



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



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Construction mécanique

Conception et réalisation d'une machine de gâteaux pour
l'industrie agro-alimentaire

Encadré par :

M.CHETTIBI Taha

Réalisé par :

- Hemmada Abou Baker Esseddik
- El Diria Yanel
- Feyed Cherif

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du Département de mécanique de l'Université Saad Dahlab de Blida.

Selon la tradition, et à travers cette page de remerciements, nous tenons à saluer toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

Nous remercions Monsieur Chettibi Taha pour avoir accepté de diriger ce travail, et dont l'aide précieuse nous a été indispensable sur le plan scientifique et humain.

Nous tenons à remercier BETA DZ pour l'aide précieuse pour la mise en œuvre de ce projet.

Nous voudrions remercier aussi les membres du jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail.

Nos très cordiaux remerciements vont aussi à tous nos enseignants pour tous les efforts conjugués tout au long de notre formation

ملخص

يساهم قطاع الصناعات الغذائية الزراعية حاليًا بشكل كبير في تلبية الاحتياجات المتزايدة لسكان العالم. وتحقيقًا لهذه الغاية ، يشهد هذا القطاع تطورًا كبيرًا لزيادة إنتاجيته من خلال إدخال آلات صناعية جديدة لإنتاج المزيد وبتكلفة أقل. في هذا السياق ، يهدف مشروع نهاية دراستنا إلى تنفيذ آلة صناعية للبسكويت. بعد تحديد دقيق للمواصفات ، انتقلنا إلى اختيار الحلول التكنولوجية المناسبة لضمان الوظائف المختلفة المطلوبة. بعد ذلك ، قمنا بتصميم أجهزتنا في بيئة **SOLIDWORKS**. تم وضع حساب تحجيم للمكونات الرئيسية للآلة. بعد ذلك ، انتقلنا إلى تحقيق الأجزاء الميكانيكية المختلفة للنظام. أخيرًا ، بعد الحصول على الوحدات الكهربائية والكهروميكانيكية المتوفرة في السوق ، قمنا بتجميع الآتنا. تشير الاختبارات الأولية إلى أن الآلة تعمل وتتوافق مع متطلبات المواصفات الأولية.

الكلمات المفتاحية : آلة صناعية ، كعك ، تصميم ، إنتاج ،

Résumé

Actuellement, le secteur de l'industrie agro-alimentaire contribue d'une très significative à la réponse aux besoins croissants de la population mondiale. A cet effet, ce secteur connaît un grand développement pour augmenter sa productivité en introduisant de nouvelles machines industrielles pour produire plus et à moindre coût.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'études vise à mettre en œuvre une machine industrielle pour biscuiterie. Après une définition précise du cahier de charges, nous avons procédé à la sélection des solutions technologiques appropriées pour assurer les différentes fonctions désirées. Par la suite, nous avons conçu notre machine dans l'environnement de CFAO SolidWorks. Un calcul de dimensionnement a été élaboré pour les principaux éléments de la machine. Après cela, nous avons passé à la réalisation des différentes pièces mécaniques du système. Enfin, après l'acquisition des modules électriques et électromécaniques disponibles sur le marché, nous avons assemblé notre machine. Les tests préliminaires indiquent que la machine est opérationnelle et répond bien aux exigences du cahier de charges initial.

Mots clés : Machine industrielle, gâteau, Conception, Réalisation, SolidWorks

Summary

Currently, the agro-food industry sector makes a very significant contribution to meeting the growing needs of the world's population. To this end, this sector is experiencing great development to increase its productivity by introducing new industrial machines to produce more and at lower cost.

In this context, our Master thesis project aims to implement an industrial machine for biscuits. After a precise definition of the specifications, we proceeded to the selection of the appropriate technological solutions to ensure the various desired functions. Subsequently, we designed our machine in the CAD / CAM SolidWorks environment. A sizing calculation has been drawn up for the main components of the machine. After that, we moved on to the realization of the various mechanical parts of the system. Finally, after acquiring the electric and electromechanical modules available on the market, we assembled our machine. Preliminary tests indicate that the machine is operational and meets the requirements of the initial specifications.

Key words: Industrial machine, cake, Design, Production, SolidWorks

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 1 : introduction générale	
1.1) L'industrie agroalimentaire.....	2
1.2) L'automatisation industrielle.....	2
1.3) Intérêt de l'automatisation de l'industrie agroalimentaire.....	3
1.4) Typologie des machines utilisées dans l'industrie agroalimentaire.....	4
1.4.1) La séparatrice os/viande.....	4
1.4.2) La laveuse agroalimentaire.....	4
1.4.3) La machine à découper.....	4
1.4.4) La machine de conditionnement ou remplissage.....	5
1.4.5) Le congélateur par impact pour des produits congelés sains.....	5
1.4.6) Le moulin industriel.....	5
1.4.7) La chambre de fumage.....	5
1.5) Conclusion.....	5
Chapitre 2 : Analyse Fonctionnelle de la machine	
2.1) Introduction.....	6
2.2) Expression du besoin.....	7
2.3) Analyse fonctionnelle.....	8
2.4) ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE	9
2.4.1) Diagramme FAST de la machine	9
2.4.2) Diagramme SADT de la machine.....	11
2.5) Rédaction du cahier de charges fonctionnel.....	11
Chapitre 3 : Conception assistée par ordinateur de la machine	
3.1) Introduction.....	13
3.2) Les solutions technologiques retenues.....	13
3.2.1) Choix des moteurs.....	14
3.2.2) Système de transfert de la pâte.....	14
3.2.3) Système de découpage de la pâte.....	15

3.2.4) Système de transport de la pâte découpée.....	15
3.2.5) Matériaux utilisés.....	16
3.3) Conception CAO.....	17
3.3.1) Dessin des sous-ensembles de découpage et de transport.....	18
3.4) Conclusion.....	19

Chapitre 4 : Dimensionnement des principaux organes de la Machine

4.1) Introduction.....	20
4.2) Vis sans fin.....	20
4.2.1) Réalisation de la vis sans fin.....	21
4.1.2) Calcul du débit de la vis sans fin.....	23
4.3) Arbre.....	23
4.3.1) Fabrication de l'arbre.....	24
4.3.2) Calcul de l'arbre.....	25
Calcul en flexion.....	25
Calcul des réactions	26
Calcul des efforts de tranchant et moment fléchissant	27
Condition de la résistance à la flexion	28
Calcul de la flèche.....	29
Calcul de résistance en Torsion	30
4.4) Le moteur d'entraînement.....	30
4.4.1) Calcul du couple moteur.....	31
4.5) Réducteur à roue et vis sans fin.....	32
4.5.1) Caractéristiques techniques.....	32
4.5.2) Calcul du réducteur.....	33
4.6) Roulement mécanique.....	33
4.7) Clavette.....	34
4.8) Méthode des éléments finis.....	34
4.8.1) Le maillage	35
4.8.2) Application des conditions aux limites.....	35
4.8.3) Simulation à l'état statique.....	36
4.9) Conclusion.....	39

Chapitre 5 : Mise en œuvre de la partie électrique de machine

5.1) Introduction.....	40
------------------------	----

5.2) Armoire électrique.....	40
5.3) Les composants électriques de l'armoire.....	41
5.3.1) Variateur électronique de vitesse.....	41
5.3.2) LE DISJONCTEUR.....	42
5.3.3) CONTACTEUR ÉLECTRIQUE.....	42
5.3.4) RELAIS THERMIQUE DE PROTECTION.....	43
5.3.5) Relais électromécanique.....	44
5.3.6) Relais temporisé.....	45
5.4) Les distributeurs pneumatiques.....	45
5.4.1) Représentation schématique des distributeurs.....	45
5.4.2) Différents types de distributeur.....	46
5.4.3) Pilotage des distributeurs.....	46
5.5) Schéma électrique de machine.....	47
5.5.1) Le schéma puissance 220v~380v.....	47
5.5.2) Le schéma commande 220v	50
5.5.3) Mise en marche.....	52
5.6) Conclusion.....	52
Conclusion général.....	53
Annexes.....	54

Liste des Figures

- Figure 1.1.** *Exemples d'usines d'agroalimentaire installées en Algérie*
- Figure 1.2.** *L'automatisation industrielle dans l'IAA (usine Bellat)*
- Figure 2.1.** *Modèle 3D de la machine pour la fabrication du gâteau*
- Figure 2.2.** *Quelques modèles de machines de gâteau proposées à la vente en Algérie*
- Figure 2.3.** *Diagramme Bête à Cornes de l'objet Machine de gâteaux*
- Figure 2.4.** *Diagramme pieuvre de l'objet Machine de gâteaux*
- Figure 2.5.** *Diagramme FAST de l'objet Machine de gâteaux*
- Figure 2.6.** *Diagramme SADT (A0) de l'objet Machine de gâteaux.*
- Figure 3.1.** *Modèle CAO de notre machine*
- Figure 3.2** *Exemples de moteurs électriques asynchrone (monophasés & triphasés)*
- Figure 3.3.** *Les mécanismes de transport des pâtes*
- Figure 3.4.** *Différents mécanismes de découpage*
- Figure 3.5.** *Quelques exemples de tapis*
- Figure 3.6.** *ACIER INOXYDABLE/ POM-C/ALUMINIUM*
- Figure 3.7.** *Modèle CAO de l'arbre*
- Figure 3.8.** *Modèle CAO de la vis sans fin*
- Figure 3.9.** *Modèle CAO du moteur*
- Figure 3.10.** *Modèle CAO du réducteur*
- Figure 3.11.** *Montage de la vis sans fin sur l'arbre et le moteur*
- Figure 3.12.** *Mécanisme de coupe*
- Figure 3.13.** *Mécanisme de transport de la pâte*
- Figure 4.1.** *Quelques exemples des vis sans fin.*
- Figure 4.2.** *Dressage vis sans fin*
- Figure 4.3.** *Perçage de vis sans fin*
- Figure 4.4.** *Alésage de vis sans fin*
- Figure 4.5.** *Filetage de vis sans fin.*
- Figure 4.6.** *Pièce finie de la Vis*
- Figure 4.7.** *Quelques exemples d'arbres.*
- Figure 4.8.** *Modèle CAO de l'arbre principale de la machine*

Figure 4.9. *Dressage.*

Figure 4.10. *Centrage*

Figure 4.11. *Chariotage*

Figure 4.12. *Représentation des efforts appliqués sur l'arbre*

Figure 4.13. *Subdivision de l'arbre en deux tronçons*

Figure 4.14. *Tronçon 1 de l'arbre*

Figure 4.15. *Tronçon 2 de l'arbre*

Figure 4.16. *Moteur jm 90 L A 4 SRIPEE*

Figure 4.17. *Schéma du réducteur utilisé*

Figure 4.18. *Réducteur SITI mu90 R60*

Figure 4.19. *Le maillage de vis sans fin + arbre*

Figure 4.20. *déplacement*

Figure 4.21. *Les efforts imposés*

Figure 4.22. *graphe de contrainte*

Figure 4.23. *graphe de déplacements*

Figure 4.24. *Graphe de déformations*

Figure 5.1. *Quelques modèles d'armoires électriques.*

Figure 5.2. *Armoire électrique de notre machine gâteaux*

Figure 5.3. *Les composants électriques de notre machine gâteaux*

Figure 5.4. *Variateur Siemens de vitesse v20*

Figure 5.5. *DISJONCTEUR TETRAPOLAIRE*

Figure 5.6. *Contacteur électrique Schneider*

Figure 5.7. *Relais thermique Schneider*

Figure 5.8. *Relais électromécanique Schneider 220V*

Figure 5.9. *Relais temporisé DH48S-S*

Figure 5.10. *Coupe transversale du distributeur*

Figure 5.11. *Distributeur pneumatique 5/2 smc*

Figure 5.12. *Schéma électrique de la partie puissance*

Figure 5.13. *Schéma électrique partie commande*

Liste des Tableaux

Tableau 2.1. *Fonctions principales et contraintes du produit machine gâteaux*

Tableau 2.2. *Cahier de charges fonctionnel du produit machine gâteaux*

Tableau 4.1. *Informations du moteur Asynchrone utilisé*

Tableau 4.2. *Propriétés de l'étude*

Tableau 4.3. *Unités*

Tableau 5.1. *Présentation les symboles partie puissance*

Tableau 5.2. *Présentation des symboles de la partie commande*

Nomenclature

Symboles :

S: la section utile

P : le pas de vis sans fin

D_t : le débit en litre par tour

D: diamètre extérieure de vis.

d : diamètre intérieure de vis.

D_m: le débit en litre par minute

N : vitesse de rotation autour de l'axe de la vis sans fin

P : Poids de l'arbre

m₁ : La masse de la vis sans fin

m₂ : La masse de la pâte

ρ: La masse volumique de la pâte

L₁: 241mm

L₂:189mm

R_A et R_B : les forces de réaction

F_{ext} : Forces extérieures exercées sur l'arbre.

M : moments exercés sur l'arbre.

σ_{max} : Contraint maximale

M_{fmax} : Moment de flexion maximale

I_z : Moment quadratique

R_P : La résistance pratique à l'extension

R_e : Résistance élastique

s : Coefficient de sécurité

d : Diamètre de l'arbre

M_t : Moment de torsion

τ: Contraint de glissement

I₀ : Moment quadratique de la torsion dépendant la forme de la section

R_{pg}: Résistance pratique au glissement

ω : Vitesse angulaire.

P : Puissance utile du moteur.

C : le couple moteur en (N.m)

n₁ : vitesse vis sans fin

n₂ : vitesse roux denté

M₂ : moment de torsion maximal

C_s : Couple de l'aber

ω_s : vitesse angulaire

N_s : vitesse de sortie

L₁₀ : durée de vie nominale exprimée en millions de tours.

C : capacité de charge dynamique en daN.

P : charge radiale équivalente en daN.

n : 3 pour les roulements à billes.

$\frac{C}{P}$: Le rapport de charges.

L_{10h} : durée de vie nominale en heures de fonctionnement

N : vitesse de rotation en tr/mn.

F : la force exercée sur la clavette.

S : surface

Introduction général

Le secteur de l'industrie alimentaire est d'une grande importance, car il est l'un des secteurs qui contribuent de manière significative à l'autosuffisance des pays et à l'intégration qu'il fait avec le secteur agricole. Le secteur de l'industrie alimentaire est considéré comme l'un des éléments stimulants et évolutifs du secteur agricole, qui assure la sécurité alimentaire et donc une augmentation de la production locale et une stabilité économique.

Les industries de transformation n'ont pas constitué la première vague d'industrialisation et d'automatisation associées. Ce n'est que tard, à partir des années 1980, que ces secteurs industriels ont introduit l'automatique. Pour les industries manufacturières, cette introduction date à plus d'un siècle. Les industries alimentaires présentent, dans ce contexte, la particularité d'être tout à la fois des industries de transformation d'une matière, essentiellement d'origine agricole, et des industries manufacturières, car nombre d'aliments sont des objets manufacturés, L'exigence de qualité et de sécurité attendue d'un aliment est forte et nécessite de combiner des critères nombreux, difficilement atteignables par des approches simples. La recherche de productivité et de compétitivité qui assurent un prix d'aliment produit par l'industrie est forte. Ces deux exigences impliquent que l'automatisation, soit pour se substituer à l'humain soit pour l'assister dans ses décisions, est nécessaire.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'études vise à mettre en œuvre une machine industrielle pour gâteaux de biscuiterie. Après une définition précise du cahier de charges, nous avons procédé à la sélection des solutions technologiques appropriées pour assurer les différentes fonctions désirées en s'appuyant sur les outils FAST et SDAT. Par la suite, nous avons conçu notre machine dans l'environnement de CFAO SolidWorks. Un calcul de dimensionnement a été élaboré pour les principaux éléments de la machine. Après cela, nous avons passé à la réalisation des différentes pièces mécaniques du système. Enfin, après l'acquisition des modules électriques et électromécaniques disponibles sur le marché, nous avons assemblé notre machine. Les tests préliminaires indiquent que la machine est opérationnelle et répond bien aux exigences du cahier de charges initial.

Les travaux réalisés sont décrits dans ce mémoire comportant, en plus de l'introduction et de la conclusion, quatre chapitres pour décrire successivement : l'analyse fonctionnelle, la CAO, le dimensionnement des principaux organes, et la mise en œuvre de la partie électrique de la machine.

Chapitre 1
Introduction
générale

1.1) L'industrie agroalimentaire

L'industrie agro-alimentaire (en abrégé IAA) est l'ensemble des activités industrielles qui transforment des productions alimentaires issues de l'agriculture ou de la pêche en aliments industriels destinés essentiellement à la consommation humaine. Ce secteur économique comprend les transformateurs de produits de grande consommation tels que Cevital, Nestlé, Danone, N'GAOUS, Trefle, Rouiba, Bellat, Bimo [1].



Figure 1.1. Exemples d'usines d'agroalimentaire installées en Algérie

L'industrie agroalimentaire est un secteur économique qui réalise un chiffre d'affaires important et qui est en perpétuelle évolution. L'IAA rassemble diverses activités de type industriel, qui consistent à transformer les extraits de l'agriculture, de la pêche et de l'élevage en produits alimentaires. Pour satisfaire la forte demande, elle a dû, au fil des années, se réinventer en innovant et tirer profit des progrès enregistrés dans le domaine de l'automatisation industrielle.

1.2) L'automatisation industrielle

L'automatisation industrielle consiste en générale en l'utilisation de machines industrielles pilotées par des automates, elles sont capables de reproduire des gestes humains pour diverses tâches qui sont généralement jugées répétitives, ingrates et dangereuses. Bien que l'automatisation existe depuis des siècles, elle a surtout été sollicitée intensivement depuis les années 20 du siècle passé dans l'industrie automobile.

L'objectif ultime de l'automatisation industrielle est d'améliorer la productivité et de réduire la charge de travail des employés. Peu à peu, elle s'est étendue à d'autres secteurs et les technologies utilisées sont davantage intelligentes. Le monde de l'agroalimentaire n'est pas en reste en la matière. Des entreprises comme Béta dz d'Alger BBC MACHINE de Blida, FAVA EQUIPEMENTS Algérie ou Lima France [2] se sont spécialisées dans la fourniture d'équipements industriels automatisés pour l'IAA.

Conscients des enjeux de l'automatisation, les professionnels de l'IAA ont progressivement adhéré au concept, car cela est devenu indispensable pour rester dans la course face aux concurrents. En effet, dans le secteur agroalimentaire, une automatisation est gagée de productivité et donc de profit, mais aussi de sécurité et d'hygiène. L'usage d'automates dans différents secteurs d'activité n'est pas près de s'arrêter dans la mesure où ils bénéficient aujourd'hui de l'intelligence artificielle [2].



Figure 1.2. *L'automatisation industrielle dans l'IAA (usine Bellat)*

1.3) Intérêt de l'automatisation de l'industrie agroalimentaire

❖ Gérer les variations de produits

Sur un même site, d'une ligne de production à une autre, les produits peuvent varier considérablement en termes de tailles, de poids, de matières et de formes. Les technologies innovantes de l'automatisation permettent de gérer les variations de produits.

❖ Manipuler des produits délicats sans les abîmer

Dans l'IAA, le chargement/déchargement de lignes et la manipulation des matières premières et des produits sont les applications charnières que l'on retrouve majoritairement sur les sites de production. L'utilisation de préhenseurs dédiés à l'agroalimentaire permet de manipuler tous types de produits – sans les abîmer : des produits fragiles, vivants et non répétables.

❖ Assurer la qualité de production

La sécurité alimentaire est en tête de liste des défis auxquels sont confrontés les fabricants de produits alimentaires. En contact direct avec les produits alimentaires, la sélection des bons outils de travail et l'adoption des processus d'automatisation appropriés sont vitaux pour assurer la qualité de production et prévenir les risques de problèmes sanitaires [2].

❖ Garantir la sécurité alimentaire

Avec la conjoncture actuelle, la sécurité alimentaire est plus que jamais la principale préoccupation des industries agroalimentaires. Les rappels de produits peuvent constituer des pertes conséquentes à une entreprise. Pour éviter cette situation, l'automatisation industrielle est une solution des plus appropriées. L'idée est avant tout de réduire à maximum les contacts humains. Les produits étant manipulés par des machines industrielles automatisées, les risques de contamination sont réduits. De plus, moins ils seront manipulés, plus longue sera leur conservation. Par exemple, en utilisant des machines trieuses, vous avez également l'assurance qu'aucun corps étranger n'impacte la qualité des aliments. Du conditionnement à l'encaissage, vous aurez ainsi la garantie d'avoir des produits respectant les normes sanitaires. Vous assurerez non seulement la sécurité des consommateurs, mais vous protégerez aussi votre marque [2].

❖ Améliorer la productivité

Dans quasiment toutes les étapes de la conception d'un produit agroalimentaire, les automates peuvent être d'une grande aide. D'abord parce qu'ils permettent d'augmenter la capacité de production. Une machine peut travailler plus vite et avec précision alors que les techniciens qui auront à les manier verront une diminution de leur charge de travail. En outre, l'automatisation permet également de répondre à des problématiques telles que le manque de main-d'œuvre. En effet, il y a des métiers qui n'attirent plus les jeunes et qui pourtant sont indispensables. En ayant par exemple recours aux robots, une entreprise réalise un gain de temps et d'argent, l'idéal pour accroître la compétitivité [2].

1.4) Typologie des machines utilisées dans l'industrie agroalimentaire

Éplucher, couper, nettoyer, découper ou désosser... sont autant de tâches répétitives qui font le quotidien des industries agroalimentaires. La conception et la création de diverses machines au fil du temps, en facilite désormais l'exécution. Elles sont alors effectuées à une plus grande échelle et dans de meilleures conditions d'hygiène. Sans aucun doute, les machines dans l'agroalimentaire sont désormais incontournables en matière de productivité et de rentabilité. Dans cette section, nous allons présenter quelques machines agroalimentaires qui ont révolutionné l'industrie agroalimentaire [3].

1.4.1) La séparatrice os/viande

Elle fait partie de la grande famille des machines séparatrices. Il existe, en effet, plusieurs sortes de machines séparatrices, dont le fonctionnement est à peu près similaire. On retrouve donc des machines programmées pour séparer :

- La viande des corps gras ;
- Les nerfs des os ;
- Les pépins des fruits ;
- Les coques des noix.

Certaines de ces machines sont à fonction unique et d'autres multifonctions.

Quant à la séparatrice os/viande, on la retrouve dans les ateliers ou usines de traitement de la viande. Comme son nom l'indique, elle permet de séparer les os de la chair. Connue pour sa simplicité d'utilisation, l'avantage d'une séparatrice os-viande réside dans sa capacité à désosser qualitativement. Les fibres musculaires conservent en effet toute leur structure et demeurent de très bonne qualité [3].

1.4.2) La laveuse agroalimentaire

C'est l'une des machines les plus indispensables dans l'industrie agroalimentaire. Elle a été créée pour satisfaire au besoin de lavage d'une grande quantité de produits comestibles. Son fonctionnement est rapide et participe à de meilleures conditions d'hygiène. On distingue des modèles qui proposent le lavage à l'eau seul et d'autres qui l'accompagnent du lavage à haute pression. Les fonctionnalités varient en effet selon les fabricants.

Par ailleurs, elle ne nécessite que peu d'entretien et peut fournir un premier niveau de broyage des aliments. Concrètement, l'opération consiste en un premier niveau de lavage dans de l'eau. Après cette étape, elle effectue un lavage sous haute pression grâce à un système d'élévation. Certains modèles offrent également un broyage pour faciliter le reste du processus de transformation [3].

1.4.3) La machine à découper

Elle permet d'effectuer des découpes à grande échelle des matières premières consommables, qu'elles soient crues, déjà cuites ou surgelées. On en distingue deux : la machine à découper classique et celle à ultrason [3].

Les machines à découper classiques sont faciles d'utilisation, elles permettent plusieurs formes de découpes de divers produits en grande quantité et dans un court laps de temps. Le système de fonctionnement mécanique de ces machines leur permet de venir à bout de toutes les textures et épaisseurs de produits [3].

Les machines à découper à ultrason sont plus modernes, elles permettent de moins gaspiller les matières transformables, ce qui participe à l'obtention de plus importants rendements. Elles sont également plus précises dans les coupes personnalisées et occasionnent moins de salissures [3].

1.4.4) La machine de conditionnement ou remplissage

Elle participe à l'optimisation du processus d'emballage. Les produits transformés ont effet besoin d'être emballés et scellés dans le respect des normes en la matière. Ce type de machine permet de remplir de manière précise les contenants finaux par les produits transformés. Elle opère avec rapidité, précision et propreté. En effet, une machine de remplissage a la capacité de produire jusqu'à 100 000 emballages en une heure. Cela favorise le gain de temps, la minimisation de perte des produits transformés et garantit une certaine hygiène de production [3].

1.4.5) Le congélateur par impact pour des produits congelés sains

Ce nouveau système permet une congélation ultra rapide (quelques secondes) des produits alimentaires grâce à des courants d'air de basse température, empêchant leur contamination. Le produit fini est donc de qualité supérieure. Il est conçu en acier inoxydable dans différents modules et s'installe facilement [3]

1.4.6) Le moulin industriel

Il est utilisé dans plusieurs domaines et on en distingue plusieurs types. Il permet de réduire les céréales et autres produits en poudre ou en plus petites particules grâce à son système de broyage. Il existe des moulins dont le broyage est humide, contrairement à d'autres dont le broyage est sec. Leur fonctionnement se résume en trois phases [3] :

- Le tri par nature ou taille ;
- Le broyage par marteaux ou dispersion ;
- L'expulsion en particules fines, sèches ou pâteuses.

1.4.7) La chambre de fumage

Elle est conçue pour le traitement à chaud de produits alimentaires par rougissement, fumage, séchage ou cuisson automatique. Le traitement se fait en un cycle de production, sans recourir à des manipulations supplémentaires. Elle se présente sous forme de différents modules : générateur de fumée, systèmes d'aération et de nettoyage... Ces derniers, une fois assemblés, la rendent performante pour un fumage à grande échelle, grâce au système alterné de circulation de la chaleur.

1.5) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques notions de base relatives à l'industrie agroalimentaire. Nous avons en outre évoqué la pertinence de l'automatisation dans ce secteur économique vital. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter le cahier charges de notre projet qui vise la mise en œuvre d'une machine agroalimentaire automatique. Nous discuterons en outre de différentes solutions technologiques possibles.

Chapitre 2
Analyse
Fonctionnelle de
la machine

2.1) Introduction

Notre projet de fin d'études a pour objectif de concevoir et réaliser une machine industrielle pour la fabrication de gâteaux. Cette machine (Fig. 2.1) est essentiellement un système mécatronique qui permet à l'utilisateur de préparer facilement des morceaux de patte de gâteau en grande quantité en peu de temps.

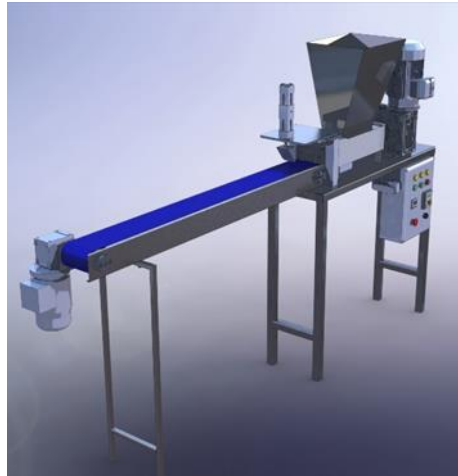


Figure 2.1. *Modèle 3D de la machine pour la fabrication du gâteau*

Sur le marché, on retrouve plusieurs modèles de machines proposées à la vente. La figure (2.2) illustre quelques modèles proposés à la vente sur le site Algérien de OuedKniss.



Figure 2.2. *Quelques modèles de machines de gâteau proposées à la vente en Algérie*

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, on souhaite mettre en œuvre une machine industrielle de petite capacité qui a les caractéristiques suivantes :

- Elle permet de fabriquer des barres de gâteau
- Elle peut être exploitée facilement par un seul opérateur
- Débit minimal de pate 113 kg/h.
- Entraînement électrique et commande automatique
- Structure principale en métal inoxydable
- Encombrement minimal

Chapitre 2 : Analyse Fonctionnelle de la machine

- Dotée de moyens de sécurité appropriés
- Contact minimal avec les mains
- Fonctionnement moins bruyant et fluide.
- Facile à nettoyer et bon nettoyage.
- Respectueux de l'environnement et 100% hygiénique
- Le prix final de la machine devrait être meilleur (concurrentiel) que celui proposé sur le marché

Les points précédents constituent le cahier de charges initial de notre machine. Rappelons que le cahier des charges (CDC) est un document contractuel à respecter lors d'un projet. Le cahier des charges permet au maître d'ouvrage de faire savoir au maître d'œuvre ce qu'il attend de lui lors de la réalisation du projet, entraînant des pénalités en cas de non-respect. Il décrit précisément les besoins auxquels le prestataire ou le soumissionnaire doit répondre, et organise la relation entre les différents acteurs tout au long du projet [4].

2.2) Expression du besoin

Avant de se lancer dans la conception, il convient de bien identifier et formaliser les objectifs du projet. Cette phase est essentielle, car elle fixe la direction du travail qui va être entrepris. Pour faciliter cette tâche, il existe un outil pratique afin d'explicitier les besoins plus aisément : **la bête à cornes**. Ce diagramme simple d'utilisation sert de guide pour mener une analyse fonctionnelle du besoin. Cet outil se situe dans la première étape de la méthode APTE (méthode d'analyse fonctionnelle et d'analyse de la valeur). Il a pour objectif de représenter graphiquement l'expression du besoin du client (ou utilisateur) à travers 3 questions simples autour du produit étudié [5] :

- **A qui rend-il service ?** : client ou utilisateur visé
- **Sur quoi agit-il ?** : éléments sur lesquels agit le sujet, la matière d'œuvre
- **Dans quel but ?** ou **"pour quoi faire ?"** : besoin principal à satisfaire

Ce diagramme est illustré par la figure 2.3.

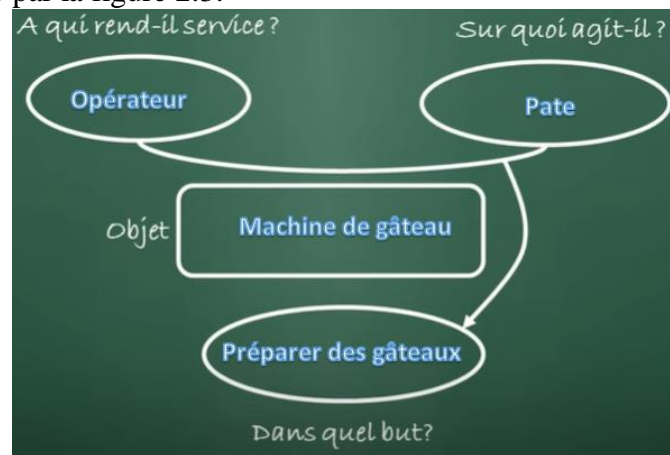


Figure 2.3. Diagramme Bête à Cornes de l'objet Machine de gâteau

A partir de ce schéma, on peut identifier la **fonction d'usage** de l'objet technique ciblé : la machine de gâteau permet à l'opérateur de préparer rapidement des gâteaux à partir d'une pâte spéciale et

en grande quantité.

❖ Validation le besoin

- Pourquoi le besoin existe-t-il ?

R1 : l'homme ne peut pas continuer à produire sans s'arrêter. La machine peu produire sans s'arrêter

R2 : la vitesse de production l'homme ne peut pas assurer la production rapide de grandes quantités. La machine peut assurer la production rapide de grandes quantités

R3 : l'homme ne peut pas assurer une qualité de fabrication constante. La machine assure une qualité de fabrication constante pour les mêmes entrées.

Donc, le besoin existe pour : Faciliter la production de gâteaux en grande quantité, rapidement et à moindre coût.

❖ Risques de disparition du besoin

Non R1 : l'homme devient constamment producteur de gâteaux { aucun risque }

Non R1 : la quantité de gâteaux produits diminue { aucun risque }

Non R2 : quantités de gâteaux insuffisantes pour couvrir la demande { c'est plutôt l'inverse }

Non R3 : manque d'envie d'acheter le produit { peu probable }

En conséquence, Le besoin d'une machine automatique pour la fabrication de gâteaux est validé.

