

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTÉ DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT DE GENIE MÉCANIQUE



MEMOIRE

de fin d'études

Master professionnel en Génie mécanique

Option : Fabrication mécanique et productive

Thème

Conception d'un réacteur de mécanofusion

Proposé et dirigé par :

M. NECHICHE

Réalisé par :

Rafik OUAKEUR

Aziz HAMECHA

Promotion 2014-2015

REMERCIEMENTS

Un grand merci à notre encadreur Mr. NECHICHE Mustapha pour avoir d'abord proposé ce thème, pour le suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire, et qui n'a pas cessé de nous prodiguer ses conseils et remarques.

Nous remercions le professeur AZEM Said, directeur du laboratoire LEC2M, qui a accepté de nous accueillir dans son laboratoire durant tout notre projet de fin d'études. Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de Génie mécanique qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel.

A toutes et à tous, merci pour tout.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents et sans
oublier ma très cher grande mère « GHEMIMA »

A la mémoire de ma grande mère « ZAHRA »

A mes frères et sœurs surtout « MARWA et NESRINE »

A tous mes amis sans exception

Et bien sûr à celle qui m'a soutenue durant tout ce
mémoire, source de courage, force et d'énergie, ma fiancé

« N »

Aziz

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

A mon frère et ma sœur « Zoubir et Samia »

A ma future épouse « Siham »

A tous mes amis

Rafik

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur l'enrobage de particules en voie sèche

1. Introduction	3
2. Intérêt d'enrobage en voie sèche	4
3. Origine et historique de l'enrobage en voie sèche	4
3.1. Enrobage ordonné	4
3.2. Mécanismes d'enrobage en voie sèche	5
4. Dispositifs d'enrobage en voie sèche	6
4.1. L'hybridizer	6
4.2. Le lit fluidisé rotatif.....	7
4.3. Le réacteur de mécanofusion.....	8
4.4. Le broyeur thêta	9
4.5. Appareil d'enrobage par impact magnétiquement assisté.....	9
4.6. Cyclomix	10
5. Conclusion	11

Chapitre II : Différents systèmes mécaniques de revêtement des poudres métalliques

1. Introduction	12
2. Les forces d'interactions entre particules et surfaces solides.....	12
a). L'adhésion	12
b). Friction	12
3. Conception de dispositifs d'enrobage	13
3.1. Cyclomix	14
3.2. Hybridizer Nara.....	14

3.3. Thêta Composer	15
3.4. Le réacteur de mécanofusion.....	15
3.5. Le lit fluidisé rotatif.....	16
4. Les différentes caractéristiques des dispositifs	16
5. Quelque exemple d'application de l'enrobage en voie sèche	17

Chapitre III. La mécanofusion

1. Introduction	19
2. Principe de fonctionnement.....	19
3. Les paramètres de contrôle ajustables dans la mécanofusion.....	20
4. Mode de revêtement	20
5. Procédé d'enrobage par le système de mécanofusion	20
6. Les avantages de la mécanofusion.....	21
7. Conclusion	22

Chapitre IV. Conception du réacteur de mécanofusion

1. Introduction	23
2. Description du réacteur de mécanofusion	24
3. Quelques exigences techniques	26
4. Solutions	27
5. Conception des éléments du réacteur	30
5.1. L'enceinte du réacteur	31
5.2. Le couvercle de la chambre.....	31
5.3. Conception de marteaux et racloirs	32
5.4. Les supports de fixation des pièces fixes	33
5.5. Arbre fixe et arbre tournant	33
5.5.1. Arbre tournant.....	34
5.5.2. Arbre fixe	35
5.6. Choix des roulements	36

a) Caractéristique des roulements choisis	36
b) Dimensions des roulements	36
c) L'ajustement des montages des roulements	37
5.7. Table	37
a) Plaque porte moteur	39
b) Les pommelées	39
c) Ressort	40
5.8. Corps inférieur et supérieur du réacteur	40
5.9. Entonnoir métallique pour l'introduction des poudres	41
5.10. Conception du serpentin de refroidissement.....	41
5.11. Conception du couvercle de la partie supérieure.....	42
6. Assemblages et contraintes d'assemblage	43
6.1. Assemblage de la table du réacteur	43
6.2. Assemblage de transmission du système.....	44
6.3. Assemblage des roulements sur l'arbre rotatif	45
6.4. Assemblage de l'arbre tournant avec l'enceinte du réacteur.....	46
6.5. Assemblage des supports, racloirs et marteaux	46
6.6. Assemblage et constitution du jeu de pièces fixes.....	49
6.7. Assemblages des parties tournante et fixe du réacteur	49
6.8. Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle de la chambre.....	49
6.9. Assemblages du corps supérieur sur le corps inférieur du réacteur.....	50
6.10. Assemblage de l'arbre fixe avec couvercle supérieur du réacteur	51
6.11. Assemblage de serpentin sur le corps extérieur du réacteur.....	51
6.12. Assemblage final du réacteur de mécanofusion	52
7. transmission du mouvement de rotation	
du moteur et contrôle du réacteur	53
a) Fonctionnement	53
b) Rapport de transmission.....	53
c) Calcul du rapport de réduction du système poulie courroie.....	53
d) Mouvement de rotation de la chambre.....	53
e) Système de contrôle du réacteur	53

8. Conclusion	54
Conclusion générale	55
Références bibliographiques	57

Liste des figures

Fig. I.1 :	Représentation schématique de l'enrobage en voie sèche.....	3
Fig. I.2 :	Schéma du mélange ordonné.....	5
Fig. I.3 :	Mécanisme du processus d'enrobage-mécanofusion.....	6
Fig. I.4 :	Représentation schématique de l'hybridizer.....	7
Fig. I.5 :	Représentation schématique du système d'enrobage par lit fluidisé rotatif....	8
Fig. I.6 :	Représentation schématique d'un réacteur de mécanofusion.....	8
Fig. I.7 :	Représentation schématique du broyeur thêta.....	9
Fig. I.8 :	Schéma du dispositif MAIC.....	9
Fig. I.9 :	Photographie du Cyclomix.....	10
Fig. II.1 :	Installation complète du système Cyclomix 1L Hosokawa.....	13
Fig. II.2 :	Hybridizer NARA.....	14
Fig. II.3 :	Le Thêta Composer.....	15
Fig. II.4 :	Réacteur de mécanofusion.....	15
Fig.III.1 :	Schéma du principe de fonctionnement du réacteur de mécanofusion.....	19
Fig.III.2 :	Procédé d'enrobage des particules hôtes par des particules fines dans le système de mécanofusion.....	21
Fig. IV.1 :	Vue en perspective des principales parties du réacteur de mécanofusion.....	26
Fig. IV.2 :	Vue en coupe du réacteur de mécanofusion.....	30
Fig. IV.3 :	Vue en perspective de la chambre du réacteur.....	31
Fig. IV.4 :	Vue en perspective de couvercle de la chambre.....	31
Fig. IV.5 :	Vue en perspective d'un marteau de compression.....	32
Fig. IV.6 :	Vue en perspective d'un racloir.....	32
Fig. IV.7 :	Vue en perspective de support pour le marteau.....	33
Fig. IV.8 :	Vue en perspective de support pour le racloir.....	33
Fig. IV.9 :	Vue de face de la partie fixe et mobile du réacteur de mécanofusion.....	34
Fig. IV.10 :	Vue en perspective d'un arbre tournant	35
Fig. IV.11 :	Vue en perspective d'un arbre fixe	36
Fig. IV.12 :	Vue en perspective de la carcasse de la table.....	39
Fig. IV.13 :	Vue en perspective de la plaque porte moteur.....	39
Fig. IV.14 :	Vue en perspective d'une pommelle mâle et femelle.....	40

Fig. IV.15 :	Vue en perspective d'un ressort.....	40
Fig. IV.16 :	Vue en perspective du corps inférieur du réacteur.....	41
Fig. IV.17 :	Vue en perspective de la conduite d'introduction des poudres.....	41
Fig. IV.18 :	Système de refroidissement.....	42
Fig. IV.19 :	Vue en perspective du couvercle de la partie supérieur.....	42
Fig. IV.20 :	Assemblage de la table du réacteur.....	44
Fig. IV.21 :	Vue en perspective des éléments assemblés assurant la transmission du mouvement.....	44
Fig. IV.22 :	Assemblage des roulements sur l'arbre tournant.....	45
Fig. IV.23 :	Le montage en X des roulements conique sur l'arbre.....	45
Fig. IV.24 :	Assemblage de l'arbre tournant et de l'enceinte du réacteur.....	47
Fig. IV.25 :	Assemblages supports avec marteaux et racloirs.....	47
Fig. IV.26 :	Assemblage support pièces fixe avec système de guidage et de fixation	48
Fig. IV.27 :	Assemblage de système fixe.....	49
Fig. IV.28 :	Assemblage de la partie fixe et mobile.....	50
Fig. IV.29 :	Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle de la chambre.....	50
Fig. IV.30 :	Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle supérieur.....	51
Fig. IV.31 :	Vue de face de la partie fixe et mobile du réacteur de mécanofusion.....	51
Fig. IV.32 :	Montage des corps du réacteur et système de refroidissement par un serpentin en cuivre.....	52
Fig. IV.33 :	Assemblage final du réacteur de mécanofusion.....	52

Liste des tableaux

Tableau II.1:	Caractéristiques des procédés d'enrobages.....	16
Tableau III.1	Quelques applications d'enrobage en voie sèche.....	17
Tableau IV.1	Les propriétés et les caractéristiques de l'acier inox 316L.....	29

Introduction

La métallurgie des poudres est une technique d'élaboration de matériaux très ancienne mais suscitant toujours beaucoup d'intérêt en termes de recherche et développement. En effet, le développement de techniques ancestrales de fabrication de poteries et autres céramiques a permis d'innover par la mise en œuvre de techniques permettant l'élaboration de nouveaux matériaux, difficiles, voire impossibles à obtenir par d'autres techniques d'élaboration. Ainsi, les céramiques techniques utilisées pour la fabrication des outils de coupe sont élaborées par frittage en présence de phase liquide, par infiltration, par compression isostatique à chaud, etc. La compréhension des phénomènes physico-chimiques intervenant au cours du frittage ont permis, depuis toujours, d'améliorer les procédés, de les changer de par leur technologie que par le contrôle des paramètres d'élaboration, d'innover en créant de nouveaux procédés.

C'est dans cet ordre d'idées que le revêtement des particules de poudre a été mis en œuvre dans les années 1960 au Japon et aux Etats Unis. Ainsi, l'utilisation de poudres revêtues comme matériaux de départ pour l'élaboration de matériaux frittés permet, entre autres, l'homogénéisation de répartition des phases ; ce qui fait accroître les propriétés mécaniques du matériau, la protection contre l'oxydation à cœur du matériau. L'enrobage des poudres métalliques peut se réaliser de différentes manières : traitements thermo-chimiques, dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou physique (PVD) et la mécanofusion.

La mécanofusion est un procédé d'enrobage en voie sèche consistant à faire adhérer des particules d'enrobage sur des particules hôtes grâce à des efforts mécaniques de compression-cisaillement appliqués à fréquence élevée.

L'objet de ce travail consiste en la conception d'un réacteur de mécanofusion. Une telle machine ayant été conçue, réalisée et actuellement en service au laboratoire Phymat (France), nous adoptons le modèle existant tout en apportant certaines modifications.

Ce mémoire comporte deux principales parties ; l'une consacrée à la bibliographie et l'autre à la conception même du réacteur de mécanofusion.

Ainsi, le premier chapitre regroupe des généralités sur les techniques d'enrobage de particules en voie sèche. Le deuxième chapitre décrit des méthodes de dépôt par action mécanique. Dans le troisième chapitre nous décrivons le procédé de mécanofusion en citant, pour exemples, des résultats d'opérations de revêtement.

Le quatrième et dernier chapitre regroupe les résultats de l'étude de la conception du réacteur ; étude que nous avons menée en utilisant le logiciel SolidWorks.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

Généralités sur l'enrobage de particules en voie sèche

1. Introduction

Les méthodes de dépôt par action mécanique sont simple à mettre en œuvre, l'enrobage résulte dans ce cas de processus purement mécanique. Les caractéristiques finales des composés des particules, dépendent principalement du dispositif utilisé pour combiner les différents matériaux.

L'enrobage en voie sèche consiste à mélanger des particules d'enrobage et des particules plus grosses (hôtes) par l'application de forces mécaniques : le cisaillement, les forces d'impact, etc., les particules sont alors amenées à se coller entre elles. Par conséquent, un revêtement des plus petites particules sur la surface des particules hôtes est réalisé. En raison de la petite taille des particules invitées, les forces de Van der Waals sont suffisantes pour maintenir les particules invitées à la surface des particules hôtes. Le type d'enrobage obtenu par les procédés d'enrobage en voie sèche, dépend d'un certain nombre de paramètres tels que la taille et la densité des particules, du procédé mis en œuvre. En fonction de tous ces facteurs, l'enrobage peut être classé par catégories : enrobage discret, enrobage continu, enrobage en film, encapsulation. La figure (I.1) illustre d'une manière schématique le procédé d'enrobage en voie sèche.

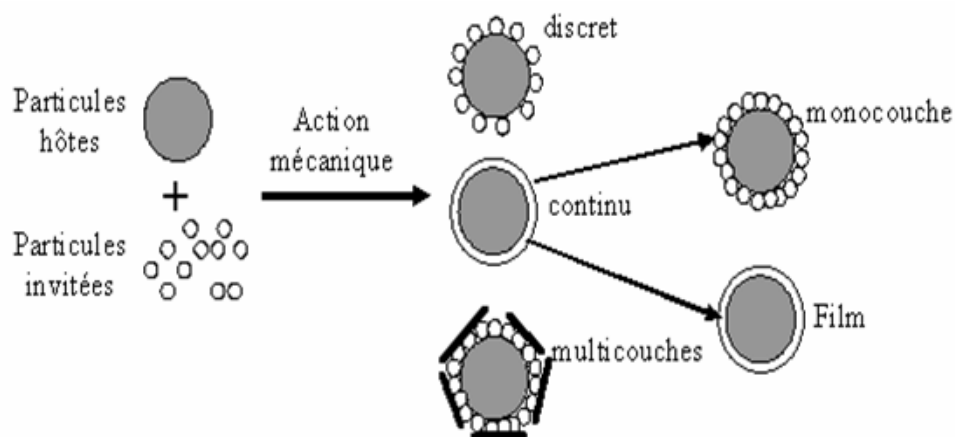


Figure I.1 : Représentation schématique de l'enrobage en voie sèche [1].

2. Intérêt d'enrobage en voie sèche

L'enrobage des particules en voie sèche peut être utilisé pour apporter des changements des propriétés et/ou fonctionnalité des matériaux de base, ce qui permet de créer de nouvelles générations de particules composites. L'importance de cette méthode réside aussi dans sa capacité d'améliorer et de contrôler les propriétés chimiques et/ou physico-chimiques.

3. Origine et historique de l'enrobage en voie sèche

La technique de l'enrobage en voie sèche est assez récente. Elle a été initiée principalement au Japon depuis une vingtaine d'années et reste encore en phase de recherche et de développement [1].

3.1. Enrobage ordonné

Un procédé de mélange successif idéal est fondé sur le mélange intime des constituants de façon à ce que tout échantillon pris dans le mélange contienne les mêmes proportions des deux constituants. Ceci est, néanmoins, difficile à réaliser. En particulier, pour des poudres cohésives ou différentes en taille. Lorsque les poudres sont cohésives, elles forment naturellement des agglomérats et l'opération de mélange de deux constituants nécessite de casser ces agglomérats. Dans le cas où les tailles des particules sont différentes, l'aptitude à la ségrégation augmente. À mesure que la différence de taille entre les deux constituants devient grande (un ou deux ordres de grandeur), les plus petites particules tendent à adhérer à la surface des plus grandes particules. La force d'adhésion entre la particule invitée et la particule hôte est assez grande pour rendre difficile le détachement des fines particules de la surface de la particule hôte.

Le concept du mélange (figure I.2) ordonné semble être utile pour expliquer le mélange de poudres cohésives. En effet, les propriétés cohésives et d'autres phénomènes de surface se développent à mesure que la taille des particules diminue, ce qui donnera un aspect beaucoup plus ordonné à l'opération de mélange. Contrairement au mélange aléatoire, le mélange ordonné s'effectue surtout en présence d'interactions fortes entre les particules. L'adsorption, la chimisorption, la tension de surface, la friction, les forces électrostatiques et les forces de Van der Waals jouent un rôle important dans ces interactions [1].

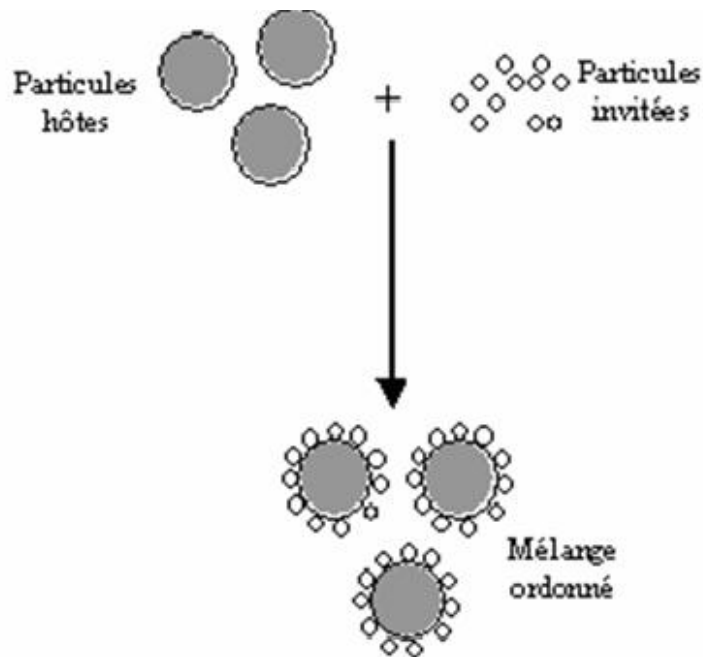


Figure I.2 : Schéma du mélange ordonné [1].

3.2 Mécanismes d'enrobage en voix sèche

La figure I.3 montre schématiquement les étapes de l'enrobage des particules par mécanofusion. A la première étape (1), c'est-à-dire au début de l'opération, les agglomérats des particules fines adhèrent aux grosses particules dans leur voisinage immédiat. A la deuxième étape (2) on voit la formation des particules enrobées. La troisième étape (3) les particules enrobées transfèrent quelque particule fine sur les surfaces non enrobées. Dans la quatrième étape (4) les agglomérats des particules fines sont dispersés sur les surfaces des grosses particules, augmentant ainsi les surfaces enrobées par les effets de cisaillement lors de la collision ou le frottement. A la dernière étape (5) d'enrobage on voit un enfoncement des particules fines à la surface des grosses particules se produire par mécanofusion.

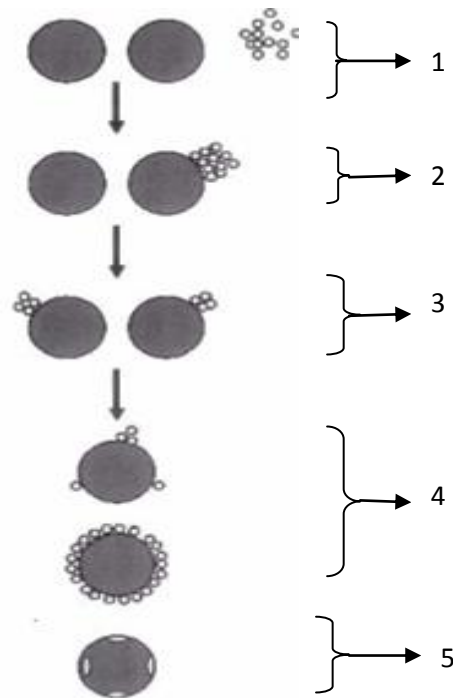


Figure I.3 : Mécanisme du processus d'enrobage-mécanofusion.

4. Dispositifs d'enrobage en voie sèche

Ces dispositifs ont prouvé leur efficacité, à travers plusieurs études, dans la production des particules composites avec des propriétés et/ou fonctionnalité améliorées ou différentes de celles des produits de base.

4.1. L'hybridizer

L'hybridizer, représenté sur la figure I.4, est constitué d'une chambre tournant à grande vitesse (rotor et stator) fixée à un châssis ; à l'intérieur de l'enceinte sont disposés des couteaux permettant d'augmenter la fréquence de collision entre les particules auquel s'ajoute un dispositif d'introduction des particules et un circuit de recyclage des particules. Sous l'effet de la rotation rapide de la chambre (de 5000 à 16000 tr/min), les particules de grande taille et les particules d'enrobage placées dans la chambre entrent en collision. Les collisions répétitives et intenses favorisent l'ancrage progressif des particules d'enrobage à la surface des particules hôtes [2].

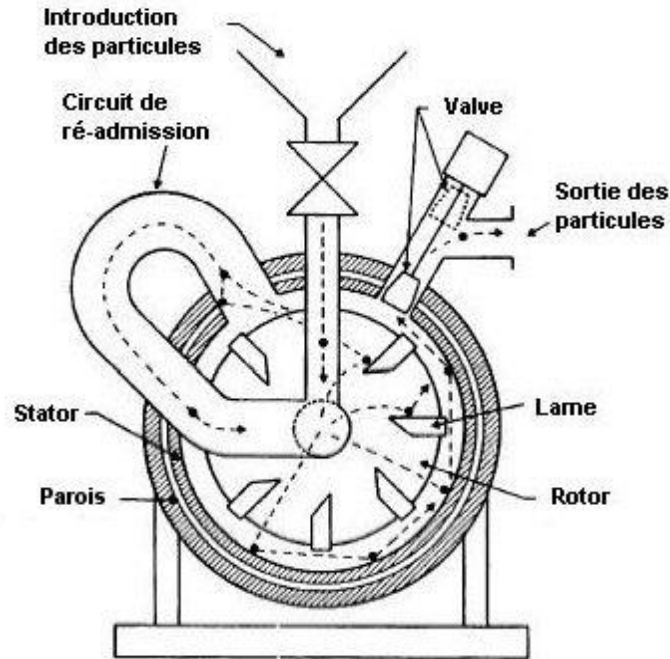


Figure I.4: Représentation schématique de l'hybridizer [2].

4.2. Le lit fluidisé rotatif

Les particules hôtes et invitées sont placées à l'intérieur du distributeur d'air et fluidisées par le flux de gaz radial arrivant par les pores. Les vitesses de rotations élevées génèrent des forces de centrifugation et de cisaillement assez importantes pour permettre de briser les agglomérats des particules invitées. En plus, le grand flux d'air nécessaire pour la fluidisation à des vitesses de rotation élevées et le mouvement des bulles dans des conditions opératoires au dessus du minimum de fluidisation, créent un mélange fort des particules et par conséquent un meilleur enrobage [2].

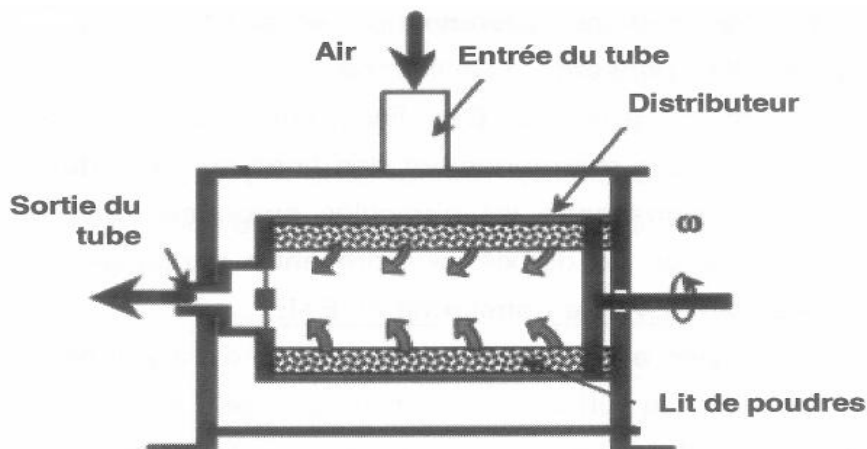


Figure I.5: Représentation schématique du système d'enrobage par lit fluidisé rotatif [2].

4.3. Le réacteur de mécanofusion

Le dispositif, présenté sur la figure I.6, se compose principalement d'une chambre tournante, d'un bras fixe ayant une extrémité semi-cylindrique avec un entrefer, et d'un racloir. Le racloir et le bras fixe peuvent être en céramique ou en acier inoxydable. Les particules hôtes et invités sont placées dans la chambre rotative et sont soumises à des vitesses de rotation allant de 200 à 1600 tr/min. La poudre se heurte aux parois de la chambre sous l'effet de la force centrifuge. Elle est soumise à des forces de compression et de cisaillement lors de son passage dans l'entrefer situé entre le bras fixe et la paroi. La poudre est ensuite détachée de la paroi intérieure de la chambre par le racloir [2].

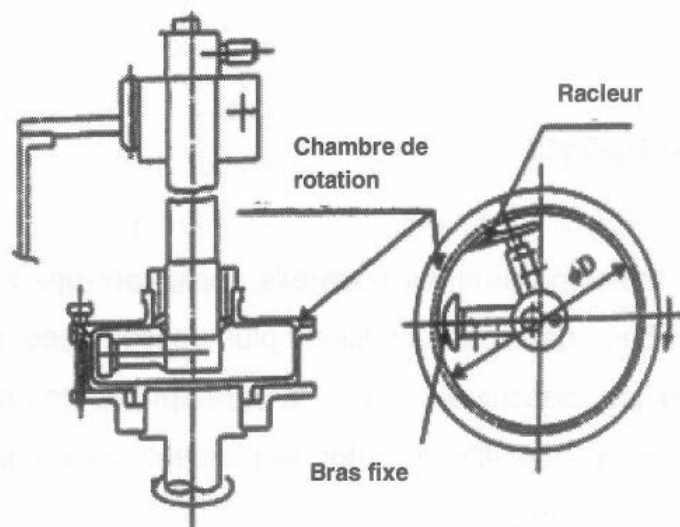


Figure I.6: Représentation schématique d'un réacteur de mécanofusion [2].

4.4. Le broyeur thêta

Cet appareil est équipé d'une chambre elliptique tournant à faible vitesse (environ 30 tr/min) et d'un rotor elliptique interne tournant à vitesse plus élevée (500-3000 tr/min). La chambre et le rotor tournent co-axialement dans des directions opposées (Fig. I.7a). Les particules sont soulevées vers le haut par le mouvement de la chambre (Fig. I.7b) et puis soumises à des forces de cisaillement et de compression lors de leur passage dans l'espace très étroit entre le rotor et la chambre (Fig. I.7c).

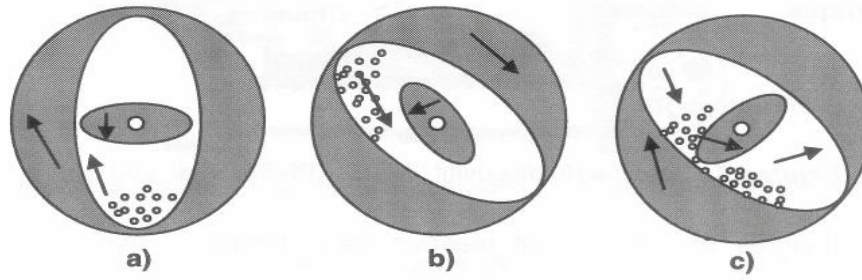


Figure I.7: Représentation schématique du broyeur thêta [2].

4.5. Appareil d'enrobage par impact magnétiquement assisté (MAIC)

Ce procédé d'enrobage (figure I.8) utilise un champ magnétique pour accélérer et permettre l'agitation et les déplacements violents des particules magnétiques mélangées avec les particules hôtes et invitées, impliquant ainsi des collisions entre les particules et avec les parois de la chambre de mélange [2].

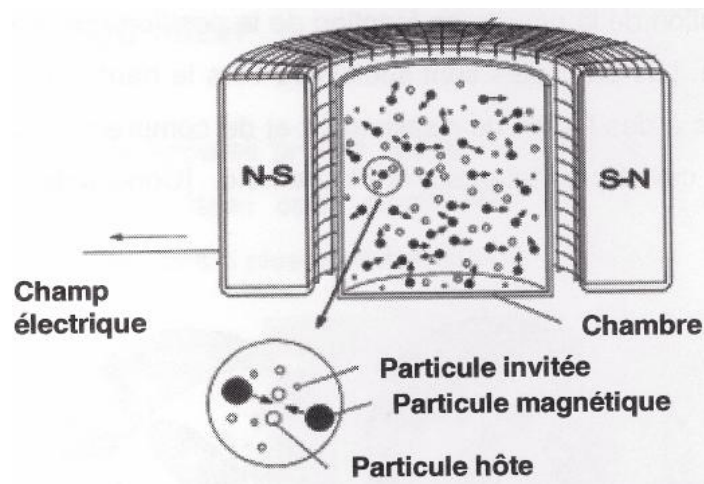


Figure I.8 : Schéma du dispositif MAIC [2].

4.6. Cyclomix

Le principe de fonctionnement du Cyclomix (figure I.9) est basé sur l'action de mélange créée par la combinaison d'un moteur en rotation et d'un frottement le long de la paroi de la chambre conique de mélange. Les particules hôtes et invitées chargées dans la chambre conique à travers l'ouverture d'alimentation sont d'abord légèrement mélangées à faible vitesse de rotation. Cette dernière est alors amenée à la vitesse nominale de traitement. Le mélange est centrifugé en direction de la paroi de la chambre subissant ainsi des forces de compression. La vitesse élevée des pales du rotor, leur inclinaison, et la forme conique de la chambre de mélange génèrent un mouvement ascendant au voisinage de la paroi. Dans la partie supérieure du Cyclomix, le mouvement des particules est ralenti en raison de l'absence de pales. Les particules sont alors entraînées le long de l'axe vers le bas de l'appareil où elles sont de nouveau entraînées vers le haut. Le transport du bas vers le haut des particules assure un mélange rapide et intense des poudres. Ces caractéristiques font du Cyclomix un outil intéressant pour le mélange intensif des poudres et l'enrobage des particules [3].



Figure I.9 : Photographie du Cyclomix [3].

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit l'enrobage en voie sèche retraçant ainsi son développement, ensuite nous nous sommes focalisés sur la description des différents dispositifs utilisés. Ces techniques jouent un rôle important sur la transformation des propriétés mécaniques des matériaux d'une façon à rendre leur comportement plus intéressant.

Chapitre II

Différents systèmes mécanique de revêtement des poudres métallique

1. Introduction

Chaque dispositif d'enrobage génère des forces mécaniques d'intensité différentes (cisaillement, impact et compression) pour donner des enrobages différents.

Après avoir évoqué l'origine et le développement de l'enrobage en voie sèche dans le chapitre précédent, et avant de décrire les différents dispositifs d'enrobage à sec, il nous semble important de faire un rappel sur les mécanismes d'adhésion entre les particules ou entre des particules et des surfaces solides.

2. Les forces d'interactions entre particules et surfaces solides

Au cours du traitement ou de manipulation des poudres, les particules individuelles sont mises en contact entre elle et les parois de dispositif utilisé. Les principaux mécanismes d'interaction entre les particules au cours de traitement sont :

- a) **L'adhésion** : c'est le résultat des forces qui existent entre des particules et une surface solide (ou particules) en contact. L'adhésion peut se produire entre des particules et des surfaces de nature chimique différente mais aussi entre des particules et des surfaces de même nature appelée alors la cohésion.
- b) **Friction** : il s'agit de la force qui empêche le déplacement tangentiel de deux surfaces en contact [4].

3. Conception de dispositifs d'enrobage

3.1. Cyclomix

Le Cyclomix conçu par Hosokawa Micron B.V, est défini comme étant un mélangeur à cisaillement élevé. Ce mélangeur peut effectuer à différentes vitesses de rotation allant jusqu'à 3000 tr/min pour des temps de traitement courts (de 30 s à 5 min) amenant une bonne homogénéité au produit final. La figure (II.1) représente l'installation complète du Cyclomix [4].

Le principe de fonctionnement du Cyclomix est basé sur l'action de mélange créé par la combinaison d'un moteur en rotation et d'un frottement le long de la paroi de la chambre conique de mélange. Les particules hôtes et invitées chargées dans la chambre conique à travers l'ouverture d'alimentation sont d'abord légèrement mélangées à faible vitesse de rotation. Cette dernière est alors amenée à la vitesse nominale de traitement. Le mélange est centrifugé en direction de la paroi de la chambre subissant ainsi des forces de compression. La vitesse élevée des pales du rotor, leur inclinaison, et la forme conique de la chambre de mélange génèrent un mouvement ascendant au voisinage de la paroi. Dans la partie supérieure du Cyclomix, le mouvement des particules est ralenti en raison de l'absence de pales. Les particules sont alors entraînées le long de l'axe vers le bas de l'appareil où elles sont de nouveau entraînées vers le haut. Le transport du bas vers le haut des particules assure un mélange rapide et intense des poudres. Ces caractéristiques font du Cyclomix un outil intéressant pour le mélange intensif des poudres et l'enrobage des particules.



Figure II.1 : Installation complète du système Cyclomix 1L Hosokawa.

3.2. Hybridizer Nara

Le système d'hybridation conçu par Nara Machinery : Hybridizer (Modèle NHS-0) a été utilisé comme dispositif d'enrobage des particules de gel de silice avec différentes fractions massiques de stéarate de magnésium. L'Hybridation est une méthode de préparation de matériaux composites par un processus de choc et d'impact mécanique intense. L'enrobage des particules est obtenu par application de forces mécaniques très élevées, de compression, de cisaillement par impact ou par frottement [5].

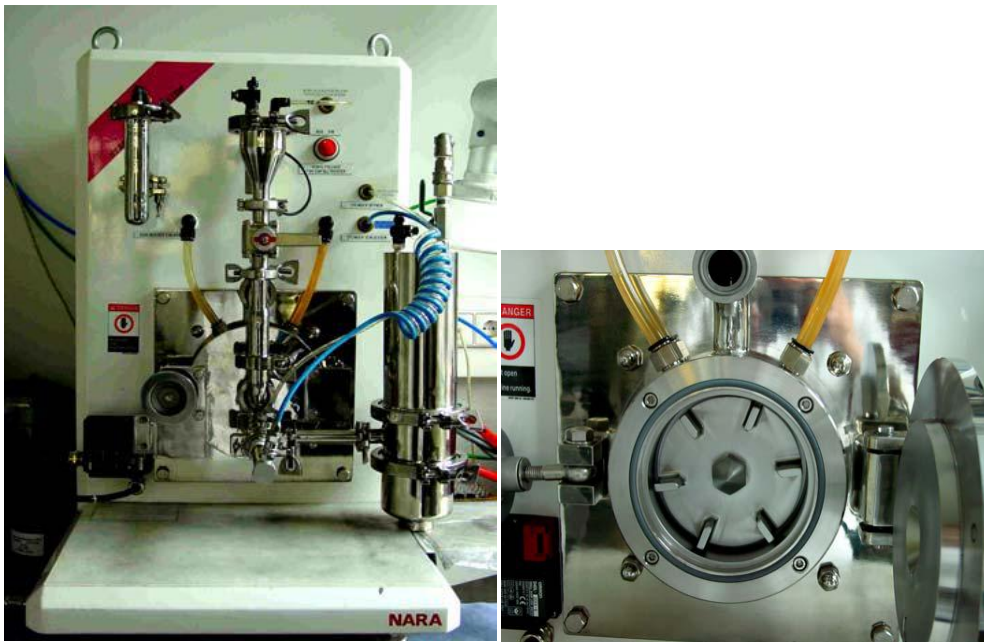


Figure. II.2 : Hybridizer NARA [5].

3.3. Thêta Composer

Le Thêta Composer, présenté sur la figure (II.3), est un appareil développé par la compagnie japonaise Tokuju. Il est capable d'appliquer des contraintes plus faibles, contrairement aux autres dispositifs comme l'Hybridizer, pour réaliser l'enrobage dans des conditions plus douces. Cet appareil est équipé d'une chambre elliptique tournant à faible vitesse (environ 30 tr/min) et d'un rotor elliptique interne tournant à vitesse plus élevée (500-3000 tr/min [6]).

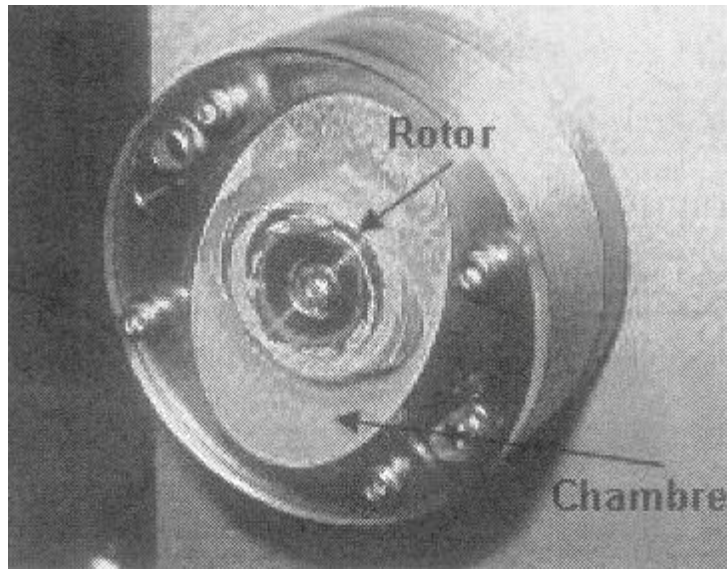


Figure I.3 : Le Thêta Composer.

3.4. Le réacteur de mécanofusion

Le système de mécanofusion a été utilisé pour traiter une large variété de matériaux. Gregg (1990) a sélectionné quelques exemples d'application illustrant les effets de la mécanofusion dans le domaine des matériaux céramiques. Dans ces exemples, l'utilisation de ce système a permis d'améliorer divers types de matériaux par le contrôle, la production ou l'amélioration des propriétés suivantes :

- La structure chimique de la surface des particules.
- Les propriétés de surface.
- Les propriétés physiques (optiques, magnétiques, électriques, mécaniques).
- Les propriétés thermodynamiques.



Figure II.4 : Réacteur de mécanofusion.

3.5. Le lit fluidisé rotatif

Ce dispositif d'enrobage à été développé par la compagnie Américaine Aveka. il est considéré comme étant une méthode d'enrobage à faible impact. Cette méthode utilise un champ magnétique pour accélérer et permettre l'agitation et les déplacements violents des particules magnétiques mélangées avec les particules hôtes et invitées, impliquant ainsi des collisions entre les particules et avec les parois de la chambre de mélange.

4. Les différentes caractéristiques des dispositifs

Le tableau II.1 montre les caractéristiques de chaque dispositif d'enrobage en voie sèche.

Tableau II.1 : Caractéristiques des procédés d'enrobages.

Dispositif	Mode de revêtement	Type D'effort	Grandeur D'effort	Paramètre D'application
Mécanofusion	Continu	Compression, cisaillement	Elevé	Vitesse de rotation de la chambre, entrefer
Hybridizer	Continu	Coupe, centrifuge et Impact	Elevé	Vitesse de rotation de la chambre, le flux de matière
MAIC	Discret	Coupe et impact	Bas	force de champ magnétique
RFBC	Continu	Coupe et centrifuge	Bas	Vitesse de rotation de la chambre, flux de poudre, flux de gaz d'injection
Compositeur thêta	discret	Compression, cisaillement	Elevé	Vitesse de rotation de la chambre

5. Quelque exemple d'application de l'enrobage en voie sèche

Le tableau II.2 montre quelques applications de l'enrobage en voie sèche.

Tableau II.2 : Quelques applications d'enrobage en voie sèche.

