travaux en extérieur Réservée au sablage de grandes surfaces
Cabine de sablage	Pour travaux en intérieur Destinée au sablage de petites pièces (selon taille de la cabine) Possibilité de récupérer le sable

Tableau III-1: accessoires de sablage

Applications	Résultats / Avantages
Ebarber	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parfait pour éliminer des bavures de vos pièces usinées. ✓ Pratique pour atteindre des parties peu accessibles avec un ébarbage manuel ou à la machine.
Décaper	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Avec précision et rapidité, le décapage des revêtements (peintures, vernis, laques,...) est possible. ✓ Le substrat (la base qui reçoit le revêtement) n'est pas altéré. ✓ Améliore l'état de surface de la pièce traitée. ✓ Application d'un nouveau revêtement possible. ✓ Plus efficace et rapide que d'autres techniques (ex : meuler, racler, nettoyer chimiquement, brosser,...)
Nettoyer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas de changement dimensionnel. ✓ Substrat non dégradé. ✓ Pour le nettoyage des moules, matrices, outils (même fragiles), ...
Ebavurer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elimination des bavures ✓ Substrat non détérioré
Détartre	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Supprime le tartre formé sur les pièces occasionné par divers facteurs (corrosion, rouille, chaleur,...). ✓ Sans danger, à l'inverse du détartrage chimique. ✓ La pièce retrouve un état de surface parfait : la peinture, le revêtement, le plaquage,..., sont praticables sans difficulté.
Graver du verre	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Idéal pour les gravures (ex : logos) fines grâce à l'action du décapage. Sur le verre, la poterie, les médailles,... ✓ Allie rapidité et précision.
Autres applications envisageables : gravure de surfaces, retraits des moules, grenailage de précontrainte, finition cosmétique.	

Tableau III-2: Les application possible avec des abrasifs

Enlever la couche superficielle d'une pièce (ex : peinture...), provoquer la déformation de sa surface ou encore engendrer des aspérités pour améliorer l'adhérence d'une couche superficielle. Selon le type d'abrasif choisi, le sablage permet de nombreuses applications :

En raison de sa contenance en silice hautement cancérigène, le sable n'est pas la matière projetée lors de l'opération de sablage. De nombreux abrasifs peuvent être utilisés : corindon blanc, corindon mixte, carbure de silicium noir et vert, bille céramique, carbure de bore, grenat,... Le choix de l'abrasif dépend de l'application à réaliser.

Voici quelques précisions sur 3 abrasifs souvent employés : le corindon brun, la bille de verre et la grenaille métallique.


Matière	Oxyde d'aluminium.	 Corindon
Dureté MOHS	9.	
Structure	Alumine Alpha.	
Forme massive	Arêtes vives.	
Densité réelle	3,94.	
Couleur	Brun.	
Granulométrie	Entre 0,1 à 2 mm / F8 à F220 (Norme FEPA).	
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Traitement de surface. ✓ Décapage avant peinture. ✓ Suppression de la rouille. ✓ Réalisation de rugosités (petites aspérités) pour l'application ultérieure d'une colle, d'une peinture, d'un revêtement,... 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grande dureté. ✓ Résistant. ✓ Excellente capacité de recyclage. ✓ Dégagement minime de poussière. ✓ Demande une consommation réduite d'air comprimé. 	

Tableau III-3: Le corindon brun


Matière	Verre sodocalcique.	 Microbilles de verre
Dureté MOHS	5,5 à 6.	
Densité apparente	Entre 1,4 et 1,6 kg/dm ³ .	
Granulométrie	Entre 425-600μ et 4-45μ.	
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nettoyage de moule. ✓ Ebavurage délicat. ✓ Finition de surface. ✓ Shot peening (grenailage de précontrainte). 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Création d'une grande variété d'états de surface. ✓ Permet une finition uniforme. ✓ Recyclable. 	
Conseils	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ne pas travailler à plus de 5 bars. ✓ Utiliser une cabine de sablage dotée d'un mano régulateur pour le réglage de la pression. 	

Tableau III-4: Microbille de verre


Matière	Bille ronde ou angulaire en acier	 Grenaille
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Décapage. ✓ Nettoyage rapide. ✓ Déroutillage. ✓ Préparation de surface. ✓ Décalaminage (enlever la calamine résultant de la combustion d'un carburant, qui s'est déposée sur des parois métalliques). ✓ Satinage. ✓ Dépolissage. 	
Avantage	✓ Fort pouvoir abrasif.	
A noter	✓ Non recyclable.	

Tableau III-5: Grenaille métallique

III.3.5 Information complémentaire :

- La granulométrie (taille) et la pression de l'air comprimé conditionnent la force d'impact de chaque grain abrasif projeté sur la pièce.
- La force de l'impact est également déterminée par la distance entre la buse (qui se trouve au bout du pistolet) et la pièce.
- L'utilisation d'une cabine de sablage ou d'une sableuse élimine l'abrasif sous forme de poussière. Toutefois, certains abrasifs très résistants sont recyclables, ils peuvent être utilisés plusieurs fois avant d'être inemployables (ex : corindon brun, microbille de verre...).
- Une utilisation successive de deux abrasifs différents est possible afin d'obtenir deux traitements différents (ex : le décapage puis le satinage)
- Le sablage exige le port de lunettes de sécurité, d'un masque respiratoire et de gants de sécurité. A noter qu'il est parfois possible de brancher un aspirateur à poussières (avec une cuve métallique) aux cabines de sablage. [16]

III.3.6 Accessoires de sablage pour sableuse:

ACF propose tous les accessoires de sablage nécessaires pour équiper votre sableuse-grenailleuse. Du consommable classique aux accessoires spécifiques, vous trouverez tous les articles qui vous permettront d'optimiser les performances de votre matériel de sablage. Une large gamme de buses vous permettra de concilier au mieux la consommation en air, la consommation en abrasif et le rendement du sablage attendu. Selon le travail à réaliser, toute une gamme de porte-buse, raccords, couvercles, tamis, vannes, tuyauteries viendront compléter ou remplacer votre équipement actuel.

Tuyauteries de sablage

Découvrez notre gamme de tuyauteries, rallonges et tuyauteries de commande à distance pour vos opérations de sablage fig



Figure III-3 : Tuyauteries de sablage

Tuyauteries de sablage

Buses

Choisissez la buse de sablage adaptée à votre consommation en air et en abrasif



Figure III-4 : Porte-Buse

Buses**Porte-Buse**

Choisissez un porte-buse adapté à votre tuyauterie de sablage



Figure III-5 : Raccords

Porte-Buse

Raccords

Découvrez notre gamme de raccords pour tuyauterie de sablage



Figure III-6 : Vannes et détendeurs

Raccords

Vannes et détendeurs

Découvrez nos vannes de réglage d'abrasif et détendeurs de pression spécial sablage fig.....



Figure III-7 : Vannes et détendeurs

Vannes et détendeurs

Couvercles et grilles tamis

Découvrez tous nos couvercles et grilles tamis adaptés à votre machine de sablage



Figure III-8 : Couvercles et grilles tamis

Couvercles et grilles tamis

Mise en oeuvre :

Porter une combinaison ou de vieux habits, des gants, des lunettes de protection très enveloppantes et un masque équipé de cartouches filtrantes pour la poussière. Disposer sur l'aire de travail une grande bâche afin de récupérer le sable(onéreux).

- Ce dernier doit être calibré pour éviter l'obstruction du pistolet. L'idéal est d'utiliser du sable spécifique, plus abrasif, mais il est possible d'acheter un sable de rivière tamisé. Le Verser dans un seau et plonger la carotte de succion au centre.

- Tenir la buse assez près de la pièce à traiter et appuyer sur la gâchette. Le puissant jet de sable projeté sur la couche de rouille la fait éclater localement. Déplacer le pistolet en travaillant de proche en proche jusqu'à voir apparaître le métal sain. L'accès aux recoins est ici facilité par l'embout tubulaire inséré dans la buse.

- Le métal doit être protégé pendant les vingt-quatre heures suivant le décapage. Le meilleur revêtement est la peinture époxy projetée en poudre mais elle ne peut se faire que dans un atelier spécialisé. Sinon, utiliser les moyens classiques : peinture ou vernis glycérophtaliques.

III.4 Contrôle de dureté

Introduction:

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

À la différence des minéraux dont la dureté est caractérisée par rayage (échelle de Mohs), on utilise généralement des essais de rebondissement ou de pénétration pour caractériser la dureté des métaux, des matières plastiques et des élastomères. Ces essais ont l'avantage d'être plus simples à réaliser et de donner des résultats reproductibles. Il existe une grande variété d'essais de dureté possibles, ils sont très utilisés en contrôle qualité pour comparer ou estimer la résistance ou la rigidité des matériaux. [18]

III.4.2 Caractérisation mécanique :

a. Microdureté

A la différence des minéraux dont la dureté est historiquement caractérisée par rayage on utilise généralement des essais de rebondissement ou de pénétration pour caractériser la dureté des métaux

b. Mesures de dureté par pénétration

Il s'agit des essais les plus couramment pratiqués. Le principe est toujours identique un pénétrateur indéformable laisse une empreinte dans le matériau à tester. On mesure les dimensions de l'empreinte et on en déduit la dureté.

Dans une première approche, on peut relier de manière assez simple la limite d'élasticité R_e avec la surface de l'empreinte : plus l'objet pénétrant s'enfonce, plus la surface S de pression s'agrandit, donc la force F étant constante, plus la contrainte diminue. Lorsque la contrainte n'est plus suffisante pour déformer plastiquement le solide à tester, l'objet pénétrant s'arrête, et on a donc :

$$R_e = \frac{F}{S}$$

Les valeurs de dureté obtenues grâce aux différents protocoles et dispositifs d'essais

indiqués ci-dessous sont cette limite d'élasticité R_e mais les résultats ne sont pas identiques car ces calculs simplifiés prennent en compte la surface de la projection de l'empreinte (comme un disque ou un carré) au lieu de prendre en compte la vraie surface de l'empreinte (comme la surface de la calotte sphérique ou des facettes de l'empreinte pyramidale). Un essai Brinell et un essai Vickers sur la même éprouvette ne donnent pas la même valeur en résultat, mais en ramenant par le calcul la valeur de la force à la vraie surface de l'empreinte (respectivement.

III.4.3 Essai de dureté Brinell

L'essai consiste à faire pénétrer en appliquant une force F un pénétrateur ayant une forme de bille dans un métal afin d'en déduire la dureté de ce matériau.

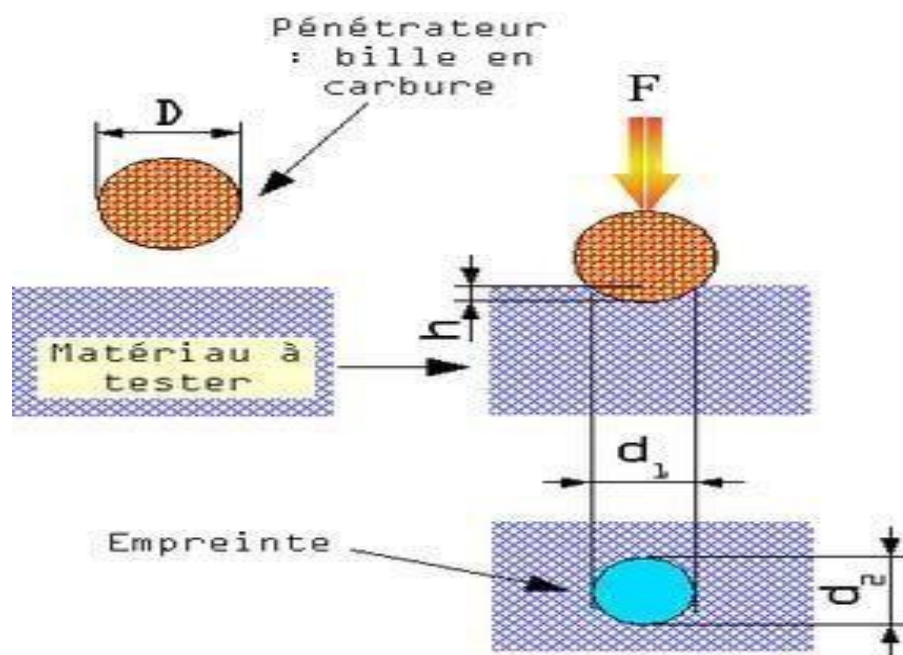


Figure III-9 : Essai de dureté Brinell

- H_B : dureté Brinell
- D : diamètre du pénétrateur (mm)
- d_1 et d_2 : mesure de l'empreinte réalisée à 90° (mm)
- h : profondeur (mm)
- F : charge d'essai (N)
- g : accélération de la pesanteur

$$H_B = \text{Constante} \cdot \frac{\text{Charge de l'essai}}{\text{Surface de l'empreinte}}$$

$$= 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Avec : $\text{Constante} = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,8066} = 0,102$

Matière : généralement du carbure poli

Dimension : diamètre D

La surface du matériau doit être plane et nettoyée (sans lubrifiant, oxyde ou calamine). Il est nécessaire matériau. Dans le cas contraire, la mesure ne serait pas fiable. Il faut une épaisseur d'au moins huit fois la profondeur h de l'empreinte. Mode opératoire d'avoir une épaisseur suffisante afin que la pénétration de la bille ne déforme pas le lacer le pénétrateur en contact avec la surface du matériau. Appliquer la force. Maintenir cette charge pendant 10 à 15 secondes.

