RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

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

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER professionnel
EN GÉNIE MÉCANIQUE
OPTION : Fabrication Mécanique et Productique

THÈME

ÉTUDE, CONCEPTION ET RÈALISATION D'UNE ENCEINTE DE FRITTAGE SOUS CHARGE

Proposé et dirigé par **:**

Mr: AZEM SAID

PRESENTÉ PAR:

Mr: MOUSSOUM Hocine
Mr: BOUKHALFA Yamin

Promotion 2016/2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr AZEM Said qui a bien voulu nous encadrer et pour nous avoir prodigué ses précieux conseils et orientations.

Nous remercions Mr DAHLOUZ Salem et Mr NECHICHE Mustapha qui ont accepté de nous avoir aider durant la réalisation de notre projet de fin d'études.

Nous remercions pareillement tous les enseignants, les responsables et personnel du département de génie mécanique.

Un grand merci à tout le personnel du Hall de Technologie pour leur contribution.

Nous tenons à remercier nos familles pour leur soutien moral et matériel.

A toutes et à tous Merci

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	pages
Fig I.1	différents types de frittage	2
Fig I.2	Schématisation du procédé de frittage en phase solide	3
Fig I.3	les étapes de frittage en phase liquide	4
Fig I.4	a-c) machine SPS « tunnel type » automatisée, a) schéma, b) tapis d'entrée) enceinte de préchauffage/frittage/refroidissement ; d-e) système de table tournante	8
Fig I.5	a) et b) schéma de positionnement de l'échantillon, c) schéma du principe du SPS	10
Fig I.6	Modélisation des distributions des lignes de courants dans un moule lors de la densification de l'alumine ou de cuivre	11
Fig I.7	comparaison entre le frittage par voie SPS et le frittage conventionnel	12
Fig II.1	Revêtement MCrAlY platine sur AM3 réalisé par SPS	17
Fig II.2	Conception du bloc	23
Fig II.3	Conception de la Base	24
Fig II.4	Conception de la chemise supérieure en acier	24
Fig II.5	Conception de la chemise inférieure en acier	25
Fig II.6	Conception de couvercle	26
Fig II.7	conception de chemise en téflon supérieurs	26
Fig II.8	Conception de la chemise inférieure en téflon	27
Fig II.9	Conception du piston supérieur	28
Fig II.10	Conception de piston inférieur	28
Fig II.11	Conception de la porte	29
Fig II.12	conception de système de fixation	29
Fig II.13	conception de la cale	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau.1	Matériaux de l'enceinte et ses accessoires	22
Tableau.2	différentes tolérances géométriques	33
Tableau.3	tableau de définition des opérations élémentaires	34
Tableau.4	nombre d'opération en fonction de l'intervalle de tolérance	34
Tableau.5	nombre d'opération en fonction de la qualité	35
Tableau.6	nombre d'opération en fonction des états de surfaces (Ra et Rt)	35
Tableau.7	Tableau du groupement des surfaces	36
Tableau.8	Tableau des contraintes d'antériorités	36
Tableau.9	Tableau des niveaux	36
Tableau.7	tableau du groupement en phase d'usinage	37
Tableau.8	avances maximales pour le différent rayon de bec	39
Tableau.9	les conversions	39

SOMMAIRE

Introduction générale.....1

Chapitre1 : Revue bibliographique

1 La Métallurgie de poudre :.....3

1.1 Procédé de métallurgie des poudres.....3

2 Frittage : 4

2.1 Frittage en phase solide : 4

2.2 Frittage en phase liquide 5

2.2.1 Le frittage Naturel 6

2.2.2 Le frittage sous charge 6

3 Le frittage SPS : 7

3.1 Historique du Frittage assisté par un courant Électrique ECAS 8

3.2 Principe de fonctionnement de la machine SPS.....11

3.3 Etudes thermique et électrique de SPS :.....14

3.3.1 Instrumentation thermique et électrique.....14

3.3.2 Distribution de l'électricité,de la température et des contraintes mécaniques 15

3.3.3 Couplage électrothermique 15

3.4 Exemples d'applications du frittage SPS.....18

3.5 Les avantages du SPS.....20

3.6 Les inconvénients de SPS.....20

CHAPITRE II : Conception de l'enceinte SPS

1 Description de l'enceinte SPS.....21

1.1 Exigences de la conception.....21

1.2 Matériaux utilisés 22

1.3 Conception de pièces 22

Chapitre III : Généralités sur la fabrication :

1 Principaux services mis en jeu dans une entreprise de fabrication :.....31

1.1 Bureau d'études 31

1.2 Bureau des méthodes.....31

1.3 Déroulement de la méthode développée : 32

1.4 Les contraintes géométriques *:* 33

1.5 - Les contraintes technologiques : 34

1.6 Les contraintes économiques : 34

1.7 Choix du nombre d'opérations élémentaires:.....34

1.8 Définition des opérations élémentaires : 35

1.8.1 Tableau de regroupement de surface :.....35

1.8.2 Tableau des contraintes d'antériorités : 36

1.8.3 Tableau des niveaux : 36

1.8.4 Tableau des groupements en phase : 37

2 Projet de gamme optimal: 37

2.1 La phase:.....37

2.2 La sous phase:.....37

2.3 L'opération:.....37

2.4 Le choix des machines: 37

2.5 Choix des outils de coupe:.....38

2.6 Choix des conditions de coupe:.....39

CHAPITRE IV: Etude de fabrication

A. Feuille d'analyse du Bloc…… 41

B. Feuille d'analyse de la Base…….. 52

C. Feuille d'analyse de la Chemise inférieure en Acier …….... 62

D. Feuille d'analyse de la Chemise supérieure en Acier …… . 73

E. Feuille d'analyse de la Chemise inférieure en téflon …… 84

F. Feuille d'analyse de la Chemise supérieure en téflon …… 92

G. Feuille d'analyse du Couvercle…… 100

H. Feuille d'analyse de la Porte de chambre …….. 108

I. Feuille d'analyse du Piston inférieur ……. 115

J. Feuille d'analyse du Piston supérieur …… 122

Conclusion générale…….. 129

Références bibliographiques

Annexes Dessins de définition

Introduction générale

Introduction générale

Les nouvelles technologies sont écologiques et économiques ce qui impose une réduction de la consommation d'énergie et de la matière première. Le procédé d'élaboration par métallurgie des poudres (MDP) est une technique de mise en forme qui respecte ces exigences.

La MDP est l'ensemble des procédés thermomécaniques qui permettent l'élaboration et la mise en forme des matériaux métalliques ou céramiques à partir des poudres.

Le choix de la MDP pour la mise en forme des pièces est recommandé du point de vue économique et métallurgique. Cette technique permet d'éliminer totalement ou partiellement les opérations d'usinage qui sont indispensable pour la fabrication des pièces dans l'industrie. Elle donne une meilleure homogénéité des produits frittés qui sont utilisés dans l'aéronautique, l'automobile. La MDP permet d'obtenir diverses pièces comme les outils de coupe et de forge et des pièces tenaces et dures.

Elle offre aussi la possibilité de mise en forme des pièces en multi- matériaux en respectant les différentes exigences fonctionnelles. Le procédé de MPD comporte essenel lem nt 3 étapes : la préparation des mélanges de poudre, la mise en forme et la consolidation par frittage.

Dans le but d'élaborer des matériaux denses le frittage est accompagné parfois d'une compression permettant d'atteindre de taux de densification très élevés : c'est le procédé de frittage sous charge. Par contre le chauffage est effectué généralement dans des fours sous atmosphères contrôlées. Parfois, le chauffage est assuré par effet joule par passage d'un fort courant électrique à travers la poudre. Un tel procédé est appelé la technique SPS (Sparck plasma sintering). Notre travail a porté sur la conception et la réalisation d'une enceinte qui permettra d'effectuer un frittage assisté par un courant électrique (effet joule) et l'application d'une pression à l'aide d'une presse hydraulique simultanément.

Ce travail est subdivisé en quatre chapitres dont le premier est consacré à la bibliographie qui traite des généralités sur les types de frittage. La méthode SPS ainsi que les différents chercheurs qui ont développé cette technique. Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés aussi au principe de fonctionnement du SPS et son application.

Dans le second chapitre, il est question d'une conception d'une enceinte SPS avec ses différents accessoires ainsi que les exigences auxquelles elle doit répondre.

Le troisième chapitre est consacré à des généralités sur la fabrication, particulièrement sur la méthode développée et ses différentes étapes.

Le quatrième chapitre et le dernier est dédié aux feuilles d'analyses de nos pièces, dont nous avons cité les différentes opérations et cotes, machines outils, outils et appareillage et les moyens de contrôles.

Le mémoire s'achève par une conclusion et annexe (dessins de définitions)

Chapitre I

Généralités sur le frittage

1 La Métallurgie de poudre :

La métallurgie de poudre (MDP) est l'ensemble des procédés thermomécaniques pour l'élaboration de matériaux et des pièces à partir d'une poudre.

La métallurgie des poudres a été utilisée depuis l'époque des égyptiens pour la décoration des sculptures et pour la fabrication des instruments à base de fer. La MDP a été développée pendant très longtemps à cause du manque de moyens permettant l'obtention de la poudre souhaitée.Au 19éme siècle, Wollaston a fabriqué un compacte de platine par métallurgie des poudre , elle a été utilisée, au début de 20 ème siècle, pour la production de filaments de tungstène pour les lampes à incandescence, ensuite elle est utilisée dans l'industrie automobiles à parr des années 50 et pour la fabrication des outils en acier et des pièces en superalliages dans les années 70. Aujourd'hui la fabrication de nanomatériaux est conseillée par MDP, grâce à laquelle on peut contrôler le grossissement de grains lors du frittage.

1.1 Procédé de métallurgie des poudres

Le procédé classique de la (MDP) comprend trois étapes principales qui sont :

- Préparation de poudre : mélange de poudres avec ajout de liants qui vont améliorer considérablement ses caractéristiques.
- Mise en forme : la mise en forme des poudres métalliques ou des pièces peut se faire à chaud ou à la température ambiante par compaction de un moule pour lui donner la forme désirée.
- Consolidation de la poudre : est réalisé par frittage du matériau qui va subir un traitement thermique à une température en dessous du point de fusion du composant principal.

  Le frittage se déroule généralement en trois étapes : la montée de température, la période isotherme, et finalement un refroidissement. Les vitesses de chauffage et de refroidissement doivent être contrôlées pour éviter les fissures, surtout dans le cas des céramiques [1].

2 Frittage :

Le frittage est une consolidation thermique et de densification d'un matériau pulvérulent sans le mener à la fusion. L'opération consiste à chauffer le comprimé à une température pour que les grains se soudent entre eux par diffusion d'atomes à l'état solide.

D'un point de vue physico-chimique, le frittage peut se faire en phase solide ou en présence d'une phase liquide et d'un point de vue mécanique on peut associer ou non une pression extérieure. Ainsi, on distingue le frittage naturel où la charge extérieure est nulle et le frittage sous charge avec application simultanée de la pression pendant le traitement thermique. Les différents types de frittage sont donnés sur la figure 1.1.

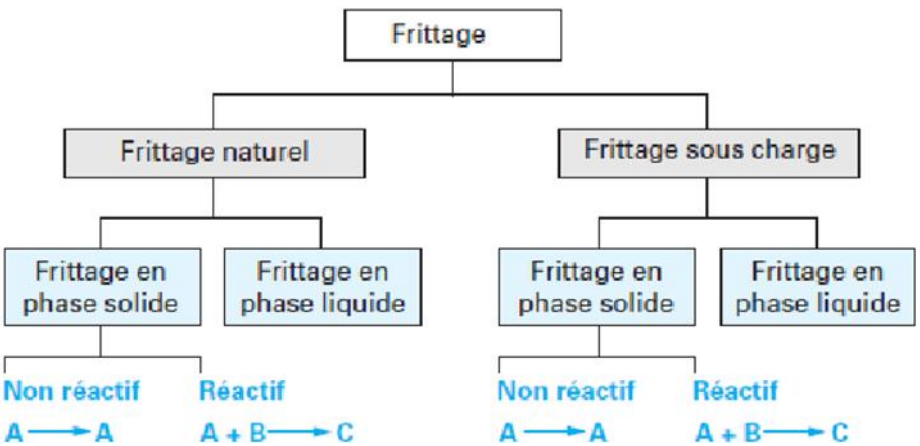


Figure I.1: différents types de frittage [2]

2.1 Frittage en phase solide :

La poudre est chauffée à une température convenable sans atteindre la fusion des constituants. Les liaisons entres les particules se font par la diffusion d'atomes et la consolidation est réalisée par le grossissement des contacts entre les particules par diffusion de matière. Des additifs peuvent être rajoutés dans le but d'accélérer la densification. Ce type de frittage est utilisé particulièrement pour les céramiques. On distingue trois étapes de densification au cours de ce frittage, comme le montré la figure 1.2. Ces trois étapes sont les suivantes : la formation des ponts, l'élimination de la porosité ouverte et la phase de l'élimination de la porosité fermée[3].

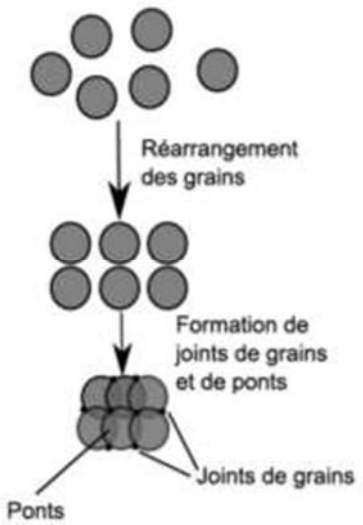


Figure I.2 : Schématisation du procédé de frittage en phase solide.

2.2 Frittage en phase liquide

Dans ce type de frittage l'un des constituants du mélange de poudres passe en phase liquide, le mouillage de la phase solide par la phase liquide est une propriété importante pour réaliser le frittage. La densification durant le frittage en phase liquide se déroule en trois étapes : réarrangement, dissolution- précipitation et grossissement de grains comme on peut l'observer sur la figure 1.3.Pendant le chauffage, pour atteindre la température de fusion d'un des composants, une densification en phase solide peut se produire durant le chauffage de la poudre pour atteindre la température de fusion d'un des constituants. Une fois qu'un des constituants atteint la température de fusion et devient liquide, la phase de réarrangement de grains est amorcée et dure un temps très court. Pendant cette phase une grande quantité de porosité est éliminée ce qui a pour conséquence un retrait volumique important de l'échantillon.

Une seconde élimination de pores est ensuite observée dans une deuxième étape plus lente appelée dissolution-précipitation. Ce phénomène se traduit par une dissolution de la matière solide dans la phase liquide et sa précipitation sur d'autres grains ou sur des parties des mêmes grains. La force motrice du phénomène est la tendance du système à minimiser son énergie de surface en tendant à sphériser les grains et les interfaces solide/liquide. La dernière étape se traduit par une croissance microstructurale au cours de laquelle la taille moyenne des grains augmente continuellement. Une élimination très lente des pores est enregistrée durant cette étape.

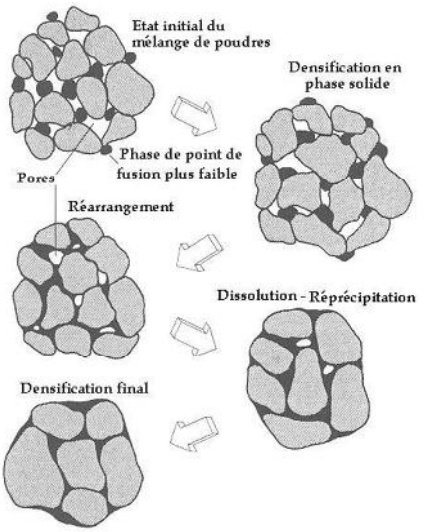


Figure I.3 : les étapes de frittage en phase liquide [4].

2.2.1 Le frittage Naturel

Le frittage naturel se fait sans faire intervenir les contraintes mécaniques externes. La poudre est chauffée sous air ou sous atmosphère contrôlée lorsque la matière craint le phénomène d'oxydation.

2.2.2 Le frittage sous charge

Le frittage sous charge est effectué quand on veut obtenir une densification complète en utilisant une température relativement basse. Pour appliquer la pression on peut mettre en œuvre la compaction en matrice ou la compaction isostatique. Les contraintes appliquées activent la diffusion aux contacts particulaires à des températures relativement basses par rapport au frittage conventionnel et peuvent, pour les métaux, entraîner une déformation plastique. Les dislocations ainsi créées accélèrent encore les phénomènes de diffusion.

Comme nous l'avons montré, toutes les étapes du processus d'élaboration d'un matériau par MDP sont très importantes. Néanmoins le frittage est l'étape la plus critique parce qu'elle produit les propriétés finales du matériau.

3 Le frittage SPS :

Le SPS est une technique de frittage sous charge pour laquelle le chauffage est induit par effet joule suite au passage d'un courant continu pulsé à travers la matrice ou l'échantillon à densifier. Cette technique autorise ainsi des élévations de températures beaucoup plus rapides à l'origine de la forte réduction des temps de mise en forme mais aussi de la température de frittage. Elle présente des avantages tant technologiques qu'économiques de part :

- Une grande vitesse de montée en température,
- Une diminution des températures de frittage,
- Des temps de paliers très courts,
- La possibilité de fritter des matériaux pulvérulents difficiles à densifier avec d'autres techniques de frittage plus conventionnelles,
- Le non recours à des additifs de frittage d'où l'amélioration des propriétés des matériaux frittés.

Le fait de réduire les temps et les températures, le frittage permet la mise en forme de matériaux métastables et de poudres nanométriques avec des densités proches des densités théoriques et une faible croissance des grains.

La technique SPS a permis la mise en forme de différents types de matériaux :

- Les métaux et alliages métalliques (métaux durs, composés intermétalliques, matériaux amorphes ou magnétiques)
- Les céramiques (oxydes, carbures, borures, nitrures, fluorures)
- Les polymères (résines polyamides, nylon, polyéthylène)
- Les matériaux composites (métal-céramique, céramique-composés intermétalliques, céramique-céramique, polymères+charges...).
-

3.1 Historique du Frittage assistée par un courant Électrique ECAS

Les premiers travaux sur le frittage assisté par un courant électrique sont ceux de BLOXAM en 1906, qui a décrit le procédé<Resistance sintering>(RS) où le courant électrique continu

permanent est fourni par les électrodes ce qui induit la montée en température au niveau de la matrice, piston, et électrodes et ceci permet de chauffer la poudre sans l'intervention de contrainte mécanique (pression) [5].

L'invention de BLOXAM a été utilisée pour la fabrication de filament de W ou MO pour les lampes à incandescence, qui sont frittées sous vide par un passage d'un courant électrique à travers l'échantillon sans exercer de pression. Ceci a montré que le courant électrique est efficace pour réduire la surface d'oxyde présente sur les particules ce qui améliore considérablement la quantité de la lumière émise par les filaments à incandescence.

En 1913, weinraub et rush ont pris en considération les contraintes mécaniques (pression) dans la technique du frittage assistée par le courant électrique ce qui a permis de réaliser des carbures ou nitrures à partir des poudres et les ont insérés dans un tube isolant de nitrure de bore qui est positionné à l'intérieur d'un tube en métal. Les électrodes et les pistons était en graphite, et l'application d'une pression est soit par poids, vis ou par une presse hydraulique sur l'électrode et le piston supérieur [6].

Les avantage de cette technique ont été prouvés lors du frittage des poudres de matériaux conducteurs à des températures est émise aux environs de 2000 °C et d'un courant connu et une haute tension de 15kV au début et 500v à la fin du friage [7].

Cette invention est la première qui combine entre le passage du courant et l'application d'une pression sur l'échantillon lors du frittage, et le premier modèle de SPS.

Et selon CREMER le passage d'un fort électrique à travers l'échantillon conduit instantanément les joints de grains à leur température de fusion et les rend suffisamment plastiques afin d'éliminer la porosité et le cœur du grain s'échauffe légèrement.

Le frittage de matériaux isolants ou faiblement conducteurs (Zicrone ZrO_2, l'oxyde de thorium Th O_2 et l'oxyde de tantale Ta_2O_5) assisté d'un courant électrique était devenu possible grâce à l'invenon de Duval et Adrian en 1922 qui ont visé la densification de la poudre d'oxyde par le passage du courant électrique directement au cœur de l'échantillon ce qui a permis d'atteindre les températures souhaitées pour réussir ce frittage. Cette invention a été utilisée pour la production de tubes isolants, de creusets, de blocs et de moufles.

Ensuite en 1927 GILSON ul isa cee technique pour effectuer un frittage réactif qui permet l'obtention des échantillons de cermets.

En 1933, cee technique a connu des modificaons par TAYLOR , qui parvient à densifier complètement le cermet en une seconde, il a mis l'échantillon en parallèle avec un condensateur relie à une génératrice de 2500 V délivrant un courant connu [9].

L'automatisation de cette technique a été faite en 1941 ce qui a permis de fritter des poudres en quatre étapes : pesée, compression, frittage par un courant et éjection du produit fini de la matrice. Le procédé a utilisé des séries de pulses de forts courants et faibles tension synchroniser à des pulses de pression.

En 1955, en vue d'améliorer le friage , LENEL a proposé l'utilisation de deux séries de pulses de courants dont la première consiste à éliminer la couche d'oxydes métalliques et la deuxième assure le frittage de l'échantillon [10].

En 1966 INOUE a inventer un appareil de friage qui a permit de consolider des poudres métallique à l'aide d'un courant électrique avec une faible pression inférieure à 10Mpa.

Cet procéder consiste à assembler un courant périodique à un courant alternatif délivrer des étincelles au sein de la porosité a du compact granulaire ; il a montrée que ces étincelles posséderaient une énergie suffisante à générer une rupture au niveau de la couche d'oxyde et la formation de liaisons entre ses parcules [11].

L'invention de l'INOUE permettait de coupler des pulses (100HZ) et haute fréquence (100MHZ) qui permettait de réduire les temps de frittage et de produire de diverses pièces et diminuer les couts de fabrication. Ce procédé a été acheté en 1968 par la société Américain LOCKEED.

Au début des années 70, la technologie Sparck a été développée en tant que moyen de frittage économique et rapide, ce qui mené à fabriquer des machines SPS, qui sont destinées à des laboratoires de recherches et l'industrie dont les deux les plus connues sont FUJ ELECTRIQUE au japon, et FCT systèmes en Allemagne.

Ce n'est qu'au début des années 90 que JapaneseSodick Ltd développe le PECS (Pulsed Electric CurrentSintering) pour aboutir à la technologie PAS (Plasma ActivatedSintering). Les technologies

SPS, PECS et PAS sont très proches, la seule différence vient de la forme des pulses de courant produits par les générateurs.

Les premiers SPS commercialisés par Sumitomo Coal Mining Co. Ltd. au début des années 90possédaient des générateurs de courant connu pulsé capables d'appliquer des courants compris entre 2 et 20 kA avec des charges entre 10 et 100 tonnes (soit des forces de 100 à1000 kN). En 2005, Sumitomo Coal Mining Co. Ltd. devient une co-entreprise appelée SPSSyntexInc .Japan (Sumitomo/SPSS) (figure4).

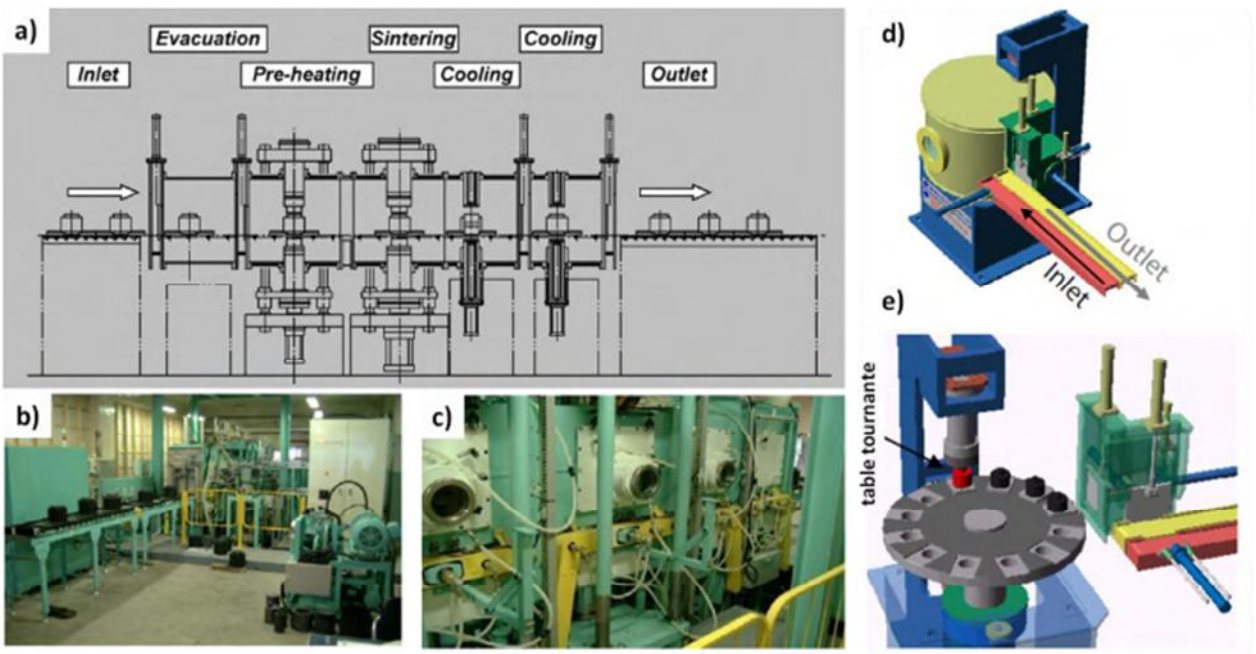


Figure I.4 : a-c) machine SPS « tunnel type » automatisée, a) schéma, b) tapis d'entrée) enceinte de préchauffage/frittage/refroidissement ; d-e) système de table tournante [12].

Actuellement de nombreuses équipes de recherches, qui étudiaient le frittage SPS, ont publié plus de 1800 articles dans les 20 dernières années. Les dispositifs ont été commercialisés à partir des années 90 et ont permis aux laboratoires de recherches et à l'industrie de fritter plusieurs matériaux céramiques, métalliques et composites.

3.2 Principe de fonctionnement de la machine SPS

Le frittage flash (SPS) est un moyen d'élaboration qui consiste à combiner entre le passage d'un courant électrique et l'application d'une pression dont le but est de densifier et de consolider les poudres et de mettre en formes des produits spécifiques dans les configurations et densités souhaitées.

Les matériaux sous forme pulvérulent sont introduits dans une matrice en graphite dont la paroi intérieure est recouverte d'un film en graphite ayant pour rôle la prévention des réactions entre le matériau et la matrice et aussi à faciliter le démoulage. Entre le piston et la poudre sont placés un disque en graphite et une chemise en feutre de carbone afin de limiter les pertes radiatives.

Les poudres sont introduites dans une matrice conductrice en graphite (peut être en acier, WC, SiC…) positionnée entre deux électrodes sous une pression uni-axiale (figure 5 a-b).

Le frittage peut être effectué sous vide secondaire, sous atmosphère neutre (argon, azote…), réductrice (hydrogène) voire oxydante mais dans ce dernier cas les matrices en graphite et en WC sont à proscrire en raison d'un dégagement de CO ou CO_2($C + O_2 = CO$ ou CO_2).

Les mesures de température sont effectuées de deux façons. Pour les températures inférieures à 1000°C, les mesures sont faites à l'aide d'un thermocouple de type K posionné dans un trou percé au milieu de la matrice (figure 4b) Pour les hautes températures (> 1000°C), l'ul isaon d'un pyromètre optique permet de déterminer la température de surface de la matrice.

Un système de refroidissement liquide des électrodes permet d'éviter une surchauffe suite au passage du courant (figure 5c).

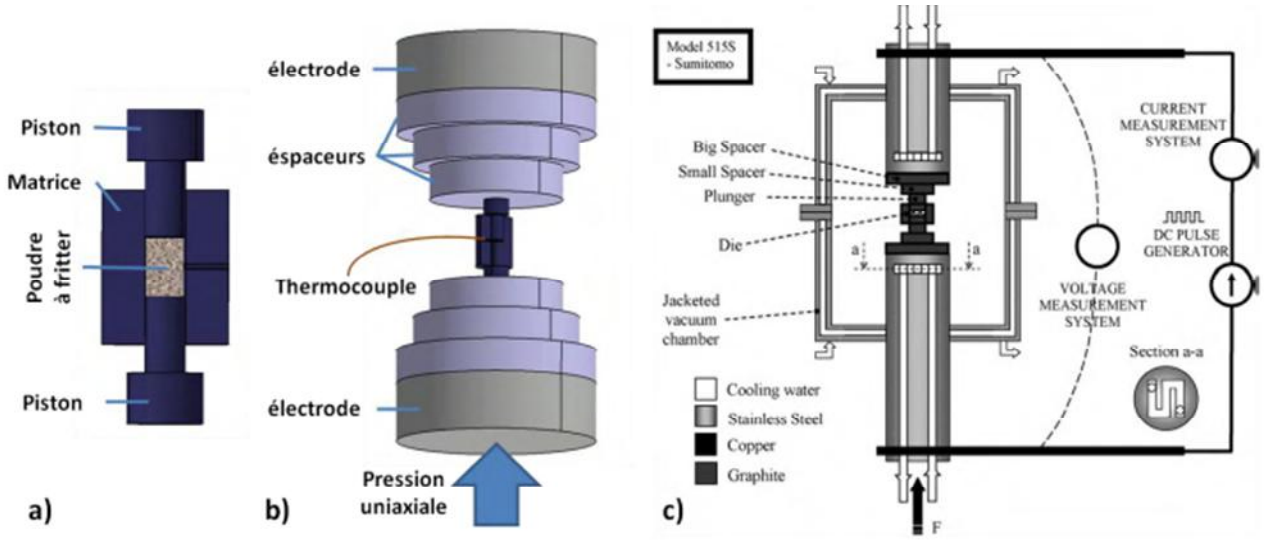


Figure I.5 : a) et b) schéma de positionnement de l'échantillon, c) schéma du principe du SPS[13]

La montée en température se fait par l'application d'un courant continu pulsé (effet joule) à travers les matrices conductrices et la poudre à densifier (si cette dernière est conductrice)

(Figure 6).

Les matrices utilisées doivent obligatoirement être conductrices pour permettre la fermeture du circuit électrique, de même pour les pistons et les électrodes.

Les matériaux conducteurs sont chauffés à la fois par effet joule et par transfert de chaleur de la matrice, des pistons et des électrodes. Dans le cas des poudres isolantes, seul le chauffage par effet Joule est présent.

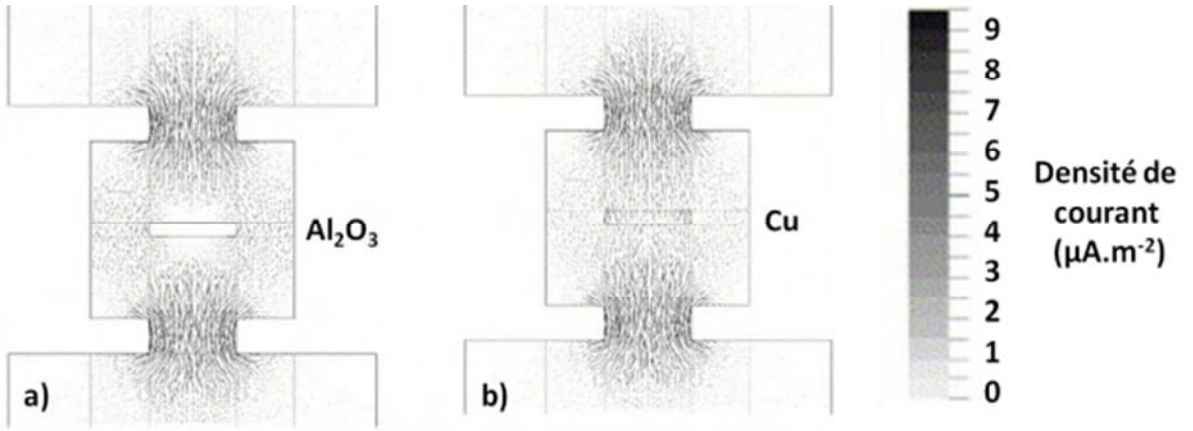


Figure I.6: Modélisation des distributions des lignes de courants dans un moule lors de la densification de l'alumine ou de cuivre [14].

Le SPS fait produire la chaleur dans l'échantillon par le passage de courant pulsé, avec des temps de pulses de quelques centaines de millisecondes, qui engendrent une montée en température plus rapide et plus efficace.

Les vitesses de montée en température peuvent atteindre 600°C.min^{-1} et dépendent de la géométrie de l'échantillon, de la matrice, des propriétés de l'échantillon, de sa taille et de l'appareil utilisé.

Cette rapidité de montée en température associée à une pression permet de réduire considérablement les temps et les températures nécessaires au frittage comparé aux voies de frittage conventionnelles (figure 6)

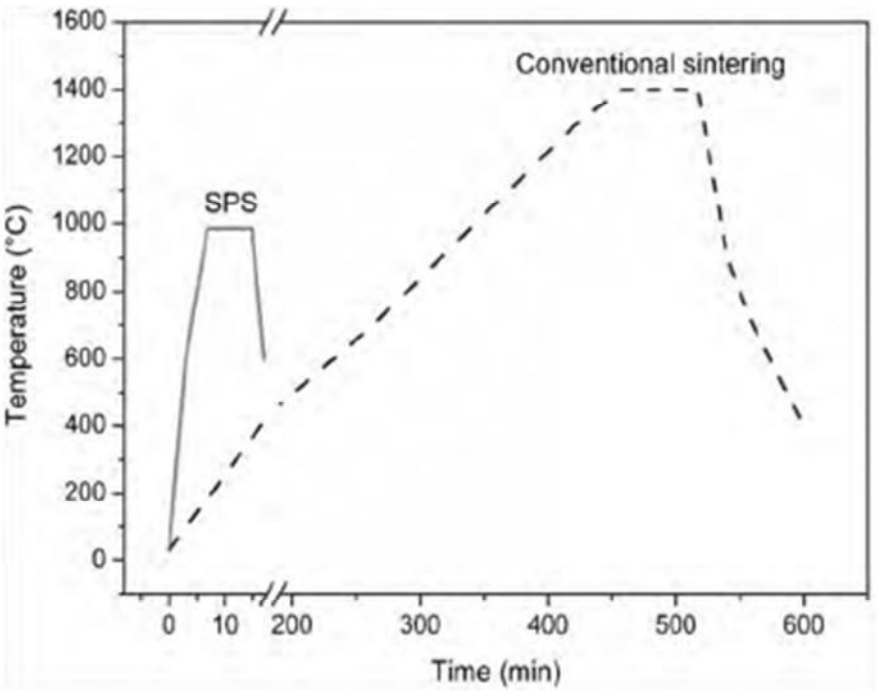


Figure I.7 : comparaison entre le frittage par voie SPS et le frittage conventionnel.[15]

3.3 Etudes thermique et électrique de SPS :

Les machines du frittage flash (SPS) sont généralement équipées de plusieurs capteurs et d'un programme d'acquisition permettant d'enregistrer des informations qui peuvent être utiles pour les études de frittage des matériaux. La société SPS Syntex Inc. a conçu un programme d'acquisition à partir du logiciel Labview. Les données enregistrées par ce système d'acquisition sont : une tension (en V), une intensité (en A), la température (en °C) lue par un thermocouple ou un pyromètre optique généralement à proximité de la surface de l'outillage, la force appliquée sur l'outillage (en KN), le déplacement de l'électrode inférieure (en mm) et la pression dans l'enceinte (en Pa).Toutes ces données sont enregistrées simultanément avec un pas de temps sélectionné par l'utilisateur.

3.3.1 Instrumentation thermique et électrique

Dans la conception de l'instrumentation, le choix de capteurs et leur positionnement sur la machine SPS est indispensable. Du point de vue thermique, la machine SPS d'origine est dotée d'un passage pour un thermocouple (de type K pour des mesures de températures inférieures à 1000°C) et d'un hublot permeant la visée de l'outillage en graphite avec un pyromètre optique (mesures de 600°C à 2000°C).[16]

Du point de vue électrique, la technologie des sondes électriques employées permet d'obtenir seulement des valeurs moyennes de l'intensité du courant et de la tension.

La connaissance des données thermiques et électriques (tension et intensité) sur la colonne en graphite du SPS est donc une étape importante dans la détermination des conditions de frittage SPS.

3.3.2 Distribution de l'électricité,de température et de contrainte mécanique

SPS a une capacité de fritter des matériaux à une température inférieure à la température de frittage conventionnel, la méthode de mesure de la température dans le SPS ne permet pas de connaître directement la température et son évolution au sein même de l'échantillon.

La mesure est effectuée par un thermocouple ou un pyromètre optique (selon la température) positionné de manière à estimer la température à la surface de la matrice en graphite. Cependant un gradient de température existe entre la surface et le cœur de la matrice ce qu'induit une baisse de température à laquelle l'échantillon est soumis. L'écart entre les valeurs mesurées et les valeurs de consigne ont été étudié par Langer et al. sur deux géométries différentes, un appareil de type FAST (FCT HP 25/1, FCT, Allemagne) et SPS (Dr. Sinter SPS-825S, Sumitomo, Japon) [17].

Le mécanisme de densification lors du frittage est encore mal compris ; il faut donc étudier les paramètres thermo physiques macroscopiques qui conditionnent les phénomènes de transport par diffusion nécessaires au frittage.

Pour mieux maîtriser industriellement le procédé de frittage assisté par un courant pulsé, des études expérimentales ou des simulations numériques de la distribution du courant, de la température et des contraintes subies par le matériau ont été menées. La plupart de ces modèles traitent cependant l'échantillon comme un solide dense, rares sont donc les modèles prenant en compte la densification du matériau sous forme de poudre.

3.3.3 Couplage électrothermique

L'estimation de la distribution de courant est une donné importante permettant d'accéder à la distribution de la température au sein du dispositif SPS, vecteur principal de la montée en température par effet Joule.

Le paramètre électrique est pris en compte dans tous les modèles de simulation numérique du frittage SPS, néanmoins seul l'effet Joule qu'il génère est considéré.

Raichenko et Chernikova ont mené une étude sur la simulation de frittage assistée par courant électrique [18], Dans cee étude , les auteurs ont exposé un modèle analyque 1D décrivant le chauffage d'un appareillage sans matrice composé de deux pistons et d'une poudre. Ces auteurs mentionnent l'existence d'une dépendance en fonction de la coordonnée axiale, mais aussi radiale de la température au sein de l'échantillon. Si cette étude est pionnière en matière de modélisation du frittage assisté par courant pulsé, des modèles numériques ont depuis été développés pour rendre compte de l'inhomogénéité des propriétés thermo-physiques (température, densité de courant) au sein de l'enceinte SPS. Les études sont limitées à l'étude de couplage électrothermique et ce n'est que récemment que la contrainte mécanique est prise en compte.

Les modèles numériques du frittage SPS présentant un couplage électrothermique permettent l'étude de la distribution du courant et des gradients de température au sein de la matrice et du matériau. Anselmi-Tamburini et al ont simulé la distribution de courant au sein de la matrice lors du frittage de deux matériaux. L'un est isolant (l'alumine) et l'autre conducteur (cuivre). , les matériaux sont considérés comme étant denses pour simplifier les hypothèses de travail ce que implique de considérer que les contacts sont parfaits (résistances de contact électrique et thermique négligées), Anselmi Tamburini et al ont vérifié cette hypothèse pour une contrainte supérieure à 50 MPa)[19] et ont montré qu'à parr de 50 MPa, la résistance électrique de l'appareillage tend vers la valeur théorique de la résistance électrique du graphite. Ils ont négligé les pertes de chaleur par conduction ou convection pour modéliser l'onde de courant imposé parle générateur de courant d'une enceinte SPS. Ainsi, le signal délivré par un appareil SPS Sumitomo 1050 (configuraon 8 tON pour 2 tOFF) a été mesuré lors d'une étude via les chutes de tension aux bornes d'un shunt const ué d 'un cylindre de graphite de 19 mm de diamètre pour 25 mm de longueur dont la résistance totale était de$1.3.10^{-3}\Omega$. Il a été montré par transformation de Fourier, que la puissance était générée par la composante efficace du courant, et qu'un signal continu devenait alors une bonne approximation pour la simulation numérique.

Suite à ces observations, Anselmi- Tamburini et al.ont utilisé des signaux à courant ou tension constante pour simuler le comportement électrique du SPS.

Wang et al ont utilisée cette hypothèse pour construire un modèle numérique couplant les effets électrique, thermique et mécanique.

Ils ont observé que la distribution de courant est différente selon le matériau traité (isolant ou bien conducteur électrique), le courant ne peut passer à l'intérieur d'un matériau isolant électrique. Ce que mène à forcer le courant à le contourner (figure6). Selon Anselmi-Tamburini le courant ne peut traverser l'échantillon si sa conductivité est trop faible.

La seconde observation est une plus forte densité dans la partie nue des pistons (la partie qui n'est pas introduite dans la matrice).

3.4 Exemples d'applications du frittage SPS

La technique SPS a permis d'améliorer le frittage de nombreux matériaux difficiles à densifier avec les techniques conventionnelles. La technologie SPS a montré sa capacité à densifier totalement des céramiques pures, sans ajout de frittage, comme le carbure de tungstène, l'alumine et la zircone. Les principaux avantages résident dans l'élimination de la porosité rendue possible à basse température ce qui permet un contrôle de la taille de grains, dans l'objectif d'atteindre de plus hautes propriétés mécaniques. La densification de céramiques nanométriques a été obtenu par SPS.

La technique SPS a aussi permis de consolider des matériaux qui se prêtent mal à la densification. Des nanotubes de carbone (NTC) double-parois ont pu être consolidés par SPSà une température de 1100°C et 100 MPa sans dégradaon . Les objets obtenus conservent une grande surface spécifique (482 m²/g), une des spécificités associée aux NTC et présentent une taille moyenne de pores inférieure à 6 nm. Les nano-composites NTC-céramique sont difficiles à densifier par frittage sous charge et cette difficulté s'accentue lorsque la teneur en NTC est augmentée.

La technique SPS permet d'obtenir de meilleures densifications et, dans la mesure où le frittage est plus rapide et les températures souvent plus faibles, de généralement diminuer l'endommagement des NTC. Certains auteurs revendiquent l'obtention d'une densification totale, sans endommagement, d'échantillons nanotubes mono-parois/alumine à 5 % volumique en NTC à une température maximale de 1300°C.

Le frittage SPS de poudres nanométriques de $BaTiO_3$ a permis d'obtenir des massifs denses à 97% par un cycle rapide (3 min à 1000°C) en conservant la taille de grains. Les propriétés diélectriques ont été doublées (constantes diélectriques à température ambiante de 3500 et supérieure à 6000 à la température de Curie ferroélectrique). La résistance électrique des joints de grains est diminuée lors du frittage SPS, ce qui a pour effet de réduire l'influence des joints de grains dans la permittivité et la résistance des céramiques de $BaTiO_3$.

Des poudres nanométriques de MgO ont été densifiées par Chaim*et al.* Les matériaux obtenus présentent des transparences égales à 40% ou 60% (respecvemente nt pour λ = 550 nm et 700 nm) de celle d'un monocristal de MgO. Ces objets densifiés possèdent en effet des grains et des porosités de tailles nanométriques, inférieures aux longueurs d'ondes utilisées. Xiong*et al.* ont

cherché à densifier du nitrure d'aluminium. Une compacité de98,6% a été obtenue, mais elle reste insuffisante pour atteindre la transparence. Ils ont montré que l'ajout de quelques pourcents massiques de CaF_2 a permis une densification totale et l'obtention d'échantillons transparents.

La technique SPS permet également de réaliser des pastilles multi-matériaux, avec des microstructures à gradient de composition de type sandwich ou cœur/écorce.Ceci est dû à la rapidité du traitement de mise en forme qui permet de contrôler l'inter-diffusion et la réaction entre les matériaux adjacents. TiN et Al_2O_3, matériaux de nature et de propriétés différentes, ont pu être cofrittés, et des interfaces bien définies ont été obtenues. La technique SPS est donc une méthode éprouvée pour préparer des objets multifonctionnels.

Dans le domaine aéronautique, le SPS n'est pas encore utilisé industriellement pour faire des revêtements, même s'il existe un brevet Siemens présentant un processus de réparation d'aubes de turbine par passage d'un courant directement au niveau de la partie endommagée de l'aube.

En recherche, les premières études, conduites au CIRIMAT, ont permis l'élaboration, à partir d'une poudre, d'un revêtement MCrAlY sur un substrat d'AM3 . Grâce à la combinaison originale de feuilles de platine et/ou d'aluminium et d'une poudre de MCrAlY des revêtements MCrAlY modifiés platine et/ou aluminium ont été élaborés. Un exemple de revêtement modifié platine est présenté en figure 8.

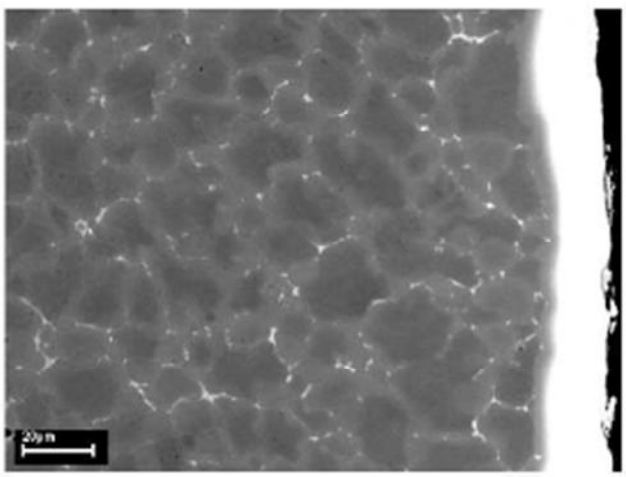


Figure I.8 : Revêtement MCrAlY plane sur AM 3 réalisé par SPS.

3.5 Les avantages du SPS

- Les principaux avantages résident dans l'élimination de la porosité par la température, ce qui rend le contrôle de la taille de grain possible.
- La technique SPS a permis de consolider des matériaux qui se prêtent mal à la densification.
- La technique SPS a permis l'obtention de meilleure densification où le frittage est plus rapide avec des faibles températures.
- La densification de céramique nanométrique a été obtenue par le frittage SPS, pour ZnO, ZnO_2 ET Al_2O_3, les courbes de taux de densification montrent des maxima pour 700°c, 1100°et 1150°c plus faibles que la technique de frittage conventionnel [20].
- Des nanotubes de carbone (NTC) double paroi ont pu être consolidés par SPS à une température de 1100°c sous une pression de 100Mpa.
- Des zicrones frittés avec des tailles de grains inferieures à 100 nm et de microstructure homogènes ou été obtenues à partir d'une poudre ayant une taille moyenne de grains de 60nm [21].
- La technique SPS permet de réaliser des postilles multi-matériaux avec des microstructures à gradient de composition de type sandwich.
- Le SPS ne nécessite pas l'utilisation de liants.
- Permet l'obtention des matériaux aux cotes semi finie.
- Maitrise la microstructure et améliore la propriété.

3.6 Les inconvénients de SPS

- Le SPS nécessite une gestion des gradients de température et de pression durant le cycle de frittage.
- Cout plus important que le frittage conventionnel.
- Le SPS est nécessaire aux pièces de grande valeur.

Chapitre II

Conception de l’enceinte SPS

L'enceinte SPS est une machine de frittage qui consiste à combiner le passage d'un courant électrique à travers la poudre à densifier et l'application d'une pression à l'aide d'une presse hydraulique sur le piston supérieur de la matrice contenant la poudre. Ce procédé permet de densifier rapidement le matériau en lui donnant la forme souhaitée.

1 Description de l'enceinte SPS

L'enceinte SPS est constituée d'un corps creux avec deux pistons coulissant dans des chemises en acier et comportant des joints d'étanchéité. Le piston supérieur mobile reçoit une pression fournie par une presse et qu'il transmet à la poudre à fritter placée dans une matrice généralement en graphite.

Les pistons sont refroidis par un circuit de refroidissement par circulation d'eau autour des chemises en acier séparées du corps de l'enceinte par deux chemises en Téflon assurant l'isolation électrique entre les pistons et le corps de l'enceinte.

Les matériaux à fritter sont placés entre les deux pistons alimentés par un courant électrique fourni par un transformateur ce qui permet de chauffer l'échantillon par effet Joule. La chambre de l'enceinte est dotée d'une fenêtre vitrée étanche qui permet de voir à l'intérieur de l'enceinte tout en maintenant l'atmosphère neutre. La vitre est faite en verre trempé qui résiste au phénomène de rayonnement de la chaleur pendant l'expérience.

1.1 Exigences de la conception

Etanchéité : afin d'assurer un frittage sous atmosphère protectrice, des joints toriques d'étanchéité ont été installés sur les pistons qui coulissent dans les chemises. De plus Un joint de porte est prévu pour assurer l'étanchéité après la mise en place de la pastilleuse.

Les joints toriques de 3.60x37.3 qui ont été ajustée sur la chemise en acier avec un ajustement H7g6, qui est conseillée pour des pressions inférieures à 20Mpa

Compression : pour effectuer un frittage SPS, l'application d'une pression est indispensable, dans notre cas nous avons prévu de placer l'enceinte sous une presse hydraulique qui fournit la pression nécessaire.

Courant électrique : le frittage SPS est assisté par un courant électrique, ce qui nous a amenés à prévoir l'alimentation de notre enceinte par un courant en la reliant à un transformateur abaisseur

de tension qui fournit dans l'enroulement secondaire une tension de 2 à 4 volts mais un fort courant pouvant ae i ndr e 500 Ampères.

1.2 Matériaux utilisés

Les matériaux de l'enceinte et ses accessoires sont choisis en fonction ses exigences de travail. Les matériaux des principales pièces sont donnés dans le tableau 1.

Tableau1 : Matériaux de l'enceinte et ses accessoires.

Matériaux	Composition et Caractéristiques	Pièces
Xc48 (trempé)	C'est acier non alliée mi-dur contenant 0.48-0.5 % de carbone avec de faibles teneur d'autres éléments comme S, Mn, P, Si	pistons supérieur et inférieur.
A60	Acier non allié utilisé pour la construction, résistant à la traction avec une Masse Volumique de 7.8KG/dm^3. P (phosphore) avec0.055%P, 0.055%S, 0.014 %N et 0.37-0.45% C	Les chemises en aciers (supérieure et inférieure) Couvercle.
Alpax	Alliage d'aluminium-silicium 13% de silicium 0.08 de sodium	Corps de l'enceinte La Base
Téflon	Rigidité diélectrique élevé qui fait de lui un excellent isolant électrique.	Chemises en téflon. Cales.

1.3 Conception de pièces

La conception des pièces du dispositif de frittage SPS que nous avons réalisé en respectant au maximum les exigences suivantes :

- Les exigences de bon déroulement du frittage SPS, citées au paragraphe 2.1.

-la résistance

- la simplicité de leur forme géométrique afin de faciliter l'usinage et l'assemblage.

La conception de toutes nos pièces est faite par le logiciel solidworks qui nous a permis de faire des esquisses ainsi les fonctions.

Le bloc : sa conception est effectuée en utilisant plusieurs commandes du logiciel solidworks Telles que : esquisse, enlèvement de matière, assistance pour le perçage ayant une forme géométrique simple. Le bloc dispose d'une chambre où se déroule le frittage avec un trou qui nous permet d'injecter les différents éléments et de deux trous (supérieur et inférieur) permettant d'assembler d'autres pièces.

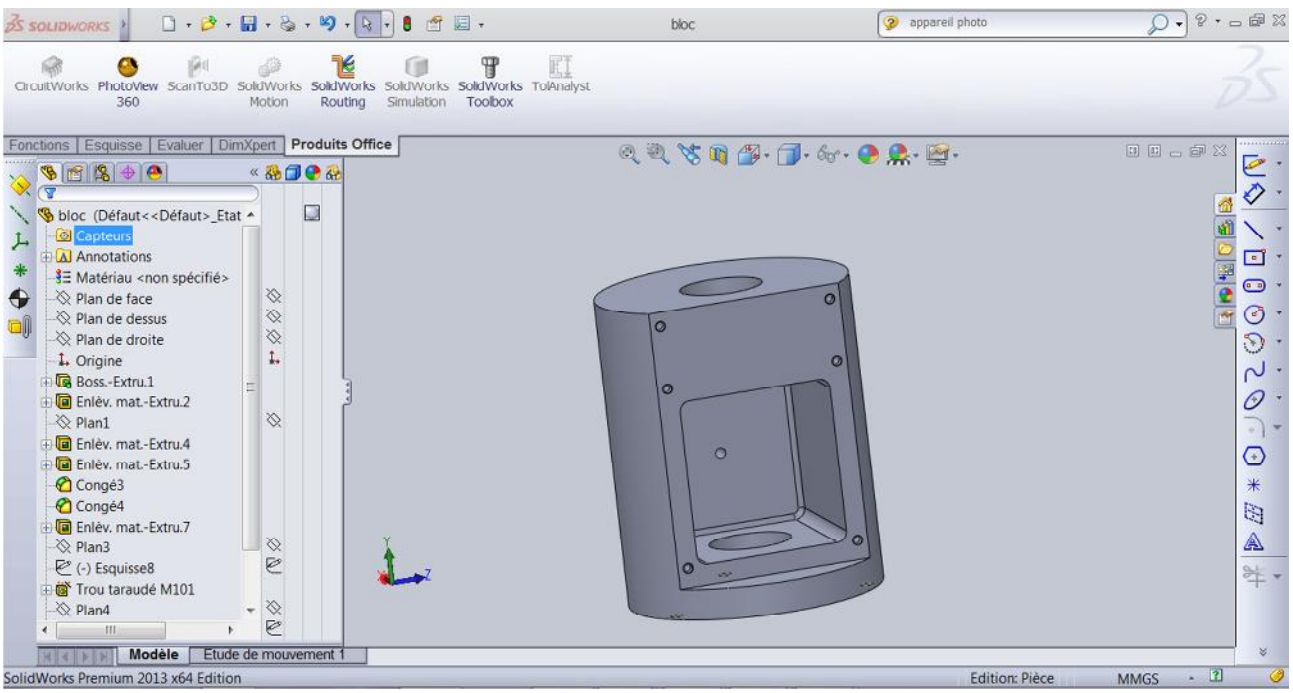


Figure II.1: Conception du bloc

- **La base :**Elle dispose d'une cage pour monter la cale en téflon qui supporte le poids du piston inférieur et contient aussi la partie inférieure du piston et de la chemise. Une rainure est prévue pour le passage d'une tige d'alimentation électrique et deux trous latéraux pour l'alimentation en eau de refroidissement de la chambre.