Particules hôtes/ Particules invitées	Dispositif d'enrobage	Techniques de caractérisation	Objectifs	Auteurs
Alliage Ag-Ni (386 μm)/ Ni (1-0,2-0,02 μm)	Mécanofusion	-Microscopie électronique à balayage -Colorimètre : mesure de la couleur	-Développer un matériau de contact à haute performance pour l'industrie électrique	Satoh et al. 1992
PMMA (200 μm)/Alumine (20 μm)	MAIC	-Microscopie électronique à balayage + Analyse d'images	-Effet de : la taille des particules, temps de traitement et de la fréquence des collisions	Ata et al. 1993
Cuivre (69,1 μm)/Alumine (0,4 μm)	Thêta Composer	-calcul de l'énergie requise pour l'immobilisation des particules invitées et optimisation des conditions opératoires	-Détermination et optimisation des conditions opératoires par analyse de l'énergie nécessaire à l'immobilisation des particules invitées.	Iwasaki et al. 2002
PMMA (200 μm)/Alumine (0,7 μm)	RFBC	- MEB + analyse élémentaire (EDX) - Bain ultrasonique : détachements des particules invitées et mesure de l'adhésion.	-Amélioration et étude de la performance du RFBC	Pfeffer et al. 2001

Carbure de tungstène (WC, 6 μm)/ Cobalt (Co, 1,6 μm), AL ₂ O ₃ (0,5 μm) Carbure de titanium (TiC, 0,9 μm)	Hybridizer	-Microscope électronique à balayage (MEB) - Microanalyse par sonde rayons-x : intensité relative rayons-x des composés	-Effet de la taille de l'échantillon degré de mélange des composants. -Effet du degré de mélange sur les propriétés mécaniques des matériaux frittés.	Kangwan - trakool et al. 2001
---	------------	--	--	-------------------------------

Chapitre III

La mécanofusion

1. Introduction

Le système de mécanofusion a été développé au Japon en 1980 afin d'enrober des particules des poudres métalliques. Le dispositif qui est capable de l'effectuer est nommé réacteur de mécanofusion [7].

2. Principe de fonctionnement

Le dispositif, présenté sur la figure III.1, se compose principalement d'une chambre tournante, d'un marteau fixe d'une extrémité semi-cylindrique, et d'un racloir. Le racloir et le marteau peuvent être en céramique ou en acier inoxydable. Les particules hôtes et invitées sont placées dans la chambre rotative et sont soumises à des vitesses de rotation allant de 400 à 1600 tr/min. La poudre se heurte aux parois de la chambre sous l'effet de la force centrifuge. Elle est soumise à des forces de compression et de cisaillement lors de son passage dans l'entrefer situé entre le bras fixe et la paroi. La poudre est ensuite détachée de la paroi intérieure de la chambre par le racloir et de nouveau soumise aux mêmes actions décrites ci-dessus. L'enrobage des particules est obtenu par ces actions répétées pendant le temps de traitement [7].

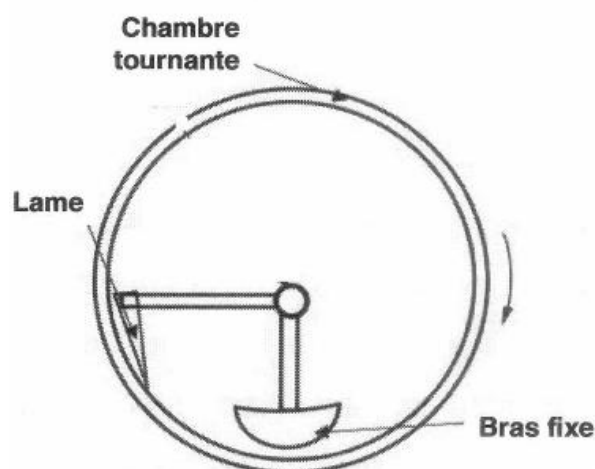


Figure III.1 : Schéma du principe de fonctionnement du réacteur de mécanofusion.

3. Les paramètres de contrôles ajustables agissant sur la mécanofusion

Le dispositif de mécanofusion à plusieurs paramètres de contrôles qui agissent sur le revêtement des particules :

- l'entrefer entre la paroi et les pièces de compression.
- l'entrefer entre la paroi et les racloirs.
- la vitesse de rotation de la chambre.
- le temps de séjour des poudres.
- l'atmosphère à l'intérieur de la chambre.
- la quantité totale de poudre et sa composition.

4. Mode de revêtement

Les forces mises en jeu dans cet appareil peuvent provoquer l'adhésion des particules d'enrobages aux particules hôtes. De plus, une réaction mécano-chimique peut se produire et ses effets sont très importants dans la compréhension du procédé d'enrobage en voie sèche. Les énergies très élevées fournies par ce type de machine peuvent être parfois néfastes aux produits traités.

5. Procédé d'enrobage par le système de mécanofusion

Naito et al. (1993b) ont proposé une description qualitative du procédé de mécanofusion en se basant sur des observations expérimentales sur des billes de verre de 23 μm de diamètre avec 0,03% (m/m) de fines particules de dioxyde de titane de 0,015 μm de diamètre. Le coefficient de fines particules fixées sur la surface des particules hôtes (R) et la surface spécifique (S) des particules enrobées ont été mesurés en fonction du temps de traitement (t) (Figure III.2).

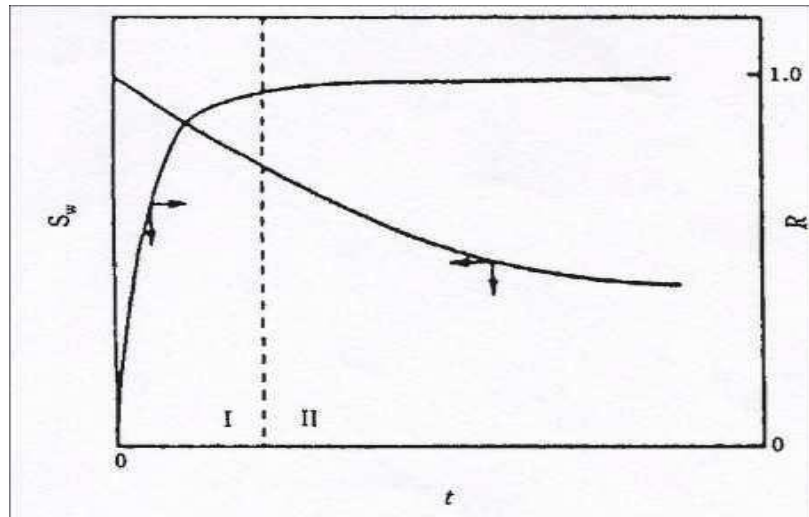


Figure III.2 : Procédé d'enrobage des particules hôtes par des particules fines dans le système de mécanofusion.

On distingue que le procédé d'enrobage par mécanofusion est divisé en deux parties : la première partie correspond à l'adhésion des particules fines d'oxyde de titane sur les surfaces des particules hôtes, on voit que la surface spécifique diminue à mesure que le pourcentage de particules fines attachées augmente. La partie II montre l'adhésion totale ($R=1$) des particules fines sur les particules hôtes. La diminution de la surface spécifique des particules enrobées avec le temps de traitement (t) s'explique par un processus de compactage de la couche de fines particules formées sur la surface des particules hôtes.

6. les avantages de la mécanofusion

Le procédé de mécanofusion a plusieurs avantages dans Le domaine de la métallurgie des poudres afin de crée de nouvelles générations de particules avec des propriétés et/ou fonctionnalités modifiées ou améliorées :

- La structure chimique de la surface des particules.
- Les propriétés de surface.
- Les propriétés physiques (optiques, magnétiques, électriques, mécaniques).
- Les propriétés thermodynamiques.
- L'isolation des particules d'autres substances.
- L'utilisation efficace des matériaux rares.

7. Conclusion

Il y a plusieurs avantages en employant le système de mécanofusion. D'abord, la forme du marteau et racloir, l'entrefer et la vitesse de rotation élevée de la chambre permettent aux particules d'être soumises au cisaillement très élevé et aux forces de compression. En second lieu, il y a une augmentation locale de la température dû à cette grande force qui agisse sur les particules, qui peuvent avoir comme conséquence l'enrobage des particules.

Chapitre IV

Conception du réacteur de mécanofusion

1. Introduction

Le réacteur à concevoir est une installation mécanique permettant de réaliser l'enrobage de particules de poudres métalliques et/ou céramiques de taille donnée par d'autres particules, généralement plus fines. Cette opération doit se faire en voie sèche ; c'est-à-dire par combinaison d'efforts mécaniques sans changement de phase (pas de passage à l'état liquide). Ce qui implique que les particules à revêtir, particules hôtes désignées par A, verront des particules de revêtement désignées par B, adhérer à leur surface. Pour que l'enrobage soit effectif, les particules B doivent se coller, avec ou sans déformation, à la surface des particules A. Pour ce faire, les particules doivent subir une combinaison d'importants efforts mécaniques de compression-cisaillement à fréquence élevée permettant leur collage-déformation. Pour que ces efforts mécaniques soient suffisamment élevés et en continu, la machine à concevoir doit être animée d'un mouvement de rotation généré par un moteur électrique ; solution la plus adéquate du point de vue mise en œuvre et rendement. Les principales exigences du procédé peuvent être résumées comme suit :

- 1- En voie sèche ; par action d'une combinaison de forces mécaniques compression-cisaillement exercées sur les particules.
- 2- L'action mécanique doit être continue pour permettre le revêtement de toutes les particules introduites dans le réacteur, d'où l'utilisation d'un moteur électrique.
- 3- La vitesse de rotation doit être suffisante pour conférer aux particules une quantité de mouvement importante à même d'atteindre une énergie mécanique qui permet le phénomène de mécanofusion.
- 4- Les efforts mécaniques à exercer sur les particules doivent être suffisants d'où la nécessité de concevoir un jeu de pièces fixes, notamment des marteaux, ayant des formes adéquates et faisant un entrefer avec la paroi de la chambre, entrefer à travers lequel les particules passeront lors du procédé.

5- Le revêtement à réaliser doit être continu et couvrant toute la particule hôte, d'où la nécessité de réaliser un dispositif pouvant fonctionner pendant plusieurs heures sans interruption.

6- Etant donné la grande variété des matériaux hôtes et de revêtement, allant de matériaux facilement déformables (comme les polymères) aux matériaux plus difficiles à déformer (comme les métaux durs et les céramiques), les contraintes liées à cet aspect peuvent être circonscrites aux cas des matériaux pour lesquels la métallurgie des poudres est la mieux indiquée comme technique d'élaboration.

7- Les paramètres physiques (température et atmosphère) du milieu de traitement, c'est à dire à l'intérieur de l'enceinte du réacteur, doivent être maintenus de sorte qu'aucune réaction chimique indésirable ne s'amorce et ne dégrade les poudres à traiter. Ceci malgré l'échauffement dû aux efforts de frottement et les éventuels dégagements de gaz par dégradation des matériaux constituant les diverses surfaces en contact.

8- La manipulation de réacteur par l'opérateur doit être facile, avec économie de temps et en toute sécurité (montage, démontage du réacteur, alimentation en poudres et extraction faciles, rapides tout en assurant les conditions de sécurité).

9- Le réacteur à concevoir est une machine devant fonctionner avec un minimum de vibrations.

10- Une bonne étanchéité de l'ensemble pour éviter l'échappement des très fines particules, extrêmement dangereuses pour le manipulateur et pour les personnes travaillant près du réacteur.

Vu que les principales exigences techniques énumérées ci-dessous peuvent-être satisfaites en adoptant des modèles de réacteurs déjà existants, nous avons choisi une méthode de conception adaptative en prenant comme modèle un réacteur conçu et réalisé au laboratoire Phymat (France).

2. Description d'un réacteur du mécanofusion

Un réacteur de mécanofusion est constitué d'une chambre cylindrique en rotation (figure **IV.1**) à l'intérieur de la quelle on dispose d'un jeu de pièces fixes formé à partir de deux marteaux de compression et deux racloirs. Lors de la rotation de la chambre, les

particules de poudre sont éjectées à la surface interne de la chambre sous l'effet de la force centrifuge. Elles sont de ce fait obligées de passer à travers l'entrefer entre les marteaux et la paroi de la chambre. Au niveau de cette zone (entrefer), les particules sont soumises à des forces de compression-cisaillement-frottement à fréquence élevée (2 fois la vitesse de rotation de la chambre). Elles se collent alors les unes sur les autres, les plus petites sur les plus grosses et s'agglomèrent sur la paroi interne de l'enceinte. Les racloirs, dont l'entrefer avec la paroi de la chambre est très réduit (0,1 à 0,5 mm), ont pour rôle de détacher les particules et les remettre dans le circuit de mécanofusion.

Pour réaliser le revêtement par le phénomène de mécanofusion, la vitesse de rotation est souvent comprise entre 500 et 3000 tr/mn, voire plus. Les efforts mécaniques de frottement-cisaillement-compression engendrent, d'une part, une importante élévation de la température dans la chambre et, d'autre part, l'usure de la surface interne de la chambre.

La figure IV.1 montre une vue en perspective de l'assemblage des pièces fixes disposées à l'intérieur de l'enceinte du réacteur. Lors du fonctionnement, les particules de poudre sont en contact permanent avec certains éléments constituant les parties actives du réacteur. Nous désignerons ces pièces par pièces actives. Ce sont : la chambre (enceinte du réacteur, figure IV.3) ; le jeu assemblé des pièces fixes (figure IV.25) et le couvercle de l'enceinte (figure IV.4). Lors du fonctionnement, l'enceinte doit rester hermétiquement fermée pour éviter d'éventuelles fuites de particules ou le renouvellement de l'atmosphère de traitement. D'où la nécessité d'utiliser un joint plat collé sur la surface supérieure de l'enceinte du réacteur.

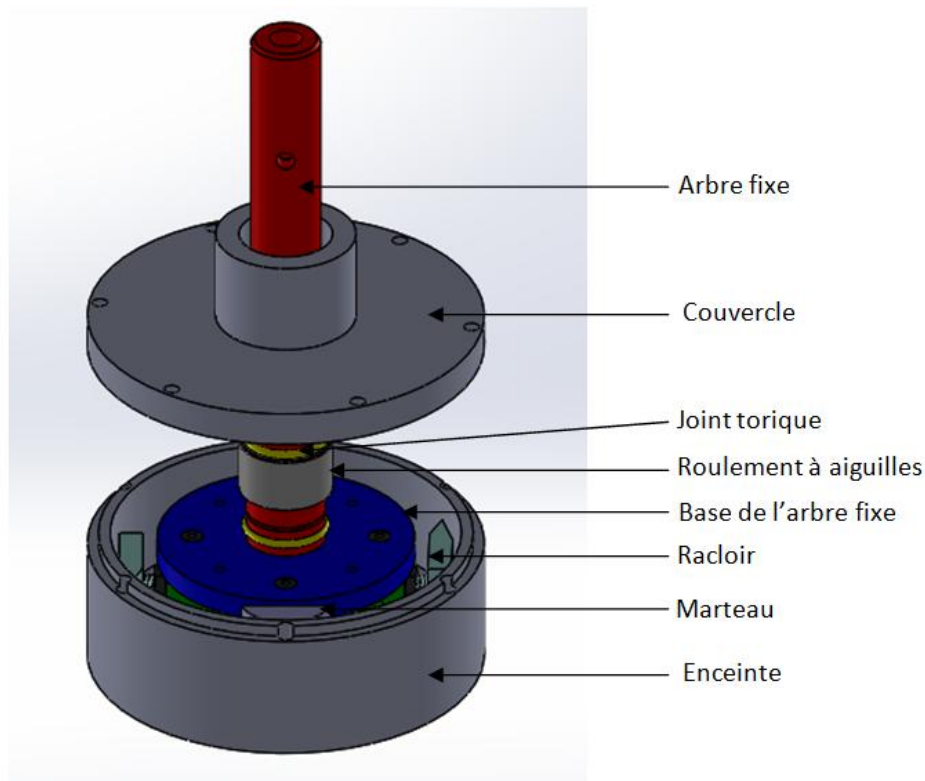


Figure IV.1 : Vue en perspective des principales parties du réacteur de mécanofusion.

3. Quelques exigences techniques

Les principales exigences techniques énumérées ci-dessus impliquent les spécifications techniques conférées au réacteur à concevoir :

- Les pièces actives à concevoir (chambre, marteaux et racloirs) doivent être en matériaux durs et relativement ductiles à même de pouvoir communiquer aux particules des efforts mécaniques suffisants. Les matériaux à base desquels ces pièces seront fabriquées doivent en outre présenter une bonne résistance à l'oxydation à chaud.
- Les formes des pièces fixes, leurs dimensions et états de surface doivent être adéquats pour traiter des poudres métalliques, céramiques et polymères.
- Les entrefers marteaux de compression-paroi de la chambre et racloirs-paroi de la chambre ajustables, de préférence avec des valeurs continues, en utilisant des cales d'épaisseurs comprises entre 0,01 et 5 mm.
- L'ensemble des pièces fixes et la chambre ayant des dimensions suffisantes pour éviter toutes déformations, aussi minimales soient-elles, au niveau de leurs zones actives ou de corps (tiges supports) et au niveau de la paroi.

- La vitesse de rotation du réacteur doit être réglable, avec valeurs continues comprises entre 100 et 6000 tr/min.
- Moteur électrique puissant à même d'assurer un couple suffisant pour un démarrage du réacteur même avec charge de poudres "difficiles" à traiter (poudres ayant tendance à s'agglomérer, à trop adhérer à la paroi de la chambre, etc.). Le moteur le mieux indiqué est de type asynchrone, de puissance supérieure à 1.5 kW.
- La conception du système mécanique doit prendre en compte l'aspect stabilité et robustesse du réacteur (minimum de vibrations), annulation des efforts radiaux au niveau des zones de contact entre l'arbre fixe et le couvercle de la chambre.
- La mécanofusion étant un phénomène généré par suite de contraintes mécaniques exercées sur les particules et ce à fréquence élevées, d'importantes élévations de température peuvent survenir dans l'enceinte du réacteur. Un système de refroidissement de l'ensemble est nécessaire.
- Lors du traitement des poudres, l'élévation de la température peut provoquer des réactions d'oxydation ou autres qui dégageront des gaz pouvant s'avérer nocifs. Un système d'étanchéité à même de minimiser le renouvellement de l'air dans la chambre est à prévoir.

4. Solutions

- Parmi les matériaux de choix pour l'enceinte, les racloirs et les marteaux, les matériaux durs comme les céramiques techniques ou les céramiques traditionnelles sont des matériaux suffisamment durs. Ces matériaux présentent toutefois des inconvénients tels que la difficulté de leur usinage et l'aspect broyeur qu'ils confèrent au réacteur [Jay 08]. L'utilisation d'aciers ordinaires peut s'avérer inadéquat vu que les pièces fixes subiront des efforts de frottement, donc de hautes températures qui risquent de favoriser leur oxydation. De ce fait, un acier inoxydable suffisamment dur comme le 316L (Z6 CND 17-12) semble le plus indiqué (du moins un bon compromis). Le tableau IV.1 regroupe les principales caractéristiques de l'acier Inox choisi. Pour des usages autres que le revêtement des poudres métalliques (par exemple, le traitement de poudres polymères), l'usage d'une enceinte à base d'acier ordinaire peut être envisagé.
- Les pièces fixes de compression (marteaux) de forme arrondie, en demi-cylindre plein, de diamètre suffisant pour que les particules suivent des trajectoires les menant directement dans l'entrefer marteau-paroi de la chambre.

- Les racloirs de forme et dimensions adéquates à même de pouvoir racler les particules collées à la surface de la paroi interne du réacteur. La forme la mieux indiquée est en V de sorte que l'entrefer racloir-paroi soit au niveau de la pointe. Le racloir est à disposer de sorte que la pointe soit d'attaque lors du fonctionnement.
- Les pièces fixes sont à disposer sur une partie solidaire avec la partie fixe du réacteur. Parmi les solutions répondant à l'exigence de pouvoir ajuster les entrefers avec la paroi de la chambre, le guidage en translation de tiges solidaires avec les pièces fixes dans des pièces cubiques, elles-mêmes montées sur la partie fixe semble la plus indiquée. Le serrage de ces pièces est de ce fait à effectuer en utilisant des écrous de part et d'autre des pièces cubiques (voir figure IV.26). Le réglage des entrefers se fera en utilisant une bague de diamètre égal à celui de la chambre. Cette bague sera montée sur le couvercle de la chambre, dans la position « renversé », de sorte à obtenir la concentricité avec l'arbre fixe sur lequel les marteaux et racloirs sont montés.
- Les parties actives des pièces fixes (marteaux et racloirs) sont soudées sur des tiges filetées traversant un trou lisse de diamètre légèrement supérieur prévu dans les cubes fixés sur la base de l'arbre fixe. Le guidage en translation de ces pièces, lors du réglage des entrefers, est assuré en usinant une rainure le long de la surface filetée ; rainure dans laquelle sera logé le bout d'une vis de pression au moyen de laquelle on immobilise les pièces fixes pour les serrer.
- Pour assurer l'immobilisation des pièces fixes pendant le fonctionnement, malgré les efforts élevés de compression, leurs tiges sont filetées et deux écrous, de part et d'autre du cube de fixation permettent de les bloquer par serrage (voir figure IV.27).
- Asservissement du réacteur en utilisant un capteur de vitesse, un automate et un contrôleur automatique de la vitesse de rotation.
- Le réglage de la vitesse de rotation du réacteur se fera en utilisant un régulateur automatique. Il s'agira d'un régulateur permettant le contrôle de la vitesse de rotation en la comparant à des valeurs instantanées de la consigne. En effet, lors du traitement des poudres, les surfaces des particules subissent des modifications entraînant des changements de forme par sphéroïdisation des particules et par conséquent réduction des taux de contraintes. Ce qui fait augmenter la vitesse de rotation de la chambre.
- La stabilité mécanique du réacteur est tributaire de l'utilisation de pièces suffisamment massives, assemblées par soudage dans le cas des liaisons complètes, usinées avec précision et de bons serrages lors du montage du réacteur.

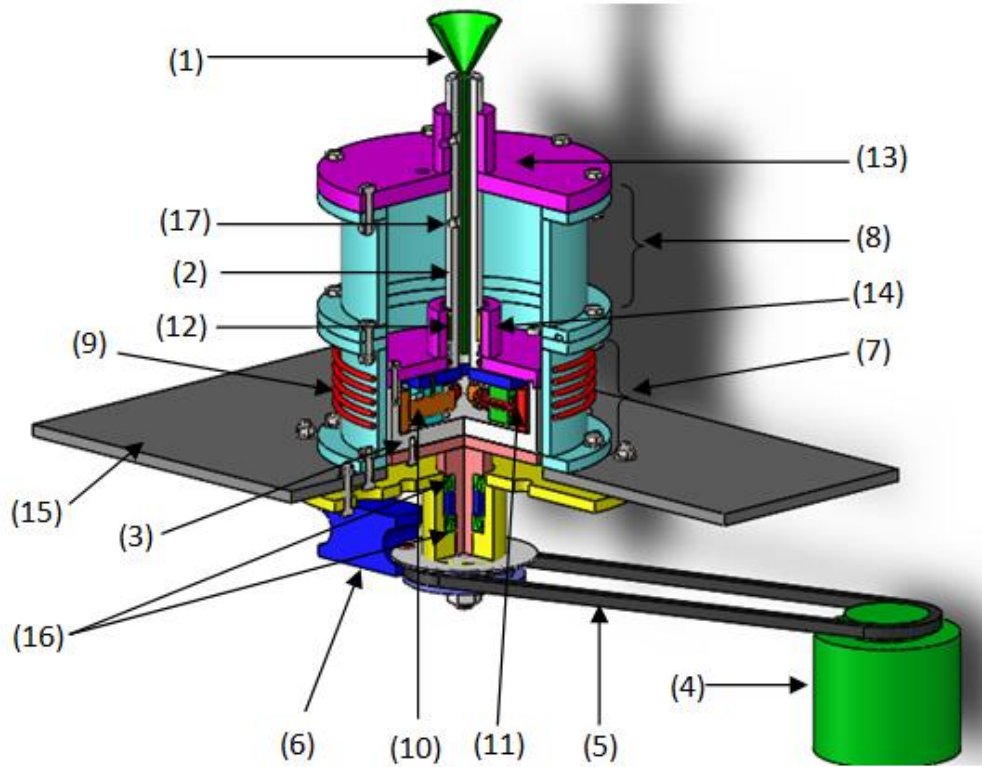
- Le refroidissement du réacteur est à assurer en prévoyant des trous d'aération au niveau de la base de l'arbre tournant (support de l'enceinte) et mettant un circuit d'eau de refroidissement (un serpentín en cuivre) autour du corps inférieur. Lors de la rotation de l'enceinte, l'air rafraîchi grâce à la circulation d'eau dans le circuit de refroidissement, se trouve en contact avec les pièces chaudes du réacteur (enceinte et son support) et les refroidit.
- Pour l'étanchéité de l'enceinte, un joint papier à coller sur la surface de contact chambre-couvercle est à prévoir. Un trou à aménager dans l'arbre fixe, communiquant avec le conduit d'introduction des poudres, permettra de placer un tube d'extraction des gaz nocifs, lesquels seront évacués vers l'extérieur en utilisant une hotte de laboratoire. En option, un tel trou peut servir pour introduire un thermocouple qui détectera la température à l'intérieur de l'enceinte pendant le fonctionnement du réacteur.

Tableau. IV.1 : Les propriétés et les caractéristiques de l'acier inox 316L.

Type de compositions chimique	% des éléments
Carbone	0.03
Chrome	17
Nickel	10-14
Magnésium	2
Silicium	0.03
Soufre	0.045
Propriétés physiques	
Densité en kg.m ⁻³	8027
Point de fusion: K	1673-1723
Structure	Austénitique
Propriété mécanique	
Dureté Brinell	150
Dureté Rockwell B	80

5. Conception des éléments du réacteur

Les éléments du réacteur à concevoir sont étudiés suivant un ordre combiné de leur importance technologique et aussi des contraintes de montage. La figure IV.2 montre une vue en perspective du réacteur tel qu'il est envisagé.



(1) Conduite d'introduction des poudres, (2) Arbre fixe, (3) Chambre du réacteur, (4) Moteur, (5) Courroie, (6) Capteur de vitesse, (7) Partie inférieure du corps du réacteur, (8) Partie supérieure du corps du réacteur, (9) Serpentin en cuivre, (10) Marteaux de compression, (11) Racloirs, (12) Roulement à aiguille, (13) Couvercle supérieur du réacteur, (14) Couvercle de la chambre, (15) Plaque porte réacteur, (16) Roulement à rouleaux coniques, (17) Trou d'aération.

Figure IV.2 : Vue en coupe du réacteur de mécanofusion.

Les formes des pièces à concevoir vont dépendre :

- De la fonction à remplir.
- Des conditions de fabrication.
- Du choix de matériau.
- Du procédé de fabrication

Pour la conception des toutes les pièces, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks.

Les éléments constitutifs du réacteur sont des pièces mécaniques et autres composants électriques que nous décrirons dans ce qui suit. Les dessins d'ensemble de certaines zones du réacteur et les dessins de définition des pièces mécaniques sont rapportés en annexes.

5.1. L'enceinte du réacteur

Elle est de forme cylindrique de diamètre intérieur 150 mm et de diamètre extérieur 170 mm. Comme mentionné plus haut, cette enceinte est en acier inox. L'enceinte doit avoir un volume suffisant pour pouvoir générer une couronne cylindrique d'épaisseur et de hauteur optimales pour le traitement de quantités raisonnables de poudres métalliques dans un laboratoire de recherches ; raison pour laquelle sa hauteur est fixée à 45 mm (du côté intérieur). La figure IV.3 présente une vue en perspective de la chambre du réacteur (enceinte).

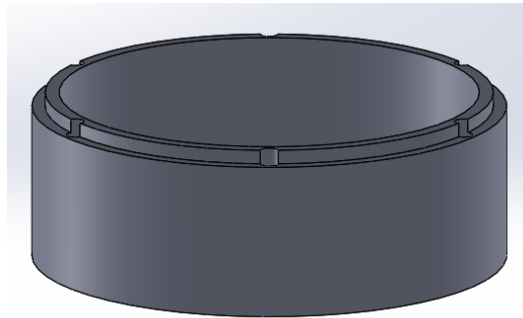


Figure IV.3 : Vue en perspective de la chambre du réacteur.

5.2. Le couvercle de la chambre

Le couvercle de la chambre a pour fonction la fermeture, avec étanchéité, de l'enceinte. La figure IV.4 présente une vue en perspective du couvercle de la chambre.

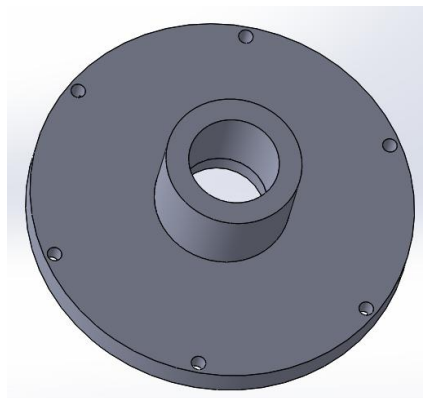


Figure IV.4 : Vue en perspective du couvercle de la chambre.

5.3. Les marteaux et racloirs

Le jeu de pièces fixes est constitué de deux marteaux de compression et de deux racloirs. Les marteaux de compression servent à forcer les particules à subir les efforts de compression-cisaillement tandis que les racloirs ont pour fonction de détacher les particules collées sur la paroi et de les remettre dans le circuit de mécanofusion. Les figures IV.5 et IV.6 montrent, respectivement, des vue en perspectives d'un marteau de compression et d'un racloir.

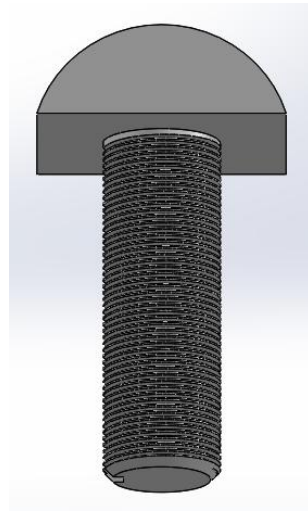


Figure. IV.5 : Vue en perspective d'un marteau de compression.

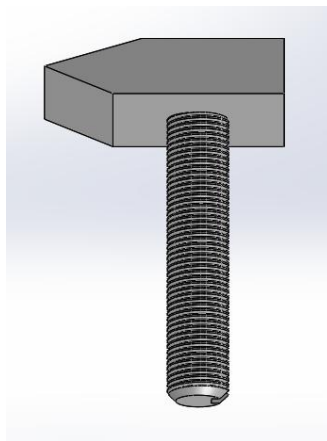
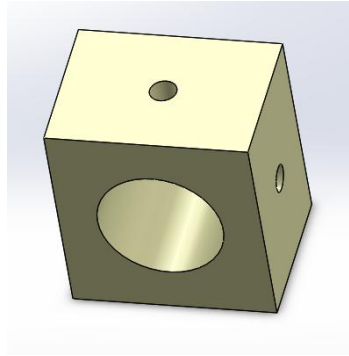


Figure IV.6 : Vue en perspective d'un racloir.

5.4. Les supports de fixation des pièces fixes

Il s'agit de supports pleins, troués suivant l'axe radial de l'enceinte à l'effet de faire passer les tiges des marteaux et racloirs. Les figures IV.7 et IV.8 montres, respectivement, des vues en perspectives des cube l'un pour le marteau et autre pour le racloir.



Figures IV.7 : Vue en perspective de support pour le marteau.

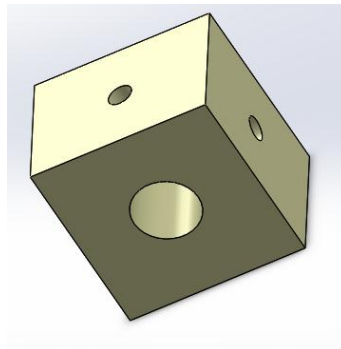


Figure IV.8: Vue en perspective de support pour le racloir.

5.5. Arbre fixe et arbre tournant

Toutes les pièces fixes sont montées sur la base de l'arbre fixe en veillant à assurer une coaxialité de l'ensemble avec la paroi interne de la chambre, elle-même montée avec coaxialité sur la partie inférieure (arbre tournant) qui supporte l'enceinte du réacteur qui sert de pièce de guidage pour la partie supérieure. Après montage, la partie supérieure doit rester immobile (solidaire avec tout le corps fixe du réacteur) tandis que la partie inférieure (arbre tournant, l'enceinte et son couvercle) tournent autour de l'axe du réacteur. Les entrefers marteaux-paroi de l'enceinte et racloirs-paroi de l'enceinte sont les paramètres géométriques de fonctionnement à respecter. Etant donné la gamme des tailles de particules à traiter

(poudres métalliques et céramiques de tailles micrométriques), il est nécessaire de pouvoir ajuster les entrefers à des valeurs dont les écarts sont de l'ordre d'une dizaine de μm . De ce fait, les tolérances de coaxialité sont toutes inférieures à 0,05 mm, valeur minimale pouvant être aisément assurée lors de l'usinage en utilisant un centre d'usinage (machine à commande numérique de gamme moyenne). Pour assurer le bon réglage permettant de rester dans les tolérances admises, le repère de réglage est la plaque porte arbre (figure IV.9). Au montage, toutes les pièces fixes se trouveront en position de coaxialité à une tolérance minimale avec l'axe de l'arbre tournant. C'est la fixation de l'enceinte sur l'arbre tournant qui permettra de réduire davantage, voir d'annuler, l'espace entre la surface cylindrique réelle et la surface théorique que décrit la paroi de l'enceinte lors de sa rotation. Le réglage se fera donc au montage de l'enceinte sur l'arbre tournant en utilisant un comparateur de précision. Par conséquent, l'ouverture puis la fermeture du réacteur n'affecteront pas, sinon extrêmement peu, les positions spatiales des pièces fixes par rapport à la paroi de la chambre.

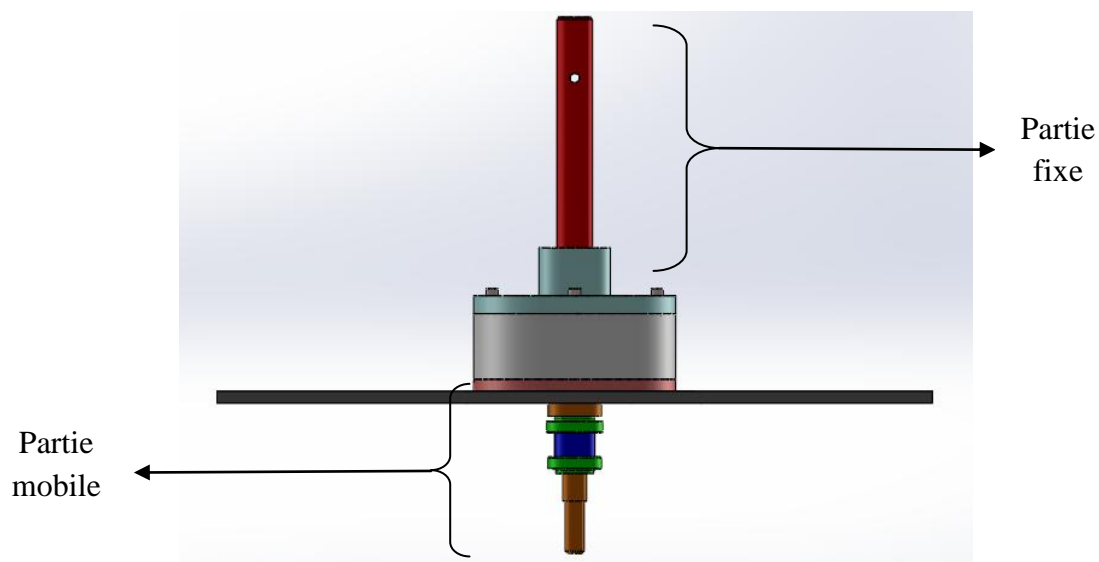


Figure IV.9 : Vue de face de la partie fixe et mobile du réacteur de mécanofusion.

5.5.1. Arbre tournant

La conception de l'arbre est faite de sorte que cette pièce puisse transmettre le mouvement du moteur à la chambre du réacteur. La figure IV.10 présente une vue en perspective de l'arbre tournant.



Figure IV.10 : Vue en perspective de l'arbre tournant.

5.5.2. Arbre fixe

Un trou débouchant est percé suivant l'axe dans l'arbre fixe et sert de conduit pour l'introduction des poudres. Au niveau de la partie supérieure de l'arbre fixe, un trou de 8 mm de diamètre est percé perpendiculairement à l'axe de l'arbre et sert comme passage de la goupille de blocage. Cette dernière est prévue pour assurer une liaison complète entre l'arbre fixe et le couvercle du réacteur. Ainsi, un trou de même diamètre (8 mm) est aménagé au niveau du col du couvercle (trou débouchant au niveau de la partie fixe, voir figures IV.9, IV.11, IV.19 et IV.32). Au niveau de sa partie inférieure, au dessus de la base, l'arbre fixe comporte une surface lisse, en bonne coaxialité avec la chambre du réacteur, est prévue pour accueillir les aiguilles d'un roulement de type à aiguilles sans bague intérieure. Pour éviter que les particules ne viennent s'incruster dans la zone active du roulement (zones dans laquelle les aiguilles sont en contact avec la surface de l'arbre), une gorge est prévue pour accueillir un joint torique de diamètre extérieur très légèrement supérieur au diamètre intérieur du corps du couvercle (partie mobile ; partie repérée n°14 sur la figure IV.2). Un autre trou débouchant uniquement sur le conduit d'introduction des poudres est prévue à mi-hauteur de l'arbre fixe. Ce trou sert pour le passage d'un tuyau qui servira au contrôle de l'atmosphère dans la chambre du réacteur (pour l'introduction-pompage de gaz) et d'un thermocouple pour la détection de la température. La figure IV.11 présente une vue en perspective de l'arbre fixe (voir aussi figure IV.2).

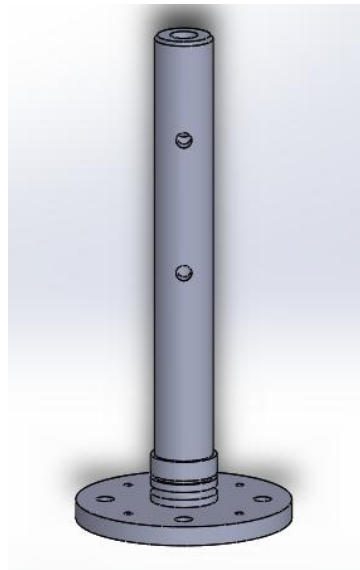


Figure IV.11 : Vue en perspective d'un arbre fixe.

5.6. Choix des roulements

Nous avons choisi deux roulements, l'un à rouleaux pour l'arbre tournant et un roulement à aiguille pour l'arbre fixe. Ces types de roulements conviennent pour les mouvements et pièces telles que les nôtres puisque les charges sont essentiellement radiales et des rotations à vitesses élevées.

a) Caractéristiques des roulements choisis

- Les roulements à rouleaux conique supportent les charges axiales et radiales.
- Le roulement aiguille choisis pour le guidage de l'arbre fixe.
- Ils permettent une bonne coaxialité des portées de l'arbre d'une part, et des alésages des logements d'autre part.

b) Dimensions des roulements R1, R2 R3

Les roulements R1 et R2 sont de type à rouleaux coniques montés en X et séparés par une bague au niveau de l'arbre tournant (figure IV.22). Le roulement R3 est celui prévu au niveau de l'arbre fixe, roulement à aiguilles (figure IV. 2, pièce n° 12).

Le roulement R1, choisi selon, d'une part, la norme (dimensions en fonction de l'arbre et du moyeu) et d'autre part selon le type adéquat (conique), a les dimensions suivantes :

- Diamètre extérieur $D = 47$ mm.
- Diamètre intérieur $d = 22$ mm.

- Largeur du roulement B = 17 mm.

Pour que les montages du deuxième roulement et de l'ensemble arbre-bague-roulements soient possibles et aisés, les dimensions du roulement R2 sont prises légèrement inférieures à celles de R1. Les valeurs correspondantes sont les suivantes :

- Diamètre extérieur D = 45 mm.
- Diamètre intérieur d = 20 mm.
- Largeur du roulement B = 14 mm.

Pour le roulement R3, il est de type à aiguilles. Les dimensions normalisées sont comme suit :

- Diamètre extérieur D = 42 mm.
- Diamètre intérieur d = 30 mm.
- Largeur du roulement B = 28 mm.

c) Ajustements pour le montage des roulements R1, R2 et R3

Les ajustements choisis sont décrits ci-après. Pour le roulement R1, les tolérances sont :

- Tolérance sur l'arbre 22 h6 est 22^{+43}_{+22} .
- Tolérance sur l'alésage 47 H7 est 47^{+25}_0 .

Pour le roulement R2, les tolérances sont :

- Tolérances sur l'arbre 20 h6 est 20^0_{-21} .
- Tolérances sur l'alésage 45 H7 est 45^{+25}_0 .