Mesurer sur l'empreinte deux diamètres à 90° l'un de l'autre. La mesure est effectuée à l'aide d'un dispositif grossissant et d'une règle graduée tenant compte du facteur de grossissement.

Le pénétrateur est identique au pénétrateur de la dureté Brinell. D'une manière plus générale, on utilise le même duromètre que celui utilisé pour la dureté Brinell. [3]

III.4.4 Essai de dureté Vickers:

La mesure de dureté Vickers se fait avec une pointe pyramidale normalisée en diamant de base carrée et d'angle au sommet entre face égal à 136°. L'empreinte a donc la forme d'un carré ; on mesure les deux diagonales d_1 et d_2 de ce carré à l'aide d'un appareil optique. On obtient la valeur d en effectuant la moyenne de d_1 et d_2 . C'est d qui sera utilisé pour le calcul de la dureté. La force et la durée de l'appui sont également normal utilisées. [23]

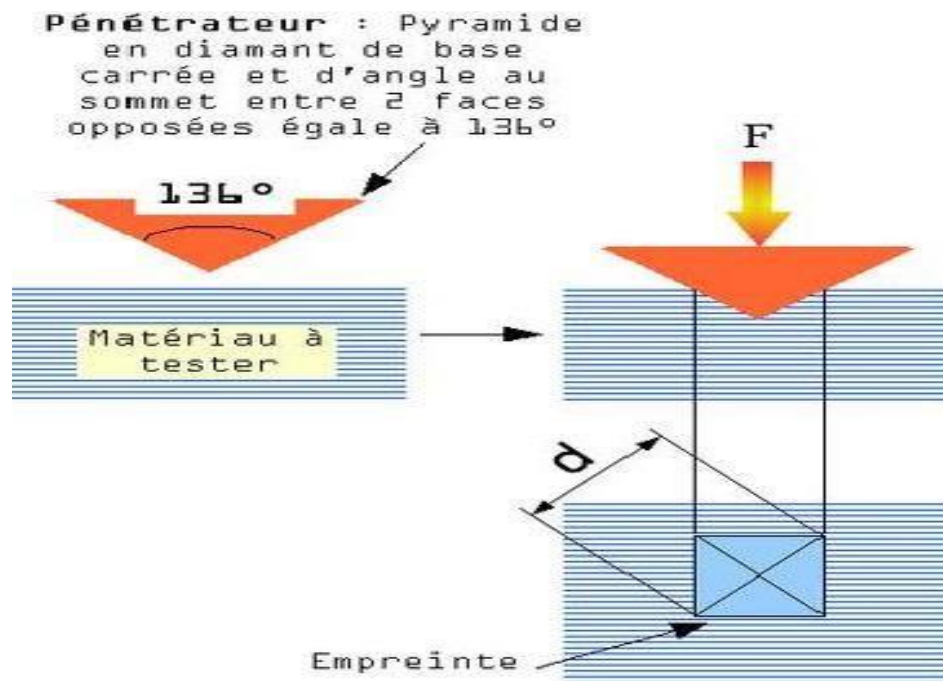


Figure III-10 : Essai de dureté Vickers

H_V : dureté Vickers

- d_1 et d_2 : mesure de l'empreinte réalisée à 90° (2 diagonales du carré de l'empreinte)(mm)
- F : charge d'essai (N)
- g : accélération de la pesanteur avec :

$$H_V = \text{Constante} \cdot \frac{(\text{Charge de l'essai})}{(\text{Aire de l'empreinte})}$$

$$= 0,102 \cdot \frac{2F \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d^2}$$

$$= 0,189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

$$d = \frac{d_2 + d_1}{2}$$

$$\text{Constante} = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,8066} = 0,102$$

Le degré de dureté, noté Hv, est ensuite lu sur un abaque (une table) ; il y a un abaque par force d'appui [3].

III.4.5 Essai de dureté Rockwell:

Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier)

Principe

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge.

L'essai se déroule en trois phases

- Application sur le pénétrateur d'une charge initiale $F_0 = 98$ N (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I . Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesurer la dureté Rockwell.
- Application d'une force supplémentaire F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de P . Relâchement de la force F_1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement. La valeur de r étant l'enfoncement rémanent obtenu en appliquant puis en relâchant la force F_1 .

La valeur de dureté est alors donnée par la formule suivante :

Échelle B, E et F

$$HRB = 130 - r$$

Échelle C

$$HRC = 100 - r$$

Une unité de dureté Rockwell correspondant à une pénétration de 0,002 mm. [3]

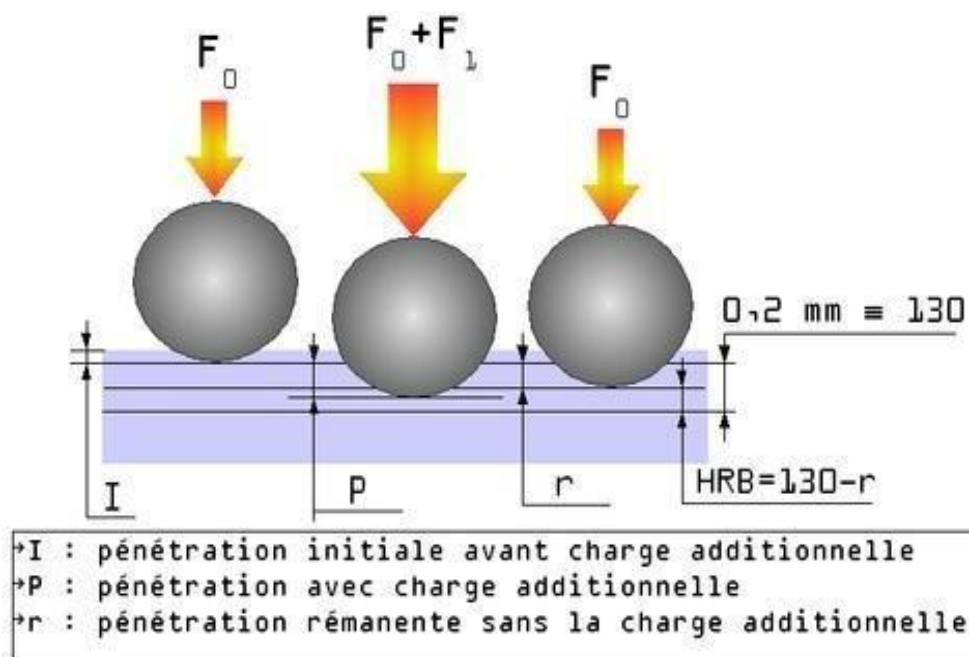


Figure III-11: Essai de dureté Vickers

Type d'essai	Préparation de la pièce	Utilisation principale	Commentaire
Brinell	La surface de la pièce ne nécessite pas une préparation extrêmement soignée (tournage ou meulage)	En atelier	La méthode ayant la mise en œuvre la plus facile des trois méthodes.
Rockwell	Bonne préparation de surface (au papier de verre). La présence de rayures donne des valeurs sous estimées.	En atelier	L'essai est simple et rapide Convient bien pour des duretés plus élevées (supérieures à 400 Brinell). Elle est plutôt utilisée pour les petites pièces (il est nécessaire que la pièce soit parfaitement stable) La dureté Rockwell présente l'inconvénient d'avoir une dispersion relativement importante.
Vickers	État de surface très soigné (on obtient de petites empreintes, la présence d'irrégularité gêne la lecture).	En laboratoire	C'est un essai assez polyvalent qui convient aux matériaux tendres ou très durs. Il est utilisé généralement pour des pièces de petites dimensions..

Tableau III-6 : Les exigences techniques de chaque principe

III.4.6 Essai de Traction :

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'une grande hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques. Cet essai a comme objectif :

- de faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction et des capteurs qui y sont appliqués;
- de mesurer des courbes de traction sur des alliages d'aluminium, de cuivre et des aciers;
- d'interpréter les résultats obtenus: déterminer la limite élastique, l'allongement à rupture etc...
- d'estimer la précision de mesure [19].

III.4.7 Les éprouvettes

L'essai de traction est exécuté soit sur des barres de section constante, soit sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques prolongées de part et d'autre par des têtes d'attache de forme appropriée pour la fixation. Afin de garantir des résultats obtenus sous contrainte uni axiale, toutes les déterminations faites au cours de l'essai ne portent que sur une partie de la longueur de l'éprouvette. Afin d'éviter toute influence de la force pinçant des mors, elles doivent être suffisamment loin des points d'amarrage. Les têtes ont une section supérieure à celle de la partie cylindrique de façon qu'elles ne subissent aucune déformation plastique et qu'elles ne cassent pas en premier. Comme la limite d'écoulement plastique dépend aussi des contraintes latérales, on doit essayer d'éviter toute influence de la force pinçant des mors. Ceci n'est pas un détail que l'on doit respecter seulement lorsqu'on effectue l'essai de traction. Dans la pratique aussi, on doit garder à l'esprit que la limite d'écoulement plastique déterminée dans un essai de traction ne tient compte que d'un état de contrainte uni axiale. L'éprouvette fixée par ses têtes, entre deux mordaches, est soumise à un effort de traction suivant son axe. Une longueur de base L est définie par la distance séparant les deux repères que constituent les points d'attache de l'extensomètre. Les repères sont à tracer très finement, afin qu'ils ne

puissent pas constituer des amorfes de rupture.

En augmentant l'effort de façon continue, il y a d'abord l'allongement élastique uniforme et

Puis, au-delà de la limite d'écoulement plastique (= limite d'élasticité), l'allongement plastique qui s'y ajoute. Au début, la déformation plastique est encore uniforme mais vers la fin lorsque la rupture s'approche, il y a apparition d'une striction (déformation non uniforme) et rupture.

Au-delà de la limite élastique, la courbe de traction force = f(allongement) ne dépend pas seulement de la déformation, mais aussi des dimensions géométriques de l'éprouvette.

Lorsque la déformation commence à se localiser et ne se produit qu'à l'endroit de la striction, il importe par quelle longueur L (longueur de mesure initiale) on divise l'allongement ΔL pour obtenir la déformation moyenne. Afin de pouvoir comparer deux allongements à la rupture,

on doit donc se baser sur des règles de similitude. L'expérience a montré que l'allongement relatif de deux éprouvettes mesuré sur la base d'une longueur L ne dépend pas de la forme de la section droite (aire initiale S_0) si le rapport $\frac{L_0}{\sqrt{S_0}}$ est le même. Pour pouvoir comparer les

résultats provenant de différents laboratoires, les normes fixent ce rapport à $\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \approx 5,65$ soit,

$L_0 = 5 * d_0$ pour les éprouvettes cylindriques (diamètre d_0), ou alternativement $\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = 11,3$ soit,

$L_0 = 10 * d_0$. Pour une description plus détaillée, consulter les normes citées dans la bibliographie.

Mis à part les dimensions géométriques, le prélèvement des éprouvettes n'est pas sans influence sur la courbe de traction. Bien que le travail avec des monocristaux soit extrêmement rare, nous mentionnons ici que dans ces cristaux les propriétés élastiques et plastiques sont fortement anisotropes, c.-à-d. dépendantes de la direction de traction par rapport aux axes cristallographiques. Pour les échantillons polycristallins, on admet habituellement que les axes cristallographiques des grains soient orientés au hasard et que, de ce fait, ils ont des propriétés isotropes. Or cette supposition n'est pas toujours justifiée.

Notamment des produits laminés, emboutis, martelés ou tréfilés présentent souvent des textures importantes. Ceci les place entre les monocristaux et les poly cristaux et la direction selon laquelle l'éprouvette est prélevée n'est donc pas sans importance.

La fig. 1 montre un exemple d'éprouvette avec têtes filetées. Ce type est très souvent utilisé en raison de sa fixation simple et sûre, en particulier lorsqu'il s'agit d'effectuer des essais de traction avec des extensomètres de précision. Les éprouvettes filetées présentent en plus l'avantage de se prêter parfaitement à des essais cycliques, changeant d'un état de compression à un état de traction. Le jeu lors du passage reset minimal [22].

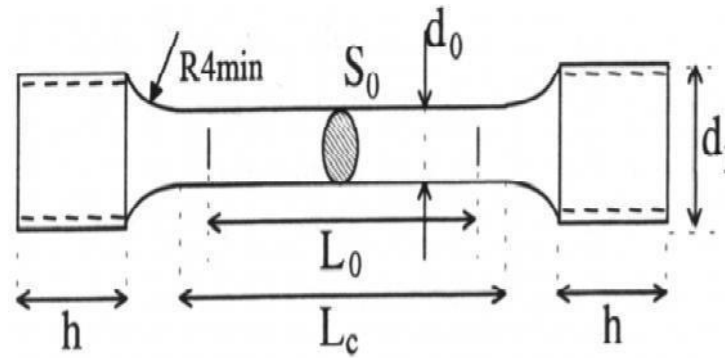


Figure III-12 : Exemple d'une éprouvette de traction

$d_0 = \varnothing$ partie calibrée

$d_1 = \varnothing$ des têtes filetées

$L_0 =$ longueur entre repère = $5 d_0$

$L_C =$ longueur calibrée

$h =$ longueur des têtes

III.4.8 Diagramme de traction

Les valeurs mesurées directement lors d'un essai de traction sont la force F et l'allongement ΔL , plutôt que les contraintes et la déformation. La contrainte σ , rapportée dans un diagramme de traction est la force divisée par la section initiale S_0 de l'éprouvette (contrainte nominale).

