

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU
FACULTÉ DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du diplôme du Master Académique en Génie Mécanique

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

**Conception et réalisation d'un moule pour
frittage d'éprouvettes plates en PTFE**

Encadreur :

M^r : DJEBALIS

Réalisé par :

M^r. BENMAZARI Ramzi

M^r. AISSAOUI Yani

Co-encadreur :

M^r : KHERFANE.O

Promotion : 2022/2023



REMERCIEMENTS

En premier lieu, on remercie ALLAH, nôtre créateur qui nous a offert la force le et courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur monsieur

DJEBALI .S et notre co-promoteur monsieur KHERFANE.O pour nos avoir conseillé,

dirigé pendant la réalisation de ce travail, et aussi pour nous avoir fait l'honneur de nous encadrer.

Nous remercions le personnel du hall technologie d'OUED AISSI, de nous avoir

facilité l'accès au hall ainsi l'équipe d'ingénieur et techniciens pour leurs aides et leurs orientations pendant la réalisation de ce travail.

Nous remercions aussi les responsables du laboratoire SDM pour leurs aides et orientations.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jury pour avoir accepté de jurer et examiner ce modeste travail.

Enfin nous remercions également tous les membres de nos familles et tout l'ensemble des enseignants du département génie mécanique et tous nos collègues de l'université pour leurs soutiens.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents.

Ma sœur.

Tous ceux qui m'ont aidé à mener ce travail.

Tous mes amis sans exception.

BENMAZARI RAMZI



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Chers parents.

Mes frères Amine et Saïd.

Ma très chère tante.

Aux membres de la famille.

Tous ceux qui m'ont aidé à mener ce travail.

Tous mes amis sans exception.

AISSAOUI Yani



SOMMAIRE

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction général...	1
Chapitre I : Notions théoriques sur les matières plastiques	
I- Généralités sur les matières plastiques	4
I-1- Historique	4
I-2- Définition de la matière plastique	5
I-3- Les différents groupes de matières plastiques	5
I-3-1- Thermoplastiques	5
I-3-2- Thermodurcissables	6
I-4- Propriétés et utilisation des matières plastiques	7
II- Les polymères	8
II-1- Généralités- Définition	8
II-1-1- Définition	8
II-1-2- Polymérisation	8
II-2- Les différents types de polymères	9
II-2-1- Les homopolymères	9
II-2-2- Les copolymères	10
II-3- Propriétés des polymères	10
II-3-1- Propriétés structurales	10
II-3-2- Les propriétés physiques	12
II-3-3- Les propriétés mécaniques	12
II-3-4- Les propriétés électriques	13
II-3-5- Les propriétés chimiques	14
II-3-6- les propriétés thermiques	14
II-4- Le comportement thermique des polymères	15
II-4-1- Température de transition vitreuse	16
II-4-2- Etat vitreux	16

SOMMAIRE

II-4-3-Zone de transition	17
II-4-4-Zone caoutchoutique.....	17
II-4-5-Zone fluide.....	17
III-1-Introduction	18
III -2- Propriétés physiques et chimiques du PTFE	18
III -3- Méthodes de synthèse du PTFE.....	18
III-4-Applications du PTFE	19
III-5-Avantages et inconvénients du PTFE.....	19
III - 6-Conclusion.....	20

Chapitre II : Frittage

I. Introduction.....	22
II- Principes du frittage.....	22
II-1- Processus du frittage	22
II-2- Facteurs influençant le frittage.....	23
II-3-Température et durée de frittage	23
II-3-2- Pression de compactage.....	24
II-3-3- Granulométrie des poudres	25
III- Avantages et applications du frittage dans l'industrie	25
III -2-Applications du frittage	25
IV- Frittage du PTFE.....	27
IV-1-Caractéristiques du PTFE pour le frittage	27
IV-1-1- Propriétés physiques et chimiques du PTFE.....	27
IV-1-2- Comportement du PTFE pendant le frittage	27
IV-2- Contraintes et limitations liées au frittage du PTFE.....	27
IV-3- Équipements et techniques de frittage.....	28
IV-3-1- Équipements de frittage	28

SOMMAIRE

IV-3-2- Techniques de frittage	28
IV-4- Caractérisation des pièces frittées en PTFE	29
IV-4-1- Analyse de la structure	29
IV-4-2- Caractérisation des propriétés mécaniques	29
IV-4-3- Caractérisation des propriétés physiques	29
IV-5- Contrôle de la qualité et problèmes potentiels	30
IV-5-1- Méthodes de contrôle de la qualité.....	30
IV-5-2- Problèmes potentiels lors du frittage du PTFE	30
V- Conclusion.....	30

Chapitre III : Conception du dispositif

I-Introduction	32
II- Problématique.....	32
III- Objectif.....	33
VI-Cahier de charge fonctionnel.....	33
VI-1-Spécifications générales du moule	33
VI-2-Conception du moule.....	33
VI-3-Contrôle du vide	34
VI-4-Durabilité et résistance à l'usure	34
VI-5-Normes de sécurité	34
VI-6-Documentation et support	34

Chapitre IV : Réalisation du dispositif

II. Gamme d'usinage	43
III. Etablissement d'un processus d'usinage	44
IV. Méthode d'analyse du dessin de définition	44
IV.1 Inventaire des surfaces a usinés	44
IV.2 Contraintes d'usinage	44
IV.3 Contraintes géométrique et dimensionnelles	45

SOMMAIRE

IV.4 L'analyse des spécifications d'état de la surface	45
IV.5 Contraintes technologiques.....	45
IV.6 Contraintes économiques.....	45
V. Analyse des surfaces élémentaires.....	45
V.1 Tableau des opérations élémentaires	45
V.2 Tableau des regroupements élémentaires.....	46
V.3 Tableau d'analyse des contraintes élémentaires	46
V.4 Tableau des niveaux	46
V.5 Tableau de regroupement des phases	46
VI. Description des opérations de gamme optimale.....	46
VII. Le choix des machines.....	47
VIII. Le choix des outils.....	47
IX. Fabrication.....	48
IX.1 Matériels utilisés	48
X- Gamme d'usinage de la pièce.....	51
X-1 Gamme d'usinage de la pièce Couvercle du moule de frittage... ..	52
X-2 Gamme d'usinage de la pièce Piston... ..	58
X-3 Gamme d'usinage de la pièce Presse... ..	64
X-4 Gamme d'usinage de la pièce Enceinte moule de frittage... ..	71
X-5 Gamme d'usinage de la pièce Enceinte... ..	78
X-6 Gamme d'usinage de la pièce Porte empreinte femelle.....	85
X-7 Gamme d'usinage de la pièce Porte empreinte male.....	95

Chapitre V: Mode d'emploi des moules

-Première Partie : Compactage à froid	105
I-Mode d'emploi du moule d'éprouvettes plates par compactage à froid et sous vide	105
I-1-Introduction.....	105
II-Liste des pièces fournies.....	105

SOMMAIRE

III- Préparation	106
IV- Assemblage du moule	107
V- Processus de compactage	111
VI- Fin du processus de compactage	112
VII- Retrait des pièces	112
VIII- Nettoyage et entretien.....	114
DEUXIEME PARTIE : Frittage (Traitement thermique)	115
1-Mode d'emplois du moule de traitement thermique d'éprouvettes plate.....	115
I-1-Introduction.....	115
II- Liste des pièces fournis.....	115
III- Préparation	116
IV- Assemblage du moule	116
V- Préparation du four.....	116
VI- Traitement thermique	117
VII- Refroidissement et retrait.....	117
VIII- Retrait des éprouvettes	118
XI-Nettoyage et entretien du moule	118
Conclusion générale	120

Mises en plan

Références bibliographiques



**LISTE DES TABLEAUX
ET FIGURES**

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I :

- Figure I-1:** Type de sollicitation mécanique 13
- Figure I-2:** Evolution du module d'élasticité d'un polymère amorphe en fonction de la température (macromolécules monodimensionnelles)..... 15
- Figure I-3:** la courbe represente la variation de volume spécifique en fonction de temperature.16

Chapitre III :

- Figure III-1:** Représentation de l'éprouvette 1BA et 1BB selon la norme ISO-1-2012 35
- Figure III-2:**Modélisation géométrique de l'enceinte avec le logiciel Solidworks 37
- Figure III-3:** Modélisation géométrique de la presse avec le logiciel Solidworks 37
- Figure III-4:** Modélisation géométrique de la pièce male avec le logiciel Solidworks..... 38
- Figure III-5:** Modélisation géométrique de la pièce femelle avec le logiciel Solidworks..... 38
- Figure III-6:** Modélisation géométrique du porte empreinte male avec le logiciel Solidwork 39
- FigureIII-7:** Modélisation géométrique du porte empreinte femelle avec le logiciel Solidworks.....39
- Figure III-8:** Modélisation géométrique de la pièce rectangulaireavec le logiciel Solidworks 40
- FigureIII- 9:** Modélisation géométrique du pistonavec le logiciel Solidworks. 40
- Figure III-10:** Modélisation géométrique de l'enceinte frittage avec le logiciel Solidworks. 41
- Figure III-11:** Modélisation géométrique du couvercle avec le logiciel Solidworks. 41

Chapitre IV :

- Figure IV-12:** schéma directeur de la gamme d'usinage 44

Chapitre V :

- Figure V-1:**Pièces du moule..... 105
- Figure V-2:** Préparation de la poudre..... 106
- Figure V-3:** Peser la poudre sur la balance 107

Liste des figures

Figure V-4: Représentation de la phase B	107
Figure V-5: Représentation de la phase C	108
Figure V-6: Représentation de la phase D	108
Figure V-7: Représentation de la phase E	109
Figure V-8: Représentation de la phase E	109
Figure V-9: Représentation de la phase G	110
Figure V-10: Représentation de la phase H	110
Figure V-11: Représentation de la phase 1	111
Figure V-12: Représentation de la phase 2	111
Figure V-13: Représentation de la phase 3	112
Figure V-14: Représentation de la phase 2	113
Figure V-15: Représentation de la phase 3	114
Figure V-16: Echantillon obtenu après le processus de compactage.....	115
Figure V-17: Pièces du moule du frittage	116
Figure V-18: Représentation de la phase préparation	117
Figure V-19: Représentation de la phase préparation du four	118
Figure V-20: représentation de la phase refroidissement et retrait.....	118

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I-1: Propriétés et utilisation des matières plastiques	7
---	---



Introduction générale

Introduction générale

L'ingénierie mécanique occupe une place de choix dans le domaine de la fabrication mécanique et productique, où l'innovation et la recherche continuelle sont essentielles pour répondre aux besoins croissants de l'industrie. Dans ce contexte, l'utilisation des polymères techniques tels que le polytétrafluoroéthylène (PTFE) revêt une importance particulière en raison de leurs propriétés uniques et polyvalentes. Le PTFE est reconnu pour sa résistance chimique, sa faible friction et son excellente stabilité thermique, ce qui en fait un matériau de choix dans diverses applications industrielles, allant des composants électriques aux produits alimentaires.

La présente étude s'inscrit dans le cadre du développement de procédés de fabrication avancés visant à exploiter les avantages du PTFE. Le frittage est une méthode de consolidation des poudres qui permet d'obtenir des pièces solides et durables à partir de matériaux en particules. Cela offre des opportunités pour façonner le PTFE de manière précise et reproductible, ouvrant ainsi la voie à une gamme diversifiée d'applications industrielles.

Le présent projet a pour but de nous initier aux polymères et à leurs techniques d'élaboration, particulièrement le PTFE et son frittage, à élaborer une conception en utilisant la méthode intuitive et à réaliser cette conception.

L'objet de l'étude est un moule de frittage d'éprouvettes plates de traction conformes aux normes ISO utilisées pour la caractérisation mécanique de matrices en PTFE vierge et chargé de lubrifiant solide, domaine d'intérêt de l'équipe de recherche CSDM (Caractérisation Statique et Dynamique des Matériaux) du LMSE (Laboratoire de Mécanique, Structures et Energétique).

Ce mémoire se structure autour de cinq chapitres, chacun abordant des aspects clés de notre étude :

Chapitre 1 : Généralités sur les Polymères. Ce chapitre pose les bases en présentant les polymères en général et se penche sur les propriétés spécifiques du PTFE. Une compréhension approfondie de la structure moléculaire et des caractéristiques intrinsèques des polymères est essentielle pour la suite de l'étude.

Chapitre 2 : Le Frittage. Dans ce chapitre on s'intéresse au processus de frittage en tant que méthode de transformation des matériaux en particules en pièces solides cohérentes.

Introduction générale

Les mécanismes du frittage et les paramètres influençant le processus seront discutés, en mettant en évidence comment ces aspects sont spécifiquement appliqués au PTFE.

Chapitre 3 : Conception des Moules Dans ce chapitre, nous abordons la conception des moules de compactage et de frittage pour la production d'éprouvettes en PTFE conformes aux normes ISO. Des considérations telles que la géométrie des moules, les tolérances et les caractéristiques spécifiques du matériau sont prises en compte pour garantir des résultats optimaux.

Chapitre 4 : Réalisation (Gamme de Fabrication). Le chapitre 4 est dédié à l'analyse de fabrication des différentes pièces composant l'ensemble et à la réalisation concrète des moules conçus. Il traite de la sélection des matériaux, des techniques de fabrication et des étapes de production nécessaires pour transformer le concept de moule en une réalité tangible.

Chapitre 5 : Mode d'Emploi des Moules. Ce dernier chapitre est consacré à l'utilisation pratique des moules de compactage et de frittage. Les instructions détaillées pour l'utilisation correcte et sécurisée des moules seront fournies, permettant ainsi une production d'éprouvettes de traction conformes aux spécifications des normes.



**Chapitre I : Notions théoriques
sur les matières plastiques**

I- Généralités sur les matières plastiques

I-1- Historique

L'histoire des polymères remonte à l'Antiquité, où l'on utilisait déjà des matériaux naturels comme le caoutchouc, la soie et le cuir. Cependant, ce n'est qu'au XIXe siècle que les scientifiques ont commencé à s'intéresser à la structure des polymères et à la possibilité de synthétiser des polymères artificiels. En 1832, le chimiste suédois Jöns Jacob Berzelius a introduit le terme "polymère" pour décrire les composés organiques formés de répétitions de motifs structuraux. Cependant, il a fallu attendre la fin du XIXe siècle pour que les premiers polymères synthétiques soient développés. En 1907, le chimiste belge Leo Baekeland a inventé la Bakélite, le premier polymère synthétique à être produit à grande échelle. Ce matériau a été largement utilisé pour la fabrication d'objets ménagers, de pièces automobiles et électriques, et pour d'autres applications. Dans les décennies suivantes, de nombreux autres polymères ont été développés et commercialisés, tels que le nylon (1938), le polyéthylène (1939), le polystyrène (1941) et le polypropylène (1951). Grâce aux avancées technologiques, des propriétés sans précédent telles que la transparence et la résistance aux chocs peuvent être obtenues sur le même matériau. Les polymères industriels ne sont généralement pas utilisés à l'état pur, mais mélangés avec d'autres substances miscibles ou non miscibles pour obtenir les propriétés recherchées.

Au-delà de la simple utilisation de nouveaux matériaux, les polymères ont permis de développer de nouvelles technologies, telles que la fibre optique, les implants médicaux et les matériaux composites. Aujourd'hui, les polymères sont omniprésents dans notre vie quotidienne, des objets les plus simples aux technologies les plus avancées. Ils sont utilisés dans la production de plastiques, de caoutchouc, de fibres textiles, de peintures, d'adhésifs, de revêtements et bien plus encore.

La production mondiale de polymères a considérablement augmenté au cours du XXe siècle, atteignant 100 millions de tonnes en 1995 et 260 millions de tonnes en 2007. [1]

Cependant, cette production a un impact sur l'environnement. La durabilité des matières plastiques est de plus en plus préoccupante. Des recherches sont actuellement en cours pour développer des alternatives durables aux matériaux plastiques conventionnels, tels que les polymères bioourcés ou les composites. [2]

I-2-Définition de la matière plastique

Les plastiques, également connus sous le nom de polymères thermoplastiques, sont des matériaux synthétiques fabriqués à partir de grosses molécules appelées polymères. Les polymères sont de grosses molécules formées à partir de petites molécules répétitives appelées monomères. Les monomères peuvent être des composés organiques tels que des alcènes, des alcynes ou des esters. Les plastiques peuvent être produits à partir de monomères naturels tels que les protéines, les sucres et les acides gras, mais la plupart des plastiques sont fabriqués à partir de matières premières telles que le pétrole, le gaz et le charbon.

Les matières plastiques sont des matériaux très polyvalents et largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et commerciales. Les matières plastiques sont légères, résistantes, durables et faciles à façonner en différentes formes et tailles. Elles sont utilisées dans de nombreuses applications telles que les emballages, les jouets, les meubles, les pièces automobiles et les équipements médicaux. [3]

I-3-Les différents groupes de matières plastiques

Les matières plastiques peuvent être classées en trois catégories principales : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. [4]

I-3-1- Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères qui peuvent être ramollis à des températures élevées et reformés à plusieurs reprises sans perdre leurs propriétés. Ils représentent la catégorie la plus importante de matières plastiques et sont largement utilisés dans de nombreux secteurs industriels. [5]

Exemples de thermoplastiques :

- Polyéthylène (PE)
- Polypropylène (PP)
- Polystyrène (PS)
- Polycarbonate (PC)
- Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)
- Acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS)

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

I-3-2- Thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des polymères qui durcissent définitivement lorsqu'ils sont chauffés. Ils sont souvent utilisés pour des applications où la résistance aux hautes températures est requise. [5]

Exemples de thermodurcissables :

- Époxy
- Polyuréthane
- Polyester
- Phénolique
- Mélanine

I-3-3- Élastomères

Les élastomères sont des polymères qui ont des propriétés élastiques et peuvent retrouver leur forme initiale après avoir été déformés. Ils sont souvent utilisés pour des applications qui nécessitent une grande flexibilité et une résistance aux chocs. [6]

Exemples d'élastomères :

- Caoutchouc naturel
- Caoutchouc de silicone
- Polyuréthane thermoplastique (TPU)
- Éthylène-propylène-diène monomère (EPDM)

Cette classification est utile pour comprendre les propriétés et les applications des différents types de plastiques, mais il existe également d'autres façons de classer les matières plastiques, en fonction de leur origine, de leur structure chimique, etc.

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

I-4-Propriétés et utilisation des matières plastiques

Tableau I-1: Propriétés et utilisation des matières plastiques

matières plastiques	Propriétés	Domaine d'utilisation
1. Polyéthylène (PE)	-Densité faible. -Résistant à la corrosion et à l'usure.	-Utilisé pour les sacs, les bouteilles, les tuyaux et les films d'emballage.
2. Polypropylène (PP)	-Densité relativement faible. -Résistant à la chaleur et à l'humidité.	-Utilisé pour les fibres textiles, les contenants alimentaires et les pièces automobiles.
3. Polychlorure de vinyle (PVC)	-Résistant à la corrosion, à l'humidité et aux produits chimiques.	-Utilisé pour les tuyaux, les revêtements de sol, les panneaux de signalisation et les meubles.
4. Polystyrène (PS)	-Transparent ou opaque.	-Utilisé pour les contenants alimentaires, les couvercles et les boîtes.
5. Polycarbonate (PC)	-Transparent et résistant aux chocs.	-Utilisé pour les vitres de sécurité, les lunettes et les lentilles de caméras.
6. Acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS)	-Résistant aux chocs et à la chaleur.	-Utilisé pour les pièces automobiles, les jouets et les appareils électroménagers.
7. Polyamide (PA)	-Résistant à l'usure, à la chaleur et à l'humidité.	-Utilisé pour les fibres textiles, les pièces automobiles et les brosses à dents.

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

8. Polytéraphthalate d'éthylène (PET)	-Transparent et résistant à la corrosion.	-Utilisé pour les bouteilles d'eau, les emballages alimentaires et les fibres textiles.
9. Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	-Transparent et résistant aux chocs.	- Utilisé pour les écrans d'ordinateurs, les vitrines et les lentilles de caméras.
10. Polychlorure de vinyle chloré (CPVC)	-Résistant à la chaleur et aux produits chimiques.	-Utilisé pour les tuyaux d'eau chaude et les revêtements de sol.

Il est important de noter que ces plastiques ont des propriétés et des utilisations variées, et que certains peuvent être utilisés pour plusieurs applications. Ce tableau donne un aperçu général des propriétés et des utilisations courantes des principales matières plastiques. [7].

II-Les polymères

II-1-Généralités-Définition

II-1-1- Définition

Les polymères sont des macromolécules constituées d'un grand nombre de répétitions de petites unités appelées monomères. Les propriétés physiques et chimiques des polymères dépendent de la nature des monomères utilisés, de la manière dont ils sont liés et de la structure de la chaîne polymérique. Les polymères peuvent être synthétisés par différentes méthodes telles que la polymérisation en chaîne, la polycondensation, la polymérisation par ouverture de cycle, etc. Les caractéristiques des polymères peuvent être modifiées en ajoutant des agents de renforcement, des agents ignifuges, des plastifiants et des colorants. [6]

II-1-2- Polymérisation

La polymérisation est un processus de réaction chimique dans lequel les monomères, qui sont des molécules de petite taille, réagissent ensemble pour former une molécule de

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

polymère plus grande et plus complexe. Cette réaction se produit généralement en présence d'un catalyseur, qui accélère la réaction. La polymérisation peut être effectuée de plusieurs manières, notamment par polymérisation en chaîne, polymérisation par étapes et polymérisation par ouverture de cycle.

La polymérisation est utilisée pour produire une grande variété de polymères, notamment les plastiques, les caoutchoucs, les fibres et les résines. Les polymères obtenus par polymérisation peuvent avoir des propriétés physiques et mécaniques différentes en fonction des monomères utilisés et des conditions de réaction. Les polymères sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et commerciales, telles que les emballages, les matériaux de construction, les produits électroniques et les équipements médicaux. [8]

II-2- Les différents types de polymères

Il existe plusieurs types de polymères, chacun ayant des propriétés et des applications spécifiques.

Les polymères peuvent être classés en différents types selon leur origine, leur structure, leurs propriétés et leurs applications. Ils peuvent être naturels (par exemple, les protéines, l'ADN, les polysaccharides), synthétiques (par exemple, le polyéthylène, le PVC, le polystyrène) ou semi-synthétiques (par exemple, la cellulose nitrate, la rayonne). Ils peuvent également être classés en fonction de leur structure, tels que les polymères linéaires, ramifiés, en étoile ou en réseau.

Les polymères ont une large gamme d'applications, allant des plastiques et des fibres textiles aux matériaux de construction et aux produits pharmaceutiques. Ils sont largement utilisés dans l'industrie automobile, l'emballage, l'électronique, l'aérospatiale, etc. [9]

II-2-1- Les homopolymères

Les homopolymères sont des polymères constitués d'un seul type de monomère répété en chaîne. Ils ont des propriétés physiques et chimiques uniformes, ce qui les rend utiles dans diverses applications industrielles telles que la fabrication de films plastiques, de tuyaux et de pièces automobiles.

II-2-2- Les copolymères

Les copolymères sont des polymères constitués de deux ou plusieurs types de monomères différents. Les copolymères peuvent être classés en fonction de la distribution des monomères dans la chaîne polymère, tels que les copolymères en bloc, les copolymères greffés, et les copolymères statistiques. Les copolymères présentent souvent des propriétés physiques et chimiques différentes de celles des homopolymères, ce qui les rend utiles dans de nombreuses applications telles que les adhésifs, les revêtements et les matériaux composites.

II-3- Propriétés des polymères

II-3-1-Propriétés structurales

La microstructure des polymères est la structure moléculaire et supramoléculaire à l'échelle microscopique. Elle peut avoir un impact significatif sur les propriétés mécaniques, optiques, thermiques et électriques des polymères.

La microstructure peut être décrite en termes de la configuration de la chaîne, de la régularité de la séquence, de la distribution des masses molaires et de la cristallinité. Les techniques d'analyse couramment utilisées pour étudier la microstructure comprennent la spectroscopie infrarouge, la diffraction des rayons X, la calorimétrie différentielle à balayage, la microscopie électronique et la résonance magnétique nucléaire.

La configuration de la chaîne se réfère à la conformation tridimensionnelle adoptée par la chaîne polymère. Les polymères peuvent avoir des chaînes linéaires, ramifiées, réticulées, en étoile ou en blocs. La régularité de la séquence se réfère à la manière dont les monomères sont disposés le long de la chaîne, ce qui peut affecter la cristallinité et les propriétés mécaniques du polymère. La distribution des masses molaires se réfère à la répartition des masses molaires des chaînes polymères dans une population donnée, ce qui peut influencer les propriétés rhéologiques et mécaniques. La cristallinité se réfère à la quantité et à la qualité de la structure cristalline présente dans le polymère, qui peut avoir une influence significative sur la stabilité thermique, la résistance mécanique et les propriétés optiques. [10]

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

II-3-1-a- Les polymères amorphes

Les polymères amorphes sont des polymères qui ne présentent pas de structure cristalline ordonnée à l'échelle macroscopique. Leur structure est plutôt désordonnée et aléatoire, ce qui les rend généralement transparents ou translucides. Les polymères amorphes sont souvent utilisés dans des applications où la transparence, la flexibilité et la résistance aux chocs sont des propriétés importantes. Voici quelques exemples de polymères amorphes :

- Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) : Le PMMA, également connu sous le nom de plexiglas, est un polymère thermoplastique transparent, résistant aux chocs et facilement transformable. Il est souvent utilisé pour les vitrages, les panneaux d'affichage, les lentilles optiques et les jouets.
- Polycarbonate (PC) : Le PC est un polymère thermoplastique transparent, résistant aux chocs, aux rayures et aux températures élevées. Il est utilisé dans des applications telles que les lentilles de sécurité, les verres de lunettes, les abat-jours et les pièces automobiles.
- Polystyrène (PS) : Le PS est un polymère thermoplastique transparent et rigide qui peut être transformé en un matériau transparent. Il est souvent utilisé pour les emballages alimentaires, les jouets et les ustensiles de cuisine.
- Polytéraphthalate d'éthylène (PET) : Le PET est un polymère thermoplastique transparent, résistant à la chaleur et à la dégradation. Il est utilisé pour les bouteilles en plastique, les films d'emballage et les fibres textiles.

La structure des polymères amorphes est souvent caractérisée par leur température de transition vitreuse (T_g). La T_g est la température à laquelle le polymère passe d'un état vitreux rigide à un état caoutchouteux souple en fonction de la température. Elle dépend de la nature de la chaîne polymère et de la présence de groupes latéraux ou d'additifs. Les propriétés des polymères amorphes peuvent être modifiées en jouant sur leur T_g .

II-3-1-b- Les polymères semi-cristallins

Les polymères semi-cristallins sont des matériaux qui possèdent à la fois une structure cristalline ordonnée et une structure amorphe désordonnée. Cette combinaison de structures donne aux polymères semi-cristallins des propriétés intéressantes telles que la résistance mécanique, la résistance à la chaleur et la rigidité.

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

La structure cristalline des polymères semi-cristallins est généralement constituée de régions cristallines, également appelées lamelles cristallines, qui sont séparées par des régions amorphes. Les lamelles cristallines sont formées par des chaînes polymériques enchevêtrées et alignées dans une direction préférentielle. Les régions amorphes sont composées de chaînes polymériques désordonnées.

Les propriétés des polymères semi-cristallins dépendent de la proportion de la structure cristalline et de la structure amorphe. Par exemple, une plus grande proportion de structure cristalline peut donner des propriétés mécaniques plus élevées, tandis qu'une plus grande proportion de structure amorphe peut donner des propriétés optiques plus élevées.

Les polymères semi-cristallins sont utilisés dans une grande variété d'applications, notamment dans les emballages alimentaires, les textiles techniques, les matériaux composites et les dispositifs médicaux.

II-3-2-Les propriétés physiques

Les polymères peuvent être classés en fonction de leur état physique en quatre types, selon leur arrangement moléculaire.

- L'état amorphe est caractérisé par l'absence d'ordre prévisible dans les arrangements moléculaires.

- L'état amorphe orienté, quant à lui, présente des arrangements moléculaires orientés dans la même direction.

- L'état cristallin est caractérisé par un arrangement organisé et compact des chaînes moléculaires, décrit par son réseau et son motif, et présentant une rigidité supérieure à celle de l'état amorphe.

- L'état semi-cristallin combine des zones amorphes et un arrangement organisé. Les polymères sont généralement classés comme amorphes ou semi-cristallins. [11]

II-3-3- Les propriétés mécaniques

Les polymères présentent une grande variété de propriétés mécaniques, notamment la résistance à la traction, la ténacité, la flexibilité et la résistance à la fatigue. Ces propriétés sont influencées par divers facteurs, tels que la composition chimique, la structure moléculaire, la température et la contrainte appliquée.

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

La résistance à la traction est l'une des propriétés les plus importantes des polymères. Elle mesure la résistance d'un matériau à une contrainte de traction appliquée. Cette propriété dépend de la longueur des chaînes de polymères, de la distribution de masse moléculaire, de la cristallinité et de la température. Certains polymères, tels que les polyamides et les polyesters, ont une grande résistance à la traction, tandis que d'autres, comme le polyéthylène basse densité, ont une faible résistance à la traction.

La ténacité est une mesure de la résistance d'un matériau à la rupture en présence d'une fissure. Elle dépend de la structure moléculaire, de la distribution de masse moléculaire, de la cristallinité et de la température. Les polymères tels que le nylon et le polyacrylonitrile présentent une grande ténacité, tandis que d'autres, tels que le polystyrène, ont une faible ténacité.

La flexibilité est une propriété importante pour les polymères utilisés dans les applications d'emballage et de revêtement. Elle dépend de la longueur des chaînes de polymères, de la distribution de masse moléculaire et de la cristallinité. Les polymères tels que le polyéthylène basse densité sont très flexibles, tandis que les polymères tels que le polycarbonate sont rigides.

La résistance à la fatigue est la capacité d'un matériau à résister à la rupture sous des charges répétées ou cycliques. Cette propriété dépend de la structure moléculaire, de la cristallinité et de la température. Certains polymères, tels que le polyamide et le polyester, ont une grande résistance à la fatigue, tandis que d'autres, tels que le polystyrène, ont une faible résistance à la fatigue. [11]

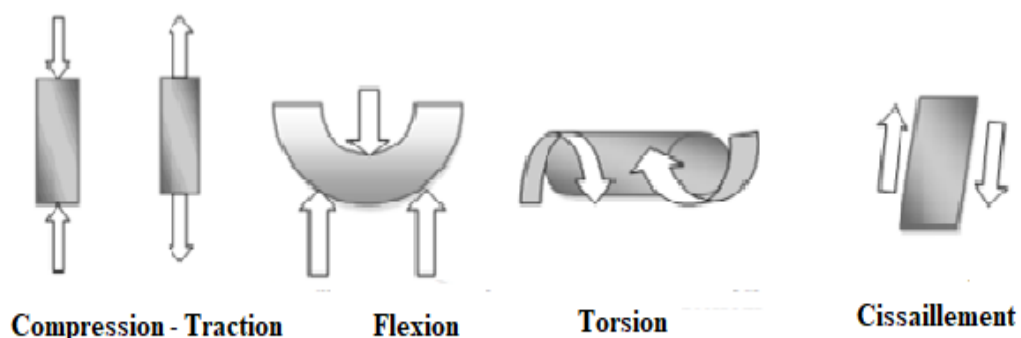


Figure I-1: Type de sollicitation mécanique [11]

II-3-4- Les propriétés électriques

Les polymères peuvent également posséder des propriétés électriques intéressantes pour diverses applications. Les propriétés électriques des polymères dépendent de la structure chimique, de la morphologie et de l'état physique du matériau.

Certains polymères sont des isolants électriques, comme le polyéthylène et le polypropylène, qui sont largement utilisés dans l'industrie électrique et électronique en raison de leur résistance élevée aux décharges électriques et à l'arc électrique. D'autres polymères, comme le polycarbonate et le polytétrafluoroéthylène (PTFE), possèdent des propriétés diélectriques élevées, ce qui les rend utiles pour les applications de condensateurs et de matériaux d'isolation électrique.

Les polymères peuvent également avoir des propriétés semi-conductrices ou conductrices, ce qui les rend utiles pour les applications électroniques. Par exemple, le polythiophène et le polypyrrole sont des polymères conducteurs utilisés dans les batteries et les capteurs.

Les polymères conducteurs peuvent également être utilisés pour la fabrication de diodes électroluminescentes organiques (OLED) dans les écrans d'affichage et l'éclairage.

Les polymères peuvent également être modifiés pour avoir des propriétés électriques spécifiques. Par exemple, des polymères avec des groupes ioniques peuvent être utilisés comme électrolytes dans les batteries et les cellules solaires. [12]

II-3-5- Les propriétés chimiques

Les propriétés chimiques des polymères comprennent leur réactivité, leur résistance aux produits chimiques et leur stabilité à long terme. Les polymères peuvent être altérés chimiquement par des acides, des bases, des solvants, des oxydants, des réducteurs, des agents de blanchiment, des radiations et d'autres réactifs. La résistance chimique des polymères est influencée par leur structure moléculaire, leur poids moléculaire et leur degré de cristallinité.

Les propriétés chimiques des polymères sont importantes pour de nombreuses applications industrielles, telles que les revêtements, les adhésifs, les composites, les matériaux d'emballage et les produits pharmaceutiques. Les recherches actuelles sur les propriétés chimiques des polymères se concentrent sur la synthèse de nouveaux polymères

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

résistants à des environnements hostiles, ainsi que sur l'élaboration de polymères biodégradables et respectueux de l'environnement. [13]

II-3-6- les propriétés thermiques

Les propriétés thermiques des polymères sont importantes pour leur utilisation dans différentes applications. Les polymères ont des températures de fusion et de transition vitreuse spécifiques qui déterminent leur comportement lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées. En général, les polymères ont des points de fusion relativement bas par rapport aux métaux et aux céramiques.

Les propriétés thermiques des polymères sont affectées par de nombreux facteurs, tels que la structure chimique, la masse moléculaire, la configuration et la présence de groupes fonctionnels. Les polymères présentent également des comportements différents lorsqu'ils sont chauffés rapidement ou lentement.

Les polymères peuvent également subir des modifications de leur structure lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées. Cette dégradation peut se produire sous forme de dépolymérisation, de craquage ou de réticulation. Les polymères réticulés peuvent résister à des températures plus élevées que les polymères non réticulés. [14]

II-4- Le comportement thermique des polymères

Les propriétés mécaniques des polymères sont fortement influencées par la température. En dessous de la température de transition vitreuse (T_g), la plupart des polymères sont dans un état vitreux, ce qui les rend rigides. Au-dessus de cette température, les chaînes macromoléculaires commencent à glisser les unes par rapport aux autres et le polymère devient mou, atteignant un état caoutchouteux. Ce comportement est viscoélastique, où les forces de Van Der Waal et la réticulation entre les chaînes servent de force de rappel lors de la déformation du matériau. Si la température continue d'augmenter, les polymères peu réticulés peuvent passer dans une phase d'écoulement visqueux, où les chaînes se désenchevêtrent. C'est ce comportement qui est exploité pour mettre en forme les matières plastiques.

