

Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Présenté par :

MAHMOUDI Rim & MAHMOUDI Hafida

### Thème

**ETUDE DE CONCEPTION D'UN DISPOSITIF DE PRISE DE  
PIECES A PAROIS MINCES DEFORMABLES**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
AMROUNE Salah	MCA	Président
MAKRI Hocine	MCA	Rapporteur
BERKACHE Ammar	MCB	Examineur

*Année Universitaire : 2021 / 2022*

*N° d'ordre : GM/...../2022*

## الملخص

تهتم الهندسة الميكانيكية بتصميم و تصنيع وتشغيل وتطوير الآلات او الاجهزة المستخدمة في مختلف قطاعات النشاطات الاقتصادية . ركزنا في دراستنا على مشكلة اجزاء رقيقة الجدران قابلة للتشوه اثناء عملية الخراطة والهدف منها هو تصميم جهاز إلتقاط و مسك قطع ذات جدران رقيقة قابلة للتشوه اثناء عملية الخراطة وذلك لتحسين جودة المنتج.

## Résumé

Le génie mécanique concerne la conception et l'exploitation et le développement de machines ou d'appareils utilisés dans divers secteurs d'activités économique .Nous nous sommes focalisés dans notre étude sur la problématique des pièces à parois minces sujettes à déformation lors de l'usinage. Le but de notre étude est de concevoir un dispositif de saisie et de préhension de pièces parois minces soumises à déformation lors de l'usinage afin d'améliorer la qualité d'un produit.

## Abstract

Mechanical engineering concerns the design and manufacture and operation and development of machines or devices used in various sectors of economic activity. We focused in our study on the problem of thin-walled parts subject to deformation during machining. Machining to improve the quality of a product.

## Remerciements

*Nous remercions Dieu, le tout puissant pour nous avoir guidés durant les années d'études et pour la force nécessaire qu'il a semé en nous pour surmonter toutes les difficultés pour qu'on puisse élaborer ce modeste mémoire.*

*Nous remercions particulièrement Dr Makri Hocine qui nous a fait l'honneur de nous encadrer, ainsi que tous les autres enseignants qui ont assuré notre formation et nous ont donné beaucoup d'encouragement.*

*Nous remercions également toutes les personnes qu'ont participé de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.*

*En fin je tiens à remercier ma famille, mes amies et tous mes collègues de l'université de M'sila, pour leurs encouragements.*

# Sommaire

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
Objectif .....	2
Destination .....	2
<b>CHAPITRE I INTRODUCTION AUX MONTAGES D'USINAGE.....</b>	<b>3</b>
I . Introduction.....	4
I.1. Notions d'isostatisme.....	4
I.1.1. Symboles utilisés en isostatisme.....	5
I.1.2. Relation cotation de fabrication et repérage isostatique.....	5
1. La cotation fonctionnelle .....	5
2. Tolérance.....	5
3. La cotation fabrication .....	6
I.1.3. Les cotes fabriquées .....	6
1. Définition de cotes fabriquées .....	6
2. Les différentes cotes de fabrication .....	7
a) Les cotes machines (Cm) .....	7
b) Les cotes appareillages (Ca) .....	7
c) Les cotes outils (Co).....	8
I.1.4. Règles d'isostatisme.....	8
I.1.5. Modèle isostatique.....	9
I.2. Rôle d'un montage d'usinage.....	10
I.2.1. Fonctions d'un montage d'usinage.....	10
I.2.2. Conditions d'un montage d'usinage.....	10
I.2.3. Typologie des montages d'usinages.....	11
I.2.4. Exemples de montages adaptés au tournage et aux pièces de révolution.....	11
I.3. Les matériaux utilisés pour les tuyaux et les tubes.....	12

I.3.1. Différents matériaux utilisés pour les tuyaux et les tubes.....	12
I.3.2. Tuyaux en béton et en céramique.....	12
I.3.3. Tuyaux en matières plastiques.....	13
I.3.4 Tuyaux et tubes métalliques.....	13
I.3.5 Tuyaux et tubes en acier inoxydable.....	14
<b>CHAPITRE II LES PIÈCES DÉFORMABLES EN MÉCANIQUE.....</b>	<b>15</b>
II. Introduction.....	16
II.1. Pièces déformables.....	16
II.2. Causes de la déformation des pièces à paroi mince.....	17
1.    La force .....	17
2.    La Chaleur.....	17
3.    Les vibrations.....	17
II.3. Analyse des causes de déformation de pièces en alliage d'aluminium usinées.....	17
II.3.1. incidence du matériau et de la structure de la pièce sur la déformation de la pièce.....	17
II.3.2. Déformation causée par le serrage de la pièce.....	17
II.3.3. Déformation provoquée par l'usinage de la pièce.....	18
II.3.4. Déformation sous contrainte après usinage.....	18
II.4. Analyse pour la conception du montage d'usinage.....	18
II.4.1. Analyse cinématique.....	18
II.4.2. Analyse de forces.....	18
II.4.3. Analyse de déformations.....	19
II.5. Déformation des pièces due au serrage.....	19
II.5.1. Serrage par bride.....	19
II.5.2. Déformation de la bride.....	20
II.5.3. Serrage par étau.....	20
II.6. Moyens expérimentaux pour l'étude de coupe.....	21

II.7. Déformations résiduelles: le retour d'angle « spring-in ».....	22
II.8. Cas des matériaux a renforts fibreux.....	23
II.9. Défauts géométriques en usinage.....	23
II.9.1. Classification des défauts géométriques et de leurs origines.....	23
II.9.1.1. Erreurs liées à la machine-outil et son environnement.....	23
II.9.1.2. Erreurs liées au procédé de coupe et au matériau usiné.....	24
II.9.1.3. Déformations élastiques de la pièce.....	24
<b>CHAPITRE III ETUDE DU MONTAGE.....</b>	<b>26</b>
III. Introduction.....	27
III.1. Aspect mécanique du problème.....	27
III.2. Solutions possibles.....	27
III.2.1. Méthodologie par simulation.....	27
III.2.1.1. Résultats.....	28
III.2.2. Méthodologie par fractionnement des moyens de préhension des pièces de de faible épaisseur sensibles à la déformation lors de l'usinage.....	28
III.3. La Solution Adoptée.....	29
III.3.1. Description et fonctionnement .....	29
III.3.1.1. Nomenclature des composants du dispositif conçu.....	31
III.3.1.2. Les caractéristiques techniques du dispositif .....	32
III.4. La conception du dispositif sous SOLIDWORKS.....	33
III.4.1. Elaboration des composants sous SOLIDWORKS.....	33
III.4.2. Dessin de définition des composants sous SOLIDWORKS.....	39
III.4.3. Dessin des sous-ensembles sous SOLIDWORKS.....	49
III.4.4. Drafting des sous-ensembles sous SOLIDWORKS.....	50
III.4.5. Exécution des assemblages sous SOLIDWORKS.....	52
III.4.6. Drafting des assemblages sous SOLIDWORKS.....	55
III.5. Calculs des efforts fournis.....	56

III.5.1. définition des paramètres de la coupe.....	56
<b>CHAPITRE IV GAMME D'USINAGE.....</b>	<b>59</b>
IV.1. Définition d'une gamme d'usinage.....	60
IV.2. Principe de recherche des gammes de fabrication.....	60
IV.2.1. Définitions .....	60
IV.3. Démarches d'élaboration des gammes de fabrication.....	61
IV.4. Gamme de fabrication.....	61
IV.4.1. Le Corps.....	62
IV.4.2. L'Axe.....	63
<b>Conclusion.....</b>	<b>64</b>
Bibliographie.....	65

## Liste des Figures.

Figure I.1. La liaison ponctuelle et le degré de liberté éliminé.....	4
Figure I.2. La liaison appui plan et trois degrés de liberté éliminés.....	4
Figure I.3.Symbolique d'un montage d'usinage.....	5
Figure I.4. Représentation de l'intervalle de tolérance d'une cote.....	5
Figure I.5. L'évolution de la cotation entre le bureau d'études et la fabrication de la pièce.....	6
Figure I.6. Cotes machines.....	7
Figure I.7.cotes appareillage.....	8
Figure I.8. Cotes d'outils.....	8
Figure I.9. Montage en l'aire mandrin 3 mors à l'envers.....	9
Figure I.10. Montage en l'aire mandrin 3 mors à l' endroit avec butée axiale....	9
Figure I.11.Montage mixte.....	10
Figure I.12. Montage entre point.....	10
Figure I.13.Mandrin à 3 mors concentriques sur centre de tournage.....	11
Figure I.14. Mandrin à 3 mors concentriques associé à une pointe tournante d'un centre de tournage.....	11
Figure I.15.Montage entre 2pointes une entraînée par la broche de la machine et une pointe tournante sur tour à commande numérique.....	12
Figure I.16. Tuyau en béton.....	13
Figure I.17.Tuyau et tube en plastique.....	13
Figure I.18. Tube en aluminium.....	14
Figure I.19. Tuyau et tube en acier inoxydable.....	14
Figure II.1. Exemple de panneaux de voilure.....	16
Figure II.2. Exemple aube de turbine.....	16

Figure II.3. Serrage par bride.....	19
Figure II.4. Résultat d'une simulation de bridage sous SolidWorks.....	19
Figure II.5. Serrage avec bride.....	20
Figure II.6. Déformation de la bride.....	20
Figure II.7. Résultat d'une simulation sur SolidWorks.....	21
Figure II.8. Montage expérimental.....	21
Figure II.9. Positions de mesure (MP) des thermocouples respectivement du diamètre de la pièce.....	22
Figure II.10. Déformation dues aux contraintes résiduelles induites par le procédé.....	22
Figure II.11. Sources d'erreurs liées à la MOCN, son environnement et les conditions de réalisation.....	23
Figure II.12. Sources de défauts géométrique liés au procédé de coupe.....	24
Figure II.13. Défaut trilobe lié au bridage sur une pièce cylindrique .....	25
Figure III.1. Exécution du maillage dans le cas d'une déformation d'une bague en situation d'usinage a) mandrin à 3 mors b) mandrin à 6 mors.....	27
Figure III.2. Résultats de l'analyse FEM pour la force de préhension totale du mandrin de tour $f = 10$ KN a) et c) serrage dans un mandrin à 3 mors avec une erreur de circularité triangulaire, b) et d) serrage dans un mandrin à 6 mors avec moins de déformation et d'erreur de profil.....	28
Figure III. 3. Dispositif de prise constitué par des billes appliquées contre la pièce à usiner.....	29
Figure III.4. Coupe transversale du dispositif de maintien en position d'usinage des pièces minces et tubes.....	30
Figure III.5. Coupe longitudinale du dispositif conçu en situation d'usinage d'un bout de tube.....	31
Figure III.6. Coupe longitudinale du dispositif conçu en prise sur un tour et en situation d'usinage d'un bout de tube.....	31
Figure IV.1. Chronologie de la démarche d'industrialisation.....	60

Figure IV.2. Evolution des produits.....	61
Figure IV.3. Démarches d'élaboration des gammes de fabrication.....	61

## **Liste des tableaux**

Tableau I.1. Exemples de montages d'usinage standards en tournage.....	9
Tableau II . 2. Conditions d'usinage.....	21

# Introduction

---

## Introduction

L'amélioration des qualités des produits usinés nécessite un accroissement de la précision des surfaces fonctionnelles obtenues par usinage. Cet accroissement de précision passe également par l'adoption de matériaux qui exigent de nouvelles techniques d'usinage qui à leur tour exigent des moyens de prise et d'outils performants.

L'usinage de pièces mécaniques creuses à parois minces et des tubes est une opération qui présente plusieurs défis techniques. Ces pièces font l'objet d'une grande utilisation dans divers domaines industriels exigeants comme la construction automobile, l'aéronautique (notamment les moteurs), la construction navale, la production de pipes métalliques, ...

L'usinage de ce type de pièce est difficile car la mise en position et la bonne prise de la pièce mince ou du tube lors de l'usinage sont deux facteurs importants à considérer. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour que le système de prise soit adéquat; le diamètre et l'épaisseur de la pièce, l'accessibilité, la précision (la qualité d'usinage souhaitée), le régime de production (la série), la matière constituante. La situation se complique de plus en plus si l'on est dans un cas d'usinage hors ateliers (sur site). Aux conditions précédentes s'ajoute la condition de facilité de manutention (le dispositif doit être portable) et le système doit alors supporter les efforts de coupe en plus du poids de la pièce ou du tube à usiner.

Notre manuscrit se divise en quatre ou chapitres, le premier chapitre est réservé à la présentation générale des montages d'usinage et de leurs typologies. Le deuxième chapitre est dédié aux pièces déformables en mécanique. A travers la bibliographie scientifique, On cherche à définir la déformabilité des pièces mécaniques dans le contexte de l'interaction machine-outil-pièce. Le troisième chapitre est réservé au travail personnel de conception, dans cette partie on présente l'étude de conception du dispositif en utilisant l'outil informatique à travers le logiciel de conception solidworks. Le quatrième chapitre traite la fabrication des éléments essentiels du dispositif à savoir le corps et l'axe principal.

# Introduction

---

## **Objectif :**

L'objectif de ce mémoire est d'étudier la conception un dispositif de prise de pièces creuses a parois minces pour pratiquer des opérations d'usinage externes sur tour.

## **Destination :**

Le dispositif de prise et de maintien en position d'usinage est destiné à l'usage général dans les travaux d'usinage mécanique (des travaux de tournage, fraisage, perçage ou d'autres travaux d'usinage exécutés sur machines-outils) et particulièrement à la prise et le maintien des pièces mécaniques creuses sensibles aux déformations sous l'effet des efforts de serrage ou déformables sous l'effet des efforts de coupe a grande pénétration.

## **CHAPITRE I.**

### **INTRODUCTION AUX MONTAGES D'USINAGE.**

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

## I. Introduction

Le montage d'usinage est un dispositif permettant de lier et de positionner précisément et solidement la pièce dans le référentiel de la machine-outil.

Le choix des éléments technologiques constituant le montage d'usinage et tout particulièrement les éléments en contact avec la pièce joue un rôle primordial dans la qualité de la pièce usinée. [1]

### I.1. Notions d'isostatisme

Un mouvement relatif d'un solide dans un sens par rapport une base orthogonale représentée par un référentiel est appelé degré de liberté (dL).

Le mouvement d'un solide dans l'espace peut se décrire par 6 degrés de liberté (6dL), suivant la combinaison de 3dL en translations (3T) et de 3dL en rotations (3R) par rapport à une cette base orthogonale. Il s'en suit que pour immobiliser un solide dans l'espace, il suffit de supprimer ces 6dL. [2]

En fabrication mécanique, avant de pratiquer l'usinage, il faut mettre la pièce a usiner en place et la fixer à son support appartenant à la machine, l'étude de la suppression des dL est appelée isostatisme.[2] Il ne faut pas confondre la mise en position (MIP) qui correspond à l'isostatisme et le maintien de la pièce en situation d'usinage par un serrage. En situation d'usinage d'une pièce, la MIP est souvent appelée repérage isostatique, par contre le serrage est appelé ablocage. Faire la MIP consiste donc à éliminer les dL de la pièce, pour cela, il suffit d'utiliser une ou plusieurs liaisons qui s'opposent au mouvement.

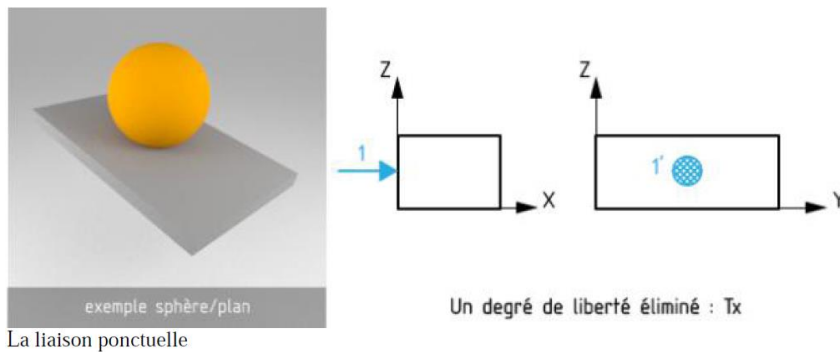


Figure I.1. La liaison ponctuelle et le degré de liberté éliminé.

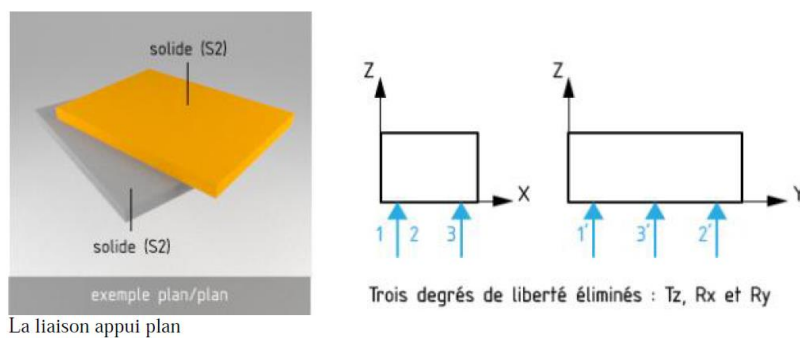


Figure I.2. La liaison appui plan et trois degrés de liberté éliminés.

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

## I.1.1. Symboles utilisés en isostatisme

La liaison est matérialisée par le contact de l'élément de prise appartenant au dispositif de mise en position avec la surface de liaison appartenant à la pièce qui s'appelle degrés de liberté. Le degré de liberté est modélisé par une flèche normale à la surface de contact ;

Eliminer un degré de liberté revient à appliquer une flèche,

Eliminer deux degrés de liberté revient à appliquer deux flèches.

Pour éliminer plus de deux degrés de liberté revient à associer plus que deux flèches.

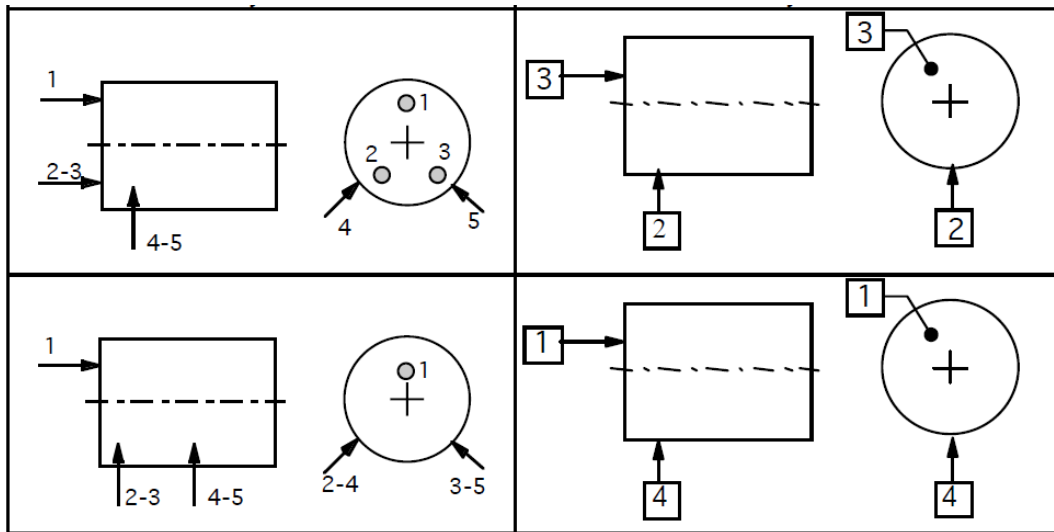


Figure I.3. Symbolique d'un montage d'usinage.

## I.1.2. Relation cotation de fabrication et repérage isostatique

### 1. La cotation fonctionnelle :

Un mécanisme est constitué de différentes pièces. Pour que ce mécanisme fonctionne, des conditions fonctionnelles doivent être assurées : Jeu, serrage, retrait, dépassement. Ces conditions fonctionnelles sont susceptibles d'être modifiées en fonction des dimensions de certaines pièces.

La cotation fonctionnelle permet de rechercher les cotes fonctionnelles à respecter afin que les conditions fonctionnelles soient assurées.[3]

### 2. Tolérance :

C'est la dimension effectivement réalisée soit comprise entre deux dimensions limites.[3].

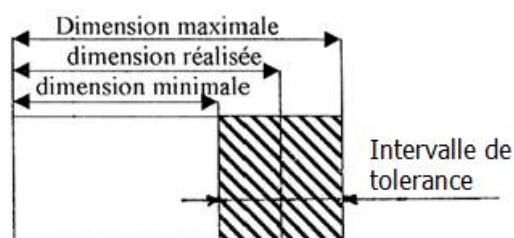


Figure I.4. Représentation de l'intervalle de tolérance d'une cote.

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

## 3. La cotation fabrication :

La cotation fonctionnelle permettant d'assurer le bon fonctionnement de la pièce dans le cadre du système technique dont elle fait partie, c'est le bureau d'étude qui établit ces cotes. Alors, pourquoi on fixe une cotation de fabrication ?

Or, le dessin de définition ne comporte que les cotes de la pièce finie et de plus le contrôle tout au long du processus de fabrication impose la connaissance de plusieurs autres cotes concernant :

- La pièce brute
- Les cotes intermédiaires (d'ébauche et de demi-finition)
- Certaines cotes fabriquées issues d'un transfert de cote imposé par la limitation des possibilités des machines et des outillages ou par une diminution du cout des outillages.[4]

Le système de cotes fabriquées doit définir sans ambiguïté toute l'évolution de la fabrication de la pièce, à partir de l'état brut et jusqu'à la dernière opération d'usinage. L'objet de la cotation de fabrication est la recherche et le calcul des côtes et spécifications fabriquées qui sont les éléments à contrôler après chaque séquence de fabrication. On doit tenir compte du processus de fabrication envisagé et le calcul des cotes est fait à partir des cotes fonctionnelles portées sur le dessin de définition et des cotes conditions imposées par le préparateur.[4]

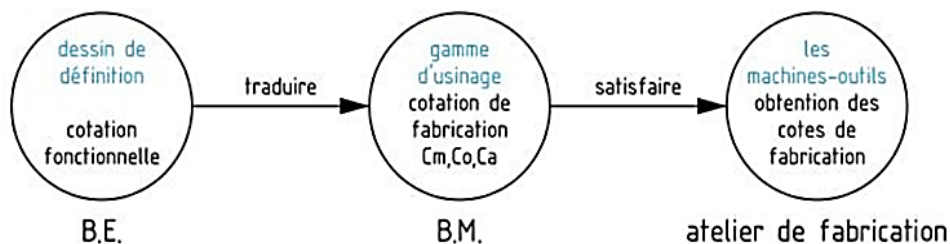


Figure I.5. L'évolution de la cotation entre le bureau d'études et la fabrication de la pièce .

### I.1.3. Les cotes fabriquées :

L'établissement d'un processus d'usinage impose la détermination, par choix raisonné ou calcul, de toutes les cotes et tolérances dimensionnelles et géométriques effectivement réalisées sur la pièce et dont l'ensemble est regroupé sous le terme cotation de fabrication (CF) ou d'usinage. Celle-ci n'apparaît que sur les documents qui explicitent le processus d'usinage (dessins de phase ou d'opération) et ne constitue qu'une étape dans l'évolution ayant pour origine la pièce brute et pour objectif final la pièce usinée (conforme au dessin de définition). Ainsi certaines cotes d'usinage mesurables (ou contrôlables) en cours de processus n'existent plus sur la pièce finie. [4]

#### 1. Définition de cotes fabriquées :

Les cotes et tolérances géométriques liant les surfaces usinées de la pièce sont obtenues par enlèvement de matière à l'aide des moyens d'usinage (machine, outils, appareillages,

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

porte-pièce). On appelle cote fabriquée les cotes qui sont réalisées pendant un usinage sans démontage de la pièce. Elles relient :

- Soit une surface de mise en position avec une surface usinée ;
- Soit deux surfaces usinées dans la même phase. [3]

## 2. Les différentes cotes de fabrication :

Selon les éléments référentiels utilisés pour effectuer les réglages des outils coupants les cotes de fabrication sont classées en trois catégories :

- Les cotes machines (Cm),
- Les cotes appareillages (Ca),
- Les cotes outils (Co). [4]

### a) Les cotes machines (Cm) :

Les cotes définissant la forme et la position des surfaces usinées, entre le référentiel pièce et le plan de travail de l'outil (ou point générateur de l'outil) lorsque celui-ci est réglé par rapport au référentiel (éléments de mise en position) sont couramment dites cotes-machines et sont notées Cm. Exemples : un montage porte-pièce, la table de la machine, etc. [4]

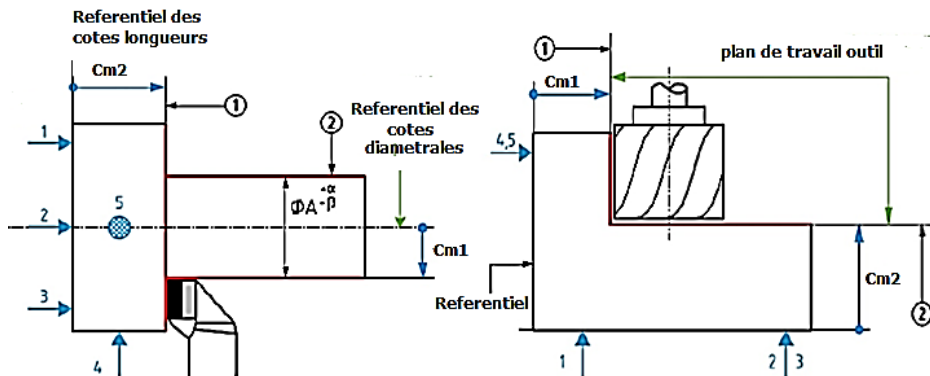


Figure I.6. Cotes machines.