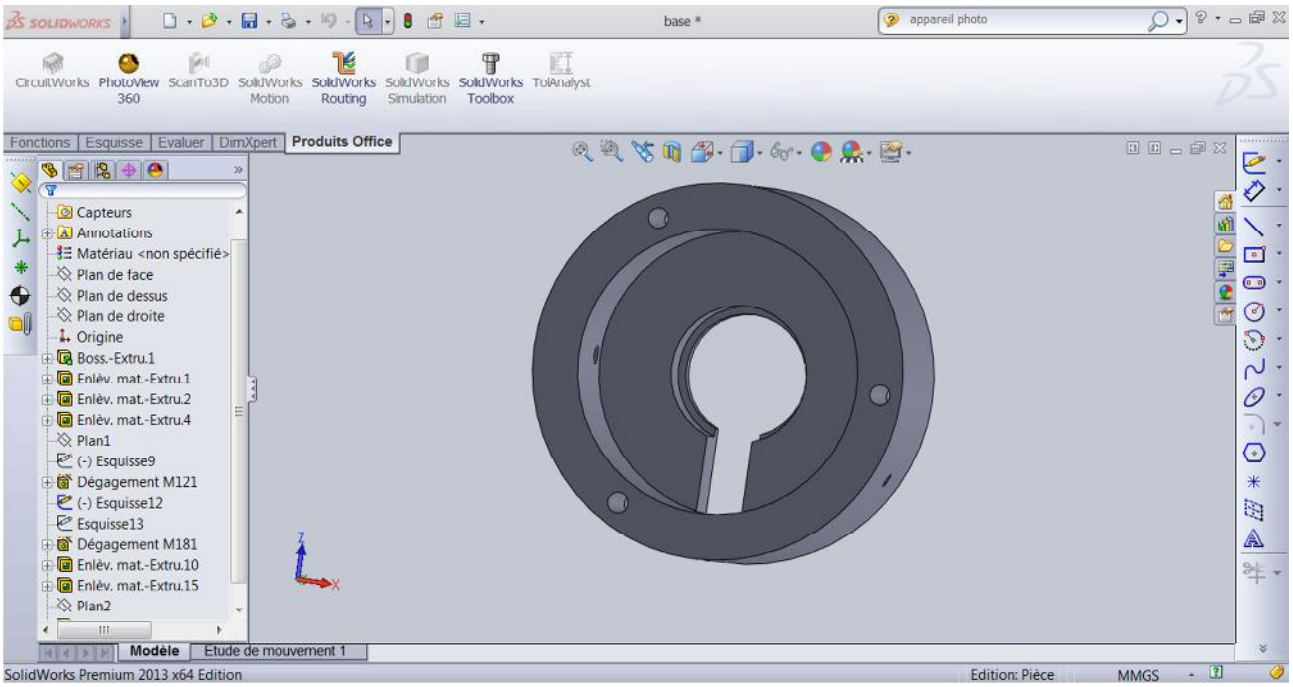


Figure II.2: Conception de la Base

- **Chemise supérieure en acier:** La partie inférieure filetée sera montée sur le bâti tandis que la partie supérieure comporte une chambre où circule l'eau de refroidissement afin de protéger les joints toriques assurant l'étanchéité

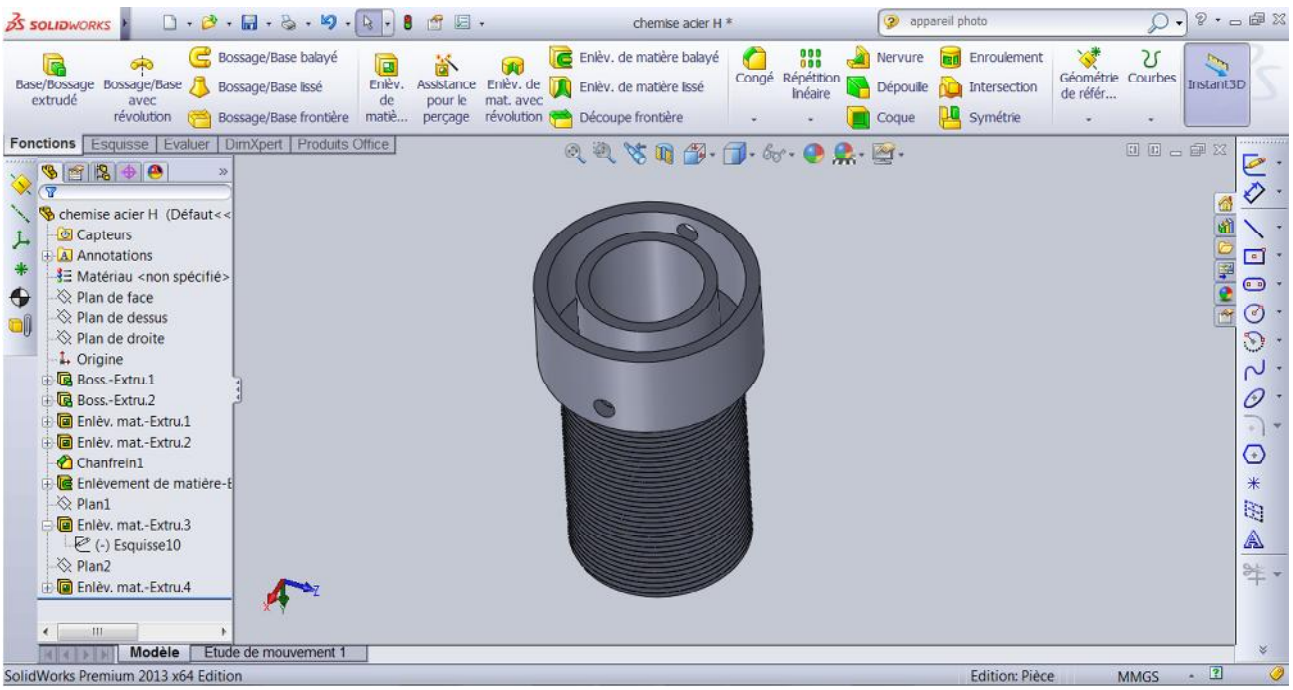


Figure II.3 : Conception de la chemise supérieure en acier

Chemise inférieure en acier: elle a la même forme géométrique que la chemise supérieure.

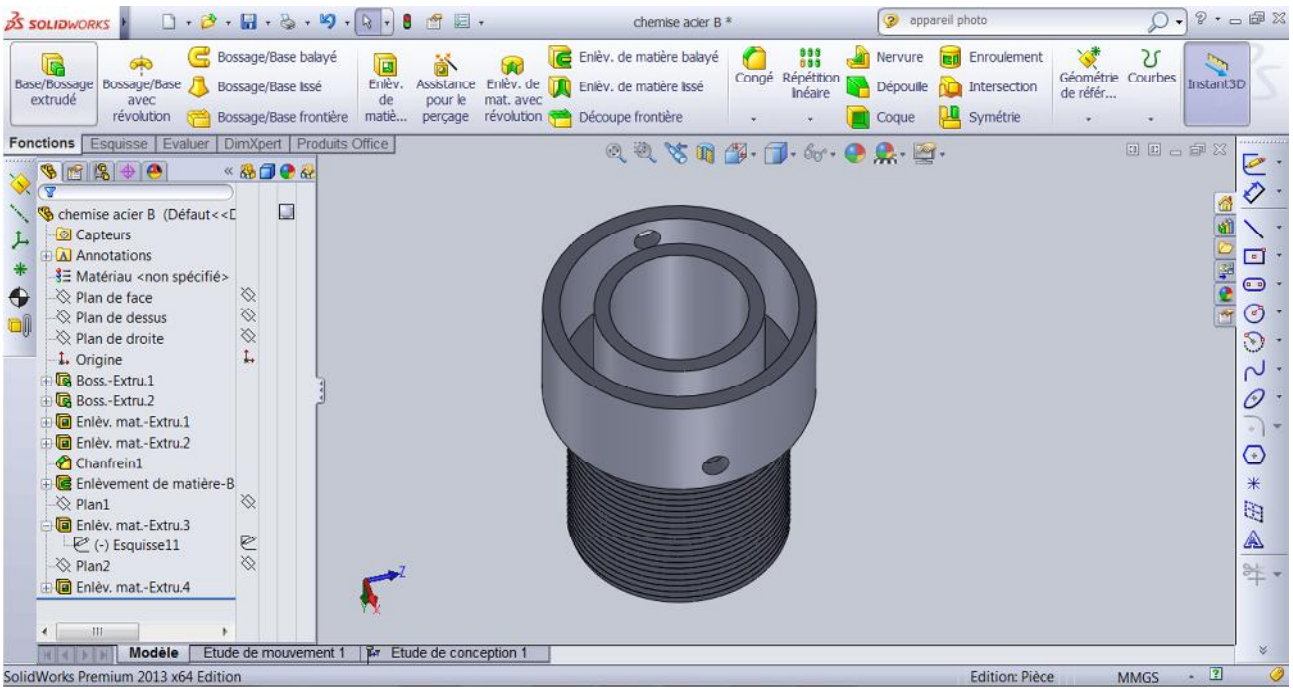


Figure II.4: Conception de la chemise inférieure en acier

Couvercle : il est destiné à renfermer les chambres de refroidissement des chemises inférieure et supérieure.

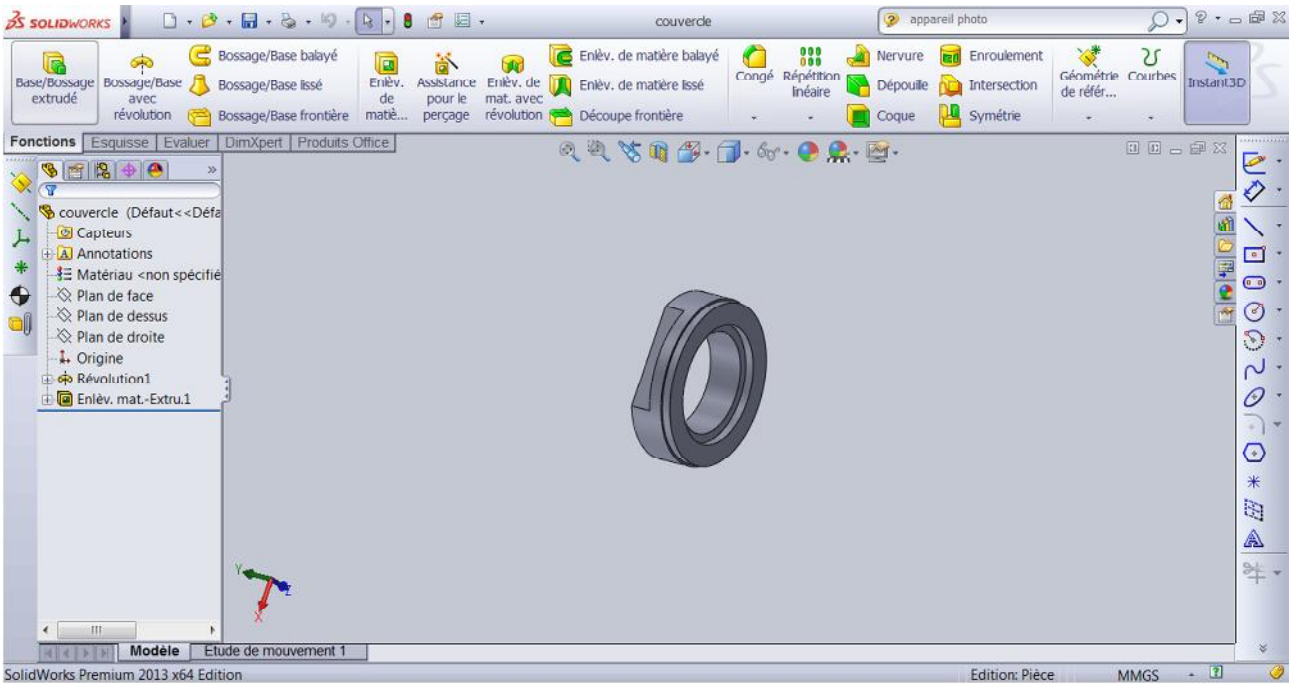


Figure II.5: Conception de couvercle

Chemise supérieure en téflon : elle a pour rôle d'assurer l'isolation électrique entre le piston, la chemise en acier et le bâti.

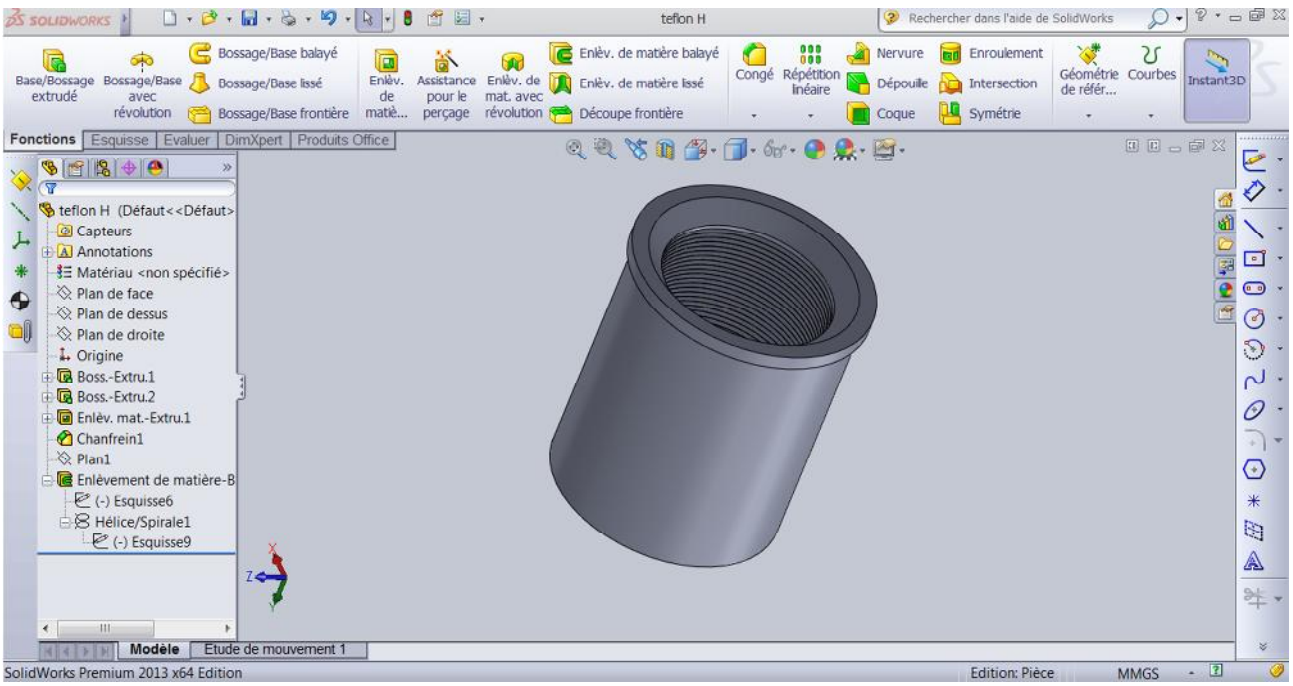


Figure II.6 : conception de chemise en téflon supérieurs

Chemise inférieure en téflon : elle a la même structure géométrique que la chemise supérieure mais avec des dimensions différentes.

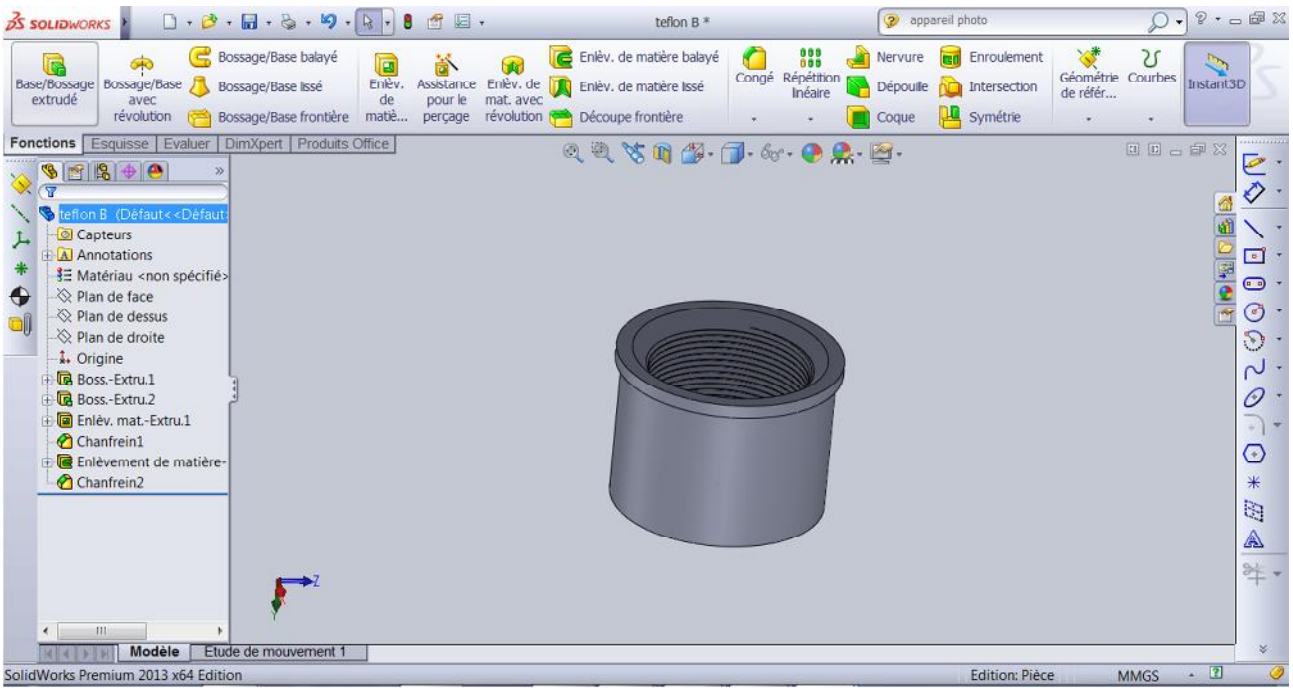


Figure II.7: Conception de la chemise inférieure en téflon

Piston supérieur : il comporte deux diamètres dont la partie inferieure est introduite dans la chambre du bloc. Dans la partie supérieure nous avons prévu des gorges pour le montage des joints toriques ce que nous mène à prévoir un ajustement serré sur la chemise en acier.

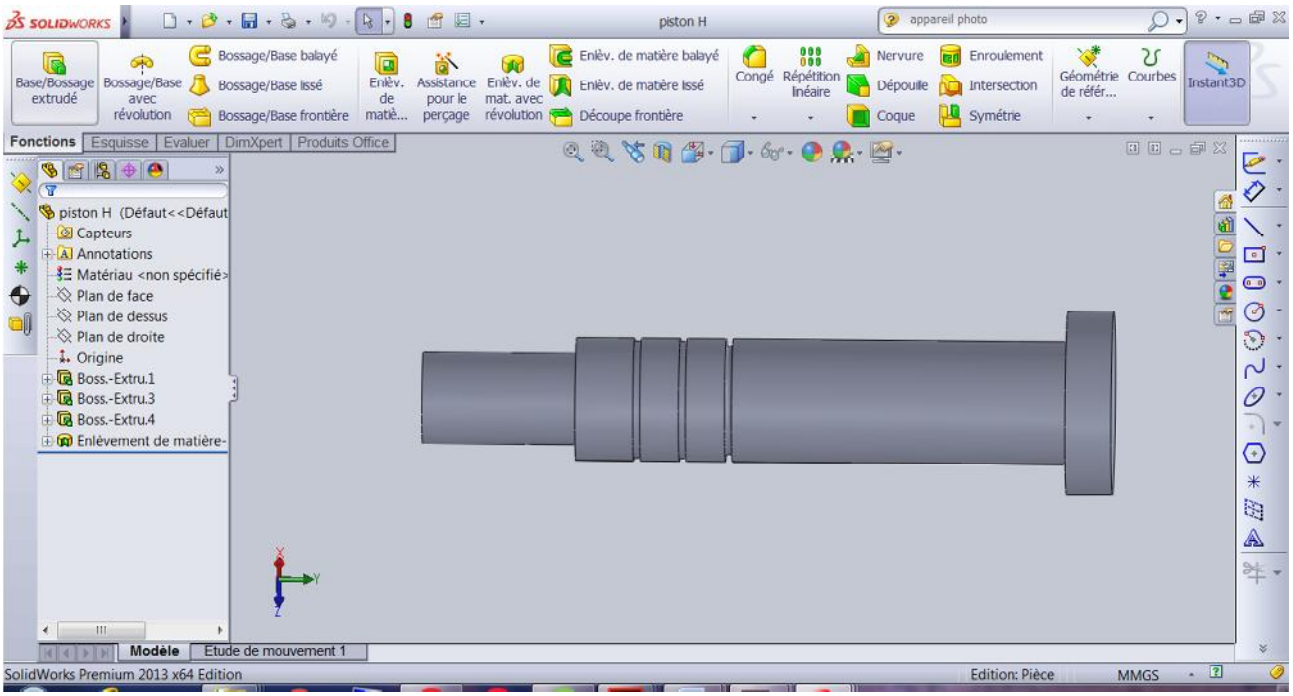


Figure II.8: Conception du piston supérieur

Piston inférieur : il a la même forme géométrique que le piston supérieur**.**

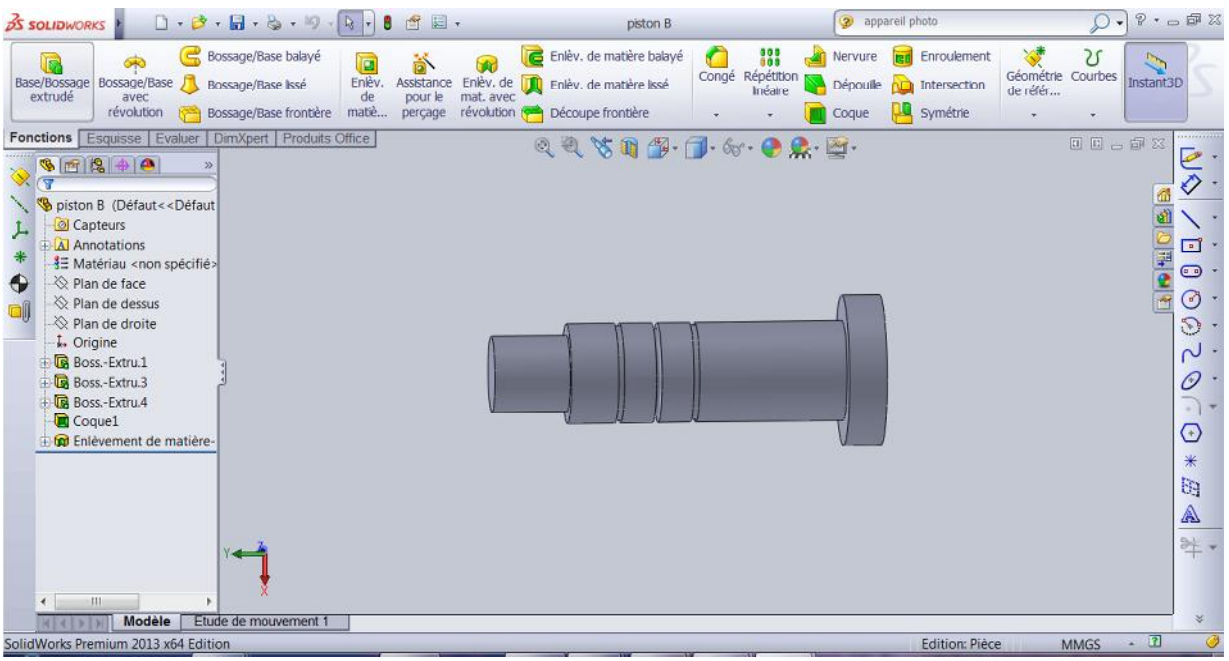


Figure II.9: Conception de piston inférieur

Conception de la porte : Elle comporte une rainure pour le montage d'un joint d'étanchéité et 6 trous de fixation sur le Bâti. A l'intérieur une lumière est prévue pour l'installation d'une vitre en verre trempé pour observer l'intérieur de la chambre.

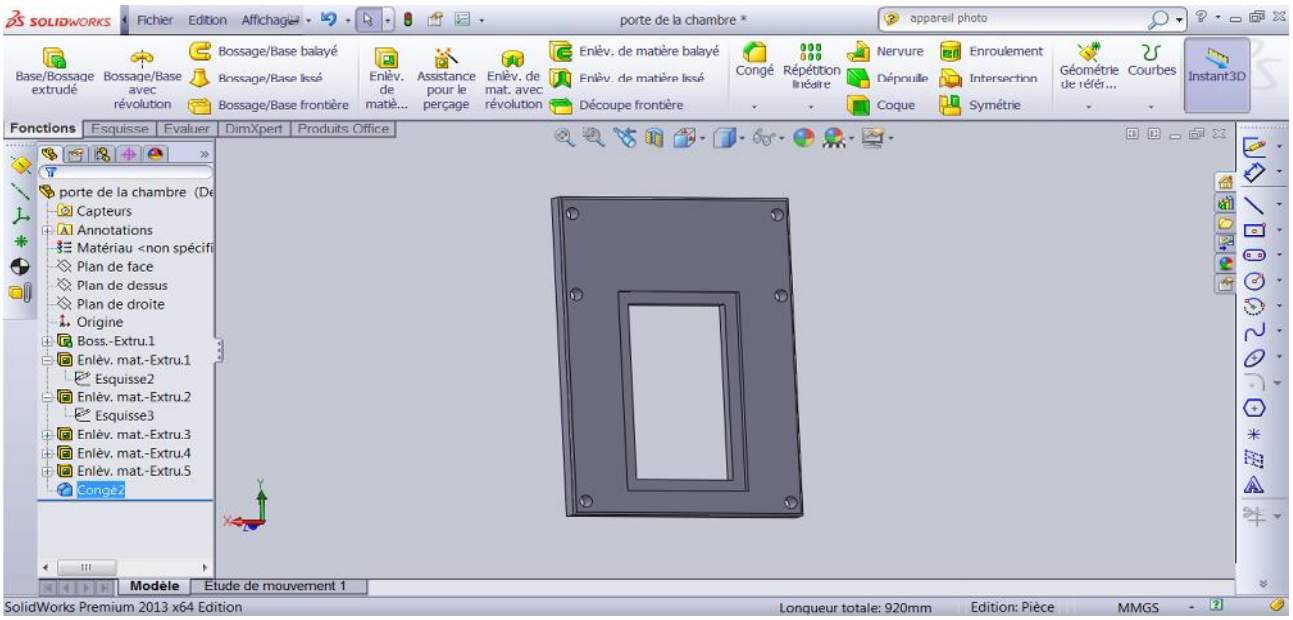


Figure II.10: Conception de la porte

Système de fixation : a comme rôle de fixer la tige en cuivre qui alimente notre enceinte par le courant électrique sur le piston supérieur.

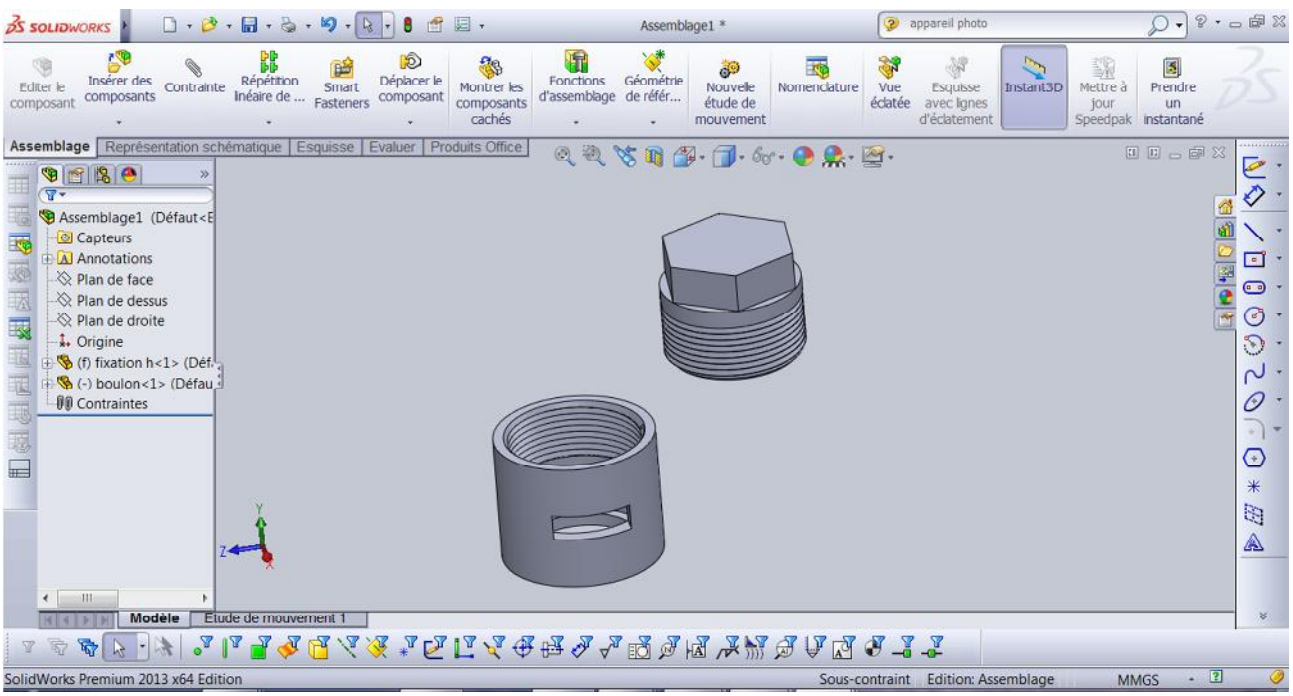


Figure II 11: conception de système de fixation

Cale : son rôle est de supporter le piston inférieur et la pression qu'on applique lors du frittage

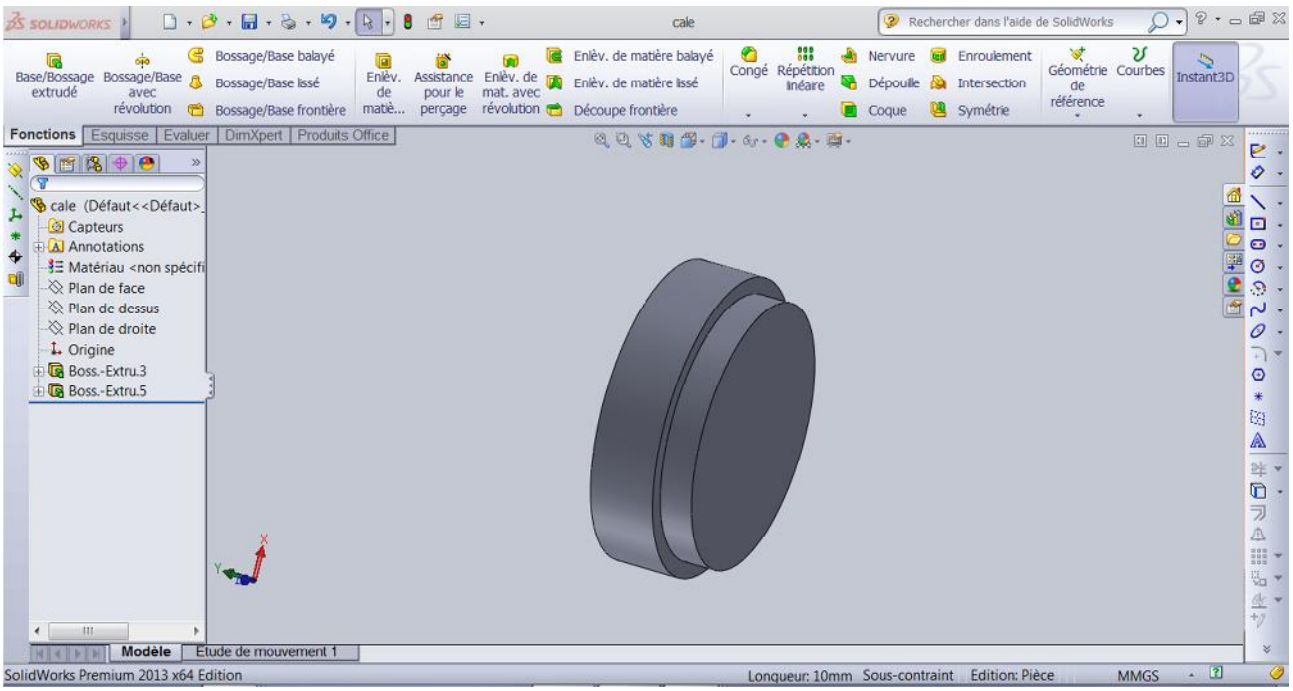


Figure II 13: conception de la cale

Chapitre III

Généralités sur la Fabrication Mécanique

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

1 Principaux services mis en jeu dans une entreprise de fabrication :

1.1 Bureau d'études

- développer de nouveaux produits
- améliorer les produits et leur processus
- Etudes et réalisation des plans des produits par une équipe d'ingénieurs et de techniciens.
- travailler en direction du marché c'est-à-dire ses exigences (la demande, le prix)
- alimenter le bureau d'études pour lancer de morceaux produits

1.2 Bureau des méthodes

Le bureau des méthodes est responsable de l'étude et la préparation à la fabrication

(Analyse de fabrication, études de moyens, des temps et l'usinage des pièces)

Les deux bureaux travaillent en étroite collaboration en disposant de :

- dessin du produit à fabriquer
- programme de fabrication en termes de qualité, rythmes et délais.
- Moyens mis en place

Tout cela pour anticiper sur les problèmes éventuels.

Pendant l'analyse de fabrication, le préparateur doit tenir compte :

- de la réalisation selon le procédé définis
- Les tolérances et spécifications fixées doivent être respectées.
- du coût de fabrication à minimiser
- L'ouvrier doit travailler dans des conditions normales.

1.3 Services de réalisation :

La fabrication des divers produits, en respectant l'étude de la fabrication et les exigences imposés.

Pour ce faire, une suite d'étapes logiques doit être envisagée

1ere étape :

Elle est obligatoire pour le déroulement du processus. Elle consiste en :

- la lecture de dessin et des paramètres (démentions, spécifications, tolérances)
- l'analyse technique du dessin en utilisant une image la plus précise
- la lecture des spécifications liées à l'état de la surface (rugosité)

2eme étape :

- expertise de la pièce à fabriquer
- mise en évidence des surfaces à usiner
- possibilité de réaliser les moyens en place

Aller à la recherche des éléments géométriques de référence_ cette étape est déterminante dans tout le processus

Association des surface : elles respectent celles usinées lors de la première phase de

Départ de la pièce.

3eme étape :

Elle consiste à rassembler les opérations élémentaires en soues phase et en phase ordonner logiquement toutes ces interventions pour le processus de fabrication

1.4 Déroulement de la méthode développée :

1 : Repérages des surfaces : le bureau d'études fournit des dessins de définition étudiés avec un repérage des surfaces usinées par des chiffres et les surfaces brutes par des lettres suivies d'indices.

2 : le graphe de liaison : ce graphe met en évidence la cotation fonctionnelle et la concentration des contraintes sur certaines surfaces et suivant un repère O(X, Y, Z) il permet aussi de déterminer les transferts de cotes.

3 : les contraintes dimensionnelles : ce sont des surfaces de liaisons entre les surfaces

Exigées par le dessin de définition avec des intervalles de tolérances bien précis

1.5 Les contraintes géométriques :

On distingue deux types:

- **les contraintes géométriques de position :**

Elles regroupent les contraintes liées aux positions relatives des surfaces des pièces tels que le parallélisme, la perpendicularité, la Co-axialité, l'inclinaison...

- **Les contraintes géométriques de forme :**

Elles sont liées à la forme des surfaces, telles que la rectitude, la planéité, la circularité, la cylindricité.

Dans le cas de l'existence de contraintes géométriques sur le dessin de définition, elles doivent être citées, soit sur le même graphe des contraintes dimensionnelles, soit en leurs créant un graphe spécial

	Tolérance	Caractéristique	Symbole
Éléments isolé	De forme	Rectitude	—
		Planéité	▱
		Circularité	○
		Cylindricité	⌭
Éléments isolés ou associés	De profil	Profil de ligne	⌒
		Profil de surface	⌓
Éléments associés	Orientation	Inclinaison	∠
		Perpendicularité	⊥
		Parallélisme	//
	Localisation	Position	⌖
		Coaxialité	◎
		Symétrie	⌯
	Battement	simple	↗
		Total	⌰

Tableau N°2: différentes tolérances géométriques :

1.6 - Les contraintes technologiques :

Ces contraintes dépendent des moyens utilisés pour la fabrication. Elles consistent à protéger le matériel de l'atelier et respecter les exigences du bureau d'étude et améliorer la qualité du produit.

1.7 Les contraintes économiques :

Le coût 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 coût de revient à l'unité soit minimisé le plus faible possible.

- Tableau des opérations élémentaires :

Le tableau des opérations élémentaires regroupe les résultats de l'analyse de la réalisation des surfaces élémentaires

Repérage Des Surfaces	**Liaisons aux Surfaces**		**Spécifications**			**Opérations élémentaires**	**Symbolisation**
	usinées	**brutes**	**Ra**	**IT**	**Particuliers**		

. **Tableau N°3:** tableau de définition des opérations élémentaires

1.8 Choix du nombre d'opérations élémentaires:

Le choix du nombre d'opérations est déterminé à partir de l'intervalle de tolérances, la qualité et des états de surfaces.

a. En fonction de l'intervalle de tolérance (IT):

Côtes de longueur < 200 mm	IT>0,4	1 opération
	0,15 < IT ≤ 0,4	2 opérations
	0,05 ≤ IT< 0,15	2 à 3 opérations
	IT < 0,05	3 opérations

Tableau N°4 : nombre d'opération en fonction de l'intervalle de tolérance

b. En fonction de la qualité (Q) :

Côtes obtenues à l'outil d'enveloppe	Q : 12 ; 13	1 opération
	Q : 9 , 10 , 11	2 opérations
	Q : 7 ,	3 opérations
	Q : 5 , 6	4 opérations

Tableau N°5 : nombre d'opération en fonction de la qualité

c-En fonction des états de surfaces (Ra et Rt)

Ra > 8	Rt> 40	1 opération
2<Ra ≤ 8	10 <Rt ≤ 40	2 opérations
Ra ≤ 2	Rt ≤ 10	3 opérations

Tableau 6 : nombre d'opération en fonction des états de surfaces (Ra et Rt)

1.9 Définition des opérations élémentaires :

a. Ebauche: C'est une opération qui permet d'enlever le maximum de matière en approchant la côte finale en une ou plusieurs passes.

b. Demi-finition : C'est une opération qui permet d'obtenir une précision géométrique ainsi que la forme les plus proches possibles des exigences finales.

c. Finition: C'est une opération qui permet d'obtenir la dimension de la surface, ainsi que son état de surface tels qu'exigés dans le dessin de définition.

Il existe la super finition qui permet d'obtenir les tolérances dimensionnelles, géométriques ainsi que l'état de surface exigés.

1.9.1 Tableau de regroupement de surface :

Les surfaces groupées sont des surfaces qui peuvent être réalisées par le même outil ou plusieurs outils associent. Elles doivent être désignées par une lettre.

Repères	Les surfaces regroupée	Raison du Groupement	Opérations Elémentaires

Tableau N°7: Tableau du groupement des surfaces

1.9.2 Tableau des contraintes d'antériorités :

Il s'établie à partir du tableau des opérations élémentaire d'ordre géométrique,

Technologique et économique

Repères	liaisons	Contraintes géométriques	Contraintes technologiques			économiques
			opérations	Repères	bavures	

Tableau N°8: Tableau des contraintes d'antériorités

1.9.3 Tableau des niveaux :

C'est une matrice carrée, figure des entrées et sorties :il a autant de lignes

Colonnes, il est déterminé directement du tableau des contraintes d'antériorités

Entré

Sortie

	opérations élémentaire	Total	Niveaux
opérations élémentaires	Liaisons		

.

Tableau N°9: Tableau des niveaux

1.9.4 Tableau des groupements en phase :

Une fois les niveaux déterminés, on passe groupement en phase d'usinage en fonction

des conditions économiques et du parc machines

	Niveaux
Opérations Elémentaires	**Groupement en phases d'usinage**

Tableau N°10: tableau du groupement en phase d'usinage

2 *Projet de gamme optimal:*

A partir du tableau des groupements en phase, on procède à la rédaction du processus d'usinage envisagé. On distingue toutes les opérations dans la phase ou sous phase.

2.1 La phase:

La phase est un ensemble des opérations effectuées sur un même poste de travail avec les mêmes opérateurs et les mêmes outillages.

2.2 La sous phase:

La sous phase est une fraction d'une phase déterminée par des changements d'outillage ou de prise de pièce différente.

2.3 L'opération:

L'opération est un travail effectué sur la pièce sans changement de la prise de pièce et d'outil et même le mouvement entre la pièce et l'outil.

2.4 Le choix des machines:

Dans une gamme, les machines doivent être choisies afin que les deux conditions suivantes soient satisfaites:

Les tolérances de forme, de position, de dimension, d'état de surface doivent être respectées.

Le prix de revient de l'usinage doit être minimisé, surtout dans les productions en série.

Pour chaque machine , on doit connaitre:

- le mode d'utilisation de l'outil.

- les équipements standards.

- les équipements spéciaux.

- les limites d'utilisation.

2.5 Choix des outils de coupe:

Il existe actuellement une grande variété d'outil apte à réaliser un usinage. Chaque type d'outil à son domaine d'emploi particulier.

Le choix des outils de coupe dépend de:

- Matière à usiner.

- la productivité.

- la forme (suivant l'opération à exécuter).

- le sens (le déplacement de l'outil à droit ou à gauche).

- le montage (à l'endroit dans le cas général ou à l'envers dans le cas de tronçonnage).

- la précision et l'état de surface à réaliser.

Ce dernier dépond de choix de rayon de bec ($r_{\square}$), qui se fait en fonction de l'opération à effectuer, ébauche ou finition.

Travaux d'ébauche:

Il faut choisir un rayon de bec plus grand, afin:

- D'obtenir une arête de coupe résistante.

-Résiste à l'effort de coupe, ce qui améliore généralement la durée de vie de l'outil.

- Dissipation de chaleur.

En pratique les rayons les plus couramment utilisés sont 1.2 et 1.6. Il est essentiel que l'avance choisie ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le tableau suivant:

Rayon du bec (mm)	**0.4**	**0.8**	**1.2**	**1.6**
Avance max f (mm tr)	**0.25 à 0.35**	**0.4 à 0.5**	**0.5 à 1**	**0.7 à 1.3**

Tableau 11 : avances maximales pour le différent rayon de bec

Travaux de finition:

Le rayon de bec conditionne la rugosité de la surface si on présume que la pièce est la reproduction fidèle d'une partie du profil de l'outil à l'échelle micro géométrique, la profondeur totale de rugosité vaut:

$$Rt = \frac{f2}{8r\varepsilon} x\ 1000 \quad \rightarrow f = \sqrt{Rt \times 8r\varepsilon\ /1000}$$

Rt(µm)	4	8	15	27	24
Ra (µm)	0.8	1.2	3.2	6.3	12.5

Tableau 12 : les conversions:

2.6 Choix des conditions de coupe:

Le choix des conditions de coupe (Vc, f ,a, R□, ...etc.) pour un matériau déterminé dépend du type d'opération à réaliser:

- En ébauche : Rechercher le débit de coupeaux maximal au cout minimal.

Les principaux paramètres à considérer étant:

- la durée de vie de l'arrête de coupe.

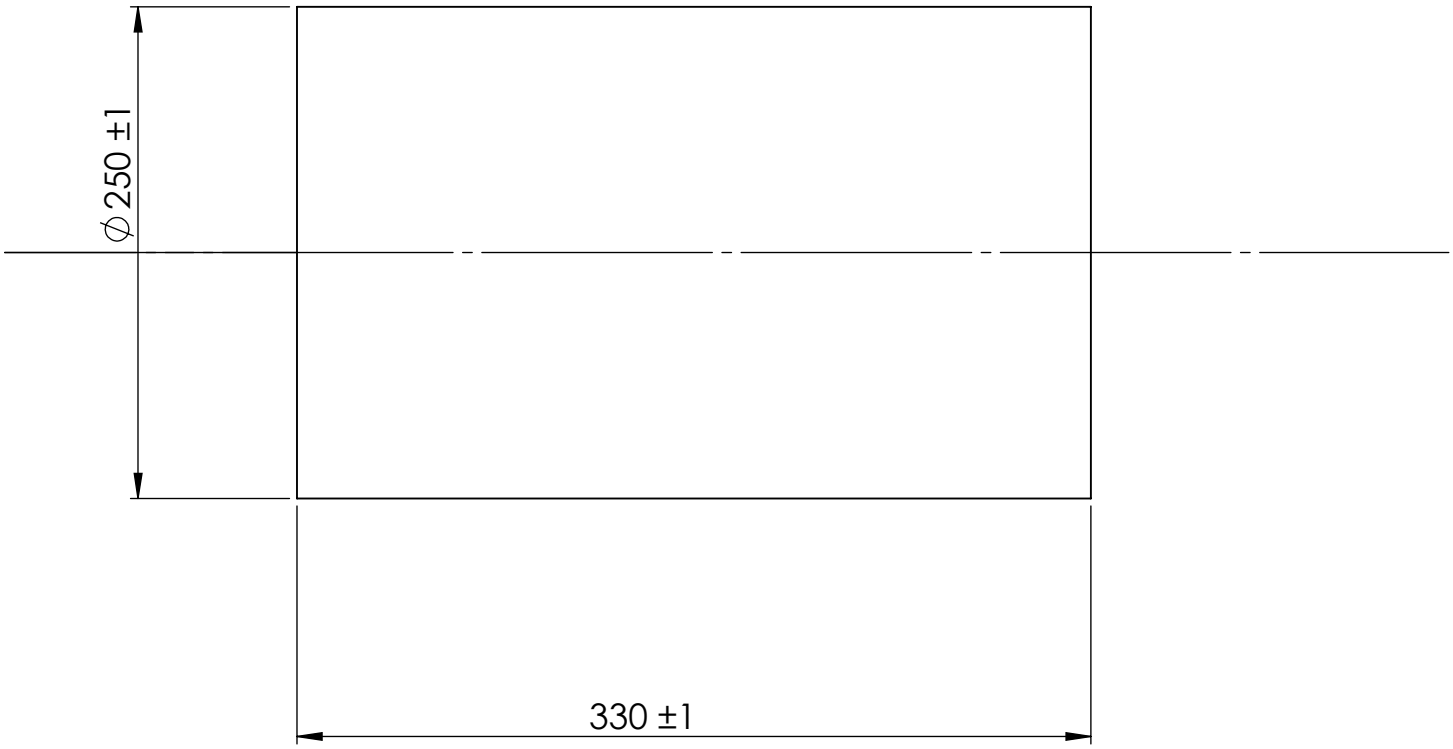
- les efforts de coupe.

- En finition: Rechercher la qualité dimensionnelle, micro géométrique de la surface. Le principal paramètre à prendre en compte étant la rugosité de la surface usinée [22].

Les feuilles d'analyse de fabrication:
A- Feuille d'analyse de BLOC

Ensemble: outil de frittage sps **Organe:** Bloc	**Matiere:** Alliage d'aluminium(alpax) **BRUT:** Moulage **cadence:** travail unitaire

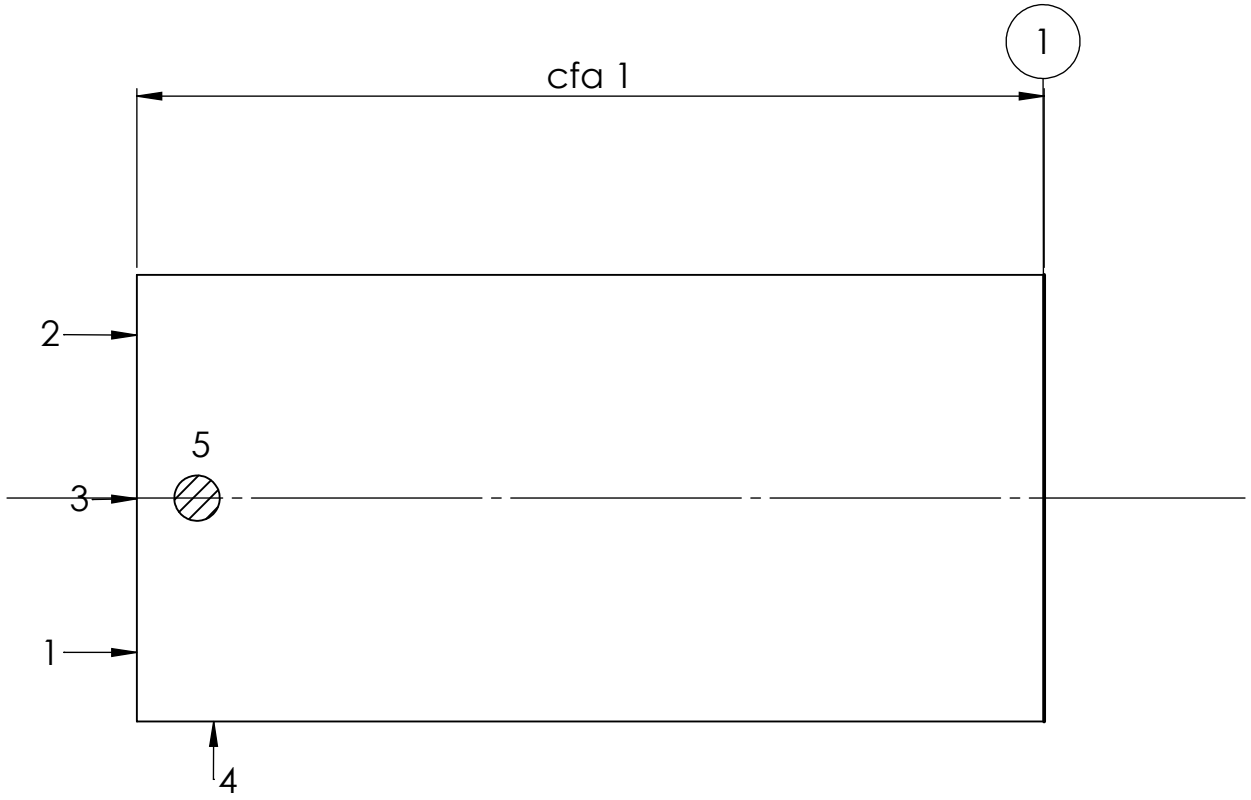
N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



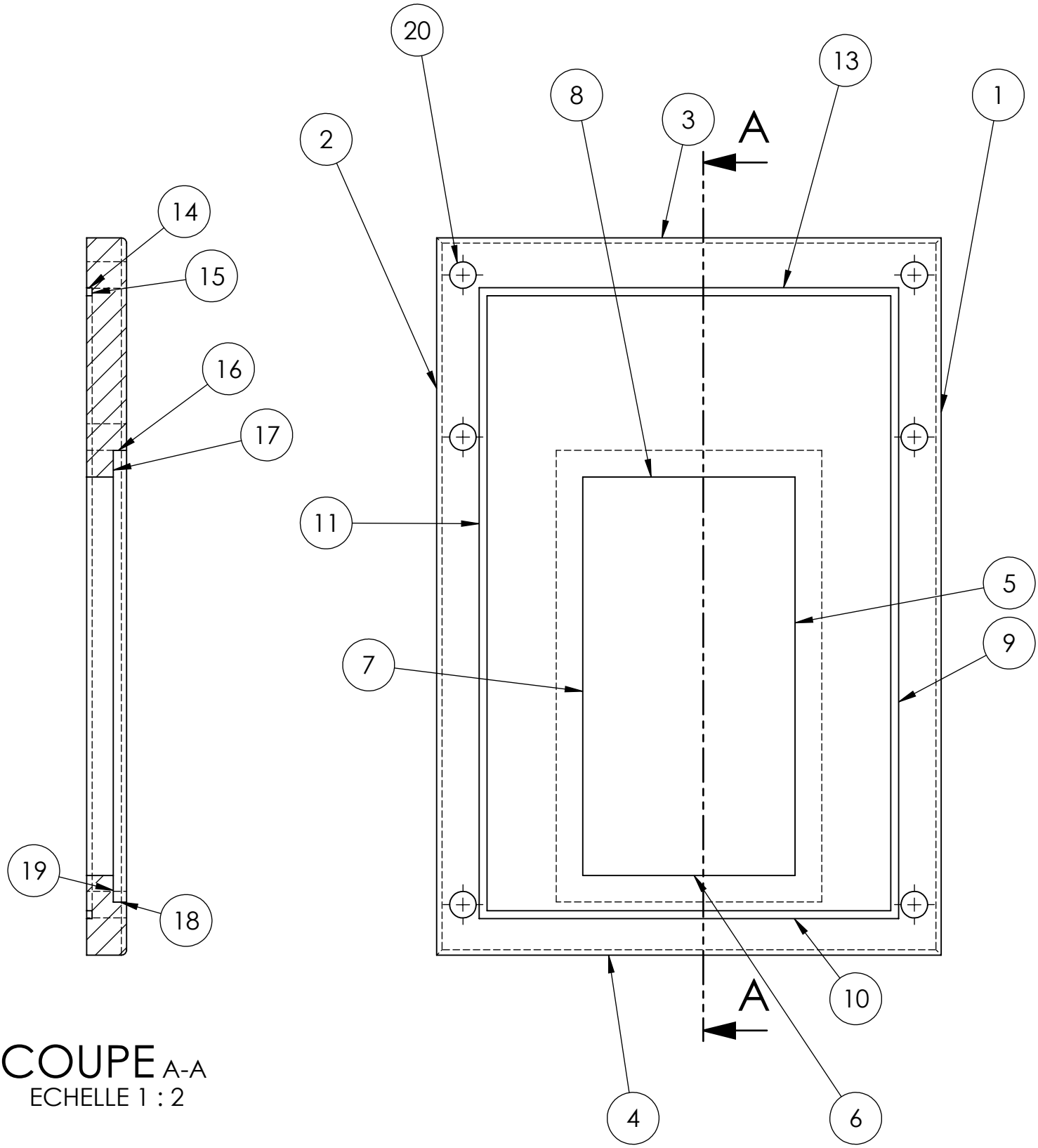
Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: Bloc

Matiere: alliage d'aluminium (ALPAX)
BRUT: Moullage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:210** la piece au montage est deini par: • un centrage court avec 2 Normale (4,5) • appui plan (1,2,3) et un serrage suffisant. **Opération 211:** dressage de **1E** **Opération 212:** dressage de 1**F** cfa= 325 ±0.5mm ▱ 0.1 3.2	Tour parallèle	**Outils coupants**: outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin 4 mors	pied à coulisse ,comparateur



Repérage de surfaces élémentaire de la porte de chambre



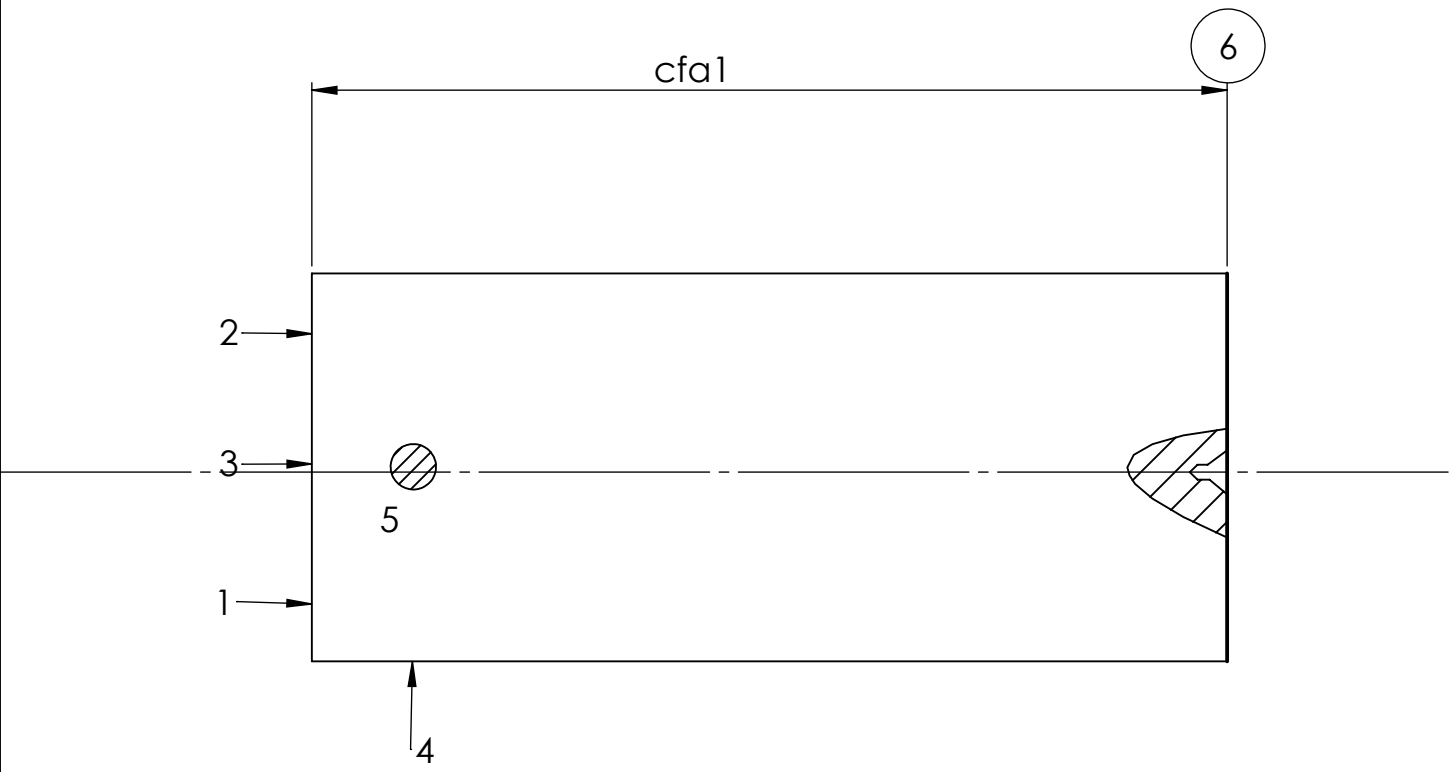
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bloc

Matiere: alliage d'aluminiume(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisé	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:230** la piece au montage est défini par: • un centrage court avec 2 Normale (4,5) • appui plan par 3Normale (1,2,3). et un serrage suffisant. **opération 231:** dressage de **6E** **opération 232:** dressage de **6F** **opération 233:** realisation d'un Trou de centrage cfa1= 300 ±0.5 ▱ 0.1 3.2	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à dresser à plaquettes amovibles en carbure métallique à 45° foret à centrer **Moyens de prise**: mandrin à 4 mors	pied à coulisse; comparateur

croquis de piéce



Enssemble: enceinte de frittage SPS
Organe: bloc

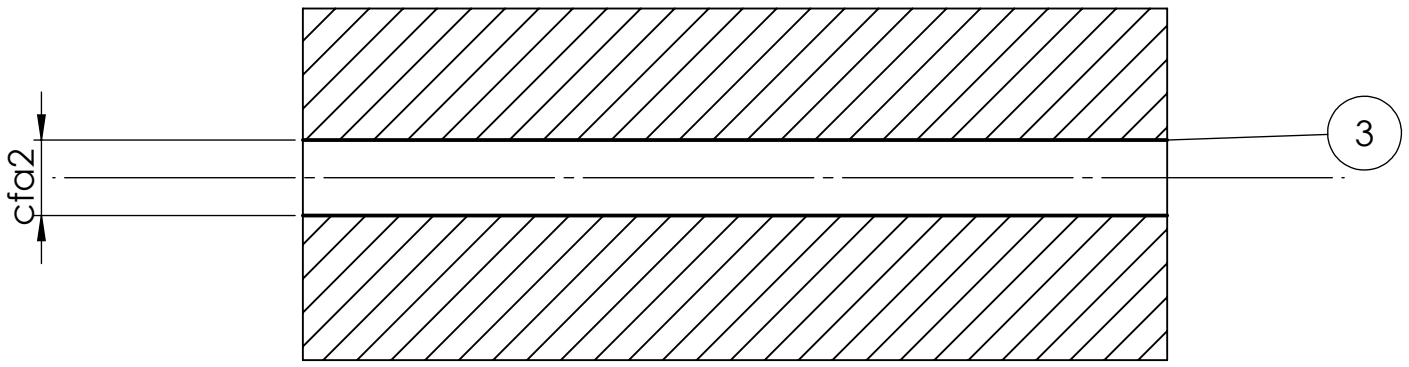
Matiere: Alliage d'aluminium (ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