2.3) Analyse fonctionnelle

Pour effectuer cette analyse on réalisera dans un premier temps le diagramme pieuvre ou diagramme des interactions. On doit lister tous les éléments extérieurs en relation avec l'objet cible (Machine de Gâteaux **MG**). Par la suite il s'agit d'identifier les fonctions principales FP et les fonctions contraintes FC.

Le diagramme pieuvre est un schéma qui représente la relation entre le produit ciblé et son environnement. C'est un outil d'analyse utilisé dans le cadre de la méthode APTE. Le diagramme pieuvre permet de représenter les fonctions de service d'un produit. C'est-à-dire qu'il permet de voir quelles sont les fonctions essentielles et secondaires d'un produit et comment ces fonctions réagissent avec le milieu extérieur. Il est utilisé lors de l'analyse fonctionnelle. Le diagramme pieuvre un excellent outil de représentation graphique de cette analyse fonctionnelle, il permet de rendre une partie du cahier des charges plus visuel et plus simple. La figure 2.4 illustre le diagramme de notre machine [6].

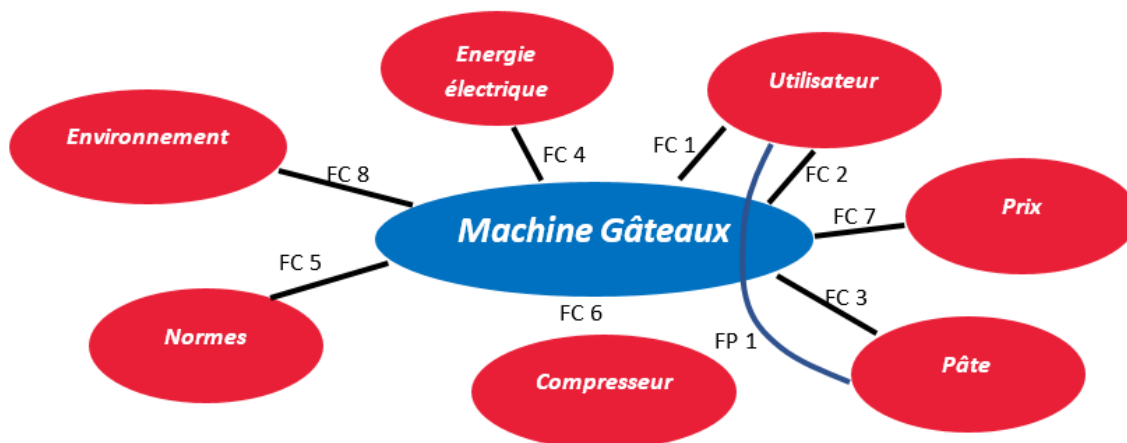


Figure 2.4. Diagramme pieuvre de l'objet Machine de gâteaux

Chapitre 2 : Analyse Fonctionnelle de la machine

L'ensemble des fonctions identifiées est décrit dans le tableau suivant

Tableau 2.1. *Fonctions principales et contraintes du produit machine gâteaux*

Fonction	Description
FP1	Permettre à l'utilisateur de mettre la pâte dans la machine avec ses mains
FC1	Doit communiquer les informations de fonctionnement à l'utilisateur
FC2	Doit Offrir différents modes de préparation
FC3	Doit Contenir la pâte
FC4	Doit Se raccorder au réseau électrique
FC5	Doit Respecter les normes en vigueur
FC6	Doit Se raccorder au réseau d'air comprimé
FC7	Doit Etre concurrentiel
FC8	Doit Respecter les normes

2.4) ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE

2.4.1) Diagramme FAST de la machine

Le diagramme FAST (Function Analysis System Technique) est un diagramme d'analyse fonctionnelle des systèmes techniques. Il a pour méthode d'ordonner les fonctions de service et les composer logiquement pour aboutir aux solutions techniques de réalisation, appelées aussi solutions constructives parce qu'elles aboutissent à la construction du système. En partant d'une fonction principale ou de contrainte, le diagramme FAST présente les fonctions techniques associées dans une organisation logique répondant aux 3 questions suivantes [7] :

- **Pourquoi** cette fonction Doit-elle être assurée ?
- **Comment** cette fonction Doit-elle être assurée ?
- **Quand** cette fonction Doit-elle être assurée ?

Le diagramme FAST de notre machine est comme suit :

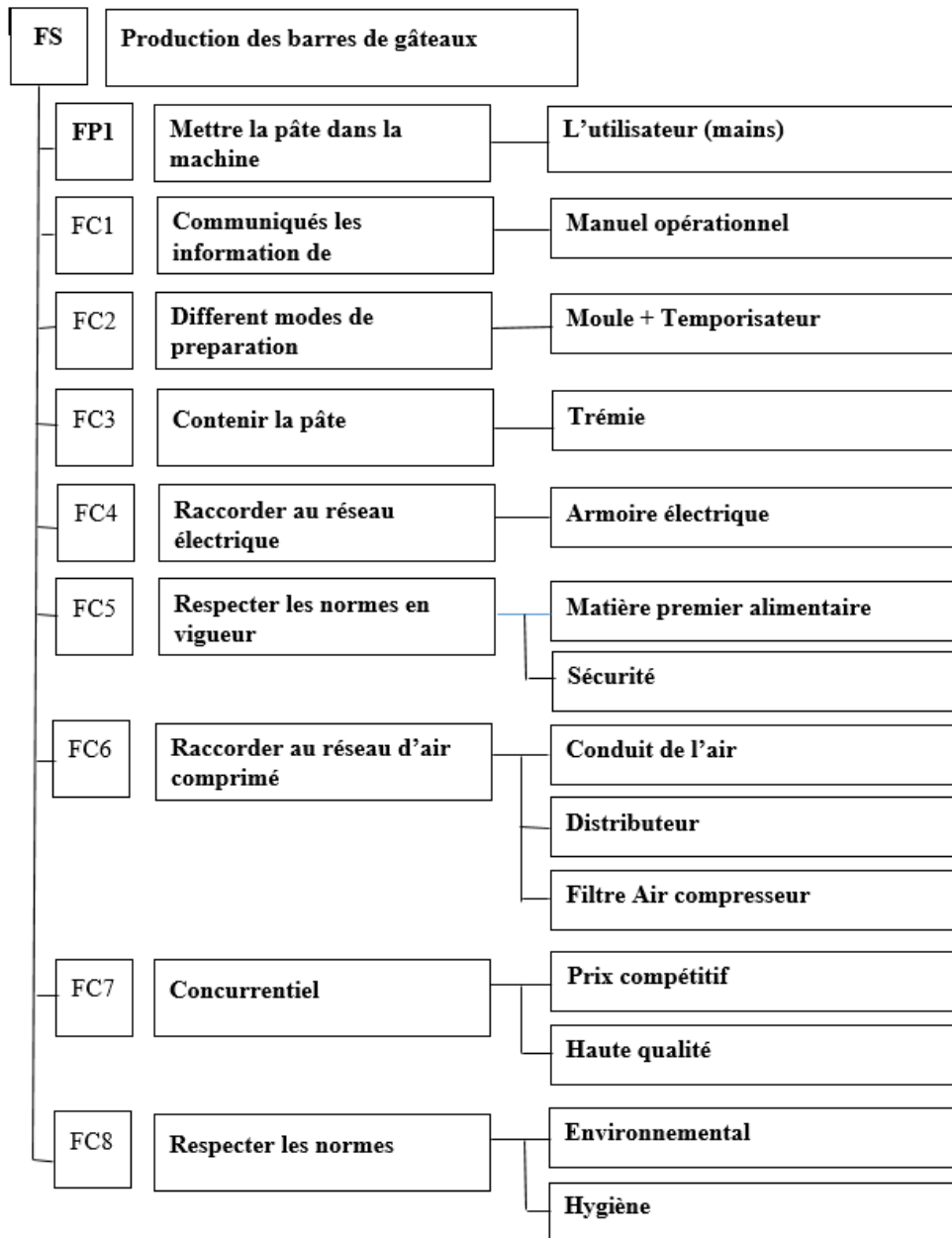


Figure 2.5. Diagramme FAST de l'objet Machine de gâteaux

2.4.2) Diagramme SADT de la machine

La représentation SADT (Structured Analysis and Design Technic) est la technique de modélisation avec analyse structurée. Elle reprend les principes précédents du diagramme FAST, mais utilise des règles précises ce qui la rend plus complexe. Le diagramme est alors un ensemble d'actigrammes ou diagrammes d'activité. UN diagramme SADT EST structuré en niveaux [8].

Le diagramme SADT de notre machine est comme suit :

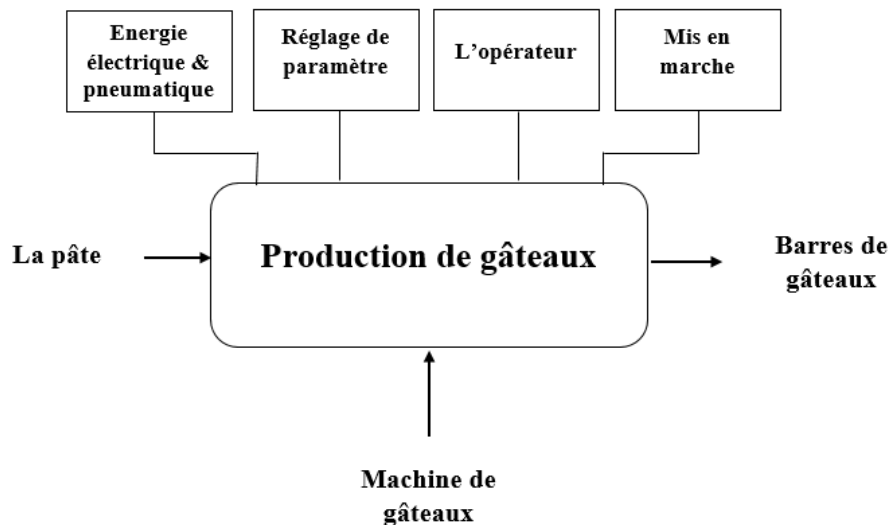


Figure 2.6. Diagramme SADT (A0) de l'objet Machine de gâteaux.

2.5) Rédaction du cahier de charges fonctionnel

Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) est un document contractuel par lequel le demandeur exprime son besoin en termes de fonctions de service. Pour chacune des fonctions et des contraintes sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux, chacun de ces niveaux étant assorti d'une flexibilité. Il nécessite un travail en groupe, afin de tenir compte des points de vue des différents intervenants concernés par le système : l'utilisateur, le concepteur, le distributeur, etc. [9]

D'après la définition, le CdCF est l'aboutissement de l'analyse fonctionnelle, il contient donc les éléments suivants :

- ❖ L'expression du besoin : fonction globale ;
- ❖ La définition des fonctions de service (fonctions principales et fonctions contraintes) ;
- ❖ L'énumération des critères d'appréciation (Satisfaction, coût, performances, sécurité, etc.) ;

Tableau 2.2. Cahier de charges fonctionnel du produit machine gâteaux

Repères	Fonctions	Critères	Niveaux
FP1	Permettre à l'utilisateur de mettre la pâte dans la machine avec ses mains	- Débit de pate	- 120kg/h
FC1	Doit communiquer les informations de fonctionnement à l'utilisateur	- Composant électrique - Voyants électrique	- Potentiomètre électrique - Verte & jua
FC2	Doit Offrir différents modes de préparation	- Temporisateur - Variateur vitesse	- (0.3s-0.4ms) - 2.5HZ
FC3	Doit Contenir la pâte	- La Trémie	- 60kg
FC4	Doit Se raccorder au réseau électrique	- Energie électrique - Tension d'alimentation	- Réseau sonelgaz - 380V
FC5	Doit Respecter les normes en vigueur	- Matière première alimentaire	- Acier inoxydable 316 - POM-C
FC6	Doit Se raccorder au réseau d'air comprimé	- Energie pneumatique - Pression l'air	- Distributeur/Compresseur - 0.15~0.7 MPa
FC7	Doit Etre concurrentiel	- Prix	- Comparable à la concurrence
FC8	Doit Respecter les normes	- Environnement	- 100% hygiénique

2.6) Conclusion

Dans ce chapitre nous avons identifié clairement notre besoin et établi le cahier de charges fonctionnel de la machine ciblée. Les diagrammes FAST et SADT nous ont permis de détailler la liste des fonctions principales et de contraintes à respecter lors de la mise en œuvre de la machine. Cette étude nous permettra de bien choisir les différentes solutions technologiques pour répondre aux différentes fonctions selon les critères de performance retenus.

Le prochain chapitre sera consacré à la conception des différents sous-ensembles constituant notre machine

Chapitre 3

*Conception assistée par
ordinateur de la machine*

3.1) Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons établi le cahier de charges initial de notre machine. Dans ce chapitre, nous allons présenter les conceptions réalisées pour concrétiser les différentes solutions technologiques retenues. Ces solutions ont été faites dans le logiciel de CFAO SolidWorks afin de préparer la phase de fabrication. Pour ne pas alourdir la lecture du mémoire, nous avons retenu dans ce chapitre quelques dessins pour présenter les principaux sous-ensembles de la machine, le reste est donné en annexes de ce mémoire.

3.2) Les solutions technologiques retenues

Dans cette partie, on va présenter l'essentiel des solutions retenues pour réaliser les parties principales de notre machine (Fig.3.1), notamment :

- a) Système de transfert de la pâte
- b) Système de découpage de la pâte
- c) Système de transport de la pâte découpée

Toutes ces parties utilisent un entraînement électrique.

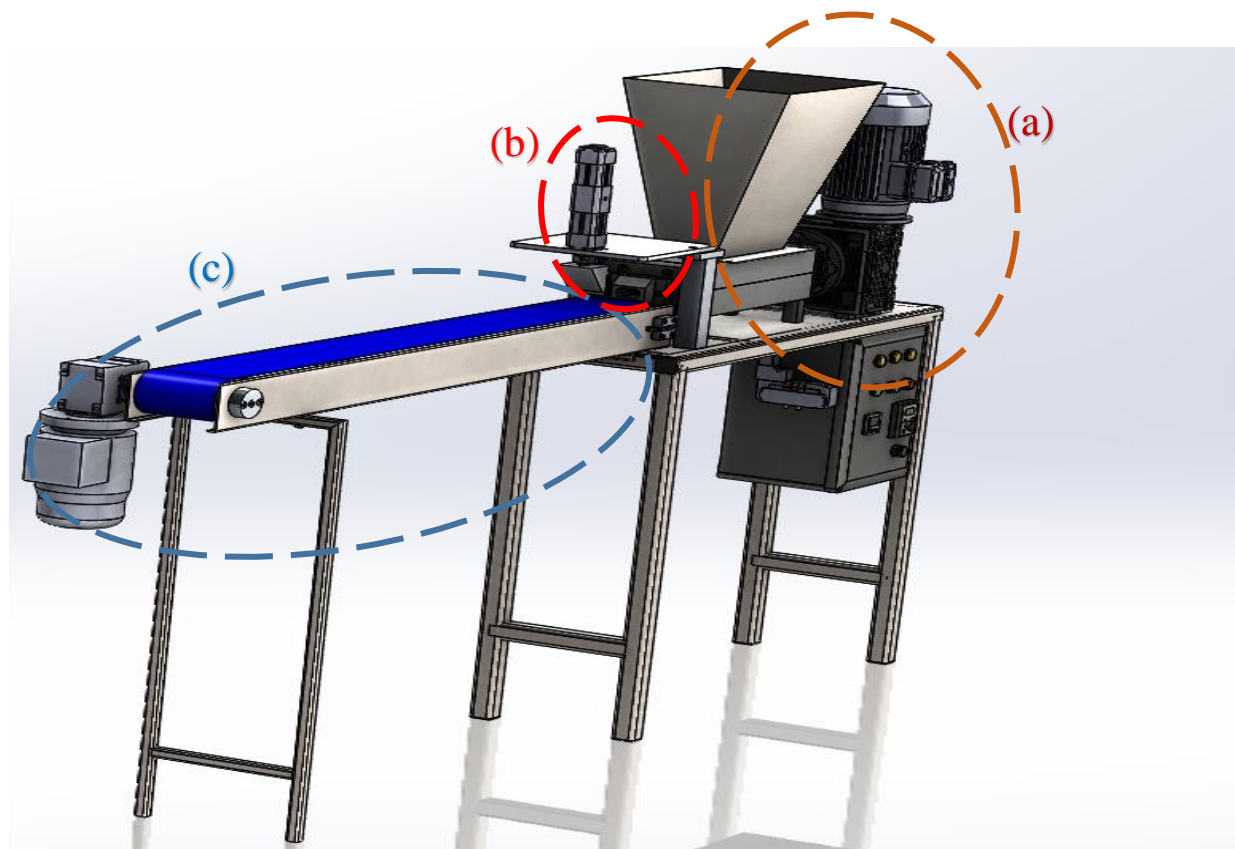


Figure 3.1. Modèle CAO de notre machine

3.2.1) Choix des moteurs

Dans l'industrie, on fait appel en général à différents types de moteurs pour assurer l'entraînement des machines de production. Cependant, ces dernières décennies, une attention particulière est donnée aux entraînements électriques car ils présentent de nombreux avantages, entre autres :

- L'entraînement électrique présente une très grande plage de couple, de vitesse et de puissance.
- Leur travail est indépendant de la condition environnementale.
- Les entraînements électriques sont exempts de pollution.
- Les entraînements électriques fonctionnent sur tous les quadrants du plan couple de vitesse.
- L'entraînement peut être démarré facilement et ne nécessite aucun ravitaillement en carburant.
- L'entraînement électrique présente un grand rendement énergétique.

L'élément essentiel de cet entraînement est bien évidemment le moteur électrique qui peut être : à Courant Continu, Asynchrone, Synchrone, à réluctance variable, pas à pas, linéaire ou rotatif [10].



Figure 3.2 Exemples de moteurs électriques asynchrone (monophasés & triphasés)

Pour notre machine, notre choix s'est porté sur les moteurs électriques asynchrones triphasés (Fig.3.2). Ce sont en fait les moteurs les plus utilisés dans l'industrie [11] car:

- Ils sont moins chers et moins volumineux que les moteurs synchrones
- Ils sont plus simples à entretenir
- Ils sont plus résistants (les bagues des électro-aimants des moteurs synchrones sont difficiles à entretenir)

3.2.2) Système de transfert de la pâte

Dans l'industrie alimentaire, il existe de nombreux mécanismes qui permettent le transfert de la matière première (pâte à traiter) à l'intérieur d'une machine, par exemple entre un réservoir et la zone de traitement. Parmi ces mécanismes, on peut citer (Fig.3.3): les rouleaux, les pistons, les vis sans fin, les dresseuses, ... Chacun de ces mécanismes a des caractéristiques et des fonctionnalités particulières. Parmi les solutions technologiques retenues pour la mise en œuvre de notre machine, on trouve la vis sans fin qui répond largement à nos besoins :

- Prise en charge des propriétés de la pâte
- Facile à nettoyer et à entretenir
- Montage et démontage rapide
- Quantité de production assez grande



Figure 3.3. Les mécanismes de transport des pâtes

3.2.3) Système de découpage de la pâte

Pour notre projet, on a besoin d'un mécanisme pour couper la pâte. En fait, il y a de nombreuses options (voir les mécanismes de la figure 3.4) qui nous permettent de couper la pâte en morceaux selon des tailles personnalisées. Parmi ces mécanismes, nous mentionnons : Bielle manivelle, Vérin, Système électromécanique, Rouleaux des disques couteaux, fil coupant, ...



Figure 3.4. Différents mécanismes de découpage

Pour notre machine, nous avons choisi d'utiliser un vérin pneumatique équipé d'un couteau. Cette solution est la plus adaptée pour les raisons suivantes :

- Bon prix
- Mécanisme simple
- Haute précision
- Idéale pour l'industrie alimentaire
- Durée de vie du couteau plus longue

3.2.4) Système de transport de la pâte découpée

La bande transporteuse est généralement utilisée dans les machines agroalimentaires pour le transport de divers aliments (légumes, mais aussi barquettes ou boîtes ou toutes sortes d'emballages solides, ...). En fait, les tapis utilisés dans ces bandes sont nombreux et ils diffèrent d'une machine à une autre selon le produit qu'ils transportent. On distinguera les types suivants : Tapis bande métal, grillage, caoutchouc, plastique...etc. (Fig.3.5).

Dans notre projet, nous avons choisi un tapis en plastique parce qu'il assure les caractéristiques suivantes : Bon prix, Peu de bruit et Facile à nettoyer.

Nous avons rejeté les autres types de tapis car ils ne sont pas alimentaires ou destinés à fonctionner à des températures élevées, comme les fours à pizza



Figure 3.5. Quelques exemples de tapis

3.2.5) Matériaux utilisés

L'industrie alimentaire est soumise à une réglementation spécifique afin de respecter les normes sanitaires en vigueur. Pour simplifier le bon déroulement de son activité, il est recommandé de privilégier certains types de matériaux, comme l'acier inoxydable ou le caoutchouc. Leurs propriétés s'adaptent particulièrement bien à un tel environnement [12].

Dans la plupart des éléments de la machine, nous avons utilisé des matériaux conformes aux normes sanitaires (INOX316/POM-C, fig.3.6), et nous avons également utilisé d'autres métaux (aluminium) dans l'enveloppe extérieure de la machine qui n'est pas en contact avec le produit alimentaire (barres gâteaux). En résumé, on a utilisé :

- L'inox, car il est résistant à la rouille et à la corrosion, facile à entretenir, et respecte les valeurs de responsabilité environnementale.
- Le plastique POM, car il offre une résistance aux agents de nettoyage, une faible absorption d'humidité (0,8 % à saturation) et il est résistant aux graisses et aux huiles.
- L'aluminium, car il se caractérise par plusieurs facteurs, notamment : prix bon marché, poids léger, résistant à la corrosion et facile à usiner.



Figure 3.6. ACIER INOXYDABLE/ POM-C/ALUMINIUM

3.3) Conception CAO

La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) offre un ensemble d'outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs lors de la conception et la mise au point d'un produit. Notre travail sur la CAO de la machine a été réalisé entièrement sous SolidWorks.

En fait, la modélisation géométrique des pièces de la machine avec SolidWorks a passé par trois étapes :

- Création des pièces en modèle de 2D (2 Dimensions) ;
- Création des pièces en modèle de 3D (3 Dimensions) ;
- Assemblage des pièces.

Les figures (3.7) -(3.10) représentent quelques modèles CAO réalisés pour des éléments rentrant dans le montage de la partie (a) système de transfert de la pâte.

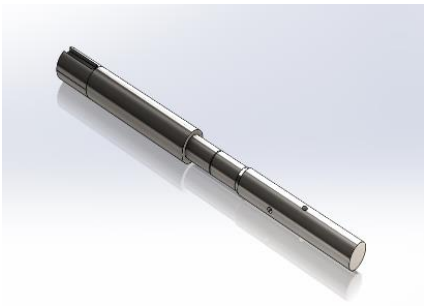


Figure 3.7. *Modèle CAO de l'arbre*

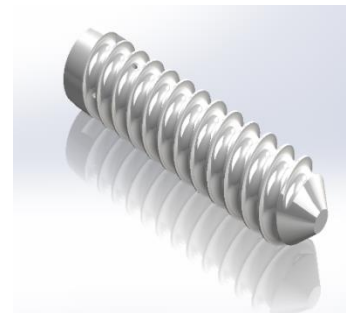


Figure 3.8. *Modèle CAO de la vis sans fin*



Figure 3.9. *Modèle CAO du moteur*



Figure 3.10. *Modèle CAO du réducteur*

Dans notre conception, un arbre est utilisé pour transmettre la puissance (couple et vitesse de rotation) de l'élément moteur au reste des éléments (vis sans fin) ce qui permet le transfert (transport) de la pâte dans le tunnel comme le montre la figure (3.11).

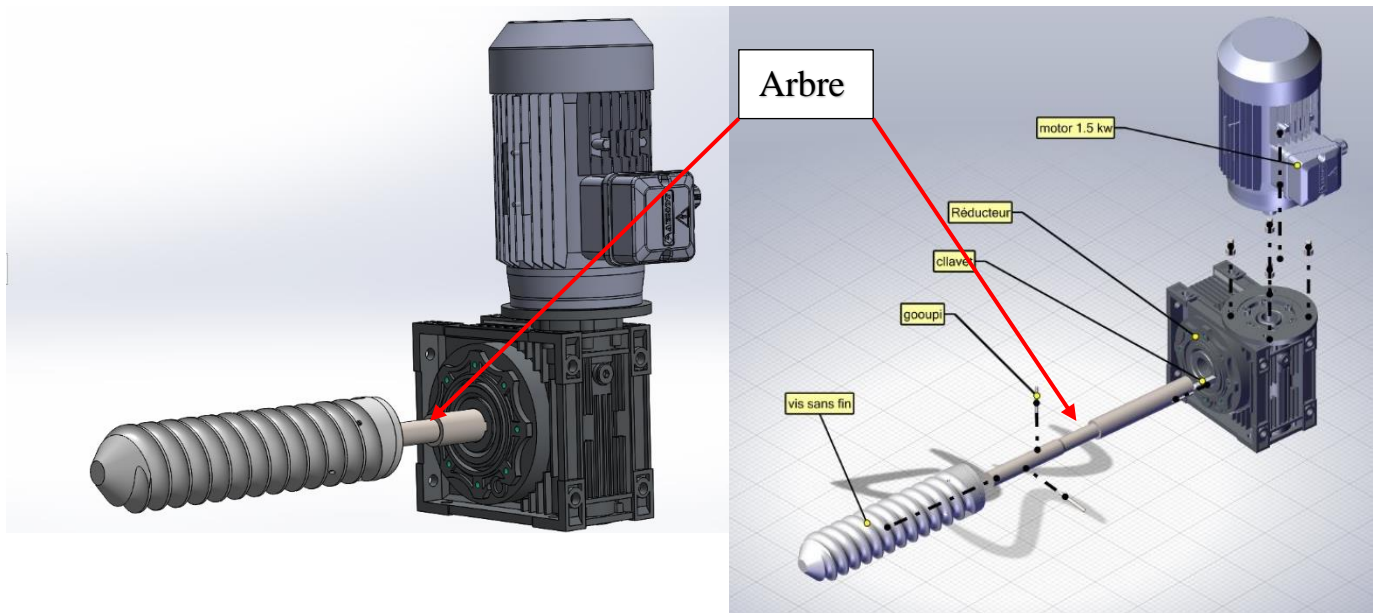


Figure 3.11. Montage de la vis sans fin sur l'arbre et le moteur

3.3.1) Dessin des sous-ensembles de découpage et de transport

Comme nous l'avons déjà indiqué, notre machine (Fig.3.1), comporte trois sous-systèmes. Le premier est celui dédié au transfert de la pâte, le montage de cette partie est illustré par la figure 3.11. La figure 3.12 illustre le système de découpage de la pâte. En fait, grâce au distributeur 5/2 qui alimente le mécanisme de coupe (vérin + couteau), la pâte est découpée en morceaux. Ce mécanisme est commandé par un temporisateur.

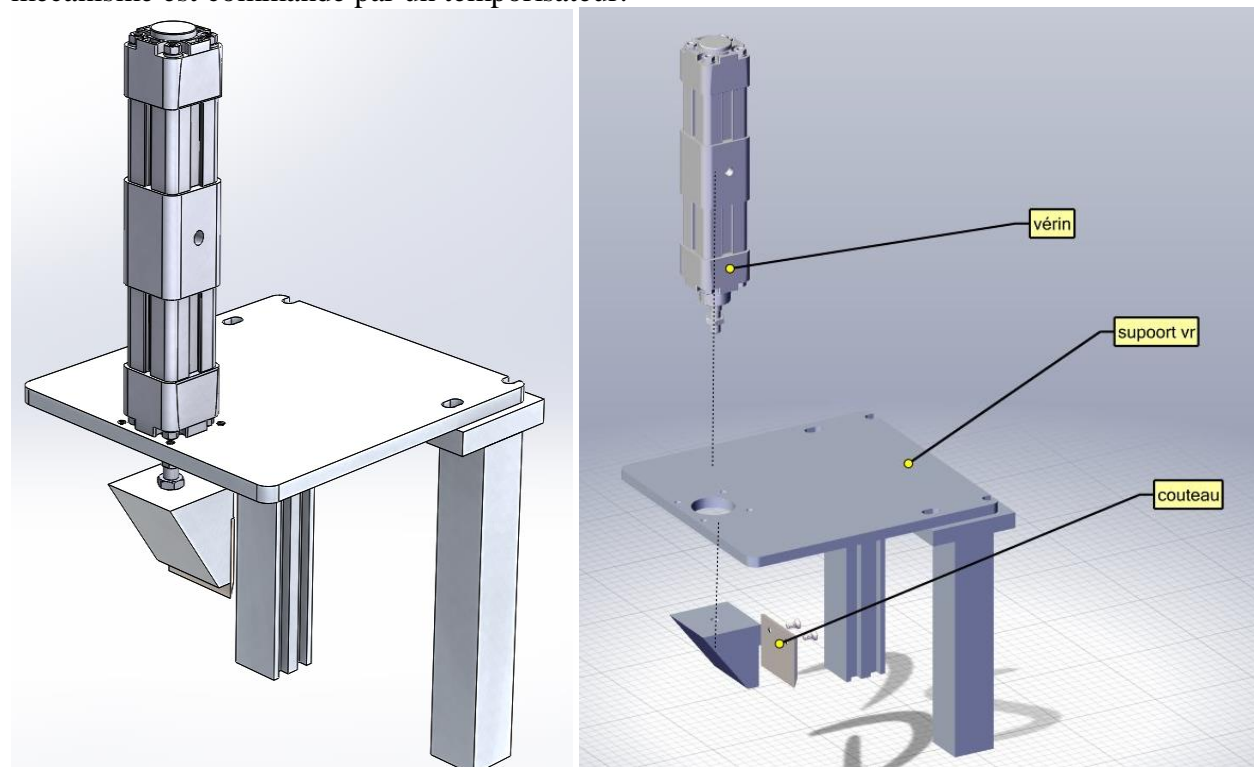


Figure 3.12. Mécanisme de coupe

La figure (3.13) illustre le système de transport de la pâte découpée. En effet, les barres de gâteaux découpés sont transportées par un tapis d'alimentation, ce dernier est entraîné par un moteur/réducteur commandé par un variateur de vitesse.

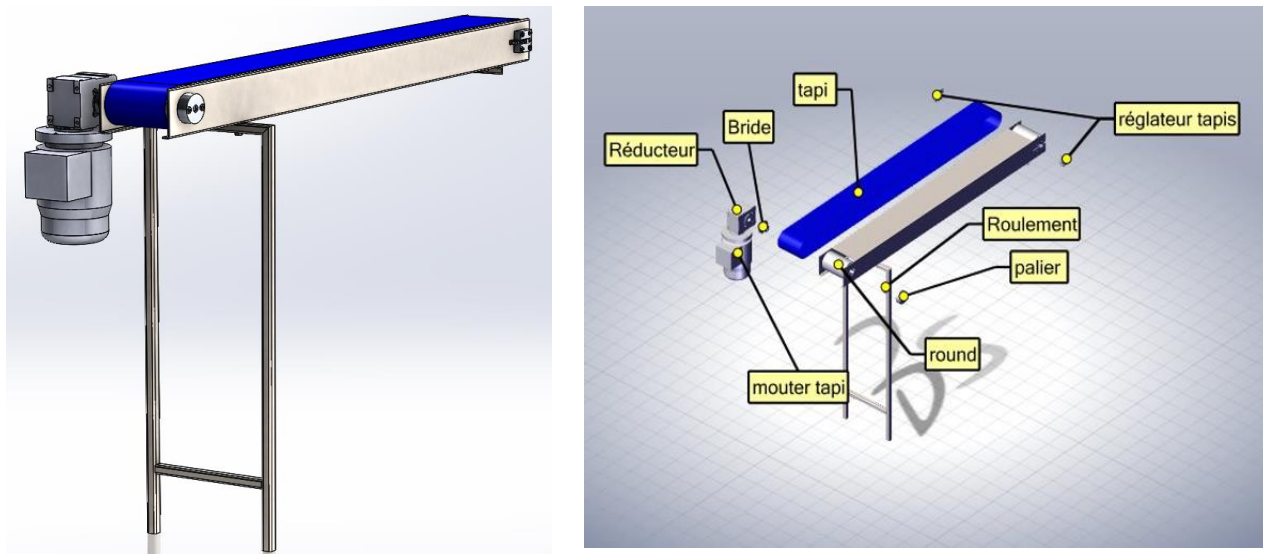


Figure 3.13. Mécanisme de transport de la pâte

3.4) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la CAO de notre machine qui comporte trois parties essentielles : le Système de transfert de la pâte, le mécanisme du découpage de la pâte et enfin le dispositif de transport de la pâte découpée. La mise en œuvre de la CAO a été entièrement réalisée à l'aide de SolidWorks. Les dessins de définition des différentes pièces du système sont donnés en annexe. Dans le prochain chapitre on discutera du dimensionnement des différents éléments.