Pour le roulement R3, les tolérances sont :

- Tolérances sur l'arbre 42 h6 est 42^0_{-16} .
- Tolérances sur l'alésage 30 H7 est 30^{+21}_0 .

5.7. Table

Pour une utilisation facile du réacteur en toute sécurité, et dans le but d'assurer sa stabilité mécanique pendant le fonctionnement, nous allons concevoir une table en acier ordinaire qui aura à supporter l'ensemble du réacteur. La hauteur de la table est de l'ordre de

700 mm (hauteur proche de celle d'un bureau). La carcasse de la table (figure IV.12) est faite de tubes creux en acier : des tubes carrés pour les pieds et des tubes de section rectangulaire pour les supports horizontaux de la table de travail et du support du réacteur. Ces deux derniers sont des plaques en acier inox 304L d'épaisseurs respectives 4 mm et 20 mm. Les tubes de la carcasse sont assemblés par soudage tandis que la table de travail est fixée au moyen de vis montées depuis le dessous de la table. La plaque support du réacteur est fixée en utilisant de vis de diamètre suffisant pour éviter la perte de stabilité au cours du fonctionnement ; le diamètre choisi est M8. Une plaque en aluminium, servant de support pour les composants électroniques et dispositifs de mise en fonctionnement et de contrôle (une sorte de tableau de bord) est fixée sur la partie latérale de face au moyen de vis M10.

Pour pouvoir régler la position horizontale de la table, de sorte que l'axe du réacteur soit parfaitement parallèle à la direction de la pesanteur (non pas perpendiculaire au sol qui peut dévier légèrement si le réacteur est déposé sur un sol à défaut d'horizontalité). Cette condition est nécessaire pour éviter la tendance des pièces fixes au basculement d'un côté du réacteur. Pour satisfaire cette condition en tout lieu, les bouts de pieds de la table se terminent par des écrous M20 soudés à l'intérieur des tubes. Des vis M20 sont vissées dans les écrous et permettent, par réglage de leurs positions angulaires, d'ajuster les positions des pieds du réacteur.

La table est conçue de manière à ce qu'elle puisse supporter la charge de tout le réacteur. En outre, un support (figure IV.13) pour le moteur électrique est prévu au niveau du pied central arrière au dessous de la table de travail. Il sera monté au moyen de pommelées (figure IV.14) fixées à une hauteur légèrement ajustable de sorte que la poulie du moteur et celle solidaire avec la chambre du réacteur soient dans un plan horizontal, donc perpendiculaire à l'axe du réacteur. Pour minimiser les vibrations, les oscillations du support par rapport à la position angulaire d'équilibre sont amorties en reliant le support à la table à l'aide d'un ressort adéquat (figure IV.15) comme le montre la figure IV.20 qui illustre le montage de la table.

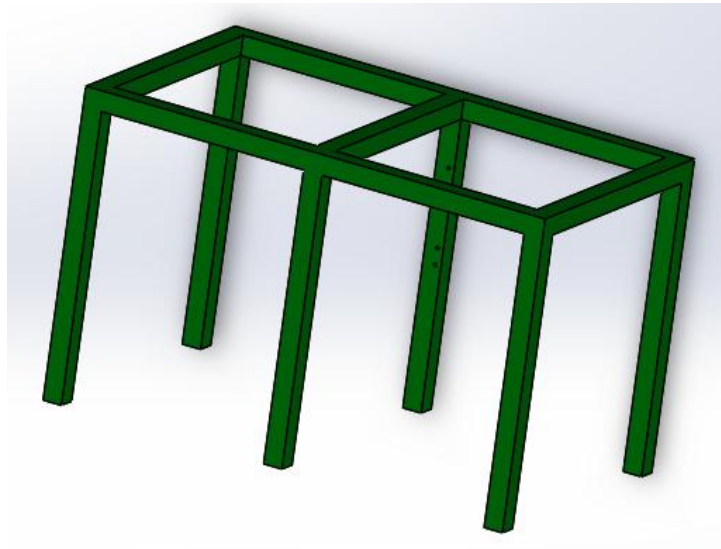


Figure IV.12 : Vue en perspective de la carcasse de la table.

Les éléments reliés à la table sont :

a) Plaque porte moteur :

Il s'agit d'une plaque en acier ordinaire conçue de manière à pouvoir supporter la charge du moteur électrique. La figure IV.13 représente une vue en perspective de la plaque porte moteur.

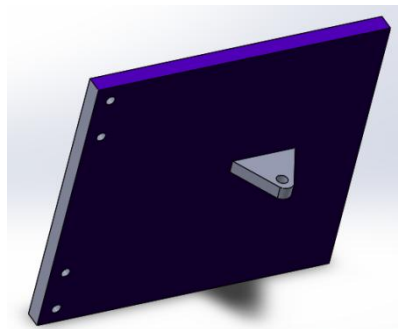


Figure IV.13 : Vue en perspective de la plaque porte moteur.

b) Les pommelles :

Sur le pied du milieu de la table on perce 4 trous pour passage de vis M8 sur lesquelles se fixent des pommelles qui auront à supporter la charge et assurer le mouvement de rotation de la plaque porte moteur (pour l'amortissement des vibrations). La figure IV.14 montre des vues en perspective d'une pommelle mâle et femelle.

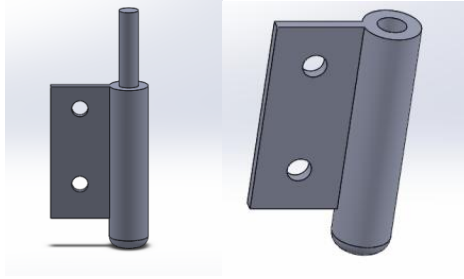


Figure IV.14 : Vue en perspective d'une pommelle mâle et femelle.

c) Ressort :

Comme décrit plus haut (paragraphe 5.7), un ressort est prévu pour assurer l'équilibre de la plaque porte moteur. La figure IV.15 présente une vue en perspective d'un tel ressort pour lequel deux spires, de part et d'autre, sont écartés pour servir de crochets.

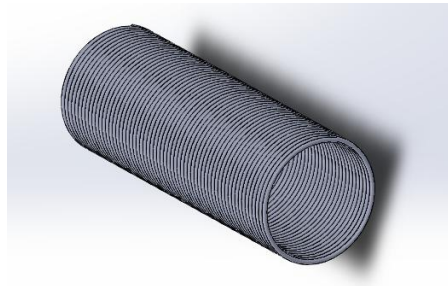


Figure IV.15 : Vue en perspective d'un ressort.

5.8. Corps inférieur et supérieur du réacteur

Le corps inférieur et le corps supérieur qui couvrent la chambre et l'arbre fixe sont identiques. Ils sont de forme cylindrique, superposés l'un sur l'autre et fixés de manière solidaire au moyen de vis et servent à couvrir les composants internes du réacteur. La figure IV.16 présente une vue en perspective du corps inférieur du réacteur.

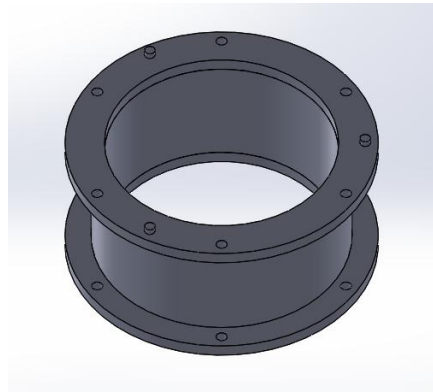


Figure IV.16 : Vue en perspective du corps inférieur du réacteur.

5.9. Entonnoir métallique pour l'introduction des poudres

C'est une conduite en acier inox servant à introduire la poudre dans la chambre du réacteur et ce à une hauteur dépassant le trou de passage du tube à gaz. La figure IV.17 présente une vue en perspective de la conduite d'introduction des poudres.

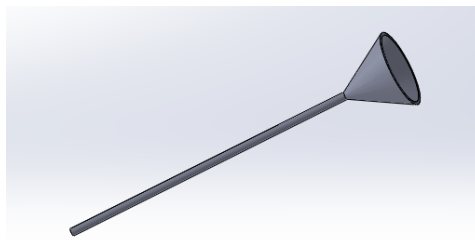


Figure IV.17 : Vue en perspective de la conduite d'introduction des poudres.

5.10. Conception du serpentin de refroidissement

L'élévation de température dans le réacteur lors de mise en marche est contrôlée par un système de refroidissement pour éviter toute surchauffe du système. Le refroidissement du réacteur se fait à l'aide d'un serpentin de cuivre transportant l'eau de refroidissement. Ce serpentin en cuivre est à souder au chalumeau sur toute la surface externe du corps inférieur. Pour l'économie d'eau de refroidissement et l'alimentation en continu, le circuit de refroidissement est fermé et l'eau froide est pompée dans le circuit au moyen d'une pompe à eau déposée au niveau d'un grand bac à eau (réservoir) fixé au dessous de la table.

La mise en place d'un thermocouple relié à l'automate permet d'actionner, en cas d'échauffement excessif, le système de refroidissement et générer un signal d'alarme dans le

cas où la température atteint la valeur limite (fixée par exemple en fonction des propriétés physiques du matériau à traiter). La figure IV.18 illustre l'installation de ce système.

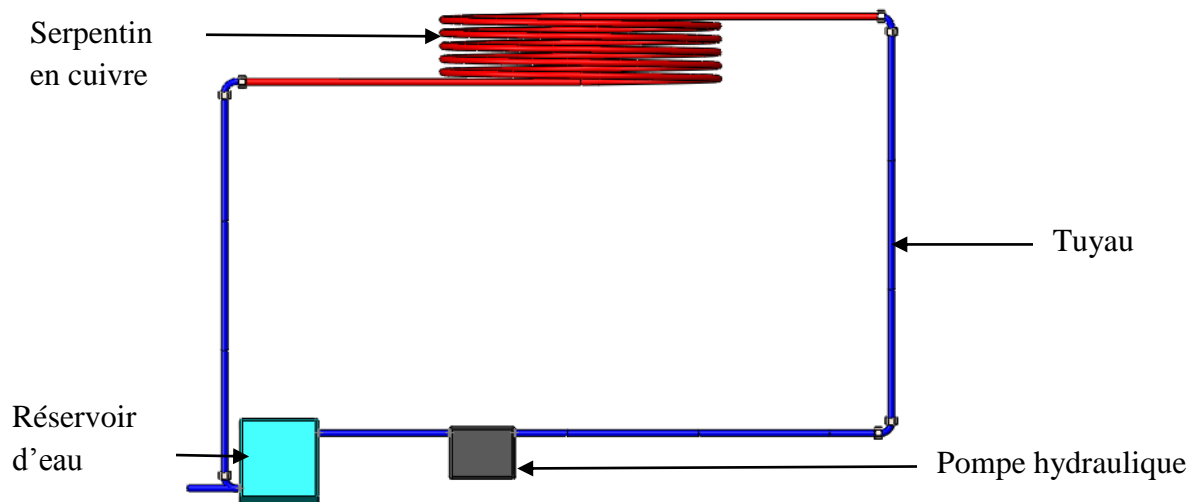


Figure IV.18 : Système de refroidissement.

5.11. Conception du couvercle de la partie supérieure

C'est un couvercle qui sert pour la fermeture de tout le système après fermeture de la chambre du réacteur et la mise en place de la partie supérieure du corps du réacteur. Un trou débouchant est prévu au niveau du col, perpendiculairement à l'axe de l'arbre fixe, pour le passage de la goupille de blocage. Un autre trou débouchant est prévu sur la surface pour l'introduction de tuyau qui servira au contrôle de l'atmosphère dans l'enceinte du réacteur. La figure IV.19 présente une vue en perspective du couvercle de la partie supérieur.

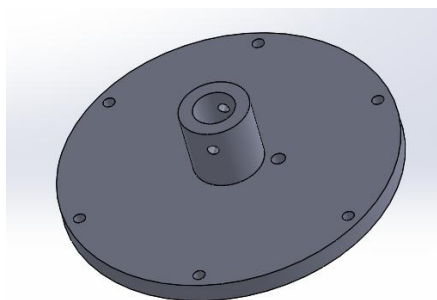


Figure IV.19 : Vue en perspective du couvercle de la partie supérieure.

6. Assemblages et contraintes d'assemblage

Lors de la conception des pièces en utilisant le logiciel SolidWorks, l'assemblage est simulé en faisant appel aux divers outils qu'offre ce logiciel. Cette méthode a permis de vérifier, partie par partie, l'assemblage des pièces, les éventuelles erreurs pouvant conduire à des difficultés de montage ainsi que les autres possibilités dans le choix des formes et dimensions des pièces. Lors de l'utilisation du logiciel, nous avons pris le soin de prendre en considération certaines précautions relatives aux pièces de référence, au maximum d'éléments d'esquisse et les liens entre les pièces. Les résultats de chaque manip du logiciel sont conservés systématiquement ; ce qui est indispensable pour que le modèle se mette à jour en cas de modification.

6.1. Assemblage de la table du réacteur

Les tubes carrés constituant les pieds et les tiges support de la plaque de travail seront assemblés par soudage pour constituer la carcasse de la table. Les plaques latérales et celle de face représentant les caches seront vissées sur les pieds et tiges latérales de la table. Les bouts de pieds sont munis d'écrous M20 soudés à l'intérieur du tube. Des vis M20, montées à ce niveau, tête vers le bas, permettent d'ajuster la hauteur de la table avec un maximum de précision en assurant de ce fait une le niveau horizontal de la table, donc le parallélisme de l'axe de l'arbre fixe avec la vecteur accélération de la pesanteur. Cette précaution est nécessaire à prendre pour éviter un défaut de parallélisme entre les génératrices verticales des de pièces fixes, notamment les marteaux de compression, avec la paroi interne de la chambre. En effet, dans un tel cas de figure, un effet broyeur peut se manifester lors du processus de mécanofusion. La figure IV.20 représente une vue en perspective de l'assemblage de la table du réacteur.

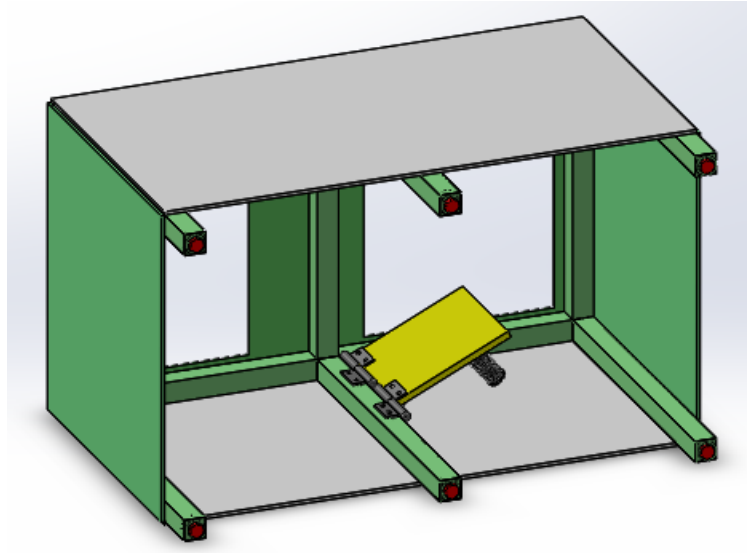


Figure IV.20 : Assemblage de la table du réacteur.

6.2. Assemblage de transmission du système

Un moteur transmet son mouvement de rotation par l'intermédiaire d'un système poulie-courroie à l'arbre tournant lui-même complètement lié à l'enceinte du réacteur ; cette dernière étant montée au moyen de vis de fixation sur la base de l'arbre tournant (figure IV.10). La figure IV.21 représente une vue en perspective de la transmission du mouvement.

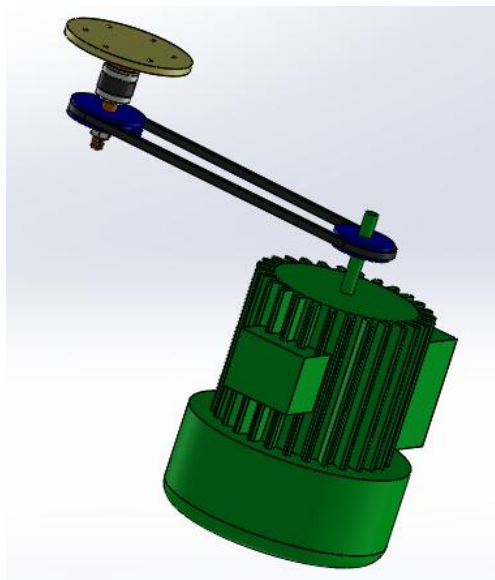


Figure IV.21 : Vue en perspective des éléments assemblés assurant la transmission du mouvement.

6.3. Assemblage des roulements sur l'arbre tournant

Les deux roulements à rouleaux coniques avec bague extérieure non tournante disposée entre eux permettent à l'arbre de tourner autour de son axe. Les bagues extérieures des deux roulements seront logées au niveau des zones correspondantes du moyeu de la plaque porte chambre (pièce jaune, figure IV.2 et figure IV.23). La figure IV.22 représente une vue en perspective de l'assemblage des roulements sur l'arbre tournant.

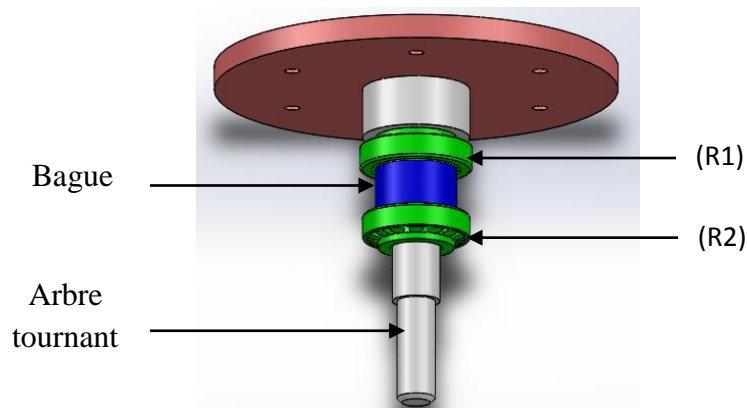


Figure IV.22 : Assemblage des roulements sur l'arbre tournant.

Le montage des deux roulements sur l'arbre doit être en X en raison de la nécessité de satisfaire la bonne distribution des charges axiales et radiales. La figure IV.23 illustre le montage sur la plaque porte chambre du réacteur.

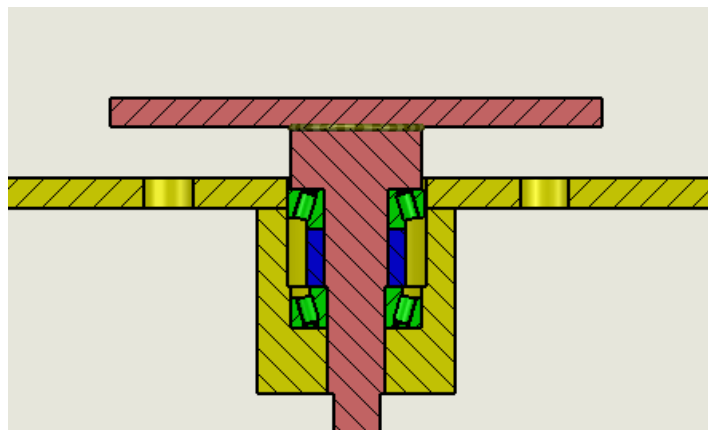


Figure IV.23 : Le montage en X des roulements coniques sur l'arbre tournant.

6.4. Assemblage de l'arbre tournant avec l'enceinte du réacteur

L'assemblage de la chambre avec l'arbre tournant est réalisé au moyen de vis CHC M6. Le montage doit assurer une très bonne coaxialité des deux éléments. La liaison entre ces deux pièces doit être complète, c'est-à-dire sans possibilité de mouvement relatif pendant le fonctionnement, aussi réduit soit-il. Pour cela, les trous de passage percés dans la base supportant l'enceinte sont de diamètre légèrement supérieur au diamètre nominal nécessaire pour le passage des vis prévues. Lors du montage, un comparateur de précision fixé sur la partie inférieure du corps du réacteur (pièce 7, figure IV.2) permet de régler la coaxialité de la chambre avec le corps du réacteur. Ce dernier étant en parfaite coaxialité avec l'arbre portant le jeu de pièces fixes, ce réglage permet de serrer, dans la position ainsi déterminée, la chambre sur sa base. La figure IV.24 illustre le montage de l'enceinte du réacteur sur l'ensemble arbre tournant et sa base.

6.5. Assemblage des cubes, racloirs et marteaux

Les cubes sont montés avec les pièces fixes (marteaux et racloirs) sur la base de l'arbre fixe à l'aide d'écrous pour former un ensemble solidaire avec l'arbre fixe. La figure IV.25 montre illustre, par une vue de dessous de l'assemblage arbre fixe-cubes-marteaux et racloirs, les positions relatives des pièces fixes par rapport à la paroi interne de la chambre, symbolisée par un cercle.

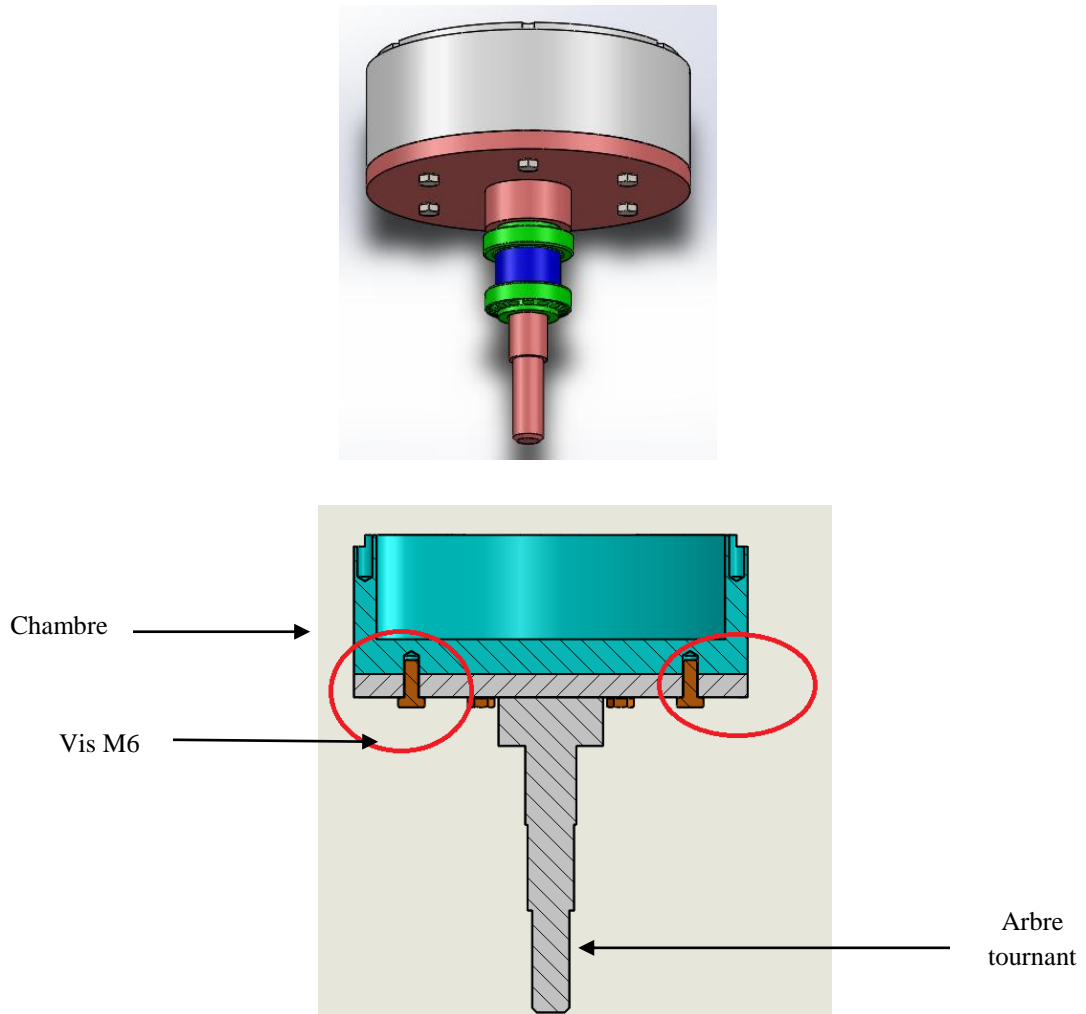


Figure IV.24 : Assemblage de l'arbre tournant et de l'enceinte du réacteur.

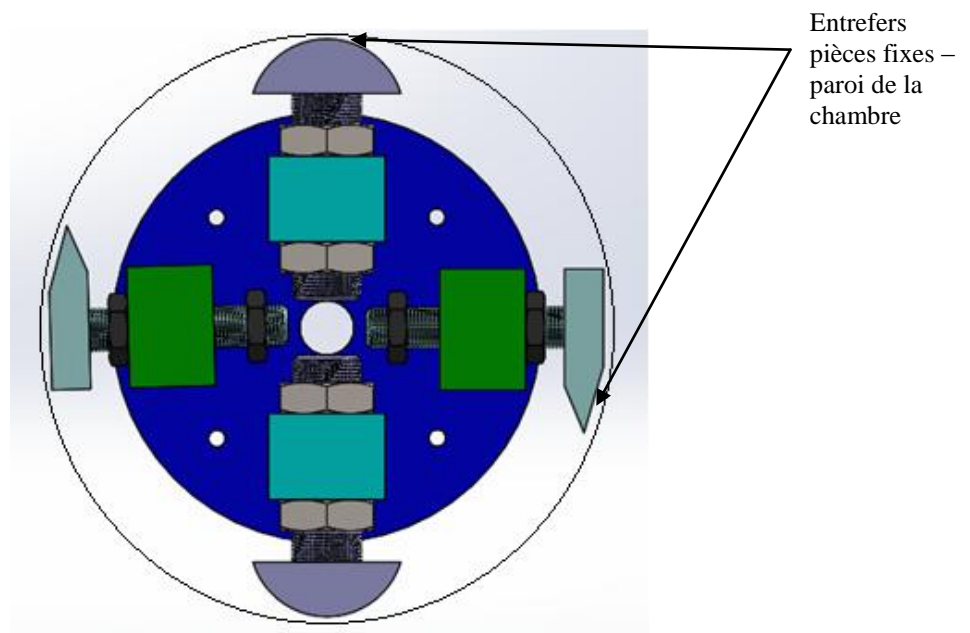


Figure IV.25: Assemblages cubes avec marteaux et racloirs.

Pour pouvoir régler les entrefers entre les pièces fixes et la paroi de la chambre, des écrous sont prévus de part et d'autre des cubes et permettent de fixer la pièce fixe sur le cube en tournant et en serrant les écrous dans des sens opposés.

Pour éviter la rotation des pièces fixe autour de l'axe de leurs tiges respectives, une rainure est prévue le long du filetage et sert de rainure de guidage du mouvement en translation lors du réglage. Cette situation de contact entre une surface filetée et une partie lisse étant fortement déconseillée afin d'éviter l'usure des parties filetées s'avère tout de même la plus appropriée des solutions étant donné la nécessité de pouvoir procéder au montage et au démontage des pièces fixes, au moins à chaque fois que le besoin se fait sentir. Ce qui est le cas notamment pour le nettoyage, nécessaire pour éviter les contaminations, après changement des matériaux à traiter. Des vis de pression à tête CHC sont prévues pour assurer un tel guidage et le maintien des positions des pièces fixes jusqu'à leur serrage au moyen des écrous vissés sur leurs tiges. La figure IV.26 montre une vue de l'ensemble pièce fixe-cube et le système de guidage et de réglage.

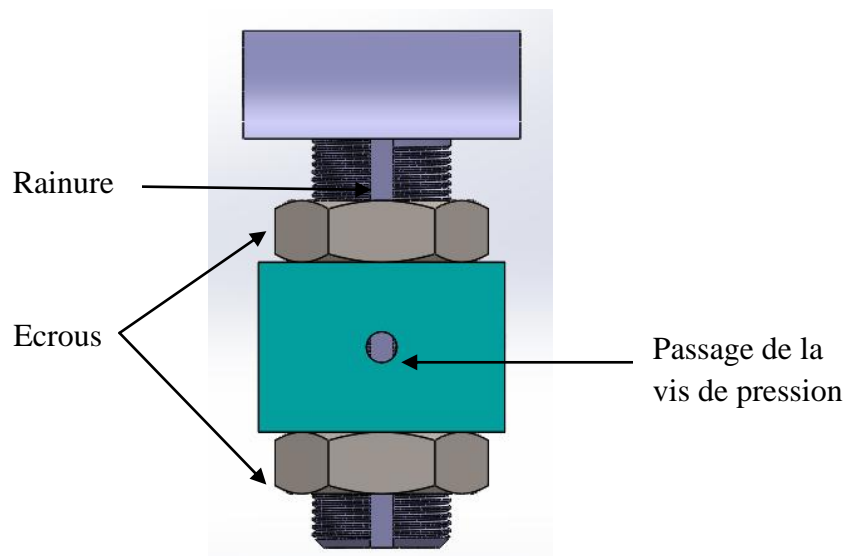


Figure IV.26 : Assemblage cube-pièce fixe avec système de guidage et de fixation.

6.6. Assemblage et constitution du jeu de pièces fixes

Les assemblages pièces fixes-cubes sont montés sur la base de l'arbre fixe à l'aide de vis M4 pour former un jeu de pièces fixes tel que représenté sur la figure IV.27.

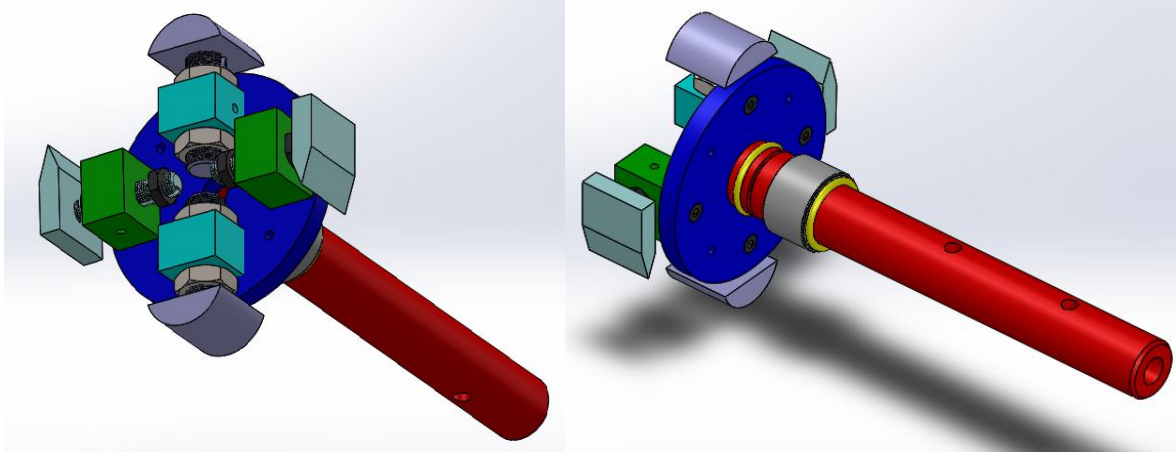


Figure IV.27 : Assemblage du système fixe.

A chaque fois qu'il est nécessaire de modifier les entrefers, ce jeu de pièces fixes est monté sur une bague de diamètre intérieur égal à celui de l'enceinte du réacteur et en parfaite coaxialité avec l'arbre fixe. On procède ainsi au desserrage des pièces fixes en tournant les écrous dans des sens opposés. Après quoi, on libère la vis de pression et on ajuste les positions des pièces fixes selon l'entrefer désiré en utilisant des calles d'épaisseurs connues. Une fois ces positions déterminées, on serre les vis de pression puis les écrous afin de maintenir les positions des marteaux et raclours.

6.7. Assemblages des parties tournante et fixe du réacteur

Après avoir réglé la position de la chambre et réalisé sa fixation sur l'arbre tournant, le jeu des pièces fixes vient s'insérer dans l'enceinte du réacteur. Les figures IV.28 montrent cet assemblage.

6.8. Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle de la chambre

L'assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle de la chambre doit se faire en présence du roulement à aiguilles qui assure la liaison pivot entre l'arbre et la chambre. L'ajustement doit être réalisé de manière à bloquer la bague extérieure du roulement (solidaire avec le moyen tournant) et met en rotation le roulement grâce à la rotation des aiguilles le long de la

la surface de l'arbre fixe et permettre la rotation de la chambre par rapport à l'arbre fixe. La figure IV.29 montre ce montage.

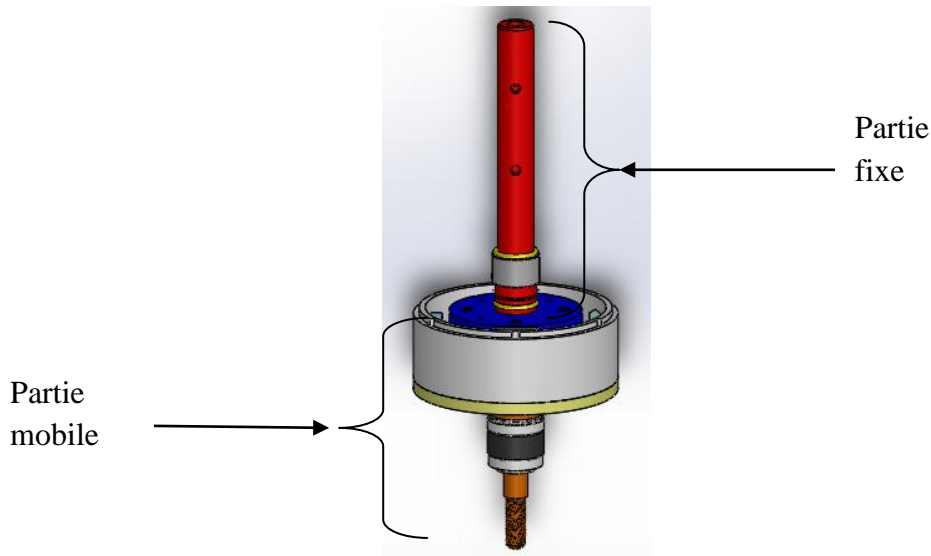


Figure IV.28 : Assemblage de la partie fixe et mobile.

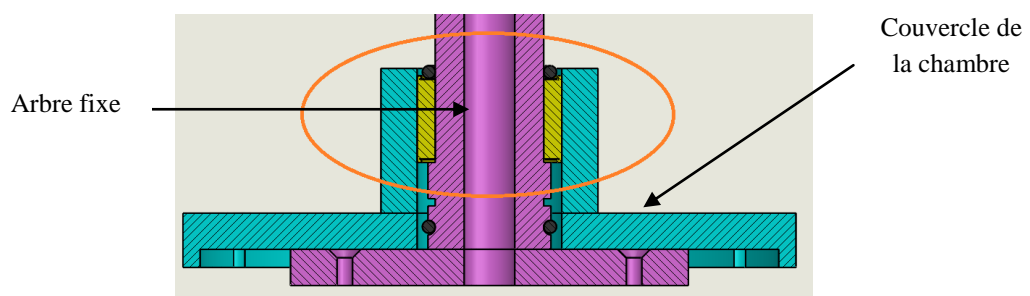


Figure IV.29: Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle de la chambre.

6.9. Assemblage du corps supérieur sur le corps inférieur du réacteur

Une fois la chambre fermée et l'ensemble des pièces fixes et en mouvement montées, le corps supérieur du réacteur doit être monté sur le corps inférieur. Pour un bon assemblage, des vis sont prévues sur les surfaces des parties hautes et basses des corps, respectivement, inférieurs et supérieurs. Pour rappel, les deux corps sont en coaxialité permettant de faire coïncider l'axe de l'arbre fixe avec l'axe de rotation du réacteur. La figure IV.32 montre la disposition des deux corps du réacteur, sans le couvercle. Après serrage, le couvercle du réacteur peut être monté.

6.10. Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle supérieur du réacteur

Lors de fermeture du réacteur par le couvercle supérieur, la partie supérieure de l'arbre fixe rentre dans le moyeu du couvercle comme illustré sur la figure IV.30 (zone entourée de la figure). Le couvercle est ensuite fixé au corps supérieur du réacteur en utilisant des vis comme le montrent les figures IV.31 et IV.33.

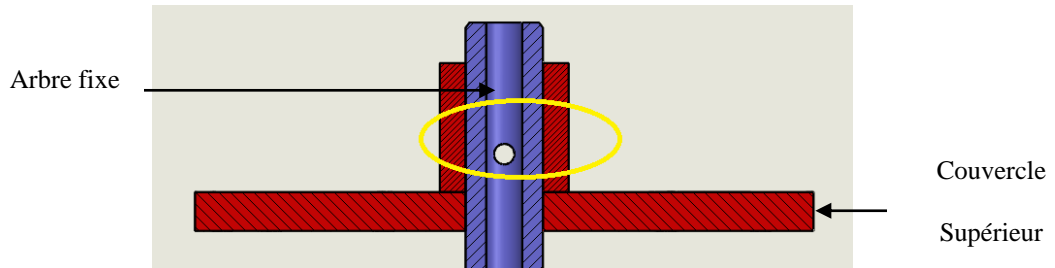


Figure IV.30 : Assemblage de l'arbre fixe avec le couvercle supérieur.

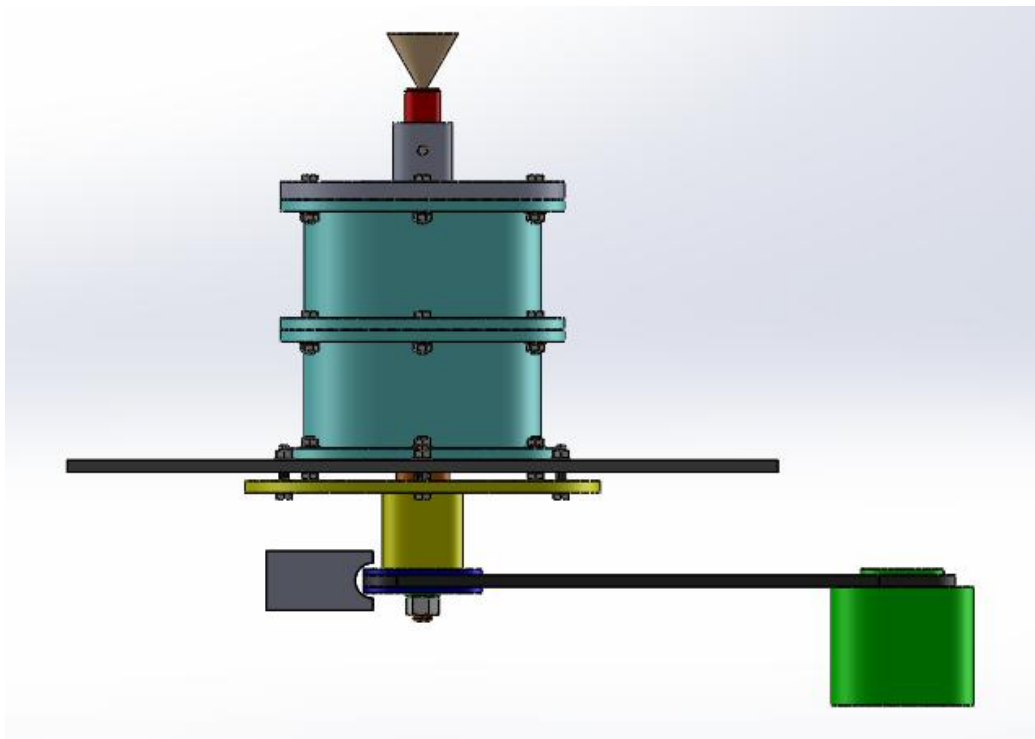


Figure IV.31 : Vue de face de la partie fixe et mobile du réacteur de mécanofusion.

6.11. Assemblage de serpentin sur le corps extérieur de réacteur

Le serpentin en cuivre est conçu pour refroidir le réacteur. Comme mentionné plus haut, il est à souder sur le corps inférieur du réacteur. La figure IV.32 représente le système de refroidissement par un serpentin en cuivre.