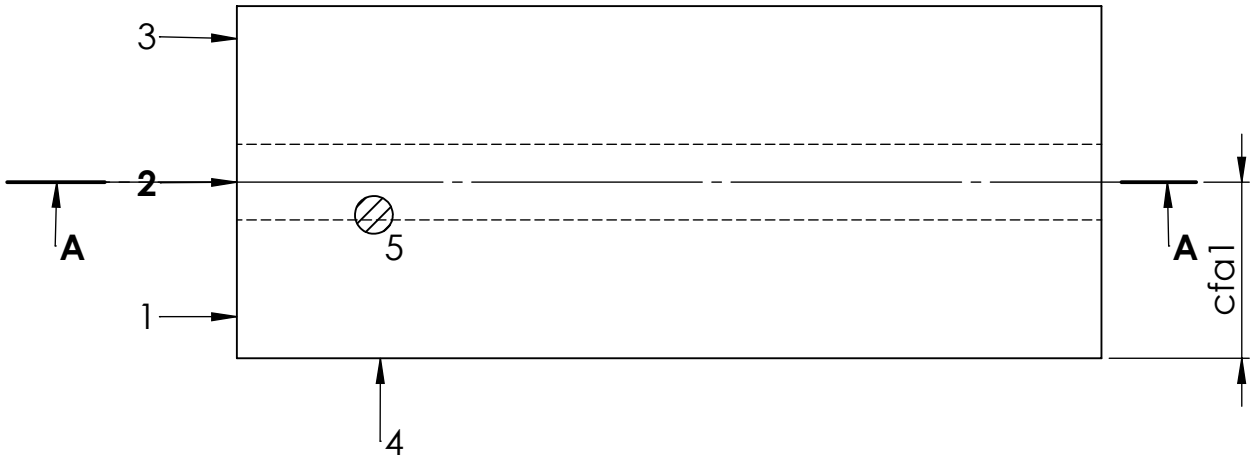
N° de phase	Désignation des sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et apareillage	côntrole
200	**TOURNAGE:** **Sous phase 220:** piece au montage est défini par: • centrage cours (1,2)avec 2 Normale • une pointe tournante avec 2 normale(3,4) • un appui ponctuel (la butée) 1 Normale (5) **opération 221 :** chariotage de 2F cfa 1= 123±0.25 ⌭ 0.3 cfa2=300±0.5 6.3	Tour parallèle	**Outils coupants :** outil à charioter à 90° **Moyens de prise:** mandrain 4 mors	pied à coulisse; compa-rateur

Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bLOC

Matiere: alliage d'aluminium(alpax)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et Apareillages	côntrole
200	**TOURNAGE:** **Sous phase: 240** piéce au montage défini par: -centrage court avec 2 Normale(4,5) . -un appui plan avec 3Normale(1,2,3) et un serrage . opératio 241: perçage de ∅40mm opératio 242: alésage de 3E opération 243: alésage de 3 1/2F opération 244: alésage de 3F Cfa2=80H7 ; cfa1=123±0.25 ⊥ 0.1 1 ; 1.6	Tour parallèle	**OUTILS COUPANTS** -outil à aléser à plaquette (carbure métallique) - foret a centrer -forêt en ARS de ∅40 **MOYENS DE PRISE:** mandrin 4 mors	pied à coulisse, palpeur

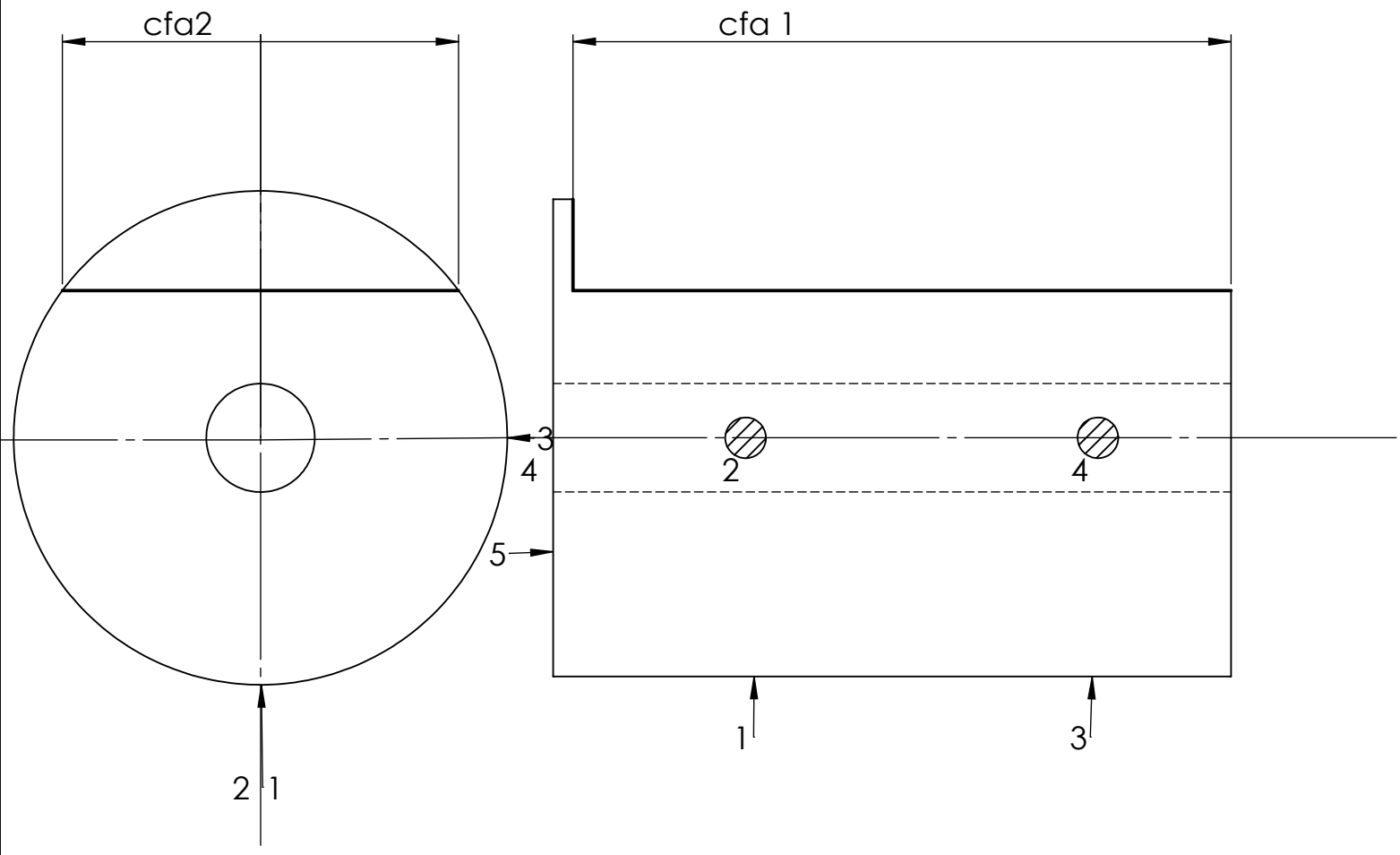




Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bLOC

Matiere: Alliage d'aluminium (alpax)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

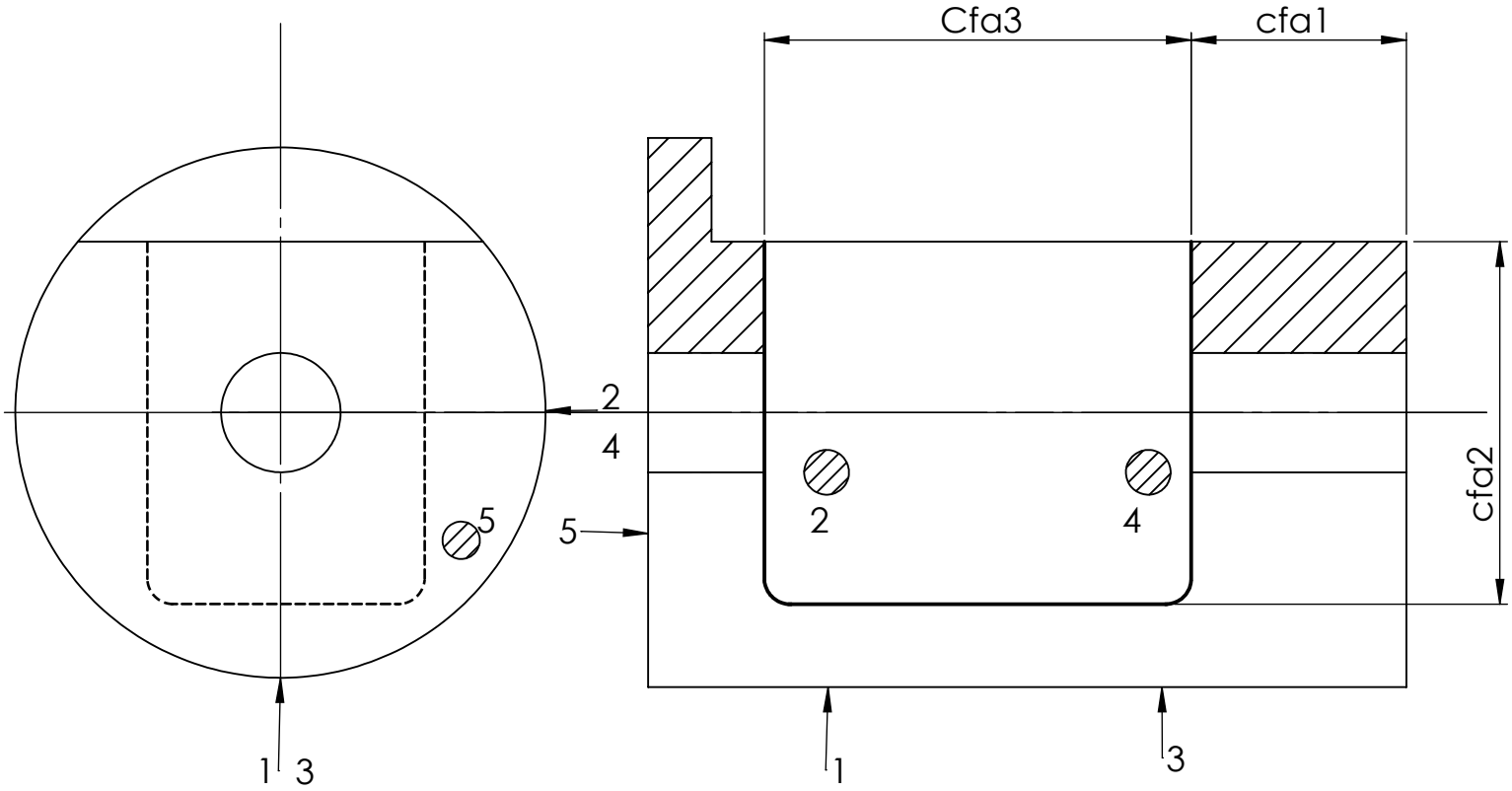
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et Apareillage	Côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 310:** referentiel de départ definir par - centrage long à l'aide de deux(02) **Vé** par 4 Normale (1,2,3,4) - une butée 5 et un serrage. **opération 311:** realisation d'un plan épauler(4,5) **E** **opération 312:** realisation d'un plan épauler(4,5) **F** cfa 1= 270±0.5 3.6 cfa2=190±0.5	Fraiseuse verticale	**Outils utilisées:** - Fraise à plaquettes amovible en carbure métallique ∅80	pied à coulisse



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bloc

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

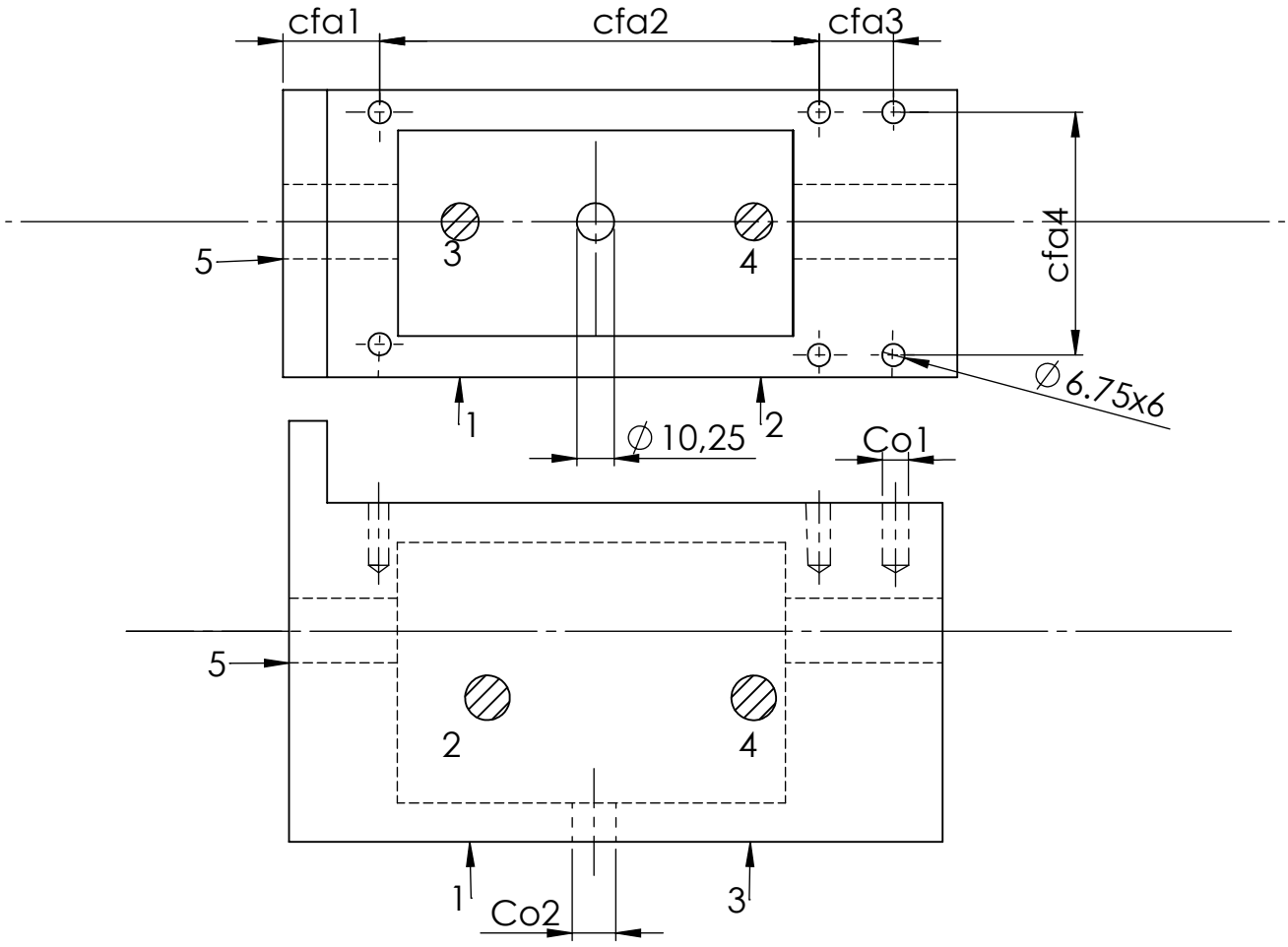
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et Appareillage	Côntrole
300	**Sous phase:320** referentiel du départ est definir par -un centrage long à l'aide de deux(02) Vé par 4 Normale (1,2,3,4)et une butée (5,6) et en prévoir un serrage(brides) . **Opératuion 321**: Realisation d'une poche (7,8,9)**E.** **Opération322:** Realisation de la poche(7,8,9) 1/2**F** **Opération 322**: Finition de la poche (7,,8,9)**F** (regroupement de surfaces) cfa1=90±0.5.cfa2=150±0.5 1.6 Cfa3=160±0.5	fraiseuse verticale	**Outils utilisées:** - fraise en acier rapide de ∅80 -fraise en acier rapide de ∅20	pied à coulisse



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bLOC

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

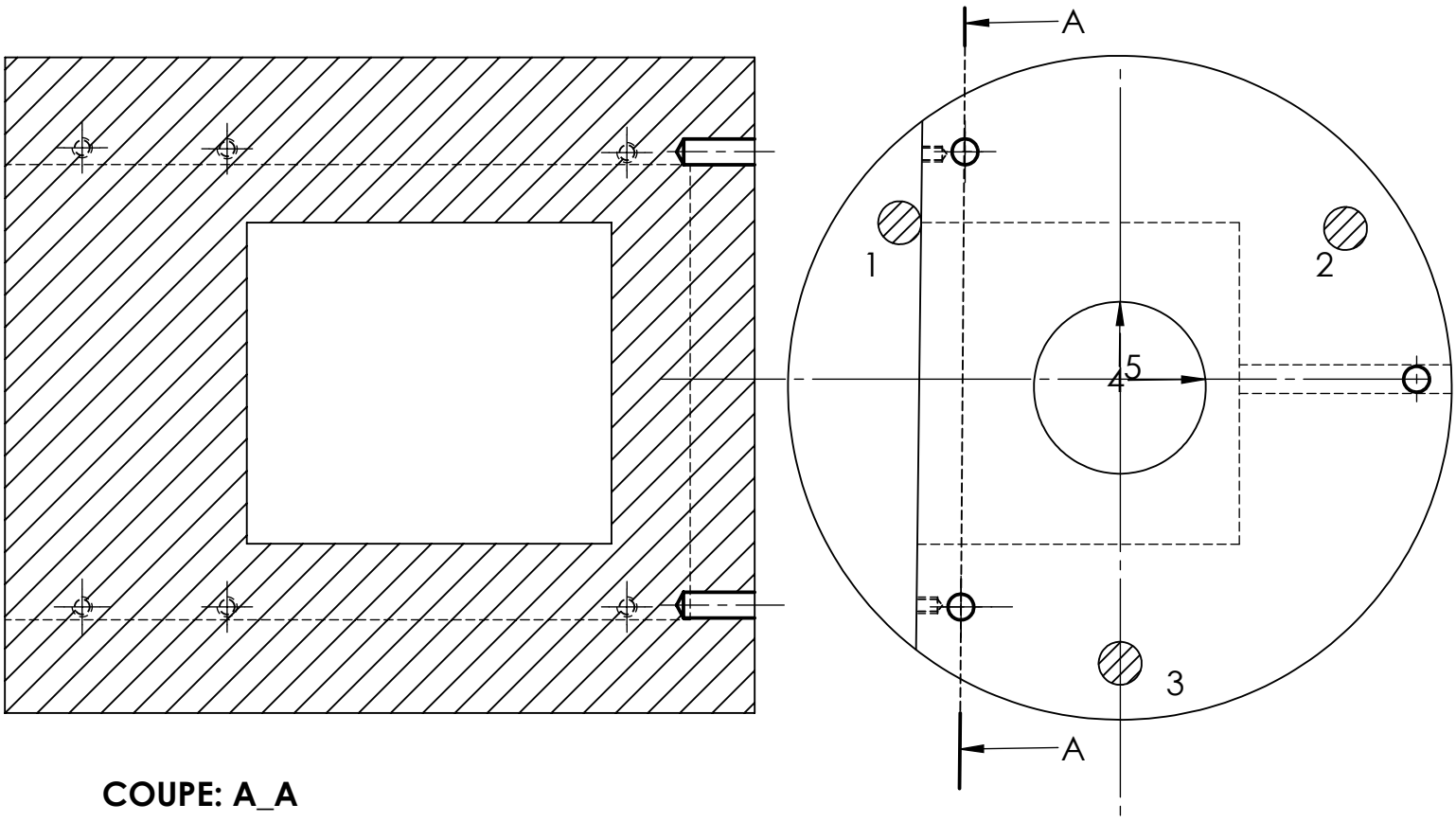
N° de phase	Désignation des sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et Appareillage	Côntrole
300	**Fraisage:** **sous phase 330:** referentiel du départ est definir par : -un centrage long à l'aide de deux(02) Vé par 4 Normale (1,2,3,4) -une butée 5 et en prévoir un serrage . **opération 331:** perçage de **10F** ∅6.75x6 **opération 332**: perçage de**11F** ∅10.25 Co1=6,75 Co2=10.25 cfa1= 49 , cfa2=176, cfa3=61 cfa4=170 IT=±0.25	faiseuse verticale	**Outils coupants:** foret en ARS de ∅6,75 foret en ARS de ∅10.25 **Moyens de fixation:** -brides	pied à coulisse



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bloc

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation des sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et Appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **sous phase 340:** -Référentiel de mise en défini par: un appui plan par 3 Normale (1,2,3) , -uncentrage court avec 2 Normale (5,6) et en prévoir un serrage opposée aux appuis . **opération341:** perçage de 12**F** **(3 trous disposés de 120°)** co=10.25	faiseuse vertcale	**outils coupants:** Foret de ∅ **10.25** moyens de prise: -plateau circulaure -brides -dispositif -tiges de fixation	peid a coulisse

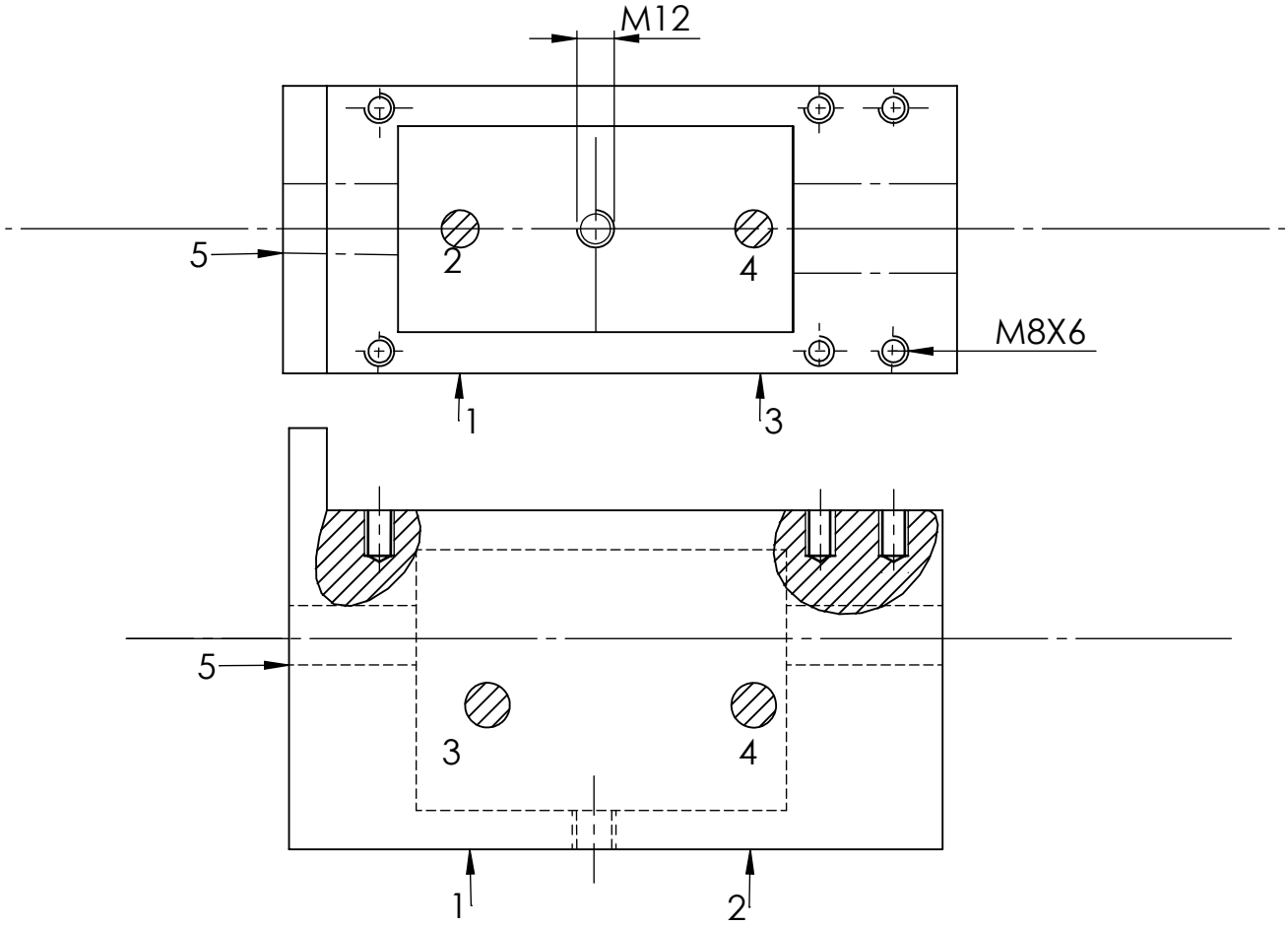


COUPE: A_A

Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bloc

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

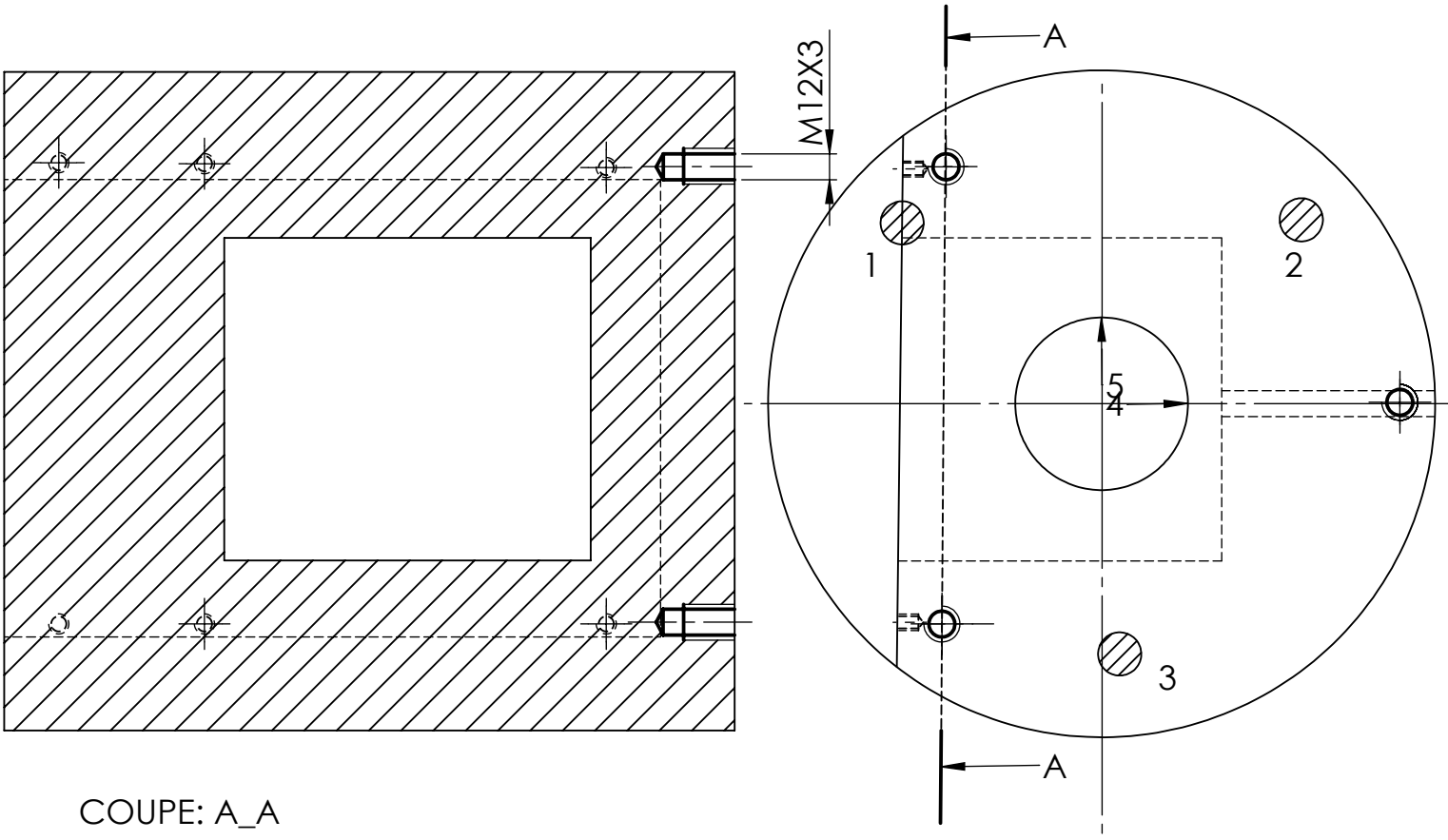
N° de phase	Désignation des sous phases et opérations	Machine utilisée	les outils utilisées	côntrole
400	**taraudage** **sous phase 410:** referentiel du départ est definir par : un centrage long à l'aide de deux(02) Vé par 4 Normale (1,2,3,4) -une butée par 1 normales (5). et en prévoir un serrage . **opération 411:** Realisation de six (6) taraudage **9** M8 de trois (03) tarauds différents: • Ebaucheur • intermediaire • finisseur **opération 412:** Taraudage de **11** M12 en tarois taraudes : • Ebaucheur • intermediaire • finisseur	Taraudage Manuel	**Outis coupants:** tourne à gauche Tarauds de M8 -Ebaucheur -Intermédiaire -Finisseur Tarauds de M12 -Ebaucheur -Intermédiaire -Finisseur	Tampons



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: bloc

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	les outils utilisées	côntrole
400	**Taraudage:** **sous phase 420:** Référentiel de mise en défini par: un appui plan par 3 Normale (1,2,3) , -un centrage court avec 2 Normale (5,6) et en prévoir un serrage opposée aux appuis . **opération421:** Taraudage M12 de 12**F** **(3 trous disposée de 120°)** -Ebauche -demin Finition -Finition	Taraudage Manuel	outils coupants: -Tourne à gauche. -Tarauds: Ebaucheur; intermediaire Finisseur	Tampon

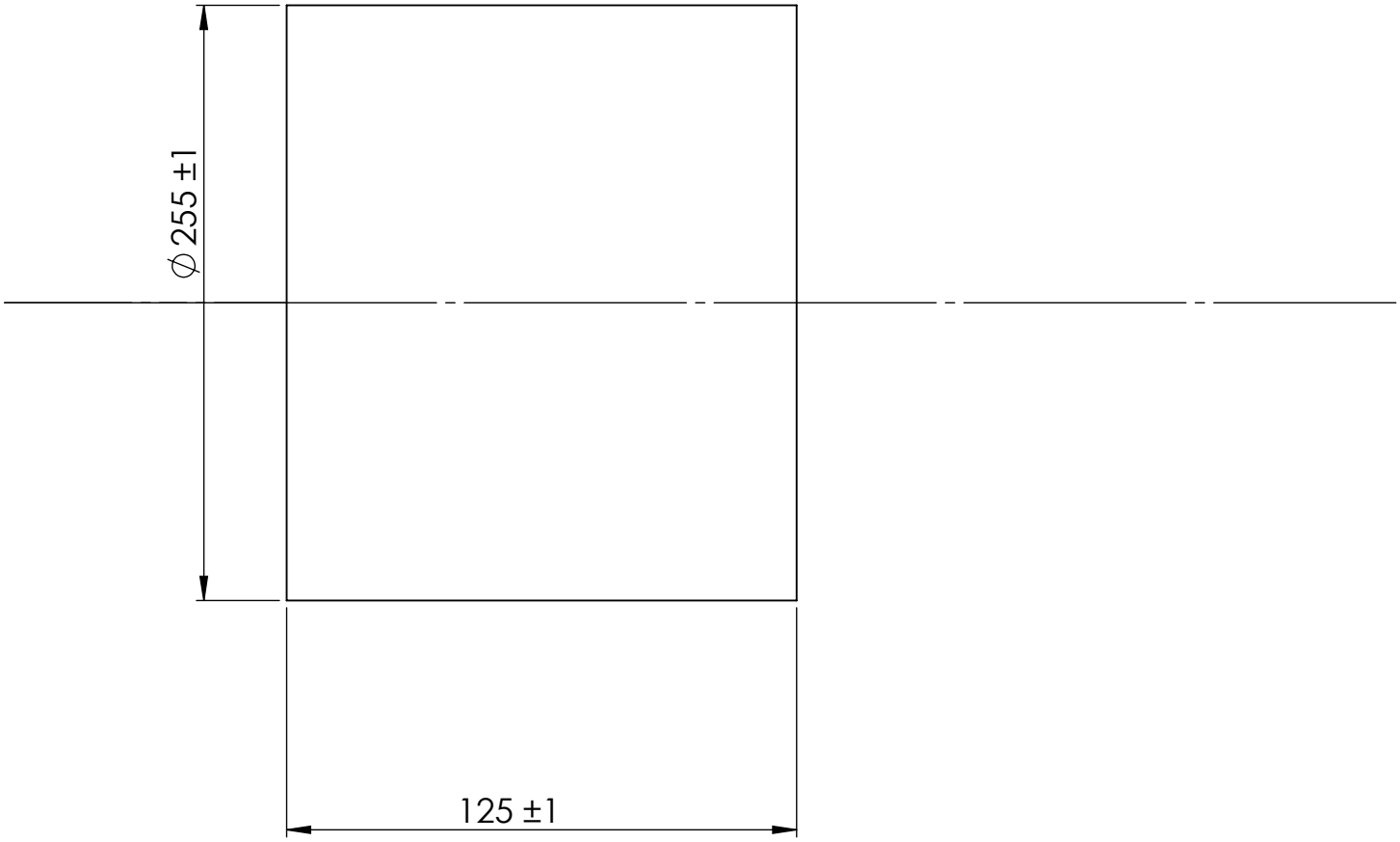


COUPE: A_A

Les feuilles d'analyse de fabrication:
B- Feuille d'analyse de Base

Enssemble: outil de frittage sps **organe:** Base	**Matiere:** alliage d'aluminium(alpax) **BRUT:** moulage **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée

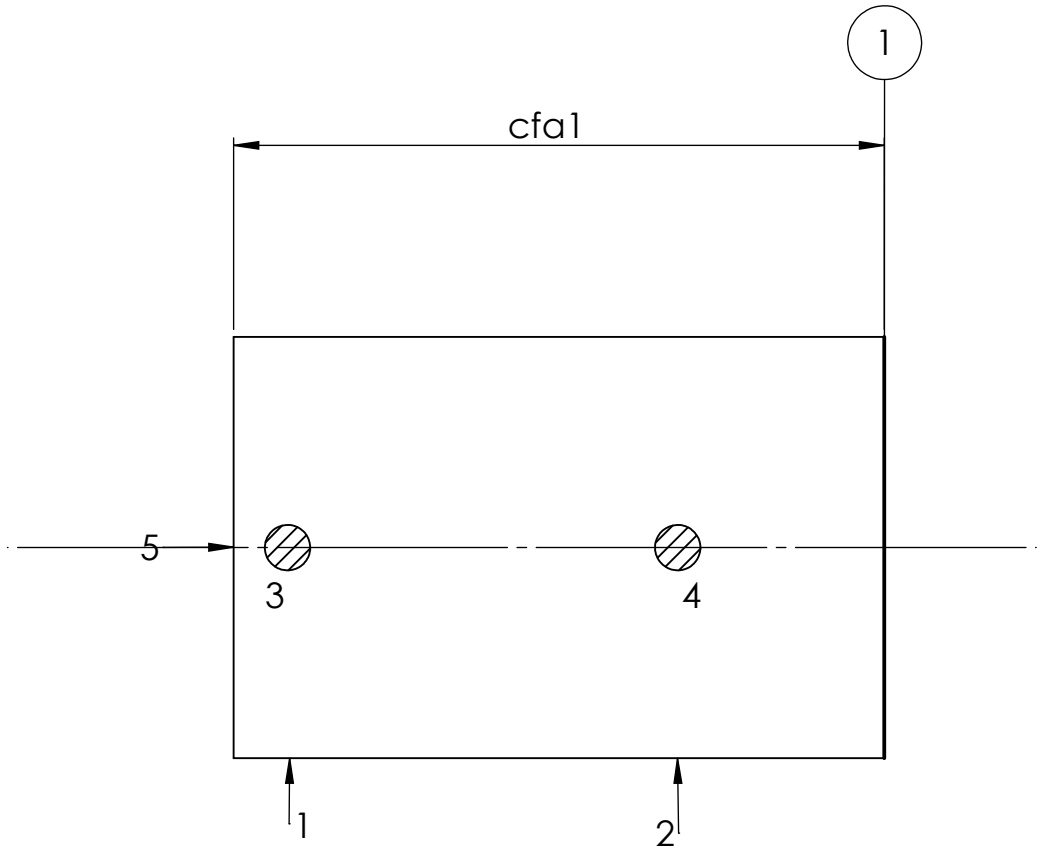


Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: base

Matiere: alliage d'aluminium (alpax)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:210** la piece au montage est défini par: • un centrage long avec 4 Normale (1,2,3,4) • la butée (liaison ponctuelle) par 1 Normale (5). et un serrage . **opération 211:** dressage de **1E** **opération 212:** dressage de **1F** cfa= 112±0.5mm ▱ 0.1 3.6	Tour parallèle	**Outils coupants :** outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° **Moyens de prises:** mandrin 4 mors	pied à coulisse, palpeur

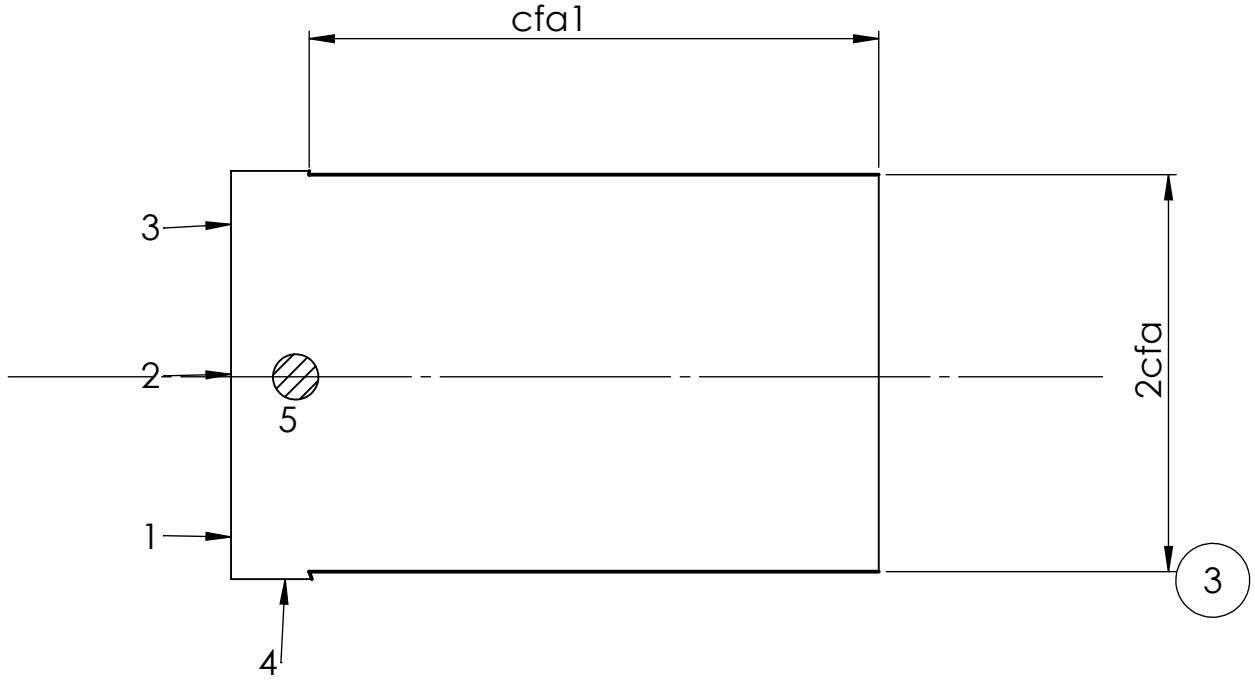
Croquis de la piéce



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: base

Matiere: Alliage d'aluminium (ALPAX)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

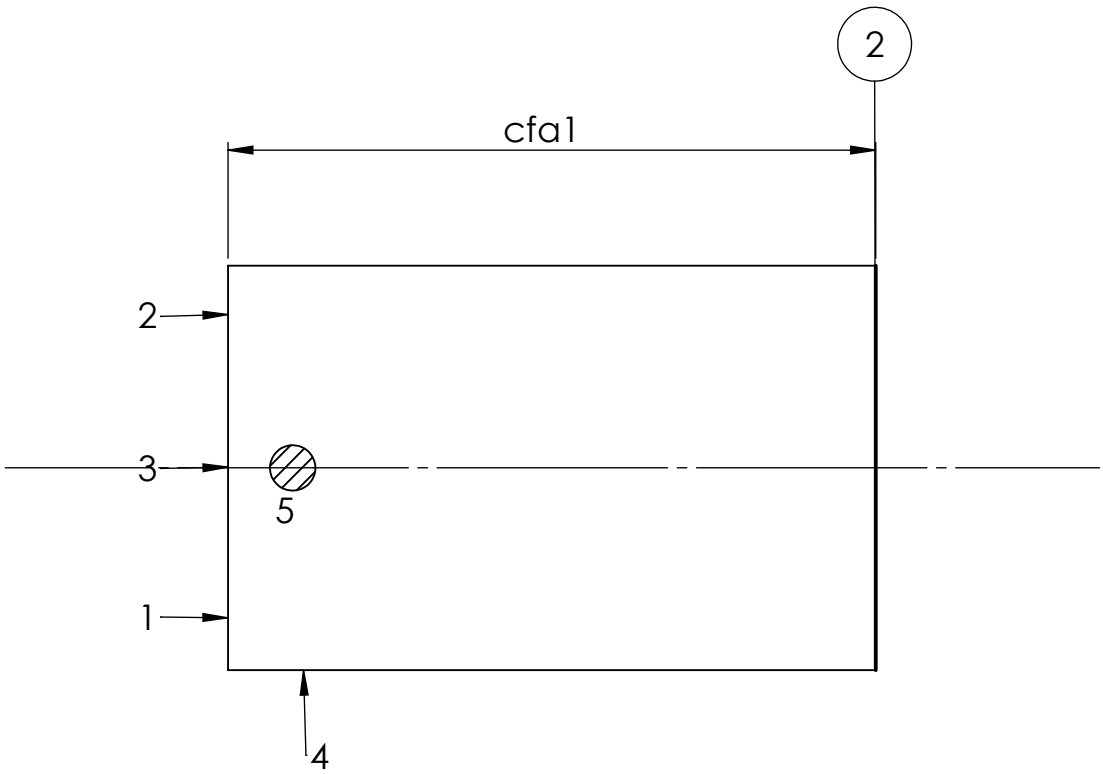
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:220** la piece au montage est défii par • un centrage long sur avec 4 Normale (1,2,3,4) • la butée (liaison ponctuelle) par 1 Normale (5). et un serrage . **opération 221:** chariotage de **3F** 2cfa= 246 ±0.5mm cfa1=110 ±0.5 ⌭ 0.3	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à charioter a plaquettes amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** mandrain à 4mors indépandants	pied a coullise, comparateur



Enssemble:encinte de frittage sps
Organe: base

Matiere: alliage d'aluminium(alpax)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:230** la piece au montage est defini par: • un centrage court sur 2 avec 4 Normale (4,5) • un appui plan(1,2,3). et un serrage . **opération 231:** dressage de **2E** **opération 231:** dressage de **2F** cfa1= 110±0.5mm ▱ 0.1 3.2	tour parallèle	**Outils coupants:** outil à dresser a plaquettes amovible en carbure métallique à 45° **moyens de prise:** mandrain à 4mors indépondants	pied a coullise, comparateur

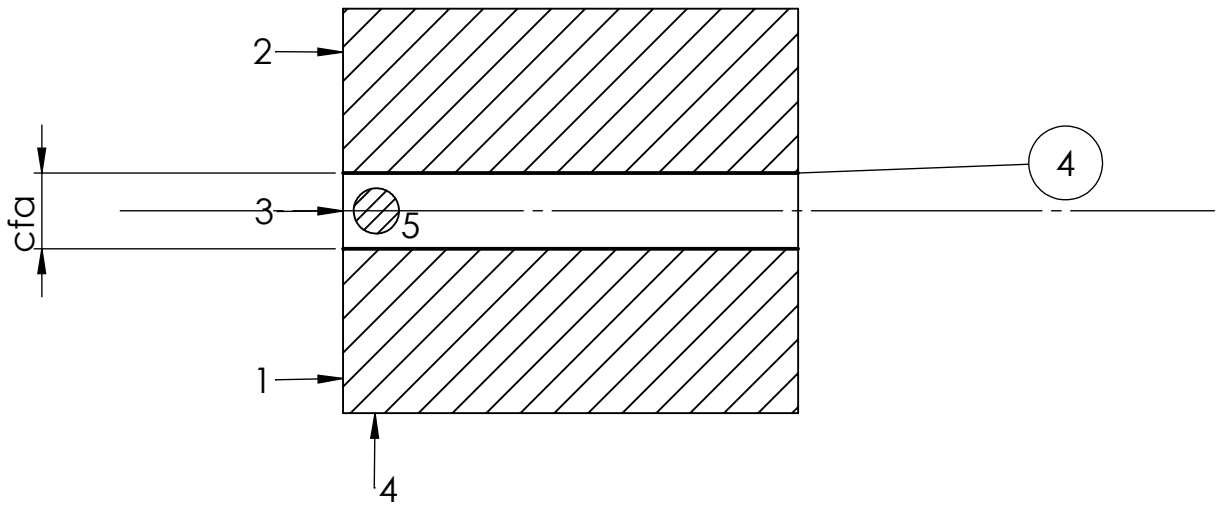


Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: base

Matiere: alliage d'aluminium(ALPAX)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et apareillage	Contrôle
200	**Tournage:** **Sous phase:240:** la piece au montage est difini par: • un centrage court avec 2 Normale (4,5) • appui plan avec 3 Normale(1,2,3) et un serrage . **opération 241:** perçage de **4F** cfa=80±0.5	Tour parallèle	**Outils coupants:** -Forets à queue conique en ARS, jusqu'au 40,5 -Barre d'alésage à plaquette amovible **Moyens de prise:** mandrin à 4mors indépodants	pied a coulise

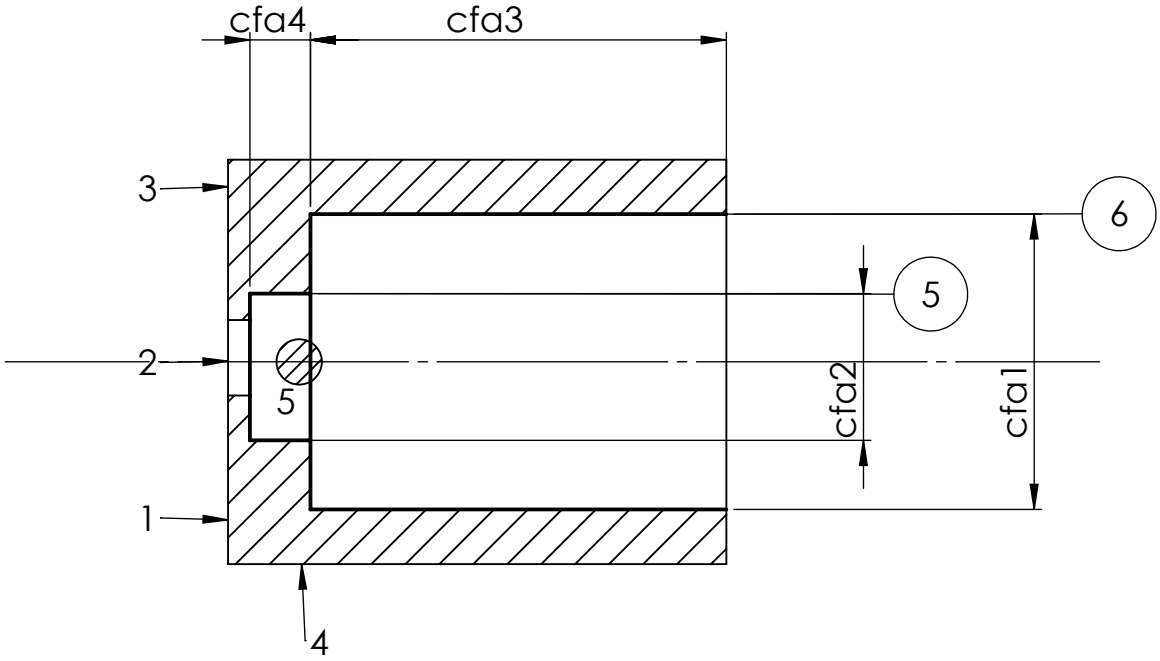
croquis de la piece



Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: BASE

Matiere: Alliage d'aluminium(alpax)
BRUT: Moulage
Cadence: Travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:250:** la piece au montage est défini par: • un appui plan avec 3 Normale (1,2,3,) • centrage court par 2 Normale (4 ,5). et un serrage . **opération 251:alésage de 5E** **opération 252:alésage de 5F** cfa2=90±0.5 ;cfa4=25±0.5 **opération 253: alésage de 6E** **opération 254: alésage de 6F** cfa1=186±0.5 ; cfa3=75±0.5 3.2	Tour parallèle	**Outils coupants:** Barre d'alésage à plaquette amovible en carbure métallique Moyens de prise: mandrin à 4 mors indépondants	pied a coulisse

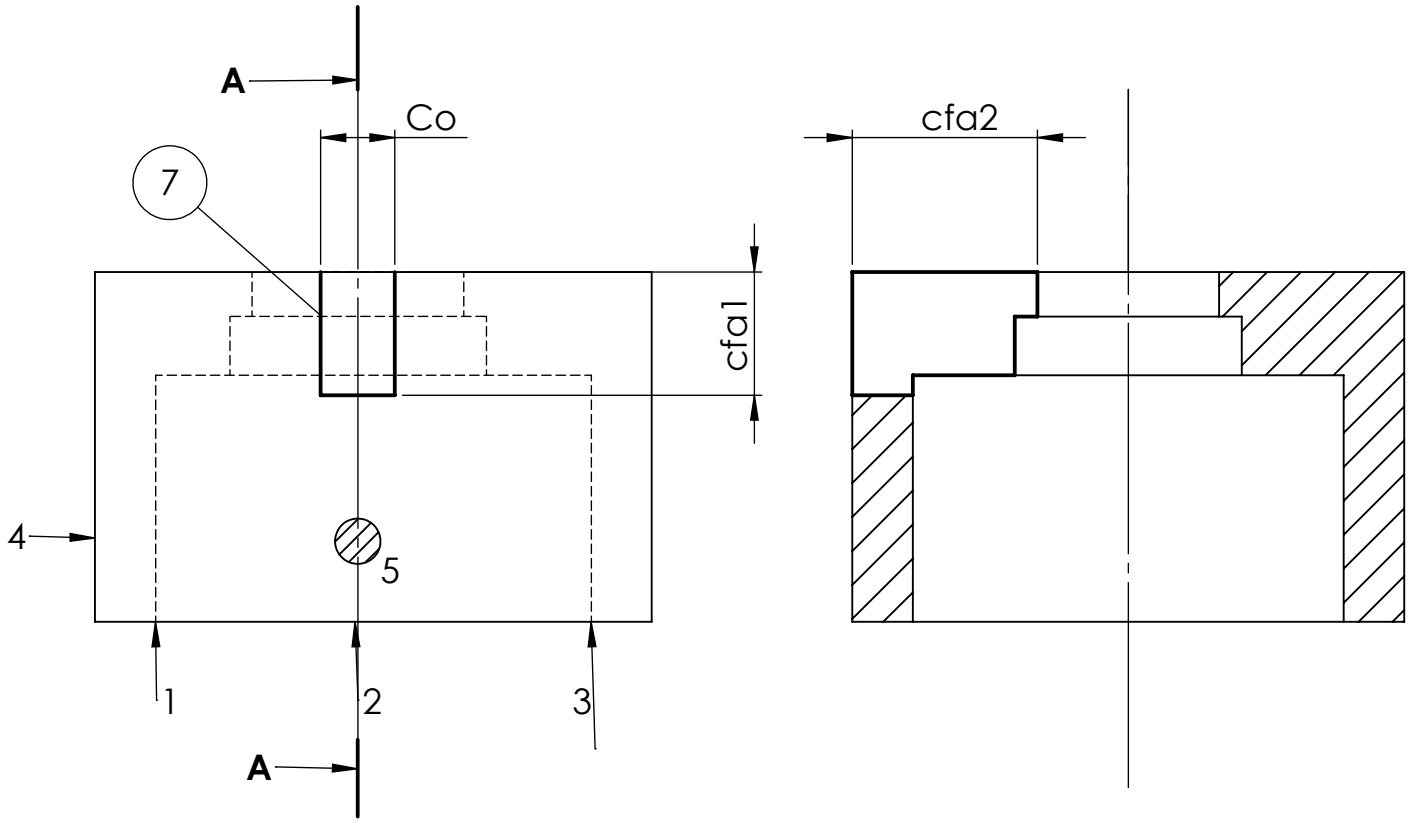


Enssemble: enceinte de frittage sps
Organe: BASE

Matiere: alliage d'aluminium (alpax)
BRUT: moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	les outils utilisées	côntrole
300	**farisage:** **sous phase310:** referentiel de mise en position definir par: appui plan par 3 Normale (1,2,3) et un centrage court avec 2Normale (4,5) et en prévoir un serrage avec brides **Opération311:** realisation de la Rainnure **7F** (regroupement de surfaces) Co=30 cfa1=45±0.5, cfa2=85±0.5	fraiseuse verticale	**Outil coupant:** fraise en ARS de ∅30 **Moyens de fixations:** Brides	pied a coulisse