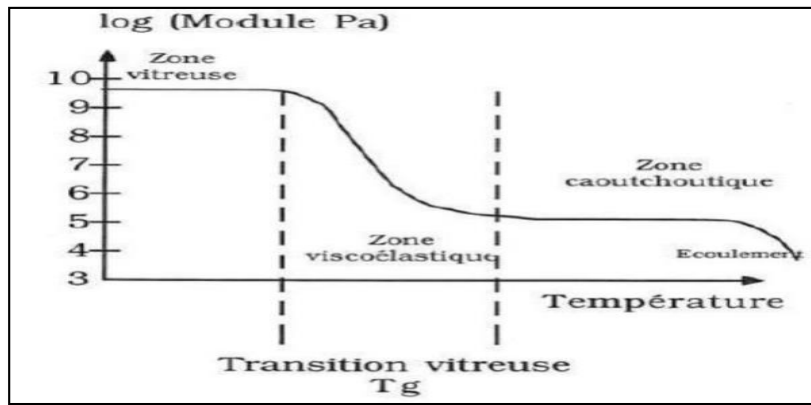


Figure I-2: Evolution du module d'élasticité d'un polymère amorphe en fonction de la température (macromolécules monodimensionnelles).[15]

II-4-1-Température de transition vitreuse

La majorité des polymères présentent une température de transition vitreuse qui marque la limite entre deux états fondamentaux : l'état vitreux et l'état caoutchouteux. Cette découverte a été faite pour la première fois sur des élastomères tels que le caoutchouc naturel, puis rapidement confirmée pour l'ensemble des polymères thermoplastiques. Cette transition est plus facilement observable sur les matériaux amorphes, car seules les parties amorphes du polymère sont concernées. Cela peut être illustré par des variations du volume spécifique en fonction de la température. Pour les polymères totalement amorphes, il y a un changement de pente net, et la température de transition vitreuse est conventionnellement définie comme l'intersection des deux pentes. En revanche, pour les polymères totalement cristallins, il n'y a pas de changement de pente jusqu'à la fusion, et donc pas de température de transition vitreuse.

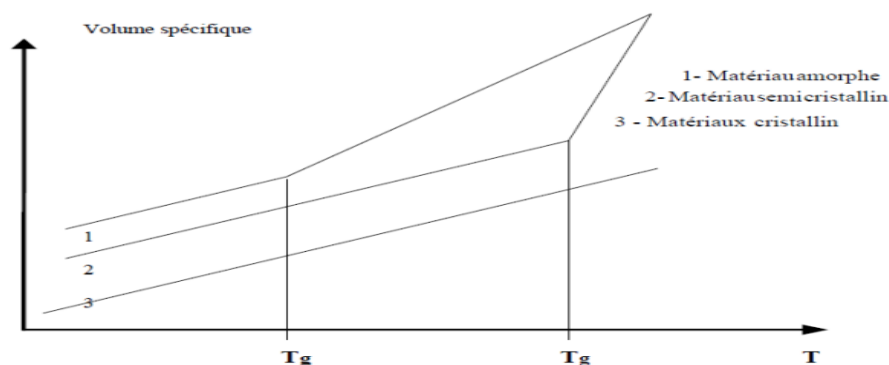


Figure I-3: la courbe représente la variation de volume spécifique en fonction de température. .[16]

II-4-2-Etat vitreux

A l'état vitreux, les mouvements moléculaires dans les polymères sont limités en raison de la rigidité de la structure désordonnée. Cela entraîne une faible déformation et un module de Young élevé. Le processus de déformation plastique ne peut être activé qu'à une température appelée température de transition ductile/fragile, qui est inférieure à la température de transition vitreuse. Le comportement viscoélastique ou viscoplastique du polymère dans l'état vitreux est caractérisé par une ductilité macroscopique variable en fonction de la température et de la vitesse.

II-4-3-Zone de transition

La zone de transition correspond à la relaxation vitreuse ou à la zone viscoélastique, qui marque le moment où des changements de conformation globale deviennent possibles, c'est-à-dire des mouvements coopératifs le long du squelette de la chaîne. À mesure que ces mouvements deviennent possibles, le module de Young diminue rapidement, entraînant une évolution rapide du comportement. [17]

II-4-4-Zone caoutchoutique

Dans la zone caoutchoutique, la température est suffisamment élevée pour permettre à la chaîne de prendre spontanément toutes ses conformations possibles en un temps très court, par rapport au temps caractéristique de la sollicitation. Cependant, la température est trop basse pour permettre un désenchevêtrement à grande échelle des chaînes. En conséquence, le matériau semble souple, mais l'écoulement est interdit. Si le matériau n'est pas réticulé, il devient visco-hyper-élastique, avec des processus élastiques cédant la place à une élasticité entropique à grande déformation. Le plateau caoutchoutique d'un polymère semi-cristallin est plus haut et plus long que celui d'un polymère amorphe. Ces deux points expliquent pourquoi un semi-cristallin, tel que le PP ou le PE, peut être utilisé en dessous de sa transition vitreuse, tandis qu'un amorphe, tel que le PS, sera limité à son plateau vitreux. Pour utiliser un amorphe au-delà de sa transition vitreuse, il faut le réticuler. Un polymère semi-cristallin reste donc visco-élastique, avec un durcissement structurel et/ou un endommagement, sur son plateau caoutchoutique. [17]

II-4-5-Zone fluide

La zone fluide d'un polymère se caractérise par la probabilité élevée de désenchevêtrement des chaînes. Les chaînes sont alors indépendantes les unes des autres sur le plan statique, ce qui facilite leur déplacement lorsqu'elles sont sollicitées. Le comportement du matériau devient alors principalement visqueux, mais reste viscoélastique. Cela est dû à la présence de forces de rappel élastiques qui s'opposent à la déformation. [17]

III-PTFE (Polytétrafluoroéthylène)

III-1-Introduction

Le PTFE est un polymère fluorocarboné découvert en 1938 par le chimiste américain Roy J. Plunkett. C'est l'un des polymères les plus importants de la famille des fluoropolymères et il est connu sous le nom commercial de Téflon, marque déposée de la société DuPont. Le PTFE est largement utilisé dans l'industrie en raison de ses propriétés uniques, notamment une excellente résistance chimique, thermique et électrique.

Le PTFE est un polymère semi-cristallin, constitué d'une longue chaîne de tétrafluoroéthylène (TFE), une molécule composée de quatre atomes de fluor et d'un atome de carbone. Cette chaîne polymère est presque complètement linéaire, avec des atomes de fluor fortement électro-négatifs qui entourent chaque atome de carbone. Cette structure lui confère une stabilité thermique exceptionnelle, ainsi qu'une résistance chimique supérieure à celle de nombreux autres polymères. [18]

III -2- Propriétés physiques et chimiques du PTFE

Le PTFE se caractérise par une faible énergie de surface, une forte résistance aux solvants et aux produits chimiques, ainsi qu'une grande stabilité thermique. Il a également une très faible friction, une résistance à l'usure élevée et une bonne isolation électrique. En outre, il est non-inflammable et résiste aux rayonnements ionisants. Cependant, il a une faible résistance mécanique et il est relativement coûteux par rapport à d'autres polymères.

La faible énergie de surface du PTFE signifie qu'il est très difficile de mouiller ou d'adhérer à sa surface. Cette propriété le rend utile pour les revêtements antiadhésifs, les joints d'étanchéité et les membranes de filtration. Sa résistance chimique supérieure lui permet de

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

résister à une large gamme de solvants, d'acides et de bases. En raison de sa stabilité thermique, le PTFE peut être utilisé à des températures allant jusqu'à 260°C. [19]

III -3- Méthodes de synthèse du PTFE

La synthèse du PTFE se fait par polymérisation radicalaire de tétrafluoroéthylène (TFE) en phase gazeuse ou en solution. La polymérisation en phase gazeuse est la méthode la plus courante, car elle est plus économique et moins complexe que la polymérisation en solution. Dans cette méthode, le PTFE est introduit dans un réacteur avec un initié radicalaire, tel que le peroxyde de benzoyl ou le peroxyde d'azobis, à des températures élevées et sous pression. La réaction de polymérisation se produit ensuite à la surface des particules de PTFE qui se forment et se déposent sur les parois du réacteur.

La polymérisation en solution implique la dissolution du TFE dans un solvant approprié, tel que le tétrahydrofurane, et la polymérisation se produit ensuite dans la solution. Cette méthode est généralement utilisée pour produire des polymères de PTFE avec une plus grande pureté ou des propriétés spécifiques. Cependant, elle est plus coûteuse et plus complexe que la polymérisation en phase gazeuse. [20]

III-4-Applications du PTFE

Le PTFE est largement utilisé dans l'industrie pour une grande variété d'applications en raison de ses propriétés uniques. Il est principalement utilisé pour la fabrication de revêtements antiadhésifs pour des ustensiles de cuisine, des poêles, des casseroles et des moules. Le PTFE est également utilisé dans la fabrication de joints d'étanchéité, de pièces mécaniques, de films et de feuilles pour l'emballage alimentaire, de tuyaux pour la transmission de fluides corrosifs, de membranes de filtration, de revêtements résistants à la corrosion, de câbles électriques et d'isolants. [21]

III-5-Avantages et inconvénients du PTFE

Le PTFE a de nombreux avantages en raison de ses propriétés uniques, mais il présente également quelques inconvénients. Les avantages comprennent une excellente résistance chimique, thermique et électrique, une faible friction, une bonne isolation électrique, une résistance à l'usure élevée et une faible adhérence. Les inconvénients

Chapitre I:Notions théoriques sur les matières plastiques

comprennent une faible résistance mécanique, une résistance limitée aux rayonnements UV, une faible résistance aux chocs et une sensibilité à la pression.

En général, le PTFE est un polymère très utile pour de nombreuses applications, mais sa faible résistance mécanique limite son utilisation dans des applications où une grande résistance est requise. [22]

III - 6-Conclusion

Le PTFE est un polymère fluoré présentant des propriétés uniques telles qu'une résistance chimique, thermique et électrique élevée, une faible friction, une bonne isolation électrique et une résistance à l'usure élevée. Il est largement utilisé dans l'industrie pour une variété d'applications allant des revêtements antiadhésifs aux pièces mécaniques et électriques. Cependant, sa faible résistance mécanique limite son utilisation dans certaines applications.

Le développement de nouvelles méthodes de synthèse, telles que le frittage, pour produire des composites de PTFE avec d'autres matériaux ou pour améliorer les propriétés mécaniques du PTFE pourrait conduire à des utilisations plus étendues de ce polymère dans l'avenir.



Chapitre II : Frittage

Chapitre II : Frittage

I. Introduction

Le frittage est un processus de fabrication utilisé pour transformer des poudres en objets solides cohérents. Il consiste à chauffer les poudres à une température inférieure à leur point de fusion, permettant la liaison des particules pour former une structure solide.

Ce procédé est couramment utilisé dans l'industrie pour fabriquer des céramiques, des métaux et des poudres métalliques. Il est aussi largement utilisé dans des applications telles que l'impression 3D, où les poudres sont déposées couche par couche et ensuite frittées pour créer des objets solides.

Le frittage offre des avantages tels que l'amélioration des propriétés mécaniques et la capacité de produire des formes complexes. Cependant, il peut présenter des défis tels que la déformation et la porosité. Malgré cela, le frittage est largement utilisé dans diverses industries pour la production de pièces de haute qualité.

II- Principe du frittage

Le frittage est un processus de fabrication qui consiste à chauffer des particules de matériau à une température élevée sans les faire fondre complètement. Les principales étapes du frittage sont la préparation de la poudre, le compactage des particules, le chauffage, la densification et le refroidissement. Pendant le chauffage, les particules se lient les unes aux autres, formant une pièce solide et cohérente. Le processus de frittage améliore les propriétés des matériaux et est utilisé dans différentes industries. Les paramètres du frittage, tels que la température, la durée et la pression de compactage, peuvent varier en fonction du matériau utilisé.

II-1- Processus du frittage

Préparer la poudre : La première étape consiste à préparer la poudre à utiliser. Cela peut inclure la sélection de matériaux appropriés, la réduction de la taille des particules, le mélange de différents composants si nécessaire et l'ajout de liants ou de lubrifiants pour faciliter la consolidation ultérieure.

Formage de pièces : La poudre est généralement placée dans un moule ou un dispositif de formage pour amener la pièce à la forme souhaitée. Selon le matériau et la complexité de la pièce, différentes techniques peuvent être utilisées, telles que le pressage

Chapitre II : Frittage

uniaxial, le pressage isostatique à chaud (HIP), le moulage par injection ou la lithographie 3D.

Chauffage : Une fois la pièce formée, elle est chauffée à une température inférieure à son point de fusion dans un four ou un four à atmosphère contrôlée. La température et le temps de frittage dépendent des matériaux utilisés et des propriétés souhaitées de la pièce finale. Pendant le chauffage, les particules de poudre commencent à fusionner et à coller ensemble.

Coalescence et densification : Lorsque la température augmente, les particules de poudre commencent à se déformer et à s'étaler, favorisant la coalescence et la densification. Les forces capillaires, de diffusion et de surface jouent un rôle dans ce processus, rassemblant les particules et formant une structure solide.

Refroidissement et finition : Après la phase de frittage, la pièce est refroidie lentement pour éviter les contraintes thermiques excessives. Des opérations de finition peuvent être réalisées, telles que le meulage, le polissage ou le traitement thermique supplémentaire, pour obtenir les propriétés et les caractéristiques de surface finales souhaitées. [23]

II-2- Facteurs influençant le frittage

Le frittage est un processus de fabrication dans lequel des particules de matériau sont chauffées à une température élevée, mais en dessous de leur point de fusion, pour les fusionner et former une pièce solide. Plusieurs facteurs influencent le frittage, notamment la taille des particules, la température de frittage, la durée, la pression de compactage, la composition du matériau, l'atmosphère de frittage et la géométrie de la pièce. L'optimisation de ces facteurs est essentielle pour obtenir les propriétés souhaitées dans la pièce frittée. Le frittage est largement utilisé dans diverses industries pour produire des pièces solides et cohérentes à partir de poudres ou de particules préalablement compactées.

II-3-Température et durée de frittage

Les températures de frittage et les durées varient en fonction du matériau utilisé, des propriétés souhaitées et du processus spécifique. Voici quelques exemples de températures de frittage et de durées typiques pour certains polymères couramment frittés :

-Polyéthylène (PE) :

Température de frittage : généralement entre 100°C et 150°C

Chapitre II : Frittage

Durée de frittage : de quelques minutes à quelques heures, selon l'épaisseur et la taille de la pièce

-Polypropylène (PP) :

Température de frittage : environ 160°C à 180°C.

Durée de frittage : généralement de quelques minutes à quelques heures.

-Polyéthylène téréphtalate (PET) :

Température de frittage : généralement entre 200°C et 250°C.

Durée de frittage : de quelques minutes à quelques heures, en fonction de l'épaisseur de la pièce.

-Polytétrafluoroéthylène (PTFE) :

Température de frittage : typiquement entre 350°C et 400°C.

Durée de frittage : peut varier de quelques minutes à quelques heures, selon l'épaisseur de la pièce.

Il est important de noter que les températures et les durées de frittage peuvent varier en fonction de la composition spécifique du polymère, de la taille de la pièce et des propriétés souhaitées. [24]

II-3-2- Pression de compactage

La pression de compactage dans le frittage des polymères peut varier en fonction du matériau, de la géométrie de la pièce et des propriétés souhaitées. Voici quelques exemples de plages de pression de compactage utilisées dans le frittage des polymères :

-Polyéthylène (PE) :

Pression de compactage : généralement de 5 MPa à 30 MPa.

-Polypropylène (PP) :

Pression de compactage : typiquement de 10 MPa à 50 MPa.

-Polyéthylène téréphtalate (PET) :

Pression de compactage : varie en fonction du processus spécifique, généralement de 10 MPa à 50 MPa.

-Polytétrafluoroéthylène (PTFE) :

Pression de compactage : typiquement de 10 MPa à 50 MPa.

Il est important de noter que ces valeurs sont des exemples généraux et peuvent varier en fonction des caractéristiques spécifiques du polymère, du processus de frittage utilisé et des propriétés finales recherchées. [24]

Chapitre II : Frittage

II-3-3- Granulométrie des poudres

La granulométrie de la poudre peut varier en fonction de l'application particulière et des propriétés recherchées. Voici quelques exemples de gammes de tailles de particules couramment utilisées, telles que le PTFE :

-Poudres de PTFE standard :

Taille moyenne des particules : généralement de 5 à 500 micromètres.

Distribution de la taille des particules : peut varier en fonction du procédé de fabrication et de la spécification du fournisseur.

-Poudres de PTFE à faible friction (PTFE modifié) :

Taille moyenne des particules : généralement inférieure à 100 micromètres.

Distribution de la taille des particules : peut varier en fonction du procédé de fabrication et de la spécification du fournisseur.

Il est important de noter que la granulométrie peut avoir un impact sur les propriétés du PTFE, notamment sur la viscosité, la fluidité, la compacité et la densité du matériau. [25]

III- Avantages et applications du frittage dans l'industrie

III-1-Avantages du frittage

Le frittage permet de fabriquer des pièces de formes complexes avec une grande précision dimensionnelle.

Il peut être utilisé pour fabriquer des pièces à partir de matériaux qui ne peuvent pas être moulés ou usinés facilement.

Le processus de frittage peut améliorer la résistance, la durabilité et les propriétés thermiques des matériaux.

Le frittage permet de produire des matériaux à faible coût, car il utilise des poudres plutôt que des blocs massifs de matériau.

Il permet également la production en masse de pièces avec une qualité uniforme. [24]

III -2-Applications du frittage

Fabrication de composants électroniques, tels que des résistances, des condensateurs et des inductances.

Chapitre II : Frittage

Fabrication de céramiques techniques, telles que des turbines, des bougies d'allumage et des prothèses dentaires.

Fabrication de pièces métalliques, telles que des engrenages, des bagues et des paliers.

Production de poudres métalliques utilisées pour l'impression 3D et d'autres technologies de fabrication additive.

Fabrication de matériaux composites, tels que les carbures cémentés et les composites céramique-métal.

Fabrication de moules : Le frittage joue un rôle important dans la fabrication de moules, notamment dans l'industrie de la fonderie et de l'injection plastique. [24]

-Voici l'importance du frittage dans la fabrication de moules :

Fabrication de moules complexes : Le frittage permet de produire des moules de formes complexes qui seraient difficiles ou coûteux à obtenir avec d'autres méthodes de fabrication. Les poudres utilisées pour le frittage peuvent être moulées pour obtenir des géométries précises, ce qui facilite la réalisation de cavités, canaux et surfaces complexes dans les moules.

Haute résistance et durabilité : Les moules fabriqués par frittage peuvent avoir une résistance élevée, ce qui les rend durables et capables de résister aux contraintes thermiques, mécaniques et chimiques rencontrées lors du processus de moulage. Cela permet une utilisation prolongée des moules sans déformation ni usure excessive.

Personnalisation et prototypage rapide : Le frittage permet de produire des moules rapidement et à moindre coût, ce qui facilite la personnalisation et le prototypage rapide. Il offre la possibilité de fabriquer des moules sur mesure pour des applications spécifiques, ce qui est avantageux dans les industries où la production de petites séries ou de pièces uniques est requise.

Haute précision dimensionnelle : Le frittage permet d'obtenir une précision dimensionnelle élevée dans la fabrication des moules, ce qui se traduit par des pièces finales de haute qualité et une meilleure intégrité dimensionnelle. Cela est essentiel pour assurer des résultats de moulage précis et reproductibles. [26]

Chapitre II : Frittage

IV- Frittage du PTFE

IV-1- Caractéristiques du PTFE pour le frittage

IV-1-1- Propriétés physiques et chimiques du PTFE

Le polytétrafluoroéthylène (PTFE) présente un ensemble de propriétés physiques et chimiques uniques qui influencent son comportement lors du frittage. Ces caractéristiques comprennent :

Résistance chimique exceptionnelle : Le PTFE est connu pour sa résistance à de nombreux produits chimiques corrosifs, tels que les acides, les bases et les solvants. Cette propriété est essentielle pour assurer la stabilité chimique des pièces frittées en PTFE. [27]

Faible coefficient de frottement : Le PTFE est réputé pour son coefficient de frottement extrêmement bas, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications où la lubrification et la réduction de l'usure sont nécessaires. [28]

IV-1-2- Comportement du PTFE pendant le frittage

Le comportement du PTFE pendant le processus de frittage est influencé par plusieurs facteurs, notamment :

Transition de phase du PTFE : Le PTFE subit une transition de phase au cours du frittage, passant d'une phase cristalline à une phase amorphe. Cette transition affecte les propriétés mécaniques et thermiques de la pièce frittée. [29]

Taux de ramollissement et viscosité : Le PTFE présente un taux de ramollissement relativement bas et une viscosité élevée lorsqu'il est chauffé. Ces caractéristiques peuvent influencer la densification et la déformation du matériau pendant le frittage. [30]

IV-2- Contraintes et limitations liées au frittage du PTFE

Malgré ses avantages, le frittage du PTFE présente certaines contraintes et limitations qu'il est important de prendre en compte, notamment :

Sensibilité à la dégradation thermique : Le PTFE est sensible à la dégradation thermique à des températures élevées, ce qui peut entraîner une diminution des propriétés physiques et chimiques du matériau. [31]

Chapitre II : Frittage

Difficulté de densification : Le PTFE présente une densification relativement faible lors du frittage en raison de sa structure moléculaire particulière. Cela peut limiter la résistance mécanique et la compacité des pièces frittées en PTFE.

Risque de formation de pores : En raison de sa faible densification, le frittage du PTFE peut entraîner la formation de pores dans les pièces frittées. Ces pores peuvent avoir un impact sur les propriétés mécaniques et la durabilité des pièces. [24]

IV-3- Équipements et techniques de frittage

IV-3-1- Équipements de frittage

Four de frittage : Le four de frittage est l'équipement principal utilisé pour le frittage du PTFE. Les fours de frittage peuvent varier en taille, en température maximale, en atmosphère de traitement et en taux de chauffage/refroidissement. Les fours de frittage doivent être capables de fournir une température uniforme et contrôlée pour garantir la qualité du frittage.

Presse de frittage : Les presses de frittage sont utilisées pour appliquer une pression pendant le frittage. Les presses de frittage peuvent être hydrauliques ou électromécaniques et doivent être capables de fournir une pression uniforme sur la pièce à fritter.

Moules de frittage : Les moules de frittage sont utilisés pour donner une forme à la pièce à fritter. Les moules peuvent être en métal, en graphite ou en céramique. Les moules doivent être conçus pour résister aux températures de frittage et pour faciliter la libération de la pièce frittée. [24]

IV-3-2- Techniques de frittage

Frittage en phase solide : Le frittage en phase solide est la méthode la plus courante pour le frittage du PTFE. Cette méthode consiste à chauffer le matériau à une température juste en dessous de son point de fusion, de sorte qu'il se ramollisse et fonde légèrement, puis de le refroidir à une température inférieure à son point de fusion pour former la pièce frittée.

Frittage en phase liquide : Le frittage en phase liquide est une méthode alternative pour le frittage du PTFE. Cette méthode consiste à chauffer le matériau à une température supérieure à son point de fusion, de sorte qu'il fonde complètement, puis de le refroidir à une température inférieure à son point de fusion pour former la pièce frittée. [24]

Chapitre II : Frittage

IV-4- Caractérisation des pièces frittées en PTFE

IV-4-1- Analyse de la structure

Microscopie électronique à balayage (MEB) : La microscopie électronique à balayage est une technique d'imagerie puissante utilisée pour examiner la structure microscopique des pièces frittées en PTFE. Elle permet d'observer la morphologie, la porosité et la distribution des phases dans les échantillons. [32]

Diffraction des rayons X (DRX) : La diffraction des rayons X est une technique utilisée pour déterminer la structure cristalline des matériaux frittés en PTFE. Elle permet d'identifier les phases cristallines présentes et d'analyser les défauts de structure. [33]

IV-4-2- Caractérisation des propriétés mécaniques

Résistance à la compression : La résistance à la compression est une mesure importante des propriétés mécaniques des pièces frittées en PTFE. Elle peut être évaluée à l'aide d'une machine de compression, en appliquant une force axiale sur l'échantillon et en mesurant la déformation et la résistance à la compression. [34]

Résistance à la flexion : La résistance à la flexion est une autre caractéristique mécanique essentielle des pièces frittées en PTFE. Elle peut être évaluée en soumettant l'échantillon à une charge appliquée sur sa surface et en mesurant la déformation et la résistance à la flexion. [24]

IV-4-3- Caractérisation des propriétés physiques

Conductivité thermique : La conductivité thermique est une propriété physique importante des pièces frittées en PTFE, notamment pour les applications nécessitant une dissipation de chaleur. Elle peut être mesurée à l'aide de méthodes spécifiques telles que la méthode de la barre chaude ou la méthode du flux de chaleur. [35]

Résistance chimique : La résistance chimique est une caractéristique cruciale des pièces frittées en PTFE, en particulier en raison de la nature intrinsèquement chimiquement inerte du matériau.

Chapitre II : Frittage

IV-5- Contrôle de la qualité et problèmes potentiels

IV-5-1- Méthodes de contrôle de la qualité

Analyse dimensionnelle : L'analyse dimensionnelle est une méthode courante de contrôle de la qualité pour les pièces frittées en PTFE. Elle implique la mesure précise des dimensions et des tolérances des pièces frittées pour s'assurer qu'elles sont conformes aux spécifications requises. [36]

Analyse de la densité : L'analyse de la densité est une méthode utilisée pour évaluer la densité relative des pièces frittées en PTFE. Elle permet de vérifier si la densification du matériau a été réalisée de manière adéquate lors du processus de frittage. [24]

IV-5-2- Problèmes potentiels lors du frittage du PTFE

Porosité excessive : La porosité excessive est l'un des problèmes courants rencontrés lors du frittage du PTFE. Cela peut entraîner une faible résistance mécanique, une mauvaise étanchéité et des performances insuffisantes. Des études sont nécessaires pour identifier les causes de la porosité excessive et proposer des solutions pour l'améliorer.[37]

Déformation dimensionnelle : La déformation dimensionnelle peut se produire pendant le processus de frittage du PTFE en raison des changements de forme et de taille des particules. Une étude approfondie est nécessaire pour comprendre les facteurs contribuant à la déformation dimensionnelle et pour développer des techniques de minimisation appropriées. [24]

V- Conclusion

Le frittage est un processus de fabrication utilisé pour transformer des poudres en objets solides cohérents. Il implique le chauffage des poudres en dessous de leur point de fusion, ce qui permet leur liaison pour former une pièce solide. Le frittage offre des avantages tels que la consolidation des poudres, l'amélioration des propriétés mécaniques et la possibilité de produire des formes complexes.

Cependant, il présente des défis tels que la déformation, la porosité et la nécessité de contrôler les paramètres de température et de temps. Malgré cela, le frittage est largement utilisé dans des industries telles que l'automobile, l'aérospatiale et l'électronique pour produire des pièces solides avec des propriétés améliorées.



**Chapitre III : Conception du
dispositif**

CHAPITRE III : Conception du dispositif

I-Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la conception du moule de compactage et du moule de frittage et montrer les principales pièces les composant.

II-Problématique

Le frittage du polytétrafluoroéthylène (PTFE) est un procédé de fabrication couramment utilisé dans l'industrie pour produire des pièces en PTFE de haute qualité. Cependant, la conception et la réalisation d'un moule pour le frittage peut influencer considérablement les propriétés finales des pièces frittées et poser des défis.

Face à cette réalité, la problématique de recherche se concentre sur l'optimisation de la conception et de la réalisation du moule. Cette problématique soulève plusieurs questions clés qui méritent une attention particulière :

-Quelles sont les caractéristiques spécifiques du PTFE qui doivent être prises en compte lors de la conception du moule de frittage ? Le PTFE présente des propriétés uniques telles que sa non-adhérence, sa faible conductivité thermique et sa résistance chimique élevée. Comment ces caractéristiques influencent-elles la conception du moule ?

-Quelles sont les contraintes et les exigences de fabrication liées au frittage du PTFE qui doivent être prises en compte lors de la réalisation du moule ? Le frittage du PTFE implique des conditions de température et de pression spécifiques. Comment ces contraintes influencent-elles la conception du moule et quelles sont les techniques de fabrication adaptées?

-Comment optimiser la géométrie du moule pour assurer une densification uniforme et minimiser les défauts tels que la porosité ? Quelles sont les stratégies de conception qui favorisent la distribution uniforme de la chaleur et la réduction des contraintes internes ?

La résolution de ces problématiques permettra d'améliorer la conception et la réalisation des moules pour le frittage du PTFE, ce qui contribuera à l'obtention de pièces frittées de haute qualité, aux propriétés mécaniques, thermiques et tribologiques optimisées. Cela ouvrira également la voie à de nouvelles applications et développements dans le domaine

CHAPITRE III : Conception du dispositif

de la fabrication de pièces en PTFE.

III-Objectif

Notre objectif est de définir les spécifications et les exigences du moule de compactage sous vide destiné à la fabrication d'éprouvettes de traction en PTFE à l'aide d'un alliage d'aluminium. Le moule doit permettre un compactage homogène du matériau et assurer la production de pièces de haute qualité, conformes aux spécifications requises, et la réalisation d'un autre moule pour le frittage des pièces obtenu dans un four.

VI-Cahier de charge fonctionnel

VI-1-Spécifications générales du moule

- Le moule doit être fabriqué en utilisant un alliage d'aluminium résistant à la chaleur et à l'usure, adapté aux températures élevées impliquées dans le processus de compactage sous vide.
- Les dimensions du moule doivent être compatibles avec la taille et la forme des pièces à fabriquer.
- La surface interne du moule doit être lisse et sans défauts pour garantir un démoulage facile des pièces finales.

VI-2-Conception du moule

- Le moule doit être conçu de manière à faciliter le processus de compactage sous vide du PTFE. Il doit intégrer des canaux de distribution de la pression et de l'aspiration, permettant une répartition uniforme de la pression sur toute la surface de la pièce et une évacuation efficace des gaz.
- Le moule doit être conçu pour permettre un accès facile lors du remplissage en poudre et de l'extraction des éprouvettes.
- Le moule doit permettre un assemblage facile (montage, démontage).

CHAPITRE III : Conception du dispositif

VI-3-Contrôle du vide

- Le moule doit être équipé d'un système de contrôle du vide efficace, capable de maintenir une pression de vide stable et précise pendant tout le processus de compactage.

-Le système de contrôle du vide doit être facile à utiliser et à ajuster en fonction des exigences spécifiques du processus.

VI-4-Durabilité et résistance à l'usure

-Le matériau utilisé pour la fabrication du moule doit être durable et résistant à l'usure, afin de garantir une durée de vie prolongée du moule et une production continue de pièces de haute qualité.

-Des traitements de surface appropriés peuvent être appliqués pour améliorer la résistance à l'usure et la durabilité du moule.

VI-5-Normes de sécurité

-Le moule doit être conçu et fabriqué conformément aux normes de sécurité en vigueur pour assurer la sécurité des opérateurs et minimiser les risques potentiels liés au processus de compactage sous vide.

VI-6-Documentation et support

Un manuel d'utilisation détaillé du moule, comprenant les instructions d'assemblage, les procédures d'utilisation et d'entretien, doit être fourni.

Conception des moules

Pour la conception des composantes de notre moule de compactage et du moule du frittage en général nous avons utilisé le logiciel SolidWorks.

Ce logiciel est utilisé par des concepteurs, des ingénieurs, des étudiants et d'autres professionnels pour concevoir des pièces, des assemblages, et des mises en plan complexes. La fabrication des pièces dépend de :

- La tâche à effectuer ;

CHAPITRE III : Conception du dispositif

- Moyens de fabrication ;
- Matériaux à utiliser ;
- Les formes des pièces à concevoir doivent permettre un bon fonctionnement du moule.

Choix de la forme de l'éprouvette

Le choix méticuleux de la forme d'éprouvette est une étape fondamentale dans notre étude sur la conception et la réalisation de moules pour le frittage du polytétrafluoroéthylène (PTFE). Conformément aux directives établies dans la norme ISO 527-1-2012 1BA, cette démarche assure la cohérence, la comparabilité et la validité de nos résultats de tests mécaniques.

La norme ISO 527-1-2012 1BA offre un cadre rigoureux pour les essais de traction sur des échantillons en polymères, garantissant ainsi que les caractéristiques mécaniques sont évaluées de manière uniforme et reproductible. Notre choix de la forme d'éprouvette en accord avec cette norme permet de bénéficier des avantages de la méthodologie standardisée, assurant que nos résultats sont pertinents non seulement pour notre étude, mais aussi pour les comparaisons avec d'autres travaux de recherche et de développement.

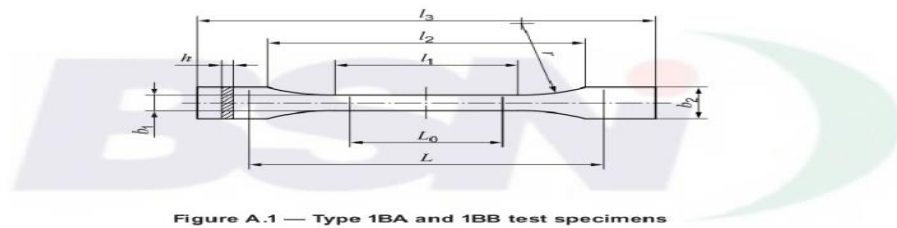


Figure A.1 — Type 1BA and 1BB test specimens

Table A.1 — Dimensions of type 1BA and 1BB test specimens

		Dimensions in millimetres	
Specimen type		1BA	1BB
l_3	Overall length	≥ 75	≥ 30
l_1	Length of narrow parallel-sided portion	$30,0 \pm 0,5$	$12,0 \pm 0,5$
r	Radius	≥ 30	≥ 12
l_2	Distance between broad parallel-sided portions	58 ± 2	23 ± 2
b_2	Width at ends	$10,0 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$
b_1	Width at narrow portion	$5,0 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,2$
h	Thickness	≥ 2	≥ 2
L_0	Gauge length	$25,0 \pm 0,5$	$10,0 \pm 0,2$
L	Initial distance between grips	$l_2 \begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$l_2 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$

NOTE: The specimen types 1BA and 1BB are proportionally scaled to type 1B with a reduction factor of 1:2 and 1:5, respectively, with the exception of thickness.

