

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

Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productique

THEME

**Conception et réalisation d'un outil de galetage à
trois billes pour fraisage.**

Présenté par :

Mostefaoui Mohamed

Gaouaou Abderaouf

Promoteur : Mr.M.Tourab

Encadreur : Mr. A. Ghesmoune

Promotion 2022- 2023

Remerciement

Notre remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur « Mr. M TOURAB », à l'ingénieur « Ghesmoune Ali » et tous l'équipe de la société (GRALCOM) qui nous a apporté une aide précieuse.

Nous leur exprimons notre gratitude pour sa grande disponibilité ainsi que pour

Sa compréhension et les encouragements qu'il nous a apportés.

Enfin nous finirons nos remerciements par un grand merci à nos parents,

Nos sœurs et nos frères et nos amis.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, qui m'ont encouragé à aller de l'avant et qui m'ont donné tout leur amour pour prendre mes études.

Mon père Abdelkader, ma mère et ma grande mère Que dieu les protège.

*Toute la famille, en particulier mon frère Hichem et ma petite belle-sœur, sans oublier l'amour de ma vie Nacira, A tous les enseignants, Mr TOURAB
Grand dédicace à mon frère et mon bras Raouf et leur famille et spécialement pour Yahia, Hacen et Hmida. Mes amis et la promo de MFMP 2021*

MOSTEFAOUI MOHAMED

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère
sources de tendresse, à mon cher père « Hocine »,
qui m'encourage dans les instants délicats.*

*A tout ma famille en particulier mon cher
frère « Oussama » et ma deux belles sœurs sans
oublier les petits enfants « Amir » et « Fatima ».*

*A mes frères sur le chemin
« Mohammed », « Yahia »,
« Hacen », « Hmida » et tous mes amies et promo
MFMP 2021.*

*Je dédie cet évènement marquant de ma vie à mon
grand-père, grand-mère et ma plus belle étoile.*

Gaouaou Abderaouf

ملخص:

التدميك الكروي عبارة عن عملية تصليد انفعالي ناتج عن التشوه اللدن للطبقات السطحية للمادة حيث يغير من خصائصها الفاعدية. تم في هذا العمل تطبيق عملية التدميك في آلة التفريز على قطعة من الألمنيوم نوع 2017 باستعمال أداة مصممة محليا لهذا الغرض. يستخدم تدريجيا كأخر عملية للتشطيب لإعطاء مزايا إضافية للمادة كزيادة صلادة السطح، مقاومة الكلال، مقاومة التآكل وإحداث اجهادات متبقية ضاغطة. ولتأكد من مدى فاعلية اداة التدميك المصنعة محليا والمخصصة للتفريز سمحت نتائج التجارب المنجزة انه عند تطبيق العوامل الثلاثة لعملية التدميك المعرفة كما يلي سرعة التغذية سرعة الدوران وكذلك عمق اللمسة الذي يعوض قوة التدميك بان خشونة السطح Ra بعد عملية التفريز قد تحسنت بشكل ملحوظ بعد عملية التدميك من 1,82 مك الى 0,11 مك على الترتيب أي بنسبة تحسین تقدر ب 94 % تقريبا.

كلمات المفتاح: التدميك الكروي-التفريز-الألمنيوم 2017 -خشونة السطح.

Résumé :

Le galetage à bille est un procédé de formage à froid par déformation plastique superficielle qui modifie les propriétés de base des couches superficielles du matériau. Dans ce présent travail, le procédé de galetage à bille pour fraisage a été appliqué sur une pièce en aluminium série 2017 au moyen d'un dispositif spécialement conçu et fabriqué localement à cet effet. Il a été utilisé progressivement comme une opération de finition qui donne des avantages supplémentaires tels que l'augmentation de la dureté de surface, la résistance à la fatigue, la résistance à l'usure et la génération des contraintes résiduelles de compression. Afin de valider l'efficacité de notre outil fabriqué localement, le résultat des essais expérimentaux menés ont permis de révéler que après l'application des trois paramètres de galetage à savoir : la vitesse d'avance, la vitesse de rotation et la profondeur de passe qui remplace la force de galetage que la rugosité de surface Ra après fraisage a été améliorée après galetage de façon remarquable de 1,82µm à 0,15µm respectivement c-à-d avec un taux d'amélioration de 94% approximativement.

Mots clés : Galetage à bille - Fraisage - Aluminium 2017 - Rugosité de surface.

Abstract :

Ball burnishing is a cold working process with superficial plastic deformation that changes the basic properties of the surface layers of the material. In this work, the process of ball burnishing was applied on Aluminum 2017 parts by means of a device specially designed and manufactured for this purpose. It was used gradually as a finishing process, which gives additional advantages such as the increase in surface hardness, fatigue life, wear resistance and generation of residual compressive stresses. In order to validate the effectiveness of our locally manufactured tool, the results of the experimental tests carried out revealed that after the application of the three burnishing parameters, namely: feed rate, rotational speed and depth of cut which replaces the roller burnishing force that the surface roughness Ra after milling was improved after roller burnishing remarkably from 1.82µm to 0.15µm respectively i.e. with an improvement rate of approximately 94%.

Keywords : Ball burnishing - Milling - Aluminum 2017 - Surface roughness.

Table des matières

Introduction générale	1
Historique	2
Organigramme de société GRALCOM	3
Chapitre I: Généralités.	4
I.1 Introduction	4
I.2 Propriétés mécaniques des métaux.....	4
I.2.1 Essai de traction	4
I.2.2 Essai de la dureté.....	7
I.3 Topographie des surfaces	10
I.3.1 Définition	10
I.3.2 Importance et caractérisation de la topographie de surface	11
I.3.3 Importance de l'état de surface	12
I.4 Rugosité de surface	13
I.4.1 Définition	13
I.4.2 Paramètres de rugosité	14
I.4.3 Mesure de la rugosité	15
I.5 Traitement mécanique de surface par galetage	15
I.5.1 Introduction	15
I.5.2 Galetage.....	15
I.5.3 Paramètres de traitement	17
I.5.4 Effets du traitement mécanique.....	17
I.5.5 Différents types de galetage	18
I.5.6 Avantages du galetage.....	18
I.6 Conclusion.....	19
Chapitre II: Etude et conception de l'outil galetage à bille pour fraisage.	20
II.1 Introduction.....	20

II.2 Description de L'outil.....	20
II.2.1 Fonction de l'outil.....	20
II.2.2 Caractéristiques.....	20
II.2.3 Réglage de l'outil.....	20
II.2.4 Choix de la matière des pièces.....	20
II.3 Conception assistée par ordinateur (CAO)	24
II.3.1 Définition de CAO.....	24
II.3.2 Domaine d'utilisation	24
II.3.3 Description générale de SolidWorks	24
II.4 Etudes de résistance des matériaux de l'outil de Galetage à bille	25
II.4.1 Introduction.....	25
II.4.2 Ressort.....	25
II.5 Etude de réaction des pièces de l'outil.....	34
II.5.1 Caractéristiques du matériau de l'axe principal.....	34
II.5.2 Calcul la résistance pratique en traction	35
II.6 Etude d'assemblages.....	35
II.6.1 Filetage.....	35
II.6.2 Caractéristiques d'assemblages	35
II.7 Roulement à bille à contact radial.....	42
II.7.1 Introduction.....	42
II.7.2 Caractéristiques.....	43
II.7.3 Roulement 608.....	43
II.7.4 Frottement.....	45
II.8 Bille.....	46
II.8.1 Secteur d'emploi.....	46
II.8.2 Caractéristique de l'acier 100C6.....	46

II.8.3 Calculs de la bille.....	48
II.9 Bague de guidage (coussinet ou palier-lisse).....	50
II.9.1 Principe	50
II.9.2 Avantage	50
II.9.3 Inconvénient.....	50
II.9.4 Calculs.....	51
II.9.5 Ajustement avec serrage	52
II.10 Axe de roulement.....	54
II.10.1 Calcul les réactions d'appuis	55
II.11 Conclusion	55
Chapitre III: Réalisation de l'outil de galetage à bille pour fraisage.	56
III.1 Introduction	56
III.2 Analyse d'un dessin de définition	56
III.3 Analyse des contraintes et chronologie des opérations	57
III.4 Phases d'usinage	57
III.5 Gamme de fabrication	57
III.6 Définition des opérations élémentaires d'usinage.....	59
III.7 Condition de coupe.....	59
III.7.1 Vitesse de coupe	59
III.7.2 Vitesse de rotation	59
III.7.3 Vitesse d'avance.....	60
III.7.4 Contrat de phase	61
III.8 Conclusion.....	82
Chapitre IV: Validation de l'outil de galetage à 3 billes pour fraisage.	83
IV.1 Introduction	83
IV.2 Matériau et techniques expérimentales	83
IV.2.1 Matériau.....	83

IV.2.2 Choix des paramètres du régime de galetage à bille	84
IV.2.3 Préparation d'éprouvette d'essai	84
IV.2.4 Principe de fonctionnement de l'outil galetage	86
IV.2.5 Mesure de la rugosité de surface	87
IV.3 Résultats et discussion.....	88
IV.3.1 Résultats expérimentaux.....	88
IV.3.2 Discussion	90
IV.4 Conclusion.....	90
Conclusion générale	91
Références bibliographique	
Annexes	

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1: Eprouvette de l'essai. [1]	5
Figure I-2: Courbe de traction (contrainte/déformation). [1]	5
Figure I-3: Principe de l'essai Brinell.	7
Figure I-4: Principe de l'essai Vickers.....	8
Figure I-5: Principe de l'essai Rockwell.....	9
Figure I-6: Topographie des surfaces correspondant à quelques procédés d'usinage : a) Tournage, b) Rectification, c) Rectification, d) Rectification, e) Rectification et f) Rectification.	11
Figure I-7 : Topographie de la rugosité de surface d'un acier C45 après tournage.	11
Figure I-8: Représentation de la surface de référence.....	12
Figure I-9: Surface spécifiée et surface associée	13
Figure I-10: Surface réelle.....	13
Figure I-11: paramètres de rugosité.	14
Figure I-12: Principe du procédé de galetage.....	16
Figure I-13: Rugosité de surface initiale sous l'effet de la force appliqué sur l'acier A50 [18].	17

Chapitre II

Figure II-1: matière de POM-C.....	22
Figure II-2: Ecran graphique de l'outil dans SolidWorks.....	25
Figure II-3: Schéma de dimension de ressort compression. [30 – 31].....	28
Figure II-4: Ressort de compression.	29
Figure II-5: Contraintes tangentielles d'un ressort.	32
Figure II-6: Réaction des pièces.....	34
Figure II-7: Schéma de filets triangulaire.	36

Figure II-8: Schéma de diamètre nominal D et diamètre nominal d [39].	36
Figure II-9: Types de pas [32].	37
Figure II-10: Principaux roulement rigide a bille.	43
FigureII-11: schéma presente les dimensions.	44
FigureII-12 : Schéma de l'action réciproque de l'élément.	47
Figure II-13: Coussinets en tôle roulée. [39]	50
Figure II-14: Schéma de la charge radiale [40].	51
Figure II-15: Assemblage par serrage.	52
Figure II-16: Axe de roulement.	55
 Chapitre IV	
Figure IV-1: surfaçage d'éprouvette (A : durant l'opération de surfaçage ; B : après fraisage).	84
Figure IV-2: fraiseuse universelle (Reiden fu 300).	85
Figure IV-3: Application du procédé de galetage sur l'éprouvette avec le même montage.	86
Figure IV-4 : Montage expérimental du procédé de galetage : A- porte outil ; B-outil de galetage ; C- zone galeté ; D- pièce aluminium.	87
Figure IV-5: Rugosémetre portable Mitutoyo SJ-201P/R.	88
Figure IV-6: Etat de la surface de l'éprouvette après l'application du procédé de galetage.	88
Figure IV-7 : Valeurs de la rugosité de surface afficher par le rugosémetre, A) pour le régime N° 1et B) pour le régime N° 2.	89

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1: Comparaison entre les méthodes par pénétration.....	9
---	---

Chapitre II

Tableau II-1: Caractéristique des matériaux.....	20
Tableau II-2: fonction et matière de chaque pièce.....	21
Tableau II-3: caractéristique mécanique et thermique de la matière POM-C.....	23
Tableau II-4: compositions chimique de l'acier XC38.....	23
Tableau II-5: Composition chimique de NF A 47-301.....	27
Tableau II-6: Caractéristiques mécaniques de NF A 47-301.....	27
Tableau II-7: Données de ressort.....	28
Tableau II-8: Caractéristiques de l'acier XC48.....	34
Tableau II-9: Calcul d'assemblage (l'axe principal et l'écrou de réglage).....	41
Tableau II-10: Calcul d'assemblage (la tête et le couvercle de l'outil).....	42
Tableau II-11: dimensions de rolement 608. [36].....	43
Tableau II-12: les caractéristiques de la bille.....	46

Chapitre IV

Tableau IV-1: Caractéristiques de l'aluminium.....	83
Tableau IV-2: Variations des paramètres du régime de galetage.....	84
Tableau IV-3: Principaux caractéristiques de la fraiseuse.....	85
Tableau IV-4: Variation de la rugosité en fonction du régime de galetage.....	89

Introduction générale

Habituellement, la notion de traitement de surface est associée à la modification des propriétés d'une surface par des actions d'origine physiques, chimiques, thermiques ou métallurgiques (trempe, nitruration, ...).

Cependant des sollicitations mécaniques seules peuvent elles aussi aboutir à des modifications intéressantes pour l'ingénieur, comme la création d'un champ de contraintes résiduelles de type compression ou des raffinements de microstructure, sans que des phénomènes thermiques ou chimiques n'interviennent. Nous parlons alors de traitement mécanique de surface. Nous distinguons les traitements reposant sur des contacts normaux ou quasi-normaux (de type indentation) comme le grenailage ou le martelage, des traitements reposant sur des contacts tangentiels (de type rayure) comme le galetage, le polissage et autres ...

Notre objectif dans ce présent travail est de faire la conception, l'étude, la réalisation et la validation d'un outil de galetage à bille pour fraisage. Afin d'atteindre cette objectif on a composé ce travail en quatre chapitres décrit comme suit :

Le premier chapitre est consacré pour généralité sur les métaux et leurs propriétés mécaniques, les traitements de surface tout on situant le choix du procédé de traitement, les différents essais de dureté, l'état de surface et le procédé de traitement mécanique de surface (TMS) par galetage.

Tandis que le deuxième chapitre est concentré sur la partie de conception et l'étude de l'outil de galetage à bille pour fraisage.

Dans le troisième chapitre les différentes étapes de réalisation de l'outil de galetage à bille pour fraisage a été détaillées.

Le quatrième chapitre est le dernier volet de notre travail qui consiste à valider notre outil par des essais expérimentaux, suivi par une conclusion générale et une référence bibliographique

Historique

Société GRALCOM

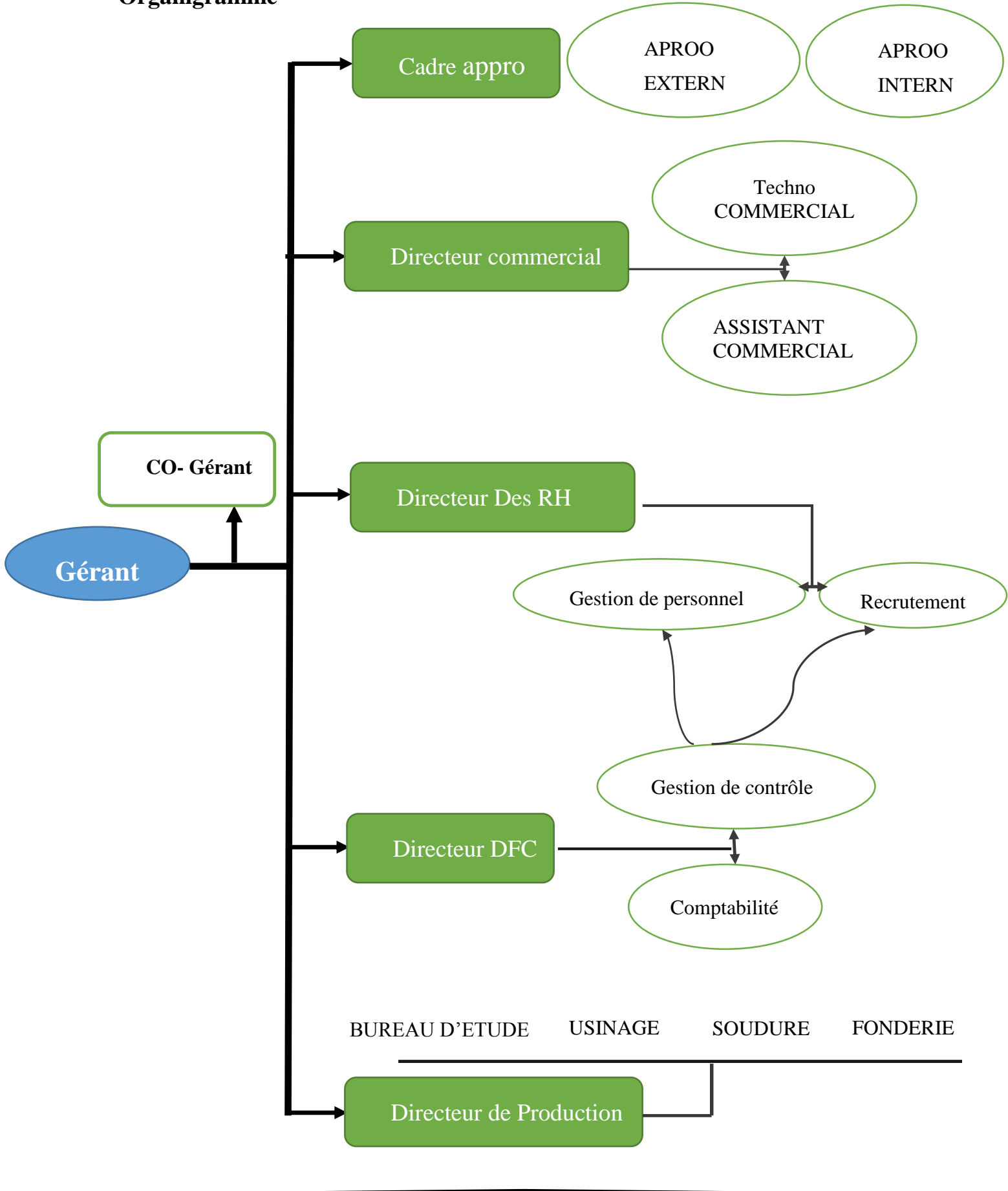
Historique

L'entreprise ATELIERS TOUAZI fut créé en 1992 afin de répondre aux besoins de l'époque pour les pièces mécaniques de précision, avec l'évolution de l'industrie des matériaux de construction vers la fin des années 90, le fondateur des ATELIERS TOUAZI bénéficiant d'une large et riche expérience dans la maintenance industriel des produits rouges créa la Sarl GRALCOME et décida de mettre à son expérience et son savoir-faire pour la fabrication de pièces mécaniques et revêtement anti-usure dans l'industrie minérale.

La société GRALCOME inscrit sa stratégie dans une logique de performance a l'effet d'un positionnement durable dans le domaine de la maintenance industriel, à développer des partenariats avec de grandes entreprises spécialisées, de renommée mondiale, à guider notre action.

Dans le souci de toujours mieux faire, en 2015 la SARL GRALCOME à installer une fonderie de fonte et acier afin d'élargir ses secteurs d'activité, compléter la gamme de produits, et réaliser des pièces complexes.

Organigramme



Chapitre I

Généralités

Chapitre I: Généralités.

I.1 Introduction

Les traitements mécaniques font référence à l'utilisation de techniques mécaniques pour modifier la forme, la taille ou la structure d'un matériau. Ces techniques peuvent inclure le laminage, le forgeage, le moulage, l'usinage, le pliage, le découpage, le perçage, le soudage, la découpe laser et bien d'autres. Le but des traitements mécaniques peut varier en fonction de la situation, mais ils sont souvent utilisés pour améliorer les propriétés physiques d'un matériau, comme sa résistance, sa dureté, sa ductilité, sa ténacité, sa conductivité thermique ou électrique. Les traitements mécaniques peuvent également être utilisés pour créer des formes complexes à partir de matériaux bruts, pour assembler des pièces ou pour éliminer les défauts de surface.

Les traitements mécaniques sont couramment utilisés dans les industries de fabrication, de construction, de transport et de transformation des métaux. Ils sont également utilisés dans la production d'une variété de produits, allant des pièces automobiles aux composants électroniques. Les progrès de la technologie des traitements mécaniques ont considérablement amélioré la qualité et la fiabilité des produits fabriqués, tout en réduisant les coûts de production et en améliorant l'efficacité énergétique.

I.2 Propriétés mécaniques des métaux

Les propriétés mécaniques des métaux dépendent de nombreux facteurs tels que leurs compositions chimiques, leurs structures cristallines, leurs traitements thermiques et leurs historiques de mise en forme. Ils peuvent être étudiés à l'aide de différentes techniques expérimentales telles que les essais de traction, les essais de flexion, les essais de dureté et les essais de fluage. Les résultats de ces essais sont souvent présentés sous forme de courbes de contrainte-déformation pour différentes conditions de charge et de température.

I.2.1 Essai de traction

Il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (pièce de dimensions normalisées fabriquée par le matériau à tester), deux actions mécaniques opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

D'après la figure I.2 la déformation est élastique. La courbe de traction est donc une droite, la pente de cette droite donne le module de Young E . À partir d'un certain allongement, la

courbe s'infléchit : c'est le début de la déformation plastique. La transition peut être franche (rupture de pente), ce qui permet de déterminer facilement la limite d'élasticité R_e . [01]

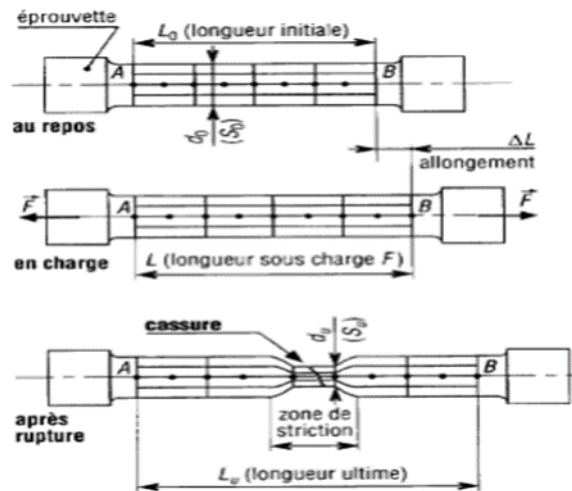


Figure I-1: Epreuve de l'essai. [1]

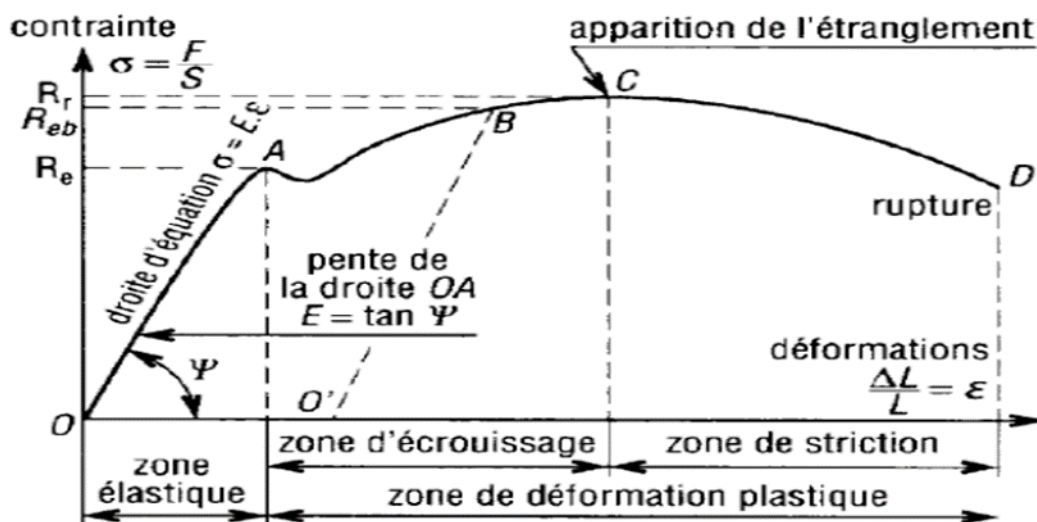


Figure I-2: Courbe de traction (contrainte/déformation). [1]

➤ Domaine élastique

Le comportement élastique est linéaire et aucune déformation permanente ne se maintient après décharge et cela pour des charges relativement faibles. Le matériau obéit à la loi de Hooke, la déformation est proportionnelle à la contrainte, et cela se traduit sur la courbe contrainte-déformation figure I.2 par une droite. Au début de la déformation, les liaisons entre les atomes commencent par se détendre, à la manière d'un ressort, de sorte que le relâchement de la contrainte rétablit la position initiale des atomes.

➤ **Domaine plastique**

La déformation plastique est caractérisée par une déformation irréversible qui se traduit par une relation non linéaire entre la contrainte et la déformation. Au-delà de la limite d'élasticité, les métaux continuent de se déformer, mais la contrainte croît moins vite pour assurer une vitesse de déformation imposée constante. Cependant, cette déformation n'est pas réversible et un allongement résiduel subsiste après la suppression de la contrainte.

➤ **Domaine de striction :**

La striction résulte de la localisation de la déformation dans une région de l'éprouvette. Elle est caractérisée par le changement progressif des propriétés mécaniques qui accompagne, pour d'assez grandes déformations, la formation et la croissance de microfissures. Ceci conduit à la rupture de l'éprouvette.

I.2.1.1 Résistance mécanique :

C'est la capacité d'une structure de résister aux efforts mécaniques extérieurs, le plus souvent cette grandeur est caractérisée par la résistance à la rupture « σ_r » mesurée à la suite d'un essai de traction, c'est la grandeur la plus utilisée pour la majorité des pièces soumises à des charges statiques.

I.2.1.2 Rigidité :

La rigidité est une mesure de l'élasticité et représente la résistance d'un matériau à la déformation permanente. La rigidité est mesurée en déterminant le module d'Young d'un matériau donné. Le module d'Young est mesuré en divisant la contrainte agissant sur un matériau par la déformation qu'il subit. [05]

I.2.1.3 Ductilité :

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement avant rupture. Un matériau qui a plus de déformation avant rupture est plus ductile qu'un matériau qui a moins de déformation. [04]

I.2.1.4 Ténacité :

C'est l'aptitude d'un matériau à absorber l'énergie lors d'une déformation plastique. C'est une combinaison entre la bonne résistance à la rupture et la bonne ductilité. Une des façons de définir la ténacité est l'aire de la surface engendrée par la courbe de traction. La ténacité peut être mesurée par l'essai de Résilience Charpy. [04]

I.2.2 Essai de la dureté

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 tendre. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

I.2.2.1 Essai dureté Brinell

L'essai consiste à faire pénétrer, en appliquant une force F , un pénétrateur ayant une forme de bille diamètre D dans un métal afin d'en déduire la dureté du matériau (Fig I-3). [01]

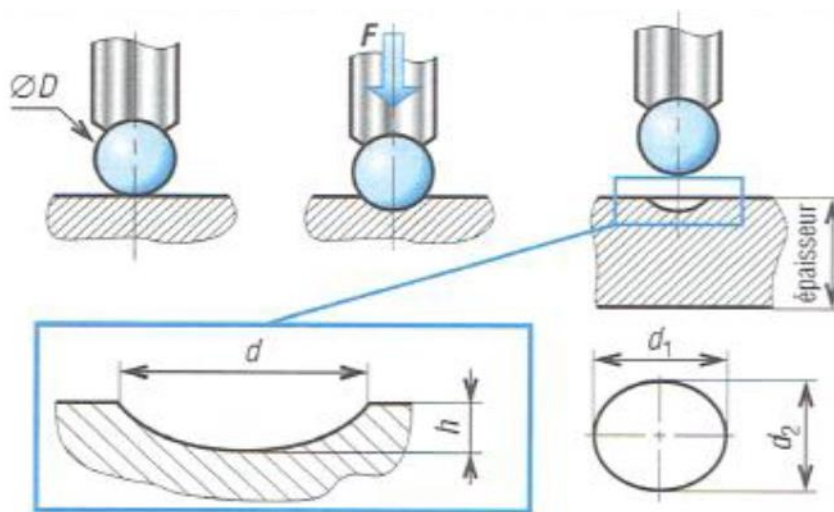


Figure I-3: Principe de l'essai Brinell.

$$HB = \text{constante} \cdot \left(\frac{\text{charge d l'essai}}{\text{surface de l'emprunte}} \right) = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{I-1})$$

$$\text{Avec :} \quad \text{constante} = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,8066} = 0,102 \quad (\text{I-2})$$

$$d = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (\text{I-3})$$

HB : dureté Brinell.

D : diamètre du pénétrateur (mm).

d1 et **d2** : mesure de l'empreinte réalisée à 90° (mm).

F : charge d'essai (N).

g : accélération de la pesanteur.

I.2.2.2 Essai de dureté Vickers :

Il consiste à imprimer dans le métal testé une empreinte avec un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidale à base carrée et d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136°, sous l'action d'une force connue (Fig I-4). On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur. [02]

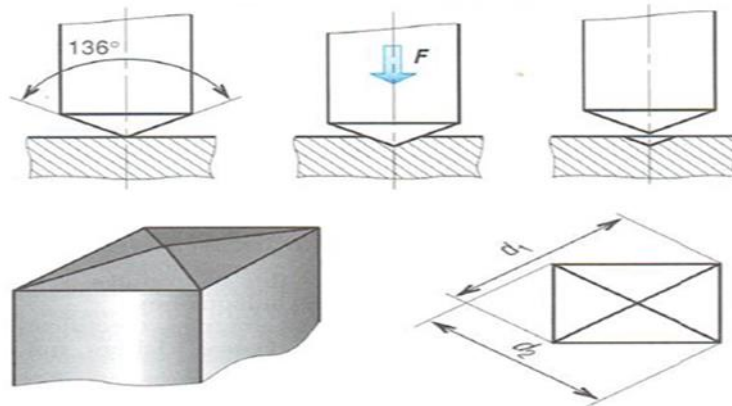


Figure I-4: Principe de l'essai Vickers.

$$HV = \frac{0,189 \times F}{d^2} \quad (I.4)$$

$$\text{Avec : } d = \frac{d_1 - d_2}{2}$$

I.2.2.3 Essai de dureté Rockwell :

L'essai de dureté Rockwell (Fig I-5) est une méthode par différence de profondeur, qui consiste à mesurer la profondeur de pénétration rémanente laissée par le pénétrateur. Elle diffère des méthodes optiques Brinell et Vickers, qui consistent à mesurer la taille de l'empreinte laissée par le pénétrateur. [01]

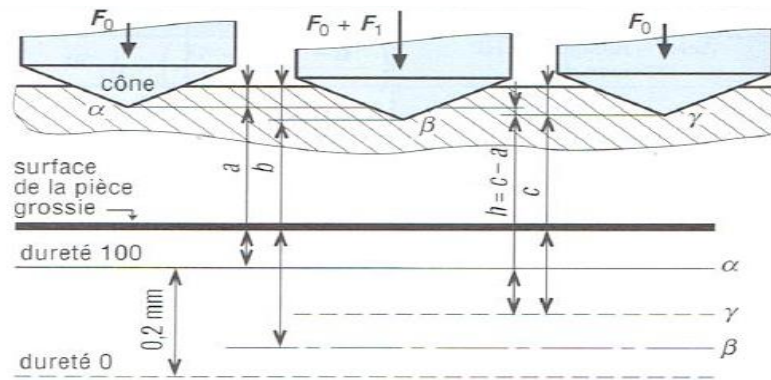


Figure I-5: Principe de l'essai Rockwell.

I.2.2.4 Intérêt et application des essais d'indentation :

Le tableau I.1 regroupe les principales directives pour une bonne réalisation d'un essai de dureté par indentation. [03]

Tableau I-1: Comparaison entre les méthodes par pénétration.

Type d'essai	Pénétration 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 OO par exemple). la présence de rayures donne des valeurs sous-estimée.	En atelier	L'essai est simple et rapide Convient 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	Etat de surface très soignée (on obtient de petites empreintes, les présences d'irrégularité gêne le lecteur)	En laboratoire	C'est un essai assez polyvalent qui convient aux matériaux tendres ou très durs. Il est utilisé généralement pour des pièces des petites dimensions. La lecture de longueur de diagonale est généralement lente.

Les différents essais par pénétrateurs ont permis d'établir des relations empiriques [06]. [07] à partir de corrélation entre la dureté Vickers HV , la dureté Brinell HB et la résistance de la rupture R_m pour différents aciers.

$$R_m = 77,14 + 2,6396HV^2 + 0,0010HV^2 \quad (I.5)$$

$$R_m = 164,71 + 2,222HB + 0,002HV^2 \quad (I.6)$$

A partir de ces deux relations, il est possible de relier directement les duretés Vickers et Brinell. Différentes autres relations sont proposées dans la bibliographie pour relier les duretés et les caractéristiques mécaniques des matériaux mais ces relations sont empiriques et doivent être utilisées avec prudence.