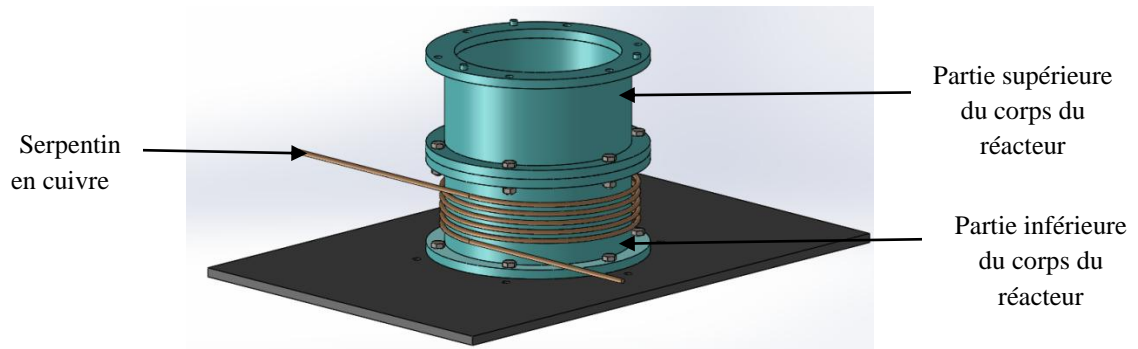


Figure IV.32 : Montage des corps du réacteur et système de refroidissement par un serpentin en cuivre.

6.12. Assemblage final du réacteur de mécanofusion

L'assemblage du réacteur par simulation logicielle de l'assemblage tel qu'il devrait être réalisé est présenté sur la figure IV.33.

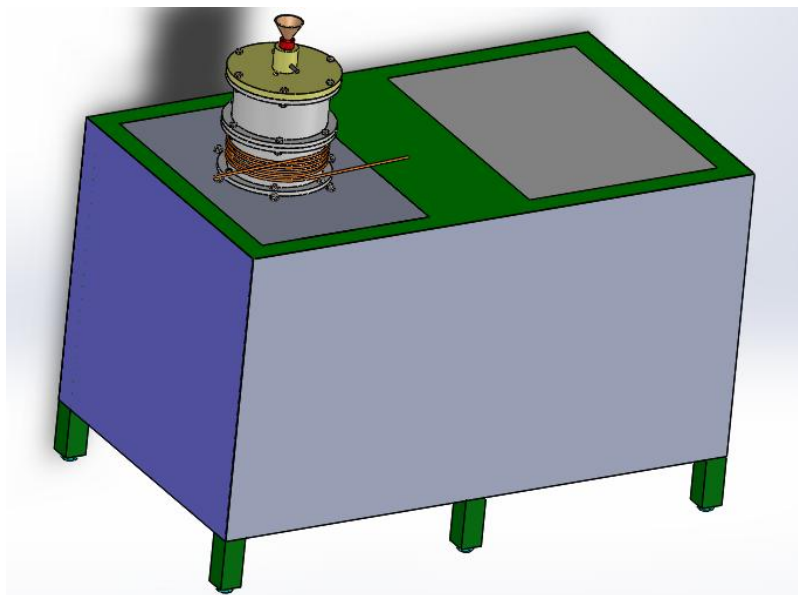


Figure IV.31 : Assemblage final du réacteur de mécanofusion.

7. Transmission du mouvement de rotation du moteur et contrôle du réacteur

a) Fonctionnement :

La poulie doit transmettre le mouvement de rotation du moteur à la poulie solidaire avec la chambre du réacteur. La transmission se fait par adhérence, à l'aide d'une courroie flexible trapézoïdale comme montre la figure IV.31.

b) Rapport de transmission :

Ce rapport est défini par R tel que

$$R = \frac{D(\text{menée})}{d(\text{menante})}$$

- Si $R > 1$, il s'agit d'une réduction de vitesse.
- Si $R < 1$, il s'agit d'une multiplication de vitesse.

c) Calcul du rapport de réduction du système poulie courroie :

$$r = 80 / 70 = 1,14.$$

d) Mouvement de rotation de la chambre :

La vitesse de rotation maximale du réacteur est de 6000 tr/min. Le moteur choisi est de type asynchrone, de puissance 1,5 kW. Sa vitesse de rotation maximale est de 7900 tr/min. Il présente une efficacité de 98%.

e) Système de contrôle du réacteur :

Le réacteur sera contrôlé au moyen d'un régulateur électronique. La vitesse de rotation du réacteur, la durée de traitement ainsi que la commande du circuit de refroidissement sont les informations à injecter au préalable dans la mémoire du régulateur. Ce dernier compare la vitesse de rotation réelle pendant le processus, vitesse captée au moyen d'une photocellule placée à hauteur de la poulie solidaire avec l'arbre tournant, à celle de la consigne. Ce régulateur agit ensuite sur un variateur de fréquence qui réduit ou augmente la fréquence de sorte à faire varier la vitesse de rotation du moteur.

Le régulateur affiche en outre la température dans l'enceinte du réacteur. Cette option est possible en mettant un thermocouple K fin le long du conduit d'introduction des poudres jusqu'à la position correspondant à la mi-hauteur de l'enceinte. De plus, le régulateur contrôle le fonctionnement de la pompe à eau qui envoie l'eau de refroidissement dans le serpentin de cuivre. Le programme introduit peut à cet effet comporter une commande servant à couper la pompe au bout d'un temps suffisant après la fin du traitement de mécanofusion.

8. Conclusion

La conception du réacteur de mécanofusion a été menée en prenant comme modèle un réacteur déjà conçu et fabriqué au niveau de certains laboratoires étrangers. Après avoir dressé un ensemble d'exigences techniques qu'impose le procédé de mécanofusion, des solutions, souvent inspirées de celles appliquées pour le modèle déjà existant, ont été proposées. La conception des pièces, d'abord en déterminant leurs formes puis leurs dimensions a été menée. Le logiciel SolidWorks, outil de dessin et de conception assistée par ordinateur, a été utilisé. Les différentes pièces et assemblages de pièces sont mis en évidence aux moyens de perspectives ; les dessins de définition et d'ensemble étant regroupés dans la partie Annexes en fin de ce mémoire. Après étude et simulations par SolidWorks, les assemblages des différentes pièces sont décrits dans la deuxième partie de ce chapitre. Enfin de chapitre, les solutions envisagées pour la transmission du mouvement ainsi que le contrôle du réacteur sont décrits.

Conclusion générale

L'utilisation de poudres revêtues comme matières premières constitue aujourd'hui une option très prometteuse pour l'élaboration de matériaux frittés. La conception, puis la réalisation, d'un dispositif permettant le revêtement des poudres au niveau du laboratoire de sciences des matériaux est par conséquent une priorité pour l'équipe de recherche. Vu les contraintes qui nous empêchent d'opter pour des systèmes de revêtement tels que ceux par voie humide et autres techniques passées en revue dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons opté pour la conception d'un réacteur mécanique. Cette machine est destinée en effet à réaliser des revêtements de particules par mécanofusion ; un phénomène produit par combinaison de contraintes de cisaillement-compression-friction exercées à haute fréquence sur des particules de poudre constamment en mouvement dans l'enceinte du réacteur. Après avoir décrit le phénomène de mécanofusion, le principe de fonctionnement d'un réacteur de ce type et les principales spécifications du procédé sont décrites dans la partie bibliographique de ce mémoire.

La conception du réacteur, menée en considérant un modèle déjà existant, a été entamée par la détermination des exigences techniques, sorte de cahier des charges, à même d'assurer un bon fonctionnement de la machine. Des solutions techniques discutées, celles jugées pertinentes ont été retenues pour la suite du travail. Ensuite, la conception du réacteur a été menée en suivant une procédure de conception des pièces en déterminant d'abord les formes et dimensions qui répondent au mieux aux exigences techniques. A cet effet, un logiciel d'aide au dessin et à la conception, le SolidWorks, est mis à contribution dans le cadre de cette étude. Ainsi, les pièces sont conçues et assemblées, d'abord deux à deux ensuite à plusieurs, en utilisant le logiciel. Les choix des dimensions des pièces avec les tolérances géométriques et de position, ainsi que les matériaux à utiliser pour leur fabrication, ensemble de contraintes imposées par la nature du système de mécanofusion, ont été rapportés. Les solutions adoptées, que ce soit pour la conception de pièces, les assemblages et autres solutions techniques, ont été décrites et illustrées au moyen de vues en perspective réalisées

sur SolidWorks. Les dessins de définition des pièces conçues ainsi que des dessins d'ensemble pouvant servir de base pour une éventuelle amélioration du présent travail sont élaborés et rapportés en annexe.

Par ailleurs, après validation, la présente étude peut enclencher le processus d'étude de la fabrication, étape au cours de laquelle les solutions que nous avons proposé peuvent être améliorées. Cette perspective de fabrication semble par conséquent l'étape suivante à entreprendre.

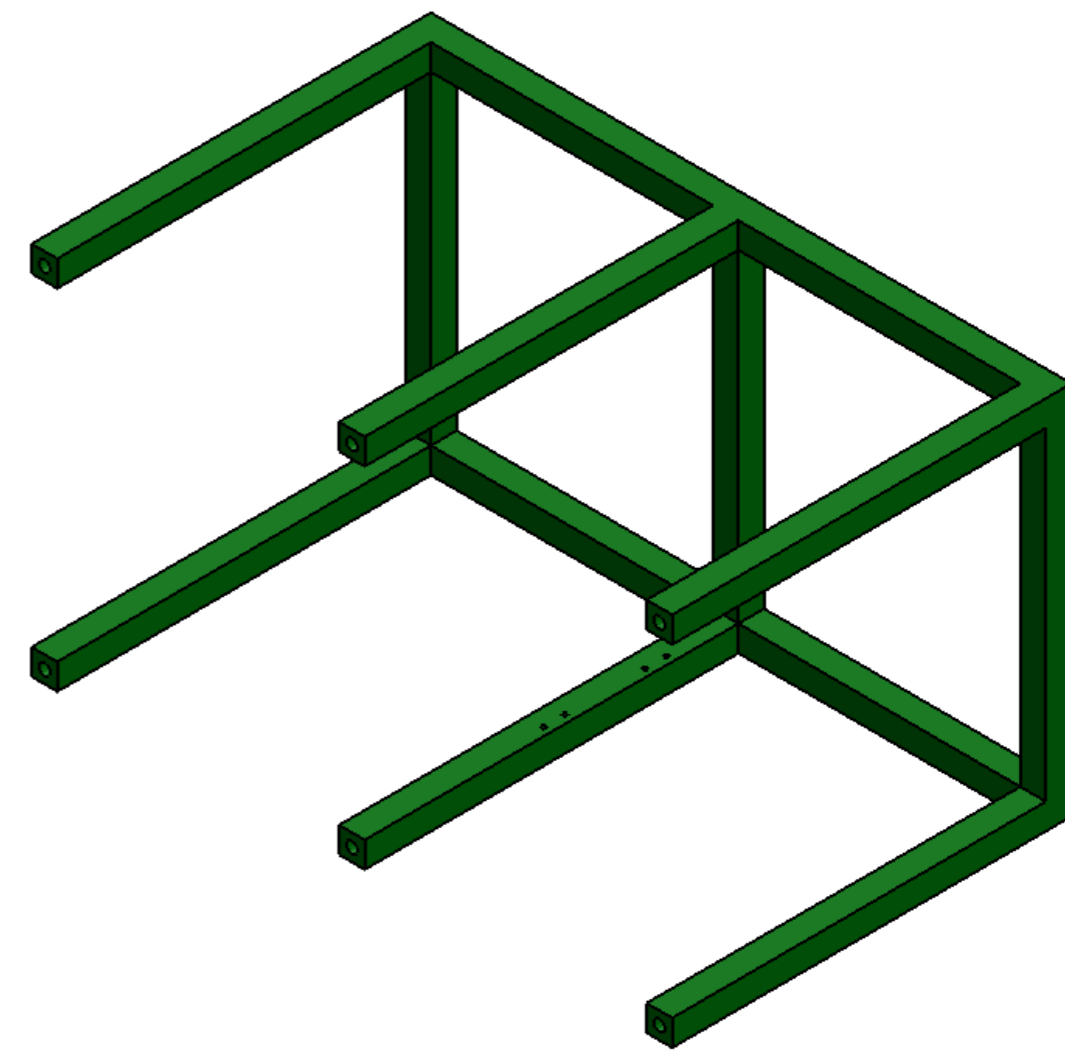
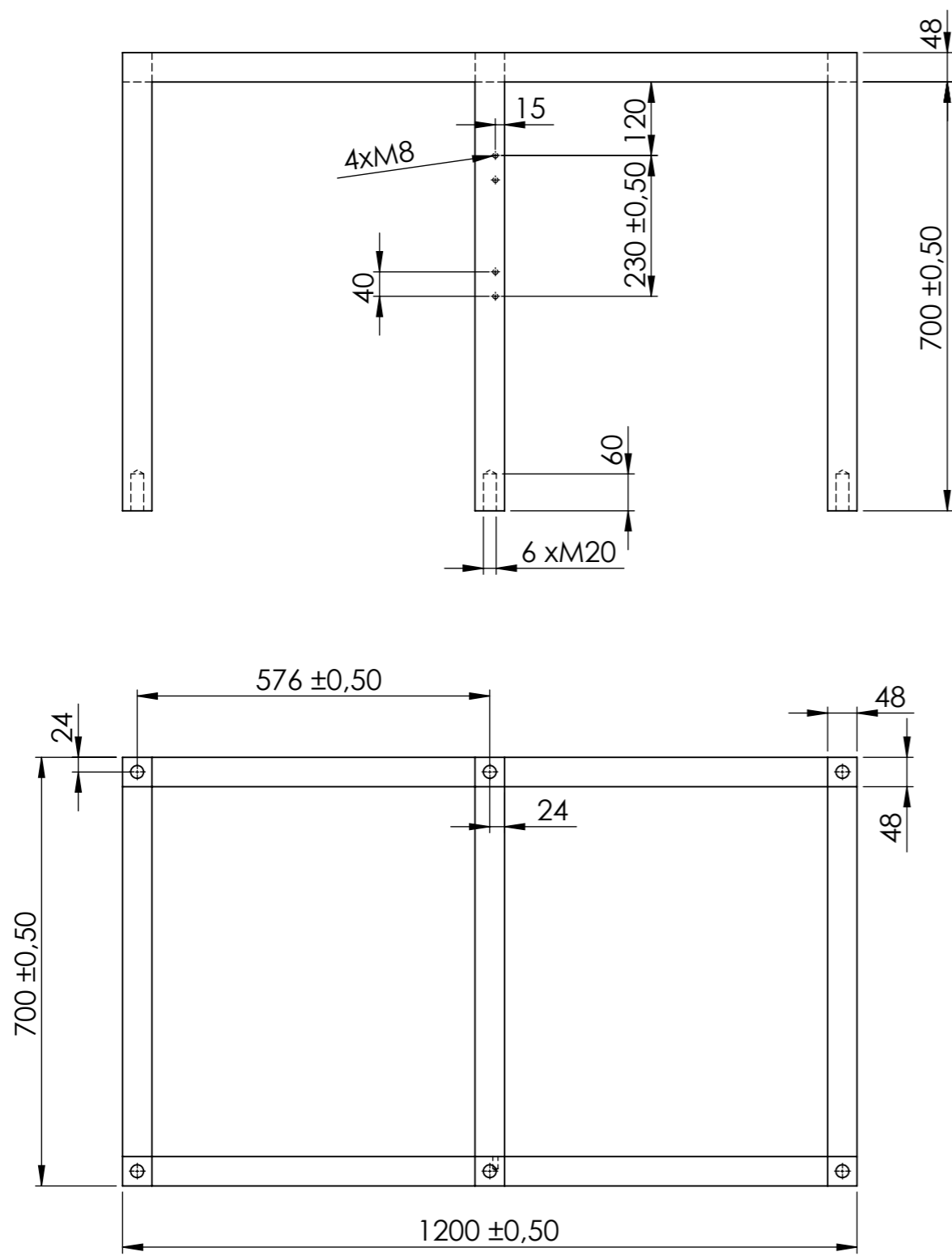
References bibliographiques

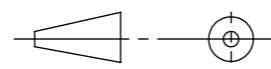
- [1] : Pfeffer R., Dave R. N., Dongguang W., Ramlakhan M., *Synthesis of engineered particulates with tailored properties using dry particle coating*, Powder Technology, 117, 40-67 (2001).
- [2]: M. Serkan OTLES, *Modification of surface properties of biopowders by dry particle coating*. Thèse de Doctorat sous la direction de M. John A. DODDS, Institut National Polytechnique de Toulouse (2008).
- [3] : Guillaume. LEFEBVRE, *Modification de surface de particules de talc par de la silice nanométrique hydrophobe (par enrobage à sec)*. Thèse de Doctorat sous la direction de Laurence GALET, Maître assistant, EMAC, Albi, Institut National Polytechnique de Toulouse (2010), 57-58.
- [4] : Yamina.OUABAS, *Procèdes mécaniques d'élaboration à sec de particules composites à propriétés d'usage contrôlées*. Thèse de Doctorat sous la direction de Michel BARON, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (2008).
- [5]: Proceedings of NARA Seminar in Scandinavia; *Trends in powder technology*, 2th December 1996.
- [6] : F. Jay, *Des particules revêtues aux matériaux massifs : Synthèse par mécanofusion et dépôt chimique en phase vapeur, caractérisation et étude de l'oxydation a haute température*. Thèse de Doctorat sous la direction de S. Dubois et V. Gauthier, Université de Poitiers (2008), 33 –39.
- [7]: W. Chen, R. N. Dave, R. Pfeffer, O. Walton, *Numerical simulation of mechanofusion system*, Powder Technology, 146, 121-136, 2004.
- [8]: Livre de normes. Edition AFNOR.
- [9] : M. WOYDT, technique de l'ingénieur, *Application des données tribologiques des matériaux*, BM 7 006.
- [10] : Livre de normes A. CHEVALIER. Édition 2004.
- [11] : Guide des sciences et technologies industrielles édition AFNOR Édition 2001.

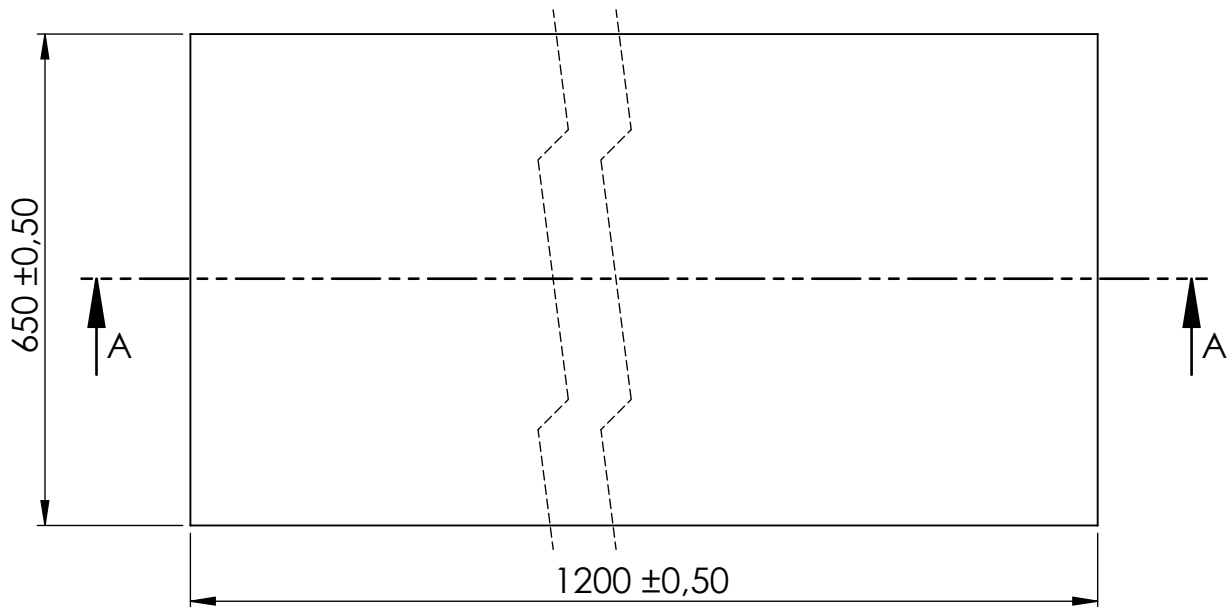
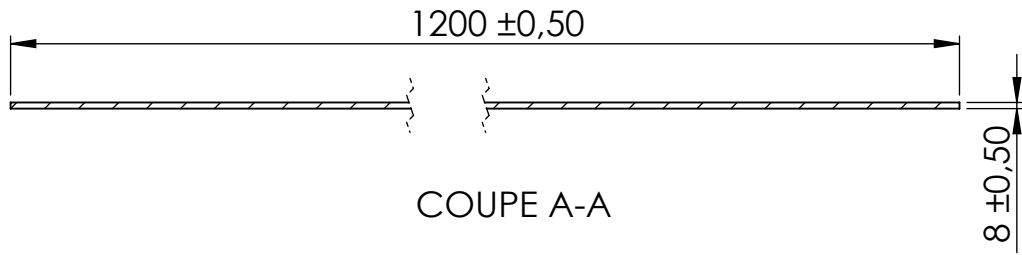
Annexes

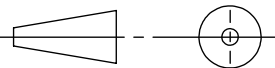
Liste des dessins de définition et d'ensemble

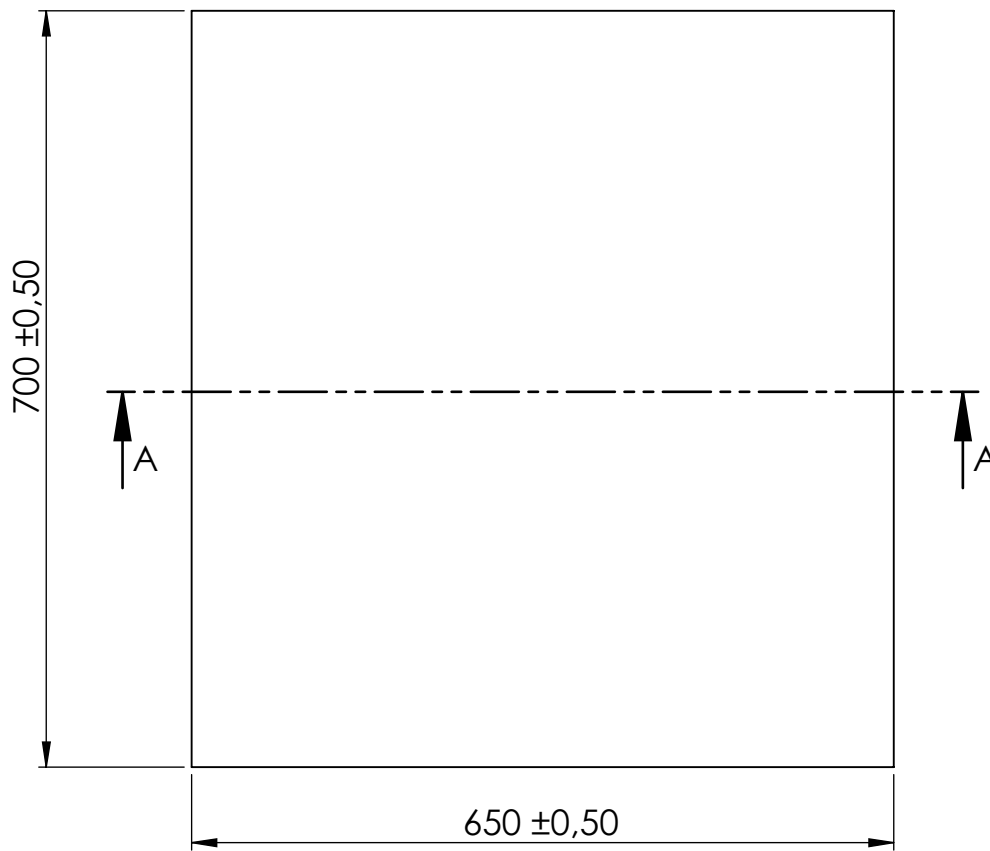
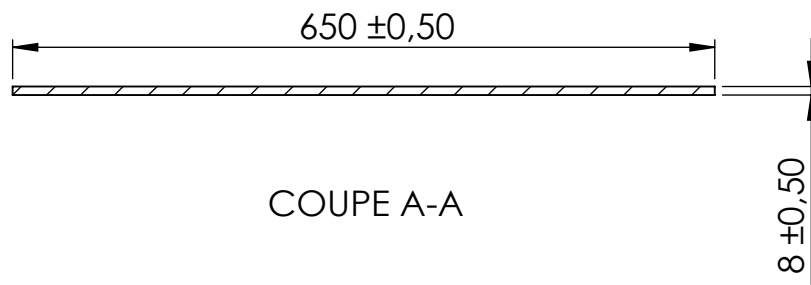
N°	Nomination	page
01	Table du réacteur	58
02	Tôles externe de la table	59
03	Tôles externe de la table	60
04	Cache supérieure de la table	61
05	Plaque porte réacteur	62
06	Couvercle de la table	63
07	Plaque porte moteur	64
08	Crochet du ressort	65
09	Arbre tournant	66
10	Base de l'arbre tournant	67
11	Arbre tournant assemblé	68
12	Bague	69
13	Base de porte arbre tournant	70
14	Col de porte arbre tournant	71
15	Chambre du réacteur de mécanofusion	72
16	Joint d'étanchéité	73
17	Support de marteaux	74
18	Support de racloirs	75
19	Marteaux	76
20	Racloirs	77
21	Base de l'arbre fixe	78
22	Arbre fixe	79
23	Arbre fixe assemblé	80
24	Couvercle de la chambre	81
25	Col de couvercle de la chambre	82
26	Couvercle de la chambre assemblé	83
27	Bague inférieure du corps inférieure	84
28	Cylindre du corps inférieur du réacteur	85
29	Bague supérieure du corps inférieur	86
30	Corps inférieur du réacteur	87
31	Bague inférieure du corps supérieur	88
32	Cylindre du corps supérieur du réacteur	89
33	Bague supérieur du corps supérieur	90
34	Corps supérieur du réacteur	91
35	Couvercle supérieur	92
36	Col du couvercle supérieur	93
37	Couvercle supérieur assemblé	94
38	Conduite d'introduction de poudre	95
39	Partie dessous du réacteur	96
40	Arbre fixe assemblé	97
41	Partie dessus du réacteur	98
42	Bague du réglage de l'entrefer	99
43	Réacteur de mécanofusion	100

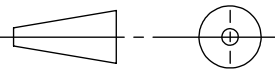


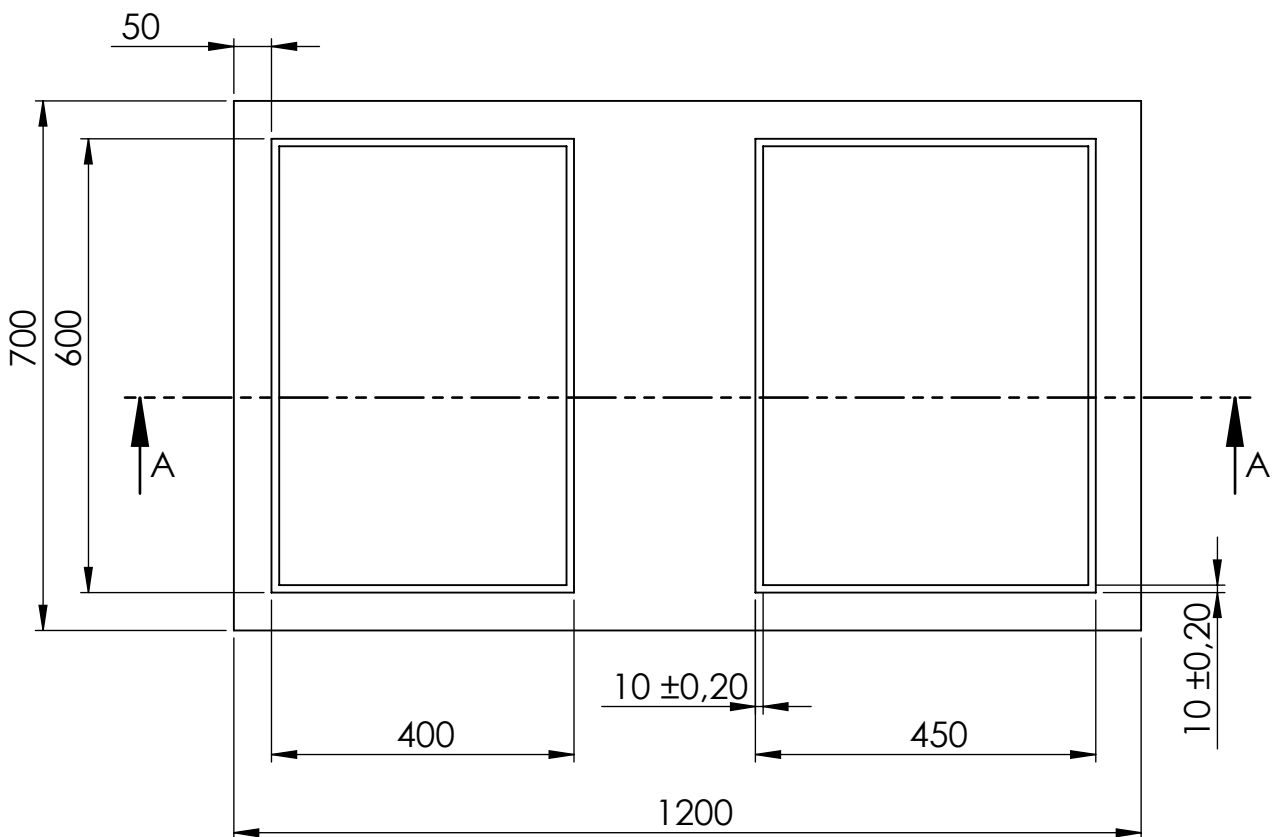
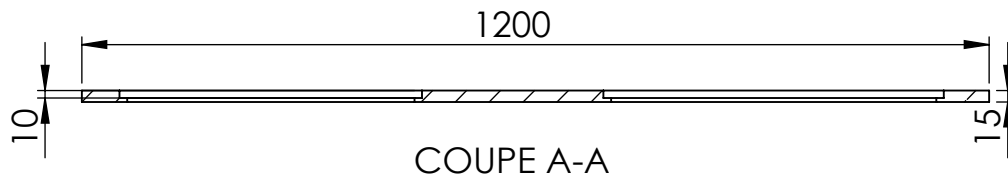
01	01	Table du réacteur	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1 : 10		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A3		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	Septembre 2015	



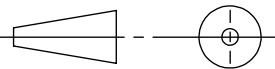
02	02	Tôles externe de la table	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 10		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A.HAMECHA R. OUAKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

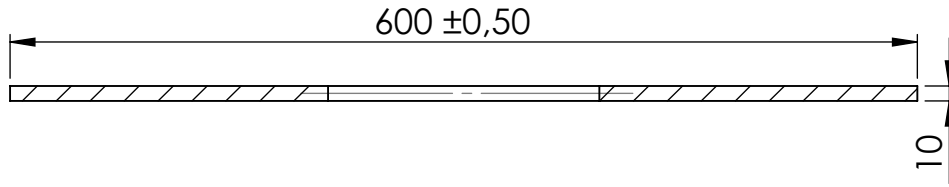


03	02	Tôles externe de la table	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 7		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

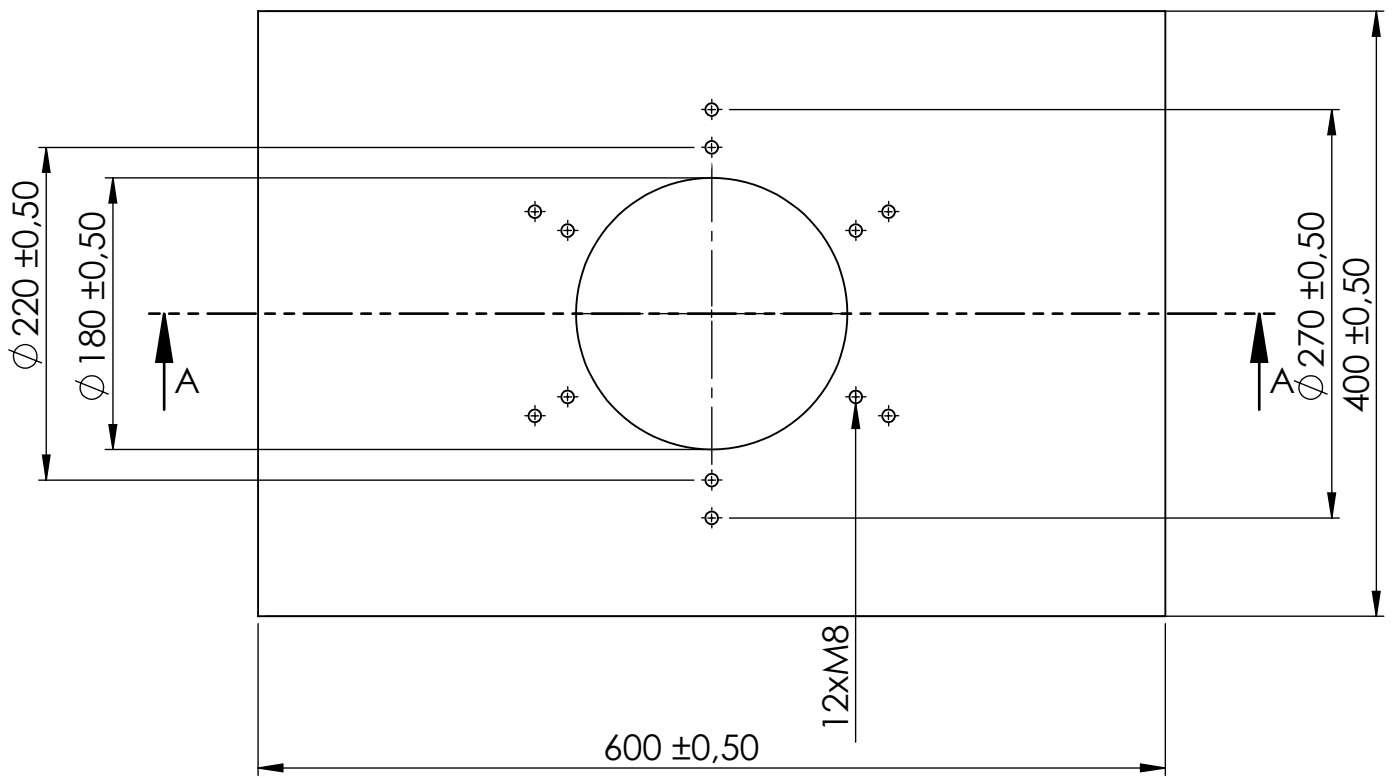


IT=0.5 sauf indication

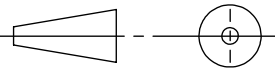
04	01	cache supérieur de la table	Acier X2CrNi 18-09	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 :10		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A.HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

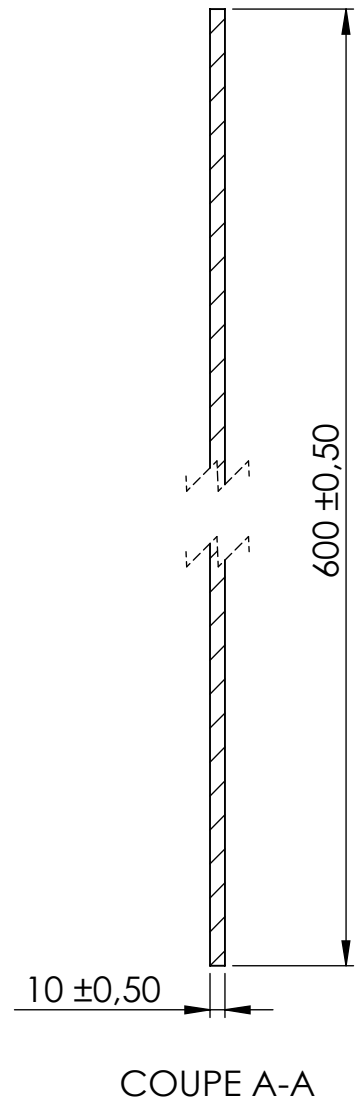
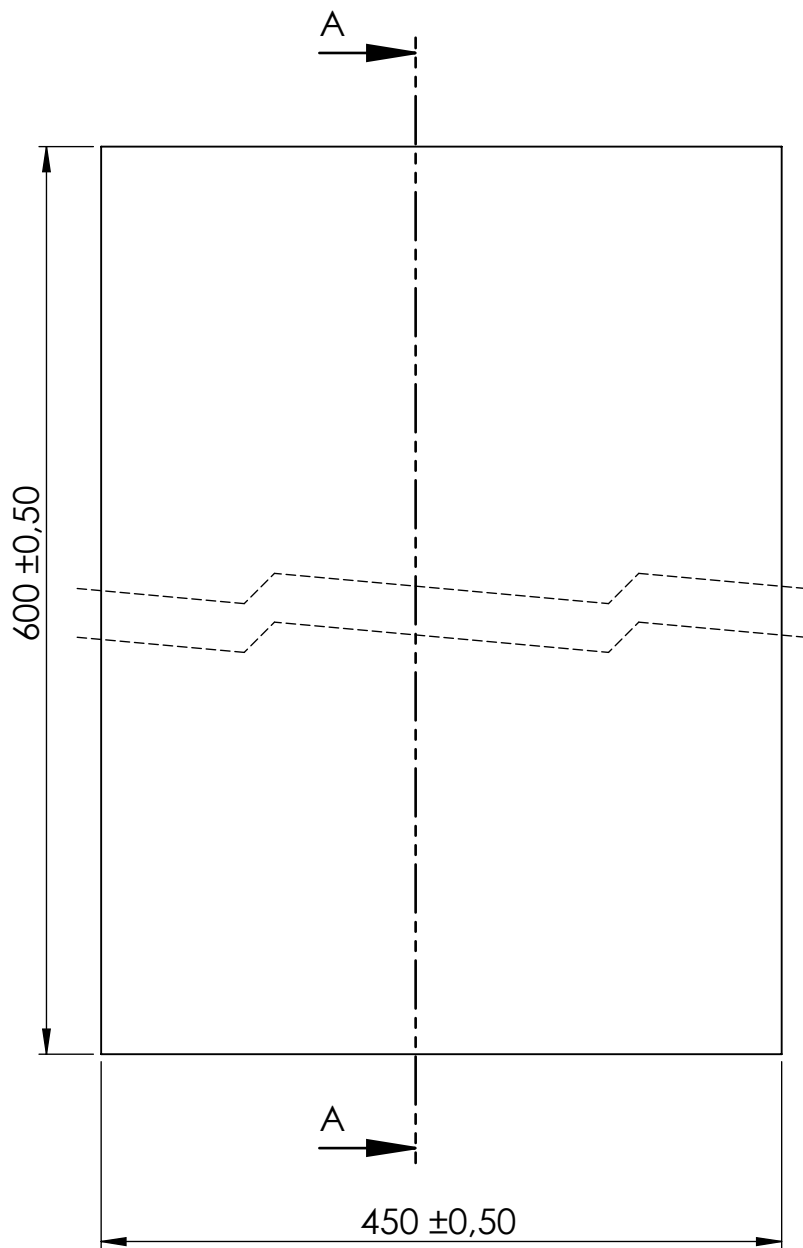