Chapitre 4

*Dimensionnement des
principaux organes de la
Machine*

4.1) Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principaux éléments constitutifs de la machine présentée dans le chapitre précédent. Nous allons en particulier parler de leur dimensionnement, du choix des matériaux et des procédés de fabrication de certaines pièces réalisées localement. Par ailleurs, certains éléments ont été dimensionnés puis achetés sur le marché pour répondre aux besoins du cahier de charges de notre machine en termes de performance et de prix.

4.2) Vis sans fin

Une vis sans fin est un élément de machine qui peut se présenter dans certains mécanismes sous forme d'une lame hélicoïdale rotative. C'est le cas de certains types de pompes à vis simple, logé généralement à l'intérieur d'un tube. Son principe de fonctionnement est basé sur celui de la vis d'Archimède (appelée aussi escargot, pompe à vis) qui s'utilise pour le transport de matières liquides ou matériaux granulaires [13].

Les vis sans fins sont utilisées dans de nombreuses industries de manutention en vrac. En effet, dans l'industrie moderne, les convoyeurs à vis sont souvent utilisés horizontalement ou légèrement inclinés comme moyen efficace de transporter des matériaux semi-solides, notamment des déchets alimentaires, des copeaux de bois, des céréales, des aliments pour animaux, des solides, des déchets, etc.

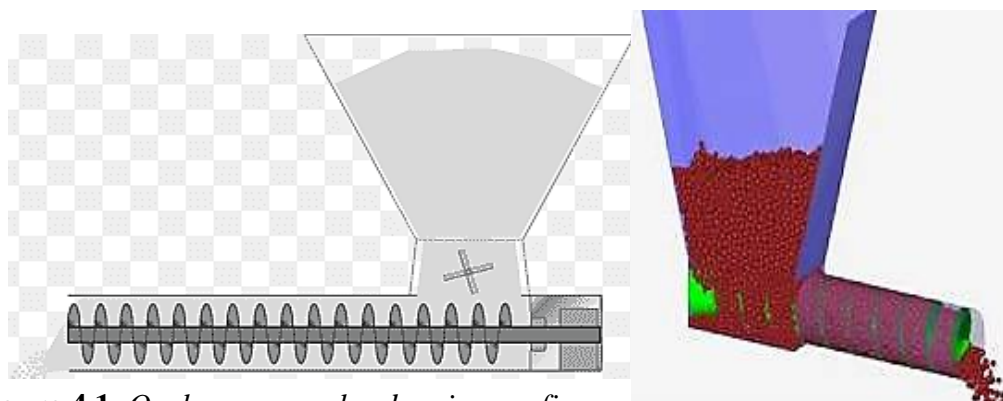


Figure 4.1. Quelques exemples des vis sans fin.

Dans notre machine et selon le principe de la vis d'Archimède, une vis sans fin a été conçue et construite pour transférer la pâte à l'intérieur d'un tunnel, cette solution est largement retenue dans de nombreuses machines industrielles (Fig. 4.1), en raison de sa grande efficacité et sa simplicité.

Pour la fabrication de cette vis sans fin, nous nous sommes appuyés sur le matériau POM-C car il possède de nombreuses propriétés mécaniques et il est facile à fabriquer. Ses principales caractéristiques sont [36] :

- Une résistance mécanique, rigidité et solidité élevées
- Une bonne résistance au choc, même à basse température
- Une faible absorption d'humidité (0,8 % à saturation)
- Des propriétés exceptionnelles de résistance à l'usure et de glissement
- Une excellente usinabilité
- Une bonne tenue au fluage
- Une grande stabilité dimensionnelle
- Une bonne tenue à l'hydrolyse (jusqu'à ~60 °C)
- Une excellente résilience/récupération élastique.

- Résistant aux agents nettoyant
- Grande solidité très bonne isolation électrique
- Bonne usinabilité
- Difficile à coller
- Résiste à l'eau jusqu'à environ 100° C, aux graisses et aux huiles.

4.2.1) Réalisation de la vis sans fin

Afin de fabriquer cette pièce maîtresse, nous sommes passés par plusieurs étapes. Dans un premier temps, nous avons amené la matière première (POM-C) sous forme d'une barre cylindrique, que nous avons découpée à l'aide d'une machine de découpe appropriée pour récupérer une pièce cylindrique brute d'une longueur de 370 cm. Puis, nous l'avons installé sur un tour (Fig. 4.2) pour subir différentes opérations :

- **Dressage** : l'opération consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche (fig. 4.2).



Figure 4.2. Dressage vis sans fin.

- **Centrage** : l'opération consiste à faire un trou central pour éviter les vibrations durant les opérations d'usinage suivantes.
- **Perçage** : il consiste à usiner un trou dans la pièce à l'aide d'une forêt a longueur 150mm et diamètre 28 mm (fig. 4.3).



Figure 4.3. Perçage de vis sans fin.

- **Alésage** : il consiste à usiner une surface cylindrique de qualité à l'intérieur de diamètre 28mm (fig4.4).



Figure 4.4. Alésage de vis sans fin

- **Chariotage** : l'opération consiste à enlever la matière par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce. Jusqu'à ce que le diamètre spécifié soit atteint.
- **Filetage externe** : Cette action consiste à former un ou plusieurs filets hélicoïdaux, nous avons fabriqué deux fils de pas 50 mm, profondeur 11 mm et de longueur 338 mm (fig4.5).

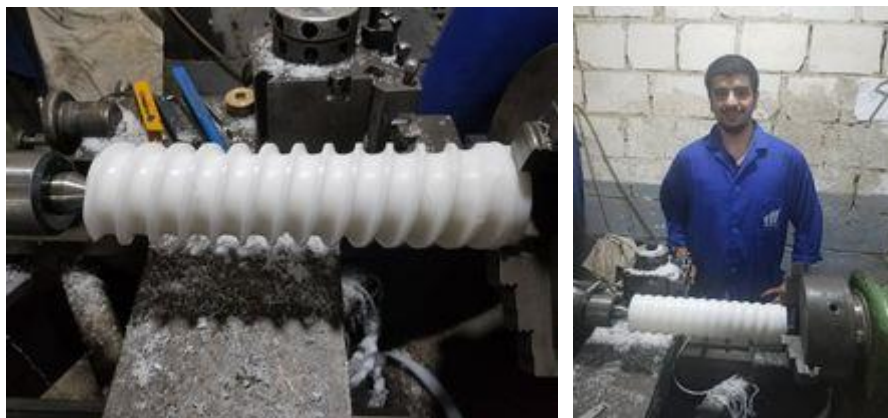


Figure 4.5. Filetage de vis sans fin.

- **Chanfreinage** : il consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif.

Après avoir terminé le travail sur le tour, nous avons installé la pièce sur une machine fraiseuse équipée d'un diviseur. Nous avons ensuite percé deux trous décalés de 90 degrés afin de fixer l'arbre dans son logement.

À l'issue de différentes opérations précédentes, nous avons obtenu la pièce finie dont la forme est illustrée sur la figure 4.6.



Figure 4.6. Pièce finie de la Vis

4.1.2) Calcul du débit de la vis sans fin

Selon la référence [33]

On a :

$$(4.1) \quad D_t = S \cdot p$$

où :

- S : la section utile
- P : le pas de vis sans fin
- D_t : le débit en litre par tour

$$S = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4}$$

$$S = \pi \frac{(88^2 - 66^2)}{4} = 2660.93 \text{ mm}^2$$

- D: diamètre extérieure de vis.
- d : diamètre intérieure de vis.

$$(4.2) \quad D_m = D_t \cdot 10^{-6} \cdot N$$

D_m : le débit en litre par minute

N : vitesse de rotation autour de l'axe de la vis sans fin

$$D_t = 2660.93 \times 25 = 66532.22 \text{ l/tr}$$

$$D_m = 66532.22 \times 10^{-6} \times 23.16 = 1.54 \text{ l/min}$$

Dans notre cas, on a la masse volumique de la pâte est 1226.6 kg/m^3

Donc :

$$D_m = \frac{\rho_{pate}}{\rho_{eau}} = \frac{1222.6 \times 1.54}{1000} = 1.88 \text{ kg/min}$$

$D_m = 113 \text{ kg/h}$

4.3) Arbre

Un arbre est un organe mécanique transmettant de la puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation. Les arbres de machines sont généralement issus de bruts forgés puis usinés par tournage. L'extrusion est également un mode d'obtention courant pour ce type de pièce. Ils sont très rarement issus de bruts moulés, pour des raisons de résistance mécanique insuffisante.



Figure 4.7. Quelques exemples d'arbres.

Dans les machines tournantes, l'arbre est utilisé pour transmettre le couple et la rotation de l'élément d'entraînement au reste des éléments. Dans notre projet, nous avons prévu un arbre principal transmettant le couple du moteur à la vis sans fin, il est illustré par le modèle CAO de la figure 4.8. La matière première utilisée pour sa fabrication est l'acier inoxydable 316, ce choix est justifié par les normes imposées dans le secteur des machines agroalimentaires. D'autant plus que l'inox est totalement recyclable et présente une résistance mécanique élevée, une mauvaise conductivité thermique et une résistance à la corrosion.

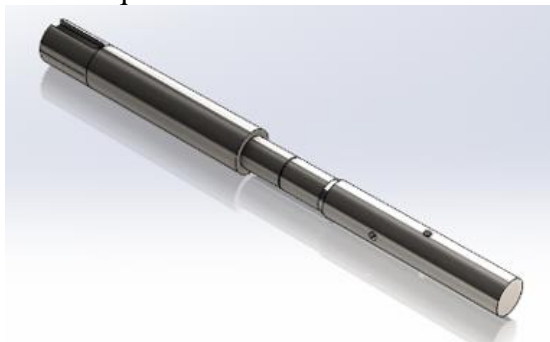


Figure 4.8. Modèle CAO de l'arbre principale de la machine

4.3.1) Fabrication de l'arbre

La mise en œuvre de l'arbre de notre machine est faite principalement par usinage sur un tour conventionnel et selon les étapes suivantes :

- **Dressage** : pour former une surface plane de référence.



Figure 4.9. Dressage.

- **Centrage** : pour faire un trou central et pouvoir fixer l'arbre des deux côtés pour éviter les vibrations.



Figure 4.10. Centrage

- **Chariotage** : Pour obtenir les bonnes dimensions de l'arbre, il faut enlever le surplus de la matière en se référant au dessin de définition.



Figure 4.11. Chariotage

Ensuite, pour réaliser le logement de la clavette, nous avons utilisé une fraiseuse conventionnelle.

4.3.2) Calcul de l'arbre

Calcul en flexion :

Pour ce calcul, on se basera sur la figure 4.12, qui représente les efforts appliqués sur notre arbre.

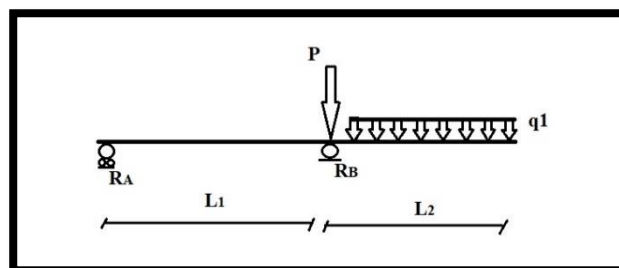


Figure 4.12. Représentation des efforts appliqués sur l'arbre

La première force appliquée est le Poids P de l'arbre :

$$P = Volume \cdot \rho \cdot g = 26.65 \text{ N}$$

Ensuite, il y a une charge répartie q_1 qui est due aux poids de la pâte et de la vis sans fin.

$$P_1 = P_{vis} + P_{p\hat{a}te}$$

$$P_{vis} = m_1 \cdot g = 1.86 \times 9.81 = 18.25 \text{ N}$$

$$P_{p\hat{a}te} = m_2 \cdot g$$

- m_1 : La masse de la vis sans fin
- m_2 : La masse de la pâte
- ρ : La masse volumique de la pâte
- L_1 : 241mm
- L_2 :189mm

$$P_{p\hat{a}te} = m_2 \cdot g = V_{p\hat{a}te} \cdot \rho \cdot g = 50 \times 10^{-3} \times 1222.6 \times 9.86$$

$$P_{p\hat{a}te} = 600 \text{ N}$$

$$P_1 = P_{vis} + P_{p\hat{a}te} = 618.25 \text{ N}$$

$$q_1 = \frac{P_1}{L_2} = 3.27 \text{ N/mm}$$

Calcul des réactions :

Pour les forces de réaction R_A et R_B , on peut les obtenir en projetant sur les axes, l'équation des forces et celle des moments par rapport au point (O).

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}. \quad (4.3)$$

$$R_A + R_B - P - q_1 \cdot L_2 = 0$$

$$R_A + R_B = P + q_1 \cdot L_2$$

Avec : R_A et R_B : les Forces de réaction au niveau des appuis.

$$\sum \vec{M}_{ext} = \vec{0}. \quad (4.4)$$

$$R_B \cdot L_1 - L_1 \cdot P - q_1 \cdot L_2 \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right) = 0$$

$$R_B = \frac{L_1 \cdot P + q_1 \cdot L_2 \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right)}{L_1}$$

$$\begin{cases} R_B = 887 \text{ N} \\ R_A = -242.32 \text{ N} \end{cases}$$

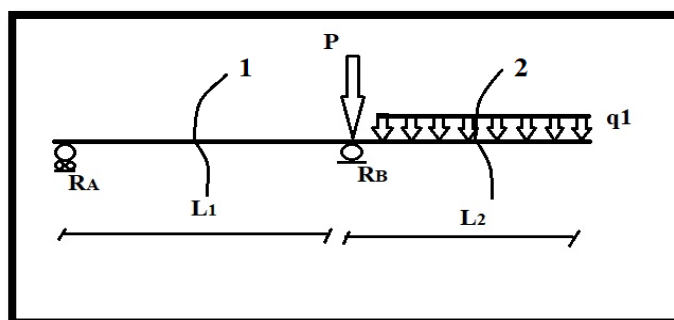


Figure 4.13. Subdivision de l'arbre en deux tronçons

Avec :

- F_{ext} Forces extérieures exercées sur l'arbre.
- M : moments exercés sur l'arbre.

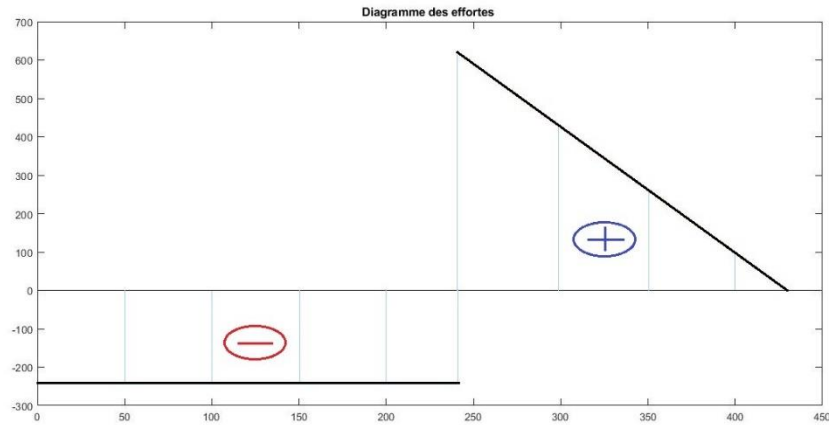


Figure 4.14. Diagramme des efforts tranchant

Calcul des efforts de tranchant et moment fléchissant :

En se basant sur la figure 4.14, On a :

- **Tronçon 1 :** $0 \leq x \leq L_1$

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$R_A - T_1 = 0$$

$$T_1 = -242.32 \text{ N}$$

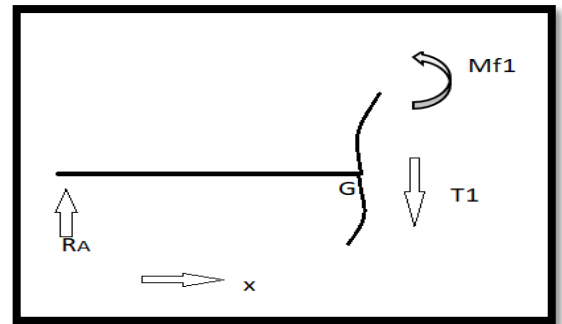


Figure 4.15. Tronçon 1 de l'arbre

A.N.:

$$\sum \vec{M}_G = \vec{0}$$

$$-x.R_A + Mf_1 = 0$$

$$Mf_1 = x.R_A$$

$$\begin{cases} \text{Si : } x = 0 & Mf_1 = 0 \text{ N} \\ \text{Si : } x = L_1 & Mf_1 = -58399.12 \text{ N} \end{cases}$$

- **Tronçon 2 :** $L_1 \leq x \leq L_1 + L_2$

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow$$

$$R_A + R_B - q_1(x - L_1) - P - T_2 = 0$$

$$\text{AN: } \begin{cases} \text{Si : } x = L_1 & T_2 = 618.03 \text{ N} \\ \text{Si : } x = L_1 + L_2 & T_2 = 0 \text{ N} \end{cases}$$

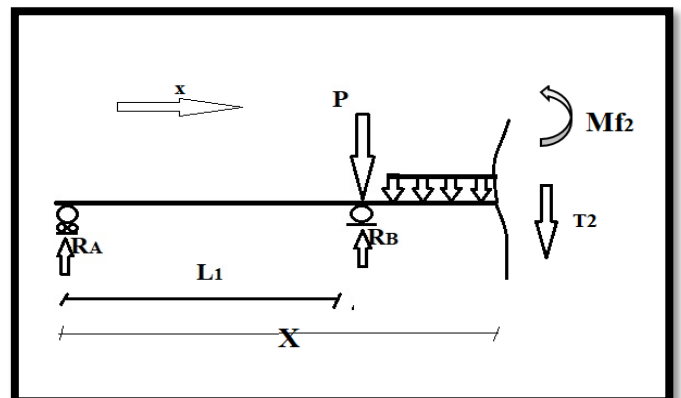


Figure 4.16. Tronçon 2 de l'arbre

$$\sum \vec{M}_G = \vec{0} \Rightarrow -x.R_A - R_B(x - L_1) + P(x - L_1) + 0.5.q_1(x - L_1)^2 + Mf_2 = 0$$

$$Mf_2 = x.R_A + R_B(x - L_1) - P(x - L_1) - 0.5.q_1(x - L_1)^2$$

AN:

$$\begin{cases} \text{Si : } x = L_1 & Mf_2 = -58399.12 \text{ N} \\ \text{Si : } x = L_1 + L_2 & Mf_2 = 0 \text{ N} \end{cases}$$

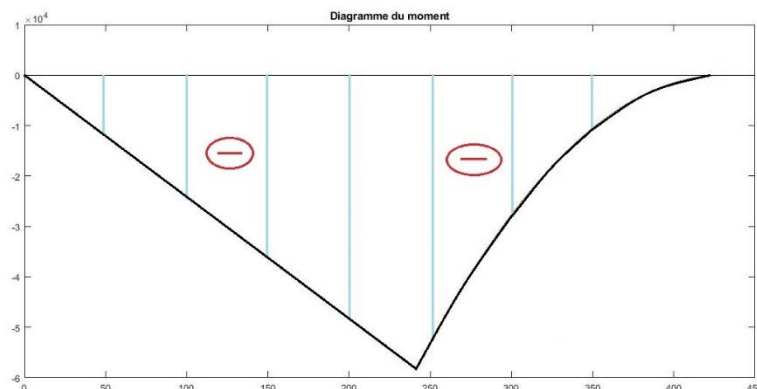


Figure 4.18 diagramme des moments fléchissant

Condition de la résistance à la flexion :

Selon la référence [34]

On a:

$$\sigma_{max} = \frac{Mf_{max}}{I_z} \cdot y_{max} \leq R_P \tag{4.5}$$

$$R_P = \frac{R_e}{s}$$

(4.6)

- σ_{max} : Contraint maximale
- Mf_{max} : Moment de flexion maximale
- I_z : Moment quadratique
- R_P : La résistance pratique à l'extension
- R_e : Résistance élastique
- s : Coefficient de sécurité
- d : Diamètre de l'arbre

$$I_z \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 30171.85 \tag{4.7}$$

Avec :

$$y_{max} = \frac{d}{2} = 14 \text{ mm}$$

Par ailleurs, on a

$$Mf_{max} = -58399.12 \text{ N.mm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mf_{max}}{I_z} \cdot y_{max} = 27.1 \text{ N/mm}^2 = 2,71 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

AN:

$$\begin{cases} Mf_{max} = -58399.12 \text{ N.mm} \\ \sigma_{max} = 27.1 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{max} = 2.71 \times 10^7 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$

On prend un coefficient de sécurité $s = 2$, alors

$$R_P = \frac{R_e}{s} = \frac{220}{2} = 110 \text{ MPa}$$

Donc, la condition de résistance est donc vérifiée.

Calcul de la flèche :

- **Tronçon 1 :** $0 \leq x \leq L_1$

$$E.I. \ddot{y}_1 = Mf_1 = x.R_A \quad (4.8)$$

$$E.I. \dot{y}_1 = \frac{1}{2}.x^2.R_A + C_1$$

$$E.I. y_1 = \frac{1}{6}.x^3.R_A + C_1.x + C_2$$

- **Tronçon 2 :** $L_1 \leq x \leq L_1 + L_2$

$$E.I. \ddot{y}_2 = Mf_2$$

$$E.I. \dot{y}_2 = \frac{1}{2}.x^2.R_A + \frac{1}{2}.x^2.R_B - L_1.x.R_B - \frac{1}{2}.x^2.P + L_1.x.P - \frac{1}{6}x^3.q_1 - \frac{1}{2}L_1^2.x.q_1 + \frac{1}{2}.x^2.L_1.q_1 + C_3$$

$$E.I. y_2 = \frac{1}{6}x^3.R_A + \frac{1}{6}x^3.R_B - \frac{1}{2}.x^2.L_1.R_B - \frac{1}{6}x^3.P + \frac{1}{2}.x^2.L_1.P - \frac{1}{24}x^4.q_1 - \frac{1}{4}L_1^2x^2.q_1 + \frac{1}{6}.x^3.L_1.q_1 + C_3.x + C_4$$

- *Conditions aux limites*

$$\begin{cases} x = 0 & y_1(0) = 0 \\ x = L_1 & y_1(L_1) = 0 \\ x = L_1 & y_2(L_1) = 0 \end{cases}$$

- *Conditions de continuité :*

$$x = L_1 \rightarrow \begin{cases} y_1(L_1) = y_2(L_1) & (4) \\ y_1'(L_1) = y_2'(L_1) & (5) \end{cases}$$

- *Calcul des constantes*

$$y_1(0) = 0 \rightarrow C_2 = 0$$

$$y_1(L_1) = 0 \rightarrow C_1 = -\frac{1}{6}.L_1^2.R_A = 2345697.987$$

$$\dot{y}_1(L_1) = \dot{y}_2(L_1) \rightarrow C_1 - C_3 = -\frac{1}{2}L_1^2.R + \frac{1}{2}L_1^2.P - \frac{1}{6}L_1^2.q_1$$

$$C_3 = -\frac{1}{6}L_1^2.R_A + \frac{1}{2}L_1^2.R_B - \frac{1}{2}L_1^2.P + \frac{1}{6}L_1^3.q_1 = 34959341.11$$

$$y_2(L_1) = 0 \rightarrow C_4$$

$$= -C_3.L_1 - \frac{1}{6}L_1^3.R_A - \frac{1}{6}L_1^3.R_B + \frac{1}{2}L_1^3.R_B + \frac{1}{6}L_1^3.P - \frac{1}{2}L_1^3.P + \frac{1}{24}L_1^4.q_1 + \frac{1}{4}L_1^4.q_1 - \frac{1}{6}L_1^4.q_1$$

$$C_4 = -\frac{1}{6}L_1^3.R_B + \frac{1}{6}L_1^3.P - \frac{1}{24}L_1^4.q_1 = -2466753965$$

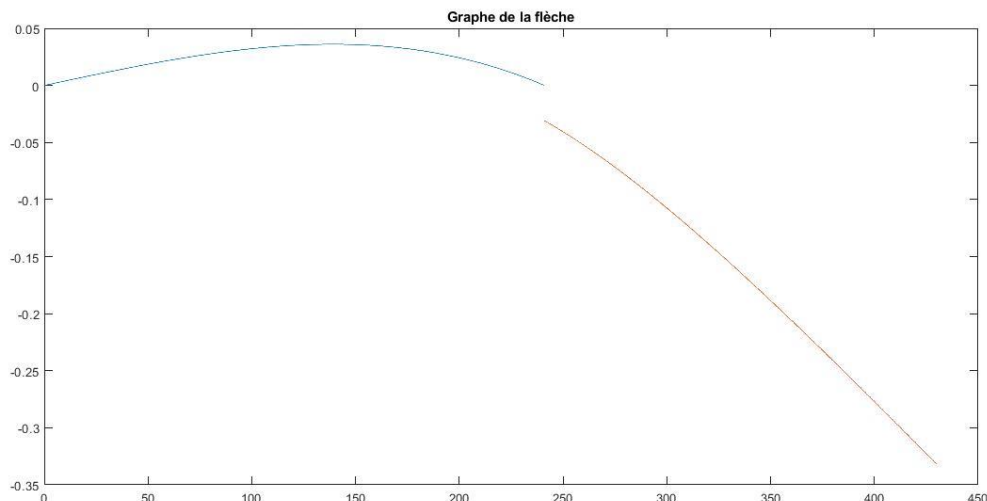


Figure 4.19. Diagramme de la flèche

$$Y_{\max} = -0.33 \text{ mm}$$

Calcul de résistance en Torsion :

La condition de résistance en torsion se présente comme suit [34]:

$$\tau = \frac{M_t}{I_0} \cdot r \leq R_{pg} \quad (4.9)$$

- Moment de torsion : M_t
- Contraint de glissement : τ
- Moment quadratique de la torsion dépendant la forme de la section : $I_0 = (\pi d^4) / 32 \text{ m}^4$
- Résistance pratique au glissement : R_{pg}

$$\tau = \frac{618.79 \times 10^3 \times 32 \times 17.5}{\pi \times 35^4} = 73.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 7.35 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} = \frac{220}{2} = 110 \text{ MPa}$$

La condition de résistance est vérifiée l'arbre est résiste.

4.4) Le moteur d'entraînement

Pour l'entraînement de notre machine, notre choix s'est porté sur un moteur **asynchrone**. Ce dernier est couplé à un variateur de fréquence, il est de loin le type de moteur le plus utilisé pour les applications où il est nécessaire de contrôler la vitesse et le déplacement d'une charge.

Le système moteur-variateur convient bien pour des applications on recherche une excellente précision à la fois au niveau de la vitesse et de la précision de la position des parties mobiles. Quant au moteur asynchrone seul, sa popularité résulte du peu d'entretien nécessaire, de sa simplicité de construction, de sa standardisation et de sa robuste [15]. La figure 4.16 illustre un moteur asynchrone disponible sur le marché.



Figure 4.20. Moteur jm 90 LA 4 SRIPEE

Un moteur électrique asynchrone triphasé classique est généralement conçu pour une utilisation générale dans diverses applications industrielles. Il est doté d'un rotor à cage d'écurieil en court-circuit, fermé et ventilé de l'extérieur (méthode de refroidissement IC 411), classe thermique F. Il est conçu pour fonctionner en service continu (S1) à tension et fréquence nominales. Son degré de protection IP55 : le ventilateur de refroidissement est protégé par un capot de ventilateur adapté.

Tableau 4.1. Informations du moteur Asynchrone utilisé

Poids	14.5 Kg
Dimensions	345×173×232
Phase	3
Pôles	4
Séries	jm
Cadre	90La
Puissance	1.5Kw
année	2020
Monter	B5
Voltage	230-400V
HZ	50
Vitesse de rotation	1390 tr/min

4.4.1) Calcul du couple moteur

Pour les données issues à partir du cahier de charges, nous pouvons calculer le couple moteur d'entraînement. Nous avons la formule de la puissance utile comme suit :

$$P = C \times \omega \quad (4.10)$$

- ω : Vitesse angulaire.
- P : Puissance utile du moteur.
- C : le couple moteur en (N.m).

Avec :

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

Alors :

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{60P}{2\pi N}$$

AN :

$$C = \frac{60 \times 1500}{2 \times \pi \times 1390} = 10.30 \text{ N.m}$$

4.5) Réducteur à roue et vis sans fin

C'est un type de réducteur à base d'un système de transmission à base de roue/vis sans fin qui est très utilisé dans les systèmes asservis. Ce système est souvent utilisé dans les cas où une très grande démultiplication est recherchée ou lorsque l'irréversibilité du système assure un fonctionnement correct [16].

4.5.1) Caractéristiques techniques

- Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires.
- Rapport de réduction compris entre 2,5 et 100.
- Arbre de sortie plein ou creux traversant.
- Irréversibilité pour les rapports élevés.

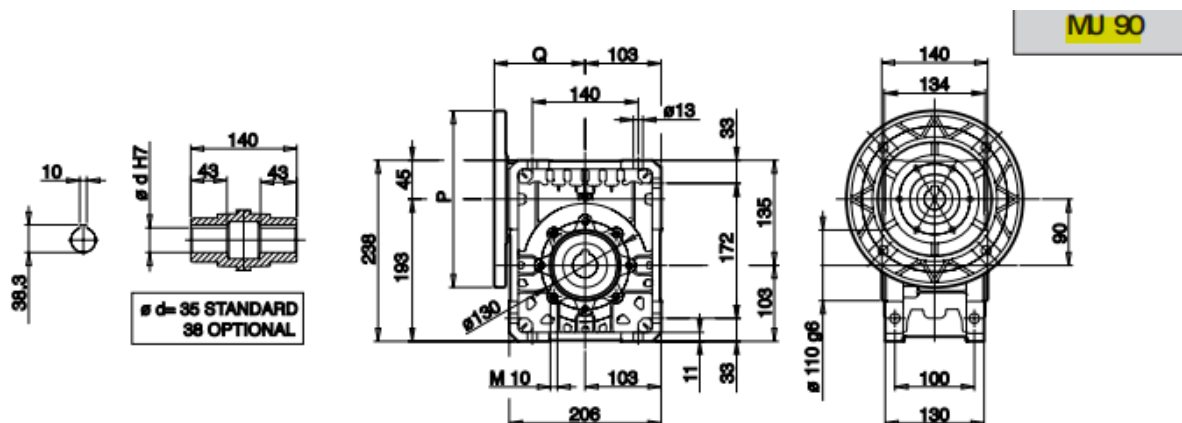


Figure 4.21. Schéma du réducteur utilisé

- n_1 : vitesse vis sans fin 2800 tr/min
- n_2 : vitesse roux denté 47 tr/min
- M_2 : moment de torsion maximal 219.8 N/m

Ce réducteur présente plusieurs avantages notamment :

- Fonctionnement silencieux parce que la transmission de force linéaire sur l'arbre d'entrée amortit les à-coups de couple.
- Très bon rapport qualité/prix.
- Peu de vibrations.



Figur 4.22. Réducteur SITI mu90 R60

4.5.2) Calcul du réducteur

On définit d'abord le rapport de réducteur r :

$$r = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.11)$$

$$r = \frac{2800}{47} = 60$$

On définit par la suite la puissance de sortie P_s comme suit : $P_s = C_s \cdot \omega_s$

Cependant, On a :

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60}$$

- C_s : Couple de l'arbre
- ω_s : vitesse angulaire
- N_s : vitesse de sortie

Alors :

$$N_s = \frac{N_e}{60} = \frac{1390}{60} = 23.16 \text{ tr/min}$$

$$P_s = \frac{C_s \cdot 2\pi \cdot N_s}{60}$$

$$C_s = \frac{60P}{2\pi \cdot N_s} = \frac{60 \times 1500}{2 \times \pi \times 23.16} = 618.79 \text{ N.m}$$

4.6) Roulement mécanique

En mécanique, un roulement est un dispositif destiné à guider un assemblage en rotation, c'est-à-dire à permettre à une pièce de tourner par rapport à une autre selon un axe de rotation défini. Le roulement est l'élément clé d'un palier. Par rapport aux paliers lisses, le roulement permet d'avoir une très faible résistance au pivotement tout en supportant des efforts importants.