### b) Les cotes appareillages (Ca) :

Ce sont les cotes obtenues à partir d'un appareillage ou par un gabarit de copiage. Les trajectoires des outils réalisant les cotes de fabrication sont imposées par des appareillages dont les positions sont définies par rapport à des référentiels fixés. Les appareillages peuvent :

- Faire partie de la machine : verniers, butées mécaniques, etc.
- Etre des éléments indépendants de la machine : plateaux diviseurs, dispositif de copiage, canons-guides des alésages, etc. [4]

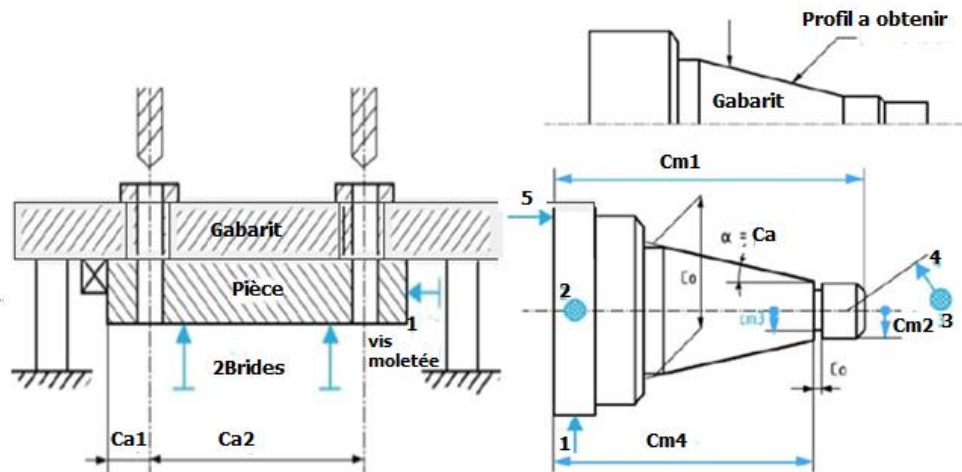


Figure I.7. Cotes appareillage.

## c) Les cotes outils (Co)

Cotes sur les pièces qui reproduisent les dimensions des outils ou sur des réglages les outils exemples le diamètre d'un trou percé avec un foret. [3]

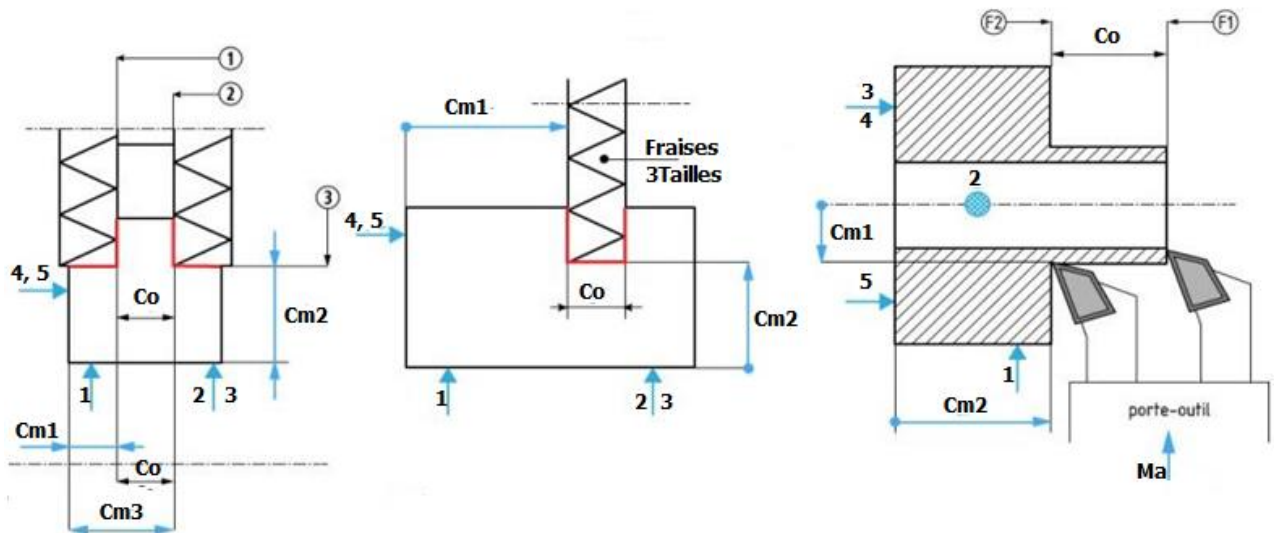


Figure I.8. Cotes d'outils.

## I.1.4. Règles d'isostatisme

- Les symboles sont toujours placés du côté libre de la matière, normalement à la surface de contact.
- Chaque symbole précise la suppression d'un dL.
- Chaque pièce possède six dL, l'immobilisation en position d'une pièce nécessitera au maximum six symboles de base.
- Chaque surface concernée par la MIP doit être à l'origine d'une cote de fabrication (Cf).[5]

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

## I.1.5. Modèle isostatique:

Ce modèle fait l'hypothèse que les surfaces de référence (SR) occupent une position unique. La liaison de mise en position des surfaces de référence est composée de plusieurs liaisons élémentaires en parallèles.

Chaque liaison élémentaire met en position l'une des surfaces de référence, chaque liaison est modélisée par les degrés de liberté qu'elle supprime.[6]

Tableau I.1. Exemples de montages d'usinage standards en tournage.

Type	Liaison (d° lib.)	Outillage	Liaisons cinématiques élémentaires	Liaisons en langage métier	degrés de liberté
Montage en l'air	Pivot (5)	Mandrin 3 mors à l'envers	Plane Linéaire annulaire	Appui plan Centrage court	3 2
Montage en l'air	Pivot (5)	Mandrin 3 mors à l'endroit avec butée axiale	Pivot glissant Ponctuelle	Centrage long Appui ponctuel	4 1
Montage mixte	Pivot (5)	Mandrin 3 mors à l'endroit avec butée axiale et Contre pointe mobile	Linéaire annulaire Ponctuelle Linéaire annulaire	Centrage court Appui ponctuel Centrage court	2 1 2
Montage entre - pointes	Pivot (5)	Pointe fixe Contre-pointe mobile	Sphérique Linéaire annulaire	Rotule Centrage court	3 2

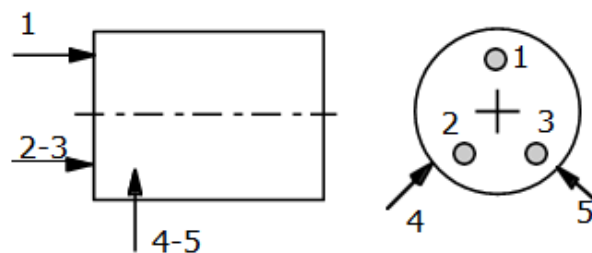


Figure I.9. Montage en l'aire mandrin 3 mors à l'envers.

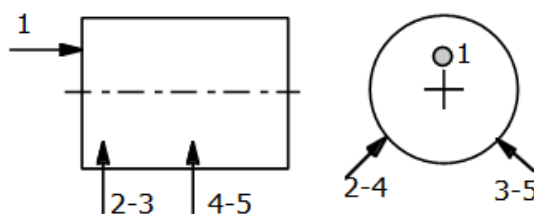


Figure I.10. Montage en l'aire mandrin 3 mors à l' endroit avec butée axiale.

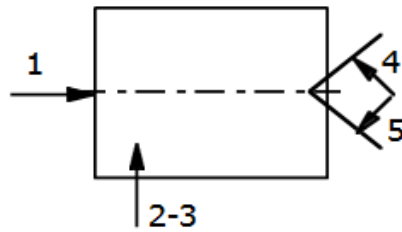


Figure I.11. Montage mixte.

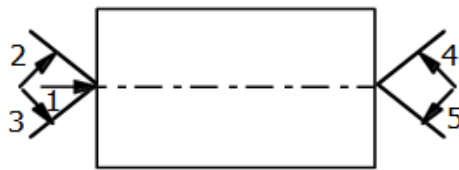


Figure I.12. Montage entre pointes.

## I.2. Rôle d'un montage d'usinage

Le montage d'usinage a été défini précédemment comme étant un outillage utilisé pour fixer la pièce solidement à la bonne position dans l'espace de travail de la machine-outil. [7]

Le montage d'usinage joue un rôle important pour obtenir une pièce usinée de bonne qualité. Elle s'inscrit au sein d'un processus plus global de fabrication industrielle.

### I.2.1. Fonctions d'un montage d'usinage

Un montage d'usinage doit assurer les trois fonctions principales suivantes :

- assurer une mise en position des surfaces de références de la pièce en minimisant les dispersions,
- maintenir la pièce en position sous les efforts de coupe,
- positionner les outils par rapport à la pièce,[6]

### I.2.2. Conditions d'un montage d'usinage

Les contraintes que doit respecter un montage d'usinage sont les suivantes :

- Garantir un libre accès des outils de coupe aux surfaces à usiner,
- Garantir la qualité de la pièce à usiner,
- Garantir la stabilité de la pièce sous les sollicitations dues aux efforts de coupe,
- Garantir un montage et un démontage aisé de la pièce,
- Permettre l'évacuation des copeaux et du fluide de coupe,
- Garantir la sécurité de l'opérateur pour la mise en œuvre du montage. [7]

## I.2.3. Typologie des montages d'usinages

Selon que la pièce par sa fréquence de rotation assure ou non la vitesse de coupe, et selon que la morphologie générale des surfaces de référence soit ou non de révolution, on peut définir deux grandes catégories de montages d'usinage. Les montages adaptés et aux pièces de révolution par exemple en tournage (mandrin, pointes) et les montages adaptés aux pièces de forme générale polyédrique comme en fraisage et perçage (bridage sur table, étaux etc..) et les montages adaptés et aux pièces de formes non régulières comme les montages modulaires. [6]

## I.2.4. Exemples de montages adaptés au tournage et aux pièces de révolution:

### Montage en l'air :

Se pratique par mandrin à 3 mors concentriques



Figure .I.13. Mandrin à 3 mors concentriques sur centre de tournage.

### Montage mixte :

Se pratique par la prise entre un mandrin à 3 mors concentriques et une contrepointe sur tour.



Figure.I.14. Mandrin à 3 mors concentriques associé à une pointe tournante d'un centre de tournage.

### Montage entre pointes:

# Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

---

La prise de la pièce usinée est assurée par montage entre 2pointes ; une entraînée par la broche de la machine et une pointe tournante sur tour.[6]



Figure I.15. Montage entre 2pointes une entraînée par la broche de la machine et une pointe tournante sur tour à commande numérique.

## I.3. Les matériaux utilisés pour les tuyaux et les tubes

### I.3.1. Différents matériaux utilisés pour les tuyaux et les tubes

Les tuyaux peuvent être fabriqués à partir de divers matériaux. Dans le passé, les matériaux comprenaient le bois et le plomb (le latin pour le plomb est plumbum, d'où nous obtenons le mot plomberie). De nos jours, la fabrication de tuyaux utilise de nombreux matériaux différents, notamment la céramique, la fibre de verre, le béton, les plastiques et les métaux.

- Béton et céramique
- Plastique
- Métaux
- Matériaux de tuyauterie spéciaux tels que le verre ou les tuyaux revêtus. [8]

### I.3.2. Tuyaux en béton et en céramique

Les tuyaux peuvent être en béton ou en céramique. Ces tuyaux sont généralement utilisés pour des applications à basse pression telles que l'écoulement par gravité ou le drainage souterrain.

Les tuyaux en béton ont généralement une cloche de réception ou un raccord étagé, avec diverses méthodes d'étanchéité appliquées lors de l'installation. Les tuyaux en céramique sont utilisés pour le drainage souterrain qui peut être exposé à des produits chimiques corrosifs. Ces types de tuyaux sont relativement peu coûteux pour les diamètres en question et permettent une installation facile dans des conditions de chantier difficiles.[8]



Figure .I.16. Tuyau en béton.

### I.3.3. Tuyaux en matières plastiques

Tubes en plastique largement utilisés pour leur légèreté, leur résistance chimique, leurs propriétés non corrosives et leur facilité de connexion, les matériaux plastiques comprennent le chlorure de polyvinyle (PVC), le chlorure de polyvinyle chloré (CPVC), le plastique renforcé de fibres (FRP), le mortier polymère renforcé (RPMP), polypropylène (PP) polyéthylène5 (PE), polyéthylène haute densité réticulé (PEX), polyéthylène (PB) et acrylonitrile butadiène styrène (ABS), par exemple.[8]



Figure I.17. Tuyau et tube en plastique.

### I.3.4 Tuyaux et tubes métalliques

Les tuyaux métalliques sont généralement en acier ou en fer; la chimie du métal et sa finition sont propres à l'utilisation et à l'utilisation. Généralement, la tuyauterie métallique peut être en acier ou en fer, comme l'acier non fini, noir (laqué), l'acier au carbone, l'acier inoxydable ou l'acier galvanisé, le laiton et la fonte ductile.

Des tuyaux ou des tubes en aluminium peuvent être utilisés lorsque le fer est incompatible avec le fluide de service ou lorsque le poids est un problème; l'aluminium est également utilisé pour les tubes de transfert de chaleur, comme dans les systèmes de réfrigération.

Les tubes en cuivre sont populaires pour les systèmes de plomberie d'eau domestique (potable); le cuivre peut être utilisé là où le transfert de chaleur est souhaitable (c'est-à-dire les de chaleur).

## Chapitre I. Introduction aux montages d'usinage

---

les alliages d'acier inconel, chrome-molybdène et titane sont utilisés pour les tuyauteries à haute température et pression dans les systèmes de traitement où la résistance à la corrosion est importante. [8]



Figure .I.18. Tube en aluminium.

### I.3.5 Tuyaux et tubes en acier inoxydable

Les tuyaux et les tubes en acier inoxydable sont utilisés pour diverses raisons: pour résister à la corrosion et à l'oxydation, pour résister aux températures élevées, pour la propreté et les faibles couts d'entretien, et pour maintenir la pureté des matériaux qui entrent en contact avec l'acier inoxydable. Il existe plus de 60 nuances d'acier inoxydable disponibles. La capacité de l'acier inoxydable à résister à la corrosion est obtenue par l'ajout d'un minimum de 12% de chrome à l'alliage de fer. Les ajouts d'autres éléments affectent d'autres propriétés. Les caractéristiques inhérentes à l'acier inoxydable permettent la conception de systèmes de tuyauterie à paroi mince sans craindre une défaillance prématurée due à la corrosion. En raison de l'épaisseur de paroi plus mince du tube en acier inoxydable, il n'est pas possible de fileter le tube, ce problème a donc été surmonté par le soudage par fusion pour joindre ce tuyau et ce tube. [8]



Figure I.19. Tuyau et tube en acier inoxydable.

## **CHAPITRE II.**

### **LES PIECES DEFORMABLES EN MECANIQUE**

## II. Introduction

Lors de la coupe, les pièces à paroi mince sont sujettes à la déformation due à l'action de la force de coupe, ce qui entraîne une ellipse ou une petite au milieu et une grande aux deux extrémités du phénomène de "taille". De plus, la dissipation thermique du traitement des métaux à paroi mince est médiocre, une déformation thermique facile à produire, la qualité de traitement de la pièce est difficile à garantir. [9]

### II.1. Pièces déformables

L'usinage des parois minces se rencontre dans de nombreux domaines industriels : le secteur aéronautique et spatial, l'industrie des moules, les turbomachines, les capteurs, etc. Il existe deux grandes familles de pièces qui présentent des parois minces usinées. La première est celle des pièces réalisés dans la masse et qui se présentent à la fin comme une succession d'alvéoles. L'exemple le plus typique est celui des panneaux de voilure (figure II.1). La deuxième catégorie est celle des ailettes et des aubes qui entrent dans la composition des turbomachines. Il s'agit souvent de pièces très fines, fortement courbées et encastrées sur un seul côté. Dans tous les cas, ces parois sont déformables si on se situe loin des zones de maintien. L'action d'une fraise est susceptible d'entraîner de fortes vibrations. [10]

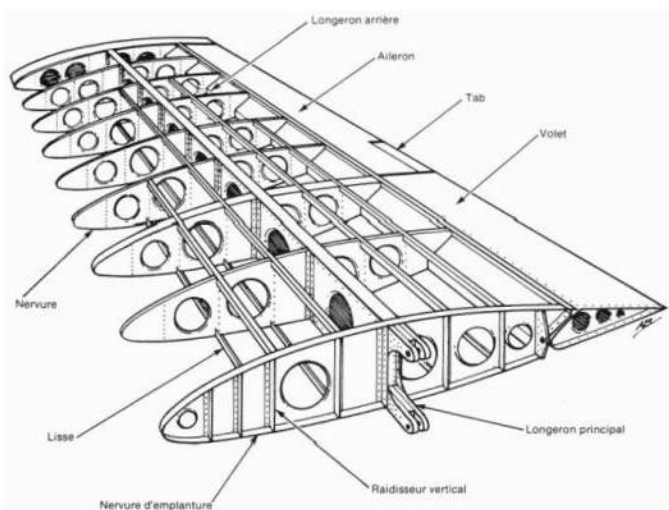


Figure II.1. Exemple de panneaux de voilure.



Figure II.2. Exemple aube de turbine.

### II.2. Causes de la déformation des pièces à paroi mince

#### 1. La force

La pièce est facilement déformée sous la force de serrage due à la paroi mince, affectant la précision dimensionnelle et de forme de la pièce.

#### 2. La Chaleur

La chaleur de coupe peut rendre la déformation thermique et la taille de la pièce difficiles à contrôler, car la pièce est plus fine.

#### 3. Les vibrations

Des vibrations et des déformations peuvent facilement se produire sous l'action des forces de coupe, en particulier la force de coupe, affectant la précision des dimensions et la rugosité de la surface de la pièce. [11]

### II.3. Analyse des causes de déformation de pièces en alliage d'aluminium usinées

Le problème de la déformation de la pièce lors de l'usinage de pièces en alliage d'aluminium est un problème difficile à résoudre. Tout d'abord, il faut analyser la cause de la déformation avant de pouvoir prendre des contre-mesures. [12]

#### II.3.1. incidence du matériau et de la structure de la pièce sur la déformation de la pièce.

L'ampleur de la déformation est proportionnelle à la complexité de la forme, du rapport d'aspect et de l'épaisseur du mur, ainsi qu'à la rigidité et à la stabilité du matériau. Par conséquent, dans la conception des pièces à réduire l'influence de ces facteurs sur la déformation de la pièce que possible.

Surtout dans la structure de grandes pièces, la structure doit être raisonnable. Avant le traitement, les défauts tels que la dureté et la porosité de l'ébauche doivent être strictement contrôlés pour assurer la qualité de l'ébauche et réduire la déformation de la pièce. [12]

#### II.3.2. Déformation causée par le serrage de la pièce

Lorsque le serrage de la pièce à usiner, d'abord sélectionner le point de serrage correct, puis sélectionner la force de serrage appropriée en fonction de la position du point de serrage. Ainsi, dans la mesure du possible, le point de serrage et le point d'appui sont cohérents, de sorte que la force de serrage agit sur le support. Le point de serrage doit être aussi proche que possible de la surface de travail. Lorsqu'il existe des forces de serrage dans plusieurs directions sur la pièce, il convient de tenir compte de l'ordre des forces de serrage. Elle ne doit pas être trop grande. Pour la force de serrage principale qui équilibre la force de coupe, il convient de l'appliquer à l'extrémité. Deuxièmement, la zone de contact entre la pièce à travailler et la pince doit être augmentée ou la force de serrage axiale doit être utilisée. L'augmentation de la rigidité de la pièce est un moyen efficace de résoudre la déformation de

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

---

serrage, mais en raison de la forme et de la structure de la pièce à paroi mince, elle présente une rigidité inférieure. [12]

### II.3.3. Déformation provoquée par l'usinage de la pièce

La déformation élastique de la pièce dans le sens de la force due à l'action de la force de coupe dans le processus de coupe est ce que nous appelons souvent le phénomène de la coupe du couteau. En réponse à de telles déformations, des mesures correspondantes doivent être prises sur l'outil, la netteté de l'outil de coupe est nécessaire pour la finition. D'une part, il peut réduire la résistance au frottement entre l'outil et la pièce, d'autre part, il peut améliorer la capacité de dissipation de chaleur de l'outil lors de la découpe de la pièce, réduisant ainsi les contraintes internes résiduelles sur la pièce.

Par exemple, lors du fraisage d'un grand plan d'une pièce à paroi mince, en utilisant une méthode de fraisage à un seul bord, les paramètres de l'outil sélectionnent un angle d'attaque plus grand et un angle de dépouille plus grand afin de réduire la résistance de coupe. En raison de la faible vitesse de coupe de l'outil, la déformation des pièces à paroi mince est réduite et il est largement utilisé en production. [12]

### II.3.4. Déformation sous contrainte après usinage

Après le traitement, les pièces elles-mêmes subissent des contraintes internes. Ces distributions de contraintes internes sont dans un état relativement équilibré et les pièces ont une forme relativement stable. Cependant, après avoir retiré certains matériaux et modifié les contraintes internes après traitement thermique, la pièce à usiner doit à nouveau atteindre l'équilibre des forces, de sorte que la forme change. [12]

## II.4. Analyse pour la conception du montage d'usinage

Les modèles d'analyse suivants sont employés pour vérifier si une configuration de montage répond aux contraintes de conception du montage d'usinage. [7]

### II.4.1. Analyse cinématique

L'analyse cinématique permet de s'assurer que les composants du montage n'obstruent pas le chemin d'outil au cours de l'usinage et que les entités d'usinage sont accessibles. Elle permet aussi de s'assurer que les composantes du montage ne rentrent pas en collision entre elles et accèdent facilement aux surfaces d'appui et de bridage. [7]

### II.4.2. Analyse de forces

L'analyse de forces est utilisée pour vérifier que les forces appliquées par les systèmes de bridage sont suffisantes pour maintenir l'équilibre statique et dynamique en présence des forces de coupe.[7]

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

### II.4.3. Analyse de déformations

C'est l'étape qui comporte le plus de calculs. Le souci est qu'une pièce peut se déformer élastiquement et/ou plastiquement sous l'influence des forces de coupe et de bridage de sorte que les tolérances désirées ne sont plus respectées. La déformation est un souci particulier surtout avec les pièces à paroi mince et les pièces où il faut enlever beaucoup de matière. [7]

### II.5. Déformation des pièces due au serrage

#### II.5.1. Serrage par bride

Le serrage par bride est une fixation utilisant un boulon comme le montre la figure II.3, lors du serrage on doit garder la bride parallèle à la table de la machine, le boulon de fixation doit être placé le plus près possible du point de serrage de la pièce et non des cales. Afin d'éviter un glissement de la pièce sur la table de la machine, il faut dans tous les cas prévoir deux serrages par brides.

On peut constater des déformations sur la pièce dus à ce serrage et elle se présente sous la forme d'enfoncement au niveau du contact bride pièce, comme le montre la figure II.4. de manière exagérée. [13]

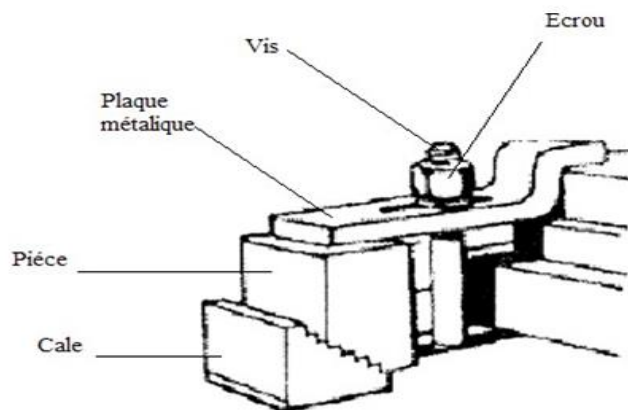


Figure II.3. Serrage par bride

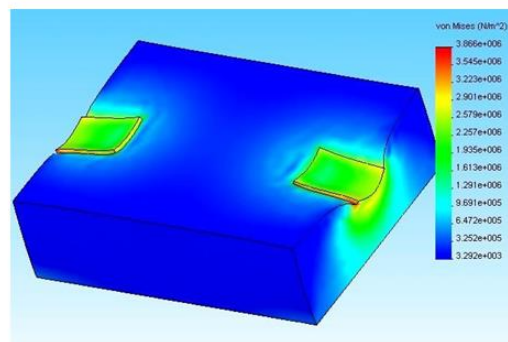


Figure II.4. Résultat d'une simulation de bridage sous SolidWorks.

### II.5.2. Déformation de la bride

La déformation qui peut survenir sur la bride lors d'un serrage trop important est illustrée à la figure II.6. le montage utilisé dans la figure II.5. On voit bien la déformation de la bride qui peut engendrer soit une déformation sur le flanc de la pièce usinée ou bien un relâchement de la pression sur cette dernière qui risque d'être au pire dramatique. [13]

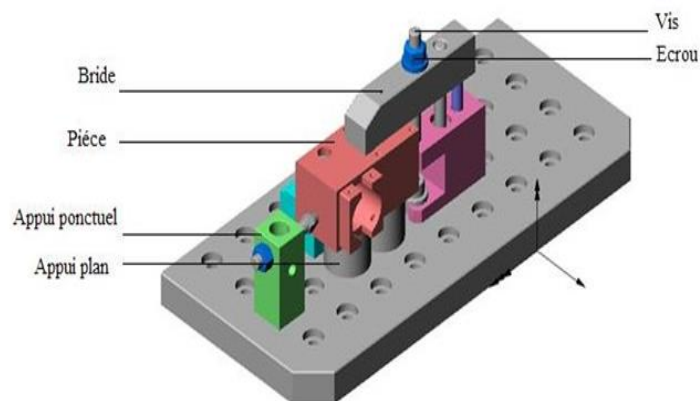


Figure II.5. Serrage avec bride.