Croquis de la piéce

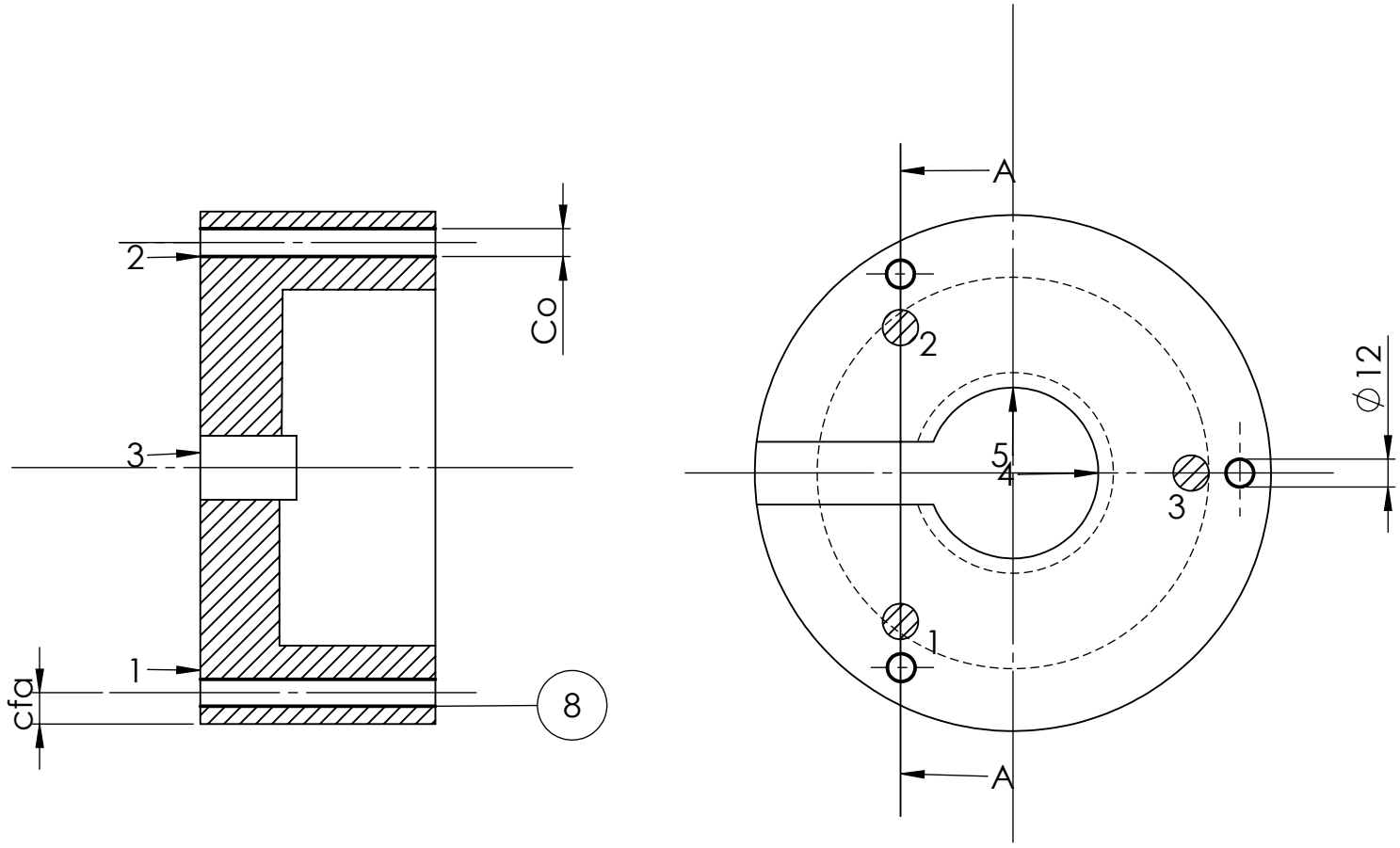


Enssemble: enceinte de frittage SPS
Organe: Base

Matiere: alliaged'aluminium (alpax)
BRUTE: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
300	**fraisage:** **sous phase 320:** Référentiel de mise en position défini par: -Appui plans par 03 normales (1,2,3). -Centrage court sur 4 ,en 02 normale.(dispositif) et un serrage . **Opération 321:** perçage de **8F.** **(**3 trous disposés de 120°) cfa= 15 ±0.25 Co= 12	fraiseuse verticale	**Moyens de prise:** **-** bride de fixtion -plateau circulaire **Outils coupants:** Foret à queue cylindrique de ∅13	pied à coullisse

croquis de la piece

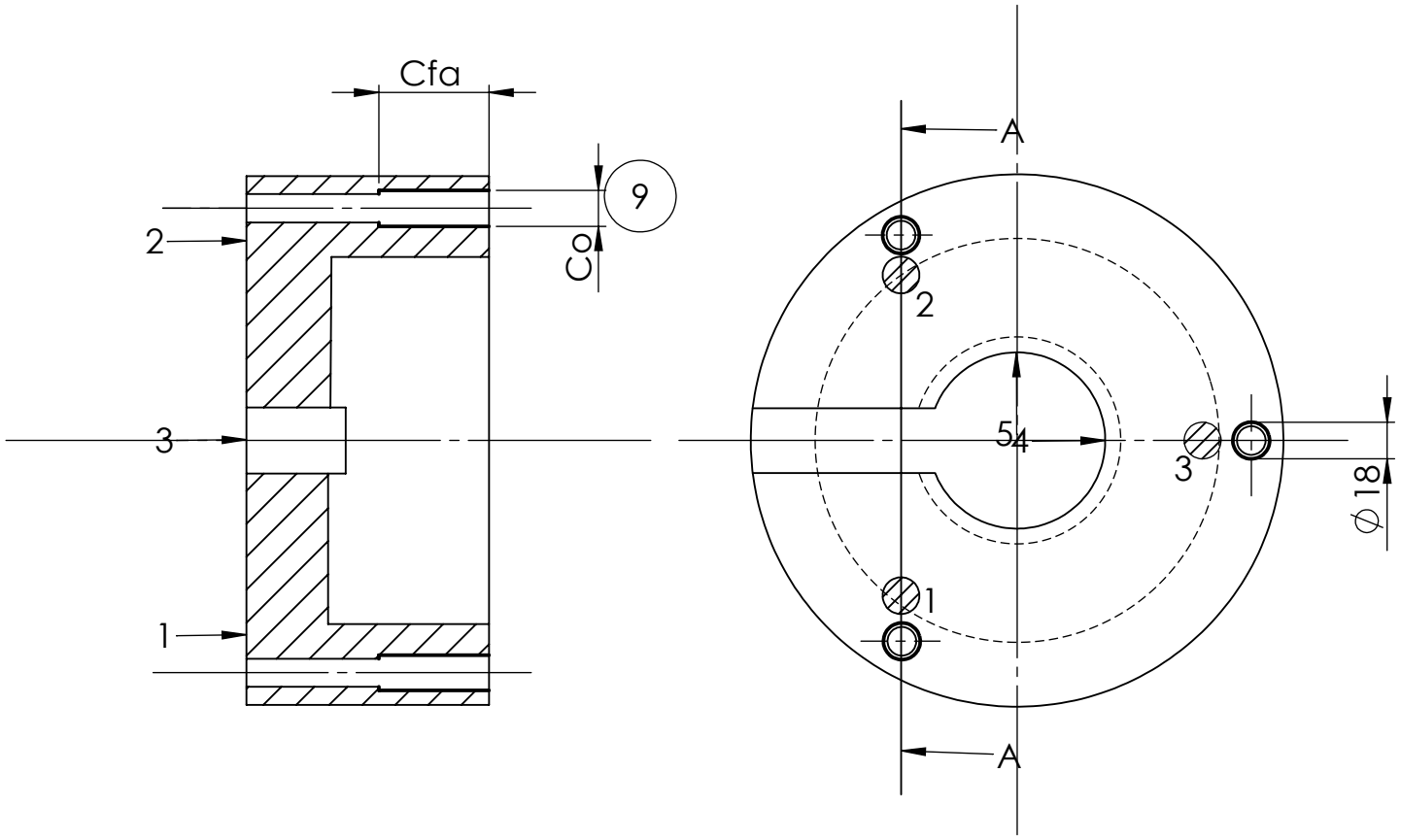


Enssemble: Enceinte de frittage sps
Organe: Base

Matiere: alliage d'aluminium (alpax)
BRUT: Moulage
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	outils et appareillage	côntrole
300	**fraisage:** **sous phase 330:** Référentiel de mise en position défini par: -Appui plans sur 1 ,en 03 normales (1,2,3). -Centrage court sur 4 ,en 02 normale.(dispositif) et un serrage . **Opération 331:** perçage de **9F.** **(**3 trous disposés de 120°) Co= 18 ; Cfa= 50±0.5	fraiseuse verticale	**Outils coupants:** Foret à queue cylindrique de ∅18 **Moyens de prise:** -plateau circullaire -brides	pied à coullisse

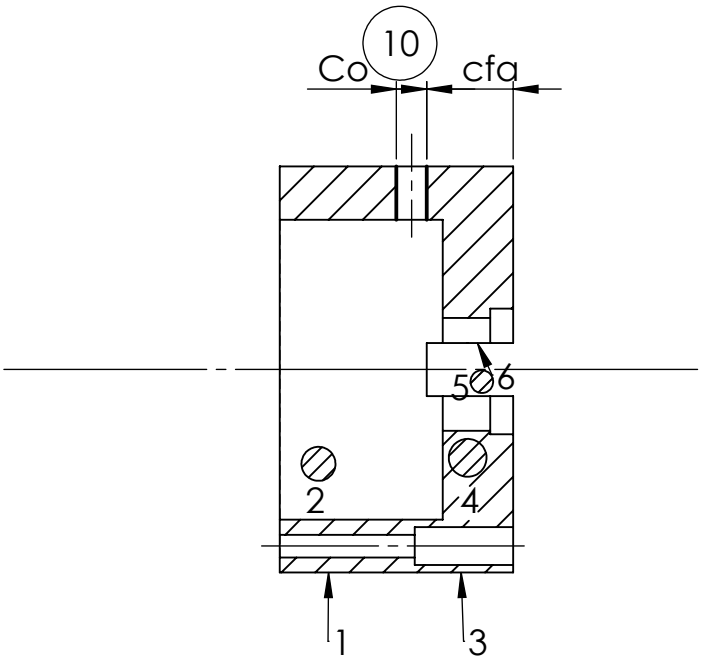
Croquis de la piece



Ensemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Base	**Matiere:** alliage d'aluminium (alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation des sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
300	**FRAISAGE:** **Sous phase 340:** Referentiel de départ est définir par : -un centrage long avec 4 Normal (1,2,3,4) -appui léneire (5,6). et un srrage . **Opération 341:** perçage de 10F. Cfa= 50±0.5 , Co= 12	Fraiseuse verticale	**Outil coupants:** Foret a queue cylindrique en **ARS** de ∅**12**	pied à coullisse

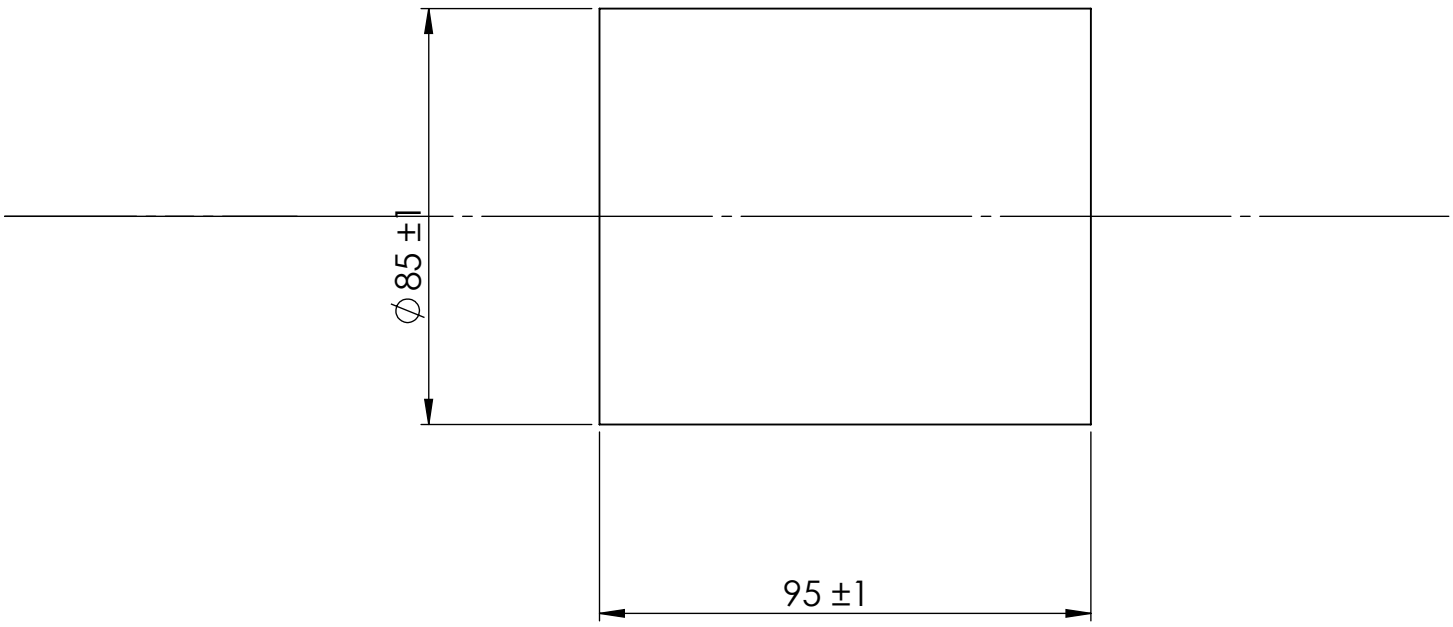
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
C- Feuille d'analyse de Chemise en Acier inférieure

Enssemble: enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

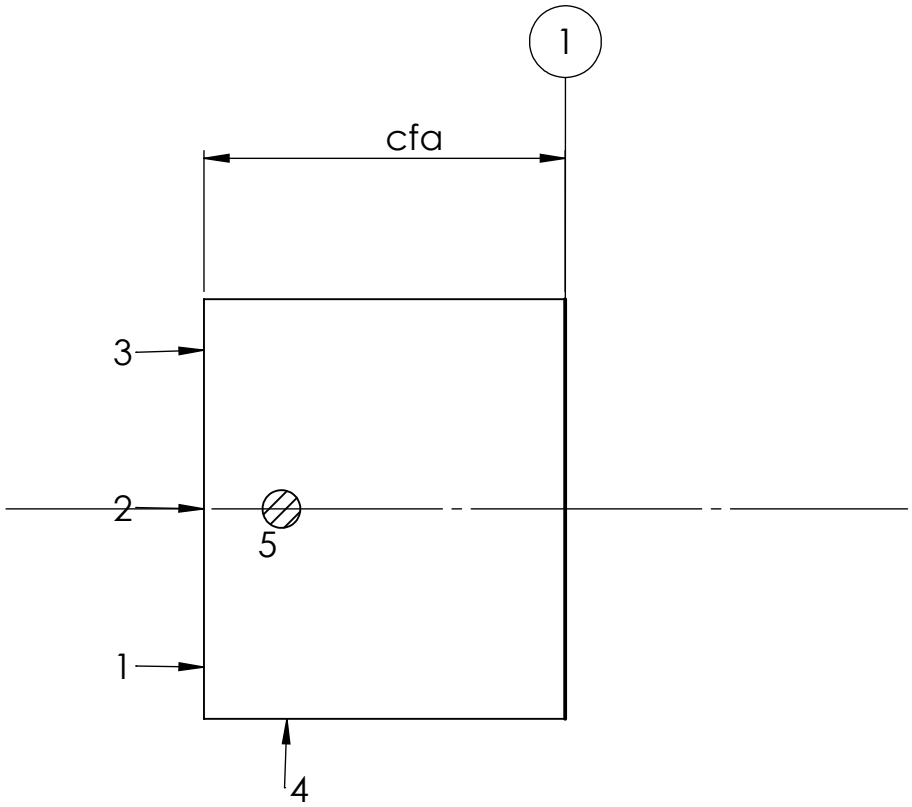
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase210:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court avec 2 Normales(1,2) -un appui plan avec 3 Normales (1,2,3) et un serrage concentrique **Oppération211:** Dressage de **1F** cfa= 92±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outi à dresser à plaquette amovible en carbure metallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse, comparateur

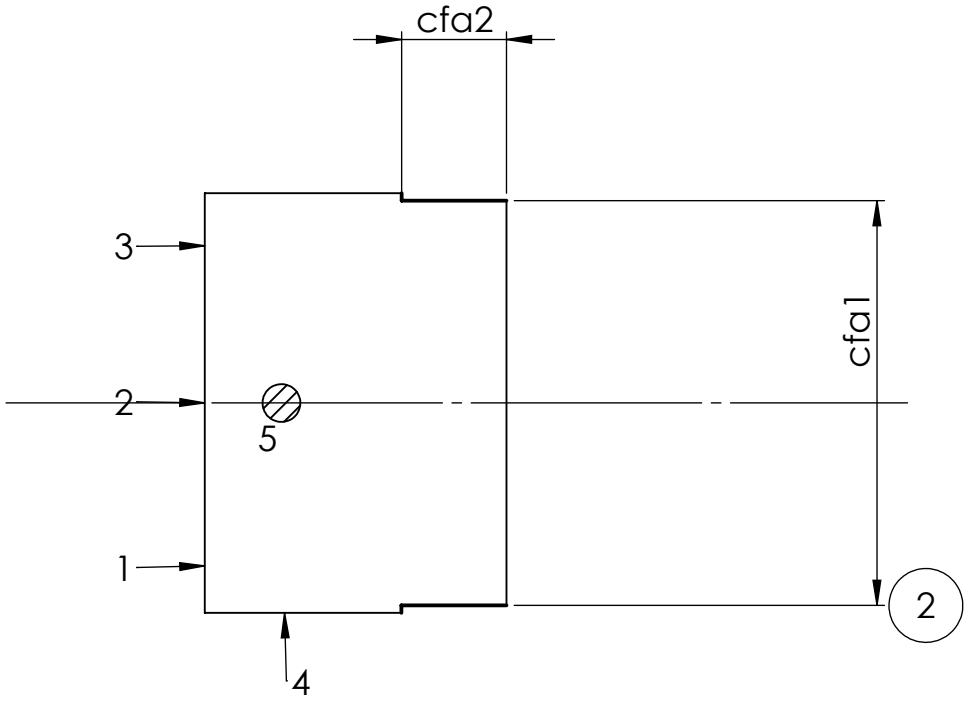
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase220:** Referéntiel du depart definir par: -un centrage court avec 2 Normales(4,5) -un appui plan avec 3Normales (1,2,3) et un serrage concentrique **Oppération221:** chariotage **2F** . cfa1=80±0.25; cfa2=35±0.25	Tour parallèle	**Outil coupant:** outi à charioter à plaquette amovible en carbure metallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

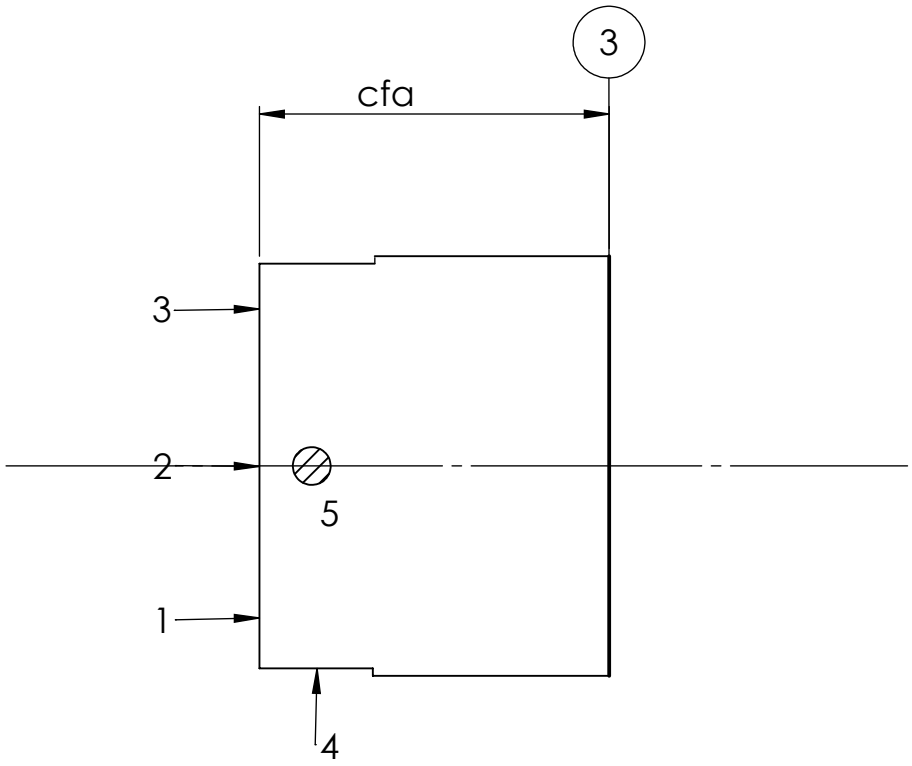
Croquis de la piéce



Enssemble: outil de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase230:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 1 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan avec 3 Normales (1,2,3) et un serrage concentrique **Oppération231:** Dressage de **3F** Cfa=90±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outi à Dresser a plaquette amovible en carbure metallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

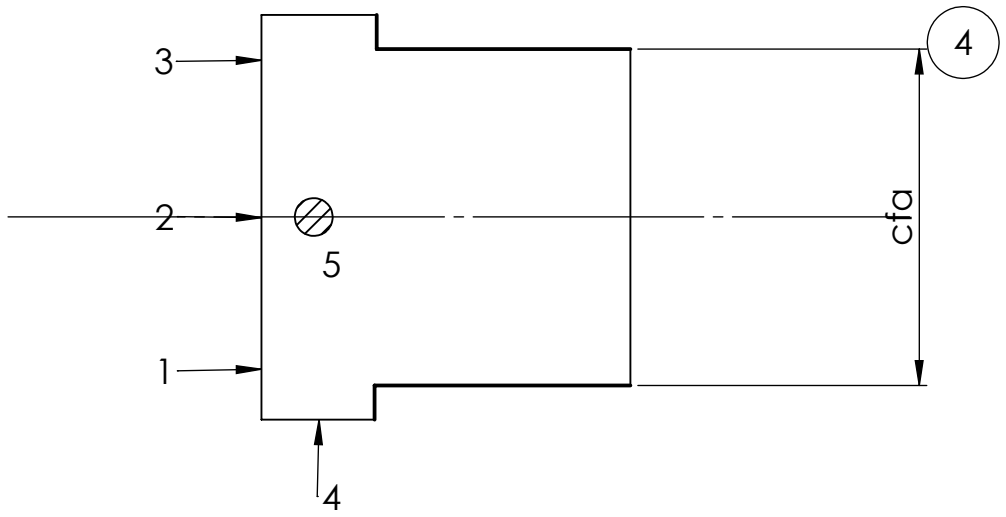
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase240:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 1 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan avec 3 Normales (1,2,3) et un serrage concentrique **Oppération241:** Réalisation d'epaulement **4E** **Oppération242:** Réalisation d'epaulement **4F** cfa=65±0.1 3.2	Tour parallèle	**Outil coupant:** outi à charioter a plaquette amovible en carbure metallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

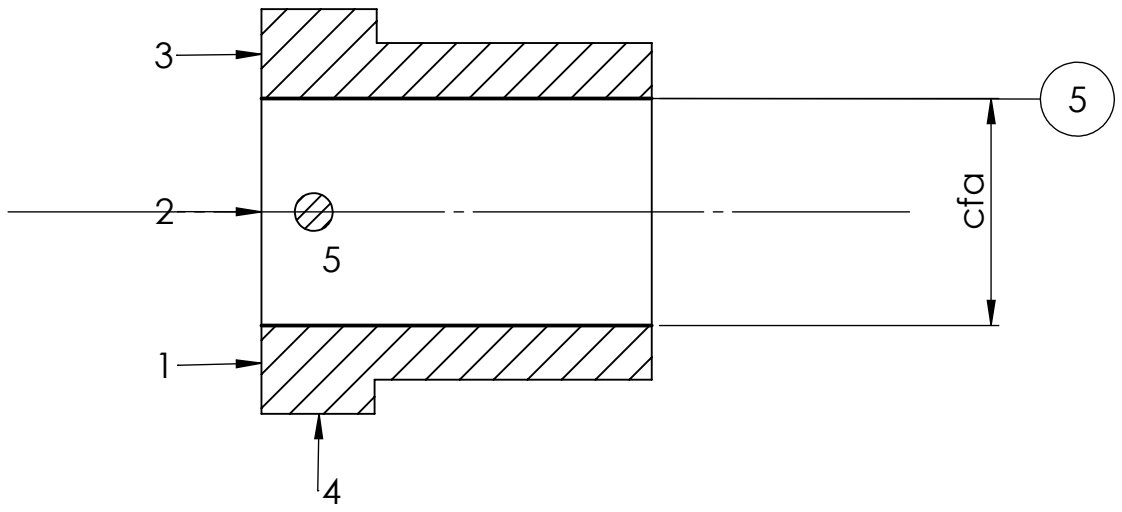
Croquis de la piéce



Ensemble: outil de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase250:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un serrage concentrique **Opération251:** Perçage de **5F** jusqu'a ∅30 **Opération 252:** Alésage **5E** **Opération 253:** Alésage **5 1/2F** **Opération 254:** Alésage **5F** 1.6 cfa=40H7; ◎ ∅ 0.02 2	Tour parallèle	**Outil coupant:** outil à ALISER **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse, comparateur

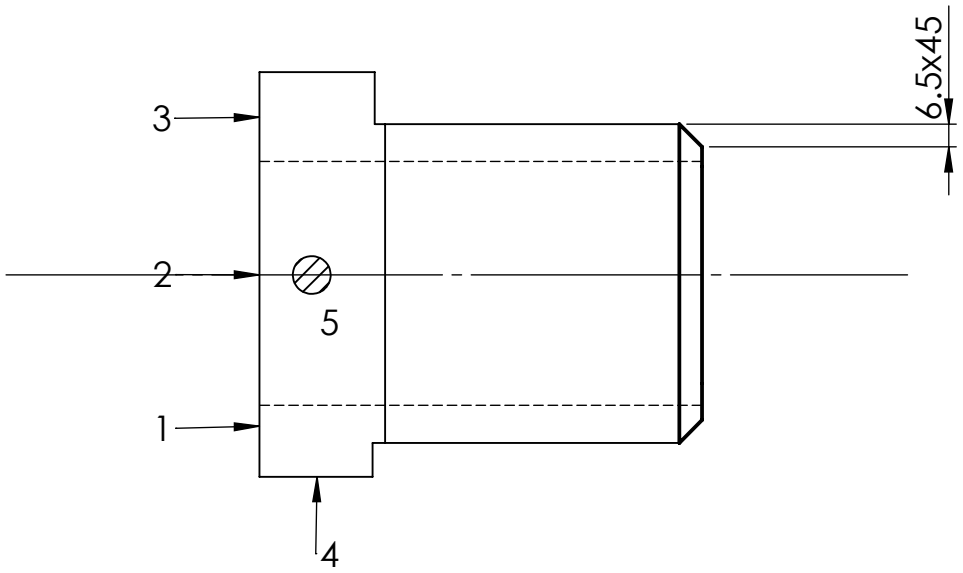
Croquis de la piéce



Enssemble:Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase260:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération261:** Realisation de chanfrein 6.5x45°	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à dresser. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

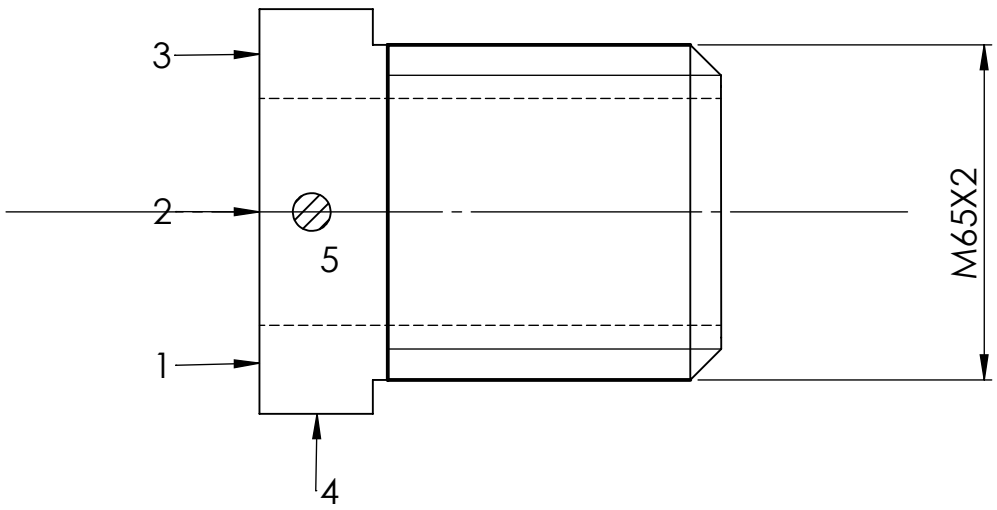
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase270:** Referéntiel du depart definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération271:** Filetage de **4F M65x2**	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à fileter . **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse, jauge

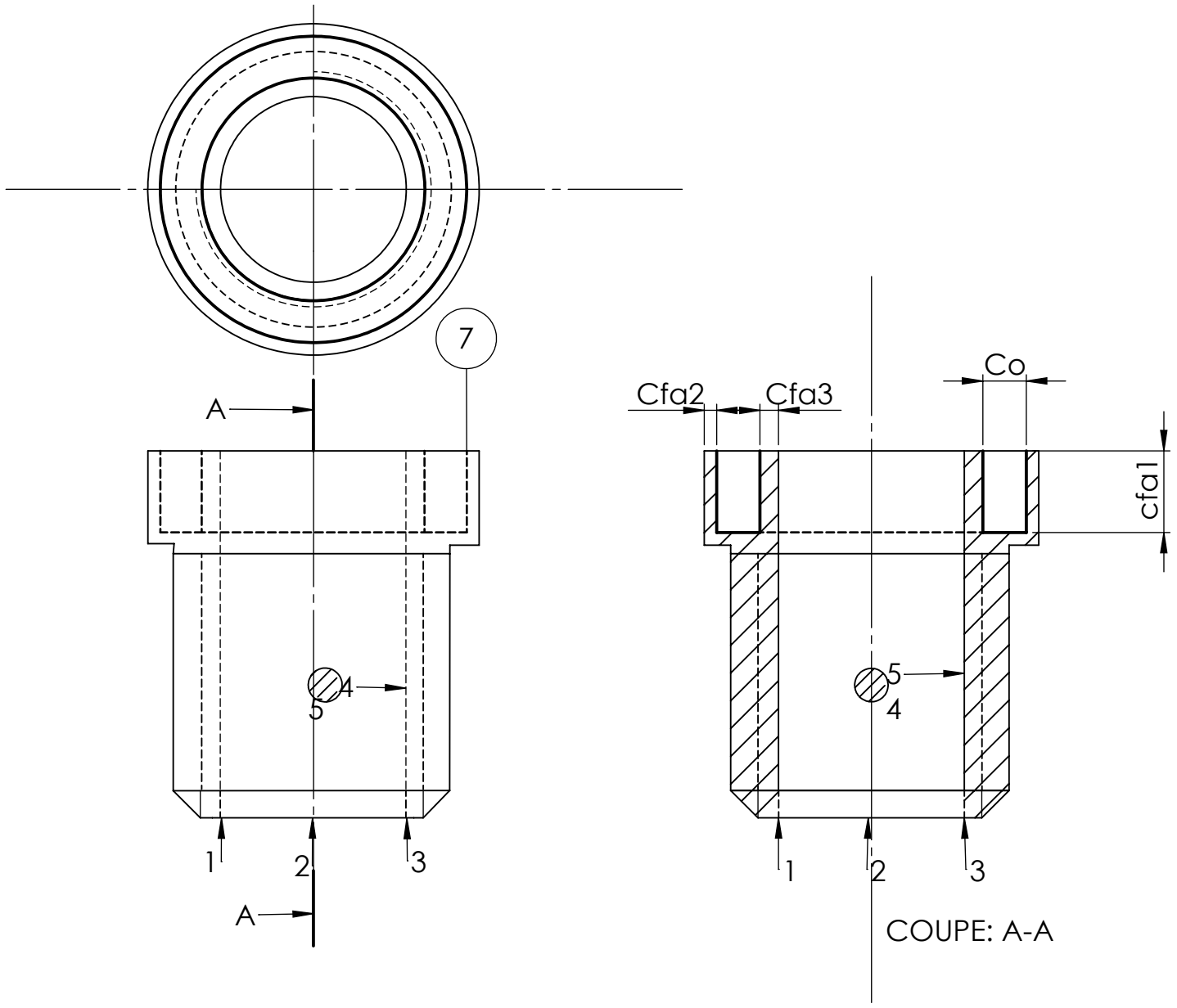
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 310:** Referentiel du depart definir par: -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3). -un centrage court (4,5) et un serrage . **Opération 311:** usinage de la Rainure **7F** Co=10; cfa1=30±0.5; cfa2=4±0.1 cfa3=6±0.1	fraiseuse verticalle	**Outils coupants:** Fraise en ARS de ∅10. **Moyens de prise:** -plateau circulaire -un dispositif -tiges de fixation	pied à coulisse

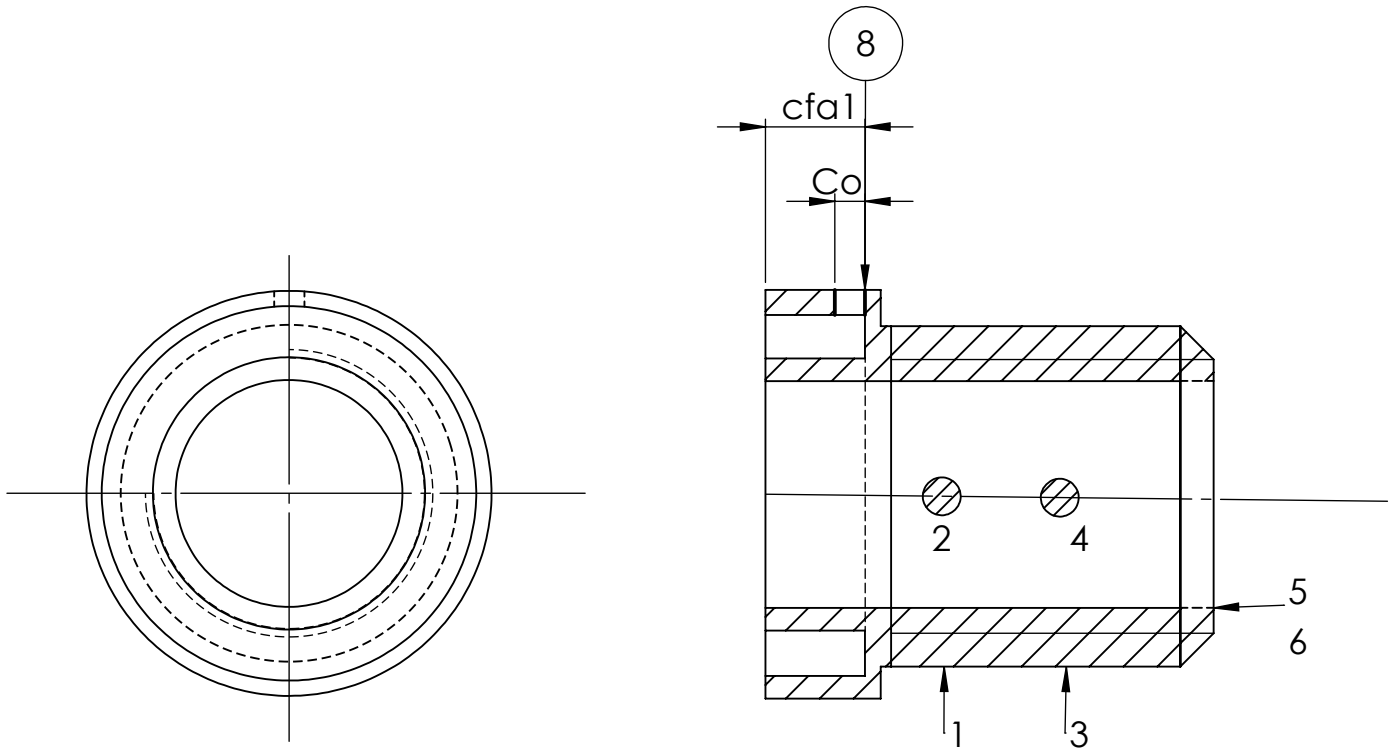
Croquis de la piéce



Enssemble: Enciente de frittage sps **Organe:** Chemise en acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 320:** Referentiel du depart definir par: -un centrage long avec 4 Normales (1,2,3,4). -un appui lineire (5,6). et un serrage . **Opération 321:** Perçage de **8F** Co=8, cfa1=30±0.1	fraiseuse verticale	**Outil coupant:** Fraise en ARS de ∅8. **Moyens de prise:** -plateau circulaire -un dispositif -tiges de fixation	pied à coulisse

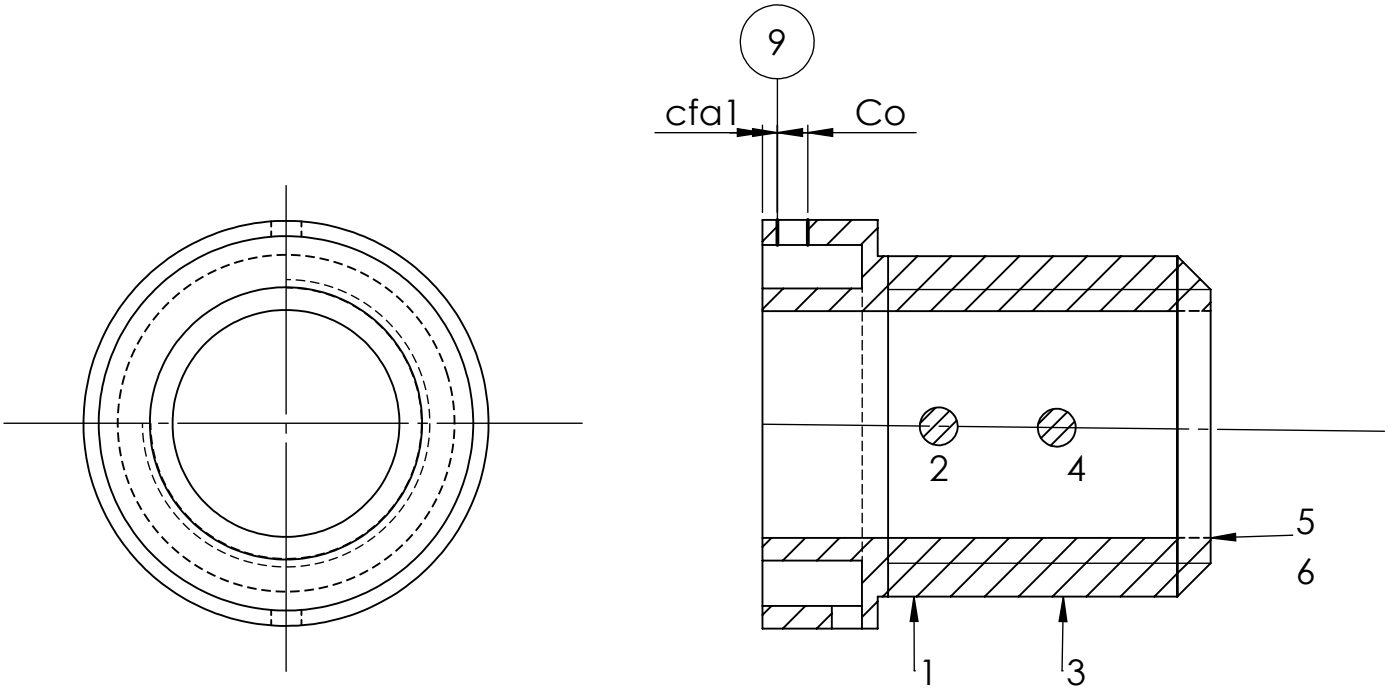
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier inférieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 330:** Referentiel du départ definir par: -un centrage long avec 4 Normales (1,2,3,4). -un appui lineire (5,6). et un serrage . **Opération 331:** Perçage de **9F** Co=8, cfa1=4±0.1	fraiseuse verticale	**Outils coupants:** Fraise en ARS de ∅8. **Moyens de prise:** -plateau circulaire -un dispositif -tiges de fixation	pied à coulisse

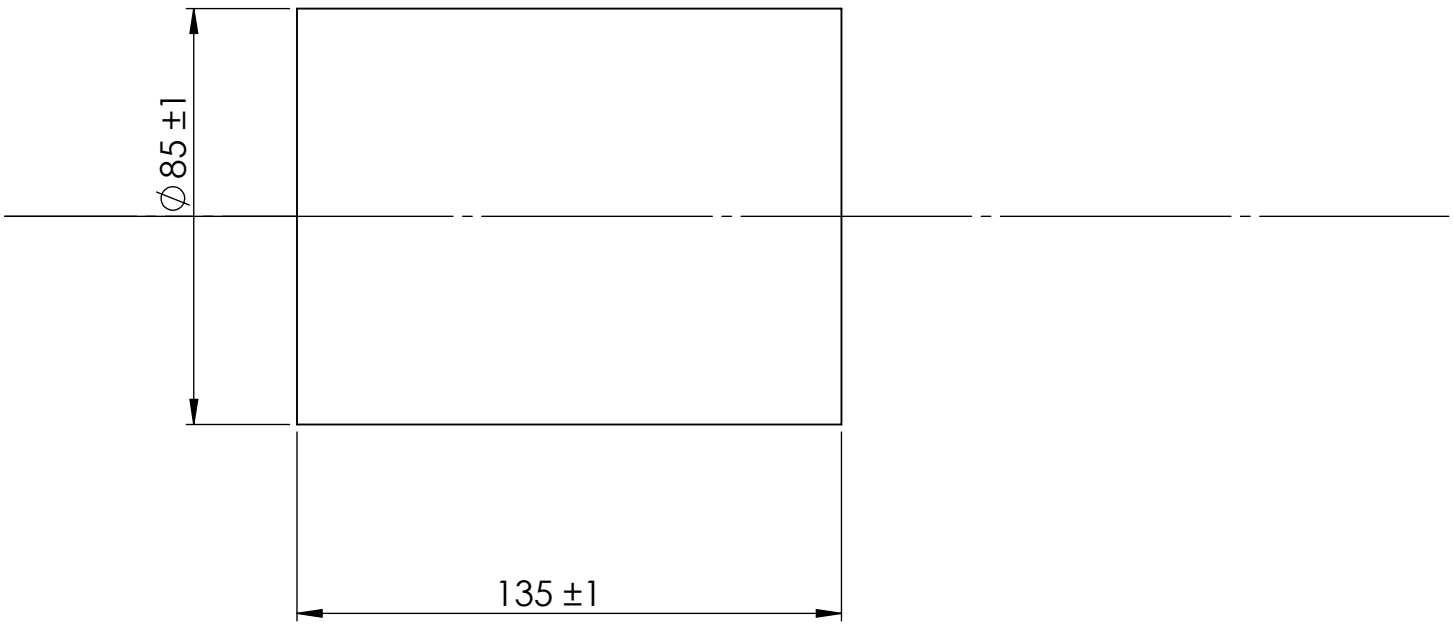
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
D- Feuille d'analyse de Chemise en Acier supérieure

Enssemble: outil de frittage sps **Organe:** Chemise en acier supérieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

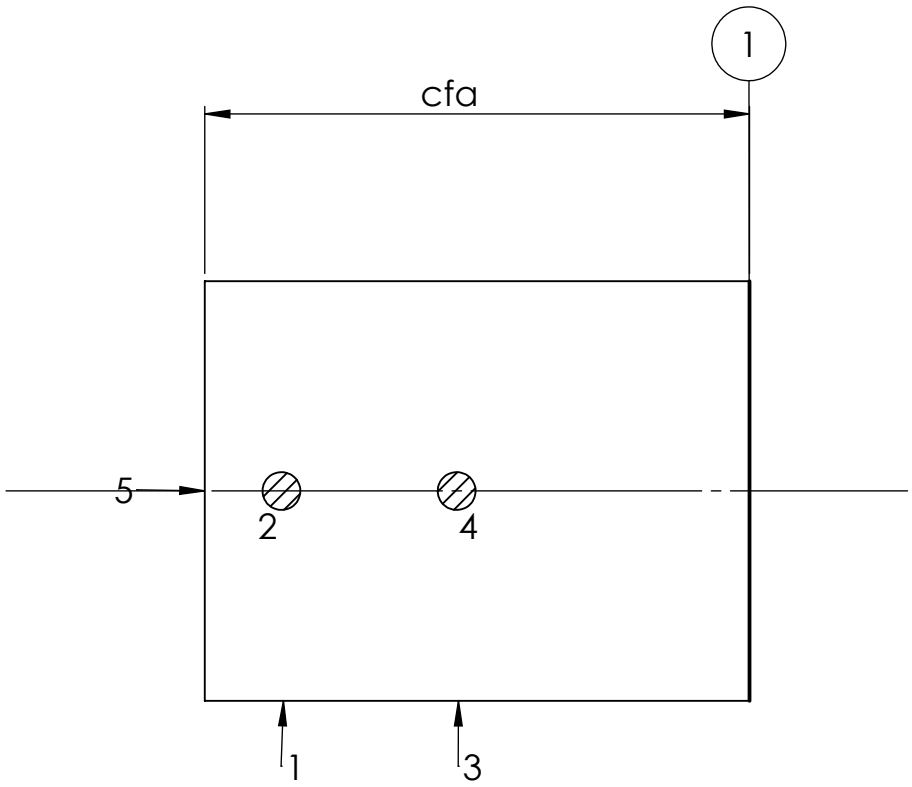
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation des sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase210:** Referéntiel du depart definir par: -un centrage long avec 4 Normales(1,2,3,4) -un appui ponctuel avec 1 Normales (5) et un Serrage concentrique **Opération211:** Dressage de **1F** cfa= 132±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outil coupant:** outi à dresser à plaquette amovible en carbure metallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

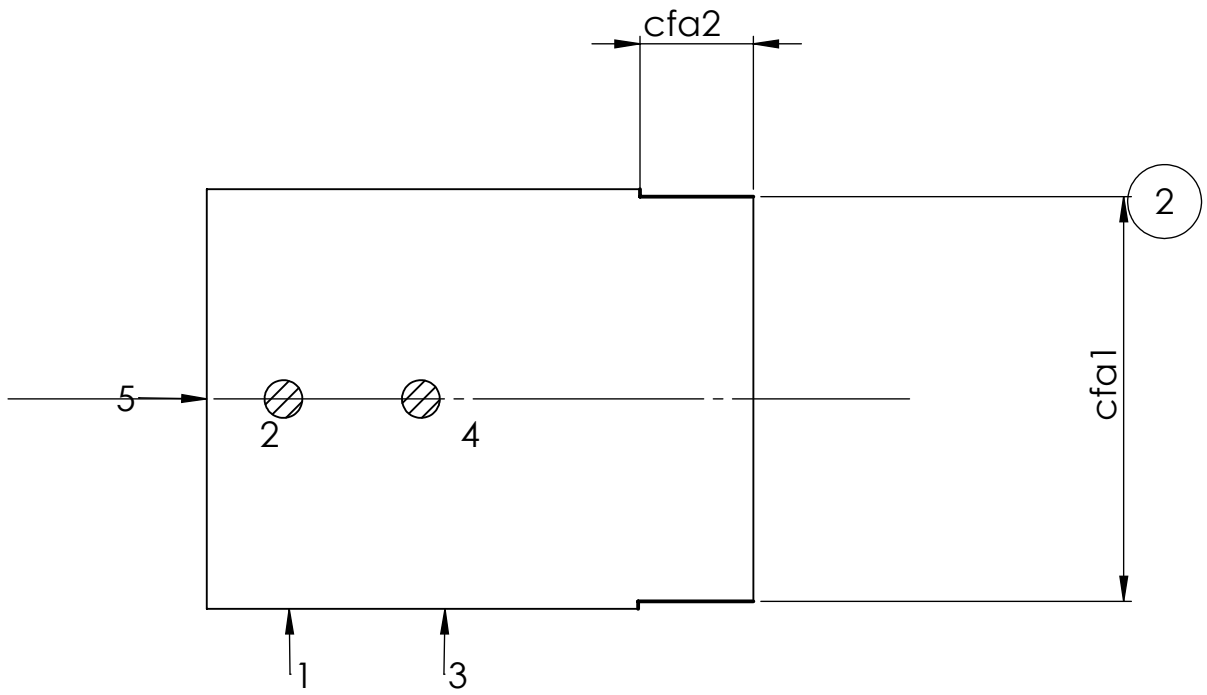
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase220:** Referéntiel du depart definir par: -un centrage long avec 4 Normales(1,2,3,4) -un appui ponctuel avec 1 Normales (5) et un Serrage concentrique **Opération221:** chariotage **2F** . cfa1=80±0.5; cfa2=35±0.25	Tour parallèle	**Outils coupants:** outi à charioter à plaquette amovible en carbure metallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

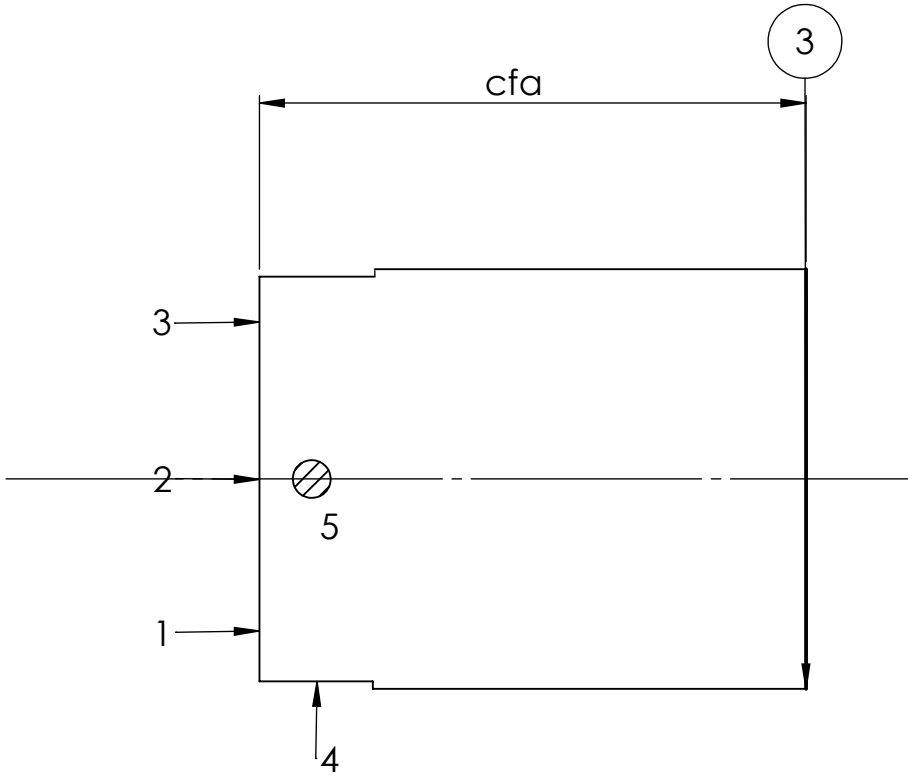
Croquis de la piéce



Enssemble: outil de frittage SPS **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase230:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 1 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération231:** Dressage de **3F** Cfa=130±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à Dresser a plaquette amovible en carbure metallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

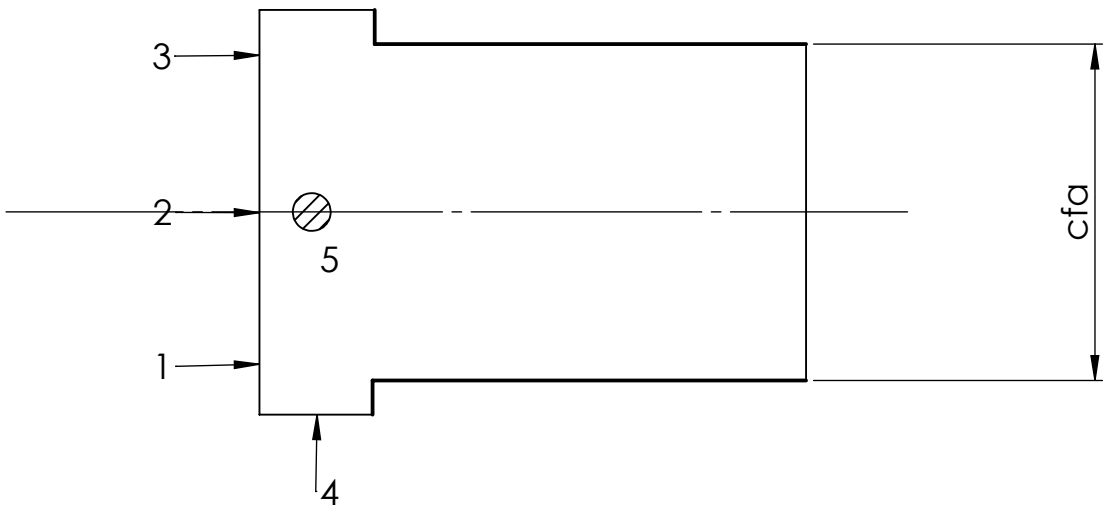
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation des sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase240:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 1 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération241:**Chariotage **4E.** **Opération242:** Chariotage **4F.** cfa=65±0.1 3.2	Tour parallèle	**Outils coupants:** outi à charioter a plaquette amovible en carbure metallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

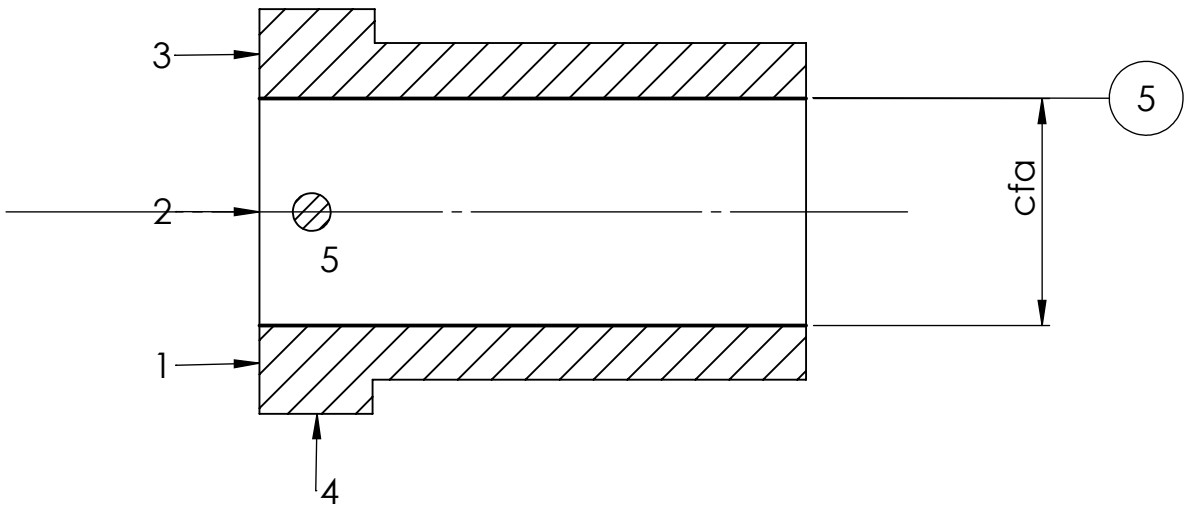
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase250:** Referentiel du depart definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération251:** Perçage de **5F** jusqu'a ∅30 **Opération 252:** Alésage **5E** **Opération 253:** Alésage **5 1/2F** **Opération 254:** Alésage **5F** 1.6 cfa=40H7; ◎ ∅ 0.02 2	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à ALISER **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse, comparateur

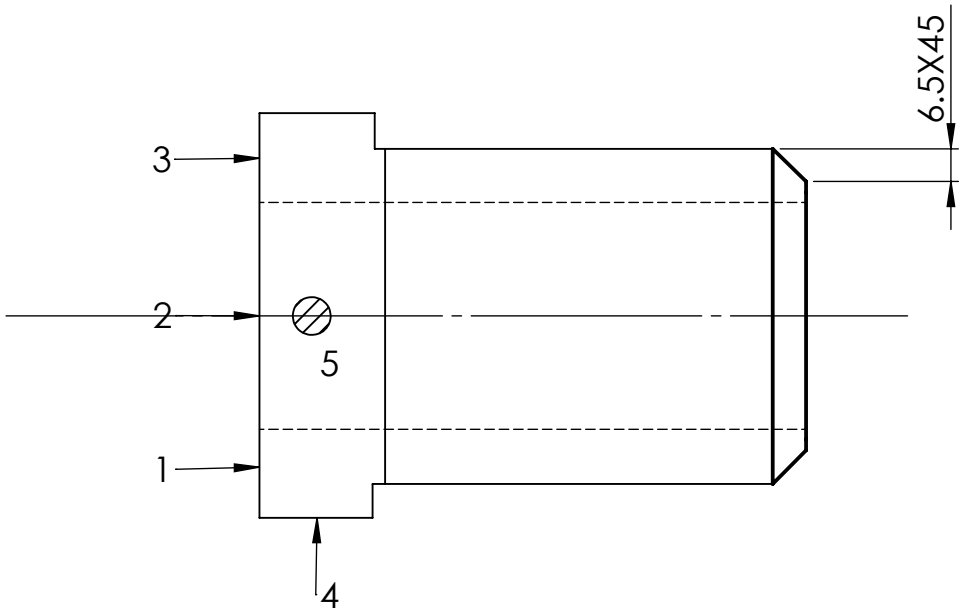
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase260:** Referentiel du départ definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération261:** Realisation de chanfrein 6F 6.5x45°	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à dresser. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

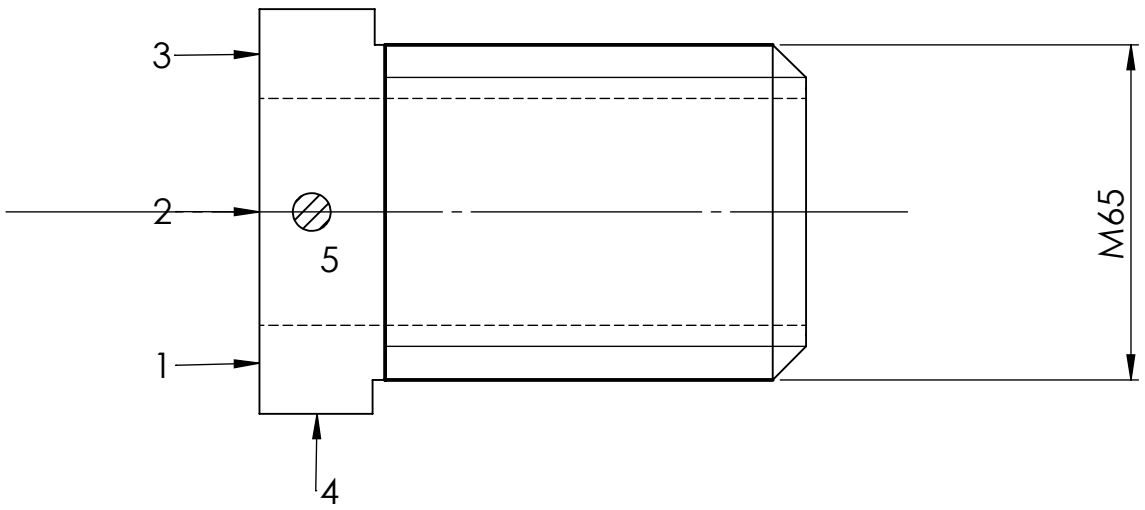
Croquis de la piéce



Enssemble:Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase270:** Referentiel du départ definir par: -un centrage court sur 2 avec 2 Normales(4,5) -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3) et un Serrage concentrique **Opération271:** Filetage de **4F M65 X2**	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à filter . **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse , jauge