Figure III-1: Représentation de l'éprouvette 1BA et 1BB selon la norme ISO-1-2012

CHAPITRE III : Conception du dispositif

Choix des matériaux

En ce qui concerne les matériaux à partir des quels nous allons usiner les pièces de notre dispositif, on doit prendre en considération les caractéristiques thermiques et chimiques des matériaux à élaborer tels que la température de fusion, l'oxydation etc. Les caractéristiques mécaniques : résistance, durabilité. Pour cela on utilisé un alliage d'aluminium disponible au hall de technologie de Oued Aissi.

Propriétés physiques et mécaniques de l'alliage utilisé

Les propriétés de l'alliage utilisé sont proches de celles de l'aluminium, constituant principal de l'alliage (94% en masse).

Les propriétés physiques de l'aluminium :

- ✓ Température de fusion est de 660°C ; celle de l'alliage est au maximum de 580°C (alliages d'aluminium avec eutectique).
- ✓ Bonne conductivité thermique.

Les propriétés mécaniques :

- ✓ Module de Young 66,6 GPa, module de torsion 25 GPa.
- ✓ Coefficient de poisson (0.33-0.35).
- ✓ Bon rapport rigidité/densité.

Modélisation géométrique du dispositif

Nous avons conçu les pièces avec le logiciel SolidWorks et pour cela on a suivi 3 étapes essentielles :

- Création des pièces en 2D (2 dimensions) ;
- Création des pièces en 3D (3 dimensions) ;
- Assemblage des pièces ;

CHAPITRE III : Conception du dispositif

Modélisation géométriques des pièces du moule :

1-Moule de compactage :

❖ L'enceinte :

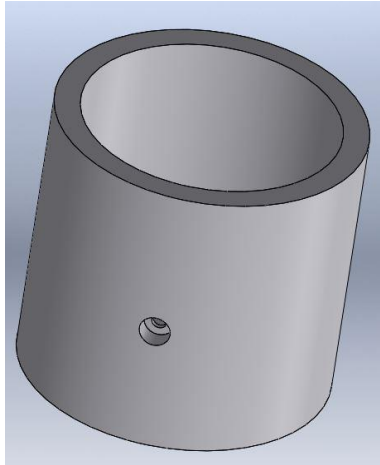


Figure III-2: Modélisation géométrique de l'enceinte avec le logiciel Solidworks

❖ La presse:

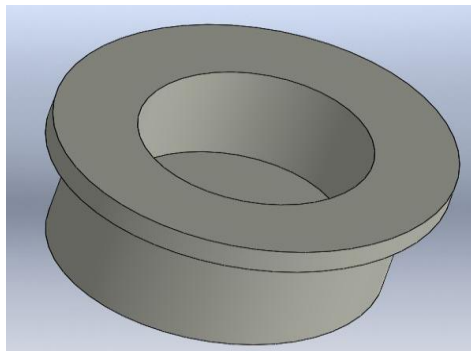


Figure III-3: Modélisation géométrique de la presse avec le logiciel Solidworks

CHAPITRE III : Conception du dispositif

❖ Pièce male :

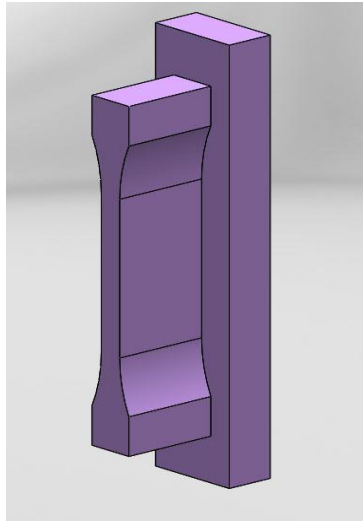


Figure III-4: Modélisation géométrique de la pièce male avec le logiciel Solidworks.

Pièce femelle

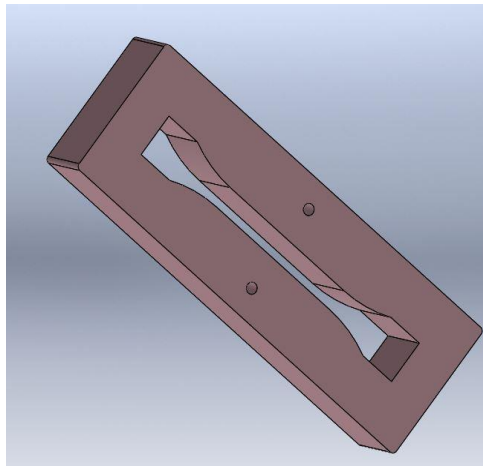


Figure III-5: Modélisation géométrique de la pièce femelle avec le logiciel Solidworks.

CHAPITRE III : Conception du dispositif

❖ Porte empreinte male:

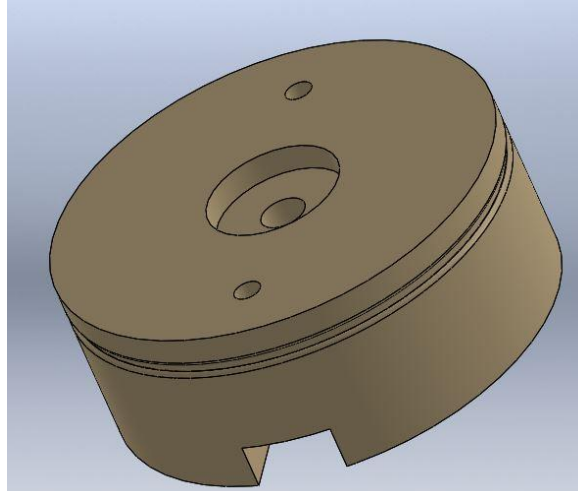


Figure III-6: Modélisation géométrique du porte empreinte male avec le logiciel Solidworks.

❖ Porte empreinte femelle :

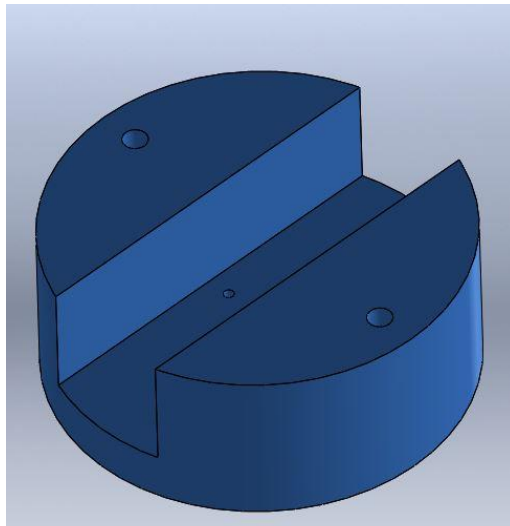


Figure III-7: Modélisation géométrique du porte empreinte femelle avec le logiciel Solidworks.

CHAPITRE III : Conception du dispositif

❖ Pièce rectangulaire :

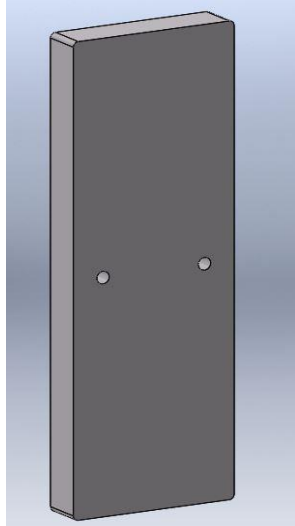


Figure III-8: Modélisation géométrique de la pièce rectangulaire avec le logiciel Solidworks.

❖ Piston:

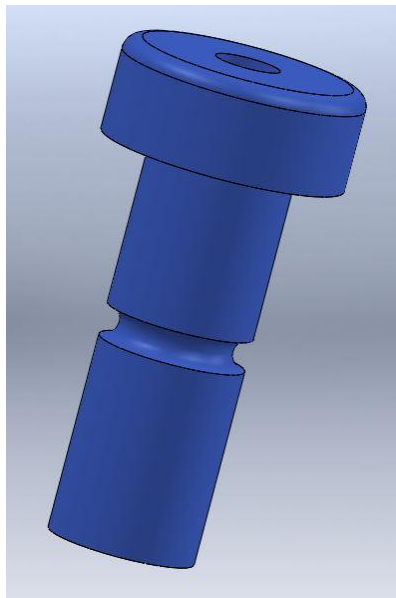


Figure III-9: Modélisation géométrique du piston avec le logiciel Solidworks.

CHAPITRE III : Conception du dispositif

2-Moule de frittage

❖ Enceinte frittage:

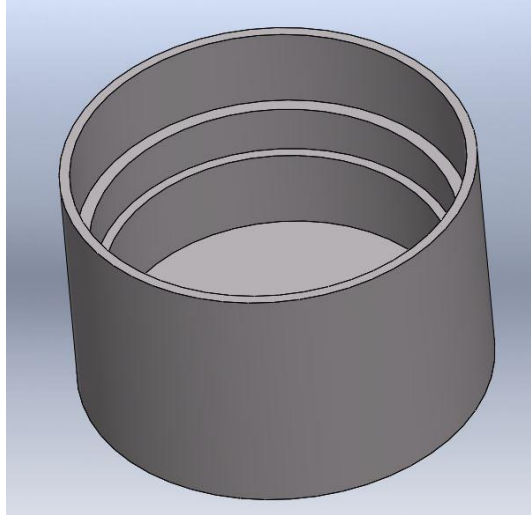


Figure III-10: Modélisation géométrique de l'enceinte frittage avec le logiciel Solidworks.

❖ Couvercle du moule :

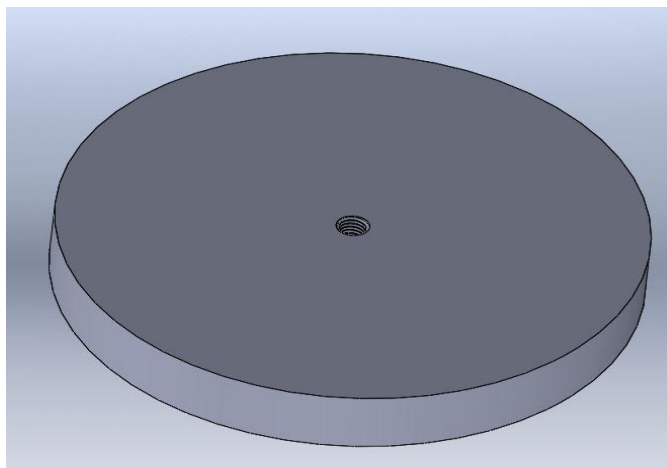


Figure III-11: Modélisation géométrique du couvercle avec le logiciel Solidworks.



CHAPITRE IV :
Implémentation du programme
sous step7

I. Introduction

La production de pièces mécaniques implique trois fonctions de base : la conception, la recherche, la préparation à la fabrication et la fabrication, qui sont respectivement assurées par le bureau d'étude, le bureau des méthodes et l'atelier de fabrication.

L'usinage est une famille de techniques permettant de créer des pièces en enlevant le copeau. Le principe de l'usinage est d'utiliser des machines-outils et des outils pour enlever de la matière afin que l'ébauche ait la forme et la taille souhaitées.

II. Gamme d'usinage

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

- a. Permettre l'identification de la pièce étudiée ;
- b. Présenter clairement la succession des phases ;
- c. Préciser les surfaces usinées ;

Rédaction d'une gamme d'usinage

- ✓ Numéro de gamme : il doit y avoir autant de gammes que de pièces dans l'ensemble à fabriquer.
- ✓ Identification de la pièce : d'après les indications du dessin, tels que : élément, ensemble, organe, état brut, matière, repère, nombre de pièce.
- ✓ Spécifications des phases :
- ✓ Numéro de phase : spécifier chaque phase d'après la gamme adoptée.
- ✓ Machine-outil : indiquer le type de machine.
- ✓ Croquis : schéma de la mise en position isostatique.
- ✓ Outillage : citer l'outillage spécial à utiliser.
- ✓ Contrôle : citer le matériel à utiliser.

III. Etablissement d'un processus d'usinage [32]

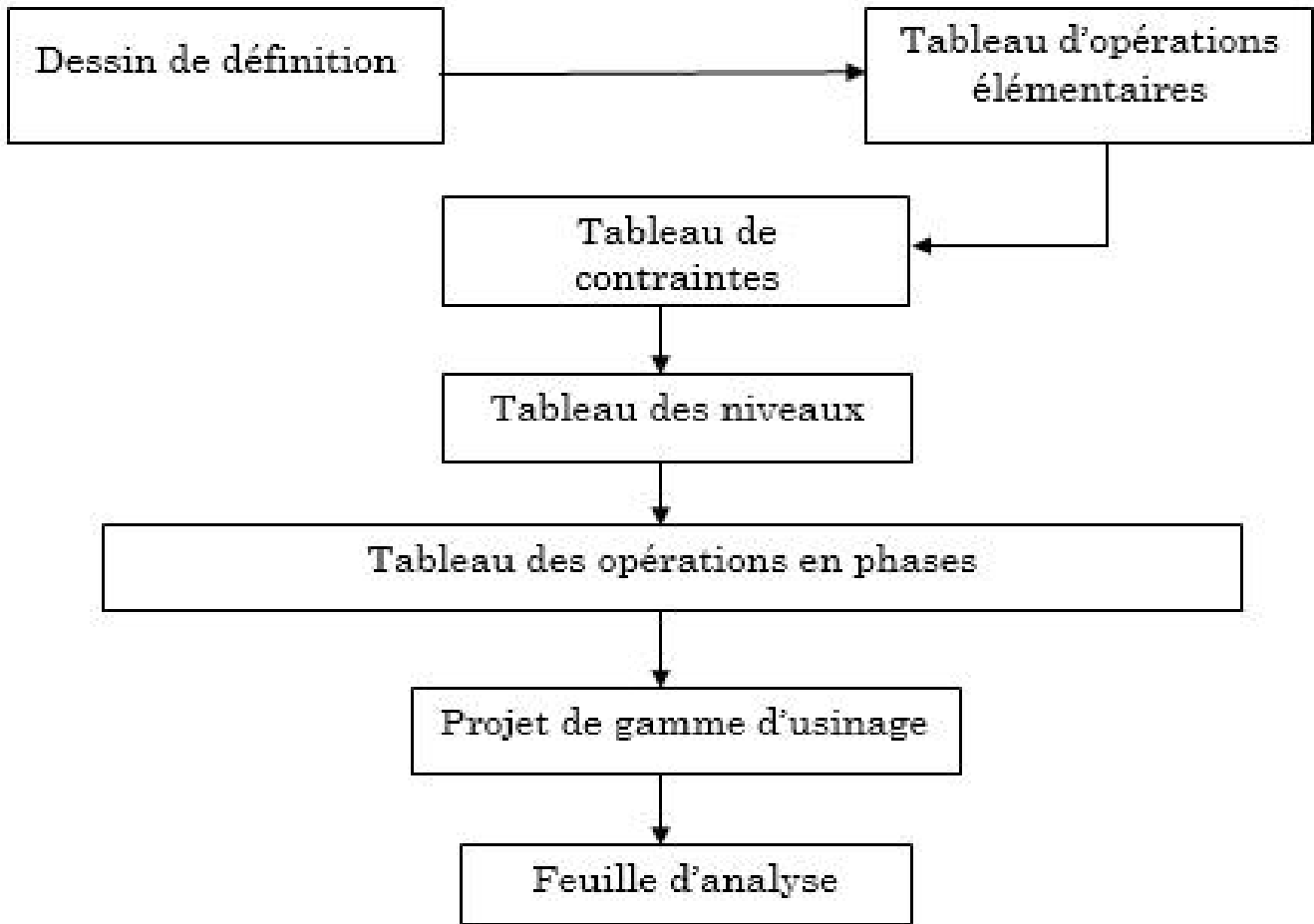


Figure IV-1: schéma directeur de la gamme d'usinage

IV. Méthode d'analyse du dessin de définition

IV.1 Inventaire des surfaces a usiner

Il faut un inventaire très détaillé des surfaces à usiner et les numéroter afin de les repérer, s'il y a un dessin de la pièce brute il pourra nous aider à recenser les surfaces a usiner [38].

IV.2 Contraintes d'usinage

Contraintes de cotation : Elles peuvent mettre en évidence des cotes fonctionnelles entre surfaces selon trois axes, les cotes fonctionnelles ont pour but de faire un choix rationnel des tolérances, et il faut porter une attention particulière aux tolérances

Chapitre IV :Réalisation du dispositif

associées à ces cotes s'appuyant sur l'analyse fonctionnelle [38].

IV.3 Contraintes géométrique et dimensionnelles

Il faut rechercher à priori tous les éléments géométriques et dimensionnels selon les trois axes OX, OY et OZ. Les contraintes le long d'un axe sont déterminées en déterminant toutes les spécifications dimensionnelles et géométriques de n'importe quelle surface sur l'axe et en considérant toutes les surfaces le long de l'axe. [38].

IV.4 L'analyse des spécifications d'état de la surface (contraintes d'état de surface)

(Contraintes d'état de surface), l'analyse de ces spécifications permet de déterminer le nombre d'opérations nécessaires pour obtenir chaque surface en termes d'intervalles de tolérance, de qualité et de précision. [38].

IV.5 Contraintes technologiques

En analysant toutes les surfaces à usiner, nous avons mis en évidence toutes les limitations techniques. Ces contraintes correspondent aux limites imposées par la puissance de la machine et les efforts de coupe [38].

IV.6 Contraintes économiques

Le cout de fabrication, la durée de l'usinage et l'usure des outils nous conditionnent à faire un choix précis sur la fabrication de façon à ce que le cout de revient soit minimisé.

V. Analyse des surfaces élémentaires

Les surfaces primitives sont des surfaces géométriques simples qui ne peuvent pas être décomposées géométriquement. En analysant les spécifications dimensionnelles de chaque surface à usiner composant la pièce, il est possible de réaliser un tableau afin de faire une première prédiction liée au nombre d'opérations à effectuer, en fonction du niveau de qualité requis. [38].

V.1 Tableau des opérations élémentaires

Afficher toutes les surfaces usinées, leurs relations dimensionnelles, les conditions de surface et les opérations à effectuer sur chaque surface. Différentes opérations de traitement sont :

- Ebauche (E) : c'est une opération qui permet d'enlever le maximum de matière afin de préparer les opérations suivantes.
- Demi-finition (F/2) : permet une bonne approche de la surface finale.
- Finition (F) : elle permet d'obtenir l'état de surface ainsi que la précision géométrique et dimensionnelle.
- Super finition (S.F) : cette opération est nécessaire dans le cas d'état de surface très précis.

V.2 Tableau des regroupements élémentaires

Présenter toutes les surfaces qui s'usinent en même temps.

V.3 Tableau d'analyse des contraintes élémentaires

Faire une analyse de toutes les contraintes d'antériorité.

V.4 Tableau des niveaux

Faire un tableau qui présente les niveaux d'exécution des surfaces à usiner.

V.5 Tableau de regroupement des phases

Faire un tableau qui présente les différentes phases à respecter lors de l'usinage [32].

VI. Description des opérations de gamme optimale

Toute pièce mécanique évolue d'un état initial (pièce primitive) à un état final représentant un schéma défini. Les valeurs augmentées représentent toutes les opérations.

- Champ d'application : est un document d'archives dans lequel les différentes phases de transformation du produit sont documentées globalement par ordre chronologique.

Chapitre IV :Réalisation du dispositif

- Phases : sont toutes les opérations réalisées sur un même poste (ex : toutes les opérations d'usinage réalisées sur un tour).

- Sous-phases : Fonctions des phases déterminées par le changement d'outils ou la sélection de différentes pièces.

- Opération : correspond à une opération simple, généralement indivisible, réalisée sur un poste de travail donné.

- **La gamme opératoire** : est un document d'archives dans lequel les différentes phases de transformation du produit sont documentées globalement par ordre chronologique.

- **La phase** : sont toutes les opérations réalisées sur un même poste (ex : toutes les opérations d'usinage réalisées sur un tour).

- **La sous-phase** : une fonction d'une phase déterminée par changement d'outillage ou de prise de pièces différents.

- **Opération** : correspond à une opération simple, généralement indivisible, réalisée sur un poste de travail donné.

VII. Le choix des machines

Afin de caractériser une machine de manière générale, il est nécessaire de considérer plusieurs informations, telles que :

- ✓ Type de machine : (tour, fraiseuse, etc.)
- ✓ Équipements standards et spéciaux pour machines.
- ✓ Utilisation et restrictions.
- ✓ Type de procédé : (tournage, fraisage, etc.)
- ✓ Enveloppes de travail.
- ✓ Précision du mouvement.
- ✓ -coût.

VIII. Le choix des outils

La surface usinée est créée par le mouvement relatif entre la pièce et l'outil de coupe. Le choix de ces outils de coupe dépend : du matériau à usiner, de la productivité, de la forme, de l'orientation, de l'ajustement, de la précision et de l'état de surface à réaliser.

Ces outils peuvent être caractérisés selon plusieurs paramètres :

- le type de l'outil : (foret, alésoir, fraise, etc.)

Chapitre IV :Réalisation du dispositif

- la géométrie de l'outil : elle est sélectionnée en se basant sur la géométrie de la forme à usiner et le matériau de l'outil.
- les dimensions de l'outil : longueur totale, diamètre, etc.
- le matériau de l'outil : en fonction de matériau de la pièce à usiner et sa dureté.
- assemblage de l'outil : fixation, etc. [38].

IX. Fabrication

IX.1 Matériels utilisés

La fabrication de tous les composants de notre dispositif a été effectuée sur ~~plus~~ machines disponibles au hall de technologie à Oued Aissi tels que le tour universel, faiseuse verticale et la scie mécanique, et des ateliers de fabrication mécanique privé tels que la machine CNC et la robofil.

- **Scie mécanique** : pour le découpage du brut.



- **Tour universel** : pour effectuer toutes les opérations de tournage des pièces (chariotage, dressage, perçage et la réalisation des portes empreinte, etc.). Les outils utilisés pour l'opération de tournage sont : outil à dresser, outil à aléser, outil à charioter, foret, foret à centrer, outil à fileter, outil à rainurer.

Chapitre IV :Réalisation du dispositif



- **Fraiseuse verticale** : pour les opérations de fraisage on a utilisé des fraises comme outil.



- **Robofil** : pour avoir la forme de l'éprouvette (partie femelle).



Figure IV-6 : Machine Robofil [39].

Chapitre IV :Réalisation du dispositif

- **Machine CNC** : pour avoir la partie male de l'éprouvette.

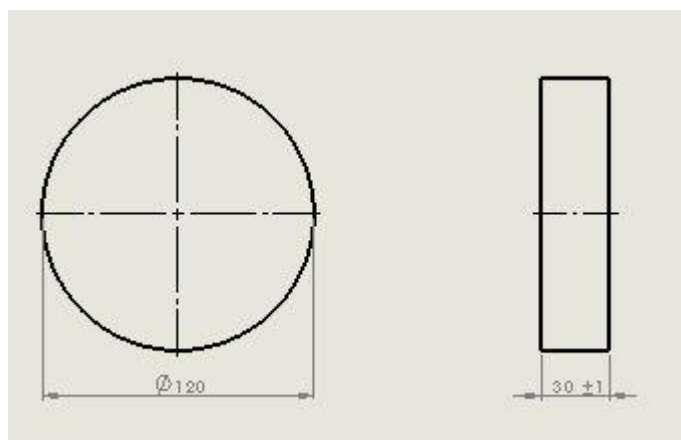


Figure IV-5 : Machine CNC 3 axes [40].

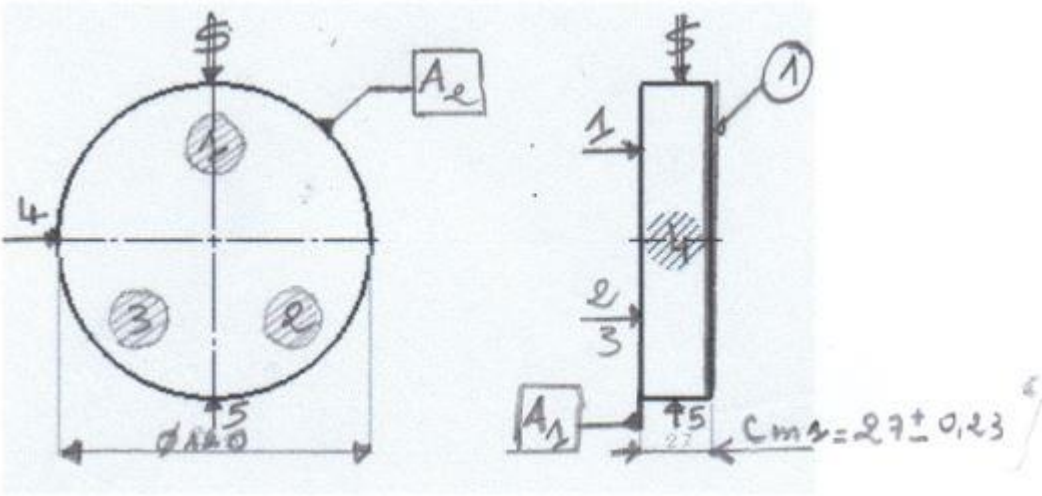
X-1-Gamme d'usinage du Couvercle du moule frittage

	FEUILLE DE GAMME		PHASE :100				
			MACH-OUT :Manuel				
PROJET : Moule compactage		NOMBRE :1		NOM :			
PIECE :Couvercle moule frittage		MATIERE :Alliage d'aluminium		DATE :			
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111-Débitage (Sciage) -Control de brut a- Ebavurer b-Contrôle des dimension de la pièce brute. $L_B = 30 \pm 1$ $D_e = \varnothing 120$	Lime	Règle				

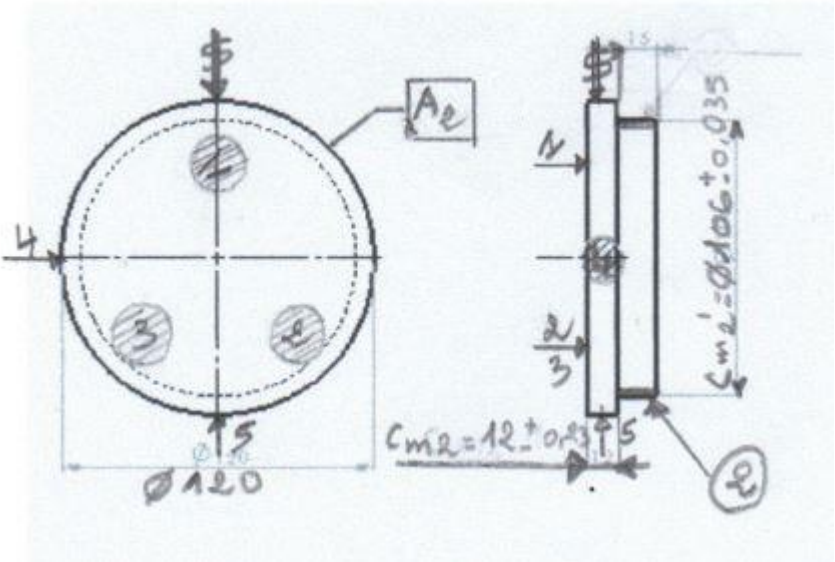
111-Débitage:



211-Alésage de 1:

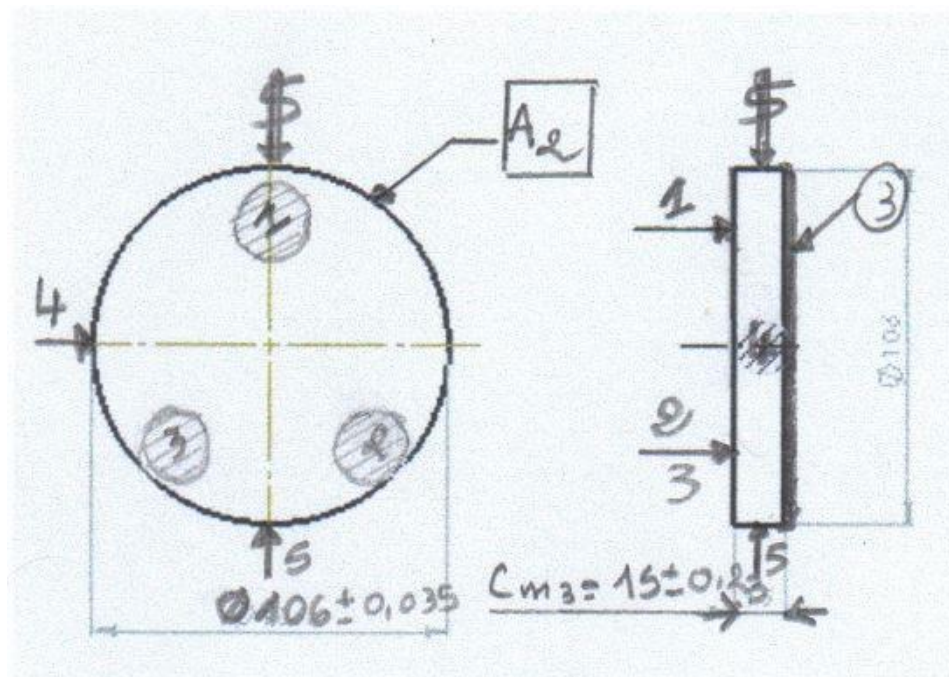


212-Chariotage de 2:



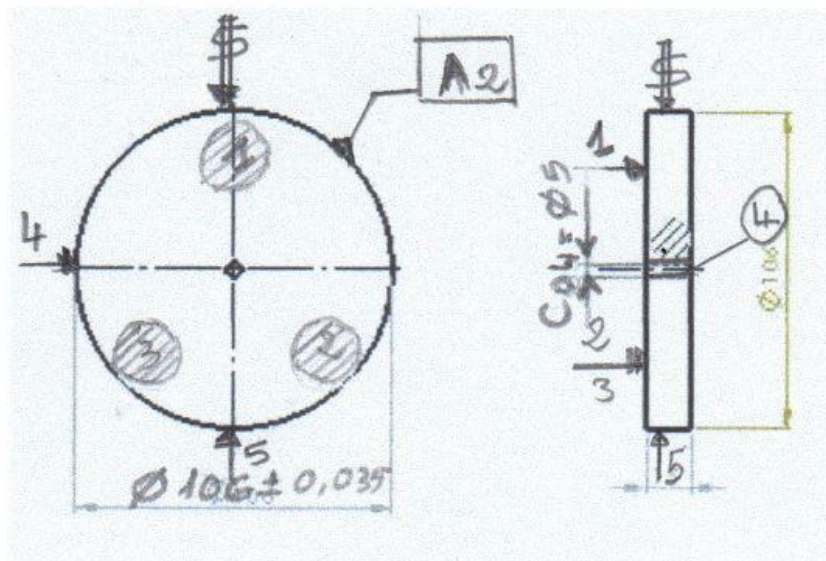
MACH-OUT : Tour			PHASE :200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage de 3 Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage Usiner 2(enlever environ 5mm) Cm ₃ =15±0,23	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

221-Dressage de 3:



MACH-OUT : Tour		PHASE :200					
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
230	- Centrage: Même montage que 220, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage	-Outil à centrer.	Pied à coulisse				
	231-Perçage de 4: Profondeur débouchante $C_{04}=5^{+0.039}$	-Foret de diamètre 5mm	Pied à coulisse + Jauge de profondeur				
	232-Taraudage(M6) : -En 3 opérations	-Outil à tarauder					

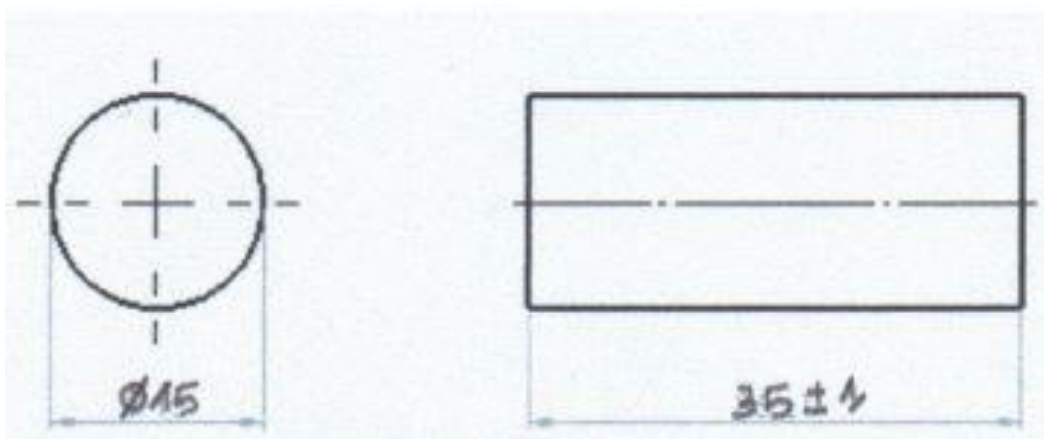
231-Perçage de 4:



X-2-Gamme d'usinage de la pièce Piston

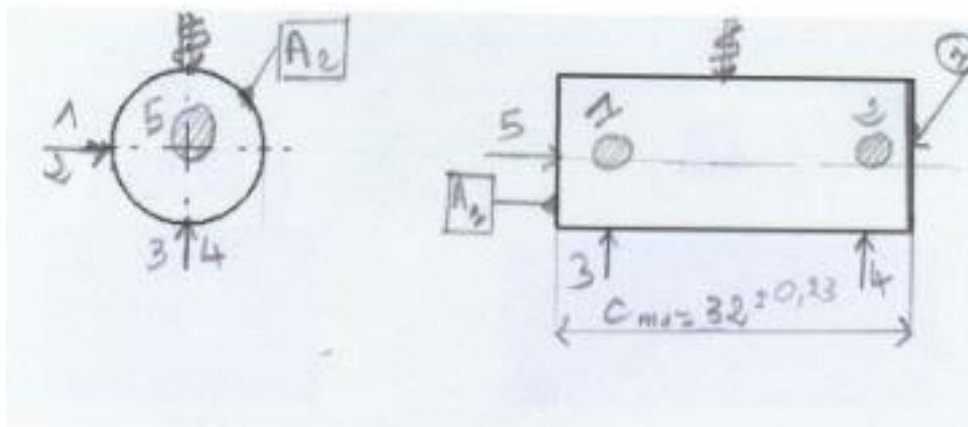
	FEUILLE DE GAMME	PHASE :100 MACH-OUT :-Manuel -Scie Mecanique					
PROJET: Moule compactage PIECE: Piston	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium	NOM : DATE :					
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111-Debitage (Sciage) -Control de brut 2- Ebavurer 3-Contrôle des dimension de la pièce brute. $L_B = 35 \pm 1$ $D_e = \text{Ø } 15$	Scie Lime	Reglé				

111-Debitage:



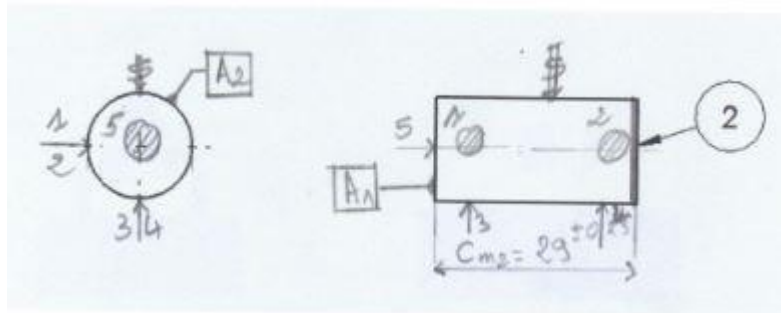
	FEUILLE DE GAMME		PHASE : 200				
			MACH-OUT :Tour				
PROJET : Moule compactage		NOMBRE :1		NOM :			
PIECE : Piston		MATIERE : Alliage d'aluminium		DATE :			
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	211-Dressage (1) - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiels définis par : - Appui ponctuel 1N (5) sur A ₁ - Centrage long 4N (1;2;3;4) sur A ₂ - Un serrage a- Dressage: Usiner 1 en ebauche $C_{m1}=32^{±0,23}$	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:

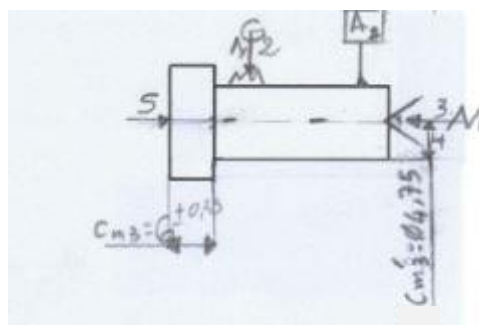


MACH-OUT : Tour		PHASE :200					
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage de (2) Même montage que 210, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage Usiner 2 en ebauche $C_{m_2}=29^{+0,23}$	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				
230	231-Chariotage de (3) -Montage mixte $2C_{m_3}=\varnothing +^{0,035}$	Outil à charioter en carbure	Pied à coulisse				

221-Dressage de 2:



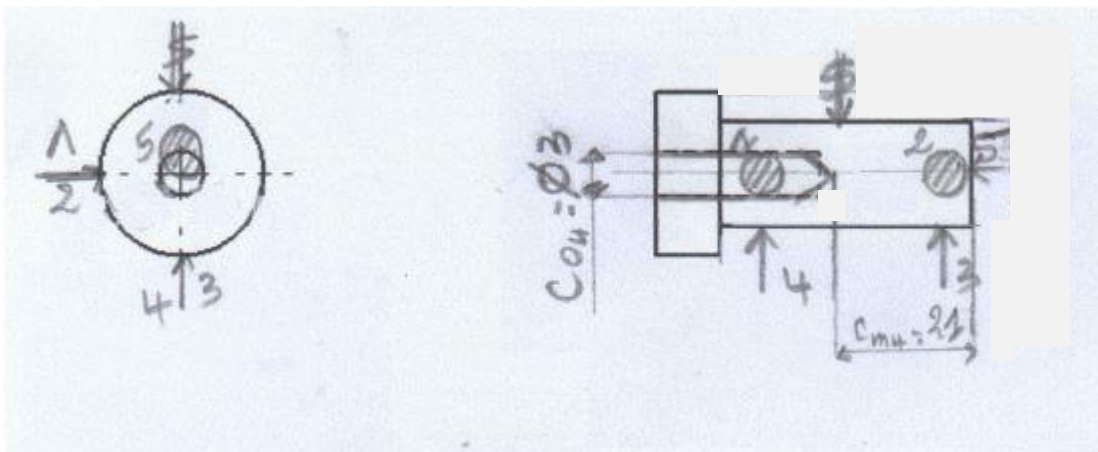
231-Chariotage de 3:



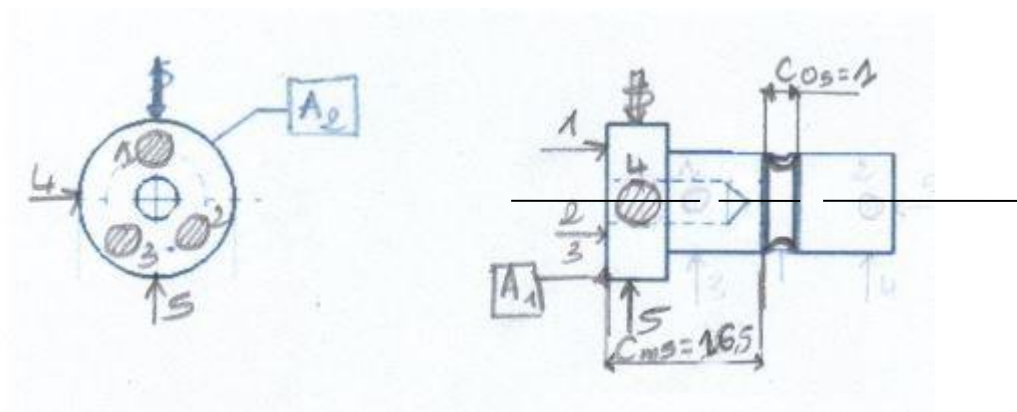
		FEUILLE DE GAMME		PHASE : 300 MACH-OUT : Perceuse			
PROJET : Moule compactage PIECE : Piston		NOMBRE : 1 MATIERE : Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
310	<ul style="list-style-type: none"> -Centrage: -Mise en position de la pièce sur un vé. -Référentiel défini par: - Centrage long en 4N (1;2;3;4) sur A₂ - Appui ponctuel en 1N (5) sur A₁ - Un serrage 	Forêt D= Ø 3	Pied à coulisse				
311	<ul style="list-style-type: none"> -Perçage 4 Profondeur de 8mm Cm₄= 15 Cm₄'= 3.25 Co₄"= Ø3 						
320	<ul style="list-style-type: none"> 312-Taraudage: -En 3 operations 321-Usinage de la gorge: Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiel défini par : - Appui plan en 3N (1;2;3) sur A₁ - Centrage court en 2N 	Outil à charioter en carbure	Pied à coulisse				

	<p>(4;5) sur A₂</p> <p>- Un serrage</p> <p>Gorge de 1mm de profondeur.</p> <p>C_{m5}=16.34</p> <p>C₀₅=1</p>					
--	---	--	--	--	--	--

311-Perçage de 4:



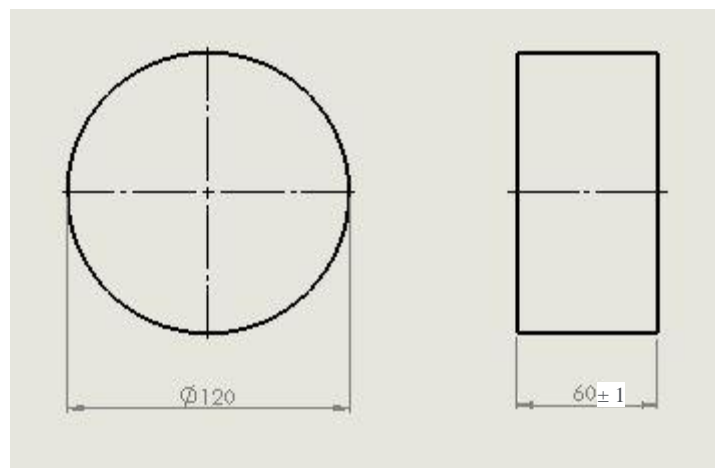
321-Gorge sur 5:



X-3 Gamme d'usinage de la pièce Presse

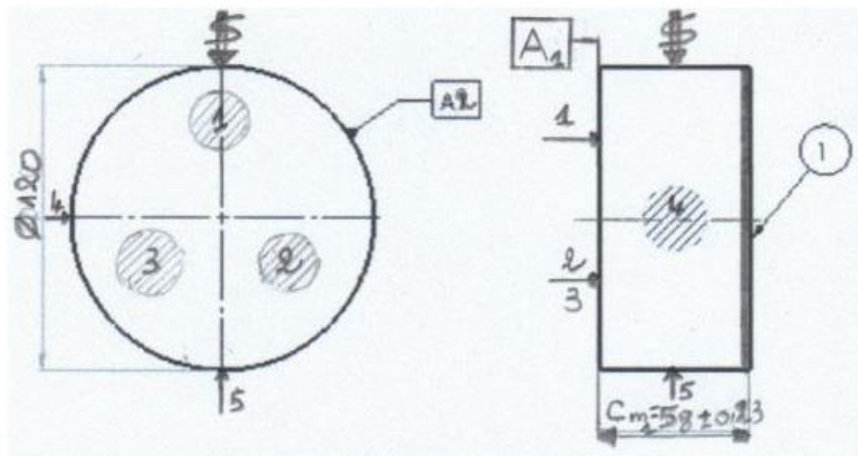
	FEUILLE DE GAMME		PHASE :100 MACH-OUT : -Manuel -Scie Mecanique				
PROJET: Moule compactage PIECE: Presse	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111-Debitage (Sciage) -Control de brut 2- Ebavurer 3-Contrôle des dimension de la pièce brute. $L_B = 60 \pm 1$ $D_e = \text{Ø } 120$	Scie Lime	Règle				

111-Debitage:



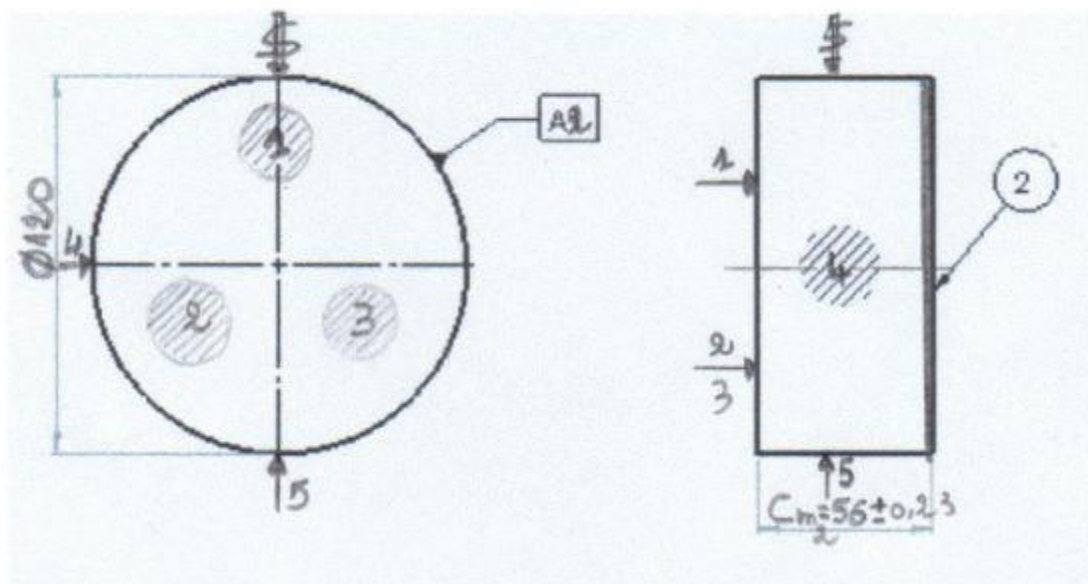
	FEUILLE DE GAMME		PHASE : 200				
			MACH-OUT :Tour				
PROJET : Moule compactage	NOMBRE :1		NOM :				
PIECE : Presse	MATIERE : Alliage d'aluminium		DATE :				
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	<p>211-Dressage (1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiels définis par : - Appuis plan 3N (1;2;3) sur A₁ - Centrage court 2N (4;5) sur A₂ - Un serrage <p>a- Dressage:</p> <p>Usiner 1 (enlever environ 2mm)</p> <p>$C_{m1}=58\pm 0,23$</p>	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:

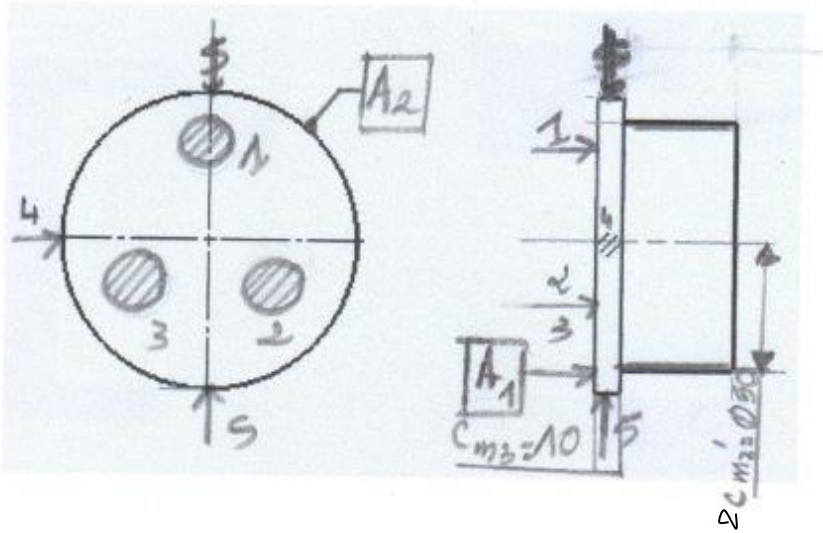


MACH-OUT : Tour		PHASE :200					
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage de (2) Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage Usiner 2 Cm ₂ =56±0,23	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				
	222-Chariotage de (3) Cm ₃ =10±0,23 2Cm ₃ '=Ø 50+ ^{0.035}	Outil à charioter en carbure	Pied à coulisse				

221-Dressage de 2:

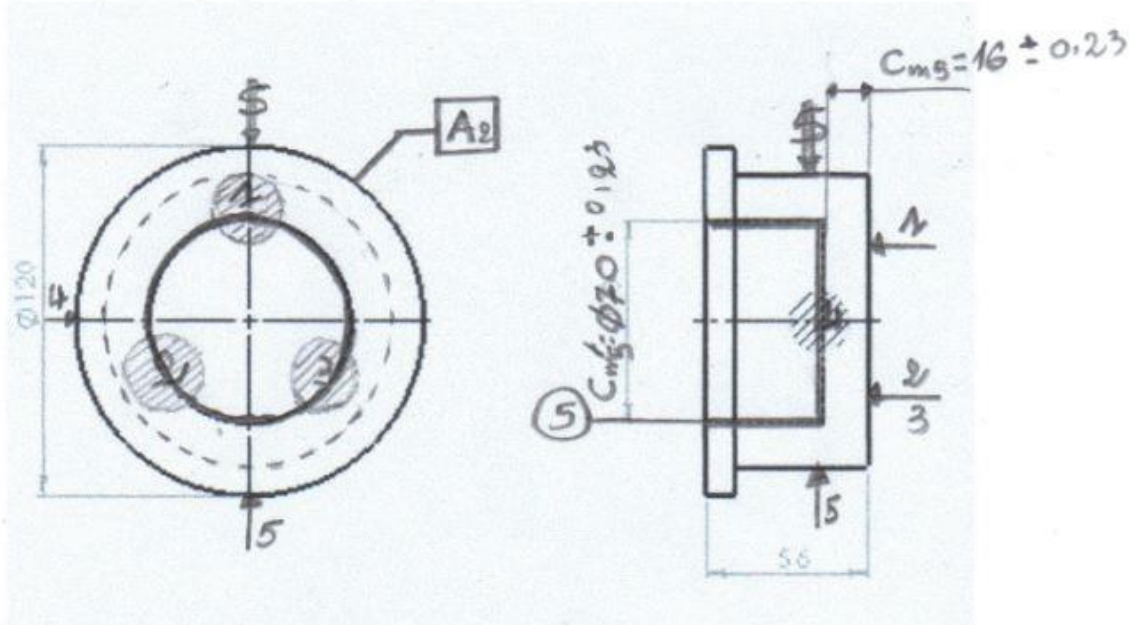


222-Chariotage de 3:

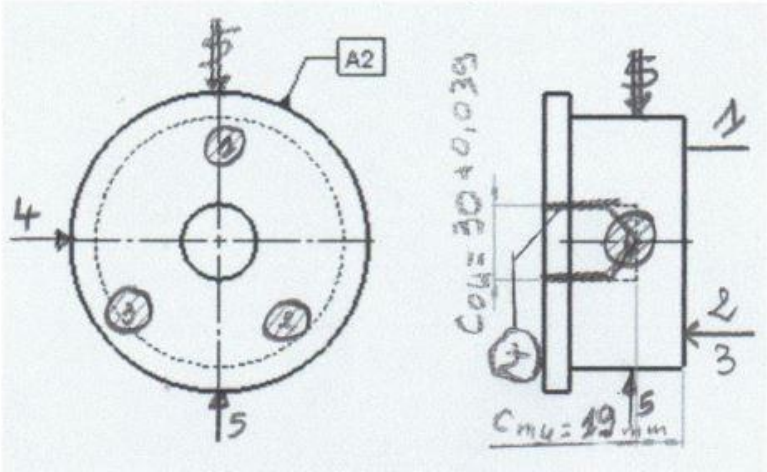


MACH-OUT : Tour			PHASE :200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
230	<p>- Centrage: Même montage que la phase 100, Retourner pour appui plan sur 1.</p> <p>231-Percage de $\textcircled{4}$: Profondeur=$28.4^{+0.039\text{mm}}$ $C_{o4}=30^{+0.039\text{mm}}$ $C_{m4}=19$</p> <p>232-Alesage $\textcircled{5}$: Même montage que 10, Retourner pour appui plan sur 1. -En plusieurs passes $C_{m5}= 16^{\pm 0.23}$ $C_{m5}'= \text{Ø } 70^{\pm 0.23}$</p>	<p>-Outil à centrer.</p> <p>-Foret de diamètre 30mm</p> <p>-Outil à aléser</p>	<p>Pied à coulisse</p> <p>Pied à coulisse + Jauge de profondeur</p> <p>Pied à coulisse + Jauge de profondeur</p>				

231-Perçage de 4:



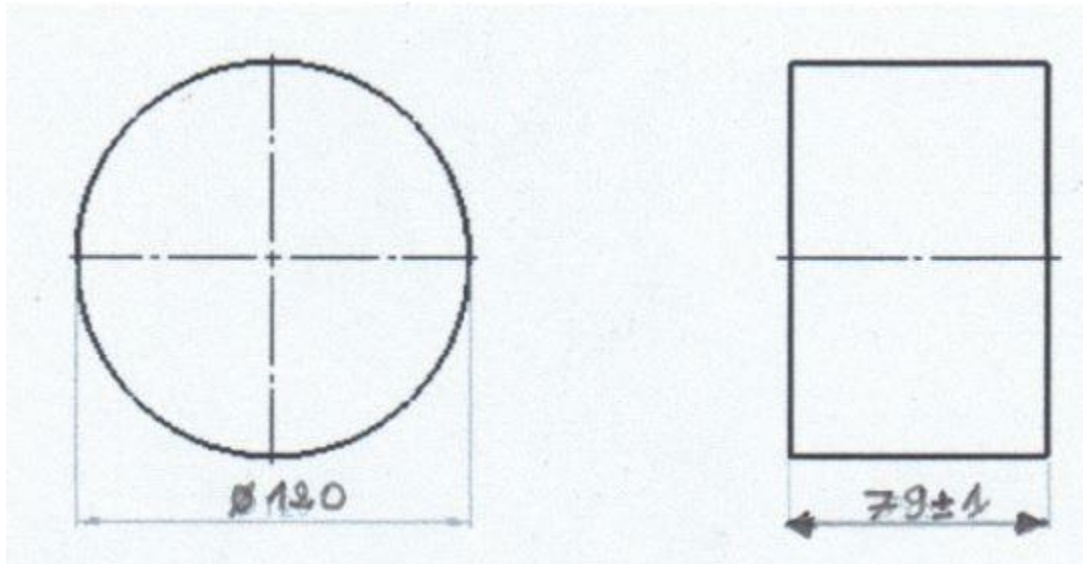
232-Alésage de 5:



X-4 Gamme d'usinage de la pièce Enceinte moule de frittage

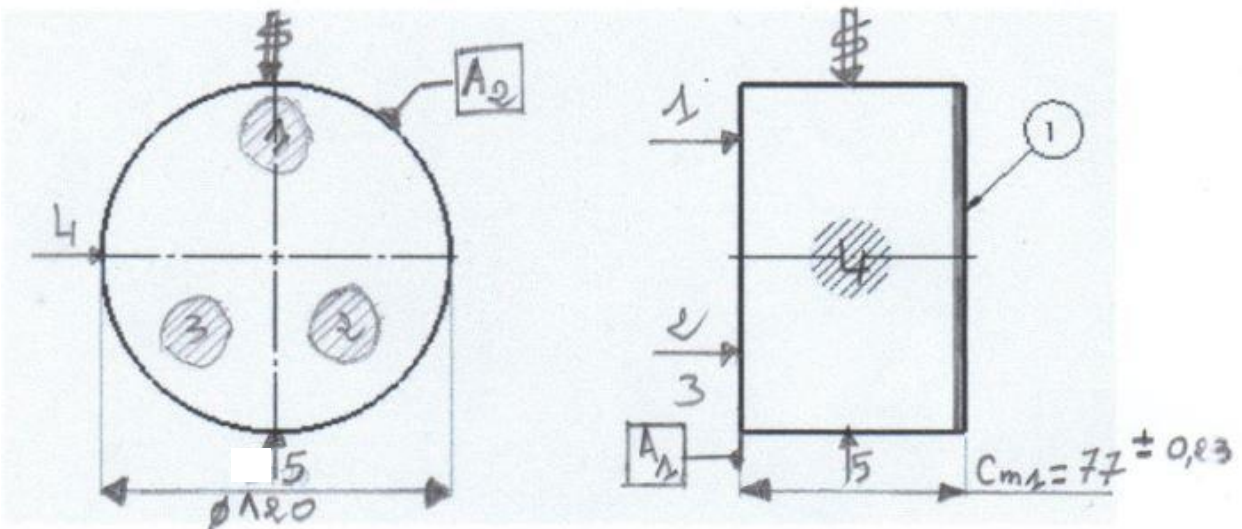
		FEUILLE DE GAMME		PHASE :100 MACH-OUT :-Manuel -Scie mecanique			
PROJET : Moule de frittage PIECE :Enceinte Moule de Frittage		NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111- Debitage (Sciage) 2- Ebavurage 3-Contrôle des dimension de la pièce brute. $L_B = 79 \pm 1$ $D_e = \varnothing 120$	Scie Lime	Règle				

111-Débitage:



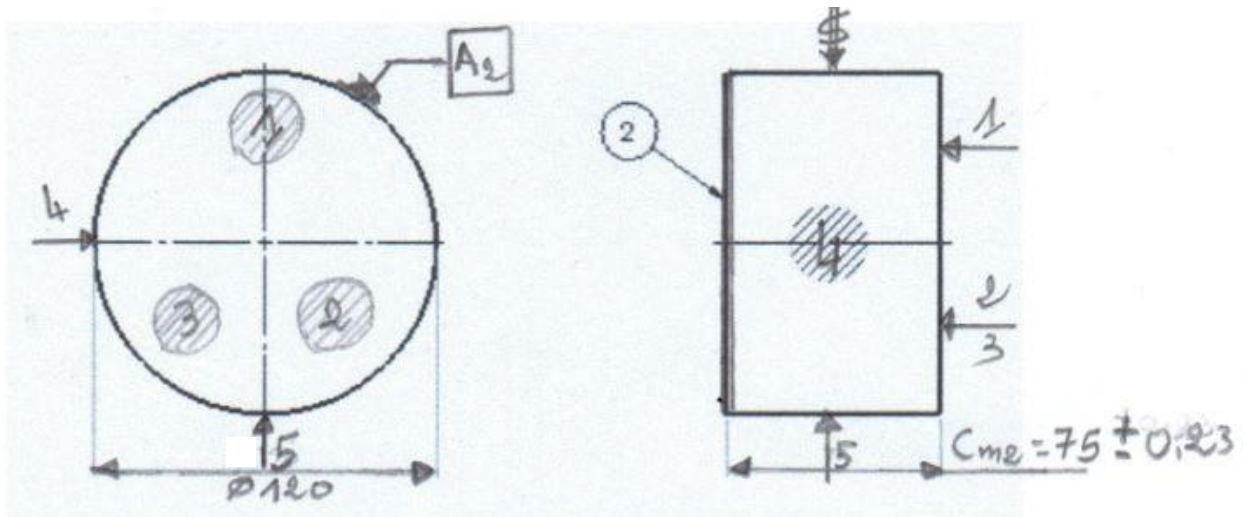
	FEUILLE DE GAMME		PHASE : 200 MACH-OUT : Tour				
PROJET : Moule de frittage PIECE : Enceinte Moule de Frittage	NOMBRE : 1 MATIERE : Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	211-Dressage (1) - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiels définis par : - Appuis plan 3N (1;2;3) sur A ₁ - Centrage court 2N (4;5) sur A ₂ - Serrage Usiner 1 Cm ₁ =77 ^{±0,23}	Outil à dresser	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:



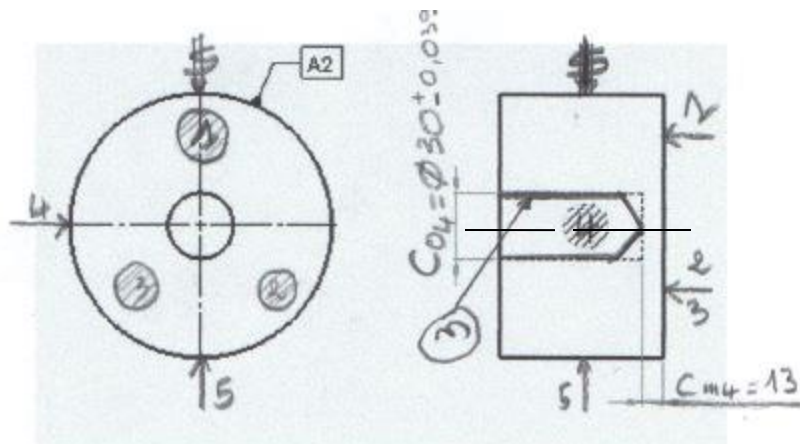
MACH-OUT : Tour			PHASE :200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage $\phi 2$ Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage Usiner 2 (enlever environ 2mm) $C_{m2}=75^{\pm 0,23}$	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

221-Dressage de 2:

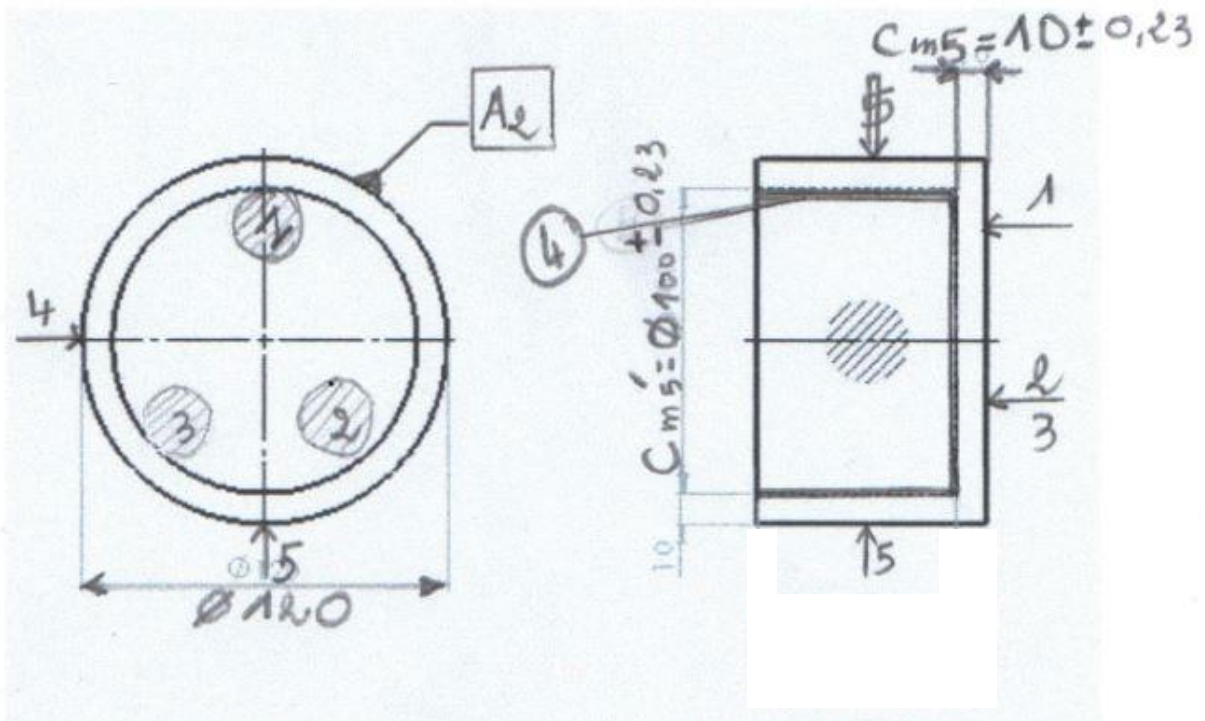


MACH-OUT : Tour		PHASE :200					
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
230	- Centrage sur (2): Même montage que 20.1, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage	-Outil à centrer.	Pied à coulisse				
	231-Perçage de (3): Profondeur=65 ^{+0.039} C ₀₄ =30 ^{+0.039} C _{m4} =13	-Foret de diamètre 30	Pied à coulisse + Jauge de profondeur				
	232-Alésage de (4) Même montage que 20.1, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage -En plusieurs passes C _{m5} = 10 ± 0.23 C _{m5'} = Ø 100 ± 0.23	-Outil à aléser	Pied à coulisse + Jauge de profondeur				
	233- Alesage de (5) Même montage que 20.1, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage -En plusieurs passes C _{m6} = 35 ± 0.23 C _{m6'} = Ø 106 ± 0.23	-Outil à aléser	Pied à coulisse + Jauge de profondeur				
	234-Alesage de (6) Même montage que 20.1, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage -En plusieurs passes C _{m7} = 50 ± 0.23 C _{m7'} = Ø 114 ± 0.23	-Outil à aléser	Pied à coulisse + Jauge de profondeur				

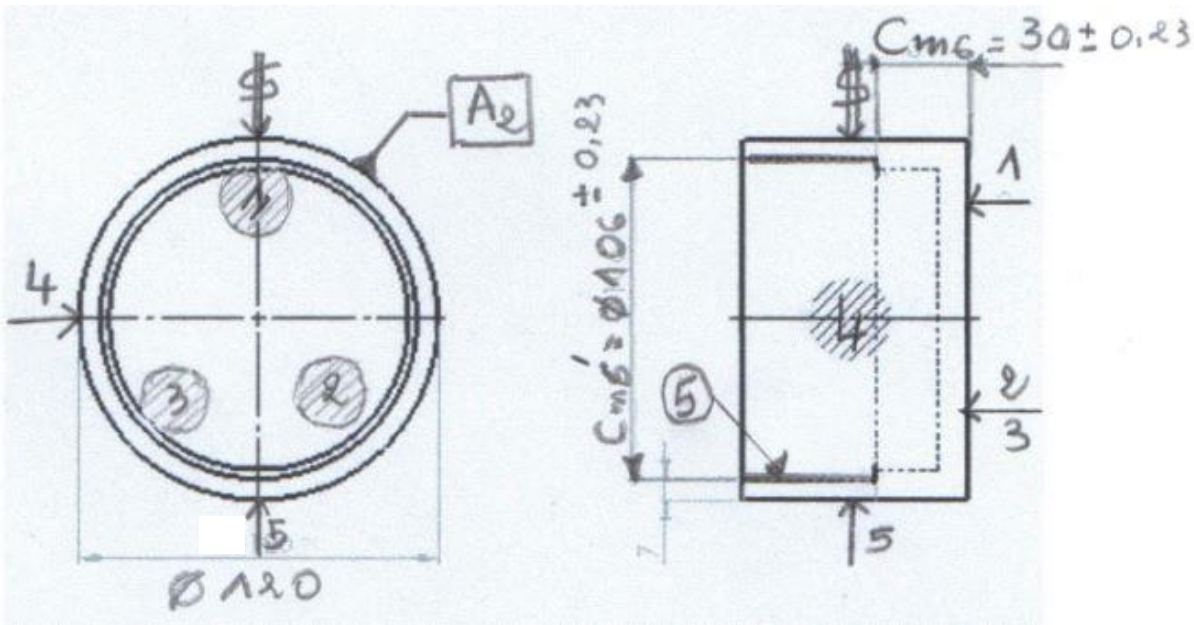
231-Perçage de 3:



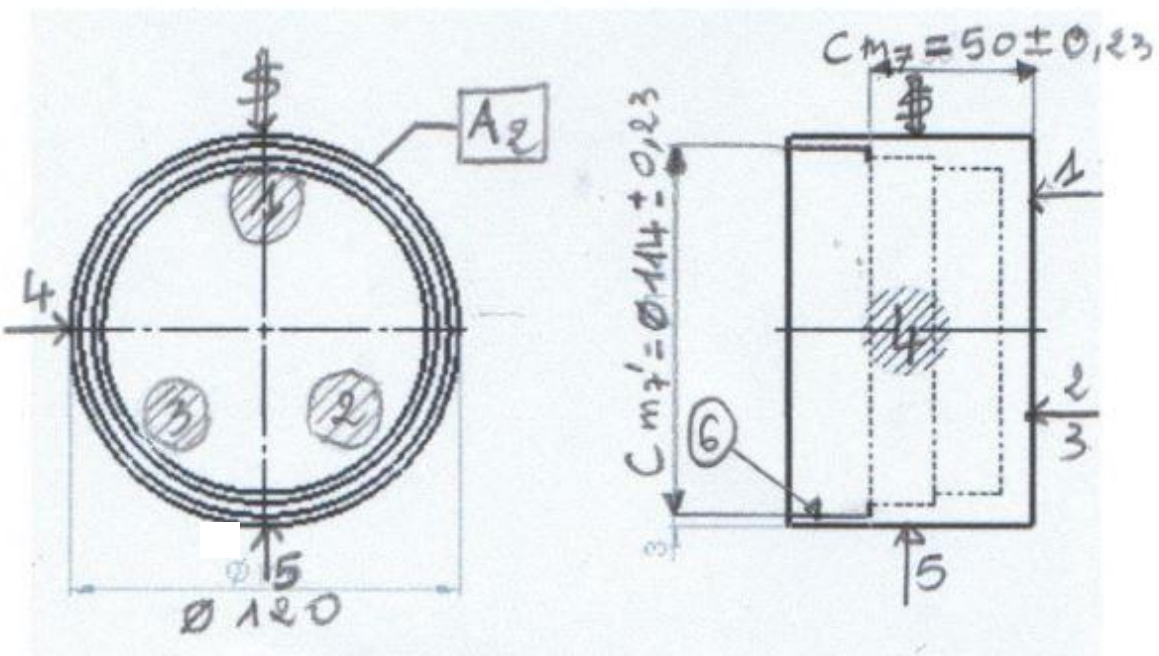
232-Alésage de 4:



233-Alésage de 5:



234-Alésage de 6:



X-5 Gamme d'usinage de la pièce Enceinte

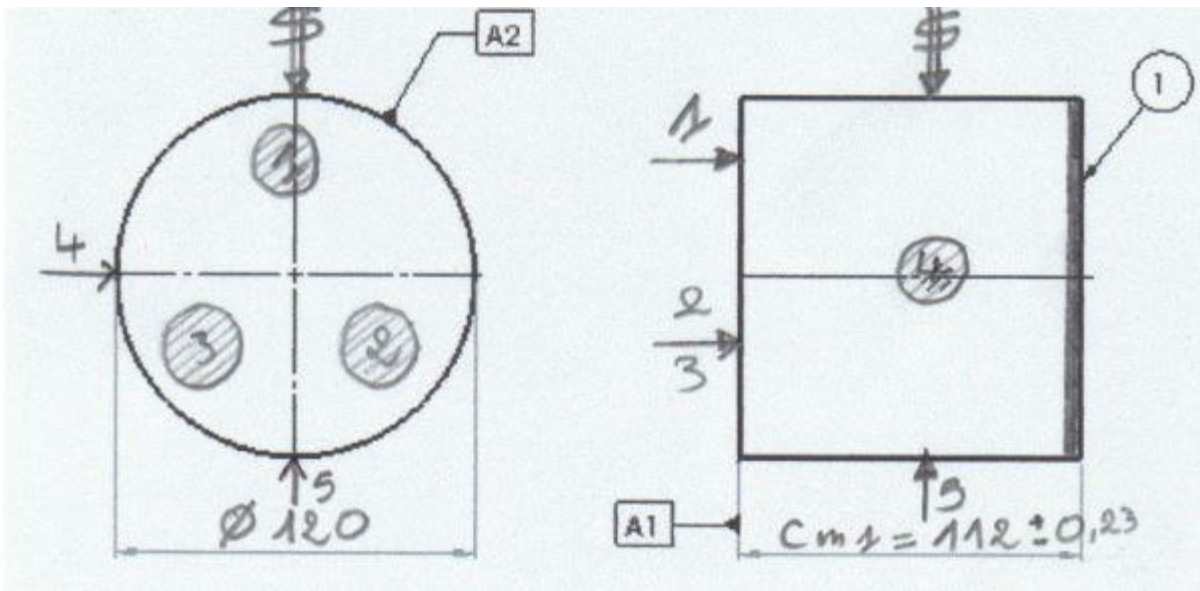
		FEUILLE DE GAMME		PHASE :100 MACH-OUT :-Manuel -Scie mecanique			
PROJET : Moule de compactage PIECE :Enceinte		NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111- Debitage (Sciage) 2- Ebavurage 3-Contrôle des dimension de la pièce brute. $L_B = 114 \pm 1$ $D_e = \varnothing 120$	Scie Lime	Règle				

111-Debitage:



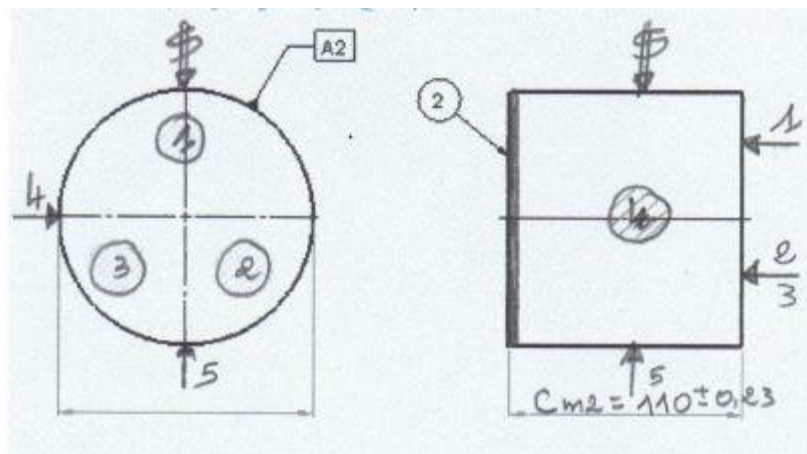
		FEUILLE DE GAMME		PHASE : 200 MACH-OUT :Tour			
PROJET : Moule de compactage PIECE : Enceinte		NOMBRE :1 MATIERE : Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	211-Dressage de ① - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiels définis par : - Appuis plan 3N (1;2;3) sur A ₁ - Centrage court 2N (4;5) sur A ₂ - Serrage Usiner 1 Cm ₁ =112 ^{±0,23}	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:

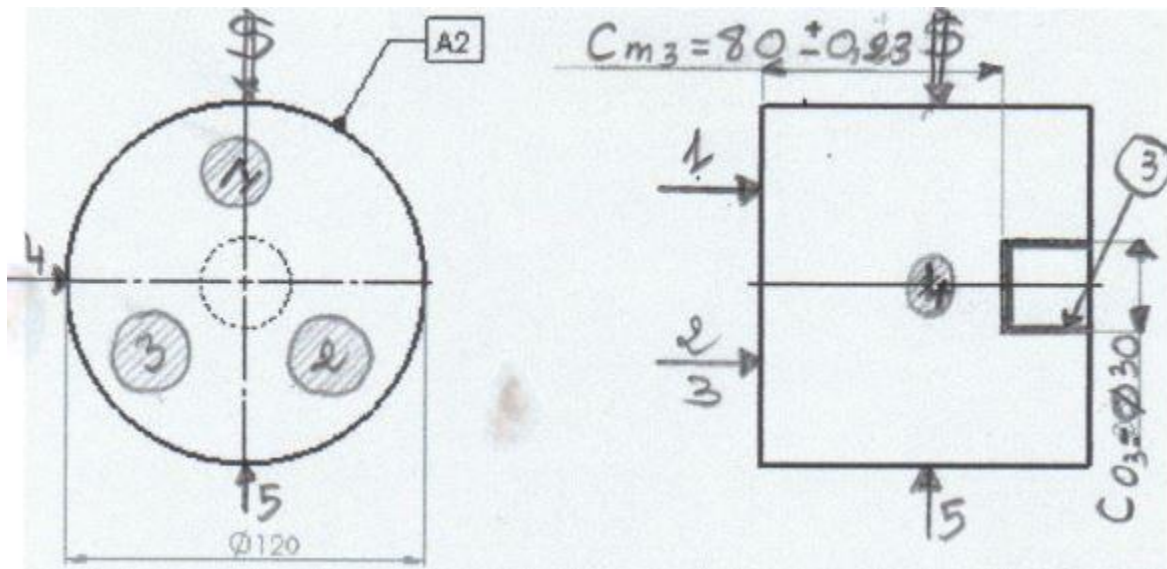


MACH-OUT : Tour		PHASE :200					
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	<p>221- Dressage de (2) Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A₂ -Serrage Usiner 2 C_{m2}=110^{±0,23}</p> <p>-Centrage de (3) Même montage que 20, Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A₂ -Serrage -Centrer</p> <p>222-Perçage de (3) C_{m3}=80^{±0,23} C_{o3}=∅30</p> <p>223-Alésage de (3) Même montage que 20.1 Alésage de 3 : -En plusieurs passes C_{m4}=10^{±0,23} C_{m4}'= ∅ 100^{±0,23}</p>	<p>Outil à dresser en carbure</p> <p>Outil à centrer</p> <p>Outil à aléser</p>	<p>Pied à coulisse</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>Pied à coulisse + jauge de profondeur</p>				

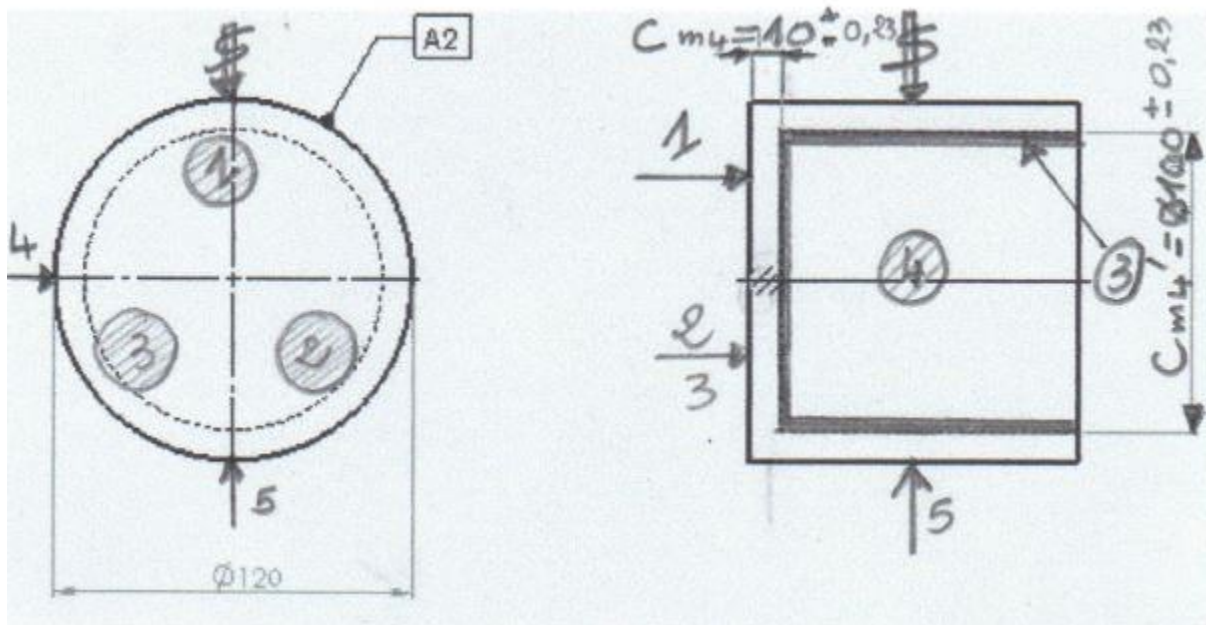
221-Dressage de 2:



222-Perçage de 3:

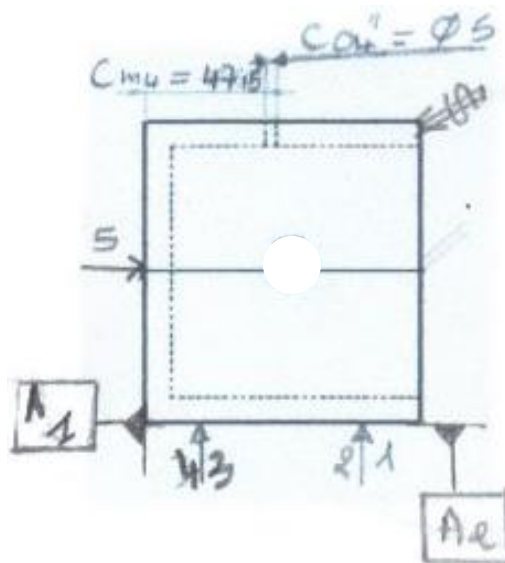


223-Alésage de 3:



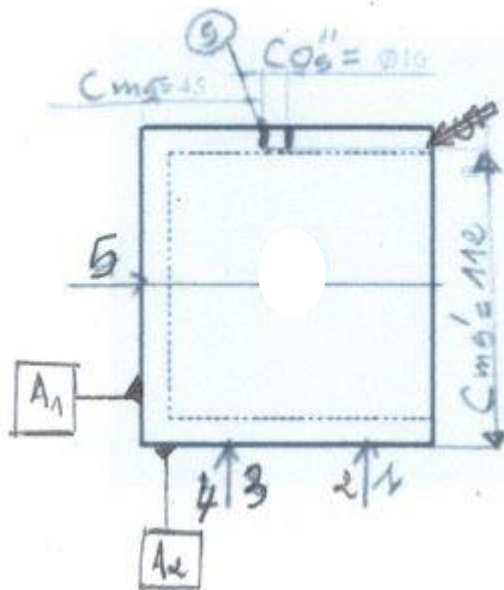
		FEUILLE DE GAMME		PHASE : 300 MACH-OUT : Perceuse			
PROJET : Moule de compactage PIECE : Enceinte		NOMBRE : 1 MATIERE : Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
310	311-Perçage de 4: - Centrage long 4N (1;2;3;4) sur A ₂ - Butée 1N(5) sur A ₁ -Serrage C _{m4} =47.5 C ₀₄ "= Ø 5	Forêt D= Ø 5	Pied à coulisse				

311-Perçage de 4:



MACH-OUT :Perceuse			PHASE :300				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
320	321-Perçage de 5: - Centrage long 4N (1;2;3;4) sur A ₂ - Butée 1N(5) sur A ₁ -Serrage Profondeur de 8mm Cm ₅ = 45 Cm ₅ '= 112 Co ₅ "= Ø 10 3-Taraudage -En 3 opération	Forêt D= Ø 10 Taraud	Pied à coulisse				

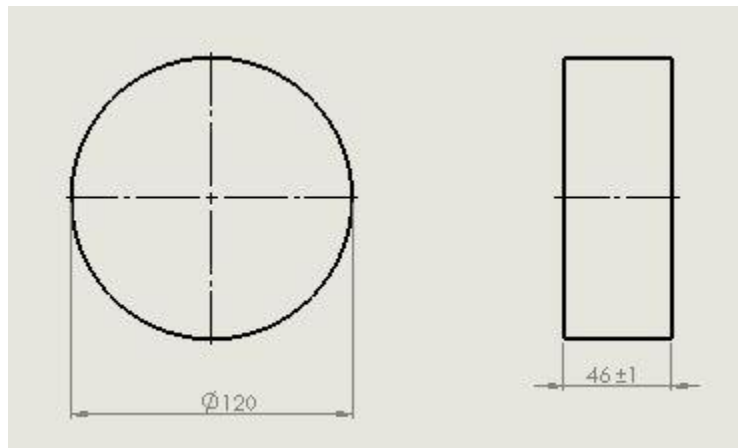
321-Perçage de 5:



X-6 Gamme d'usinage de la pièce Porte empreinte femelle

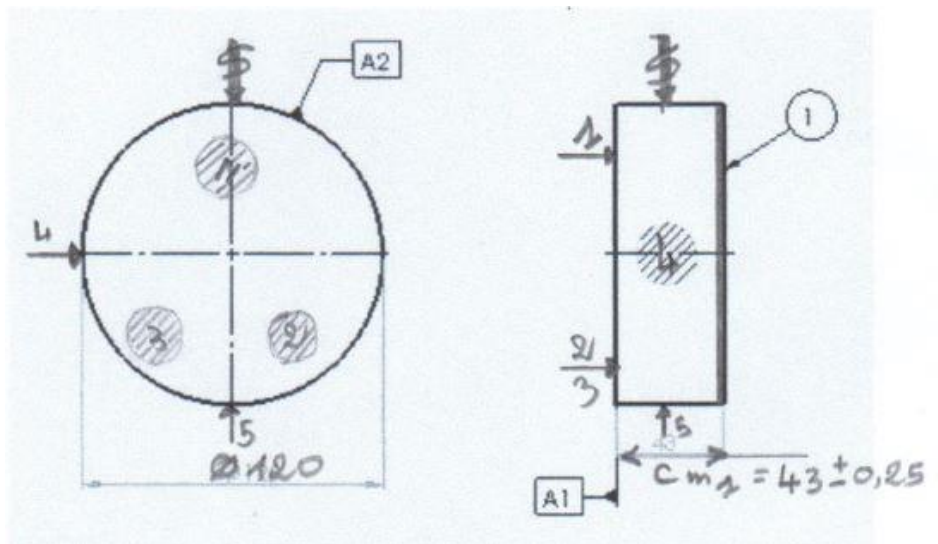
	FEUILLE DE GAMME		PHASE :100 MACH-OUT :-Manuel -Scie Mecanique				
PROJET : Moule compactage PIECE : Porte empreinte Femelle	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous- Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111-Débitage (Sciage) -Control de brut 2- Ebavurer 3-Contrôle des dimensions de la pièce brute. L _B = 46± 1 D _e = Ø 120	Scie Lime	Reglé				

111-Débitage:



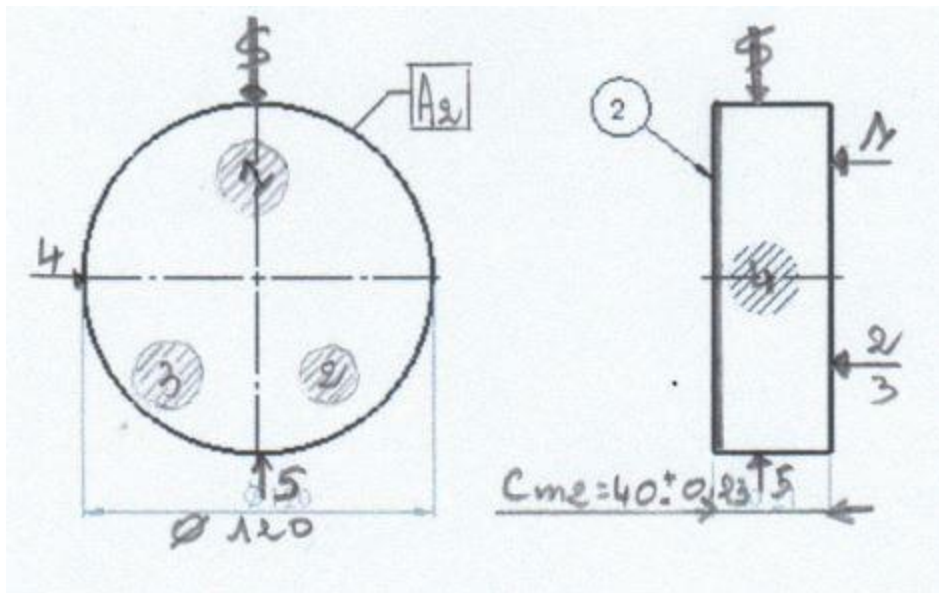
	FEUILLE DE GAMME		PHASE :200 MACH-OUT : Tour				
PROJET : Moule compactage PIECE :Porte empreinte Femelle	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	211-Dressage de 1 - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiel défini par : - Appui plan en 3N (1;2;3) sur A ₁ - Centrage court en 2N (4;5) sur A ₂ - Un serrage Usiner 1 Cm ₁ =43 ^{±0,23}	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:

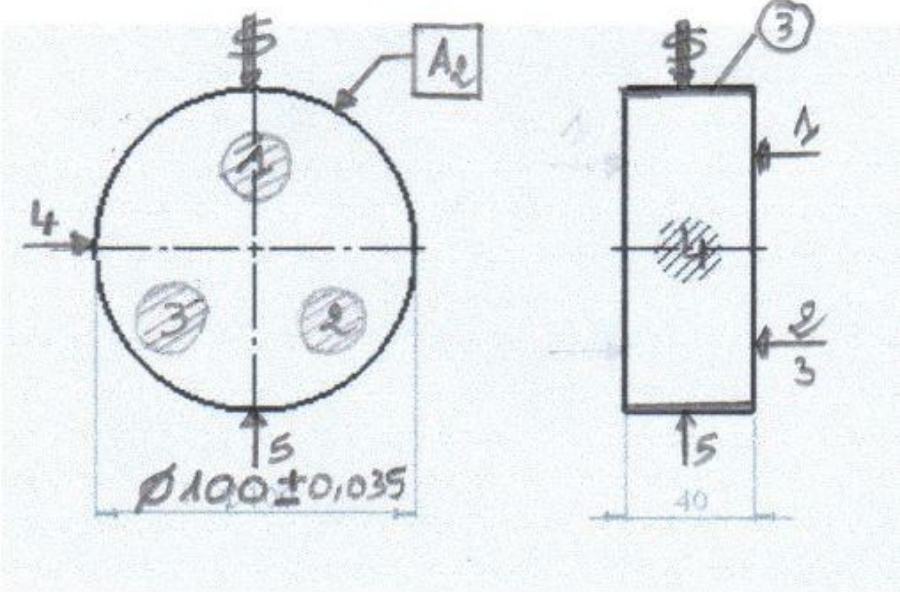


MACH-OUT :Tour			PHASE :200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage $\phi 2$ Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A_2 -Serrage Usiner 2 $Cm_2=40\pm 0,23$ 222-Chariotage $\phi 3$ $2Cm_3=\phi 100+^{0,035}$ $Cm_3=$	Outil à dresser en carbure Outil à charioter	Pied à coulisse Pied à coulisse				

221-Dressage de 2:

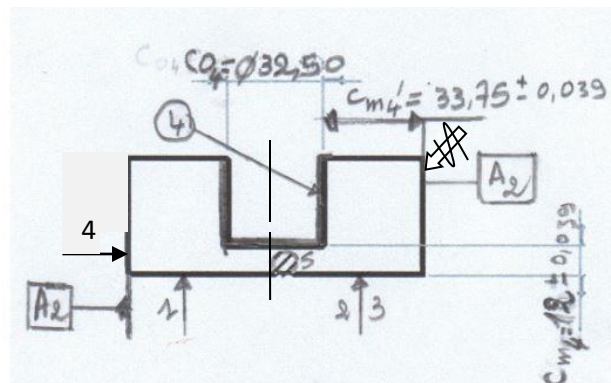


222-Chariotage de 3:



	FEUILLE DE GAMME		PHASE :300 MACH-OUT : Fraise				
PROJET : Moule compactage PIECE : Porte empreinte femelle	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
310	-Centrage : -Mise en position de la pièce sur référentiel définis par : -Appui plan en 3N (1;2;3) sur A1 - Centrage court en 2N (4;5) A2 - Serrage 311- Rainurage (4)	Outil à centrer	Pied à coulisse				
	En plusieurs opérations : C ₀₄ = Ø 32.5± 0.039 C _{m4} = 12 ± 0.039 C _{m4'} =33.75± 0.039	Fraiseuse Diamètre 32.5	Pied à coulisse+Jauge de profondeur				

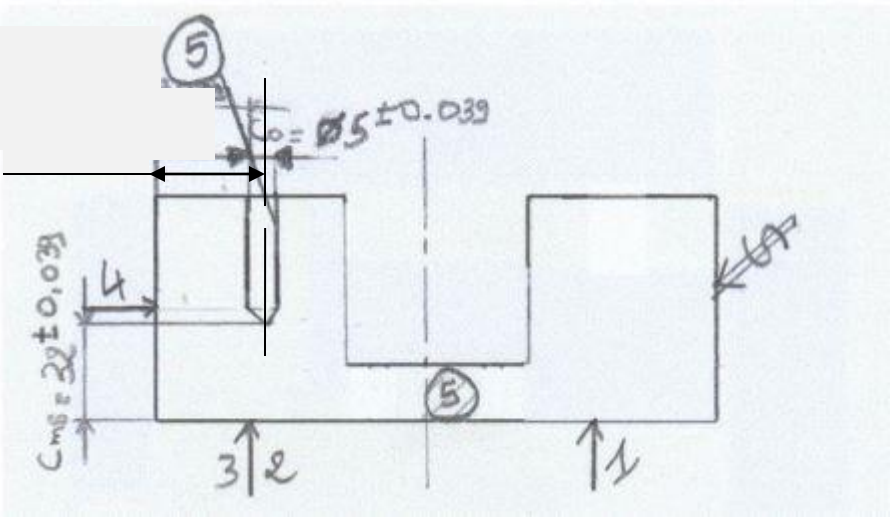
311-Rainurage de 4:



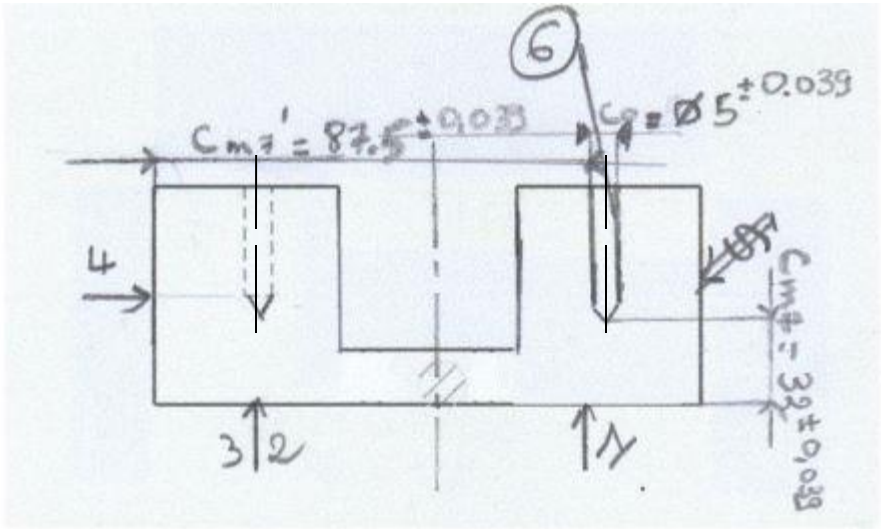
		FEUILLE DE GAMME		PHASE :400 MACH-OUT : Perceuse			
PROJET : Moule compactage PIECE : Porte empreinte femelle		NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
410	-Centrage : -Mise en position de la pièce sur référentiel défini par : -Appui plan en 3N (1;2;3) sur A1 - Centrage court en 2N (4;5) A2 - Serrage 411-Perçage de $\textcircled{5}$ Profondeur de 8mm En plusieurs opérations : $C_{06} = \text{Ø } 5^{\pm 0.039}$ $C_{m6} = 7.5^{\pm 0.039}$ 412-Perçage de $\textcircled{6}$ Profondeur de 8mm En plusieurs opérations : $C_{07} = \text{Ø } 5^{\pm 0.039}$ $C_{m7} = 32 \pm 0.039$ $C_{m7'} = 87.5^{\pm 0.039}$ 413-Taraudage de 5 et 6: En 03 operations diamètre 6	Outil à centrer Perceuse Diamètre 5 Perceuse Diamètre 5	Pied à coulisse Pied à coulisse+Jauge de profondeur Pied à coulisse+Jauge de profondeur				

	FEUILLE DE GAMME			PHASE :400 MACH-OUT : Perceuse			
PROJET : Moule compactage PIECE : Porte empreinte femelle		NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :			
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
420	-Centrage : -Mise en position de la pièce sur référentiel défini par : -Appui plan en 3N (1;2;3) sur A1 - Centrage court en 2N (4;5) A2 - Serrage	Outil à centrer	Pied à coulisse				
	421-Perçage de $\textcircled{7}$ Profondeur de 5mm En plusieurs opérations : $C_{07} = \text{Ø } 2.5^{\pm 0.039}$ $C_{m7} = 3^{\pm 0.039}$ $C_{m7}' = 38.5^{\pm 0.039}$	Perceuse Diamètre 2.5	Pied à coulisse+Jauge de profondeur				
	422-Perçage de $\textcircled{8}$ Profondeur de 5mm En plusieurs opérations $C_{08} = \text{Ø } 2.5^{\pm 0.039}$ $C_{m8} = 3^{\pm 0.039}$ $C_{m8}' = 59^{\pm 0.039}$	Perceuse Diamètre 2.5	Pied à coulisse+Jauge de profondeur				

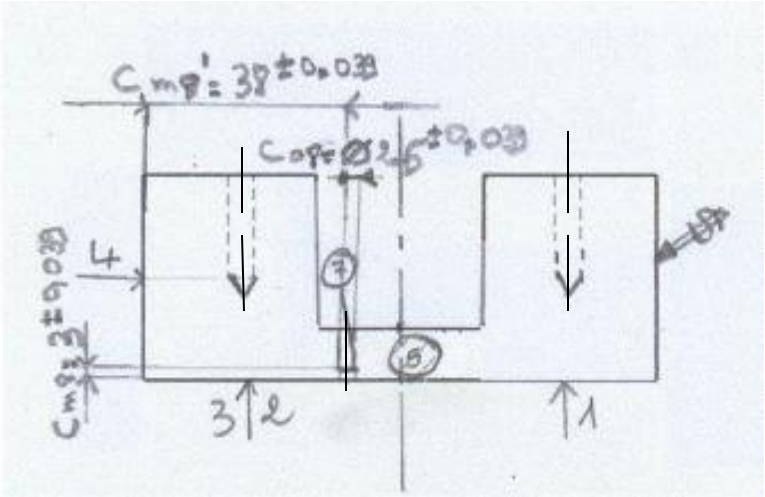
411-Perçage de 5:



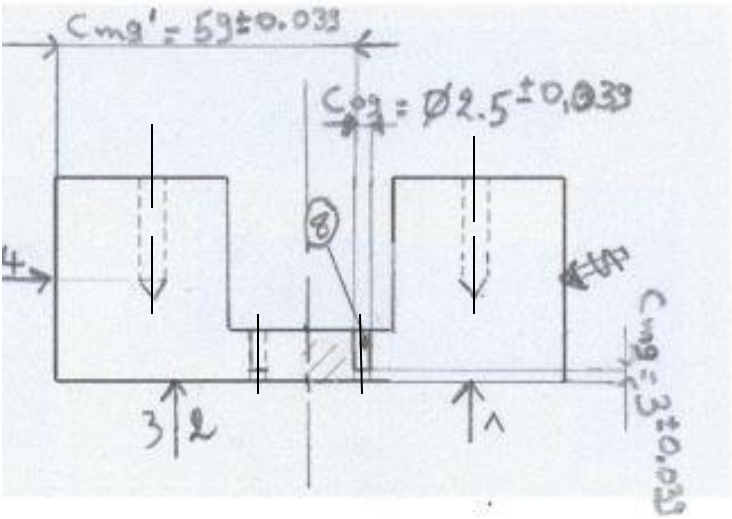
412-Perçage de 6:



421-Perçage de 7:



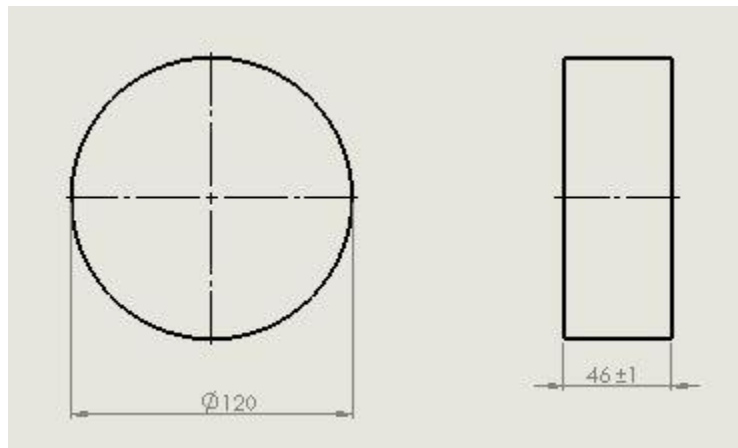
422-Perçage de 8:



X-7 Gamme d'usinage de la pièce Porte empreinte male

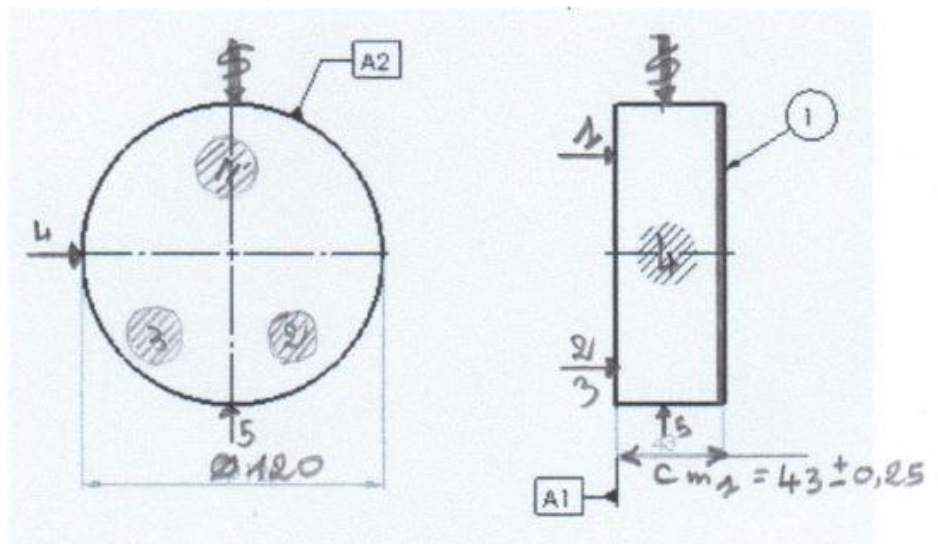
	FEUILLE DE GAMME		PHASE :100 MACH-OUT :-Manuel -Scie Mecanique				
PROJET : Moule de compactage PIECE : Porte empreinte male	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignation des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
110	111-Débitage (Sciage) -Control de brut 2- Ebavurer 3-Contrôle des dimension de la pièce brute. L _B = 46± 1 D _e = Ø 120	Scie Lime	Règle				

111-Débitage:



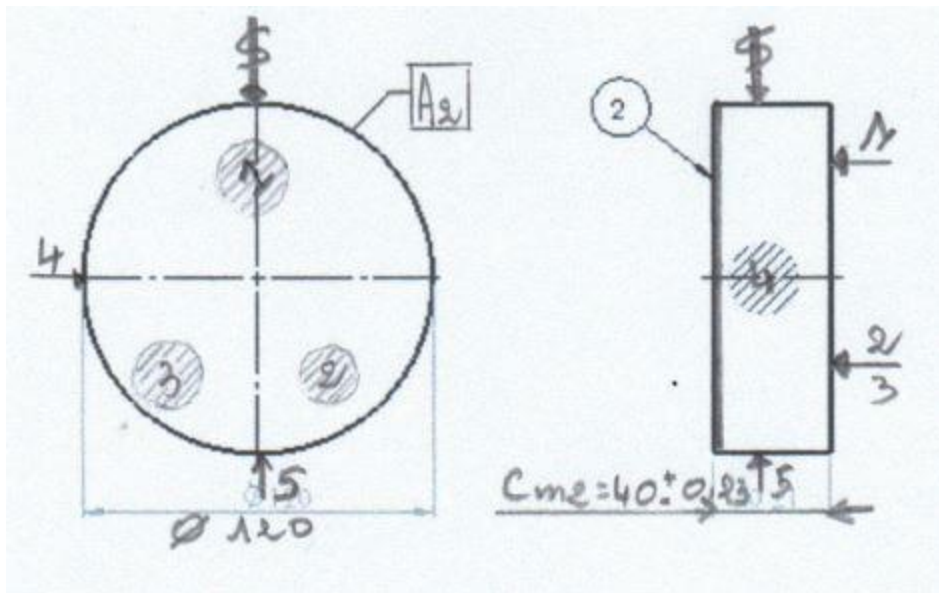
	FEUILLE DE GAMME		PHASE :200 MACH-OUT : Tour				
PROJET : Moule compactage PIECE :Porte empreinte male	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
210	211-Dressage de ① - Monter sur le mandrin 3 mors avec référentiel défini par : - Appui plan en 3N (1;2;3) sur A ₁ - Centrage court en 2N (4;5) sur A ₂ - Un serrage Usiner 1 Cm ₁ =43 ^{±0,23}	Outil à dresser en carbure	Pied à coulisse				