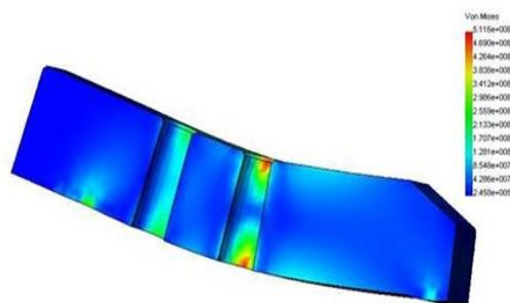


Figure II.6. Déformation de la bride

### II.5.3. Serrage par étau

Le serrage par étau est un moyen souvent utilisé en usinage par enlèvement de matière, il consiste à bloquer la pièce dans un système de pinces dit mors fixe et mors mobile. Le mors fixe sert de support à la pièce alors que le mobile se charge de comprimer la pièce contre le mors fixe fin de réaliser le serrage.

Dans cet exemple, le mors mobile est à l'origine de la déformation, on remarque que la déformation au niveau du mors mobile est un enfoncement vers l'intérieur, mais que cette force engendre aussi une déformation sur les côtés de la pièce, ce qui donne la forme de la figure II.7. [13]

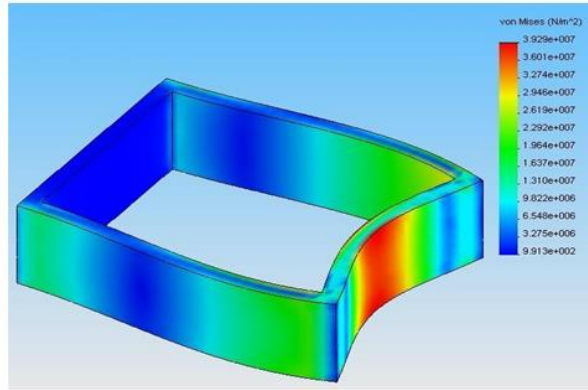


Figure II.7. Résultat d'une simulation sur SolidWorks

## II.6. Moyens expérimentaux pour l'étude de coupe

Des études de coupe à sec ont été effectuées sur un tour CNC en utilisant du diamant poly cristallin (PCD) comme matériau de coupe. Le PCD (90% diamant 10% cobalt) a été brasé sur un substrat en carbure cémenté. La géométrie des plaquettes indexables et les paramètres de coupe sont répertoriés dans le tableau II.2.

Tableau II. 2. Conditions d'usinage.

Tool geometry (DCMT 11T304)			
Clearance angle: 7°	Tool cutting edge angle: 93°		
Rake angle: 0°	Tool cutting edge inclination: 0°		
Corner radius: 0.4 mm	Cutting edge radius: 12 μm		
Cutting parameters			
Cutting speed [m/min]	$v_1 = 100$	$v_2 = 200$	$v_3 = 300$
Depth of cut [mm]	$p_1 = 0.5$	$p_2 = 0.9$	$p_3 = 1.5$
Feed [mm/rev.]	$f_1 = 0.1$	$f_2 = 0.2$	$f_3 = 0.3$

De nouveaux outils ont été utilisés préalablement à la formation de formes d'usure importantes (largeur de flanc d'usure  $\ll 100\mu\text{m}$ ) afin d'éviter une influence notable de l'usure sur les résultats d'usinage. Le matériau des pièces était l'alliage d'aluminium corroyé Al2024. Les pièces ont été serrées dans un mandrin et soutenues à l'aide du centre de la poupée mobile (figure II.8)

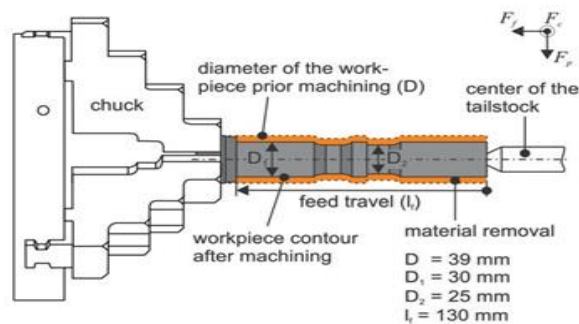


Figure II.8. Montage expérimental

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

Pour analyser l'effet des conditions de coupe sur la déformation de la pièce lors du tournage, plusieurs valeurs caractéristiques ont été déterminées. Il s'agit des forces, du diamètre de la pièce, de la répartition de la température et du flux de chaleur dans la pièce. Les forces de processus ont été mesurées à l'aide d'un dynamomètre à trois composants. Les moyennes de l'effort de coupe  $F$ , de l'effort de coupe  $F_f$ , et de l'effort passif  $F_p$  ont été calculées afin d'évaluer les efforts.

La répartition de la température dans la pièce a été déterminée à l'aide de trois thermes NiCrNi (type K, diamètre du fil 1mm). La position des thermocouples varie en fonction du sens de déplacement de l'alimentation (figure II.9). Contrairement à cela, la position radiale des thermocouples est la même.

Des investigations préliminaires ont révélé un gradient de température insignifiant dans cette direction. La pièce subit un échauffement radial peu près homogène. [14]

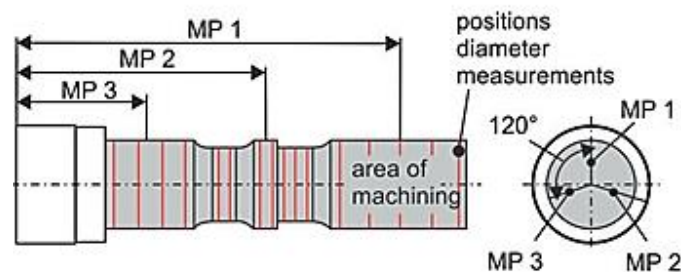


Figure II.9. Positions de mesure (MP) des thermocouples respectivement du diamètre de la pièce.

### II.7. Déformations résiduelles: le retour d'angle « spring-in »

Un des problèmes majeurs dans l'industrie aéronautique est la faible fidélité dimensionnelle lors du démoulage des pièces composites sous l'influence des contraintes résiduelles. Deux types de changement dimensionnel ont lieu lors de la cuisson d'un composite stratifié (Figure II.10)

- Changements de forme dans le plan (gauchissement - a) ;
- Changements d'angle dans les zones de courbure (retour d'angle - b). [15]

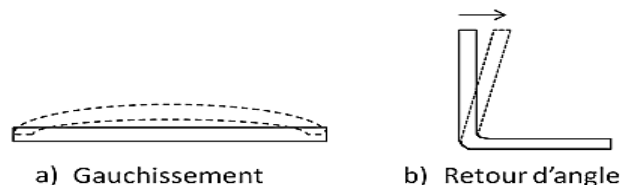


Figure II.10. Déformation dues aux contraintes résiduelles induites par le procédé

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

### II.8. Cas des matériaux a renforts fibreux

La déformabilité d'un milieu fibreux se manifeste par le changement de sa porosité. On peut distinguer, trois types de déformation :

- La compression (Compactage) du milieu fibreux, qui engendre une diminution de la porosité globale du milieu.
- La relaxation du milieu fibreux, qui engendre une augmentation de sa porosité globale.
- La déformation locale (changement de porosité sur un VER). [16]

### II.9. Défauts géométriques en usinage

#### II.9.1. Classification des défauts géométriques et de leurs origines

##### II.9.1.1. Erreurs liées à la machine-outil et son environnement

Les erreurs propres à la machine-outil peuvent être liées à sa géométrie et à sa cinématique, elles-mêmes affectées par divers phénomènes liés à l'environnement ou la mise en œuvre du procédé comme illustré sur la Figure II.11.[17]

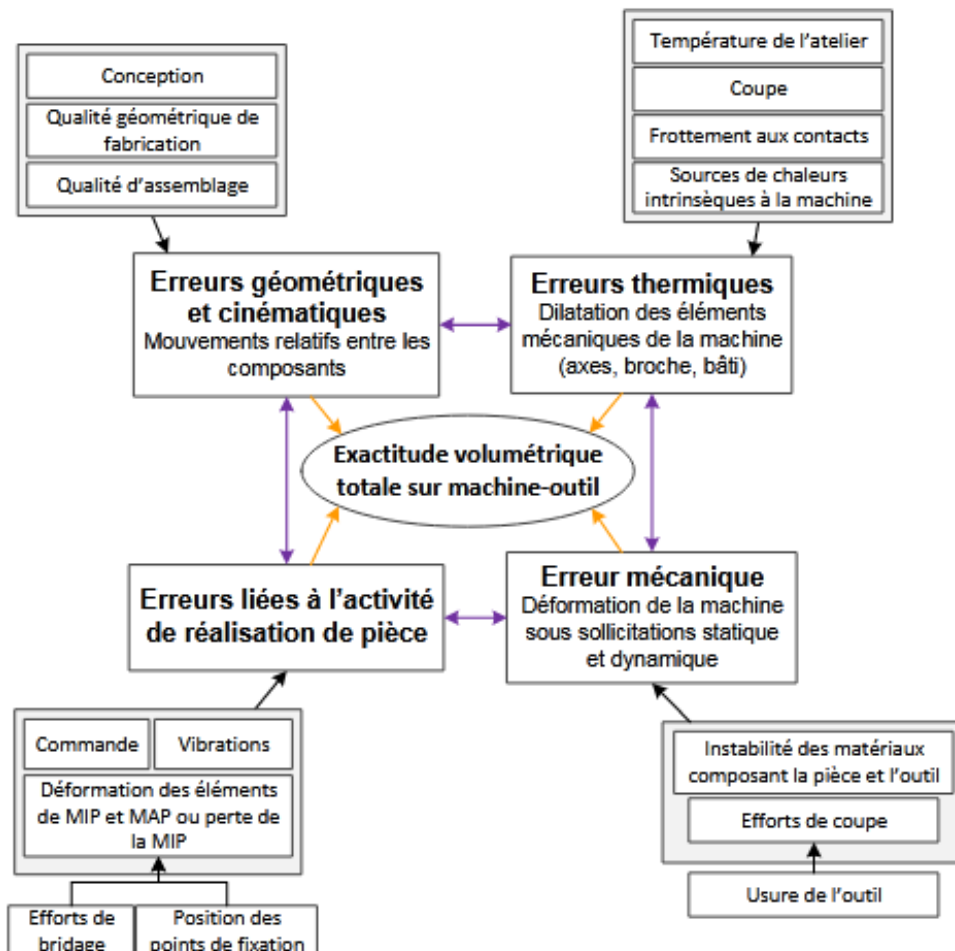


Figure II.11. Sources d'erreurs liées à la MOCN, son environnement et les conditions de réalisation. [17]

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

### II.9.1.2. Erreurs liées au procédé de coupe et au matériau usiné

Pendant le procédé d'usinage, le couplage de phénomènes thermomécaniques peut être responsable de défauts géométriques (cf. Figure II.12). Parmi les principaux phénomènes, les suivants sont détaillés par la suite :

- La déformation élastique de la pièce sous les efforts de coupe ou de bridage,
- L'élévation de la température de la pièce pendant l'usinage,
- Le rééquilibrage des contraintes résiduelles pré-usinage suite à l'enlèvement de matière,
- L'introduction de contraintes résiduelles d'usinage (CRD).[17]

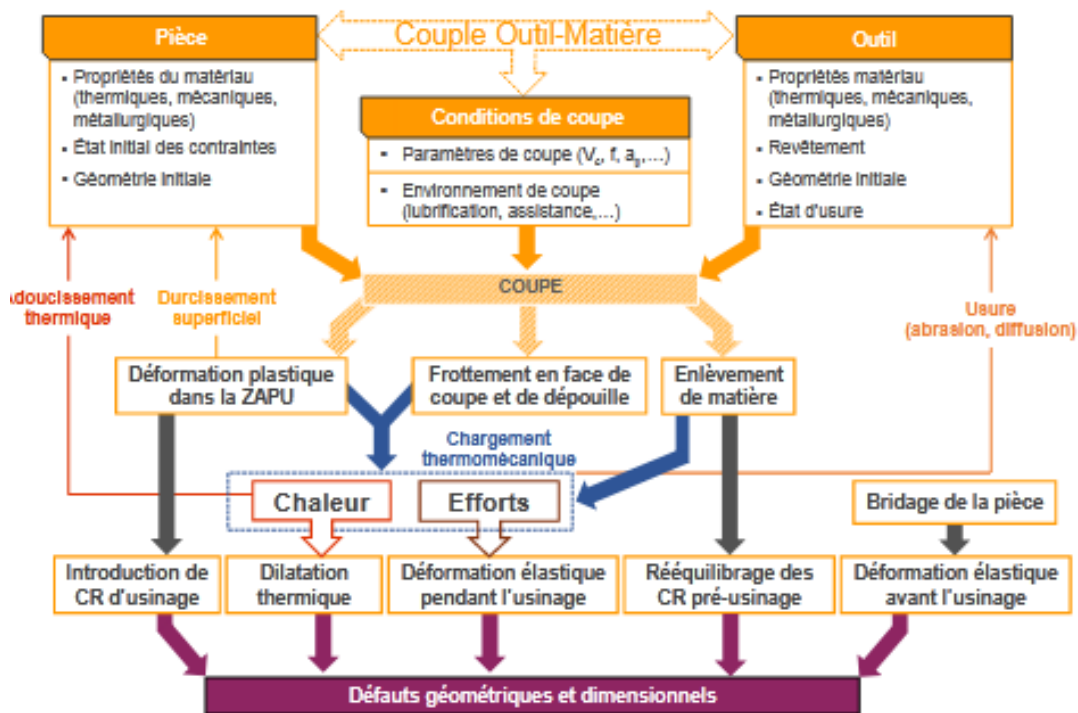


Figure II.12. Sources de défauts géométriques liés au procédé de coupe.[17]

### II.9.1.3. Déformations élastiques de la pièce

Dans cette partie les déformations élastiques de la pièce pendant le bridage et sous sollicitation statique des efforts de coupe pendant l'usinage sont traitées séparément.

Pendant le bridage, le système de serrage applique des efforts à la pièce ce qui induit des déformations élastiques. Cela peut avoir deux conséquences : dégrader la qualité géométrique finale de la pièce et compromettre son maintien et sa mise en position. En ce qui concerne les déformations, des défauts d'overcut et d'undercut sont observés respectivement proche et loin des points de serrage. Dans le cas de l'usinage intérieur ou extérieur d'une

## Chapitre II. Les pièces déformables en mécanique

pièce cylindrique de faible épaisseur bridée dans un mandrin à trois mors conduit inévitablement à un défaut trilobique lorsque la pièce est débridée comme illustré en Figure II.13.[17]

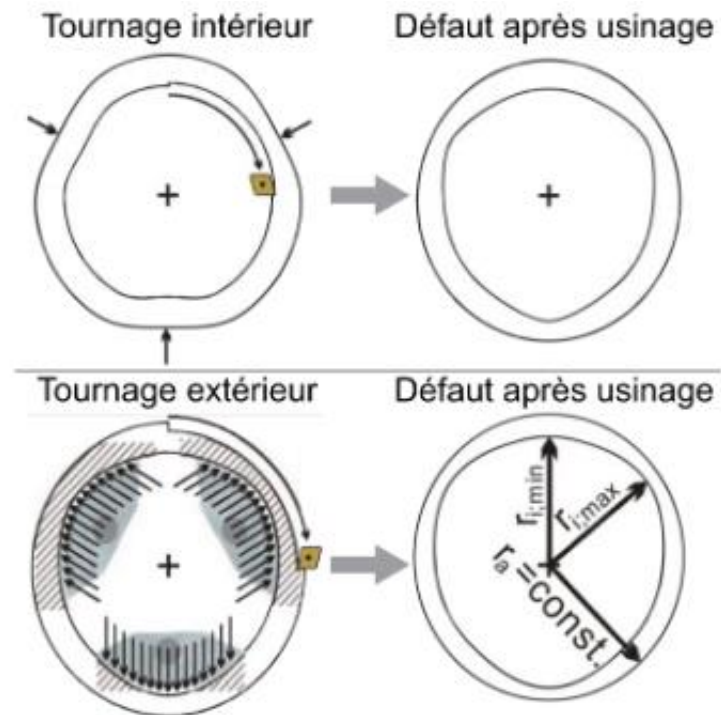


Figure II.13. Défaut trilobe lié au bridage sur une pièce cylindrique.[17]

**CHAPITRE III.**  
**ETUDE DU MONTAGE**

## III. Introduction

De nos jours, la fabrication de pièces mécaniques creuses à parois minces et des tubes, est devenu un processus qui comporte de nombreux défis techniques, nécessitant qualité et amélioration de la fabrication et c'est un objectif majeur dans la production mécanique. Dans ce chapitre, nous concentrons notre étude sur la fabrication et la conception d'un dispositif de préhension de pièces creuses à parois minces, qui augmente la précision des surfaces fonctionnelles obtenues lors du processus d'usinage.

### III.1. Aspect mécanique du problème

L'usinage est l'une des méthodes les plus courantes pour produire des pièces pour différentes branches de l'industrie. Néanmoins, il existe un groupe de pièces dont la production est associée à de grandes difficultés technologiques. Les pièces à parois minces, très sensibles à la déformation, peuvent être comptées parmi ces pièces. Les facteurs suivants conduisent à la déformation des pièces à paroi mince pendant l'usinage : force de préhension, force de coupe et chaleur générée pendant le processus.[18]

### III.2. Solutions possibles

Plusieurs études ont été menées pour prévoir et réduire la déformation des pièces évidées à parois minces. Parmi ces solutions, nous citons :

#### III.2.1. Méthodologie par simulation

Pour évaluer la déformation d'une bague dans des conditions de tournage de finition, la méthode des éléments finis (FEM) peut être adoptée. Plusieurs logiciels peuvent répondre au besoin. Le logiciel ANSYS est parmi tant d'autres a été utilisé pour faire une simulation. La simulation structurelle statique non linéaire peut être considérée. Comme la simulation vise à estimer la déformation de la pièce usinée, un maillage raffiné n'a été appliqué que pour la bague analysée (figure1).[18]

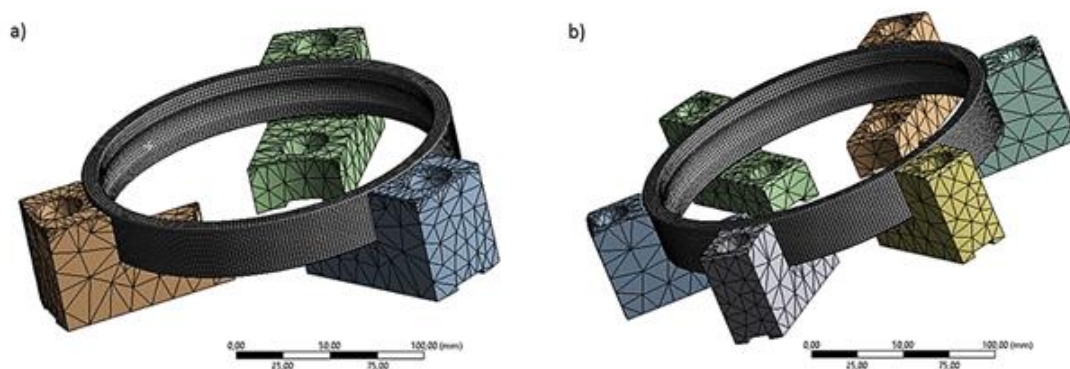


Figure III.1. Exécution du maillage dans le cas d'une déformation d'une bague en situation d'usinage a) mandrin à 3 mors b) mandrin à 6 mors.

## III.2.1.1. Résultats

Des simulations ont été effectuées pour évaluer les contraintes internes et la déformation de la bague. Les résultats de l'analyse FEM pour la force de préhension la plus faible sont présentés dans la figure III.1. Comme le montre la figure 1, l'application d'un mandrin à 6 mors permet de réduire considérablement la déformation de la pièce et, par conséquent, d'obtenir une plus grande précision de circularité.[18]

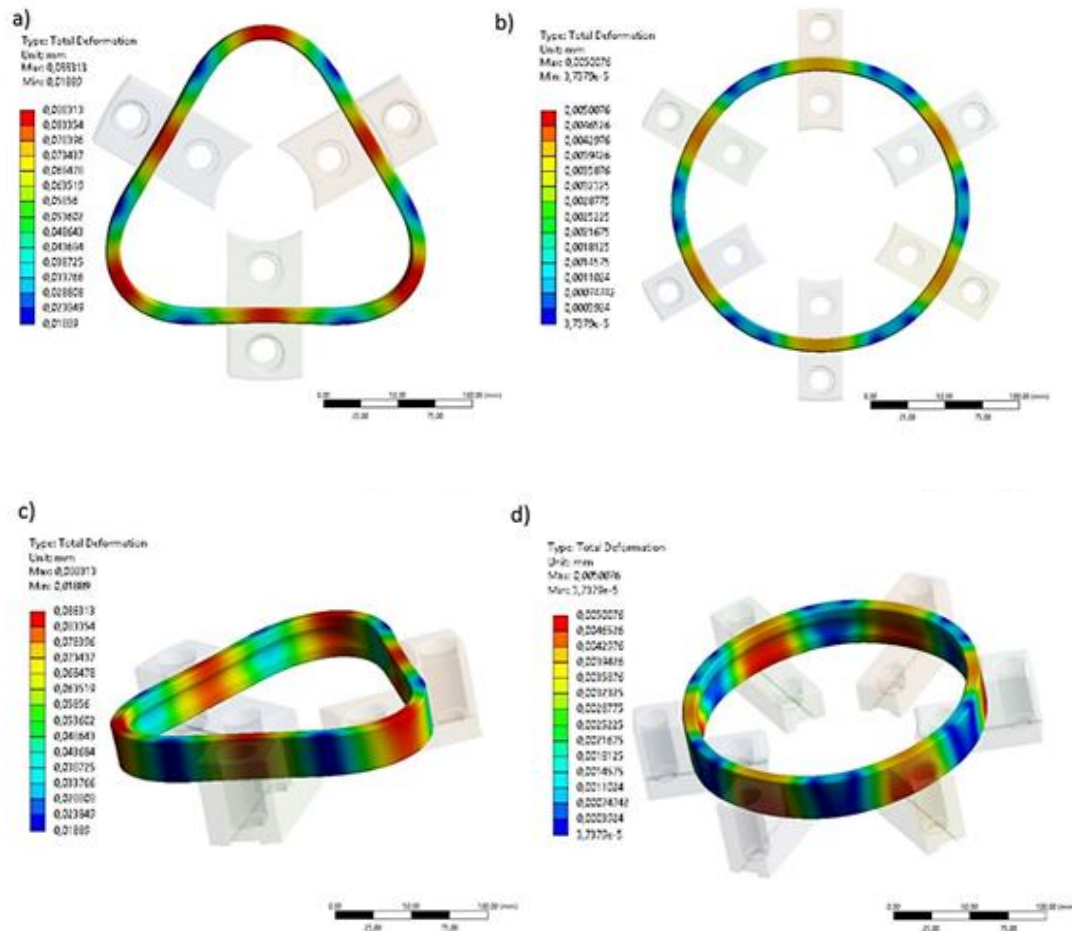


Figure III.2. Résultats de l'analyse FEM pour la force de préhension totale du mandrin de tour  $f = 10$  KN a) et c) serrage dans un mandrin à 3 mors avec une erreur de circularité triangulaire, b) et d) serrage dans un mandrin à 6 mors avec moins de déformation et d'erreur de profil.

**Conclusion :** Suite à cette analyse par simulation, la multiplication du nombre de points de préhension permet de préserver l'intégrité géométrique initiale de la bague.

## III.2.2. Méthodologie par fractionnement des moyens de préhension des pièces de faible épaisseur sensibles à la déformation lors de l'usinage

Elle consiste à créer un support mécanique au moyen d'un grand nombre de pièces de petites dimensions, telles que des billes (10), placées dans une enveloppe étanche (8), appliquée contre la surface opposée (6) de la surface à usiner (4). La

## Chapitre III. Etude du montage

rigidification de la pièce à usiner (2) se fait par la mise en dépression de l'enceinte dans laquelle sont placées les billes (10). Ces dernières s'agglomèrent les unes contre les autres pour constituer un support rigide permettant à la pièce à usiner de résister aux pressions des outils, lors des différents usinages. Cette méthode trouve son application à l'usinage de cônes en céramique.[19]

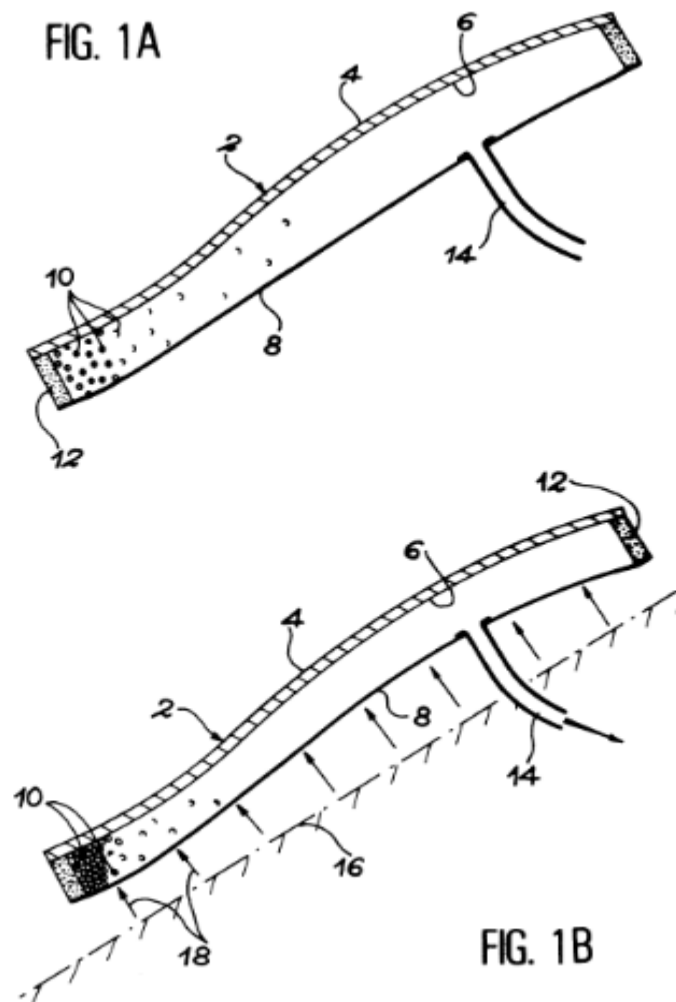


Figure III. 3. Dispositif de prise constitué par des billes appliquées contre la pièce à usiner.