Nous avons utilisé trois roulements à billes pour le guidage de type 6202-2RS-SKF, diamètre intérieur 15 mm, diamètre extérieur 35 mm, largeur 11 mm en acier - Économique, il résiste à des charges élevées et convient pour des températures d'environ -10 à 120 °C. L'acier à roulement est résistant à l'usure, aux chocs. Polyvalent pour charges axiales élevées et radiales. En outre, il est Stable même à haute vitesse.

Par ailleurs, Nous avons utilisé des rouleaux ordinaires dans le tapis roulant pour éviter les frottements, le bruit, et faciliter la direction et le contrôler la rotation du tapis.

La durée de vie nominale du roulement se calcule sur la base de la formule suivante [35]:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \quad (4.12)$$

Avec :

- L_{10} : durée de vie nominale exprimée en millions de tours.
- C : capacité de charge dynamique en daN.
- P : charge radiale équivalente en daN.
- n : 3 pour les roulements à billes.
- $\frac{C}{P}$: Le rapport de charges.

En heurs de fonctionnement Il est préférable d'exprimer la durée de vie nominale. En heures de fonctionnement

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \times \left(\frac{10^6}{60 \times N}\right) \quad (4.13)$$

Avec :

- L_{10h} : durée de vie nominale en heures de fonctionnement

- N : vitesse de rotation en tr/mn.

Pour le roulement choisi, on a une estimation de la durée de vie suivante

$$L_{10h} = \left(\frac{806}{2}\right)^3 \times \left(\frac{10^6}{60 \times 1350}\right)$$

$$L_{10h} = 808034901.23h$$

4.7) Clavette

La clavette est utilisée entre un arbre et le moyeu de la machine (poulies, engrenage ...). C'est un moyen commode et économique destiné pour tout montage qui tourne à basse vitesse [18]

Pour éviter l'excentricité et le jeu de rotation, on distingue trois types principaux de clavette :

- les clavettes parallèles (carrées ou rectangulaires)
- les clavettes inclinées (avec ou sans talon)
- les clavettes disque

Dans notre machine, nous avons utilisé des clavettes parallèles rectangulaires. Leur dimensionnement a été fait selon la démarche suivante [37]:

- Matériau acier A60
- $R_{pg} = 300 \text{ N}$
- Condition de résistance au cisaillement :

$$\tau = \frac{F}{S} \leq R_{pg}$$

(4.14)

- F: la force exercée sur la clavette.
- S: surface ($S = L \times w$)

On a:

$$M_t = \frac{1}{2} F \cdot d$$

(4.15)

$$F = \frac{2M_t}{d}$$

- M_t : le couple de torsion
- d : diamètre de l'arbre

AN:

$$\tau = \frac{2M_t}{S \cdot d} \leq R_{pg}$$

$$\tau = \frac{2 \times 619800}{10 \times 45 \times 35} = 78.75 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau \leq R_{pg}$$

Donc, la condition de résistance est vérifiée.

4.8) Méthode des éléments finis

Le but du calcul par éléments finis est la détermination des déplacements puis des contraintes dans la structure de manière à valider la conception. Nous utilisons la méthode des éléments finis dans notre étude pour déterminer le comportement de pièces sollicitées (arbre et vis) du la machine, et nous avons choisis le logiciel de simulation numérique SolidWorks.

D'une façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes [18]:

- **Préparation des données** (Pré-processing, génération de données) : définir le problème.
- **Traitement** (Processing) : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; nous spécifions notamment la nature des charges (localisées et/ou

distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équations.

- **Post-processing** (poste traitement) : visualisation et interprétation des résultats.

4.8.1) Le maillage

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et nous avons tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits où nous pensons que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que nous obtiendrons par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la « vraie » solution de l'équation aux dérivées partielles [18].

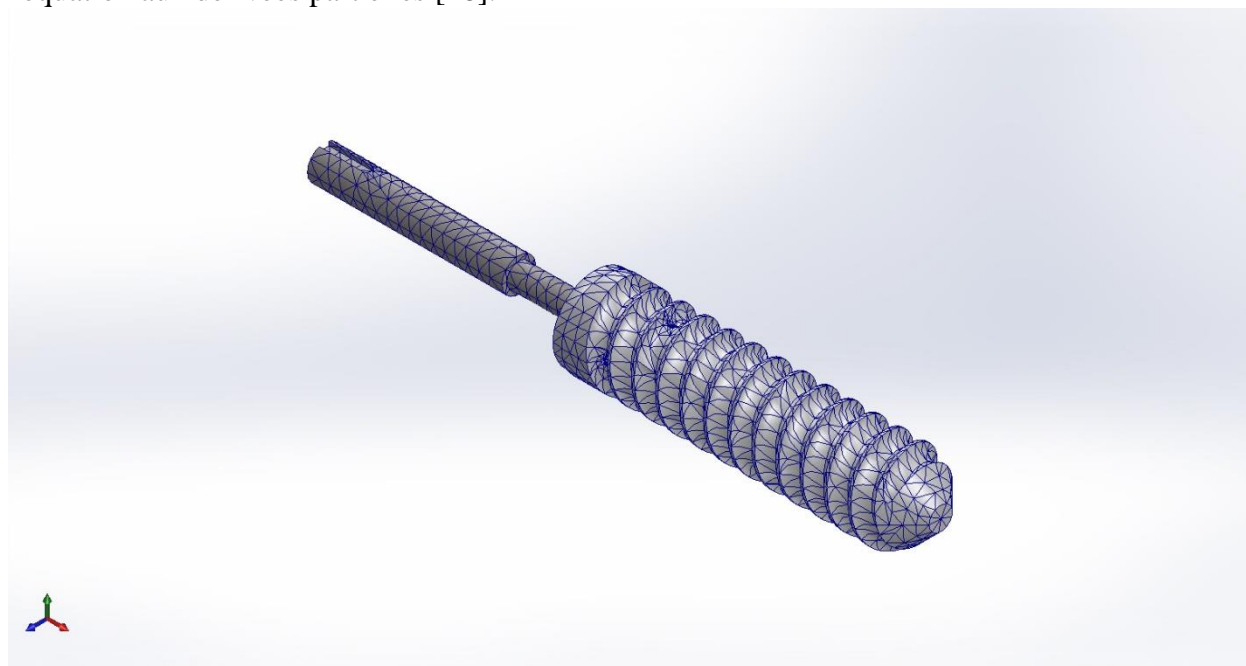


Figure 4.23. *Le maillage de vis sans fin + arbre*

4.8.2) Application des conditions aux limites

- **Déplacement imposés**

La vis sans fin et l'arbre sont parmi les pièces les plus importantes de la machine, pour l'étude nous éliminons tous les degrés de liberté.

- **Efforts imposés**

Les sollicitations sont plus importantes en dynamique, la Arber sont soumises à un effort :
Effort radial : dû aux poids de vis et de la charge de la matière à la machine.

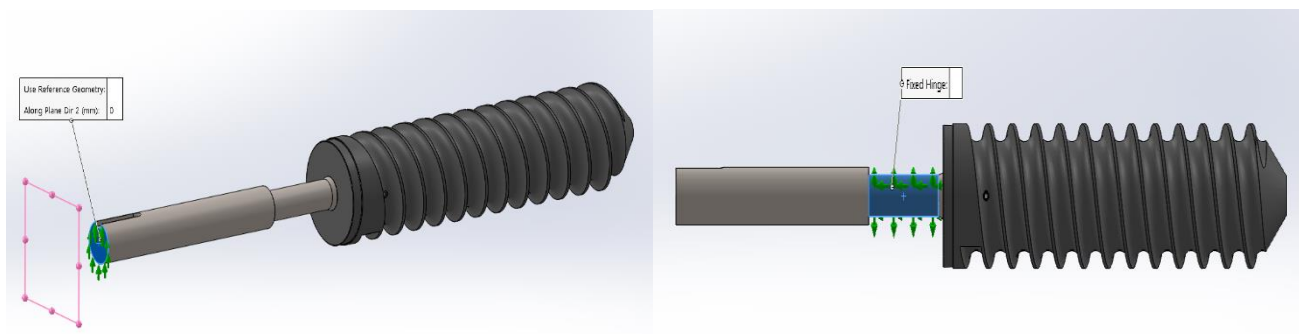


Figure 4.24. déplacement

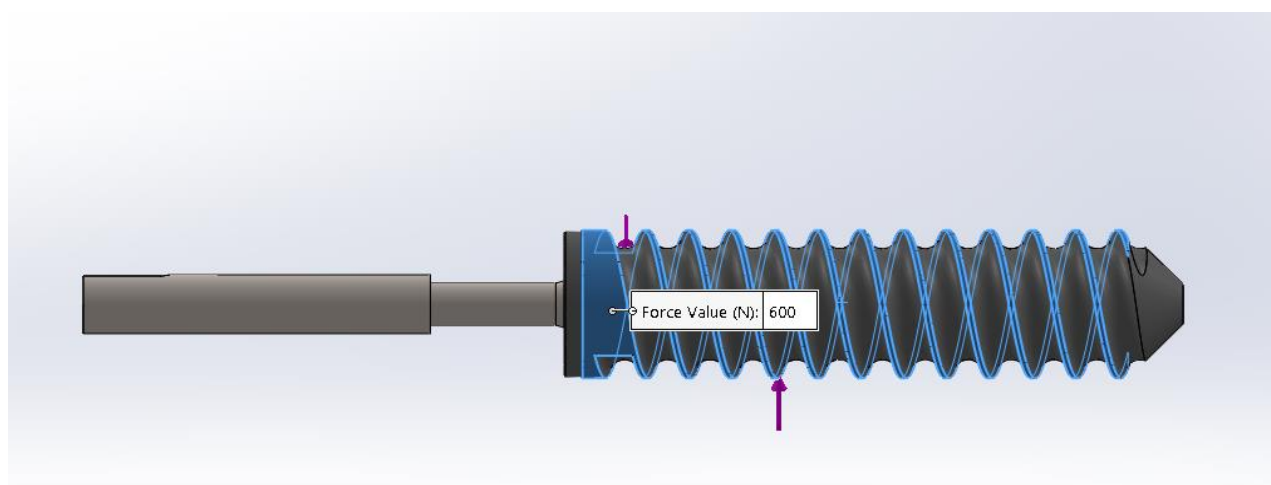


Figure 4.25. Les efforts imposés

4.8.3) Simulation à l'état statique

Il ne faut jamais se baser sur les décisions de conceptions uniquement sur les données présentées dans ce rapport. On utilise ces informations en conjonction avec des données expérimentales. Des tests réels sont indispensables pour valider le produit final. La simulation utilisée dans ce cas nous aide à réduire au maximum le nombre d'essais sur la pièce, mais pas en les supprimant totalement.

Analyse statique

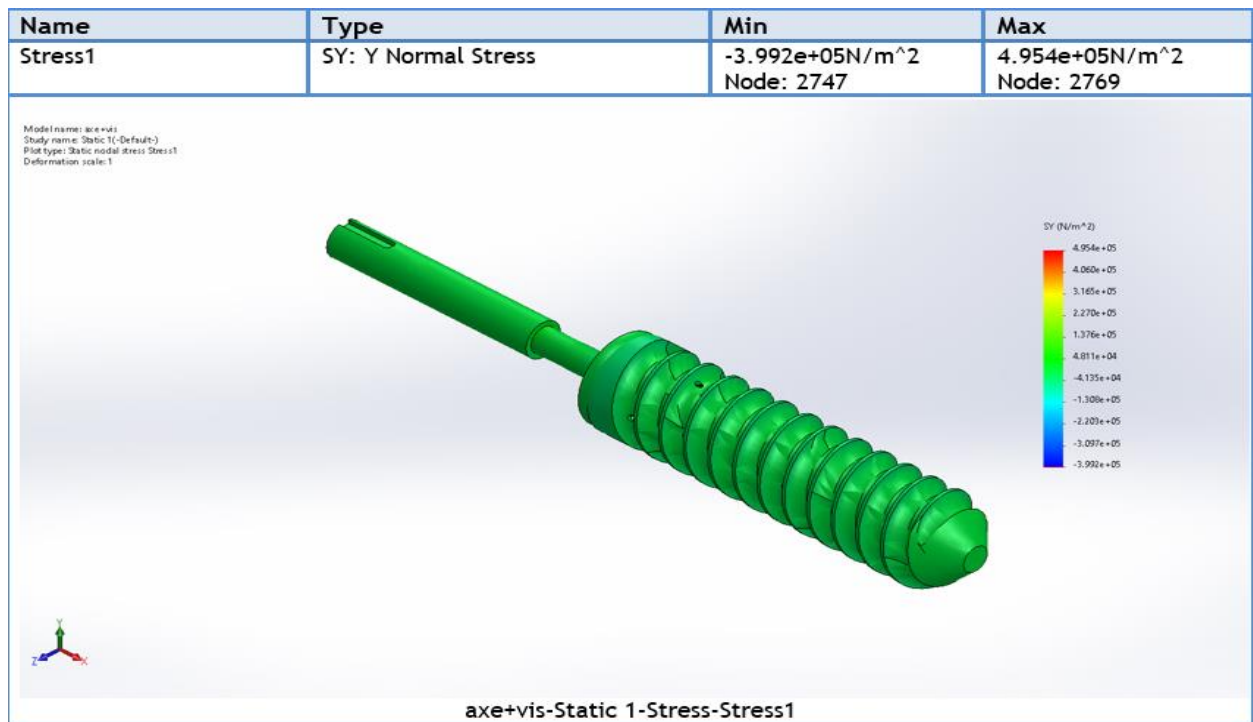


Figure 4.26. graphe de contrainte

D'après la figure le vis+arbre est complètement en couleurs verte ce qui correspond, dans le diagramme de contrainte de Y Normal Stress , à une fourchette de contrainte qui varie entre $4.954E5N/m^2$ et $-3.992E5N/m^2$. Cela nous permet de constater que les sollicitations qui lui sont appliquées n'influent pas sur sa structure, cependant sa résistance dans le cas statique est vérifiée.

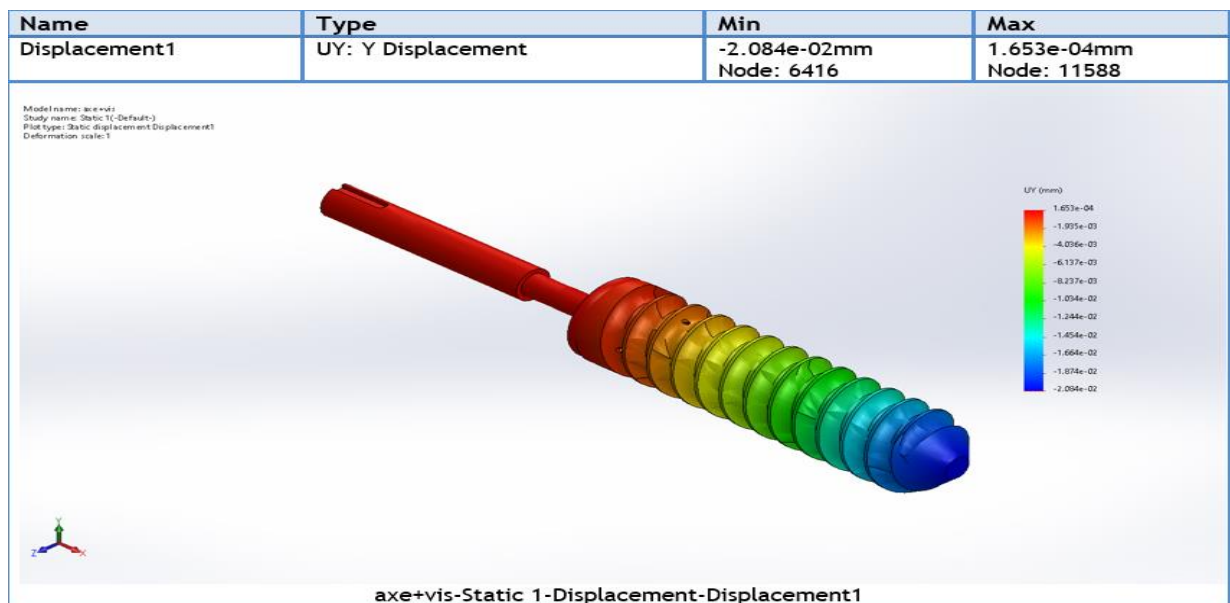


Figure 4.27. graphe de déplacements

L'analyse de la figure nous montre que le déplacement maximum se situe au milieu du mécanisme ce qui est attendu puisque la charge imposé est une déformation maximale est de l'ordre de $1.653E-4mm$.

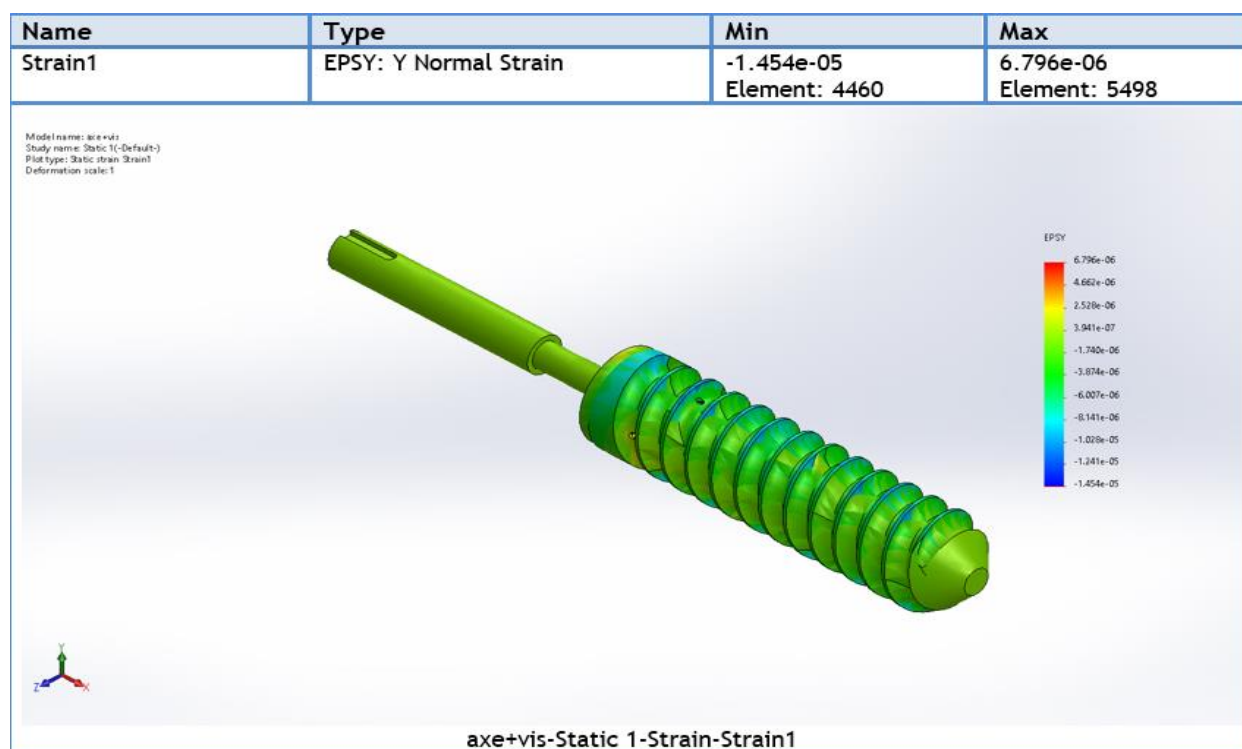


Figure 4.28. Graphe de déformations

La figure (4.28) justifie l'état de contrainte de vis, telle que la variation de la déformation est comprise entre $-1.454e-05$ et $6.796e-06$, qui est une déformation minimale par rapport aux dimensions des différents éléments.

Propriétés de l'étude

Tableau 4.2. Propriétés de l'étude

Study name	Static 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic

Large déplacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (C:\Users\yanal\OneDrive\Desktop\solideworeks file)

Unites

Tableau 4.3. Unites

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

4.9) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux organes de notre machine. Nous avons discuté des caractéristiques de chaque organe et de la façon selon laquelle il a été sélectionné, en plus des étapes de conception et de fabrication pour certains d'entre eux.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons la partie électrique de la machine, pour expliquer son fonctionnement et sa commande.

Chapitre 5

*Mise en œuvre de la
partie électrique de la
machine*

5.1) Introduction

La partie électrique de notre machine contient plusieurs composants électriques. L'assemblage de ces composants industriels va nous permettre de concevoir le pupitre de contrôle et de commande de la machine assurant son exploitation en toute sécurité.

Tout le matériel électrique industriel sera logé dans un coffret spécifique permettant de réaliser tout le câblage de la commande à distance du moteur, mais également d'automatiser les séquences de fonctionnement avec des temporisations de marche et de repos. Ce Coffret assure également la protection de tous les équipements utilisés selon les normes industrielles en vigueur.

Le long de ce chapitre, nous allons décrire l'essentiel des équipements électriques utilisés pour la mise en œuvre de la partie commande de notre machine.

5.2) Armoire électrique

Les armoires électriques sont des boîtiers robustes utilisés pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation.

Les armoires électriques protègent ainsi l'alimentation électrique contre l'eau, la poussière et la chaleur, mais aussi contre le vandalisme par des personnes non autorisées.

En fonction de l'application envisagée et l'environnement dans lequel elle sera déployée : la taille, le matériau et le niveau de protection IP requis de l'armoire électrique diffèrent [19].



Figure 5.1. Quelques modèles d'armoires électriques.

La mise en œuvre et l'exploitation de notre machine a nécessité le déploiement d'une armoire électrique de marque AP Electric (Turquie) [20]. Elle est dotée d'une plaque de montage galvanisée (acier 1 mm) et de deux 2 pièces pour verrouillage. Ses dimensions extérieures sont 500 x 400 x 180 mm, le tout se met dans un Coffret qui obéit à la norme IP65 (Fig.5.2). En ce qui concerne le premier chiffre de l'IP, i.e. 5, il signifie tout simplement une armoire électrique complètement hermétique à la poussière. Le chiffre 6 signifie une protection contre les jets d'eau.



Figure 5.2. Armoire électrique de notre machine gâteaux

5.3) Les composants électriques de l'armoire

L'armoire électrique contient de nombreux composants importants pour le bon fonctionnement de la machine ainsi que les systèmes de protection nécessaires pour communiquer les informations de fonctionnement à l'utilisateur (fig. 5.3). Nous allons décrire dans la suite brièvement ces composants.



Figure 5.3. Les composants électriques de notre machine gâteaux

5.3.1) Variateur électronique de vitesse

Un variateur électronique de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse et le couple d'un moteur électrique à courant alternatif en faisant varier la fréquence respectivement le courant, délivrées à la sortie de celui-ci [21].

Il permet d'améliorer les performances des moteurs afin qu'ils répondent aux besoins de l'industrie ou des usagers. Les paramètres à gérer sont : l'accélération, la vitesse, la température, la tension, le flux, le courant et le couple.

Le SINAMICS V20 compact [22] que nous avons utilisé dans la machine (fig. 5.4) est le convertisseur de fréquence pour les séquences de mouvement simples. Il se caractérise par des temps de mise en service courts, une manipulation aisée et des fonctions d'économie d'énergie. Le convertisseur avec ses neuf tailles couvre la plage de puissance de 0,12 kW à 30 kW.

- SINAMICS V20 - 1 AC
- 200-240 V AC (-15 % +10 %)
- Fréquence secteur : 47-63 Hz
- Puissance nominale : 0,25 kW
- Interface E/S : 4 DI/2 DO/2 AI/1 AO
- Indice de protection : IP20

- Taille: FSAA
- Bus de terrain : USS/MODBUS RTU avec BOP intégré
- Filtre intégré



Figure 5.4. Variateur Siemens de vitesse v20

5.3.2) LE DISJONCTEUR

Un **disjoncteur** est un interrupteur électrique à commande automatique conçu pour laisser circuler le courant électrique, et, protéger un circuit électrique contre les dommages causés par un courant excessif provenant d'une surcharge, d'un court-circuit ou d'une fuite à la terre (disjoncteur différentiel). Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique [23].

Le choix d'un tel dispositif de protection dépend notamment de la nature du circuit à protéger, c'est à dire du type d'appareil et de la section des conducteurs utilisés pour le raccordement.

Nous avons choisi un disjoncteur triphaire 400v-32A de marque ENERGICAL de dimension 9.1×8×21.7 cm et de fréquence 50-60 Hz (Fig.5.5) [24].



Figure 5.5. DISJONCTEUR TETRAPOLAIRE

5.3.3) CONTACTEUR ÉLECTRIQUE

Le contacteur est un composant électromagnétique. Il fonctionne comme un interrupteur à l'intérieur d'un circuit en établissant ou en interrompant le passage du courant. Ce n'est pas un composant indispensable dans une installation électrique mais les bénéfices résultant de son emploi sont importants [25].



Figure 5.6. Contacteur électrique Schneider

Le rôle d'un contacteur jour/nuit ou heures creuses est de mettre en service automatiquement des équipements électriques à consommation élevée lorsque le prix du kilowatt par heure est faible. Cet appareil possède trois options de réglage : marche automatique, arrêt et marche manuelle (pendant les heures pleines).

En fonction du modèle, il peut avoir des contacts auxiliaires intégrés ouverts ou fermés. Il peut supporter l'ajout d'additifs ou de blocs auxiliaires qui serviront seulement pour la commande à distance ou la signalisation. Un contacteur est constitué par une bobine, un ressort de rappel, 2 à 4 contacts de puissance ou pôles (unipolaires, bipolaires, tripolaires, tétrapolaires), un circuit magnétique constitué d'un aimant fixe et d'un aimant mobile (armature fixe et mobile), une bague de déphasage qui stabilise les vibrations des bobines alimentées en courant alternatif ainsi que des contacts auxiliaires ouverts ou fermés [26].

On choisit en général un contacteur en fonction de la tension de commande de la bobine du contacteur, de la tension d'alimentation du récepteur, du nombre de contacts de puissances (1, 2, 3 ou 4), de la puissance consommée par le récepteur et du pouvoir de coupure de courant maximal que le contacteur peut supporter.

Nous avons choisi un conducteur de type Schneider (fig. 5.6) qui contient 3 pôles avec une tension d'alimentation 220 v.

5.3.4) RELAIS THERMIQUE DE PROTECTION

Les relais thermiques protègent les moteurs électriques contre les surintensités [27]. L'augmentation excessive de l'intensité se traduit par un échauffement des enroulements du moteur pouvant entraîner sa destruction. Les causes des surintensités sont nombreuses :

- Baisse de la tension du réseau.
- Surcharge mécanique (roulements usés, couple trop important).
- Fonctionnement sur deux phases.
- Sur-débit (notamment pour les ventilateurs de soufflage, de reprise, d'extraction).

- Sur-couple au démarrage.
- Démarrage trop fréquent.

La courbe de déclenchement d'un relais thermique permet le démarrage (forte intensité) d'un moteur à froid grâce à un temps de coupure très long tout en protégeant celui-ci si l'intensité atteint une valeur trop importante à chaud (temps de coupure très court). Notons que relais thermique n'a pas de pouvoir de coupure, étant toujours associé à un contacteur le relais thermique coupera par le biais d'un contact auxiliaire l'alimentation du contacteur.



Figure 5.7. Relais thermique Schneider

En général, un relais thermique comprend trois bilames constitués chacun de deux métaux (nickel et fer ou chrome et fer) assemblés par laminage à froid et dont le coefficient de dilatation est différent [27]. Un enroulement résistant et chauffant entoure les bilames et sont raccordés en série sur chacune des phases, l'échauffement causé par le passage du courant permet la déformation du ou des bilâmes. Cette déformation actionne un contact relié au circuit de commande contacteur qui alimente le moteur. Une fois les bilames refroidies le réarmement est possible soit manuellement soit automatiquement. Pour éviter le déclenchement du relais thermique dû à la variation de la température ambiante, un système de compensation est monté sur les bilames.

Nous avons choisi un relais thermique Schneider ayant un circuit de puissance supportant 690 V et une zone de réglage de protection thermique entre 1.6A et 2.5A et classe de surcharge thermique 10A (Fig.5.7).

5.3.5) Relais électromécanique

Un relais électromécanique est un organe très commun en électrotechnique, il est chargé de transmettre un ordre entre la partie commande et la partie puissance d'un appareil électrique. Un relais est composé principalement d'un électroaimant, qui lorsqu'il est alimenté, transmet une force à un système de commutation électrique [28].



Figure 5.8. Relais électromécanique Schneider 220V

L'électroaimant peut être, suivant les spécifications et besoins, alimenté en TBT 5V ~ 48V ou en BT 110V ~ 400V. Le système de commutation peut être composé d'un ou plusieurs interrupteurs simple effet, d'un ou plusieurs inverseurs. Ces commutateurs sont adaptés aux courants et à la gamme de tensions à transmettre à la partie puissance. Dans les systèmes mettant en œuvre une certaine puissance, on appelle les relais des contacteurs. Divers systèmes mécaniques ou pneumatiques peuvent créer un retard à l'enclenchement ou au relâchement. Dans certains relais, une partie mécanique annexe permet un blocage des commutateurs dans une position précise. Certains sont même munis de deux bobines : une pour enclencher la commutation, l'autre pour l'interrompre.

La commande de notre machine utilise un relais électromécanique RXM à 14 broches (Fig.5.8), 230V-AC et de fréquence 50-60 Hz, et son courant thermique est 6A [29].

5.3.6) Relais temporisé

Le temporisateur électrique est un dispositif d'automatisme permettant de contrôler des actions sur un appareil gérant le temps d'exécution et le temps avant exécution. Le relais temporisateur est principalement utilisé dans le cadre de commande servant à faire déclencher l'ouverture ou enclencher la fermeture d'un circuit. L'action d'un relai temporisé se réalise ainsi à un temps et pendant une durée réglée au préalable par l'utilisateur [30].

Le relais temporisé 220V – 230V rend possible la création d'actions séquentielles d'un appareil électrique tel qu'une machine industrielle. Il est donc possible de configurer un relais temporisé afin de créer des cycles de temporisation uniques ou répétitifs de durée et d'action différentes.



Figure 5.9. Relais temporisé DH48S-S [31]

Les caractéristiques du relais temporisé utilisé dans notre machine DH48S-S (fig. 5.6) sont :

- Largement utilisé pour le contrôle des délais dans les systèmes d'automatisation industrielle et les équipements mécaniques.
- Affichage à LED: haute luminosité, affichage numérique clair du tube LED, il peut être vu clairement, peu importe le jour ou la nuit.
- Bouton de réglage flexible: bouton élastique, convient pour un grand espacement, ajustement rapide, facile à utiliser.
- Relais et transformateur: tous deux adoptés en matériau de fil de cuivre pur.
- Le relais est étroitement lié à la base et la conductivité est excellente.
- Voltage 220V AC

5.4) Les distributeurs pneumatiques

Ils ont pour fonction essentielle de distribuer le fluide dans des canalisations qui aboutissent aux chambres des vérins. Comme le contacteur associé à un moteur électrique, le distributeur est le pré-actionneur associé à un vérin pneumatique. Le distributeur comporte un coulisseau, ou tiroir qui se déplace dans le corps du distributeur. Il permet de fermer ou d'ouvrir les orifices par où circule l'air (orifices 2 & 4), [32] (fg 5.10).