211-Dressage de 1:

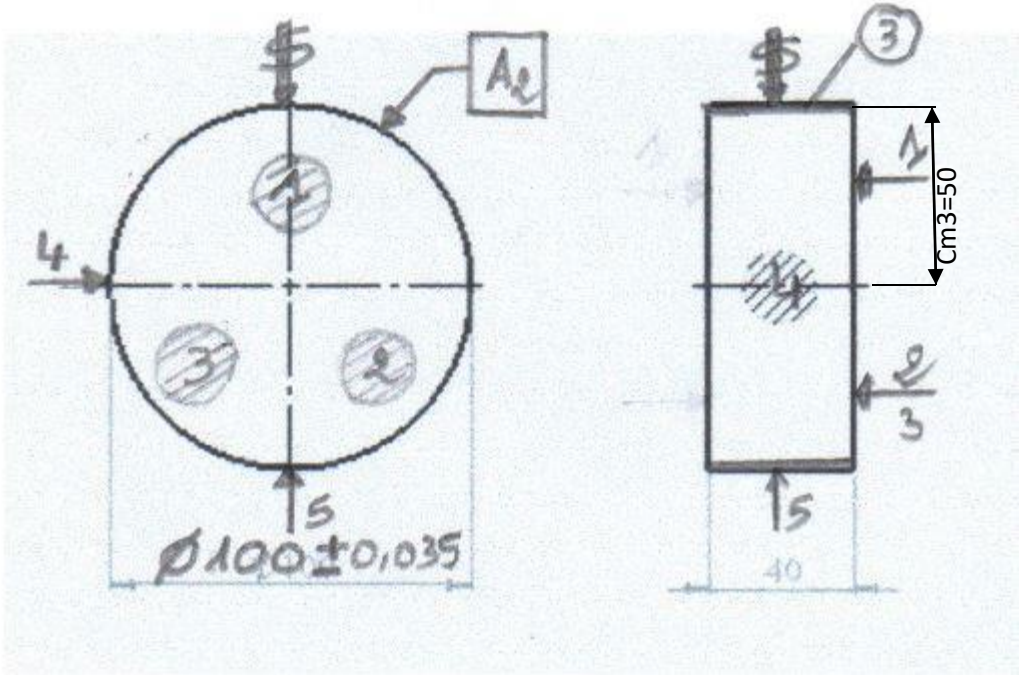


MACH-OUT :Tour			PHASE :200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
220	221- Dressage (2) Même montage que 10, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ -Serrage Usiner 2 Cm ₂ =40±0,23 2-Chariotage de (3) 2Cm ₃ =∅ 100+ ^{0,035} Cm ₃ =50	Outil à dresser en carbure Outil à charioter	Pied à coulisse Pied à coulisse				

221-Dressage de 2:

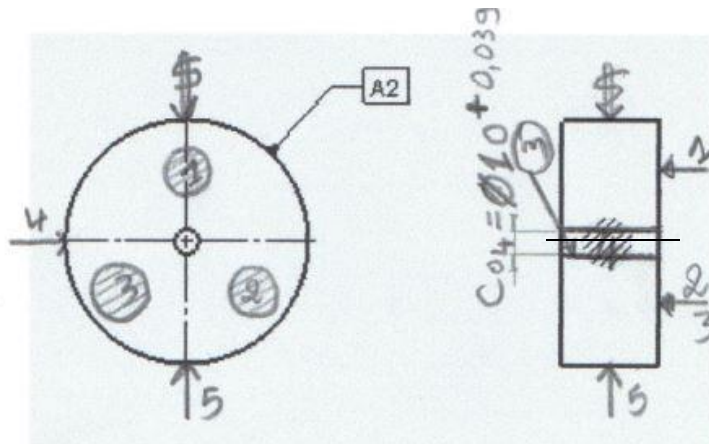


222-Chariotage de 3:

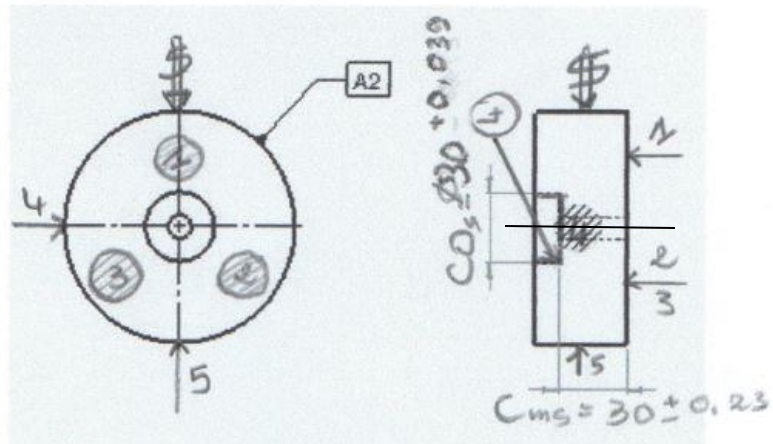


MACH-OUT : Tour manuel			PHASE : 200				
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
230	- Centrage: Même montage que la phase 220, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ .Serrage 231-Perçage de (3) Profondeur debouchante $C_{04}=10^{+0.039}$	Outil à centrer Foret de diametre 10	Pied à coulisse				
240	241-Perçage de (4) Même montage que 230, -Appui plan sur 1. -4 et 5 sur A ₂ .Serrage Profondeur de 10 $C_{m5}= 30 \pm 0.23$ $C_{05}= \varnothing 30 \pm 0.039$	Fraise de diametre 30	Pied à coulisse +Jauge de profondeur				
250	251-Gorge (5) Meme montage que 40 -Appui plan sur 2. -4 et 5 sur A ₂ .Serrage Section= 3 $C_{m6}=29 \pm 0.23$ $C_{06}=3$	Outil à rainurer 3	Pied à coulisse +Jauge de profondeur				

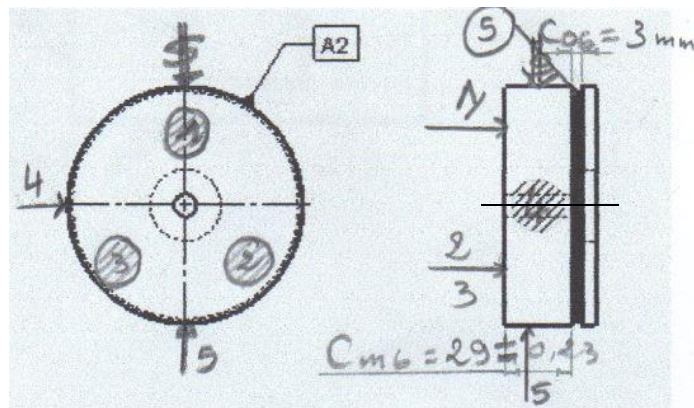
232-Perçage de 3:



241-Perçage de 4:

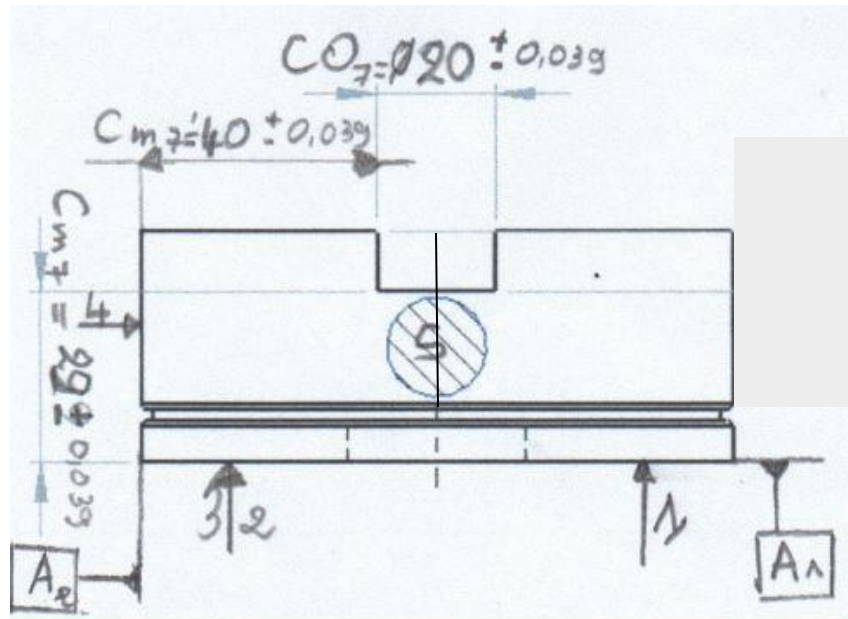


251-Gorge sur 5:

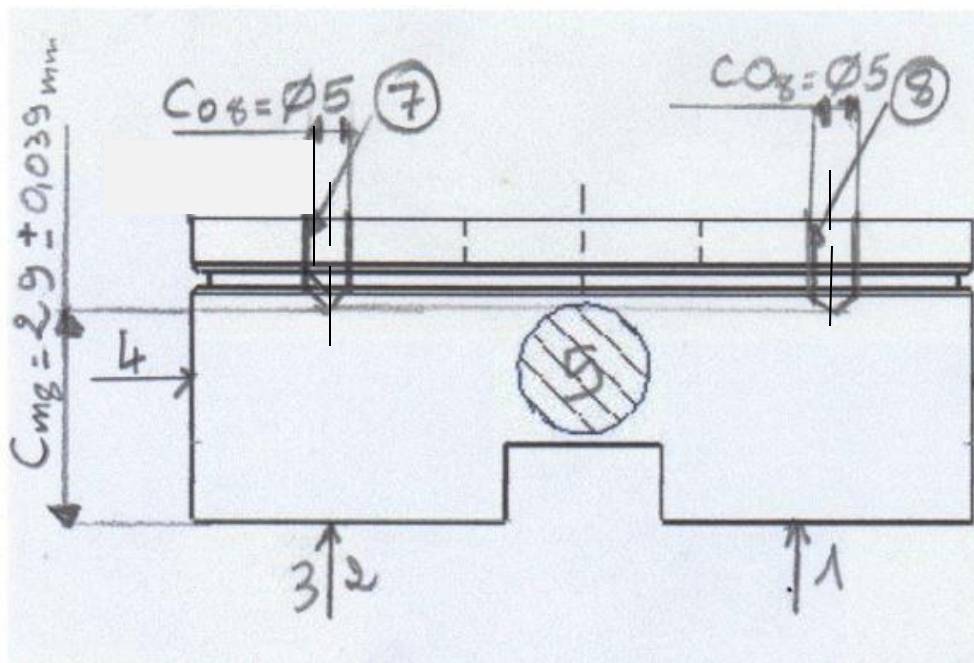


	FEUILLE DE GAMME		PHASE :300 MACH-OUT : Fraise				
PROJET : Moule compactage PIECE : Porte empreinte male	NOMBRE :1 MATIERE :Alliage d'aluminium		NOM : DATE :				
Désignations des sous-phases et opérations		Outillage		V (m/min)	N (Tr/min)	a	A
Sous-Phase	Opérations	Coupe	Contrôle				
310	<p>-Centrage :</p> <p>-Mise en position de la pièce sur référentiel défini par :</p> <p>-Appui plan en 3N (1;2;3) sur A1</p> <p>- Centrage court en 2N (4;5) A2</p> <p>- Serrage</p> <p>311-Fraisage de (6)</p> <p>Usiner 1</p> <p>En plusieurs opérations :</p> <p>$C_{07} = \text{Ø } 20^{\pm 0.039}$ $C_{m7} = 29^{\pm 0.039}$ $C_{m7}' = 40^{\pm 0.039}$</p> <p>312-Perçage de (7) et (8)</p> <p>$C_{08} = \text{Ø } 5$ $C_{m8} = 29^{\pm 0.039}$ $C_{m8}' = 12.5^{\pm 0.039}$</p> <p>313-Taroudage de (7) et (8)</p> <p>En 3 opérations.</p>	Fraiseuse Diamètre 20	Pied à coulisse				

311-Fraisage de 6:



312-Perçage de 7 et 8:





**CHAPITRE V : Mode
d'emploi des moules**

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

-Première Partie : Compactage à froid

I-Mode d'emploi du moule d'éprouvettes plates par compactage à froid et sous vide

I-1-Introduction

Le moule d'éprouvettes plates par compactage à froid et sous vide est conçu pour la fabrication de pièces plates. Ce mode d'emploi vous guidera à travers les étapes nécessaires pour utiliser efficacement le moule.

II-Liste des pièces fournis

-Assurez-vous que toutes les pièces suivantes sont incluses :



Figure V-1:Pièces du moule

- 1- Presse (pièce) : Utilisée pour appliquer une force de compactage sur les matériaux.
- 2- Pièce male : Composant utilisé pour créer la cavité interne de l'éprouvette.
- 3- Pièce femelle : Composant utilisé pour créer la face externe de l'éprouvette.
- 4- Porte empreinte male : Pièce utilisée pour maintenir la pièce male en place et diminuer la force de compactage sur la pièce male.
- 5- Porte empreinte femelle : Pièce utilisée pour maintenir la pièce femelle en place.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

- 6-Pièce rectangulaire : Pièce utilisé pour avoir un bon état de surface de l'éprouvette.
- 7-Enceinte : Structure qui abrite le processus de compactage à froid et sous vide.
- 8-Valve : Utilisé pour évacuer l'air de l'enceinte avant et pendant le processus de compactage.
- 9- Piston : Utilisé pour faciliter l'entrée et l'extraction du porte empreinte male avant et après le processus du compactage.
- 10- Vis : Utilisé pour faciliter l'extraction et la manipulation des pièces (4 ,5 ,9).
- 11-Joint torique : Utilisé pour assurer que le processus se fait sous vide.
- 12-Goupille : Utilisé pour éliminer la translation des pièces (3 ,6).

III-Préparation

- 1-Assurez-vous de disposer d'un espace de travail approprié avec une alimentation électrique adéquate pour la presse hydraulique.
- 2-Vérifiez que toutes les pièces sont propres et en bon état de fonctionnement.
- 3-Préparez la poudre selon l'épaisseur de l'éprouvette :

1g PTFE → 1mm d'épaisseur



Figure V-2: Préparation de la poudre

Chapitre V: Mode d'emplois des moules



Figure V-3: Peser la poudre sur la balance

IV-Assemblage du moule

A-Placez l'enceinte sur une surface plane et stable.

B-Insérez la pièce triangulaire dans la porte empreinte femelle puis la pièce femelle en s'assurant d'éliminer le mouvement de translation des deux pièces à l'aide de deux goupilles.



Figure V-4: Représentation de la phase B

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

C-Insérez la poudre du polymère (PTFE dans notre cas) dans la pièce femelle.



Figure V-5: Représentation de la phase C

D-Insérez les pièces de la phase C dans l'enceinte à l'aide de deux vis.



Figure V-6: Représentation de la phase D

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

E-Placez la pièce male dans la pièce femelle en s'assurant que les deux pièces sont totalement contraintes et sont sur le même axe (correctement alignée).

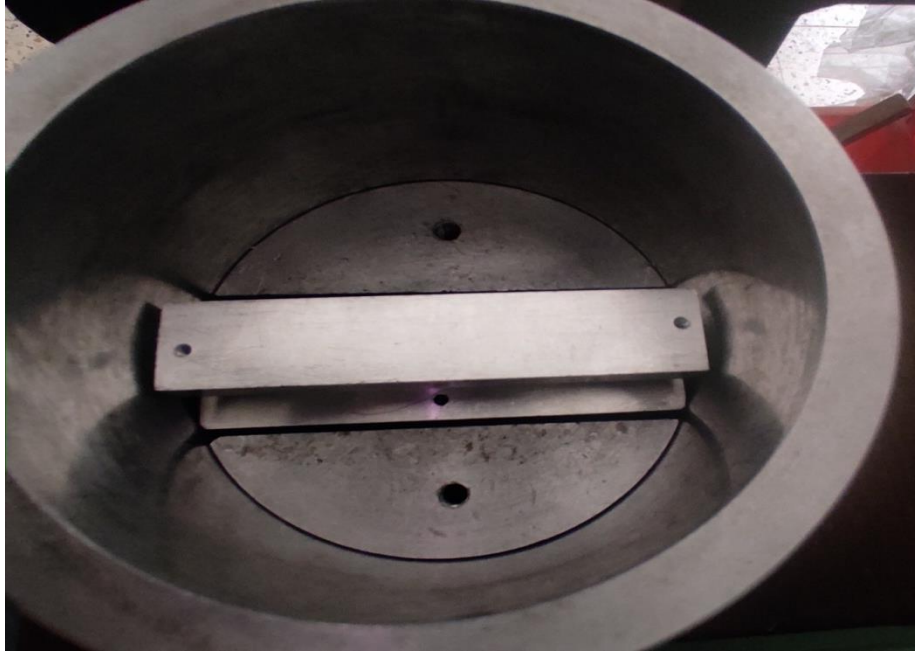


Figure V-7: Représentation de la phase E

F- Mettez le joint torique (diamètre 85) sur la porte empreinte male, puis mettre le tout dans l'enceinte avec les deux vis en s'assurant de la coïncidence de la pièce male et la rainure de la porte empreinte male.



Figure V-8: Représentation de la phase E

G-Mettez le joint torique (diamètre 8) dans le piston, puis les insérer dans la porte empreinte male.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules



Figure V-9: Représentation de la phase G

H-Pressez tout l'assemblage avec la presse (pièce).



Figure V-10: Représentation de la phase H

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

V-Processus de compactage

1-Allumez la presse hydraulique et assurez-vous que toutes les commandes sont fonctionnelles.



Figure V-11: Représentation de la phase 1

2-Branchez la valve a une pompe à vide pour chasser l'air compimer dans l'enceinte pendant 5min.

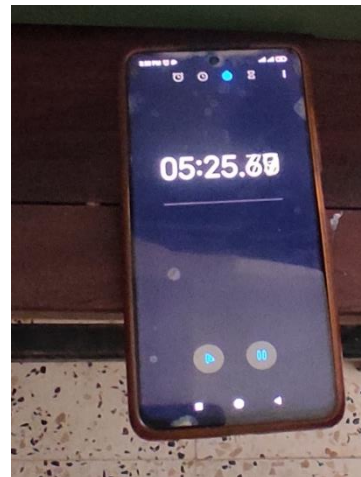
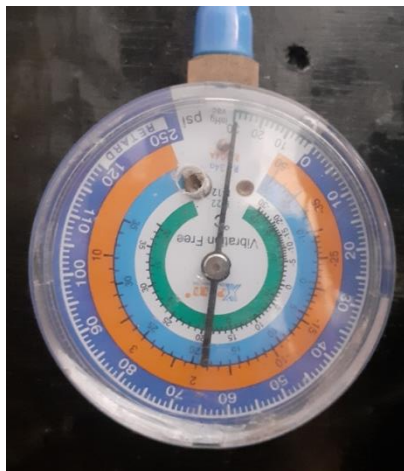


Figure V-12: Représentation de la phase 2

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

3-Appliquez la force de compactage en utilisant les réglages appropriés sur la presse hydraulique :

$$11\text{KN/m}^2 \longrightarrow 1.1 \times 10^4 \text{ Pa}$$



Figure V-13: Représentation de la phase 3

VI- Fin du processus de compactage

A- Une fois la durée de compactage écoulée (5min), relâchez la pression sur la presse hydraulique et éteignez-la.

B-Attendez que la pression dans l'enceinte revienne à la normale avant de l'ouvrir.

C-Débranchez la valve.

VII-Retrait des pièces

1-Ouvrez délicatement l'enceinte en vous assurant de ne pas endommager les pièces ou l'éprouvette.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

2-Retirez la presse puis le piston de la porte empreinte male, puis retirez ce dernier.



Figure V-14: Représentation de la phase 2

3-Retirez l'assemblage (pièce mâle et femelle), puis retirez l'éprouvette avec précaution pour éviter toute déformation ou endommagement .

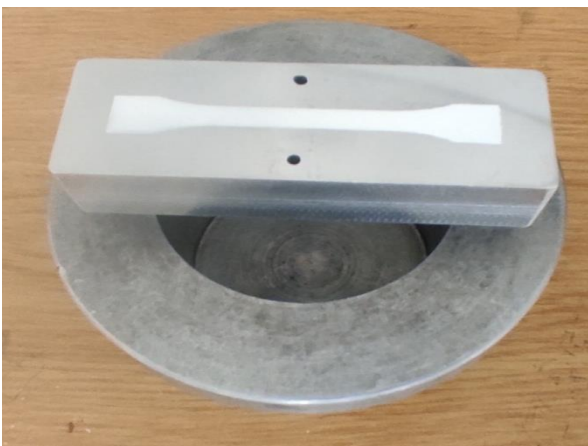


Figure V-15: Représentation de la phase 3

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

VIII-Nettoyage et entretien

1-Nettoyez toutes les pièces du moule à l'aide d'un chiffon propre et de l'éthanol.

2-Vérifiez l'état de chaque pièce et remplacez toute pièce endommagée ou usée (joint torique,...).

3-Rangez soigneusement toutes les pièces dans un endroit approprié, à l'abri de la saleté et de l'humidité.

-Remarque : Assurez-vous de suivre les procédures de sécurité appropriées lors de l'utilisation de la presse hydraulique et de manipuler les pièces du moule.



Figure V-16: Echantillon obtenu après le processus de compactage

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

DEUXIEME PARTIE : Frittage (Traitement thermique)

1-Mode d'emplois du moule de traitement thermique d'éprouvettes plate

I-1-Introduction

Le moule de traitement thermique d'éprouvettes est conçu pour réaliser le traitement thermique précis d'éprouvettes dans un environnement contrôlé. Ce mode d'emploi vous guidera à travers les étapes nécessaires pour utiliser efficacement le moule.

II-Liste des pièces fournis

-Assurez-vous que toutes les pièces suivantes sont incluses:



Figure V-17: Pièces du moule du frittage

1-Cylindre : Utilisé pour mettre les éprouvettes dedans pour le traitement thermique (jusqu'a 3 eprouvettes) .

2- Couvercle: Pour assurer l'isolement et l'étanchéité du moule

3- Vis : Utilisée pour le l'extraction du couvercle

Avertissement : Assurez-vous de respecter les normes de sécurité appropriées lors de l'utilisation du four et de manipuler des objets chauds.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules

III- Préparation

- 1-Vérifiez que le moule, y compris le moule cylindrique et le couvercle, est propre et en bon état.
- 2- Sélectionnez l'éprouvette appropriée pour le traitement thermique.
- 3-Assurez-vous que l'éprouvette est propre et exempte de contaminants.
- 4- Enroulez le cylindre à l'intérieure ainsi que les éprouvettes avec du papier aluminium pour éviter une quelconque contamination.



Figure V-18: Représentation de la phase préparation

IV-Assemblage du moule

- 1-Placez l'éprouvette dans l'ouverture cylindrique du moule de manière centrée.
- 2-Positionnez le couvercle du moule sur le siège prévu à cet effet.
- 3-Assurez-vous que le couvercle est correctement aligné et fixé au moule.

V- Préparation du four

- 1-Préchauffez le four à la température requise de 360 degrés Celsius.
- 2-Assurez-vous que la grille du four est positionnée de manière à accueillir le moule.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules



Figure V-19: Représentation de la phase préparation du four .

VI-Traitement thermique

1-Fermez la porte du four et réglez le chronomètre en fonction de la durée de traitement thermique spécifiée pour le matériau de l'éprouvettes

VII-Refroidissement et retrait

1-Une fois la durée de traitement écoulée, éteignez le four.

2-À l'aide de gants thermorésistants, retirez le moule du four avec précaution et placez-le sur une surface résistante à la chaleur.

3-Laissez le moule refroidir pendant un certain temps jusqu'à ce qu'il puisse être manipulé en toute sécurité.

Chapitre V: Mode d'emplois des moules



Figure V-20: représentation de la phase refroidissement et retrait

VIII- Retrait des éprouvettes

- 1-Ouvrez délicatement le moule en retirant le couvercle.
- 2-Retirez avec précaution l'éprouvette du moule, veillez à ne pas vous brûler.

XI-Nettoyage et entretien du moule

- 1-Si nécessaire, nettoyez légèrement l'éprouvette pour éliminer tout résidu.
- 2-Nettoyez le moule cylindrique et le couvercle pour enlever toute trace de traitement thermique.



Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude, consacrée à la conception et à la réalisation de moules de compactage et de frittage du PTFE en vue de l'élaboration d'éprouvettes plates de traction conformes aux normes ISO, nous nous sommes d'abord intéressés aux polymères et à leur élaboration ainsi qu'à certains aspects de l'ingénierie mécanique avant de passer à la conception et à la réalisation des dispositifs. Le travail a donc été scindé en deux parties : une partie théorique dans la quelle nous avons présenté succinctement les polymères et leur élaboration et une partie pratique consacrée à la conception et à la réalisation des dispositifs, Une mise à l'essai du prototype réalisé qui a consisté en l'élaboration de quelques éprouvettes plates en PTFE a été conduite afin de valider notre dispositif.

La réalisation de notre projet de fin d'études au niveau du hall de technologie de OUED-AISSI a été pour nous d'une importance capitale, tant sur le plan pratique que théorique, cela nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de l'usinage (tournage, fraisage,...).

Le logiciel de conception assisté par ordinateur Solid Works nous a permis de définir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différentes pièces. La performance de ce logiciel nous a aidé à concevoir les deux moules ainsi que les pièces les composant.

La réalisation des moules a été abordée en détail, de la sélection des matériaux à la fabrication, tandis que le mode d'emploi des moules a été décrit dans le dernier chapitre.

Enfin, ce travail nous prépare à l'insertion dans le monde professionnel, et nous espérons qu'il apportera un soutien pédagogique pour de futures promotions.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Ouvrage:

- [1] : S. Reichardt, W. G. Pellens, H. Fink, "Polymers", in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- [2] : J. Scheirs, "Historical Background and Overview", in Modern Polymer Spectroscopy, Wiley, 1997.
- [3] : E. Maréchal ; Polycondensation et polyaddition ; Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et composites ; A M 3 041.
- [4] : J. Rietsch, B. Bouette. The compression yield behaviour of polycarbonate over a wide range of strain rates and temperatures ,(1 990).
- [5] : J. Richeton, S. Ahzi, L. Daridon, Y. Rémond, A formulation of the cooperative model for the yield stress of amorphous polymers for a wide range of strain rates and temperatures. Polymer, 46, 6035-6043,(2005).
- [6] : Polymérisation ; Techniques de l'ingénieur, Traité plastiques et composites ; (A3 040).
- [8] : Odian, G. (2004). Principles of polymerization (Fourth edition). John Wiley & Sons.
- [9] : PASCAL FRAJMAN, JEAN-MARC URBAIN ; Chimie Organique et Polymères ;
- [10] : J P trotignon ; " Matière plastique", édition Nathan ,2006 Paris.
- [11] :ABDOULAYE SEYNI ; Propriétés Physico-chimiques et D'usage de Matériaux
- [12] :J. R. Sangoro et al., "Ion-containing Polymers: Bulk Dynamics, Structures, and Properties", Springer Science & Business Media, 2016.
- [13] :Salamone, J. C. (2017). Polymeric materials encyclopedia. CRC Press.
- [14] :Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials science and engineering: an introduction. John Wiley & Sons.
- [15] :B, Lotz. Structure cristalline des polymères, de la maille aux structures sur orientées, Kluwer Académique Publisher, Dordrecht (2000), 351-385.
- [16] :J, Rault. Les polymères solides. Amorphes, élastomères, semi-cristallins, Cépaduès-Editions, Toulouse (2002).
- [17] :J, M. Haudin. Structures et morphologies des polymères semi-cristallins », in C. G'Sell et J.M. Haudin (éditeurs), Introduction à la mécanique des polymères, Presses de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy (1995) pp 97-115.
- [18] :Socrates, G. (2001). Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. John Wiley & Sons.
- [19] :Mooney, R. P., & Wnek, G. E. (2010). Handbook of polymer properties. Springer Science & Business Media.

Bibliographie

- [20] :Campbell, A. (2002). The science and engineering of microelectronic fabrication. Oxford University Press.
- [21] : Ebnesajjad, S. (2014). Fluoroplastics: Volume 2, Melt Processible Fluoropolymers-The Definitive User's Guide and Data Book. William Andrew.
- [22] :Mishra, R., & Maity, S. (2015). Fluoropolymer applications in the chemical processing industries: a review. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(5), 393-426.
- [23]Gibson, I., Rosen, D.W., & Stucker, B. (2014). Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Springer.
- [24]German, R.M. (2012). Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing. Metal Powder Industries Federation.
- [25] Jiang, W., Zhang, L., & Zhang, S. (2019). Tribological properties of polytetrafluoroethylene composites filled with nano-SiO₂. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38(13-14), 610-621.
- [26]Herencia, F., & Torres, Y. (2015). Advances in Powder Metallurgy for Metal Injection Molding (MIM) Processes. In *Powder Metallurgy* (pp. 89-115). InTech.
- [27] Bhattacharya, M., & Bloor, D. (2004). Fluoroplastics: Chemistry and Applications (2nd ed.). William Andrew Publishing.
- [28]Bower, K.M. (2002). Tribological Properties of PTFE. In *Fluoroplastics* (Vol. 1, pp. 131-146). Elsevier.
- [29]Porter, R.S., & Jenkins, M.D. (2013). Rheology and Viscosity. In *Polymer Science and Technology* (3rd ed., pp. 225-255). Pearson.
- [30]Porter, R.S., & Jenkins, M.D. (2013). Rheology and Viscosity. In *Polymer Science and Technology* (3rd ed., pp. 225-255). Pearson.
- [31]Stokes, G.G., & Cook, R.F. (2001). Processing of Polymers. In *Polymer Physics* (pp. 253-278). Butterworth-Heinemann.
- [32]Adams, J., & Guglielmi, N. (2019). PTFE Microstructure Control for Medical Device Applications. In *Handbook of Polytetrafluoroethylene* (pp. 463-484). Elsevier.
- [33]Hu, X., Zhang, S., & Chen, D. (2014). Investigation on the crystal structure and properties of polytetrafluoroethylene (PTFE) nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53(5), 476-482.
- [34]German, R.M., & Suri, P. (Eds.). (2017). *Compaction of Ceramic Materials: Principles and Applications*. Springer.
- [35]Wunderlich, B. (2003). *Thermal Analysis of Polymeric Materials*. Springer.

Bibliographie

[36] Oberg, E., Jones, F.D., Horton, H.L., & Ryffel, H.H. (Eds.). (2016). Machinery's Handbook, 30th Edition, Toolbox Edition. Industrial Press.

[37] Guglielmi, N., Montanari, R., & Leonelli, C. (2017). Sintering of Polytetrafluoroethylene: A Review of the Paste Processing Method. *Polymers*, 9(3), 90.

[38] cours bureau de méthodes.