### III.3. La Solution Adoptée

#### III.3.1. Description et fonctionnement :

Le dispositif de prise et de maintien en position d'usinage (Figure.III.4) est constitué d'un corps creux (2) portant à l'intérieur duquel plusieurs jeux de brides (6) auxquels sont montés des pions à bouts sphériques (5) qui entrent en contact avec la pièce ou le tube à usiner(19) pour le serrer de manière excentrique. Les pions sont disposés en cercle dans le plan et forment un angle de 45° entre elles de manière à répartir uniformément les forces de serrage sur la face interne de la pièce.

## Chapitre III. Etude du montage

Le montage des pions sur les brides est fait de manière à pouvoir les ajuster en hauteur pour pouvoir régler la partie saillante en fonction du diamètre intérieur de la pièce ou du tube à maintenir en position d'usinage (Figure III.5). Le serrage de la pièce à usiner est obtenu par une simple rotation du volant de commande (10), grâce à la clavette (9) cette rotation est communiquée à l'écrou (8) qui la transforme en déplacement axial de l'arbre central (1) et des sphères (3) qui lui sont solidaires en même temps. Le contact permanent de ces dernières avec la partie concave des brides les contraint à pivoter autour de leurs axes respectifs (7) de manière à faire surgir les pions qui entrent en contact contre la face interne de la pièce à serrer. Une fois ce contact réalisé, le serrage peut être obtenu par une rotation supplémentaire du volant.

Les portées cylindriques du corps (17, 18) ainsi que le butoir (16) assurent le centrage de la pièce à usiner tandis que le déploiement excentrique des pions assure sa prise tandis que leur serrage contre la paroi interne assure son maintien. Le dispositif est monté sur la machine d'usinage (Figure III.6), il est solidarifié au mandrin par le serrage concentrique de ses mâchoires (19) sur les surfaces (15)

Nous présentons ici-bas des vues en coupe du dispositif conçu dans le sens longitudinal et transversal et en situation d'usinage.

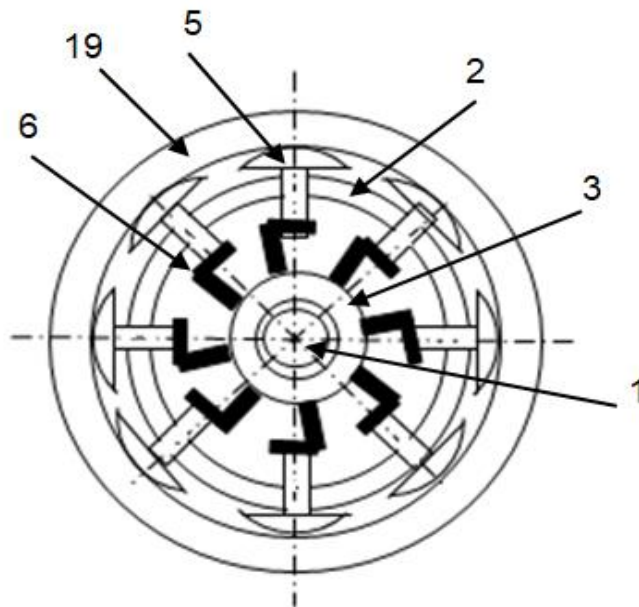


Figure III.4. Coupe transversale du dispositif de maintien en position d'usinage des pièces minces et tubes

## Chapitre III. Etude du montage

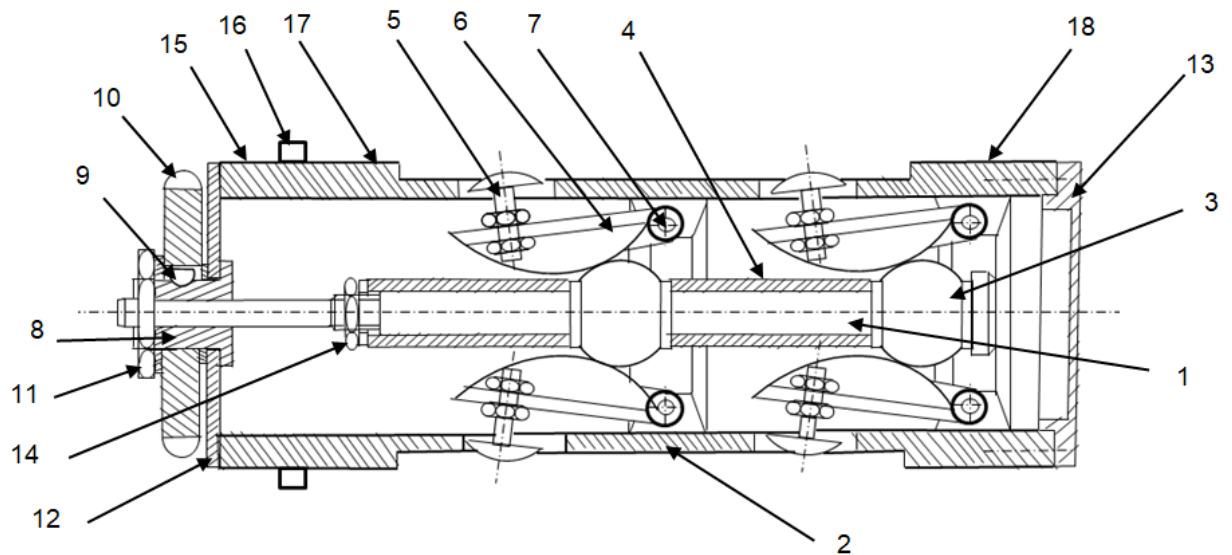


Figure III.5. Coupe longitudinale du dispositif conçu en situation d'usinage d'un bout de tube

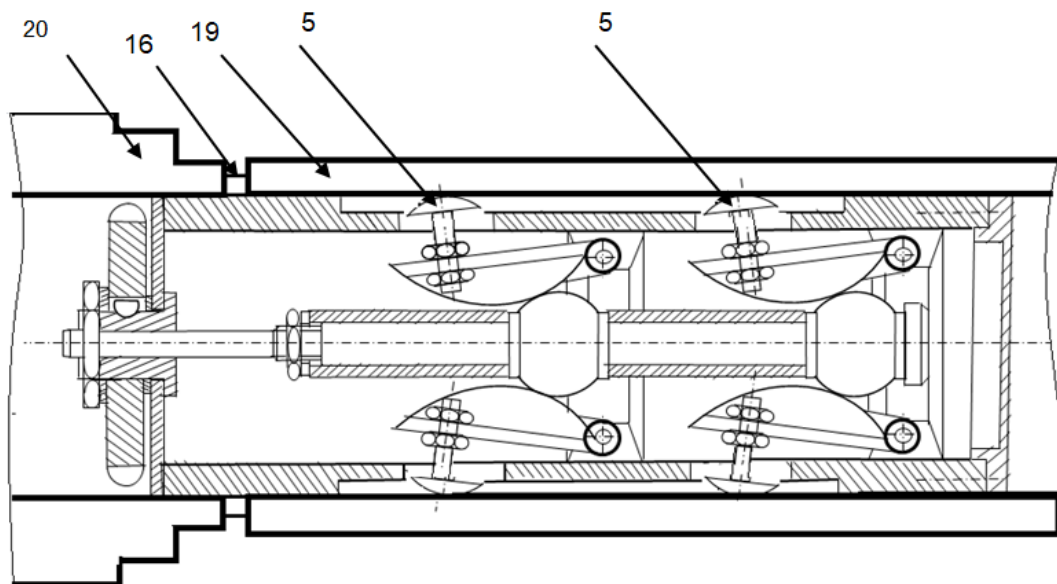


Figure III.6. Coupe longitudinale du dispositif conçu en prise sur un tour et en situation d'usinage d'un bout de tube

### III.3.1.1. Nomenclature des composants du dispositif conçu

- 1- Arbre central
- 2- Corps
- 3- Sphères
- 4- Entretoise
- 5- Pions à bouts sphériques
- 6- Brides

- 7- Pivot
- 8- Écrou
- 9- Clavette
- 10- Volant de commande
- 11- Écrou de fixation du volant
- 12- Couvertres intérieur
- 13- Couvertres extérieur
- 14- Écrou de fixation des entretoises
- 15- Portée des mâchoires de mandrin
- 16- Butoir axial
- 17- Portée cylindriques de centrage
- 18- Portée cylindrique de centrage
- 19- Pièce ou tube à usiner.
- 20- Mâchoires de mandrin

### **III.3.1.2. Les caractéristiques techniques du dispositif :**

Le dispositif étudié permet le centrage, la prise et de maintien en position d'usinage des pièces cylindriques creuses à parois minces donc déformables sur des machines-outils en vue d'exécuter des opérations d'usinage mécanique sur la paroi externe. Il possède les caractéristiques suivantes:

- La rapidité de montage et de démontage de la pièce à usiner sans réglage préalable (auto centrage de la pièce) grâce à la répartition des contacts sur sa circonférence interne,
- une rapidité de mise en place sur une machine-outil en utilisant les organes de fixation (20) de la machine-outil elle-même,
- la capacité réglage de la hauteur des pions (5) à bouts sphériques ceci assure une aptitude de prise d'une large gamme de diamètres de pièces par simple,
- La prise et le démontage se fait par action sur le volant (10) et sans usage d'outils spéciaux,
- la répartition adéquate des points de serrage aussi le choix des formes sphériques des pions (5) est fait de manière à préserver l'intégrité de la surface sur laquelle les éléments de serrage agissent, de plus le nombre et la répartition de ces pions

## Chapitre III. Etude du montage

attribue une rigidité de la pièce creuse usinée sous les efforts de pénétration qui tentent de la déformer,

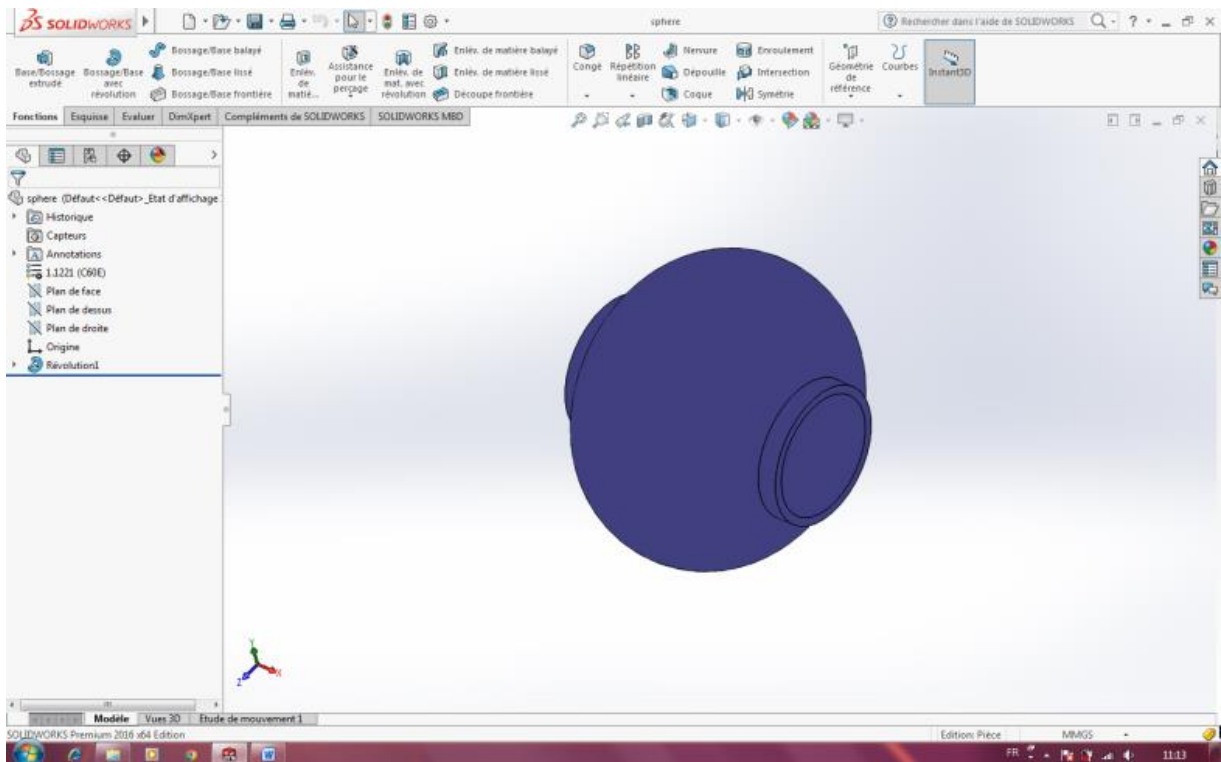
- Les pièces constituant le dispositif ont des formes simples ainsi ils peuvent être obtenues par usinage ce qui assure une facilité de fabrication du montage,
- L'accessibilité à ses composants facilite l'opération de démontage et remontage ce qui rend sa maintenance et non couteuse.

### III.4. La conception du dispositif sous SOLIDWORKS:

Une conception des différentes pièces composant le dispositif étudié ainsi que des sous-ensembles et des montages a été réalisée sous SOLIDWORKS présentée ci-après :

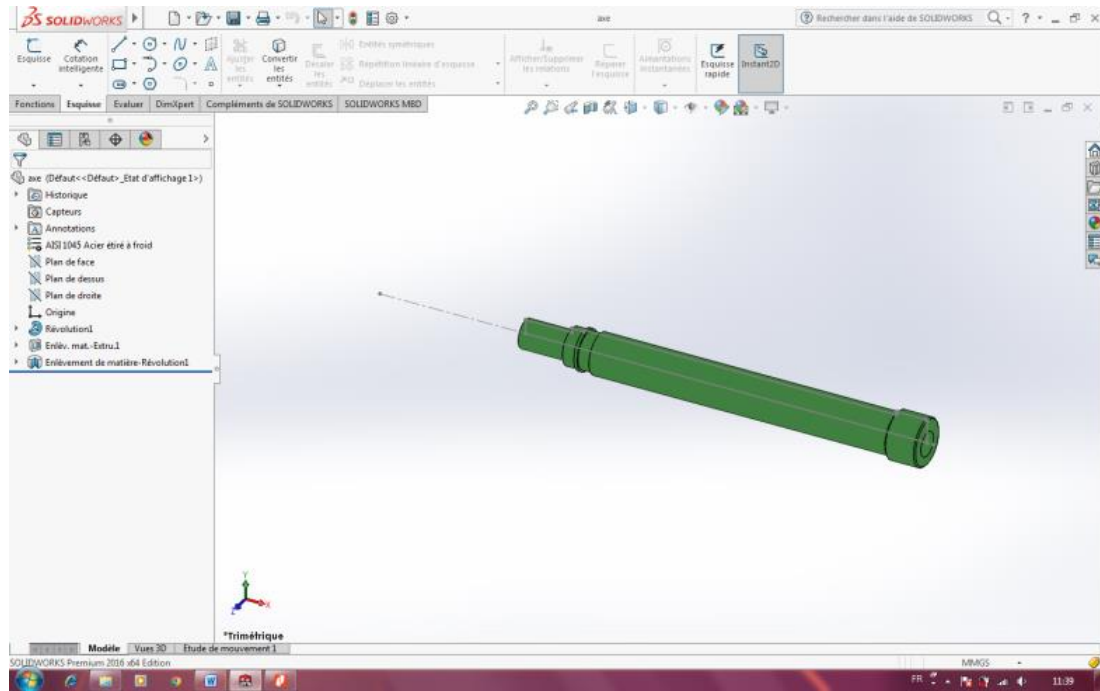
#### III.4.1. Elaboration des composants sous SOLIDWORKS