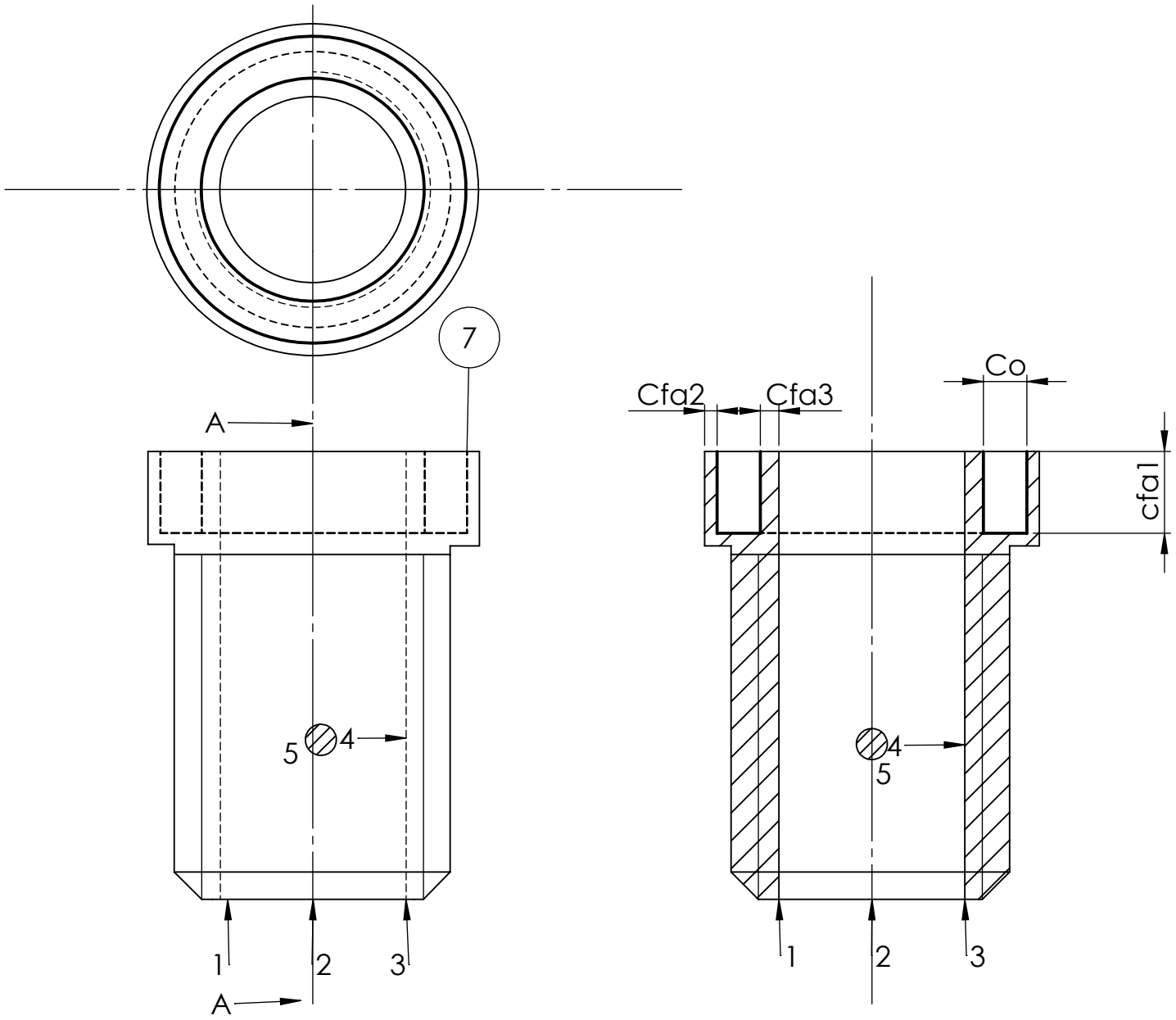
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 310:** Referéntiel du départ definir par: -un appui plan sur 1 avec 3 Normales (1,2,3). -un centrage court (4,5) et un serrage . **Opération 311:** usinage de la Rainure **7F** Co=10; cfa1=30±0.5; cfa2=4±0.1 cfa3=6±0.1	fraiseuse verticale	**Outils coupants:** Fraise en ARS de ∅10. **Moyens de prise:** -plateau circulaire -un dispositif -tiges de fixation	pied à coulisse

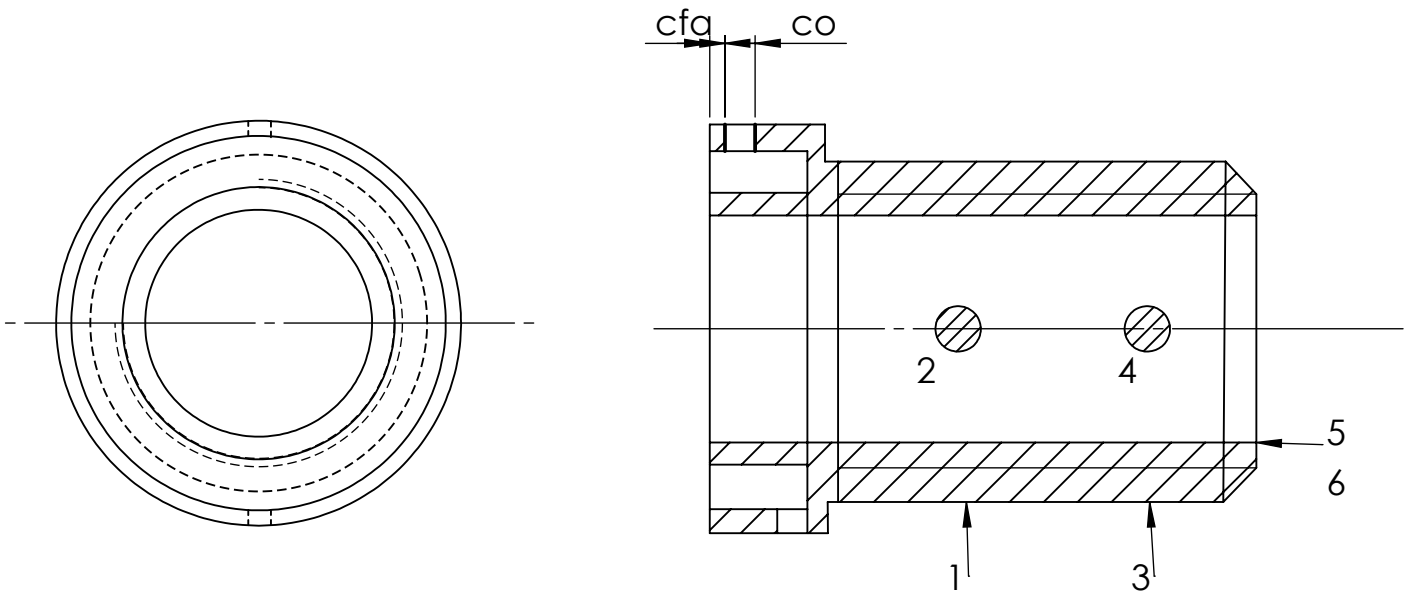
Croquis de la piéce



Enssemble: outil de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 330:** Referéntiel du départ definir par: -un centrage long (1,2,3,4). -un appui lineire(5,6) et un serrage . **Opération 331:** perçage **9F** Co=8; cfa= 4±0.1	fraiseuse verticale	**Outil coupant:** Fraise en ARS de ∅8. **Moyens de prise:** **-** Eteau Mécanique	pied à coulisse

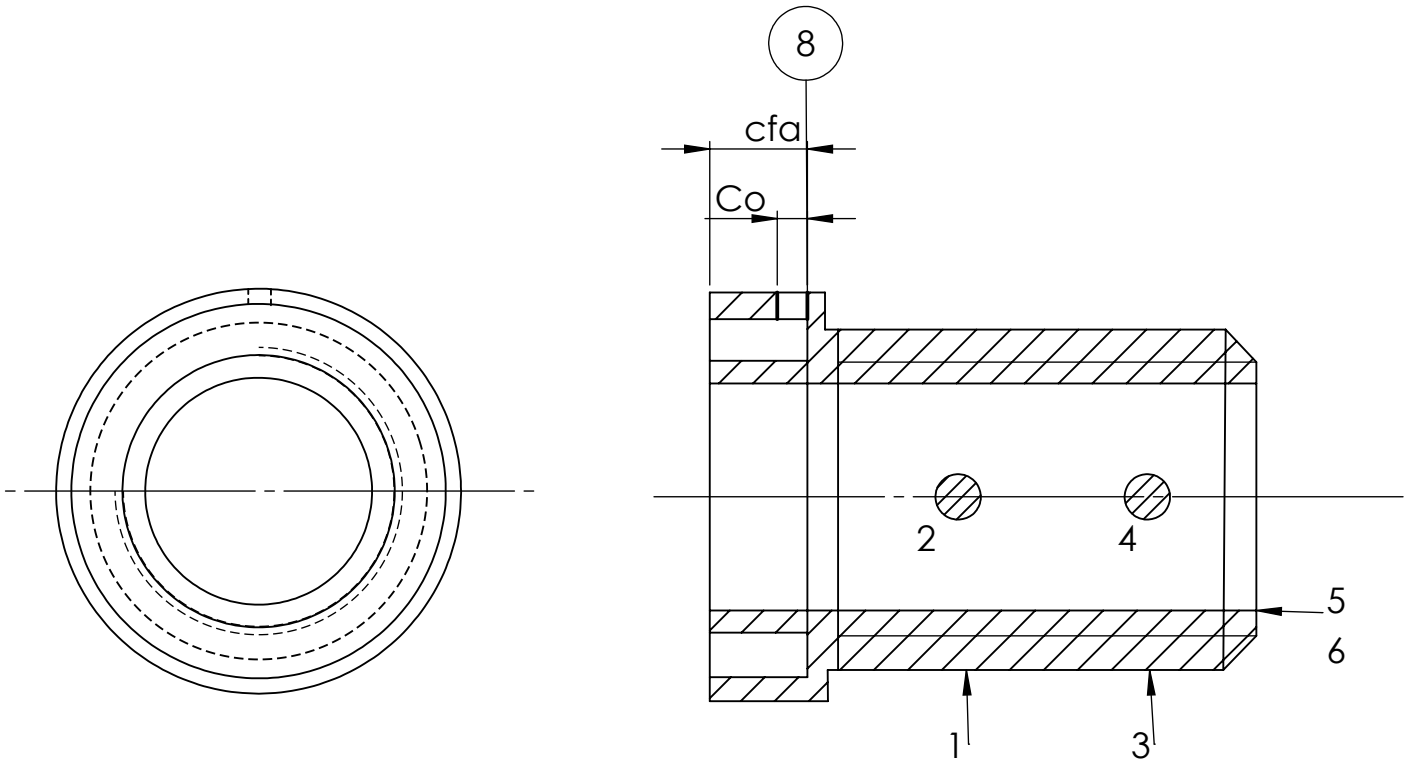
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Acier superieure	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation des sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 320:** Referéntiel du départ definir par: -un centrage long (1,2,3,4). -un appui lineire(5,6) et un serrage . **Opération 321:** perçage **8F** Co=8; cfa= 30±0.1	fraiseuse verticale	**Outils coupants:** Fraise en ARS de ∅8. **Moyens de prise:** **-** Eteau Mécanique	pied à coulisse

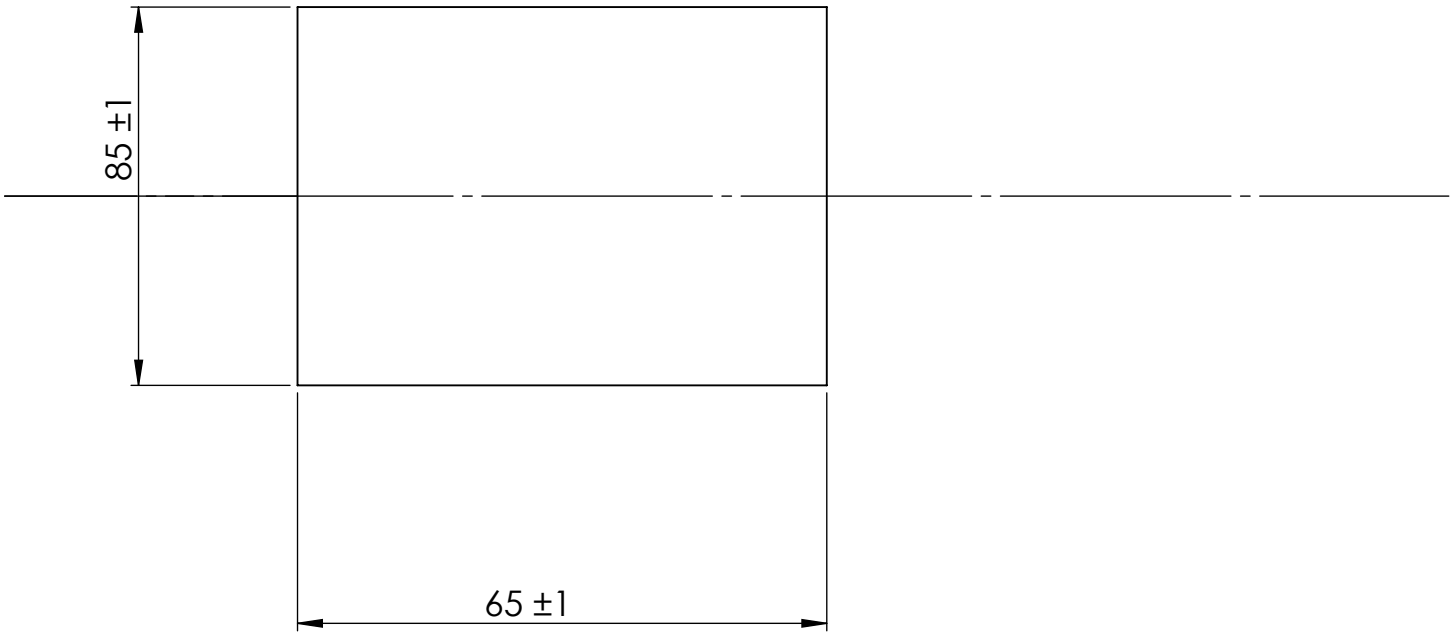
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
E- Feuille d'analyse de CHMISE EN TEFLON INFERIEURE

Enssemble: Enceinte de frittage SPS **Organe:** CHEMISE EN TEFLON INFERIEURE	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** laminée **cadence:** travail unitaire

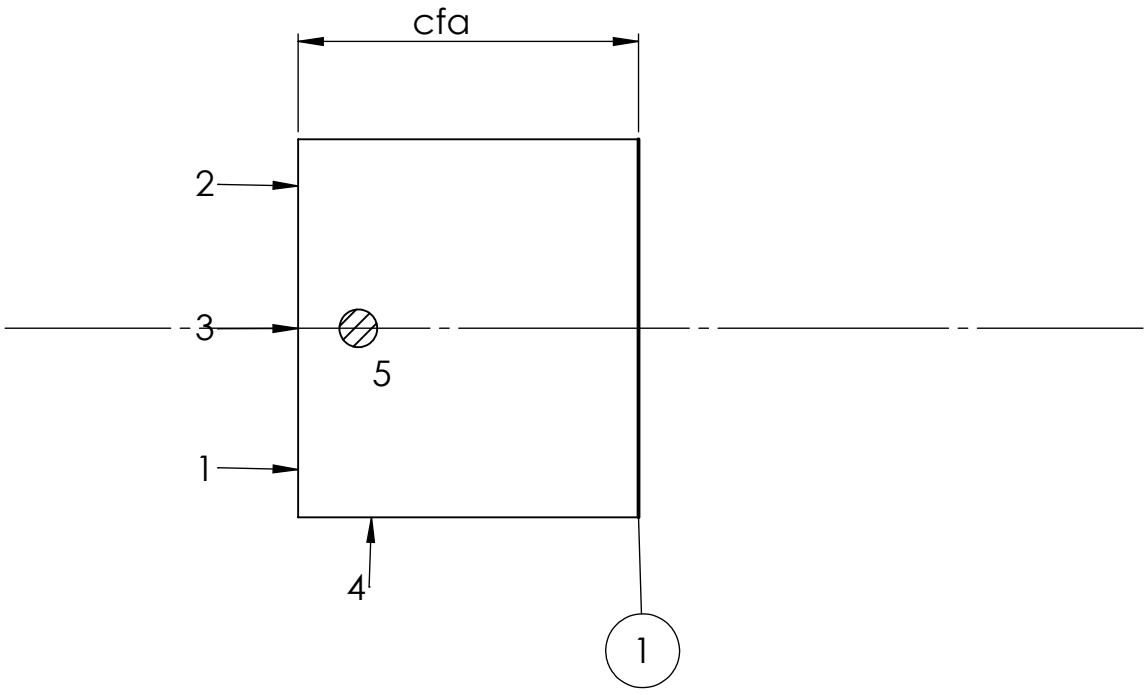
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Tiflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 210:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage court par 2 Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un Serrage concentrique . **Operation 211:** dressage de **1F** cfa=67 ±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à dresser a plaquette amovible en carbure métallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

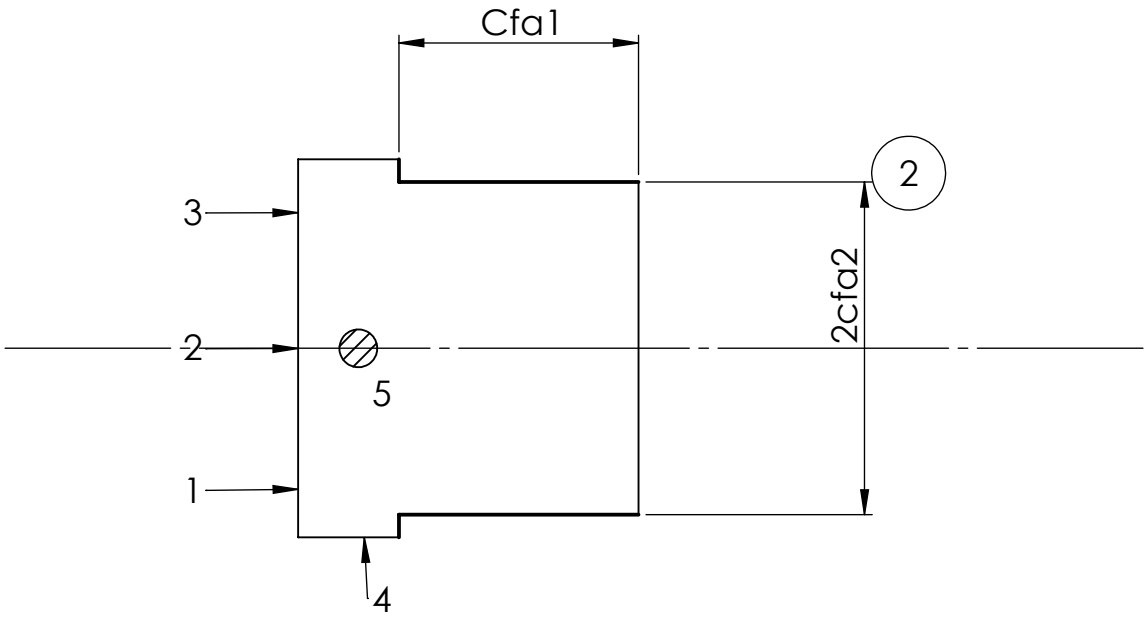
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Tiflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 220:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage court par 2 Normales (4,5) -un appui plan par 3 Normale (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 221:** Realisation d'un Epaulement **2E** (Regroupement de surfaces) **Operation 222:** Realisation d'un Epaulement **2 1/2F** **Opération 223:** Realisation d'un epaulement **2F** cfa1=50±0.25; 2cfa2=80P6 ⌭ 0.05 ⊥ 0.1 1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à charioter a plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

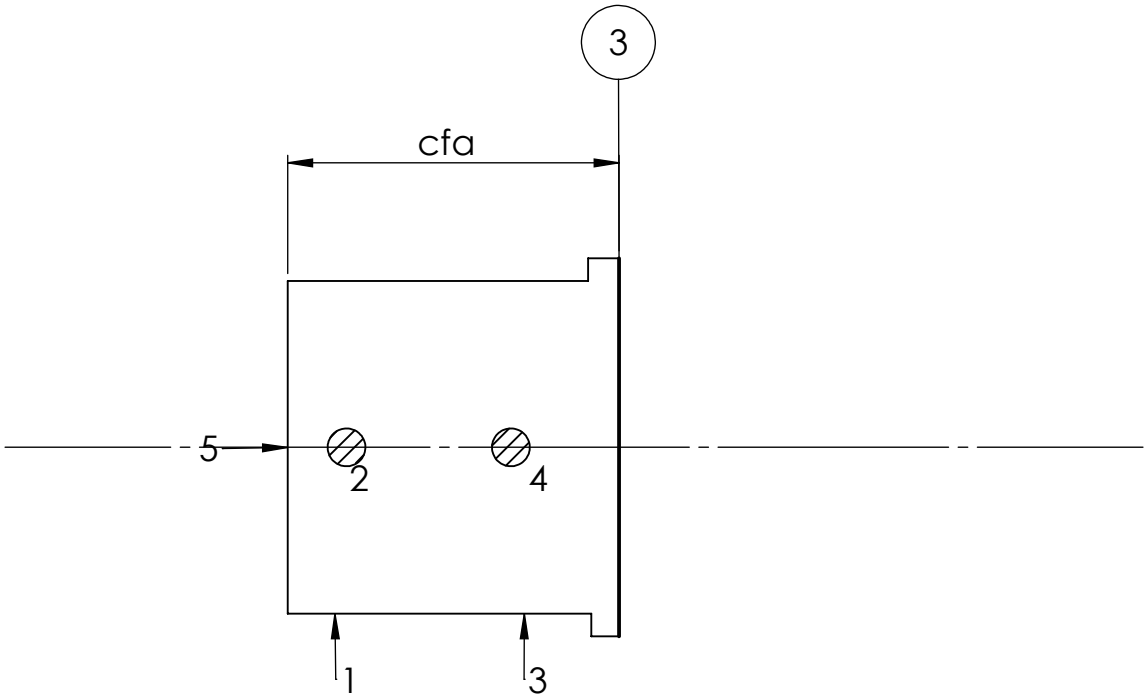
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** Travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 230:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage long par 4 Normales (1,2,3,4) -un appui ponctuel (5) et un serrage concentrique . **Operation 231:** Dressage de **3F** cfa=55±0.5. ⏥ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

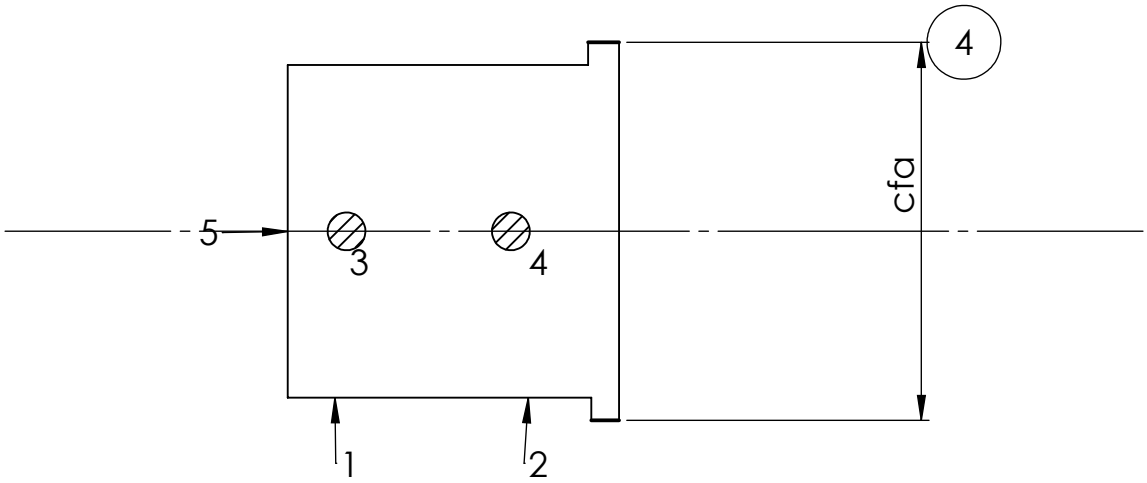
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 240:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage long par 4 Normales (1,2,3,4) -un appui ponctuel (5) et un serrage concentrique . **Operation 241:** chariotage de **4F** cfa=85 ±0.5 ◎ 0.05 2	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à charioter à plaquette amovible en carbure métalique . **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

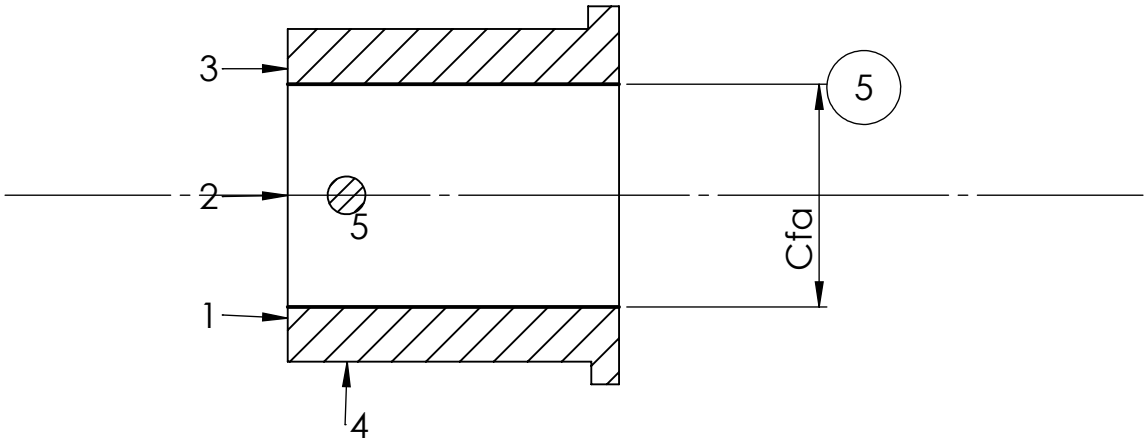
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 250:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage court par 2Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 251:** perçagede **5** **Operation 252:** Alésage de **5E** **Operation 253:** Alésage de **5F** cfa=63 ±0.15	Tour parallèle	**Outils coupants:** -forets en ARS jusqu'a ∅40 -Outil à aliser **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

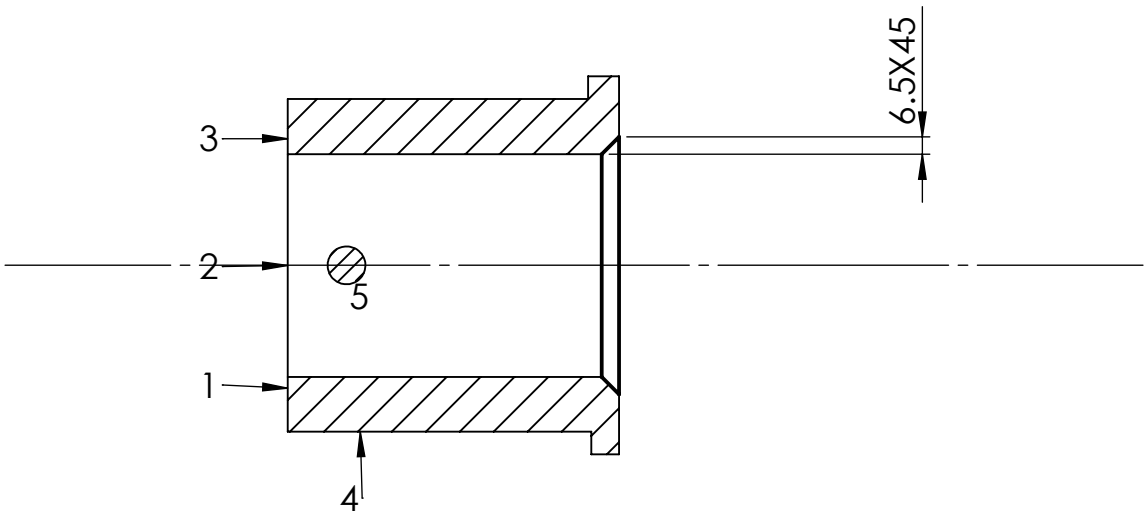
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 260:** Referéntiel de départ est definir par: -un centrage court par 2Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 261:** Realisation de chanfrein **6.5x45°**	Tour parallèle	**Outils coupants:** -Outil à Dresser **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

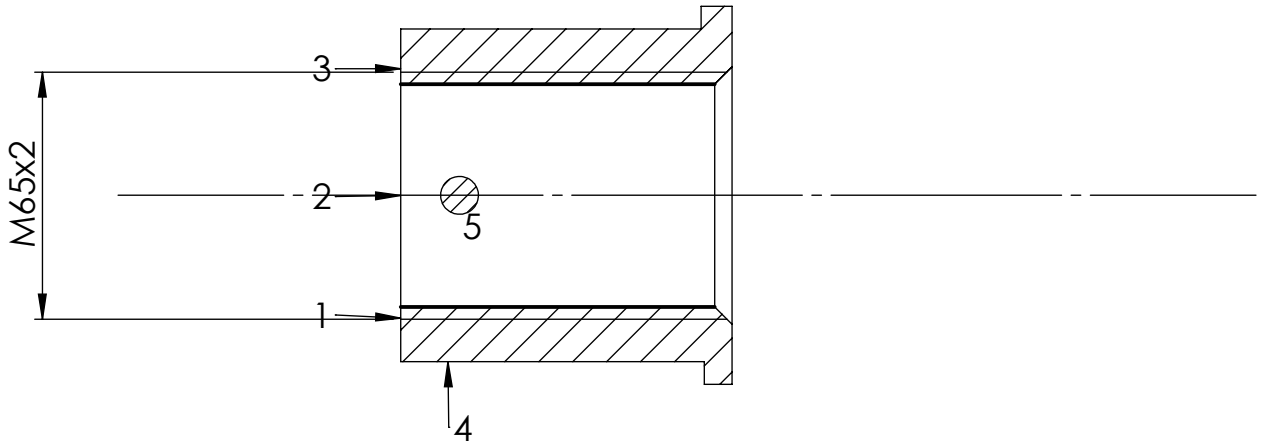
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon inferieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 270:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage court par 2Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 271:** Realisation de Taraudage **M65x2**	Tour parallèle	**Outils coupants:** -Outil à Tarauder **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	Tompons

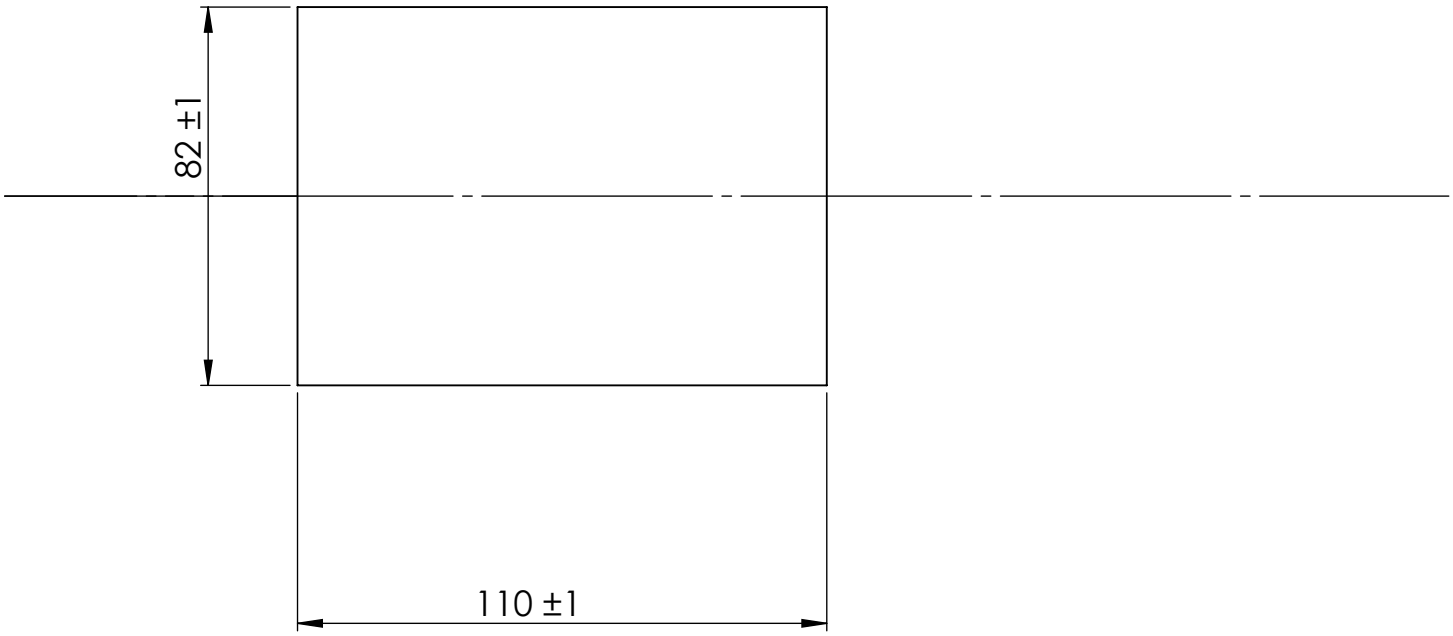
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
F- Feuille d'analyse de CHMISE EN TEFLON SUPERIEURE

Enssemble: Enceinte de frittage SPS **Organe:** CHEMISE EN TEFLON SUPERIEURE	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** laminée **cadence:** travail unitaire

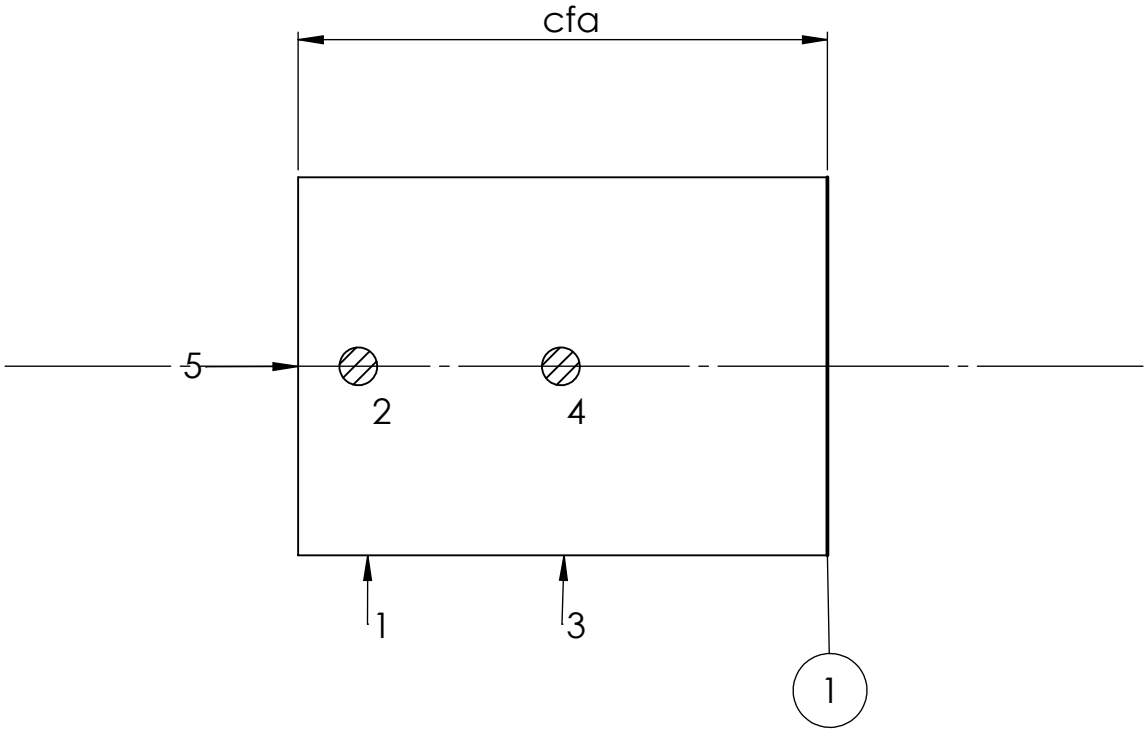
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Chemise en Tiflon superieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 210:** Referéntiel de départ est definir par: -un centrage long par 4 Normales (1,2,3,4) -un appui ponctuel par 1 Normale (5) et un serrage concentrique . **Operation 211:** dressage de **1F** cfa=108±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

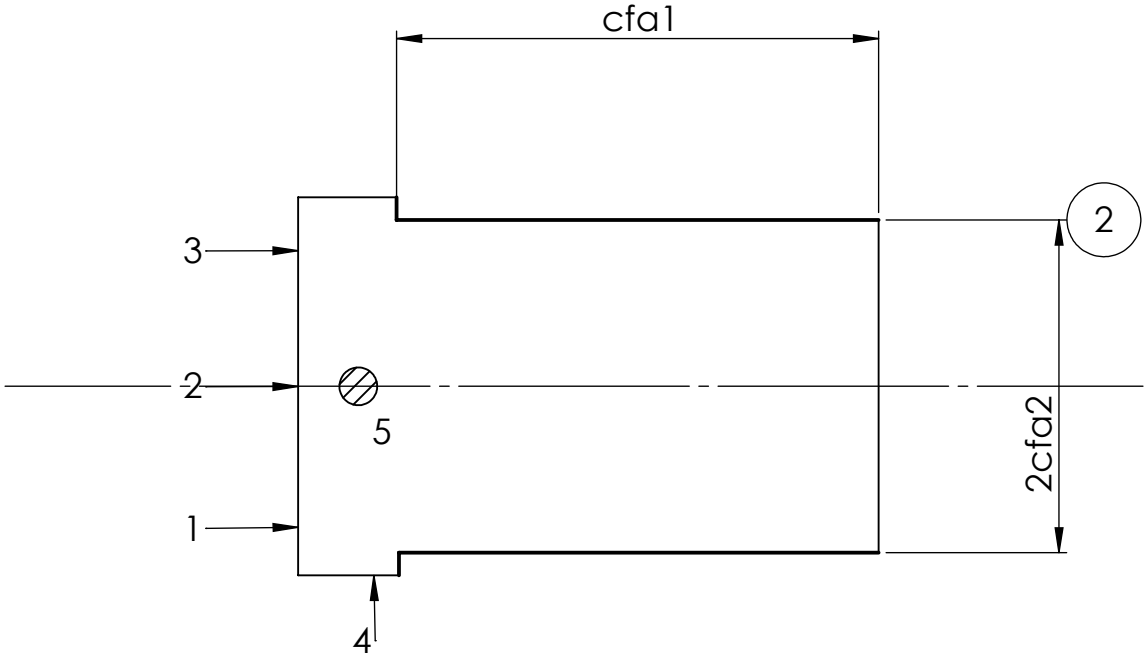
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 220:** Referentiel de mise en position est definir par: -un centrage court par 2 Normales (4,5) -un appui plan par 3 Normale (1,2,3) et un centrage concentrique . **Operation 221:** Realisation d'un Epaulement **2E** **Operation 222:** Realisation d'un Epaulement **2 1/2F** **Operation 223:** Realisation d'un Epaulement **2F** cfa1=90±0.25; 2cfa2=80P6 1.6 ⊥ 0.1 1 ⌭ 0.05	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à charioter a plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

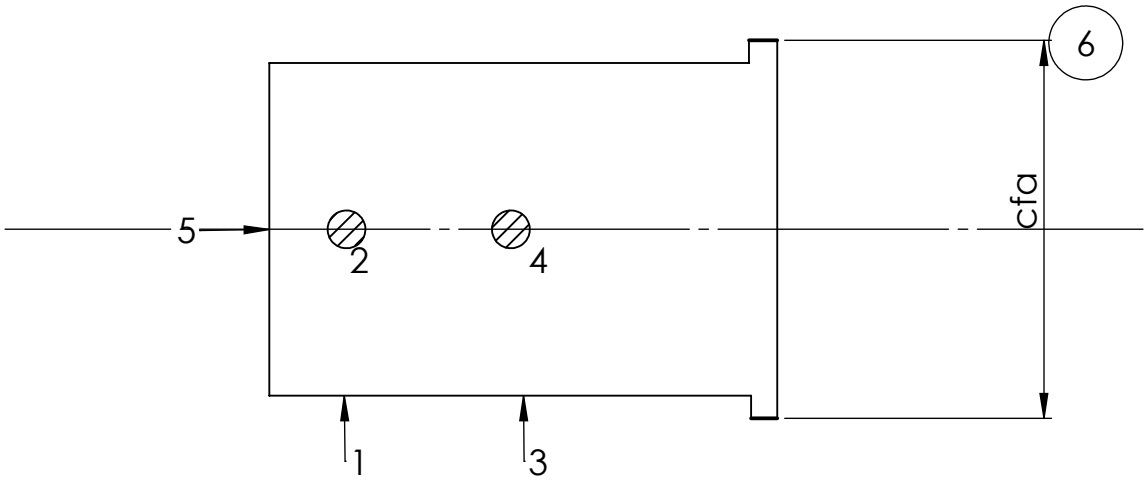
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 240:** Referentiel de mise en position est definir par: -un centrage long par 4 Normales (1,2,3,4) -un appui ponctuel (5) et un serrage concentrique . **Operation 241:** chariotage de **6E** **Operation 242:** chariotage de **6F** cfa=85±0.5 ◎ 0.05 2	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à dresser a plaquette amovible en carbure métalique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

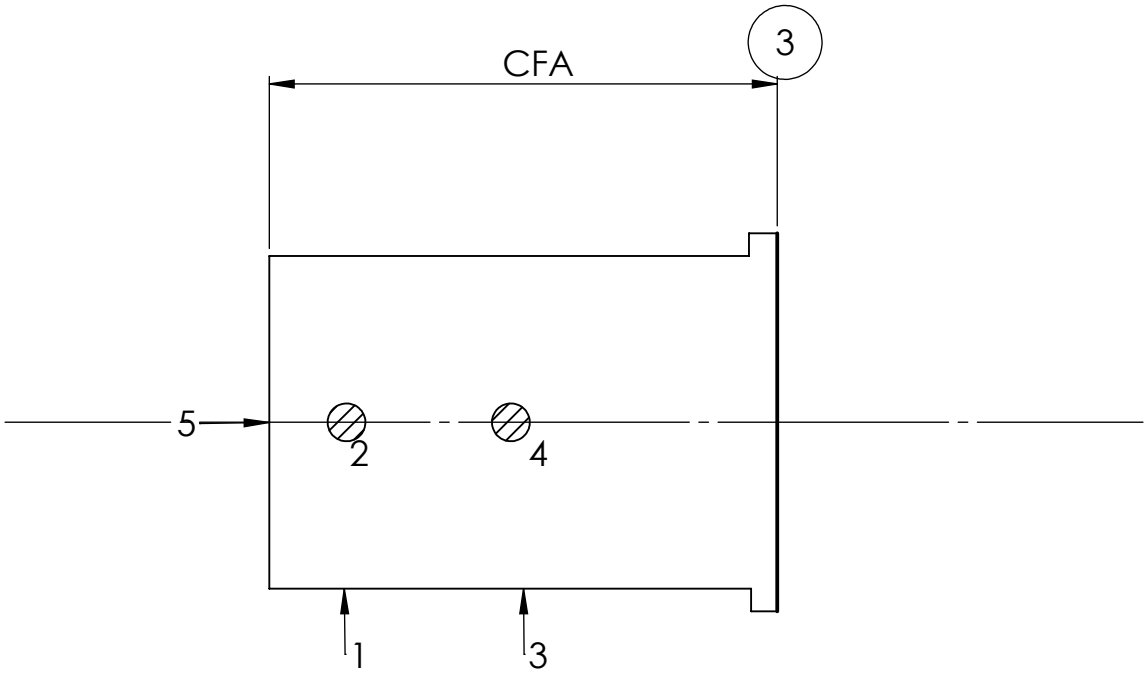
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 230:** Referentiel de mise en position est definir par: -un centrage long par 4 Normales (1,2,3,4) -un appui ponctuel (5) et un serrage concentrique . **Operation 231:** Dressage **3F** cfa=95±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** outils à dresser a plaquette amovible en carbure métalique à 90° **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

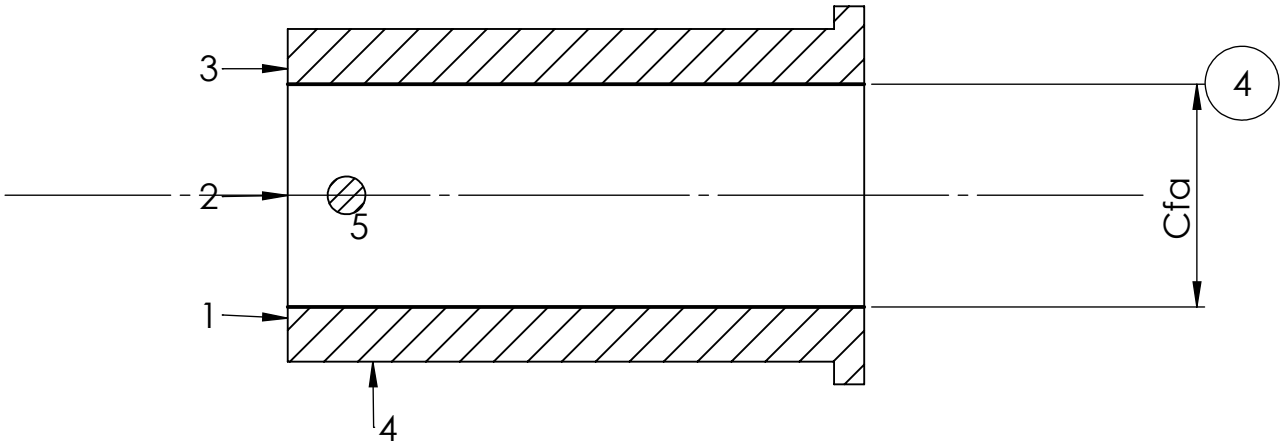
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon Supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 250:** Referentiel de départ est definir par: -un centrage court par 2Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 251:** perçagede **4 à ∅40** **Opération 252:** Alésage de **4E** **Opération 253:** Alésage de **4F** cfa=63±0.15	tour parallèle	**Outils coupants:** -forets en ARS jusqu'a ∅40 -Outil à aliser **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

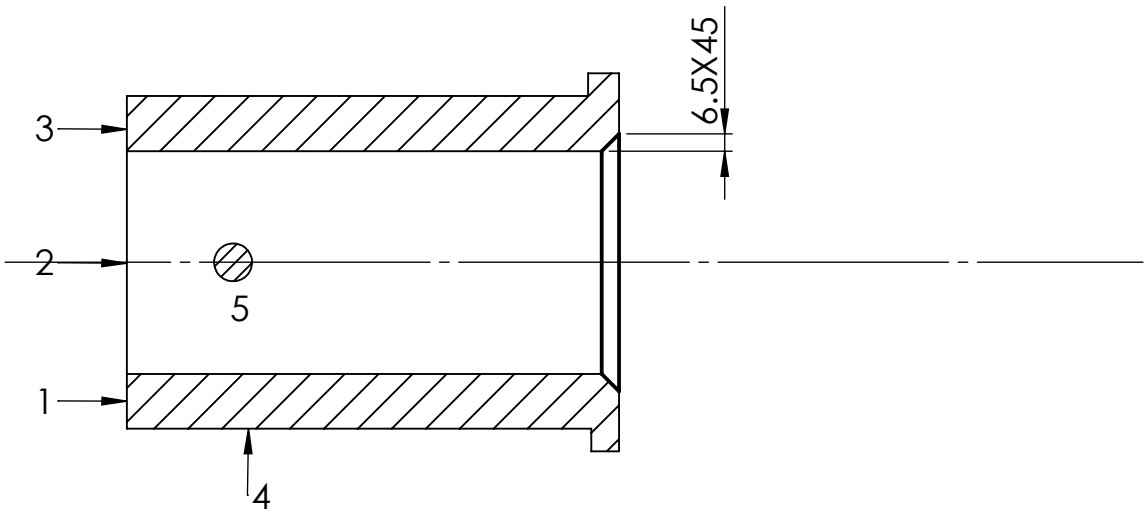
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceintede frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon Supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 260:** la mise en position est definir par: -un centrage court par 2 Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 261:** Réalisation de chanfrein **5F** 6.5 x45°	Tour parallèle	**Outils coupants:** -Outil à Dresser **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	pied à coulisse

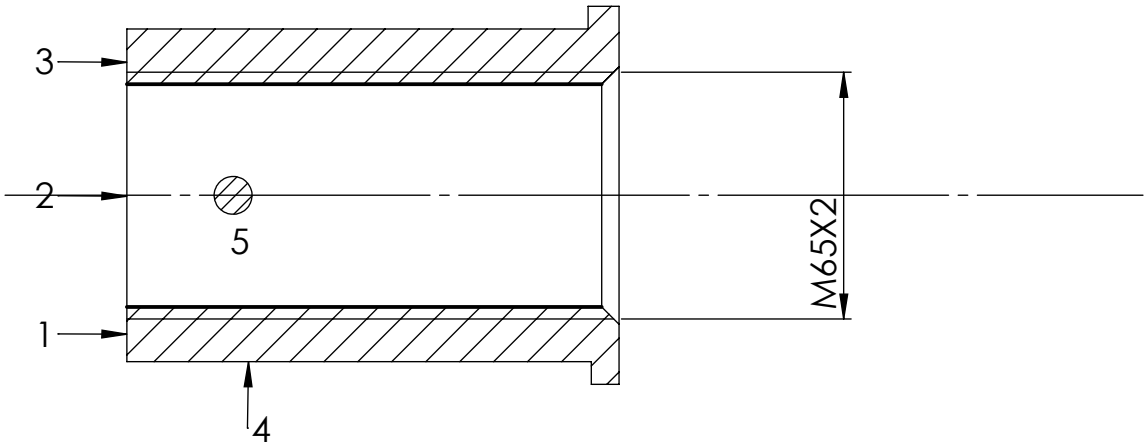
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage SpS **Organe:** Chemise en Teflon Supérieure	**Matiere:** TEFLON **BRUTE:** Laminée **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et apareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous Phase 270:** La mise en position est definir par: -un centrage court par 2Normales (4,5) -un appui plan (1,2,3) et un serrage concentrique . **Operation 271:** Taraudage **5F M65X2**	Tour parallèle	**Outils coupants:** -Outil à Tarauder **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 mors)	Tompns

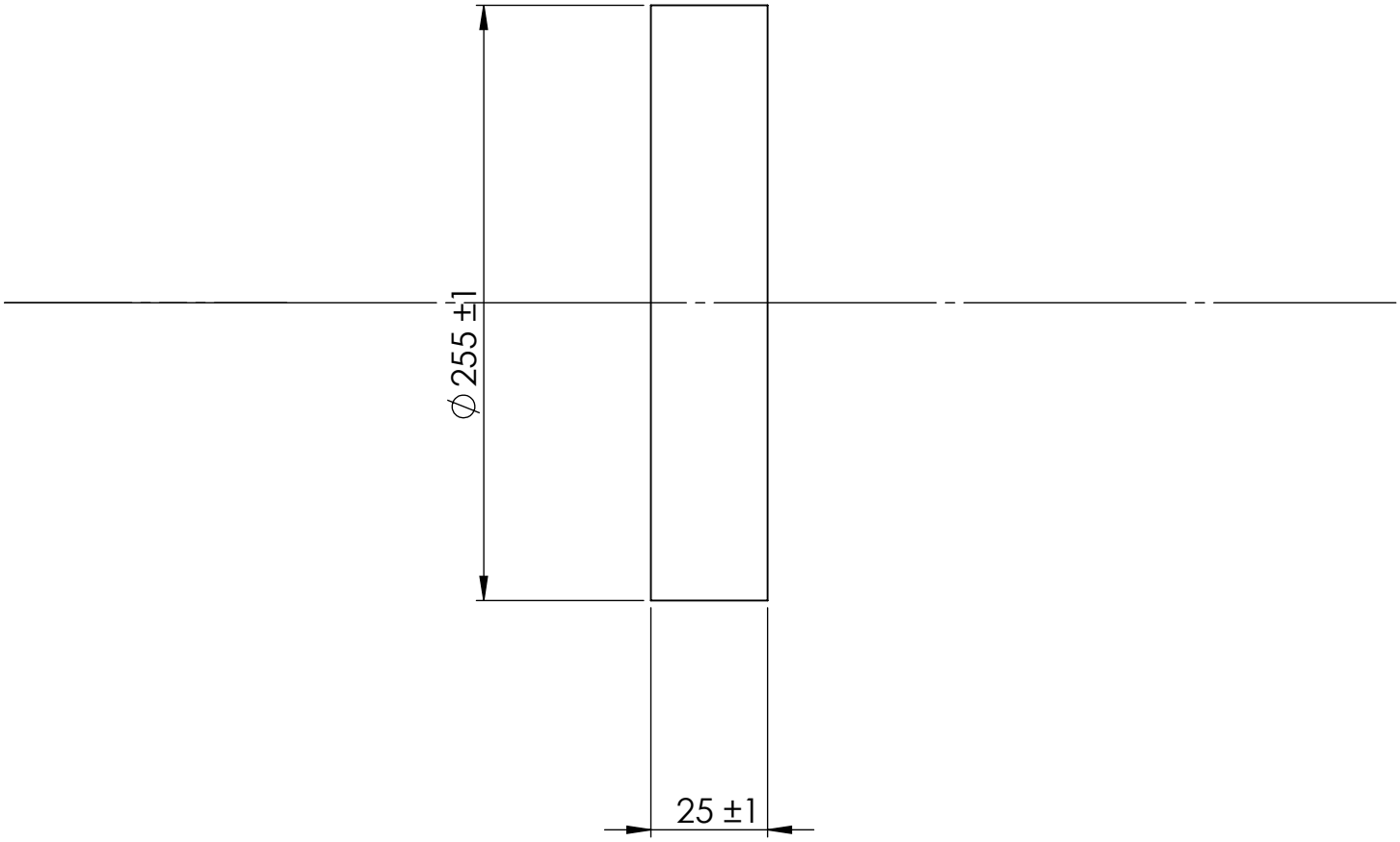
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
G- Feuille d'analyse de couvercle

Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **Cadence:** Travail unitaire

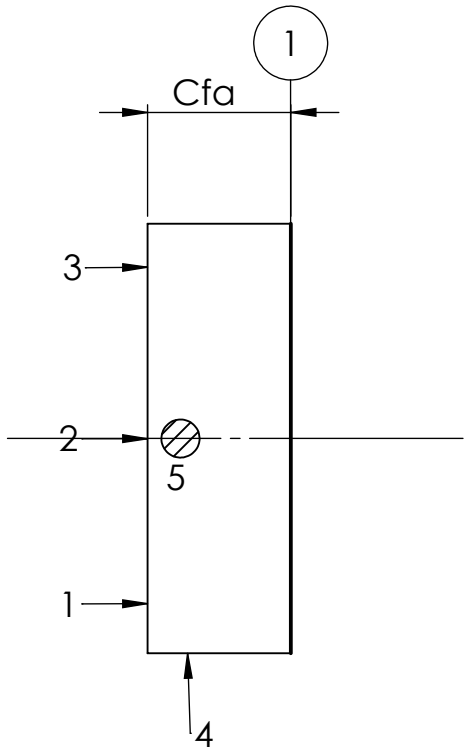
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 210:** Reférentiel du depart est definir par: -appui plan par 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 211:** Dressage de **1F** Cfa=23±0.5 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** Outil à dresser à plaqquette amovible en carbure métallique à 45°. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 MORS)	pied à coulisse

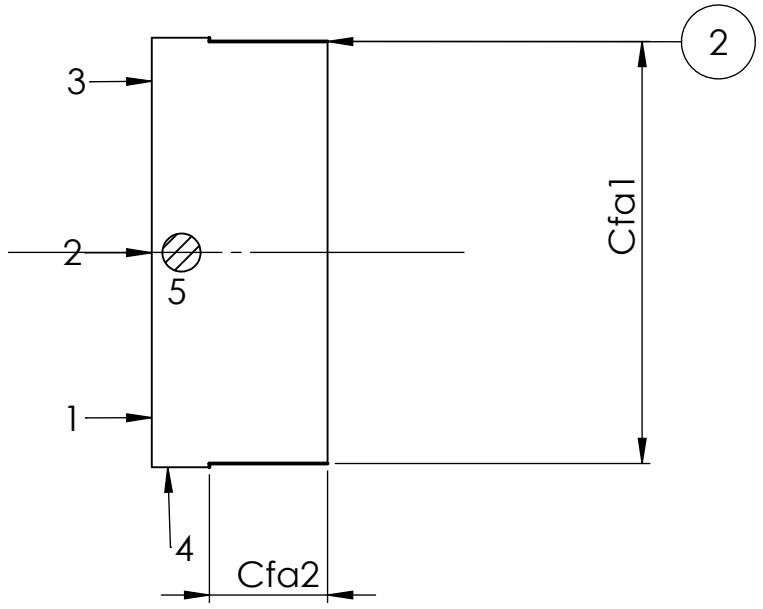
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** Laminé **cadence:** Travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 220:** Referentiel du départ est definir par: -appui plan par 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 221:** Chariotage **2E** **Opération 222:** Chariotage **2F** Cfa1= 80 ±0.5 , cfa2= 21 ±0.5 3.2 ⊥ 0.1 1	Tour parallèle	**Outis coupants:** Outil à charioter à plaquettes en carbure métallique à 90°. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 MORS)	pied à coulisse