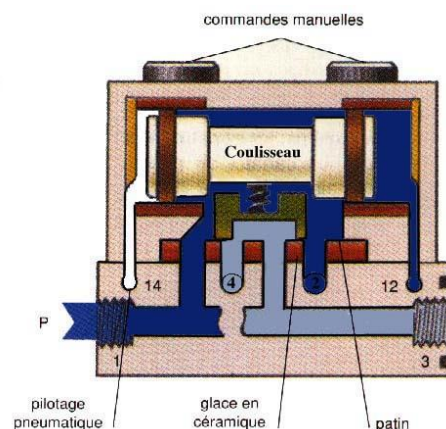
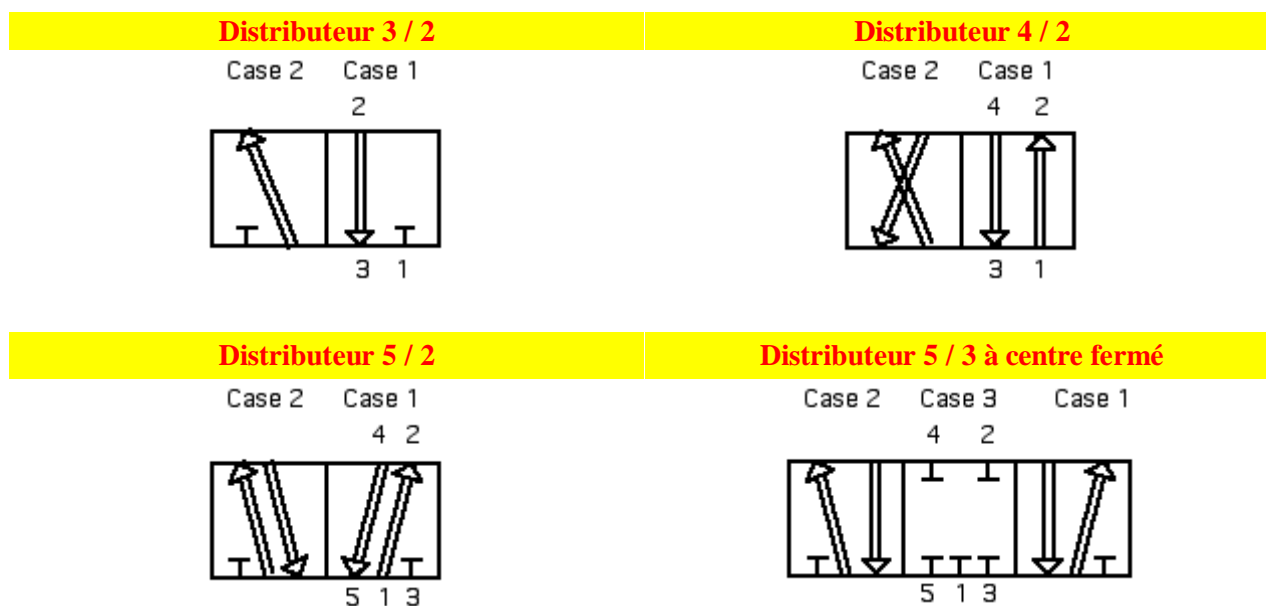


Figure 5.10. Coupe transversale du distributeur [32]

5.4.1) Représentation schématique des distributeurs

La représentation d'un distributeur s'effectue à l'aide de cases. Il y a autant de cases que de positions possibles. A l'intérieur des cases, on représente les voies de passage de l'air pour chacune des positions. Pour caractériser un distributeur, il faut définir le nombre de voies ou

d'orifices ainsi que le nombre de positions (**exemple** distributeur 3/2 : ce distributeur comprend 3 orifices et 2 positions). Nous avons choisi un distributeur pneumatique 5/2. [32]



5.4.2) Différents types de distributeur

Ils sont fonction du vérin associés : Si le vérin est à simple effet et ne comporte donc qu'un seul orifice à alimenter, on utilise un distributeur ne comportant qu'un seul orifice de sortie : distributeur 3/2 à trois orifices (pression, sortie, échappement) et à deux positions. Si le vérin est à double effet et comporte donc deux orifices sur lesquels il faut alterner les états de pression et d'échappement, on utilise un distributeur comportant deux orifices de sortie. Pour notre machine, nous avons choisi un distributeur pneumatique 5/2 monostable a commandé électropneumatique, pilotage pneumatique et manuel rapport par ressort (fig. 5.11). [32]. Deux possibilités sont offertes:

- Distributeurs 4/2 à quatre orifices (pression, sortie 1, sortie 2, échappement) et deux positions.
- Distributeurs 5/2 à cinq orifices (pression, sortie 1, sortie 2, échappement 1, échappement 2) et deux positions.

Dans les cas particuliers où il est nécessaire d'immobiliser ou de mettre hors énergie le vérin double effet, on utilise un distributeur 5/3 (cinq orifices, trois positions) à centre fermé ou à centre ouvert.

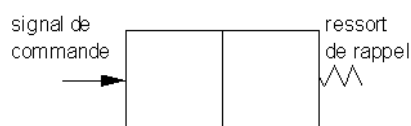
5.4.3) Pilotage des distributeurs

On distingue les deux modes de pilotage suivants: [32].

- **Bistable** : le distributeur garde sa position en l'absence de signal de pilotage (fonction mémoire).



- **Monostable** : le distributeur est rappelé dès la disparition du signal de pilotage par un ressort.



Les distributeurs sont à pilotage pneumatique ou, avec l'addition d'électrovannes à pilotage électrique.

Pilotage pneumatique	Pilotage électrique	Pilotage manuel

Par ailleurs, les commandes manuelles auxiliaires facilitent les interventions de mise au point sur les machines. Pour notre machine, on a utilisé un Distributeur pneumatique 5/2 smc illustré par la figure 5.11.



Figure 5.11. Distributeur pneumatique 5/2 smc

5.5) Schéma électrique de machine

L'organisation de la partie électrique de notre machine peut être techniquement décrite en se basant sur deux schémas essentiels :

- Le schéma de puissance (fig. 5.12) qui décrit le circuit de puissance de la machine
- Le schéma de commande (fig. 5.13) qui décrit le circuit de commande de la machine

5.5.1) Le schéma puissance 220v~380v (fig. 5.12)

Le rôle du circuit de puissance est d'alimenter les actionneurs du système (les moteurs, variateur...) via des câblées en fils de section 2.5mm² à partir d'un circuit électrique triphasé. La figure (5.12) illustre ce schéma où Le Bleu indique le neutre et les autres Couleurs indique les 3 phases.

Sur ce circuit de puissance, On y trouve les parties « puissance » des différents appareillages utilisés notamment celles :

- des Disjoncteurs (Q1, Q2)
- Du Contacteur moteur vis (KM1)
- Du Relais de protection thermique (-F)
- des Actionneurs (M1, M2),
- Du variateur(G) et des voyants présence d'électricité 3 pôles (H1, H2, H3)

Les différents symboles qui apparaissent sur le schéma de la puissance sont résumés dans le tableau (5.1).

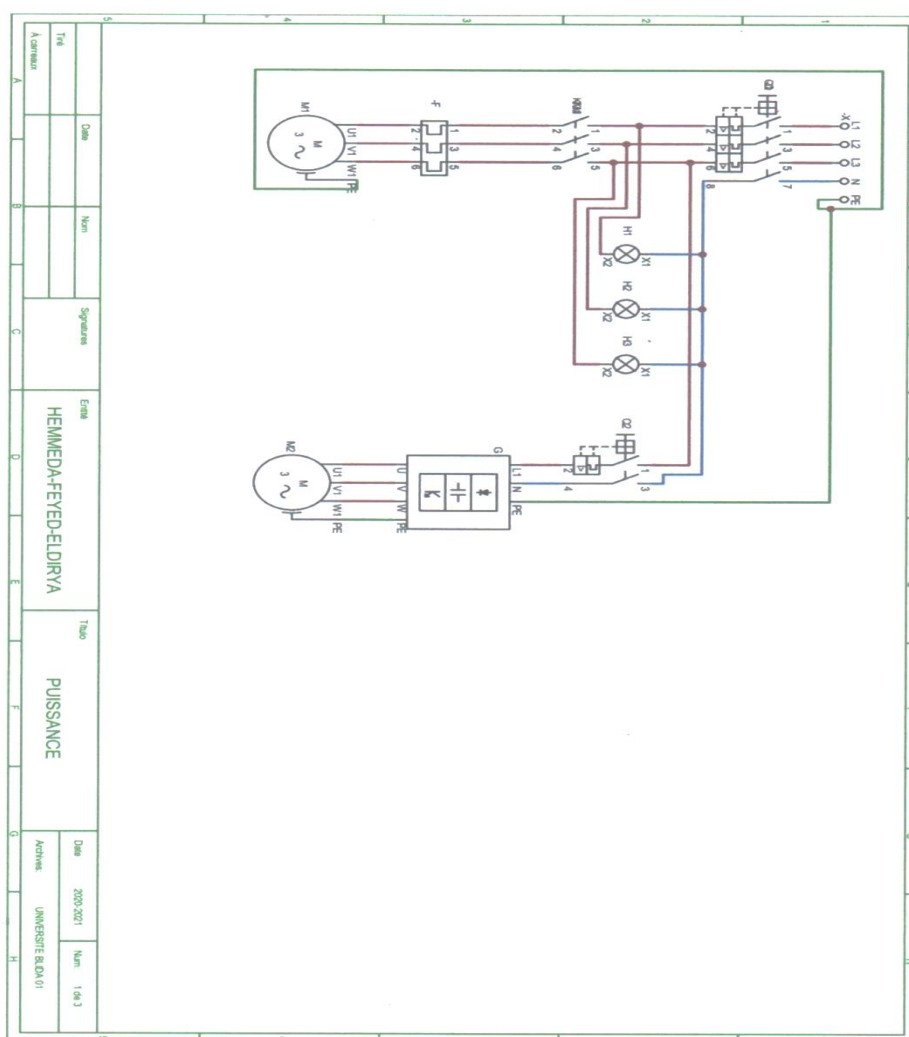
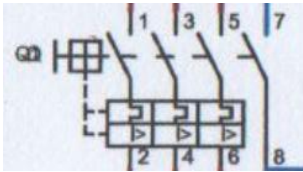

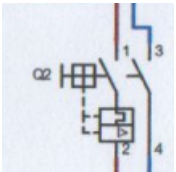

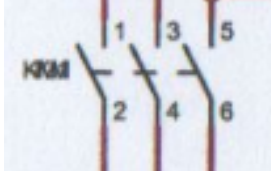

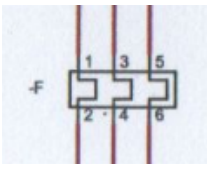

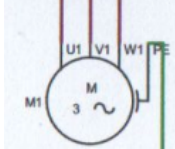

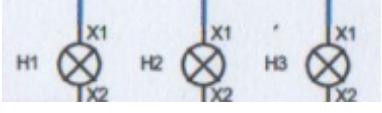

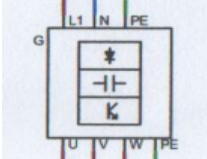

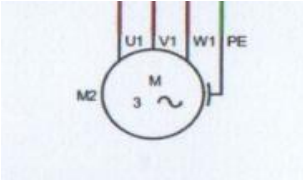



Figure 5.12. Schéma électrique de la partie puissance

Tableau 5.1. Présentation les symboles partie puissance

Nom des symboles	Symboles	corps réel 3D	Descriptions des symboles
<i>Q1</i>			<i>Disjoncteur tétra polaire</i>
<i>Q2</i>			<i>Disjoncteur Bipolaires</i>
<i>KM1</i>			<i>Contacteur électrique sur partie puissance</i>
<i>-F</i>			<i>Relais thermique partie puissance</i>
<i>M1</i>			<i>Moteur électrique de vis sans fin</i>
<i>H1, H2, H3</i>			<i>trois voyantes jaunes présences les 3 phases L1, L2, L3</i>
<i>G</i>			<i>Variateur électronique de vitesse 220v partie puissance</i>
<i>M2</i>			<i>Moteur électrique de tapis</i>

5.5.2) Le schéma commande 220v (fig. 5.13)

Le rôle du circuit commande décrit par la figure 5.13 est d'alimenter les parties commande des appareillages utilisés. Cette partie est câblée en utilisant des fils de faible section 1mm^2 (on a utilisé des câbles rouge et noire sont utilisés pour les phases et le bleu pour le neutre).

Dans ce circuit, on câble les parties « commande » des appareillages suivants :

- Contact relai de protection thermique (-F)
- Arête d'urgence (S1)
- Boutons poussoirs (S2, S3)
- Bobines de contacteur (KM1 : A1, A2)
- Contact auxiliaire de contacteur (km1)
- Voyants en marche (H4)
- Relais temporisé (T)

Les différents symboles qui apparaissent sur le schéma de la commande sont résumés dans le tableau (5.2)

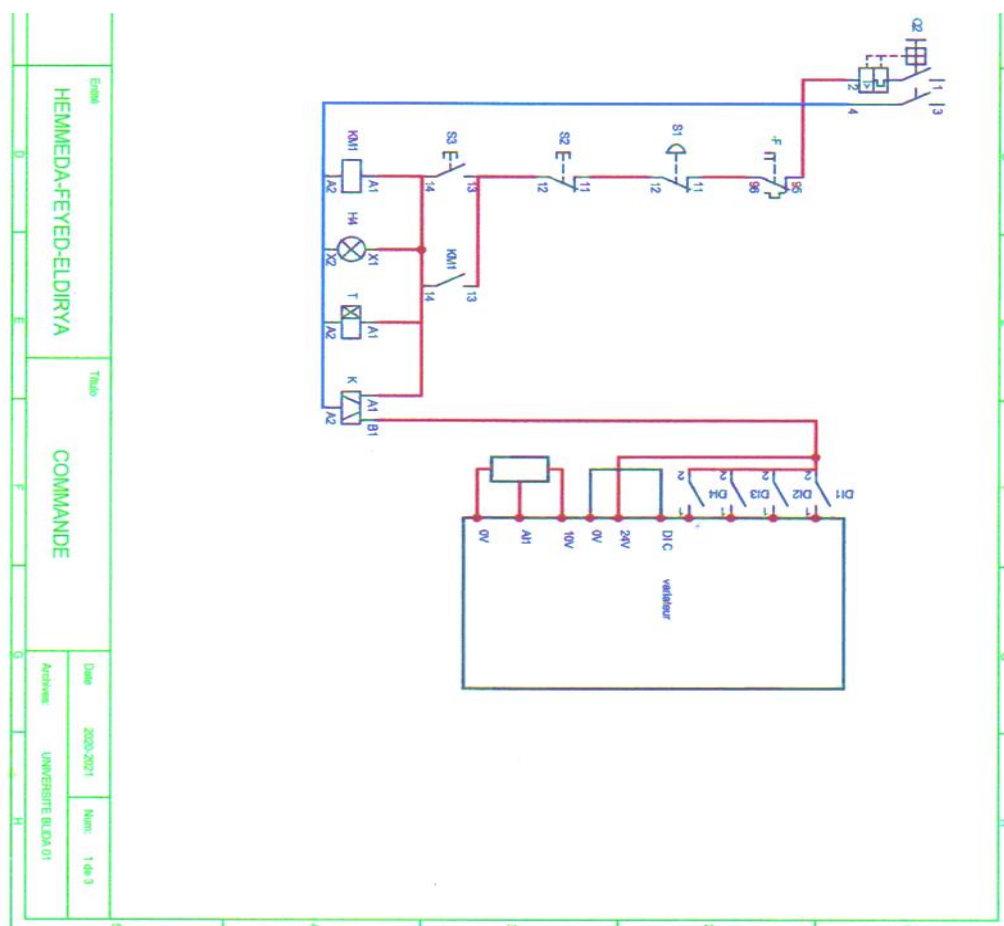
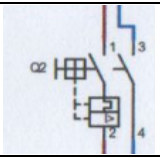

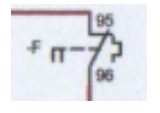

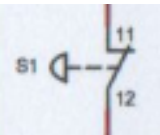

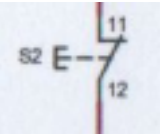

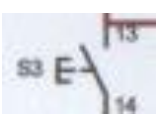

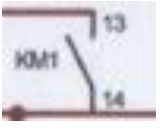

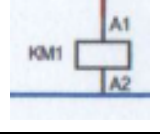

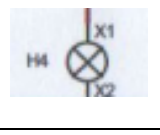

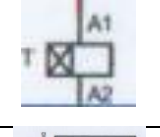

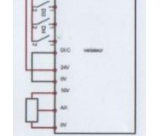



Figure 5.13. Schéma électrique partie commande

Tableau 5.2. Présentation des symboles de la partie commande

Nom des symboles	Symbole	corps réel 3D	Descriptions des symboles
Q2			Disjoncteur Bipolaires
-F			Relais thermique partie commande 95 96 NC
S1			bouton arrêt d'urgence
S2			bouton poussoir stop
S3			bouton poussoir marche
km1			auxiliaire de contracture (13&14)
Km1 (A1, A2)			Bobine de contacteur (A1, A2)
H4			Voyant vert marche de vis sans fin
T			Relais temporisateur dh48s-s
G			Variateur électronique de vitesse 220v partie commande

5.5.3) Mise en marche

Pour que la machine fonctionne, les disjoncteurs (tripolaires et bipolaires) doivent être placés en position marche (Vous devriez remarquer que les trois voyants jaune (H1, H2, H3) sont allumés) puis, appuyer sur bouton marche (S3). Ensuite, il y a excitation de la bobine (KM1) par auxiliaire de contracture (km1). Ce dernier actionne le moteur (M1) et le relais temporisé (T). Ce dernier transmet automatiquement l'électricité au distributeur pneumatique pendant le temps spécifié jusqu'à appui sur le bouton arrêt (S2) ou le bouton arrêt d'urgence (S1).

En ce qui concerne le variateur de vitesse (G), il faut appuyer sur le bouton de démarrage correspondant, cela permet pour démarrer le moteur du tapis avec la possibilité de changer sa vitesse. Le mouvement est maintenu jusqu'à appui sur le bouton arrêt.

5.6) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la mise en œuvre de la partie électrique de notre machine. Cette partie a été réalisée sur la base l'analyse fonctionnelle du chapitre 2 afin de répondre aux différentes fonctions exigées dans le cahier charges. A cet effet, nous avons décrit l'essentiel des équipements électriques utilisés et câblé selon les normes pour la réalisation des parties puissance et commande de notre machine.

Conclusion générale

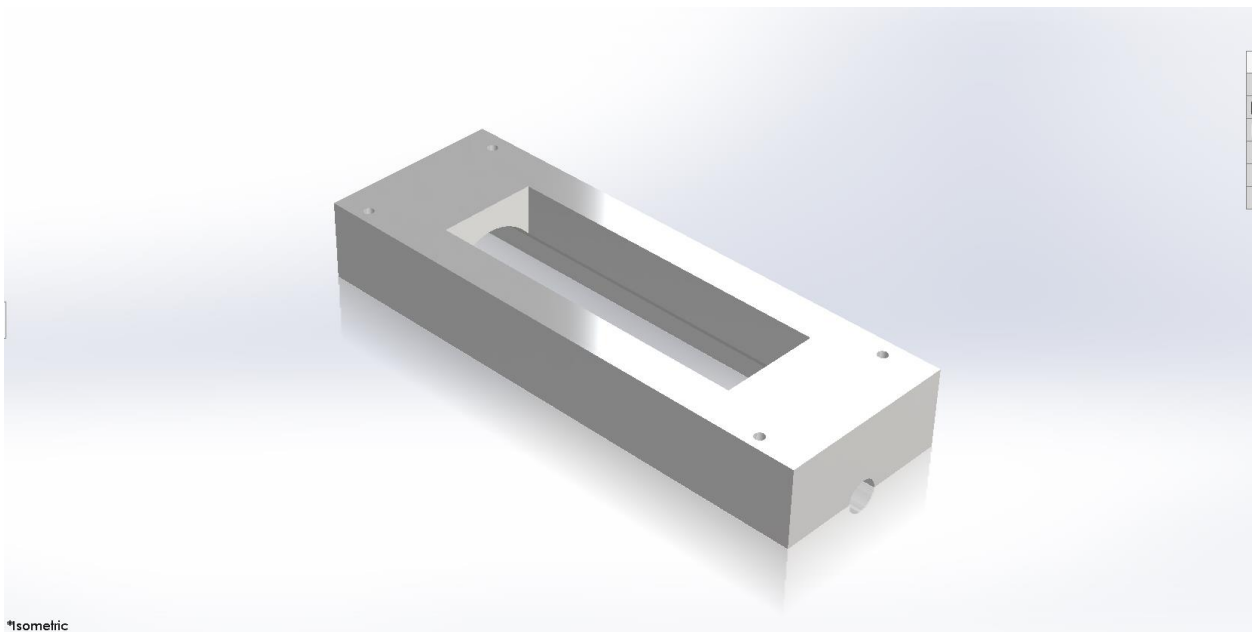
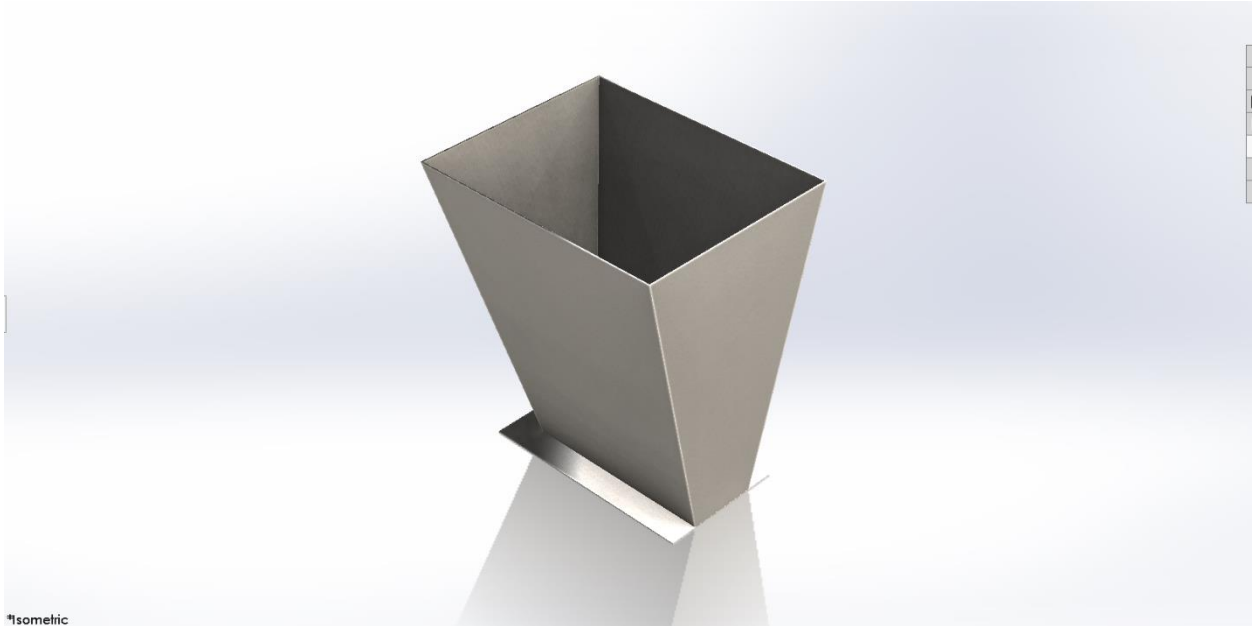
Dans le cadre de l'élaboration de notre projet de fin d'études, nous avons conçu et réalisé une machine industrielle pour la production de masse des gâteaux biscuits.

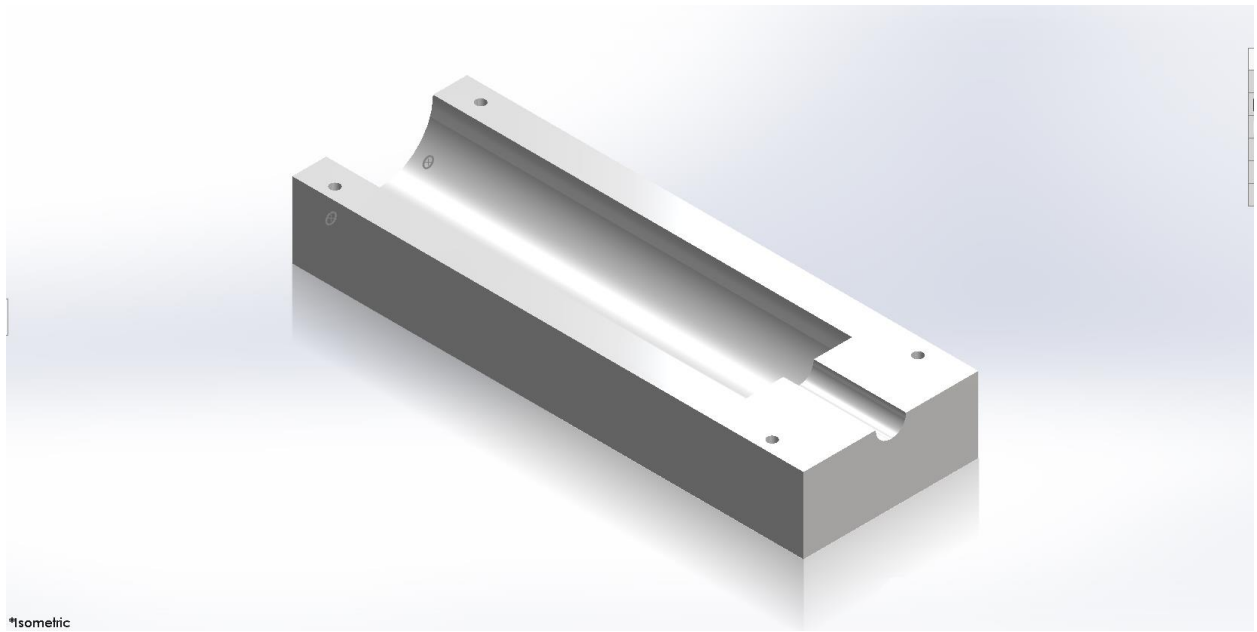
Pour mener à bien notre travail nous avons défini dans un premier temps le cahier de charges de la machine en effectuant une analyse fonctionnelle approfondie. Par la suite, nous avons procédé à la sélection des solutions technologiques appropriées pour assurer les différentes fonctions désirées. Après cela, nous avons conçu notre machine dans l'environnement SolidWorks. Un calcul de dimensionnement a été élaboré pour les principaux éléments de la machine. Après cela, nous avons passé à la réalisation des différentes pièces mécaniques du système. Enfin, après l'acquisition des modules électriques et électromécaniques disponibles sur le marché, nous avons assemblé notre machine. Les tests préliminaires indiquent que la machine est opérationnelle et répond bien aux exigences du cahier de charges initial.

Ce travail nous a permis de mettre en application nos connaissances théoriques de construction et fabrication mécanique. Vue le succès de cette expérience, qui était pour nous une occasion pour suivre de près toutes les étapes de mise œuvre d'une machine industrielle pour l'agro-alimentaire, nous pouvons envisager, avec modestie, de réaliser d'autres machines d'architectures similaires dans des délais très brefs tout en respectant les normes en vigueur.

Annexes

Dessin des pièces :