I.3 Topographie des surfaces

I.3.1 Définition

Elle regroupe l'ensemble des facteurs caractérisant les irrégularités d'une surface qui vont du domaine microscopique défini plus généralement par la rugosité, au domaine macroscopique correspondant à la géométrie de contact qui résultent de la mise en œuvre et du parachèvement d'une pièce mécanique et en particulier.

- génération de sillons, aspérités, cavités, porosités
- génération de défaut de forme (linéarité, circularité) [08].

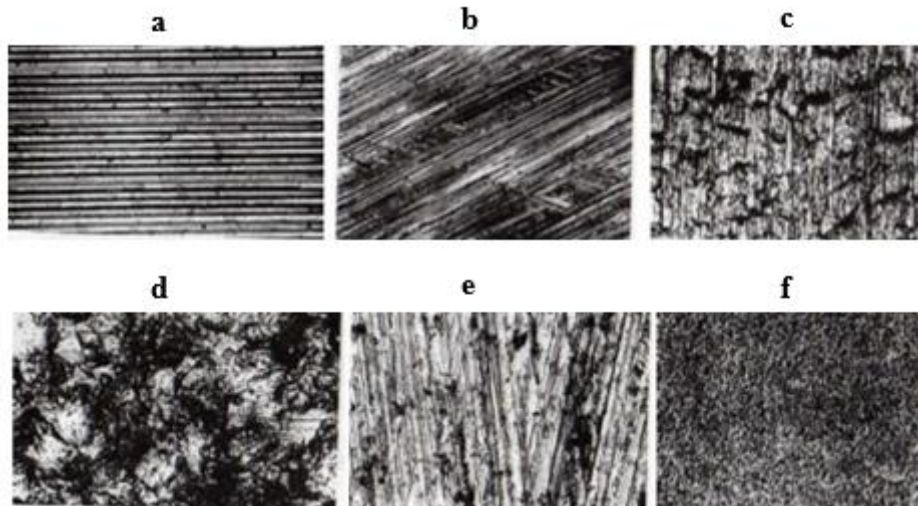


Figure I-6: Topographie des surfaces correspondant à quelques procédés d'usinage : a) Tournage, b) Rectification, c) Rectification, d) Rectification, e) Rectification et f) Rectification.

I.3.2 Importance et caractérisation de la topographie de surface

La topographie agit sur la plus part des facteurs qui gouvernent le comportement au frottement et à l'usure notamment :

- Mode de contact.
- Comportement du milieu inter facial (3ème corps)

Elle doit prendre en compte toutes les caractéristiques des irrégularités de surface dimensionnelles (hauteurs des pics) géométriques (forme, acuité des aspérités ou cavité), mais aussi la répartition et l'orientation (préférentielle, aléatoire). La topographie des surfaces influe énormément sur les propriétés d'un système mécanique. Une surface métallique typique est caractérisée par une topographie définissant un profil avec des bosses et des creux voir figure I. 6, le contact se fait à la pointe des bosses les plus élevés donc la surface réelle de contact est faible. [09]

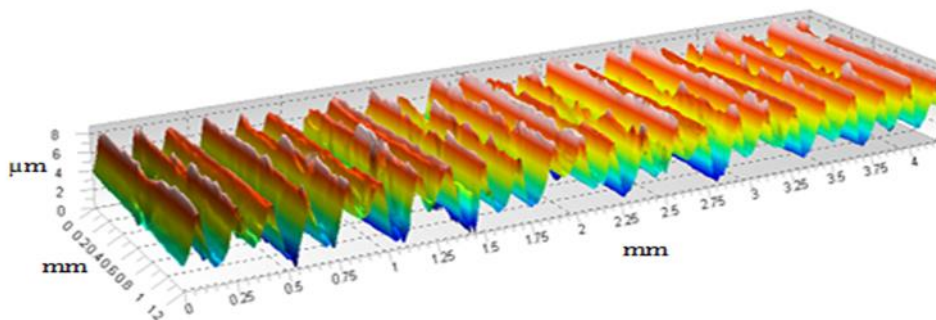


Figure I-7 : Topographie de la rugosité de surface d'un acier C45 après tournage.

La caractérisation d'une surface d'un échantillon est obtenue par des mesures profilométriques d'une zone de cette surface (Fig. I-7).

- La miro-rugosité : elle caractérise à l'échelle micrométrique les bosses et les creux résultant du procédé de mise en forme de la surface.

- L'ondulation de la surface (macro-rugosité) ayant une longueur d'onde des variations du profil plus grande que celle de la microrugosité.

I.3.3 Importance de l'état de surface

I.3.3.1 Définition

Les états de surfaces sont représentés par les irrégularités dues au procédé d'élaboration de la pièce, en général ils sont mesurés avec des appareils à palpeur à pointe en diamant nommé profil mètre, et reproduit sous forme graphique permettant de visualiser la forme des irrégularités et d'estimer leurs profondeurs et leurs espacements. Dans le bureau d'étude l'état de surface est un élément très important car il représente la cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie, et l'aspect des surfaces usinées [10].

I.3.3.2 Différents types de surfaces

➤ Surface de référence

C'est une surface particulière qui permet de définir ou de contrôler d'autres surfaces (Fig I-8) [11].

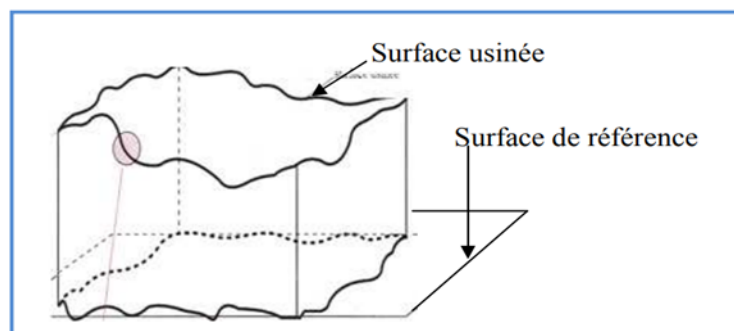


Figure I-8: Représentation de la surface de référence.

➤ Surface spécifiée

Surface parfaite sur le dessin de définition, elle est définie géométriquement par le bureau d'études à l'aide de cotes nominales.

➤ **Surface associée :**

C'est la surface théorique représentant au mieux la surface réellement fabriquée. Elle est de même nature que la surface nominale ou spécifiée (Fig. I.9).

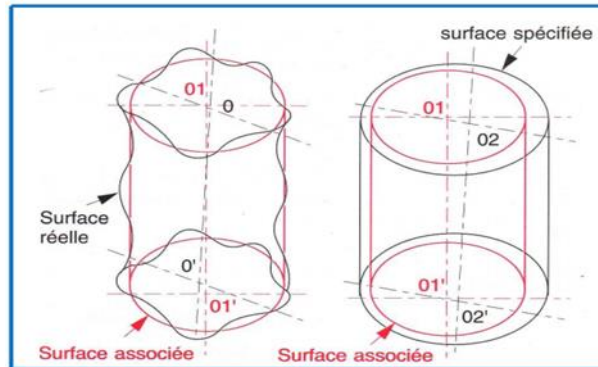


Figure I-9: Surface spécifiée et surface associée

➤ **Surface mesurée :**

Surface déterminée à l'aide des instruments de mesure à partir de la surface réelle. La surface mesurée, résultant de l'exploration de la surface réelle devra être l'image la plus rapprochée.

➤ **Surface réelle :**

C'est la surface intérieure de la totalité des pièces mécaniques (Fig I-10).

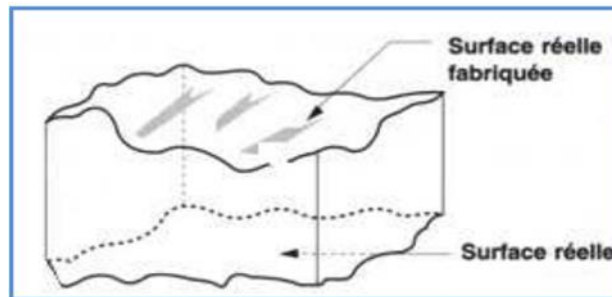


Figure I-10: Surface réelle.

I.4 Rugosité de surface

I.4.1 Définition

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique (Fig I-11). Les surfaces usinées ne sont pas parfaites, elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, etc. Le rôle fonctionnel d'une

surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.).

Plus l'indice de rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [12]

I.4.2 Paramètres de rugosité

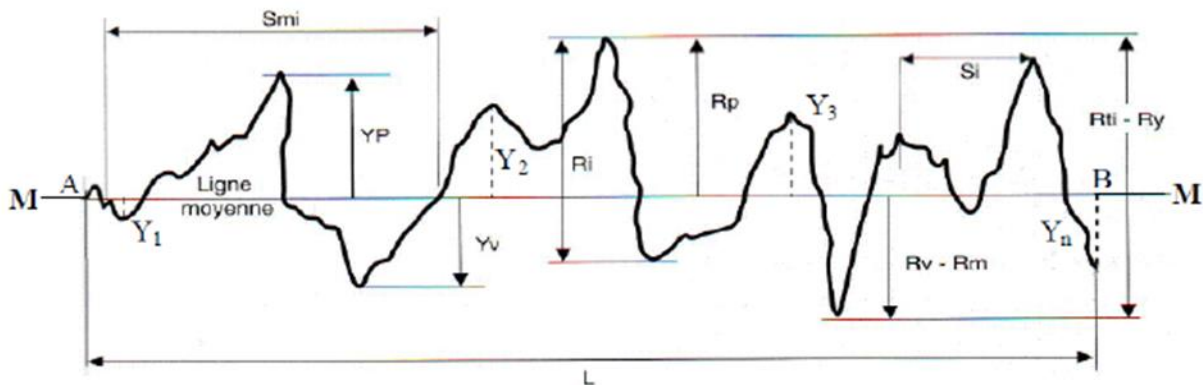


Figure I-11: paramètres de rugosité.

- MM : Ligne moyenne indiquant la direction générale du profil
- L : Longueur de base servant de mesure et de calcul les paramètres de rugosité
- YP : Hauteur d'un pic par rapport à MM
- YV : Profondeur d'un creux par rapport à «MM»
- Rp, Rv : Hauteur, Profondeur maxi des pics et creux, par rapport à « MM»
- RT : Rti (ou Ry) Ecart max sur la longueur d'évaluation, ($R_y = R_p + R_m$)
- Rtm : Moyenne des Rti sur la longueur totale d'évaluation
- Ri : Profondeur élémentaire de la rugosité
- R : Profondeur moyenne de la rugosité (moyenne Ri sur la longueur d'évaluation)
- Rmax : Profondeur maximum de la rugosité
- Rz : Hauteur des irrégularités sur 10 points (moyenne des valeurs absolues des 5Yp et 5Yv les plus grands, sur 5 segments d'évaluation consécutifs.
- Ra : Moyenne arithmétique des écarts de profil par rapport à la ligne moyenne, Représente la valeur moyenne des distances des pointes successives.
- Si : Pas de saillies locales du profil

I.4.3 Mesure de la rugosité

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne sont pas suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise une rugosité qui détermine de manière sûre et précise un certain nombre de paramètres de rugosité (R_a , R_z ..., etc.).

Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'une rugosité on peut citer les domaines suivants [13] :

- **Mécanique** : l'optimisation de la rugosité permet un meilleur ancrage mécanique, notamment au sein de dispositifs où les forces de friction jouent un rôle fonctionnel prépondérant (ex : cônes morses).
- **Qualité** : l'utilisation d'une rugosité permet le contrôle de la qualité de finition en bout de chaîne de production, permettant de détecter et de corriger d'éventuels problèmes survenus durant l'usinage.
- **Recherche** : la mesure de la rugosité permet d'évaluer la qualité d'un nouvel enduit ou procédé de traitement de surface [14].

I.5 Traitement mécanique de surface par galetage

I.5.1 Introduction

Il y a plusieurs méthodes d'amélioration de surface disponibles dans l'industrie et qui génèrent une couche de contraintes résiduelles de compression dans l'épaisseur des pièces mécaniques. Le galetage, par exemple, offre une amélioration des performances des matériaux par une action combinée de durcissement superficiel, de modification micro-géométrique et d'introduction de contraintes résiduelles de compression grâce à une déformation plastique hétérogène à la surface de ces pièces. [15]

I.5.2 Galetage

I.5.2.1 Définition

Le galetage est un procédé de traitement mécanique de surface qui met en évidence une déformation plastique superficielle à froid (Fig I-12). [16]

Ce procédé conduit généralement à une surface caractérisée par une faible rugosité, un écrouissage des couches superficielles et génération des contraintes résiduelles de compression.

De ce nouvel état découle une amélioration de la tenue en fatigue et une tenue à l'usure des couches superficielles [17].

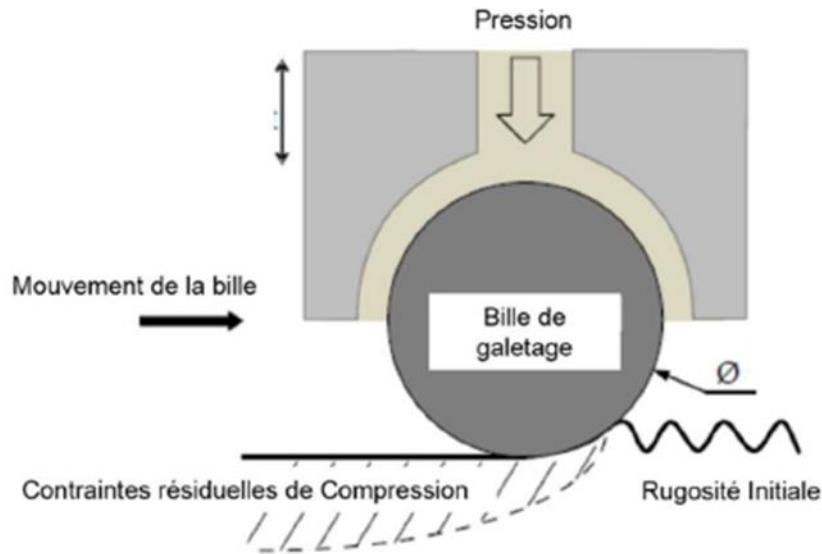


Figure I-12: Principe du procédé de galetage.

I.5.2.2 Influence du galetage à bille sur la rugosité de surface :

L'amélioration de la rugosité de surface sur les pièces brunies dépend des paramètres de procédés.

- Par l'augmentation de la vitesse de déformation on augmente la température dans la zone de déformation qui permet, la stabilisation au moment donné, ainsi que le métal prend un aspect de plus en plus visqueux ce qui réduit le frottement entre l'outil et la pièce ce qui provoque l'amélioration de l'état de surface avec une diminution de la rugosité.

L'amélioration de la rugosité de surface et aussi assurée par :

- L'augmentation de l'effort de brunissage qui provoque le fluage du métal et par conséquent la plastification, ce qui diminue la rugosité. L'augmentation du rayon de l'outil qui réduit la hauteur d'aspérité ; ce qui permet la diminution de la rugosité de surface [14]. Sur la figure I.13, sont représentés les profils grammes des surfaces de pièces (acier A50) usinées à l'outil et par galetage à bille avec des efforts de pression progressifs.

Rugosité après usinage à l'outil coupant



Rugosité après traitement par pression

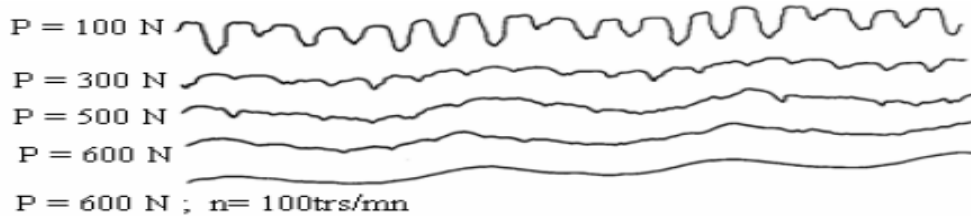


Figure I-13: Rugosité de surface initiale sous l'effet de la force appliqué sur l'acier A50 [18].

I.5.3 Paramètres de traitement

Généralement, on procède à une opération de traitement mécanique de surface en vue d'améliorer les aptitudes en service des pièces mécaniques, tant sur le plan résistance pendant le fonctionnement (tenue à la fatigue, résistance à l'usure, résistance à la corrosion,), que sur la qualité de l'état de finition des couches superficielles du produit [19 -20]. L'efficacité du traitement dépend de plusieurs paramètres [21], en l'occurrence :

- La force appliquée,
- La géométrie et les dimensions de l'outil,
- La rugosité de la surface antérieure,
- La nature du matériau à traiter,
- Les caractéristiques mécaniques de l'outil (dureté et le module du Young),
- L'avance par rapport à la pièce,
- La géométrie et les dimensions de la pièce.

I.5.4 Effets du traitement mécanique

D'après plusieurs travaux [22 – 23], les paramètres mentionnés précédemment ont une influence sur l'état de la couche réalisée par le traitement. Les effets de galetage à bille se traduisent par une amélioration de certaines caractéristiques telles que :

- La qualité de l'état de surface obtenue,
- Les contraintes résiduelles,

- La limite de fatigue,
- La résistance à l'usure

I.5.5 Différents types de galetage

➤ Galetage de renforcement

Il permet d'augmenter la résistance à la fatigue des pièces de construction soumises à des contraintes élevées. Par dépassement local de la limite d'élasticité, il se produit des précontraintes de compression qui ont une influence favorable sur l'endurance du matériau dans les zones soumises à fatigue, notamment alternée [24].

➤ Galetage dimensionnel ou de forme

Le but est de modifier la forme initiale de la pièce, soit pour introduire des corrections volontaires destinées à un usage particulier (cas du galetage de pignons taillés en vue de réduire le bruit en fonctionnement) soit pour ramener la forme initiale dans la tolérance [24].

➤ Galetage de surface ou super finition

Dans tous les cas le galetage améliore l'état de surface. Il est possible d'atteindre un niveau de super finition (sans modification de forme) à l'aide d'outils dont la surface est polie ou glacée [24].

I.5.6 Avantages du galetage

Amélioration de l'état de surface de la pièce usinée. Opération économique du fait qu'elle se fait sur pièce non traitée, et donc qu'elle économise une opération de rectification plus coûteuse [24].

- 1- Meilleur contrôle de la cote jusqu'à 0,01 mm,
- 2- Amélioration de la dureté en surface de 5 à 10%,
- 3- Amélioration de la résistance à la corrosion,
- 4- Réduction de la friction,
- 5- Diminution des traces et des imperfections,
- 6- Remplace des opérations onéreuses comme la rectification ou rodage,
- 7- Production accrue à coût réduit comparée à d'autres opérations de finition.

I.6 Conclusion

La très grande diversité des méthodes de traitement des surfaces rend délicat le choix d'un traitement donné dans un but déterminé. Les paramètres qui entrent en considération sont les mécanismes exacts de l'action de l'environnement sur le métal à traiter (diffusion, électrochimie, propriétés mécaniques et physiques), le but recherché par le traitement en fonction de ces mécanismes, la pondération entre les exigences souvent contradictoires de protection dans des environnements variables.

Le choix de l'outil dépend de la machine utilisé et du mode d'obtention des surfaces des pièces sont essentiellement basé sur les propriétés mécaniques et topographiques. Malgré les avantages des modes d'obtention des pièces par enlèvement de matière, le traitement mécanique notamment le traitement par déformation plastique superficielle (DPS) s'avère très intéressant lors des opérations de parachèvement en raison de la plastification qu'il permet d'offrir à la surface.

Chapitre II

**Etude et conception de l'outil de galetage à bille pour
fraisage.**

Chapitre II: Etude et conception de l'outil galetage à bille pour fraisage.

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire de la conception et de l'étude de toutes les pièces de l'outil de galetage à bille. Donc nous allons utiliser un logiciel de CAO (SolidWorks) pour la conception de l'outil.

II.2 Description de L'outil

II.2.1 Fonction de l'outil

Cet outil est composé de 46 pièces liées entre elles avec des liaisons mécaniques, chaque pièce à un rôle est illustrée dans le tableau II.3. La bille de galetage sur une fraiseuse est utilisée essentiellement pour galetter les surfaces planes des taules en aluminiums sur une fraiseuse.

II.2.2 Caractéristiques

- La machine : une fraiseuse.
- Porte-outil : port fraise ou mandrin pour fraiseuse
- la charge max pour un millimètre de compression : 30,40 N.

II.2.3 Réglage de l'outil

Le réglage de la pression de l'outil de galetage peut s'effectuer soit à l'aide de l'écrou de réglage ou bien par le déplacement verticale du chariot de la machine (fraiseuse). La pression zéro lorsque la bille est en contact avec la surface de la pièce à traiter.

II.2.4 Choix de la matière des pièces

Chaque pièce de l'outil de galetage à bille a une matière distinguée. Les caractéristiques mécaniques de ces matériaux :

Tableau II-1: Caractéristique des matériaux.

Matière	Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	Dureté
Acier XC38	300	550	207 HV
POM-C	150	80	110 HV
Bronze CuSn4P	345	180	95 HV

II.2.4.1 Fonctions et matière de chaque pièce :

Tableau II-2: fonction et matière de chaque pièce.

N°	Désignations	Matière	Fonction	Quantités	Liaison avec autre pièces
1	Corps	XC38	Protéger les axes principaux et les ressorts	01	Par serrage avec le porte outil de la machine
2	La tête de l'outil	XC 48	Porter de roulement et la bille	03	Par filetage avec principal
3	Le couvercle	XC 48	Couvercle de bille	03	Par filetage avec la tête d'outil
4	Contre-écrou de couvercle	XC48	Bloquer le couvercle	03	Par filetage avec la tête d'outil
5	Bague de guidage 01	Bronze CuSn4P	Guider la bille	03	Par serrage avec la tête d'outil
6	Bague de guidage 02	XC 48	Guider et faciliter le glissement de la tête d'outil	03	Par serrage avec le corps
7	Bague de guidage 03	XC 48	Guider et faciliter le glissement de la tête d'outil	03	Par serrage avec le corps
8	Ecrou de réglage	/	Régler la pression de ressort	03	Par filetage avec l'axe de la tête d'outil
9	Ressort	Corde à piano	Fournis la pression l'absorption des chocs	03	Par jeu incertain avec le corps et par jeu incertain avec l'axe principal
10	Joint	POM-C	Protéger la bille	03	Par serrage avec le couvercle
11	Bille	100C6	Déformer la couche superficielle de la pièce	03	Par jeu avec la tête et par liaison ponctuelle avec le roulement
12	Circlips extérieur	/	Fixation de l'axe de roulement	03	Par serrage avec l'axe de roulement
13	L'axe de roulement	XC 48	Fixer le roulement	03	Par serrage avec la tête

14	Roulement	/	Assurer le mouvement de rotation de la bille	03	Par serrage avec l'axe de roulement.
----	-----------	---	--	----	--------------------------------------

II.2.4.2 Caractéristique de la matière de joint de l'outil de galetage à bille (POM-C) :

Le POM/C, ou polyoxyméthylène, est un polymère thermoplastique, Il est largement utilisé dans les applications d'ingénierie pour sa combinaison unique de propriétés physiques et mécaniques. [25]

- **Avantages de la matière POM-C :**

- Une bonne résistance à l'usure et grande rigidité
- Une faible friction
- Une bonne résistance à la fatigue
- Une bonne stabilité dimensionnelle
- Une résistance élevée aux chocs
- Facile à usiner
- Possède une faible absorption d'humidité
- Résistance à la chaleur
- Isolant électrique

- **Inconvénients de la matière POM-C**

- Faible résistance aux produits chimiques (acides forts et aux bases).
- Sensible aux UV.



Figure II-1: matière de POM-C.

Tableau II-3: caractéristique mécanique et thermique de la matière POM-C.

Mécanique		
Coefficient de frottement dynamique sur acier	à sec 0,25 à 0,35 lubrifié 0,05 à 0,12	/
Résistance à la traction	67	MPa
Allongement à la rupture	28	%
Module d'élasticité	2855	MPa
Dureté à la bille	125	MPa
Dureté Rockwell	M 84	/
Thermique		
Température de fusion	165	°C
Conductivité thermique	0	W/K.m
Température de fléchissement sous charge de 1.8 MPa	100	°C
Température d'utilisation maximale par pointe	140	°C
Température d'utilisation maximale en continu	115/100	°C
Température d'utilisation minimale	-50	°C

II.2.4.3 Caractéristique de la matière XC 38 :

Compositions chimiques en % :

Tableau II-4: compositions chimique de l'acier XC38.

C	S	Mn	P	Si
0,32 – 0,39	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 Max

D'après le tableau (II.4), on constate que l'acier XC38 contient des taux très faible des Éléments d'addition, il est classé dans la famille des aciers faiblement alliés avec un taux de Carbone qui n'accède pas 0.39% en masse.

II.3 Conception assistée par ordinateur (CAO)

II.3.1 Définition de CAO

La conception assistée par ordinateur, ou CAO, est une technologie qui permet aux ingénieurs et aux designers de créer des modèles 2D et 3D de produits à l'aide de logiciels spécialisés. Les modèles créés grâce à la CAO peuvent être utilisés pour simuler et tester les performances des conceptions avant de les fabriquer. [26]

II.3.2 Domaine d'utilisation

Le domaine de la mécanique est historiquement l'un des premiers à s'être doté, dans les années 1960, de logiciels de CAO. Elle permet au concepteur d'exprimer et de modéliser un grand nombre de contraintes (fonctionnalités, matériaux, capacité d'assemblage, fabrication, etc.) pendant la phase de conception d'un ensemble mécanique. Les logiciels correspondants sont utilisés lors d'une ou plusieurs phases du développement (ex : spécifications, esquisses, dimensionnement, analyses cinématiques, analyses dynamiques, préparation de la fabrication). Les logiciels modernes permettent une conception directe en trois dimensions et sont surtout intéressants pour les fonctionnalités proposées :

Aujourd'hui une pièce de tôlerie est modélisée directement en pliant virtuellement une tôle, un perçage est placé d'un simple clic sans avoir à réfléchir sur le choix des formes volumiques

- au sens mathématique
- à adopter pour modéliser son intention technologique.

Si les premiers logiciels proposaient un historique figé (pas de retouche possible des formes déjà définies), les dernières versions utilisant la conception paramétrique autorisent toutes les modifications. [27]

II.3.3 Description générale de SolidWorks

II.3.3.1 Définition du logiciel SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de CAO 3D qui permet aux ingénieurs et aux designers de concevoir, simuler et tester des produits avant de les fabriquer. Il permet de créer des modèles 2D et 3D de pièces et d'assemblages mécaniques, ainsi que de produire des dessins techniques détaillés pour la fabrication. SolidWorks est également largement utilisé dans l'industrie pour la conception de produits de haute qualité et la réduction des coûts de production. [28]

II.3.3.2 Ecran graphique de SolidWorks :

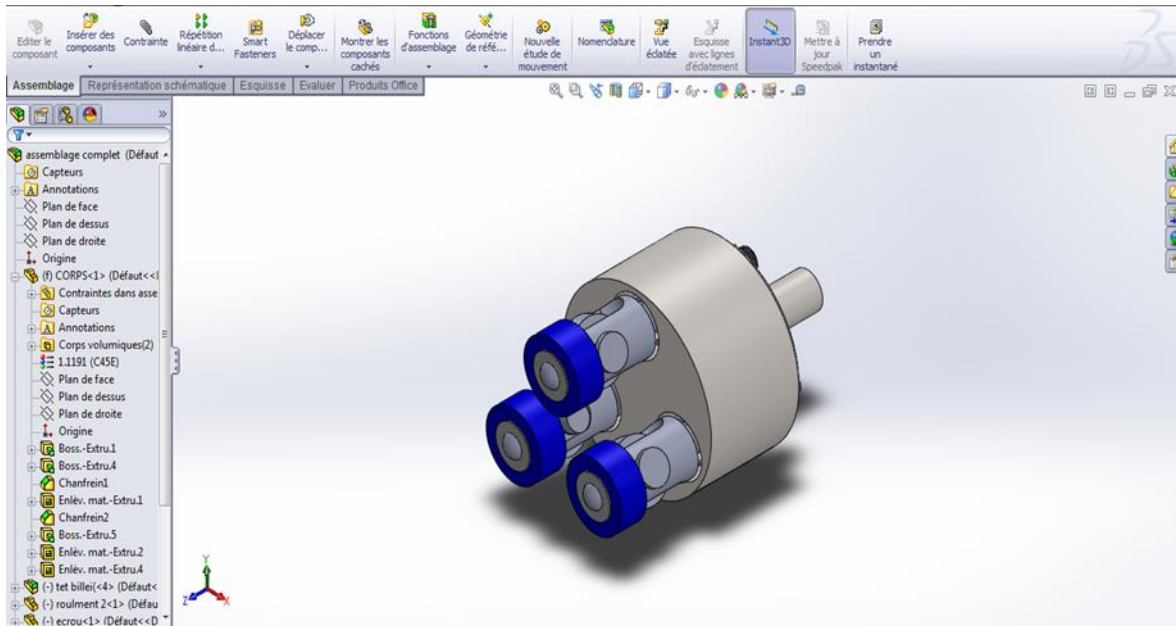


Figure II-2: Ecran graphique de l'outil dans SolidWorks.

II.4 Etudes de résistance des matériaux de l'outil de Galetage à bille

II.4.1 Introduction

La résistance des matériaux est une discipline particulière de la mécanique des milieux continus permettant de calculer des forces et les contraintes qui agissent sur les matériaux solides. Cette discipline est utilisée pour concevoir des structures qui sont capables de résister aux charges et aux forces externes, tout en restant sûres et stables.

Dans notre étude une combinaison des méthodes de calcul suscitées sera utilisée selon le type de calcul à faire et selon le chargement subi par les pièces à étudier.

II.4.2 Ressort

II.4.2.1 Généralité sur les ressorts

Il existe deux catégories de ressorts selon le module d'élasticité de la matière qui les constitue : les ressorts métalliques à module d'élasticité élevé et les ressorts métalliques à faible module d'élasticité. Les ressorts métalliques à module d'élasticité élevé sont fabriqués à partir de matériaux tels que les alliages de titane, les aciers inoxydables, et les alliages de nickel, et sont utilisés dans des applications où une grande précision, une longue durée de vie, et des performances fiables sont requises. Les ressorts métalliques à faible module d'élasticité, quant à eux, sont fabriqués à partir de matériaux tels que le cuivre, le laiton, et le phosphore bronze,

et sont utilisés dans des applications où une grande flexibilité et une grande résistance à la corrosion sont requises. [29]

II.4.2.2 Définition du ressort de compression hélicoïdale

Un ressort de compression est une pièce mécanique qui restitue l'effort qui lui a été imposé lorsque l'effort disparaît.

La force rendue par le ressort est linéaire, et dépend de deux facteurs. Le premier facteur est la flèche imposée au ressort, et le deuxième est sa raideur ou dureté (exprimée en N/mm).

II.4.2.3 Paramètres du ressort de compression :

d (Diamètre du fil) : ce paramètre donne l'épaisseur du fil utilisé pour produire le ressort.

S (Dd) (Arbre) : ce paramètre correspond au diamètre maximal de l'arbre pouvant être introduit dans le ressort. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 2 % (indication).

D_i (Diamètre intérieur) : le diamètre intérieur d'un ressort peut être calculé en soustrayant deux fois le diamètre du fil au diamètre extérieur du ressort. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 2 % (indication).

D_e (Diamètre extérieur) : le diamètre extérieur d'un ressort peut être calculé en ajoutant deux fois le diamètre du fil au diamètre intérieur du ressort. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 2 % (indication).

H (Alésage) : c'est le diamètre minimal de fonctionnement du ressort. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 2 % (indication).

P (Pas) : distance moyenne entre deux spires actives (utilisé) successives d'un ressort.

L_b (Longueur à bloc) : longueur maximale du ressort après blocage complet. Ce paramètre est situé à droite sur le schéma. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 15 % (indication).

L_n (longueur autorisée) : longueur maximale autorisée d'un ressort après torsion. Si la déflexion est plus importante, il y a risque de déformation plastique (modification irréversible d'une forme en réponse à une force appliquée). Dans la plupart des cas, il n'existe aucun risque de déformation du ressort. Ainsi, $L_n = L_c + S_a$, où S_a est la somme des distances minimales autorisées entre des spires actives.

L₀ (Longueur libre) : la longueur libre est mesurée à l'état non comprimé du ressort après un premier blocage (si nécessaire). La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 2 % (indication).

Nombre de spires : nombre total de spires d'un ressort. Pour calculer le nombre de spires actives, il suffit de soustraire les deux spires des extrémités.

k (Raideur) : ce paramètre détermine la résistance du ressort lors de sa compression. Elle est mesurée comme suit : 1 DaN/mm = 10 N/mm. La tolérance concernant ce paramètre est de +/- 15 % (indication).