Site internet:

[7] -<http://fr.Wikipedia.org/wiki/polymers>

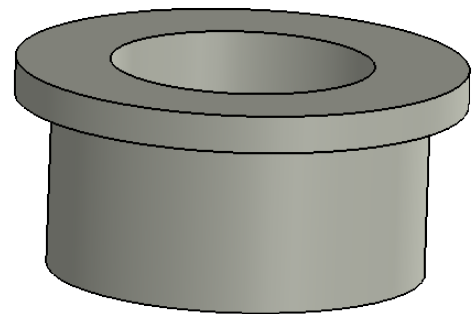
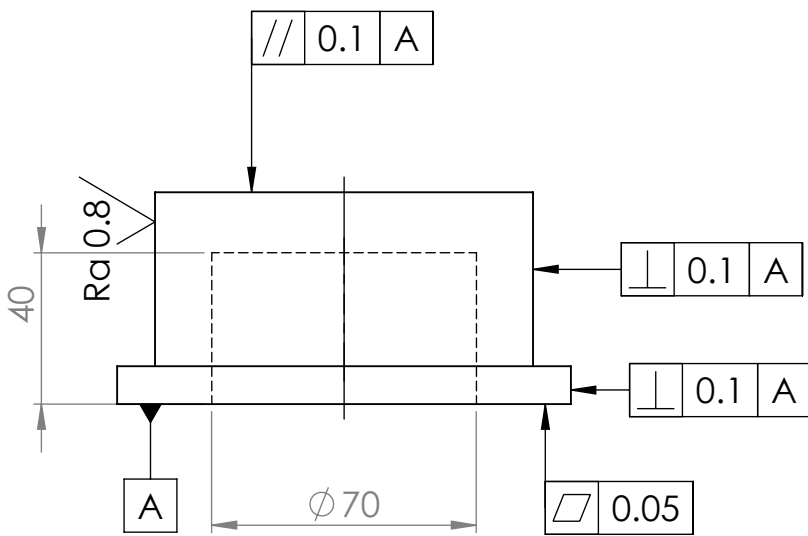
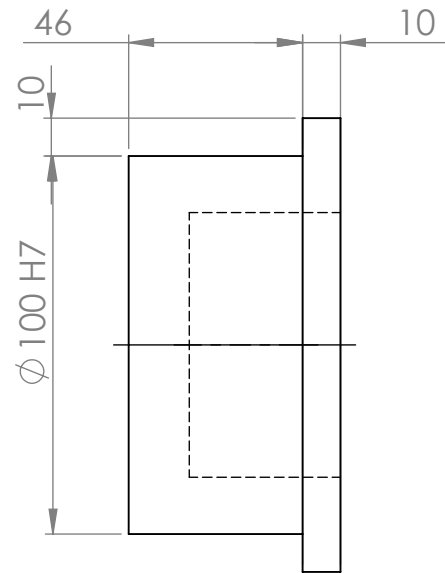
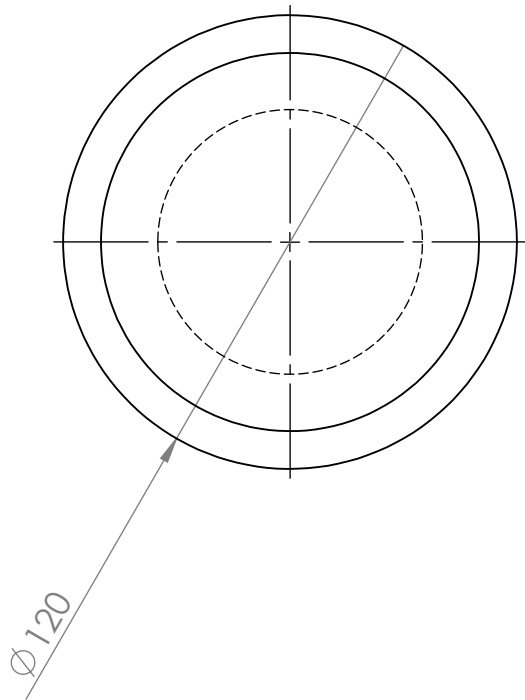
-www.chimie-sup.fr

[39] <https://gedimo.com>

[40] <https://cdn.makinate.com>



MISE EN PLAN



tolérance général J,Js 13 sauf indication
 Etat de surface Ra3.2 partout sauf indication

Echelle: 1:1

Planche N°:13



Format: A4

Presse

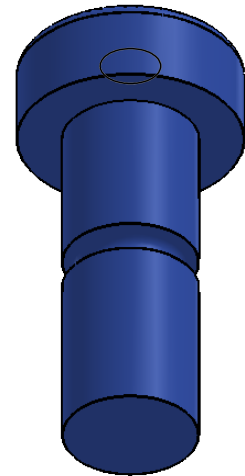
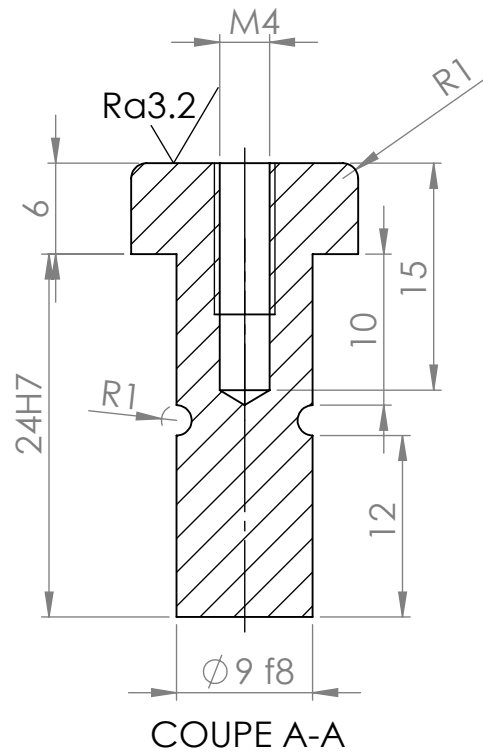
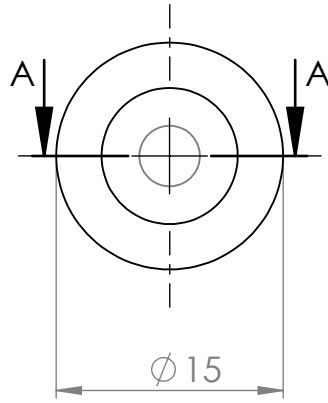
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

Promo:2022/2023

MASTER:II



tolérance générale J,Js 11
Etat de surface Ra0.8 partout sauf indication

Echelle: 1:1

Planche N°:10



Format: A4

Piston

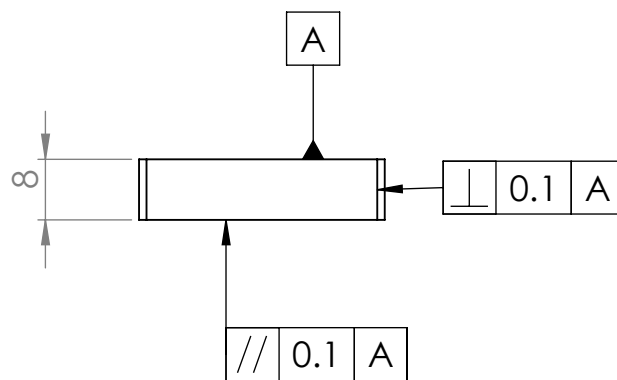
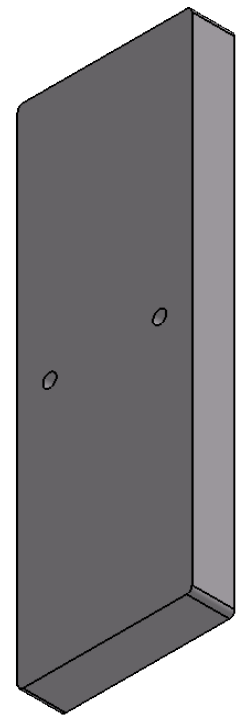
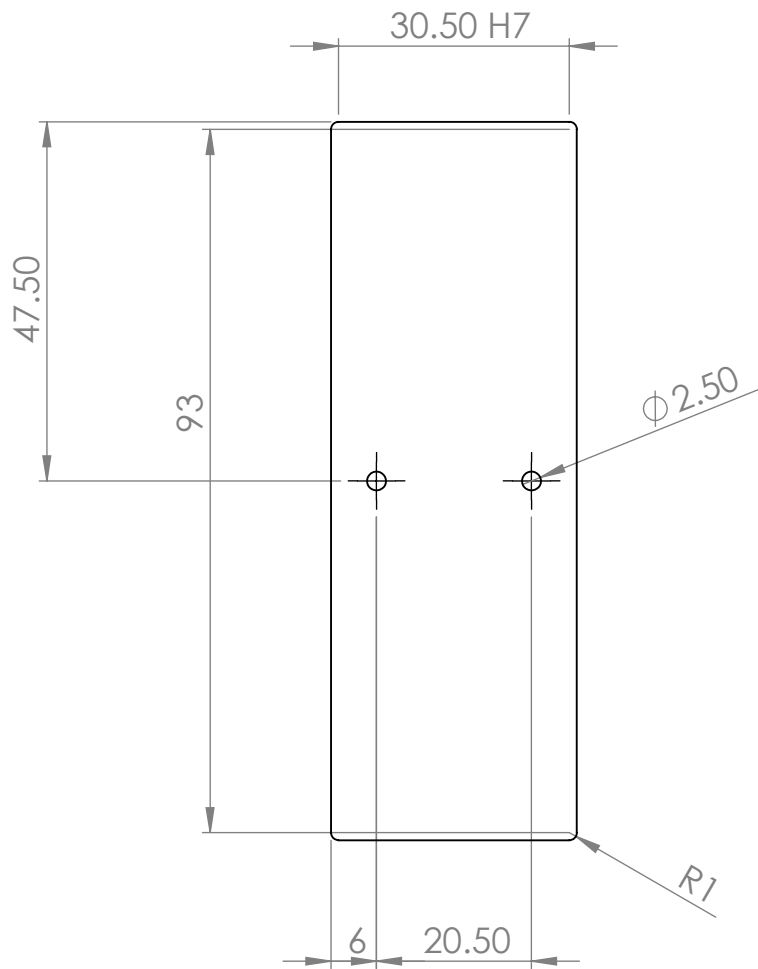
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

Promo:2022/2023

MASTER:II



tolérance générale J,Js 11
Etat de surface Ra0.8 partout

Echelle: 1:1

Planche N°:4



Format: A4

Pièce Rectangulaire

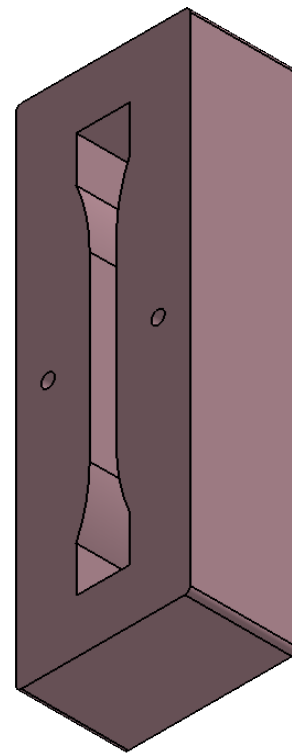
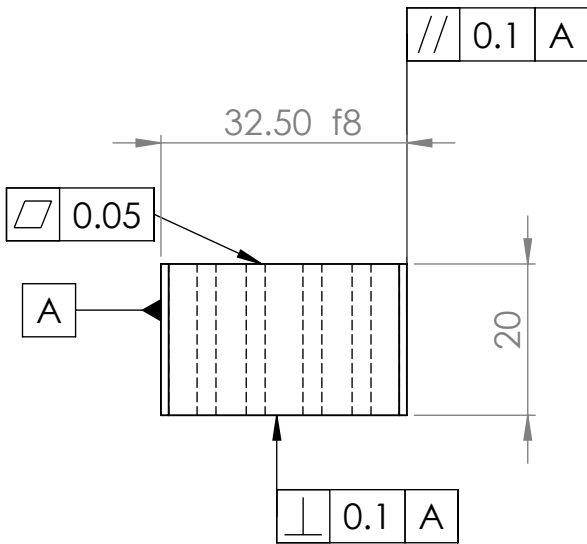
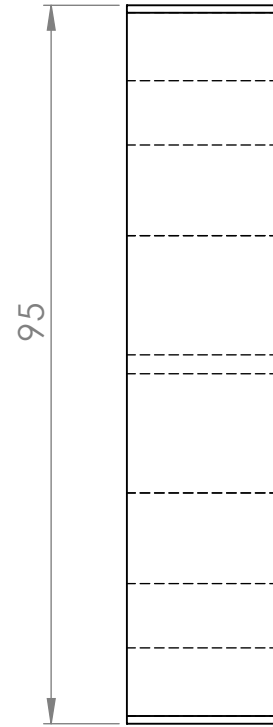
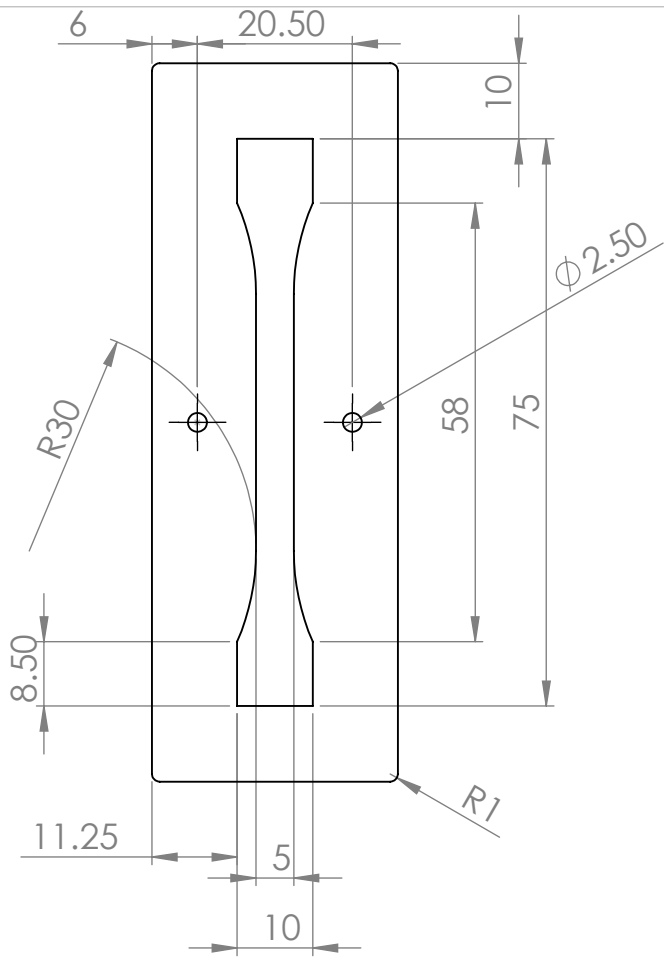
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

Promo:2022/2023

MASTER:II



tolérance générale J,Js 11 sauf indication
Etat de surface Ra0.8 partout

Echelle: 1:1

Planche N°: 3



Format: A4

Pièce Femelle (matrice)

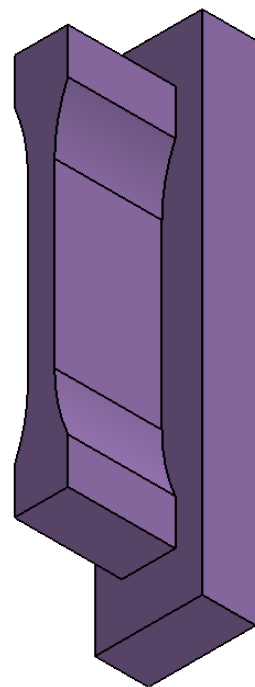
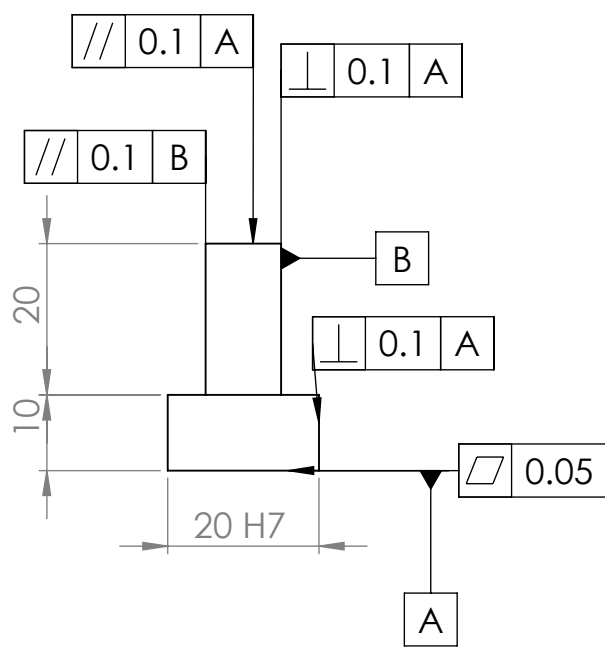
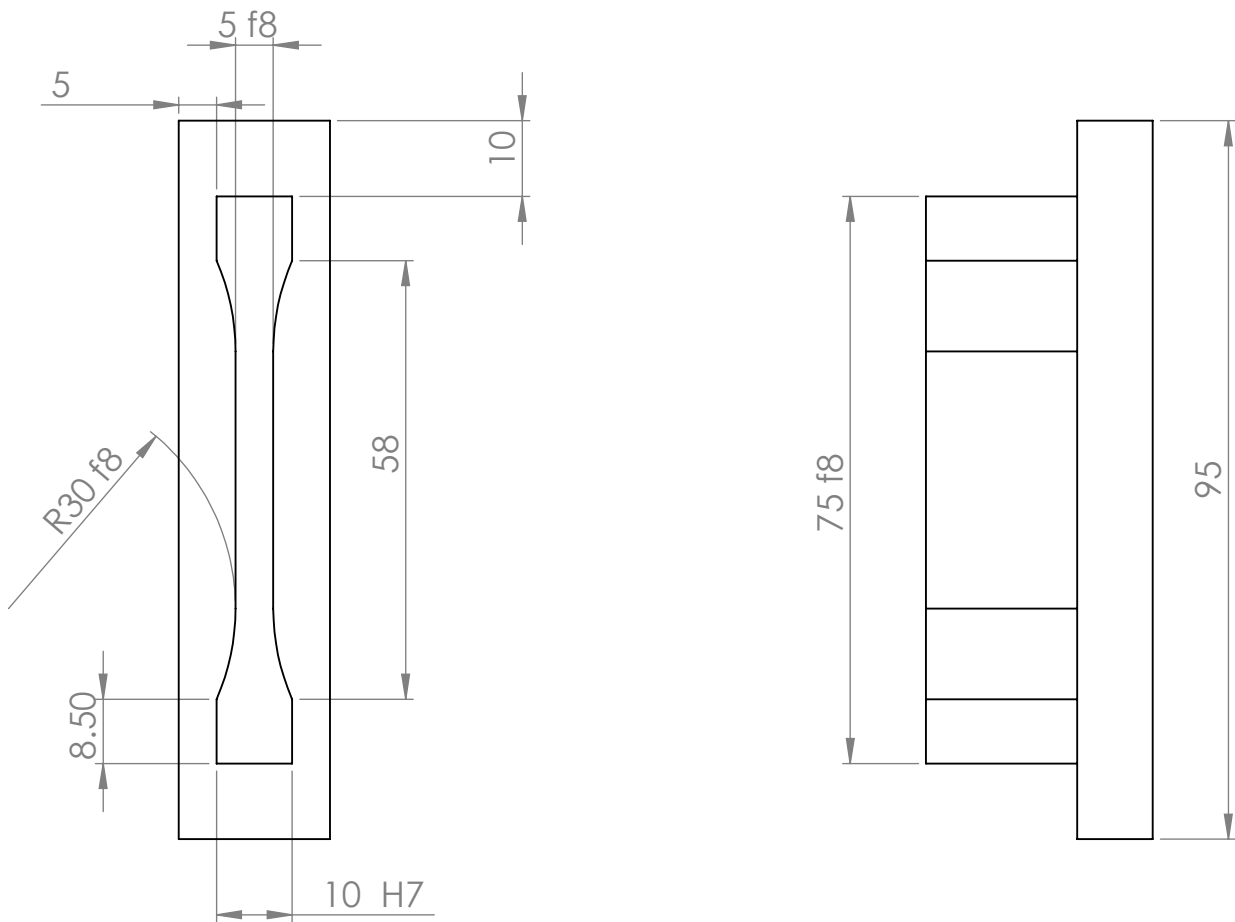
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI RAMZI

AISSAOUI Yani

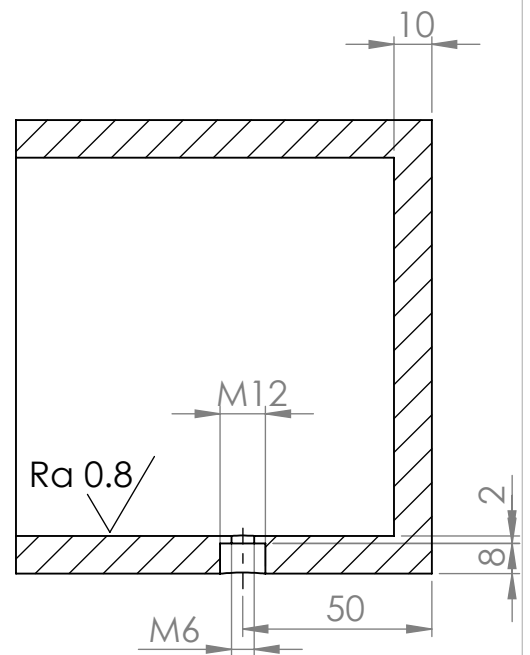
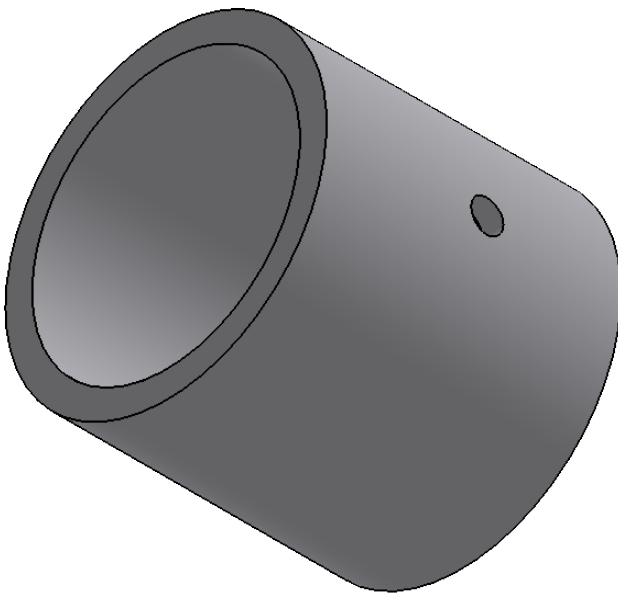
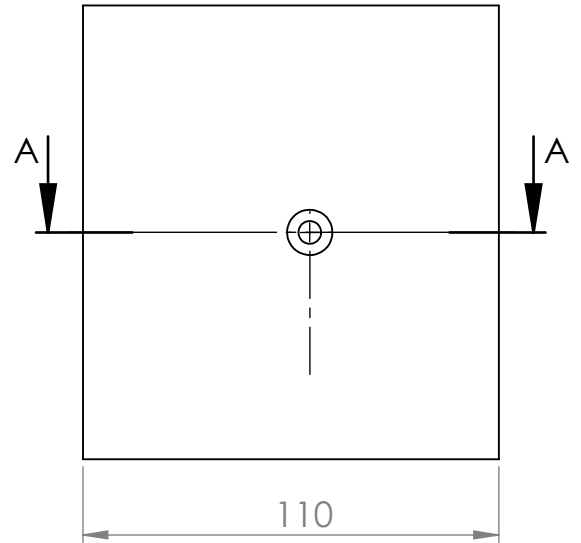
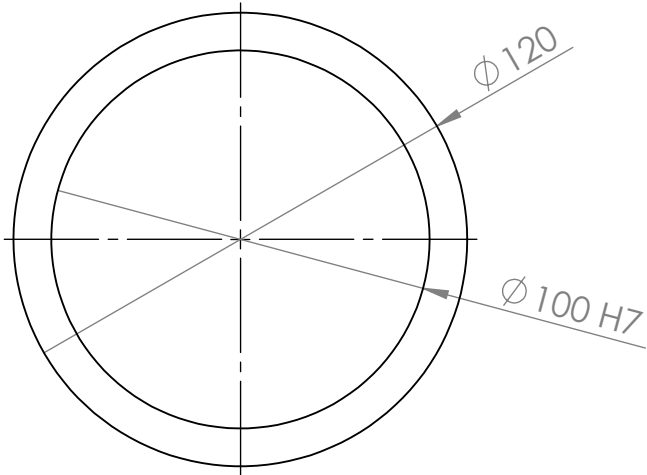
Promo:2022/2023

MASTER:II



tolérance général J,Js 11 partout sauf indication
 Etat de surface Ra0.8 partout

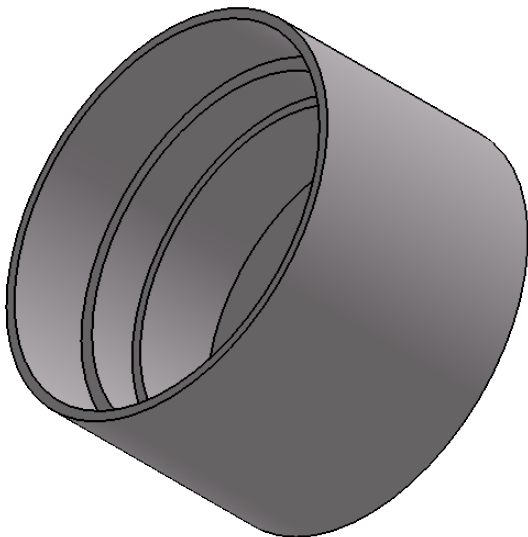
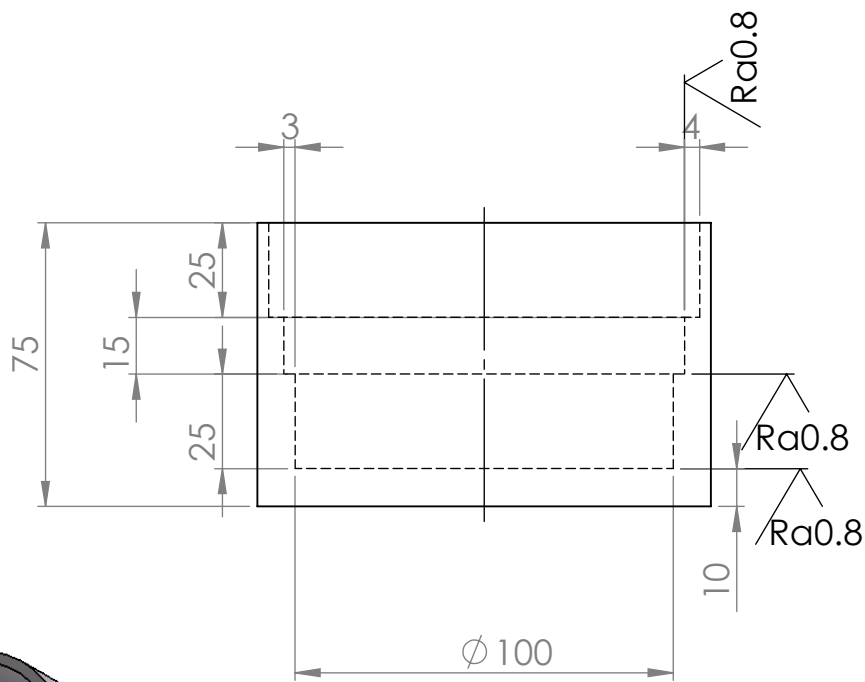
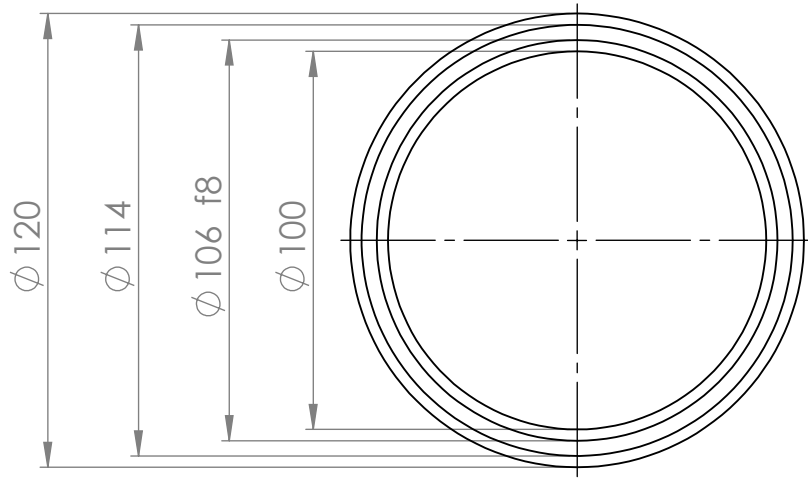
Echelle: 1:1	<h2>Pièce Male (Poinçon supérieur)</h2>	BENMAZARI Ramzi
Planche: N°12		AISSAOUI Yani
		Promo:2022/2023
Format: A4		MASTER:II
FGC DGM UMMTO		



COUPE A-A

tolérance général J,Js 13 sauf indication
 Etat de surface Ra3.2 partout sauf indication

Echelle: 1:1	<h1>ENCEINTE</h1>	BENMAZARI Ramzi
Planche N°: 1		AISSAOUI Yani
		Promo:2022/2023
Format: A4	FGC DGM UMMTO	MASTER:II



tolérance général J,Js 13 sauf indication
Etat de surface Ra0.8 partout sauf indication

Echelle: 1:1

Planche N°: 1



Format: A4

Moule frittage

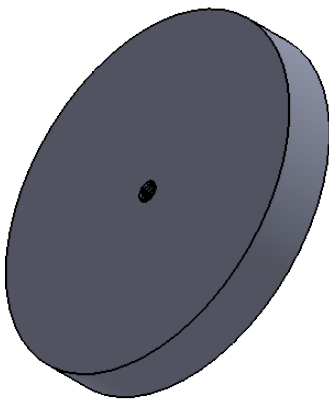
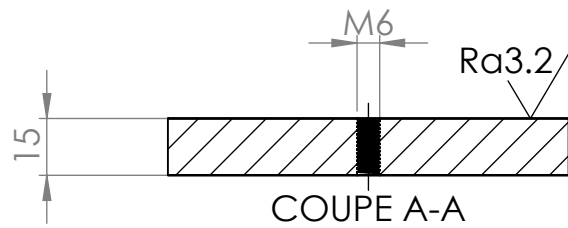
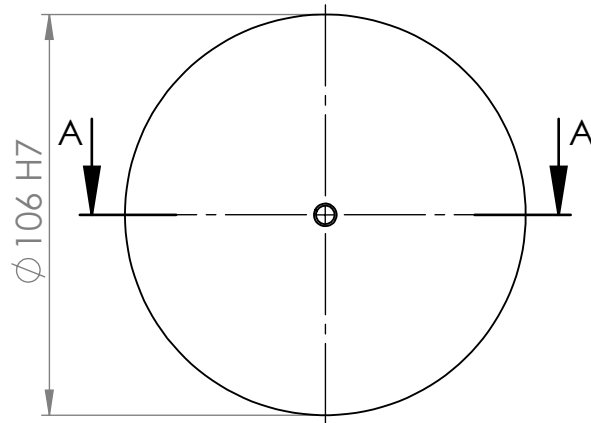
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

Promo:2022/2023

MASTER:II



tolérance général J,Js 13 sauf indication
Etat de surface Ra0.8 partout sauf indication

Echelle: 1:1

Planche N°: 2



Format: A4

Couvercle Moule Frittage

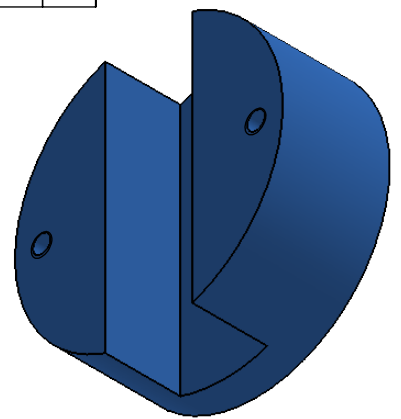
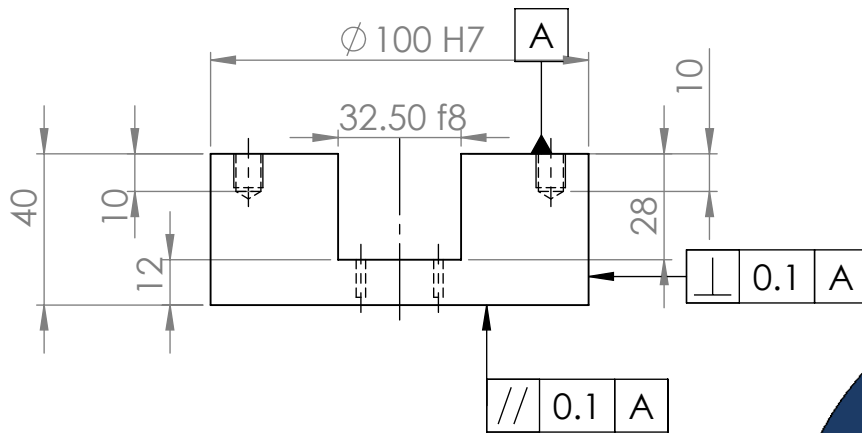
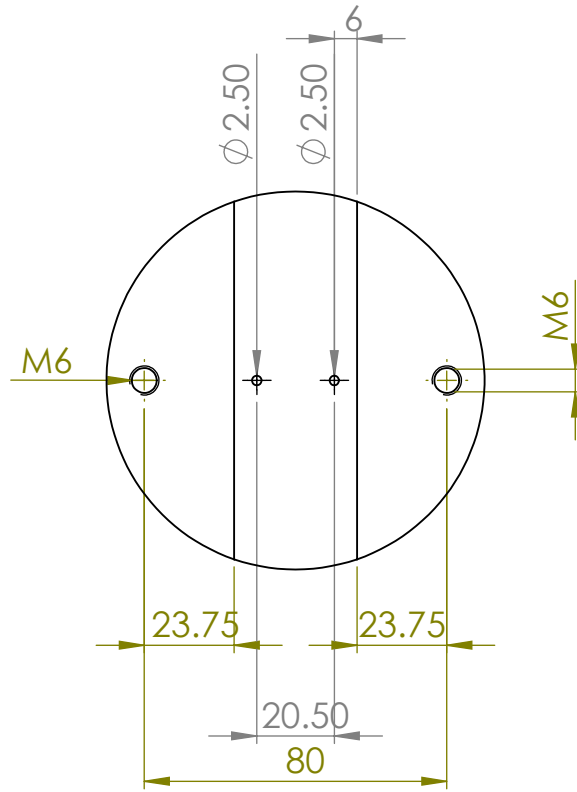
FGC DGM UMMTO

BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

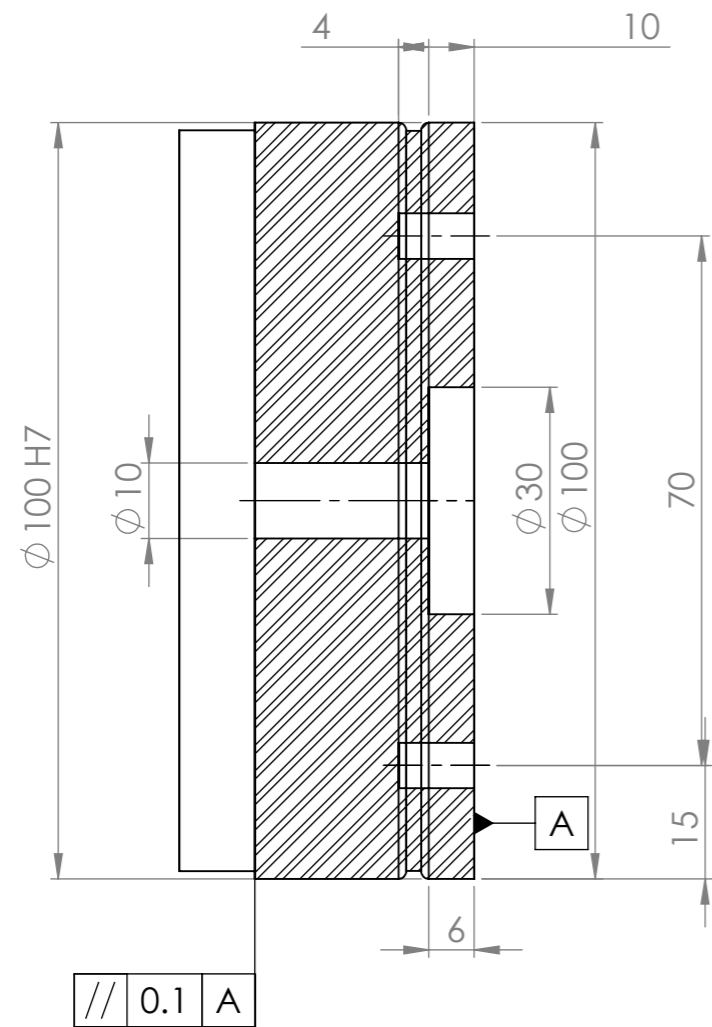
Promo:2022/2023

MASTER:II

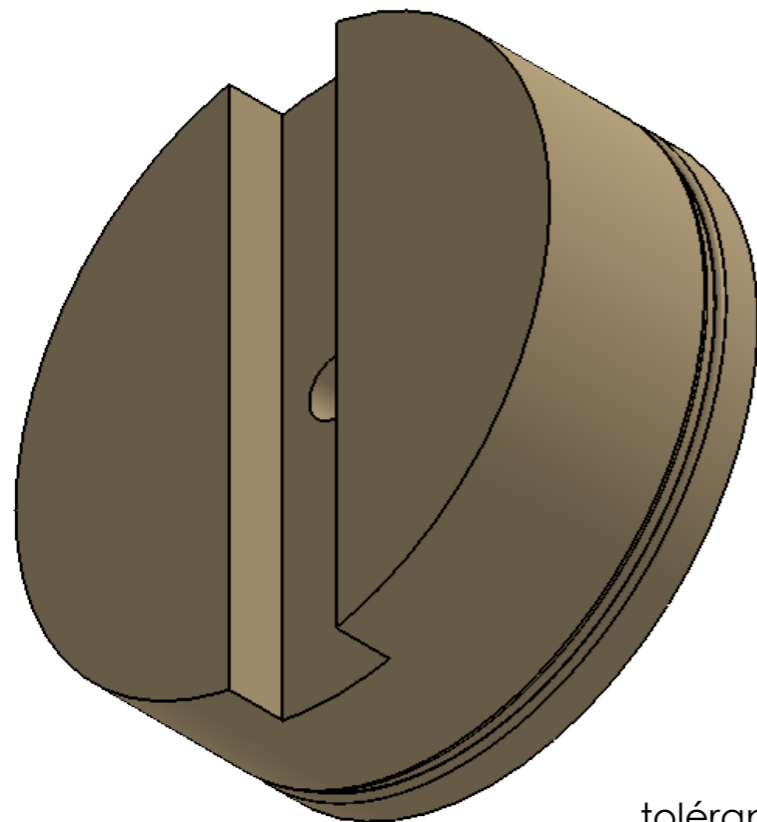


tolérance général J,Js 13 sauf indication
 Etat de surface Ra0.8 partout sauf indication