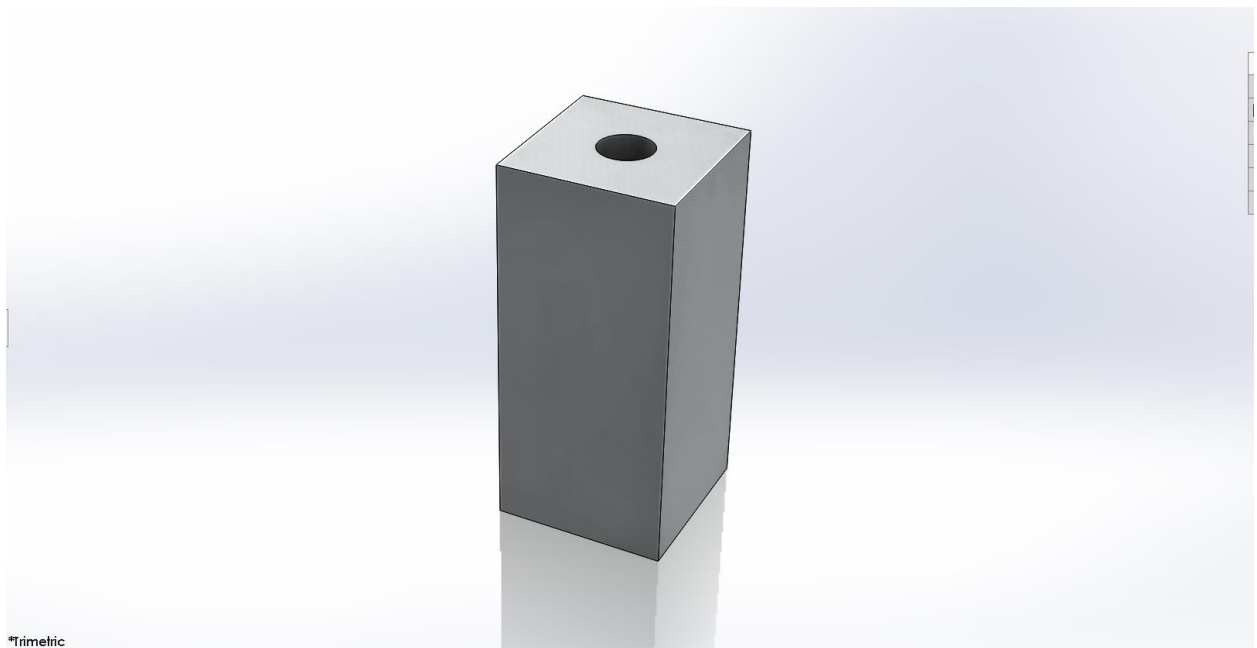
*Isometric



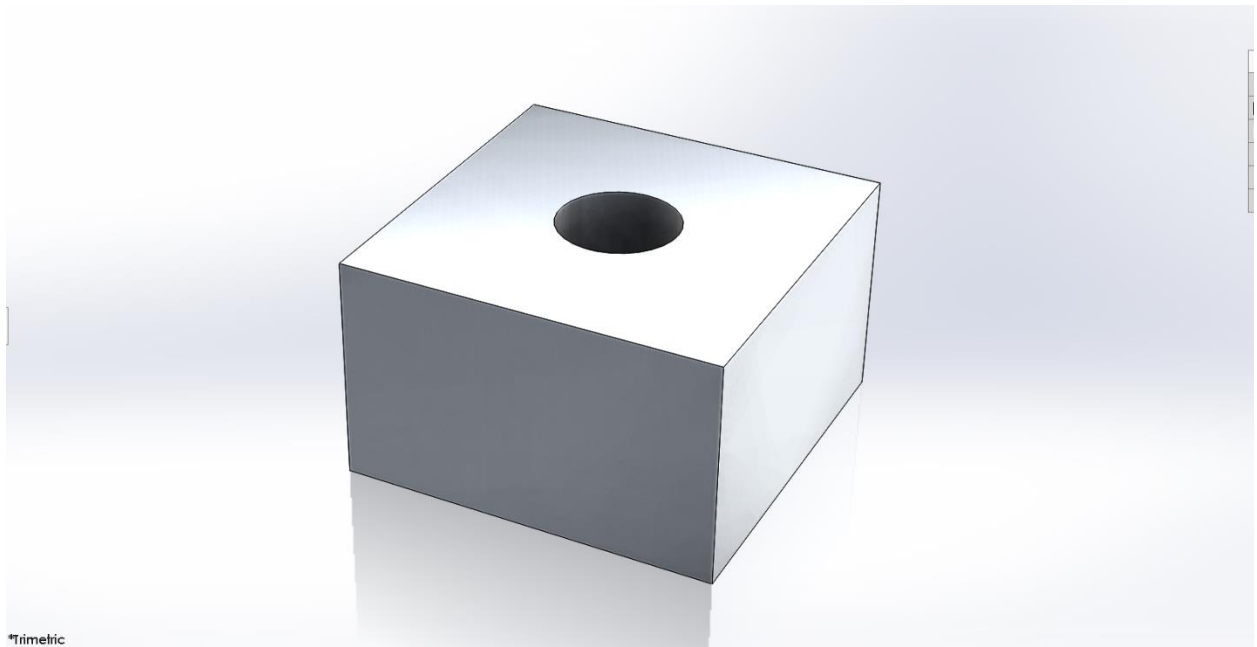
*Trimetric



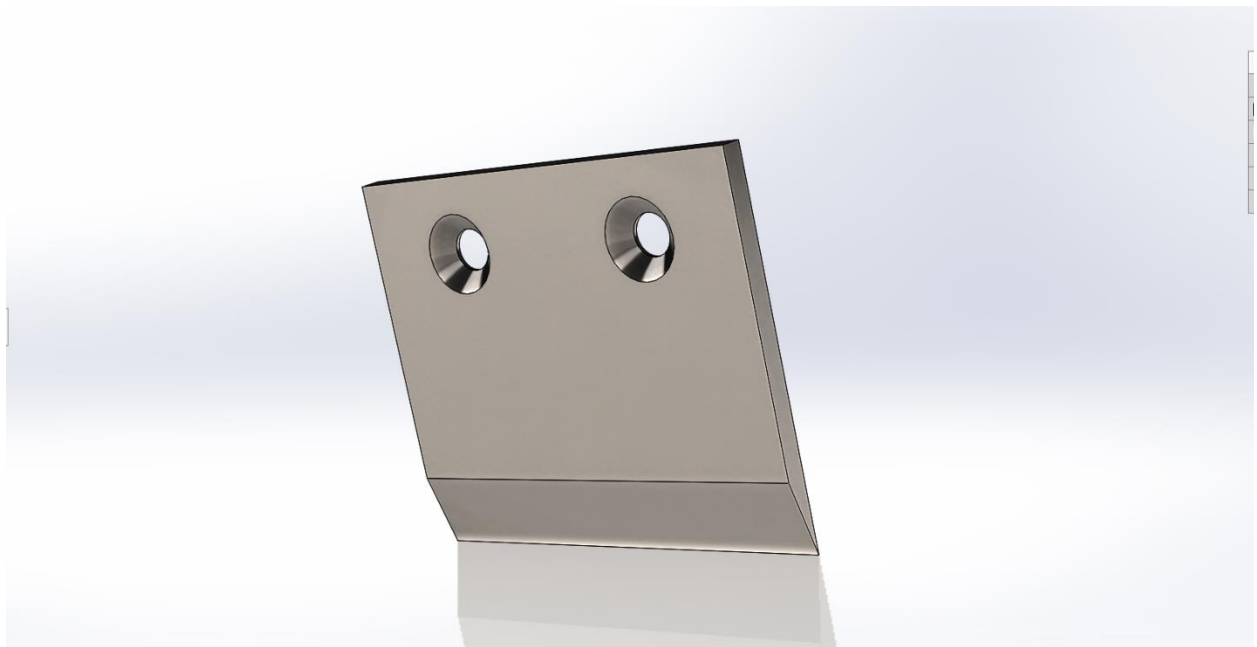
*Trimetric

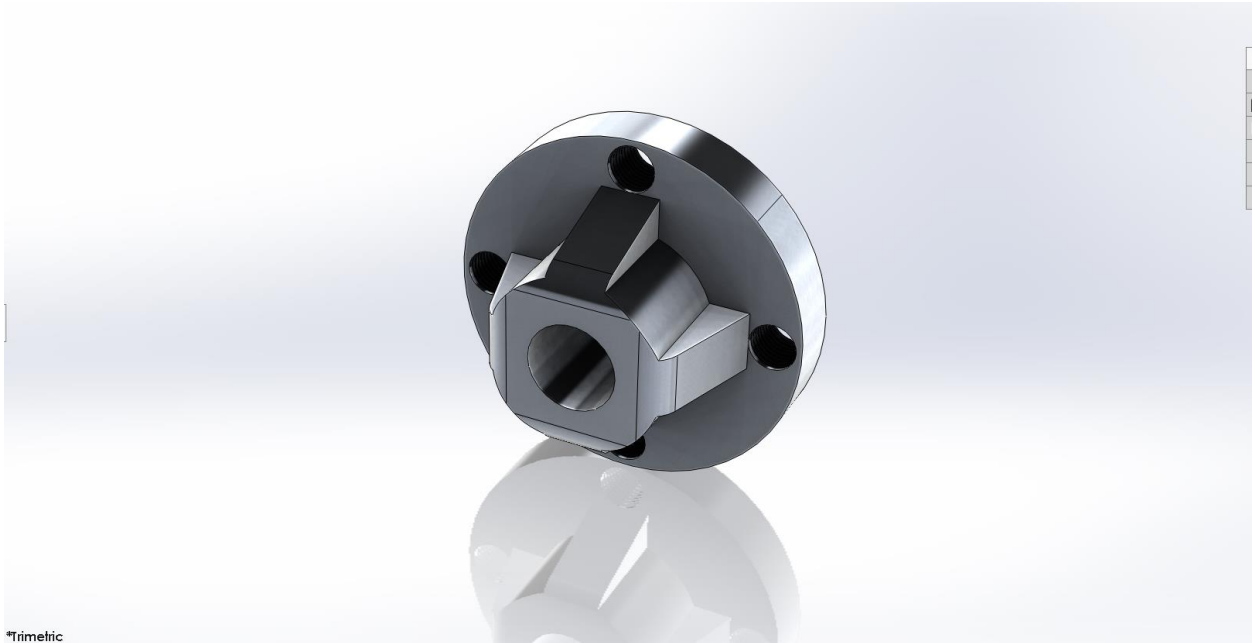


*Trimetric

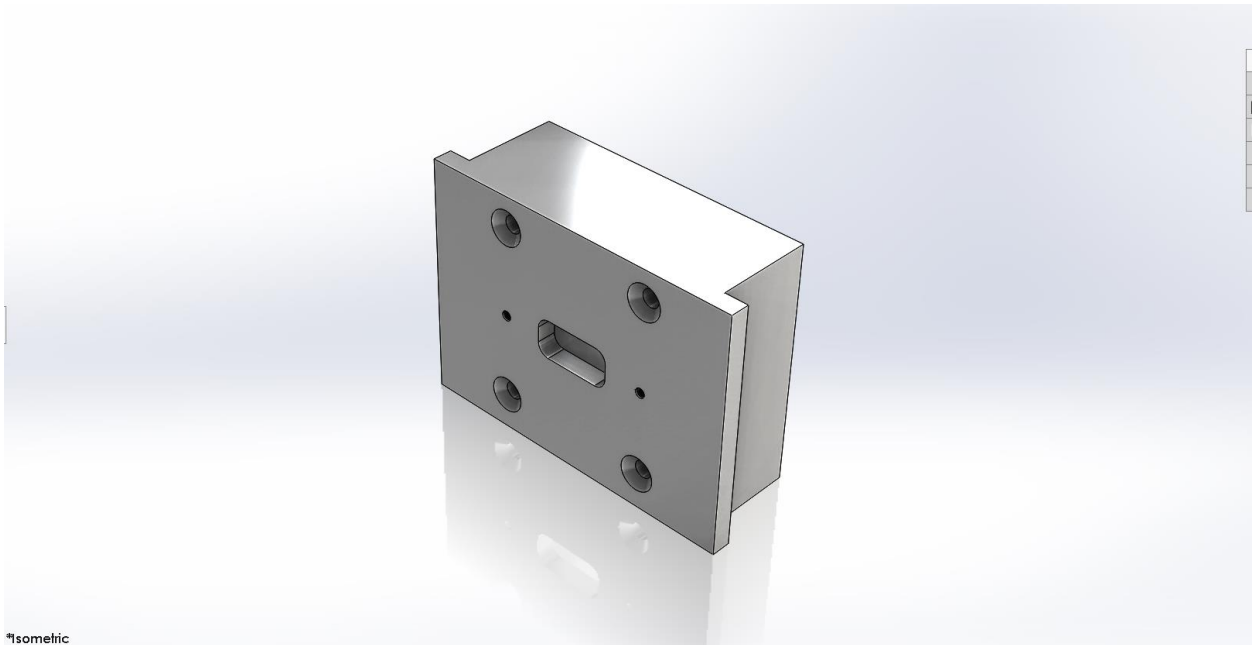


*Trimetic

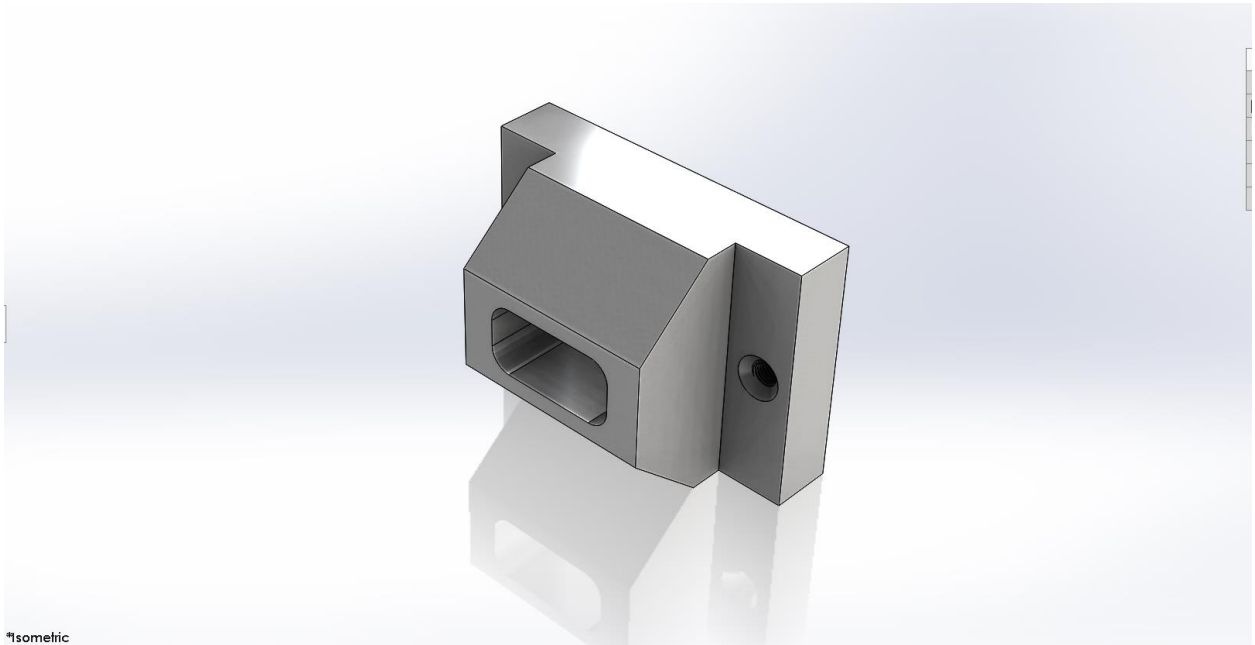




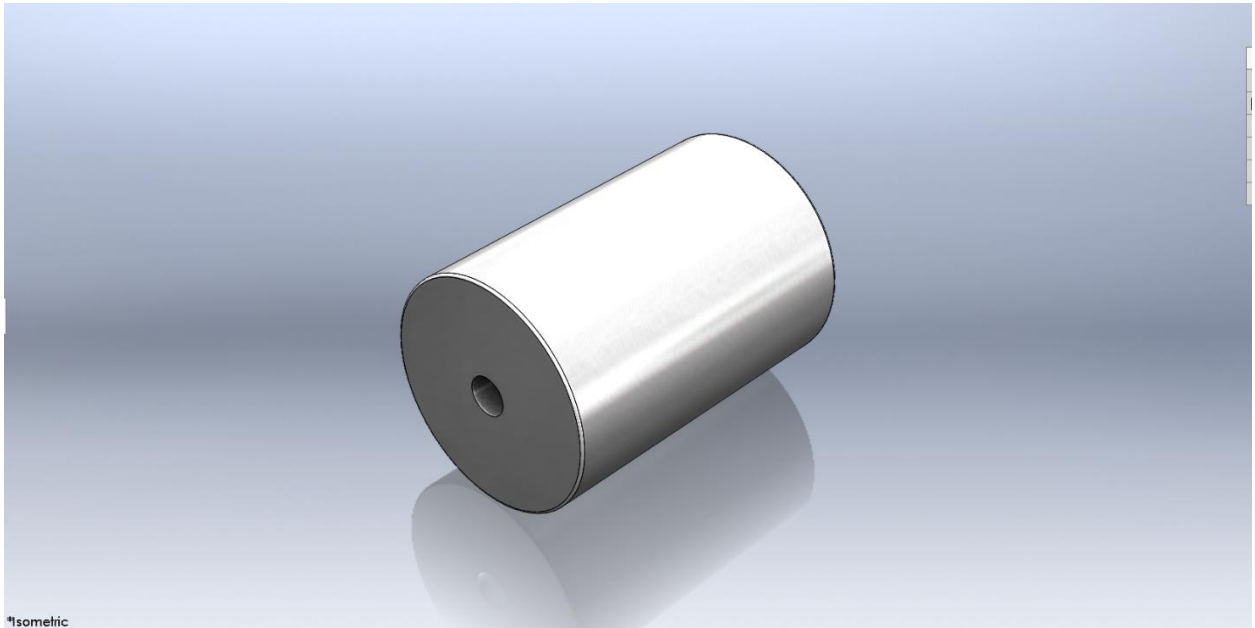
*trimetric



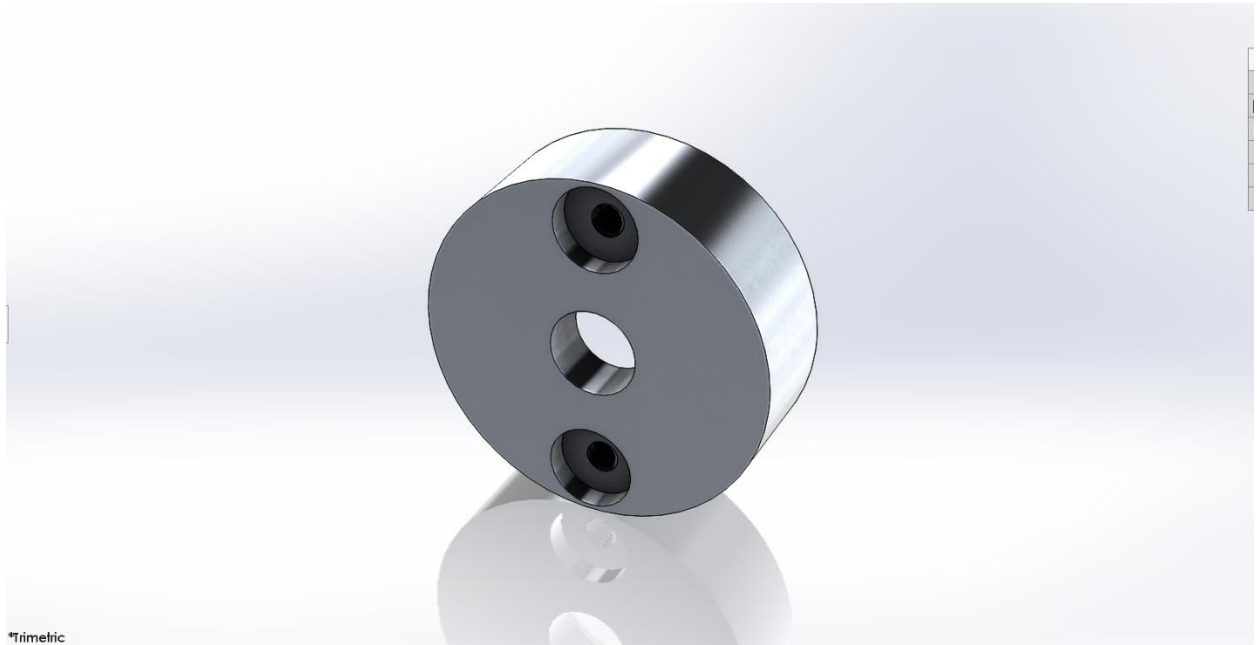
*isometric



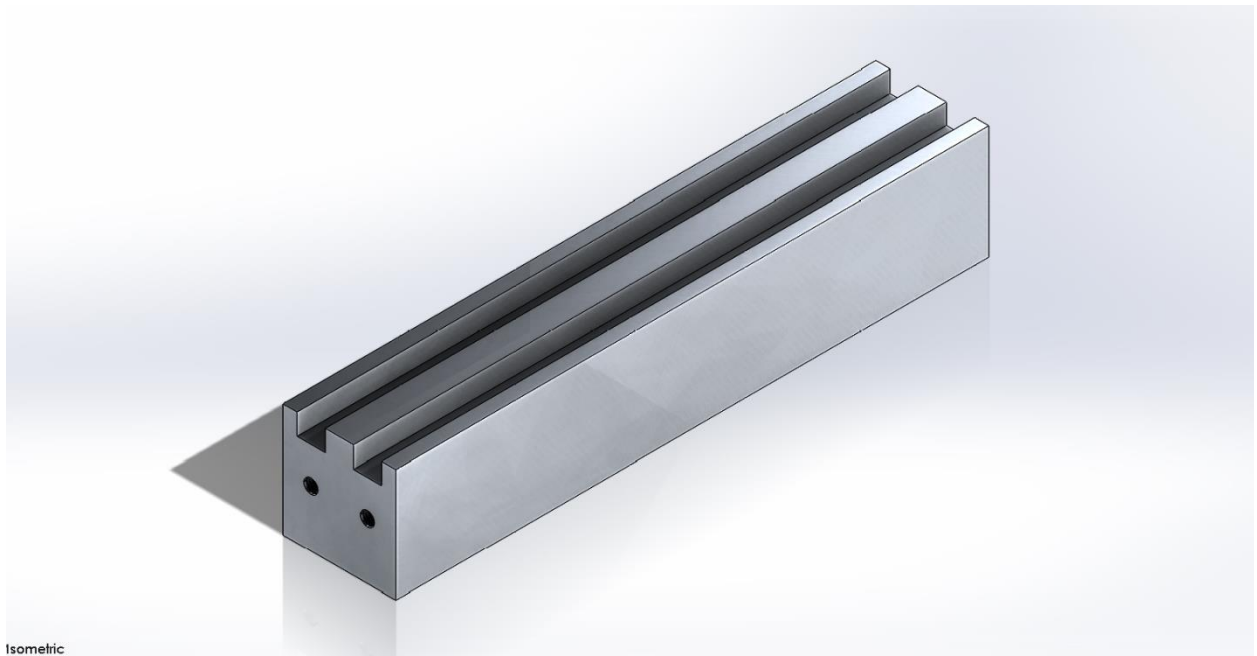
*Isometric



*Isometric



Trimetric



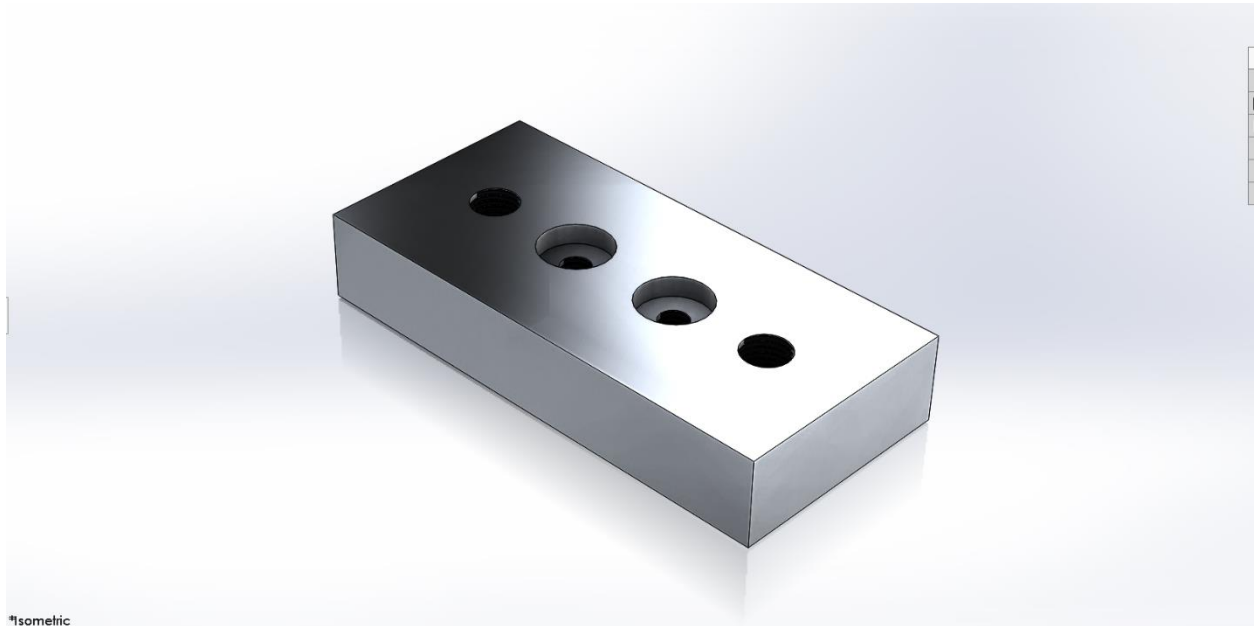
Isometric



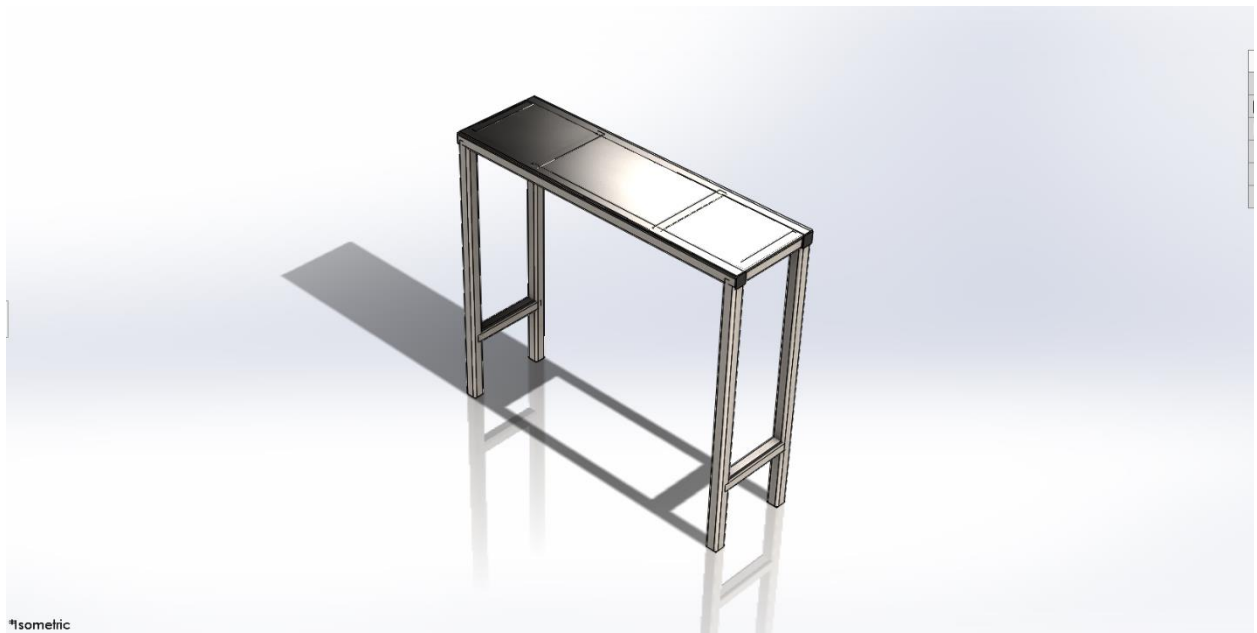
*Trimetric



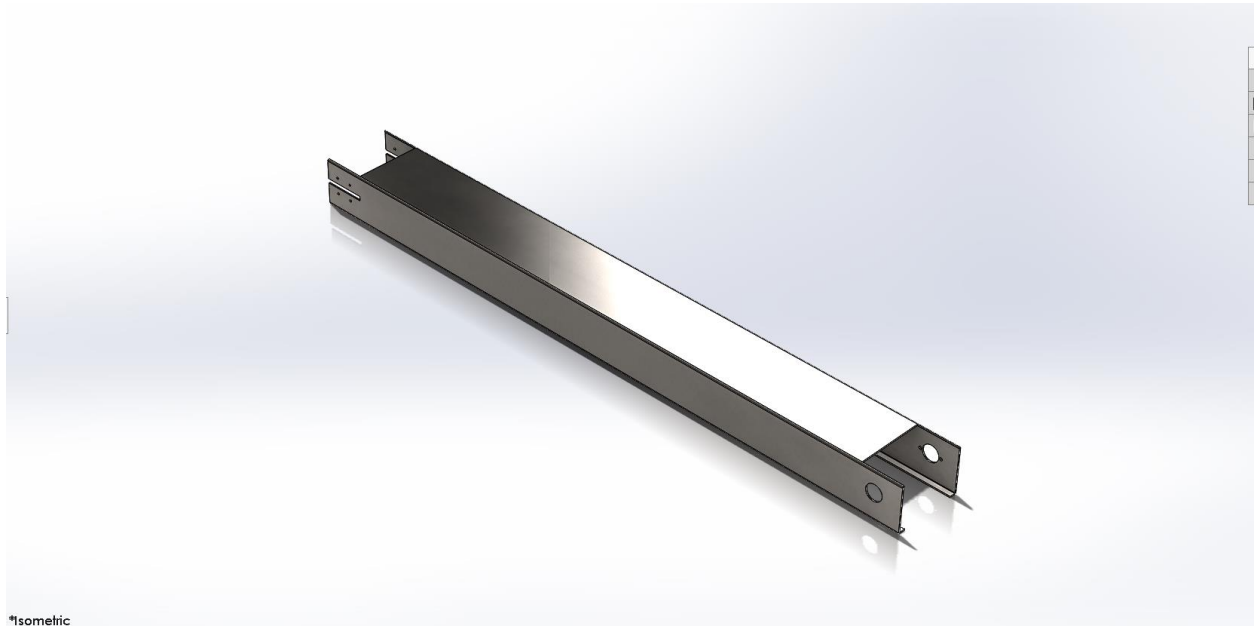
*Isometric



*Isometric



*Isometric



*Isometric



Perspective

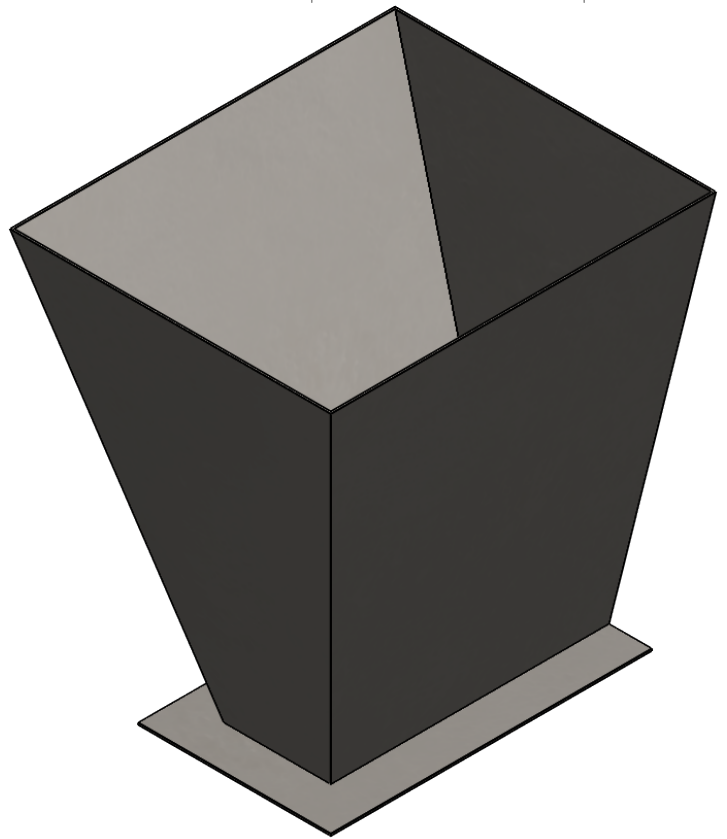
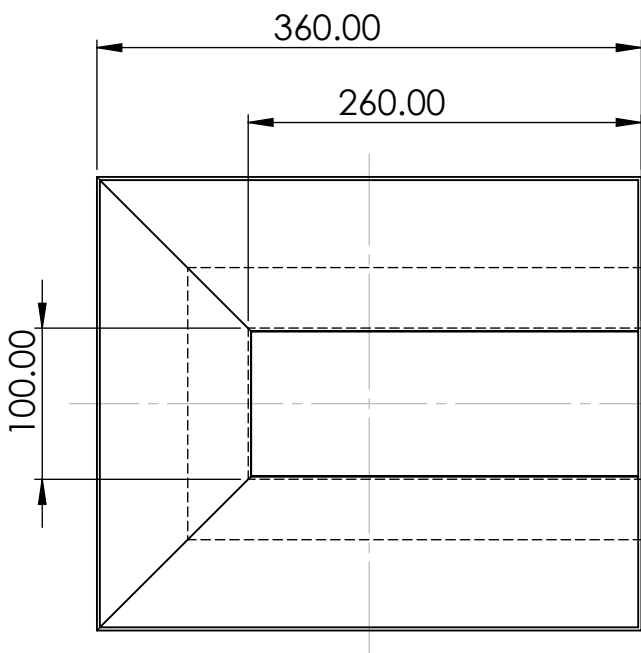
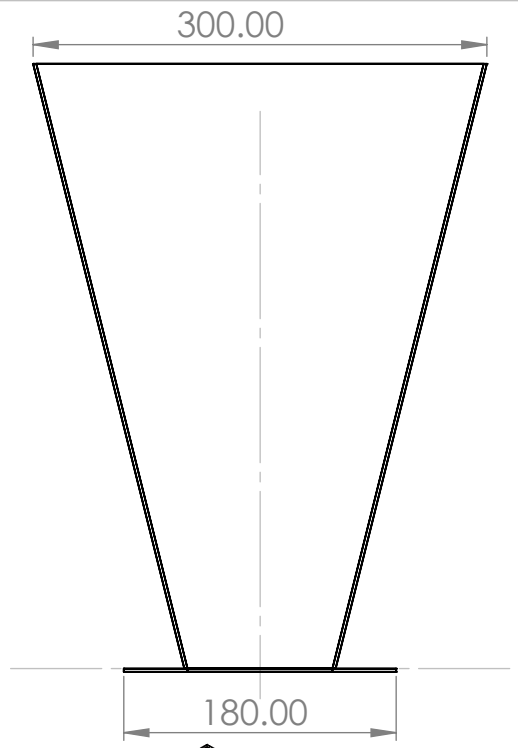
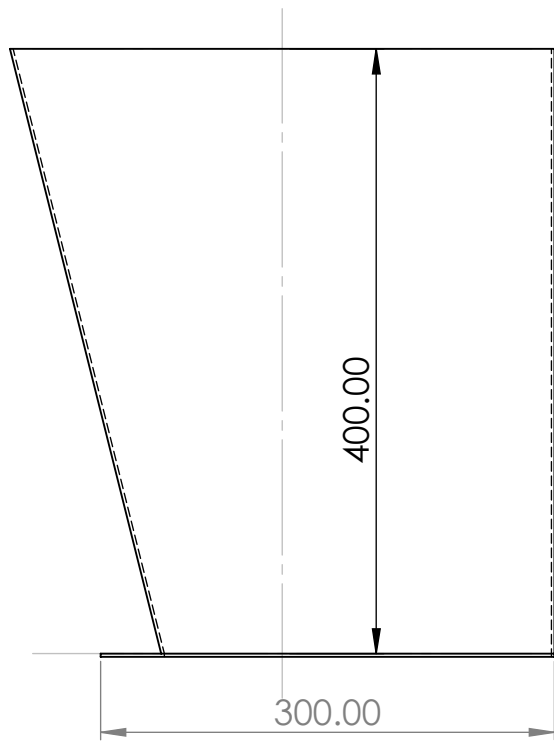




Références bibliographiques

- [1] : <https://www.pole-emploi.fr/actualites/le-dossier/agroalimentaire-industrie-et-cha/lindustrie-alimentaire.html>.
- [2] : <https://alliance-sciences-societe.fr/les-avantages-de-lautomatisation-de-lindustrie-agroalimentaire/>
- [3] : <https://www.nouvelleslitteratures.com/les-machines-qui-ont-revolutionne-l-industrie-agroalimentaire/>
- [4] : <https://www.journaldunet.fr/business/dictionnaire-economique-et-financier/1199141-cahier-des-charges-definition-traduction/>
- [5] : <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/bete-a-cornes>
- [6] : <https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-pieuvre>
- [7] : R. PAPANICOLA, *Diagramme FAST*, <http://sciences-indus-cpge.papanicola.info/Sys4-FAST>
- [8] : [Jean-Baptiste Waldner](#), *CIM : Principles of Computer Integrated Manufacturing* (John Wiley & Sons Ltd, 1992), Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 1992, 189 p. (ISBN 978-0-471-93450-9), p. 120-121
- [9] : Thibault Pairis, *Gérez vos projets : les clés pour réussir étape par étape*, Saint-Herblain, ENI, 2018, 318 p. (ISBN 978-2-409-01238-9), p. 188-191
- [10] : BTS Électrotechnique (deuxième année) – Machine à courant continu – Quadrants de fonctionnement [archive], sur physique.vije.net (consulté le 8 août 2012).
- [11] : Robert Chauprade et Francis Milsant, *Commande électronique des moteurs à courant alternatif – À l'usage de l'enseignement supérieur, écoles d'ingénieurs, facultés, CNAM*, Paris, éd. [Eyrolles](#), coll. « Ingénieurs EEA », 1980, 200 p., p. 79-92.
- [12] : <https://www.machines-outil.fr/quels-materiaux-utiliser-dans-lindustrie-alimentaire/>
- [13] : Définitions [lexicographiques](#) [archive] et [étymologiques](#) [archive] de « Vis » (sens A3b) dans le *Trésor de la langue française informatisé*, sur le site du [Centre national de ressources textuelles et lexicales](#)
- [14] : Définitions [lexicographiques](#) [archive] et [étymologiques](#) [archive] de « Arbre » (sens B2b) dans le *Trésor de la langue française informatisé*, sur le site du [Centre national de ressources textuelles et lexicales](#).
- [15] : <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/>.