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

De même la déformation ε , se réfère à la longueur initiale L_0 de la partie délimitée par l'extensomètre (déformation nominale).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

On parle de diagrammes rationnels quand on détermine les contraintes et les déformations vraies. Ils sont obtenus en divisant la force ou l'allongement par la section, respectivement la longueur instantanée. Ici nous nous contentons du premier type de diagramme qui est d'ailleurs le diagramme d'usage commun. La figure 2 illustre l'allure que peuvent avoir les courbes de traction de différents matériaux [23].

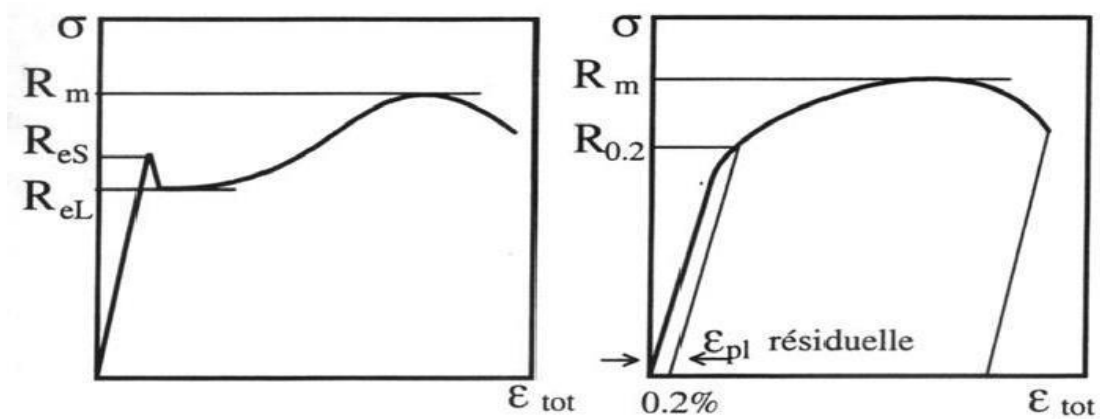


Figure III-13: Schéma représentant 2 types différents de courbes de traction

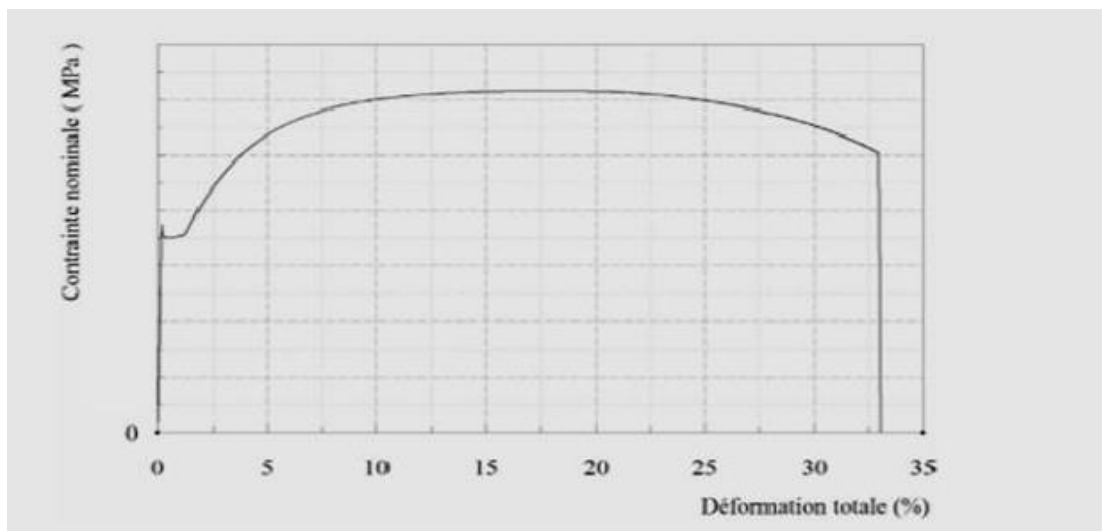


Figure III-14: Courbe de traction monotone de l'acier XC38 en température ambiante

III.4.9 Module d'élasticité

Le *module d'élasticité* ou module de Young est défini comme la pente de la partie droite partant de l'origine du diagramme. Sa détermination par un essai de traction nécessite impérativement un extensomètre de bonne précision car la rigidité finie, même de la machine la plus robuste, est susceptible de modifier cette pente. Lorsque l'éprouvette n'est pas proprement alignée, la première partie de la courbe est arrondie. Dans la pratique il n'est d'ailleurs pas facile de commencer les mesures exactement à la force 0, car la fixation rigide d'une éprouvette qui résiste à plusieurs tonnes ne va pas sans effort. Le tableau 1 rassemble les valeurs typique du module d'élasticité pour différents alliages et métaux purs. Comme le module d'élasticité est principalement fonction des forces interatomiques, on constate que celui-ci est relativement peu sensible aux éléments d'alliage, au traitement thermique ou à l'écroutissage.

Matériaux	Module d'élasticité (GPa)
Acier Carbone	210
Fer	211
Alliage de cuivre	124
Cuivre	130
Alliage d'aluminium	72
Aluminium	70

Tableau III-7: Valeur typique du module d'élasticité pour différent métaux

Limite élastique conventionnelle Rp0.2

La fixation d'un seuil d'écoulement plastique n'est pas possible sans convention car, même à des contraintes largement en dessous de Rp0.2, on observe à l'aide des instruments hautement précis des déformations irréversibles. Pour la plupart des constructions mécaniques des déformations aussi faibles sont insignifiantes. On préfère donc une limite plus élevée et aussi plus facilement déterminable. Ainsi on fixe la limite conventionnelle d'élasticité à la contrainte maximum applicable qui laisse, après décharge, une déformation permanente (plastique) de 0,2 %. Pour la mécanique de précision les exigences sont plus poussées, et on détermine parfois de manière analogue Rp0.02. La valeur s'obtient en augmentant graduellement

la force de traction jusqu'à ce que après déchargement, l'allongement résiduel atteigne la valeur cherchée ou on peut aussi tracer une ligne parallèle à la droite élastique passant par $\varepsilon = 0.2\%$

La limite apparente d'élasticité supérieure/inférieure Res /Rel

L'apparition d'une chute de la contrainte, après dépassement de la limite d'élasticité supérieure, est un phénomène que présente le fer, les aciers doux, la plupart des métaux ayant une structure cubique centrée et contenant des impuretés interstitielles, ainsi que plusieurs autres alliages, notamment l'Al-Mg. On y trouve une limite d'élasticité supérieure suivie d'une chute de la contrainte.

A partir de là, la déformation augmente à une valeur de contrainte constante, appelée limite d'élasticité inférieure (palier de la courbe). A la fin du palier, la déformation se poursuit suivant le mode habituel.

La résistance à la traction Rm C'est la charge appliquée au maximum de la courbe

$F = f(\Delta L)$ divisée par la section initiale (= maximum de la contrainte nominale).

L'allongement à la rupture A

C'est la déformation nominale (allongement divisé par la longueur initiale) après rupture exprimée en %. En raison de la localisation de la déformation, la majeure partie de l'allongement ne provient que d'une fraction de la longueur L_0 . La valeur de A est donc d'autant plus petite que l'éprouvette est longue. C'est pour cette raison que l'on doit mentionner le rapport L_0/d_0 avec la valeur de l'allongement. On désigne par A5 et A10 l'allongement obtenu sur des éprouvettes ayant un rapport L_0/d_0 de 5 et 10 [23].

III.4.10 Structures métallographiques des aciers

L'étude métallographique est un moyen de contrôle essentiel de la structure micrographique des matériaux métalliques. Toute étude de matériaux métalliques passe presque toujours par l'étude des constituants micrographiques. Ce sont eux qui donnent aux métaux leurs afférentes caractéristiques mécaniques. Toutes les étapes de la vie d'un matériau sont concernées. Mise au point, utilisation, détérioration par corrosion, fatigue, rupture, etc.

Quelques exemples d'images visualisées**III.4.10.1 Austénite**

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer gamma la quantité de carbone atteint 1.7 % à 1145°, ce constituant n'existe pas à la température ordinaire, il est stable qu'à haute température, il ne peut exister à la température ambiante que par un maintien hors équilibre à la faveur d'éléments d'alliage tel que par exemple Ni et Mn (aciers austénitiques), l'austénite est très ductile, entre 240 - 300 HB [5]. Cette dernière est représentée sur

la figure I5.

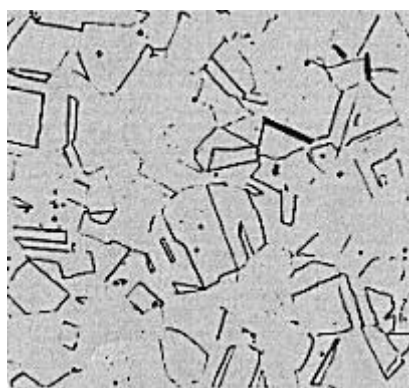


Figure III-15 : Austénite d'un acier 1.7% C
(Grossissement 200)

III.4.10.2 Perlite :

La perlite est un agrégat de ferrite et de cémentite à 0.85% en masse de carbone (eutectoides) qui peut avoir deux aspects : lamellaire ou globulaire (ou coalescée), (voir

fig.I.11 et I.12) elle ne dissout pas le carbone, elle est magnétique est ductile, dureté (HB=200-250), traction ($R_m \approx 830 \text{ N/mm}^2$) allongement ($A\% \approx 10$), facile à usiner elle offre une assez bonne résistance aux efforts statiques et à l'usure par frottements. Sous sa forme globulaire, elle se présente sous la forme d'une matrice ferritique, dans laquelle sont enchâssée des particules de cémentite. Sous sa forme lamellaire des lamelles de ferrite et de cémentite dont l'épaisseur et les écarts dépendent de la vitesse de refroidissement. On distingue une alternance de bandes claires et sombres qui ne représentent pas les constituants mais correspondent aux zones planes et inclinées de l'échantillon, provoquées par l'abrasion préférentielle causée par le polissage. A faible grossissement, les lamelles peuvent ne pas être distinctes [24].



Figure III-16: Structure perlitiques dans un acier eutectoïde

(Grossissement 200)



Figure III-17 : ferrite+perlite (0.3% C

Carbone)

(Grossissement 200)

III.4.10.3 Trostite:

La trostite est un agrégat lamellaire semblable à la perlite, mais de dimension microscopique et de dureté plus élevée, dureté supérieure à 400HB, souvent on rencontre la trostite avec la martensite, elle est précipitée par une trempe douce au cours de la décomposition de l'austénite [6].

III.4.10.4 Martensite:

La martensite est un constituant de trempe engendré au cours de la décomposition de l'austénite, la structure se présente sous la forme d'aiguilles, la martensite est une ferrite au réseau détendu sursaturé de carbone, elle est très dure entre 500 - 650 HB selon la teneur en carbone, et difficilement usinable [6].(voir Fig.I.13)

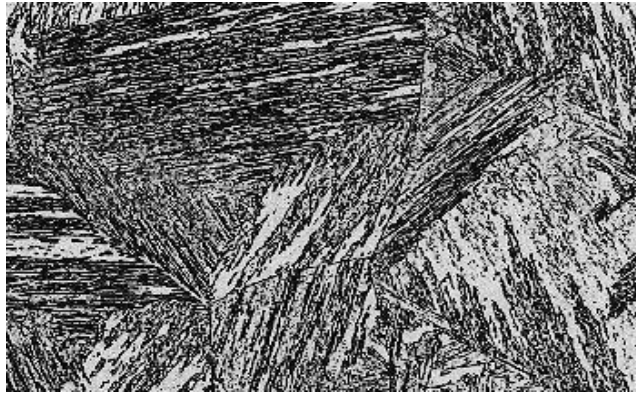


Figure III-18: Martensite

(Grossissement 200)

III.4.10.5 Ferrite

La ferrite est une solution solide de carbone dans le fer α .(structure cubique centrée) 0.005 % à 0.008%) de carbone à température ambiante - environ 0.03 % à 720 °C

- la ferrite peut contenir en solution des éléments variés tel que le Cr-Ni-Si-P. Elle est ductile et malléable Hv : 80 à 100 ~ Rm=300N/mm² ~ A=35% (allongement) la ferrite est magnétique jusqu'à 770 °C (point de curie) Après attaque au Nital, elle se présente sous forme de polyèdres blancs dont les joints de grains apparaissent en foncé [7].(voir Fig.I.14 et Fig.I.15)

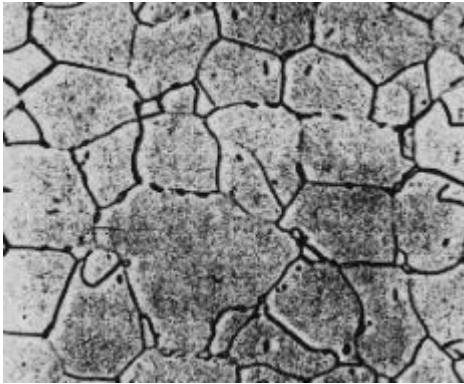


Figure III-19: Ferrite granulaire

(Grossissement 200)



Figure III-20: Ferrite aciculaire

(Grossissement 200)

III.4.10.6 Bainite

La bainite est un constituant de trempe intermédiaire, la structure à un aspect voisin de celui de la martensite, c'est un agrégat de ferrite et de carbures. C'est un constituant qui présente les mêmes phases que la perlite (ferrite et cémentite), mais de structure vraiment fine, souvent en aiguilles (voir fig.I.16) ce qui lui confère de bonnes propriétés mécaniques. Elle est dure et plutôt facile à usiner.