L₁ et F₁ (Longueur sous charge F) : la charge F₁ sous longueur L₁ peut être calculée à partir de l'équation suivante : $F_1 = (L_0 - L_1) \times R$ [30 – 31].

II.4.2.4 Matériaux :

- **A (Corde à piano) :** acier conforme à la norme EN 10270-1 classe SH
- **I (Inox) :** inox 18/8 conforme à la norme Z10 CN 18.09.
- **N (Fil zingué) :** fil acier à ressort galvanisé.
- **Compositions chimiques et mécaniques de la corde à piano NF A 47-301 de classe (SH).**
 - **Compositions chimiques :**

Tableau II-5: Composition chimique de NF A 47-301.

C%	Mn%	Si%	P max	S%	Cu max
0,5 – 1,00	0,5-1,22	0,1-0,31	0,02	0,025	0,12

- **Caractéristiques mécaniques :**

Tableau II-6: Caractéristiques mécaniques de NF A 47-301.

Re	Rm	G
920 N/mm ²	1225 N/mm ²	81500 N/mm ²

II.4.2.5 Dimension du ressort de compression :

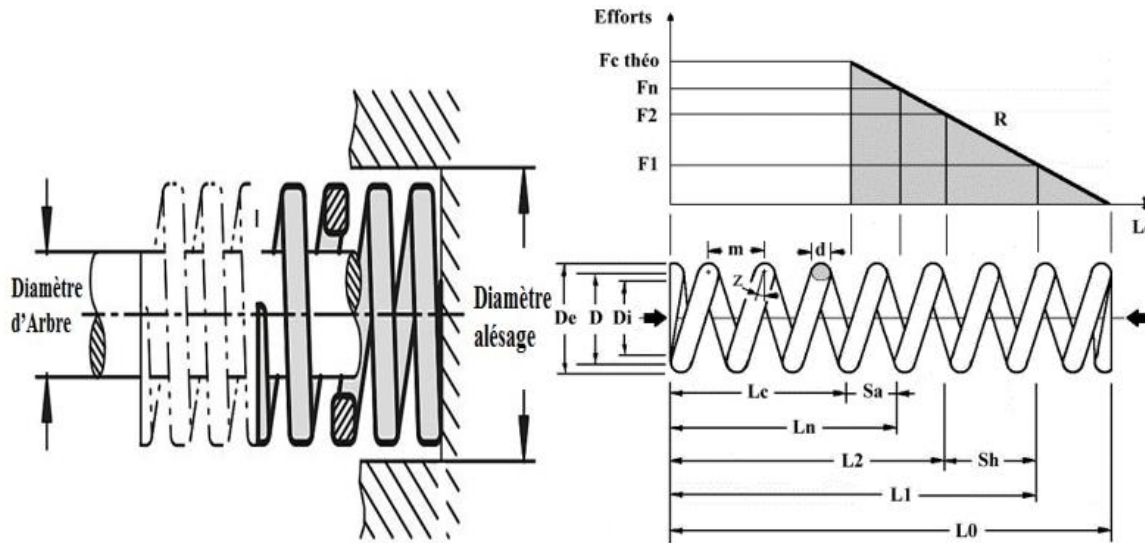


Figure II-3: Schéma de dimension de ressort compression. [30 – 31].

Dans les formules ci-dessus les divers symboles ont les significations suivantes :

F_1, F_2, F, F_n, F_b : Charges appliquées sur le ressort.

L_0 (mm) : Longueur libre, soit la longueur le long de son axe. Le ressort est au repos.

L_1, L_2, L, L_n, L_b (mm) : longueur du ressort soumise à des charges F_1, F_2, F, F_n, F_b correspondante (Fig. II.5).

Tableau II-7: Données de ressort.

Désignation	Symbole	Valeur
Le pas	p	4,80 mm
Diamètre du fil	d	2 mm
Diamètre d'Arbre	S	9 mm
Diamètre intérieur	D_i	13 mm
Diamètre extérieur	D_e	17 mm
Diamètre moyenne	D_m	15 mm
Diamètre Alésage	H	18 mm
Nombre de spires utilisé	n_u	6,041 spires
Longueur autorisée	L_n	22 mm
Longueur libre	L_0	32 mm
Longueur à bloc	L_b	20 mm
Raideur	k	30,40 N/mm
Charge max	F_n	406 N
Masse totale du ressort	M_t	31,62 g

II.4.2.6 Calculs statiques :

Il faut fixer le type d'extrémité du ressort :

$n_i = 1,5$ pour les extrémités rapprochées et meulées

Et $n_i = 3$ pour les extrémités rapprochées. [30 – 31]

Nous avons des extrémités meulées et rapprochées donc $n_i = 1,5$ (Fig. II.4).



Figure II-4: Ressort de compression.

➤ **Calcul du Nombre de spires utilisé (n_u) :**

$$n_u = (L_0 - n_i d) / (0,3 D_m + 0,15 d) \quad (\text{II.1})$$

$$n_u = (32 - 1,5 \times 2) / (0,3 \times 15 + 0,15 \times 2)$$

$$n_u = 6,041 \text{ spires}$$

➤ **Calcul du nombre total de spires (n_t) :**

Pour trouver le nombre total de spires, faire $n_t = n_u + 2$ pour les extrémités rapprochées (meulées ou non).

$$n_t = n_u + 2 \quad (\text{II.2})$$

$$n_t = 6,041 + 2 = 8,041 \text{ spires}$$

➤ **Calcul des distances minimales autorisées entre des spires S_a :**

$$S_a = L_n - L_b \quad (\text{II.3})$$

$$S_a = 22 - 20 = 2 \text{ mm}$$

➤ **Calcul la distance moyenne entre deux spires actives successives d'un ressort P :**

$$P = (L_0 - 1,5d) / n_u \quad (\text{II.4})$$

$$P = 32 - (1,5 \times 2) / 6,041$$

$P = 4,80 \text{ mm}$

➤ **Calcul la Course maximale (compression) S_n :**

$$S_n = L_0 - L_n \quad (\text{II.5})$$

$$S_n = 32 - 22 = 10 \text{ mm}$$

➤ **Calcul des charges F_1, F_2, F, F_n, F_b :**

$$F = \Delta L \times k \quad (\text{II.6})$$

• **Pour $L_1 = 31$**

$$\Delta L = L_0 - L_1 = 1 \text{ mm}$$

$$F_1 = (L_0 - L_1) \times K = (32 - 31) \times 30,40 = 30,40 \text{ N}$$

• **Pour L_2 et L**

On pose : $L_2 = 30 \text{ mm}$ et $L = 25 \text{ mm}$

$$F_2 = (L_0 - L_2) \times K = (32 - 30) \times 30,40 = 60,8 \text{ N}$$

$$F = (L_0 - L) \times K = (32 - 25) \times 30,40 = 212,8 \text{ N}$$

• **Pour L_n : longueur autorisée**

$$F_n = (L_0 - L_n) \times K = (32 - 22) \times 30,40 = 304 \text{ N}$$

• **Pour L_b : Longueur à bloc**

$$F_b = (L_0 - L_b) \times K = (32 - 20) \times 30,40 = 364,8 \text{ N}$$

II.4.2.7 Calculs dynamiques :

La base du calcul des contraintes dans le corps du ressort ne tient pas compte de la courbure du fil (le ressort est assimilé à une barre droite). L'effet de courbure induit en particulier un écart de longueur sensible entre la fibre intérieure et la fibre extérieure du ressort. On observe ainsi une irrégularité de la répartition des contraintes dans la section du fil. La contrainte la plus élevée, se trouve sur l'enveloppe interne des spires du ressort.

➤ **Calcul l'allongement ou le raccourcissement du ressort compression (Δl) :**

$$\Delta l = \frac{8 \times F_{\max} \times n_t \times D_m^3}{G \times d^4} \quad (\text{II.7})$$

$$\Delta l = \frac{8 \times 30,4 \times 8,041 \times 15^3}{81500 \times 2^4} = 5,061 \text{ mm}$$

Calcul le moment de torsion (M_t) :

$$M_t = F_{\max} \times \frac{D_m}{2} \quad (\text{II.8})$$

$$M_t = 30,4 \times \frac{15}{2} = 228 \text{ N/mm}$$

➤ **Calcul la contrainte dues au cisaillement (τ_{cis}) :**

$$\tau_{\text{cis}} = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{II.9})$$

$$\tau_{\text{cis}} = \frac{4 \times 30,40}{\pi \times 2^2} = 9,68 \text{ N/mm}^2$$

➤ **Calcul la contrainte dues à la torsion dont la valeur maximale (τ_{tor}) :**

$$\tau_{\text{tor}} = \frac{8 \times F_{\max} \times D_m}{\pi \times d^3} \quad (\text{II.10})$$

$$\tau_{\text{tor}} = \frac{8 \times 30,40 \times 15}{\pi \times 2^3} = 145,14 \text{ N/mm}^2$$

Il faut examiner ici la répartition des contraintes dans le fil :

Si nous ne tenons compte que du moment de torsion, les contraintes de cisaillement sont réparties comme l'indique la **Figure II.5 (a)**.

Elles sont maximales sur la périphérie du fil, où elles valent :

$$\tau_{\text{tor}} = \frac{8 \times F_{\max} \times D_m}{\pi \times d^3}$$

Cette formule n'est guère utilisable que pour des avant-projets.

Si nous prenons en compte l'effort tranchant, supposé uniformément réparti sur la section du fil, nous arrivons à la répartition indiquée par la **Figure II.5 (b)**.

Que le ressort travaille en traction ou en compression, les deux contraintes tangentielles s'ajoutent au point I situé à l'intérieur du ressort.

Le terme correcteur qu'il faut ajouter est d'autant plus grand que le rapport $m = D/d$ est petit, ce qui caractérise un ressort « raide ». Ceci sera justifié par la suite.

En réalité, il faut encore tenir compte de la courbure de la « poutre » constituant le ressort. La répartition des contraintes n'est pas linéaire et prend l'allure donnée sur **Figure II.5 (c)**, avec un maximum très marqué au point intérieur I où s'amorcent presque toujours les ruptures de fatigue, comme celle que l'on peut voir ici :

La contrainte τ_m se calcule en pratique à partir de la contrainte τ que l'on multiplie par un coefficient correcteur K (ne pas confondre avec la raideur) dépendant du rapport Dm/d . Ce coefficient K peut être déterminé par lecture sur l'abaque ci-dessous ou encore calculé grâce à des formules plus ou moins empiriques.

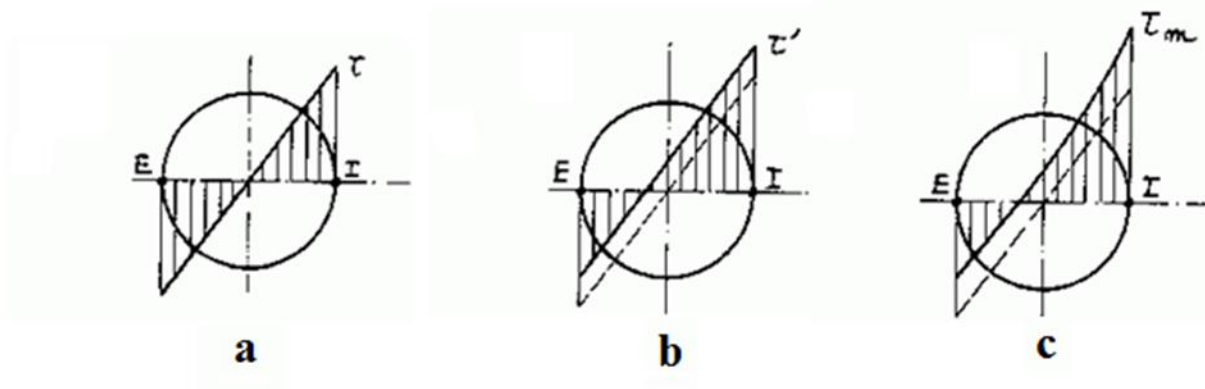


Figure II-5: Contraintes tangentielles d'un ressort.

➤ **Calcul simpliste en tenant compte que de la torsion ($K_r = 1$) :**

K_r (facteur de la correction de la tension en torsion).

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{tor}} + \tau_{\text{cis}} \quad (\text{II.11})$$

$$\tau_{\max} = 145,14 + 9,68 = 154,82 \text{ N/mm}^2$$

➤ **Calcul tenant compte de la torsion et du cisaillement K_r :**

$$K_r = 1 + \frac{d}{2D_m} \quad (\text{II.12})$$

$$K_r = 1 + \frac{2}{2 \times 15} = 1,066$$

$$\tau_{\max} = K_r \frac{8 \times F_{\max} \times D_m}{\pi \times d^3}$$

$$\tau_{\max} = 1,066 \times \frac{8 \times 30,4 \times 15}{3,14 \times 2^3} = \mathbf{154,807 \text{ N/mm}^2}$$

➤ **Calcul d'erreur relative entre les différentes formules :**

$$(1) \text{ et } (2) \text{ Erreur } (\%) = \left(1 - \left(\frac{154,82}{154,807} \right) \right) \times 100 = 0,013\%$$

Calcul du coefficient de sécurité par rapport à la formule exacte (s) :

$$\tau \leq 0,58 \frac{Re}{s} \tag{II. 13}$$

$$s \leq 0,58 \frac{Re}{\tau} \rightarrow 0,58 \times \frac{920}{154,807} \leq 3,44$$

$$s \leq 3,44$$

II.5 Etude de réaction des pièces de l'outil

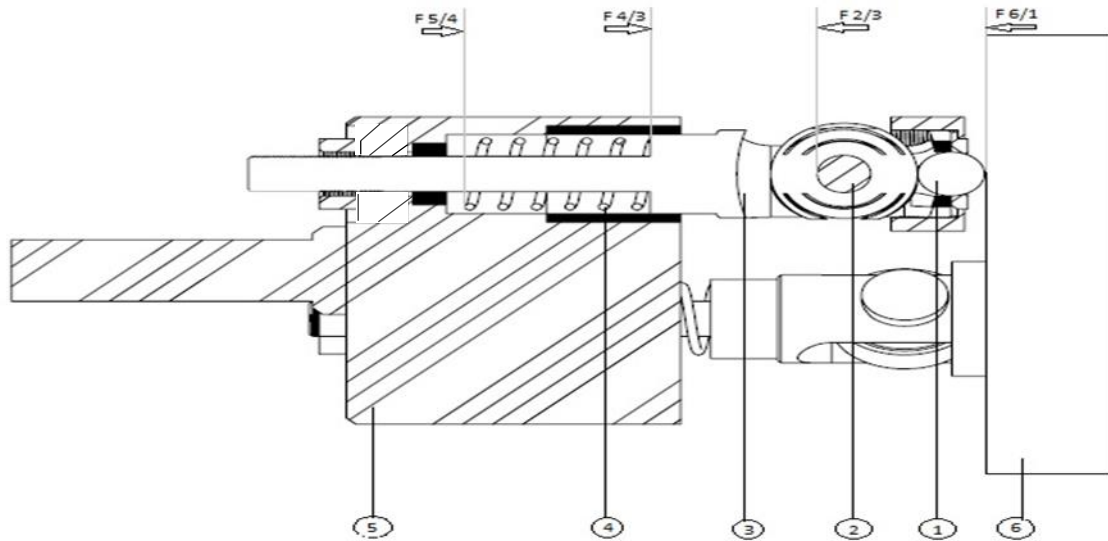


Figure II-6: Réaction des pièces.

1) la bille ; 2) l'axe de roulement ; 3) l'axe principal de la tête ; 4) le ressort ; 5) le corps ; 6) la pièce, Donc :

$$F6/1 = F2/3 = F4/3 = F5/4 = k \times \Delta L = 30,4 \text{ N}$$

II.5.1 Caractéristiques du matériau de l'axe principal

Tableau II-8: Caractéristiques de l'acier XC48.

Composition chimique				
%C	%S	%Mn	%P	%Si
0,32-0,39	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 max
Propriétés physique				
Densité		7,85 g/cm ³		
Module de Young		205 GPa		
Dureté		Max 223 HB		
Résistance à la traction Rm		700 N/mm ²		
Limite élastique Re		550 N/mm ²		
Température de trempe		800-860°C		

Température de revenu	550-660°C
Coefficient de sécurité	2

II.5.2 Calcul la résistance pratique en traction

$$\sigma = \frac{4F}{\pi \times d^2} = \frac{4 \times 30,4}{3,14 \times 21^2} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$R_p = R_e / s = 550 / 2 = 275 \text{ N/mm}^2 > 0,08 \text{ N/mm}^2$$

Donc la condition de résistance est vérifiée.

II.6 Etude d'assemblages

II.6.1 Filetage

Un filetage est obtenu partir d'un cylindre (quelquefois d'un cône) sur lequel on a exécuté une ou plusieurs rainures hélicoïdales. La partie pleine restante est appelée filet On dit qu'une tige est « filetée extérieurement » ou « filetée » et qu'un trou est « filetée intérieurement » ou « taraudé ». Une tige filetée est aussi appelée vis et un trou taraudé écrou [31].

II.6.1.1 Emplois

Le système vis-écrou permet :

- d'assembler d'une manière démontable deux pièces (liaison des roues d'une voiture par exemple) ;
- de transmettre un mouvement (vis d'étau par exemple).
- L'emploi de filetages est permanent en construction mécanique.

II.6.2 Caractéristiques d'assemblages

La valeur des caractéristiques d'un filetage dépend de son utilisation [32] .

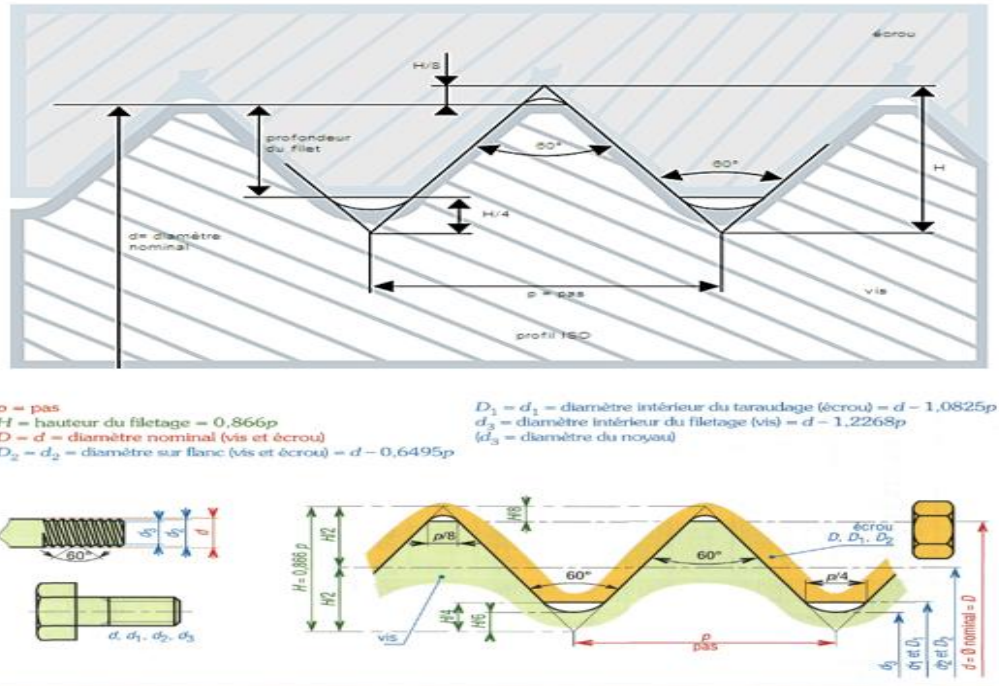


Figure II-7: Schéma de filets triangulaire.

- **Diamètre nominal :**

Le diamètre nominal d'une vis, ou d'un écrou, est une notion utilisée pour la désignation.

La valeur du diamètre nominal correspond, aux tolérances près, au diamètre extérieur de la vis. Par définition, la vis et l'écrou ont le même diamètre nominal : $D_{\text{nominal}} = d_{\text{nominal}}$ (Fig.II.10) [32].

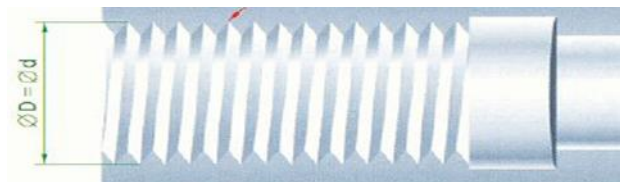


Figure II-8: Schéma de diamètre nominal D et diamètre nominal d [39].

- **Pas :**

Les normes ont prévu avec chaque diamètre nominal un pas usuel ou pas gros (boulonnerie du commerce) et un petit nombre de pas fins d'emploi exceptionnel (filetage sur tube mince, écrou de faible hauteur vis d'appareil de mesure). À diamètre nominal égal, plus un pas est fin, plus les tolérances sont réduites, d'où une fabrication plus onéreuse [32].

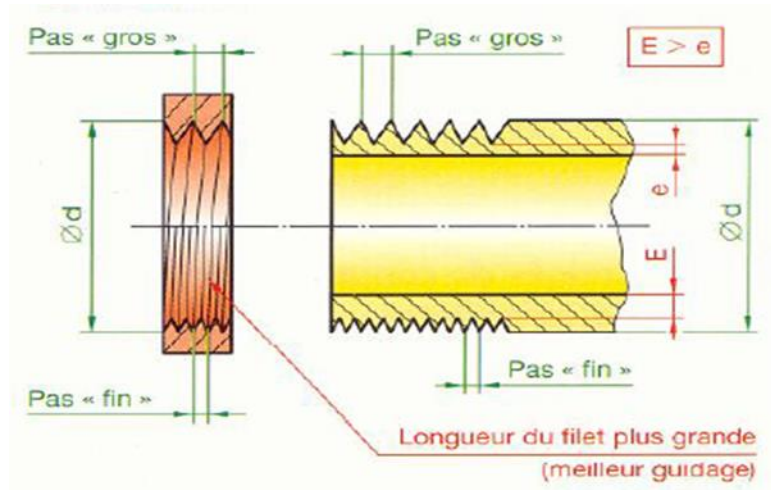


Figure II-9: Types de pas [32].

- **Diamètre de trou :**

Le diamètre du trou est important, un trou trop petit aura tendance à faire des sommets de filet bien trop haut qui froteront sur la vis, alors qu'un trou trop grand fera « nager » la vis dû au fait que les sommets cette fois seront tronqués.

$$d_0 = d + 0,9382 P \quad (\text{II.14})$$

- **Diamètre intérieur de l'écrou :**

Le diamètre le plus grand d'un filetage interne et externe.

$$d_1 = d - 1,0825 P \quad (\text{II.15})$$

- **Diamètre moyen :**

Les diamètres moyen d_2 équivalent d'un élément fileté ISO (angle de filet du filetage : $\theta = 30^\circ$) de diamètre nominal d et de P sont donnés par :

$$d_2 = d - 0,6495 P \quad (\text{II.16})$$

- **Diamètre de noyau :**

Le diamètre le plus petit d'un filetage interne ou externe [32].

$$d_3 = d - 1,2268 P \quad (\text{II.17})$$

- **Hauteur du filet :**

La hauteur de filet, est le rapport entre la hauteur réelle et la hauteur maximum d'un filet intérieur.

$$H = 0,866 P \quad (\text{II.18})$$

- **Hauteur du filet de contact :**

Hauteur de contact entre la vis et l'écrou

$$h_1 = 0,54112 P \quad (\text{II.19})$$

- **Hauteur de vis :**

$$h_2 = 0,6134 P \quad (\text{II.20})$$

- **Rayon à fond de filet :**

Un rayon de fond de filet plus grand aurait probablement eu un effet bénéfique important sur la durée de vie en fatigue [33].

$$r = 0,1443 P \quad (\text{II.21})$$

- **Résistance à l'arrachement des filets :**

Dans un premier temps, on peut évaluer le risque d'arrachement des filets.

Lorsque la charge augmente, les filets se déforment plastiquement, et la rupture est constatée sur tous les filets simultanément. On prend donc en compte la totalité de la longueur engagée de la vis dans le taraudage :

- dans le cas d'un boulon, c'est la hauteur de l'écrou réduite des chanfreins : si un écrou a pour hauteur $0,8 \times d$, la longueur utile L_u vaut $0,6 \times d$; et dans le cas d'un trou taraudé, c'est l'implantation j .

En considérant que la surface cisailée est un cylindre « ajouré » :

- côté vis, la rupture a lieu sur le diamètre d_1 (extrémité du filet de l'écrou) ; pour une vis ISO, $d_1 = d - 1,0825 \times p$, la hauteur cisailée étant les $3/4$ de la hauteur totale ;

- côté écrou ou taraudage, la rupture a lieu sur un cylindre de diamètre d (diamètre nominal) ; pour un filetage ISO, la hauteur cisailée est les $7/8$ de la hauteur totale [33].

- Résistance de l'assemblage vissé :

L'assemblage vissé présente quatre modes de ruine

1. Arrachement du filet du taraudage ou de l'écrou (rupture en cisaillement),
2. Arrachement du filet de la vis (rupture en cisaillement),

3. Rupture de la vis (rupture en traction/torsion),
4. Matage de la pièce sous la tête de vis (non représenté) [33].

II.6.2.1 Calcul des paramètres des assemblages par filetage :

- **Hauteur de la partie entre tige filetée et pièce taraudé**

$$h = n \times P \quad (\text{II. 22})$$

- **Nombre de filets en prise**

$$\sigma_{\max} = \tau_{\text{vis}}$$

$$\frac{4F}{\pi \times d_1^2} \geq \frac{F}{\pi \times d_1 \times n \times P}$$

$$n \geq \frac{k \times d_1}{4P} \quad (\text{II.23})$$

k = 1 filet triangulaire

k = 1,35 filet trapézoïdal

k = 2 filet carré

- **Section nominale**

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (\text{II.24})$$

- **Section résistante**

$$A_s = \frac{\pi ds^2}{4} \quad (\text{II.25})$$

$$ds = (d_2 + d_3) / 2$$

- **Résistance à la traction de la tige filetée**

$$\sigma_{\max} = \frac{4F}{\pi \times d_1^2} \quad (\text{II.26})$$

- **Résistance au cisaillement des filets de vis**

$$\tau_{\max} = \frac{F}{\pi \times d_1 \times h} \quad (\text{II.27})$$

- **Résistance au cisaillement des filets de l'écrou**

$$\tau'_{\max} = \frac{F}{\pi \times d \times h} \quad (\text{II.28})$$

- **Résistance à la compression des filets**

$$\sigma'_{\max} = \frac{F_{\max}}{\pi \times d_2 \times t \times n} \quad (\text{II.29})$$

$$t = \frac{d - d_1}{2} \quad (\text{II.30})$$

- **Le moment Cm nécessaire pour remonter**

$$C_m = F_{\max} \times \frac{d_2}{2} \times \tan(\alpha + \phi') \quad (\text{II.31})$$

- **Le rondement d'un assemblage fileté :**

$$\eta = \frac{F_{\max} \times P}{C_m \times 2\pi} \times s \quad (\text{II.32})$$

- **Les résistances :**

Résistance pratique au cisaillement. $R_{pg} = R_{eg}/s$

Résistance pratique en traction. $R_p = R_e / s$

Résistance élastique au cisaillement. $R_{eg} = 0,8 R_e$

- **Pression de serrage d'une vis :**

$$F_1 = \frac{F_{\max} \times 2 \times r \times \pi}{P} \quad (\text{II.34})$$

Tableau II-9: Calcul d'assemblage (l'axe principal et l'écrou de réglage).

L'axe de la tête		Ecrou de réglage		
Matériau		XC48		
Matériau		XC48		
N°	Désignation	Symbole	Résultat	Unité
01	Diamètre nominal	D	8	mm
02	Pas	P	1	mm
03	Diamètre de trou	d ₀	8,9382	mm
04	Diamètre intérieur de l'écrou	d ₁	6,9175	mm
05	Diamètre moyen	d ₂	7,3505	mm
06	Diamètre de noyau	d ₃	6,7732	mm
07	Hauteur du filet	H	0,866	mm
08	Hauteur du filet de contact	h ₁	0,54112	mm
09	Hauteur de vis	h ₃	0,6134	mm
10	Rayon à fond de filet	r	0,1443	mm
11	Facture de concentration de contrainte	kt	2,5	/
12	Pression de serrage d'une vis	F	27,491	N
13	Hauteur de la partie entre tige filetée et pièce taraudé	h	3,122	mm
14	Nombre de filets en prise	n	3,122	mm
15	L'angle de l'hélice	α	0,0438	°
16	Résistance élastique en traction	Rm	710	N/mm ²
17	Coefficient de sécurité	s	2	/
18	Section nominale	A	50,24	mm ²
19	Section résistante	As	25,12	mm ²
20	Diamètre de section resistance	ds	7,0612	mm
21	Effort maximal de traction	Fmax	30,40	N
22	Résistance à la traction de la tige filetée	σ max	0,8110	N/mm ²
23	Résistance au cisaillement des filets de vis	τ max	0,290	N/mm ²
24	Résistance au cisaillement des filets de l'écrou	τ' max	0,258	N/mm ²
25	Résistance à la compression des filets	σ' max	0,257	N/mm ²
26	Le moment Cm nécessaire pour remonter	Cm1	47,489	N/mm ²
27	Le rondement d'un assemblage fileté	η	30,58	%
28	La résistance élastique au cisaillement	Reg	440	N/mm ²
29	La résistance pratique en traction	Rp	275	N/mm ²
30	La résistance pratique au cisaillement	Rpg	220	N/mm ²
31	Limite élastique	Re	550	N/mm ²
Résultats et conclusion				
Effort maximal de traction Fmax= 30,40 N		Le moment Cm1= 47,489 N.mm		
La Contrainte normale σ		Condition de résistance		
$\sigma_{\max} = \frac{4F_{\max}}{\pi \times d_1^2} = 0,110 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{\max} = Kt \times \sqrt{\sigma^2 \times 4\tau^2} \leq R_{p(\text{vis})}$		

La Contrainte tangentielle τ	$\sigma_{\max} = 0,32 < 275$ donc la vis résiste
$\tau = \frac{16 \text{ cm}}{\pi d_1^3} = 0,036 \text{ N/mm}^2$	

Tableau II-10: Calcul d'assemblage (la tête et le couvercle de l'outil).

La tête		Couvercle de l'outil		
Matériau	XC48	Matériau	XC48	
N°	Désignation	Symbole	Résultat	Unité
01	Diamètre nominal	D	20	mm
02	Pas	P	1	mm
03	Diamètre de trou	d_0	20,9382	mm
04	Diamètre intérieur de l'écrou	d_1	18,9175	mm
05	Diamètre moyen	d_2	19,3505	mm
06	Diamètre de noyau	d_3	18,7732	mm
07	Hauteur du filet	H	0,866	mm
08	Hauteur du filet de contact	h_1	0,54112	mm
09	Hauteur de vis	h_3	0,6134	mm
10	Rayon à fond de filet	r	0,1443	mm
11	Coefficient de filet triangulaire	k	1	/
12	Hauteur de la partie entre tige filetée et pièce taraudé	h	6,062	mm
13	Nombre de filets en prise	n	6,062	mm
14	L'angle de l'hélice	α	0,739	°
15	Diamètre de section résistance	d_s	19,061	mm
16	Coefficient d'adhérence acier/acier	μ	0,12	/
17	Section nominale	A	314	mm ²
18	Section résistante	A_s	62,8	mm ²

II.7 Roulement à bille à contact radial

II.7.1 Introduction

Les roulements à billes à contact radial sont des éléments mécaniques utilisés pour supporter des charges radiales, c'est-à-dire des charges perpendiculaires à l'axe de rotation. Ils sont largement utilisés dans diverses applications industrielles et bien d'autres.

L'avantage principal des roulements à billes à contact radial est leur capacité à supporter des charges radiales élevées. Ils peuvent également supporter des charges axiales légères dans les deux sens, bien que leur principale fonction soit de supporter les charges radiales. Ils offrent

une faible friction et une grande précision de rotation, ce qui les rend efficaces dans de nombreuses applications. [34]

II.7.2 Caractéristiques

Les roulements à billes à contact radial sont composés de deux bagues (une bague intérieure et une bague extérieure) entre lesquelles des billes métalliques sont disposées. Les billes permettent une rotation fluide entre les deux bagues et réduisent les frottements. Les billes sont maintenues en place par une cage, qui les sépare et les maintient à une distance régulière les unes des autres. [35]

II.7.2.1 Applications

Machines-outils : dans les broches, les tables rotatives et les axes de mouvement.

Automobile : ils sont utilisés dans les roues, les essieux et les boîtes de vitesse pour permettre une rotation en douceur et supporter les charges radiale dans le système de suspension.