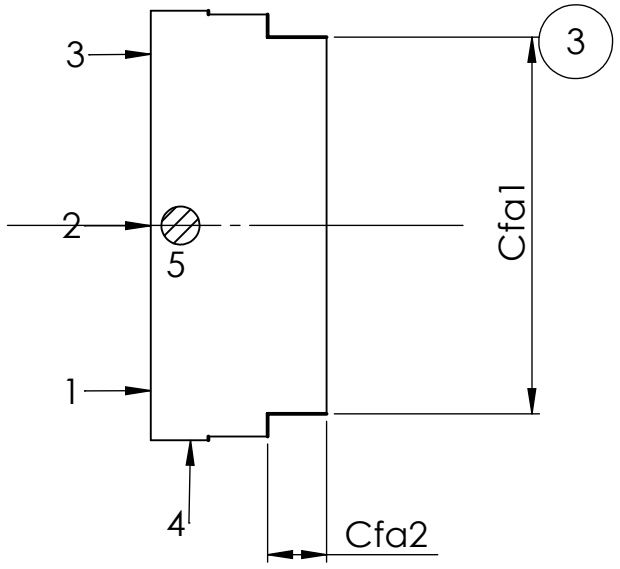
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceintel de frittage sps **organe: Couvercle**	**Matiére:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 230:** Reférentiel du depart est definir par: -appui plan par 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 231:** Chariotage **3E** **Opération 232:** Chariotage **3F** Cfa1= 76±0.5, Cfa2= 10±0.1 3.2 ⊥ 0.1 1	Tour parallèle	**Outis coupants:** Outil à charioter à plaquettes en carbure métallique à 90°. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 MORS)	pied à coulisse

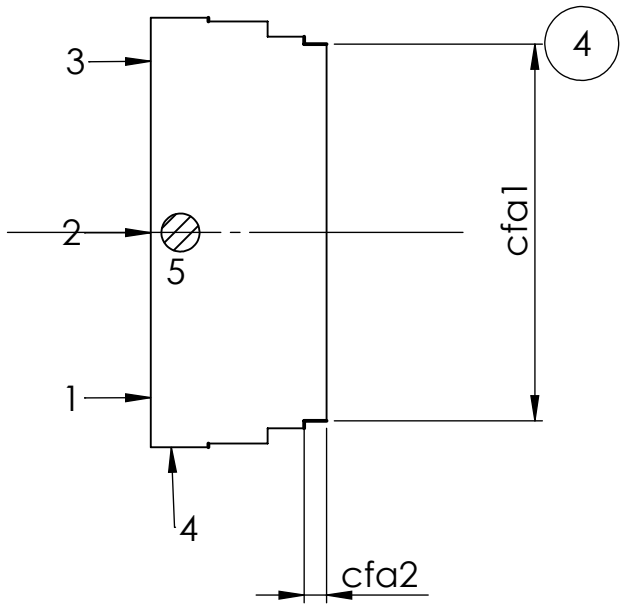
Croquis de la piéce



Enssemble:Enceinte de frittage sps **organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 240:** Referentiel du départ est definir par: -appui plan par 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique. **Opération 241:** Chariotage **4E** **Opération 241:** Chariotage **4F** Cfa1= 72±0.2, Cfa2= 4±0.1 ◎ 0.05 3 3.2	Tour parallèle	**Outis coupants:** Outil à charioter a plaquettes en carbure métallique à 90°. **Moyens de prise:** mandrin universsel (3 MORS)	pied à coulisse, comparateur

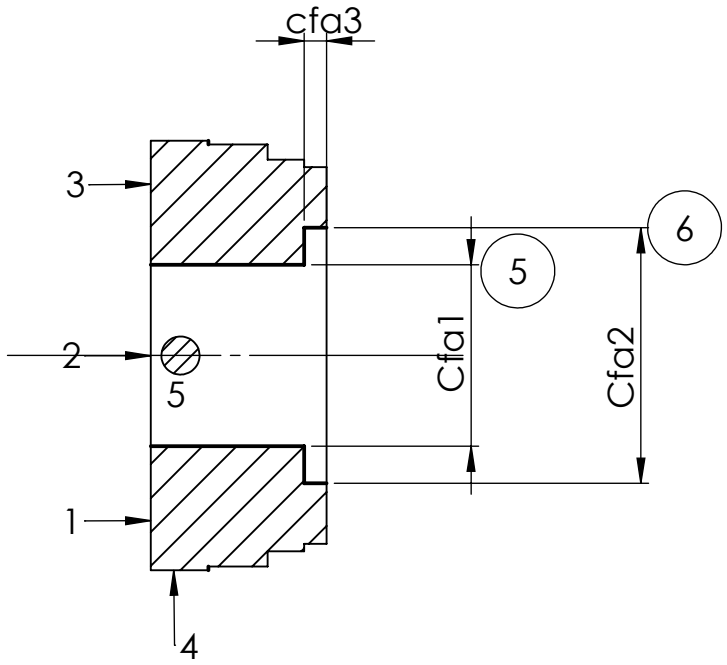
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 250:** Referentiel du depart est definir par: -appui plan par 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 251**: Perçage 5F jusqu'à ∅40 **Opération 252:** Alésage 5E **Opération 253:** Alésage 5F cfa1=46±0.2 **Opération 254:** Alésage de 6E **Opération 255:** Alésage de 6F cfa2=54±0.2, cfa3= 4±0.1	Tour parallèle	**Outis coupants:** - forets en ASR jusqu'a 40. -forets à centrer -outil à Aléser **Moyens de prise:** -mandrin universsel (3 MORS) -pointe tournante	pied à coulisse

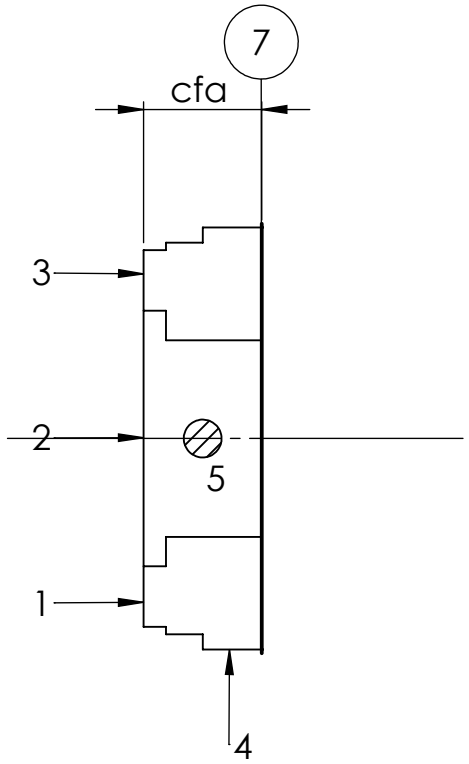
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Dèsignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et appareillage	côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase 260:** Referentiel du depart est definir par: -appui plan sur 1avec 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 261:** Dressage de **7E** **Opération 26:** Dressage de **7F** cfa=20±0.1 ▱ 0.1	Tour parallèle	**Outils coupants:** - Outil à Dresser. **Moyens de prise:** -mandrin universsel (3 MORS)	pied à coulisse

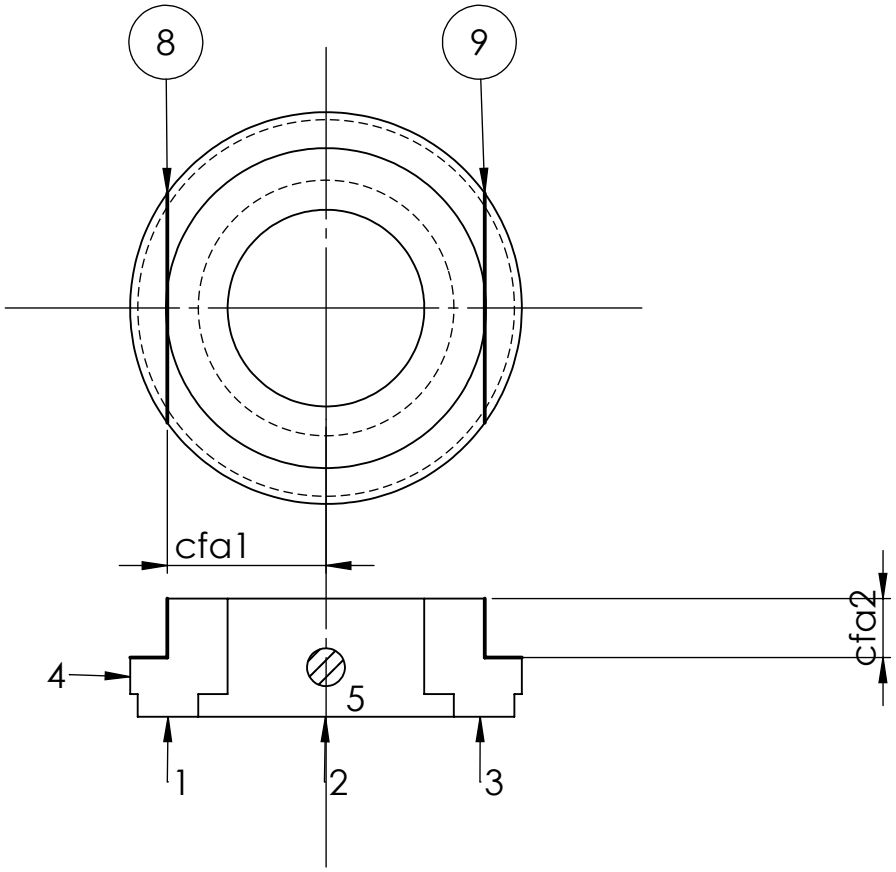
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Couvercle	**Matiere:** Acier A60 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillage	côntrole
300	**Fraisage:** **Sous phase 310:** Referentiel du départ est definir par: -appui plan sur 1 avec 3 normals(1,2,3) -un centrage court avec 2 normals (4,5) et un serrage concentrique **Opération 311:** Réalisation d'un plan épauler 8F. **Opération 312:** Réalisation d'un plan épauler 9F. cfa1=30±0.5, cfa2=10±0.5	fraiseuse verticale	**Outils coupants:** - Fraise a quene cylindrique de ∅20. **Moyens de prise:** -Etau mécanique	pied à coulisse

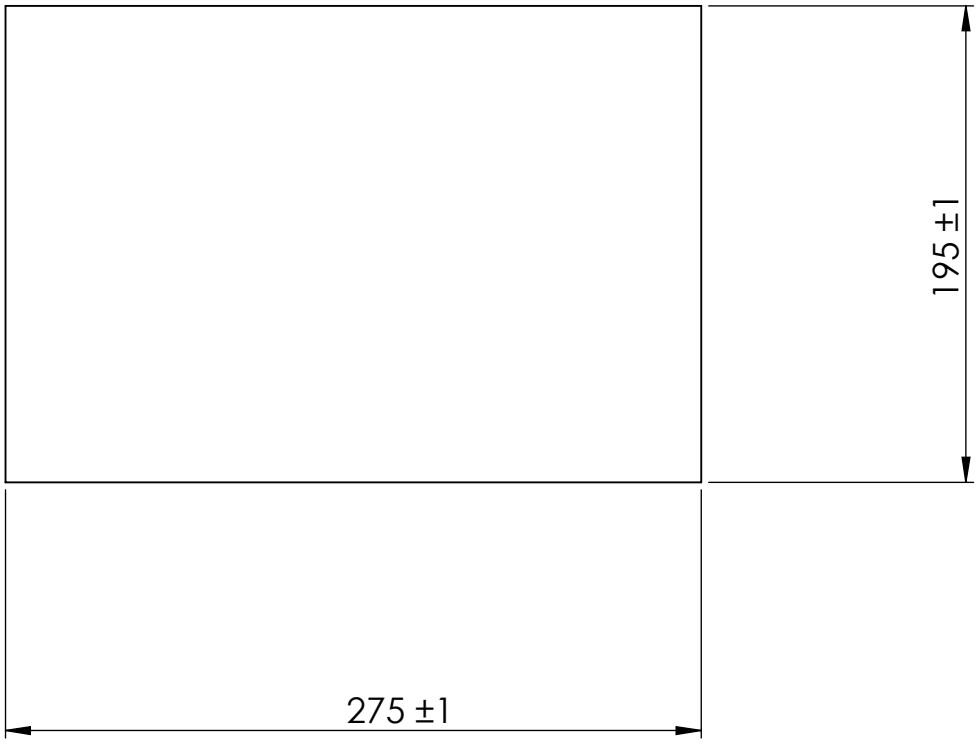
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
H- Feuille d'analyse Porte de chambre

Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(alpax) **BRUT:** obtenu par moullage **cadence:** travail unitaire

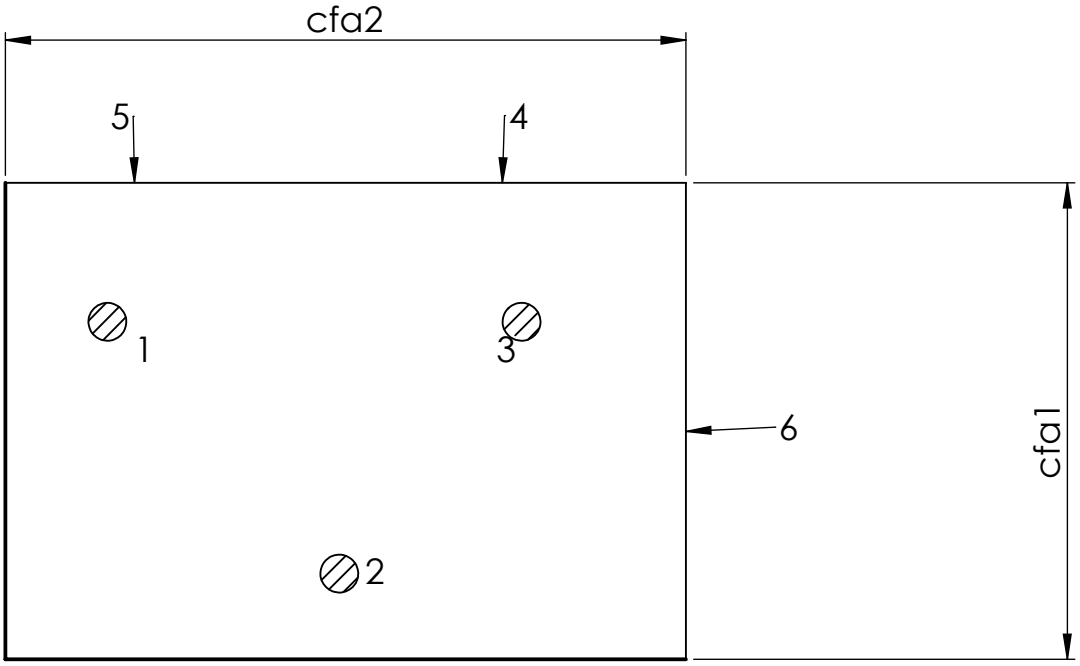
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et ppareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 210:** la mise en position est faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 211:** fraisage1F 6.3 cfa1=192±0.5; **opérations 212:** fraisage 3F 6.3 cfa2= 272±0.5;	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** Fraise 2 taille de ∅30	piéd à coulisse

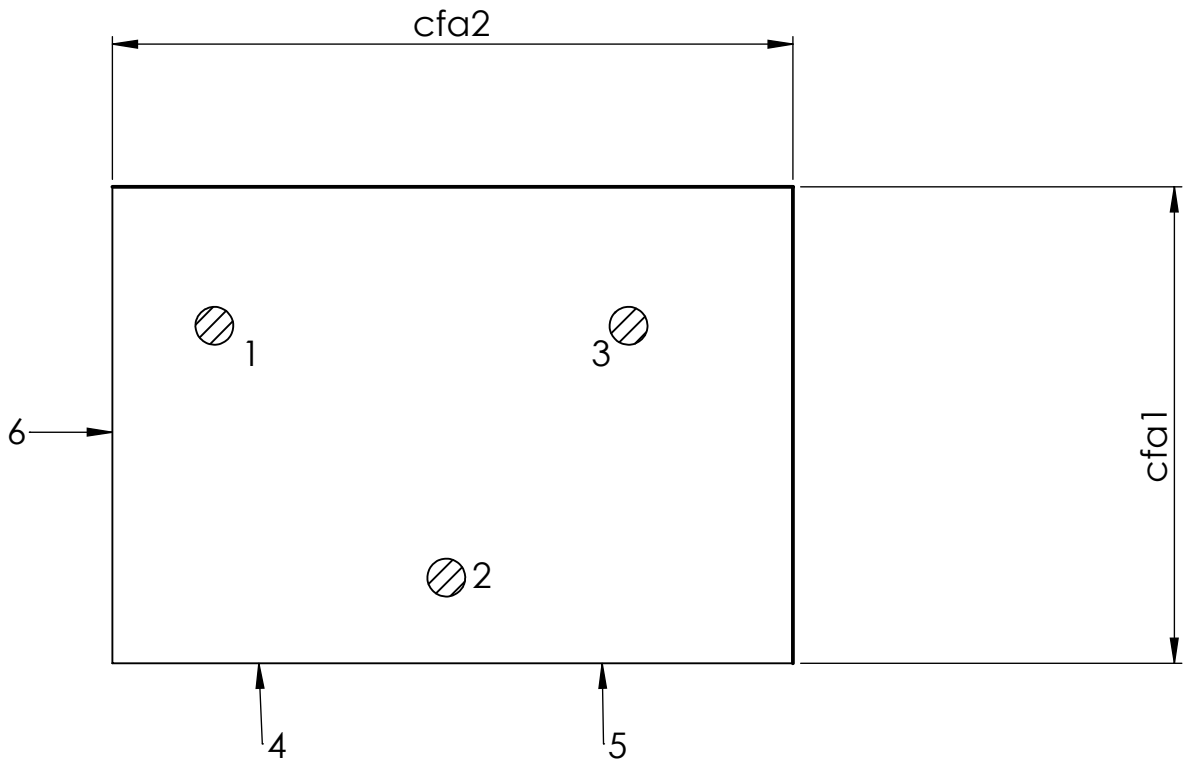
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et ppareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 220:** la mise en position st faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 221:** fraisage 2F cfa1=190±0.5; 6.3 **opérations 222:** fraisage 4F cfa2= 270±0.5; 6.3	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** Fraise 2 taille de ∅30	piéd à coulisse

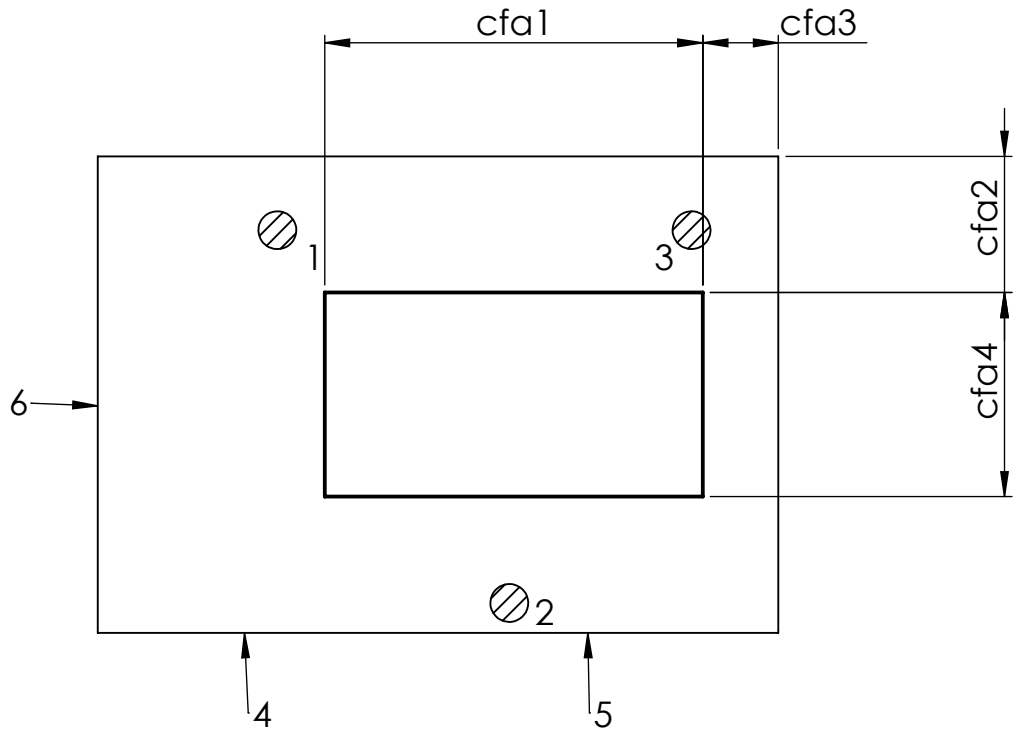
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et ppareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 230:** la mise en position st faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 231:** usinage de poche débouchante (regroupement de surfaces (5,6,7,8) cfa1= 150±0.5, cfa3=30±0.5 cfa2=55±0.5, cfa4=80±0.5	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** Fraise 2 taille de ∅30	piéd à coulisse

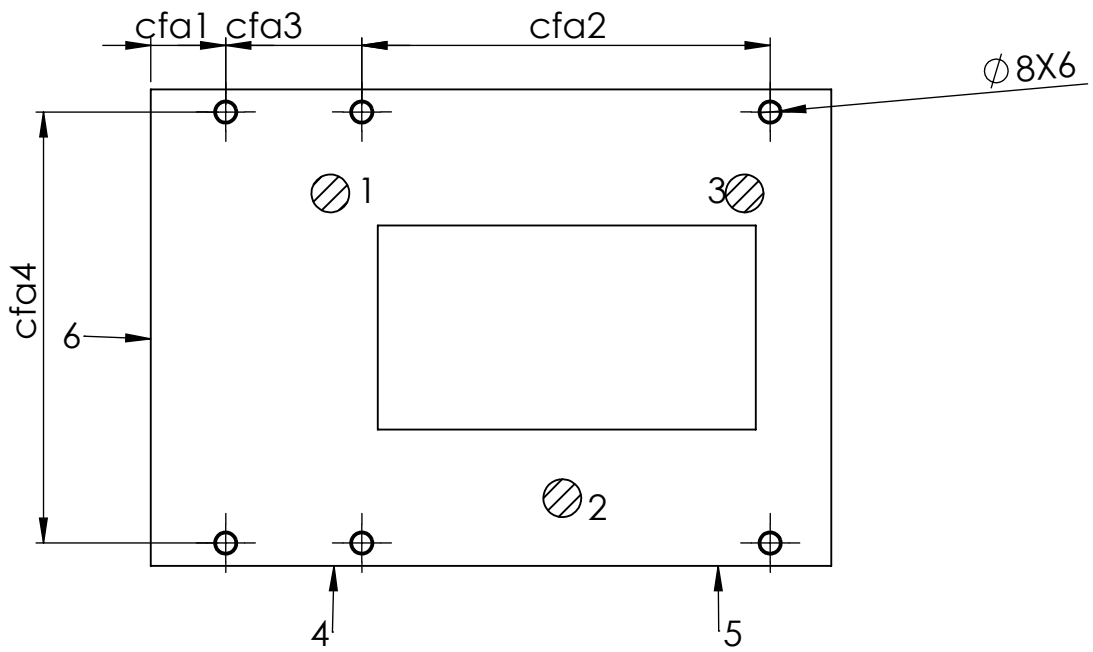
Croquis de la piéce



Enssemble:Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et ppareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 240:** la mise en position st faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 241:** perçage de 6trous de ∅8 disposés de cfa1 =14,cfa2=176. cfa3=69 ,cfa4=170. IT= ±0.1	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** foret de ∅8	piéd à coulisse

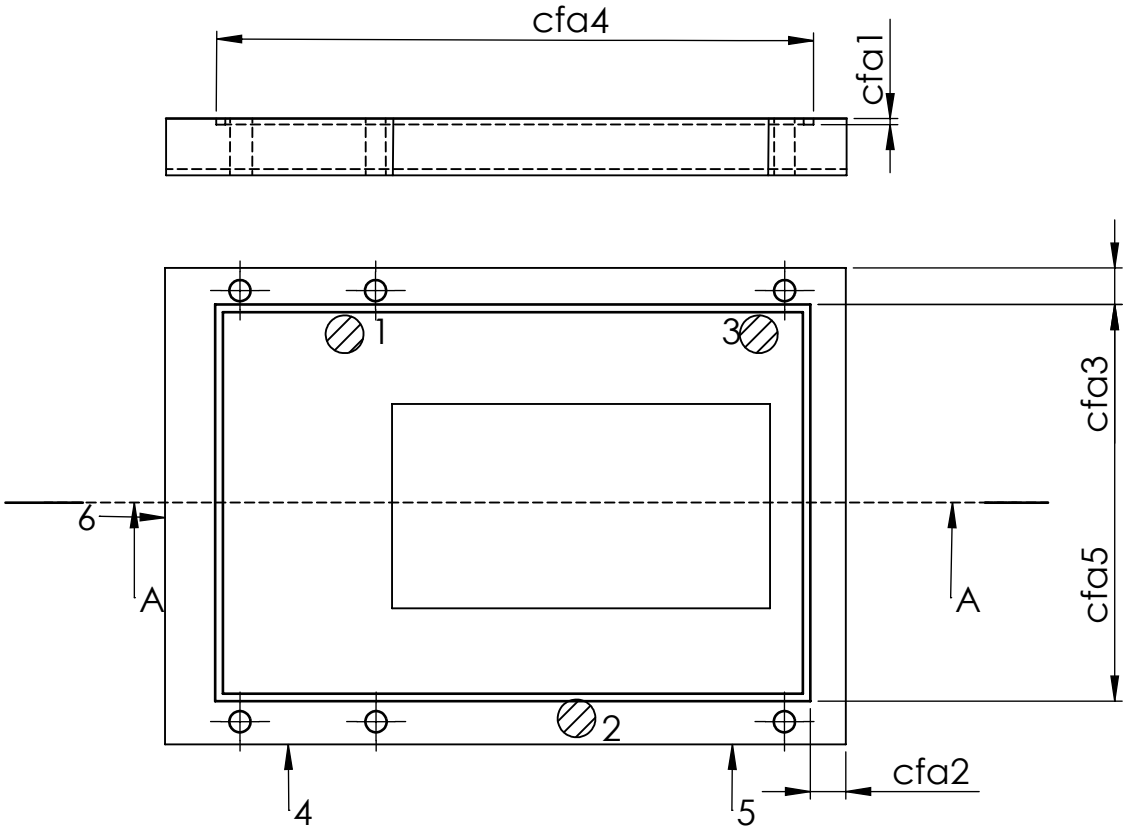
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Outils et apareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 250:** la mise en position st faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 251:** Réalisation d'une Rainure Co=3 cfa1=2; cfa2=14; cfa3=16; cfa4=237; cfa5= 158 IT=0.1.	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** fraise deux (02) taille de ∅3	piéd à coulisse

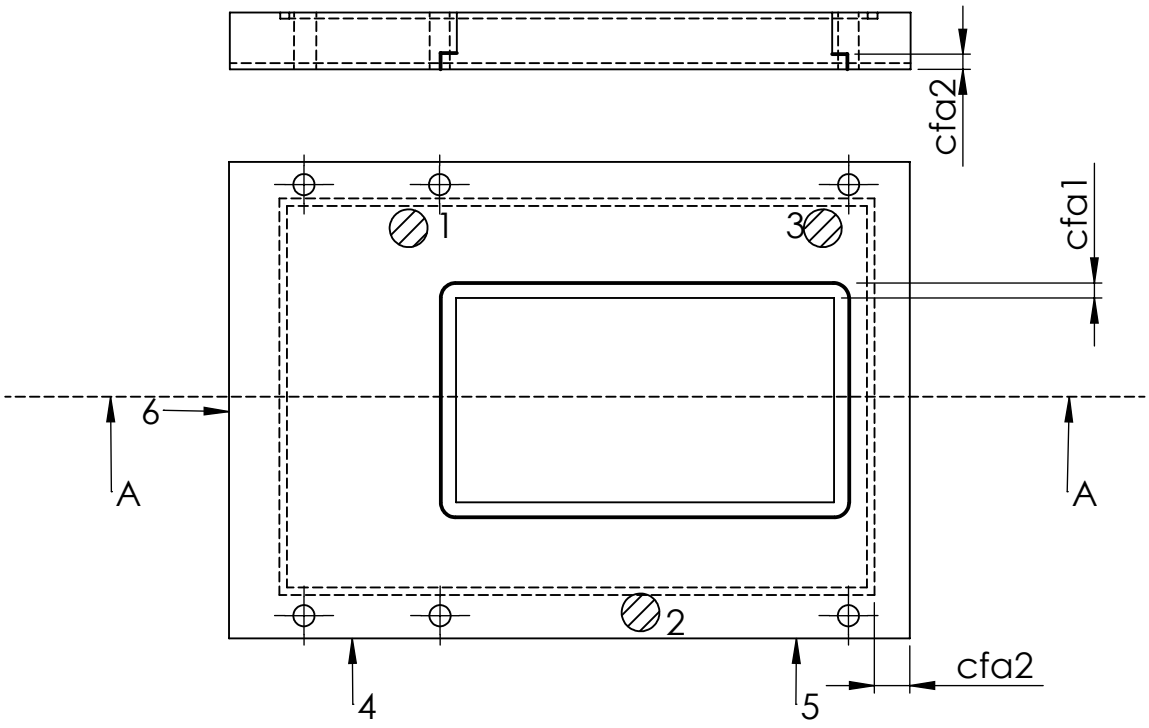
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** Porte de la chambre	**Matiere:** Alliage d'aluminium(Alpax) **BRUT:** Moulage **Cadence:** travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et ppareillage	côntrole
200	**Fraisage:** **Sous phase 260:** la mise en position st faite par : un appui plan par 3 Normales (1,2,3) un appui lineire par 2 Normales (4,5)et un appui ponctuel (6) serrage oposés aus appuis **opération 261:** Réalisation d'un plan épauler Co=3 cfa1=7.5; cfa2=5 IT=0.1	fraiseuse verticalle	**Moyens de fixations:** Brides de fixations **Outils Coupants:** fraise deux (02) taille de ∅10	piéd à coulisse

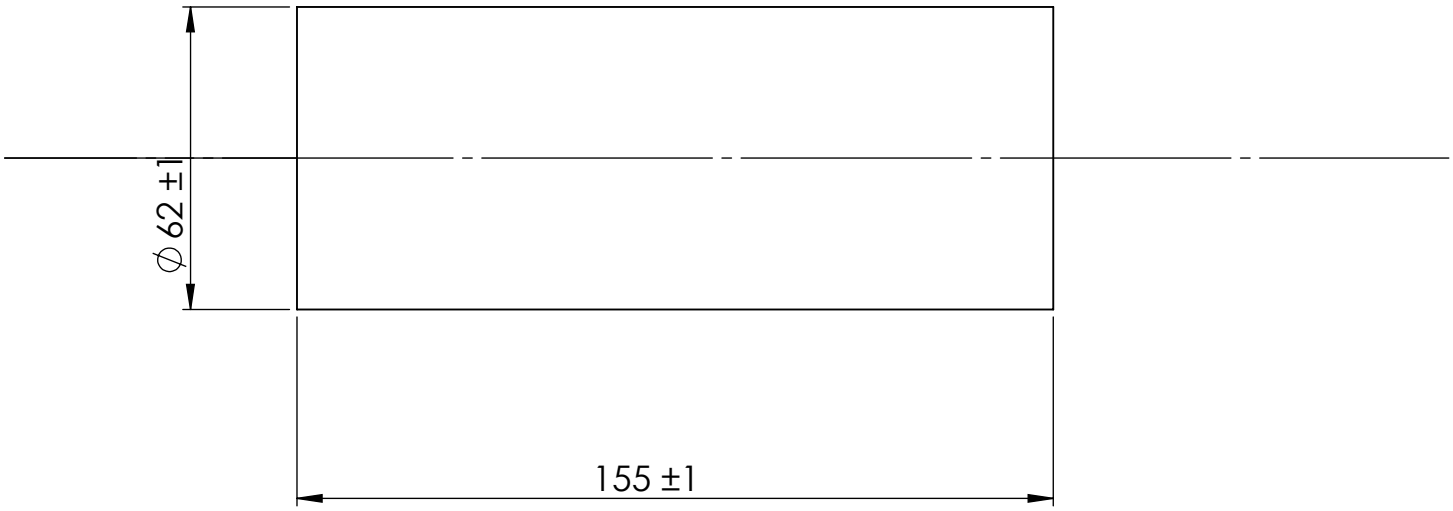
Croquis de la piéce



Les feuilles d'analyse de fabrication:
I- Feuille d'analyse de piston inférieur

Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** piston inférieur	**Matiere:** Acier Xc48 **BRUT:** laminé **Cadence:** travail unitaire

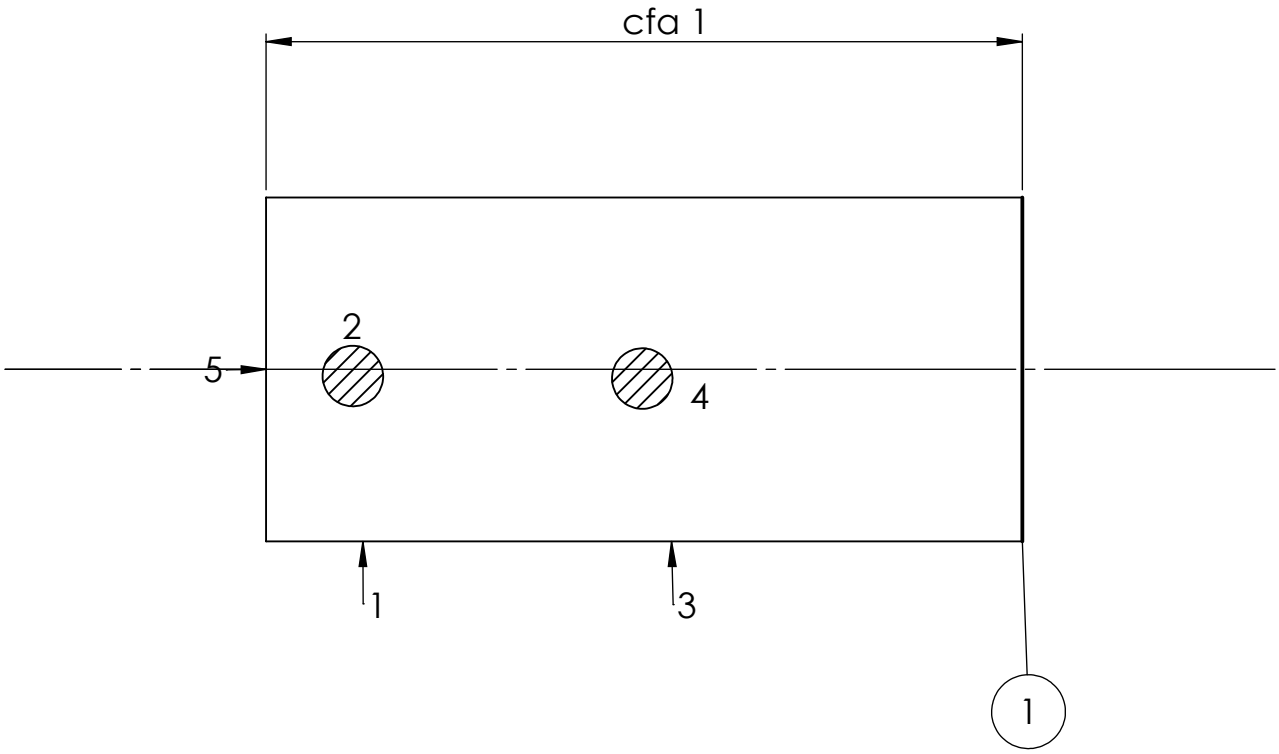
N° de phase	designation de sous phases et opérations	Machine utilisée	Moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Encemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston inférieur

Matiere: acier xc48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

N°de phase	désignation de sous phase et opération	Machine	Outis utilisées	contrôles
200	tournage: sous phase 210: montage de la piece: la mise en position est faite par un centrage long et une butée . • centrage long (1,2,3,4) • un appui ponctuel (5) avec un serrage opposée aux appui Opération 211 : dressage 1 F cfa1=157 ±0.5 ▱ 0.1	Tour parrallèle	Outils coupants: outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45 ° Moyens de prise: mandrin univessel (3 mors)	pied à coulisse

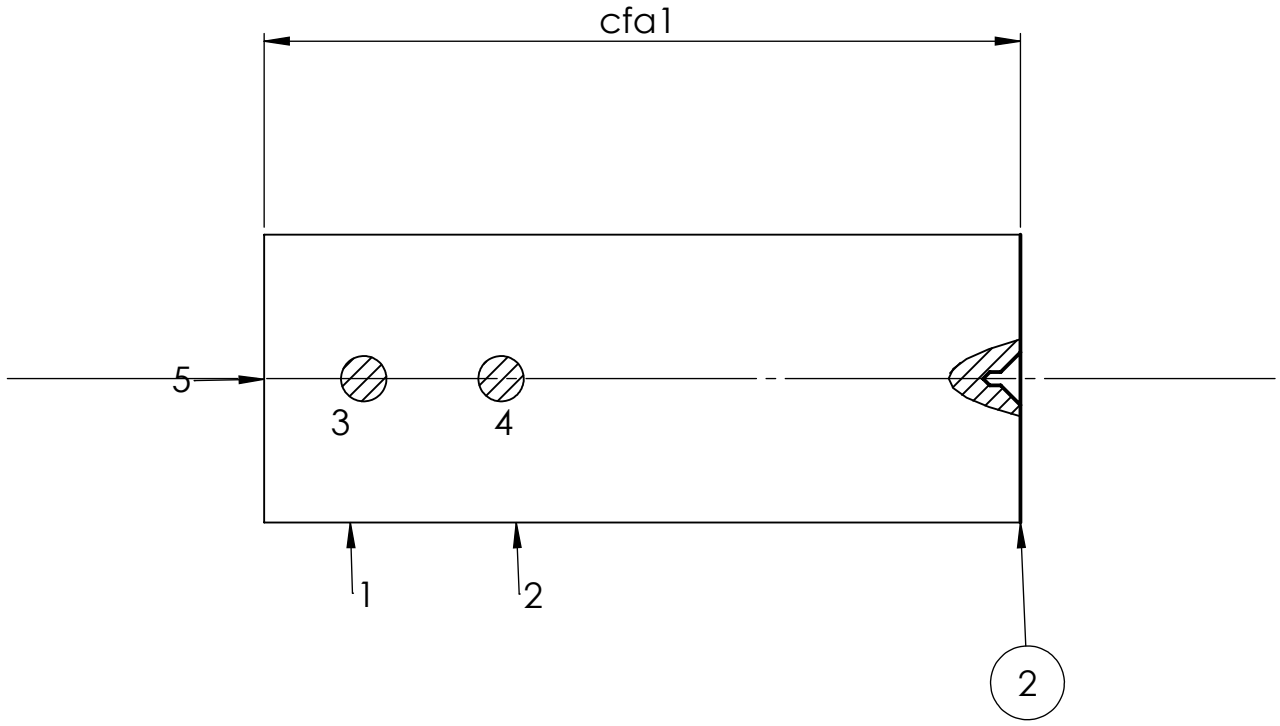


Enssemble: Enceinte de frittage sps
organe: piston inférieur

Matiere: acier xc 48
BRUTE: laminée
cadence: travail unitaire

N° de phase	designation de sous phases et opérations	Machine	Outils et appareillages	côntrole
200	**tournage:** **sous phase 220:** montage de la piece: la mise en position est faite par un centrage long et une butée . UN centrage long (1,2,3,4) un appui ponctuel (5) avec un serrage opposée aux appui **opération 221** : dressage **2F** **opération 222:** realisation d'un trou de centrage cf1=155mm±0.5	Tour parallèle	**Outisl coupants:** -outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° - outil à centrer **Moyens de prise:** mandrin univeressel (3mors) Foret à centrer	pied a coulisse

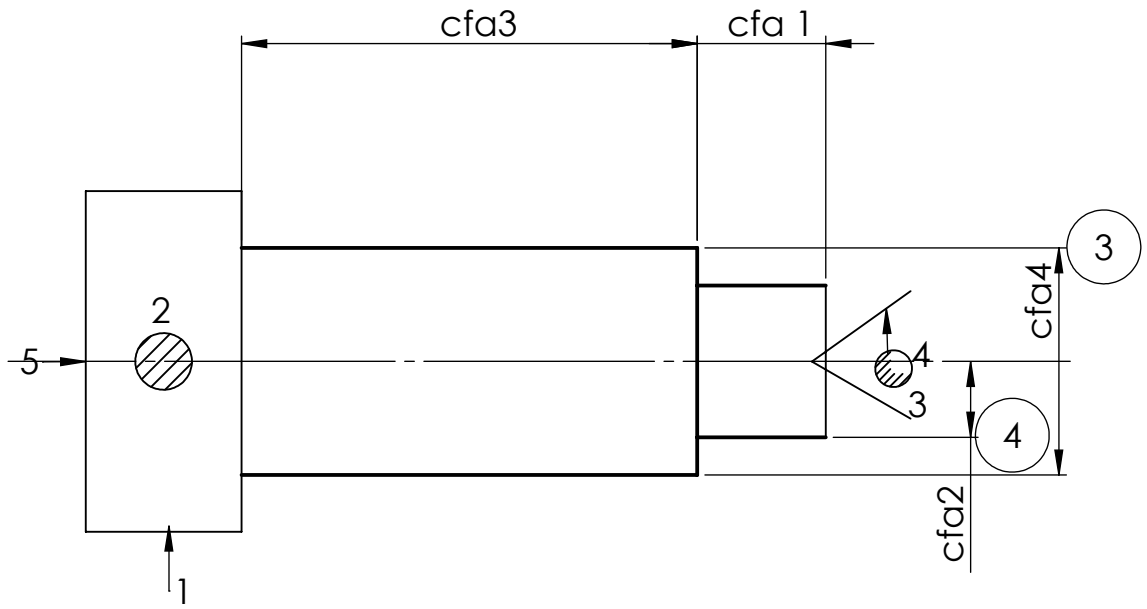
Croquis de pieces



Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston inférieur

Matiere: acier xc 48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine	outils et appareillages	contrôle
200	**Opération: Tournage** **Sous phase230:** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par un montage mixte • centrage court avec 2 normale (1,2) • une pointe tournante avec 2 normale (3,4) • liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un sérrage oposée aux appuis . **opération 231:** Epaulement **3F** cfa3=140±0.25; cfa4=41±0,25 **opération 232:** Epaulement **4F** cfa 1= 30±0.25 ;cfa2=15±0.25	Tour parallèle	**outils coupants:** outil à charioter (coteau) à plaquette amovible en carbure métallique à 90° **moyens de prise:** -un mandrin universsel -une pointe tournante	pied à coulisse

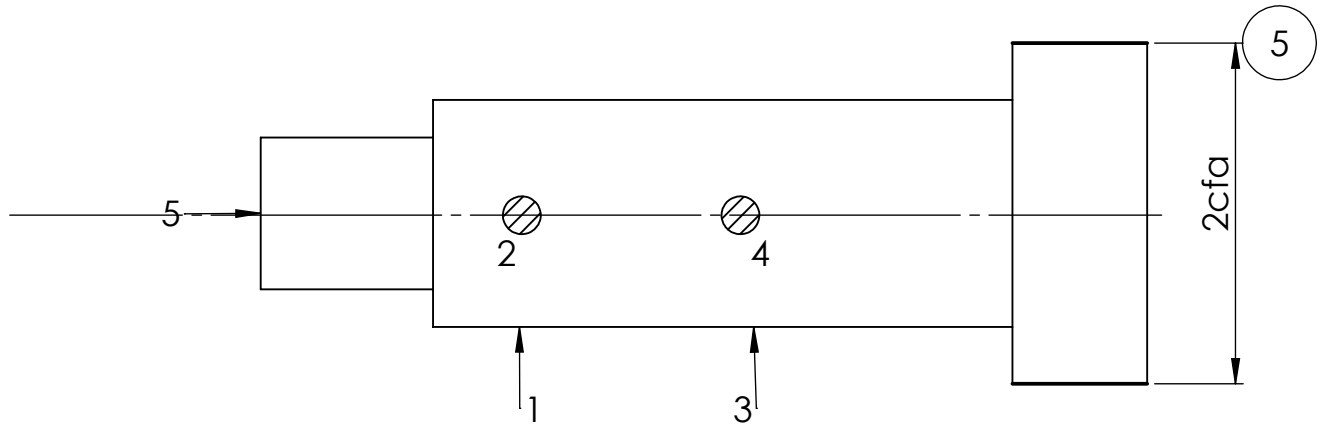


Ensemble: Enceinte de frittage sp**s**
Organe: piston inférieur

Matiere: acier xc 48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine utilisées	outils et appareillages	contrôle
200	**Opération: Tournage** **Sous phase:240** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par : -centrage long avec 4normale (1,2,3,4) -liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un sérrage concentrique . **opération 241:** chariotage **5F** 2cfa=60±0.5.	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à charioter à plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel	pied à coulisse

Croquis de la piéce

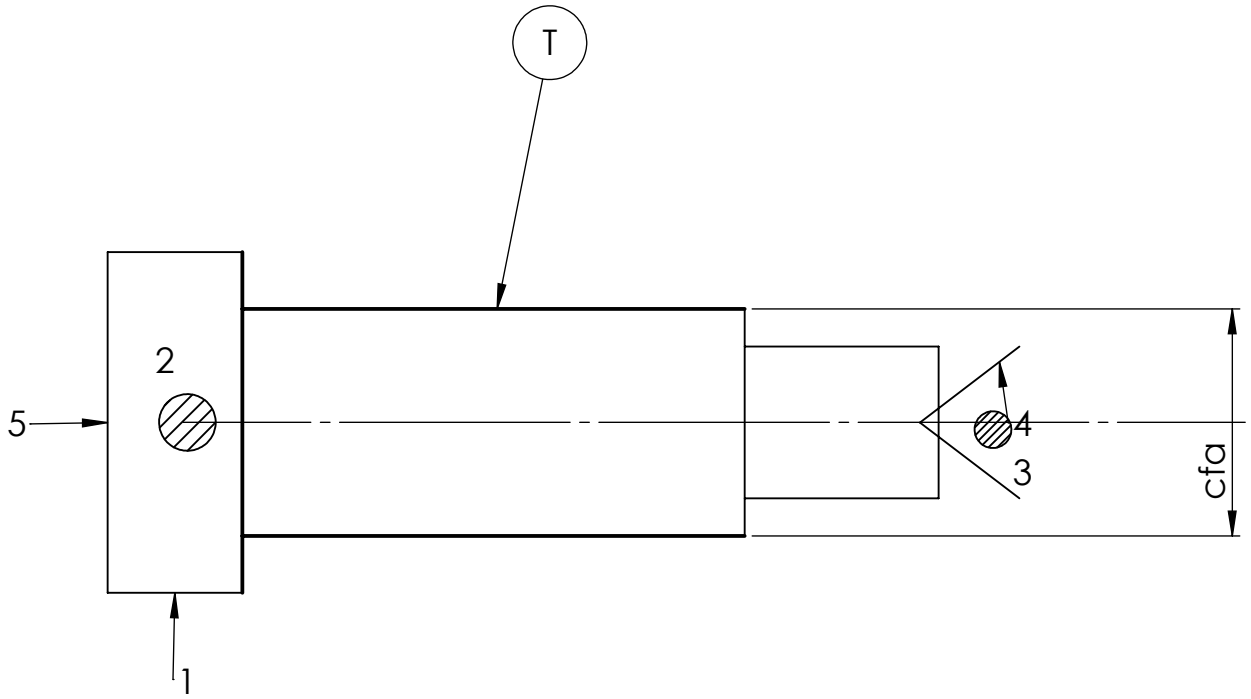


Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston inférieur

Matiere: acier xc 48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine utilisées	outils et appareillages	contrôle
200	**Opération: Tournage** **Sous phase250:** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par un montage mixte -centrage court avec 2 normale (1,2) -une pointe tournante avec 2 normale (3,4) -appui ponctuel 1normale(5) et en prévoir un serrage. **opération 251:** chariotage de **3E** **opération 252:** chariotage de **3 1/2F** **opération 253:** chariotage de **3F** T: Trempe et revenu cfa = 39 ±0.1 1.6 . ⌭ 0.05 ◎ ∅ 0.05 5	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil àcharioter (coteau) à plaquette amovible en carbure métalique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel -une pointe tournante	pied à coulisse

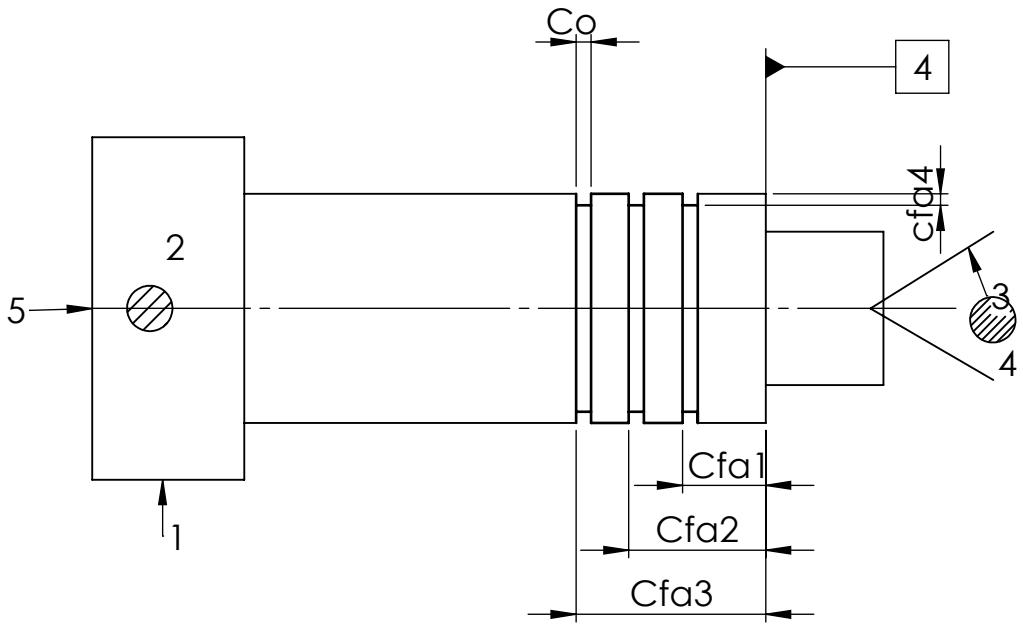
Croquis de la piéce



Enssemble: Enceinte de frittage sps
organe: piston inférieure

Matiere: acier xc 48
BRUTE: laminée
cadence: travail unitaire

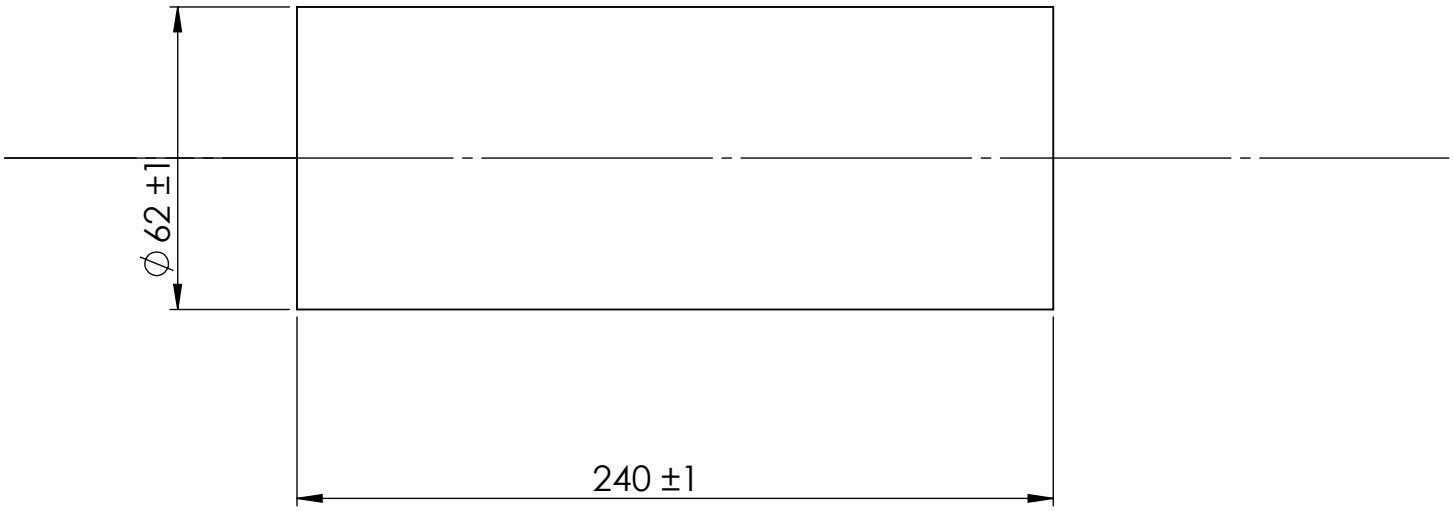
N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Apareillage et outils	Côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:260** piece au montage : Referéntiel de départ est definir par : • centrage court (liaison lineaire annulaire avec 2 Normalee (1,2) • une pointe tournante avec 2 normale (4,5) • une butée (appui ponctuel) avec 1 Normale (5) et en prévoir un sérage oposée aux appuis **opération261:** realisation de la gorge 1 **(6F)** **opération 262:**réalisation de la gorge 2 **(7F)** **opération 263:** realisation de la gorge N° 3 **(8F)** Co=3; Cfa 1=20±0.1; Cfa 2=35±0.1 Cfa 3=50±0.1; Cfa4=2±0.1	Tour parallélе	**outils coupants:** outil de gorge (forme) **moyens de prise:** -mondrain universsel -pointe tournante	pied à coulisse



Les feuilles d'analyse de fabrication:
J- Feuille d'analyse du piston spérieure

Enssemble: Enceinte de frittage sps **Organe:** piston supérieure	**Matiere:** Acier Xc48 **BRUT: laminé** **Cadence:** travail unitaire

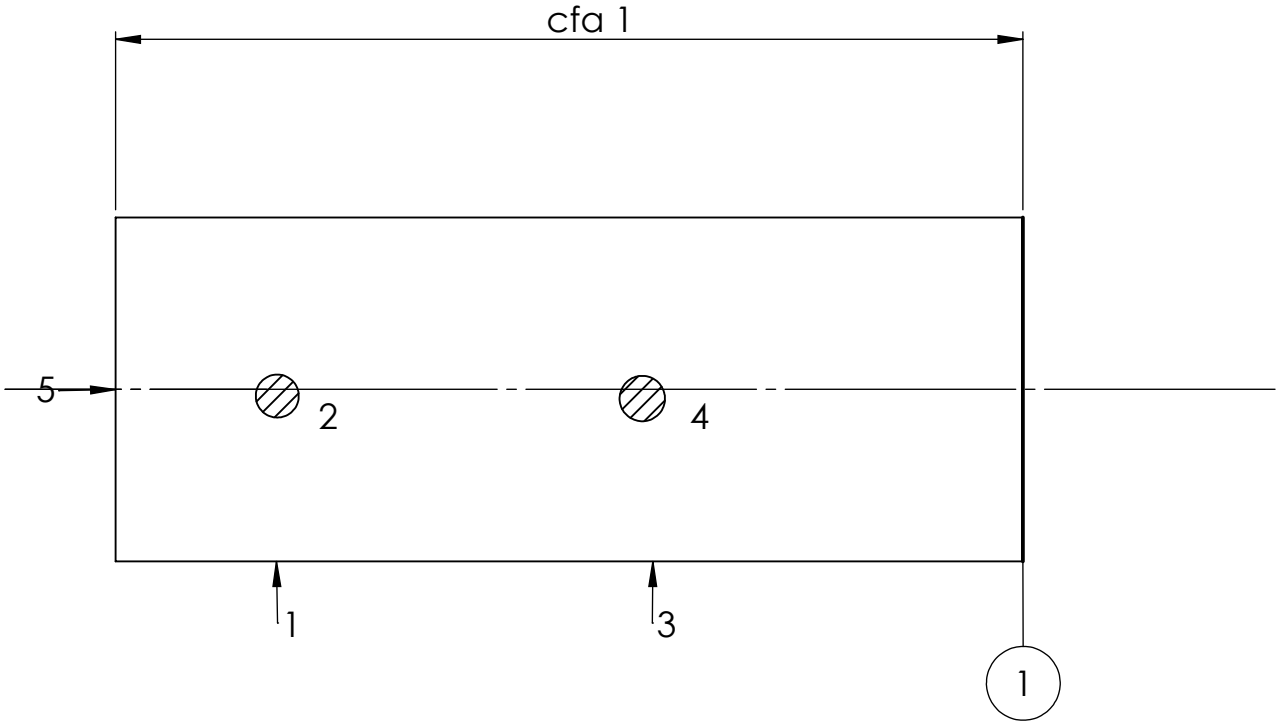
N° de phase	designation des sous phases et opérations	machine utilisée	moyens de côntroles
100	Tronçonnage du brut	scié mécanique	Régle graduée



Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc48
Brute:laminée
Cadence: travail unitaire