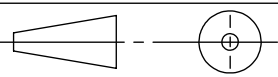
COUPE A-A

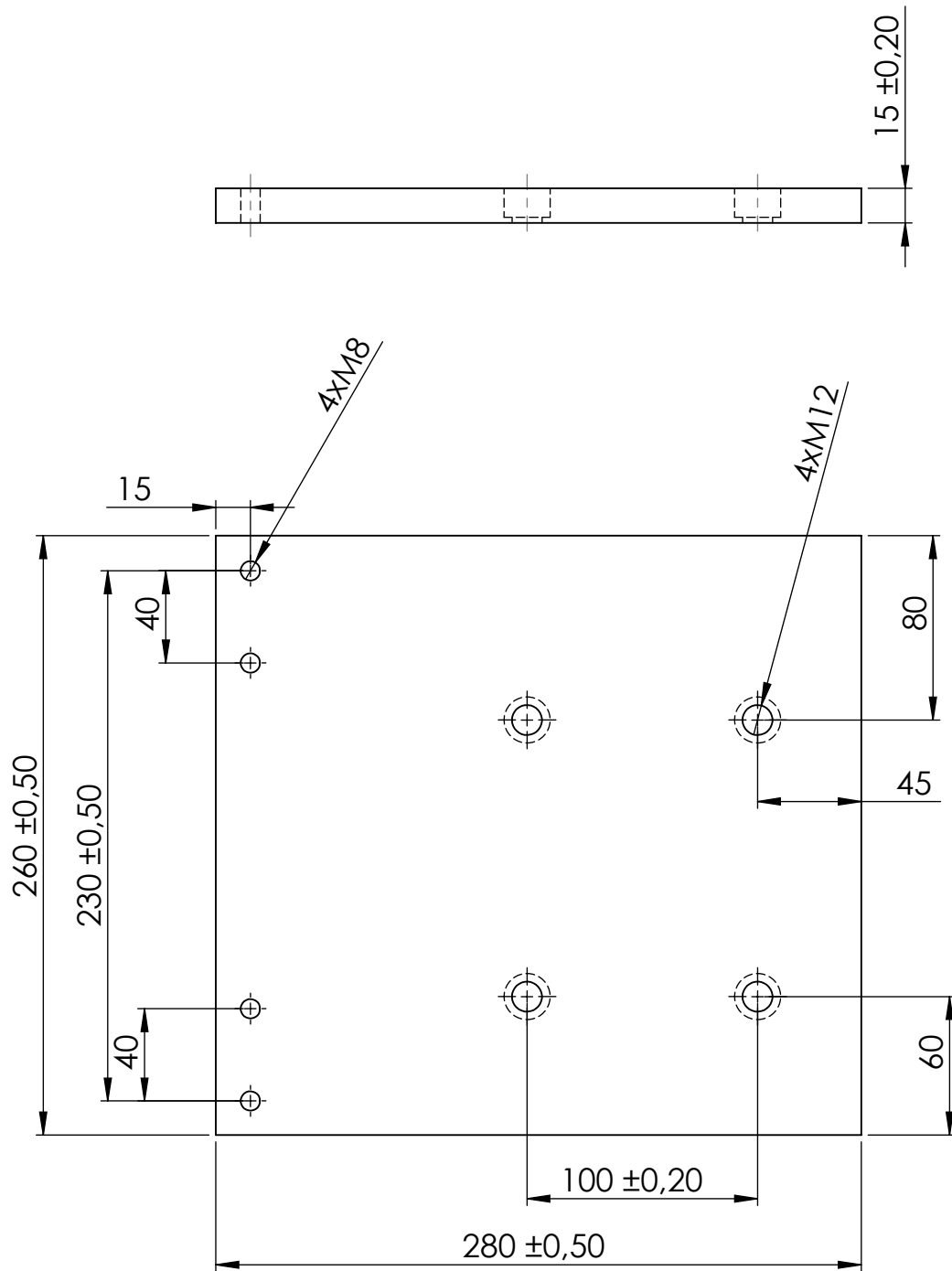


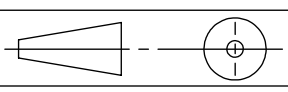
IT=0.5 sauf indication

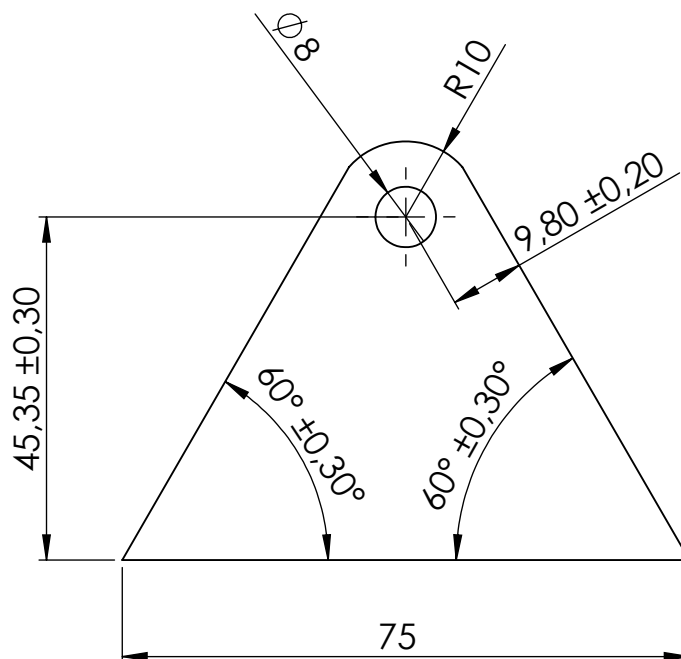
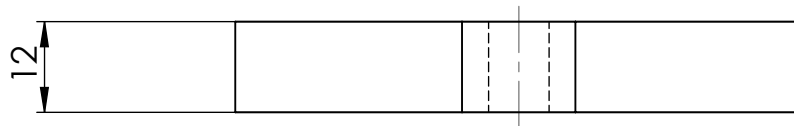
05	01	Plaque porte du réacteur	Acier Z6 CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 10		REACTEUR DE MECAFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



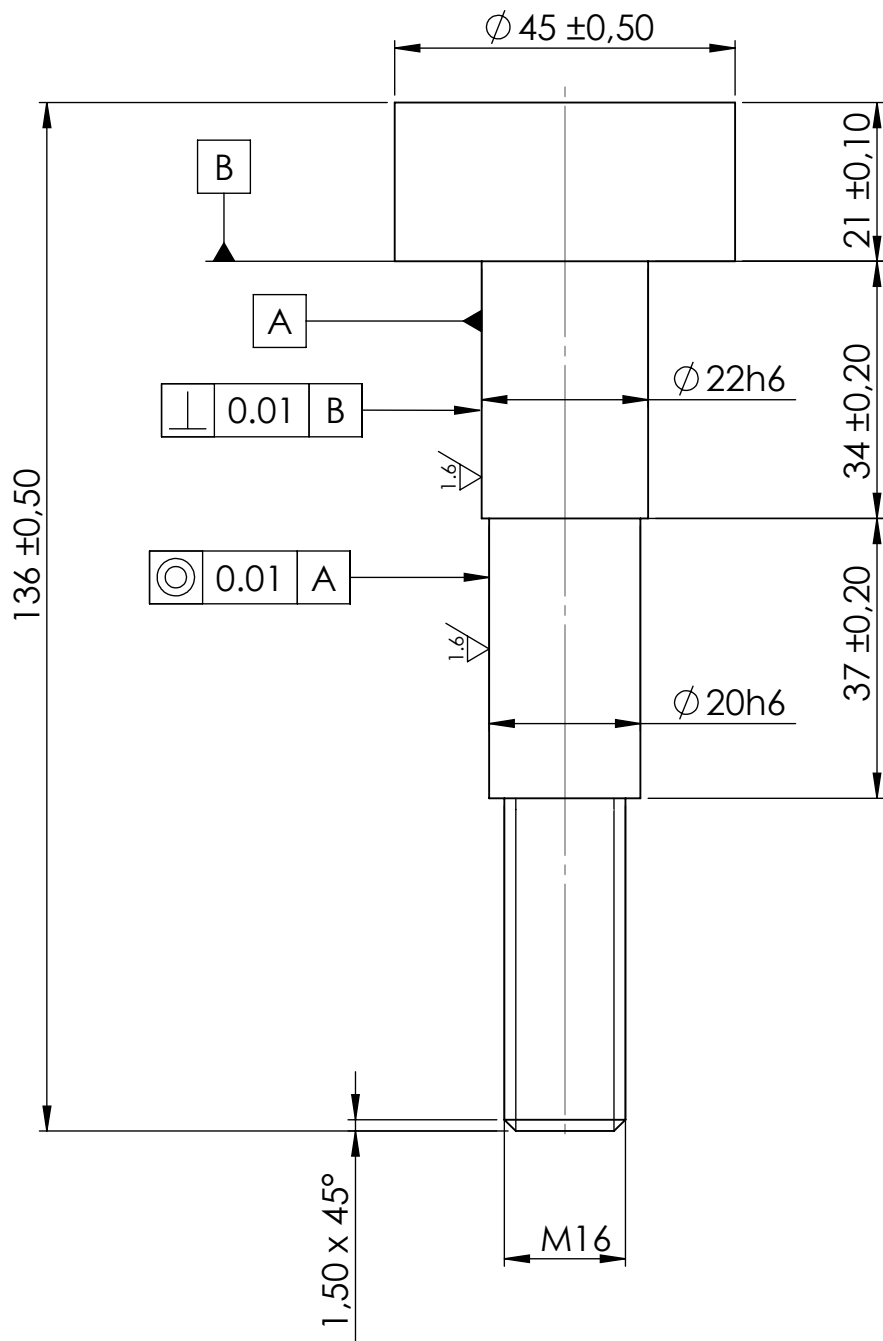
06	01	Couvercle de la table	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1: 5		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



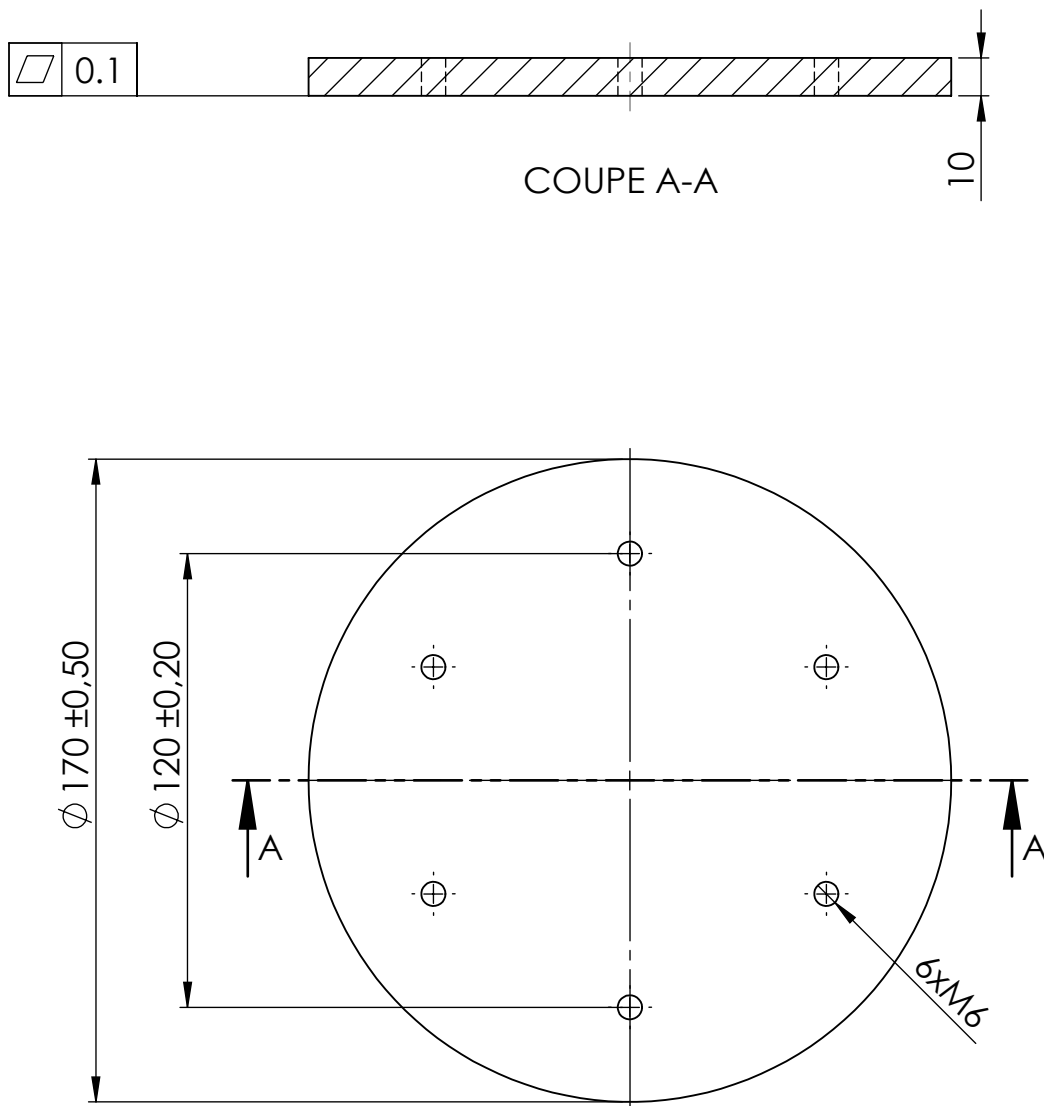
07	01	Plaque porte moteur	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1 : 3		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

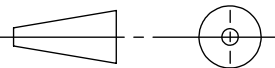


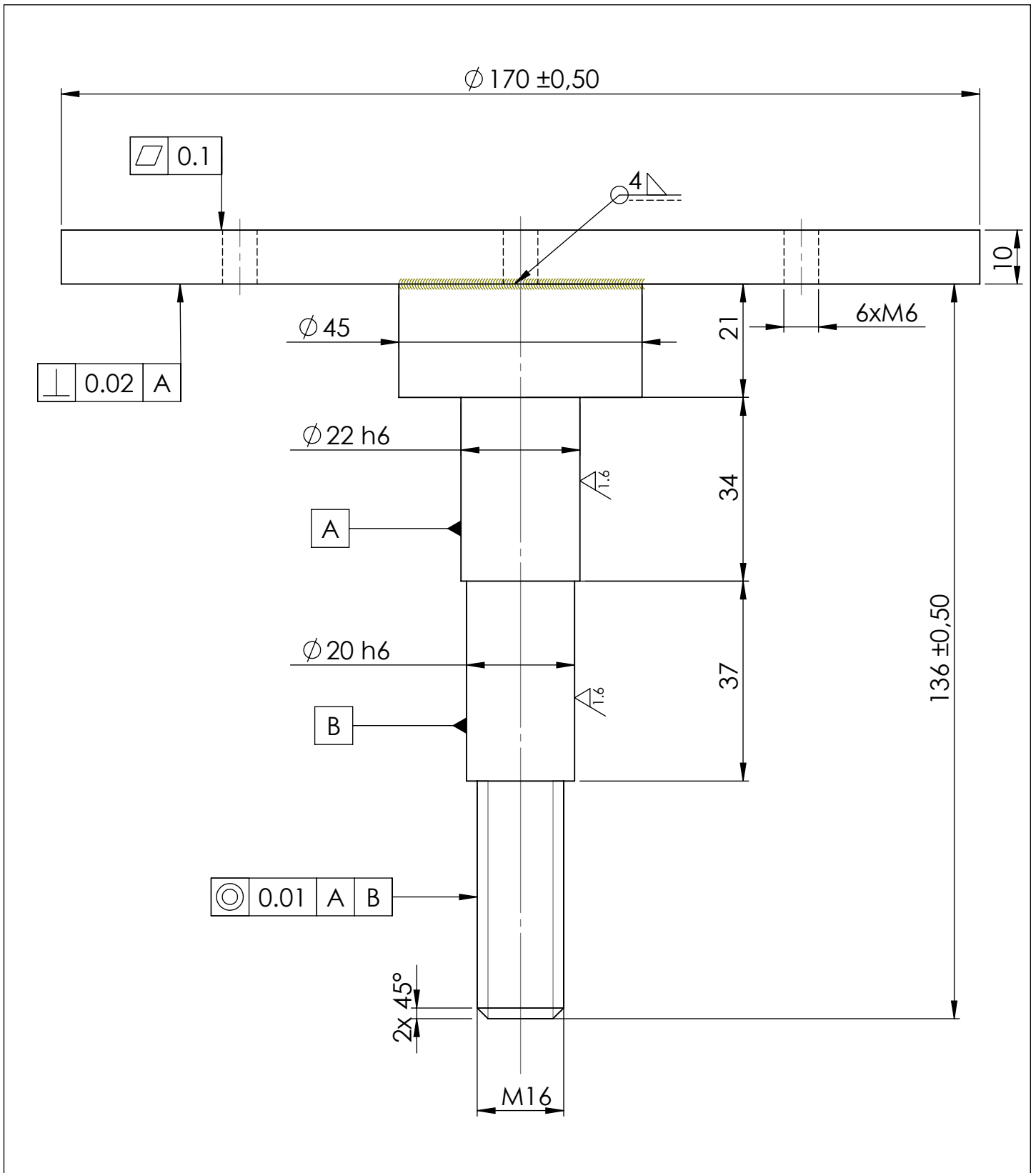
08	01	Crochet du ressort	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



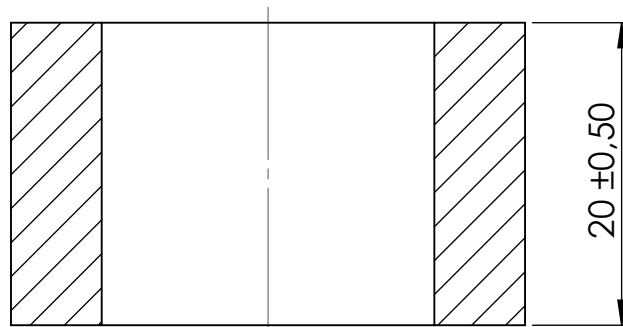
09	01	Arbre tournant	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



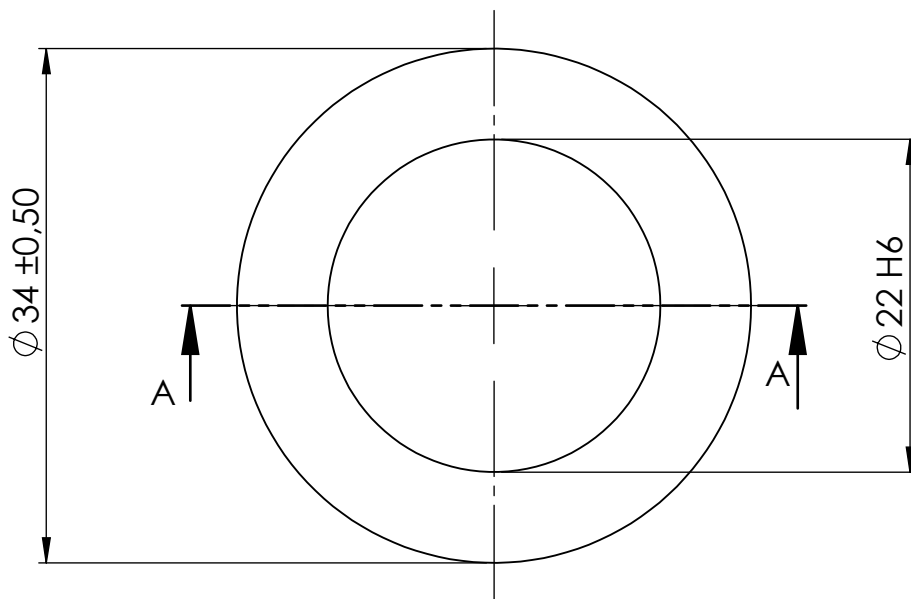
10	01	Base de l'arbre tournant	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

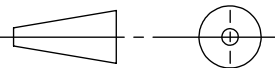


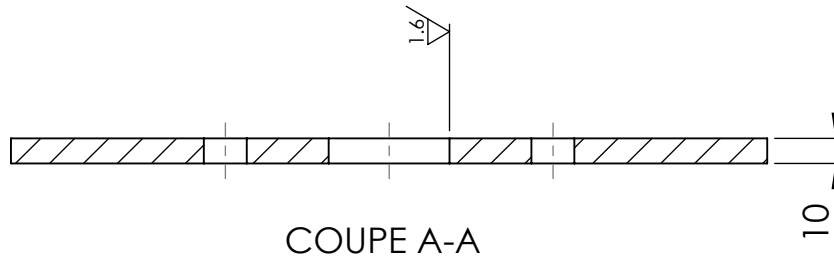
11	01	Arbre tournant assemblé	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Prijet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



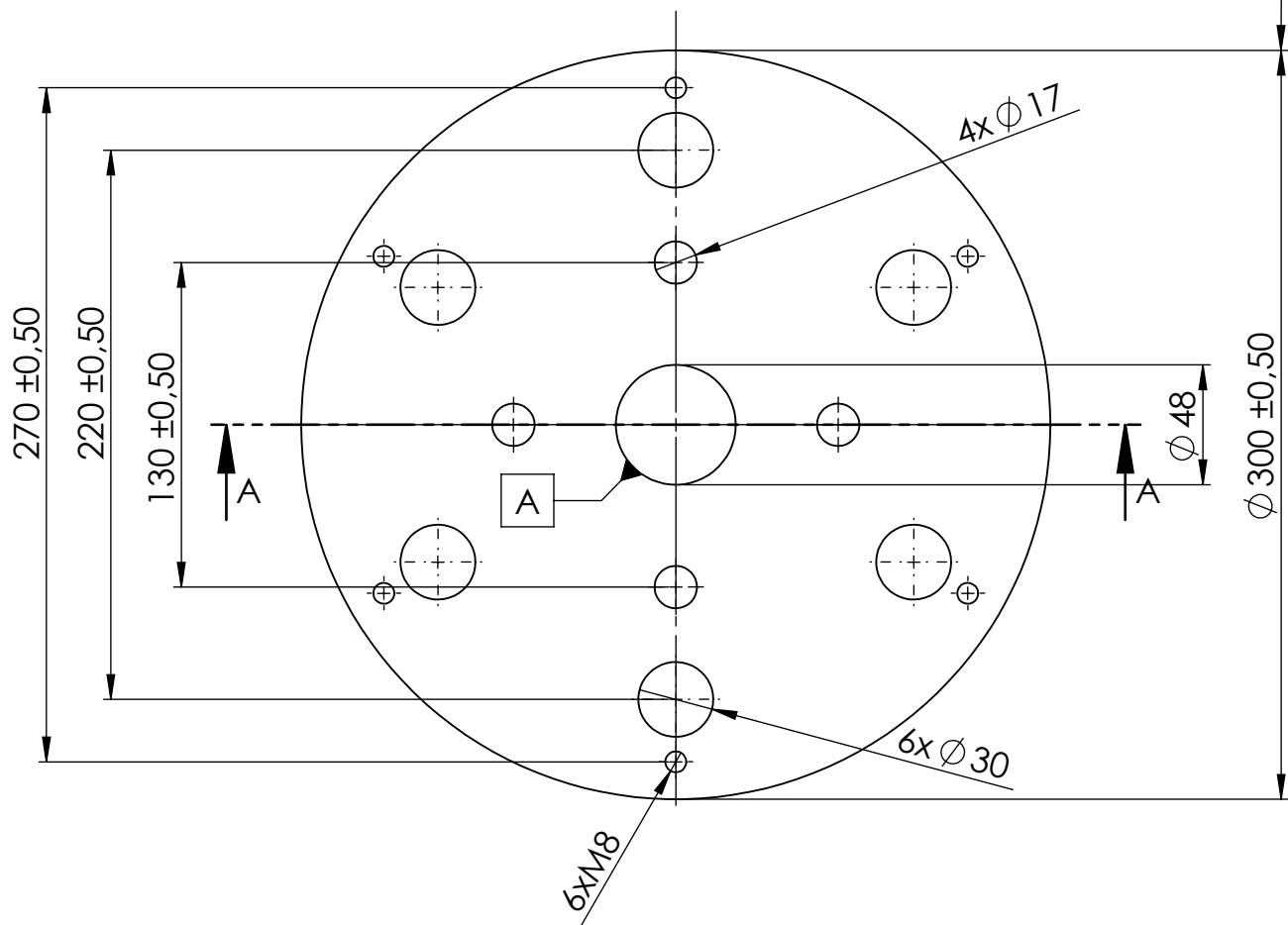
COUPE A-A

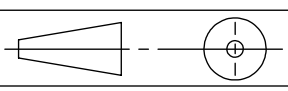


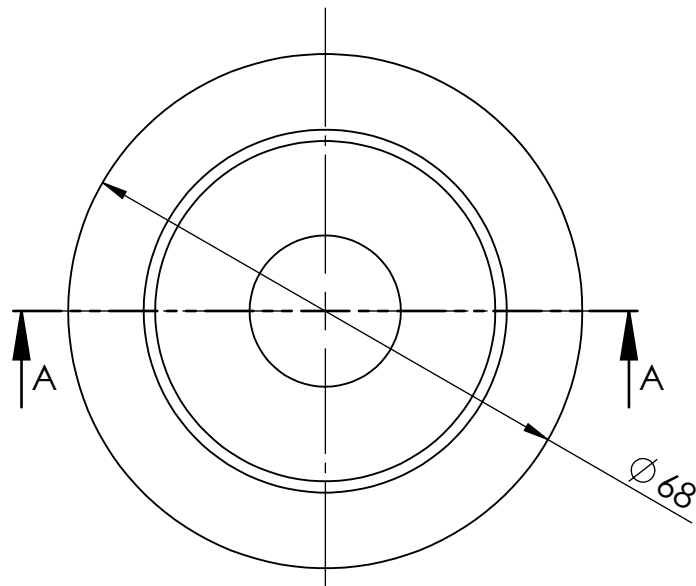
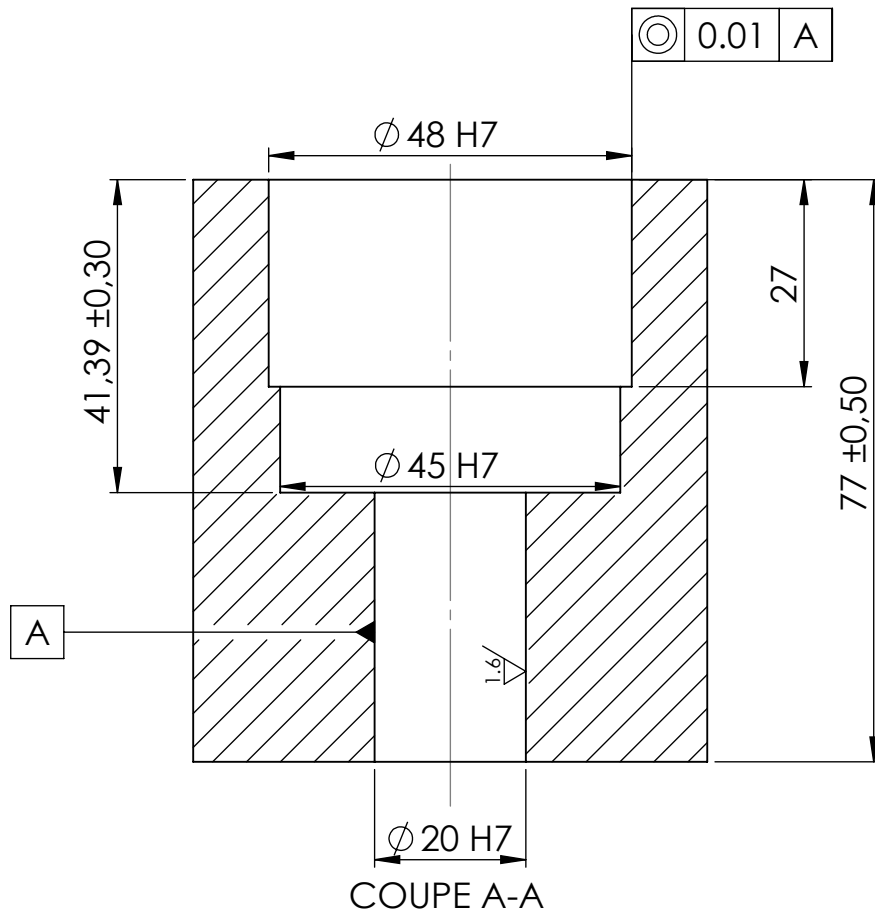
12	01	Bague	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 2 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

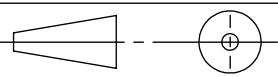


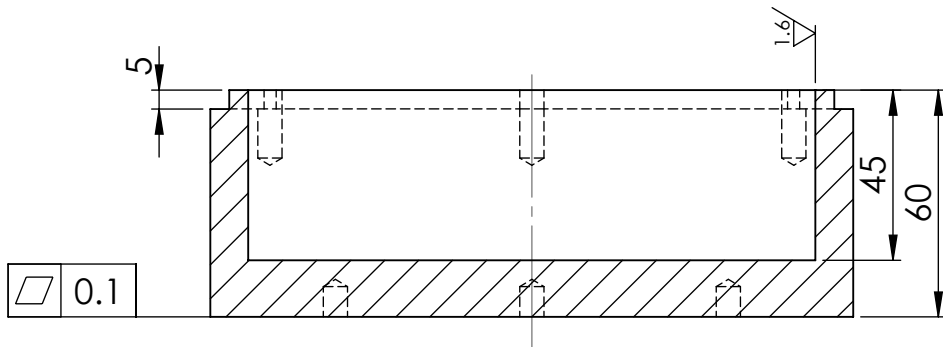
⊙ 0.05 A



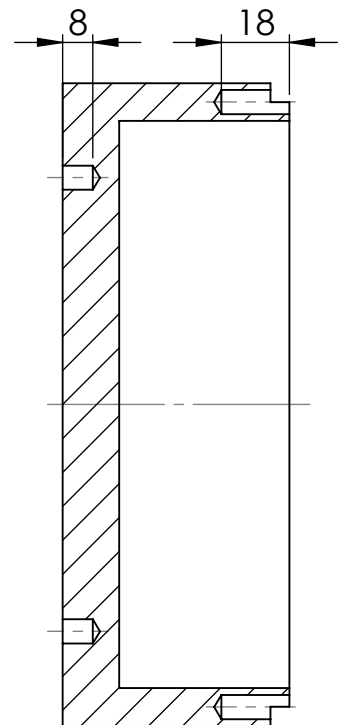
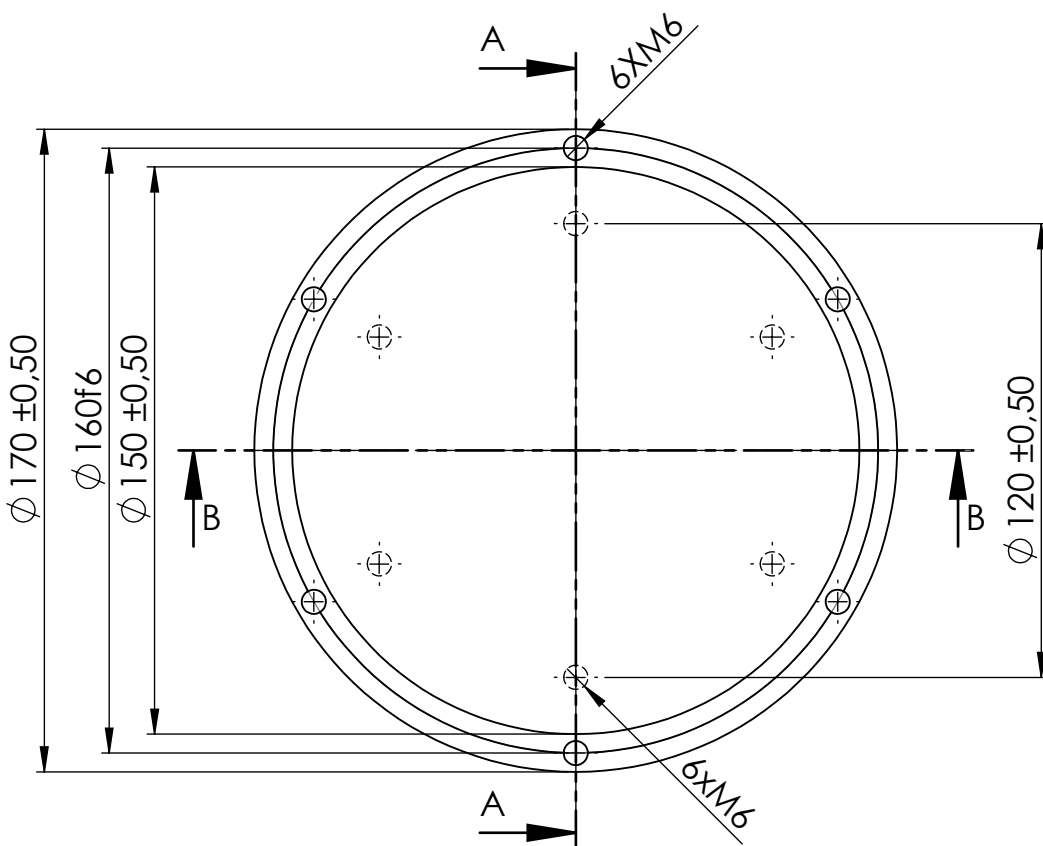
13	01	Base de porte arbre tournant	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 3		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



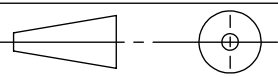
14	01	Col de porte arbre tournant	Acier Z200 C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

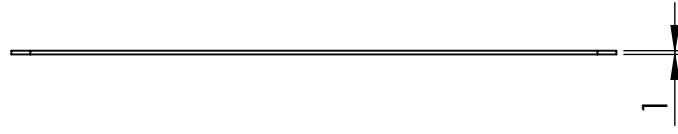


COUPE B-B

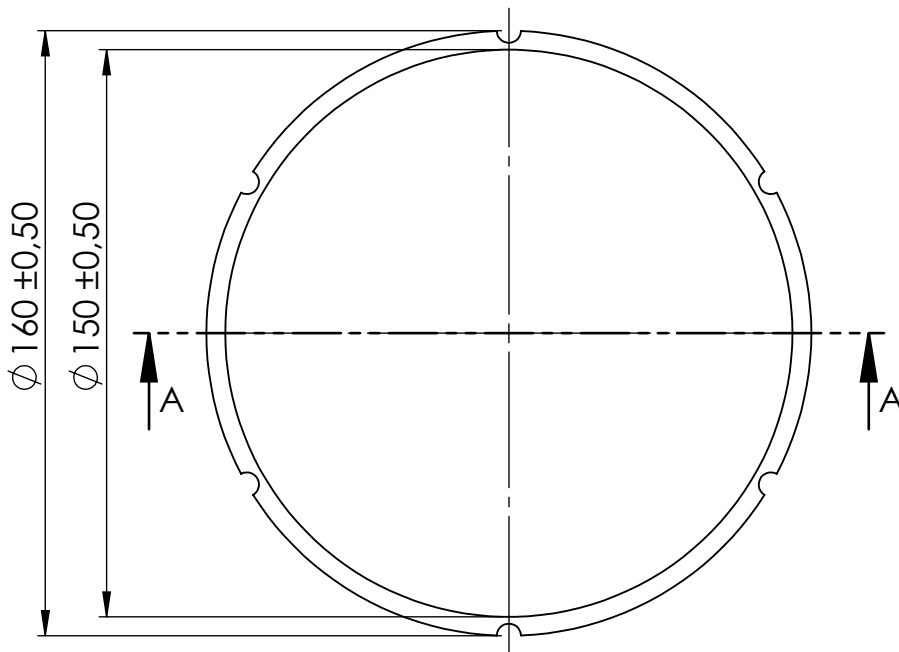


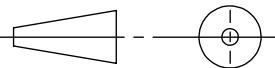
COUPE A-A

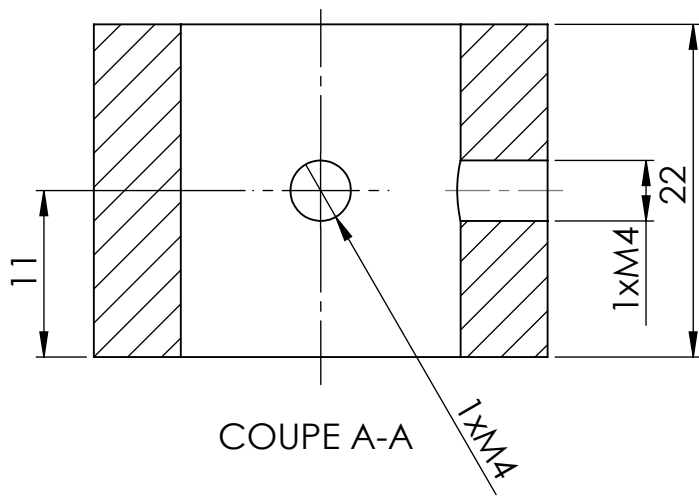
15	01	Chambre du réacteur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



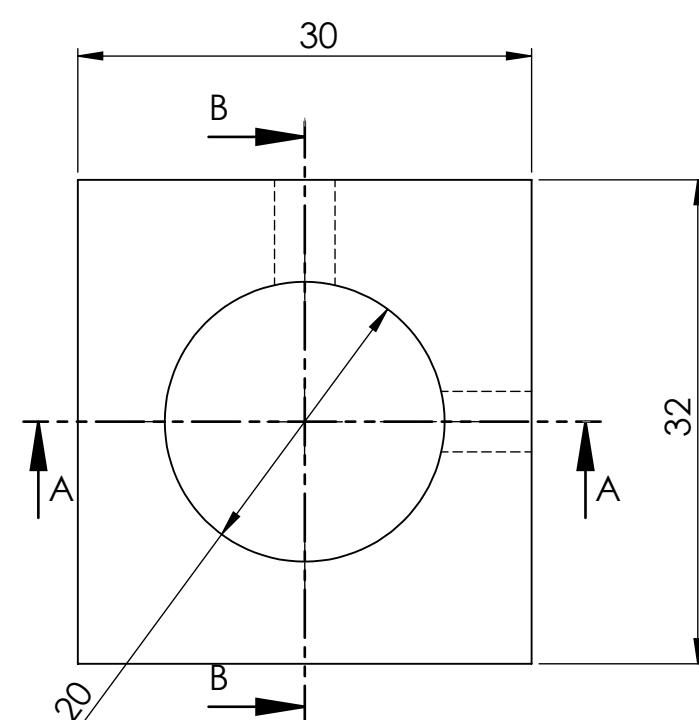
COUPE A-A



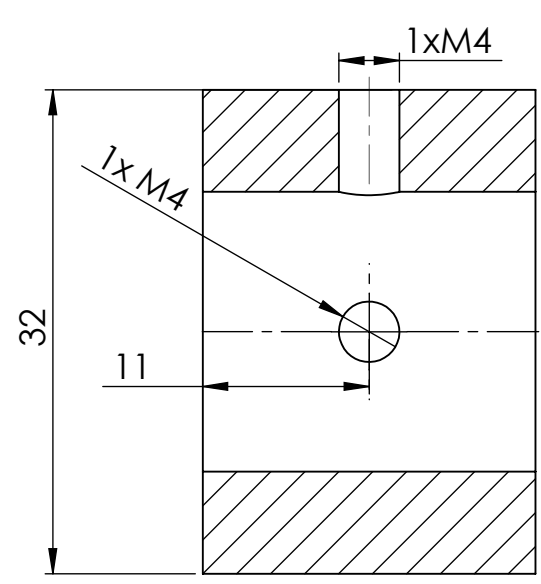
16	01	Joint d'étanchiéité	Papier	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
<p>ECHELLE: 1 : 2</p> 		<p>REACTEUR DE MECANOFUSION</p>	<p>Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR</p>	
<p>A4</p>			<p>Projet de fin d'études</p>	
		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