##### Les sphères 3 :

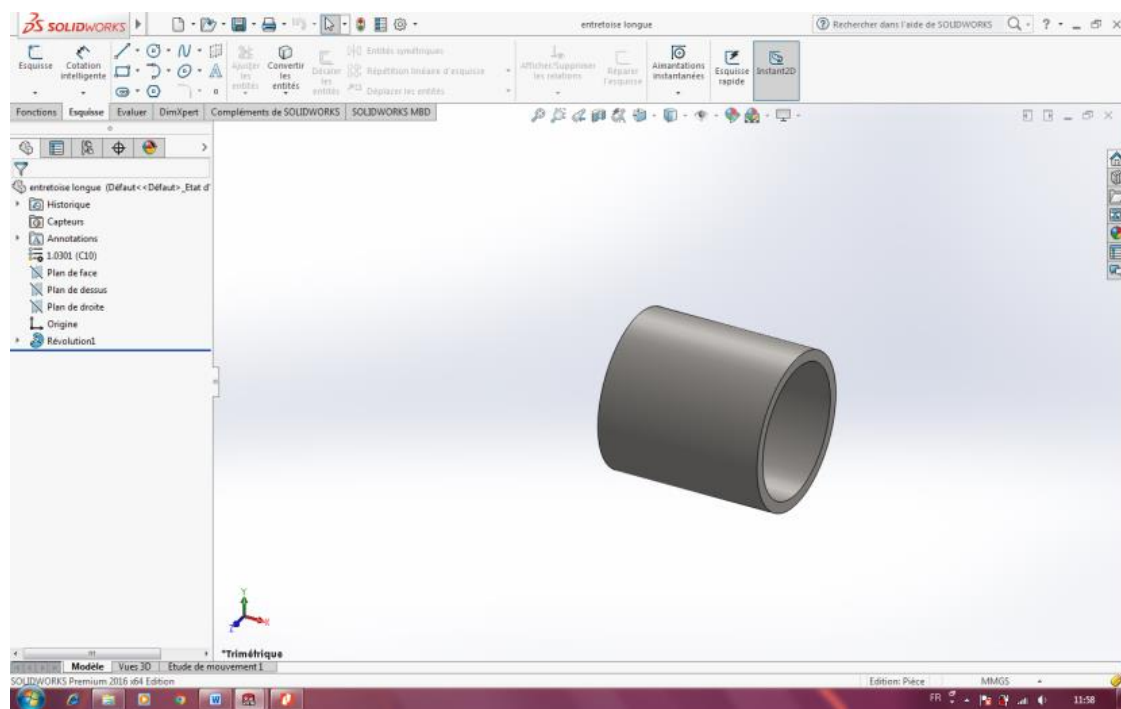


# Chapitre III. Etude du montage

## L'arbre central :

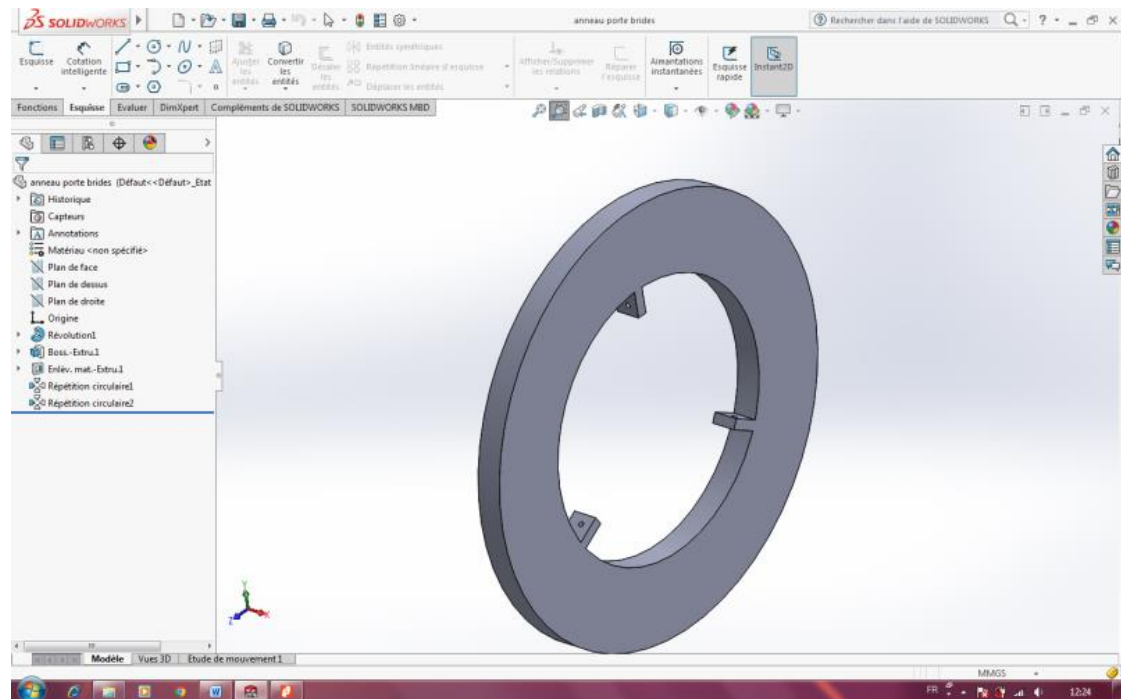


## Entretoise 4 :

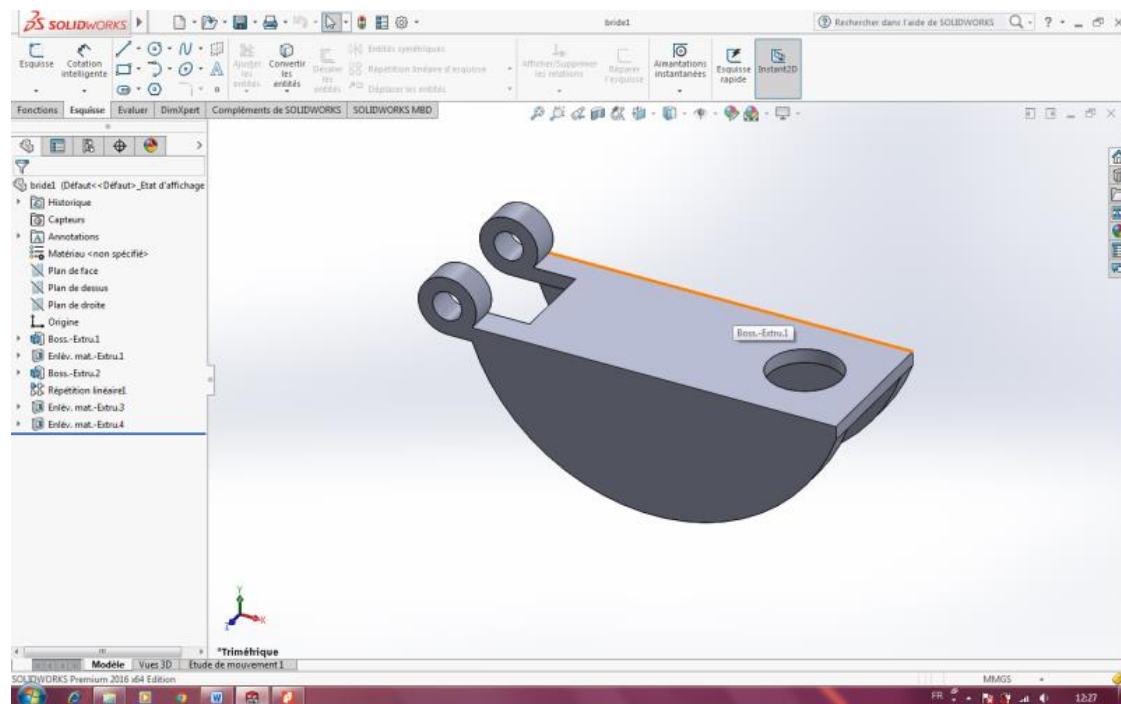


# Chapitre III. Etude du montage

## Corps porte brides 2 :

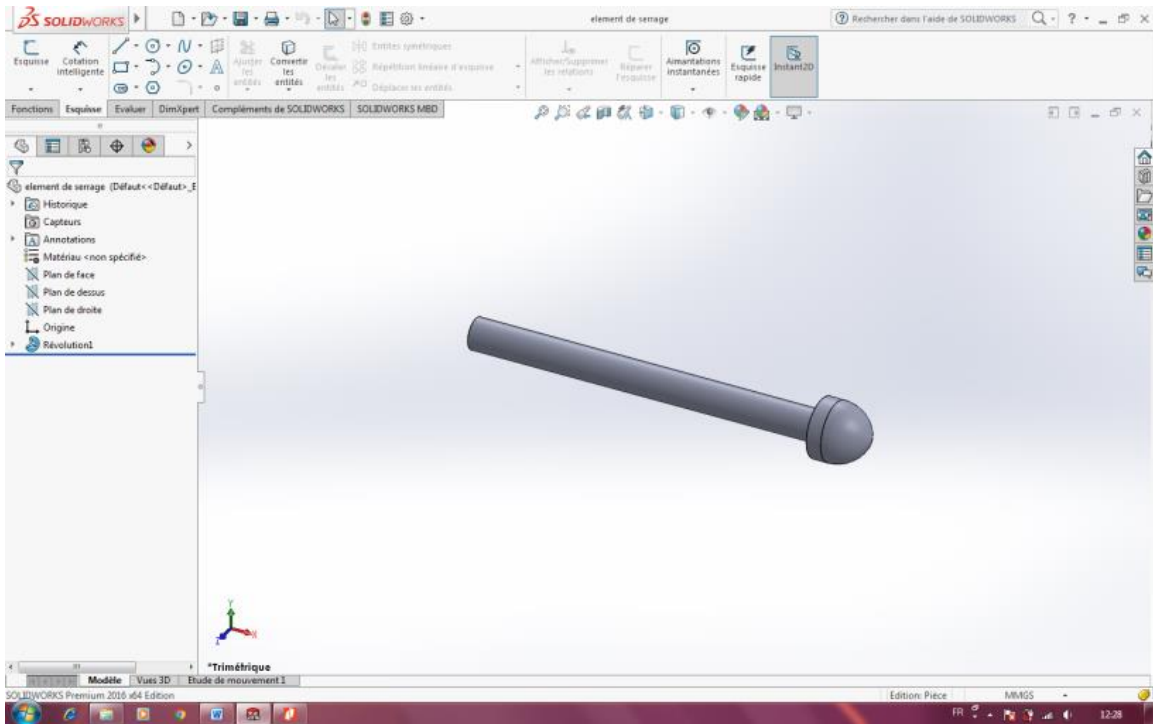


## Brides 6 :

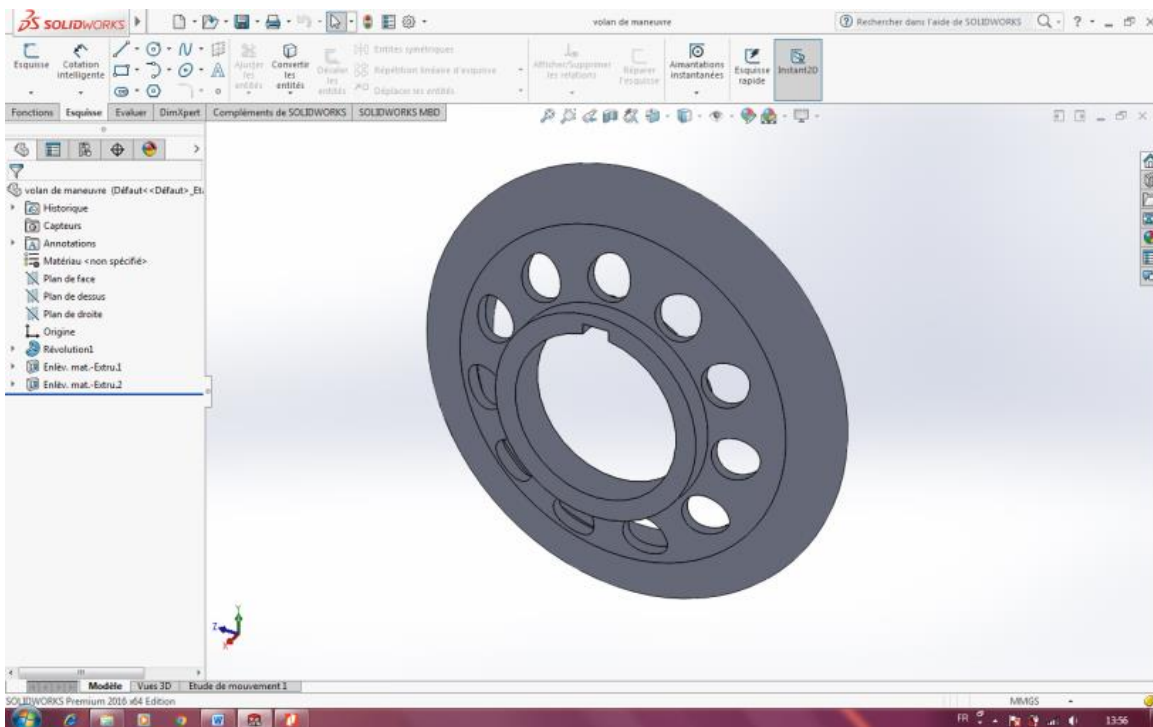


# Chapitre III. Etude du montage

## Tige de contact ou Pions à bouts sphériques 5

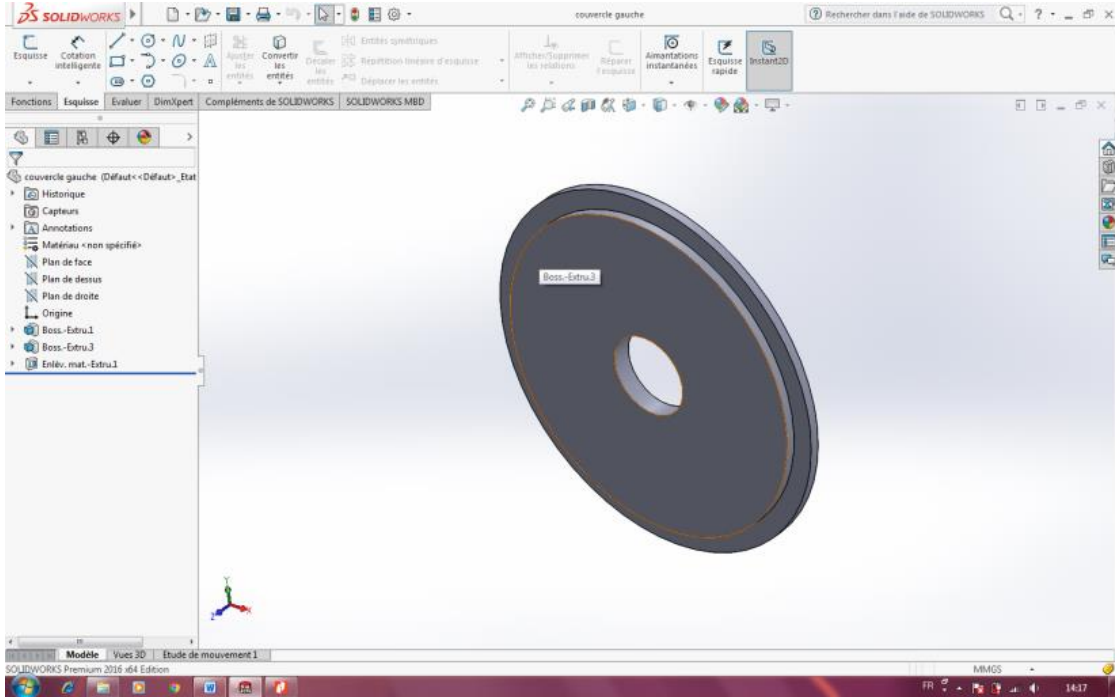


## Volant de commande 10 :

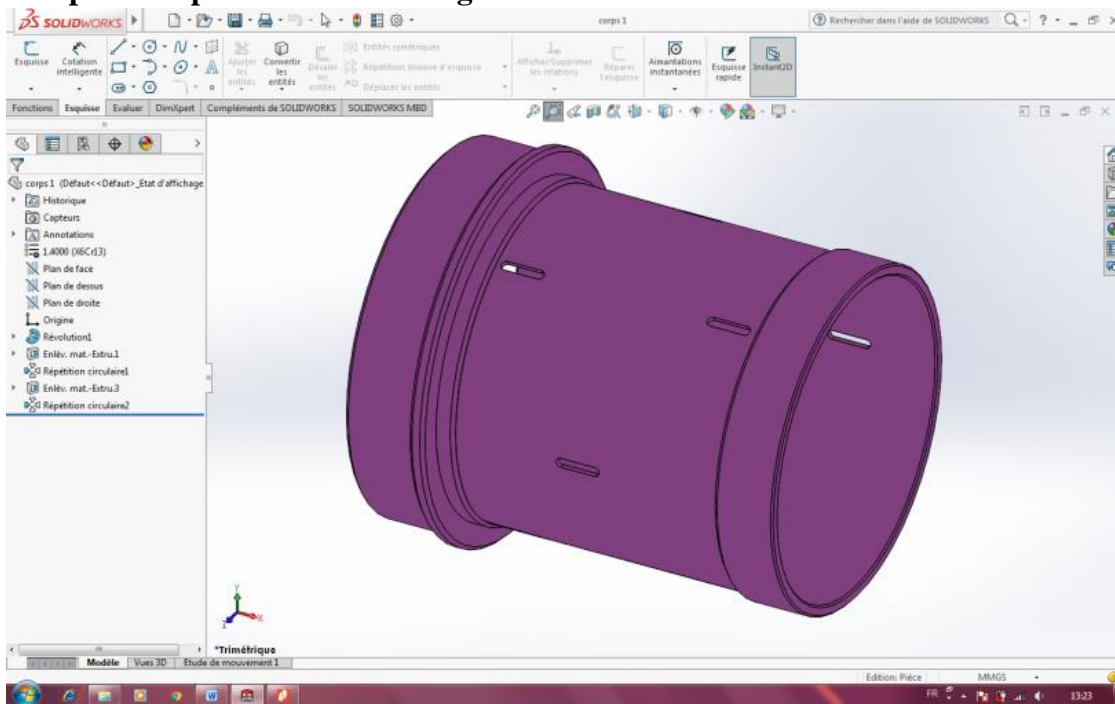


# Chapitre III. Etude du montage

## Couvercle

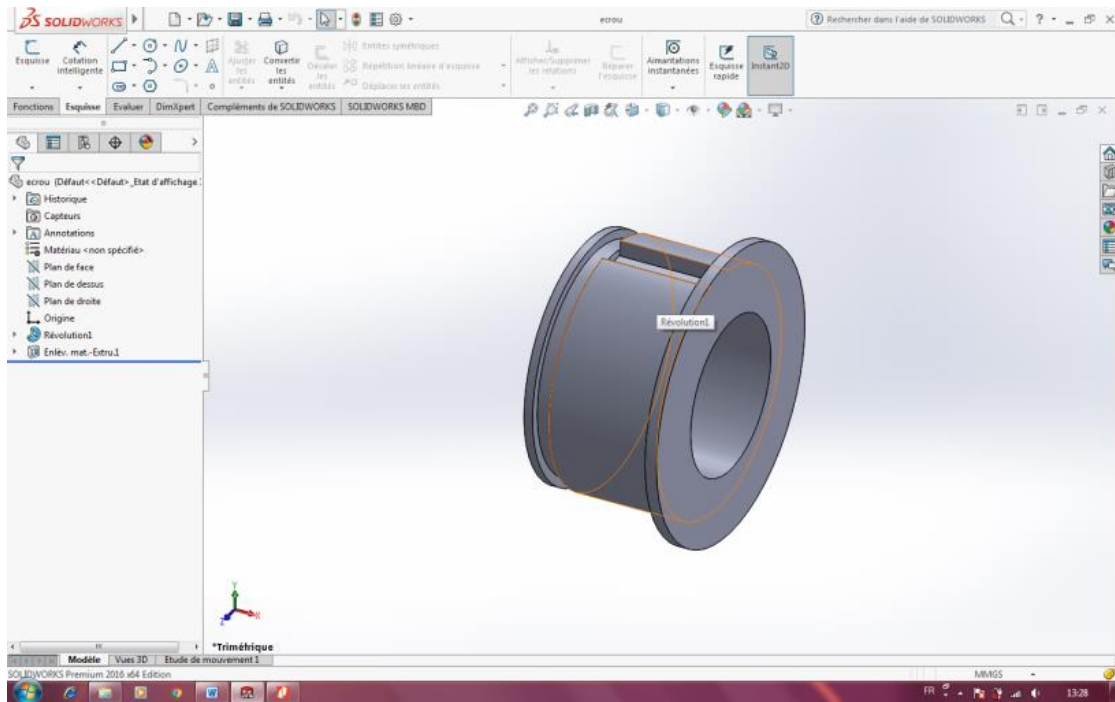


## Corps du dispositif ou du montage



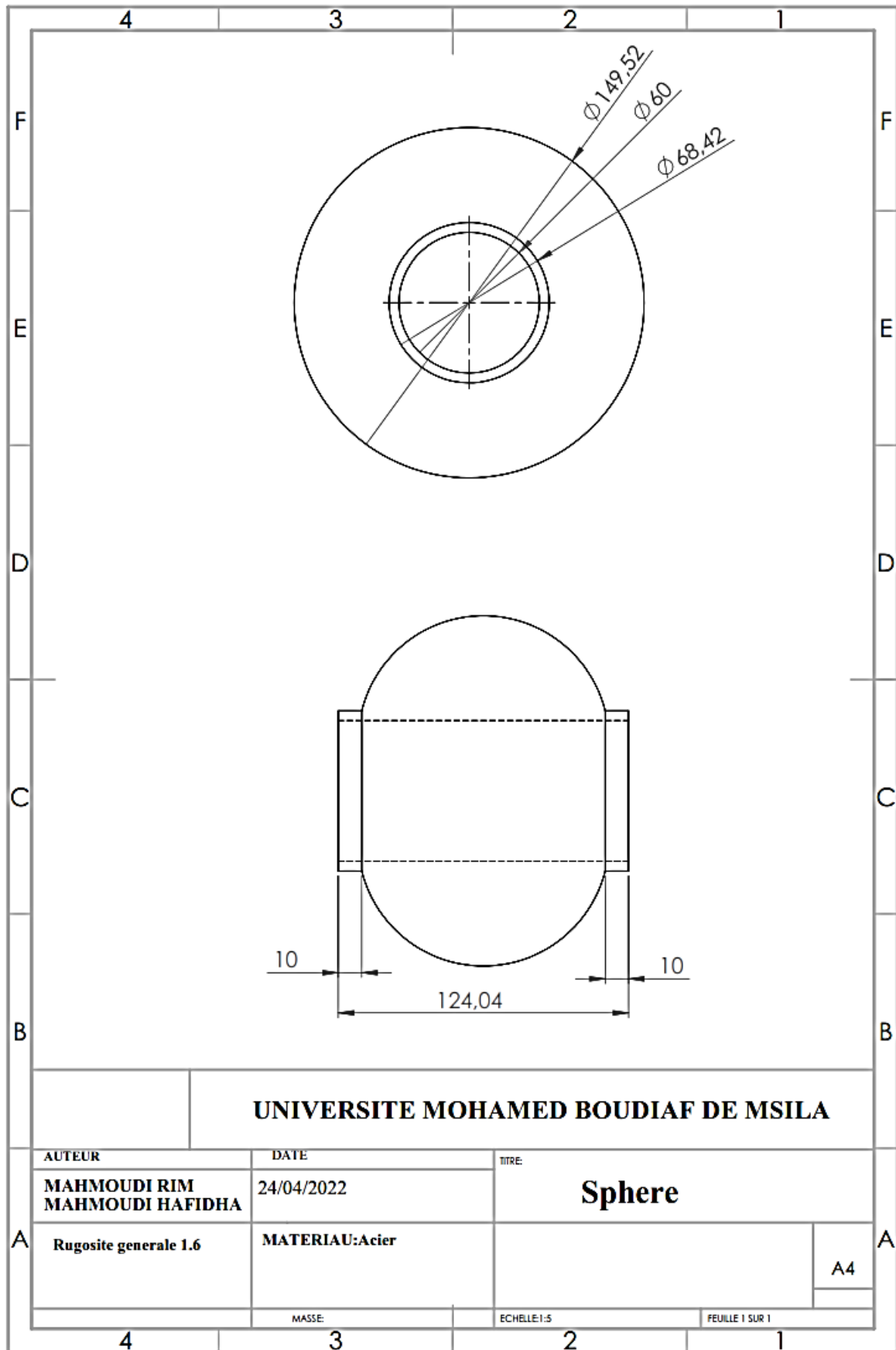
# Chapitre III. Etude du montage

## Écrou 8 :

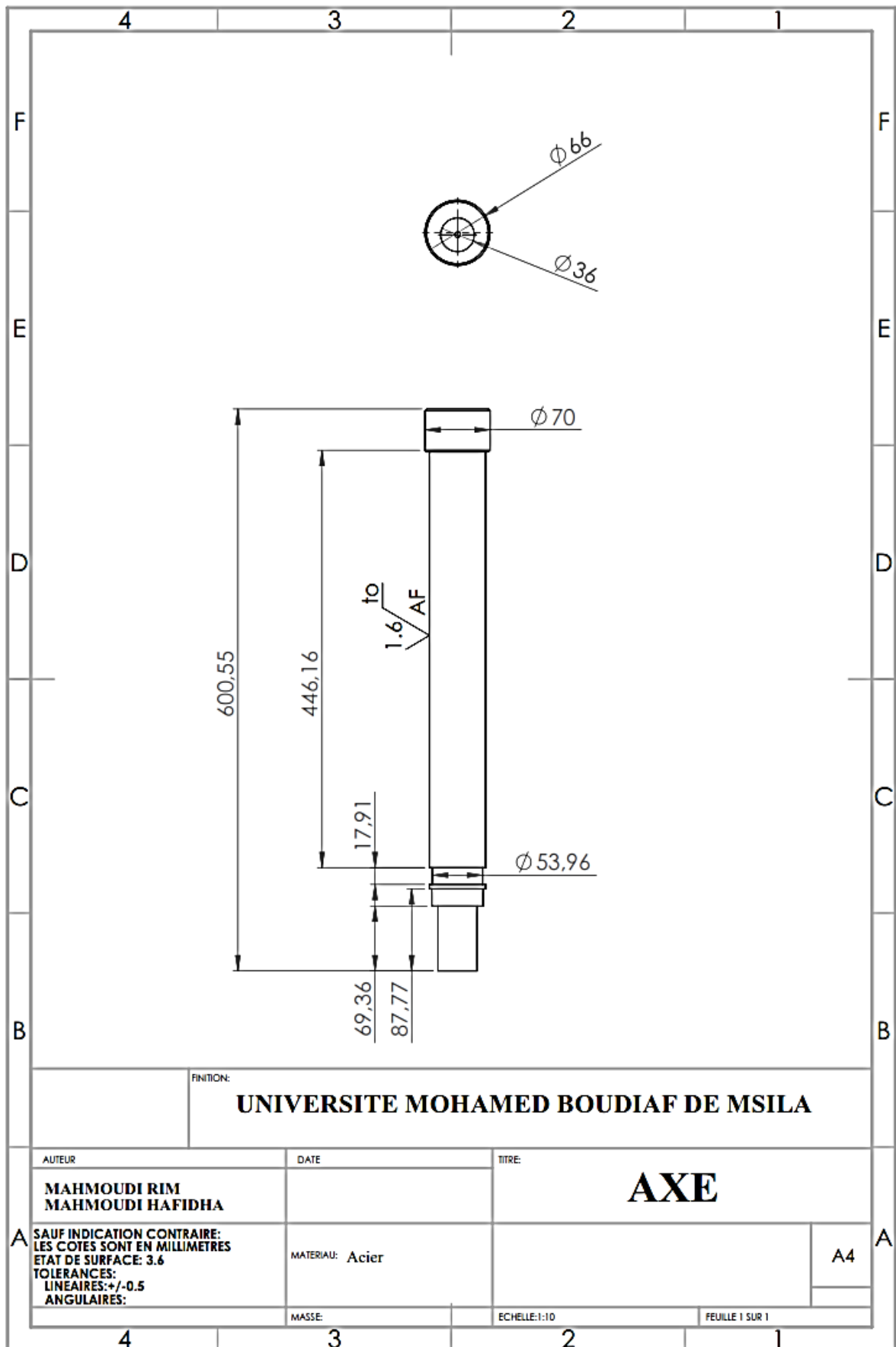


# Chapitre III. Etude du montage

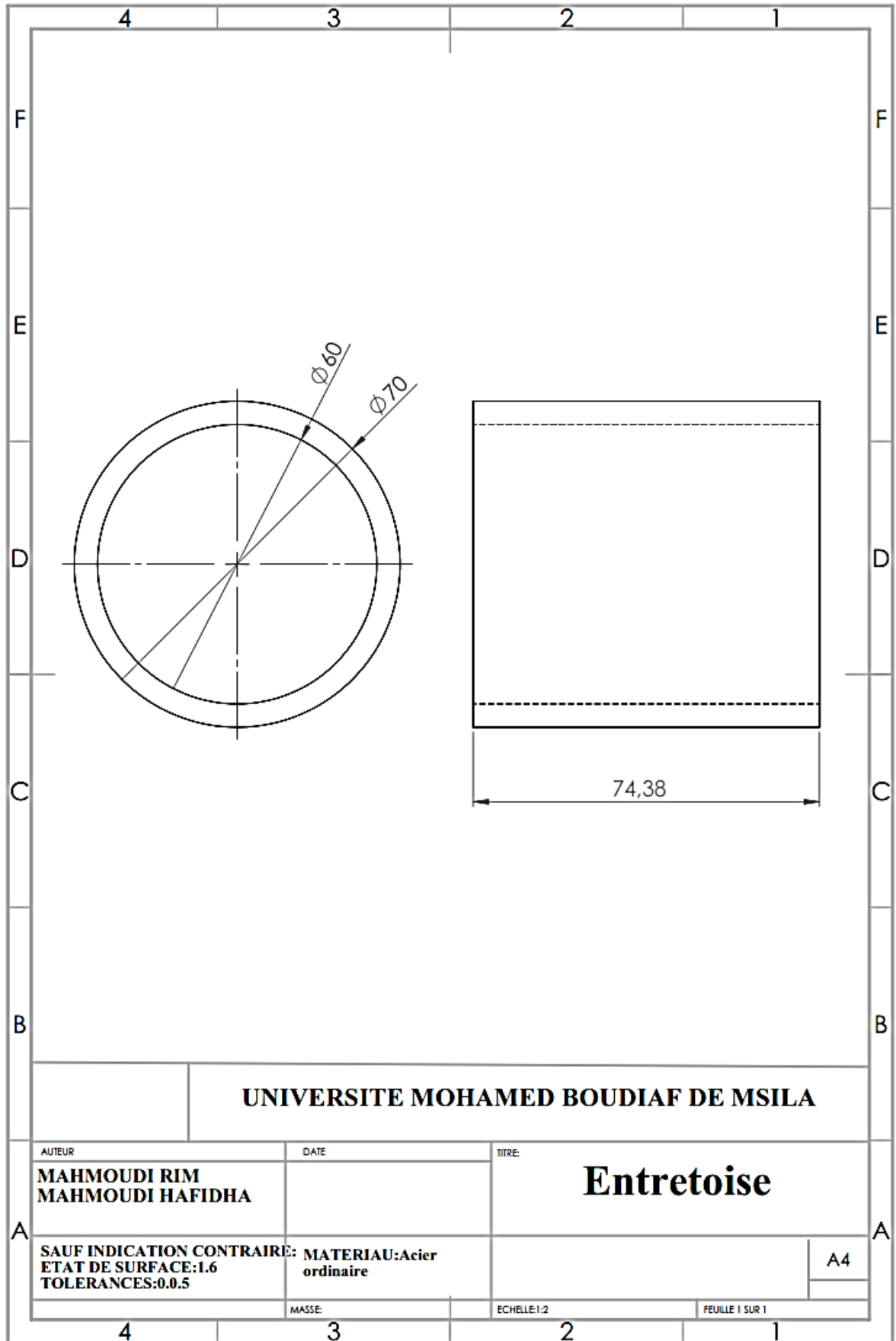
## III.4.2. Dessin de définition des composants sous SOLIDWORKS



# Chapitre III. Etude du montage



# Chapitre III. Etude du montage



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE MSILA

AUTEUR  
**MAHMOUDI RIM**  
**MAHMOUDI HAFIDHA**

DATE

TITRE:

**Entretoise**

SAUF INDICATION CONTRAIRE: **MATERIAU:Acier**  
**ETAT DE SURFACE:1.6**  
**TOLERANCES:0.0.5**  
**ordinaire**

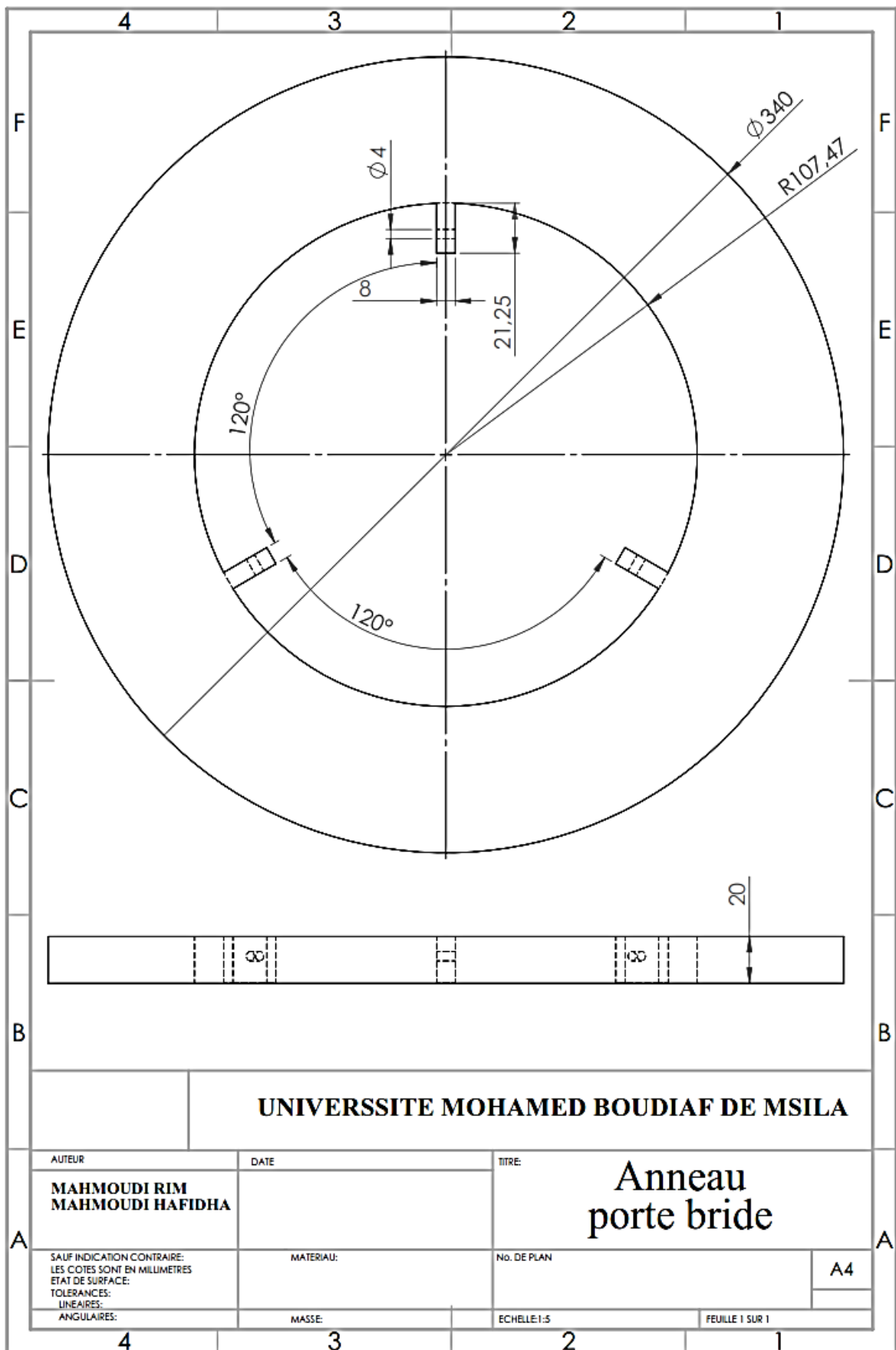
A4

MASSE:

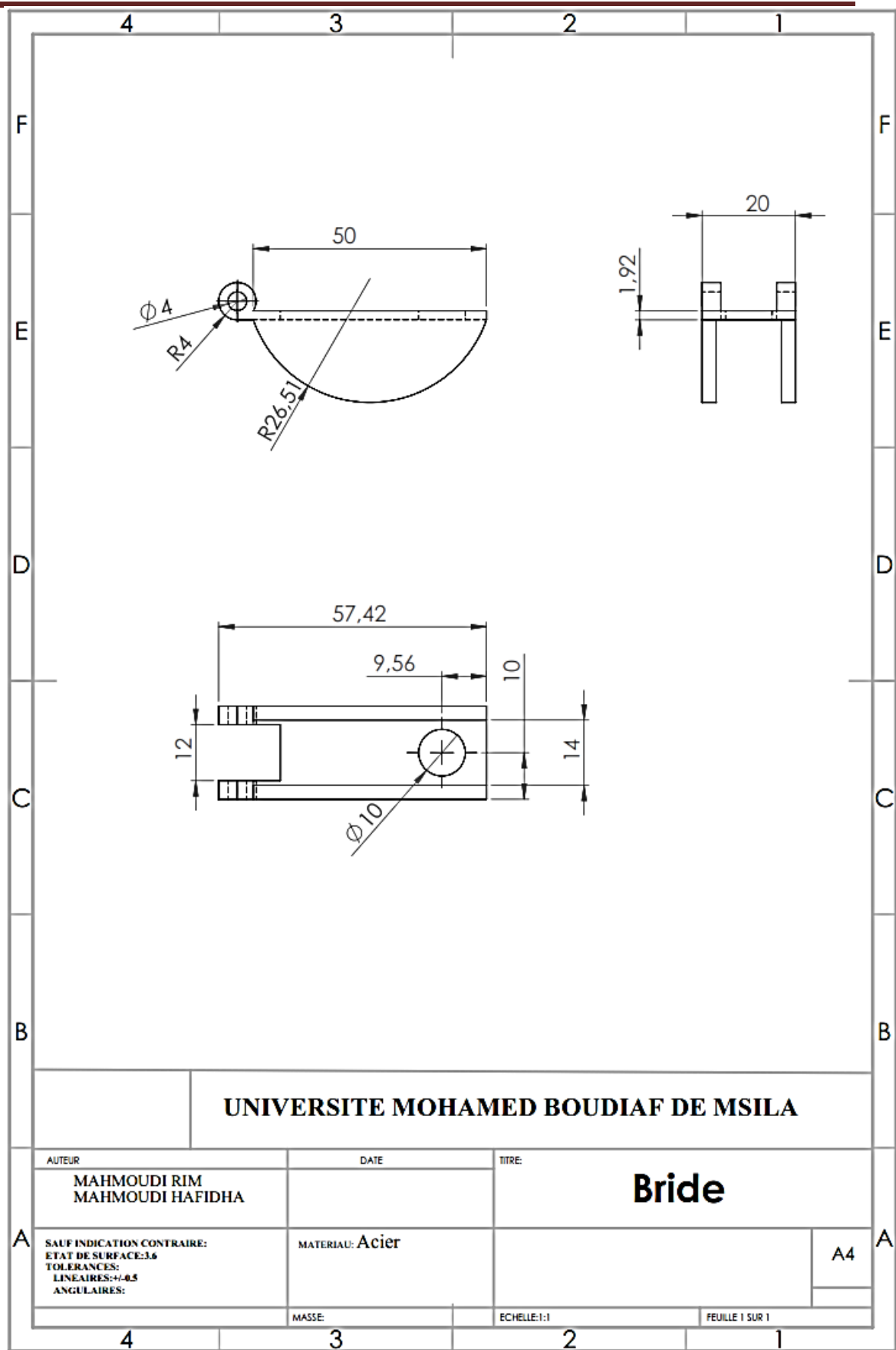
ECHELLE:1:2

FEUILLE 1 SUR 1

### Chapitre III. Etude du montage



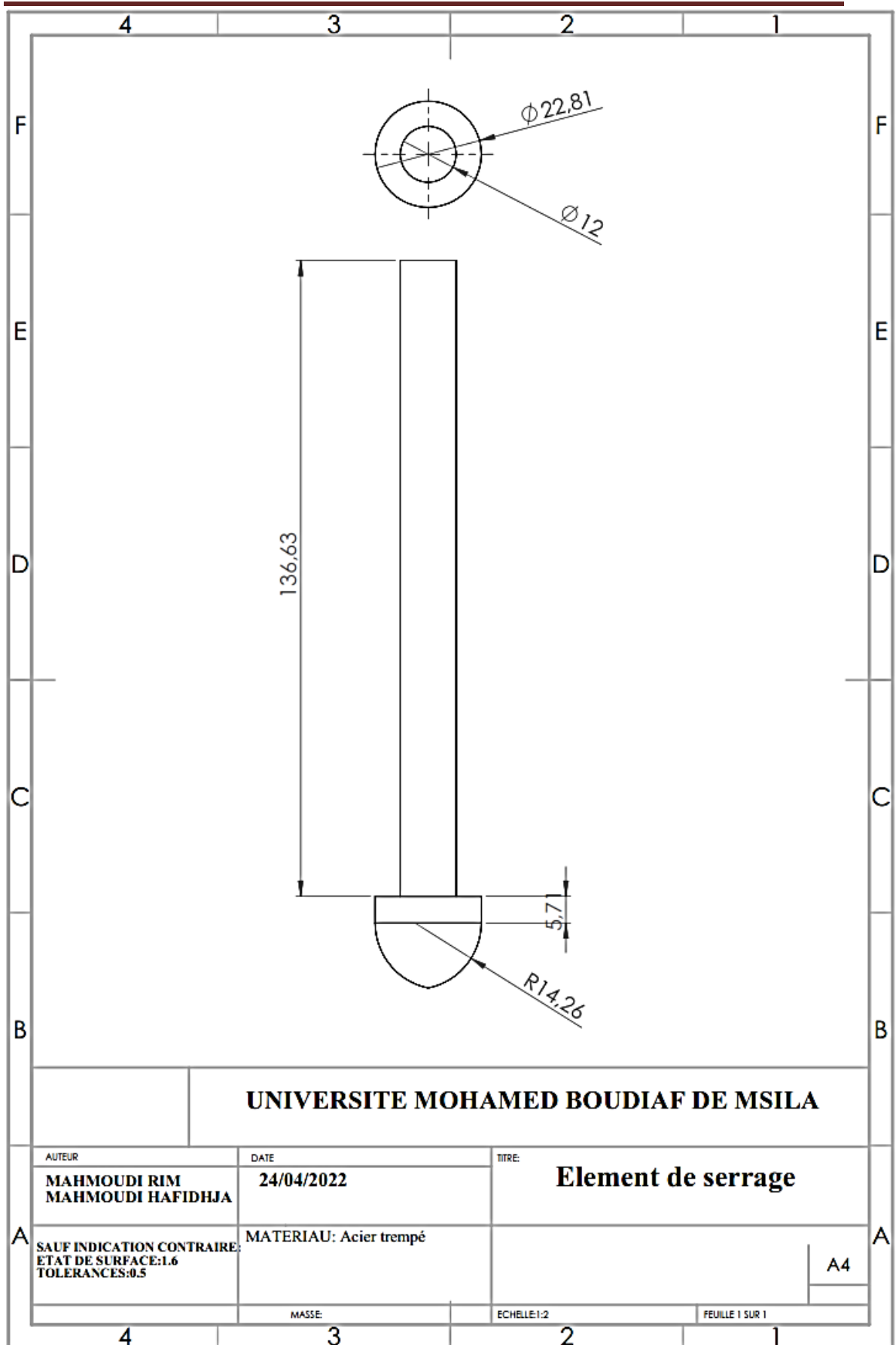
# Chapitre III. Etude du montage



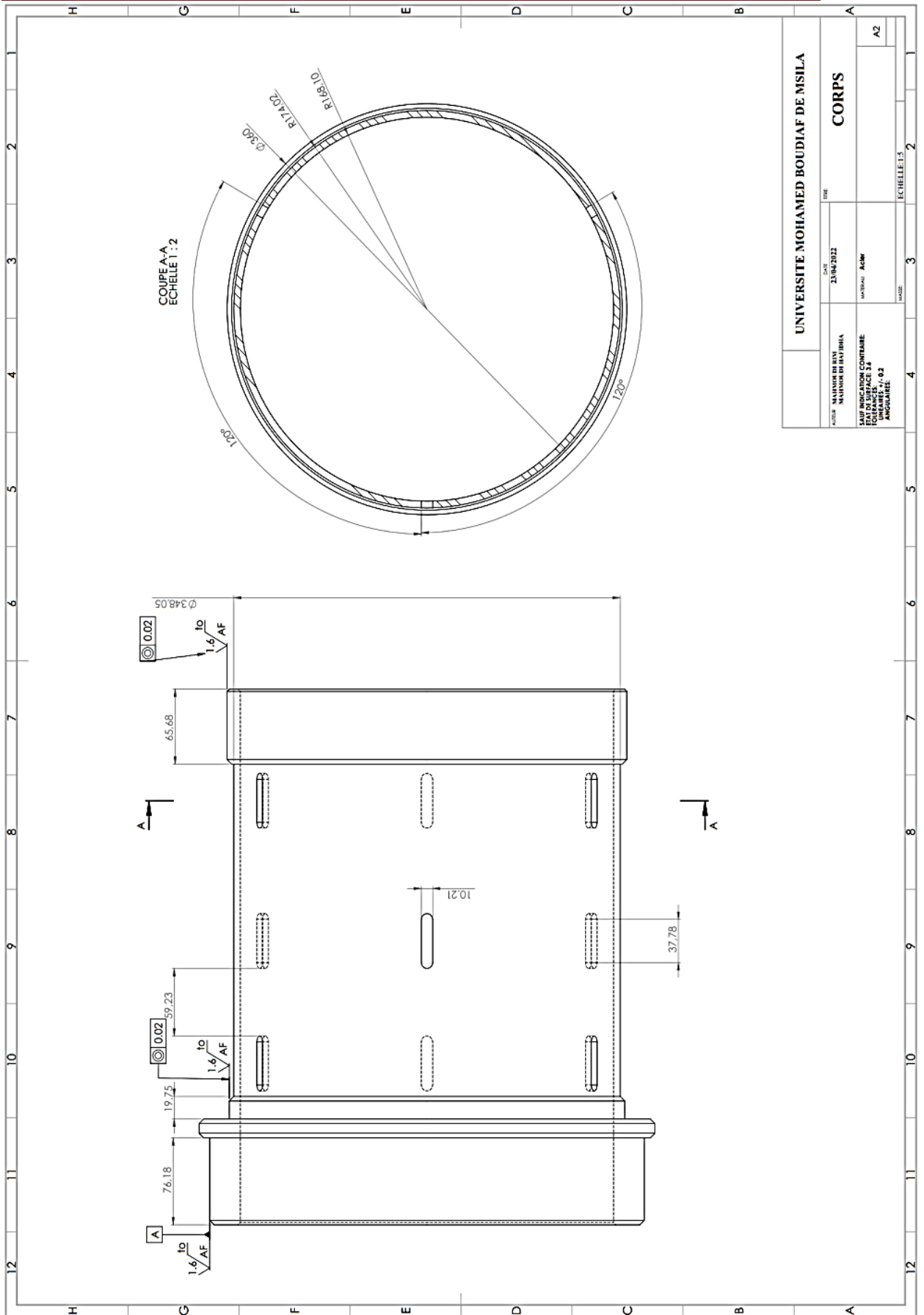
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE MSILA

AUTEUR		DATE	TITRE:	
MAHMOUDI RIM MAHMOUDI HAFIDHA			<b>Bride</b>	
A	SAUF INDICATION CONTRAIRE: ETAT DE SURFACE:3.6 TOLERANCES: LINEAIRES: $\pm 0.5$ ANGULAIRES:	MATERIAU: Acier		A4
		MASSE:	ECHELLE:1:1	FEUILLE 1 SUR 1