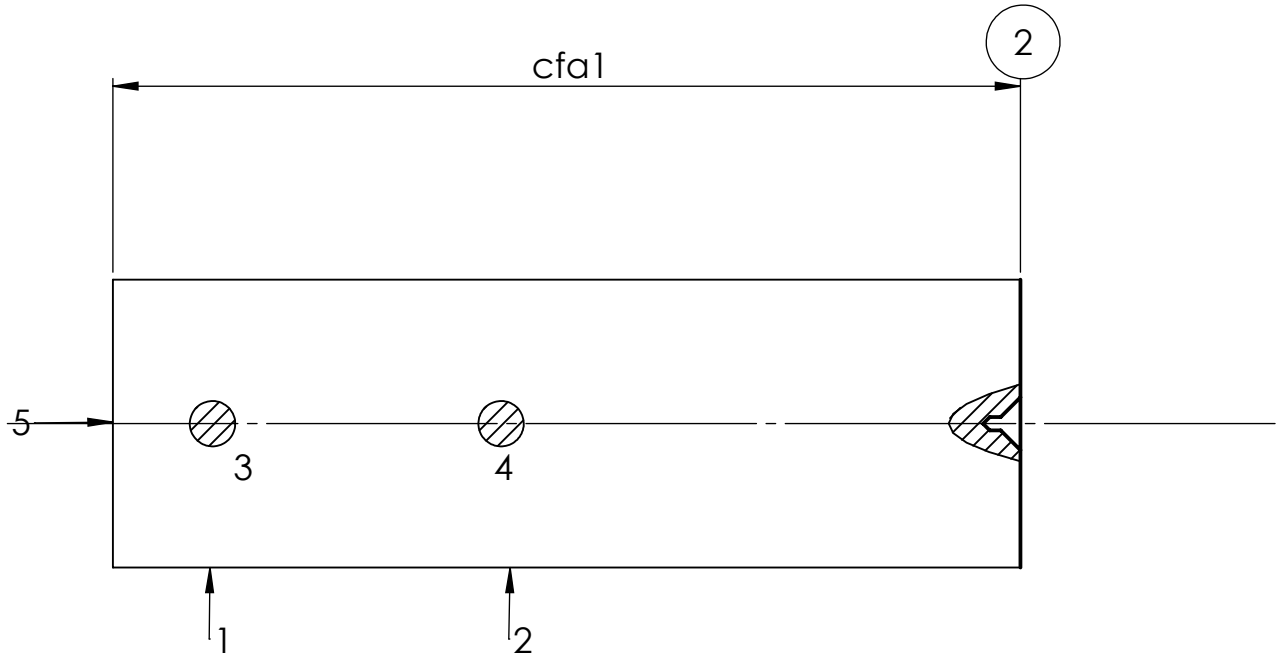
N° phase	désignation de sous phase et opération	Machine	outis et appareillage	contrôles
200	tournage: sous phase 210: montage de la piece: Référentiel de départ definir par un centrage long et une butée . - centrage long (1,2,3,4) -un appui ponctuel (5) avec un serrage opposée aux appui oppéeration 211 : realisation d'un dressage pour la surface 1 F cfa1=227 ±0.5 ▱ 0.1	Tour parrallèle	Outils coupants: outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° Moyens de prise: mandrin univessel (3 mors)	pied a coulisse



Enssemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Superieur

Matiere: acier xc 48
BRUTE: laminée
Cadence: travail unitaire

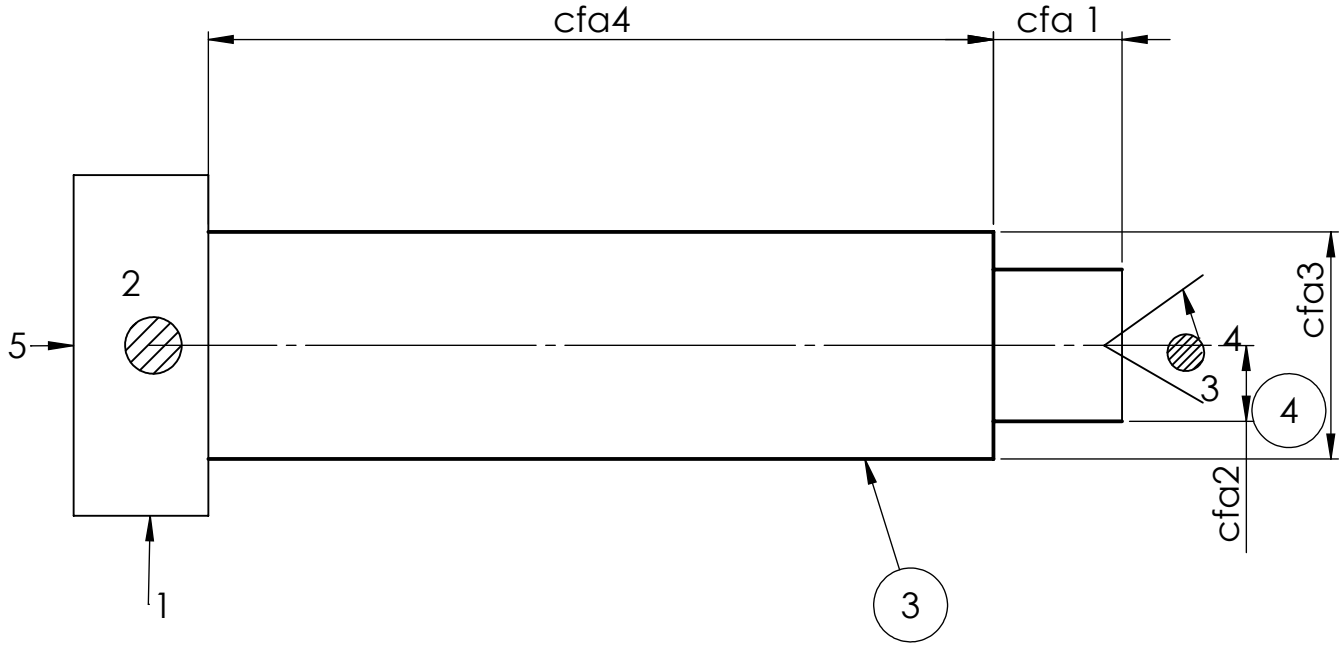
N° de phase	Désignation de sous phases et opérations	Machine	outils ET appareillage	côntrole
200	**tournage:** **sous phase 220:** montage de la piece: Réferentiel de départ est definir par un centrage long et une butée . un centragelong (1,2,3,4) • appui ponctuel (5) avec un serrage opposée aux appuis **oppéeration 221** : dressage **2F** **opération 222:** realisation d'un trou de centrage cf1=225mm ±0.5	Tour parallèle	**Outisl coupants:** -outil à dresser à plaquette amovible en carbure métallique à 45° - outil à centrer **Moyens de prise:** mandrin univeressel (3mors) foret à centrer	pied a coulisse



Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc 48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

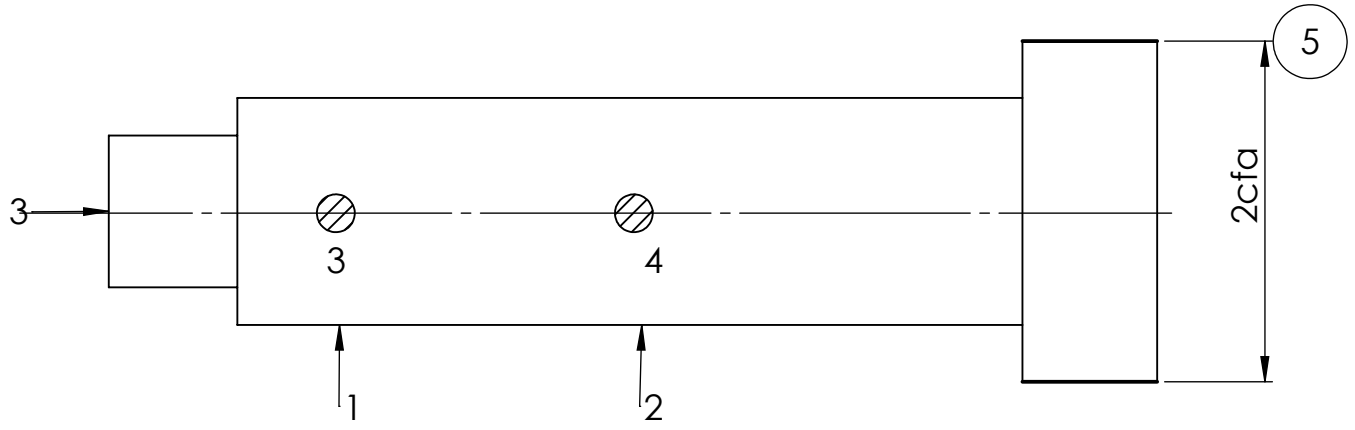
N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine	outils et appareillages	contrôle
200	**Tournage** **Sous phase230:** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par un montage mixte -centrage court avec 2 normale (1,2) -une pointe tournante avec 2 normale (3,4) -liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un sérrage oposée aux appuis . **opération 231:** Realisation d'epaulement **3F.** cfa 4=210±0.25mm; cfa 3=41 ±0,25 **opération 232:** Realisation d'un épaulement **4F.** cfa 1= 50±0.25 mm;cfa 2=15±0.25	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil àcharioter (couteau) à plaquette amovible en carbure métalique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel -une pointe tournante	pied à coulisse



Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc 48
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

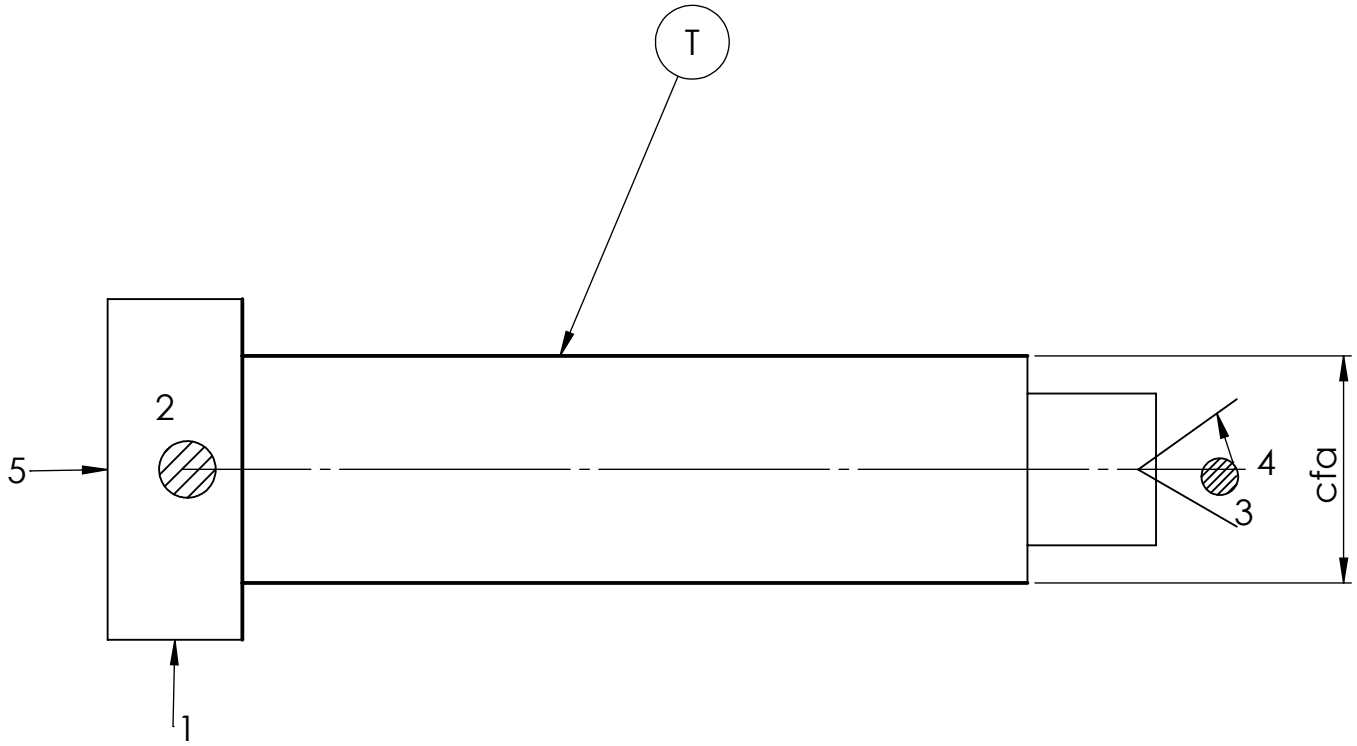
N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine	outils et appareillages	contrôle
200	**Tournage** **Sous phase240:** piece au montage**:** Referentiel de départ est definir par : -centrage long avec 4normale (1,2,3,4) -liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un sérrage concentrique . **opération 241:** chariotage **5F** 2cfa=60±0.5. ◎ 0.05 3	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à charioter à plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel	pied à coulisse



Ensemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc 48 (trempeet revenu)
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

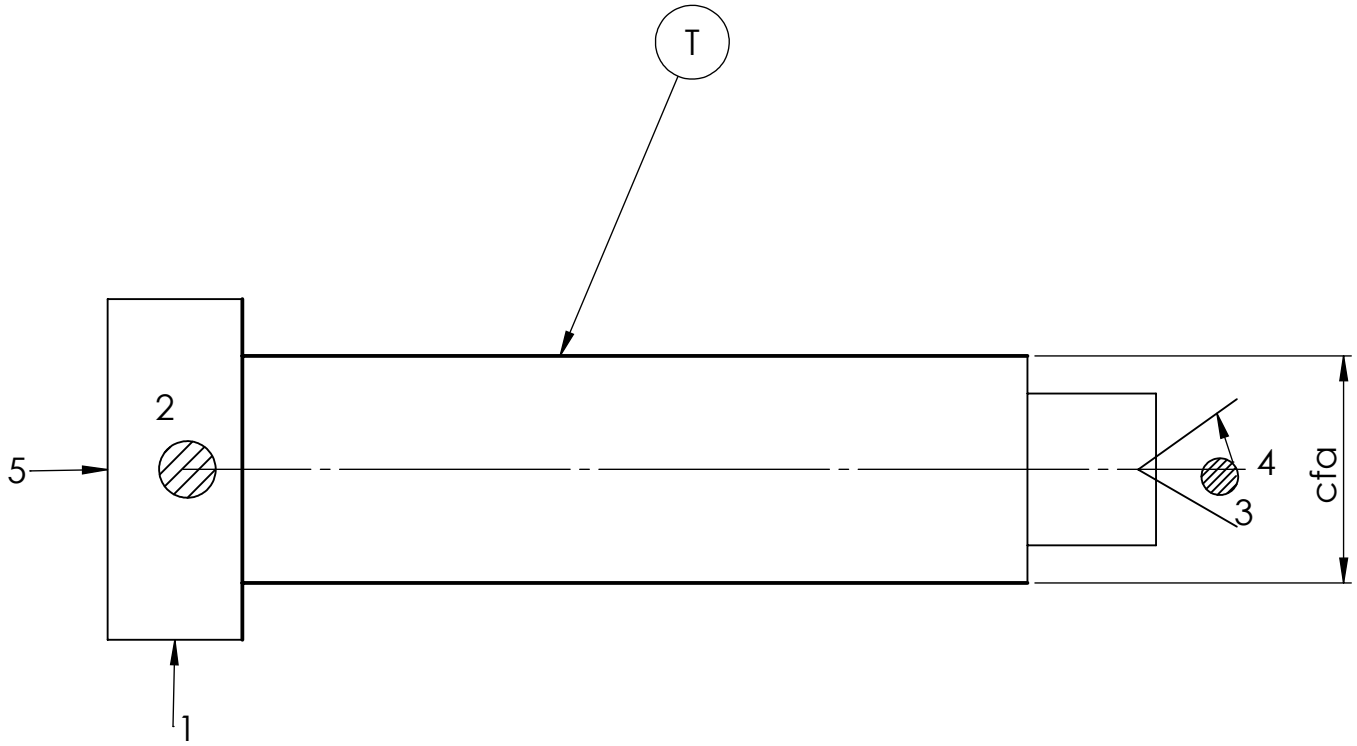
N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine	outils et appareillages	contrôle
200	**Opération: Tournage** **Sous phase250:** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par un montage mixte -centrage court avec 2normale (1,2) -une pointe tournante avec 2 normale (3,4) -liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un serrage. **opération 251:** chariotage de 3**E** **opération 252:** chariotage de **3 1/2F** **opération 253:** chariotage de **3F** T: trempe et revenu 1.6 cfa = 39 ±0.1 . ⌭ 0.02	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil à charioter (coteau) à plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel -une pointe tournante	pied à coulisse



Ensemble: outil de frittage sps
organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc 48 (trempeet revenu)
Brute: laminée
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phase et opération	Machine	outils et appareillages	contrôle
200	**Opération: Tournage** **Sous phase250:** **piece au montage:** Referentiel de départ est definir par un montage mixte -centrage court avec 2normale (1,2) -une pointe tournante avec 2 normale (3,4) -liaison ponctuelle avec 1normale(5) et en prévoir un serrage. **opération 251:** chariotage de 3**E** **opération 252:** chariotage de **3 1/2F** **opération 253:** chariotage de **3F** T: trempe et revenu 1.6 cfa = 39 ±0.1 . /a/ 0.05 ◎ ∅ 0.05 5	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil àcharioter (coteau) à plaquette amovible en carbure métallique à 90° **Moyens de prise:** -un mandrin universsel -une pointe tournante	pied à coulisse

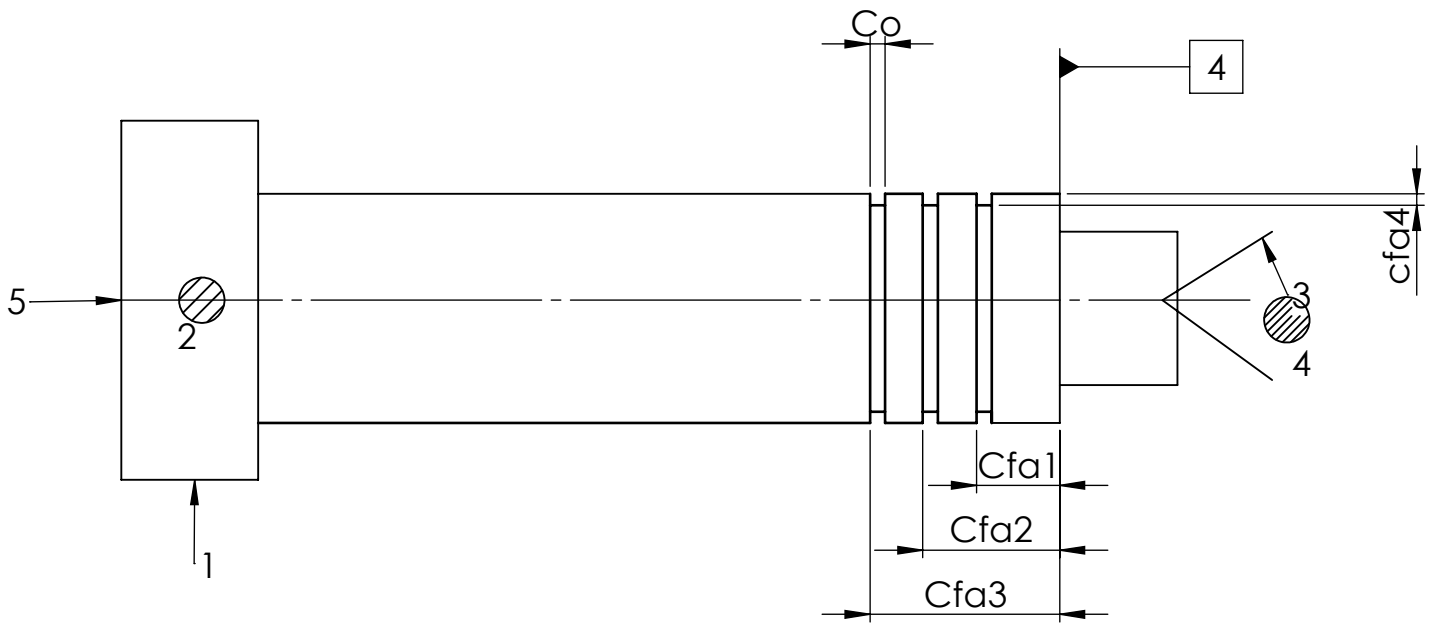


Enssemble: Enceinte de frittage sps
Organe: piston Supérieur

Matiere: acier xc 48
BRUTE: laminée
Cadence: travail unitaire

N° de phase	Designation de sous phases et opérations	Machine	Apareillage et outils	Côntrole
200	**Tournage:** **Sous phase:260** piece au montage : Referentiel de départ est definir par : -centrage court avec 2 Normales (1,2) -une pointe tournante avec 2 normale (4,5) -une butée (appui ponctuel) avec 1 Normale (5) et en prévoir un sérrage oposée aux appuis **opération261:** realisation de la gorge **6F** Cfa 1=20±0.1 **opération 262:**réalisation de la gorge **7F,**Cfa 2=35±0.1 **opération 263:** realisation de la gorge **8F;** Cfa 3=50±0.1 Co=3.60 ; cfa4 =3.20±0.05	Tour parallèle	**Outils coupants:** outil de gorge (forme) **Moyens de prise:** -mandrin universsel -pointe tournante	pied à coulisse

Croquis de la piéce



Etude de fabrication

Feuille d'analyse de la chemise supérieure en acier

Feuille d'analyse de la base

Feuille d'analyse du bloc

Feuille d'analyse du Couvercle

Feuille d'analyse de la chemise inférieure en acier

Feuille d'analyse de la chemise inférieure en téflon

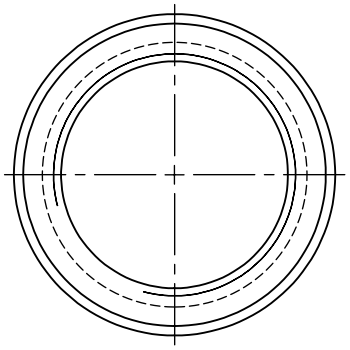
Feuille d'analyse du piston inférieur

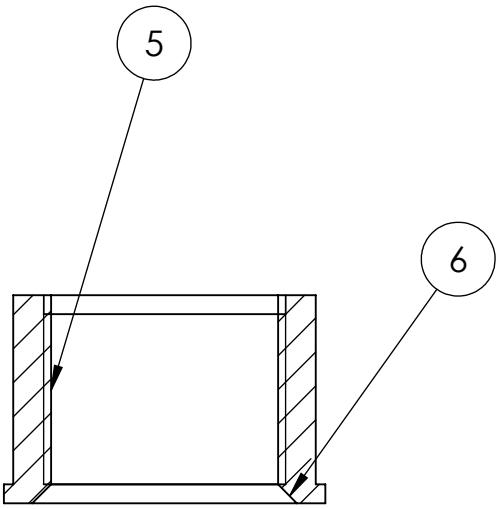
Feuille d'analyse du piston Supérieur

Feuille d'analyse de la porte de chambre

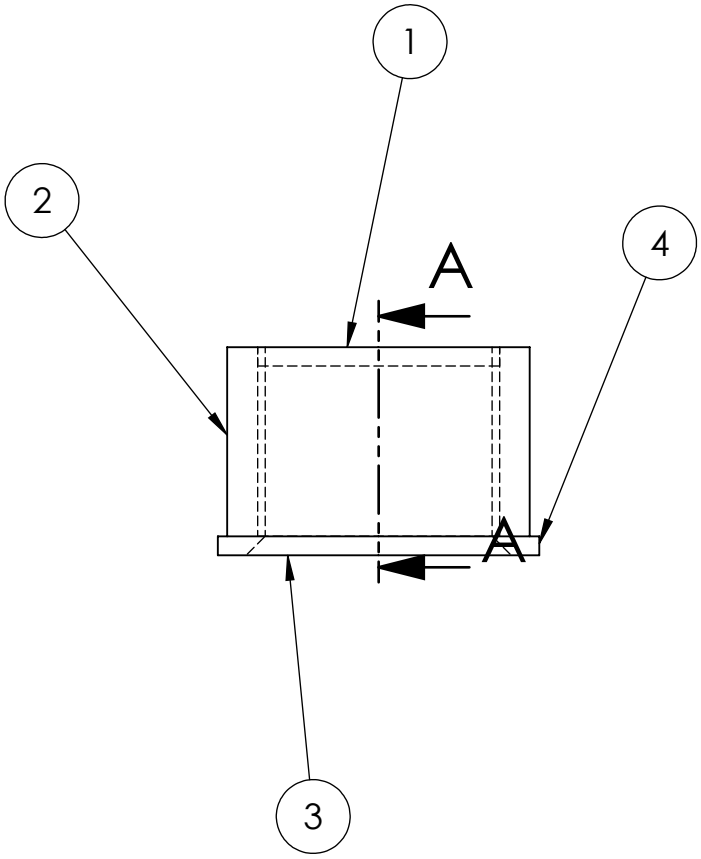
Feuille d'analyse de la chemise supérieure en téflon

Repérage de surfaces élémentaire de chemise en teflon inférieure

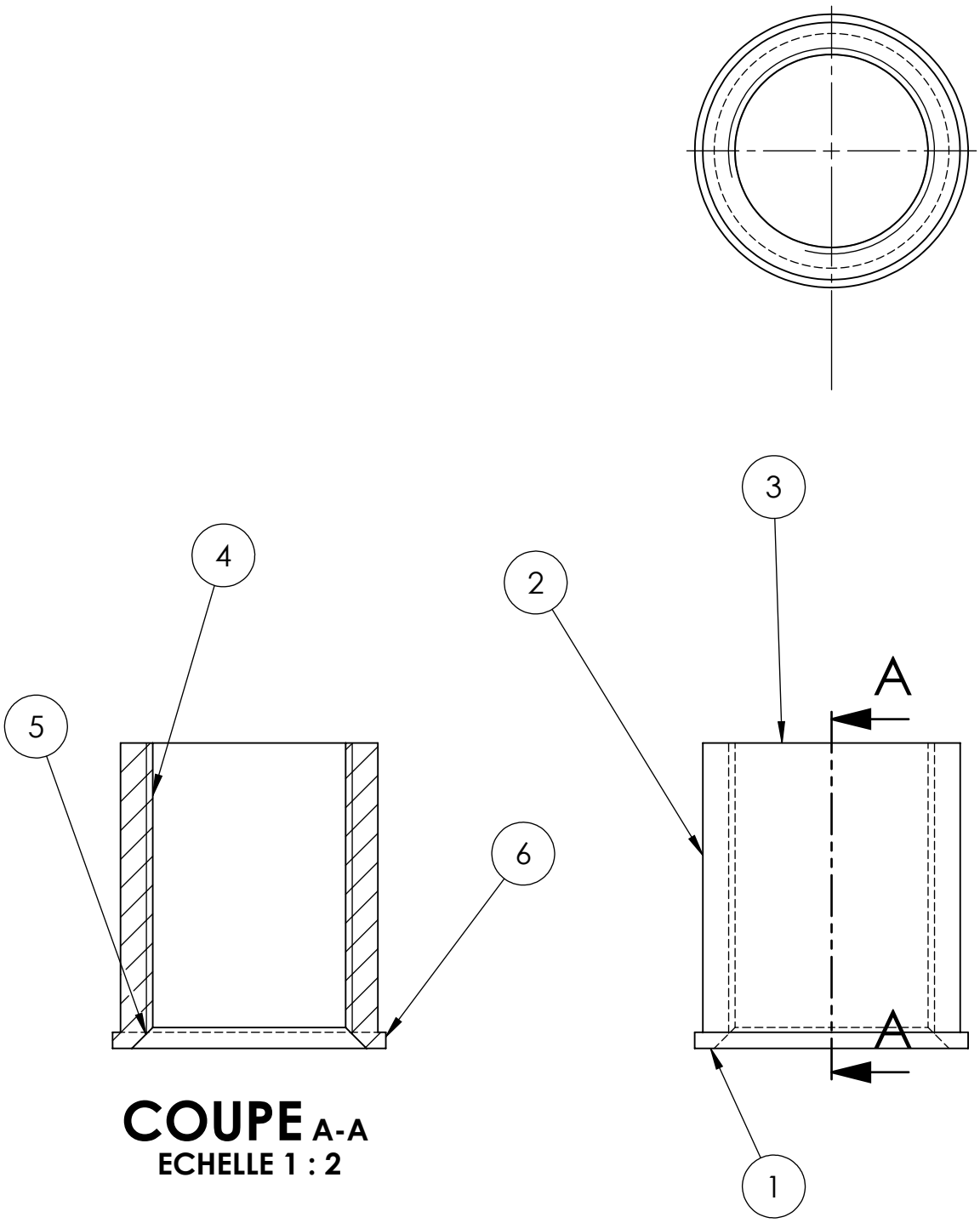




COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

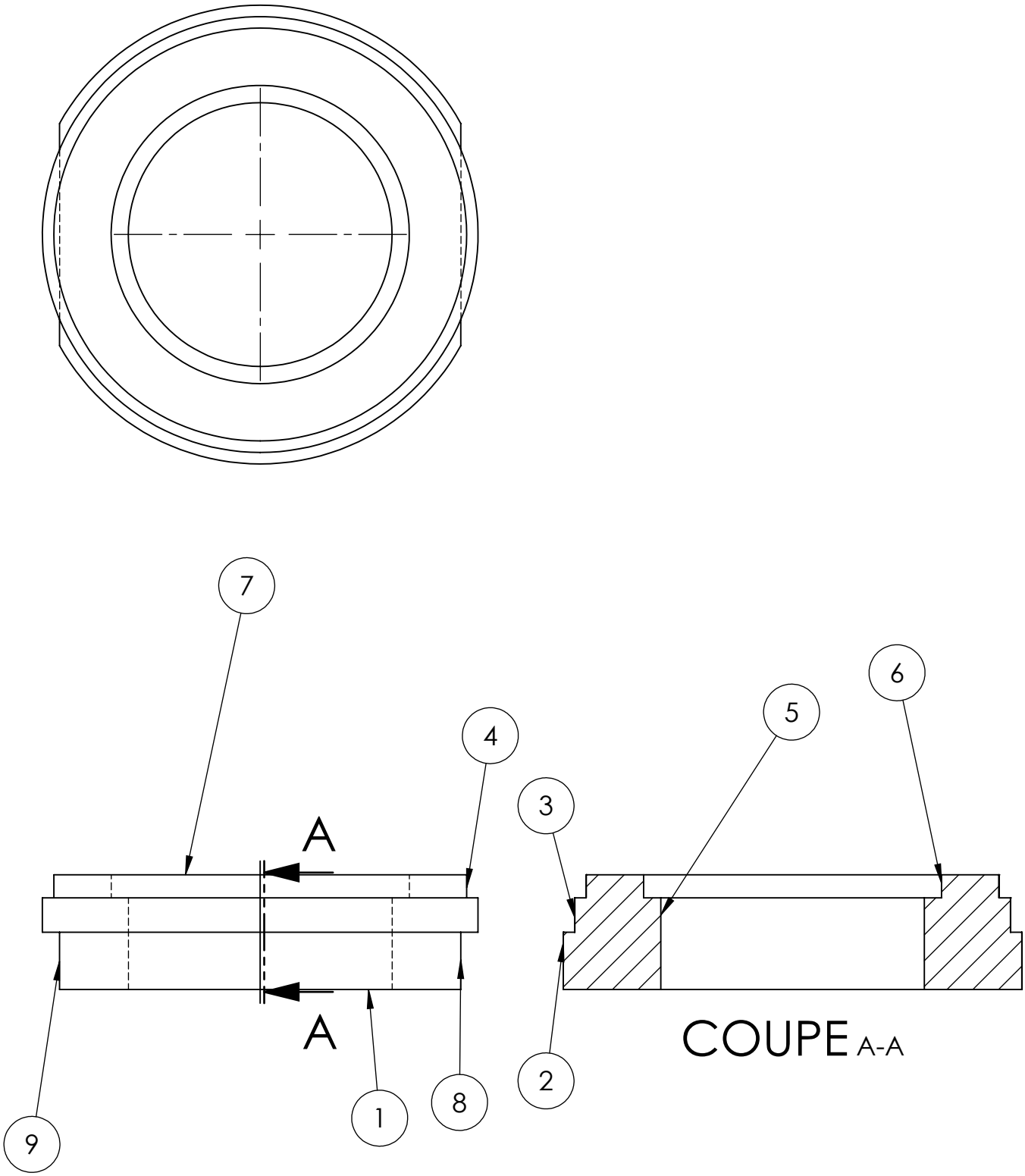


Repérage de surfaces élémentaires de la chemise en Teflon supérieure

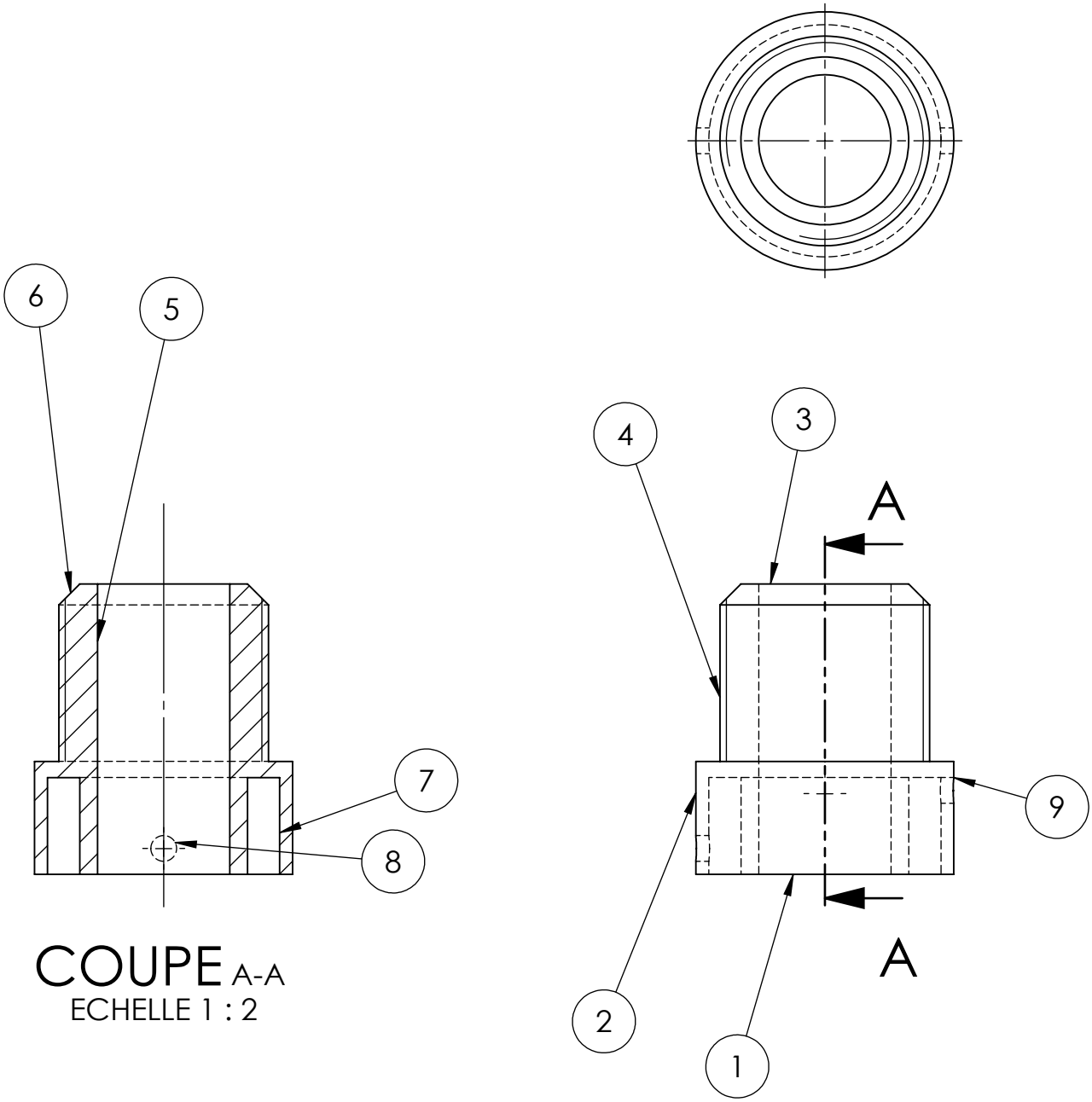


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

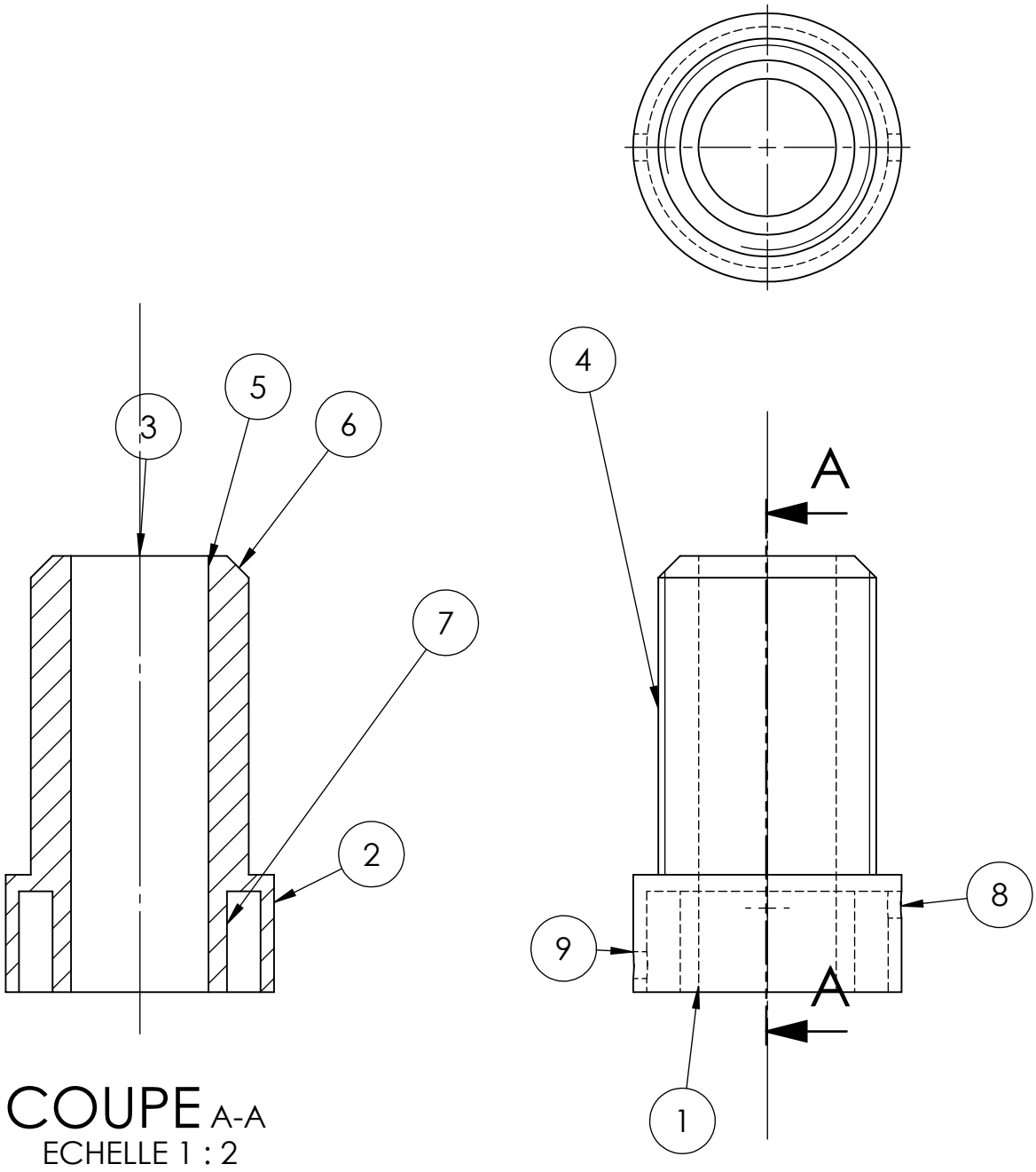
Repérage des surfaces élémentaires du couvercle



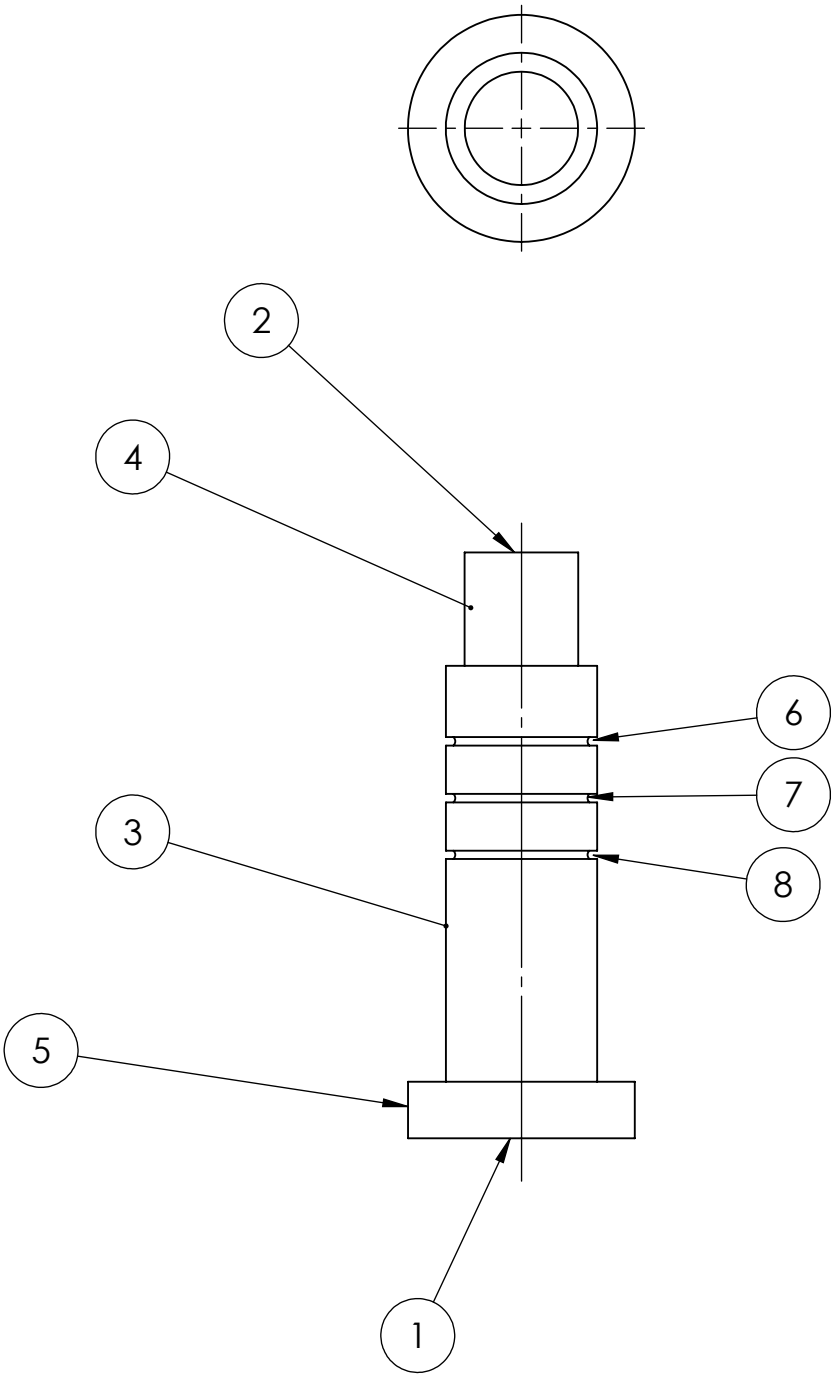
Repérage des surfaces élémentaires de la chemise en Acier inférieure



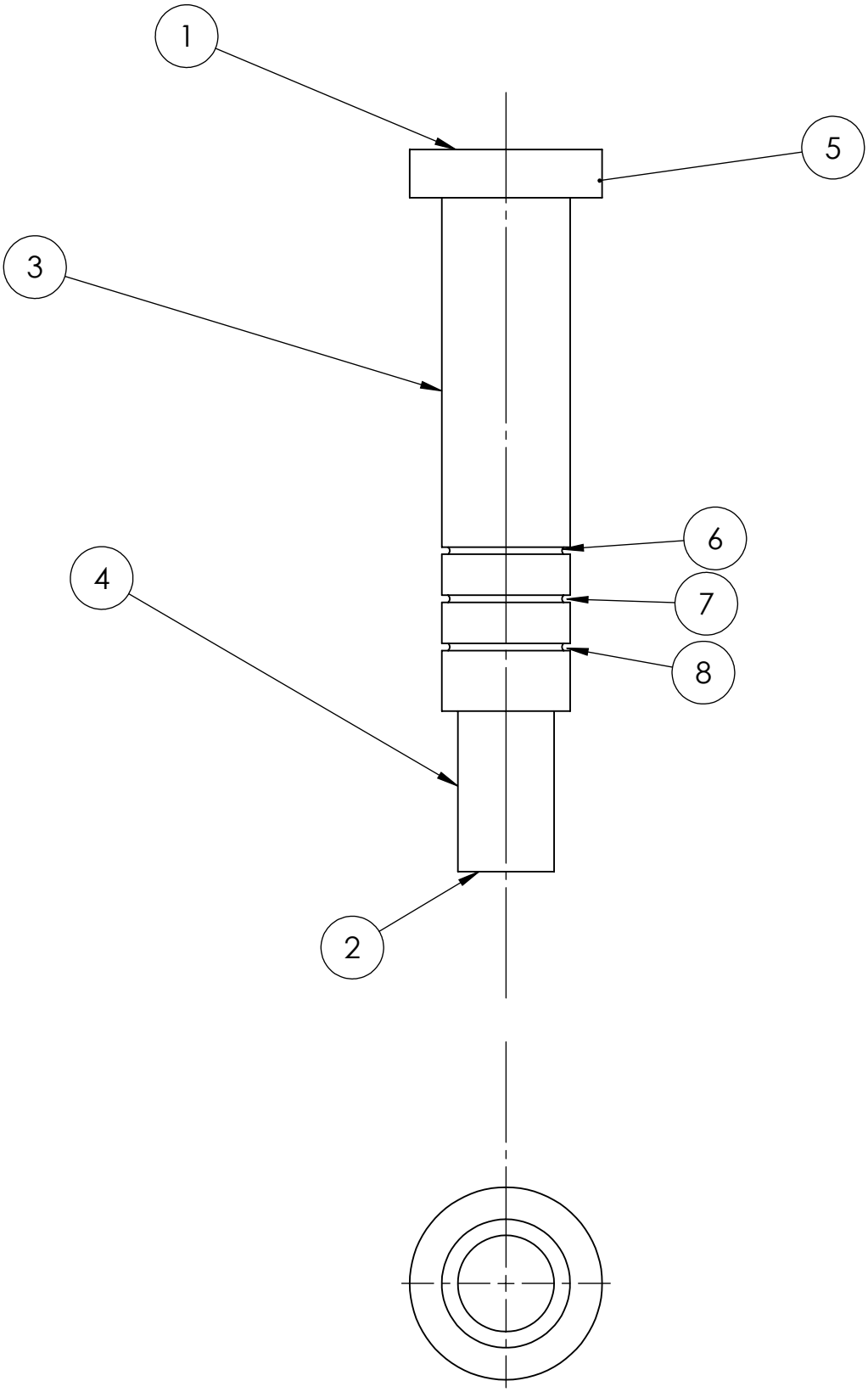
Repérage des surfaces élémentaires de la chemise en Acier supérieure



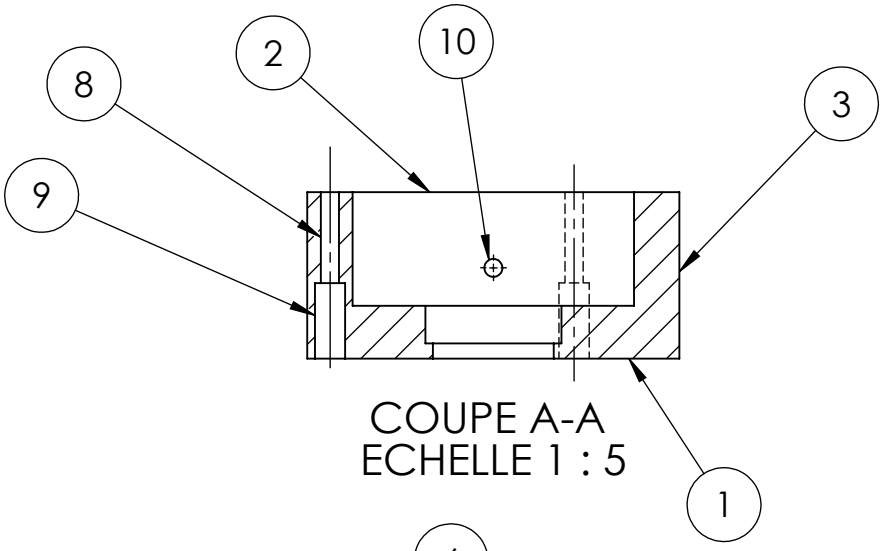
Repérage des surfaces élémentaire de piston inférieure



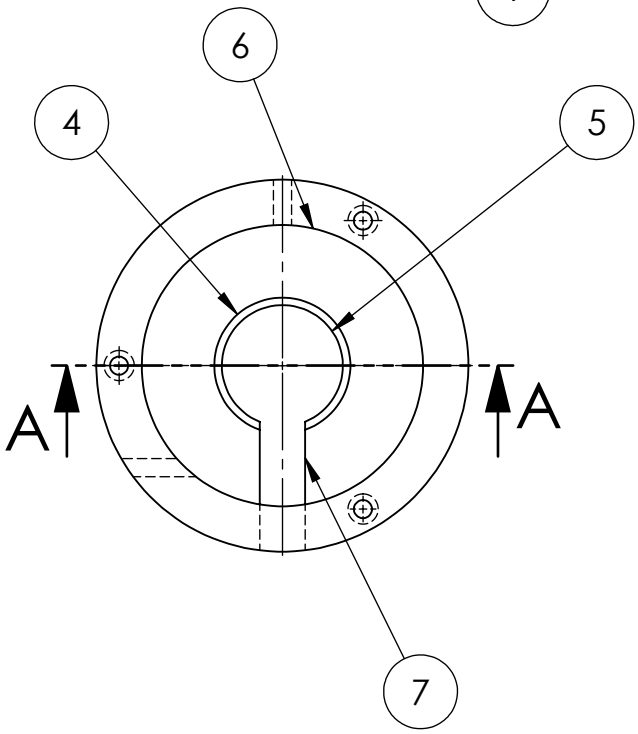
Repérage de surfaces élémentaire de piston Supérieure



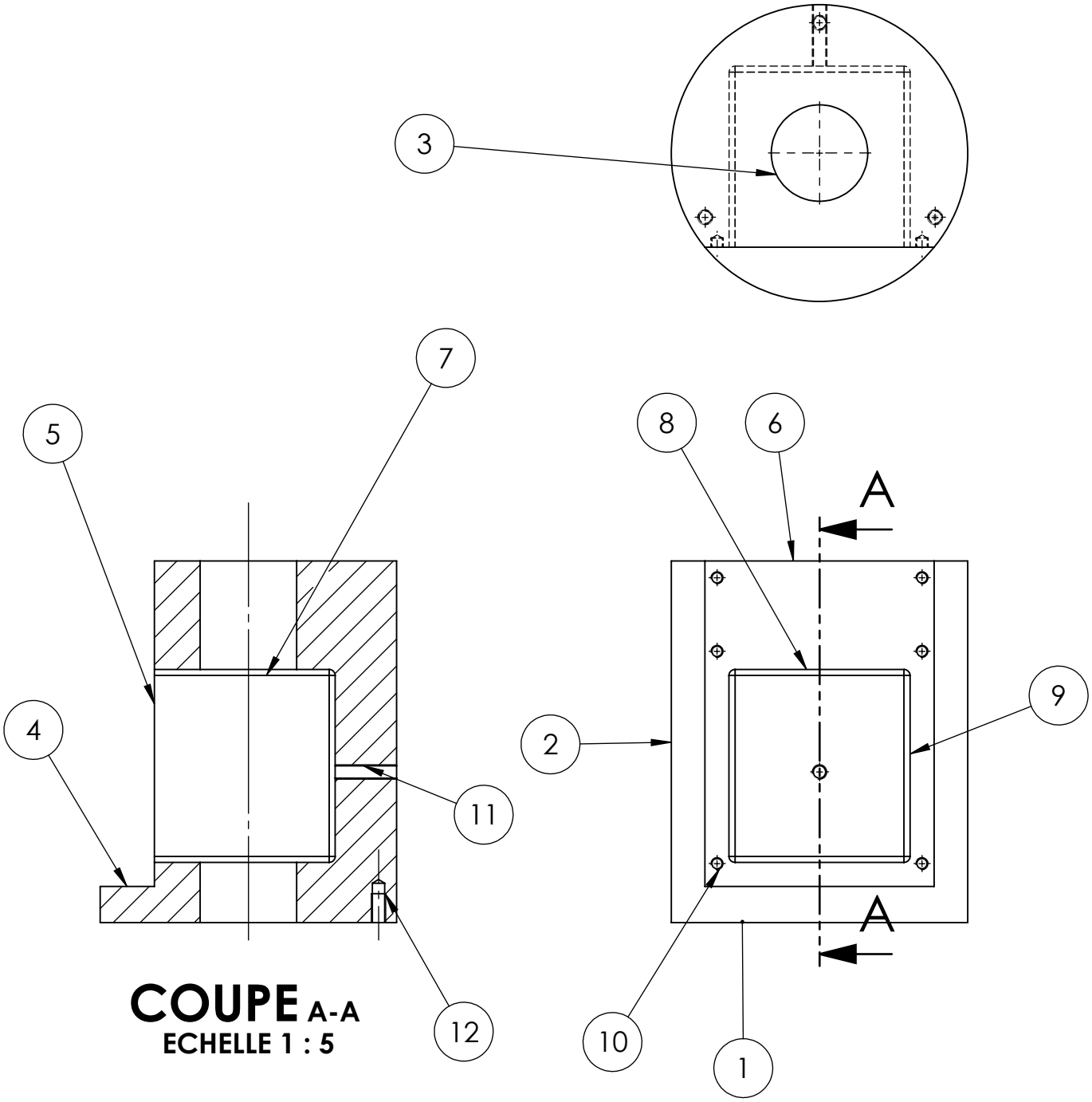
Repérage des surfaces élémentaires de BASE



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5



Repérage des surfaces élémentaires de BLOC:



Conclusion générale

Conclusion générale

Afin d'élaborer un matériau ou une pièce métallique tenace et dure à partir d'une poudre métallique sans la faire passer par le procédé d'usinage par enlèvement de matière.

Dans ce travail nous avons étudié la possibilité d'effectuer un frittage assisté par un courant électrique (effet joule) et l'application d'une pression simultanément, ce qui nous a amenés à concevoir une enceinte de frittage sous charge qui est alimentée par un courant électrique à travers les deux (02) pistons (supérieur et inférieur).

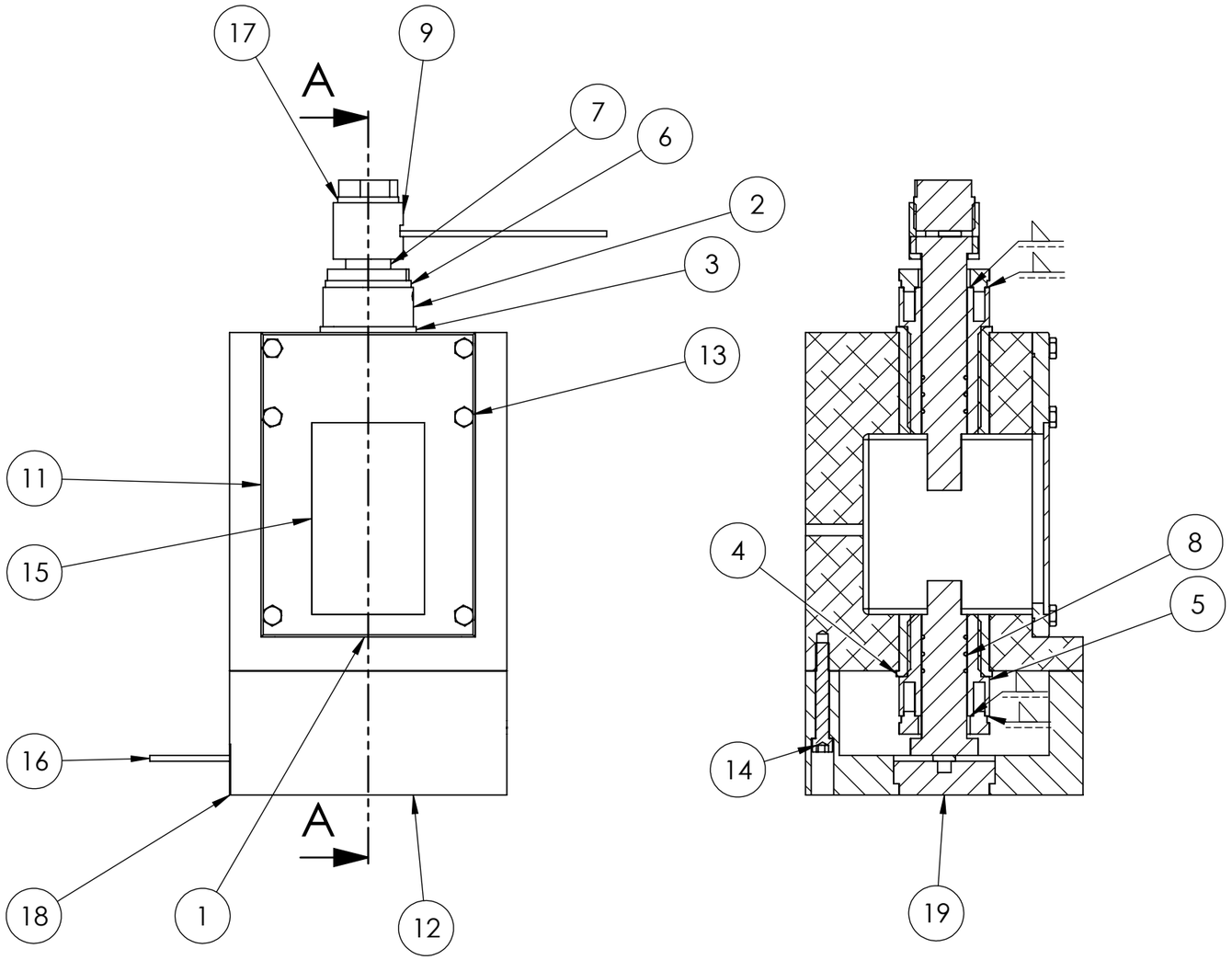
Son principe de fonctionnement est de chauffer la poudre sans la mener jusqu' à la fusion, ce qui mène les grains à se souder entre eux pour assurer la cohésion de la pièce.