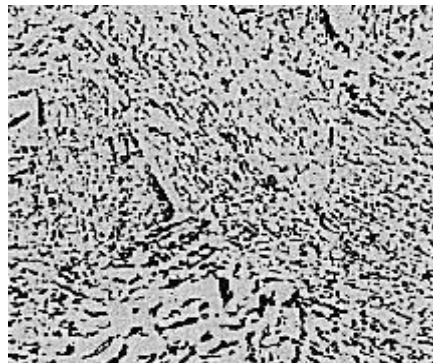


Figure III-21: Bainite 0.22% C

Acier 0.22 % de carbone

(Grossissement 250)

La bainite supérieure est une microstructure constituée de fines plaquettes de ferrite,

chacune ayant environ 0.2 micromètres d'épaisseur sur 10.

La bainite inférieure présente une microstructure et des caractéristiques cristallographiques très proches de celles de la bainite supérieure. La principale différence étant que les particules de cémentite précipitent dans les plaques de ferrite la bainite granulaire est l'absence principalement de carbures dans la microstructure. Le carbone est rejeté dans l'austénite qui la stabilise, de telle sorte que la microstructure finale contienne de l'austénite, un peu de martensite ceci à haute teneur en carbone, plus de la ferrite [7].

III.4.10.7 Sorbite

Constituant extrêmement fin qui se forme au cours du réchauffage d'un acier trempé martensitique (revenu) , sa structure est constitué par de fins carbures de fer (Fe_3C cémentite) dans une matrice ferritique, la sorbite possède une bonne résilience dureté 250-400HB [8].

Fer α

C'est un état stable du fer pur en dessous de 960°C. Il a une structure cristalline cubique Centrée [9]. Il ne dissout pratiquement pas le carbone, il est doux, très malléable et magnétique.

Fer γ

Etat stable du fer entre 960°C et 1400°C. De structure cristalline cubique à faces centrées. Il dissout facilement le carbone, il est paramagnétique [10].

CHAPITRE IV

Partie de Simulation

IV-1 SOLIDWORKS

IV-1-1 Introduction

Le logiciel SOLIDWORKS est une application de conception mécanique qui tire partie de l'interface utilisateur graphique de Microsoft Windows, grâce à ce logiciel les concepteurs peuvent esquisser rapidement une idée, expérimenter avec des fonctions et des cotes et produire des modèles et des mises en plan précis. Le logiciel SOLIDWORKS nous permet de concevoir rapidement des modèles précis

Les conceptions créées dans SOLIDWORKS sont :

Basés sur la modélisation 3D ; SOLIDWORKS adopte l'approche de modification 3D lorsque vous concevez une pièce, vous créez une entité 3D, de l'esquisse initiale jusqu'au modèle finale. A partir de cette entité 3D vous pouvez créer des mises en plan 2D ou contraindre différents composants pour créer des assemblages 3D, vous pouvez aussi créer des mises en plan 2D d'assemblages 3D. [28]

Outils de gorge réalisés par SOLIDWORKS

La conception de notre foret est réalisée par le logiciel SOLIDWORKS. La réalisation par extrusion

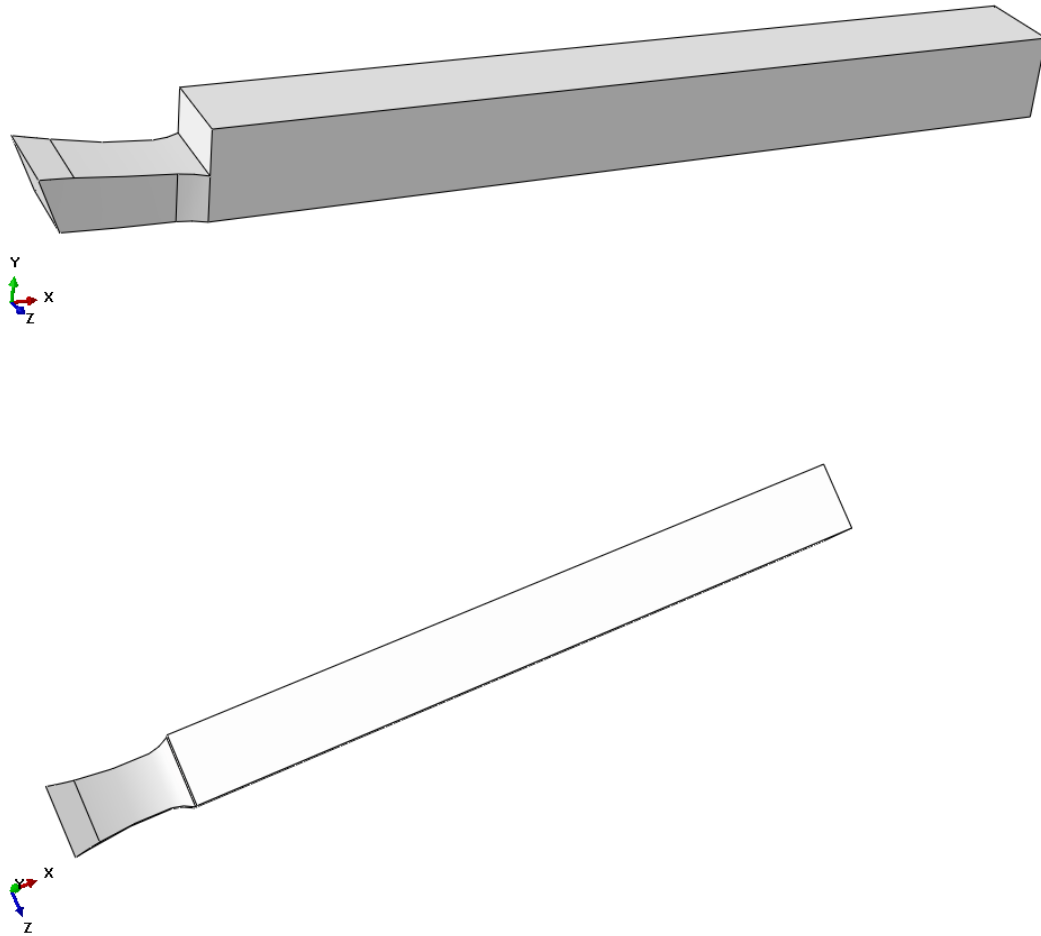


Figure IV 1 Représentation géométrique



Figure IV 2 Porte à outil de fixation de notre outil de gorge

IV-2 ABAQUS

IV-2-1 Introduction

ABAQUS est un logiciel de calcul par éléments finis développé par ABAQUS.

IL se compose de trois produits : ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit et ABAQUS /CAE.

ABAQUS/Standard est un solveur généraliste qui recourt à un schéma traditionnel d'intégration implicite

Le solveur ABAQUS/Explicit emploie un schéma d'intégration explicite pour résoudre des problèmes dynamiques ou quasi-statiques non –linéaires.

ABAQUS/CAE constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour les dits solveurs.

Chacun de ces produits est complété par des modules additionnels et/ou optionnels, spécifiques à certaines applications.

Les produits ABAQUS, ABAQUS/CAE notamment, sont écrits intégralement avec les langages C++, ou Fortran pour les parties calcul et python pour les scripts et les paramétrisations, la gestion de l'interface graphique est assurée par FOX Toolkit

ABAQUS est très largement utilisé dans les industries automobiles et aéronautiques. En raison du large spectre de ses capacités d'analyse et de sa bonne ergonomie, il est également très populaire dans les milieux universitaires, pour la recherche et l'éducation

ABAQUS fut d'abord conçu pour analyser les comportements non-linéaires. Il possède en conséquence une vaste gamme de modèles de matériau. Ses modélisations d'élastomères, en particulier, méritent d'être reconnues.

En 2005, ABAQUS a été acquis par Dassault Systèmes et est devenue SIMULIA.

Phase de mises en données

Pour les applications courantes, on peut distinguer 3 étapes dans la mise en données :

Étape 1 : Génération du maillage (nœuds, éléments)

Étape 2 : Conditions aux limites

Étape 3 : Etape de calcul (chargement, définition des résultats)

Réalisation de la mise en données d'un problème

La réalisation complète d'un jeu de données s'effectue après un passage successif dans les modules :

Part, Property, assembly, step, interaction, load, mesh, job (pour lancer le calcul). Type d'analyse : déformation ou contraintes planes, axisymétrie, série de fourié ; ect....

Formulation : mécanique, thermique, etc.....

Comportement du matériau : élastique (isotrope, orthotrope,), plastique (isotrope, parfait, ...) .etc. [25]