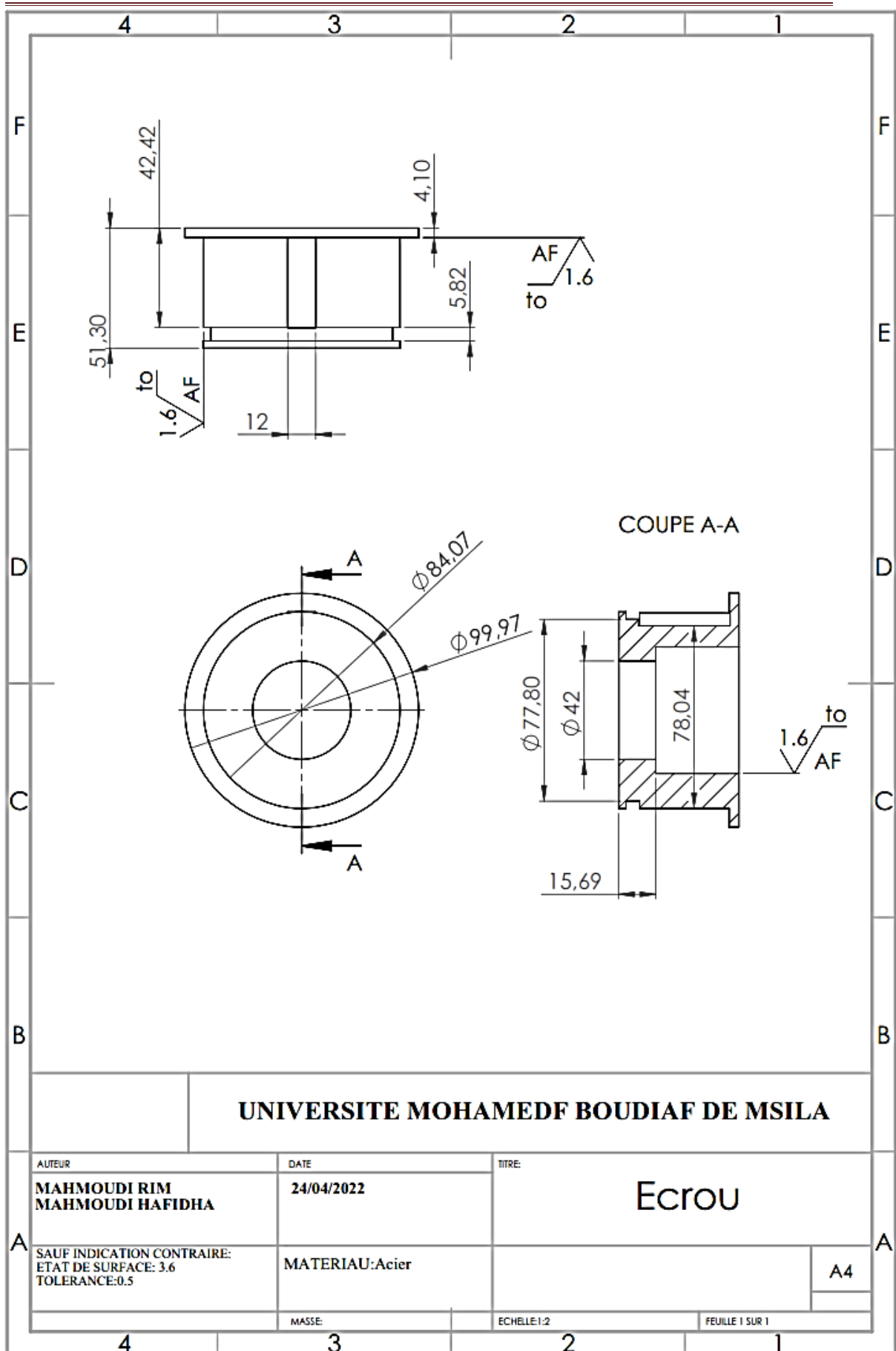
### Chapitre III. Etude du montage



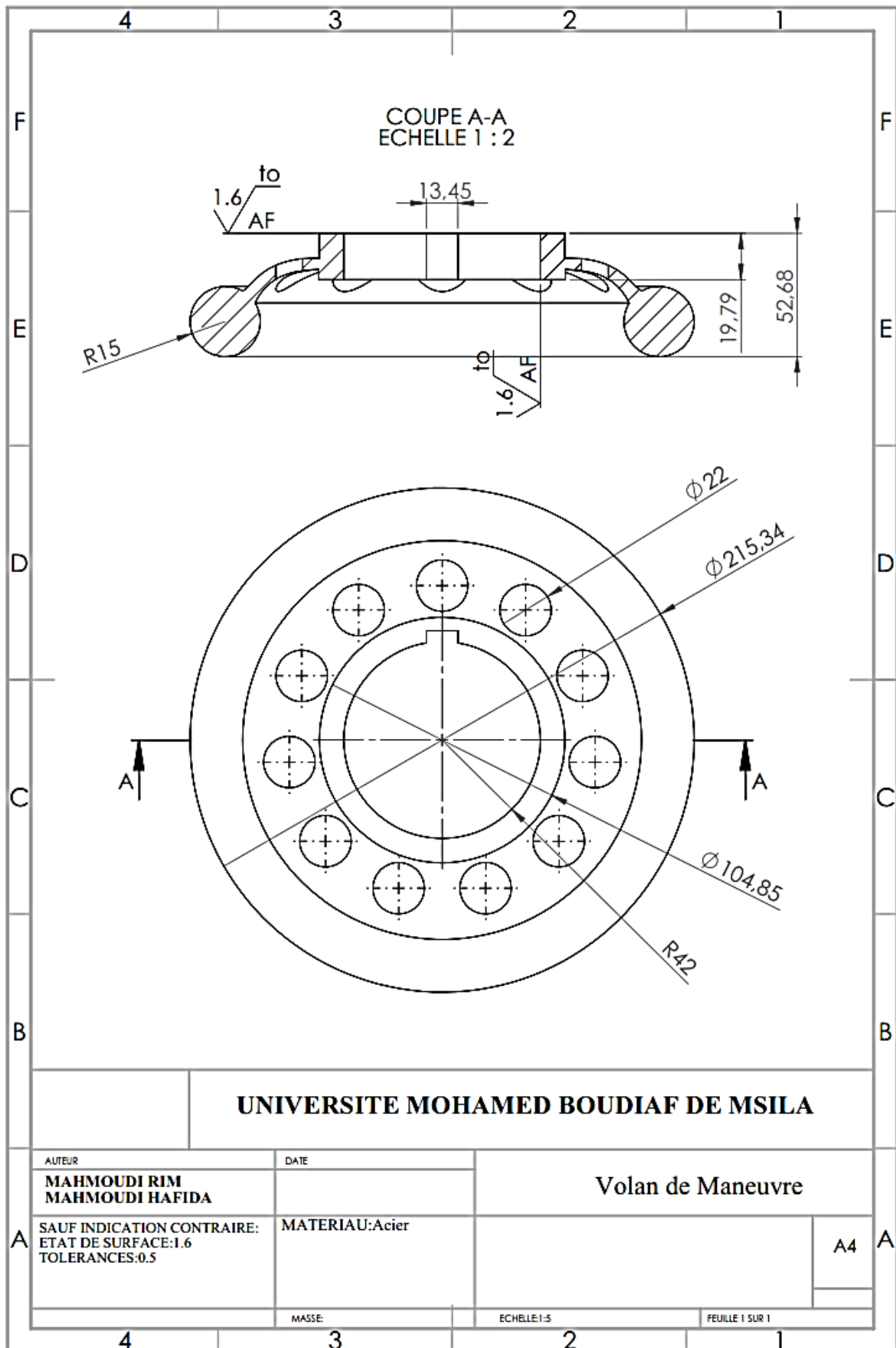
# Chapitre III. Etude du montage

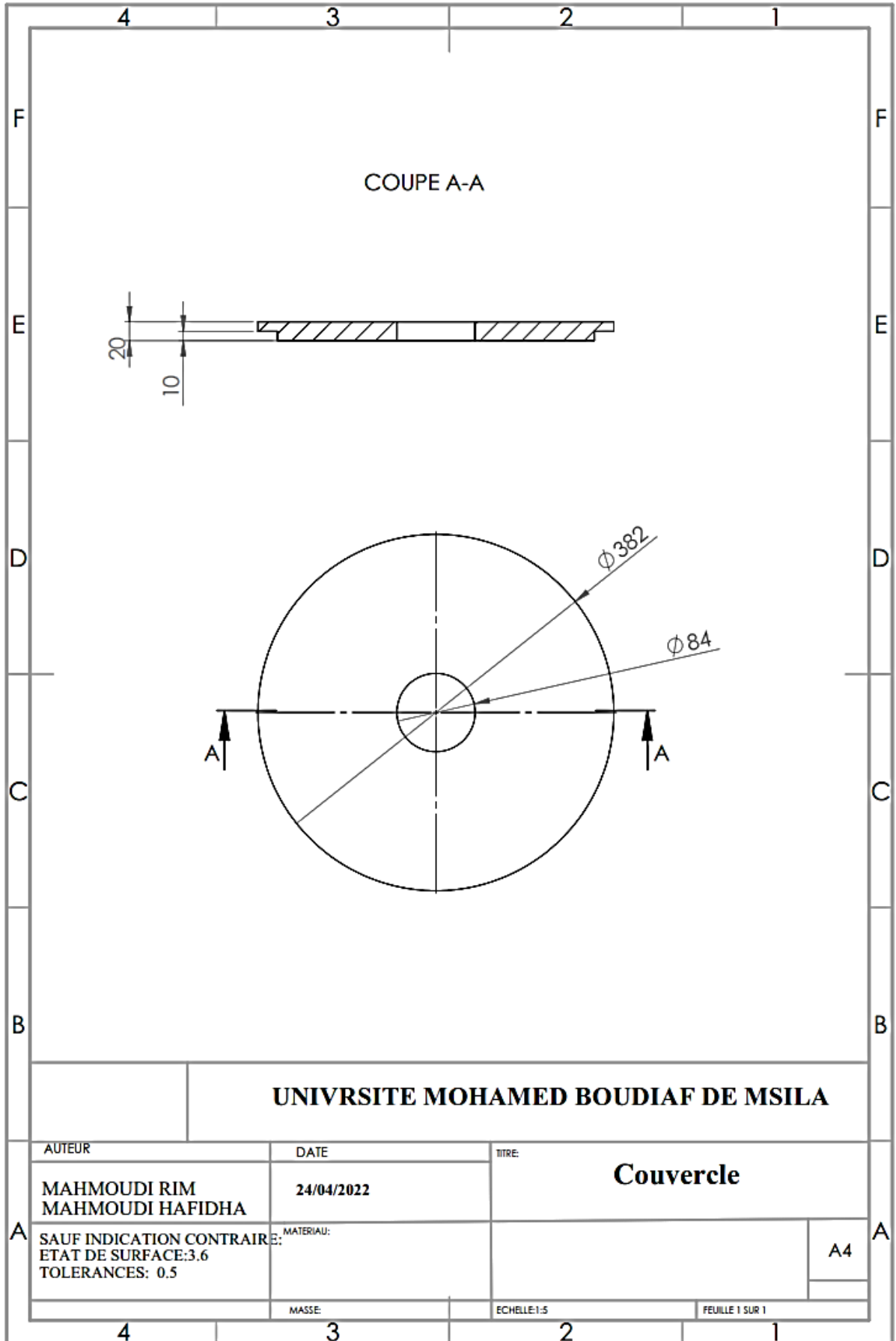


### Chapitre III. Etude du montage



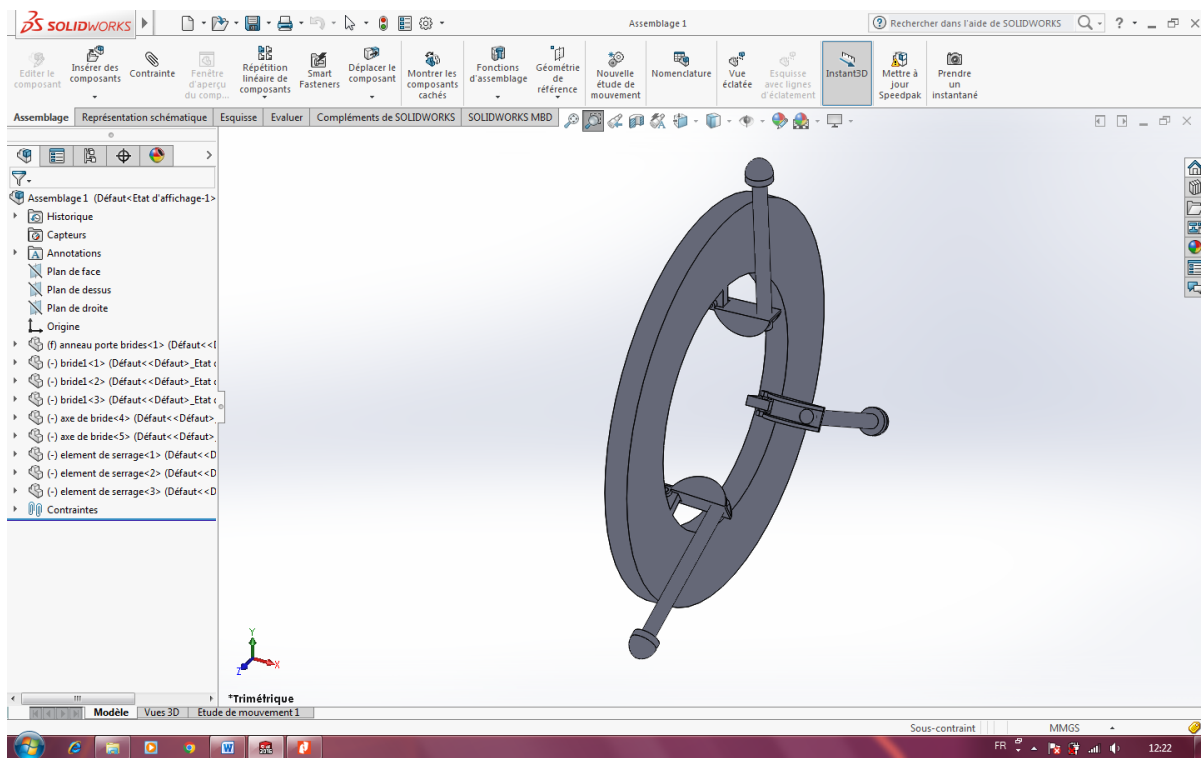
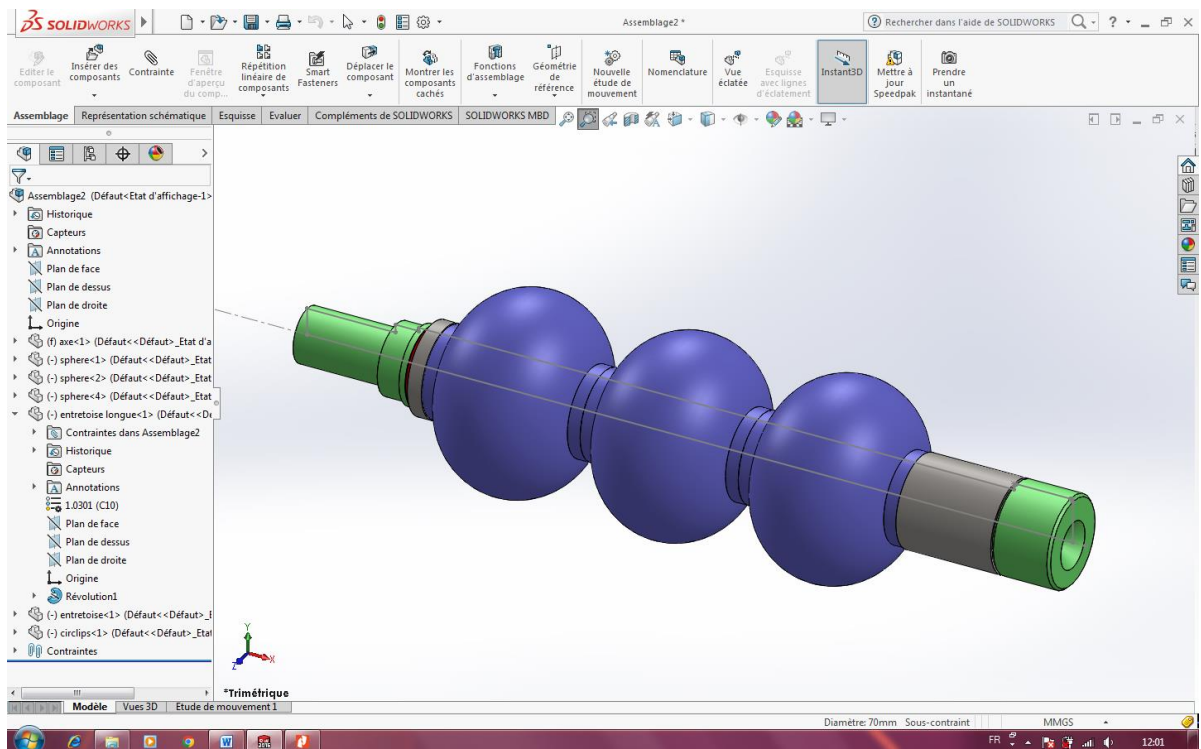
# Chapitre III. Etude du montage



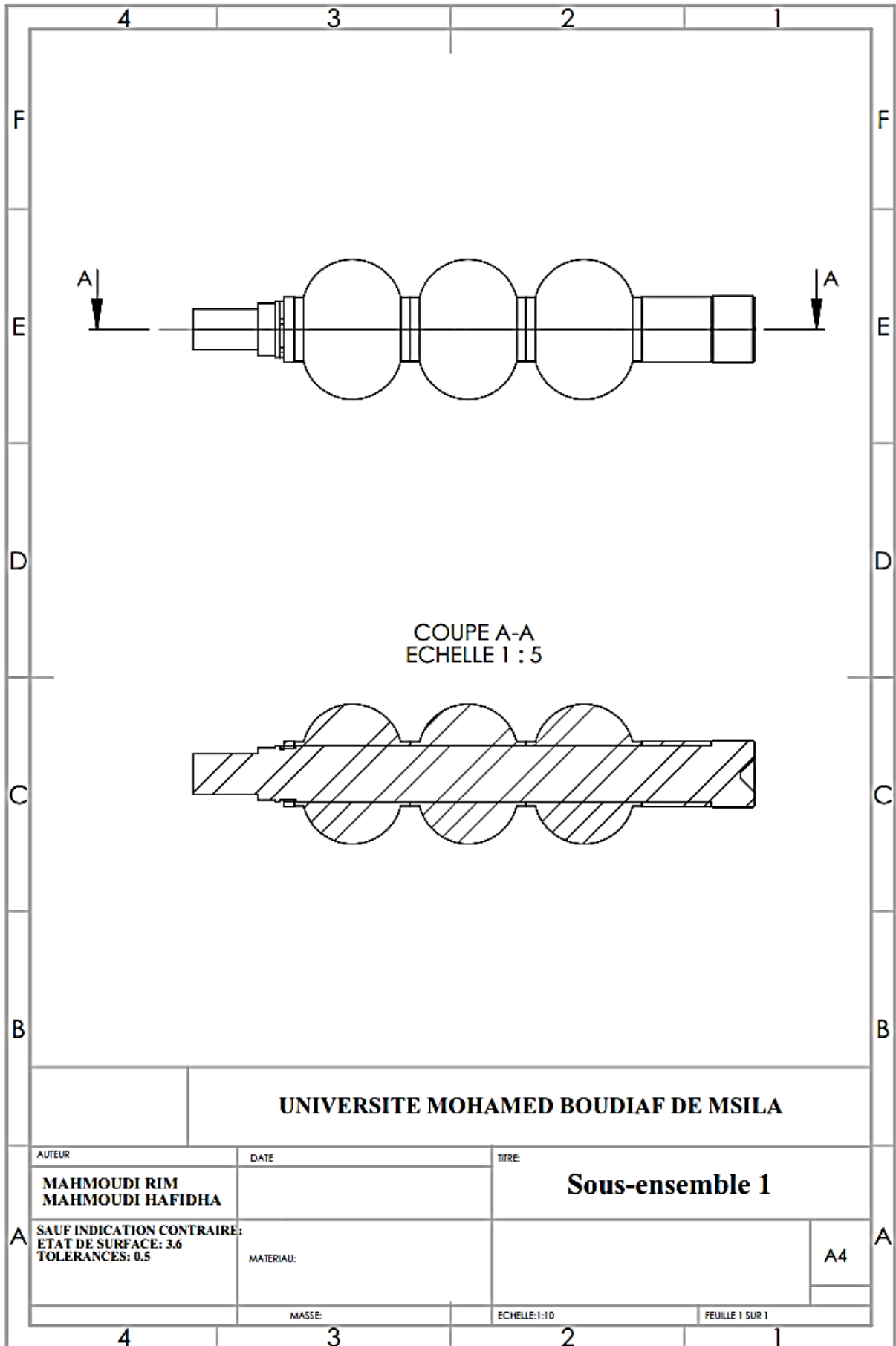


# Chapitre III. Etude du montage

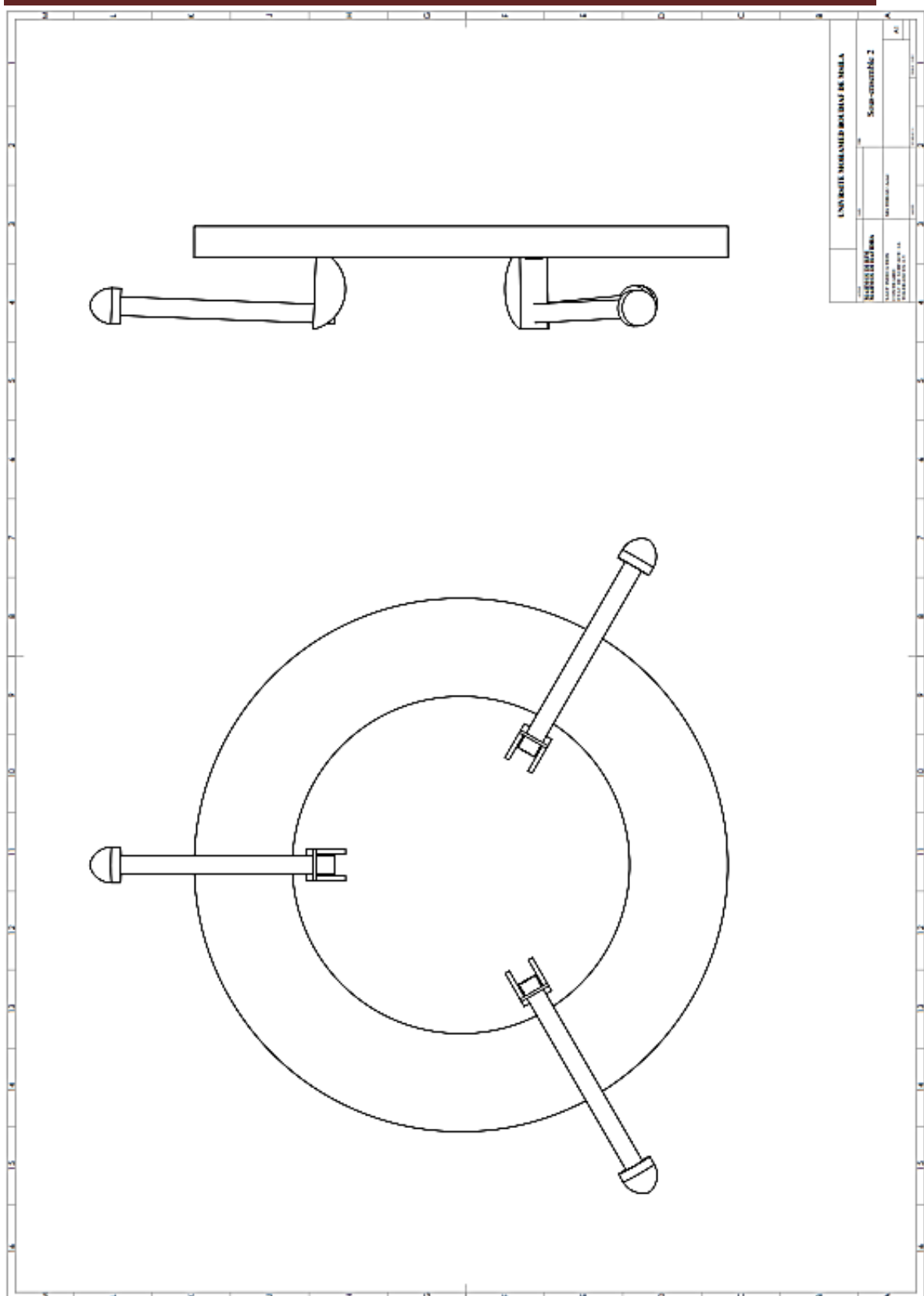
## III.4.3. Dessin des sous-ensembles sous SOLIDWORKS



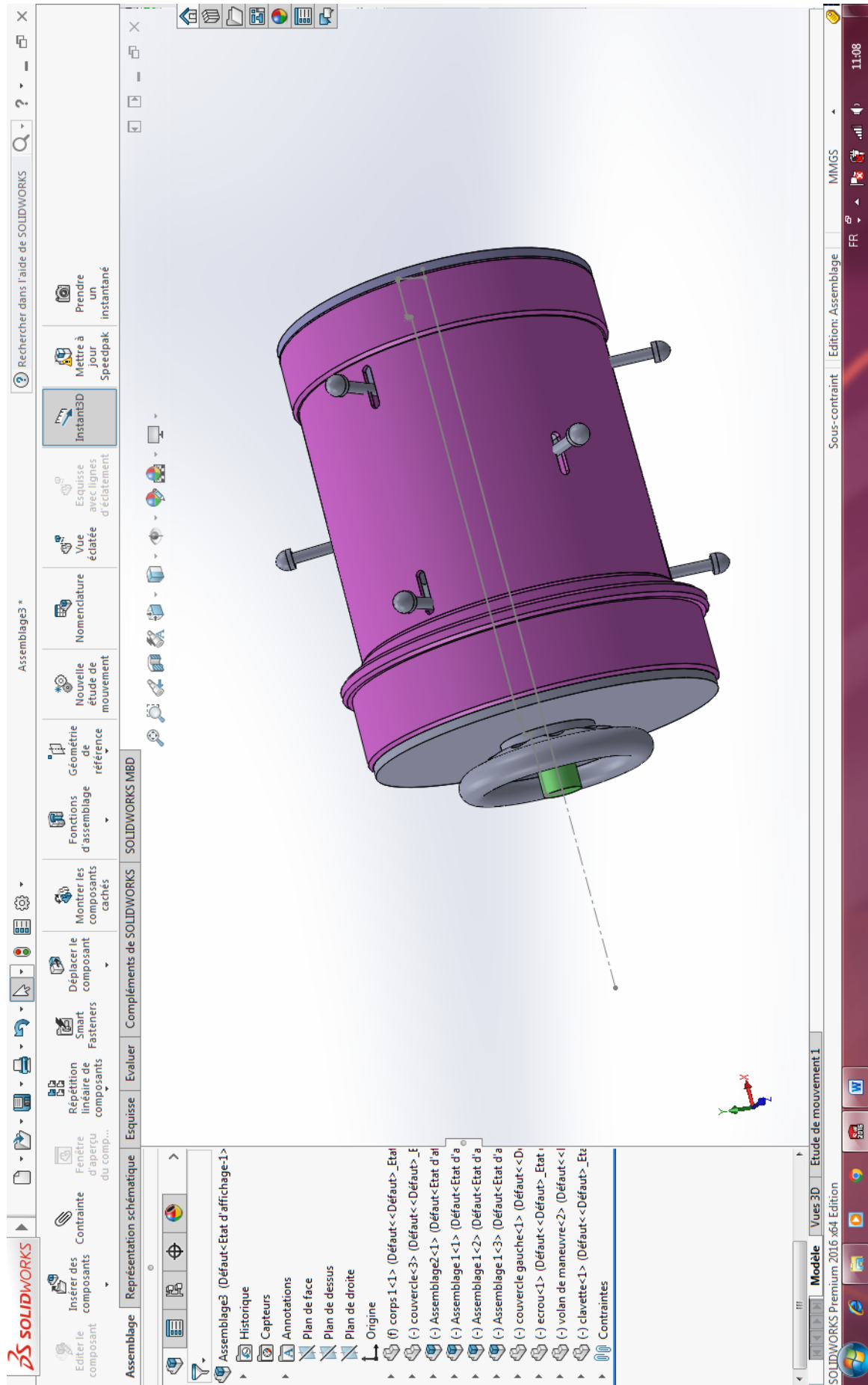
## III.4.4. Drafting des sous-ensembles sous SOLIDWORKS



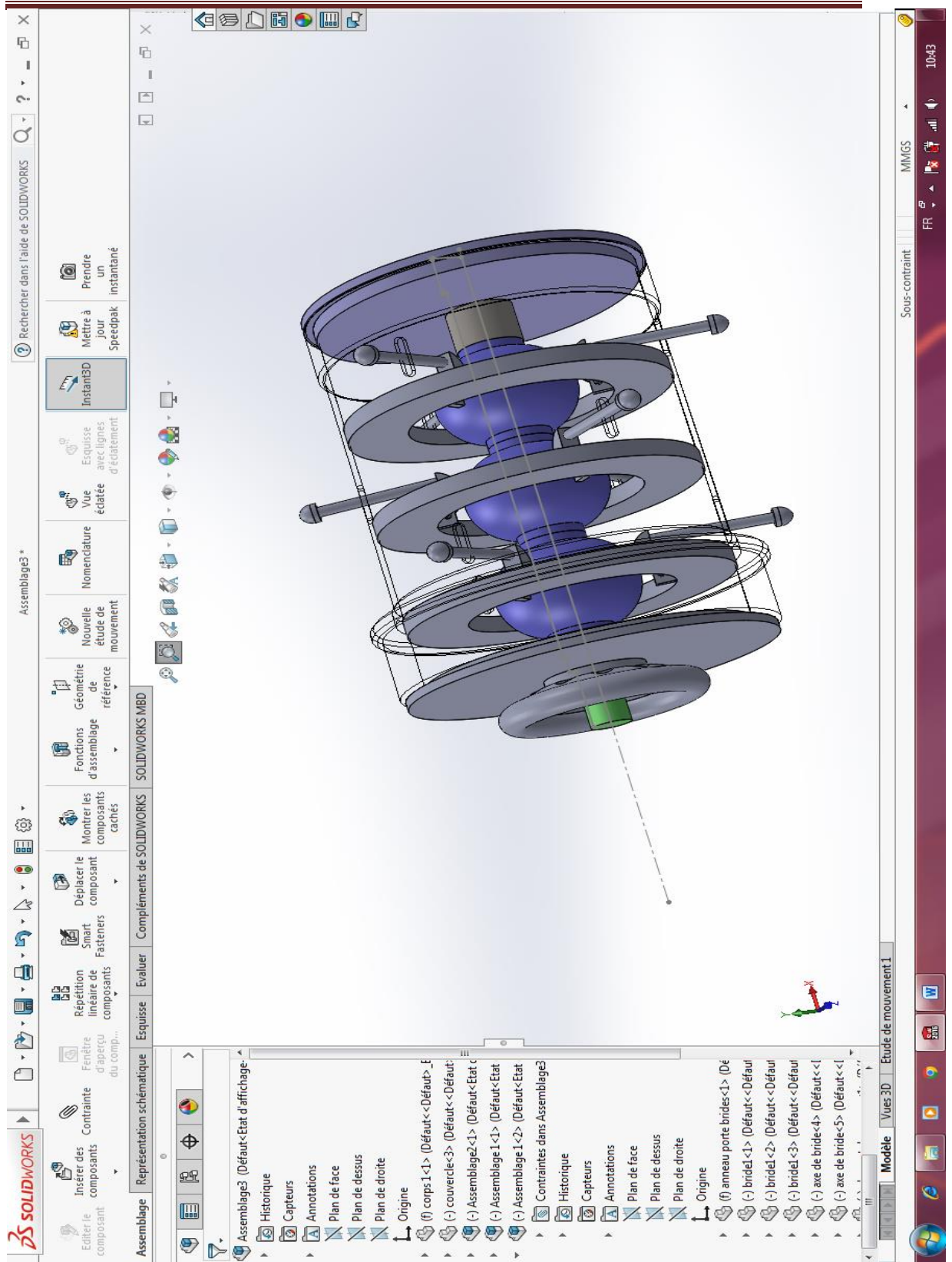
### Chapitre III. Etude du montage



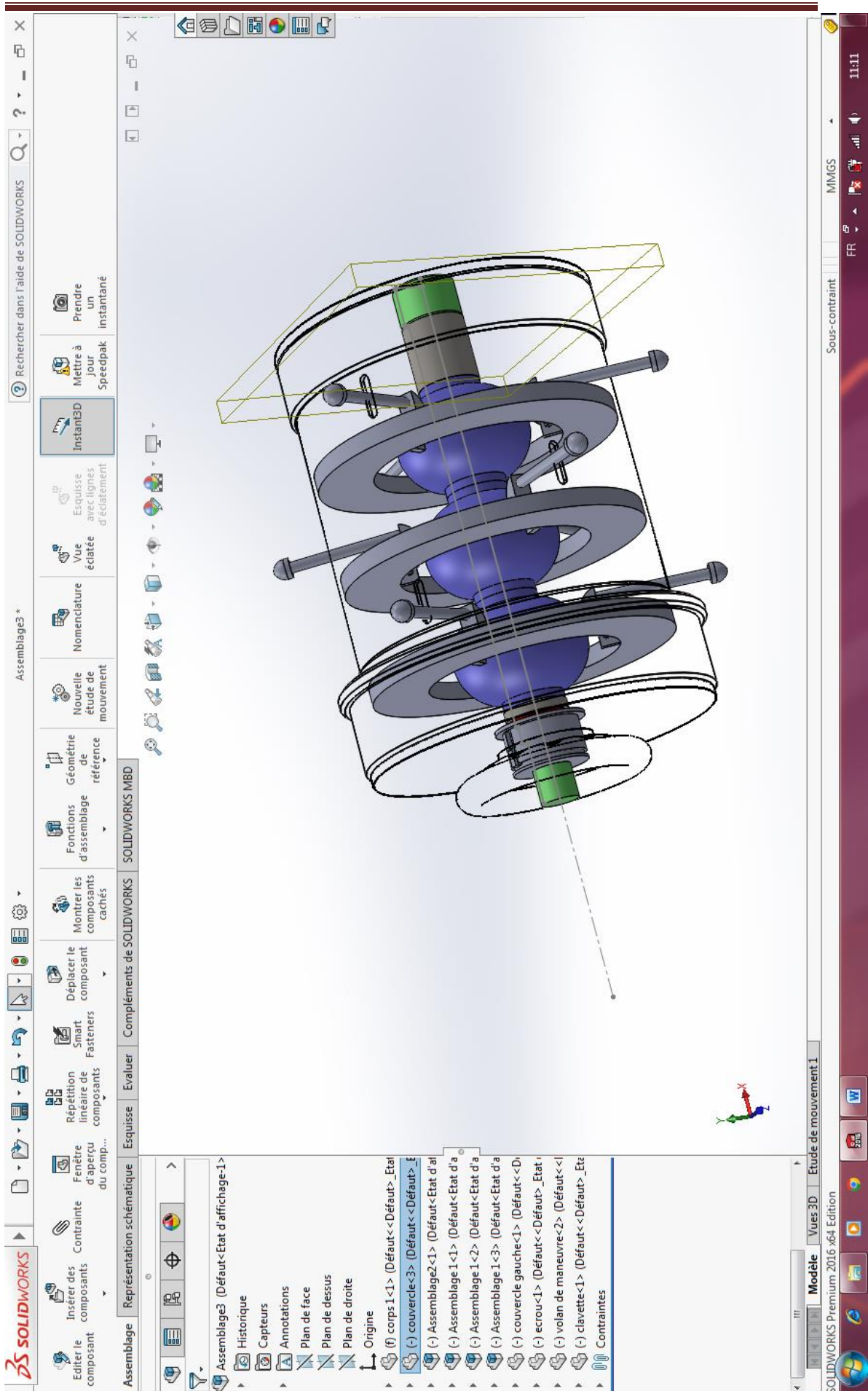
## III.4.5. Exécution des assemblages sous SOLIDWORKS



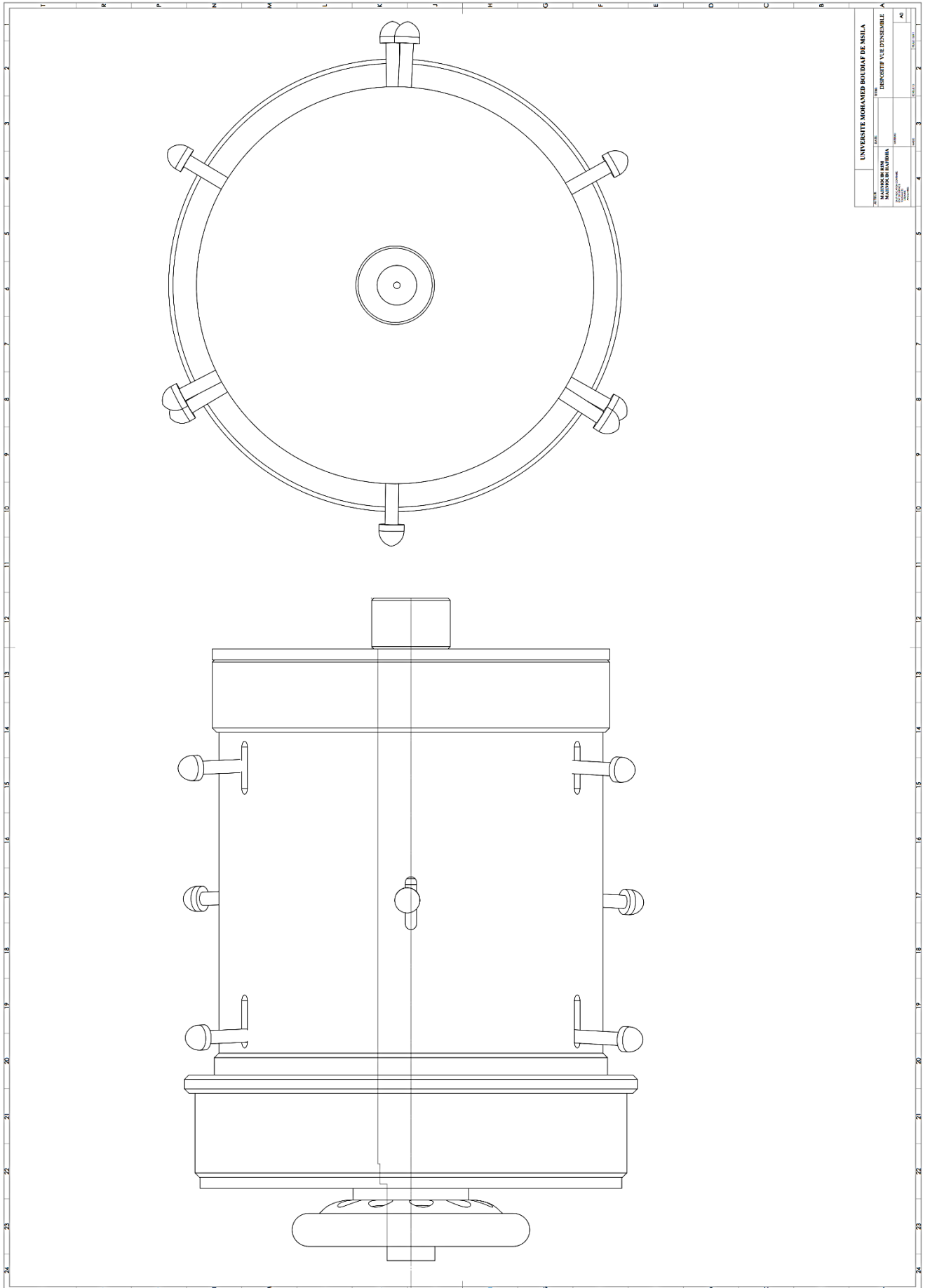
# Chapitre III. Etude du montage



# Chapitre III. Etude du montage



## III.4.6. Drafting des assemblages sous SOLIDWORKS



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE MSILA	
FACULTE D'INGENIERIE	
DEPARTEMENT D'INGENIERIE EN MECANIQUE	
PROJET DE FIN DE STAGE	
TITRE DU PROJET	
NOM DE L'ETUDIANT	
N° DE L'ETUDIANT	
N° DE LA FEUILLE	
N° DE LA PLANCHE	

### III.5. Calculs des efforts fournis

#### III.5.1. définition des paramètres de la coupe

Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de la coupe, notamment :

- Le type de machine (tournage).
- La puissance de la machine suffisante pour un usinage en ébauche.
- La matière usinée (acier inox, aluminium).
- La matière de l'outil (carbure).
- Le type de l'opération (chariotage).