- [16] : Guenouna Djemaia. Bouteldja Elhadja, UIVERSITE ABDEL HAMID IBN BADIS MOSTAGANEM Génie Mécanique (Construction mécanique) Mémoire master, Thème Etude de réducteur de vitesse pour convoyeur à sel
- [17] : « [La salle à manger pivotante de Néron](#) » [archive], sur *Info-Histoire.com*, 26 juin 2015 (consulté le 22 septembre 2020).
- [18] : CHENNINE Dalil, BOUAFAI Boualem, UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA MEMOIRE Génie Mécanique (fabrication Mécanique) Thème Etude et conception et réalisation d'un broyeur pour le recyclage des déchets plastiques.
- [19] : <https://www.diagnosticelectrique.com/definition-armoire-electrique/>.
- [20] : <https://www.jumia.dz/ap-coffret-electrique-400500180-ip65-215986.html>.
- [21] : NEMA Standards Publication, *Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems*, Rosslyn, VA USA, National Electrical Manufacturers Association (now The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers), 2007.
- [22] : https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/67267484/v20_OPI_fr-FR_fr-FR.pdf.
- [23] : Robert Morel, *Cahier Technique Schneider Electric n° 154*, 2000.
- [24] : <https://energical.com/produit/disjoncteur-tetrapolaire-ecb3-qp-32/>.
- [25] : http://www.genelect.net/produits/produits_electriques.html.
- [26] : <https://monelectricite.pro/definition-dun-contacteur/>.
- [27] : <https://www.pompe-moteur.fr/75-relais-thermique-de-protection>.
- [28] : http://www.electrosup.com/relais_electromecanique.php.
- [29] : <https://www.se.com/fr/fr/product-range/532-zelio-relais-%C3%A9lectrom%C3%A9caniques/>.
- [30] : <https://www.bis-electric.com/materiel-electrique-industriel/contacteur/relais-temporise-220v.html>.
- [31] : <https://www.amazon.fr/temporis%C3%A9-temporisateur-DH48S-S-affichage-num%C3%A9rique/dp/B07T6HRRL9>.
- [32] : <http://geea.org.pagesperso-orange.fr/PNEUM/Distributeurs.htm>.
- [33] : <https://forums.futura-sciences.com/technologies/98418-calcul-debit-dune-vis.html>
- [34] : Cours de Résistance des matériaux Mr. Ezzraimi Madjid
- [35] : cours construction mécanique Mr. Madani
- [36] : Alfred Rudin, *The elements of polymer science and engineering an introductory text and reference for engineers and chemists*, San Diego, CA, Academic Press, 1999, 2e éd., 510 p. (ISBN 0-12-601685-2), p. 454

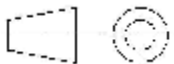



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:5

PIECE N°01: LA THRIEME

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

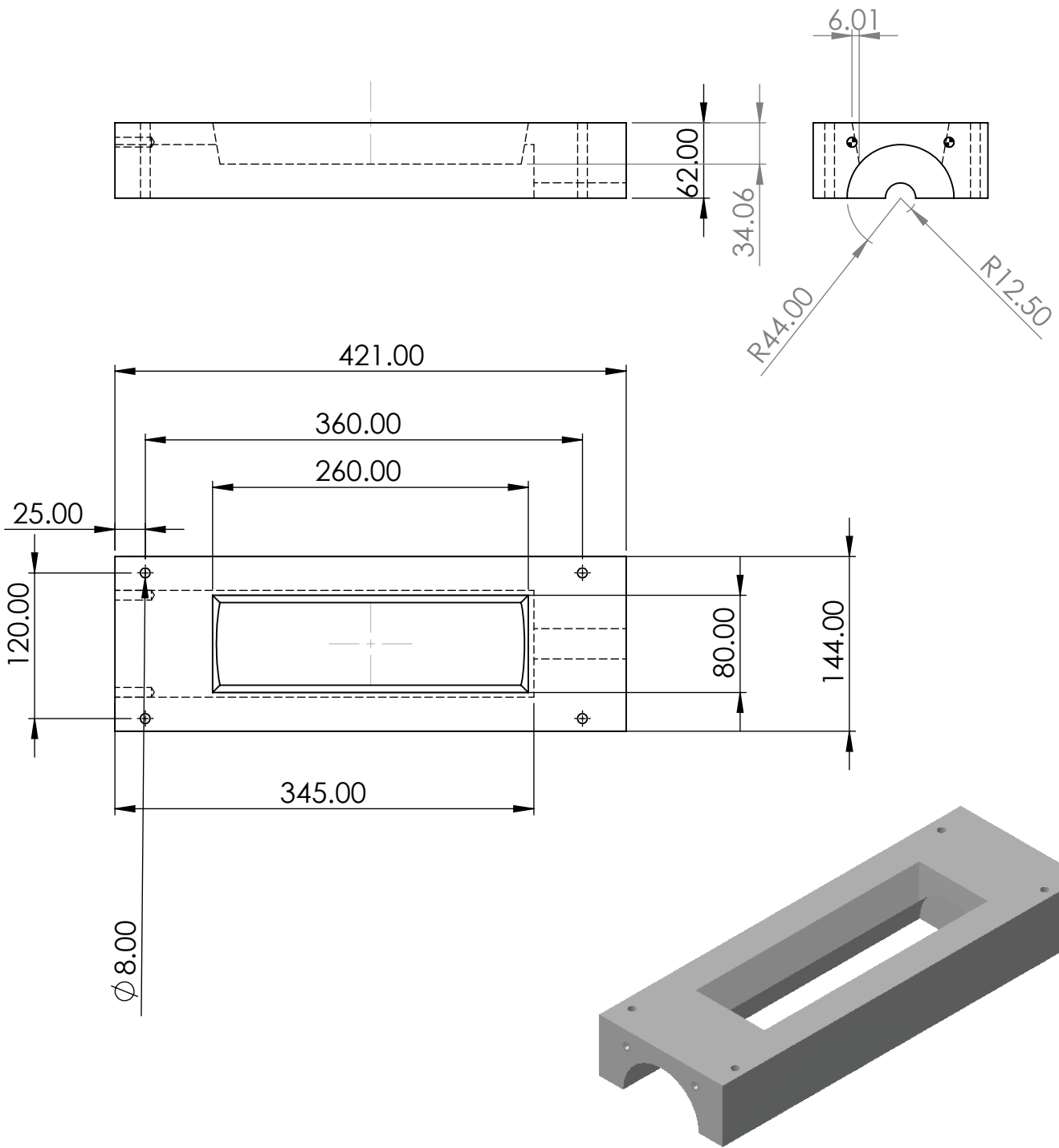


DATE : 2020/2021

MATERIAU: ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°01



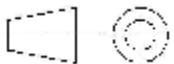
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:5

PIECE N°02: BLOC 1

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

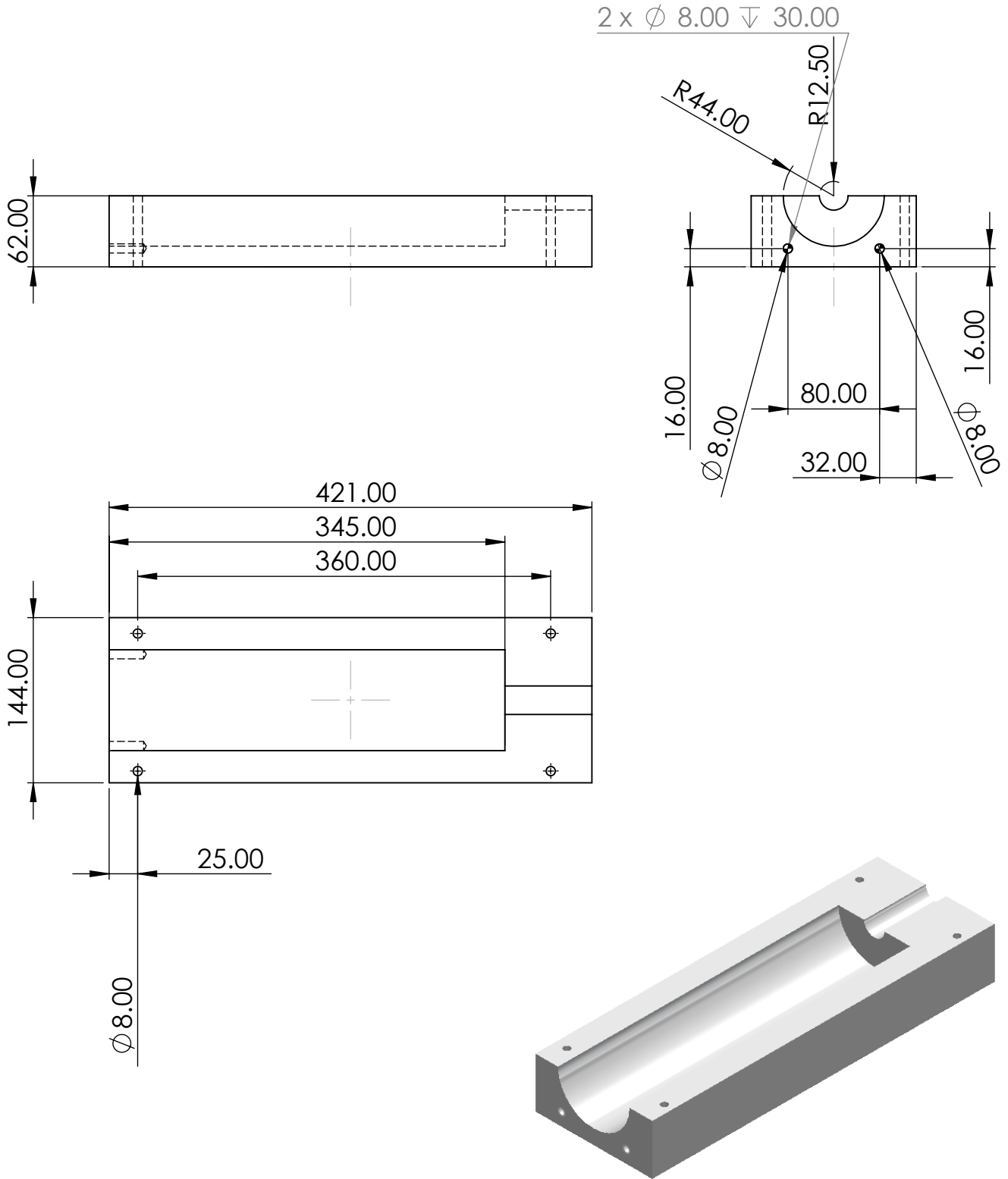


DATE : 2020/2021

MATERIAU: POM-C

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°02

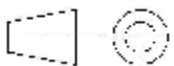


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:5

PIECE N°03:BLOC 2

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

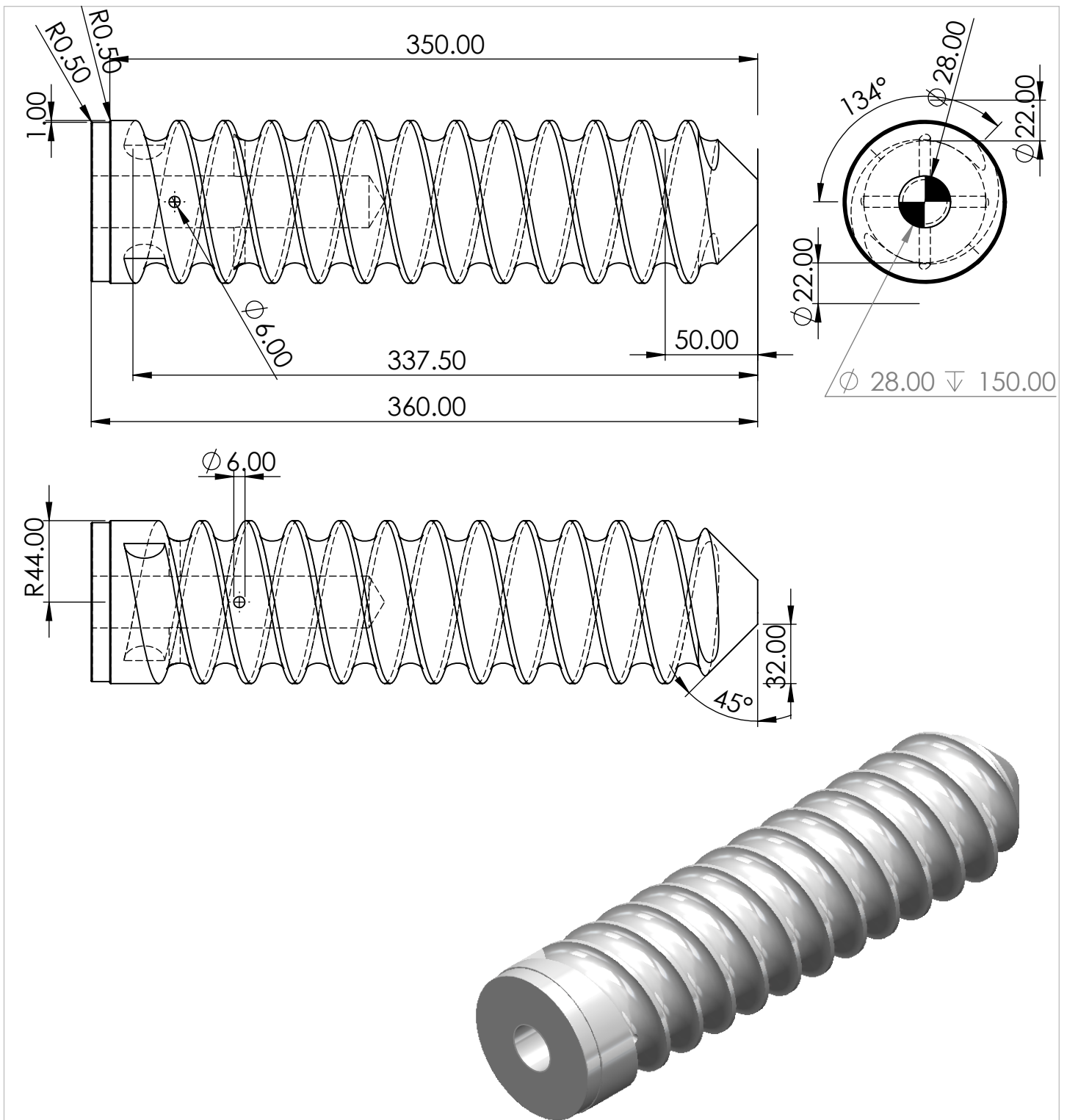


DATE : 2020/2021

MATERIAU:POM-C

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°03

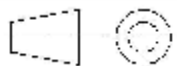


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:3

PIECE N°04: VIS SANS FIN

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

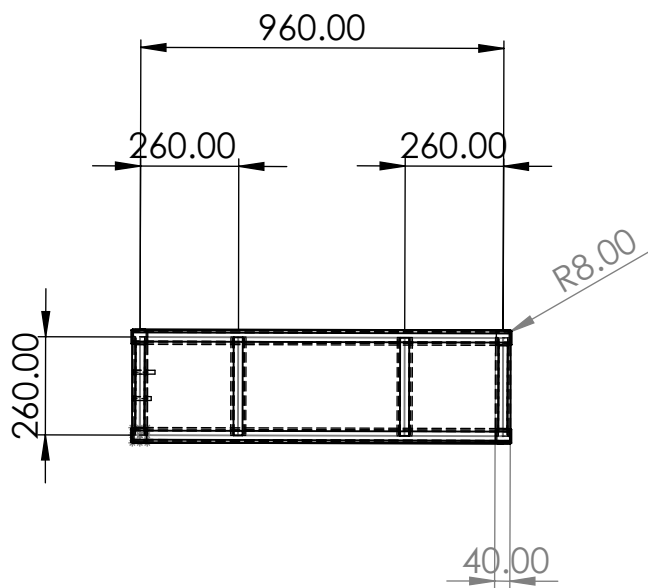
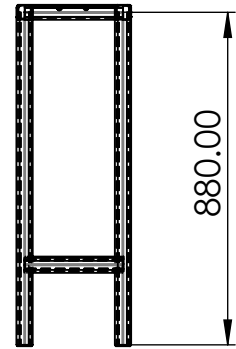
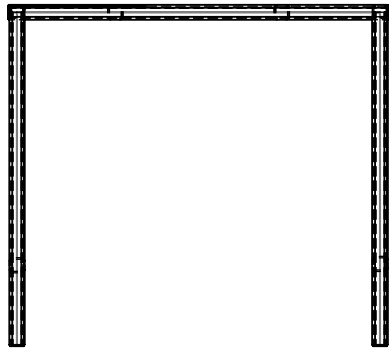


DATE : 2020/2021

MATERIAU: POM-C

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°04

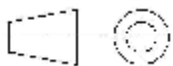



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:20

PIECE N°05: TABLE

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

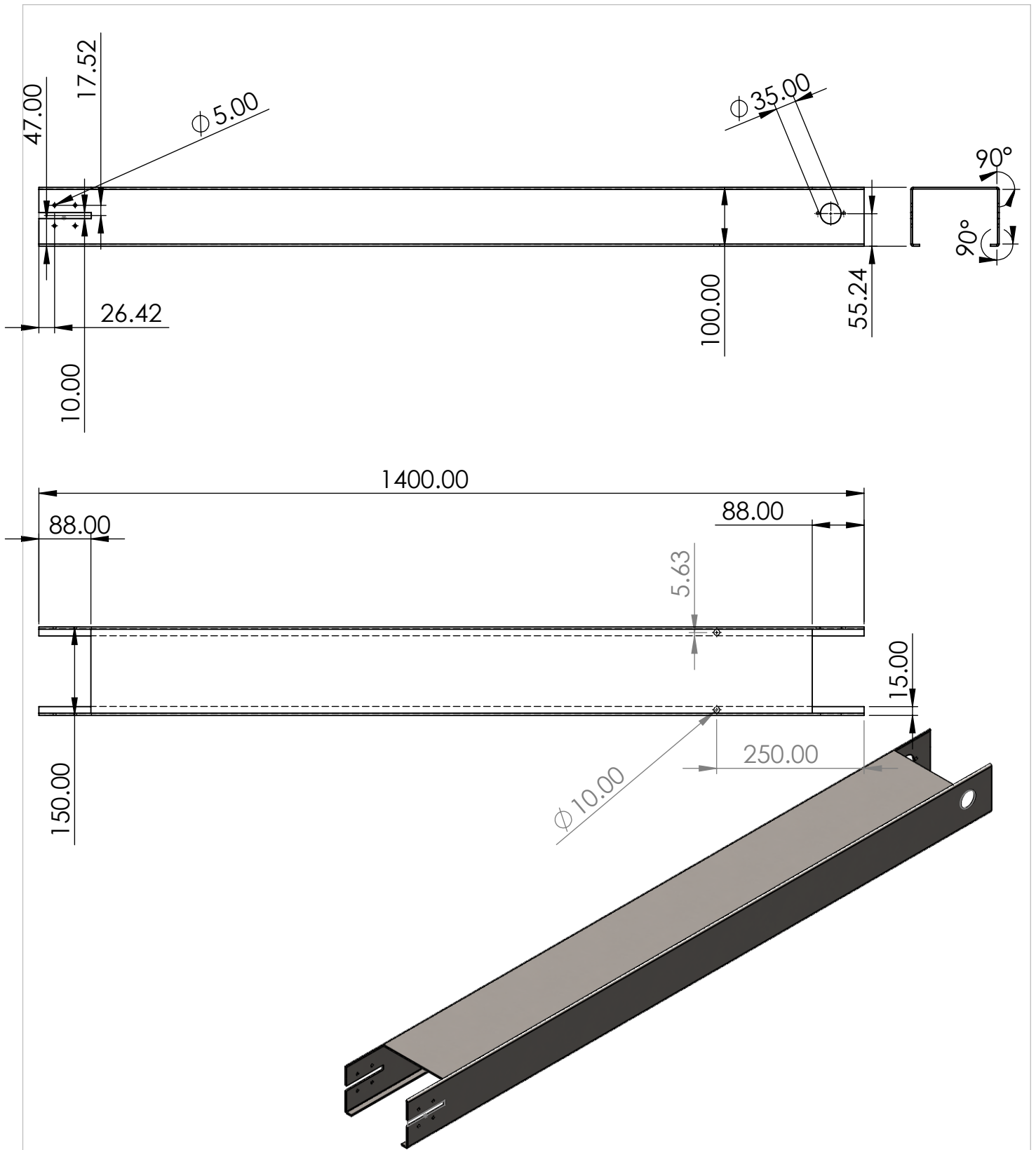


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°

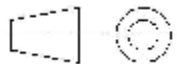


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE

PIECE N°06: TAPIS

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

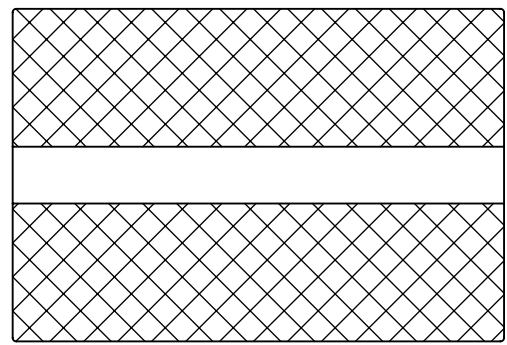
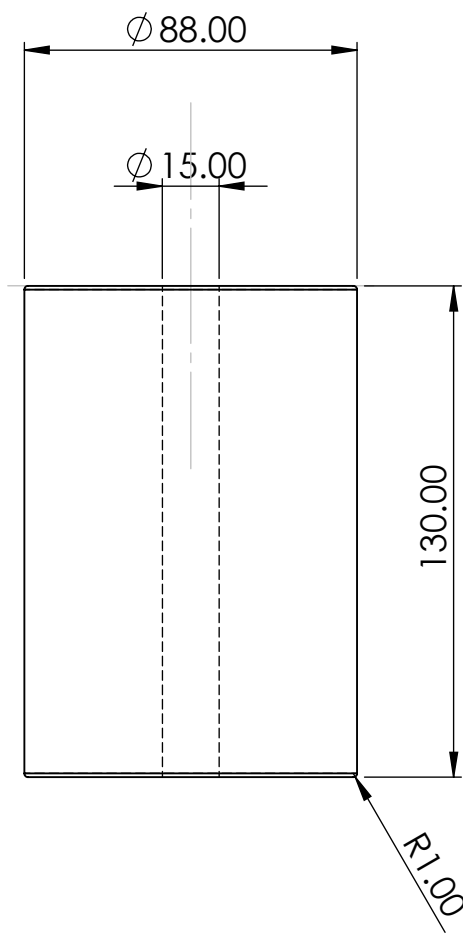
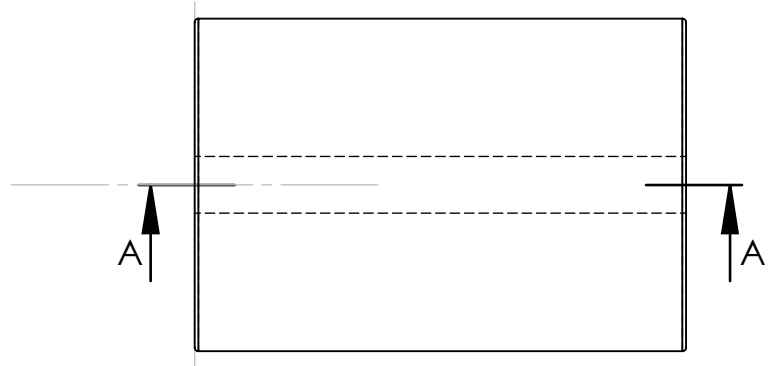
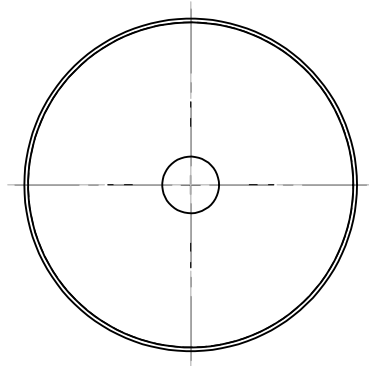


DATE : 2020/2021

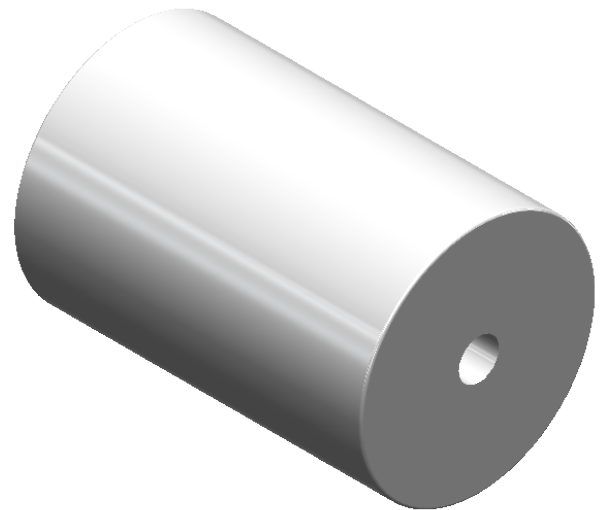
MATERIAU:ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°06



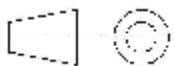
SECTION A-A



ECHELLE 1:2

PIECE N°07:ROUE DE GUIDE

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

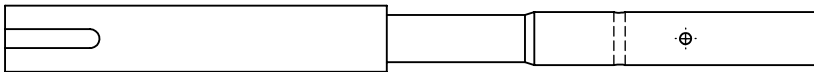
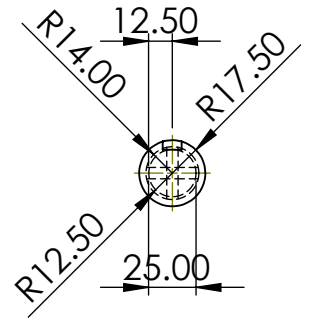
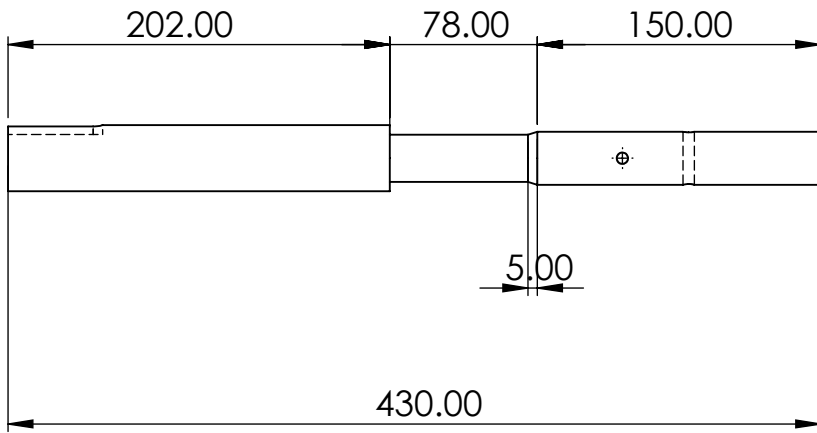


DATE : 2020/2021

MATERIAU:"POM-C

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°07



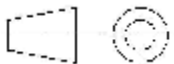
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:4

PIECE N°08: AXE PRINCIPALE

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

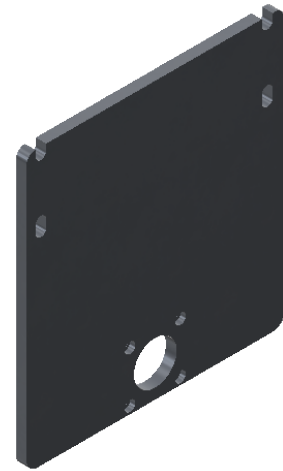
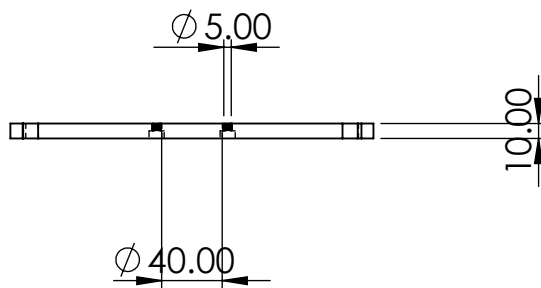
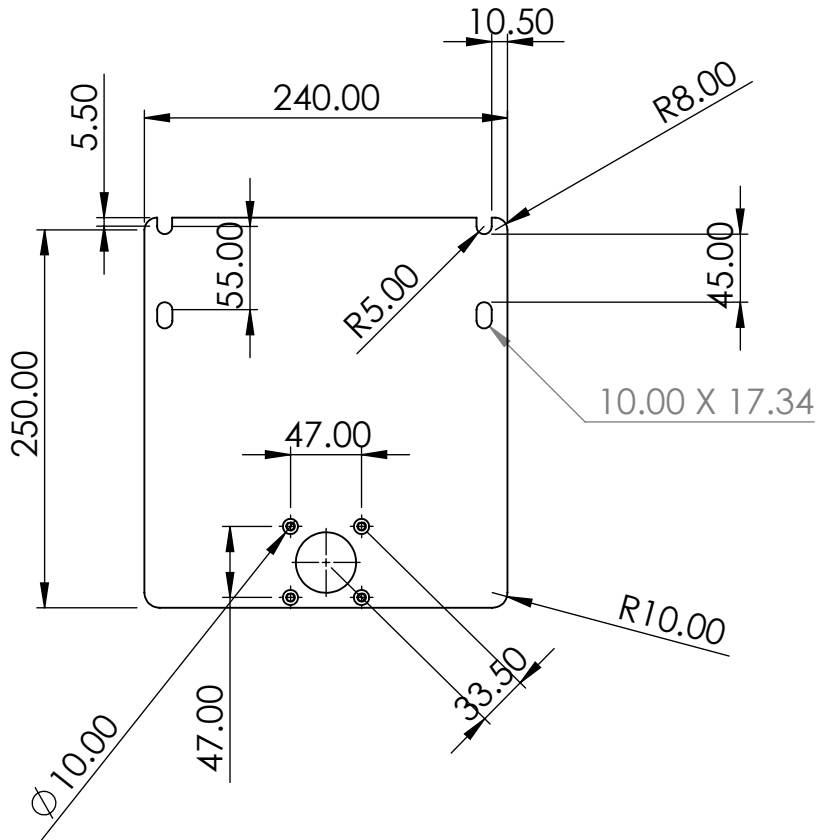


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°08



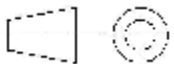
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:5