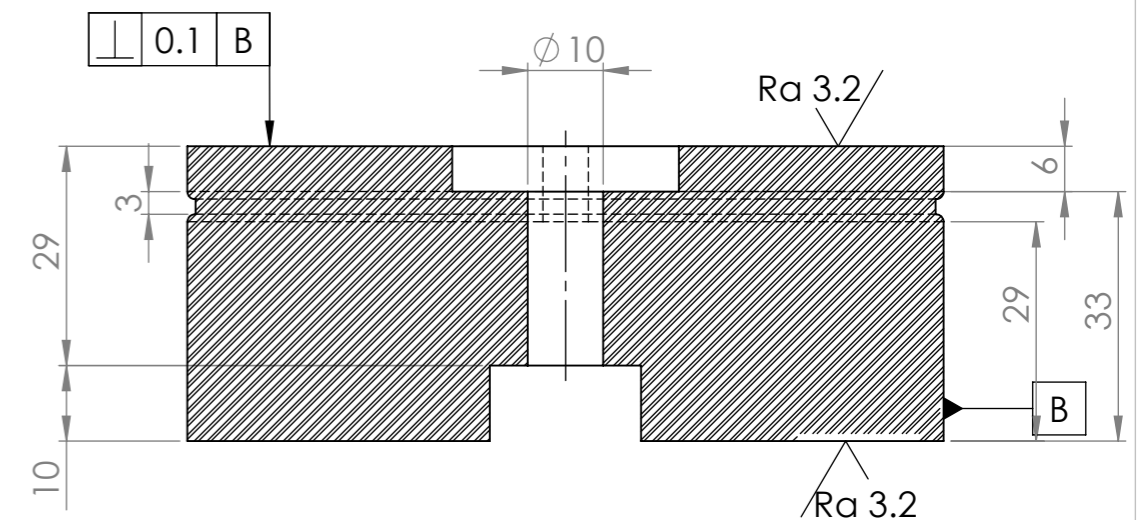
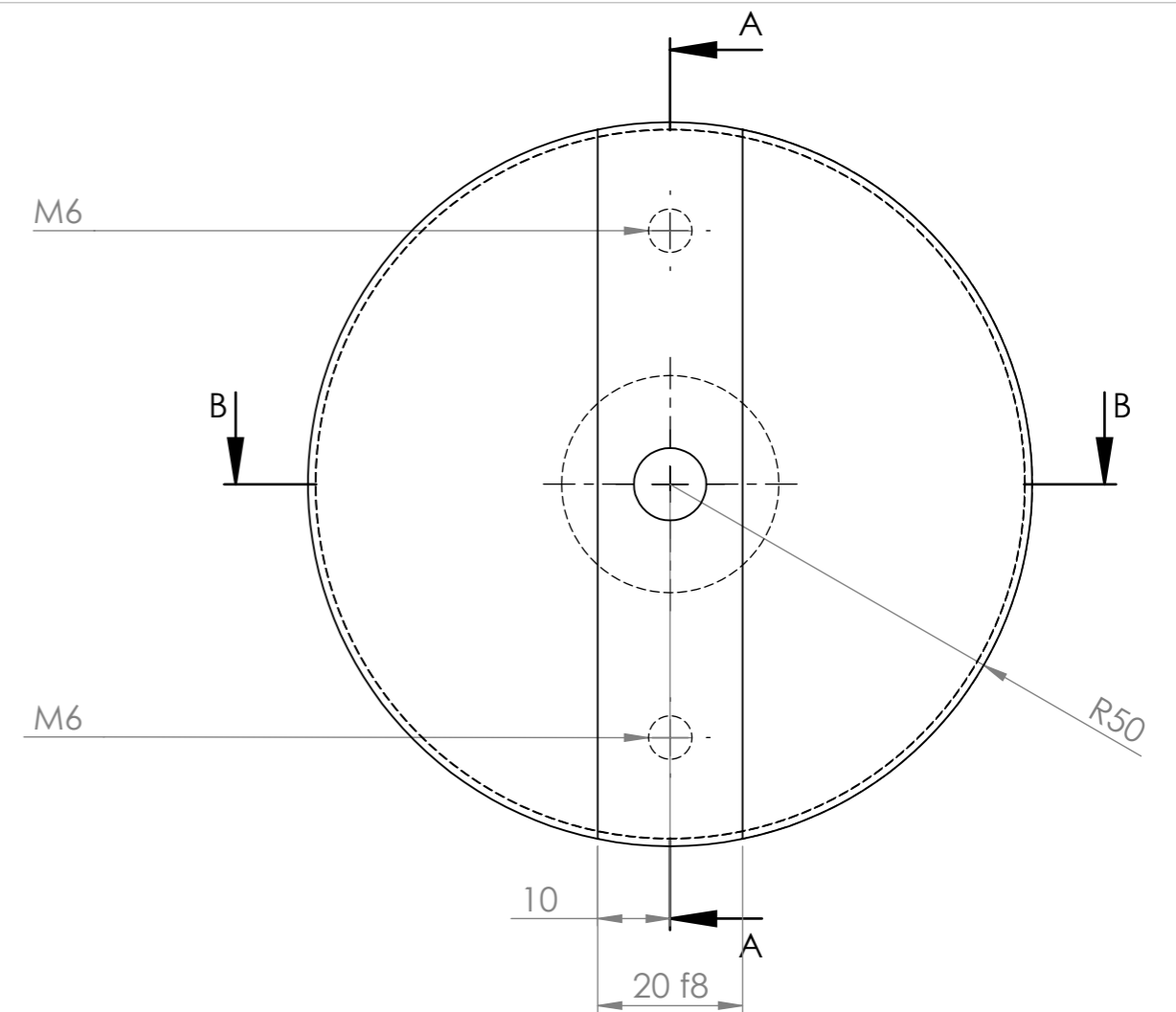
Echelle: 1:1	Porte empreinte femelle	BENMAZARI Ramzi
Planche N°:5		AISSAOUI Yani
		Promo:2022/2023
Format: A4	FGC DGM UMMTO	MASTER:II



COUPE A-A



tolérance général J,Js 13 sauf indication
Etat de surface Ra0.8 partout sauf indication



COUPE B-B

Echelle: 1:1

Planche N°:5

Format: A2

Porte Empreinte Male

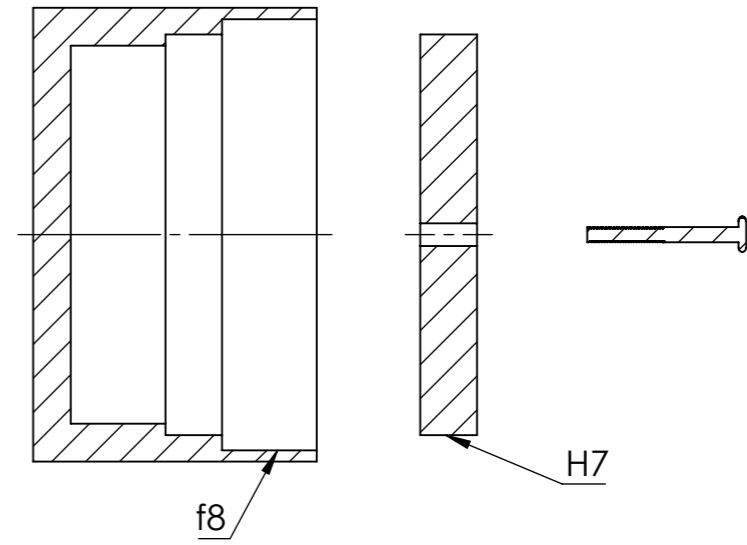
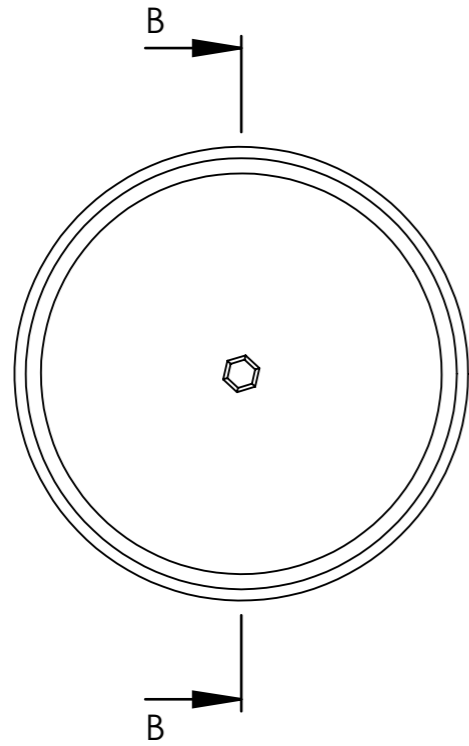
FGC-DGM-UMMTO

BENMAZARI Ramzi

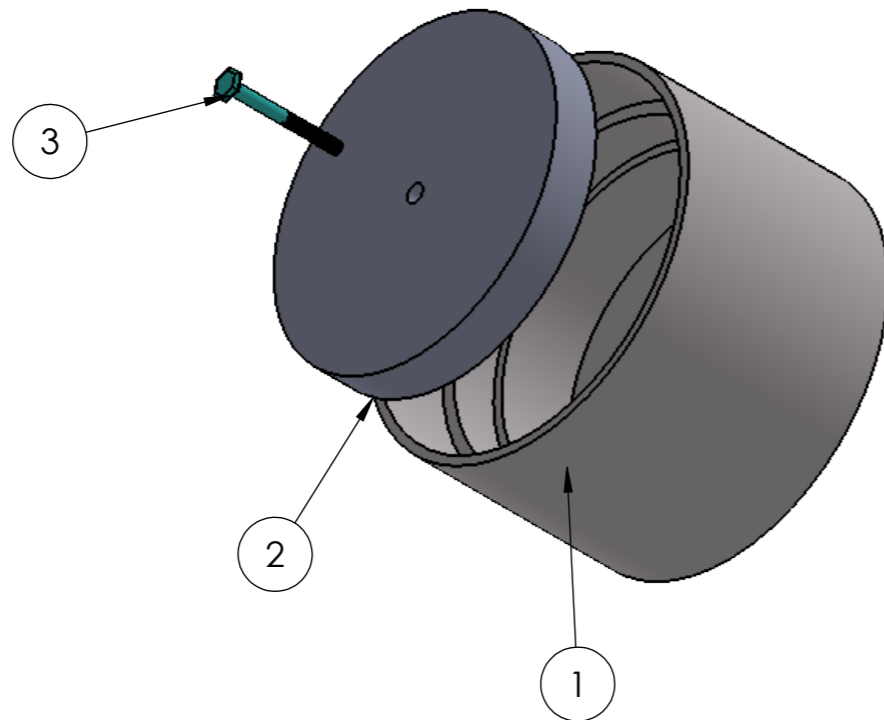
AISSAOUI Yani

Promo:2022/2023

Master II

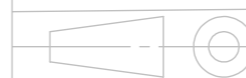


COUPE B-B



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	Moule frittage	Alliage d'aluminium	1
2	Couvercle	Alliage d'aluminium	1
3	Vis	M6	1

Echelle: 1:1



Format: A3

Moule Frittage Assemblé

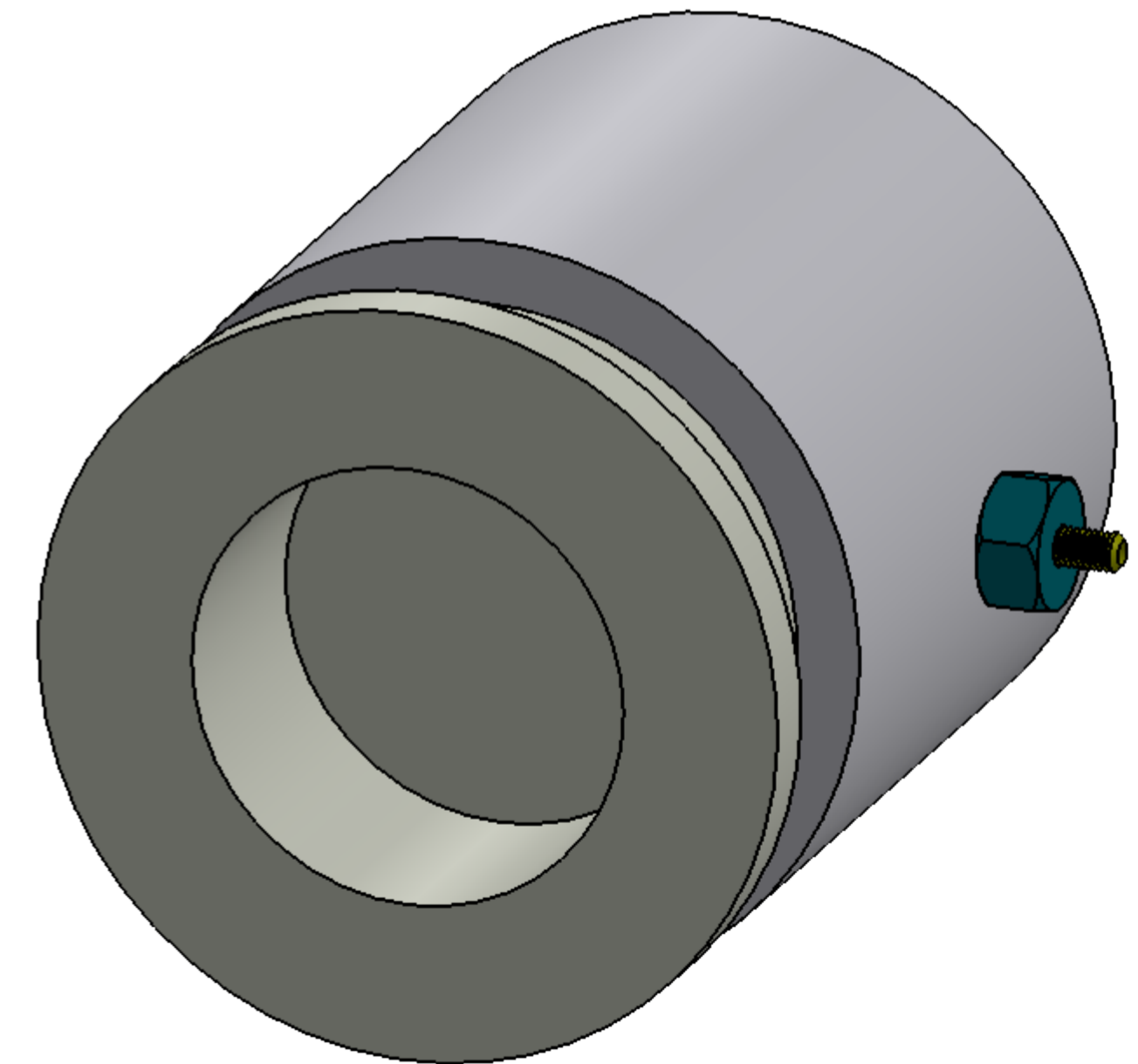
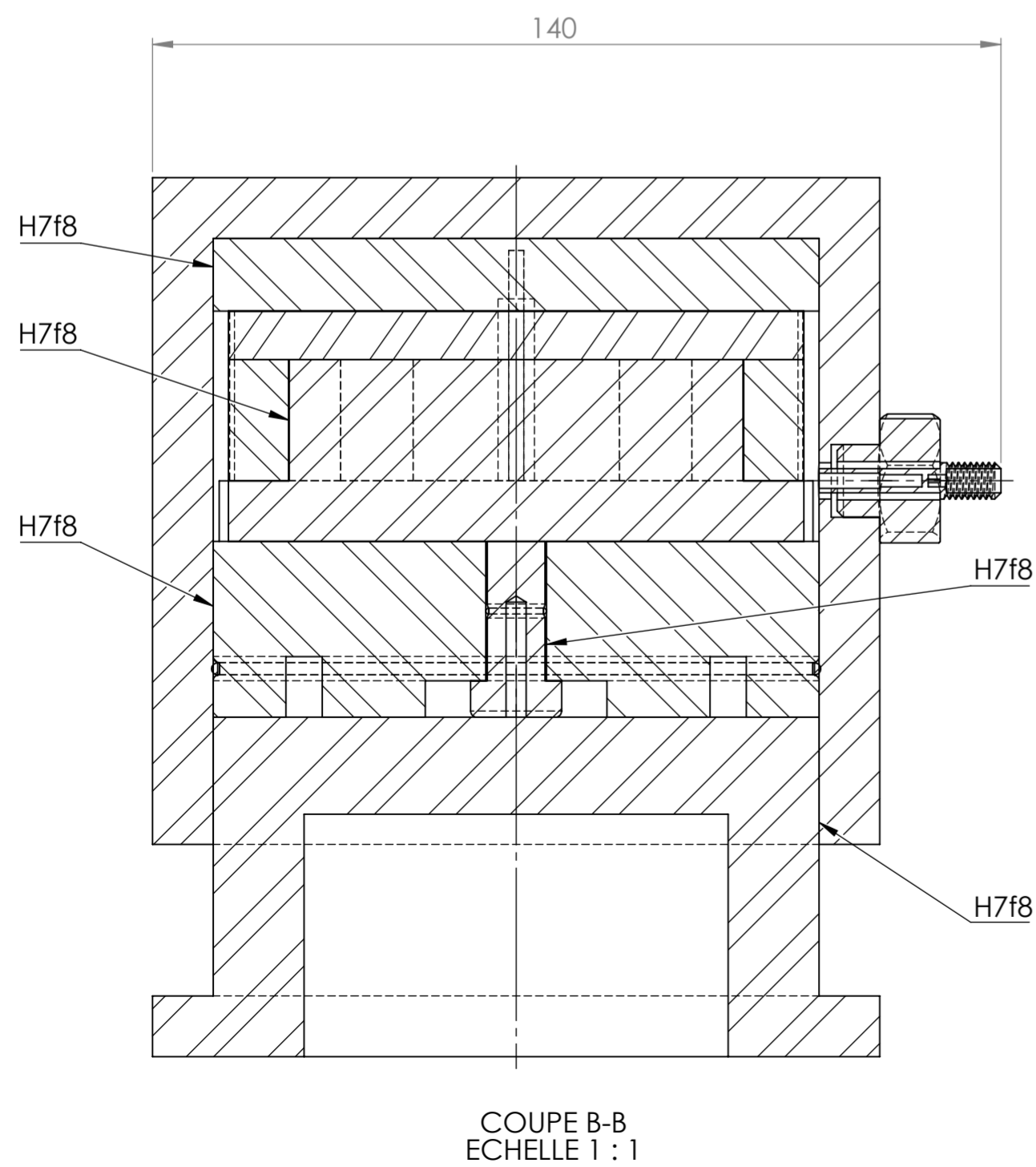
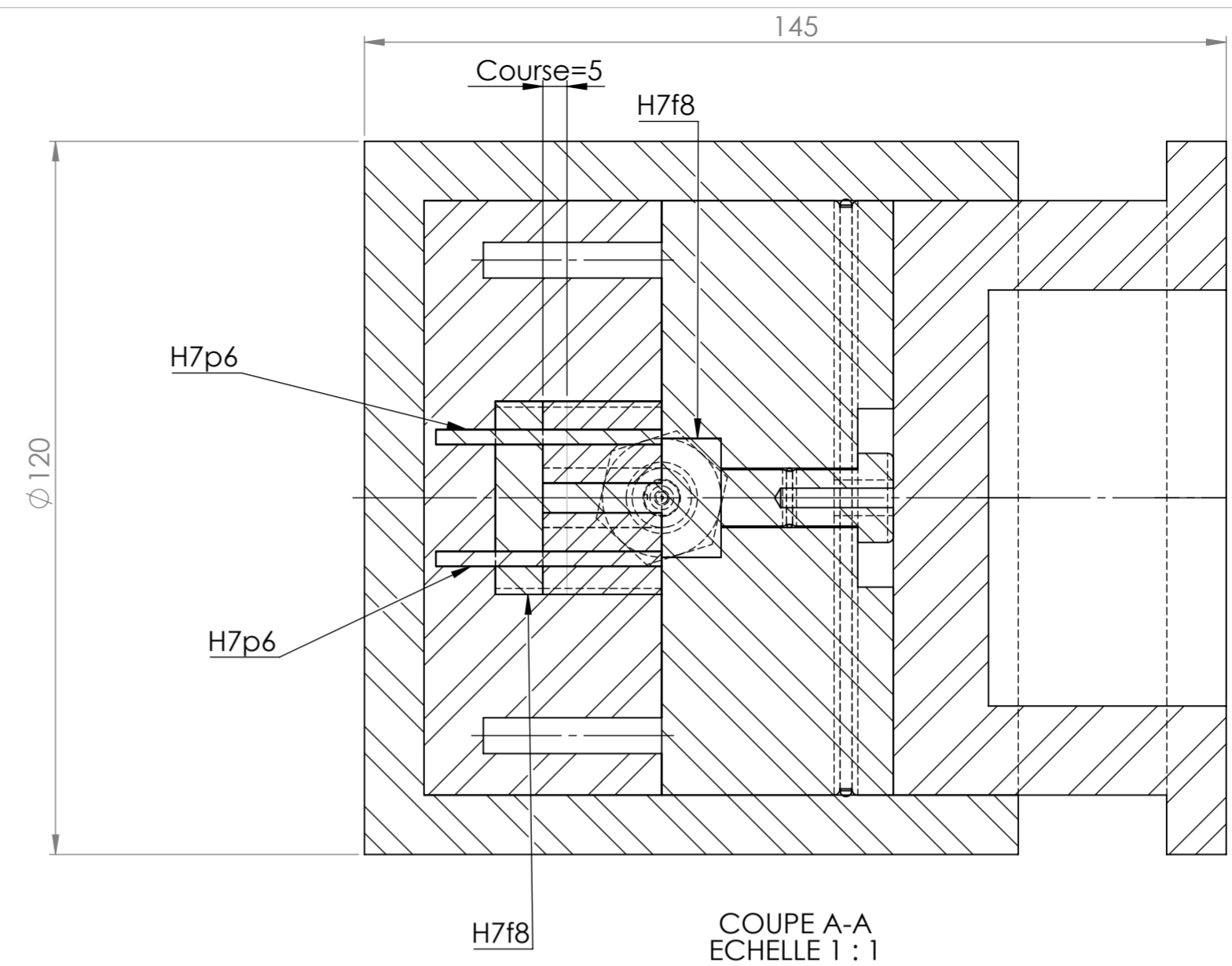
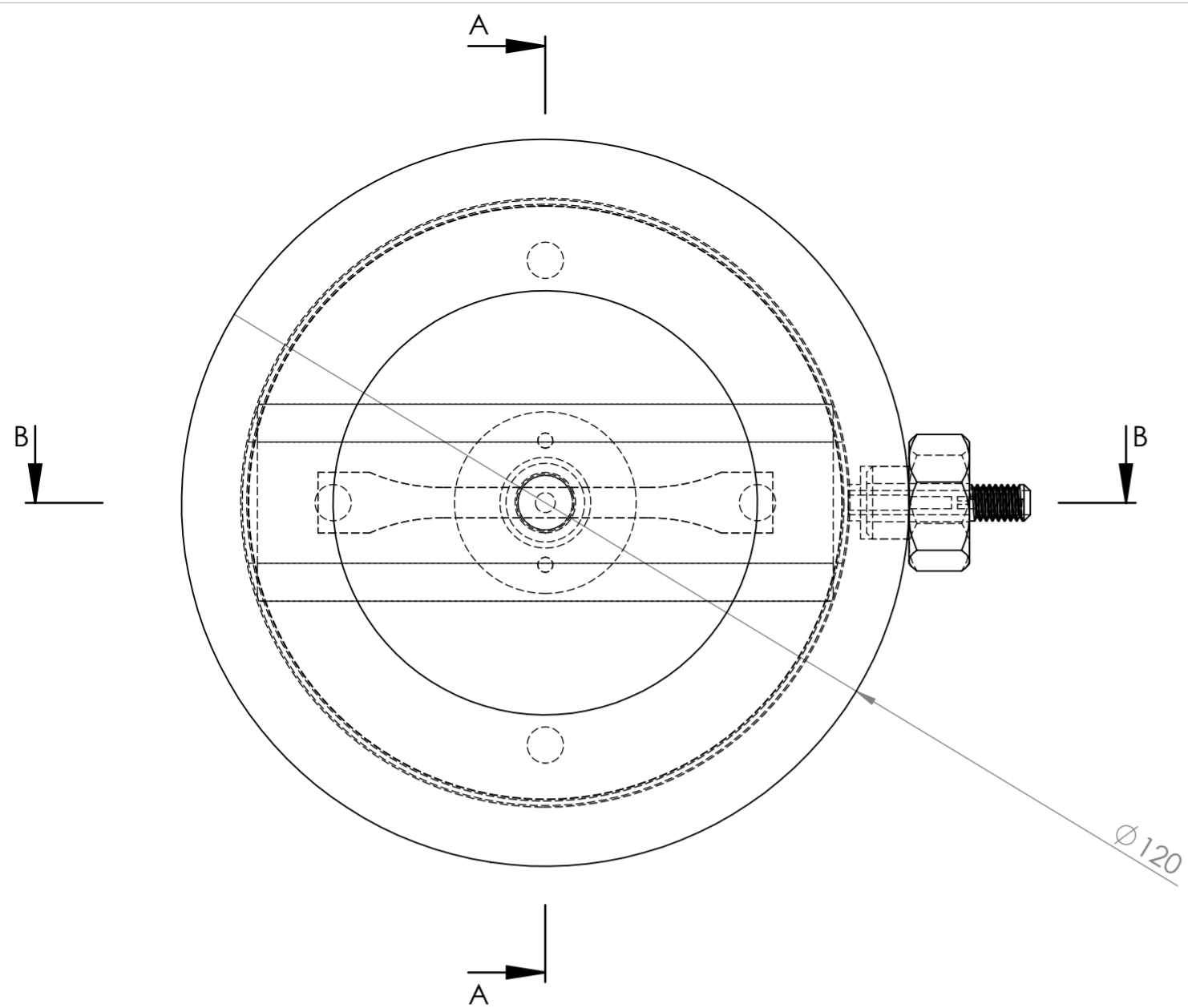
BENMAZARI Ramzi

AISSAOUI Yani

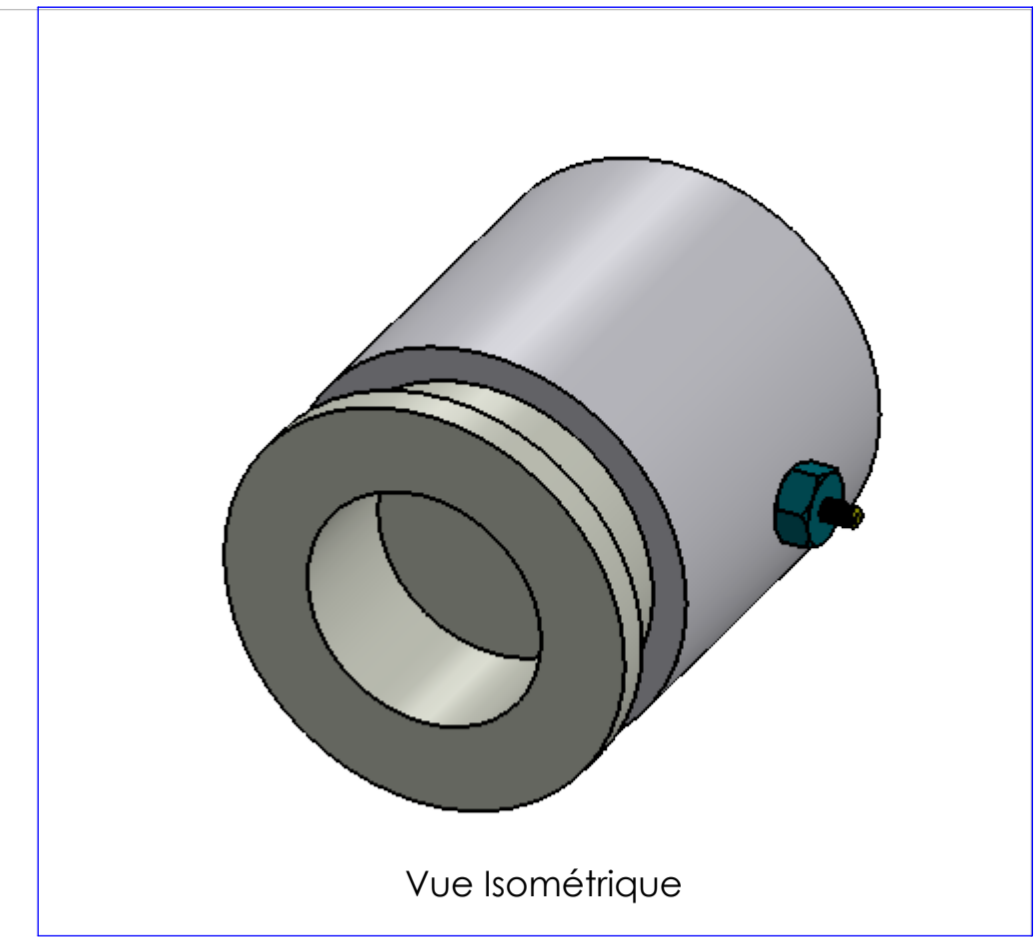
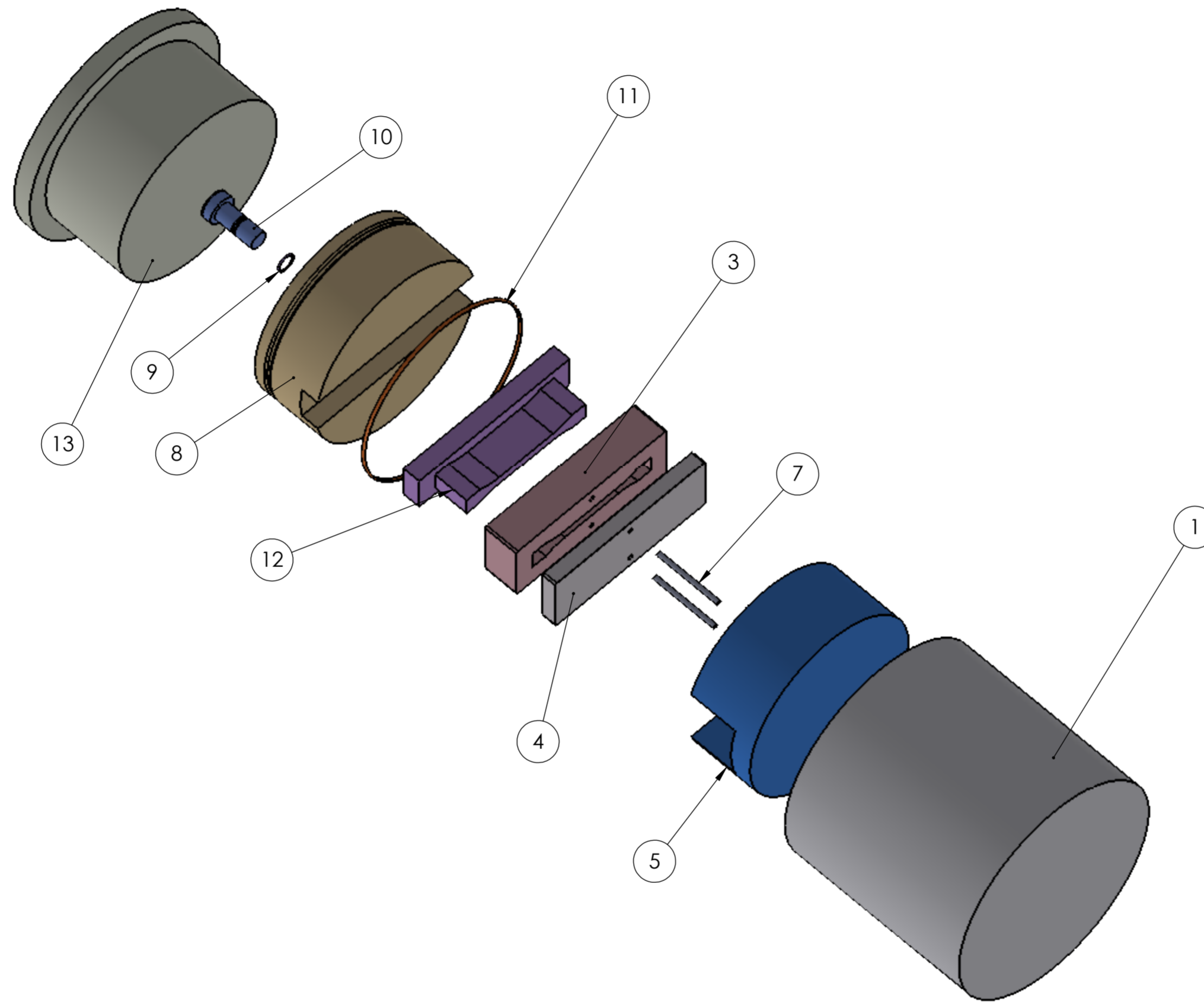
Promo:2022/2023

FGC-DGM-UMMTO

Master II



Echelle: 1:1	Moule compactage Assemblé	BENMAZARI Ramzi
Planche N°:		AISSAOUI Yani
Format: A2		Promo:2022/2023
	FGC-DGM-UMMTO	Master II



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	Enceinte	Alliage d'aluminium	1
2	Boulon	M12	1
3	Pièce femelle	Aluminium	1
4	Pièce rectangulaire	Aluminium	1
5	Porte empreinte femelle	Alliage d'aluminium	1
6	Valve	Valve roue vélo diamètre 6	1
7	Goupille	Baguette de soudage diamètre 4	2
8	Porte empreinte male	Alliage d'aluminium	1
9	Joint torique 1	Joint en caoutchouc diamètre 10	1
10	Piston	Alliage d'aluminium	1
11	Joint torique 2	Joint en caoutchouc diamètre 85	1
12	Pièce male	Aluminium	1
13	Presse	Alliage d'aluminium	1

Echelle:	Nomenclature Moule De Compactage	BENMAZARI RAMZI
Planche N°:		AISSAOUI YANI
		Promo:2022/2023
Format: A2	FGC-DGM-UMMTO	Master II