Equipement électrique : les moteurs électrique et les générateurs pour réduire la friction. [35]

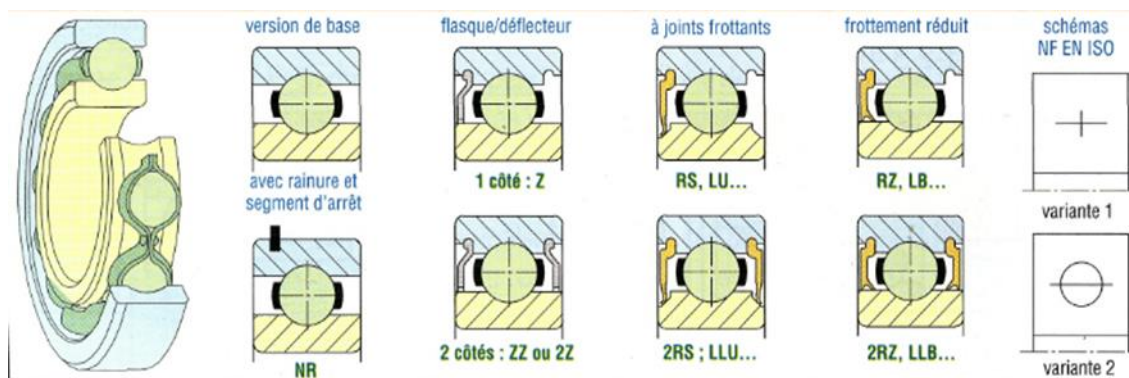


Figure II-10: Principaux roulement rigide a bille.

II.7.3 Roulement 608

6 : série 6 de roulements.

0 : taille moyenne dans la série 6.

8 : la série dimensions spécifique pour roulement.

Tableau II-11: dimensions de rolement 608. [36]

Diamètre d'alésage	8 mm
Diamètre extérieur	22 mm
Largeur	7 mm

II.7.3.1 Dimensions

d	8 mm	Diamètre d'alésage
D	22 mm	Diamètre extérieur
B	7 mm	Largeur
d1 ≈	12,15 mm	Diamètre d'épaulement
D2 ≈	19,2 mm	Diamètre d'embranchement
r1, 2 min.	0,3 mm	Dimension d'arrondi

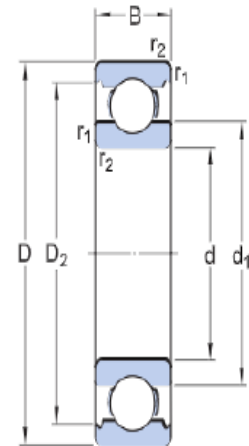


Figure II-11: schéma présente les dimensions.

II.7.3.2 Dimensions d'appui

da min.	10 mm	Diamètre d'appui de l'arbre
Da max.	20 mm	Diamètre d'appui du palier
ra max.	0,3 mm	Rayon de l'arbre ou congé du palier

II.7.3.3 Données de calcul

Charge dynamique de base C	3,45 kN
Charge statique de base C0	1,37 kN
Limite de fatigue Pu	0,057 kN
Vitesse de référence	75 000 r/min
Vitesse limite	48 000 r/min
Coefficient de charge minimale kr	0,025
Coefficient de calcul f0	12

II.7.3.4 Masse

Masse du roulement 0,012 kg

II.7.3.5 Classe de tolérance

Tolérances dimensionnelles P6

Coefficient de frottement $\mu = 0,0015$

II.7.3.6 Surface de référence A

$$A = \pi B (D + d)$$

$$A = \pi 7 (22 + 8)$$

$$A = 659,73 \text{ mm}^2$$

II.7.4 Frottement

Le frottement d'un roulement et son échauffement dépendent de divers paramètres : charge appliquée, frottement de la cage, définition interne du roulement, lubrification ... Pour la plupart des applications en dessous de la vitesse limite et avec une quantité de lubrification non excessive, le frottement dans les roulements peut être calculé de manière suffisamment précise avec les formules suivantes :[37]

$$M_r = \frac{\mu \cdot F \cdot D_m}{2} \quad (\text{II.35})$$

MR : Moment résistant (N.mm).

F : Charge radiale pour les roulements, charge axiale pour les butées (N).

Dm : Diamètre moyen du roulement.

$$D_m = \frac{d + D}{2} \text{ (mm)} \quad (\text{II.36})$$

n : Vitesse de rotation (min-1)

μ : Coefficient de frottement

- **Calcul de diamètre moyen :**

$$D_m = \frac{8 + 22}{2}$$

$$D_m = 15 \text{ mm}$$

- **Frottement résistant de roulement MR**

$$M_r = \frac{0,0015 \times 30,4 \times 15}{2}$$

$$M_r = 0,342 \text{ N.mm}$$

II.8 Bille

Acier 100C6, grâce à ses caractéristiques spéciales d'extrême dureté et de résistance à l'usure, à sa finition superficielle et à ses tolérances dimensionnelles, ce matériau est employé pour produire des billes pour les roulements et les vannes.

II.8.1 Secteur d'emploi

Roulements à bille de précision, composants automobiles (freins, volant, transmission), bicyclettes, bombes aérosol, électroménagers, guidages de tiroirs, raccords rapides, machines ustensiles, mécanismes pour serrures, bandes transporteuses, patins, stylos, pompes, roues pivotantes, instruments de mesure, vannes, vis à recirculation de billes. Applications dans l'industrie alimentaire et chimique. Machines pour le polissage au tonneau, le lustrage et le broyage.

II.8.2 Caractéristique de l'acier 100C6

Tableau II-12: les caractéristiques de la bille.

Composition chimique								
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
0,95-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,025max	0,025max	1,40-1,65	0,30max	0,08max	0,20max
Caractéristiques physiques / mécaniques / thermiques / électriques / magnétiques								
Propriété	Symbole		U		Type		Valeurs	
Densité	δ		[g/cm ³]		Physique		7,80	
Module de Young	E		[GPa]		Mécanique		200	
Chaleur spécifique	c		[J/kg·K]		Thermique		464	
Coefficient d'expansion thermique linéaire	α		[10 ⁻⁶ /°C]		Thermique		12,3	
Conductibilité thermique	λ		[W/(m·K)]		Thermique		42,4	
Résistivité électrique	ρ		[Ωm10 ⁻⁹]		Électrique		215	
Perméabilité magnétique relative	μ		-		Magnétique		> 300	
Caractéristiques techniques de la bille								
Propriété	Type		U		Valeurs			

Dureté	Mécanique	[HRC]	60 - 66
Températures d’exercice	Thermique	[°C]	-60 / 150
Résistance à la traction (Rm)	Mécanique	N/mm ²	850 à 1250
Limite élastique (Re)	Mécanique	N/mm ²	550 à 850
A%	Mécanique	%	10-13

• **Le principe :**

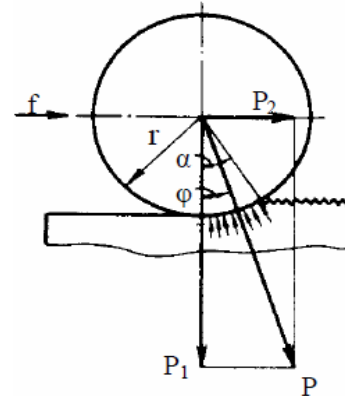
r - rayon de la bille

f- avance longitudinale

P2- effort d’avance

P1- effort radial

P-résultante



FigureII-12 : Schéma de l’action réciproque de l’élément.

Sur la bille agissent les forces P1 et P2, la force P1 représente l’effort de pression normal sur la surface à traiter, l’effort P2 assure le déplacement de la bille par rapport à la surface à traiter dans le sens de l’avance « f ». La figure. II.12 présente une coupe selon la ligne de contact (bille-surface). Comme la dureté de la bille (trempée) est toujours considérablement élevée à celle du matériau à traiter, sa déformation est négligée. Devant de faibles valeurs de P1et P2, on constate seulement une déformation élastique qui ne peut être considérée relativement à la déformation plastique. Les efforts agissant sur la surface de contact « F » de la sphère (bille) avec l’ébauche) peuvent être considérés continus mais non uniformément réparties. Alors, les contraintes engendrées ne sont pas identiques dans les limites (bords) de la surface de contact définies par l’angle de contact « alpha ». (Fig. II.12).

Les projections de la résultante « P » dans les directions des efforts P1 et P2 sont données par les expressions : [37]

$$P_1 = \int_0^\alpha \sigma \cos\alpha \, dF \tag{II.37}$$

$$P_2 = \int_0^{\alpha} \sigma \sin \alpha \, dF \quad (\text{II.38})$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\int_0^{\alpha} \sigma \sin \alpha \, dF}{\int_0^{\alpha} \sigma \cos \alpha \, dF} \quad (\text{II.39})$$

II.8.3 Calculs de la bille

- **Calcul du diamètre de l'empreinte**

C'est à cette catégorie d'essais qu'appartiennent la plupart des appareils employés industriellement.

Un pénétrateur suffisamment dur pour ne pas être déformé par le matériau à essayer, et de forme variable, est enfoncé dans le métal par l'action d'une force constante appliquée dans des conditions bien définies ; on mesure soit les dimensions transversales, soit la profondeur de l'empreinte [37].

Au contact d'une bille sur une surface, la répartition des contraintes et des déformations, si la limite d'élasticité n'est pas dépassée, est donnée par Hertz. Si la bille a un diamètre D et que la charge qui lui est appliquée vaut F , le diamètre d de l'aire de contact vaut :

$$d = \left(\frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2} \right)^{1/3} (3FD)^{1/3} \quad (\text{II.40})$$

d : diamètre de l'empreinte en mm.

D : diamètre de la bille

F : la force maximale.

ν_1 : module de poisson de la bille (acier 100C6).

ν_2 : module de poisson de la pièce (alliage d'aluminium 2017).

E_1 : module de Yong de la bille (acier 100C6).

E_2 : module de Yong de la pièce (alliage d'aluminium 2017).

$D = 10\text{mm}$; $\nu_1 = 0,3$; $\nu_2 = 0,33$; $E_1 = 20000\text{N/mm}^2$; $E_2 = 73000\text{ N/mm}^2$; $F = 30,4\text{N}$

$$d = \left(\frac{(1-0,3^2)}{20000} + \frac{(1-0,33^2)}{73000} \right)^{\frac{1}{3}} (3 \times 30,4 \times 10)^{1/3}$$

$$d = 0,37 \text{ mm}$$

- **Calcul la profondeur de l'empreinte :**

$$h = \left(\frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \right) \quad (\text{II.41})$$

$$h = \left(\frac{10 - \sqrt{10^2 - 0,37^2}}{2} \right)$$

$$h = 0,0034 \text{ mm}$$

- **Dureté :**

$$\text{HBW} = \frac{0,102 \times 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{II.42})$$

$$\text{HBW} = \frac{0,102 \times 2 \times 30,4}{\pi \times 10 (10 - \sqrt{10^2 - 0,37^2})}$$

$$\text{HBW} = 28,84$$

- **Rapport de charge**

$$K = \frac{0,102 F}{D^2} \quad (\text{II.43})$$

$$K = \frac{0,102 \times 30,4}{10^2}$$

$$K = 0,031$$

- **Calcul de contrainte moyenne :**

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{-4F}{\pi d^2} \quad (\text{II.44})$$

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{-4 \times 30,4}{\pi \times 0,37^2}$$

$$\sigma_{\text{moy}} = -282,87 \text{ N/mm}^2$$

- **Calcul de contrainte max:**

$$\sigma_{\text{max}} = 1,5 \sigma_{\text{moy}} \quad (\text{II.45})$$

$$\sigma_{\text{max}} = 1,5 \times (-282,87)$$

$$\sigma_{\text{max}} = -424,305 \text{ N/mm}^2$$

II.9 Bague de guidage (coussinet ou palier-lisse)

II.9.1 Principe

On interpose entre le moyeu et l'arbre un composant appelé « coussinet » Ou « palier lisse », de forme cylindrique, avec ou sans collerette. Il se monte serré dans l'alésage (et glissant sur l'arbre ...) [39]

II.9.2 Avantage

- Réduction du coefficient de frottement et fonctionnement sans lubrification
- Augmentation de la durée de vie des pièces par report de l'usure sur le coussinet
- Fonctionnement silencieux
- Encombrement radial réduit
- Coût réduit [39]

II.9.3 Inconvénient

- Encombrement en longueur
- sensibilité aux défauts d'alignement
- capacité de charge inversement proportionnelle à la vitesse [39]

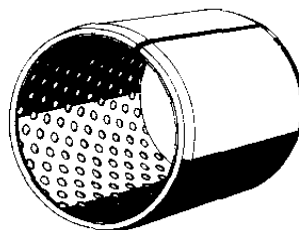


Figure II-13: Coussinets en tôle roulée.
[39]

II.9.4 Calculs

Les constructeurs proposent une procédure à suivre pour déterminer les coussinets afin d'avoir un montage correctement dimensionné. De nombreux critères sont à compléter : diamètres, charges, type de mouvement, chocs, vitesse et matériau de l'arbre, ..., etc.

Trois principaux critères permettent d'envisager un dimensionnement correct des paliers lisses

- **Critère de pression diamétrale**

M : la masse de solide (1.1Kg).

F : charge radiale sur le palier (N).

d : diamètre intérieur du coussinet (mm).

L : longueur du coussinet (mm).

p : pression diamétrale (N/mm²).

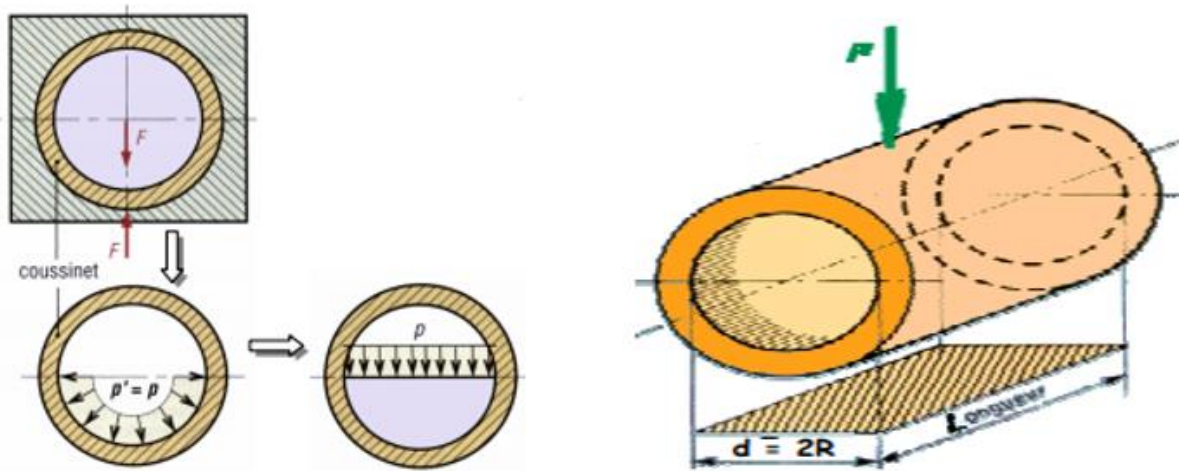


Figure II-14: Schéma de la charge radiale [40].

$$P = \frac{F}{d \times L} \quad (\text{II.46})$$

P₂ : la charge radiale de la bague de guidage 2 de la tête de l'axe principal.

$$p_2 = \frac{F}{d_1 \times L_1}$$

$$p_2 = \frac{1,1 \times 9,81}{18,01 \times 20} = 0,029 \text{ N/mm}^2$$

P₃ : la charge radiale de la bague de guidage 3 de la base de l'axe principal

$$P_3 = \frac{F}{d_2 \times L_2}$$

$$P_3 = \frac{1,1 \times 9,81}{8 \times 5}$$

$$P_3 = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

II.9.5 Ajustement avec serrage

Ajustement pour lequel on obtient toujours un serrage entre les pièces, pour toutes les cotes limitant des pièces (Fig. II.14) [45].

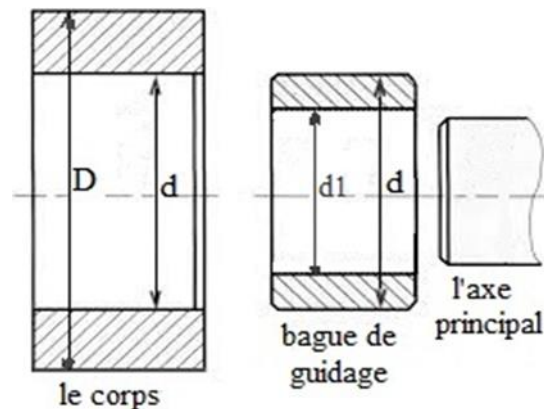


Figure II-15: Assemblage par serrage.

- **Pression maximale**

$$P_{\max} = \frac{S_{\max}}{d \left(\frac{C1}{E1} + \frac{C2}{E2} \right)} \quad (\text{II.47})$$

- **Serrage maximale**

$$S_{\max} = es - EI \quad (\text{II.48})$$

- Coefficient dans les valeurs :

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \nu_1 \quad (\text{II.49})$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \nu_2 \quad (\text{II.50})$$

- Contraint max :

$$\sigma_{\max} = 2 \times P_{\max} \quad (\text{II.51})$$

E_1, E_2 : modules d'élasticité de la bague et de corps.

ν_1, ν_2 : Coefficient de poisson de la bague et de corps.

d : diamètre nominal de la bague.

D : diamètre extérieur de l'alésage (le corps).

d_1 : diamètre intérieur de la bague.

II.9.5.1 Ajustement de la bague de guidage 02 avec le corps (Ø22H7p6) :

$$\text{Ø22H7} \rightarrow 22_{+0}^{+21} \quad \text{Ø22p6} \rightarrow 22_{+26}^{+35}$$

$$S_{\max} = es - EI = 0,035 - 0 = 0,035 \text{ mm}$$

$$E_1 = 97000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = 205000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu_1 = 0,34$$

$$\nu_2 = 0,3$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \nu_1 = \frac{22^2 + 18^2}{22^2 - 18^2} - 0,34 = 4,71$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \nu_2 = \frac{70^2 + 22^2}{70^2 - 22^2} + 0,3 = 1,52$$

$$P_{\max} = \frac{S_{\max}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} = \frac{0,035}{22 \left(\frac{4,71}{97000} + \frac{1,52}{205000} \right)} = 24,10 \text{ M}$$

$$\sigma_{\max} = 2 P_{\max} = 48,20 \text{ MPa}$$

II.9.5.2 Ajustement de la bague de guidage 03 avec le corps ($\text{\O}14\text{H}7\text{p}6$) :

$$\text{\O}14\text{H}7 \rightarrow 14_{+0}^{+18} \quad \text{\O}14\text{p}6 \rightarrow 14_{+18}^{+29}$$

$$S_{\max} = es - EI = 0,029 - 0 = 0,029 \text{ mm}$$

$$E_1 = 97000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = 205000 \text{ N/mm}^2$$

$$v_1 = 0,34$$

$$v_2 = 0,3$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - v_1 = \frac{14^2 + 8^2}{14^2 - 8^2} - 0,34 = 1,63$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - v_1 = \frac{70^2 + 14^2}{70^2 - 14^2} + 0,3 = 1,38$$

$$P_{\max} = \frac{S_{\max}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} = \frac{0,029}{14 \left(\frac{1,63}{97000} + \frac{1,38}{205000} \right)} = 72,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 2 P_{\max} = 144,02 \text{ MPa}$$

II.10 Axe de roulement

Les roulements sont capables de transmettre des charges radiales (suivant le rayon), axiales (suivant l'axe) ou bien comme souvent, des charges dites combinées (à la fois des charges radiales et axiales). Ces différents types de charge conditionnent le choix du roulement. Roulement à billes ou roulements à rouleaux, le choix devra se faire par rapport aux paramètres de l'application (Fig. II.14).

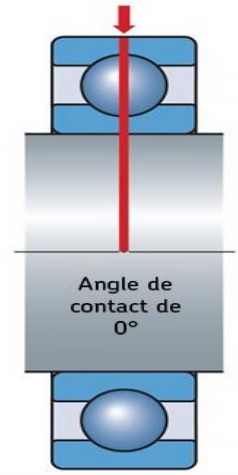


Figure II-16: Axe de roulement.

II.10.1 Calcul les réactions d'appuis

La charge max autorisée = 608N

$$\Sigma F = 0 \quad (\text{II.52})$$

$$R_A + R_B - 608 = 0$$

$$\Sigma M = 0 \quad (\text{II.53})$$

$$0 - 608 (17,5 - 8,75) + R_B (17,5 - 0) = 0$$

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons calculé et vérifié que les résistances de matériaux dans les structures de l'outil résiste ont différentes sollicitations à laquelle est soumise les pièces. Par la suite nous avons modélisés en chargement les différentes forme de pièces de l'outil. Et on a présenté la conception de l'outil. Avec les différentes pièces qui le constituent ainsi que son assemblage à l'aide d'un logiciel CAO « SolidWorks » et le dimensionnement au niveau des pièces fabriquées qui sont basés sur la logique et la possibilité de matérialisation d'opérations et du temps de fabrication. Sans considération de contrainte (qualité. ajustement. état de surface) dans cette première partie.

Chapitre III

**Réalisation de l'outil de Galetage à bille pour
fraisage.**

Chapitre III: Réalisation de l'outil de galetage à bille pour fraisage.

III.1 Introduction

Après l'étude complète d'instrument à réaliser nous présentons dans ce chapitre les étapes nécessaires pour fabriquer les différentes pièces de l'outil de galetage à bille à partir de la gamme d'usinage de chaque pièce pour trouver les opérations élémentaires.

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

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

III.2 Analyse d'un dessin de définition

L'analyse du dessin de définition est une des séquences les plus importantes que l'on ait à traiter. Il faut faire appel à toutes ses connaissances et tout son savoir-faire pour étudier la faisabilité ou non d'une pièce.

Dans tous les cas il est impératif de s'assurer que l'on sera capable de respecter toutes les spécifications du dessin de définition. De plus, après la fabrication on doit être en mesure de faire le contrôle métrologique de la pièce.

L'analyse que l'on va effectuer portera sur les éléments suivant :

- Le nombre de pièces à réaliser,
- La matière,
- Les formes globales de la pièce,
- Tracer en rouge les surfaces usinées,
- Choisir la prise de pièce pour chaque phase.

Eléments de l'analyse de fabrication :

- Inventaire des surfaces à usiner et définition des opérations élémentaires.

A partir du dessin de définition de la pièce à réaliser on fait l'inventaire de toutes les surfaces à usiner et pour chacune d'elles on définit les opérations élémentaires (Ebauche (E), 1/2Finition (F/2), Finition (F)).

Ces opérations élémentaires et les conditions du B.E (cotes de liaison aux autres surfaces usinées ou brutes, tolérances dimensionnelles, de forme, de positionnement d'état de surface), sont mentionnées dans un tableau afin de faciliter l'analyse de leur chronologie.

III.3 Analyse des contraintes et chronologie des opérations

Pour établir la succession des opérations élémentaires nécessaires à la réalisation d'une pièce, il faut définir leur ordre chronologique d'exécution, qui n'est pas quelconque. Ceci fait l'objet de l'analyse des contraintes d'antériorité de ces opérations les unes par rapport aux autres. Ces contraintes peuvent être imposées par :

- Le choix des surfaces de référence (contraintes de cotation).
- Les conditions géométriques (parallélisme, coaxialité, perpendicularité).
- Les conditions technologiques (reprise, ébavurage, traitements thermiques, etc.).
- L'analyse des contraintes permet de grouper les opérations en plusieurs sous-ensembles, dits "niveaux d'exécution" ; chaque niveau regroupe une ou plusieurs opérations qui ne sont liées par aucune contrainte d'antériorité. Les différents niveaux se succèdent dans l'ordre chronologique d'exécution.

III.4 Phases d'usinage

Le groupement de plusieurs opérations successives de même type, exécutées sur la même machine par un même opérateur, constitue une phase d'usinage.

Si la suite des opérations sur la même machine nécessite le démontage de la pièce, la phase se décompose en autant de sous phases qu'il y a de mises en place de la pièce.

III.5 Gamme de fabrication

L'ensemble des phases d'usinage permettant la réalisation d'une pièce constitue la gamme d'usinage. Le document correspondant définit la succession des phases et leurs spécifications, les machines et outillages nécessaires, et les contrôles.

Généralement, on peut concevoir plusieurs gammes possibles pour la réalisation envisagée. La comparaison de ces diverses gammes, permet, à partir de l'étude de phases, de choisir la gamme définitive, qui doit réaliser les conditions optimales de fabrication.

L'étude de phases, effectuées pour chaque gamme possible, consiste à définir pour chacune des phases :

- Le temps de fabrication,
- Le coût,
- Le délai,
- La qualité.

Cette étude de phases est établie en fonction des temps parcellaires propres à chaque opération, et des limitations de production correspondantes.

Lorsque la gamme définitive est retenue, les données de l'étude de phases permettent d'établir les "feuilles d'instruction détaillées", ou "contrats de phase". Chaque feuille, établie pour chacune des phases :

- permet d'identifier la pièce,
- présente la succession des opérations (cycle),
- indique l'outillage et les instructions de contrôle,
- précise les paramètres d'usinage, compte tenu des limitations de production,
- détermine les temps parcellaires (préparation, usinage, manipulation) et le temps total par pièce.

L'étude de cette feuille est d'autant plus détaillée qu'il s'agit de fabrication en grande série.

Finalement, le dossier d'usinage d'une pièce regroupe :

- le dessin d'exécution
- la feuille de gamme
- les feuilles d'instruction détaillées

Nous allons étudier maintenant les bases techniques de l'analyse d'une opération dans le cas classique de la fabrication par usinage ; les méthodes décrites se généralisent aisément aux cas des autres procédés.

III.6 Définition des opérations élémentaires d'usinage

A partir du dessin de définition de la pièce, on fait l'inventaire de toutes les surfaces à usiner, et pour chacune d'elles on définit les opérations élémentaires.

Les différentes opérations élémentaires d'usinage sont :

- L'ébauche (E), qui permet d'approcher la côte en enlevant le maximum de matière, (en une ou plusieurs passes),
- La demi-finition (F/2), qui permet d'obtenir la forme et la précision géométrique,
- La finition (F), qui permet d'obtenir la cote et l'état de surface,
- La super finition (SF), qui permet de réaliser des états de surface particulières (rodage, pierrage, grattage,...).

Le nombre d'opérations élémentaires nécessaires à l'obtention d'une surface peut être déterminé à partir de trois critères : la qualité dimensionnelle, l'état de surface et la rigidité de la pièce [41].

III.7 Condition de coupe

III.7.1 Vitesse de coupe

En usinage, la vitesse de coupe v_c est la distance parcourue par une dent en une minute. Elle est exprimée en mètres par minute (m/min), ou en pieds par minute (ft/min).

La vitesse de coupe est la longueur du copeau enlevé exprimée en mètre par un outil de coupe en une minute.

Elle dépend de la matière usinée, du type d'opération, de l'outil, de l'état de surface souhaité, etc. Ainsi a été développée une technique qui permet de déterminer la vitesse de coupe, la profondeur de passe et l'avance par dent en recherchant le minimum de la pression spécifique. On appelle cela le Couple Outil Matière (COM).

Elle est utilisée pour déterminer la fréquence de rotation (Vitesse de Rotation N).

III.7.2 Vitesse de rotation

Lorsque le mouvement de coupe est circulaire, par exemple pour le tour ou la fraiseuse, la fréquence de rotation N est déterminée par la formule :

$$N = \frac{V_c \times 1000}{D \times \pi} \quad (\text{III.1})$$

N : Vitesse de rotation (en tr/min)

V_c : Vitesse de coupe (en m/min)

π : constante

D : Diamètre de l'outil pour le fraisage et diamètre de la pièce de révolution pour le tournage (en mm) [41] .

III.7.3 Vitesse d'avance

En tournage, l'avance est la vitesse avec laquelle progresse l'outil suivant l'axe de rotation pendant une révolution de la pièce, cette vitesse est déterminée expérimentalement en fonction des critères précédemment cités. Cela correspond, en première approximation à l'épaisseur du copeau. On règle l'avance directement sur la machine [41] .

À ne pas confondre avec la formule de calcul de l'avance en fraisage, qui est :

$$V_f = N \times Z \times f_z \quad (\text{III.2})$$

V_f = Avance en mm/min

f_z = Avance par dent en mm/ (dent. Tour)

Z = nombre de dents de la fraise

N = vitesse de rotation réglée sur la machine en tr/min

En tournage, si on veut calculer la vitesse d'avance de l'outil, on applique cette formule :

$$V_f = N \times f \quad (\text{III.3})$$

f = avance en mm/tour

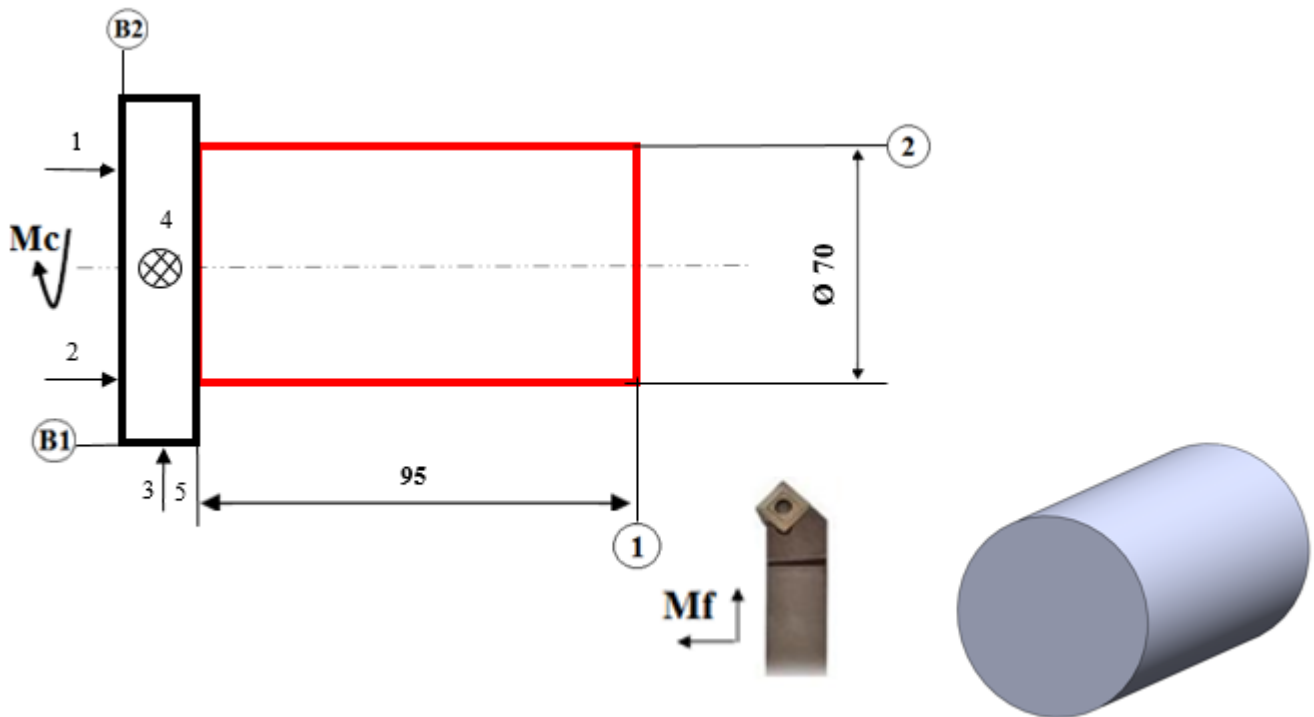
N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

III.7.4 Contrat de phase

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Corps	
Phase 100	Matière : XC 38	
	Nombre : 01	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux



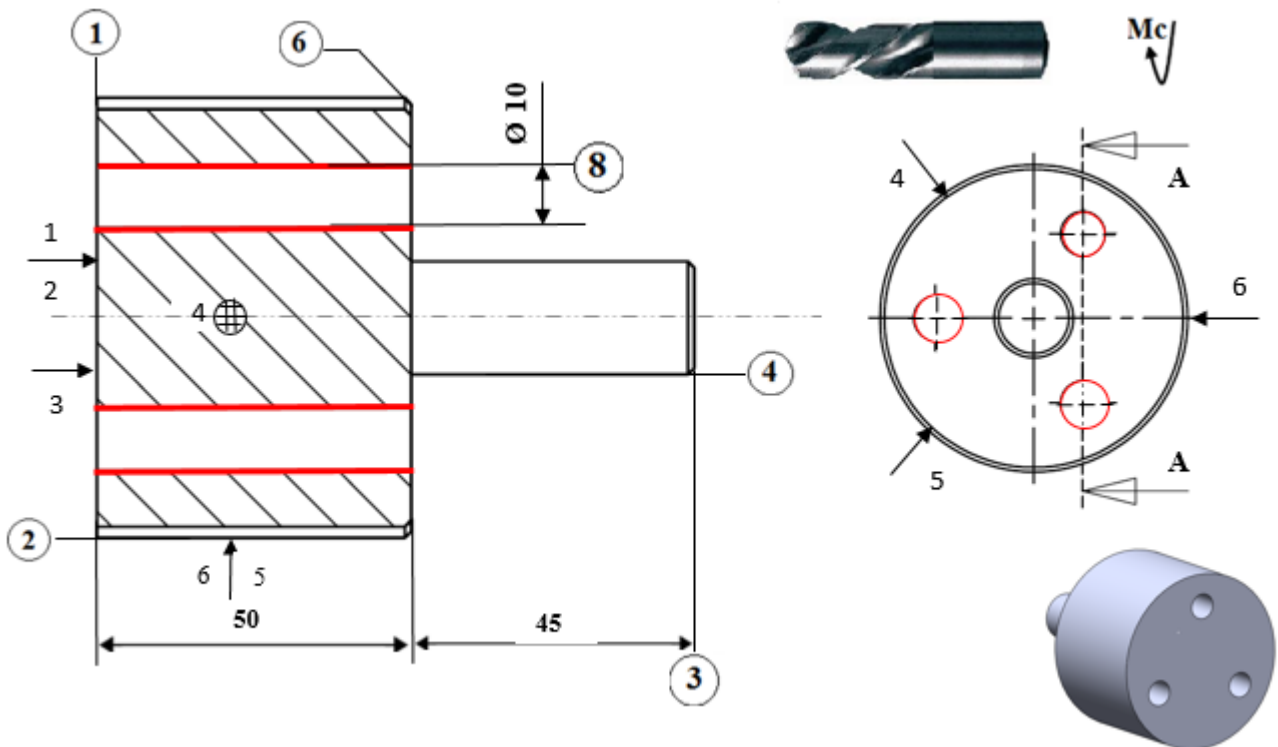
Mise en positions et désignation des opérations	Éléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Deux appuis plans sur B2 Trois appuis plans sur B1						
Opérations :						
101 : Dresser (1F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
102 : Charioter (2F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage					Bureau des méthodes
	Pièce : Corps					
Phase 200	Matière : XC 38					
	Nombre : 01					
Désignation des opérations : Tournage						
Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux						
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/m in	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Deux appuis plans sur 1 Centrage court sur 2						
Opérations :						
201 : Dresser (3F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
202 : Charioter et Dresser (4F et 5F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
203 : Chanfreiner 6F	200	1676	0,2	/	335	Outil en carbure
204 : Chanfreiner 7F	200	1676	0,2	/	335	Outil en carbure
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Corps	
Phase 300	Matière : XC 38 Nombre : 01	

Désignation des opérations : Fraisage

Machine – outil : Fraiseuse horizontale – porte pièce - étai

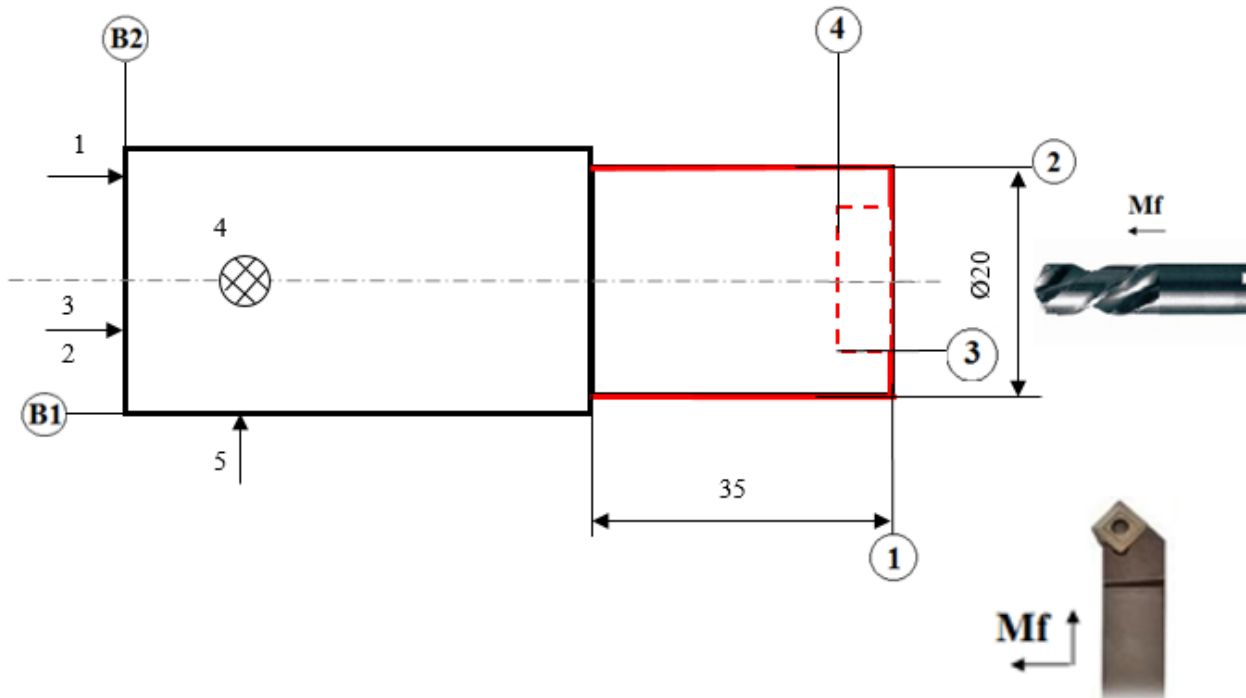


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/m in	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Trois appuis plans sur 1 Trois centrages courts sur 2						
Opérations :						
301 : Perçage (8F)	35	506	0,29	/	147	Foret en AR Ø18
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : La tête	
Phase 100	Matière : XC48 Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

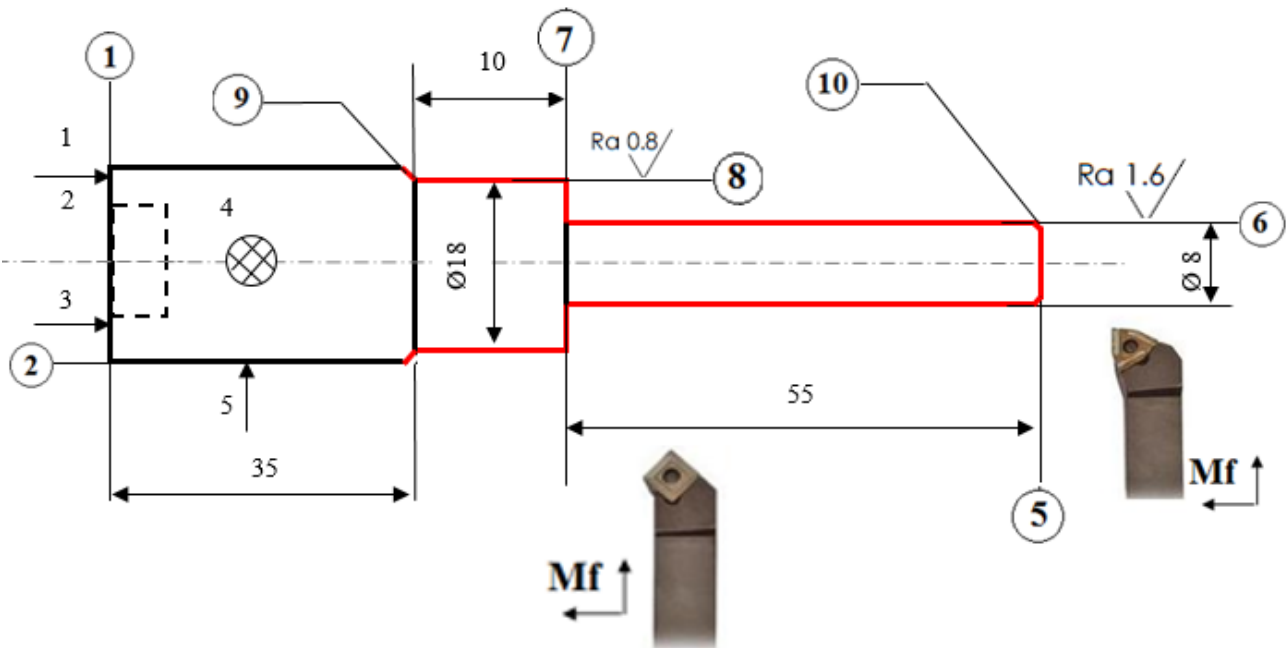


Mise en positions et désignation des opérations	Éléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Trois appuis plans sur B2 Centrage court sur B1						
Opérations :						
101 : Dresser (1F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
102 : Charioter (2F)	200	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
103 : Perçage et dressage (3F et 4F)	35	398	0,35	/	139	Foret AR Ø 15
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : La tête	
Phase 200	Matière : XC48	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux



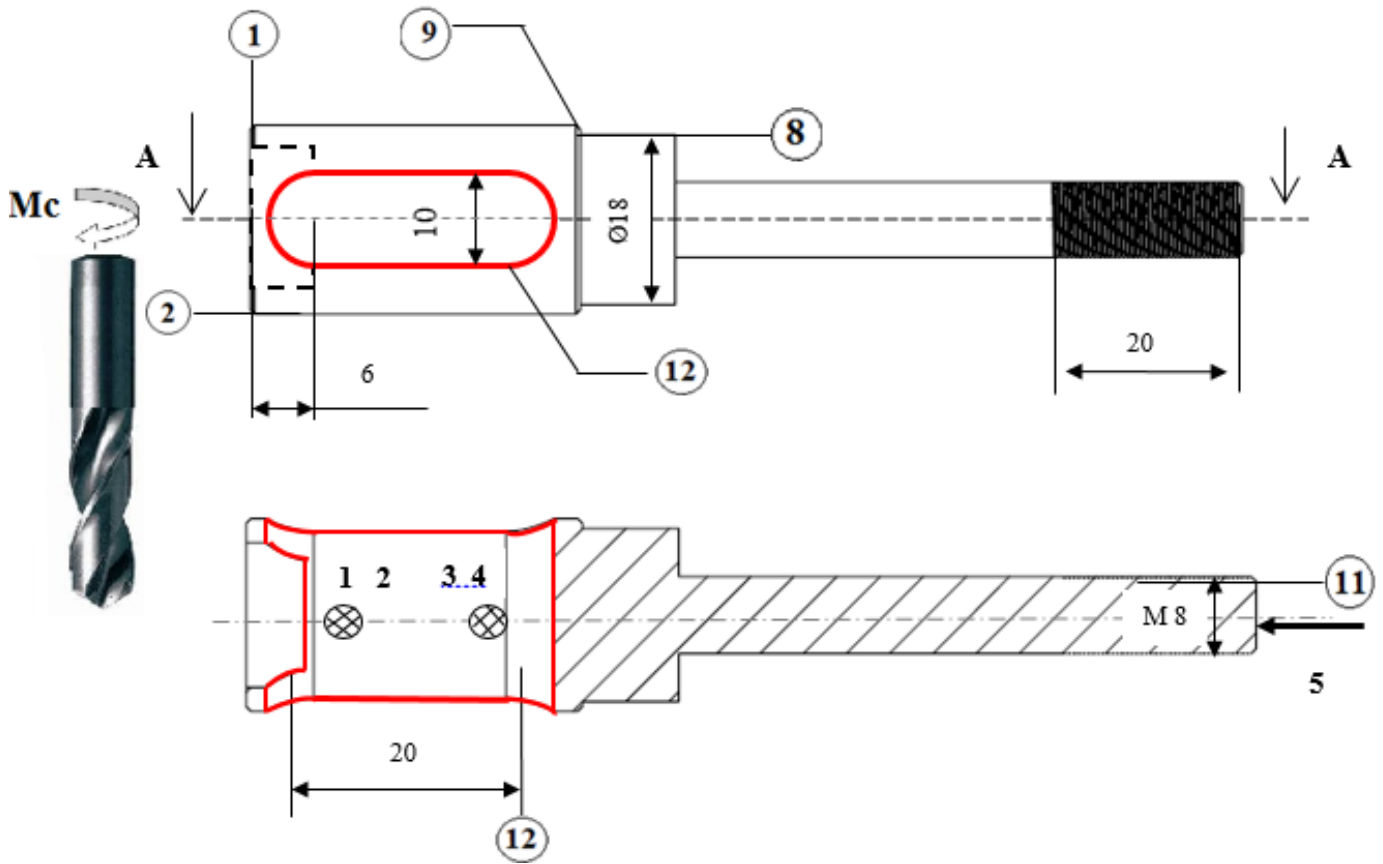
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/mi n	
Mise en position : Trois appuis plans sur 1 Centrage court sur 2						
Opérations :						
201 : Dresser (5F)	172	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
202 : Charioter et Dresser (6F et 7F)	172	1592	0,2	/	318	Outil en carbure
203 : Charioter (8F/2)	200	1580	0,2	/	316	Outil en carbure
204 : Charioter (8F)	275	1860	0,1	/	180	Outil en carbure
205 : Chanfreiner 9F	200	1676	0,2	/	335	Outil en carbure
206 : Chanfreiner 10F	210	1692	0,2	/	335	Outil en carbure
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage					Bureau des méthodes
	Pièce : La tête					
Phase 300	Matière : XC48					
	Nombre : 03					
Désignation des opérations : Tournage						
Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux						
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Trois appuis plans sur 1 Centrage court sur 2						
Opérations :						
301 : Filetage (11F)	13	207	1,5	/	310	Outil en carbure
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage		Bureau des méthodes
	Pièce : La tête		
Phase 400	Matière : XC48		
	Nombre : 03		

Désignation des opérations : Fraisage

Machine – outil : Fraiseuse horizontale – porte pièce - étau

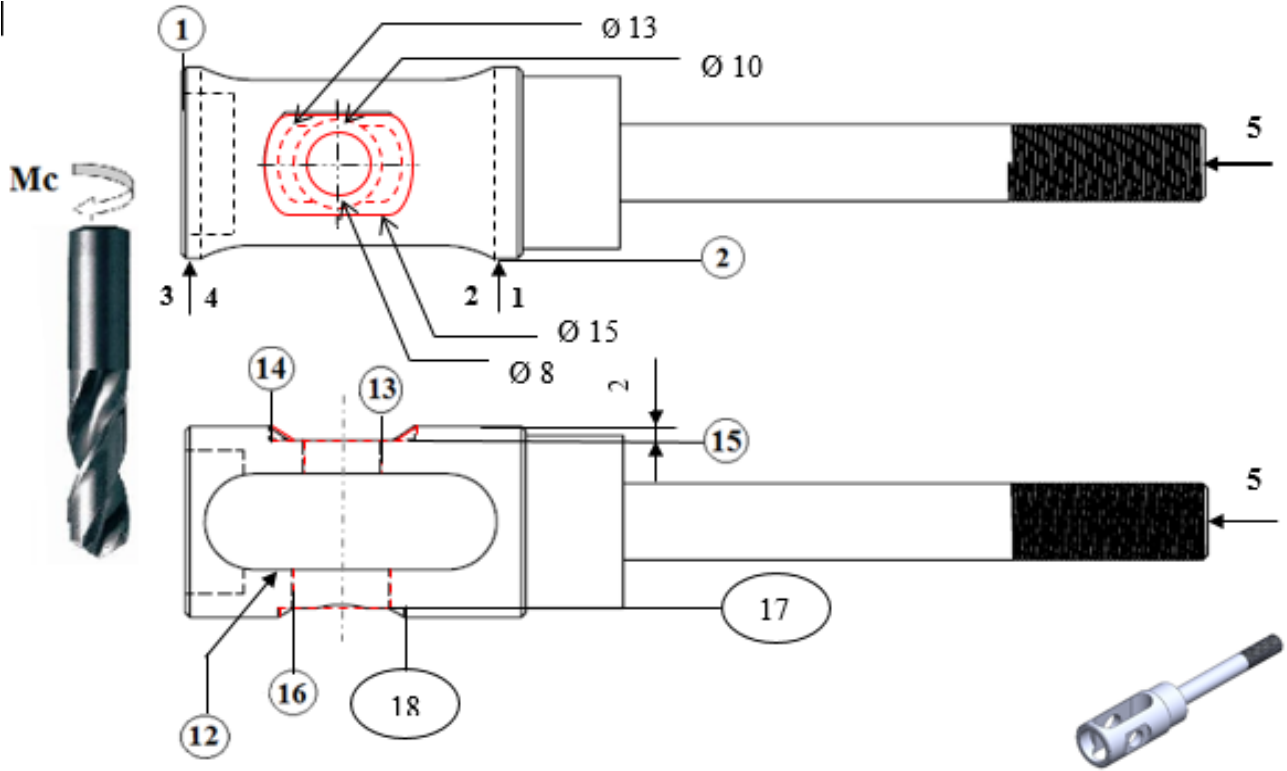


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 2 Un seul appui sur 5						
Opérations :						
401 : Usinage de la rainure (12F)	40	1158	/	0,12	139	Frais $\varnothing 10$
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Couvercle	
Phase 500	Matière : La tête	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Fraisage

Machine – outil : Fraiseuse horizontale – porte pièce - étau

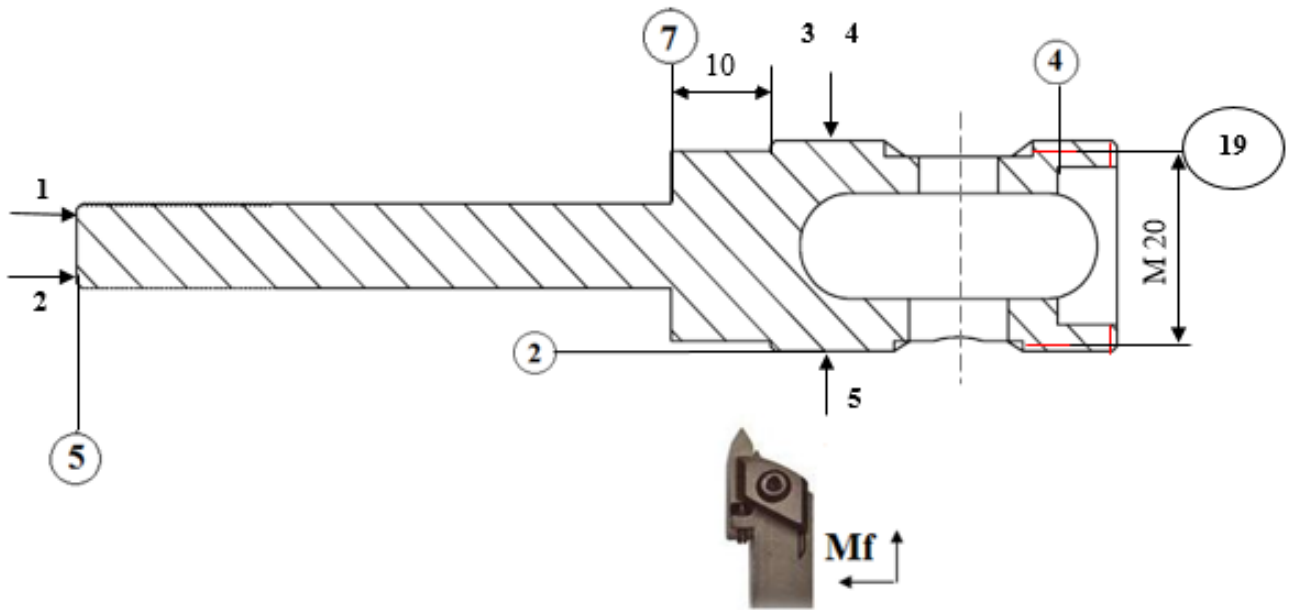


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 2 Un seul appui sur 5						
Opérations :						
501 : Perçage (13F)	35	743	0,25	/	158	Foret Ø 8
502 : Perçage et dressage (15F et 14F)	35	557	0,29	/	161	Foret Ø 15
503 : Perçage (16F)	35	446	0,29	/	129	Foret Ø 10
504 : Perçage et dressage (17 et 18F)	35	446	0,29	/	129	Foret Ø 13
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : La tête	
Phase 600	Matière : XC48	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

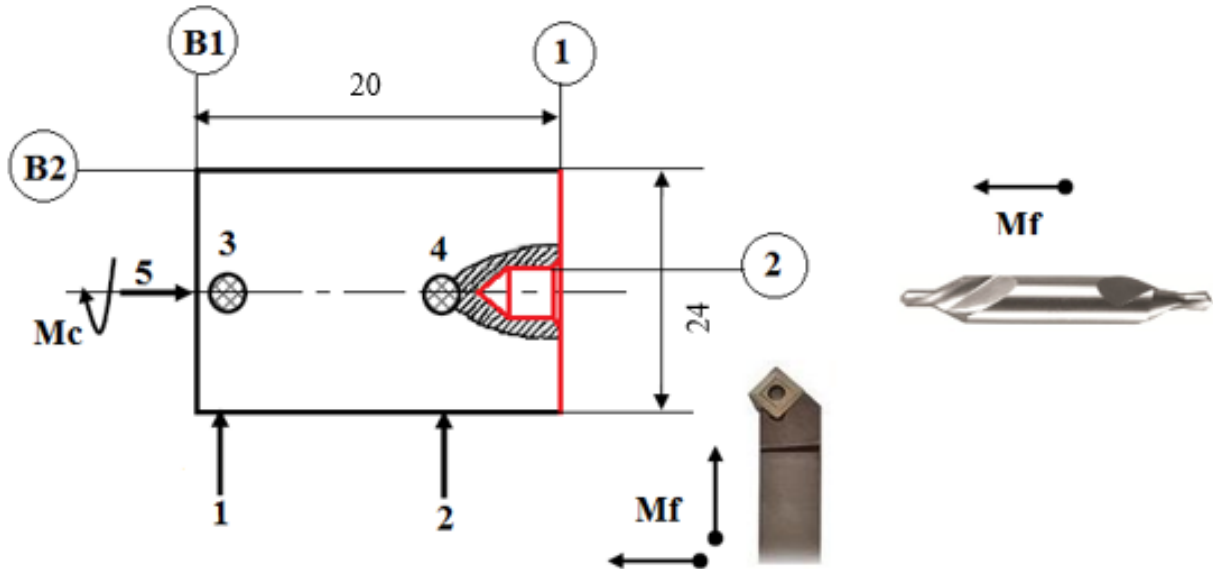


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Deux appuis plans sur 5 Centrage court sur 2						
Opérations :						
601 : Filetage (19F)	13	109	1,5	/	163	Outil en carbure
Outillages de contrôle	Rugosémetre, pied à coulisse					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 02	
Phase 100	Matière : XC 45	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

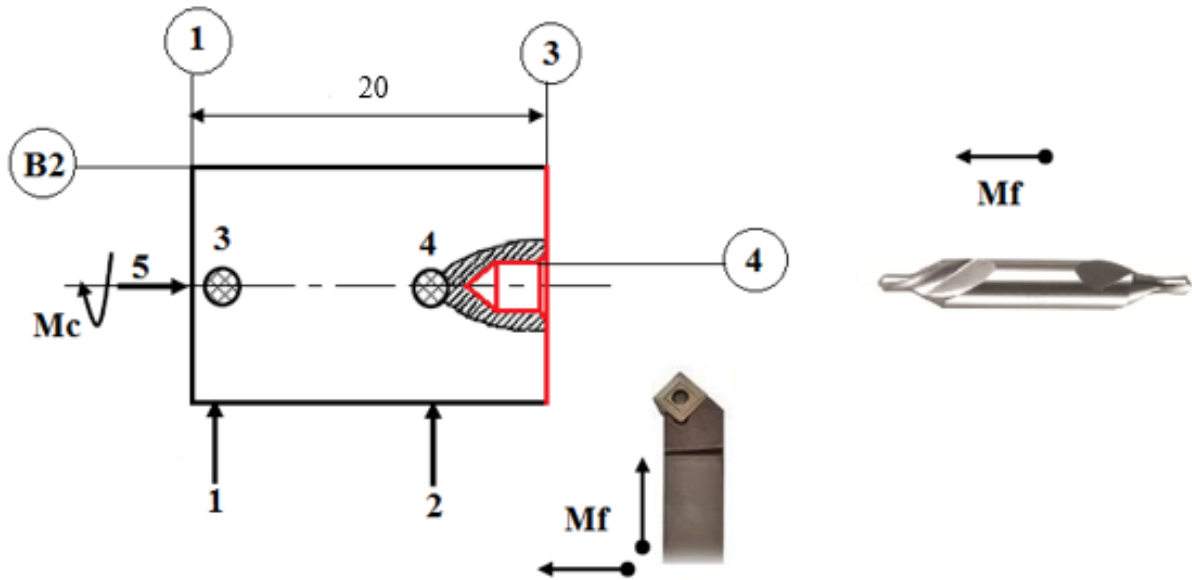


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur B2 Un seul appui sur B1						
Opérations :						
101 : Dresser (1F)	115	916	0,2	/	183	Outil en carbure
102 : Centrage (2F)	40	2547	0,12	/	305	Foret à centrer
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 02	
Phase 200	Matière : XC 45	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

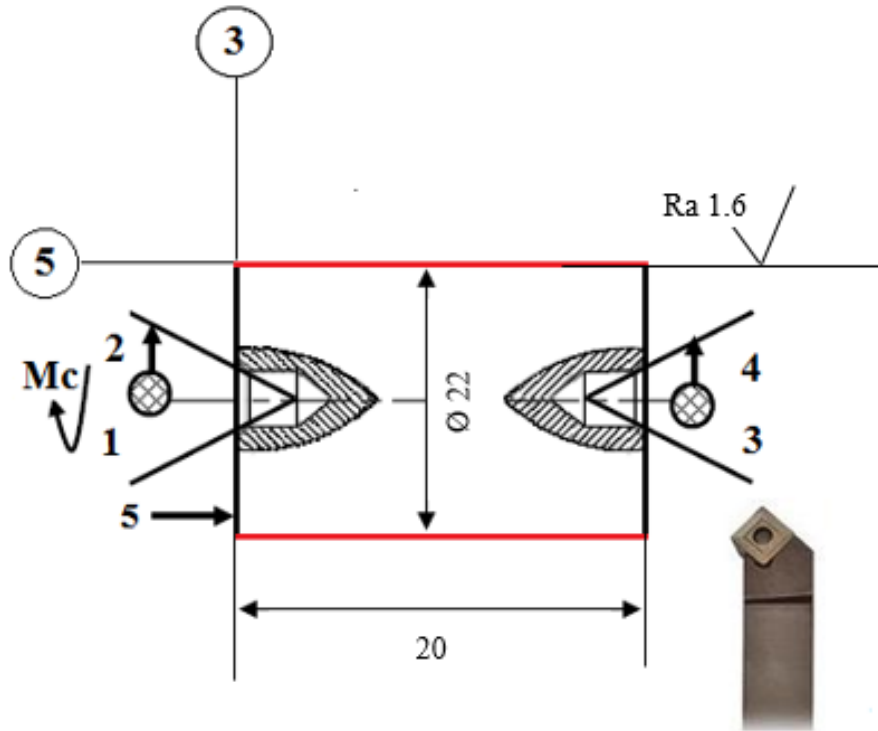


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur B2 Un seul appui sur 1						
Opérations :						
201 : Dresser (3F)	115	916	0,2	/	183	Outil en carbure
202 : Centrage (4F)	40	2547	0,12	/	305	Foret à centre
Outillages de contrôle	Le micromètre, pied à coulisse, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 02	
Phase 300	Matière : XC 45	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

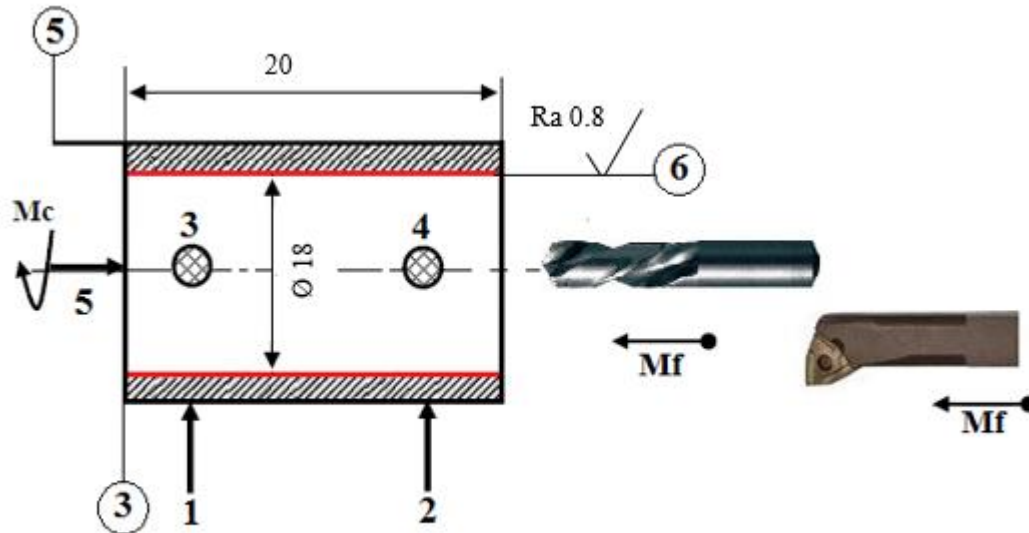


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Pointe fixe sur 4 Pointe mobile sur 2 Un seul appui sur 3						
Opérations :						
301 : Charioter (5E)	100	796	0,3	/	239	Outil en carbure
302 : Charioter (5F/2)	110	987	0,2	/	197	
303 : Charioter (5F)	115	1020	0,1	/	102	
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 02	
Phase 400	Matière : XC 45	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux



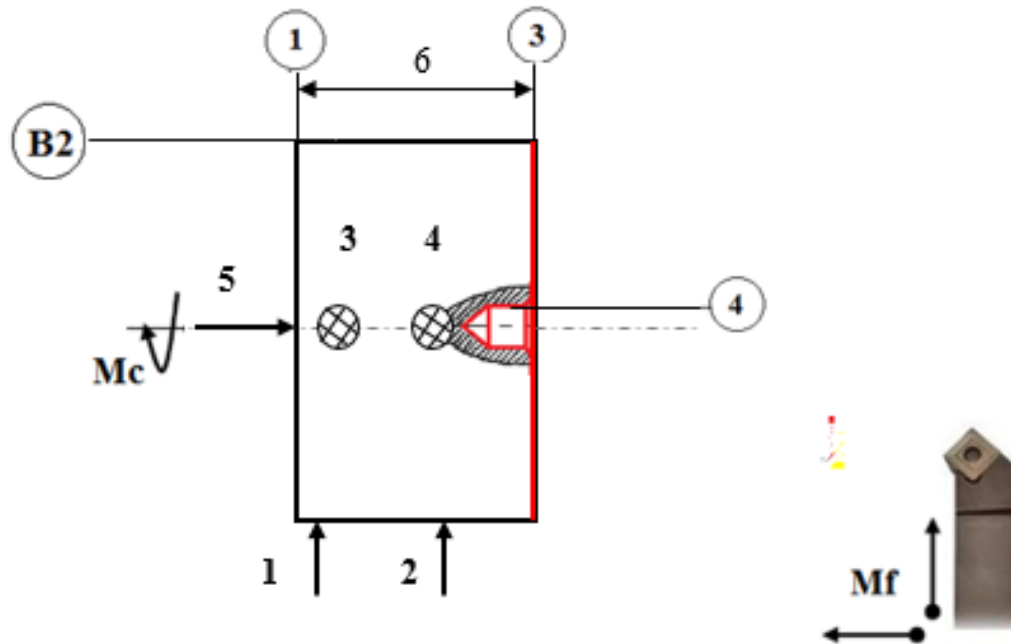
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 5 Un seul appui sur 3						
Opérations :						
401 : Perçage (6E)	40	432	0,35	/	151	Foret Ø 17.5
402 : Alésage (6F/2)	16	170	0,37	/	63	Alésoir Ø 17.9
403 : Alésage (6F)	22	233	0,25	/	58	Alésoir Ø 18
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosétre, jauge de profondeur, TLD					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage					Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 01					
Phase 100	Matière : Bronze					
	Nombre : 03					
Désignation des opérations : Tournage						
Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux						
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur B2 Un seul appui sur B1						
Opérations :						
101 : Dresser (1F)	120	916	0,2	/	165	Outil en carbure
102 : Centrage (2F)	42	2145	0,12	/	305	Foret à centrer
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 01	
Phase 200	Matière : Bronze	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux



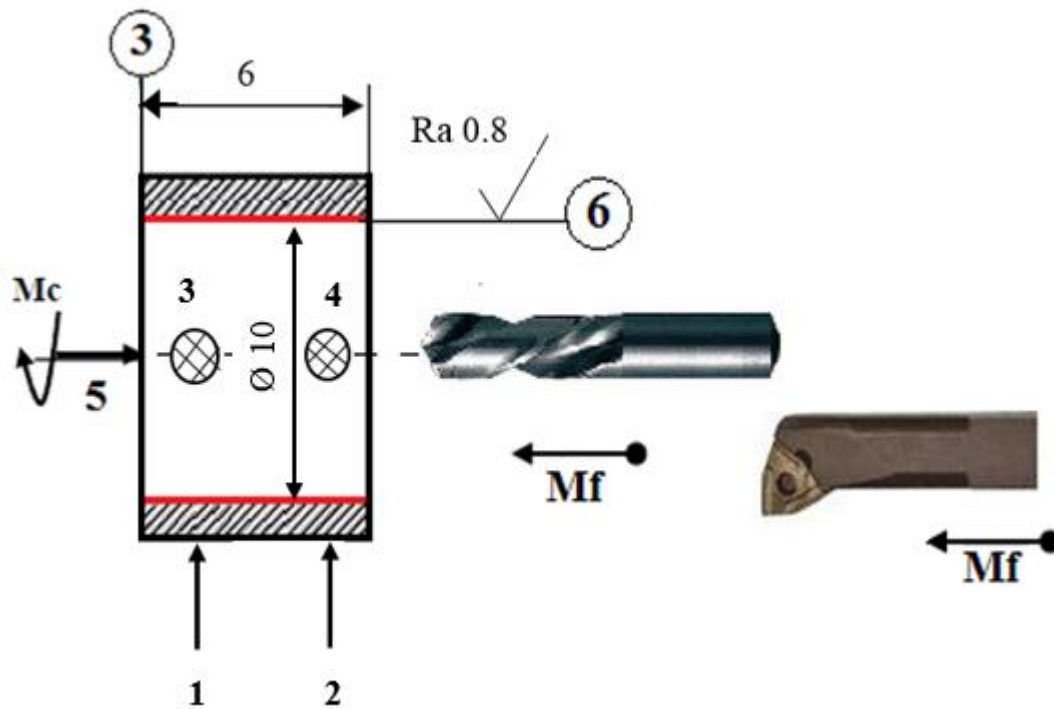
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur B2 Un seul appui sur 1						
Opérations :						
201 : Dresser (3F)	115	916	0,2	/	169	Outil en carbure
202 : Centrage (4F)	42	2147	0,12	/	305	Foret à centre
Outillages de contrôle	Le micromètre, pied à coulisse, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage					Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 01					
Phase 300	Matière : Bronze					
	Nombre : 03					
Désignation des opérations : Tournage						
Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux						
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Pointe fixe sur 4 Pointe mobile sur 2 Un seul appui sur 3						
Opérations :						
301 : Charioter (5E)	94	730	0,3	/	189	Outil en carbure
302 : Charioter (5F/2)	99	874	0,2	/	162	
303 : Charioter (5F)	104	988	0,1	/	136	
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 01	
Phase 400	Matière : Bronze	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

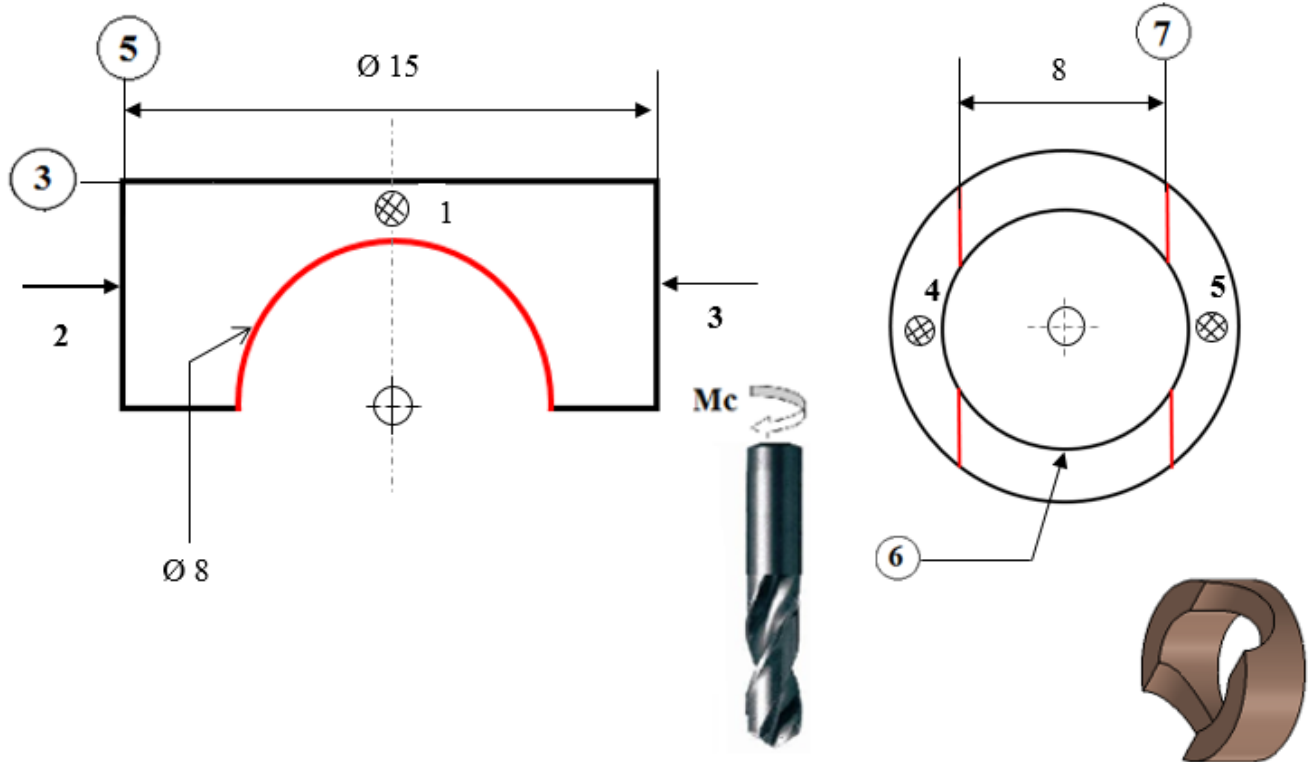


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 5 Un seul appui sur 3						
Opérations :						
401 : Perçage (6E)	40	432	0,35	/	151	Foret Ø 9.5
402 : Alésage (6F/2)	16	170	0,37	/	63	Alésoir Ø 9.9
403 : Alésage (6F)	22	233	0,25	/	58	Alésoir Ø 10
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur, TLD					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Bague de guidage 01	
Phase 500	Matière : Bronze	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Fraisage

Machine – outil : Fraiseuse horizontale – porte pièce - étau

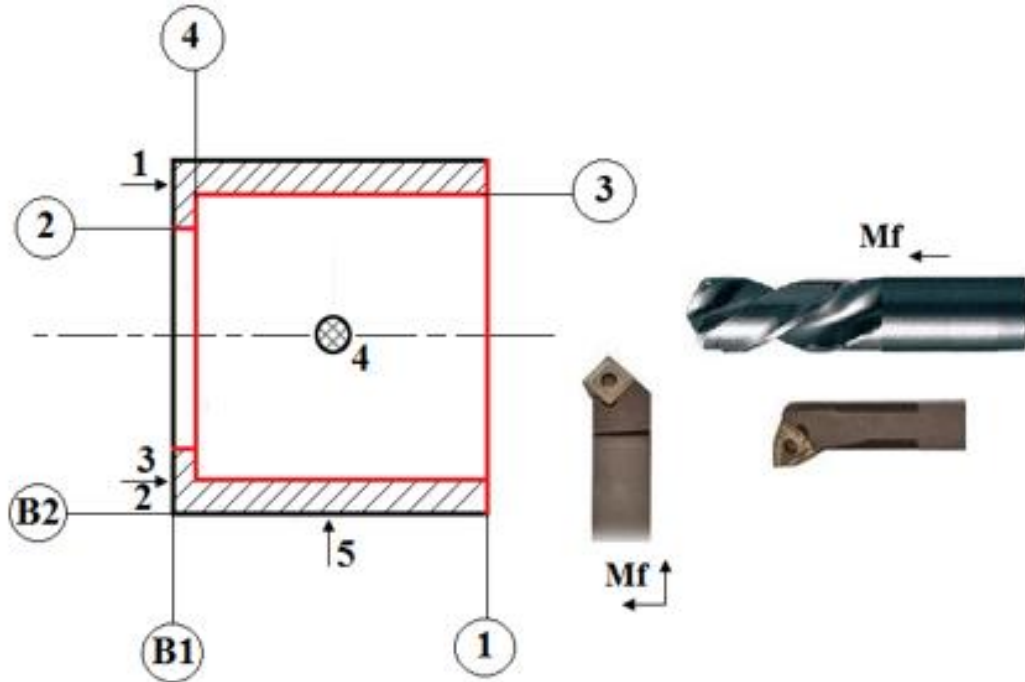


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 5 Deux appuis sur 3						
Opérations :						
501 : Perçage (7F)	80	432	0,35	/	75	Foret Ø 5
Outillages de contrôle	Pied à coulisse, rugosémetre, jauge de profondeur, TLD					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage	Bureau des méthodes
	Pièce : Couvercle	
Phase 100	Matière : XC48	
	Nombre : 03	

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux

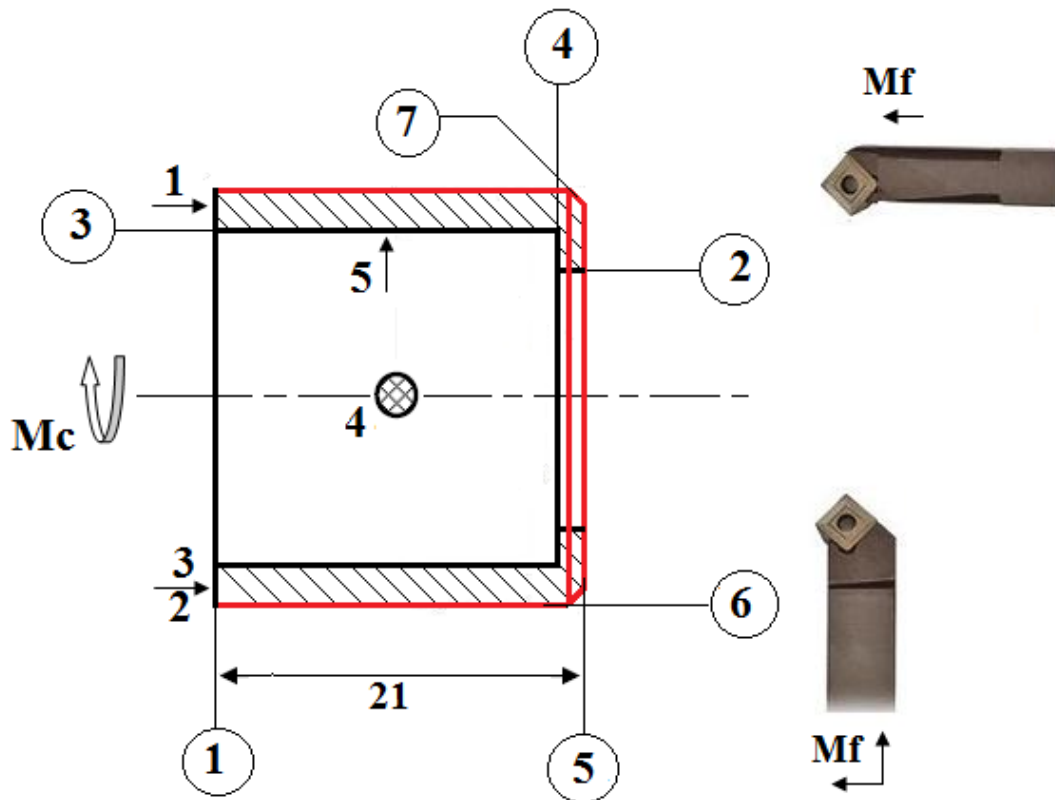


Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : - Trois appuis plans sur B1 - Centrage court sur B2						
Opérations :						
101 : Dresser (1F)	200	1385	0,2	/	277	Outil en carbure
102 : Perçage (2F)	35	398	0,35	/	139	Foret Ø28
103 : Perçage (3E)	35	309	0,41	/	127	Foret Ø36
104 : Alésage (3F/2)	40	350	0,35	/	122	Alésoir Ø36.3
105 : Alésage (3F) et dresser (4F)	45	394	0,3	/	118	Alésoir Ø36.4
Outillages de contrôle	Le micromètre, pied à coulisse, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage		Bureau des méthodes
	Pièce : Couvercle		
Phase 200	Matière : XC 48		
	Nombre : 03		

Désignation des opérations : Tournage

Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux



Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Trois appuis plans sur 1 Centrage court sur 3						
Opérations :						
201 : Dresser (5F)	200	1385	0,2	/	277	Outil en carbure
202 : Charioter (6F)	200	1385	0,2	/	277	Alésoir Ø19.9
203 : Chanfreiner (7F)	200	1447	0,2	/	289	Alésoir Ø20
Outillages de contrôle	rugosémetre, pied à coulisse, jauge de profondeur					

Contrat de phase	Ensemble : Outil de galetage					Bureau des méthodes
	Pièce : Couvercle					
Phase 300	Matière : XC48					
	Nombre : 03					
Désignation des opérations : Tournage						
Machine – outil : Tour parallèle – porte pièce – mandrin trois mors doux						
Mise en positions et désignation des opérations	Eléments de coupe					Outillages de coupe
	Vc m/min	N tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	
Mise en position : Centrage long sur 5 Un seul appui sur 3						
Opérations :						
301 : Taraudage (8F)	13	109	1,5	/	163	Outil en carbure
Outillages de contrôle	rugosémetre, pied à coulisse					

III.8 Conclusion

Contrat de phase est un document établi par le bureau des méthodes et décrivant une phase d'usinage. Par « phase d'usinage », on entend une ou plusieurs opérations se faisant sans démonter la pièce à usiner ; les opérations d'une même phase peuvent se faire avec des outils différents. Les contrats de phase font partie de la gamme d'usinage.

Le contrat de phase est en six parties :

1- Informations relatives à la phase :

- mode d'usinage : contrôle, fraisage, tournage,
- numéro de phase : la numérotation se fait habituellement de 10 en 10, afin de pouvoir insérer une phase que l'on aurait oubliée,
- la machine-outil et le porte-pièce utilisés.

2- Informations relatives à la pièce :

- nom de l'ensemble auquel appartient la pièce, nom de la pièce,
- quantité fabriquée et cadence de fabrication,
- matière, état du brut (brut de fonderie, laminé, étiré),
- dessin de la pièce en fin de phase.

3- Informations relatives aux opérations ; pour chaque opération :

- numéro de l'opération,
- nature de l'opération (désignation),
- cotes fabriquées (C_f) et les tolérances géométriques (le dessin contient toutes les cotes et tolérances, ne figurent ici que celles relatives à l'opération).

4- Paramètres de coupe :

vitesse de coupe v_c (m/min), fréquence de rotation N (tr/min), avance par tour f (mm/tr) en tournage ou avance par dent f_z (mm) en fraisage, vitesse d'avance v (mm/min)

5- Outillages de coupe : Outil et porte-outil.

6- Outillages de contrôle.

Chapitre IV

**Validation de l'outil de galetage à bille pour
fraisage.**

Chapitre IV: Validation de l'outil de galetage à 3 billes pour fraisage.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la validation de l'outil de galetage à trois billes pour fraisage. La validation est une étape importante dans notre travail, car elle permet de vérifier l'efficacité de cet outil.

A cet effet un travail expérimental a été réalisé au niveau de l'atelier de fabrication mécanique annexe du département de génie mécanique de l'université de Boumerdès, afin de valider l'efficacité de l'outil fabriqué sur l'amélioration de l'état de surface après une opération de fraisage à cet effet deux essais avec différents régime de galetage à bille ont été menés, les paramètres employés pour le régime de galetage à bille sont comme suit : la vitesse d'avance, la vitesse de rotation et la profondeur de passe qui remplace la force de galetage.

IV.2 Matériau et techniques expérimentales

IV.2.1 Matériau

Le matériau d'essai utilisé dans cette partie expérimentale est un alliage d'aluminium 2017A. Ce matériau a été sélectionné à cause de son importance dans le domaine industriel et sa bonne aptitude à subir le traitement de galetage à bille car il remplit certaines conditions à savoir : R (résistance à la rupture) < 130 daN et HRc < 42.

La composition chimique ainsi que les caractéristiques sont illustrées dans le tableau IV.1.

Tableau IV-1: Caractéristiques de l'aluminium.

Composition chimique								
%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	%Autre
0,2 – 0,8	0,7	3,5 – 4,5	0,4 - 1	0,4 - 1	01	0,25	0,25	0,15
Caractéristiques mécaniques								
Etat			Rm [MPa]	Re[MPa]	A%		HB (Brinell)	
T4			425	226	18		105	

IV.2.2 Choix des paramètres du régime de galetage à bille

Suivant les recommandations et aussi suivant les moyens expérimentaux disponibles au niveau de l'atelier de fabrication, les valeurs de régime du procédé du galetage à bille utilisés après fraisage et sur la même machine-outil sont récapitulées dans le tableau (IV-2) suivant :

Tableau IV-2: Variations des paramètres du régime de galetage.

Vitesse (tr/min)	Vitesse d'avance (mm/mn)	Nombre de passes	Profondeur de passe (mm)
510	19	1	0,3
710	19	1	0,6

IV.2.3 Préparation d'éprouvette d'essai

Afin de valider notre outil de galetage, les essais ont été menés sur une pièce en aluminium ayant les dimensions suivante : une largeur de 100 mm et une longueur de 110 mm, On commençant par une opération de surfacage à l'aide d'une fraise à surfacer à deux tailles (Voir Fig. IV-1 A) on appliquant les paramètres de coupe suivants : $V_c = 400$ tr/mn, $p = 0,4$ mm, $V_a = 25$ mm/mn.

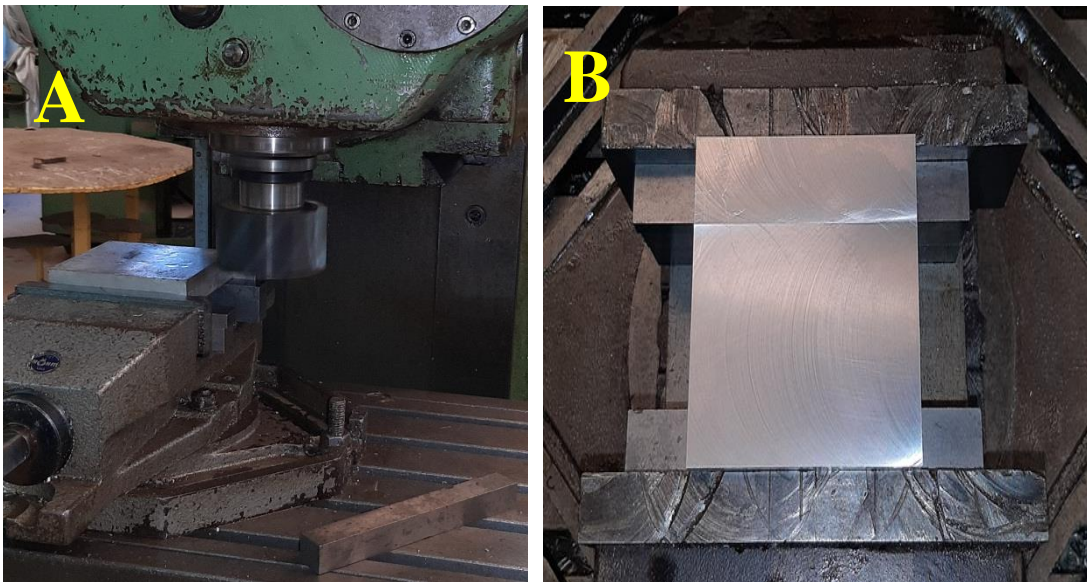


Figure IV-1: surfacage d'éprouvette (A : durant l'opération de surfacage ; B : après fraisage).

La préparation à lieu sur une fraiseuse universelle Reiden fu 300 (Fig-IV-2) disponible au niveau de l'atelier de fabrication mécanique de l'université M'hamed Bougara-Boumerdès.



Figure IV-2: fraiseuse universelle (Reiden fu 300).

Ses caractéristiques sont récapitulées dans le tableau IV.3.

Tableau IV-3: Principaux caractéristiques de la fraiseuse.

Cône porte outil	ISO 50
18 vitesses de rotation	30 - 1500 t/mn
Puissance du moteur principal	12CV
18 avances de fraisage longitudinal et transversal	19 – 1000 mm/mn
18 avances de fraisage vertical	5,7 – 300 mm/mn

- **Le montage d'outil de galetage à bille**

Afin d'assurer une bonne rigidité, la pièce a été mise en place à l'aide d'un montage simple (Etau + cales).

Notre expérience est composée de deux essais selon le régime de traitement appliqué. Sur la figure IV.3 l'outil de galetage écrase les aspérités de la pièce d'essai laissais sur la surface par le procédé antérieur (fraisage) on indiquant le principe du traitement.

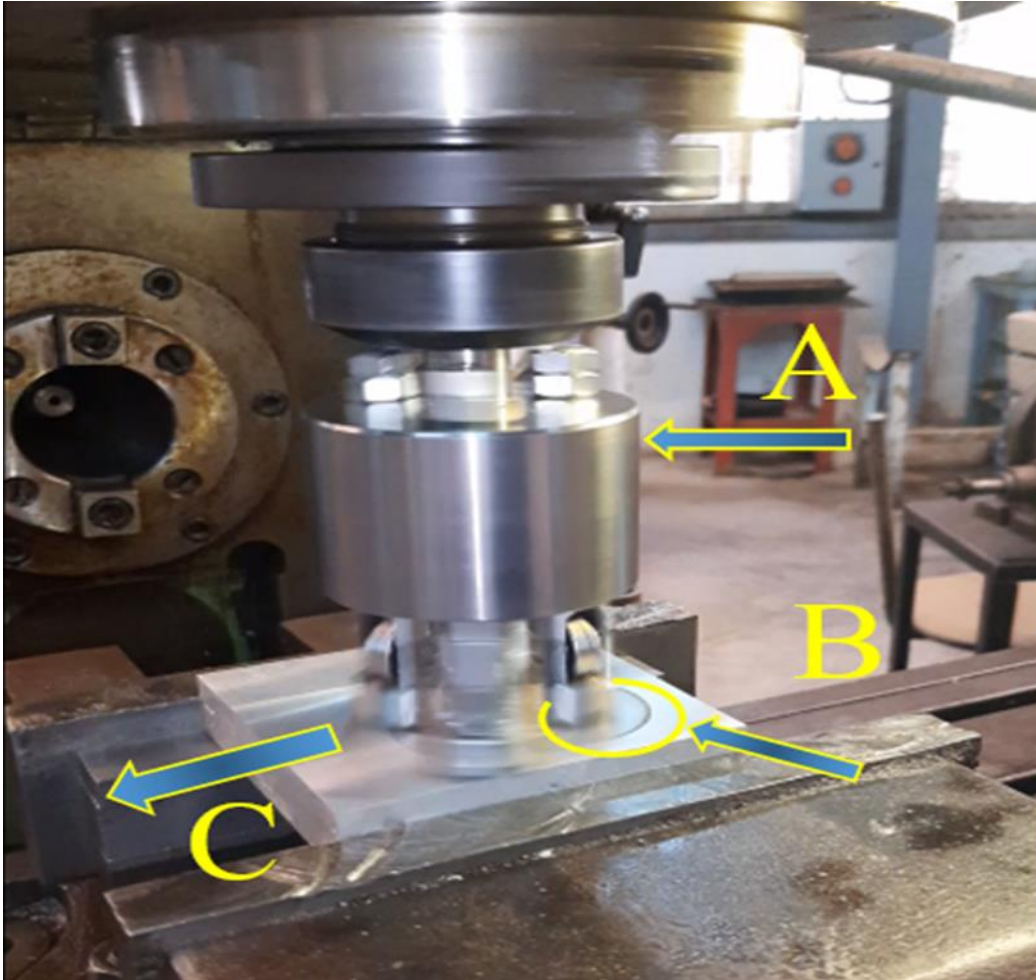


Figure IV-3: Application du procédé de galetage sur l'éprouvette avec le même montage.

IV.2.4 Principe de fonctionnement de l'outil galetage

La force de galetage est assurée par la profondeur appliquée sur la partie active composée de trois billes en contact avec la surface de l'éprouvette, cette pénétration est amortie par trois ressorts de compression dont la raideur est contrôlée par le serrage des écrous.

A cet effet on a retenu deux pénétrations différentes (3mm et 6mm) pour valider notre outil. A la différence près que la déformation plastique superficielle est assurée par un effort de formage exercé par les billes sur la pièce animée d'un mouvement de rotation. Le mouvement d'avance étant attribué à la pièce (Fig. IV.4).

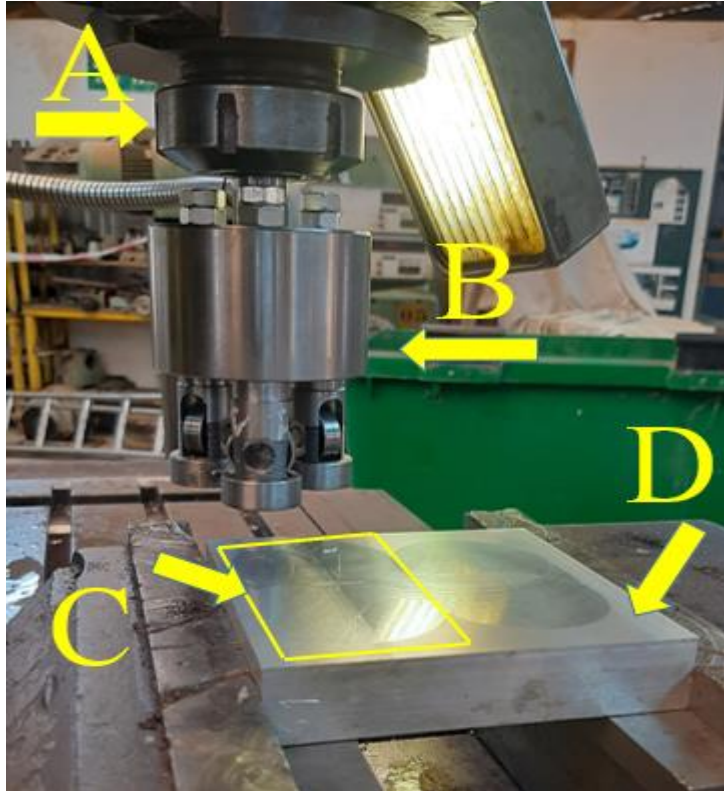


Figure IV-4 : Montage expérimental du procédé de galetage : A- porte outil ; B- outil de galetage ; C- zone galetée ; D- pièce aluminium.

Le travail est effectué à sec. Toutes fois avant l'opération de galetage la surface à traiter et la bille de l'outil doivent être nettoyés afin d'éviter l'écrasement des petites particules dures dans la zone de contact outil-pièce et susceptibles de rayer l'un ou les deux éléments.

IV.2.5 Mesure de la rugosité de surface

Les mesures de la rugosité de surface avant et après galetage ont été effectuées respectivement au moyen d'un rugosémetro de marque Mitutoyo série SJ-201P/R avec une longueur de palpement de 0,8 mm effectuée cinq fois de suite d'où une longueur totale d'évaluation de 4 mm (0,8 mm \times 5). Le rugosémetro est par ailleurs capable de transcrire le signal reçu en critère Rz ou Ra avec une précision de $\pm 15\%$ (Fig IV-5).

A l'état initial après fraisage, les résultats de mesure de la rugosité ont permis d'enregistrer des valeurs moyennes de $Ra = 1,82 \mu\text{m}$ (Fig IV-6).



Figure IV-5: Rugosétre portable Mitutoyo SJ-201P/R.

IV.3 Résultats et discussion

IV.3.1 Résultats expérimentaux

Les résultats expérimentaux obtenus concernant l'effet des deux régimes de galetage à bille sur la rugosité surface appliqués sur des éprouvettes en alliage d'aluminium 2017A (Fig.IV-6), sont illustrés dans le tableau IV-4.

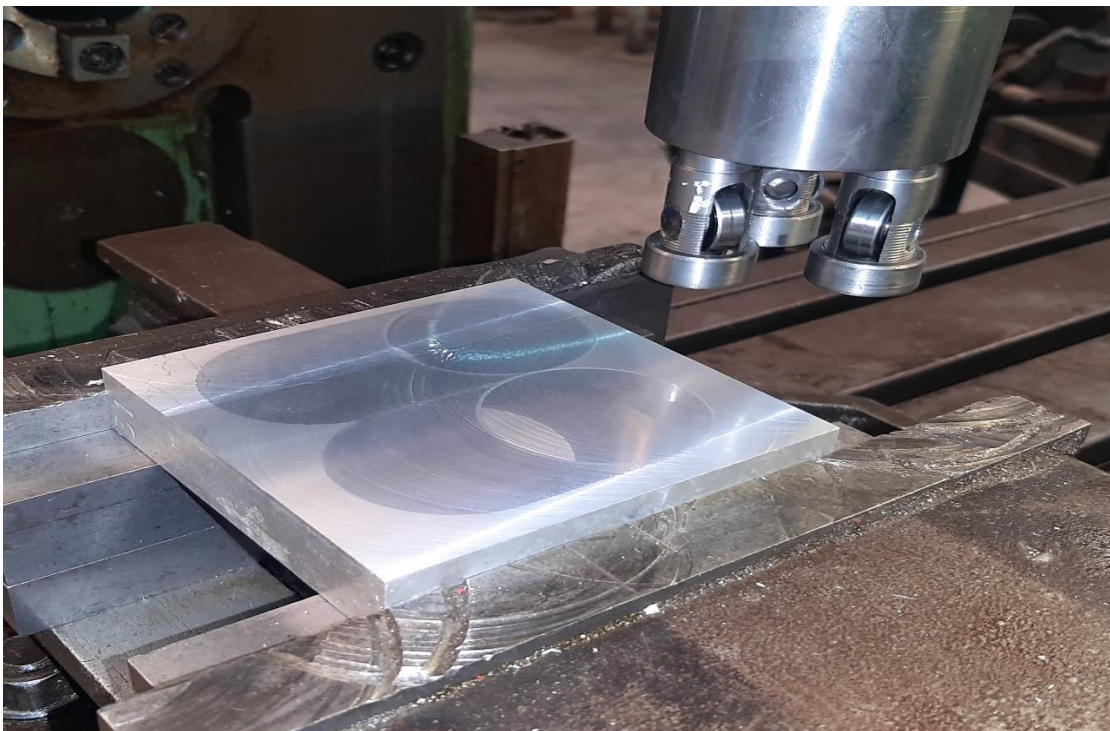


Figure IV-6: Etat de la surface de l'éprouvette après l'application du procédé de galetage.

Le tableau IV-4 ci-dessous illustre le résultat expérimental de la rugosité de surface après galetage.

Tableau IV-4: Variation de la rugosité en fonction du régime de galetage.

Régime de galetage	Vitesse d'avance [mm/mm]	Vitesse de rotation [tr/min]	Profondeur de passe [mm]	Rugosité de surface après galetage [μm]
1	19	510	0,3	$R_{a_g} = 0,14$
2	19	710	0,6	$R_{a_g} = 0,11$

Après fraisage la rugosité de la surface $R_a = 1,82 \mu\text{m}$.

La figure IV-7 ci-dessous indique les valeurs de la rugosité de surface afficher par le rugosémetre portable.

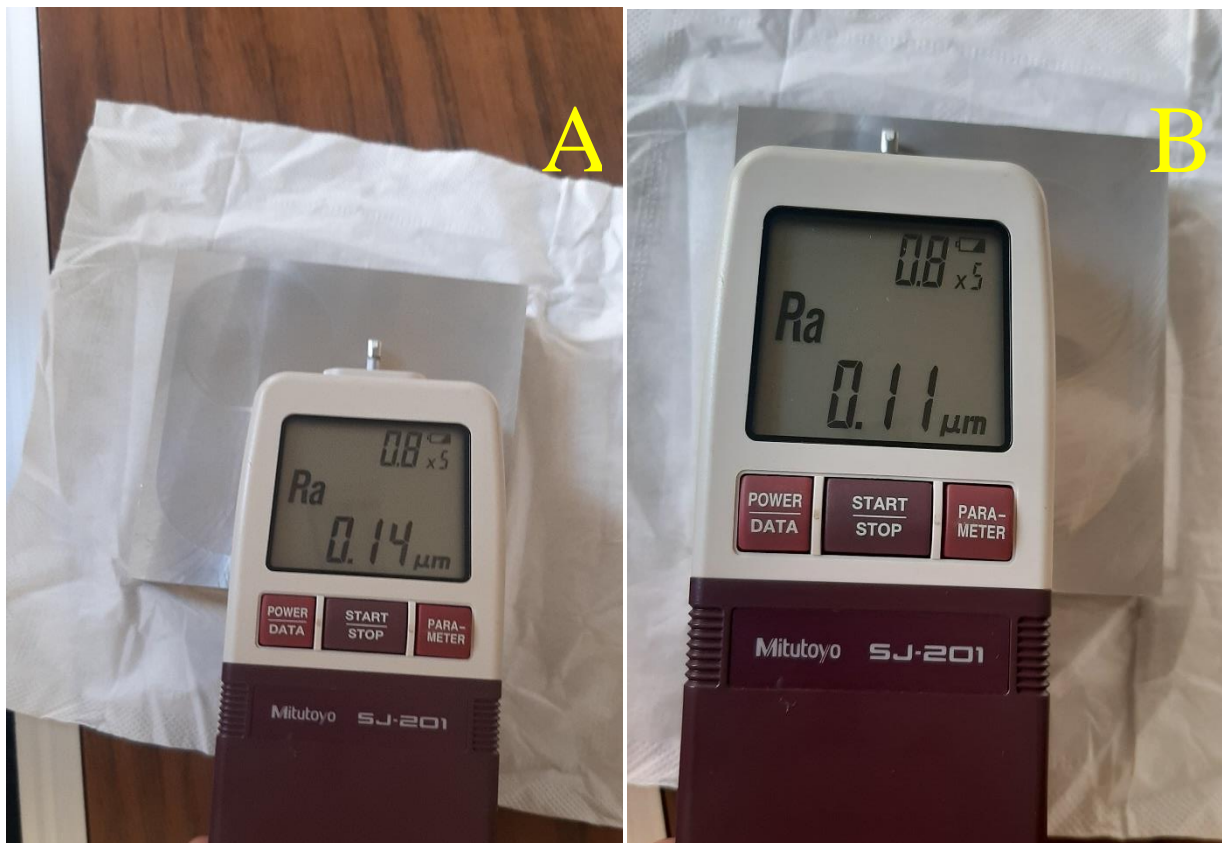


Figure IV-7 : Valeurs de la rugosité de surface afficher par le rugosémetre, A) pour le régime N° 1et B) pour le régime N° 2.