L'enceinte a été réalisée au hall technologique du département de génie mécanique. Elle est constituée de deux pistons en acier XC48 trempé et revenu afin de résister à des températures assez élevées, engendrées par effet joule lors du frittage

La réalisation de cette enceindre doit répondre aux exigences de fonctionnement à savoir une étanchéité pour travailler sous gaz protecteur et le passage du courant électrique à travers la poudre pour assurer le chauffage par effet Joule tout en appliquant une compression destinée à densifier le matériau.

Ceci nous a amenés à prévoir une série de joints toriques autour des pistons et au bord de la fenêtre vitrée. De plus le courant électrique ne devant pas circuler dans le corps de l'enceinte ce qui nous a poussés à utiliser des chemises en téflon pour l'isolation électrique.

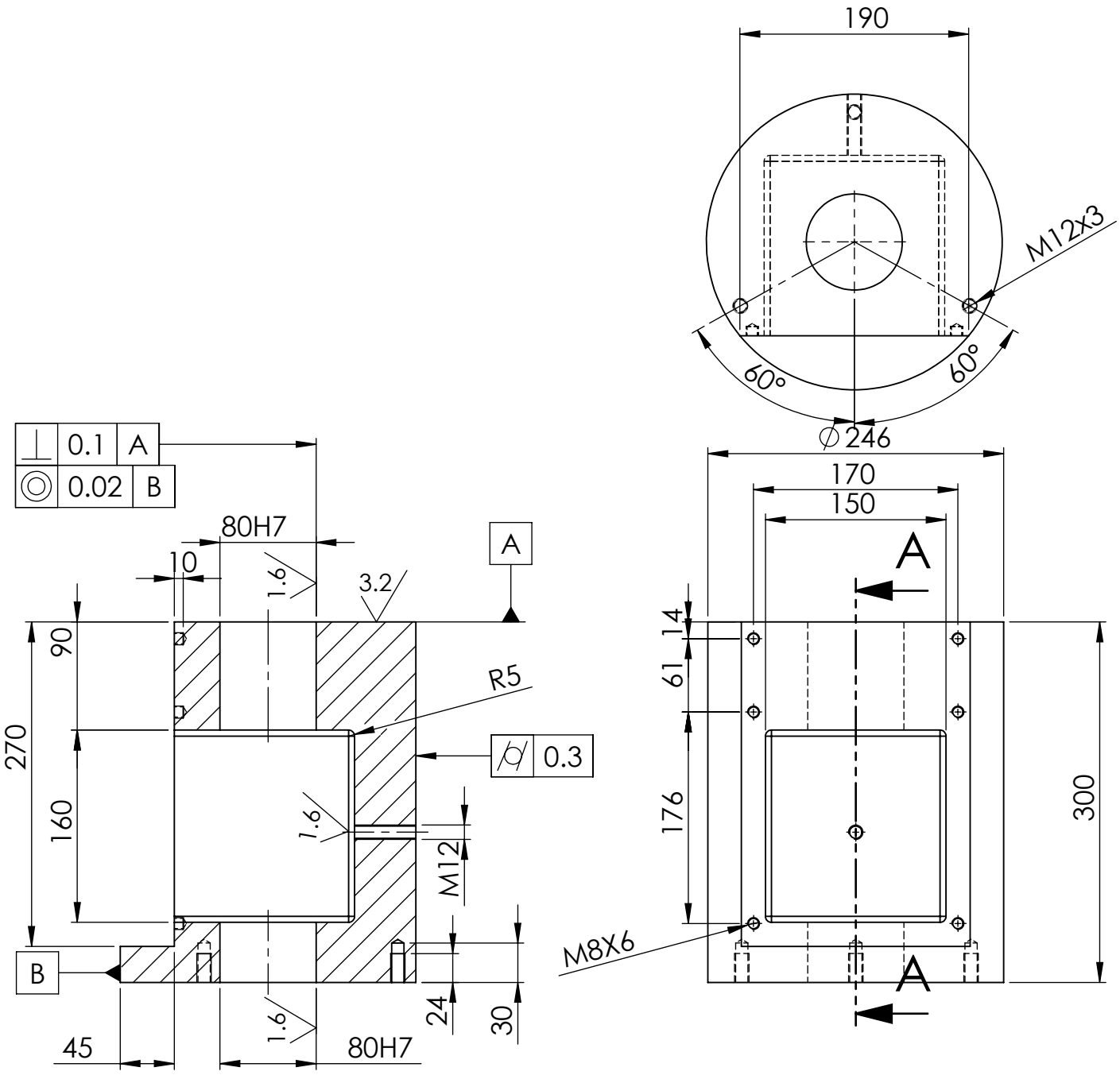
Nous souhaitons que ce dispositif soit utilisé au laboratoire de SDM pour des expériences de frittage SPS sous charge.



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
18	1	Cale	Téflon	
17	1	Isolant	Téflon	
16	1	Boulon	XC48	
15	2	TIGE	Cuivre	
14	1	VERRE	VerreTromper	
13	3	Vis m12X1.75		
12	6	Vis M8x1.25		
11	1	Base	Alpax	
10	1	Porte de la chambre	Alpax	
9	1	Sous Assemblage piston joint Torique inférieur	XC48 caoutchou	Piston: trempe et revenu
8	1	Ecrou de fixation	XC48	
7	1	Sous Assemblage Piston- joint Torique supérieur	XC48 caoutchou	Piston: trempe et revenu
6	2	Couvercle	A60	
5	1	Chemise Acier Inférieure	A60	
4	1	Chemise en Teflon Inférieure	Téflon	
3	1	Chemise en Teflon Supérieure	Téflon	
2	1	Chemise Acier Supérieure	A60	
1	1	Bloc	Alpax	

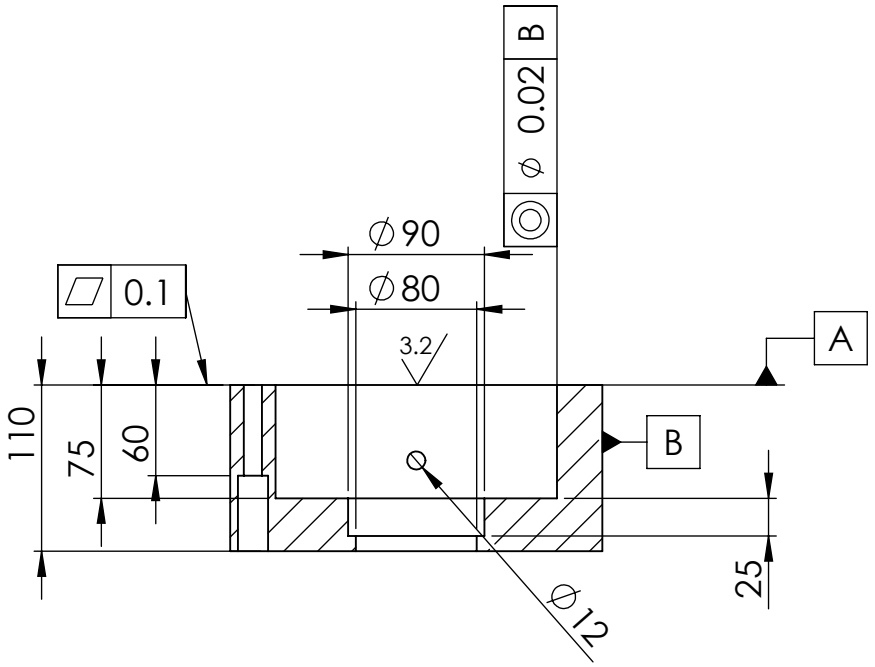
Echelle: 1:5	**Conception d'une enceinte de frittage SPS**	**Réalisé par :** **- Moussoum** **- Boukhalfa**
		Projet de fin d'etudes
A3	**Université de MOULOUD MAMMERI T.O**	**Octobre 2017**



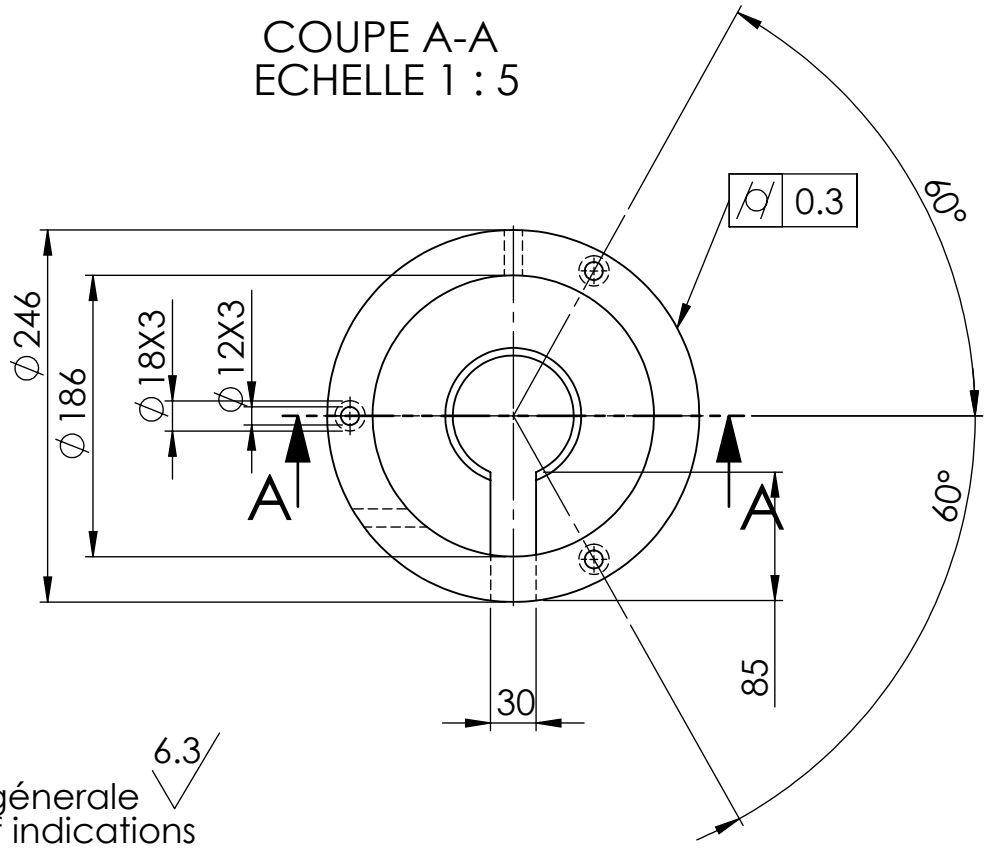
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

Ra=6.3 sauf indication
IT=±0.5; sauf indications

1	1	BLOC	Alpax	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation
Echelle: 1:5		CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS		Réalisé par: MOUSSOUM BOUKHALFA
				projet d fin d'etudes
A4		Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		octobre 2017

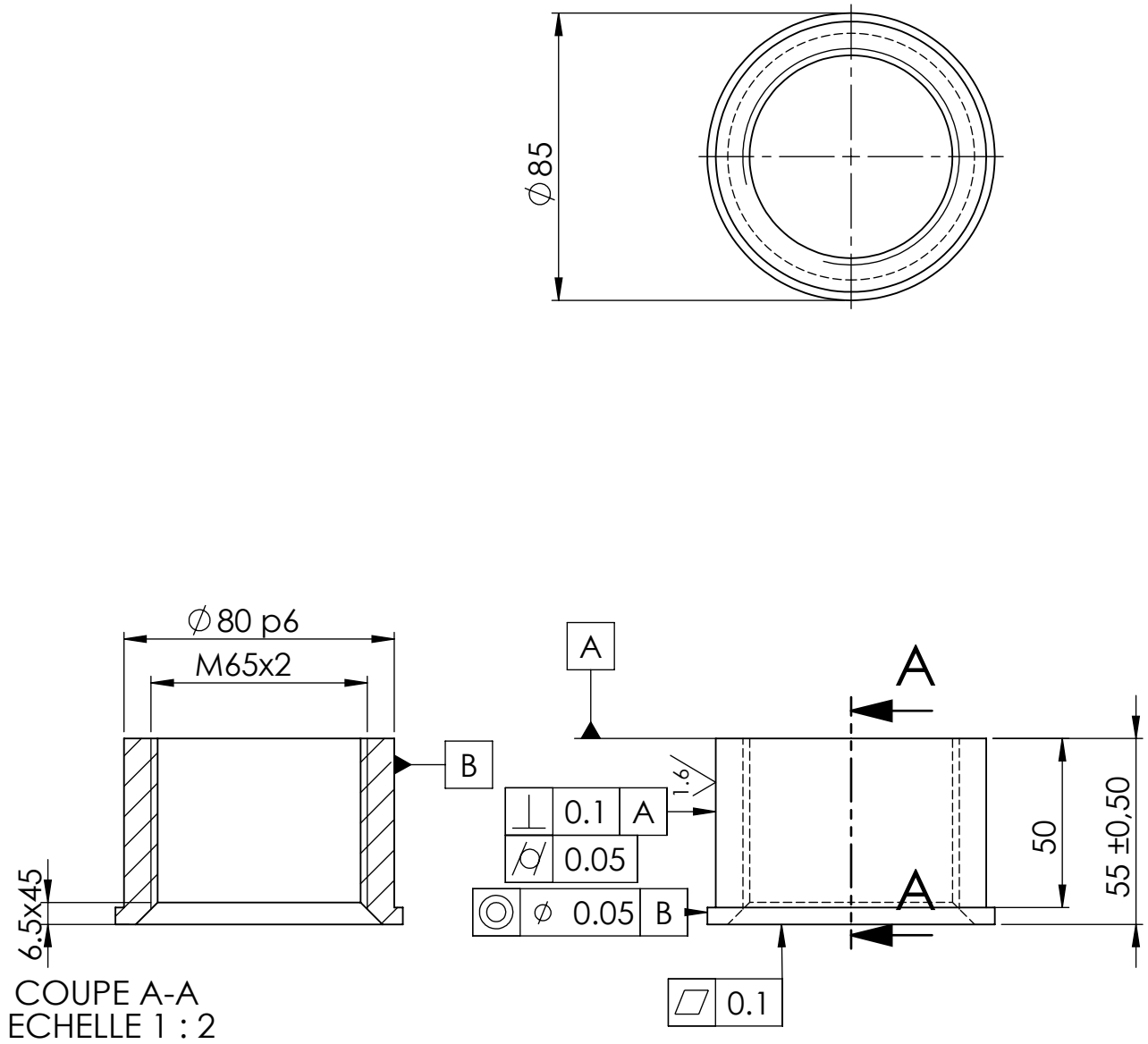


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5



6.3
Rugosité génerale
IT=0.5 sauf indications

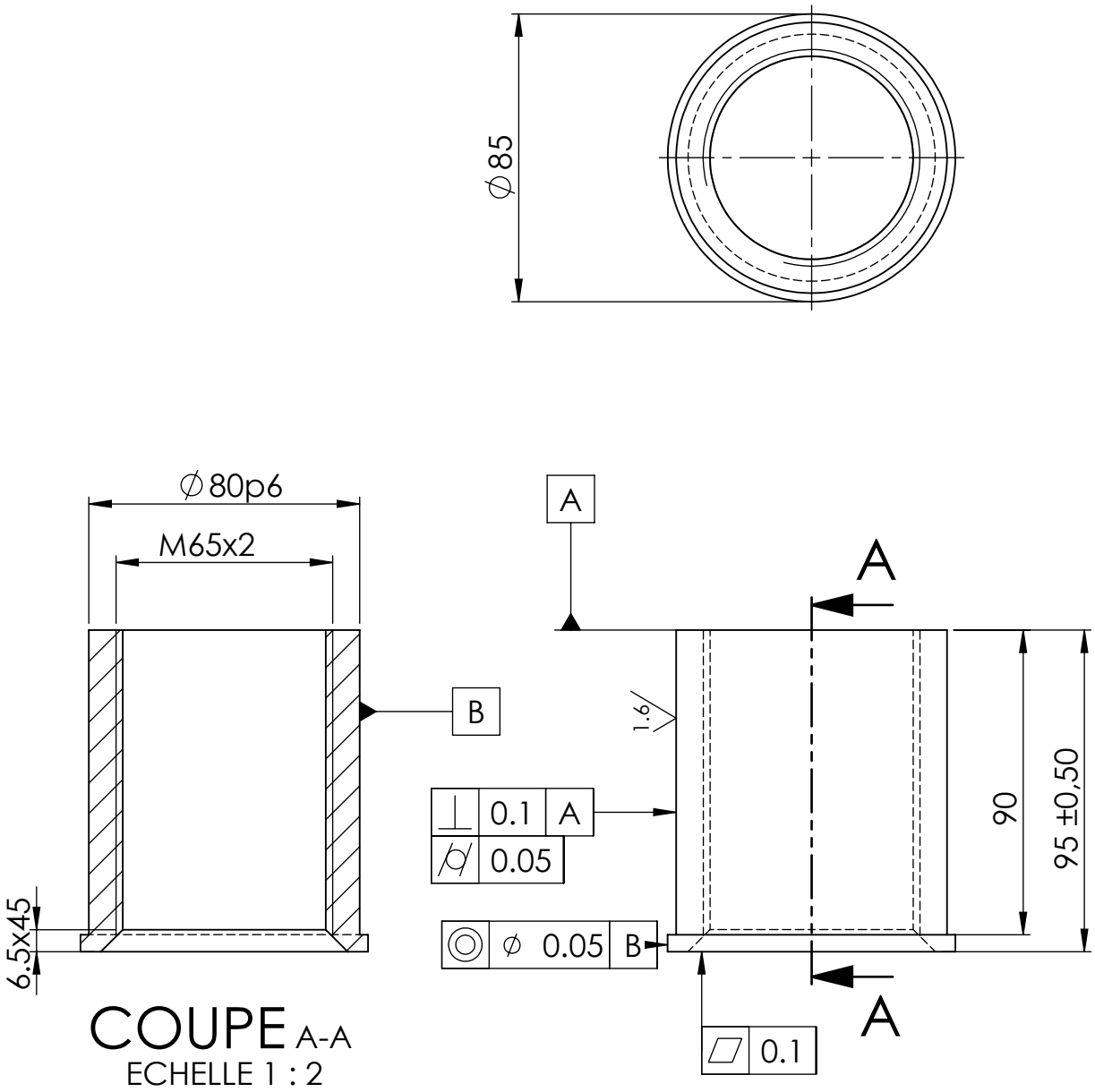
2	1	**BASE**	**ALPAX**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**
Echelle: 1:5		**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**		**Réalisé par: moussoum boukhalfa**
				projet d fin d'etudes
A4		**Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**		**octobre 2017**



; Etat de surfaces non spécifiés Ra=6.3

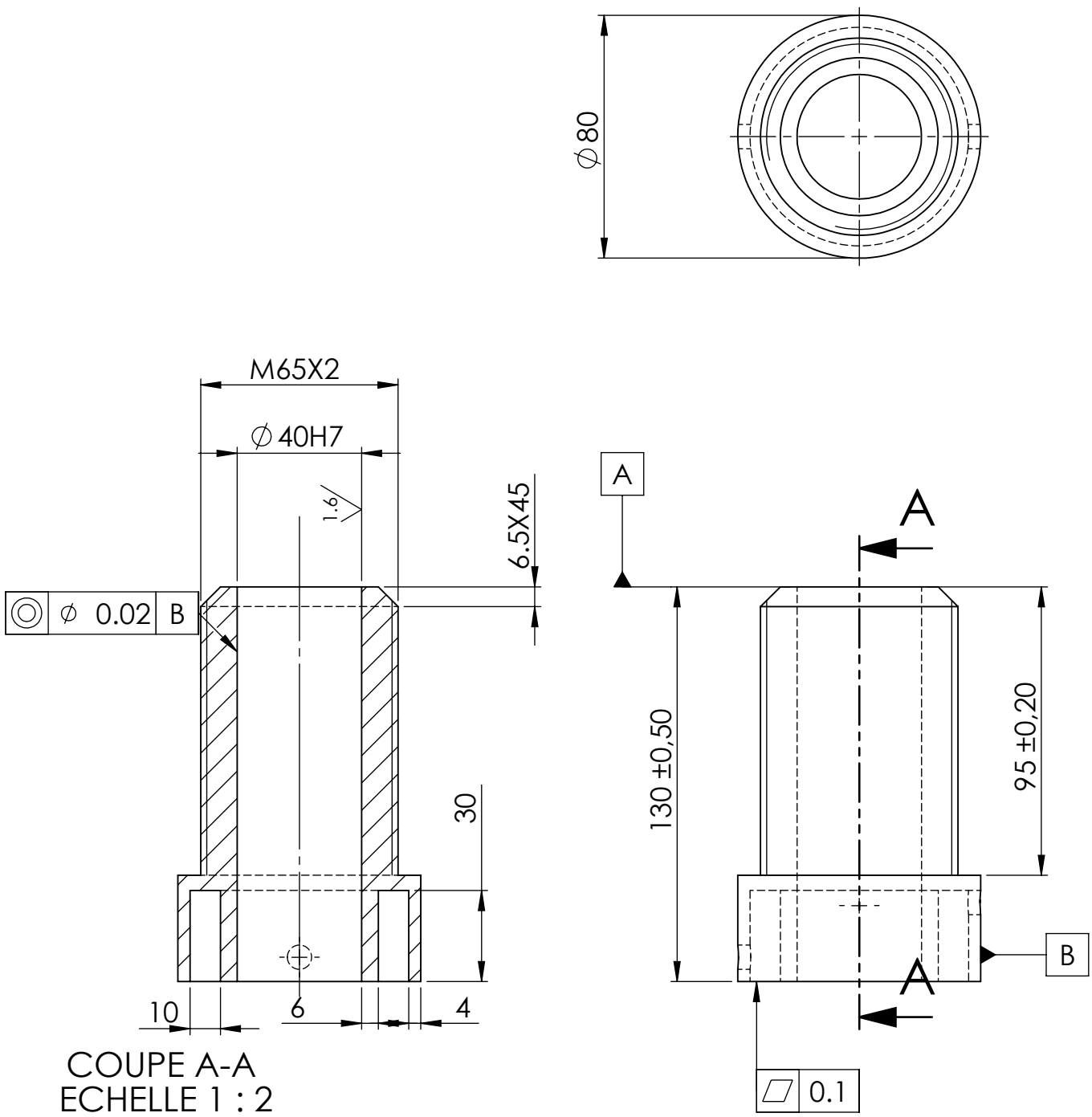
3	**1**	**Chemise en Teflon inférieure**	**Téflon**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**

Echelle: 1:2	**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**	**Réaliser par: Moussoum Boukhalfa**
		projet d fin d'etude
A4	**Uiversité MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**	**octobre 2017**



Etat de surfaces non spécifiés Ra=6.3

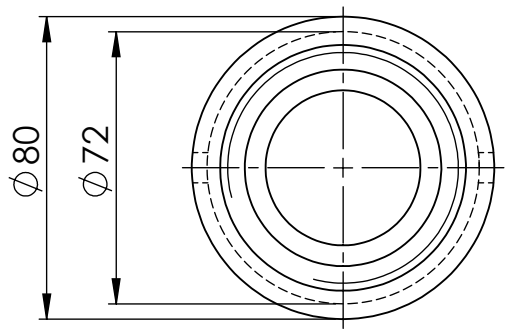
4	**1**	**Chemise Supérieure en Téflon**	**Téflon**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**
Echelle: 1:2		**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**		**Réalisé par: Moussoum Boukhalfa**
				projet d fin d'etude
A4		**Uiversité MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**		**octobre 2017**

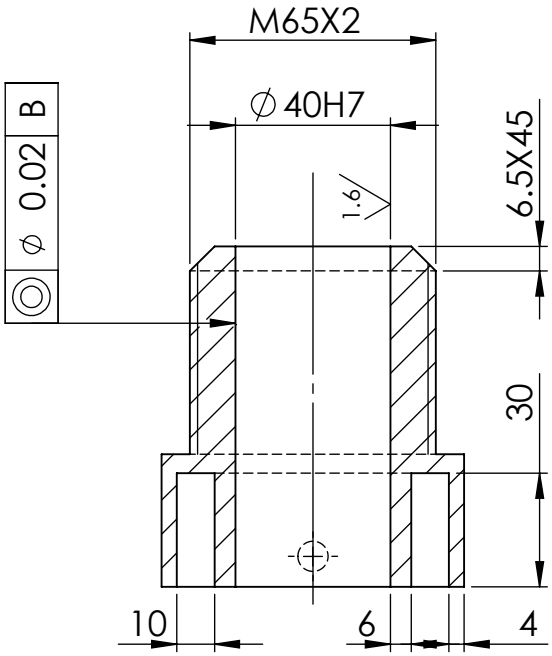


Ra=3.2 :les surfaces sans indications
Les surfaces sont usinées à js13

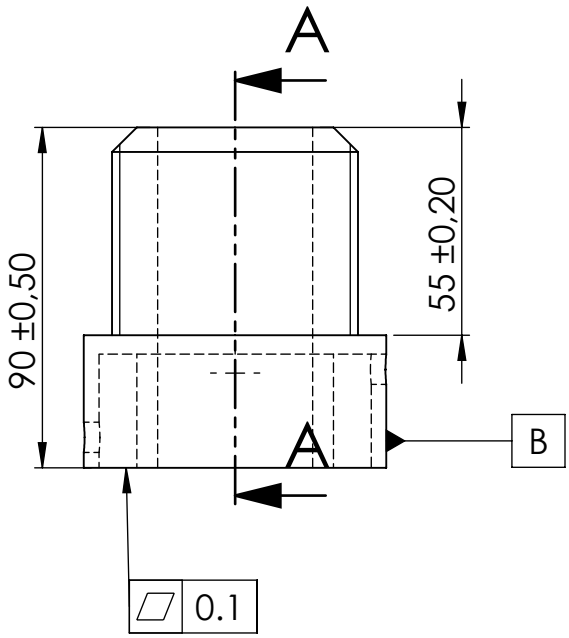
5	1	**Chemise Supérieure en acier**	**Acier A60**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**

Echelle: 1:2	**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**	**Réalisé par: Moussoum Boukhalfa**
		projet de fin d'etudes
A4	**Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**	**octobre 2017**





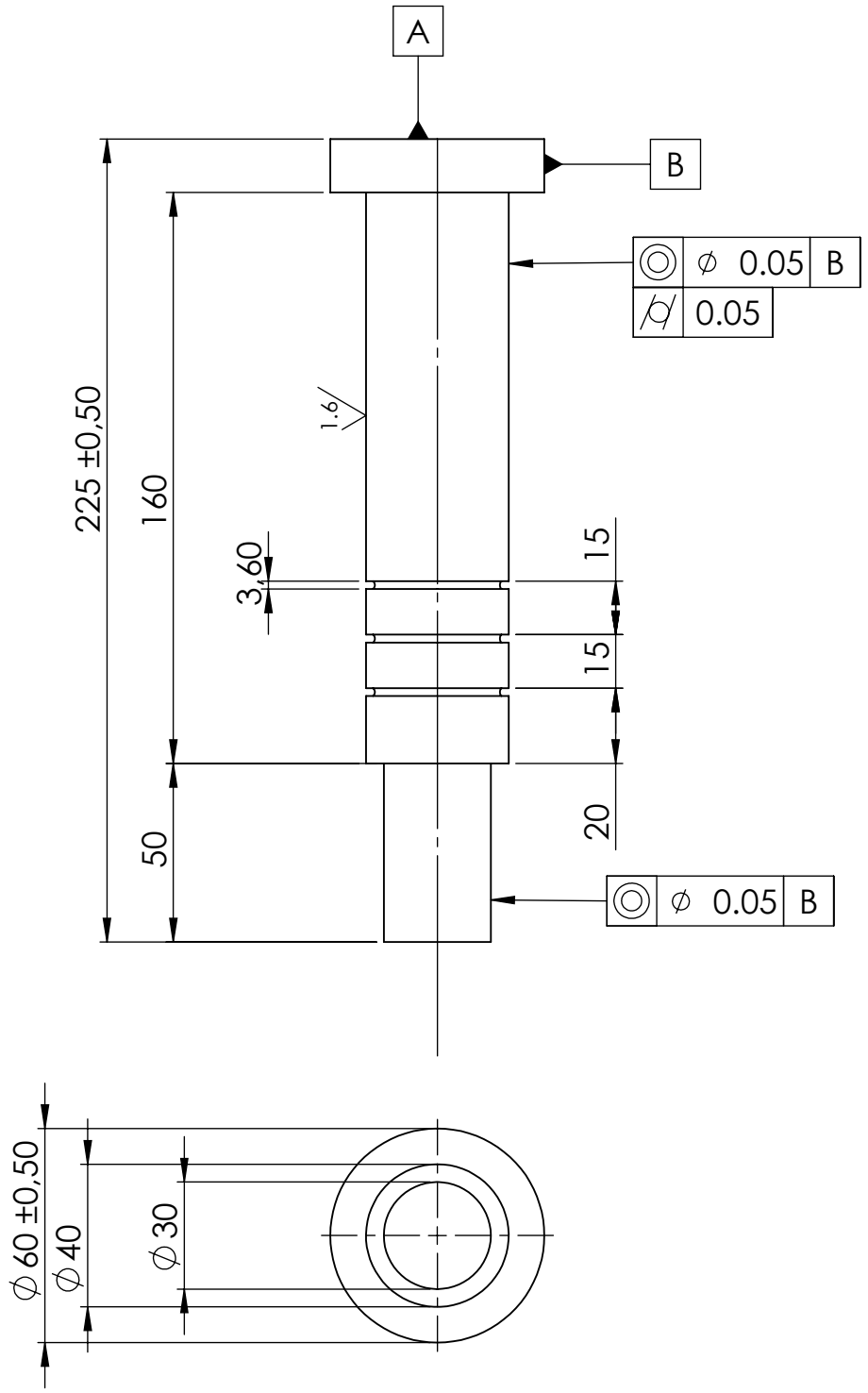
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2



surfaces non spécifiés Ra=3.2 .
Les cotes sans Tolérances sont usinées à js13

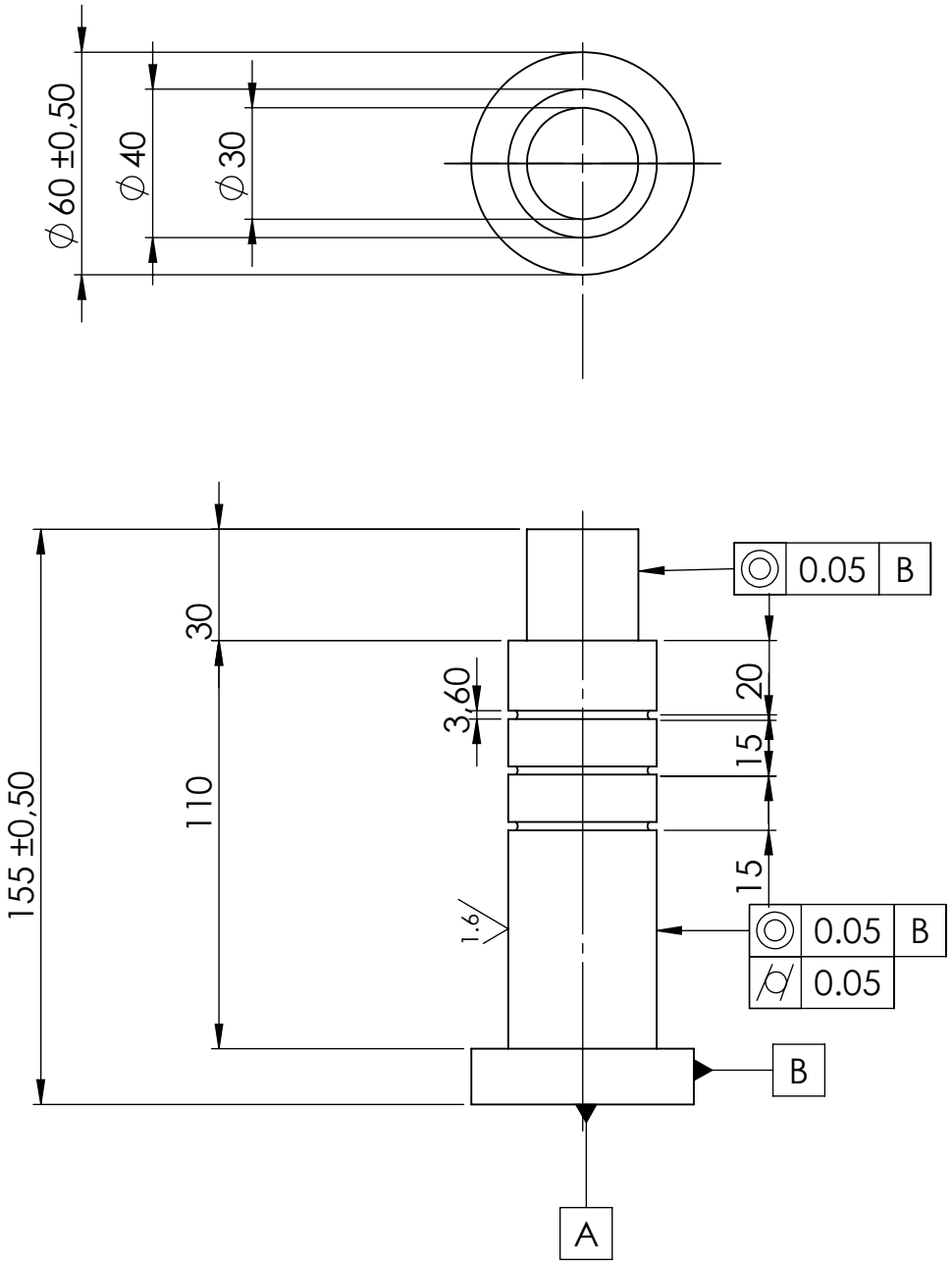
6	1	Chemise inférieure en acier	Acier A60	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation

Echelle: 1:2	CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS	Réalisé par: Moussoum Boukhalfa
		projet d fin d'etudes
A4	Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU	octobre 2017



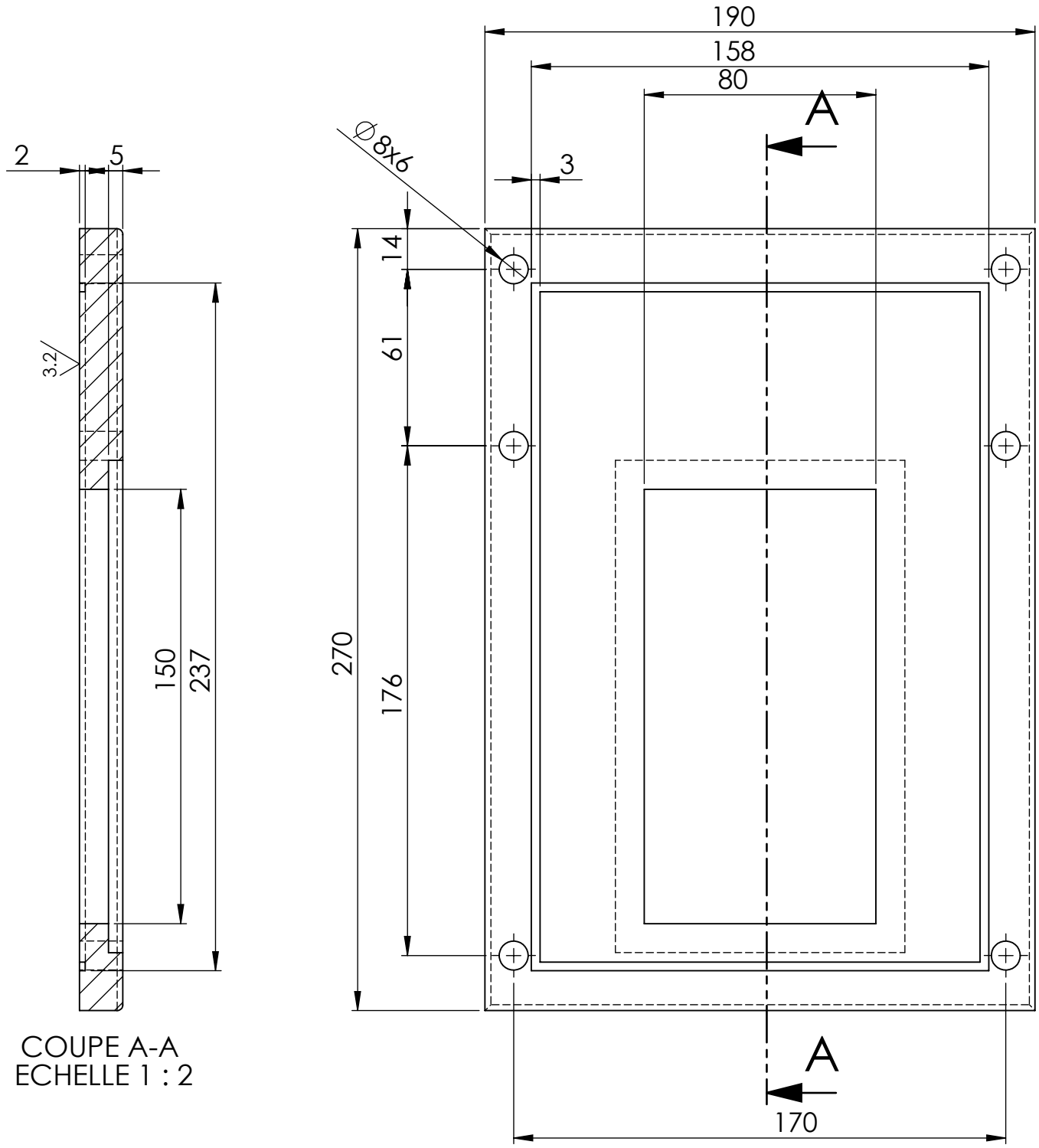
Remarque: les cotes sans tlérances sont usinées à js13
Etats de surfaces non spécicifiés Ra=6.3

7	**1**	**piston supérieur**	**XC48**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**
Echelle: 1:2		**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**		**Réalisé par: Moussoum Boukhalfa**
				projet d fin d'etudes
A4		**Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**		**octobre 2017**



Remarque: les cotes sans Tolérances sont usinée à js13
Etats de surfaces non spécifiés Ra=6.3

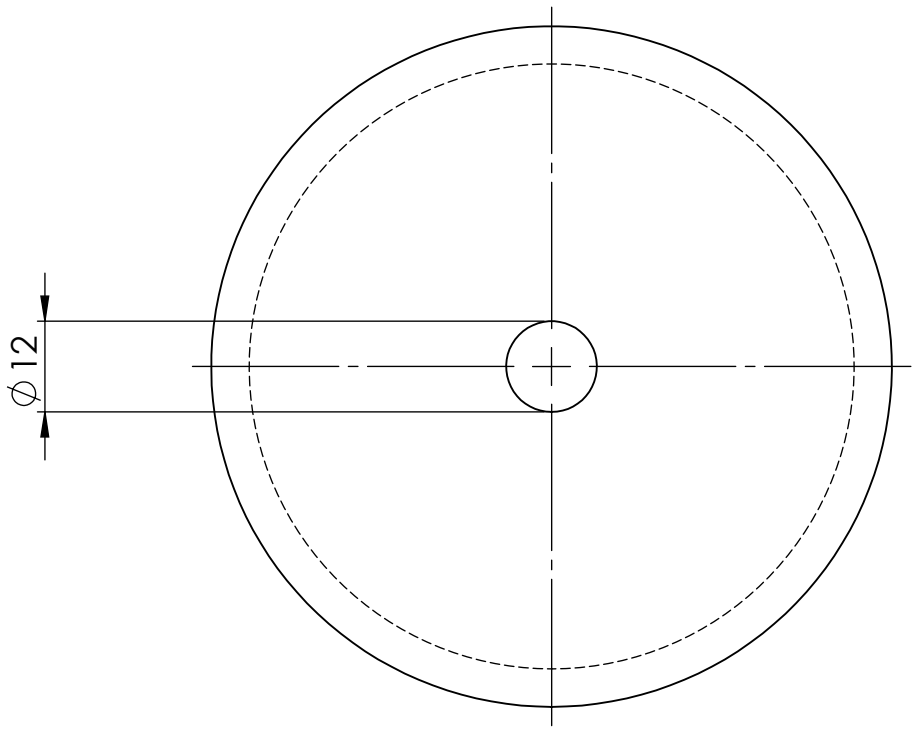
8	**1**	**piston Inférieure**	**XC48**	
Rep	**Nbr**	**Désignation**	***Matiére***	**Observation**
Echelle: 1:2		**CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS**		**Réaliser par: Moussoum Boukhalfa**
				projet d fin d'etudes
A4		**Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU**		**octobre 2017**

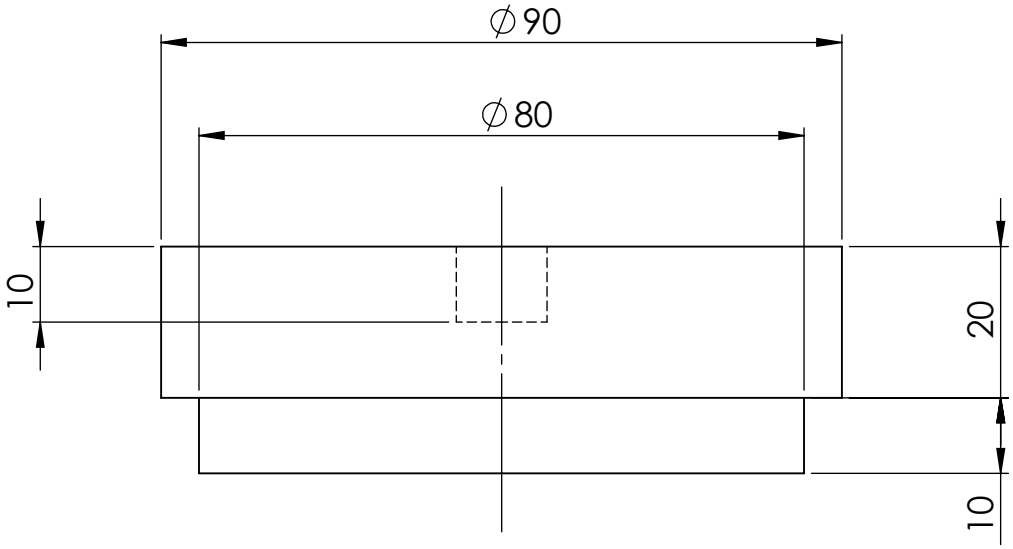


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

Etats de surfaces non spécifiés Ra=6.3

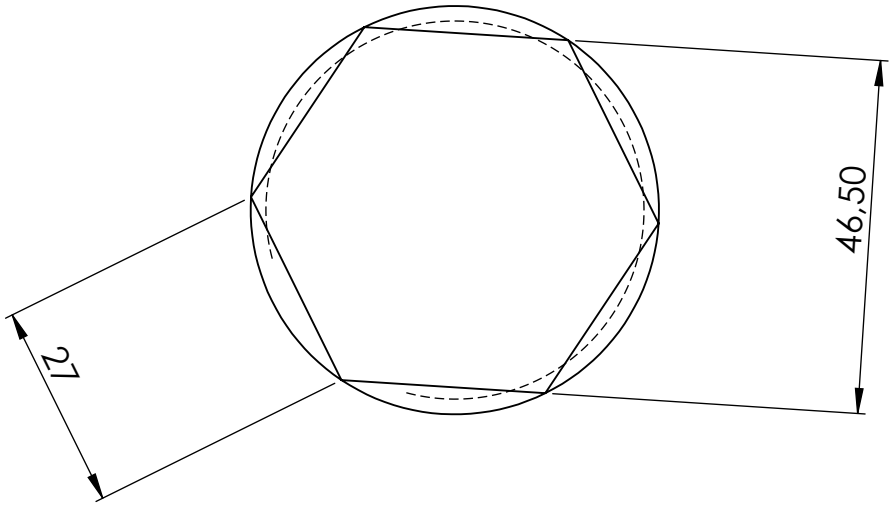
9	1	Porte de la Chambre	Alpax	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation
Echelle: 1:2		CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS		Réalisé par: Moussoum Boukhalfa
				projet d fin d'etudes
A4		Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		octobre 2017

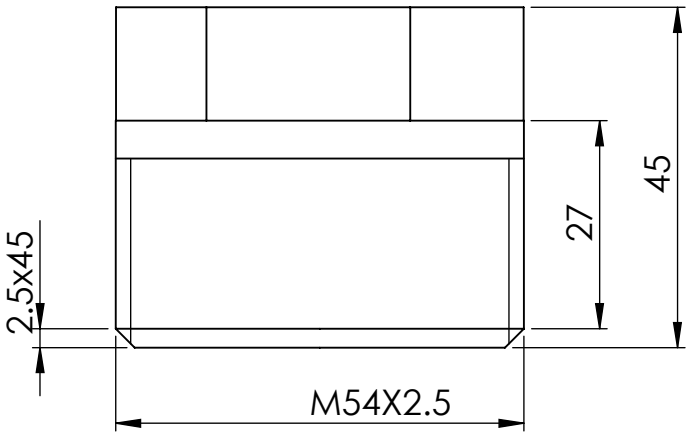




Remarque: les cotes sans tolérances sont usinées à js13

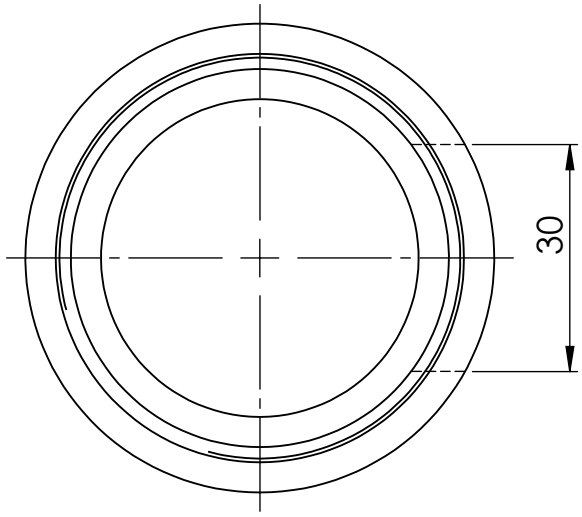
10	1	Cale	Téflon	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation
Echelle: 1:1		CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS		Réalisé par: Moussoum Boukhalfa
				projet d fin d'etudes
A4		Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		octobre 2017

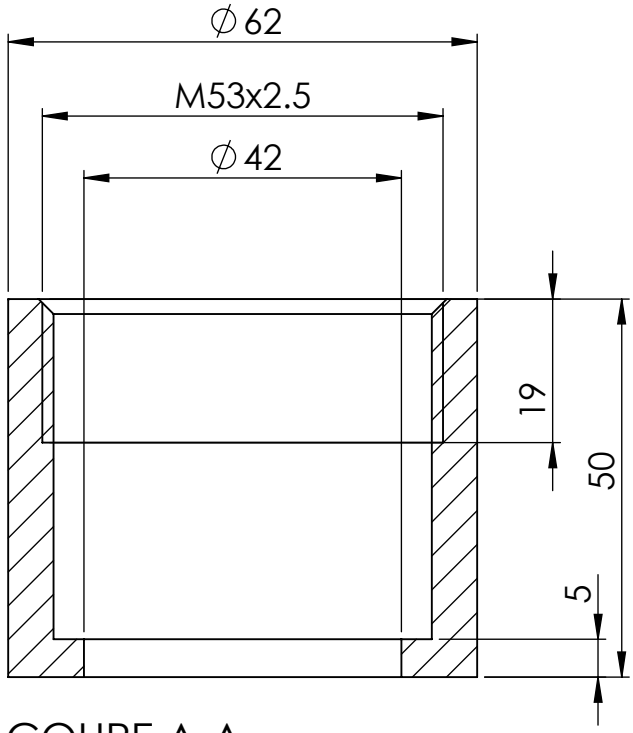




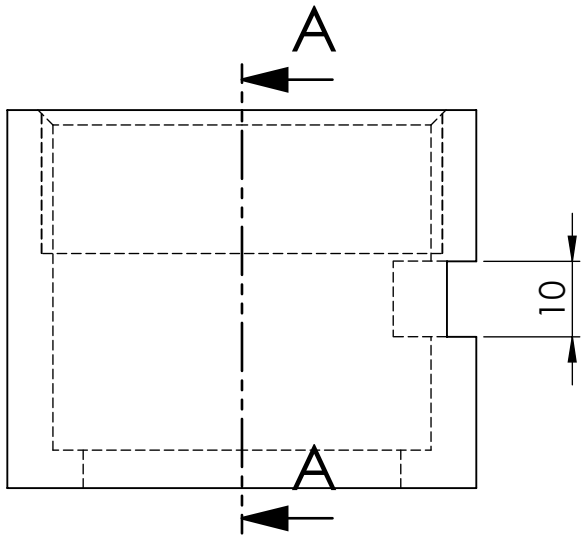
les surfaces sont usinées à js13

11	1	Boulon	XC48	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation
Echelle: 1:1		CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS		Réalisé par: Moussoum Boukhalfa
				projet d fin d'etude
A4		Uiversité MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		octobre 2017





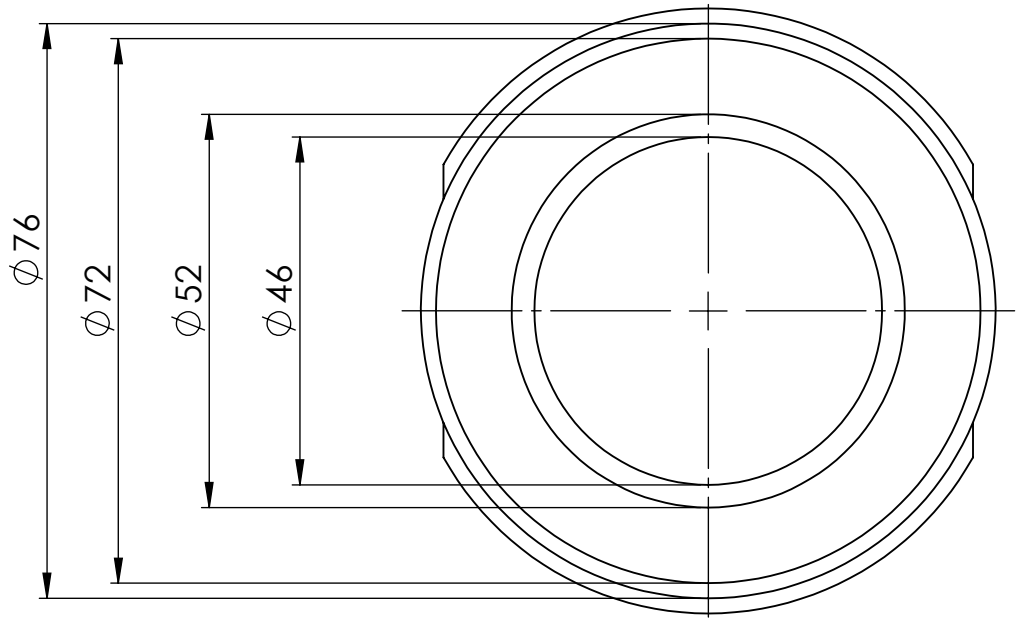
COUPE A-A

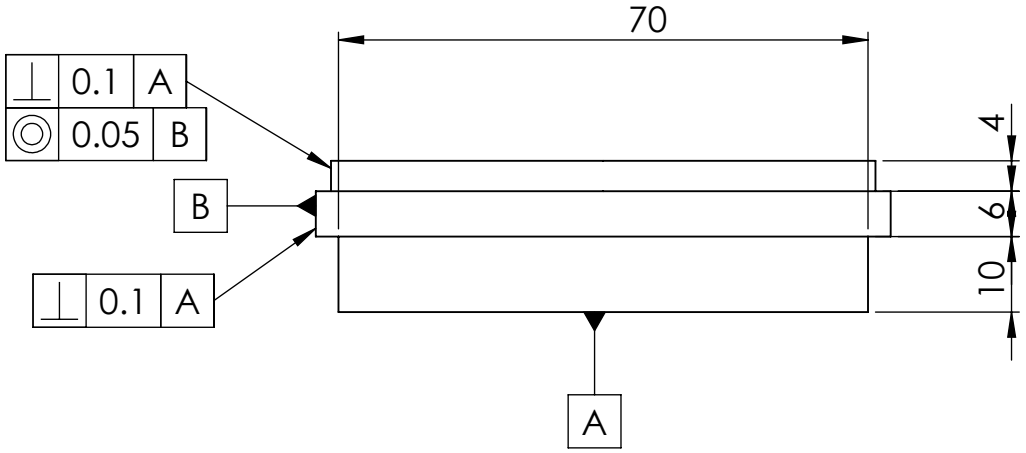


toutes les surfaces sont usinées à js13

12	1	Ecrou de fixation	XC 48	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation

Echelle: 1:1	CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS	Réalisé par: Moussoum Boukhalfa
		projet d fin d'etude
A4	Uiversité MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU	octobre 2017





LES cotes sans Tolérances sont usinées à js13

13	2	Couvercle	A60	
Rep	Nbr	Désignation	*Matiére*	Observation
Echelle: 1:1		CONCEPTION D'UNE ENCEINTE SPS		Réaliser par: Moussoum Boukhalfa
				projet d fin d'etudes
A4		Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		octobre 2017

Référence bibliographique

Référence bibliographique

[1] : L.olmos : étude de frittage de poudre par microtomographie in situ et modélisation discréte institut national polytechnique de gremoble-inpg,2009

[2] : didier bernache-assolant,jean-pierre-bommet AF 6620 : frittage respect physio Chimique
Partie1 : frittage en phase solide. Technique de l'ingénieur

[3] : L olmos: étude de frittage de poudre par microtomgraphique in situ et modélisations Discrete. genie des procédes. institut national polytechnique de gronoble-inpg, 2009

[4] : sintering theory and pratice R,M, german , et john wily and son

[5]: A.G. Bloxam Improved Manufacture of Electric Incandescence Lamp Filaments From Tungsten or Molybdenum or an Alloy Thereof, *GB Patent No. 27002*, *vol.* (1906)

[6] : G. Weintraub, H. Rush, Sintering Particles of Boron into a Homo- geneous mass *U. S.Patent 1071488*, *vol.* (1913

[7] : G.D. Cremer Sintering together Powders Metals such as Bronze, Brass or Aluminum, *U.S. Patent 2 355 954*, *vol.* (1944).

[8] : A. Duval, D.L. Alexander, Article of fused metallic oxide and process of producing thesame, *U. S. Patent 1430724*, *vol.* (1922).

[9] : G. Taylor, _US Patent nb. 1896854,_ February 1933

[10] : F.V. Lenel Resistance Sintering Under Pressure, *Journal of Metals*, *vol. 7* (1955) p. 158-167.

[11] : K. Inoue, _US Patent nb. 3241956,_ March 1966

[12] : M. Tokita, K. Nakagawa, Rotary table type electric heating pressure sintering apparatus *JP Patent No. JP2002206102*, *vol.* (2002).

[13] : A. Cincotti, A.M. Locci, R. Orrù, G. Cao, Modeling of SPS apparatus: Temperature, current and strain distribution with no powders, *AIChE Journal*, *vol. 53 issue 3* (2007) p.703-719.

[14] : U. Anselmi-Tamburini, S. Gennari, J.E. Garay, Z.A. Munir, Fundamental Investigation son the spark plasma sintering/synthesis process: II. Modeling of current and temperature distributions, *Materials Science and Engineering A*, *vol. 394 issue 1-2* (2005) p. 139-148.

[15] : T. Hungría, J. Galy, A. Castro, Spark Plasma Sintering as a Useful Technique to the Nanostructuration of Piezo-Ferroelectric Materials, *Advanced engineering materials*, *vol.11 issue 8* (2009) p. 615-631.

[16] : anthony pavia : etudes fondamentales pour la compréhension des mécanismes de densification des materiaux SPS université Toulouse, 2012

[17] : J. Langer, D. V. Quach, J. R. Groza, and O. Guillon, _A comparison between FASTand SPS apparatuses based on the sintering of oxide ceramics,_ International Journal of Applied Ceramic Technology, vol. 8, no. 6, pp. 1459_1467, 2011. Cited By (since 1996)

[18] : A. I. Raichenko and E. S. Chernikova, _A mathematical model of electric heatingof the porous medium using current-supplying electrode/ punches,_ Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics, vol. 28, no. 5, pp. 365_371, 1989

[19]: U. Anselmi-Tamburini, S. Gennari, J. E. Garay, and Z. A. Munir, _Fundamenta linvestigations on the spark plasma sintering /synthesis process : II. Modeling of currentand temperature distributions, _ Materials Science and Engineering A, vol. 394,no. 1-2, pp. 139_148, 2005.

[20]: G. F. Taylor Apparatus for making hard metal compositions, *U. S. Patent 1896854*, *vol.* (1933).

[21] : M. Tokita Method and system for automatic electrical sintering, *U. S. Patent 6383446*,*vol.* (2002).

[22] : fabrication mécanique R.BUTIN, M.PIVOT édition Foucher (Tome III)