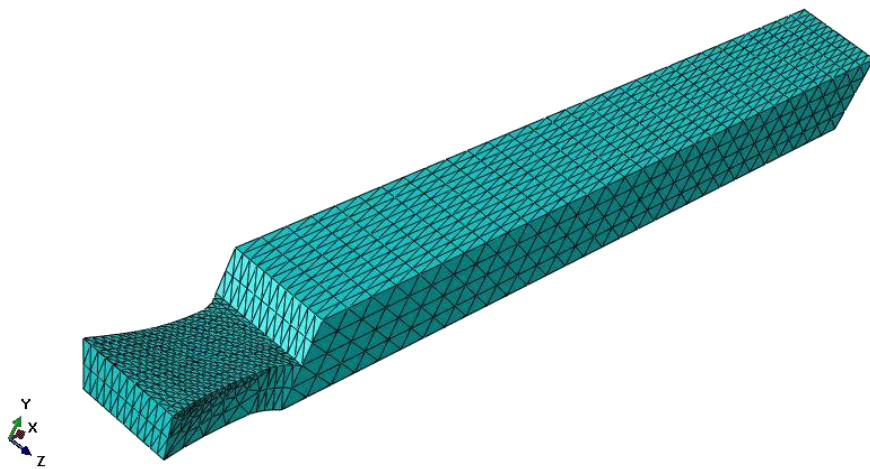


Figure IV 3 Modèle discrétisé

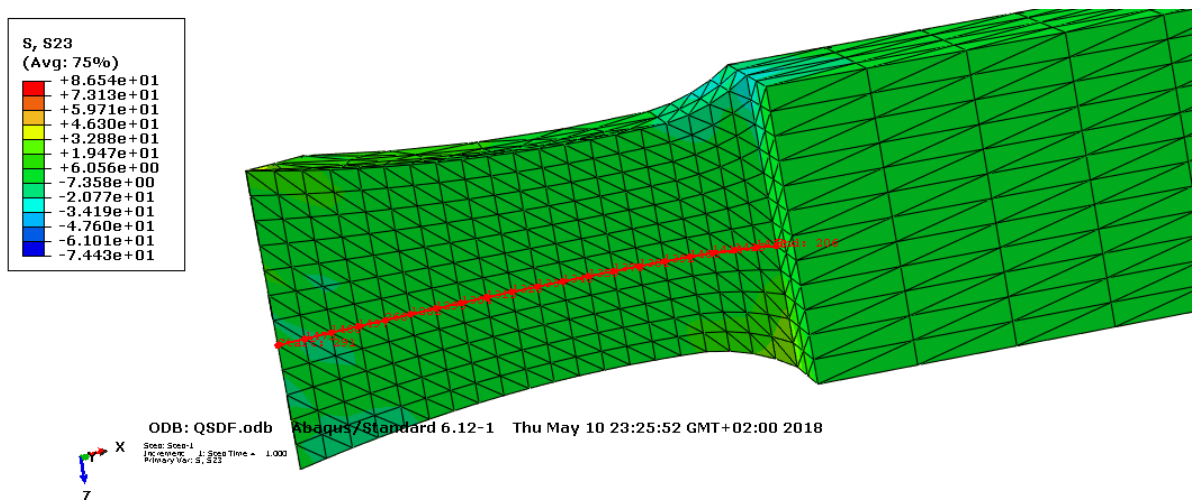


Figure IV 4 Patch des graphiques

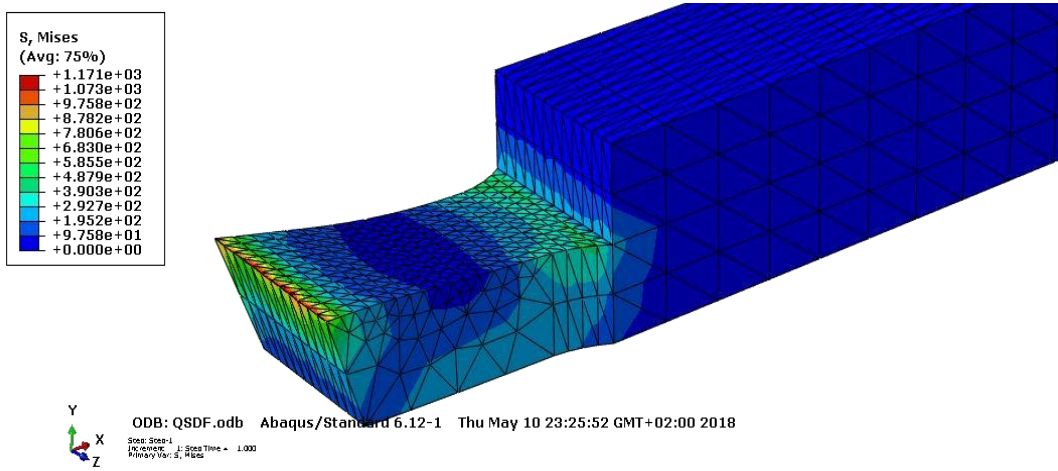


Figure IV 5 contraintes selon VAN Mises

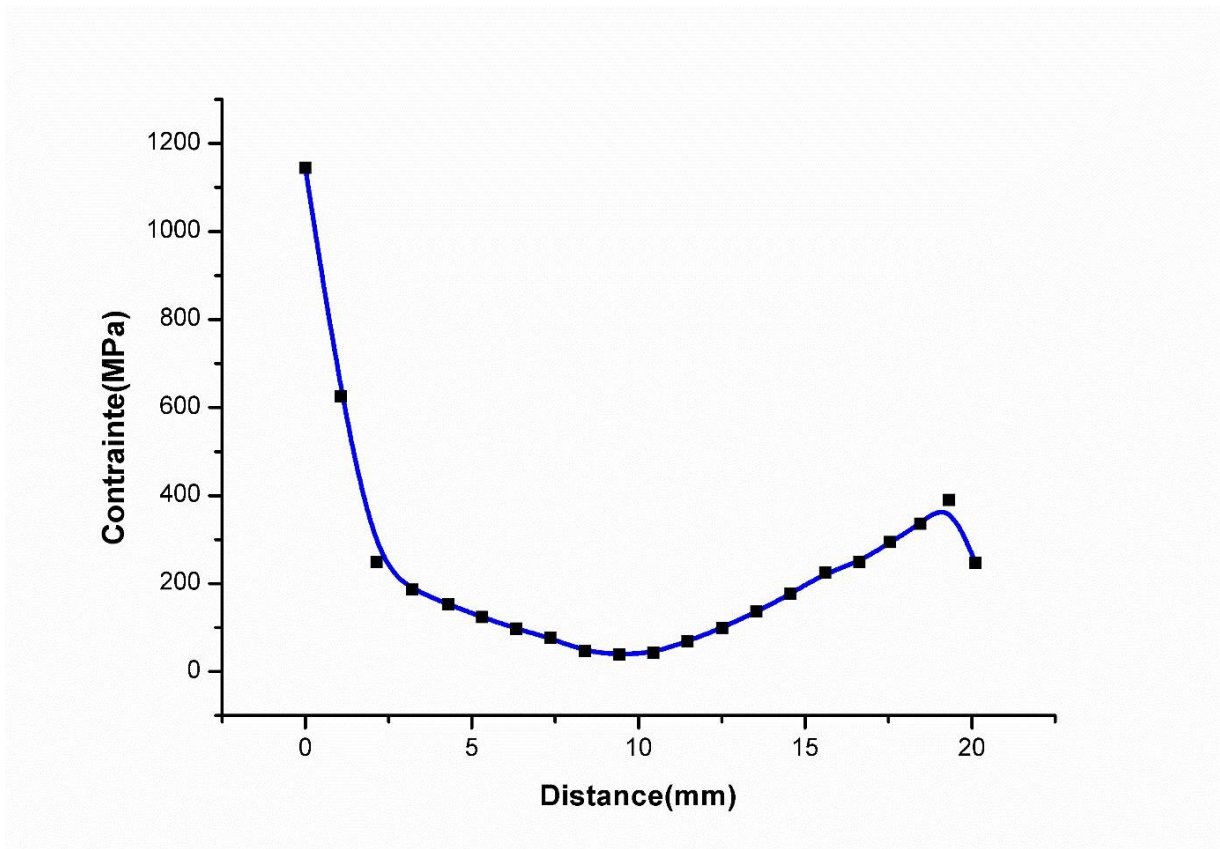


Figure IV 6 Distribution des contraintes VAN. Mises

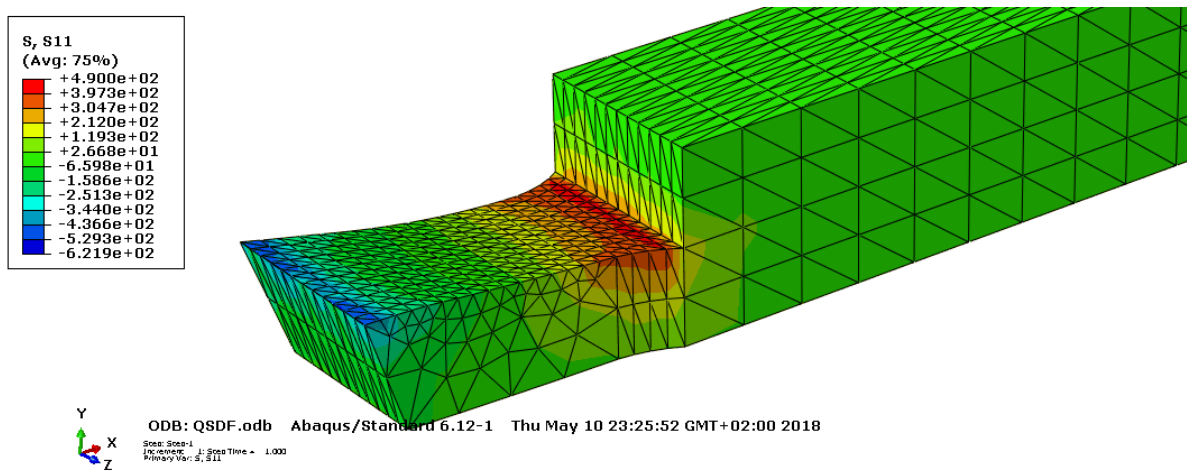


Figure IV 7 contraintes selon XX

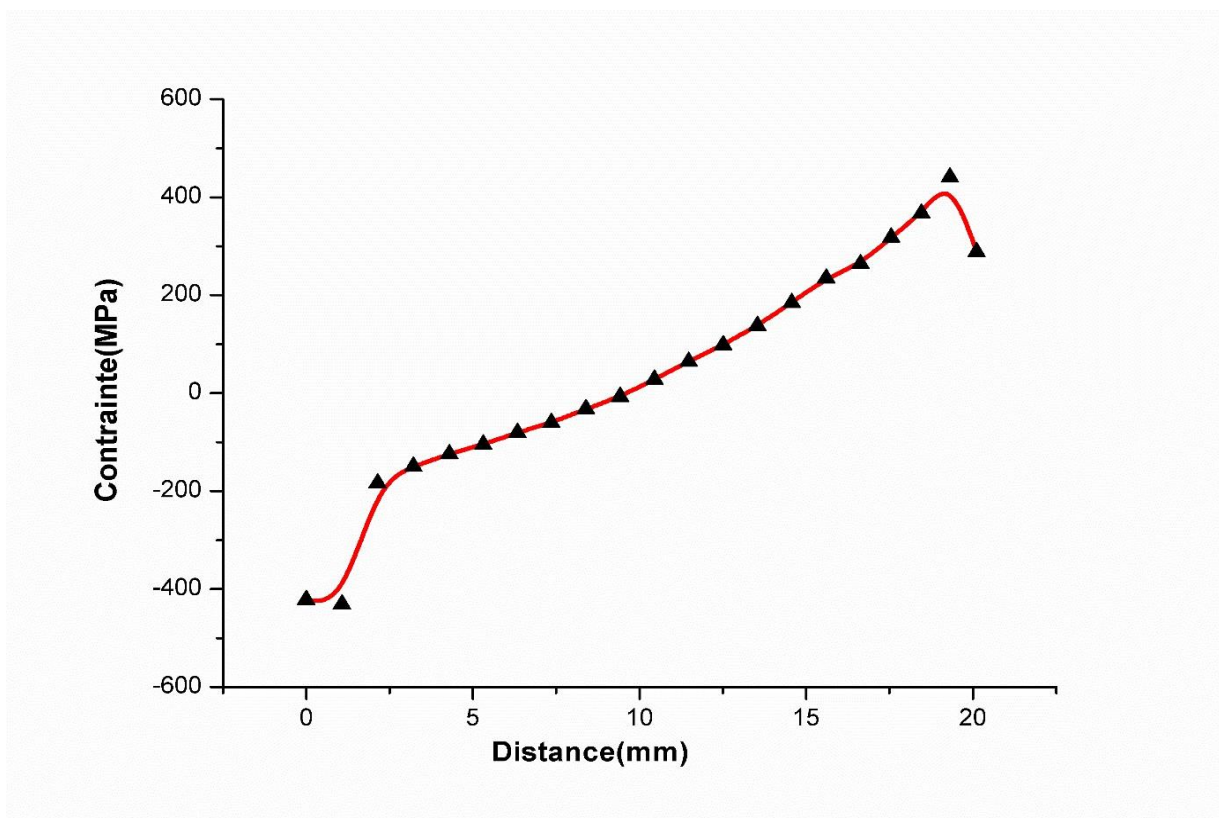


Figure IV 8 Distribution des contraintes normale σ_{xx} .

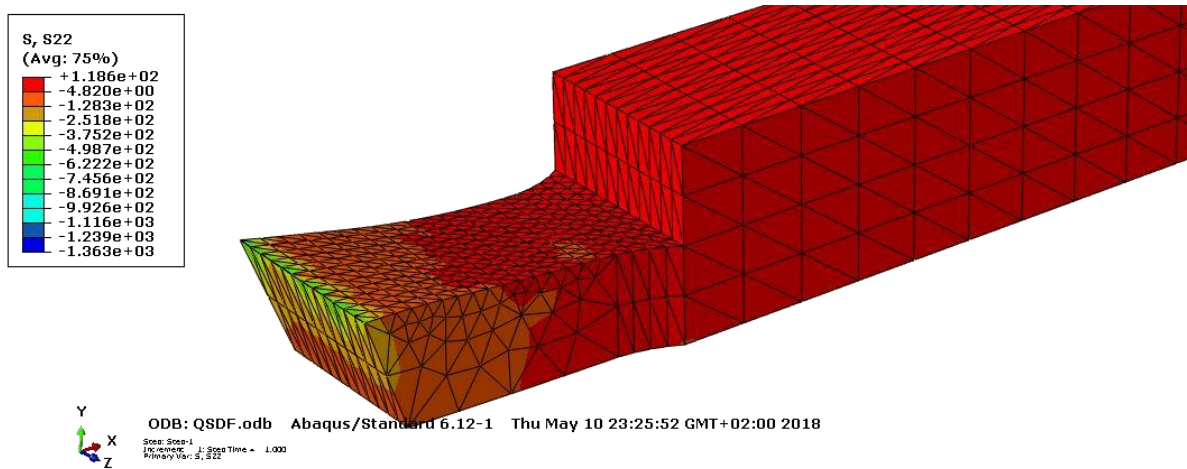


Figure IV 9 contraintes selon YY

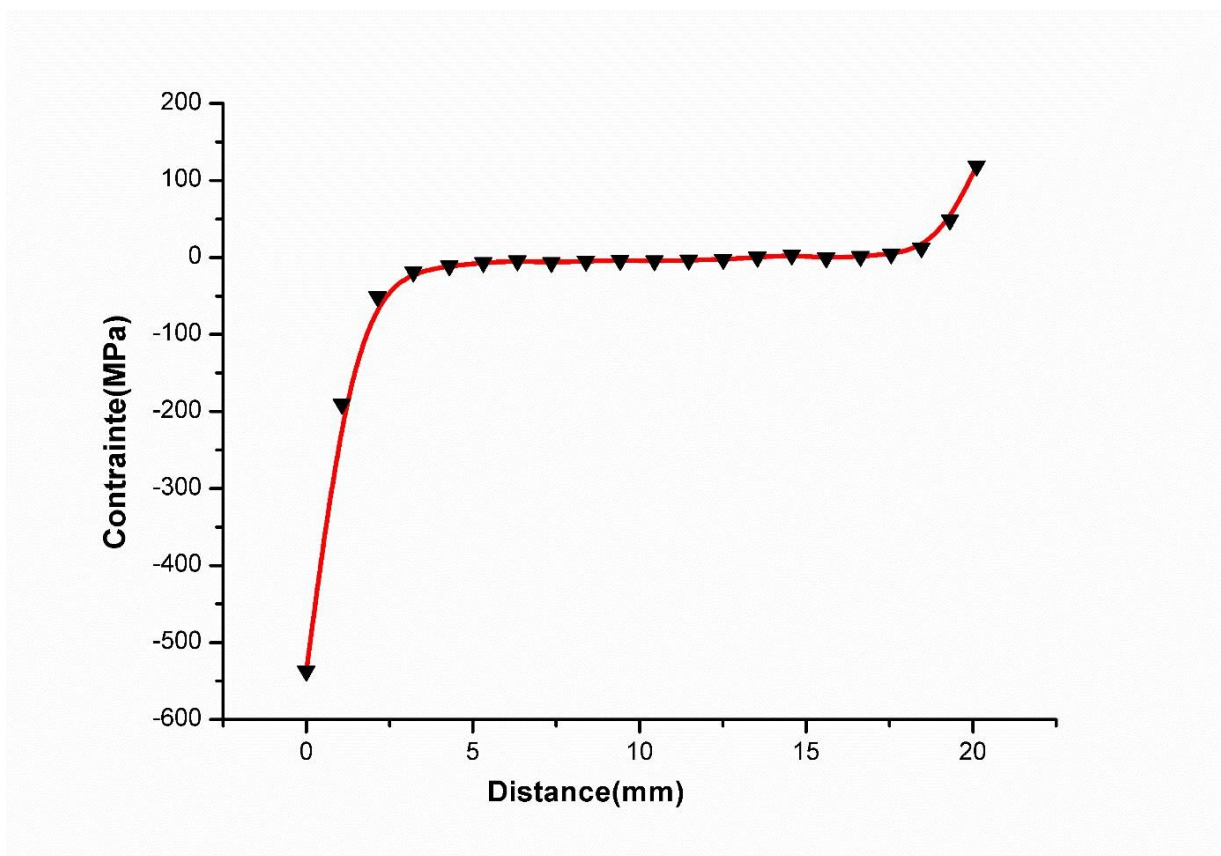


Figure IV 10 Distribution des contraintes normale σ_{yy} .