IV.3.2 Discussion

Les résultats de la rugosité de surface obtenus ont confirmés l'efficacité de l'outil de galetage à bille conçu et fabriqué localement c-à-d l'outil a permet de bien fluer les crêtes de la rugosité dans les creux de celle-ci laissées par le procédé de fraisage appliqué antérieurement ce qui permet d'aplatir la surface ce qui conduit à réduire la hauteur de la rugosité donc amélioration de celle-ci de 1,82 après fraisage à 0,11 après galetage.

IV.4 Conclusion

. En conclusion, ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie de la validation de l'outil de galetage à bille pour le fraisage. En examinant ses performances et ses avantages, et après tout cela, l'outil a prouvé ça efficacité.

A la lumière de ces résultats, il apparait que le régime du procédé de galetage à bille N° 2 $N = 710$; $a = 19 \text{ mm/ mn}$; $p = 0,6 \text{ mm}$, a donné le meilleur résultat de la rugosité de surface ($R_a = 0,11 \mu\text{m}$).

Conclusion générale

En conclusion, l'outil de galetage à trois billes pour fraisage conçu et fabriqué localement représente une étape importante dans le domaine de l'usinage de précision, afin de réaliser cet outil on a concentré nos efforts sur l'étude, la conception, la réalisation et surtout la validation par des essais sur éprouvette en aluminium 2017A, pour atteindre notre objectif visé d'améliorer la rugosité de surface « Ra ».

Le galetage est par conséquent un procédé de parachèvement des pièces, il permet de répondre à certaines exigences techniques imposées lors de la fabrication et la conception des structures mécaniques. Néanmoins, l'influence de la déformation plastique dépend des propriétés du matériau, de la valeur de la contrainte appliquée et de plusieurs paramètres mis en jeu. Les expériences menées dans cette étude ont montré que l'application de l'outil de galetage conçu et fabriqué localement a permis d'améliorer considérablement la rugosité après fraisage de 1,82 à 0,11 μm c-à-d avec un taux d'amélioration de 94%.

En conclusion, on peut dire que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont permis de mieux comprendre et apprécier les phénomènes physiques mis en jeu lors du traitement mécanique des surfaces de l'aluminium 2017 et les effets intéressants qu'il permet d'engendrer. Ceci permet d'apporter de nouvelles réflexions sur l'intégration de cette technique et son développement dans les entreprises nationales.

Références bibliographique :

[01]:<http://www.ispm.ac.ma/wp-content/uploads/2020/05/S251-Technologie-des-me%CC%81taux.pdf>.

[02] : Mécanique de la rupture les essais et leurs significations, Ecole des mines, Nancy, Éditions 1988.

[03] : ALAIN LOST, REGIS BIGOT et LAURENT BORDEAU. L'essai de dureté Vickers : application et influence de la charge. Revue « matériaux et techniques » (1995).

[04] : GORDON JE. : Structure et Matériaux. L'explication mécanique des formes. Pour LaScience Diffusion Belin, 1994.

[05] : <https://www.accu.co.uk/p/111-strength-rigidity-hardness-difference>

[06] :M. GRUMBACH et al, Mitaux, Corrosion, Industrie, 58, 690, 69-74,1983.

[07] :M. GRUMBACH, "Les essais de dureté" dans Propriétés d'emploi des aciers. Etudes de bases. C. I. OTUA., 1977

[08] : M.Cartier, HEF Groupe, Guide d'emploi des traitements appliqués aux problèmes de frottement, Editions TEC et DOC, 2001.

[09] : Gérald Zambelli, Léo Vincent, Matériaux et contacts, presse polytechniques et universitaire romandes CH-1015 lausanne, 1998.

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

[11] : Y .Schoefs, s.Fournier, j-j Léon, productique mécanique, Delagrave 1999.

[12] : conception et dessin (memontech) 7e edition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines

[13] :Marie-Line Zani, Mesure de la rugosité, [www. Mesures.com/archives/758](http://www.Mesures.com/archives/758) rugosité publié octobre 2003.

[14] : All cut instruments, principe de la mesure, www.mesures.com www.all-cut.biz.

[15] : F. Mohammadi, R. Sedaghati and A. Bonakdar, "Finite element analysis and design optimization of low plasticity burnishing process", Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2013, DOI 10.1007/s00170-013-5406-y

-
- [16] : (Hamadache, et al., 2006) ; (EL-Tayeb & Purushothaman, 2011)
- [17] : (Srinivasa, 2008) ; (Chomienne, 2014)
- [18] : Y.G. SCHNEIDER, Technologie de traitement de finition sous pression, Guide de mémoire, Polytechnique édition, 12-1998
- [19] : A.BENAMAR, J.LU, G.CHALENT : « Traitement de surface par galetage d'un acier inoxydable austénitique », Revue de Traitement Mécanique, Septembre 1992, p.37-45.
- [20] : M, H El Axir, An investigation into roller burnishing, int. J. Mach. Tools Manufact 40 (2003) 1603-1617.
- [21] : M. M Khabeery, M. H. El-Axir, Experimental techniques of studying the effects of milling roller burnishing parameter on surface integrity, Mach. Tools Manufact. 41 (2001) 1705-1719.
- [22] : V.M Braslavski, A.A Baraz, Deformation strengthening of machinery parts, Vestn, Mch 63(7) (1983) 61-65 [Translated from Russian into English in Soviet Engineering Research, vol. 3, (7), 46-50].
- [23] : M. H, El-Axir, M.M.E.L. Khabeery, Influence of orthogonal Burnishing parameters on surface characteristics for various materials, J. Mater Process Technol. 132 (2003), 82-89.
- [24] : www.lha.lha.pagesperso-orange.fr/Matweb/galetage.htm
- [25] : "Introduction to Polymers" de Robert J. Young et Peter A. Lovell (3ème édition, 2011)."
- [26] : Dym, C. L., and Little, P. (2013). Engineering Design : A Project-Based Introduction. Wiley.
- [27] : www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/cao.pdf.
- [28] : Huang, G. Q., Mak, K. L., and Zhang, Y. F. (2012). "A survey of industrial applications of virtual prototyping," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 31, No. 1, pp. 1-19.
- [29] : "Mechanical Design Engineering Handbook" écrit par Peter R. N. Childs.
- [30] : www.meca.insatoulouse.fr/~paredes/Ressorts/index.php?ide=Cmethode&men=com.
- [31] : www.mitcalc.com/doc/springs/help/fr/springs.htm.
-

[32] : Chevalier, par A. chevalier et j. lecrinier, guide du dessinateur industriel 2004, p 188, 190

[33] : fr.wikibooks.org/wiki/Technologie/Dispositifs_de_fixation_et_d%27assemblage_m%C3%A9canique/Calcul_des_assemblages_par_filetage#cite_ref-12.

[34] : ISO 15 : Roulements à rouleaux -- Dimensions principales et cotes de base.

[35] : ABEC (Annular Bearing Engineering Committee).

[36] : <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html>.

[36] : https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-01/03-Duree_de_vie.pdf.

[37] : Y.G. SCHNEIDER, Technologie de traitement de finition sous pression, Guide de mémoire,

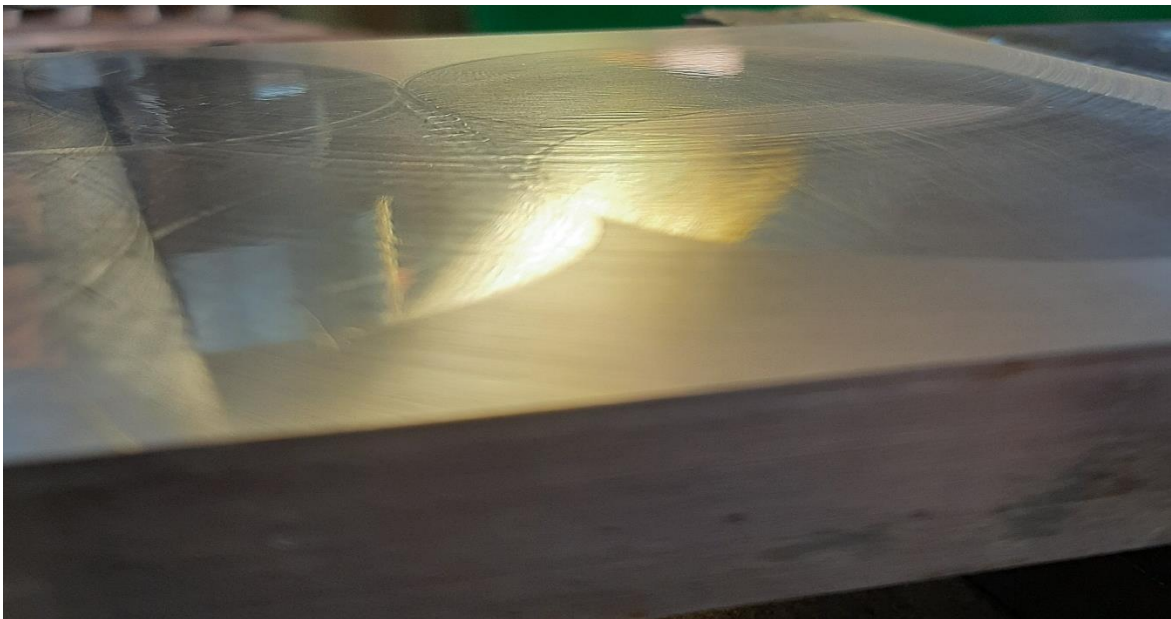
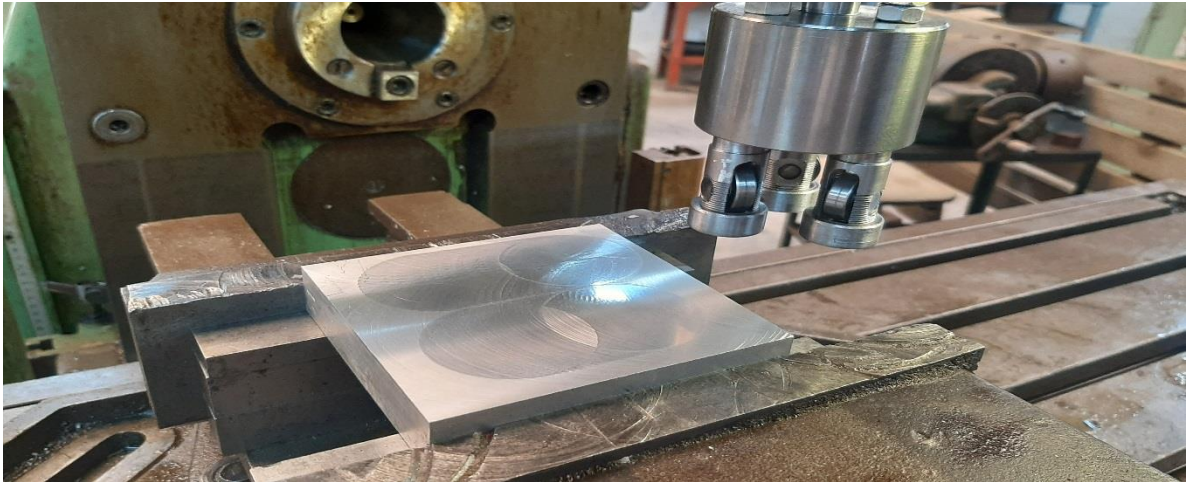
[38] : www.traitementsetmatériaux.fr/Archivesarticle/Fiche/1123/Determinationdescaracteristiques-mecaniques-des-produits-plats-en-acier-par-mesures-de-durete

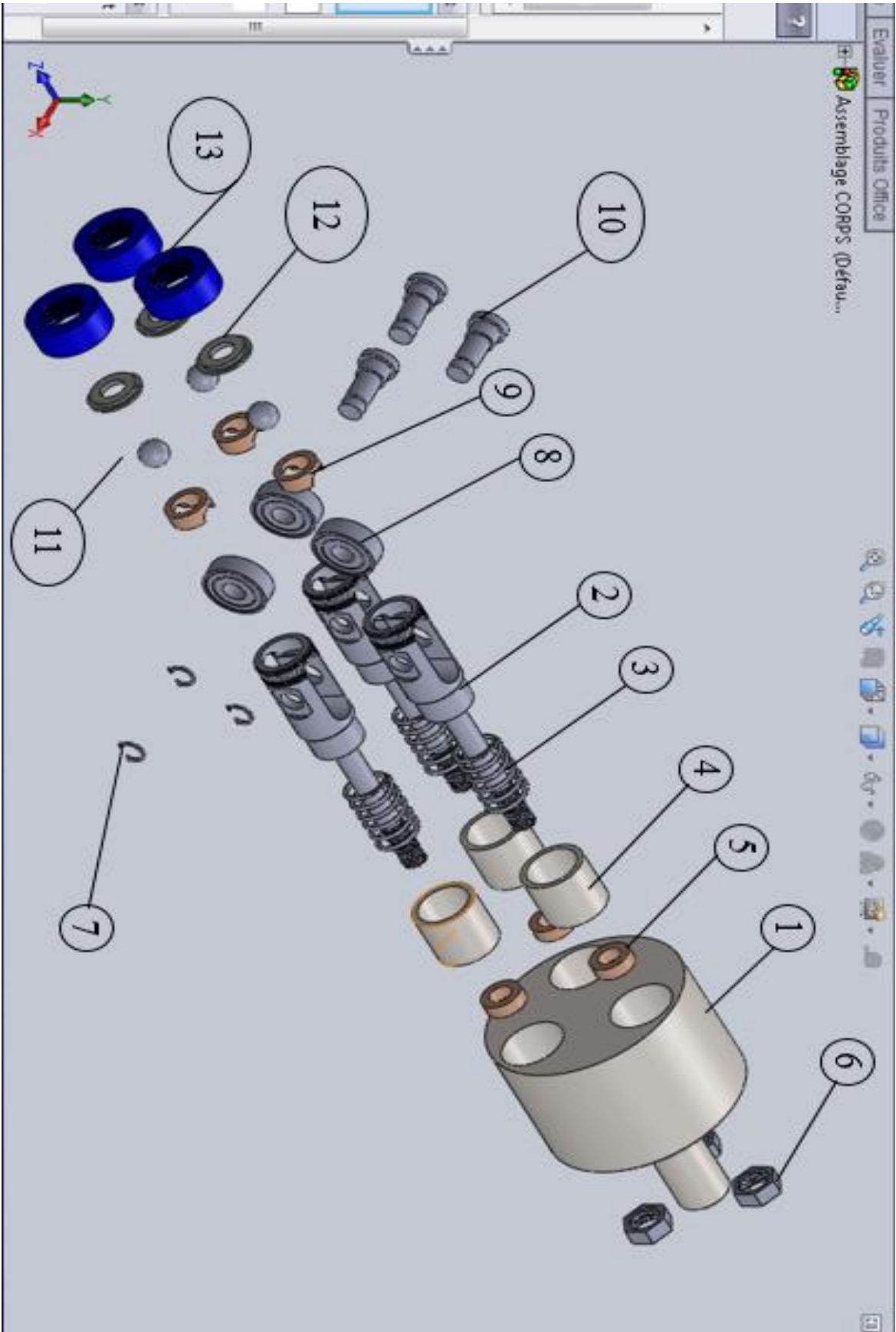
[39] : <https://www.cours-et-exercices.com/2016/02/le-guidage-en-rotation-cours-de-la.html>

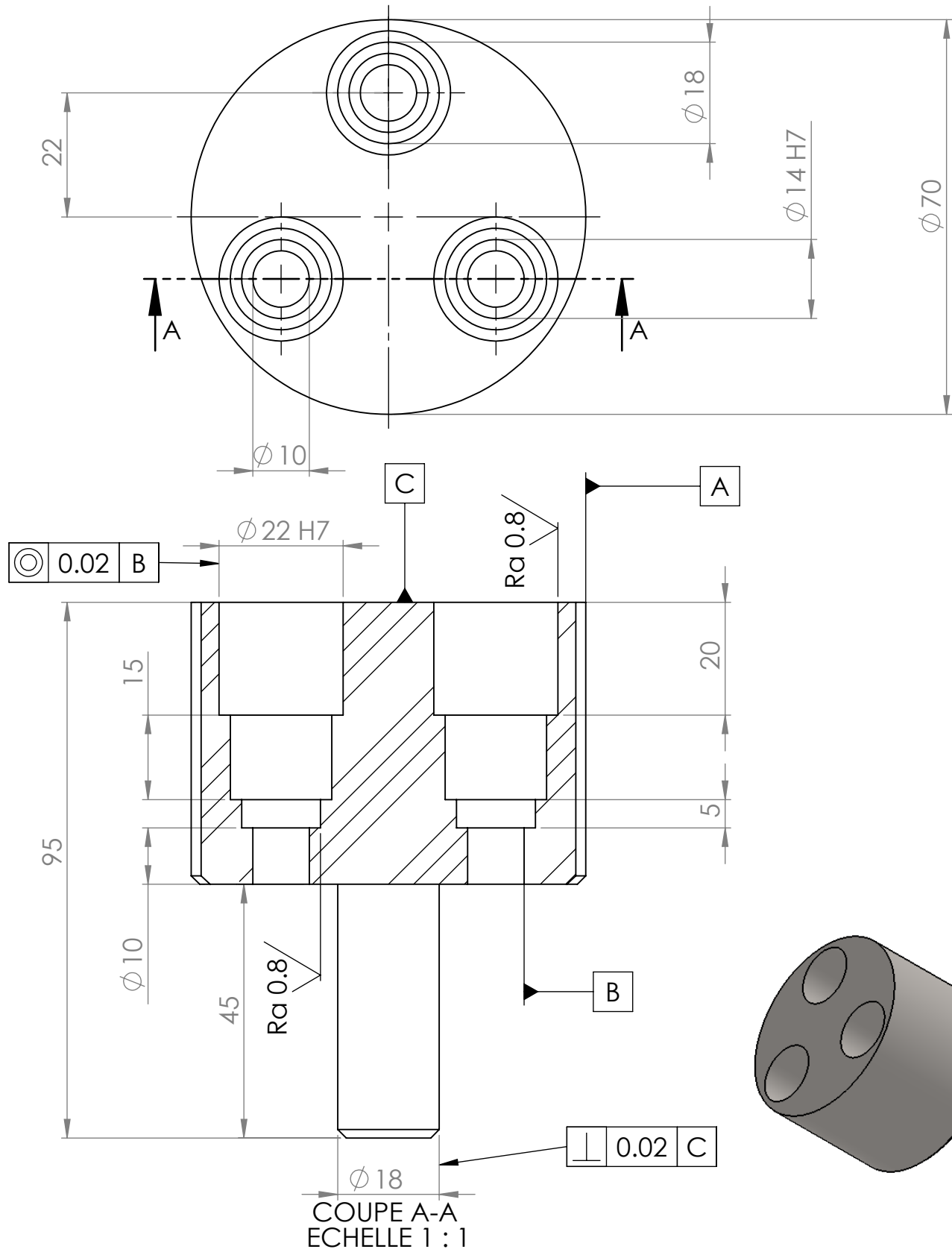
[40]: www.moodle.univ-tln.fr/pluginfile.php/50684/mod_resource/content/1/Les-Paliers_lisses-ou-Coussinets.pdf

[41] : Cours du fabrication mécanique (Faculté des sciences de l'ingénieur Département de Génie mécanique)









SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:

Dessiner par : MOSTEFAOUI
GAOUAOU

CASSER LES
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

FT. Boumerdess

NOM	SIGNATURE	DATE			
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					
			MATERIAU:		
			XC 38		
			MASSE:		

TITRE:

Corps pour outil de gantage

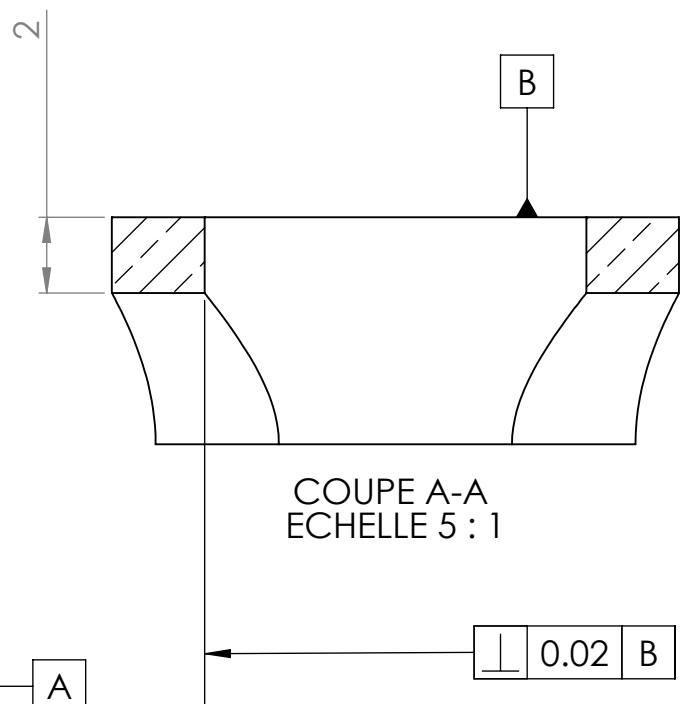
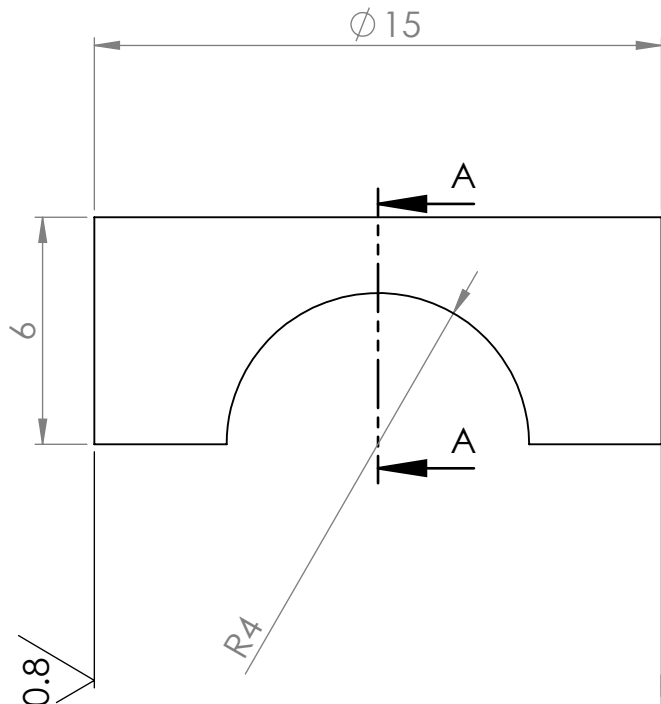
No. DE PLAN

CORPS

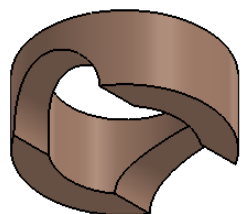
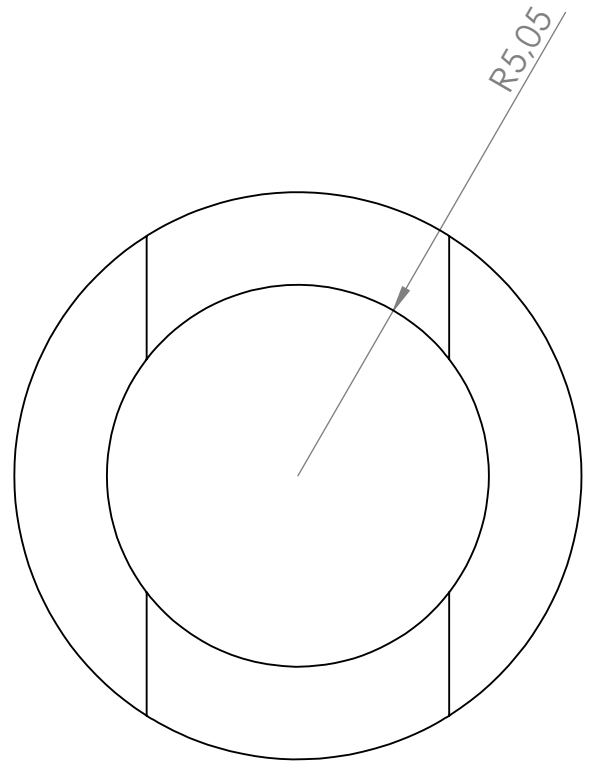
A4

ECHELLE:1:2

FEUILLE 1 SUR 1



COUPE A-A
ECHELLE 5 : 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:
Dessiner par :
**MOSTEFAOUI
GAOUAOU**

CASSER LES
ANGLES VIFS

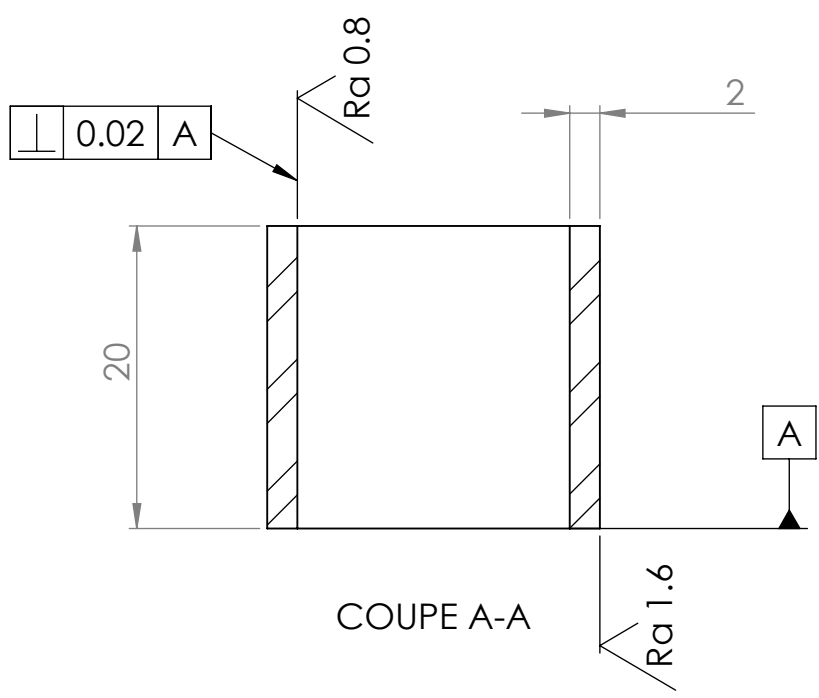
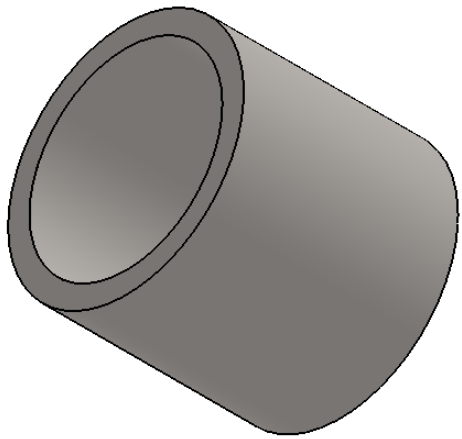
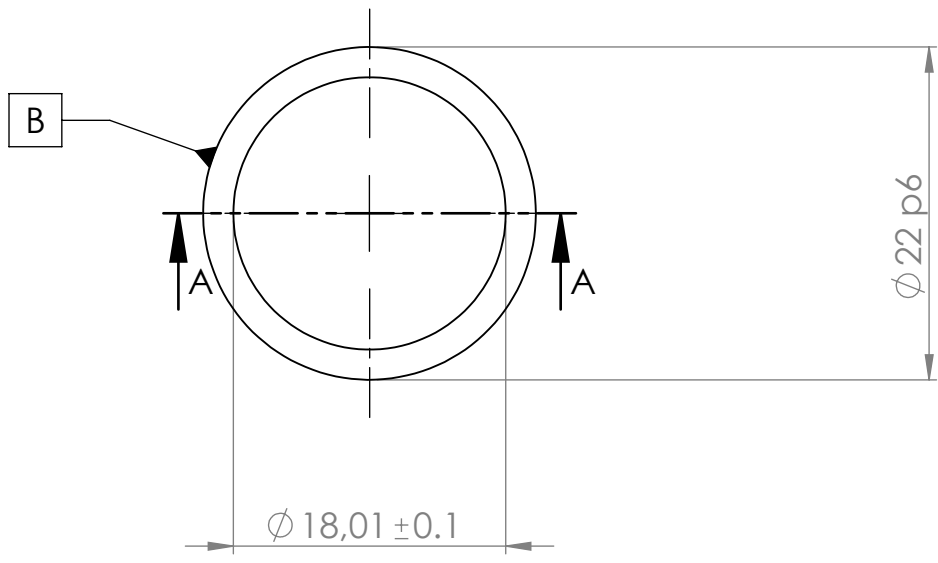
NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

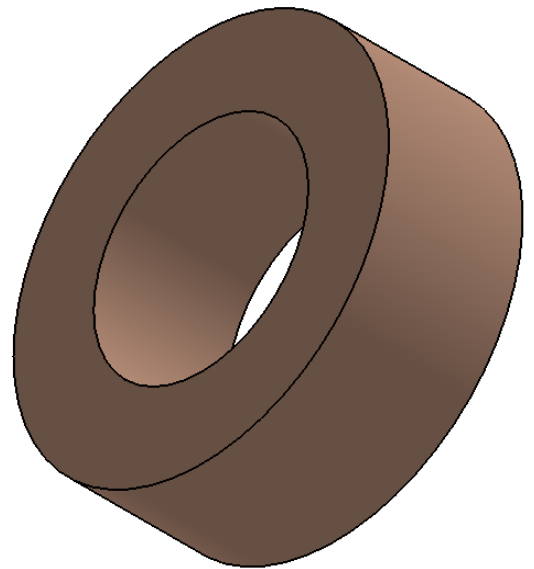
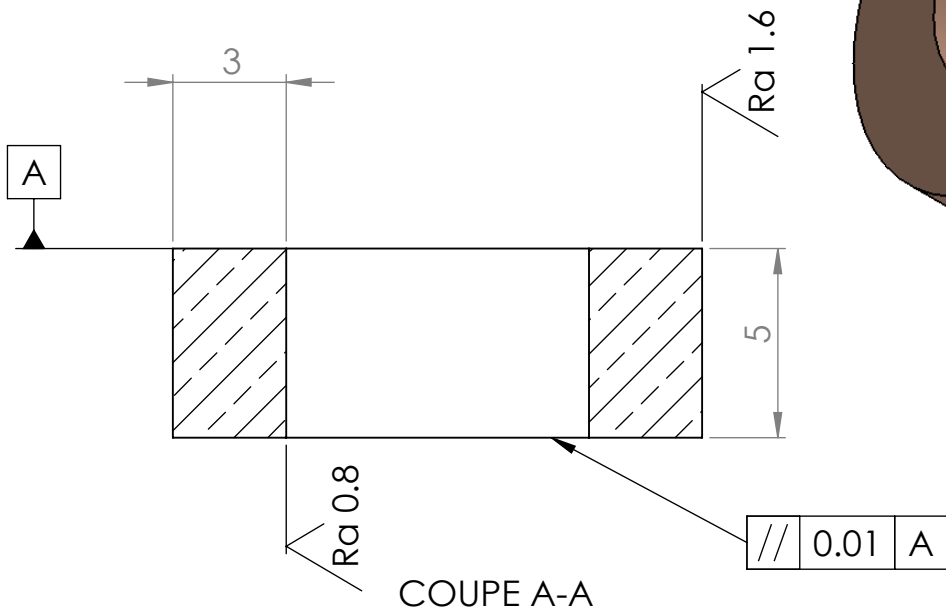
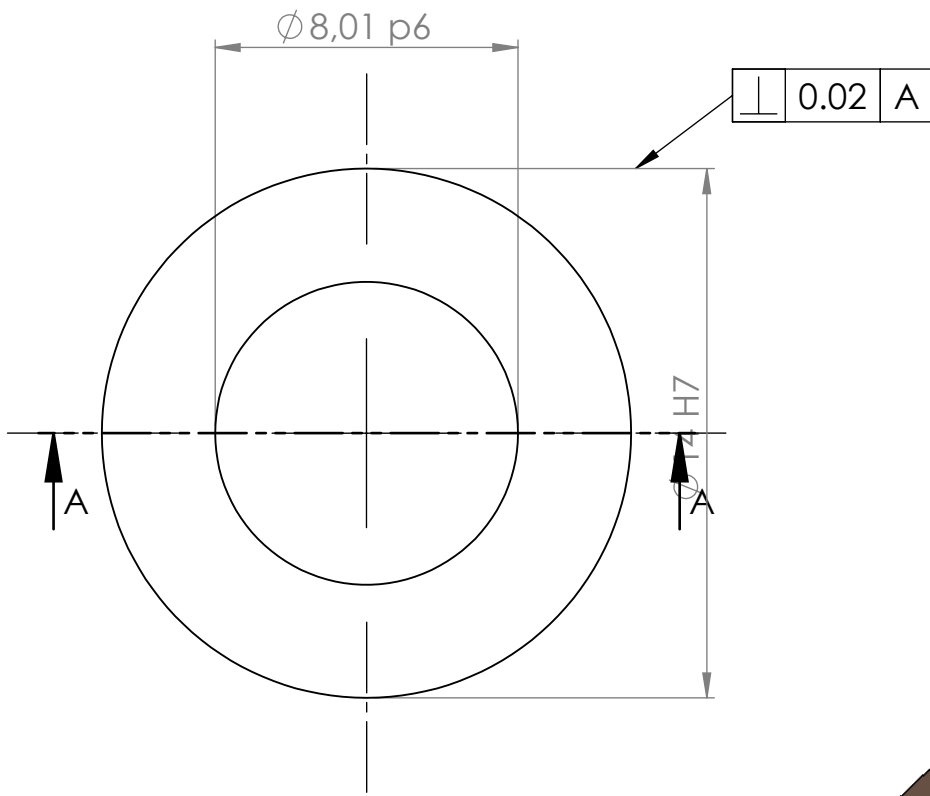
F T, Boumerdess