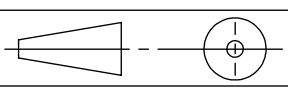
COUPE A-A

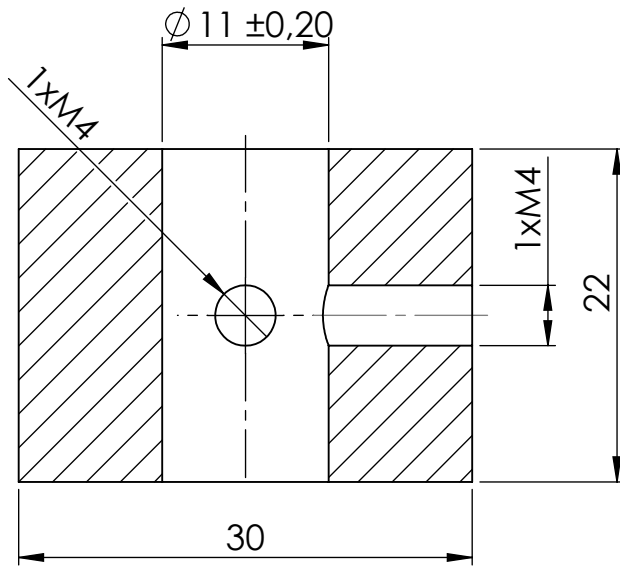


$\varnothing 18.50 \pm 0.20$

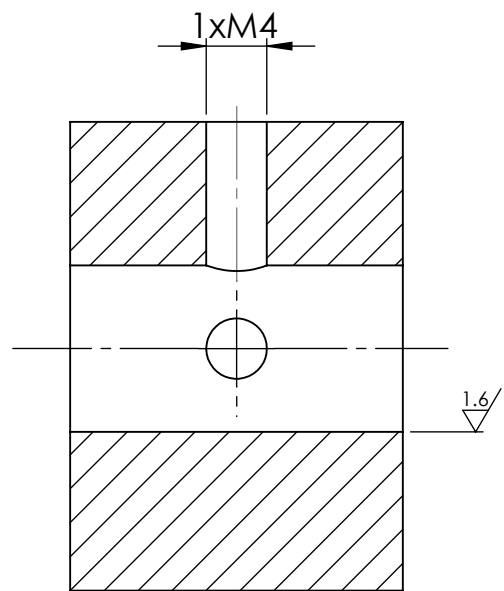
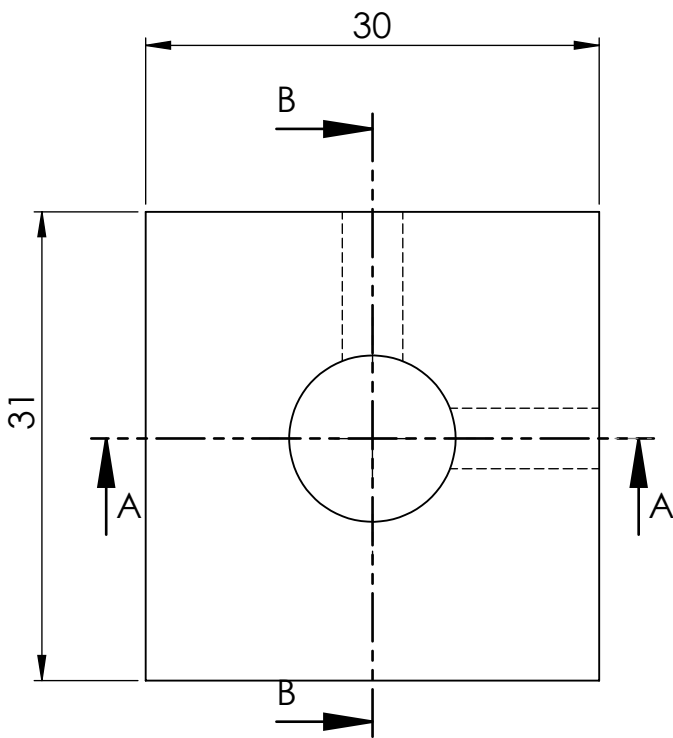


COUPE B-B

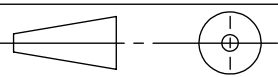
17	02	Support du marteaux	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 2 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

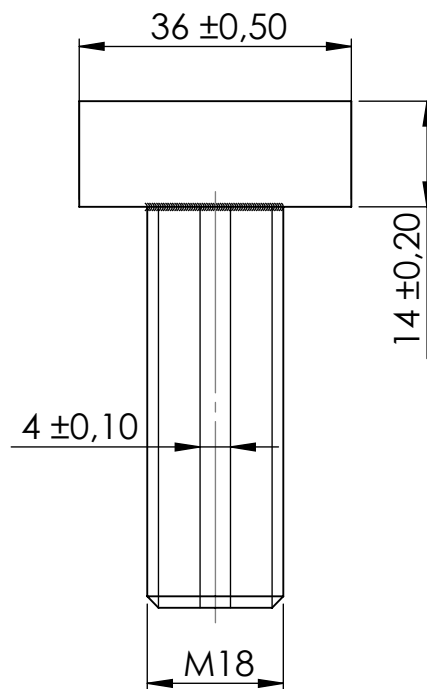
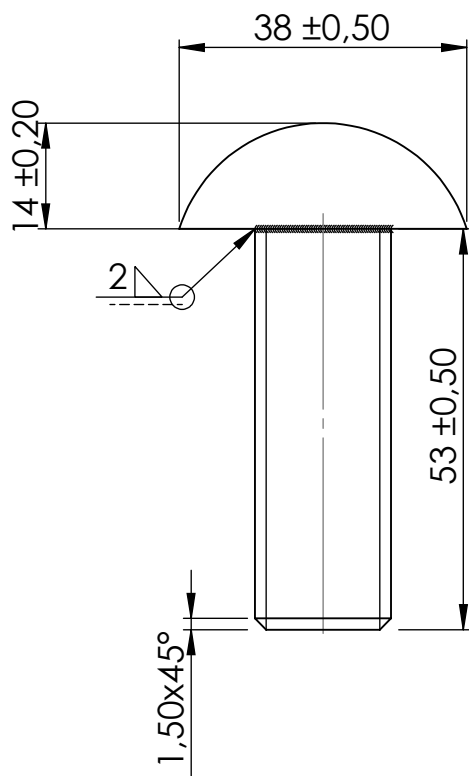
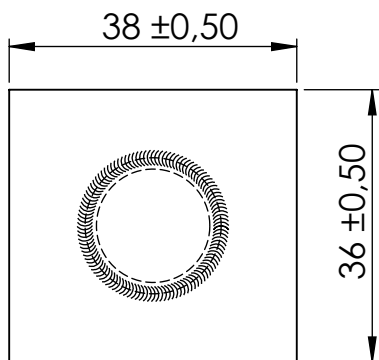


COUPE A-A

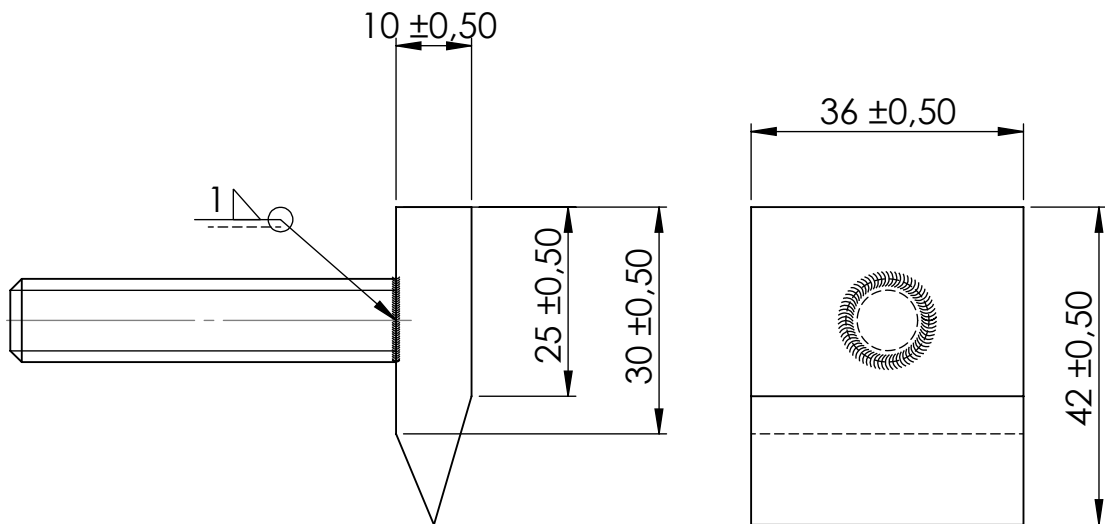
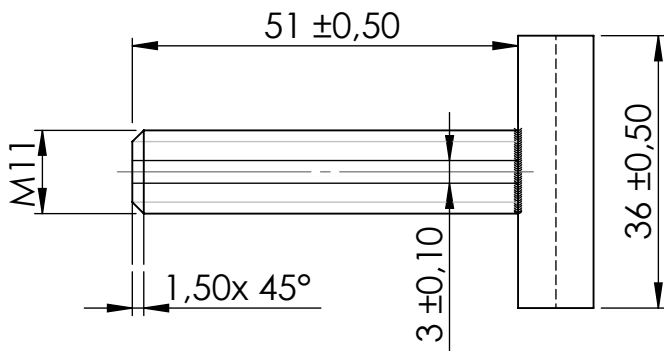


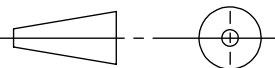
COUPE B-B

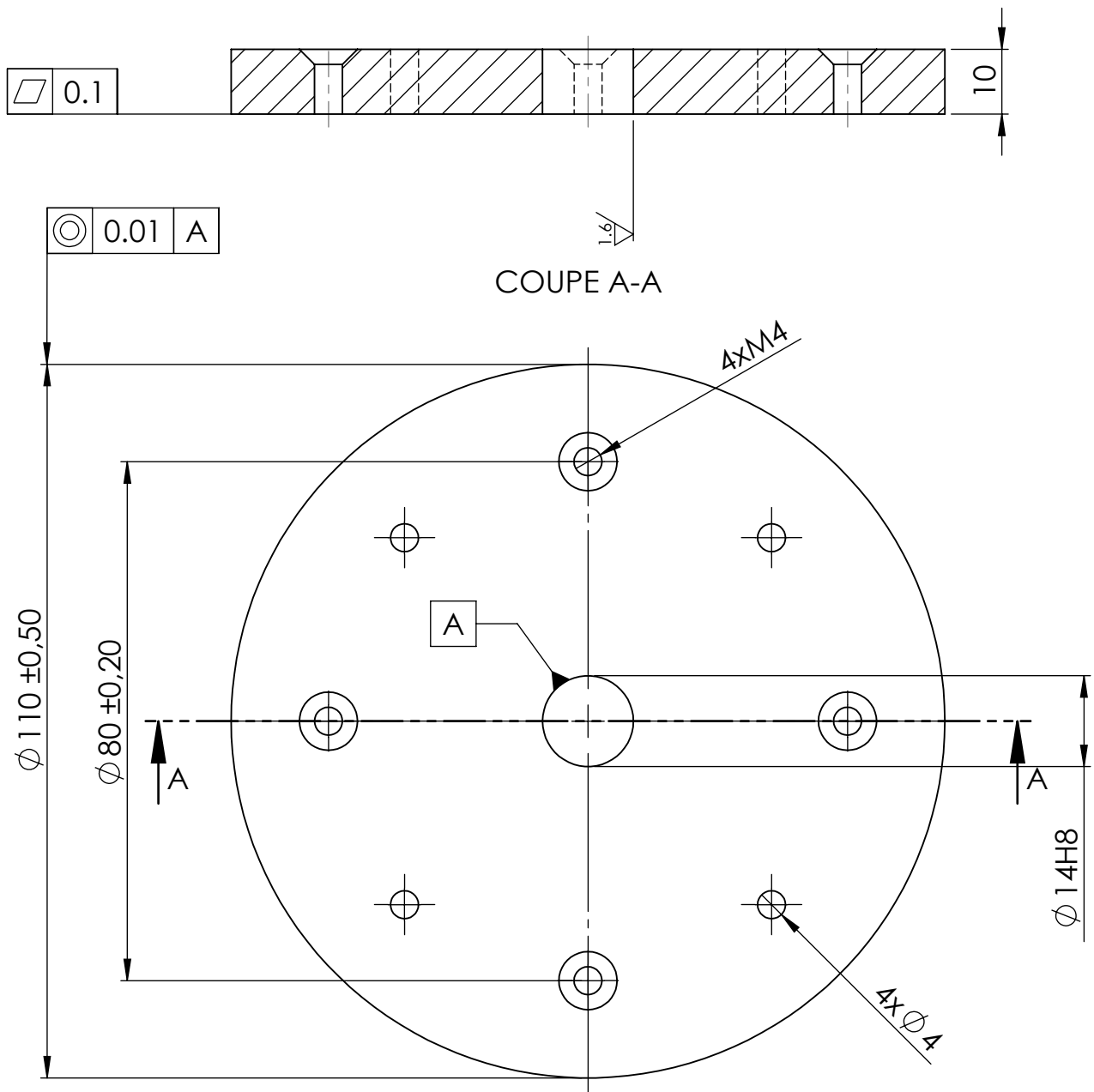
18	02	Support de racloirs	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 2 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

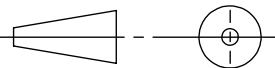


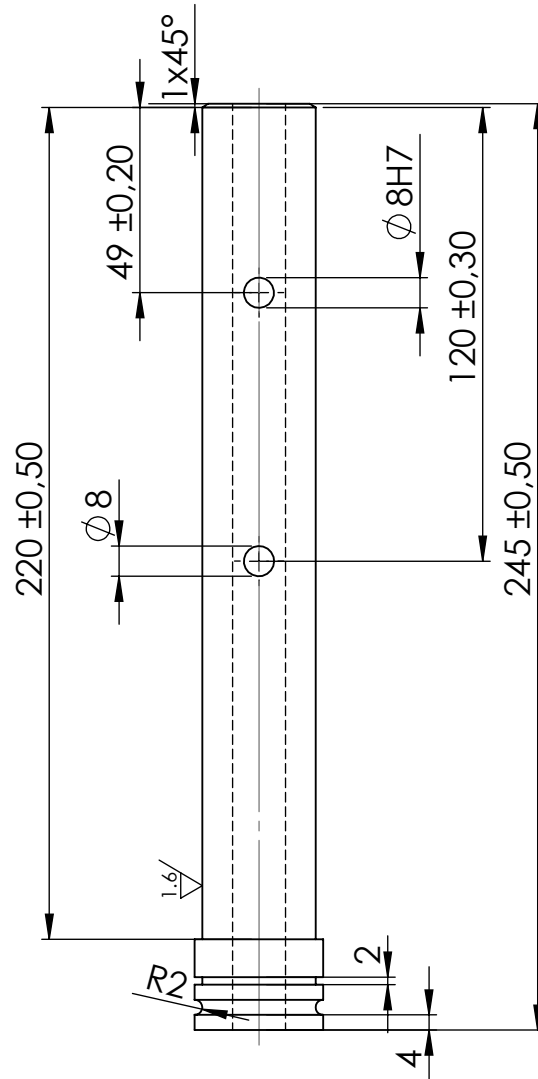
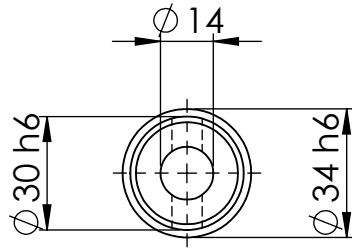
19	02	Marteaux	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

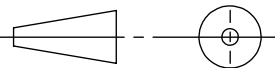


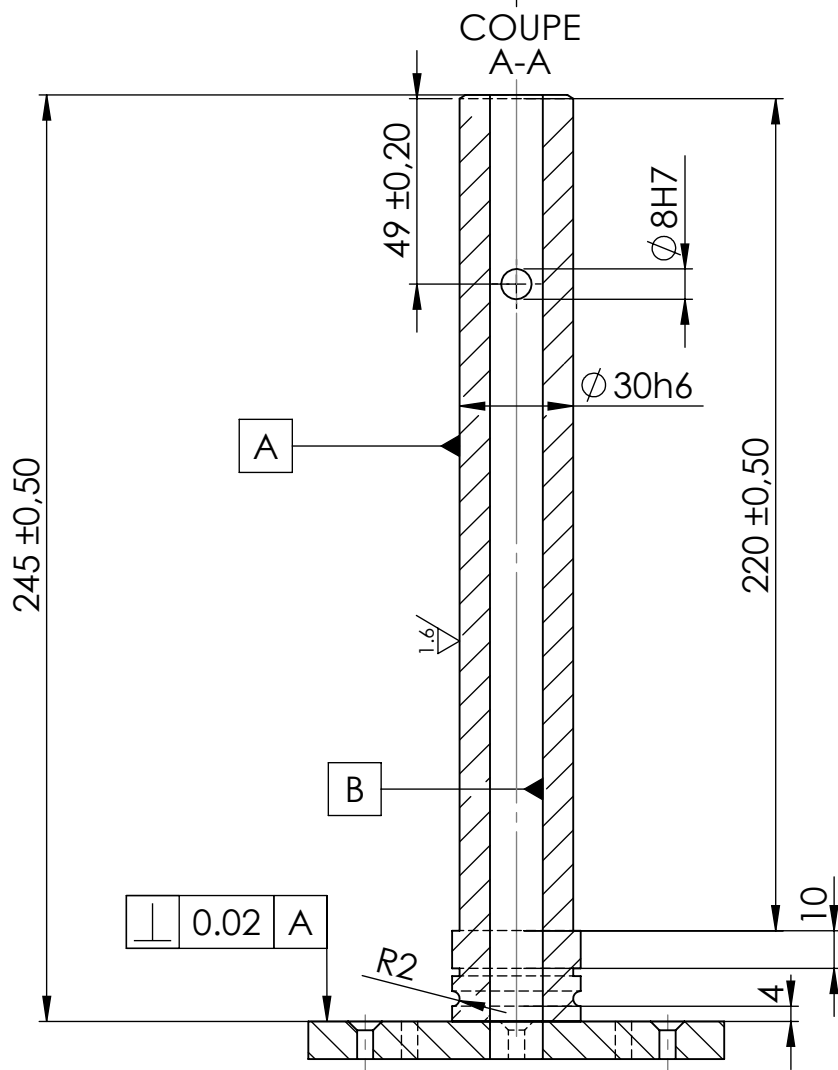
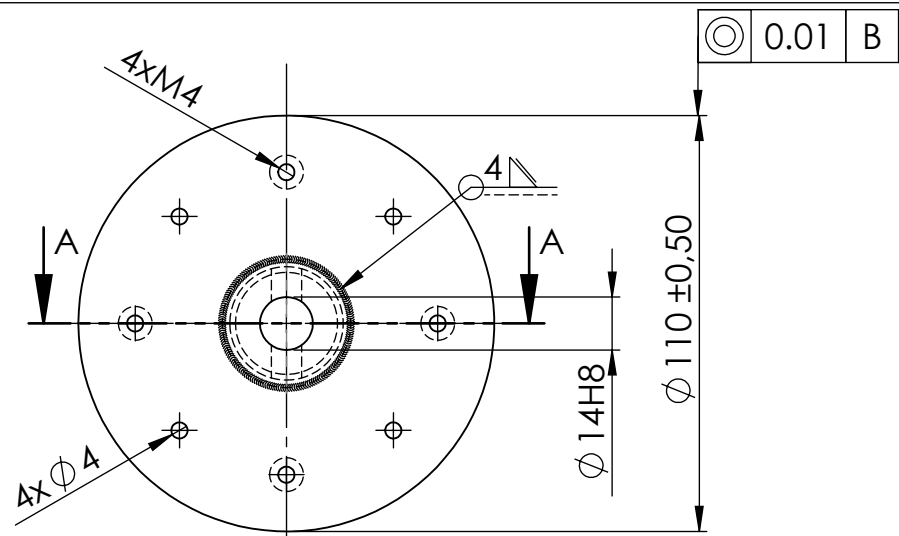
20	02	Racloirs	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

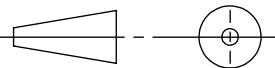


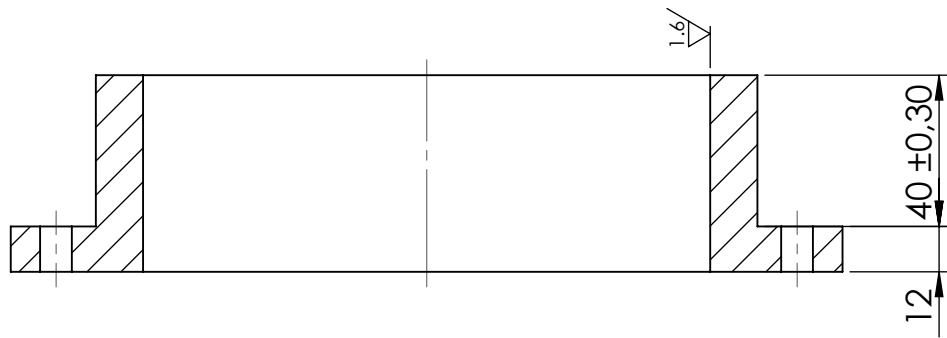
21	01	Base de l'arbre fixe	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



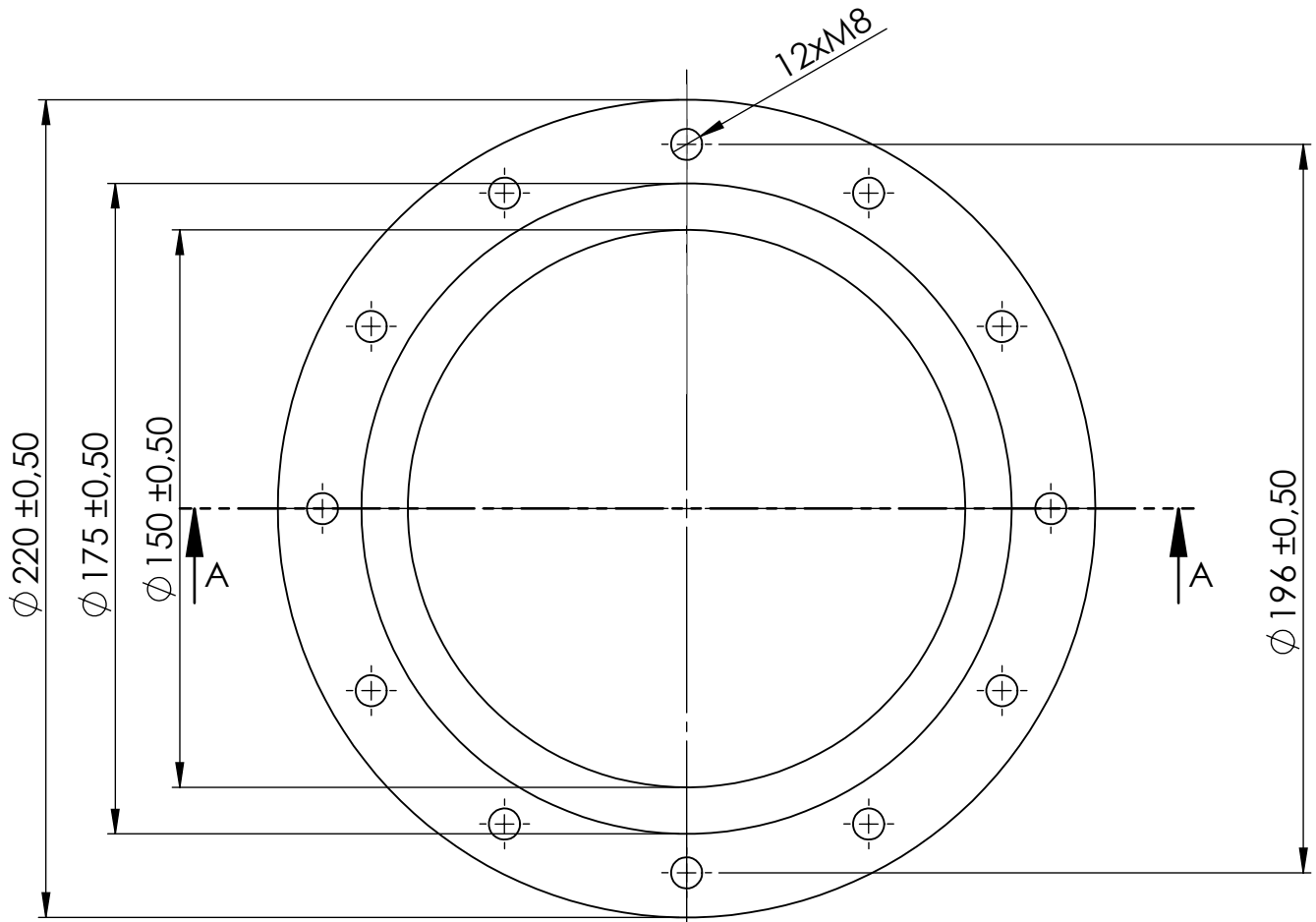
22	01	Arbre fixe	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

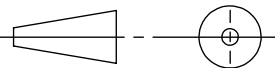


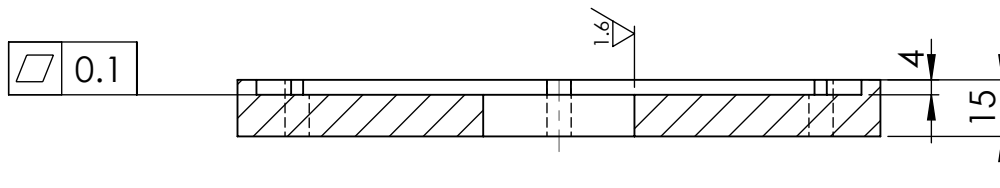
23	01	Arbre fixe assemblé	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



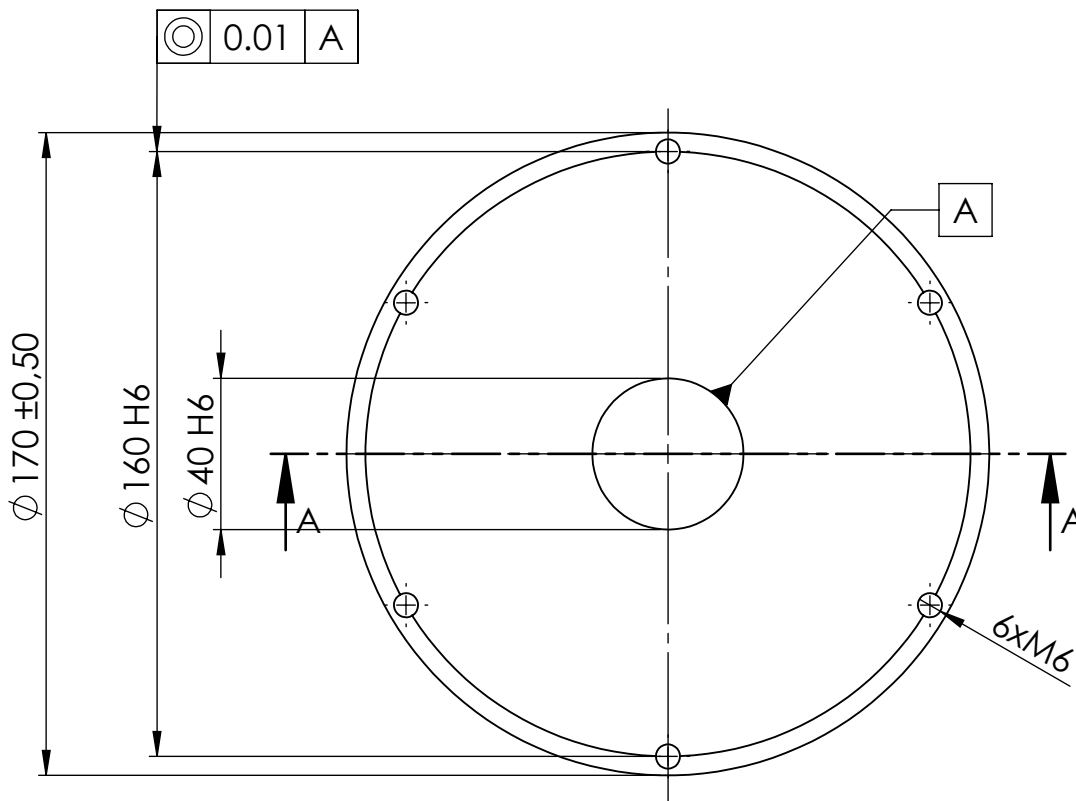
COUPE A-A

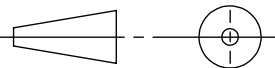


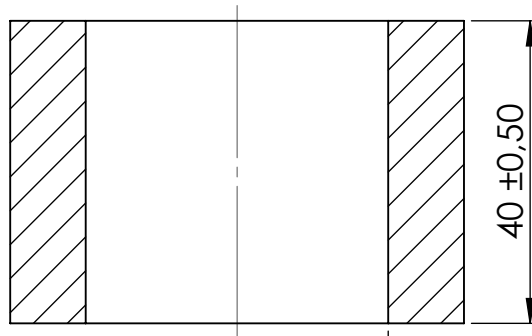
42	01	Bague de réglage de l'entrefer	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		PEACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR
				Sujet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOu		Septembre 2015



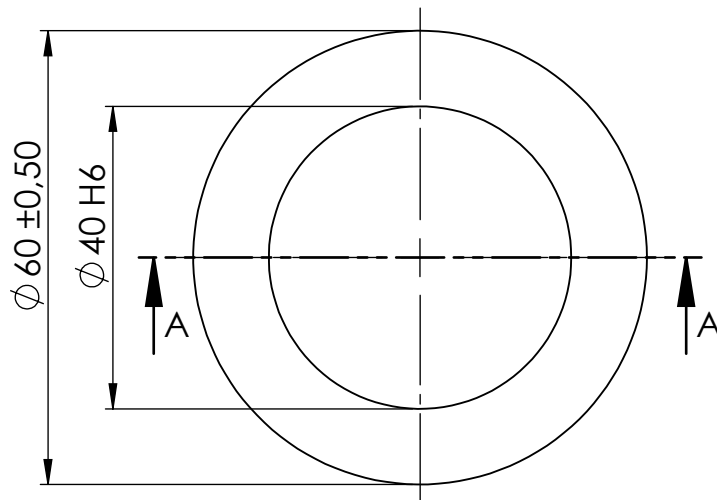
COUPE A-A

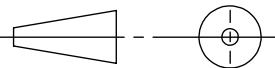


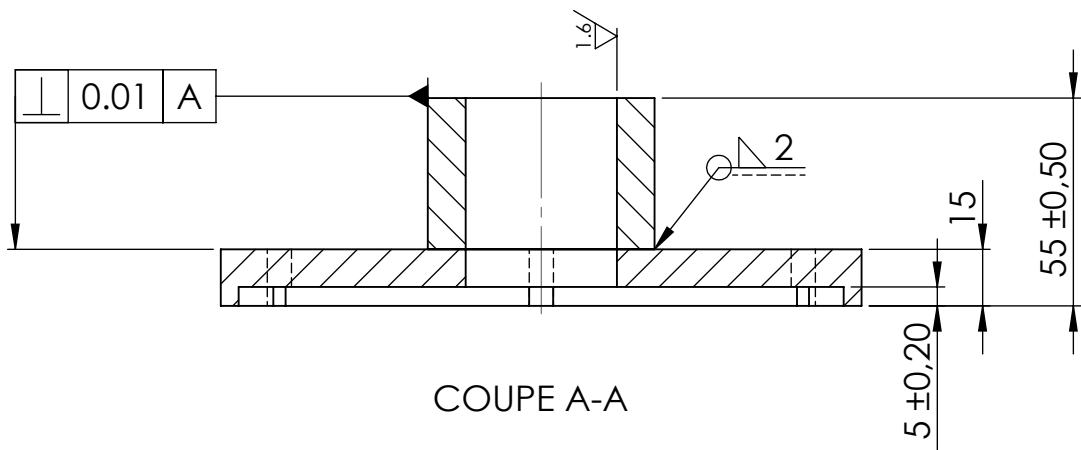
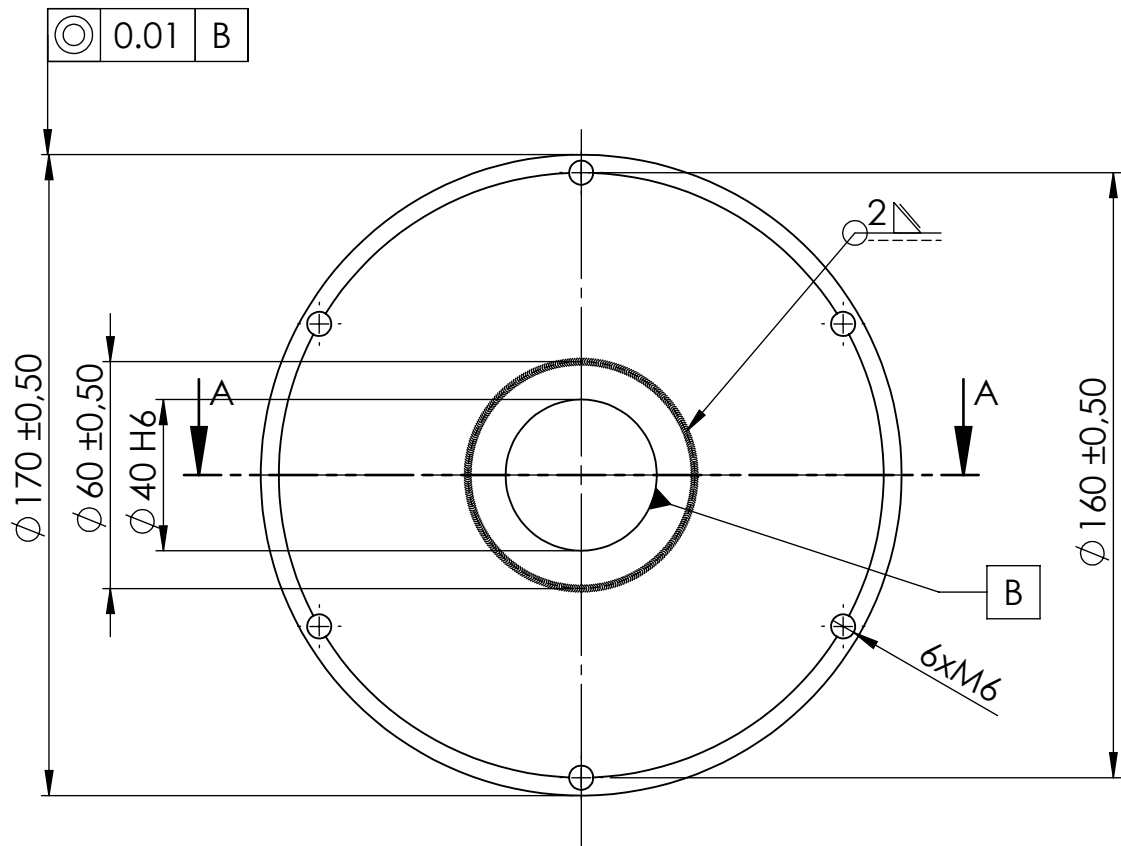
24	01	Couvercle de la chambre	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



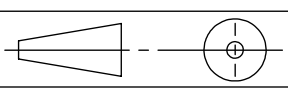
COUPE A-A



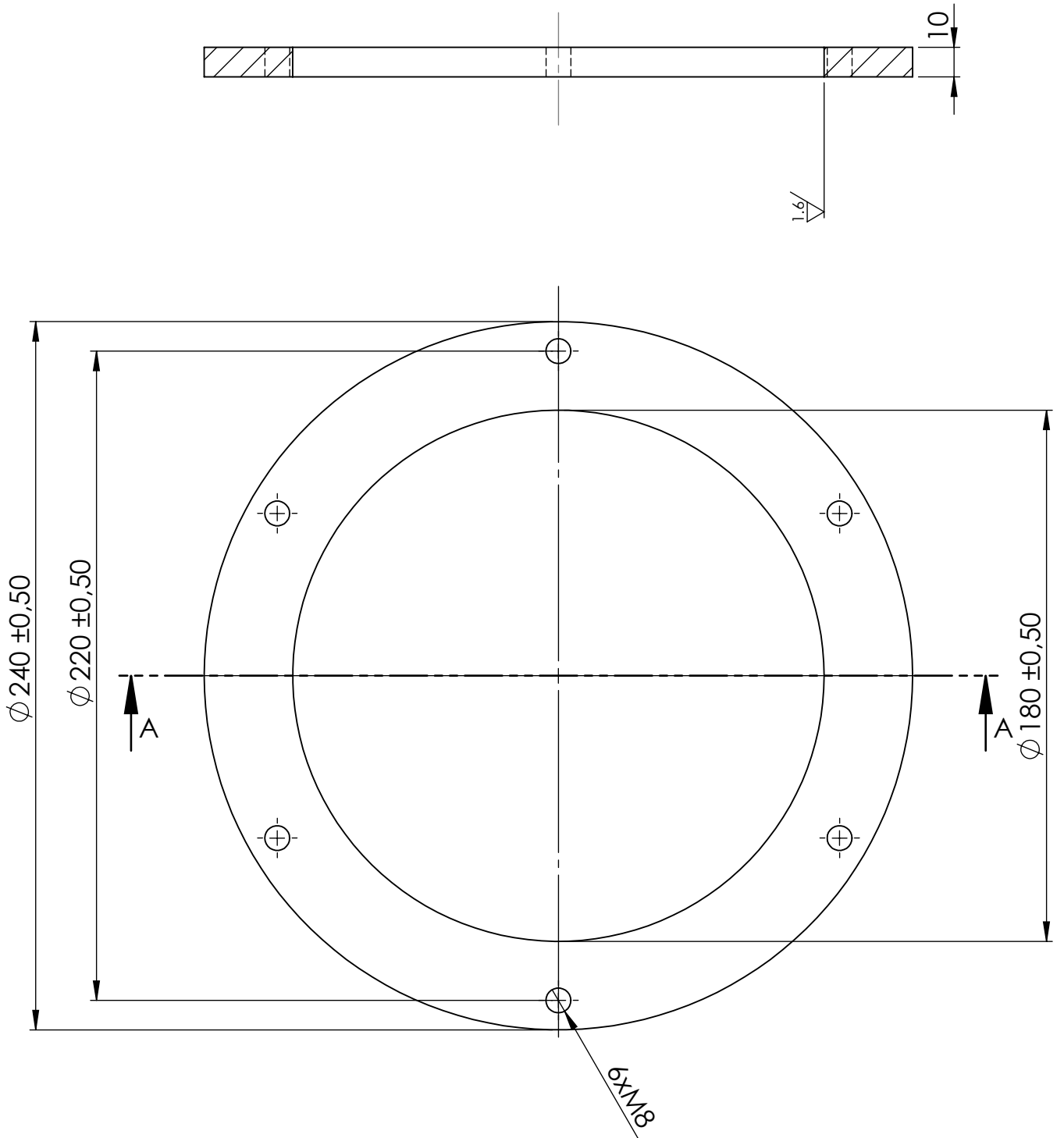
25	01	Col du couvercle de la chambre	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION	Ralisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

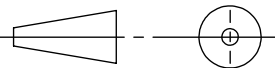


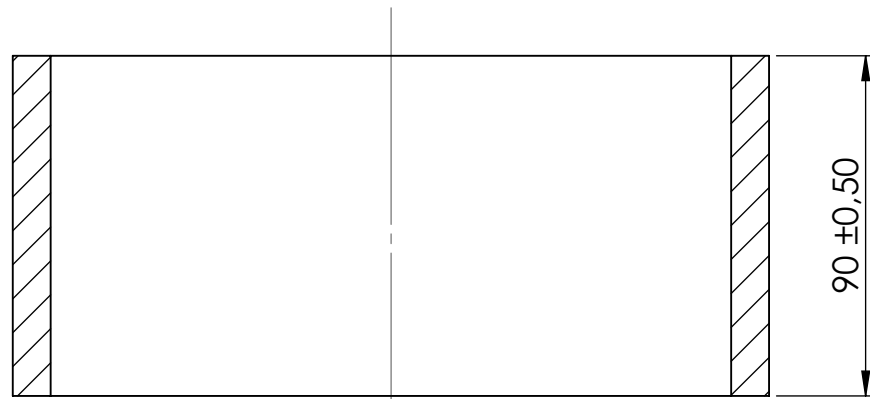
COUPE A-A

26	01	Couvercle de la chambre assemblé	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