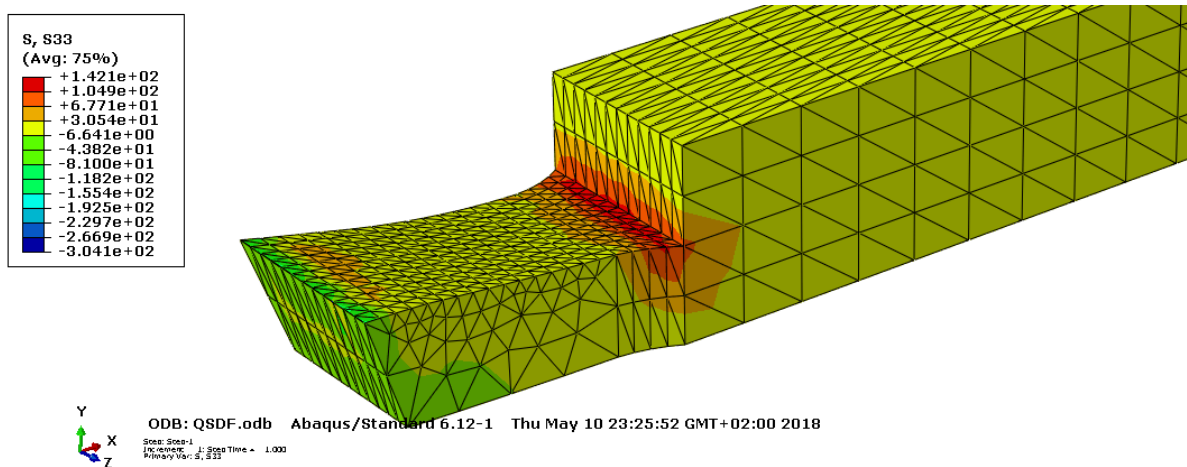


Figure IV 11 contraintes selon ZZ

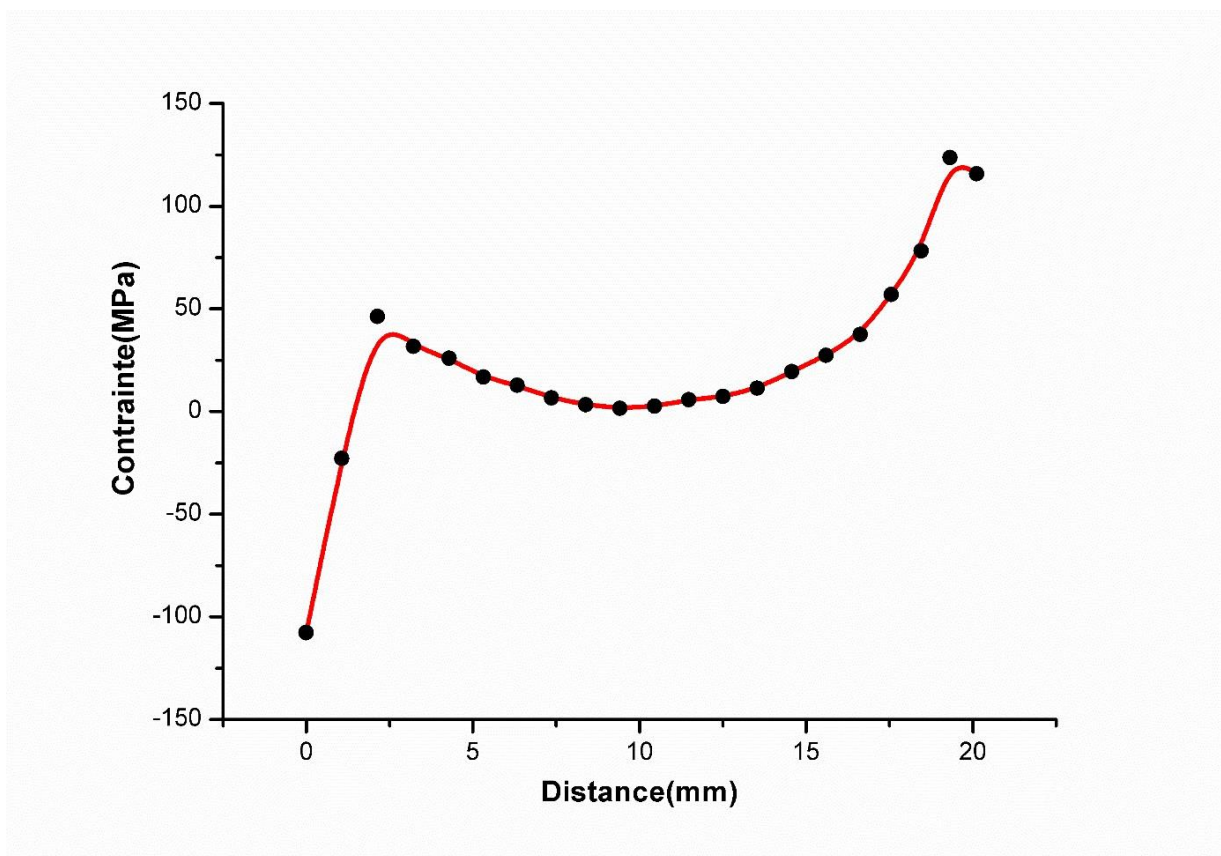


Figure IV 12 Distribution des contraintes normale σ_{zz} .