NOM	SIGNATURE	DATE			
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					
			MATERIAU: Bronze		
			MASSE:		

TITRE: Bague de bronze pour la bille	
No. DE PLAN 2_bague bronze 1	A4
ECHELLE:2:1	FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: 6.3 ANGULAIRES:				FINITION:		CASSER LES ANGES VIFS		NE PAS CHANGER L'ECHELLE		REVISION	
				Dessiner par : MOSTEFAOUI GAOUAOU				F T . Boumerdess			
NOM				SIGNATURE		DATE		TITRE:			
AUTEUR								Bague pour le corps de loutil			
VERIF.											
APPR.											
FAB.											
QUAL.						MATERIAU:		No. DE PLAN		A4	
						XC 48		bague bronze 2			
						MASSE:		ECHELLE:2:1		FEUILLE 1 SUR 1	



SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:

Dessiner par :

MOSTEFAOUI
GAOUAOU

CASSER LES
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

F T. Boumerdess

NOM	SIGNATURE	DATE			
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					
			MATERIAU:		
			Bronze		
			MASSE:		

TITRE:

Bague de bronze pour le corps de l'outil

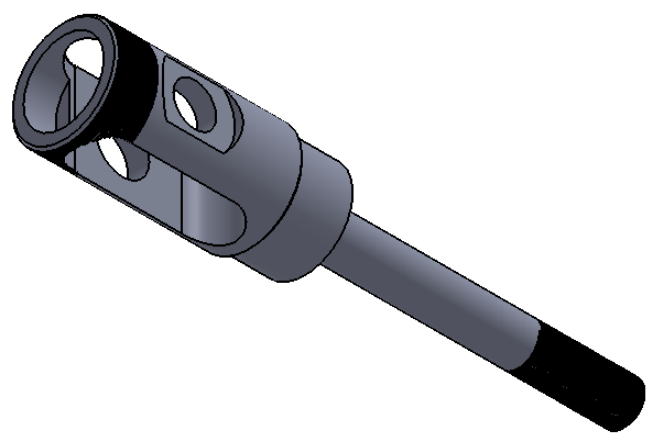
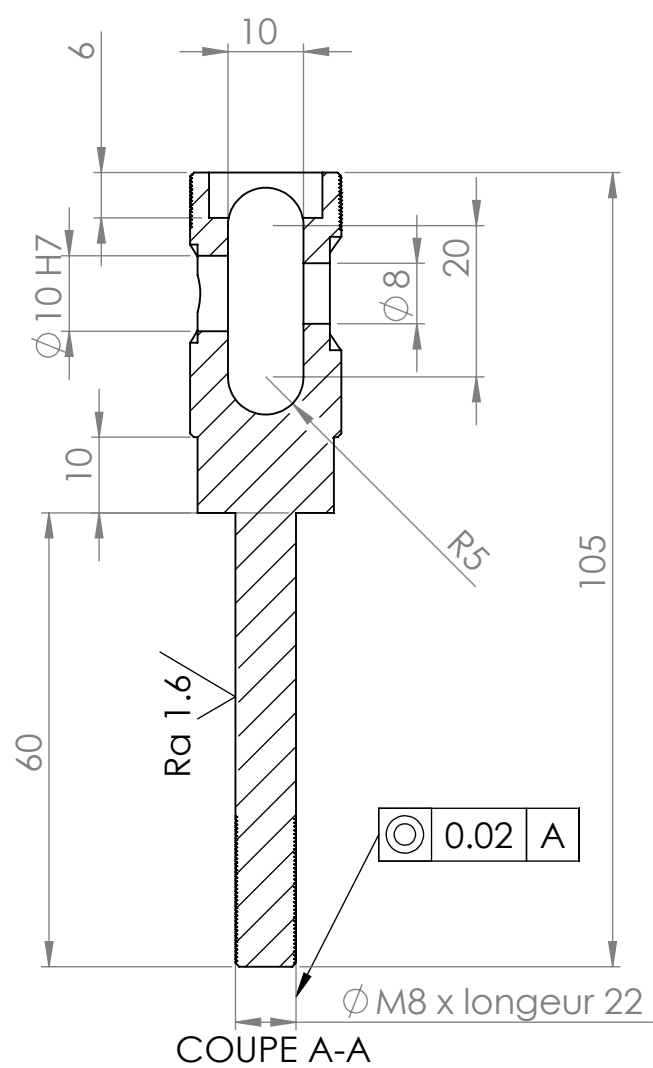
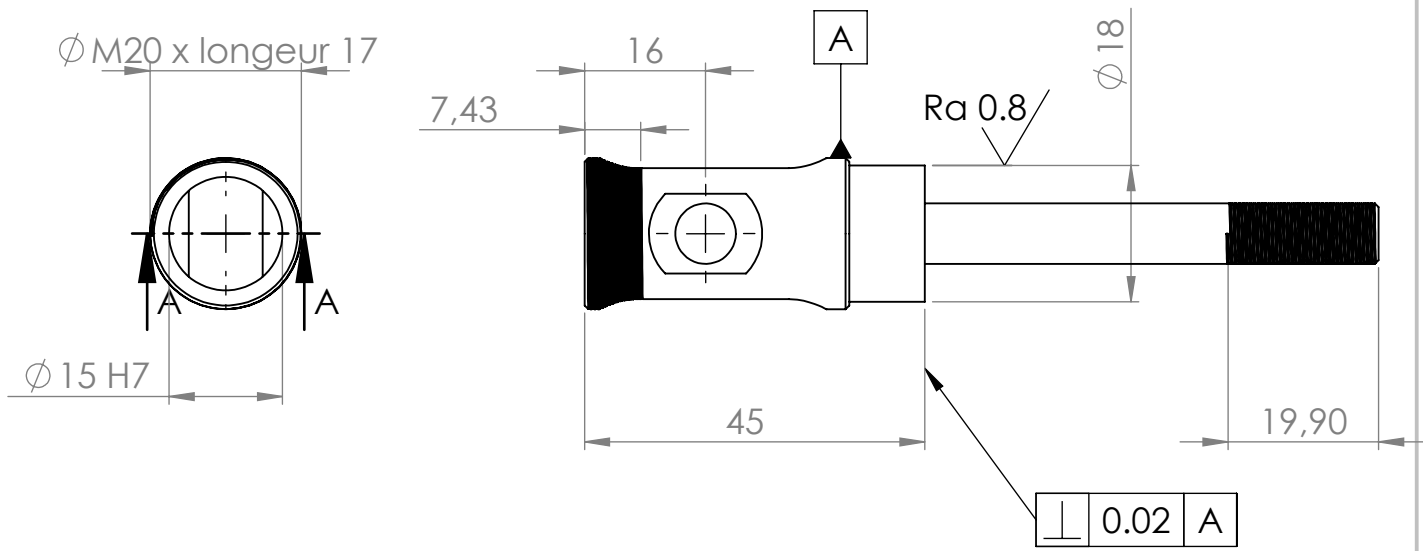
No. DE PLAN

bague bronze 3.

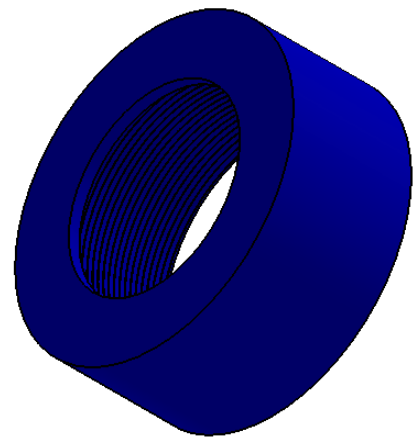
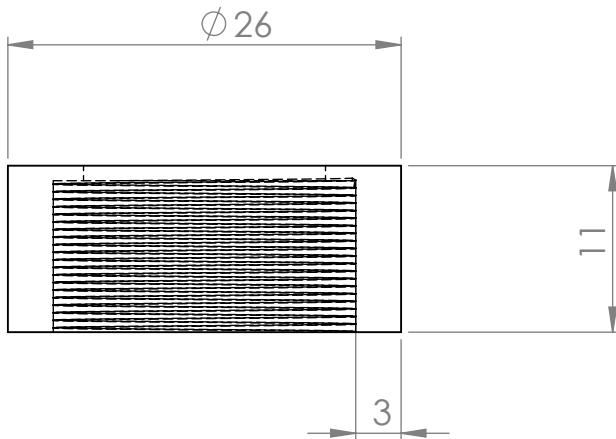
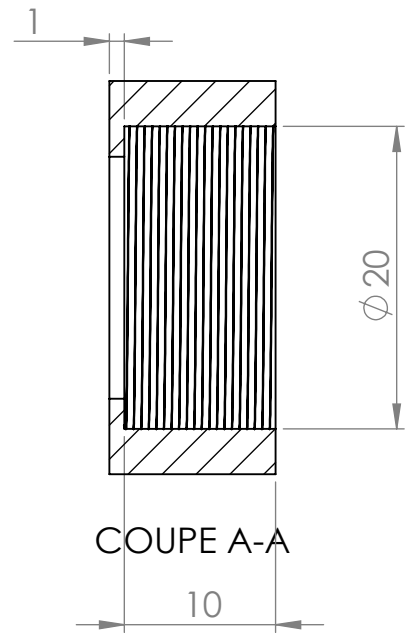
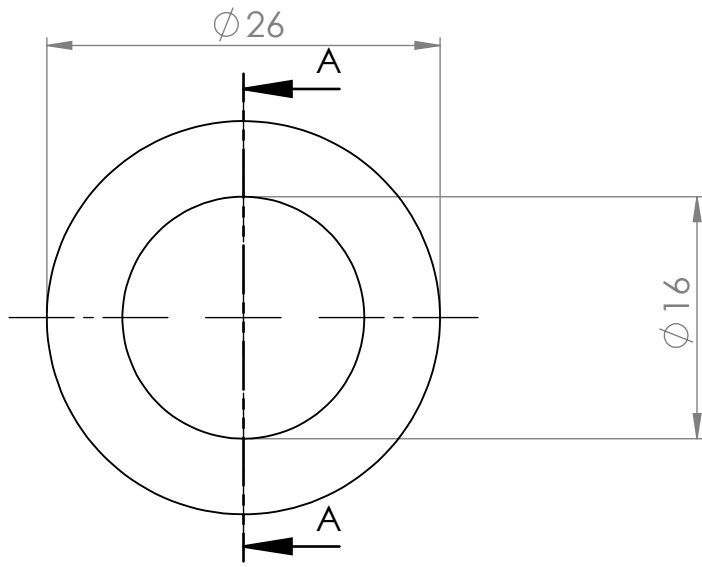
A4

ECHELLE:5:1

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:			FINITION: Dessiner par : MOSTEFAOUI GAOUAOU		CASSER LES ANGLES VIFS		NE PAS CHANGER L'ECHELLE		REVISION		
							F T. Boumerdess				
NOM							TITRE:				
SIGNATURE							Tête de l'outil de gantage				
DATE											
AUTEUR							No. DE PLAN				
VERIF.							tete bille				
APPR.							A4				
FAB.											
QUAL.							MATERIAU: XC 48				
							MASSE:				
							ECHELLE:1:1				
							FEUILLE 1 SUR 1				



SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.				MATERIAU:	
				MASSE:	

TITRE:

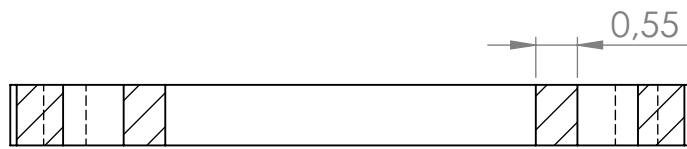
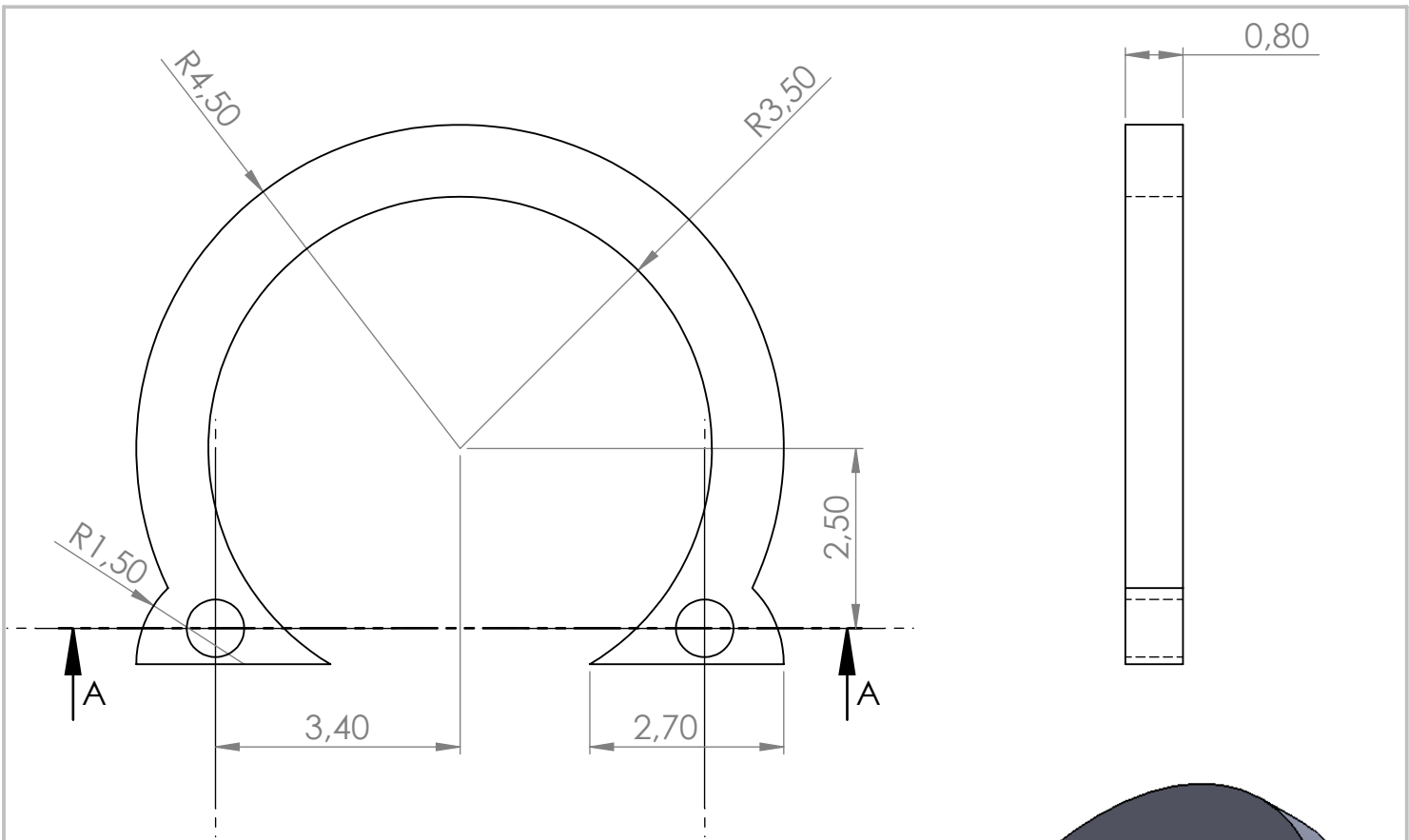
No. DE PLAN

cage couvercle

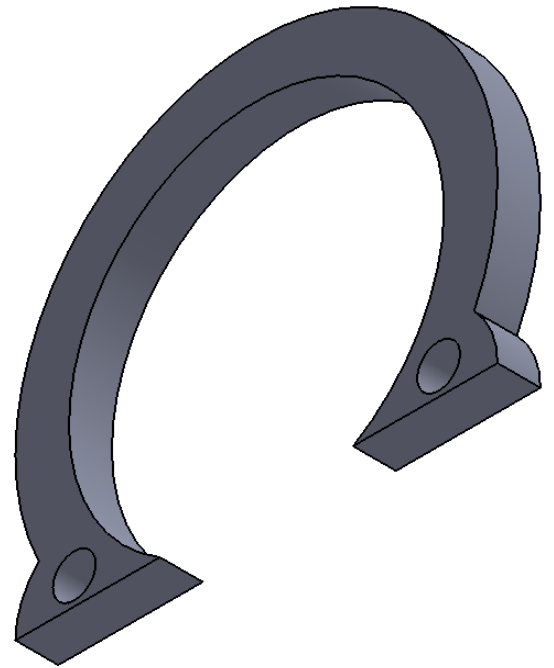
A4

ECHELLE:2:1

FEUILLE 1 SUR 1

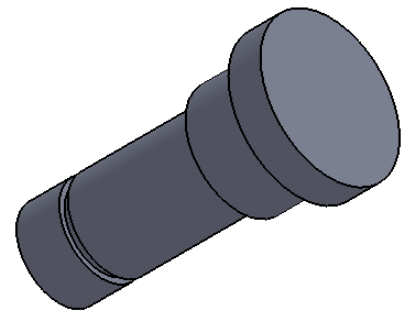
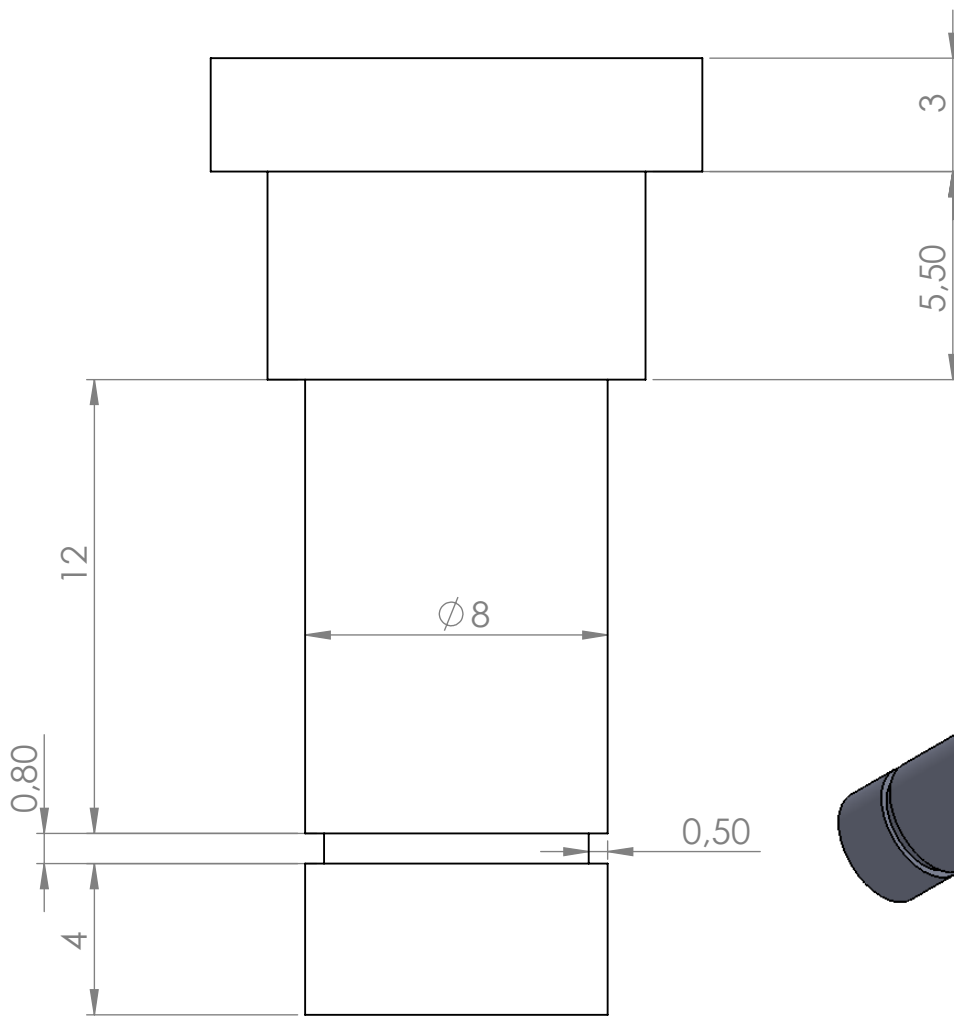
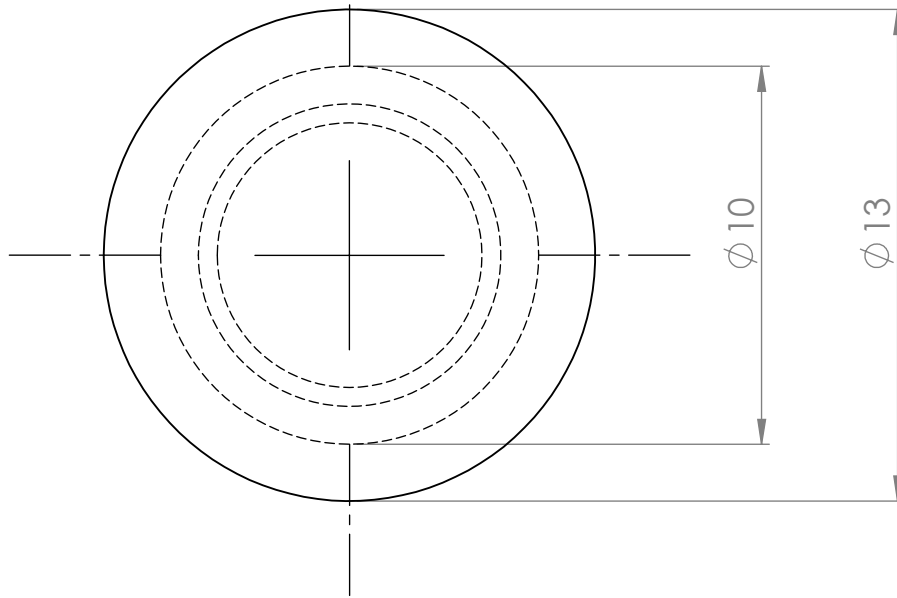


COUPE A-A



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:				FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS		NE PAS CHANGER L'ECHELLE		REVISION	
NOM				SIGNATURE		DATE		TITRE:			
AUTEUR											
VERIF.											
APPR.											
FAB.											
QUAL.						MATERIAU:		No. DE PLAN		A4	
						MASSE:		ECHELLE:10:1		FEUILLE 1 SUR 1	

Circlips



SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					
				MATERIAU:	
				MASSE:	

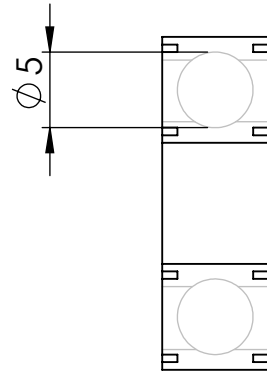
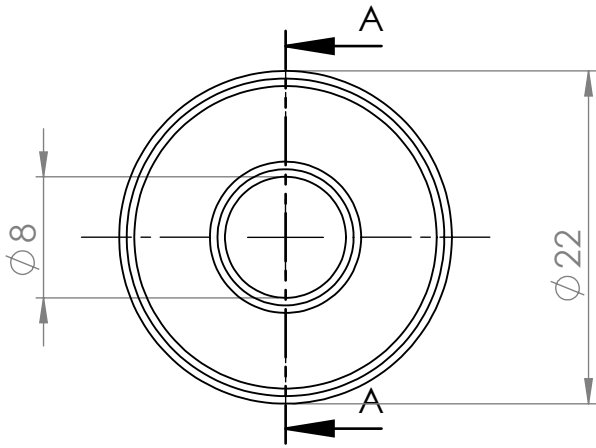
TITRE:

No. DE PLAN

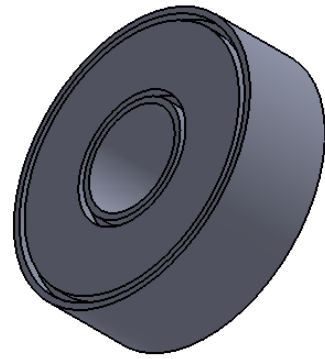
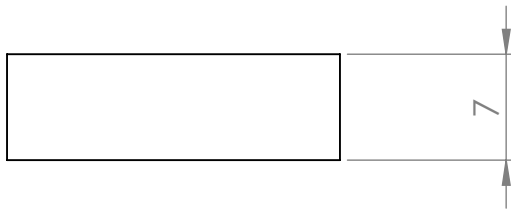
L'axe de roulement A4

ECHELLE:2:1

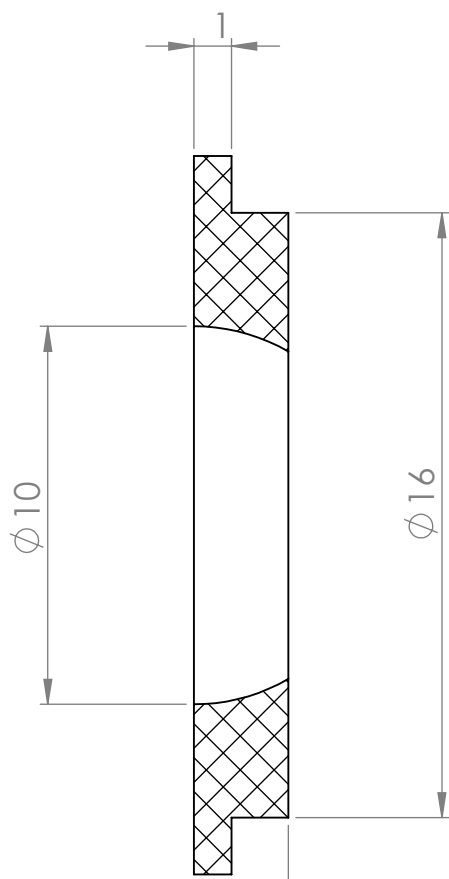
FEUILLE 1 SUR 1



COUPE A-A

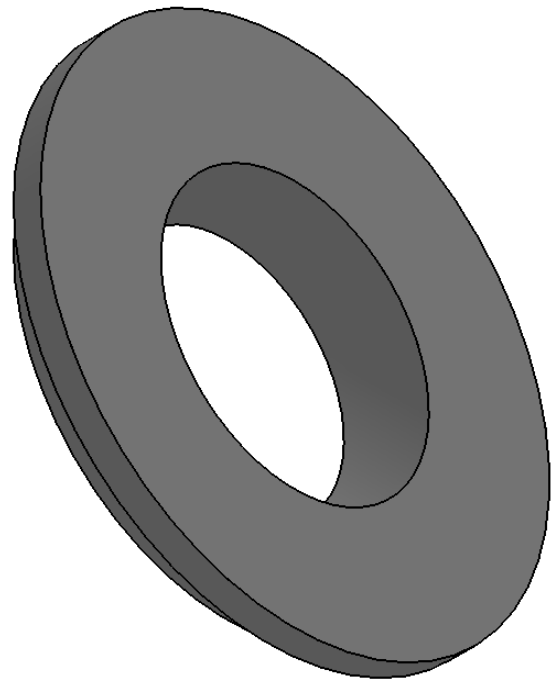
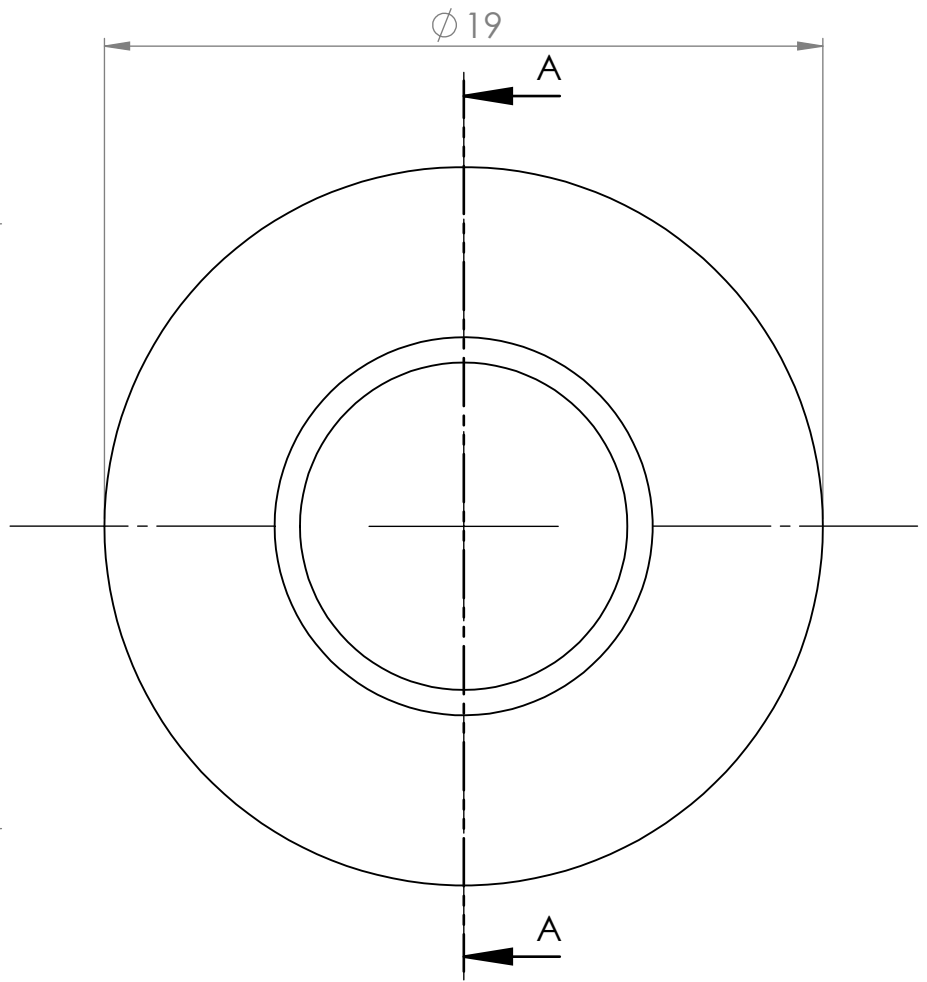


SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS		NE PAS CHANGER L'ECHELLE		REVISION	
NOM		SIGNATURE		DATE		TITRE:			
AUTEUR									
VERIF.									
APPR.									
FAB.									
QUAL.				MATERIAU:		No. DE PLAN		roulement 2	
						Echelle: 2:1		A4	
				MASSE:		FEUILLE 1 SUR 1			



COUPE A-A
ECHELLE 5 : 1

2,50



SAUF INDICATION CONTRAIRE:
LES COTES SONT EN MILLIMETRES
ETAT DE SURFACE:
TOLERANCES:
LINEAIRES:
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.				MATERIAU:	
				MASSE:	

TITRE:

No. DE PLAN

SILICONE.SLDPRT 2 A4

ECHELLE:1:1

FEUILLE 1 SUR 1