L'objectif final est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions. Pour cela il faut déterminer certains paramètres spécifiques :

- La vitesse de coupe :  $V_c$
- La vitesse d'avance :  $F$
- La profondeur de passe :  $a$

**Le Premier cas :** pour un tube mince en Aluminium

$$V_{th} = 150 \text{ m/min}, a = 2 \text{ mm}, f = 0.2 \text{ mm/tr}, K_s = 100 \text{ daN/mm}^2$$

$$N_{th} = \frac{K_s * V_{th}}{\pi * D_{ext}}$$

$$N_{th} = \frac{1000 * 150}{3.14 * 400} = 119.42 \text{ tr/min}$$

$N = 112 \text{ tr/min}$  selon la machine

$$V_c \text{ réel} = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

$$V_c \text{ réel} = \frac{3.14 * 400 * 112}{1000} = 140.672 \text{ m/min}$$

$$F_c = k_s * s \Rightarrow F_c = k_s * a * f$$

$$F_c = 100 * 2 * 0.2 = 40 \text{ daN}$$

$$F_t \geq \frac{F_c * D_{ext}}{n * D_{int}}$$

$$F_t \geq \frac{40 * 400}{9 * 380} = 4.67 \text{ daN}$$

$$F_t = F_{ser} * F_f \Rightarrow F_{ser} * F_f \geq \frac{F_c * D_{ext}}{n * D_{int}} \Rightarrow F_{ser} \geq \frac{F_c * D_{ext}}{F_f * n * D_{int}}$$

$$\Rightarrow F_{ser} \geq \frac{40 * 400}{9 * 0.4 * 380} = 11.69 \text{ daN}$$

## Chapitre III. Etude du montage

---

Ff : Coefficient de frottement pour un contact Acier inox / Aluminium

**Le deuxième Cas :** pour un tube mince en Acier inox

$V_{th} = 105 \text{ m/min}$ ,  $2 \text{ mm}$ ,  $f = 0.2 \text{ mm/tr}$ ,  $K_s = 375 \text{ daN/mm}$

$$N_{th} = \frac{K_s * V_{th}}{\pi D_{ext}}$$

$$N_{th} = \frac{1000 * 105}{3.14 * 400} = 83.59 \text{ tr/min}$$

$N = 80 \text{ tr/min}$  selon la machine

$$V_c \text{ réel} = \frac{\pi D N}{1000}$$

$$V_c \text{ réel} = \frac{3.14 * 400 * 80}{1000} = 100.48 \text{ m/min}$$

$$F_c = k_s * s \quad \text{donc} \quad F_c = k_s * a * f$$

$$F_c = 375 * 2 * 0.2 = 150 \text{ daN}$$

$$F_t \geq \frac{F_c * D_{ext}}{n * D_{int}}$$

$$F_t \geq \frac{150 * 400}{9 * 380} = 17.54 \text{ daN}$$

$$F_t = F_{ser} * F_f \Rightarrow F_{ser} * F_f \geq \frac{F_c * D_{ext}}{n * D_{int}} \Rightarrow F_{ser} \geq \frac{F_c * D_{ext}}{F_f * n * D_{int}}$$

$$\Rightarrow F_{ser} \geq \frac{150 * 400}{9 * 0.29 * 380} = 60.49 \text{ daN}$$

Ff : Coefficient de frottement un contact Acier inox / Acier inox

$$\sum F_x = P - T \cos \alpha - N \sin \alpha = 0$$

$$\sum F_p = -F - T \sin \alpha + N \cos \alpha = 0$$

Pour Vis HM12,  $P = 1.75 \text{ mm}$

d : diamètre nominal = 12 mm

D : diamètre sur flancs

$$d_2 = D_2 = d - 0.6495 P \Rightarrow D = 12 - 0.6495 * 1.75 = 10.87 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{adjacent}}{\pi d}$$

$$N = \frac{F}{\cos \alpha \left( 1 - \frac{F * P}{\pi * D} \right)}$$

## Chapitre III. Etude du montage

---

$$N = \frac{60.49}{0.99 \left( 1 - \frac{0.29 \cdot 1.75}{3.14 \cdot 10.87} \right)} = 61.72 \text{ N}$$

$$F_a = F \left( \frac{P + F \pi D}{\pi D - F P} \right)$$

$$F_a = 60.49 \left( \frac{1.75 + 0.29 \cdot 3.14 \cdot 10.87}{3.14 \cdot 10.87 - 0.29 \cdot 1.75} \right) = 20.56 \text{ N}$$

$$C = P \cdot D / 2 \Rightarrow C = 1.75 \cdot 10.87 / 2 = 9.50 \text{ N.m}$$

### Le couple

a) Pour lever le doigt ce qui correspond au serrage de la pièce

$$C_s = FD/2 \left( \frac{\tan \alpha + f}{1 - F \tan \alpha} \right) \Rightarrow \tan \alpha = P/\pi D$$

$$C_s = 60.49 \cdot 10.87 / 2 \left( \frac{\frac{1.75}{3.14} + 0.29}{1 - 0.29 \cdot \frac{1.75}{3.14} \cdot 10.87} \right) = 111.77 \text{ N.m}$$

$$C_d = FD/2 \left( \frac{f - \tan \alpha}{1 + f \tan \alpha} \right)$$

$$C_d = 60.49 \cdot 10.87 / 2 \left( \frac{0.29 - \frac{1.75}{3.14}}{1 + 0.29 \cdot \frac{1.75}{3.14}} \right) = 75.61 \text{ N.m}$$

**CHAPITRE IV.**  
**GAMME D'USINAGE**

### IV.1. Définition d'une gamme d'usinage

Ce terme très général regroupe l'ensemble des informations, plus au moins détaillées, relatives à la réalisation d'une pièce. La conception d'une gamme d'usinage est une opération qui consiste à proposer une suite d'étapes nécessaires pour passer de la pièce brute à la pièce finie. Cette opération doit tenir compte de plusieurs paramètres tels que : la définition de la pièce à obtenir, la technique d'obtention de la pièce brute, le contexte de production, les moyens de production... Une gamme qui se limite à la définition des grandes étapes de fabrication est appelée macro-gamme. [20]

### IV.2. Principe de recherche des gammes de fabrication

#### IV.2.1. Définitions

Toute pièce mécanique évolue d'un état initial, correspondant à la pièce brute, vers un état final, représentatif du contrat de départ qu'est le dessin de définition. La valeur ajoutée représente l'ensemble des opérations (usinages, traitement...etc.) à effectuer.

**La gamme de fabrication** : est un document d'archive dans lequel sont consignées, de manière chronologique et globale, les différentes phases de la transformation d'un produit.

**Une phase** : représente l'ensemble des opérations effectuées à un même poste de travail.

**Une opération** : met en œuvre un seul des moyens dont est doté ce poste de travail. [21]

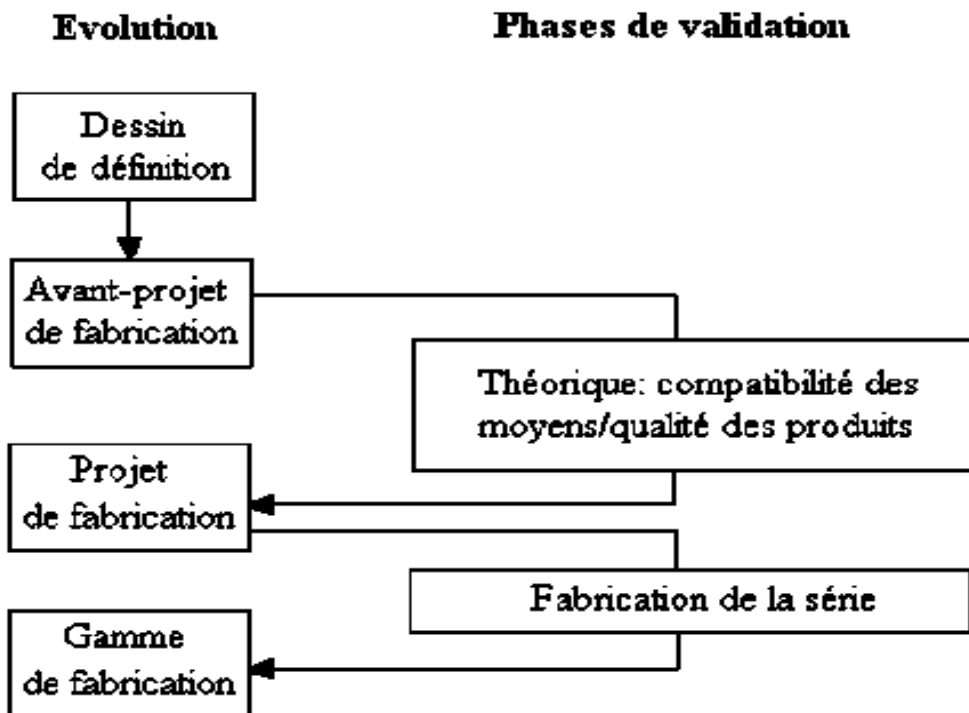


Figure IV.1. Chronologie de la démarche d'industrialisation.

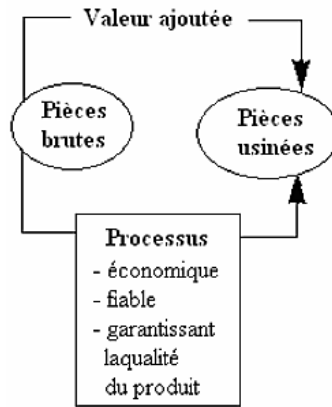


Figure IV.2. Evolution des produits.

### IV.3. Démarches d'élaboration des gammes de fabrication

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

- Le groupe des pièces cylindriques ;
- Le groupe des pièces prismatiques. [21]

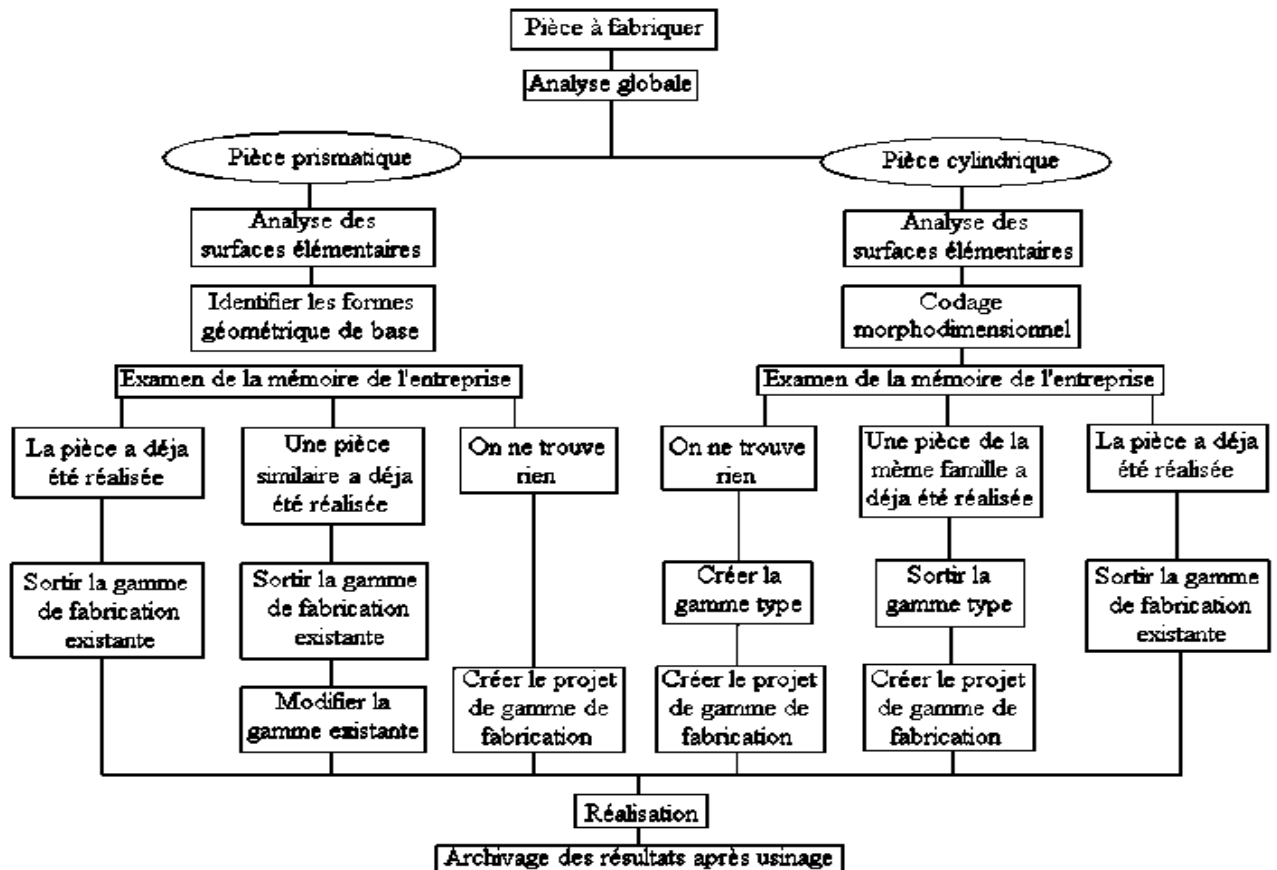


Figure IV.3. Démarches d'élaboration des gammes de fabrication.

### IV.4. Gamme de fabrication


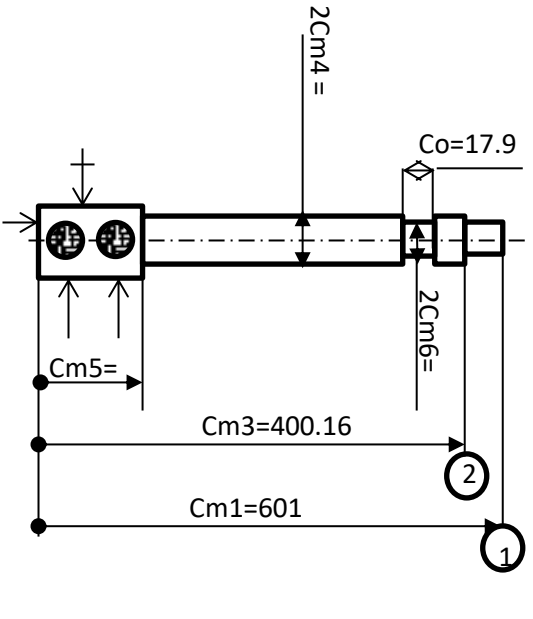
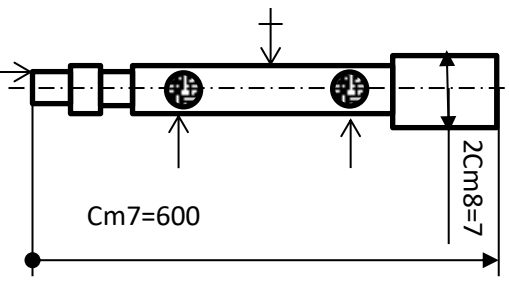
## Chapitre IV. Gamme d'usinage

### IV.4.1. Le Corps

phase	Désignation	Outillage/Poste	Croquis
100	Découpage du Brut	Scie mécanique Pied à coulisse	
200	<b>210 Tournage</b> 211 Dressage ① F 212 Chariotage ② en finition 213 Alésage ③ en finition Obtention : Cm1 = 2Cm2 =  <b>220 Tournage</b> 221 Dressage ④ F 222 Chariotage ⑤ F 2Cm5 = Cm4 =	Tour parallèle Outil de chariotage Outil de dressage Outil d'Alésage Pied a coulisse	
300	<b>310 Fraisage</b> 311 Taillage des Rainurés sur 3 plans obtention Cm6 = Cm7 = et Co =	Diviseur Universel Fraiseuse Universelle Fraise 3T, Φ =	
400	Contrôle Contrôle de l'état de surface	Marbre Pied a coulisse Etalons de Rugosité ou Rugosimetre	

## Chapitre IV. Gamme d'usinage

### IV.4.2. L'Axe

phase	Désignation	Outillage/Poste	Croquis
100	Découpage du Brut	Pied à coulisse	
200	<p><b>210 Tournage</b> 210 Dressa ①: Eb+Finition Obtention <math>Cm_1=601</math>, <math>Ra=1.6</math></p> <p>211 Chariotage ② et ③ Eb+F Obtention <math>2Cm_2=36</math> <math>Cm_3=400.16</math> <math>Ra=1.6</math></p> <p>212 Chariotage ④ et ⑤ Obtention <math>2Cm_4=66</math> <math>Cm_5=</math></p> <p>213 Rainurage: <math>C_0=17.91</math> <math>2Cm_6=53.96</math></p>	<p>Tour parallèle</p> <p>Outils : de Dressage de chariotage</p> <p>Pied a coulisse</p>	
	<p><b>220 Tournage</b> 221 Dressage Obtention <math>2Cm_7=600.55</math></p> <p>222 Chariotage ⑦ <math>2Cm_8=70</math> <math>Ra=1.6</math></p>	<p>Tour parallèle</p> <p>Pied a coulisse</p> <p>Outil a Dressage</p> <p>Outil chariotage</p>	
300	Contrôle	Pied à coulisse Rugometre	

# Conclusion

---

## Conclusion

Arrivée au terme du projet et au terme de notre dispositif d'étude pour la conception et la réalisation d'un dispositif de prise de pièce a parois minces déformable.

D'abord, il faut comprendre et définir les différentes étapes de conception du produit , puis identifie le problème de fabrication que notre dispositif adresse pour pouvoir atteindre l'objectif.

Ce dispositif sera un excellent ajout au domaine de la fabrication. Contribue à la diversification des travaux pratiques et des travaux recherche.

Nous avons parié de son objectif et du travail qu'il accomplit , car le programme de conception Solid Works nous a permis de nous occuper de la conception et de la conception de tous les composants de l'appareil.

Au final, nous regrettons de ne pas avoir pu l'accomplir sur le terrain, et nous espérons le faire à l'avenir.

## Bibliographie

- [1] - Said Zirmi, Henri Paris et Idir Belaidi, 'Conception de montage d'usinage: placement des éléments technologiques en contact avec pièce', Marseille, 24-28 aout 2009.
- [2] - B.Vieille, 'Mise en position en usinage', Conservatoire National des Arts et Métiers, France.
- [3] - D.Rouabhi Yousef, 'Cours Les cotes de fabrication', <https://elearning.univ-msila.dz>, 2021.
- [4] - Abdrrahim Benbouzid, 'Etude de Fabrication et Analyse d'Usinage en Productique Mécanique',
- [5] - D.Rouabhi Yousef, 'Cours Isostatisme', <https://elearning.univ-msila.dz>, 2021.
- [6] - Pierre Bordet, 'Modèles géométriques pour la maîtrise des spécifications en conception du couple produit-processus', Ecole normale supérieure de cachan, Février 2006.
- [7]- Zaid Zirmi, These, 'Cenception de montages d'usinage modulaire pour le fraisage', Institut National Polytechnique de Grenoble- INPG, 2010, Français.
- [8] - Finbar Smith, 'Piping Materials', An tSeirbhis Oideachais Leanùnaigh agus Scileanna Further Education and Training Authority, SOLAS 2014.
- [9] - 'How to Overcome Deformation in CNC Turning of Thin –Walled Parts', <http://yijnsolution.com/archives/4297,07/03/2022> 08:34.
- [10]- Stéphanie Cohen Assouline, 'Similation numérique de l'usinage à l'échelle macroscopique : prise en compte d'une pièce déformable ', Ecole Nationale Supérieur d'Arts et Métiers Centre de paris, Submitted on 22 Mars 2006.
- [11]- 'Improving thin –walled parts made by CNC Turning ', <https://www.cnclathing.com/guide/improving-thin-walled-parts-made-by-cnc-turning>, 07/03/2022 08:45.
- [12]- ' nalyse de plusieurs cause de deformation de pieces en alliage d'aluminium usinées ', [Oempartss.com/Industrie/nalyse\\_de\\_plusieurs\\_causes\\_de\\_d\\_formation\\_de\\_pi\\_ces\\_en\\_alliage\\_d\\_aluminium\\_usin\\_es\\_](http://Oempartss.com/Industrie/nalyse_de_plusieurs_causes_de_d_formation_de_pi_ces_en_alliage_d_aluminium_usin_es_), 12/14/21, 10 :15 AM.
- [13]- A.FERNANE , Mémoire MASTER ACADEMIQUE, 'ETUDE DES DEFAUTS DE FABRICATION LIES AUX FORCES DE SERRAGE' ,Promotion 2013.
- [14]- S. Schindler<sup>a,\*</sup>, M. Zimmermann<sup>b</sup>, J.C. Aurich<sup>b</sup>, P. Steinmann<sup>a</sup> , 'Modeling deformations of the workpiece and removal of material when turning', University of Erlangen Nuremberg, Chair of Applied Mechanics, Egerlandstr. 5, 91058 Erlangen City and Postcode, Germany, University of Kaiserslautern, Institute for Manufacturing Technology and Production Systems, Gottlieb-Daimler-Str., 67663 Kaiserslautern, Germany, 39-44, 2013.

- [15]- MOURET Laura, Mémoire, 'Analyse des déformations résiduelle dans des pièces composites fortement courbées fabriquées par rtm', école polytechnique de montréal, Avril 2012.
- [16]- OUAHBI Tariq, Thèse docteur, 'Modélisation du couplage hydro-mécanique en milieu fibreux déformable : application aux procédés d'infusion', Université du Havre, Soutenue le 1<sup>er</sup> décembre 2008.
- [17]- Bastien Toubhans. Thèse docteur, 'Caractérisation et modélisation des distorsions en tournage de pièces minces en Inconel 718', école nationale supérieur d'Arts et Métiers, soutenu le 14 décembre 2020.
- [18]- Adam Patalas<sup>1</sup>, Michal Regus<sup>1</sup>, katarzyna Peta<sup>1</sup>, 'Studies of thin-walled parts deformation by grip-ping force during turning process on an example of bearing ring', MATEC Web of Conferences 244, 02010 (2018), ITEP'18.
- [19]- 'DEMANDE DE BREVET EUROPEEN', Numéro de publication: 0 466 597 A1, Numéro de dépôt : 91401940.1, Date de dépôt : 11.07.91.
- [20]- Ramy Farid Harik, These, 'Spécification de fonctions pour un système d'aide à la génération automatique de gamme d'usinage : Application aux pièces aéronautiques de structure, prototype logiciel dans le cadre du projet RNTL USIQUICK', Université Henri Poincaré-Nancy I, 2007.
- [21]- Office de la Formation Professionnelle et la Promotion du Travail Direction Recherche et Ingénierie de la Formation, RESUME THEORIUE & GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES, MODULE3 : ANALYSE DE FABRICATION ET GAMME D'USINAGE (PARTIE 2), ROYAME DU MAROC.