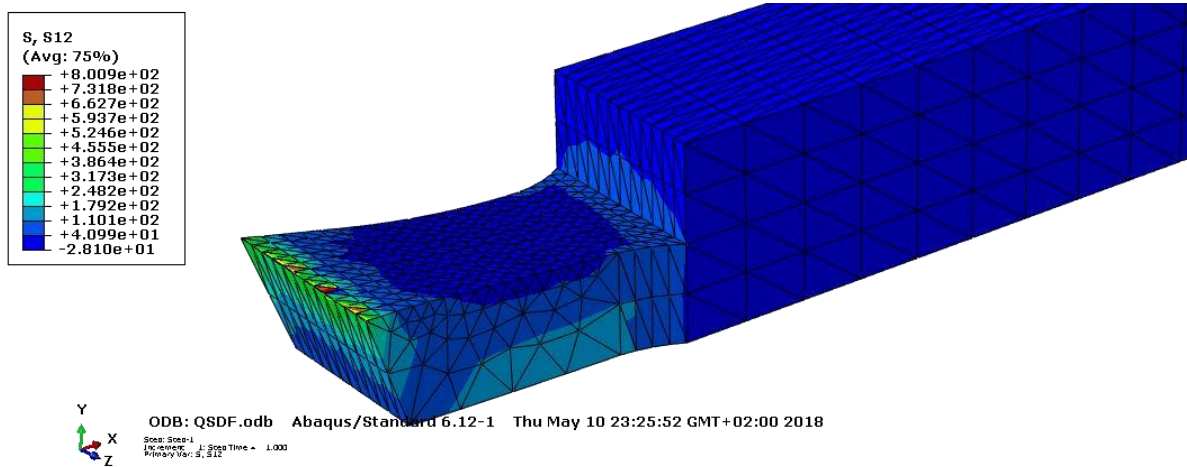


Figure IV 13 contraintes selon XY

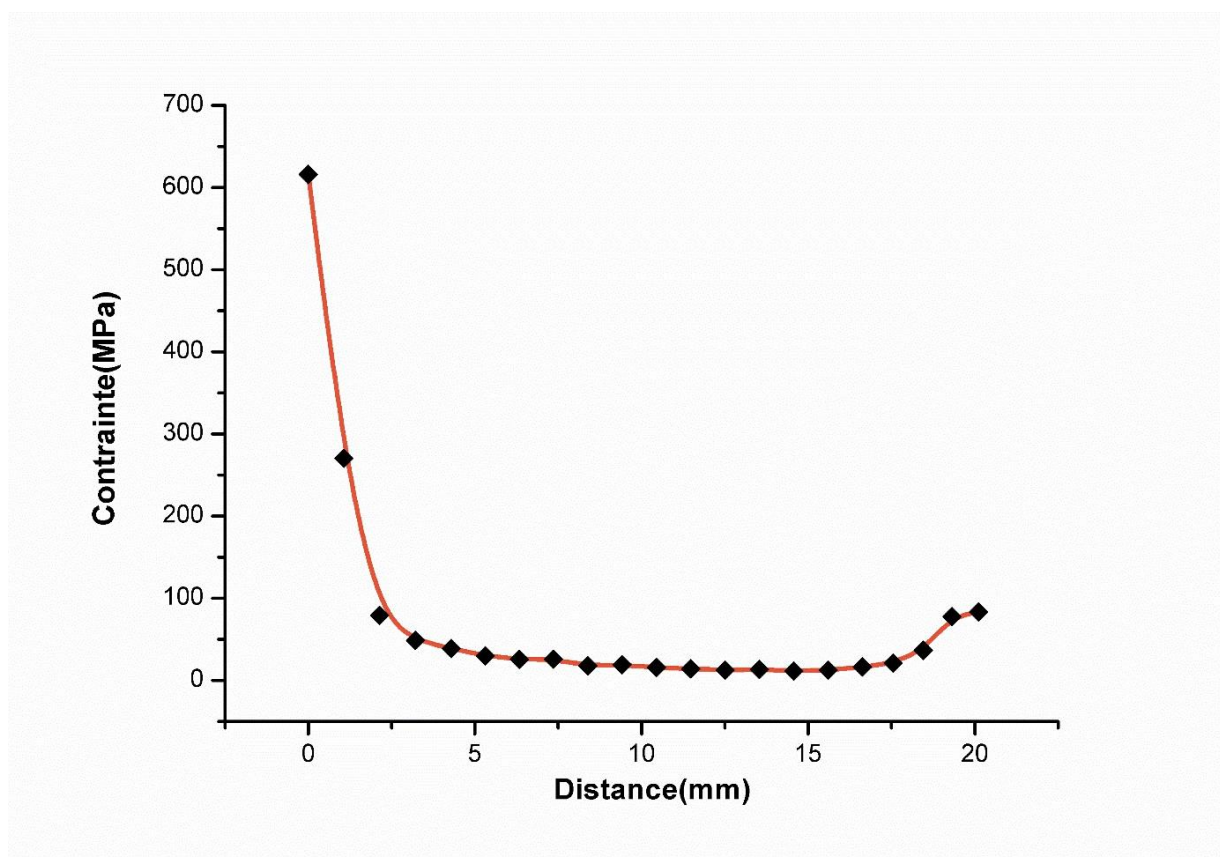


Figure IV 14. Distribution des contraintes tangentielle σ_{xy}

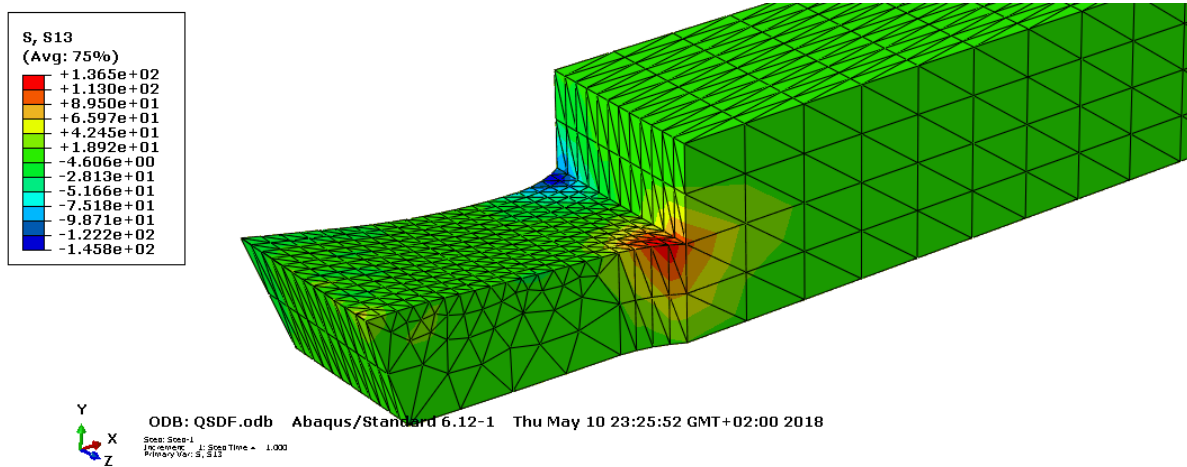


Figure IV 15 contraintes selon XZ

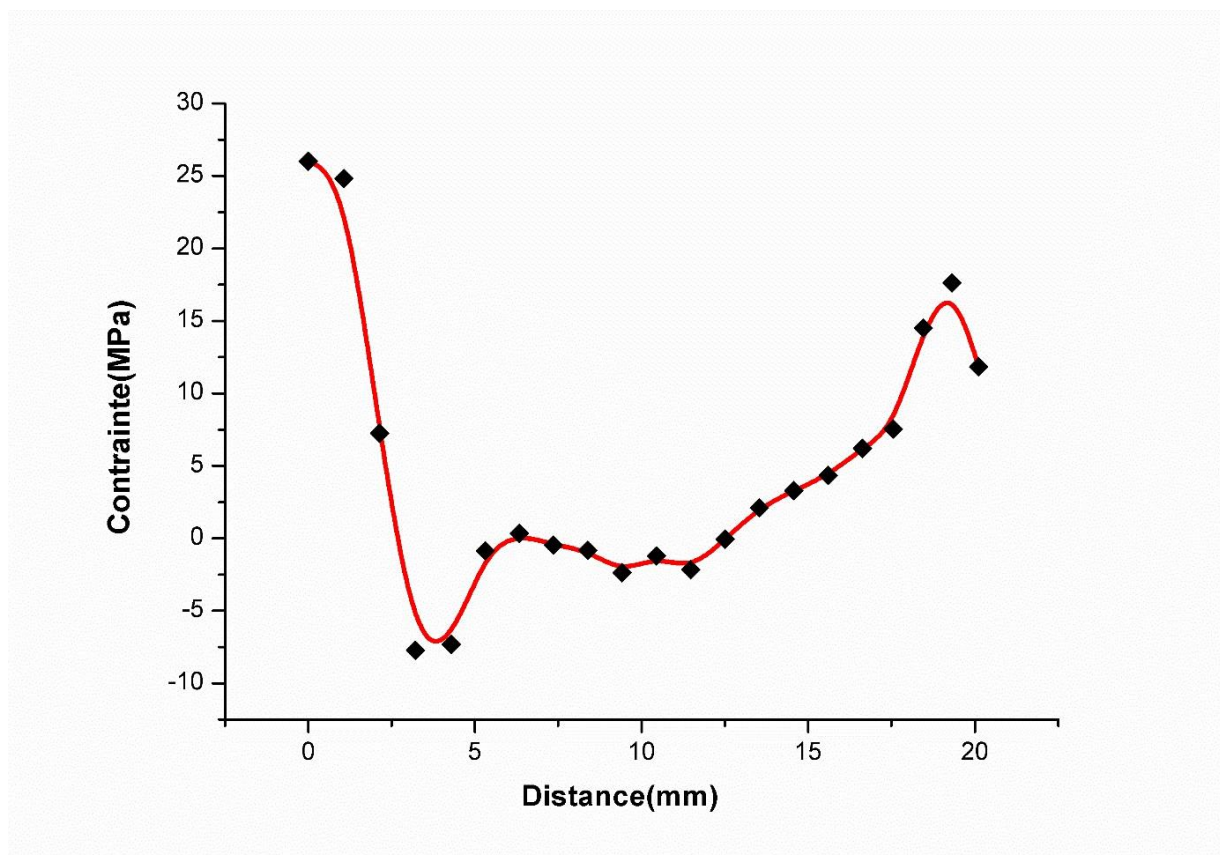


Figure IV 16. Distribution des contraintes tangentielle σ_{xz}

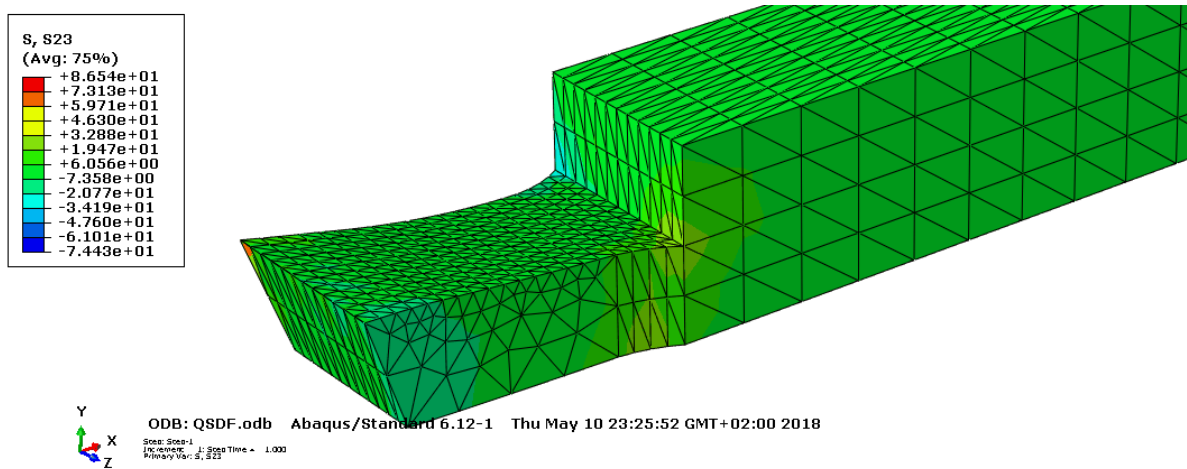


Figure IV 17 contraintes selon YZ

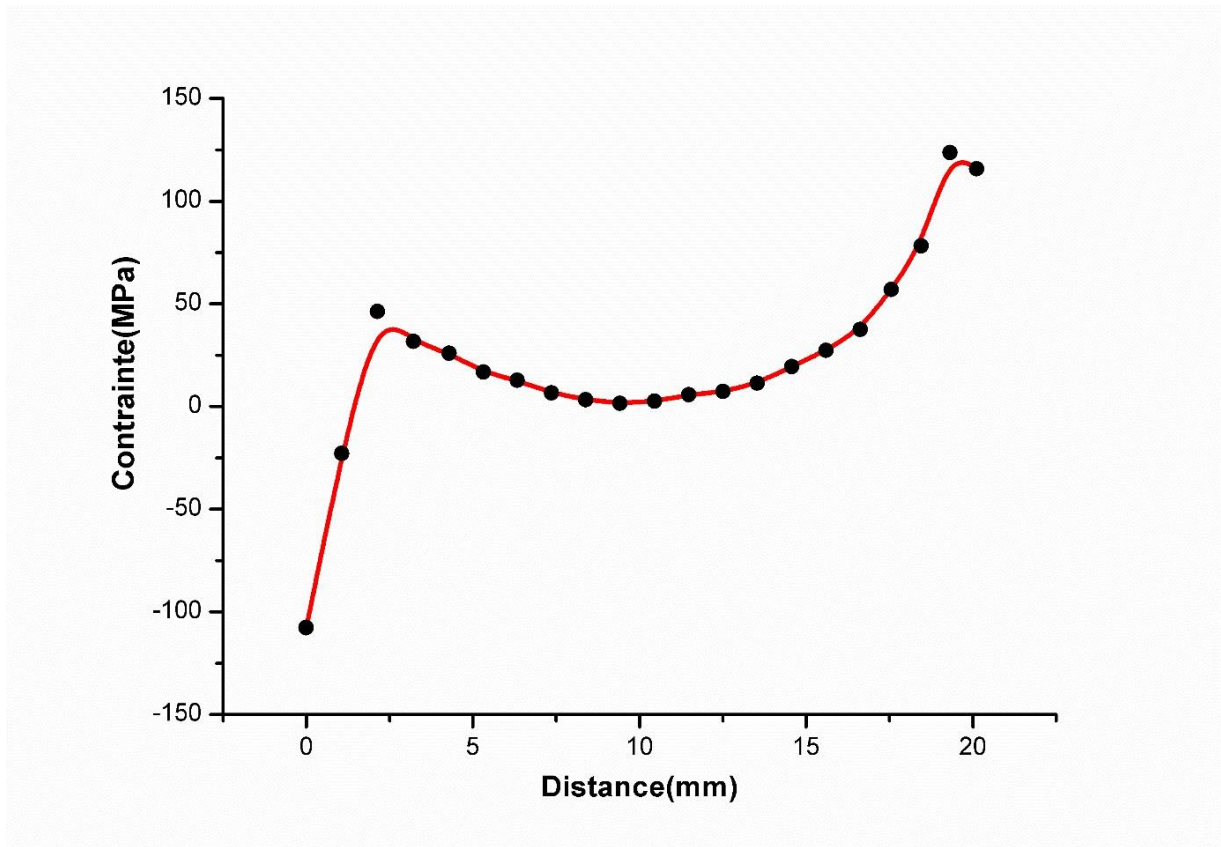


Figure IV 18 Distribution des contraintes tangentielle σ_{yz}

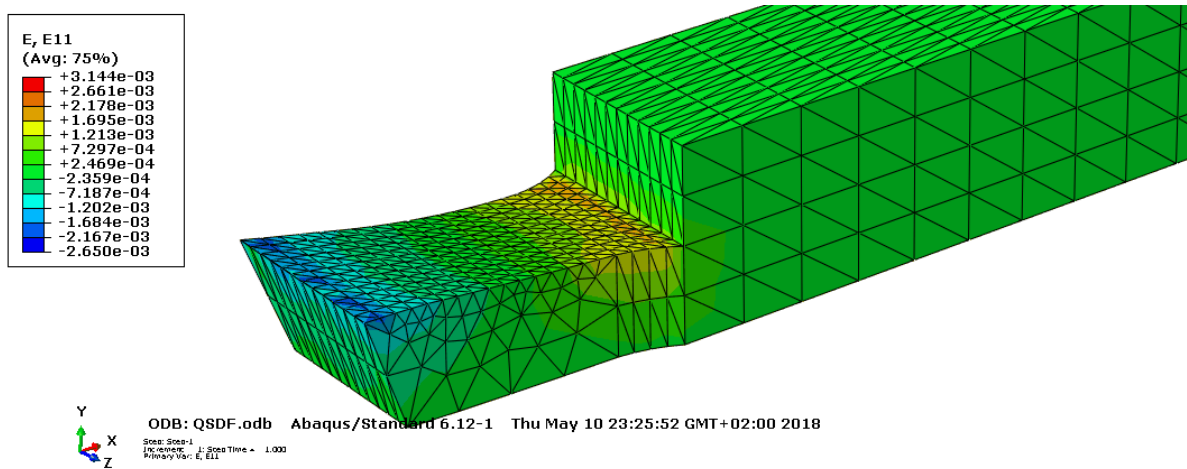


Figure IV 19 Déplacement E11

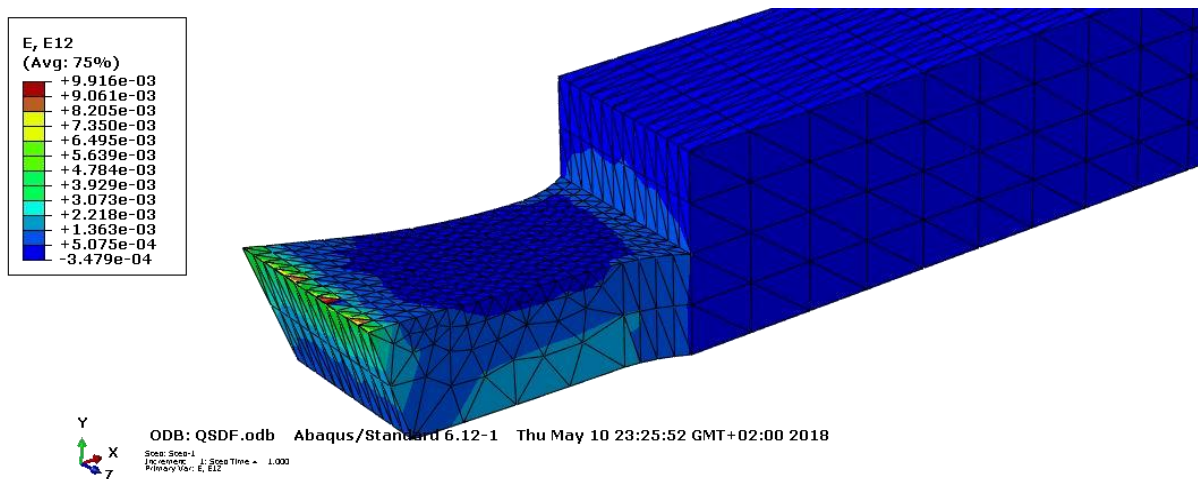


Figure IV 20 Déplacement E12

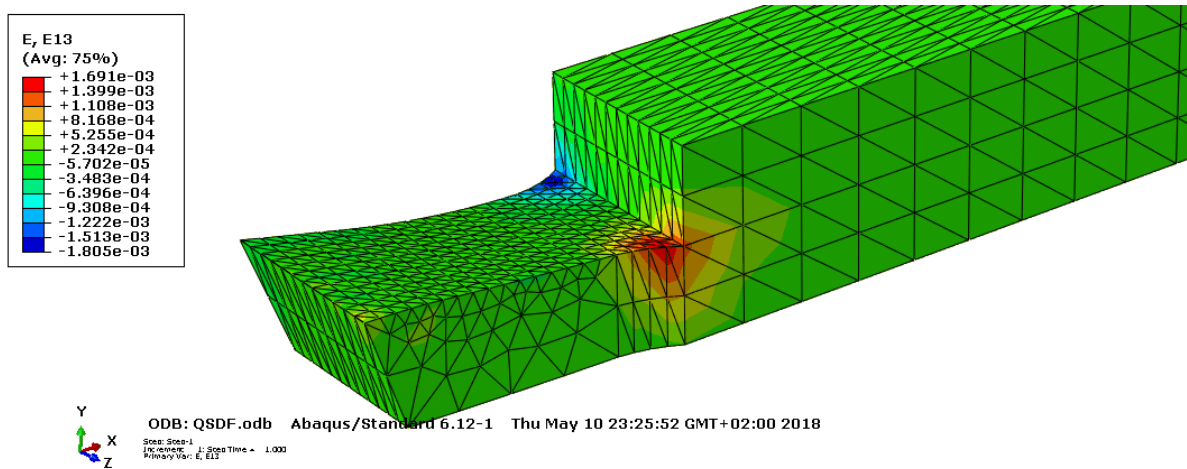


Figure IV 21 Déplacement E13

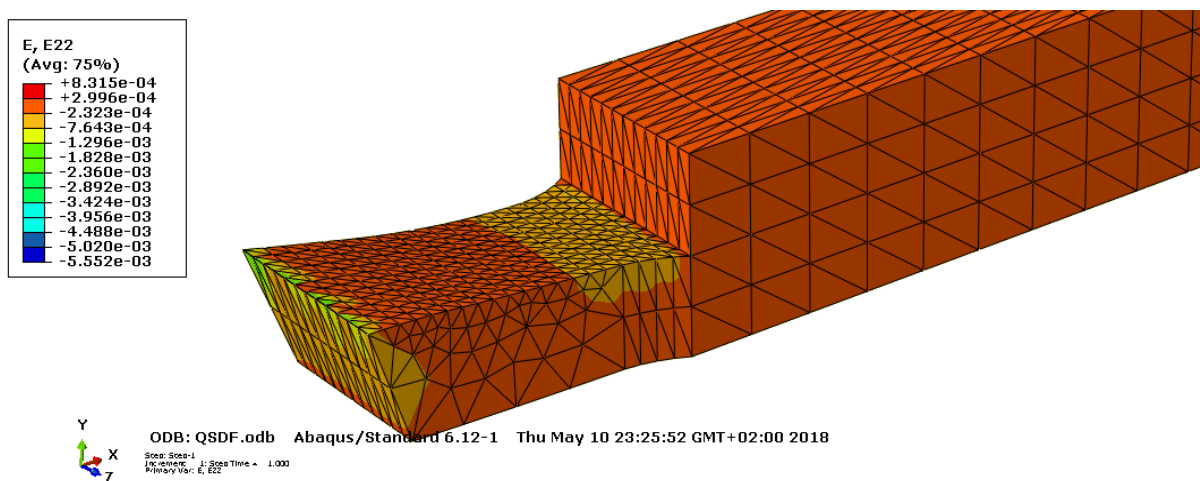


Figure IV 22 Déplacement E22

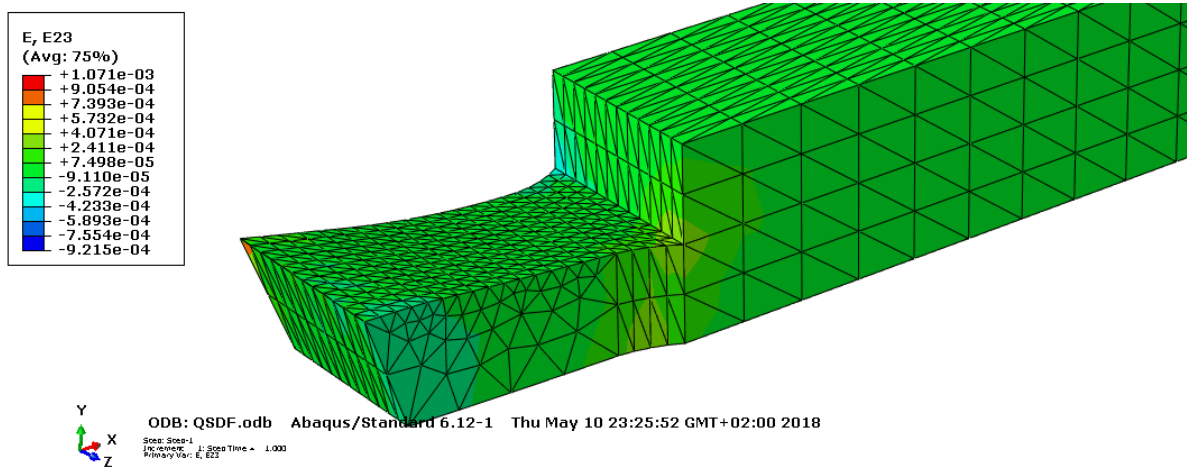


Figure IV 23 Déplacement E23

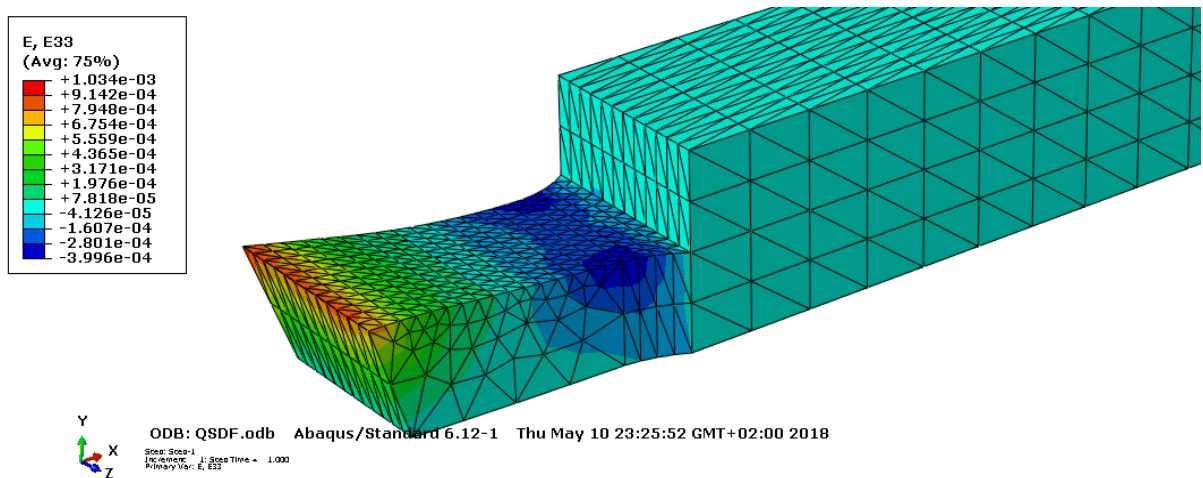


Figure IV 24 Déplacement E33

Conclusion générale :

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Lors notre étude on aborde le sujet de fabrication d'un outil de coupe et mis en évidence le processus de fabrication, notre travail à été repartit en quatre chapitre deux d'entre eux consacre à une recherche bibliographique sur les aciers d'une manière générale.

- Le troisième chapitre le traitement superficielles. Les types de traitement et le sablage, le contrôle de durite et en fin un dernier chapitre pour une simulation numérique de fabrication d'un outil sur le logiciel de fabrication.
- L'usinage a un cout : temps de travail, surépaisseur de matière à enlever, usure de la machine-outil consommable (outil, lubrifiant, courant) stockage.
- Un très grand intérêt est oriente vers la fabrication ces outils qui se voient très important dans le domaine industrie et qui sont le support d'un excellent rendement donc on a voulu contribuer et essayer d'approcher l'usinage de ces outils par deux méthodes une qui est classique qui consiste en une fabrication par le processus de gamme d'usinage l'autre numérique par une simulation numérique qui a pour base le logiciel de fabrication.
- Les méthodes de travail étaient simple et direct et on essayer au maximum de simplifier et rendre accessible la lecture cependant des difficultés ont été rencontrées lors de notre travail notamment sur les machines outils (mise en position-ajustage) dus a l'usure et a la précision de ces derniers.
- Le monde industrielle et la technologie se développent très rapidement c'est pour quoi il ya l'entrée de ces machines outils à commande numérique qui rendent le processus de fabrication simple facile et pas du tout complique alors notre perspective et de travailler sur la programmation sur ces MOCN et élaborer des gammes d'usinage pour ces machines.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

[1] Cours de technologie générale, classe de BTS.BE, 1973

[2] Cours de technologie générale, classe de BTS.BE, 1973

[3] Dr.S.Bensaada CLASSIFICATION DES ACIERS ET DES FONTES OPU 2012

Burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts; Tools; 2001.

[4] **Sandvik Coromant** ; “Perçage”; Techniques de l’ingénieur ; 2001.

[5] **Groupe Kistler France**,« Mesure des efforts de coupe ».

[6] **S.G. Harris, E.D. Doyle, A.C. Vlasveld, P.J. Dolder**:Dry cutting performance of

Partially filtered arc deposited titanium aluminum nitride coatings with various

Metal nitride base coatings; Surface and Coatings Technology; 2001; pp. 305-311.

[7] **F. Klocke and G. Eisenblätter**:Dry Cutting; CIRP Annals -Manufacturing

Technolog; Volume 46; Issue 2; 1997; Pages 519-526.

[8] **K. Tönshoff, A. Mohlfeld, T. Leyendecker, H.G. Fuß, G. Erkens, R. Wenke, T.**