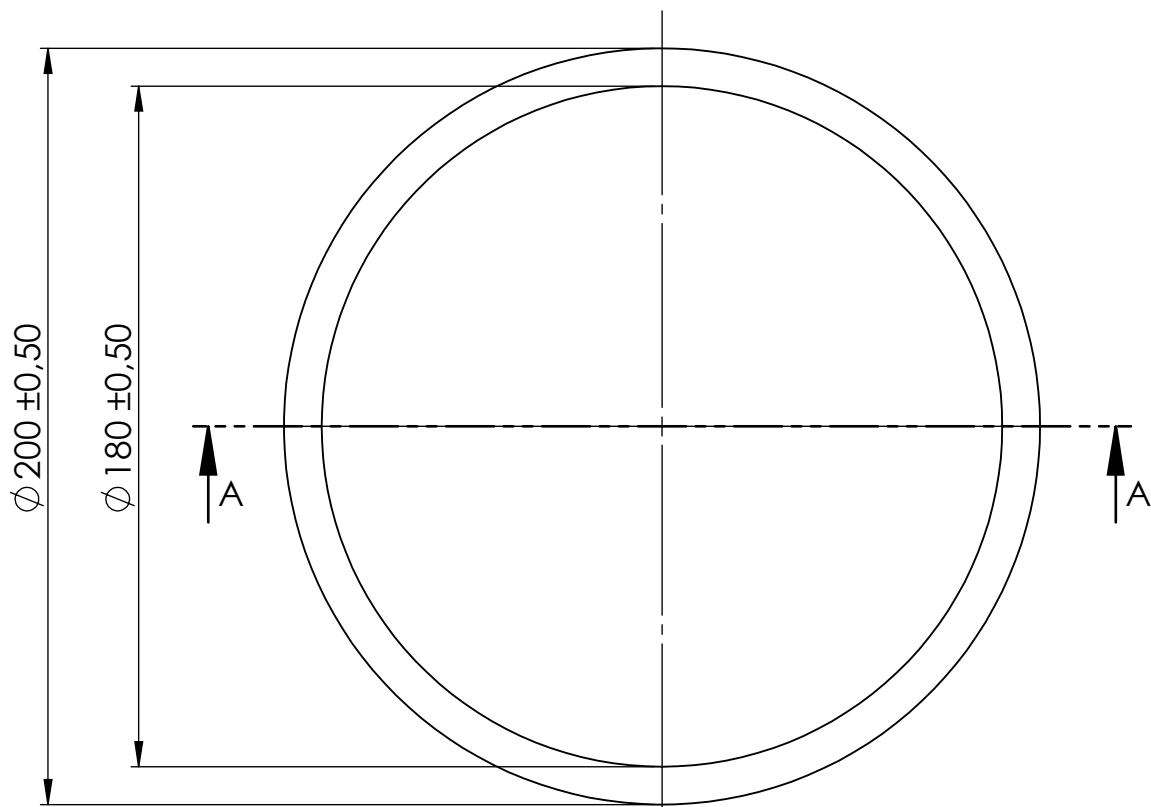
COUPE A-A

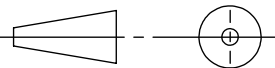


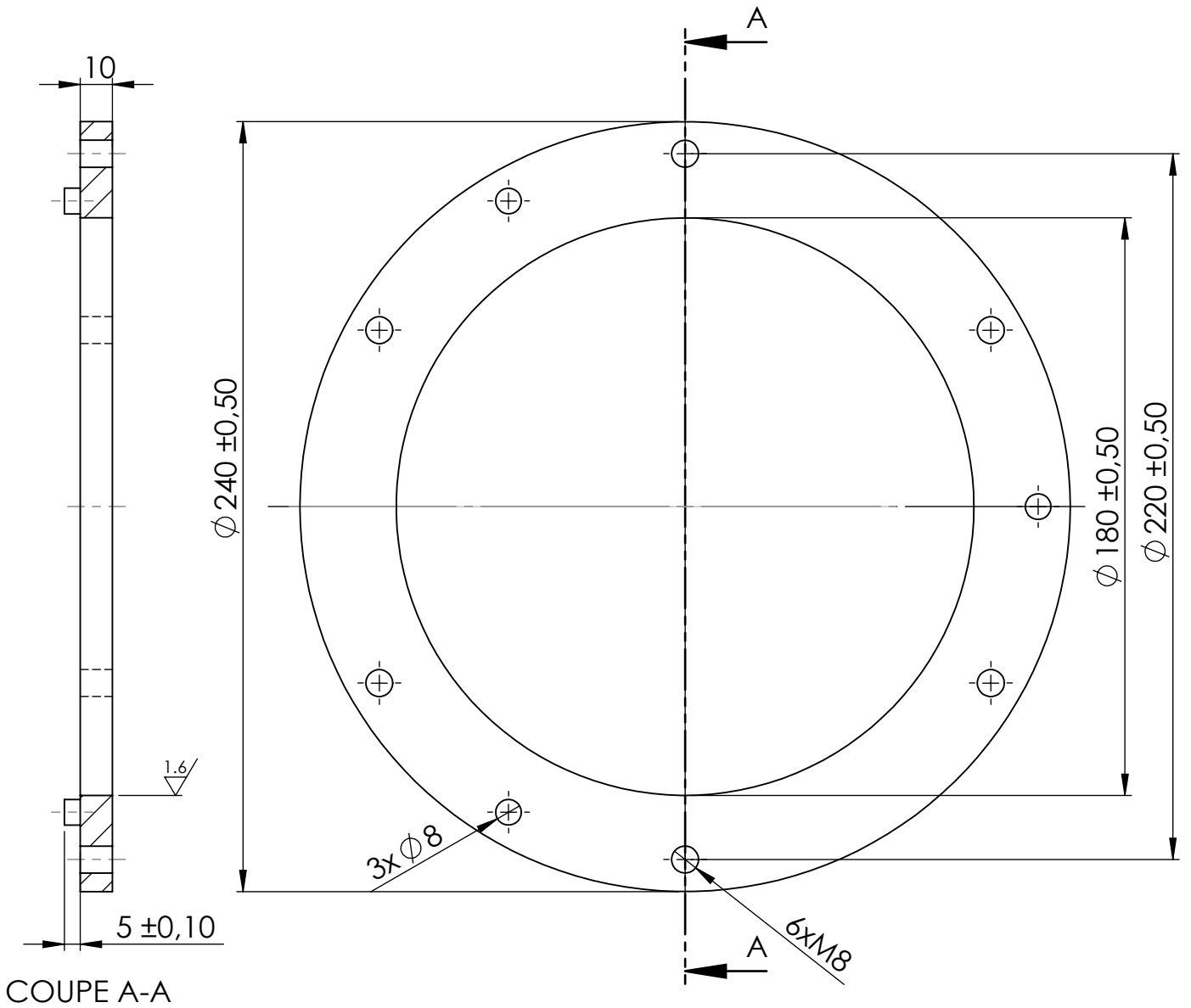
27	01	Bague inférieure du corps inférieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DU MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

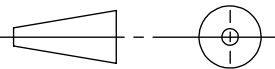


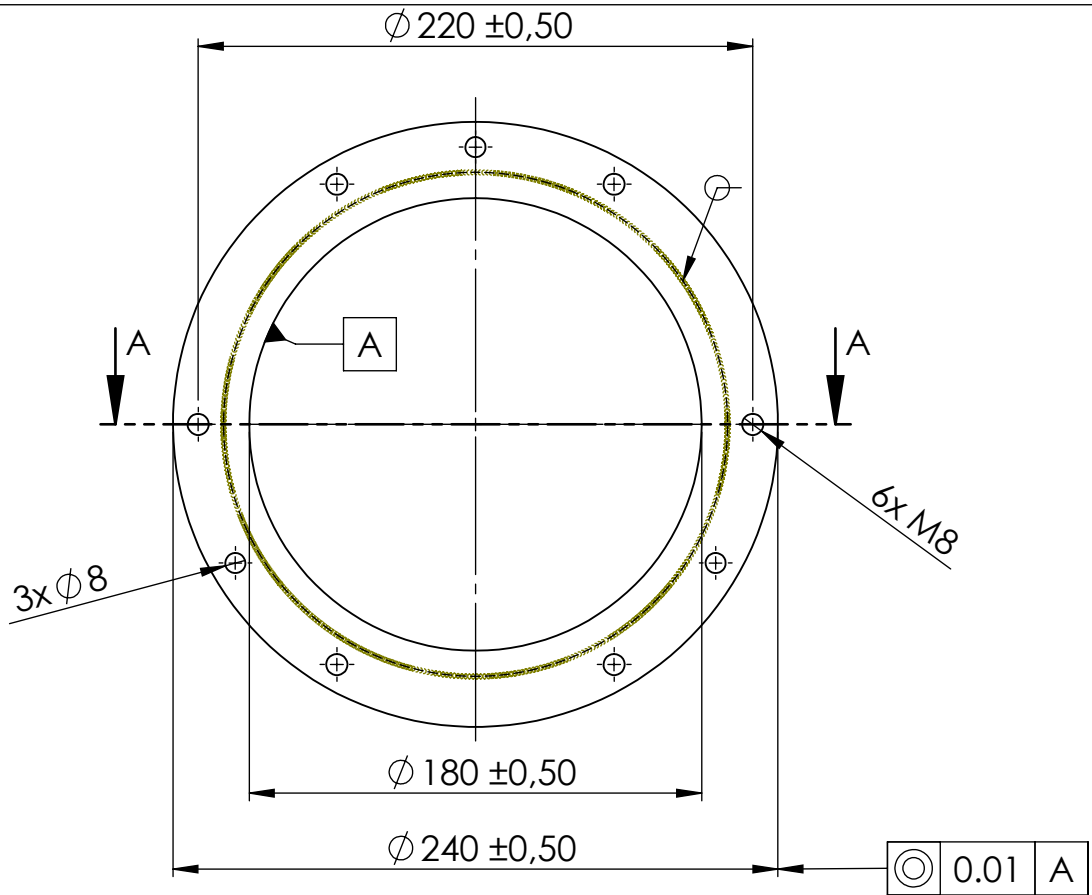
COUPE A-A



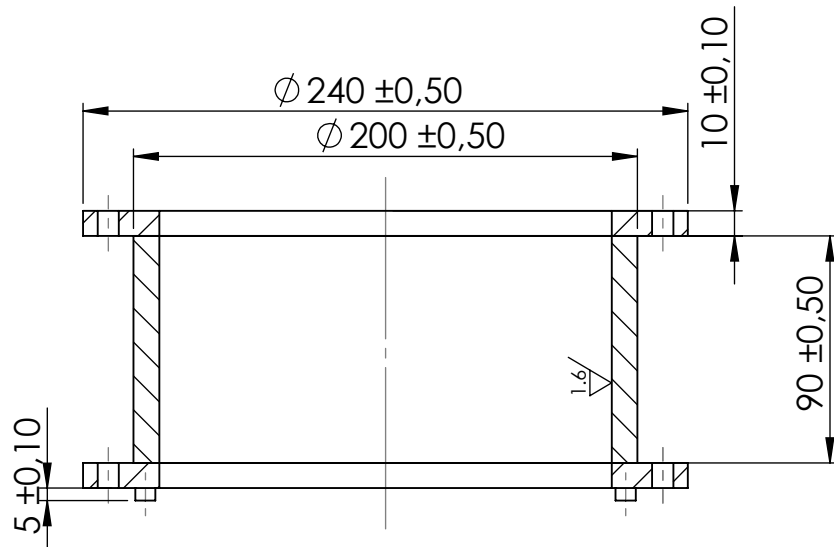
28	02	Cylindre du corps inférieur du réacteur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

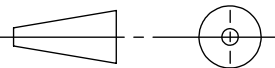


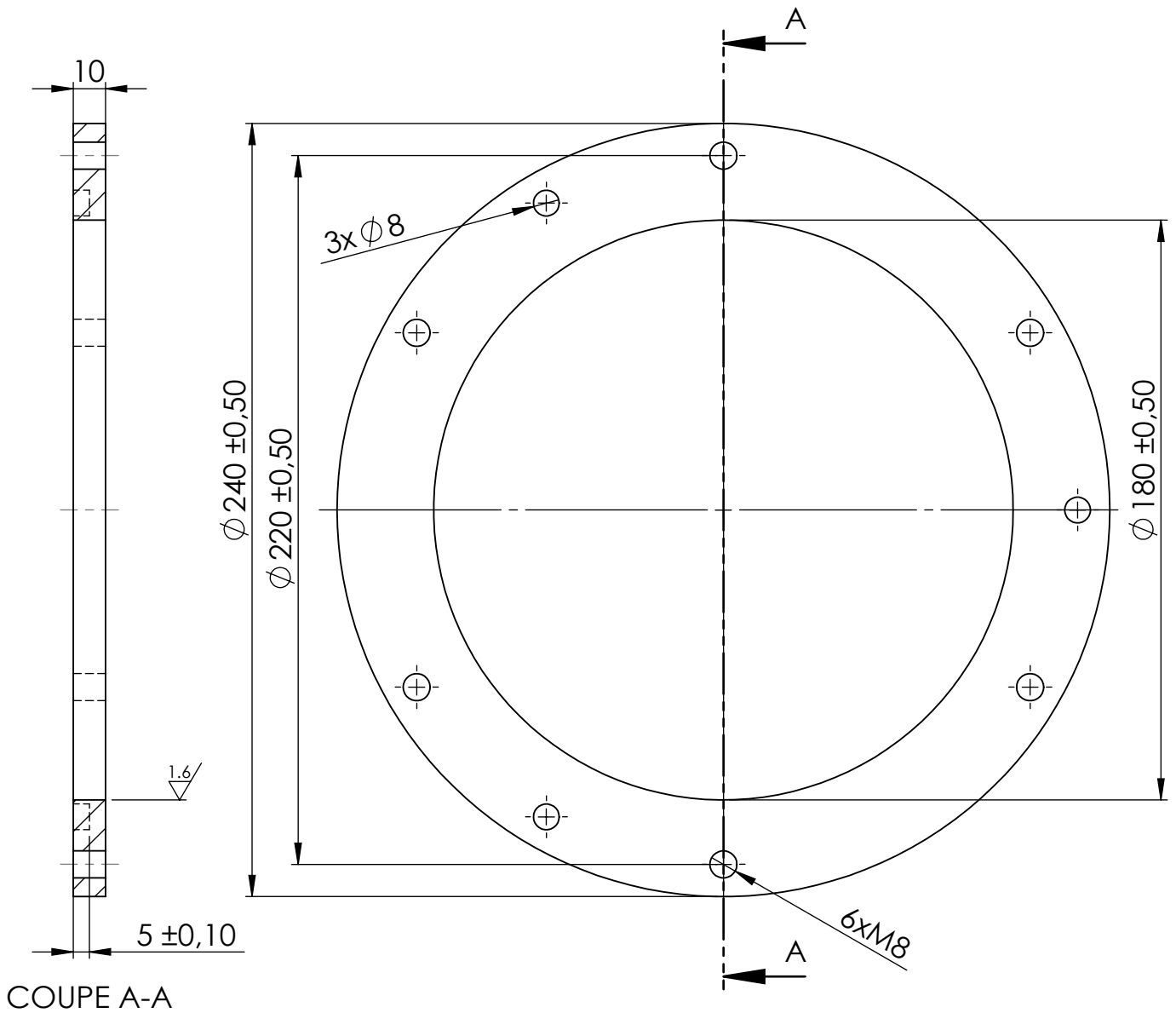
29	01	Bague supérieure du corps inférieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKEUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	

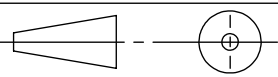


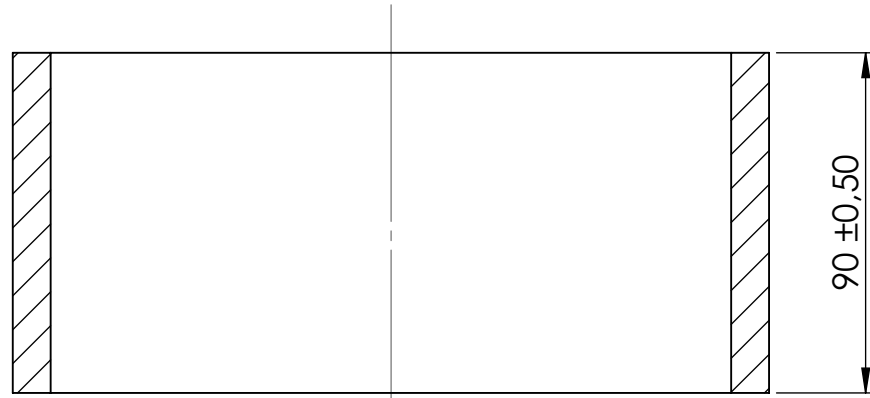
COUPE A-A



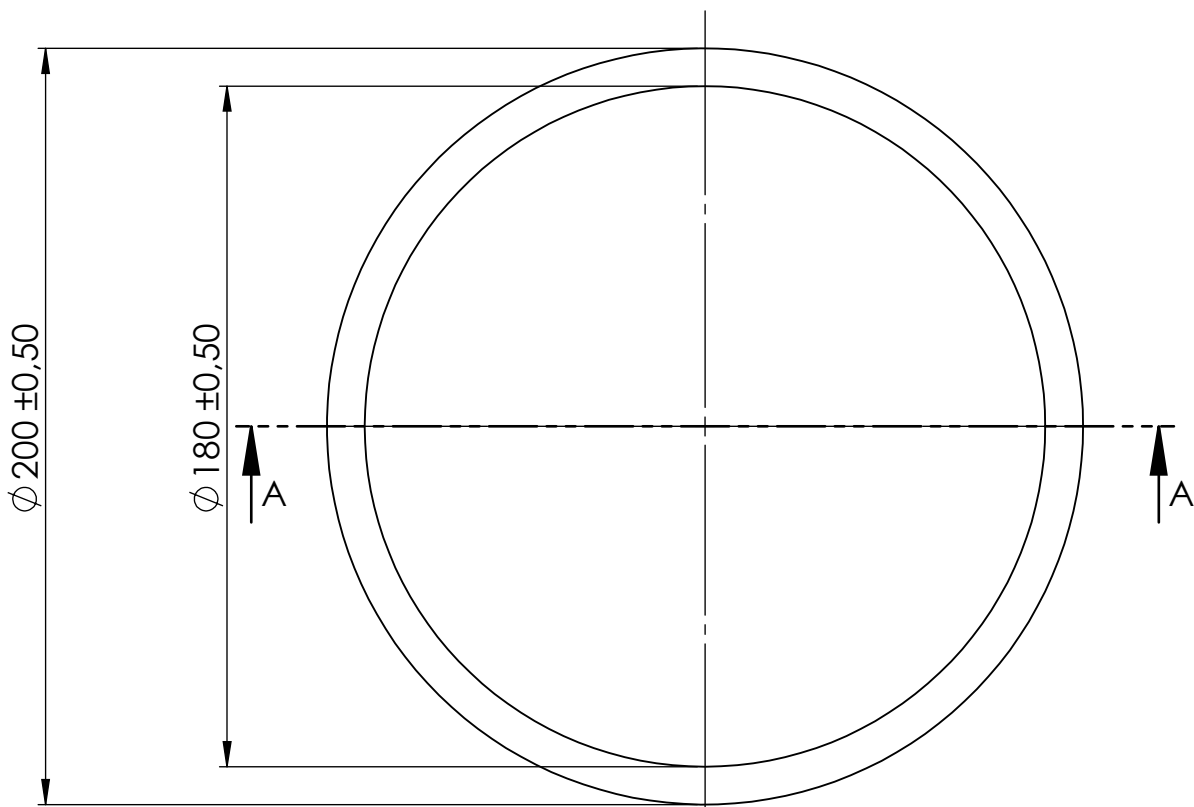
30	01	Corps inférieur du réacteur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 3		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A.HAMECHA R. OUAKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

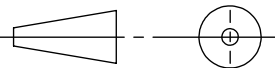


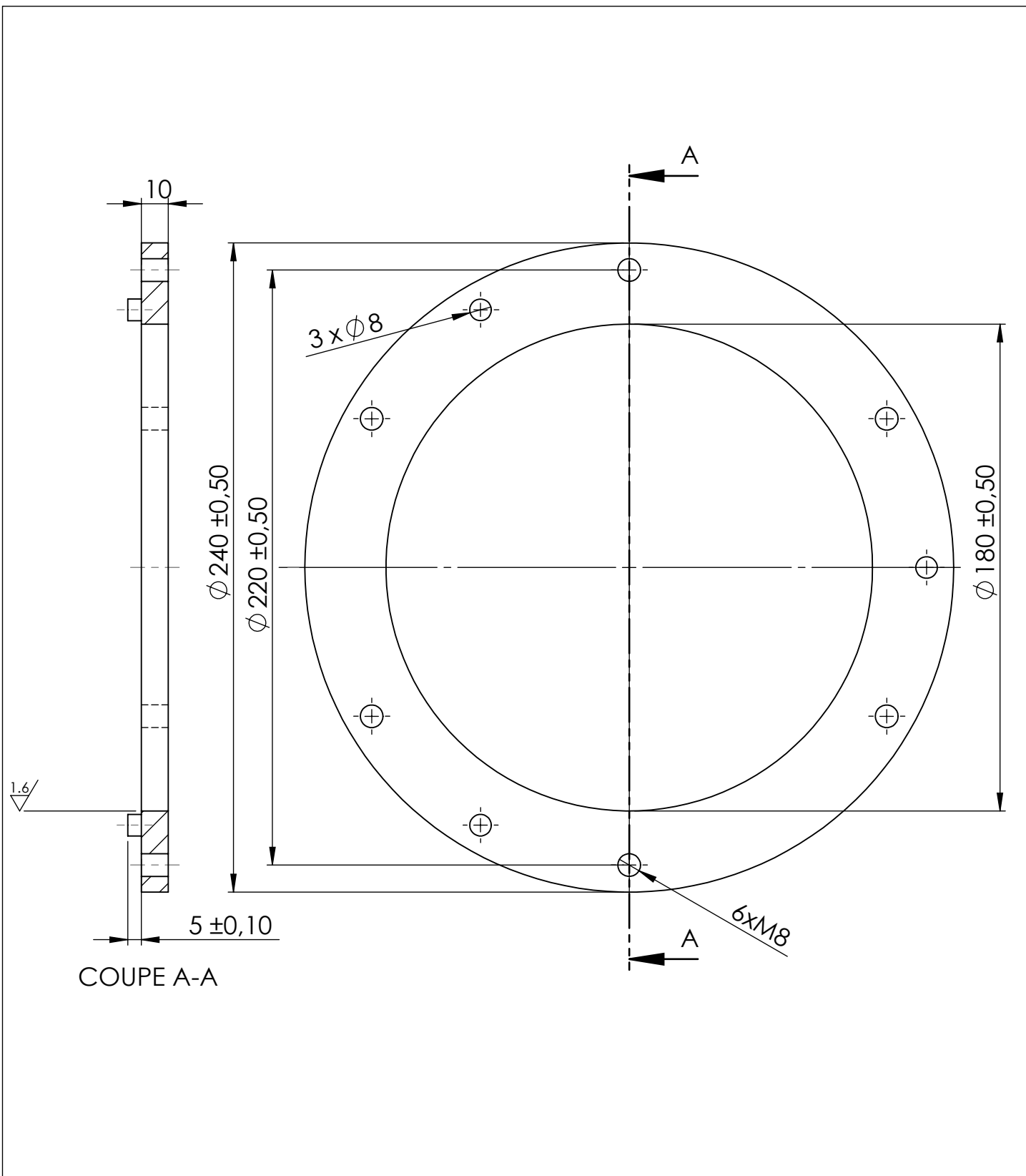
31	01	Bague inférieure du corps supérieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

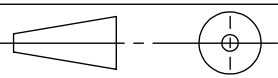


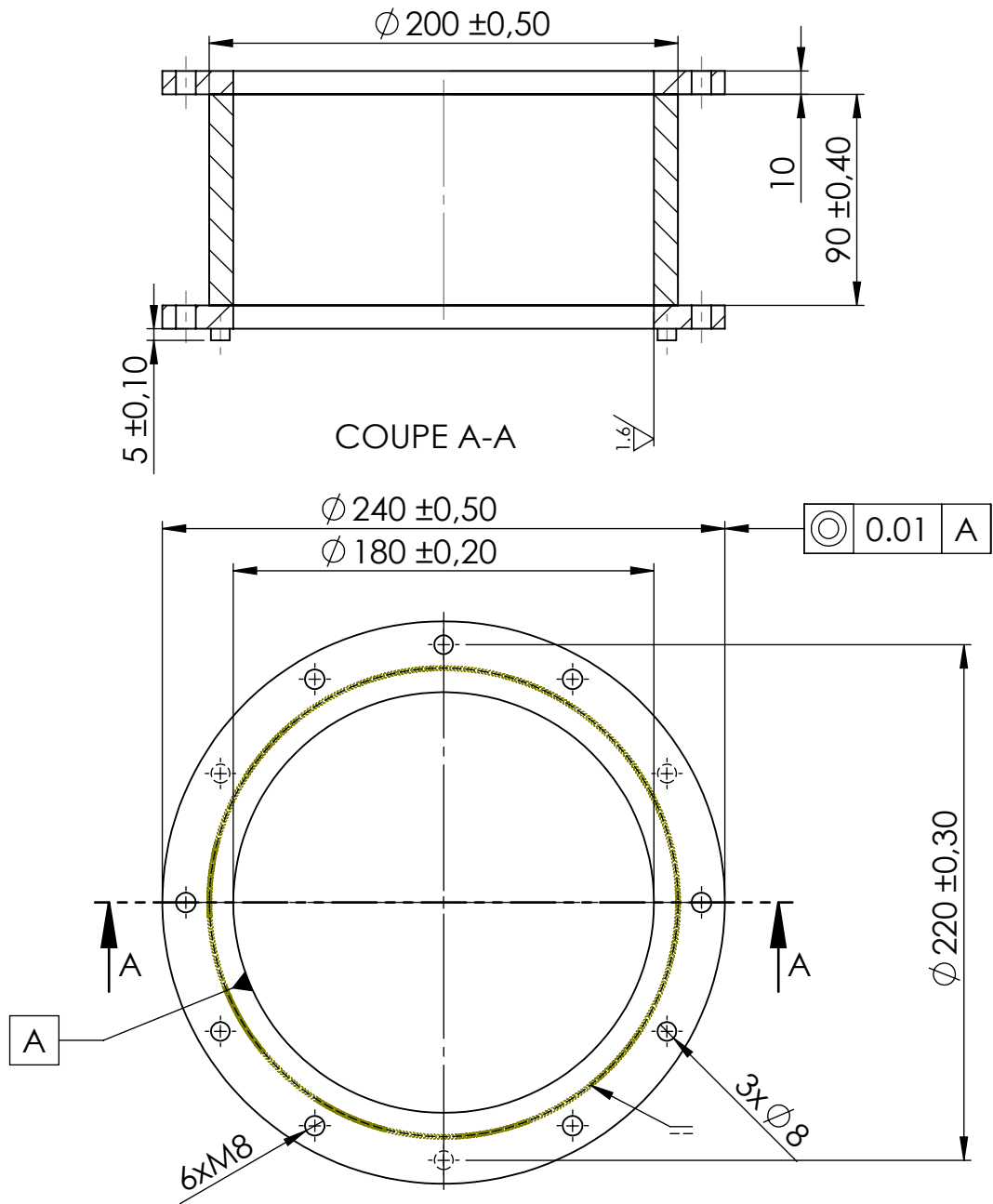
COUPE A-A

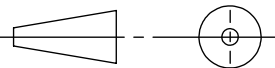


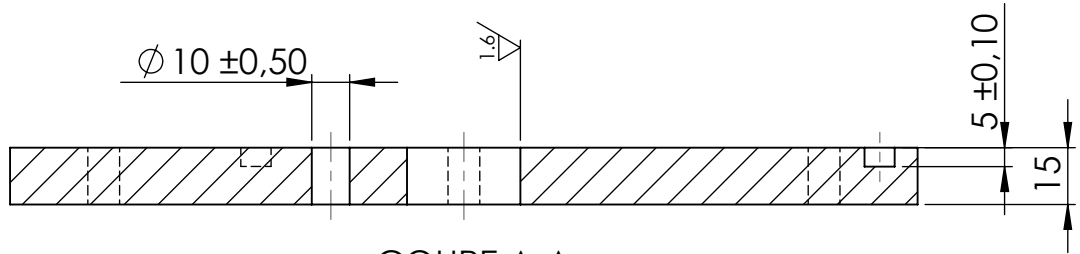
32	02	Cylindre du corps supérieur du réacteur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



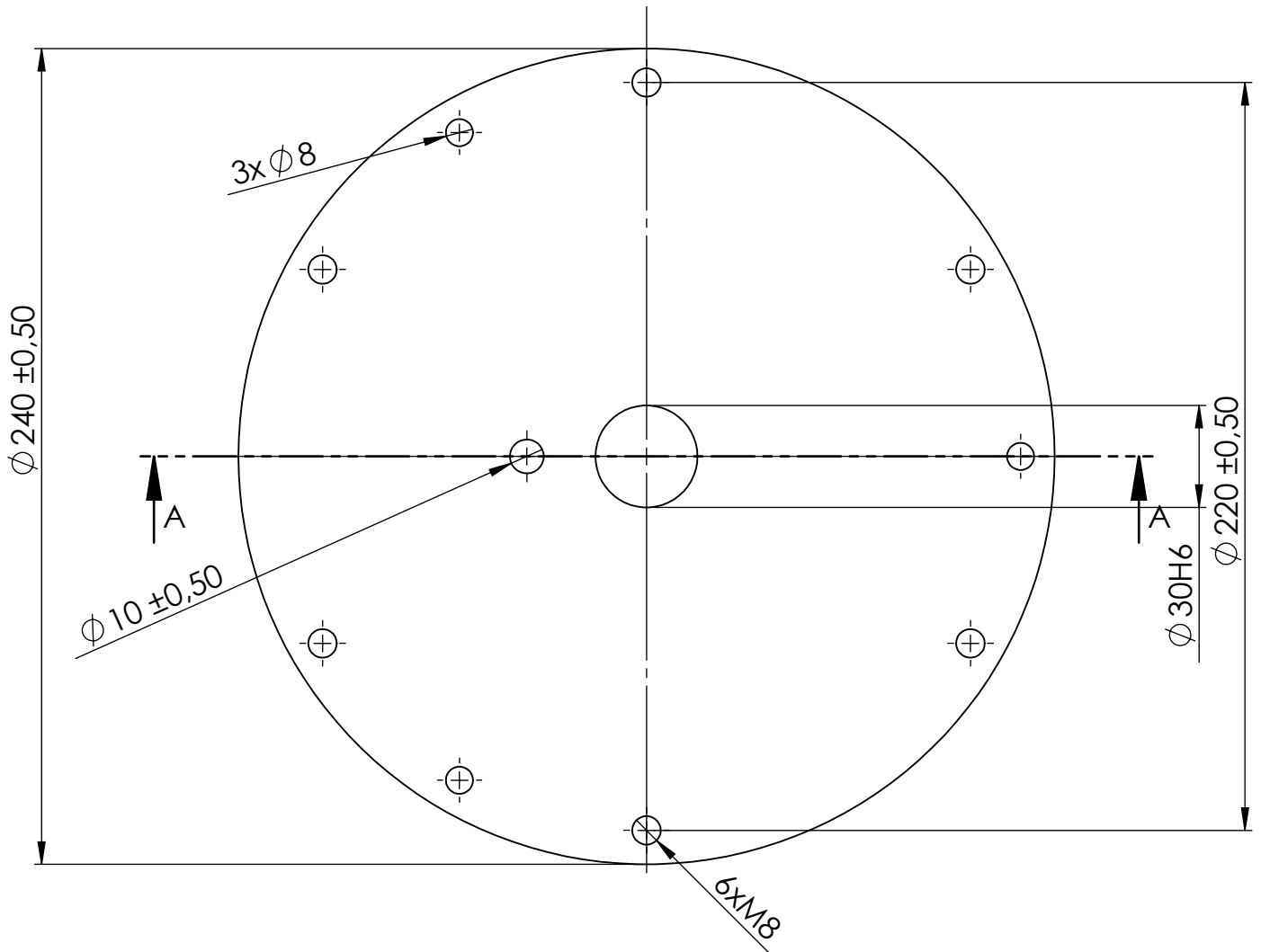
33	01	Bague supérieure du corps supérieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1:2		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

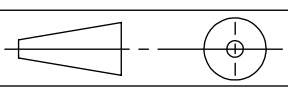


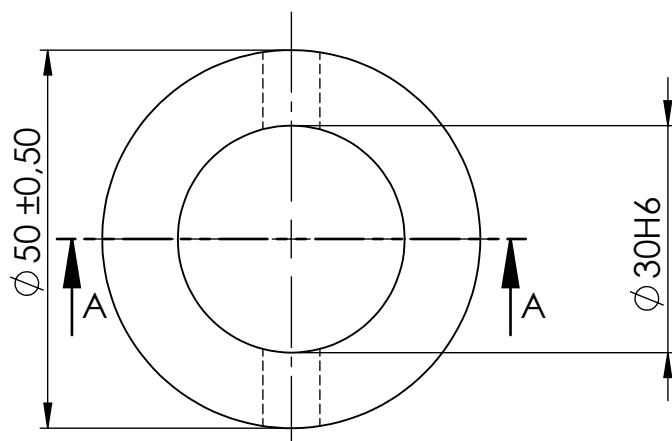
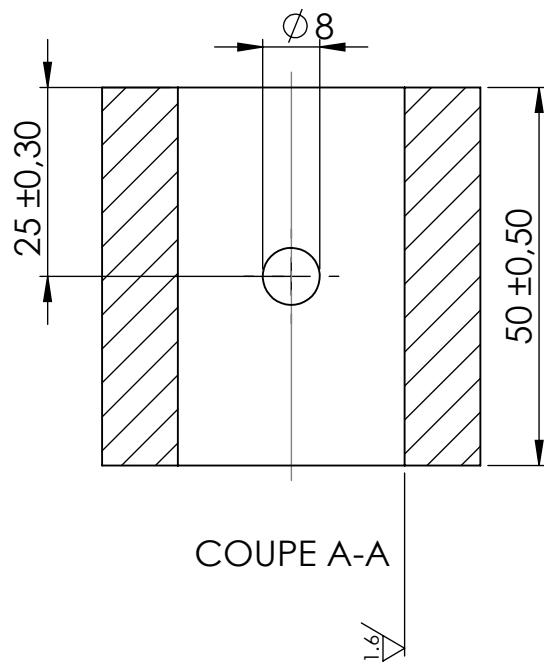
34	01	Corps supérieur du réacteur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 3		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

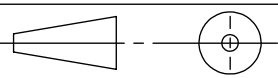


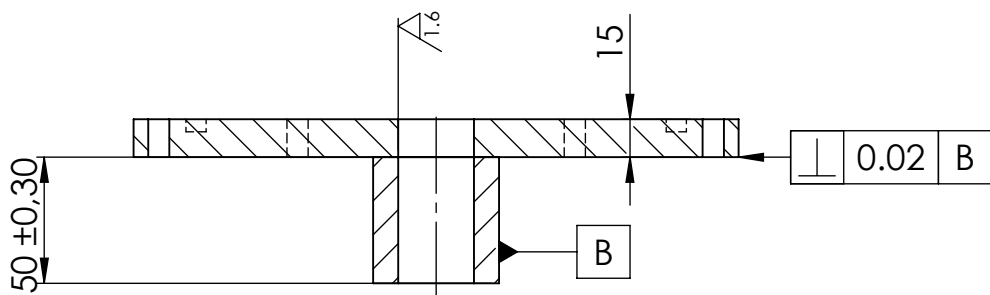
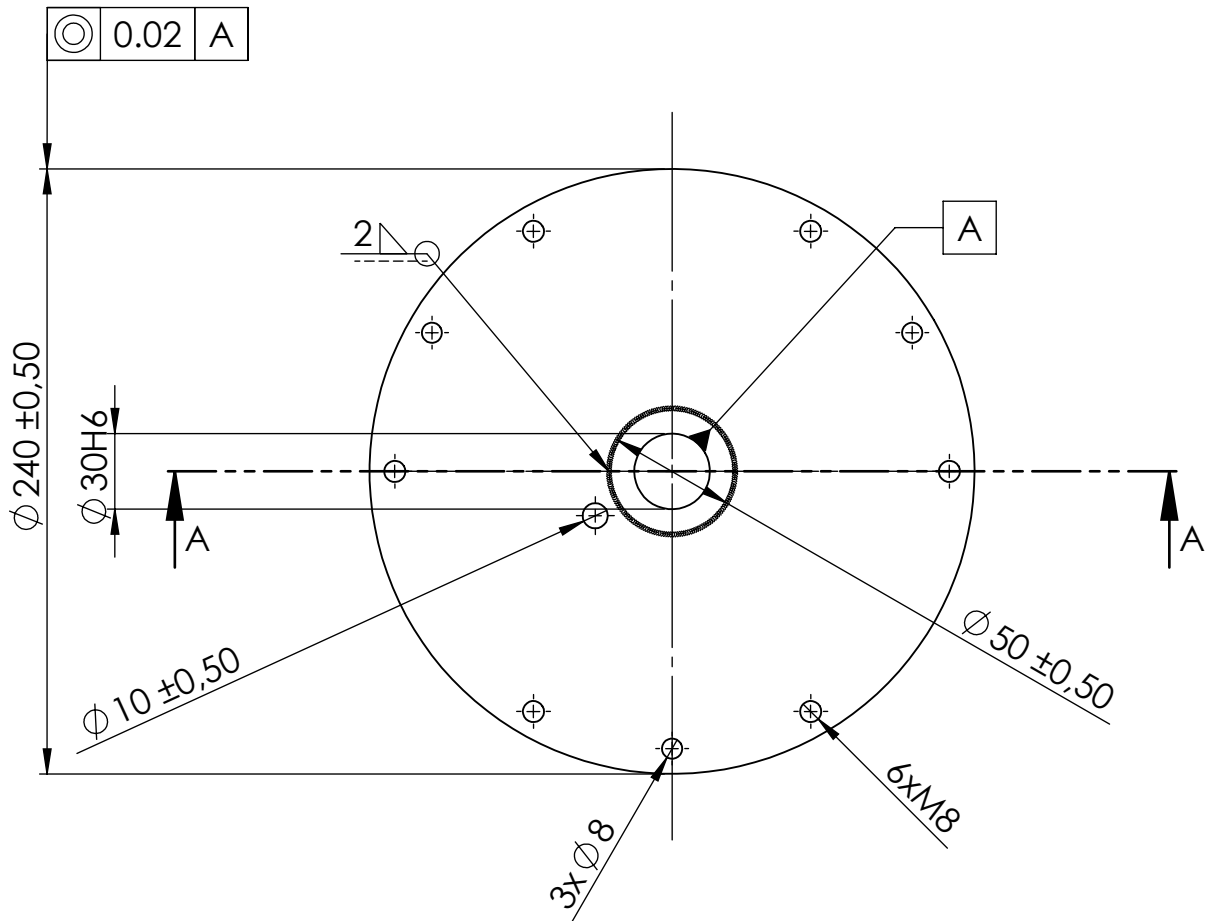
COUPE A-A



35	01	Couvercle supérieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
<p>ECHELLE: 1 : 2</p> 		<p>REACTEUR DE MECANOFUSION</p>	<p>Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR</p>	
<p>A4</p>			<p>Projet de fin d'études</p>	
<p>UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU</p>			<p>Septembre 2015</p>	

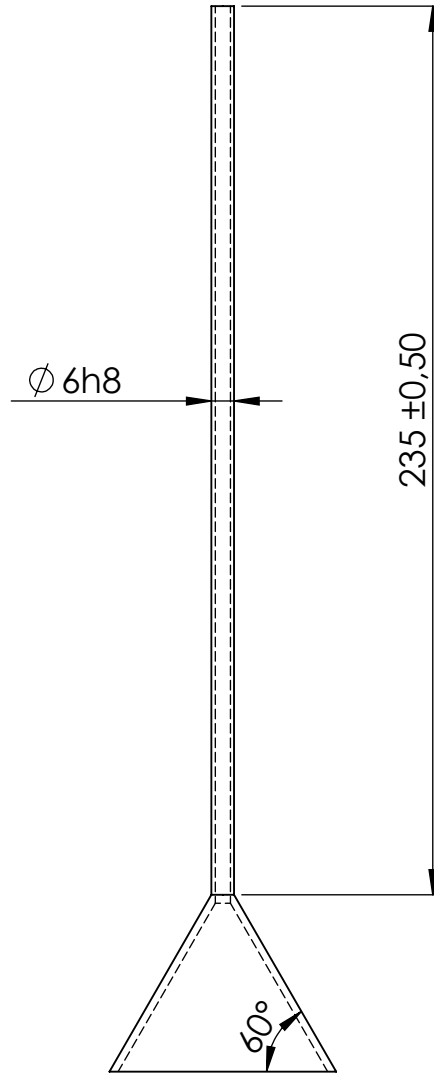
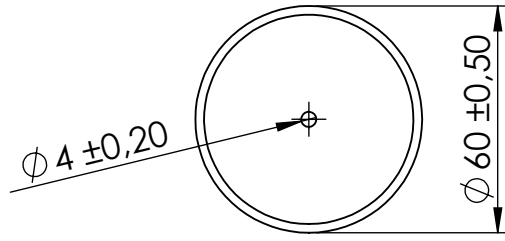


36	01	Col de couvercle supérieur	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 1		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