Cselle, M. SchwenckC; Wear mechanisms of (Ti -Al) N coatings in dry drilling ;

Surface and Coatings Technology;1997;pp. 603-609.

[9] **S.G. Harris, E.D. Doyle, A.C. Vlasveld, P.J. Dolder**; Dry cutting performance of

Partially filtered arc deposited titanium aluminum nitride coatings with various

Metal nitride base coatings; Surface and Coatings Technology; 2001; pp. 305-311.

[10] **Docteur CHERMIM BRAHIM.** Connaissances techniques Gamme d'usinage d'un outil à gorge

[11] **Jinsoo Kim, Sangkee Min, David A. Dornfeld,** Optimization and control of drilling

burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts;

Tools; 2001.

[12] **Mihai-Emil MARINESCU,** MESURE ET ESTIMATION DE LA TEMPERATURE LORS DU PERCAGE DE L'ALLIAGE Ti6Al4V, thèse doctorat, Metz le 13 novembre 2009.

[13] **Jérémy Jallageas,** Optimisation du perçage de multi-matériaux sur Unité de Perçage Automatique (UPA). Thèse doctorat .Bordeaux. le 22 janvier 2013.

[14] **Y.C. Chen, Y.S. Liao,** Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718

Super alloy; Journal of Materials Processing Technology; 2003.

[15] **J.L. Cantero, M.M. Tardi'ob, J.A. Canteli, M. Marcos, M.H. Migue'lez,** Dry

Drilling of alloy Ti-6Al-4V; thèse doctorat. Tools; 2005.

[16] **H.L. Coldwell, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, N.M. Renevier, D.G. Teer ,** The use of soft/lubricating coatings when dry drilling BS L168 aluminum alloy; Surface and

Coatings Technology; 2004.

[17] **E .J.Armarego, S.Verezub, P.Samaranayake**« The effects of coatings on the cutting process, friction, forces and predictive cutting models in machining operations», Journal of Engineering Manufacture ° 216, 2002.

[18] Technique de l'ingénieur. Traité métallurgique M300 acier rapide.

[19] **Alexandre Toumine :**«Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.

[20] **Alain Passeron** :«Tournage», Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997

[21] **J. Vergnas** :« Usinage : Technologie et Pratique », Génie Mécanique DUNOD, ISBN2-04-011186-7, BORDAS, Paris 1982.

[22] **Rocdacier** : « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011

[23] **R. Laheurte** : « Application de la Théorie du Second Gradient a la Coupe des Matériaux », Thèse de doctorat N° 2935, Université Bordeaux 1, Ecole Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, Décembre 2004.

[24] ptetoile.free.fr/ traitement thermique.

[25] **M.Chitour** : Connaissances techniques **SOLIDWORKS** et simulation par **ABAQUS**

Résumé :

La connaissance des efforts de coupe à la faveur d'un modèle prédictif est largement intéressante pour : le choix de la puissance d'une machine-outil , des outils coupants, l'optimisation des conditions de coupe et de la vérification de l'apparition des vibrations. L'objectif de ce travail est l'étude d'un outil à gorge : angle de coupe , angle de dépouille et l'angle taillant.

Mots clés : outil à gorge, effort de coupe, angle de coupe, angle de dépouille

المخلص

معرفة اجهادات القطع جد مهمة من أجل اختيار آلات القطع المناسبة من حيث القوة و كذلك اختيار أدوات القطع و كذا تحسين ظروف القطع و التحكم في الاهتزازات الصادرة عن عملية القطع
اذن, الهدف من هذا العمل هو دراسة أداة القطع المتمثلة في "قلم العنق" و إنجازها مع احترام الزوايا الثلاثة المعروفة في أقلام القطع و هي - زاوية القطع و زاوية الميلان و زاوية النحت-

Summary :

Knowledge of cutting forces in favor of a predictive model is widely useful for: the choice of the power of a machine tool, cutting tools, optimization of cutting conditions and check the appearance vibration.

The objective of this work is the study of a grooving tool: rake angle, clearance angle, and angle cutting.

Keywords : grooving tool, cutting force, cutting angle, clearance angle.