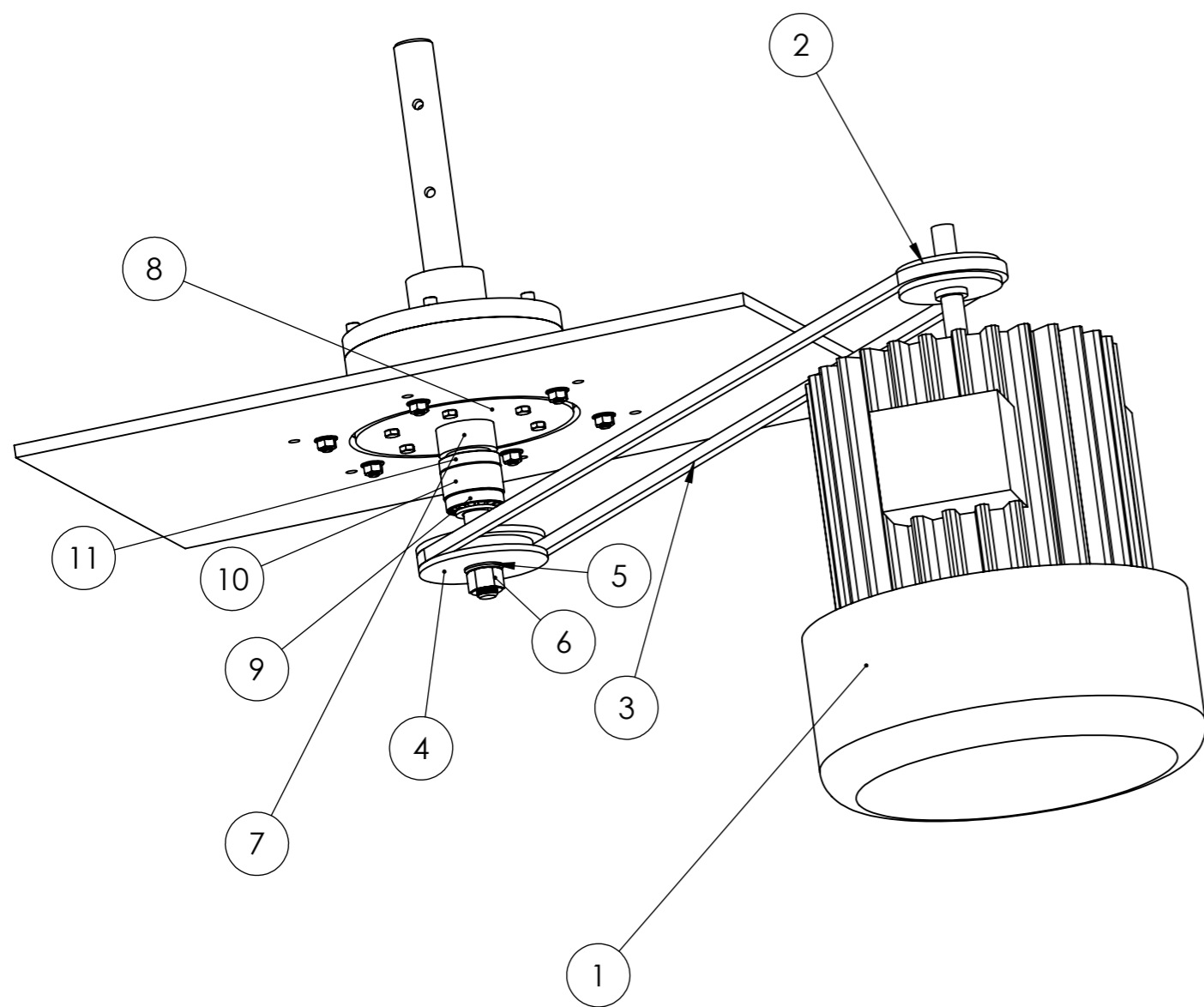


COUPE A-A

37	01	Couvercle supérieur assemblé	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 3		REACTEUR DE MECANOFUSION	Réalisé par : A. HAMECHA R. OUKOUR	
			Projet de fin d'études	
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU	Septembre 2015	



38	01	Conduite d'introduction de poudre	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1: 2		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR
				Projet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015

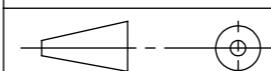


ECHELLE 1 : 5

partie dessous du réacteur

11	01	roulement à rouleaux conique 22-47	acier inox	
10	01	bague	acier	
09	01	roulement à rouleaux conique 20-45	acier inox	
08	01	base de l'arbre tournant	acier	
07	01	arbre tournant	acier	
06	01	écrou M16	acier	
05	01	rondelle M 16	acier	
04	01	grande poulie	acier	
03	01	courroie		
02	01	petite poulie	acier	
01	01	moteur		
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

Echelle:
1 : 5



A3

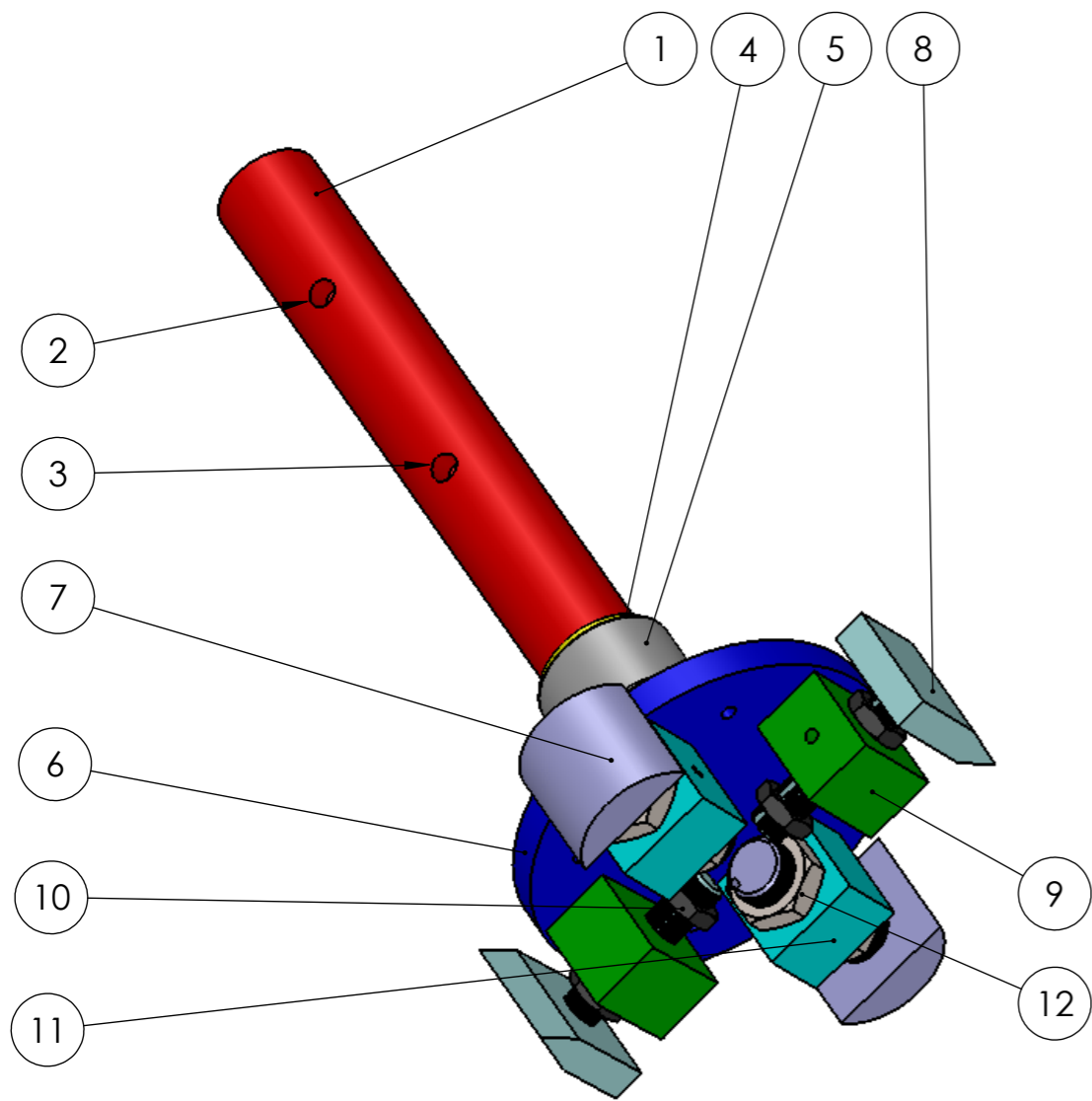
REACTEUR DE POUDRE METALLIQUE

Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou

réalisé par :
HAMECHA.A
OUAKOUR.R

Memoire

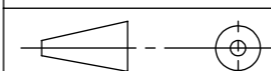
08/02/2015



arbre fixe assemblée

12	04	Ecrou M 18	Acier	
11	02	Cube de marteau	Acier inox	
10	04	Ecrou M11	Acier	
09	02	Cube de racloire	Acier inox	
08	02	Racloirs	Acier inox	
07	02	Marteaux	Acier inox	
06	01	Base de l'arbre fixe	Acier inox	
05	01	Roulement aiguilles	Acier inox	
04	02	Joins torique		
03	01	Trous d'aération		
02	01	Trous de blocage		
01	01	Arbre fixe	Acier inox	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

Echelle:
1 : 2



A3

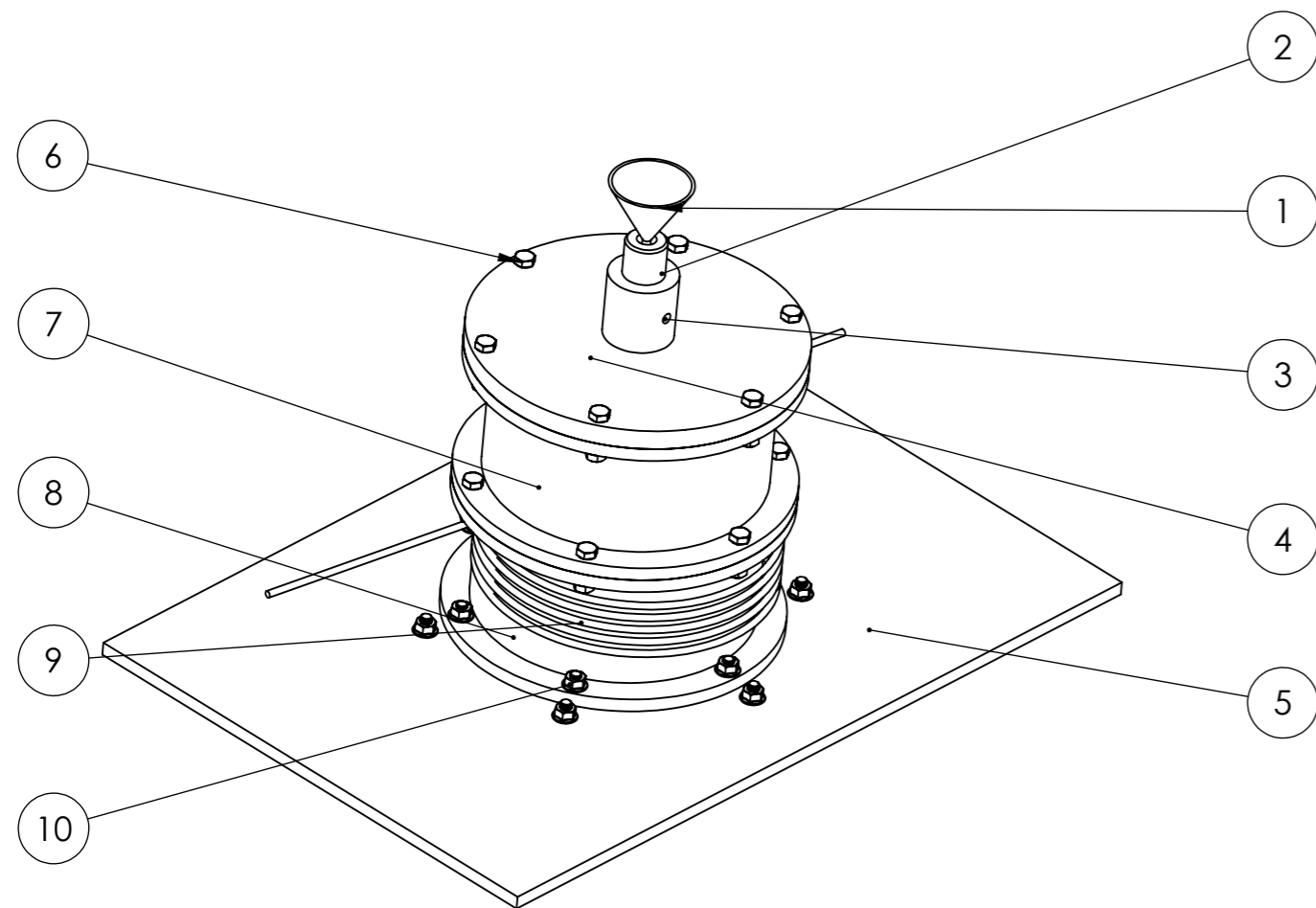
REACTEUR DE MECANOFUSION

Réalisé par :
A. HAMECHA
R. OUKOUR

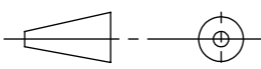
Projet de fin
d'études

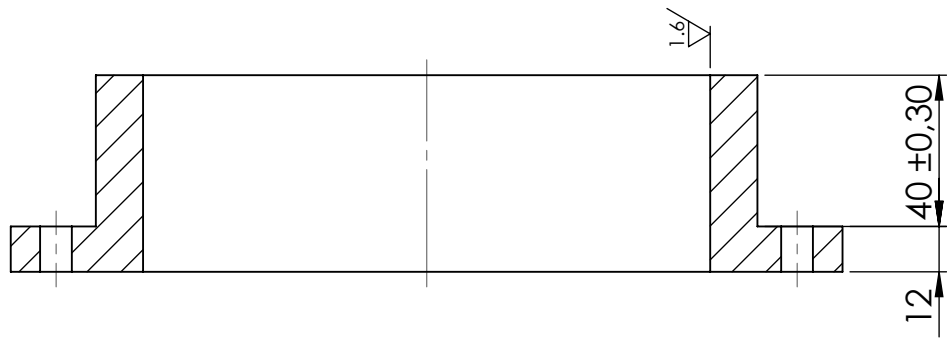
Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou

Septembre 2015

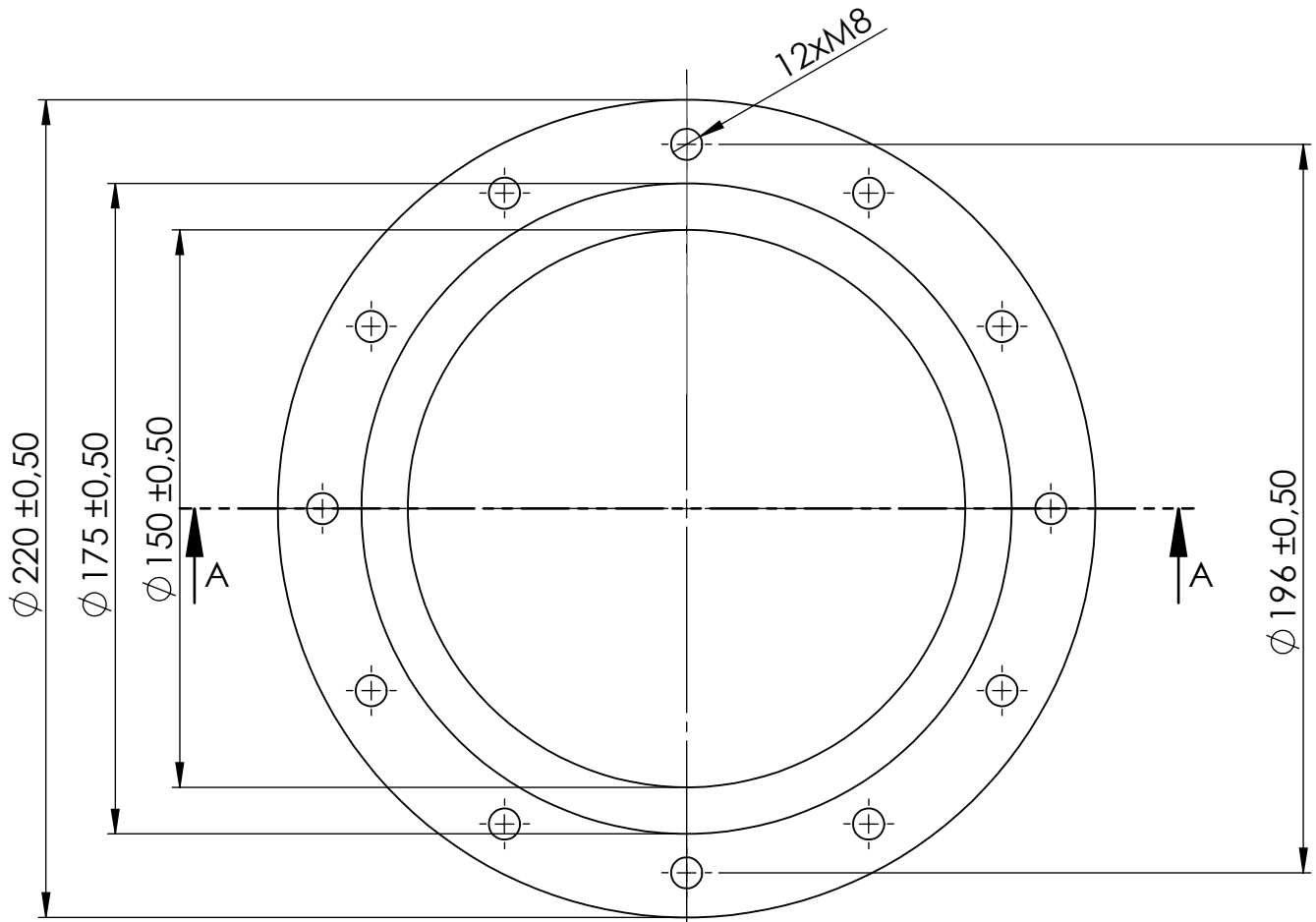


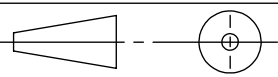
PARTIE DESSUS DU REACTEUR

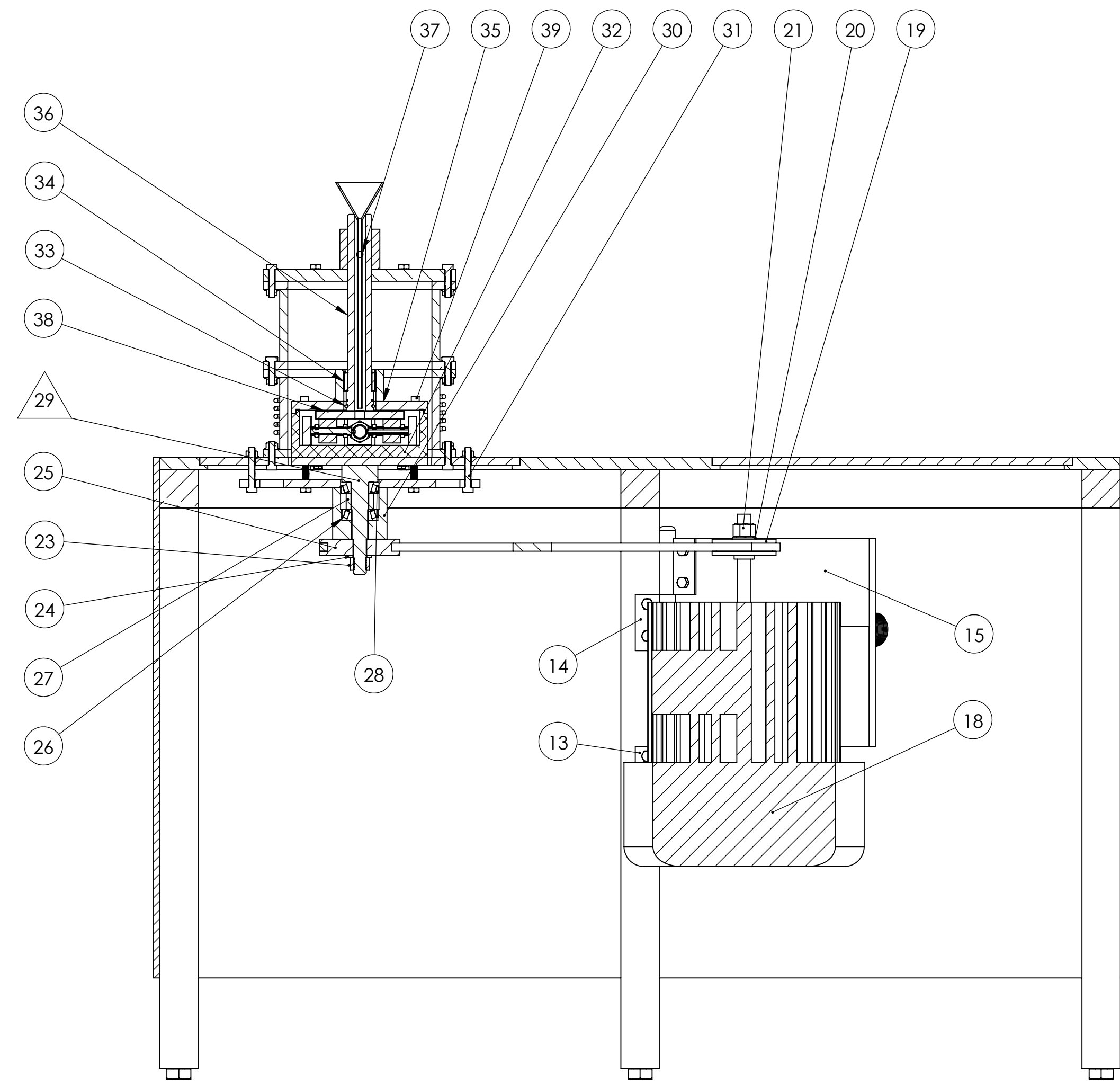
10	18	Ecrous M8		
09	01	Serpentin	Cuivre	
08	01	Corps inférieure du réacteur	Acier inox	
07	01	Corps supérieure du réacteur	Acier inox	
06	18	Vis de fixation M8		
05	01	Plaque porte du réacteur	Acier	
04	01	Couvercle superieur	Acier inox	
03	01	Trous de blocage		
02	01	Arbre fixe du réacteur	Acier inox	
01	01	Conduite d'introduction de la poudre	Acier inox	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1 : 5		REACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : HAMECHA.A OUAKOUR.R
				Projet de fin d'étude
A3		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		Septembre 2015



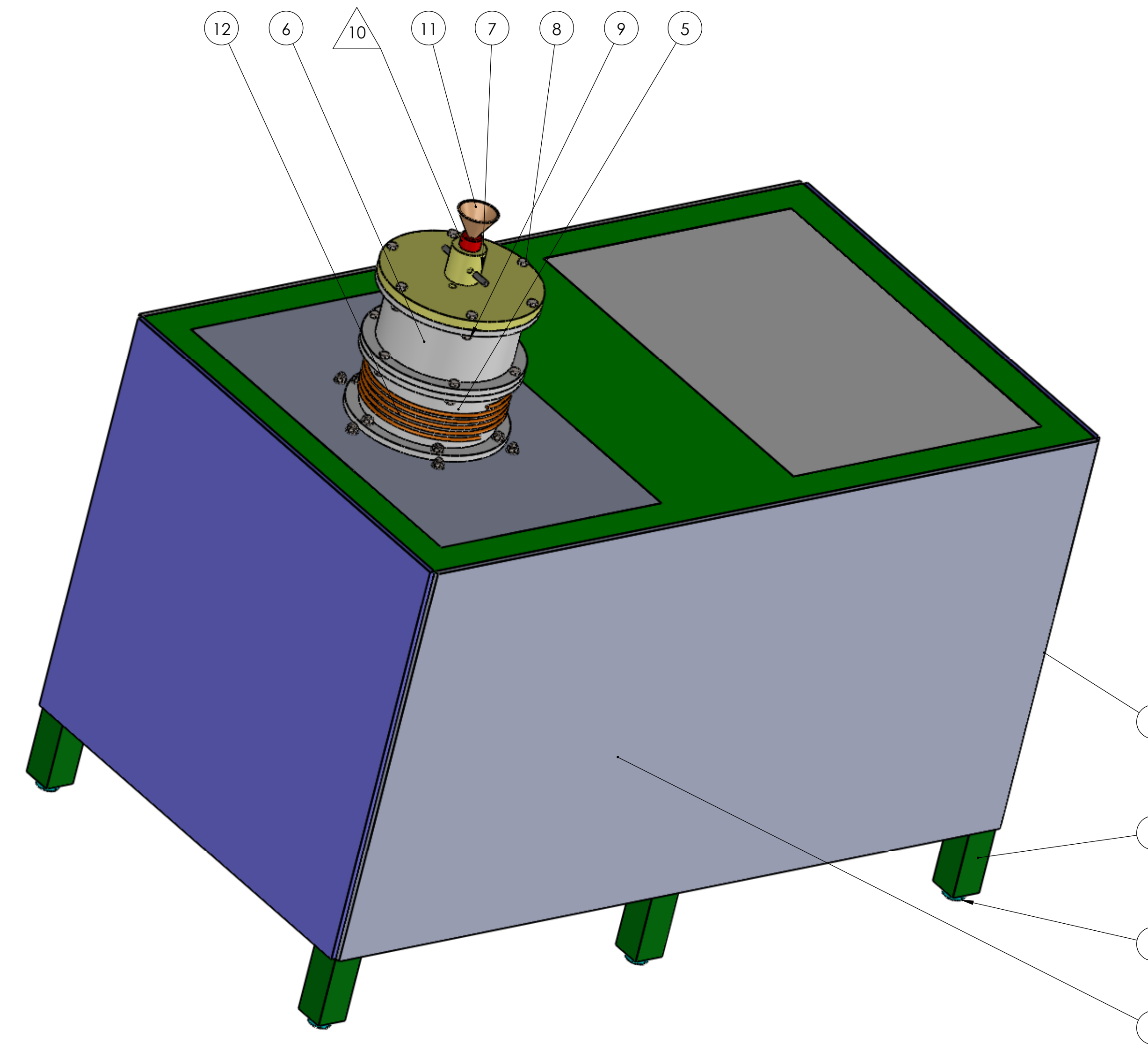
COUPE A-A



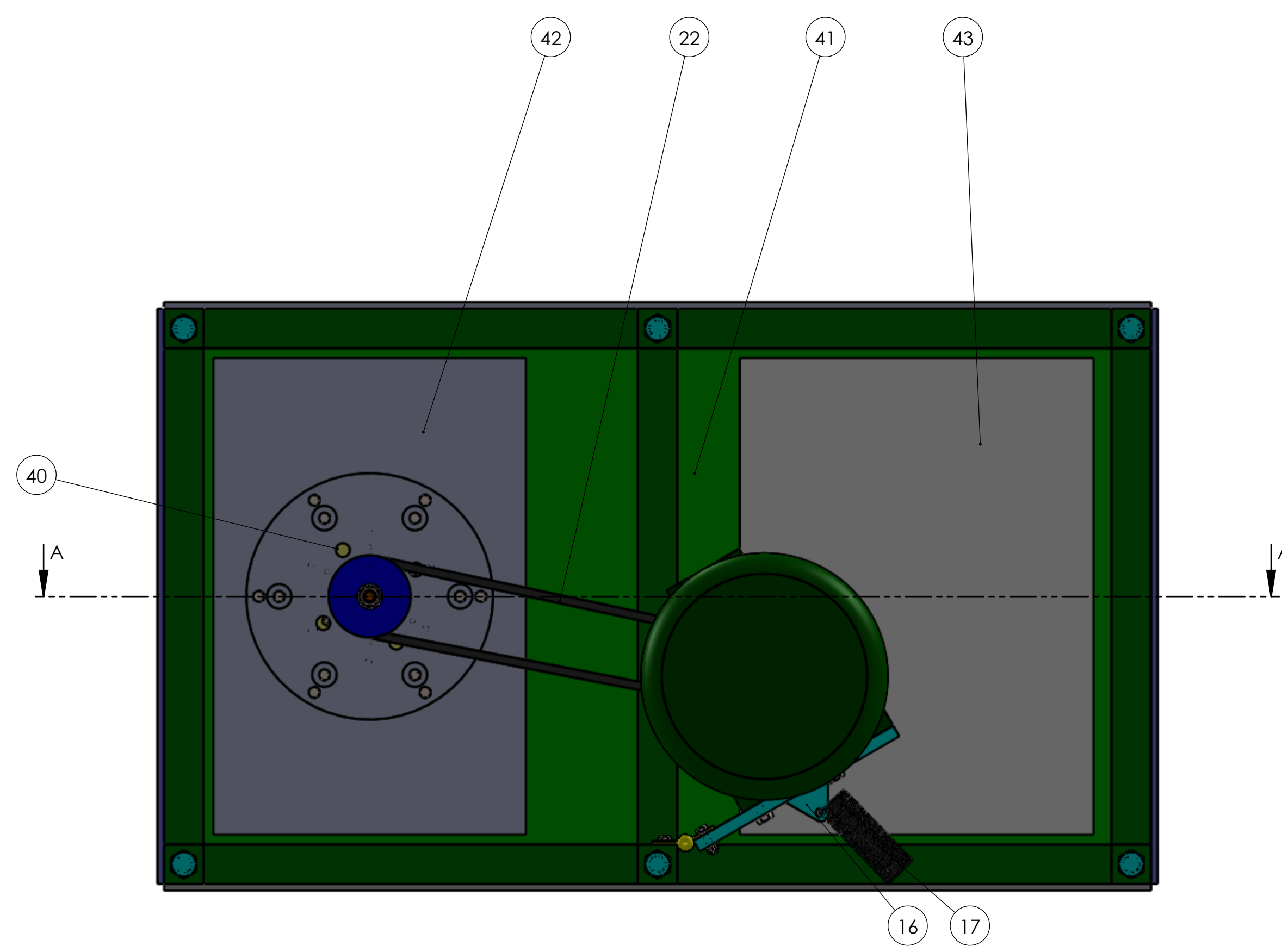
42	01	Bague de réglage de l'entrefer	Acier Z6CND17-12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
ECHELLE: 1 : 2		PEACTEUR DE MECANOFUSION		Réalisé par : A. HAMECHA R. OUAKOUR
				Sujet de fin d'études
A4		UNIVERSITE MOULoud MAMMERI TIZI OUZOU		Septembre 2015



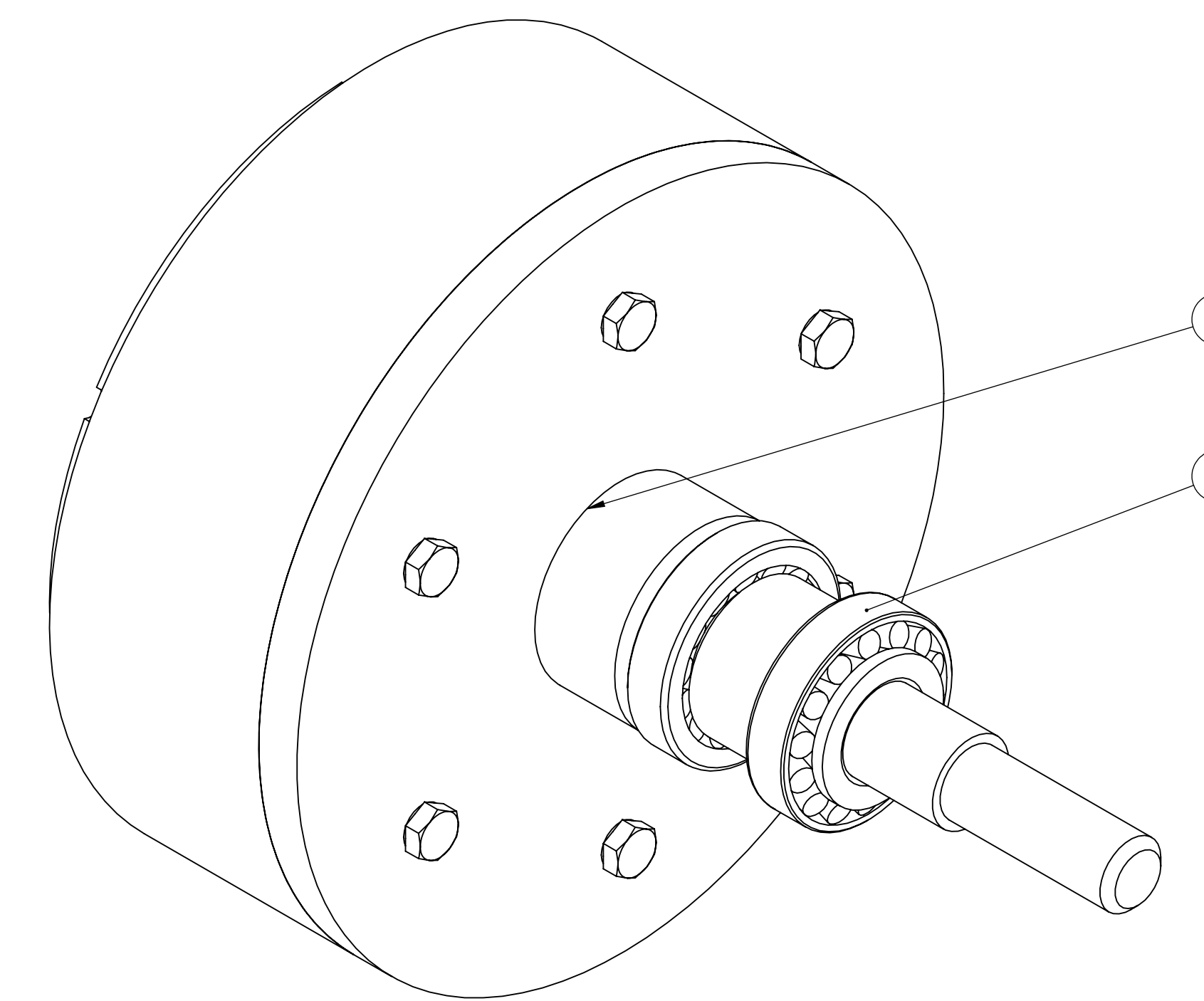
COUPE A-A



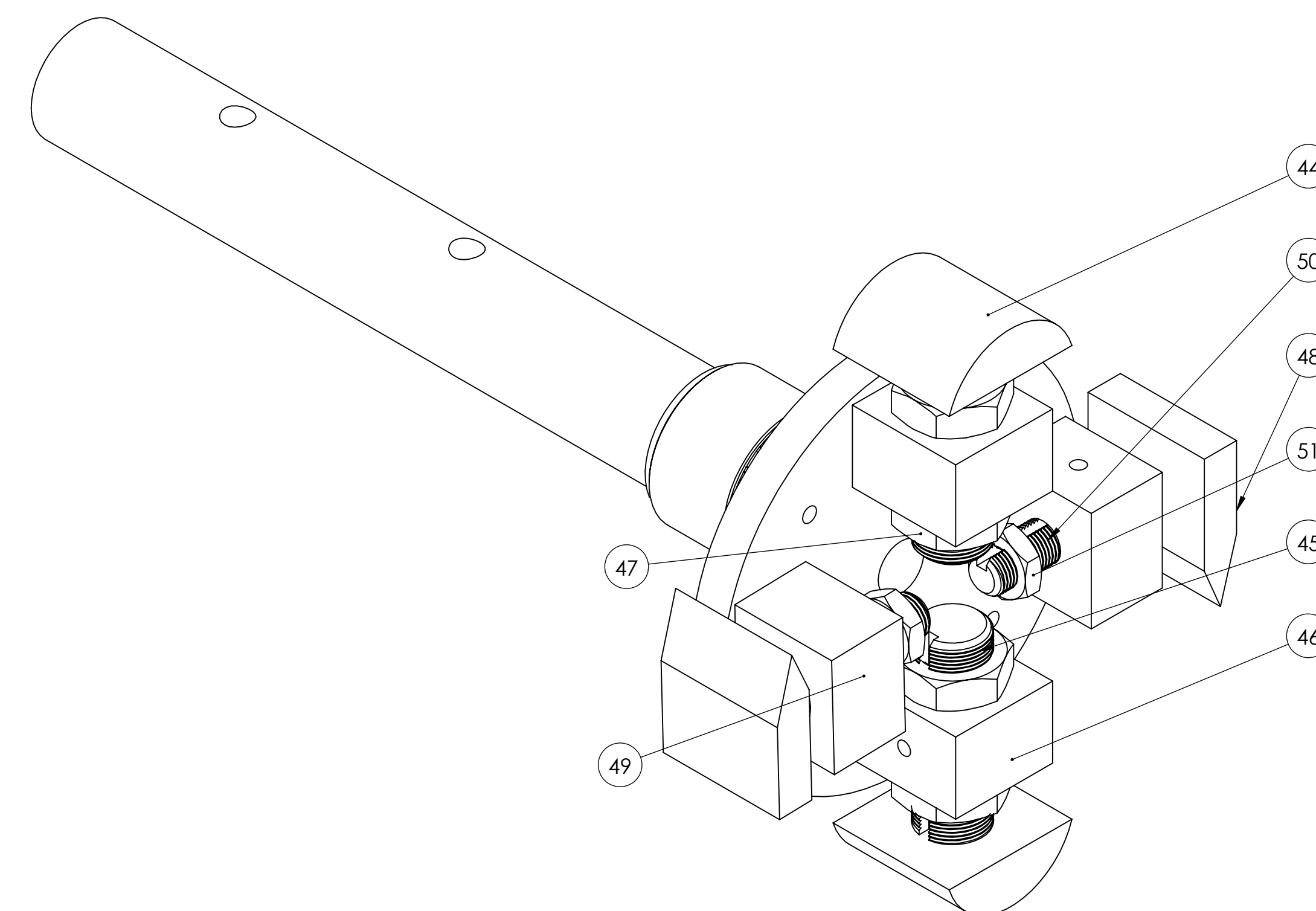
vue en perspective du réacteur



vue de dessus



vue en détail de [29]



vue en détail de [10]

ECHELLE 1 : 1

Rep Nbr	Désignation	Matière	Observation
53 02	Vue en détail des roulements conique		
52 01	Courdans de sedure		NF EN ISO 2553 NF EN ISO 4063
51 04	Ecrous M11	Acier	
50 02	Tige des racloires	Acier inox 316 L	
49 02	Cubes des racloires	Acier inox 316L	
48 02	Racloires	Acier inox 316L	
47 04	Ecrou M18	Acier	ISO 4034
46 02	Cubes des marteaux	Acier inox 316L	
45 02	Tiges des marteaux	Acier inox 316L	
44 02	Marteaux	Acier inox 316L	
43 01	Couvre de la table	Acier	
42 01	Plaque porte réacteur	Z200	
41 01	Cache supérieur de la table	Acier	
40 04	Trous d'évacuation de la poudre		
39 06	Vis M6	Acier	ISO 4018
38 04	Vis M4	Acier	ISO 10642
37 01	Trous de blocage		
36 01	Trous d'aération		
35 01	Couvercle de la chambre	Acier inox 316L	
34 01	Roulement aiguille	Acier inox	ISO 3245
33 02	Joint torique		ISO 3601-1
32 01	Chambre du réacteur	Acier inox 316L	
31 06	Vis M8	Acier	ISO 4018
30 01	Porte arbre tournant	Z200	
29 01	Arbre tournant	Z200	
28 01	Roulement à rouleaux conique 22-47	Acier inox	ISO 355(4CB22)
27 01	Bague	Z200	
26 01	Roulement à rouleaux conique 20-45	Acier inox	ISO 355(4DB20)
25 01	Grande poulie	Z200	NF ISO 4184
24 01	Randelle M16	Acier	ISO 7090
23 01	Ecrou M16	Acier	ISO 4034
22 01	Courroie		NF ISO 4184
21 01	Ecrou M17	Acier	ISO 4034
20 01	Randelle M17	Z200	ISO 7090
19 01	Petite poulie	Z200	NF ISO 4184
18 01	Moteur électrique		
17 01	Ressort	Acier	NF EN ISO 2162
16 01	Crochet du ressort	Z200	
15 01	Plaque porte moteur	Z200	
14 01	Poumelle supérieur	Z200	
13 01	Poumelle inférieur	Z200	
12 01	Serpentin	Cuivre	
11 01	Conduite d'introduction de la poudre	Acier inox	
10 01	Arbre fixe	Acier inox	
09 18	Ecrou M8	Acier	ISO 4161
08 18	Vis M8	Acier	ISO 4018
07 01	Couvercle supérieur du réacteur	Acier inox	
06 01	Partie supérieur du réacteur	Acier inox	
05 01	Partie inférieur du réacteur	Acier inox	
04 02	Tôles extérieur	Z200	
03 02	Tôles extérieur	Z200	
02 01	Table de réacteur	Z200	
01 06	Vis M20	Acier	ISO 4018