PIECE N°09: SUPPORT VERIN

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

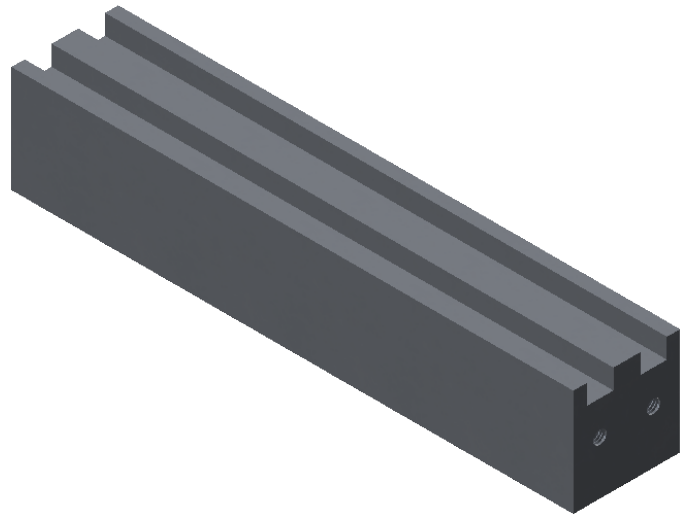
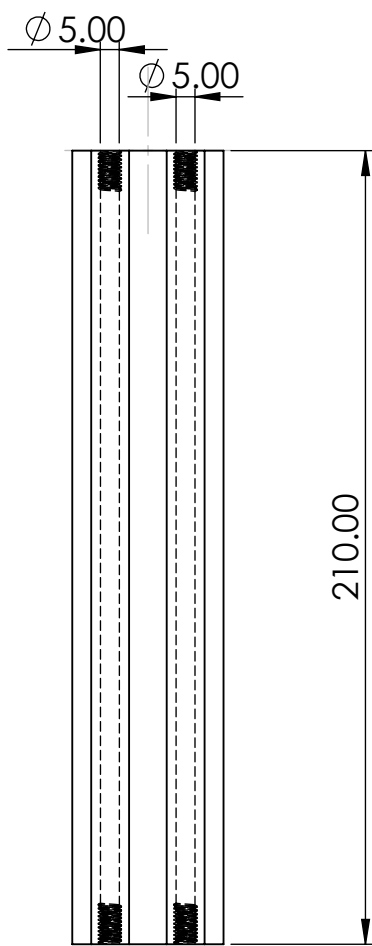
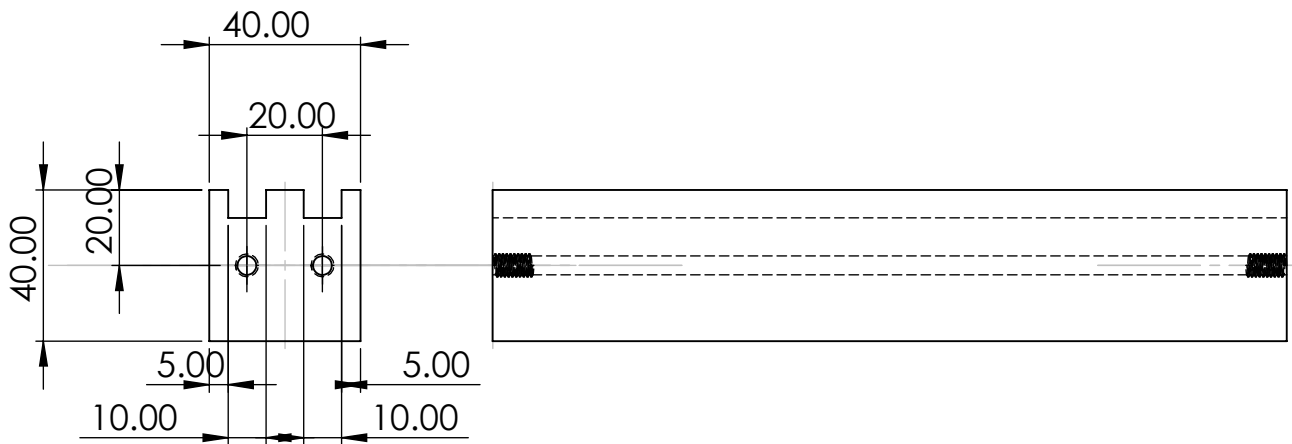


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ALUMINIUM
ALIAGE 1060

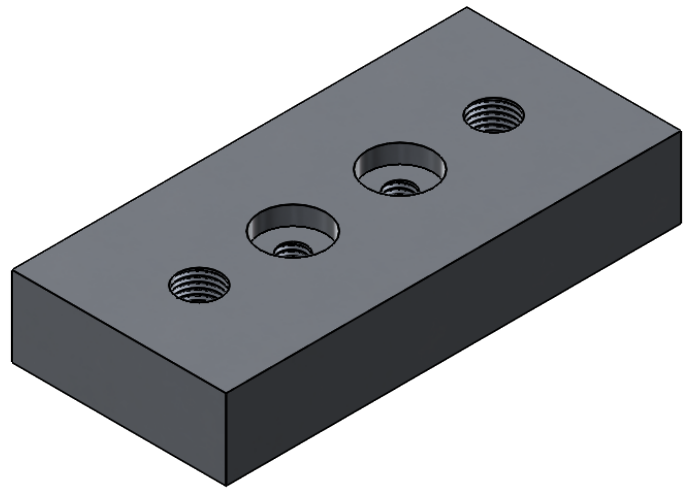
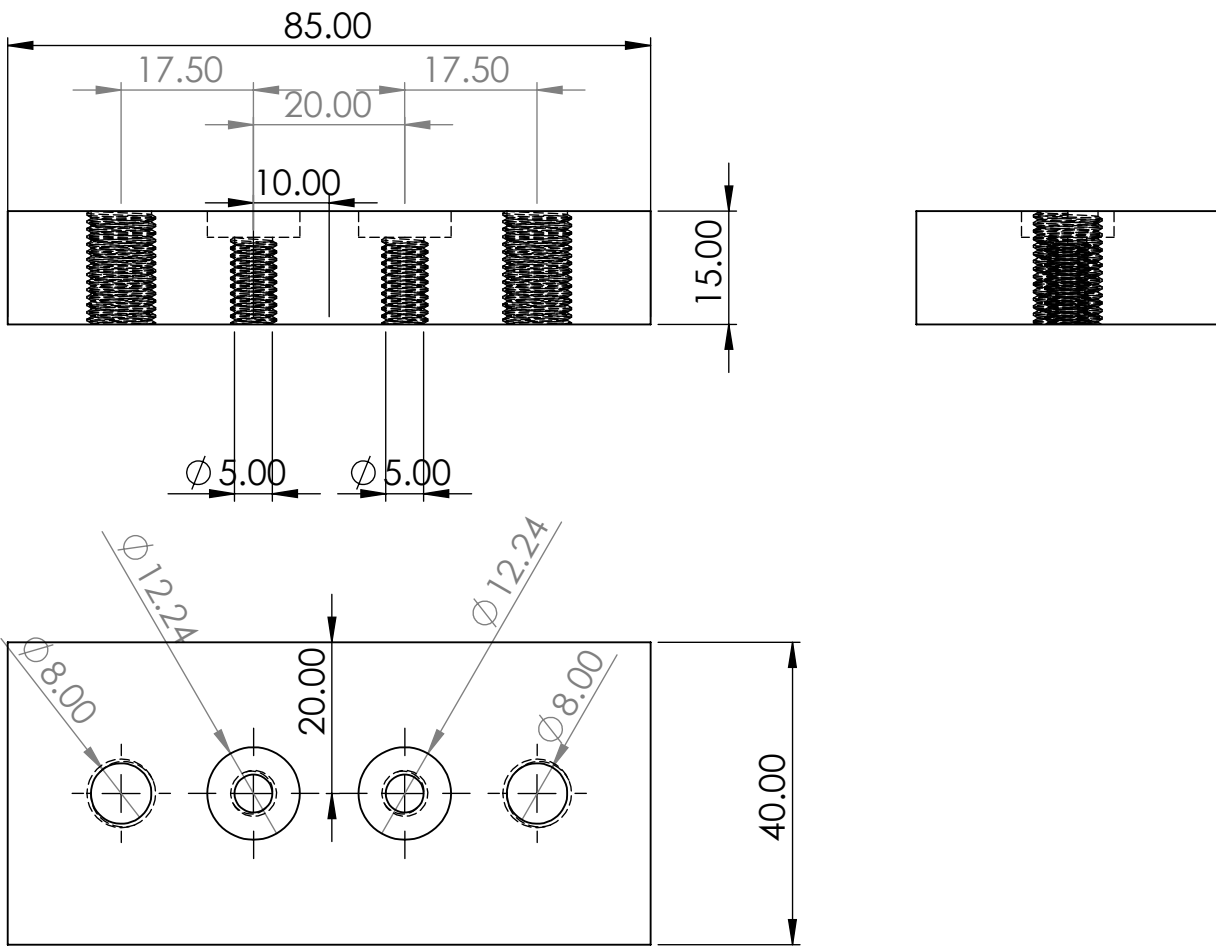
MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°09




 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:2	PIECE N°10: SUPPORT DE MOULE	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU:ALUMINIUM ALIAGE 1060	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°10

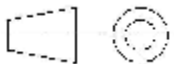


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:1

PIECE N°11:SUPPORT[9-10]

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

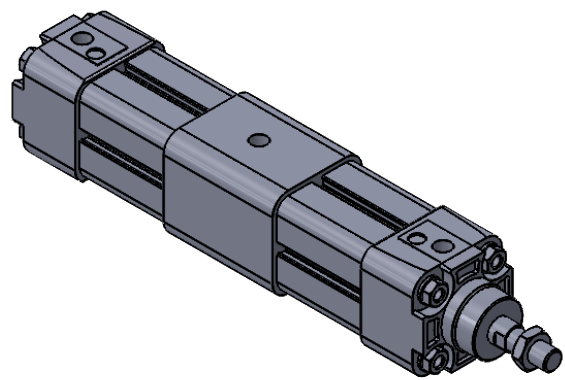
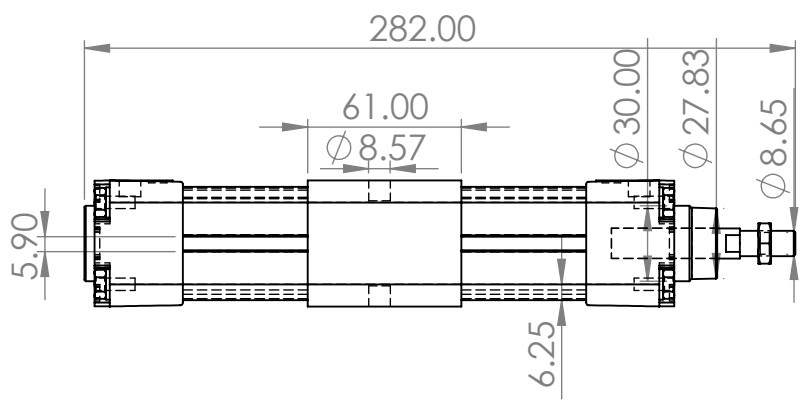
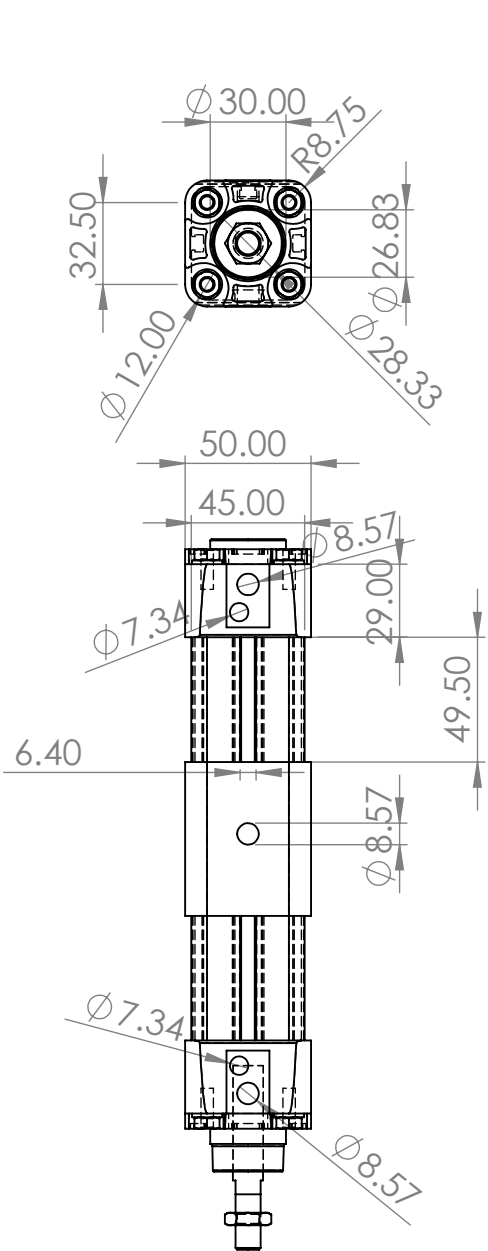


DATE : 2020/2021

MATERIAU: ALUMINIUM
ALIAGE 1060

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°11

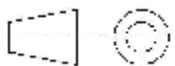


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:3

PIECE N°12: VERIN

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

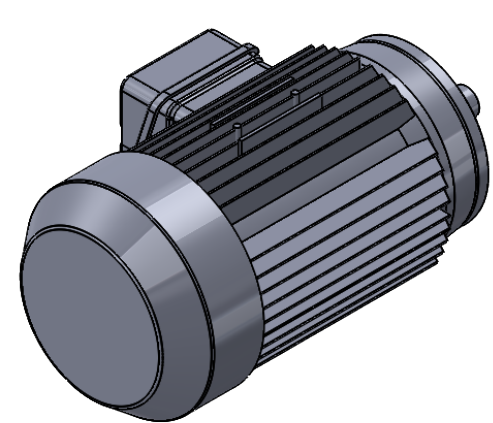
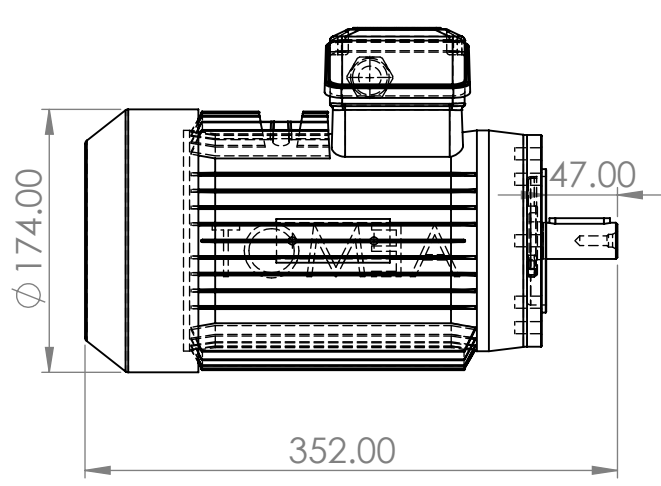
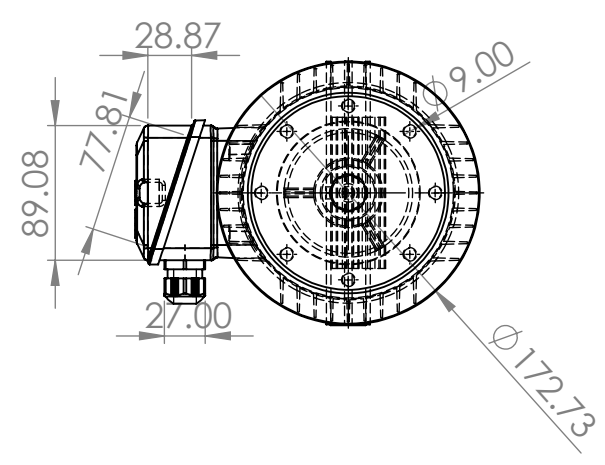
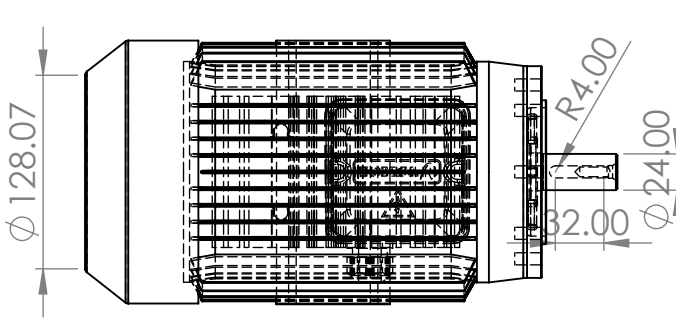


DATE : 2020/2021

MATERIAU:NON SPECIFIE

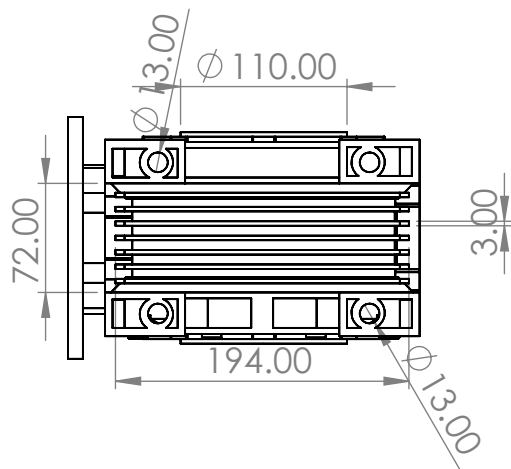
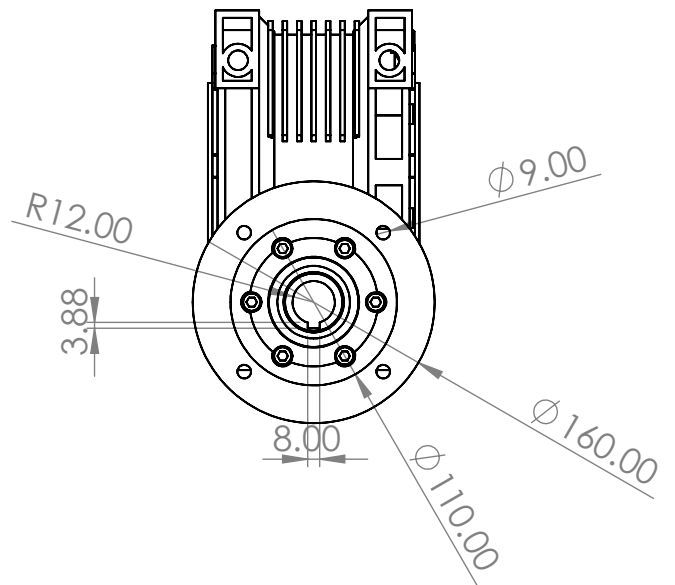
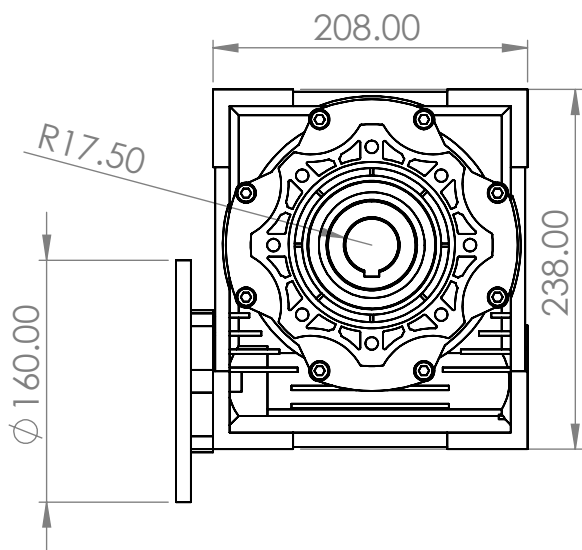
MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°12




 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:5	PIECE N°13: MOTEUR	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU: NON SPECIFIE	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°13

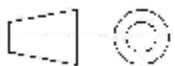



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:5

PIECE N°14: REDUCTEUR

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

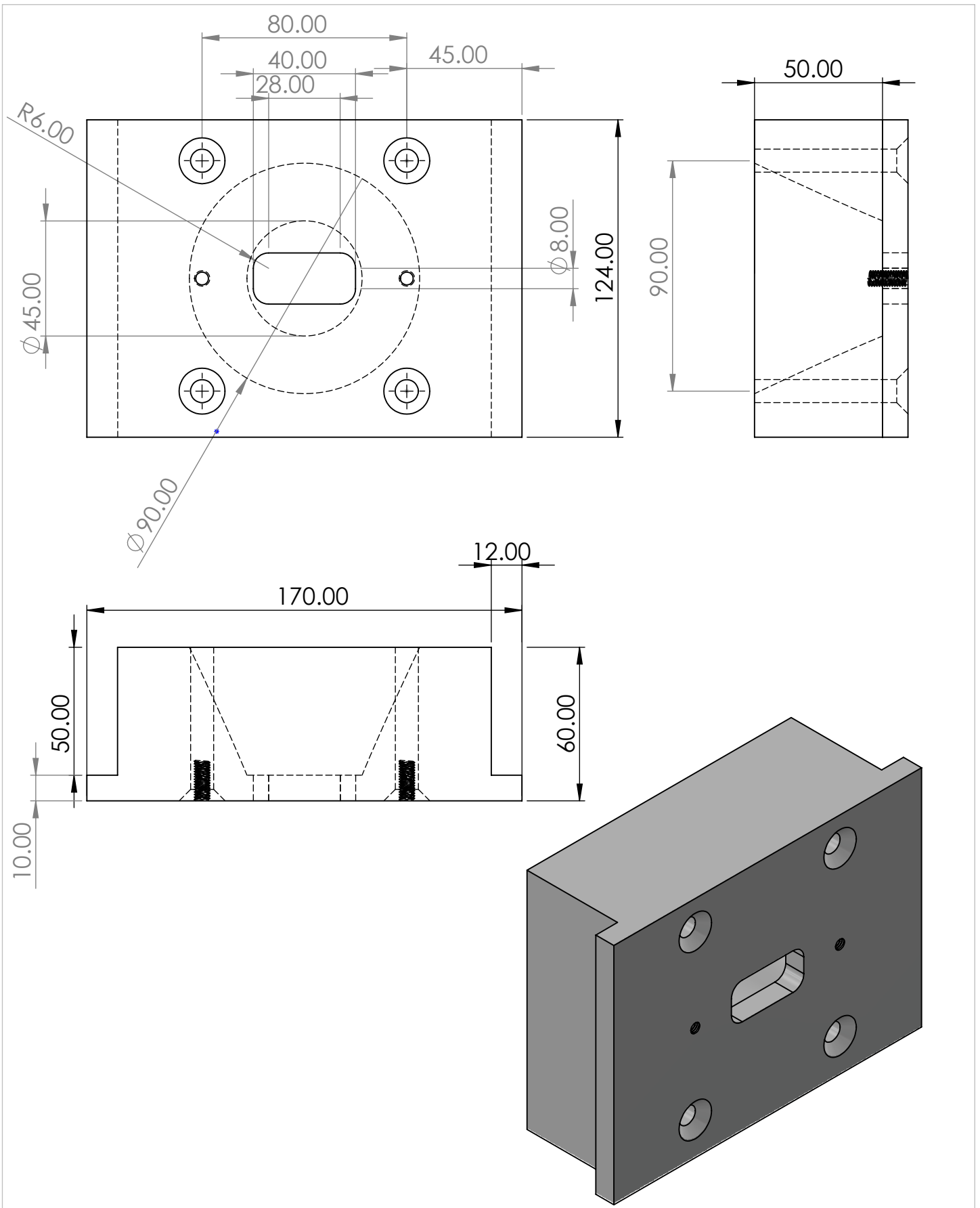


DATE : 2020/2021

MATERIAU:NON SPECIFIE

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°14



Université Saad Dahleb BLIDA 01



ECHELLE 1:2

piece N°15 : MOULE A

hemmeda -feyed -
eldirya

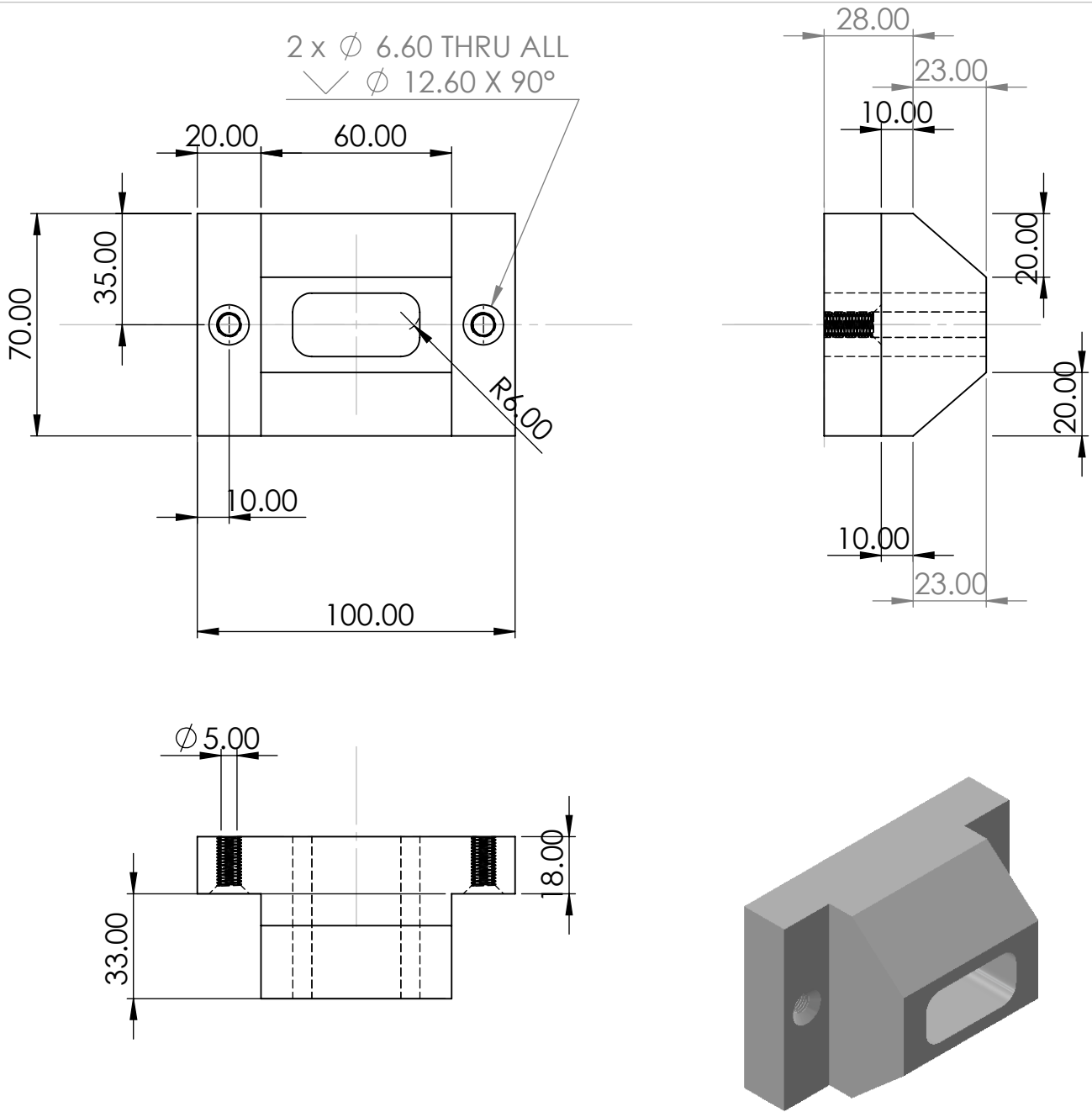


DATE : 2020/2021

MATERIAU :POM-C

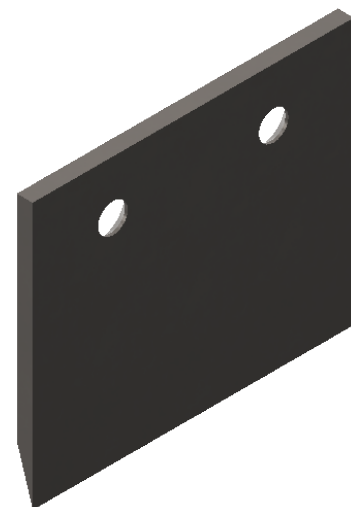
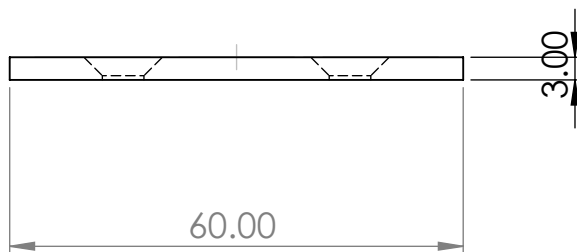
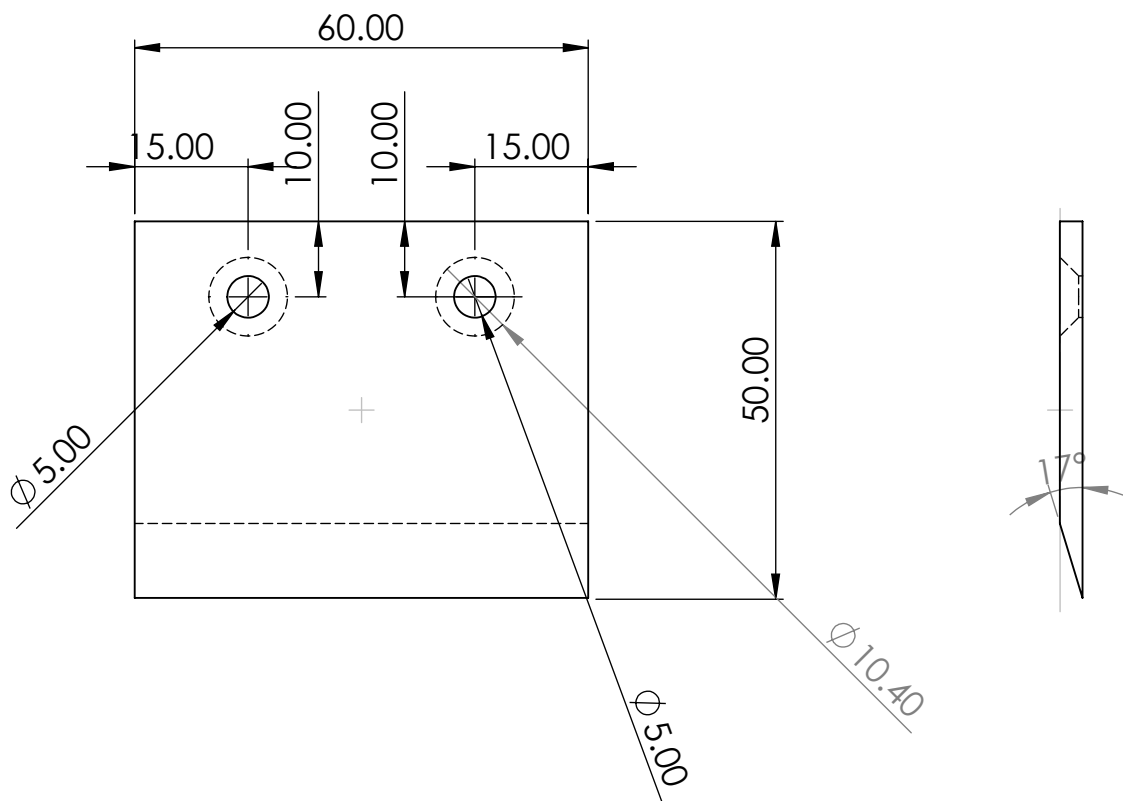
machine de gateaux

PLAN N° 15



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:2	PIECE N°16: MOULE B	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU: POM-C	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°16

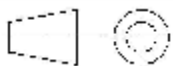



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:1

PIECE N°17: COUTEAU

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

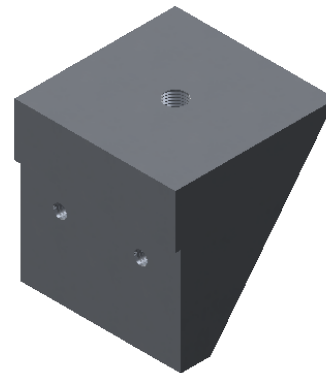
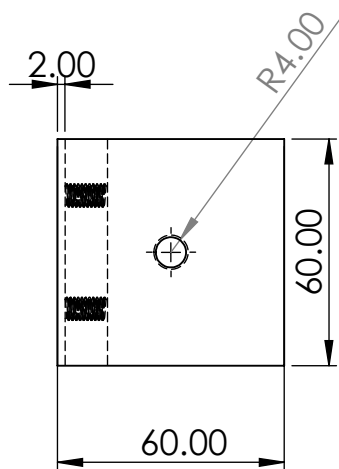
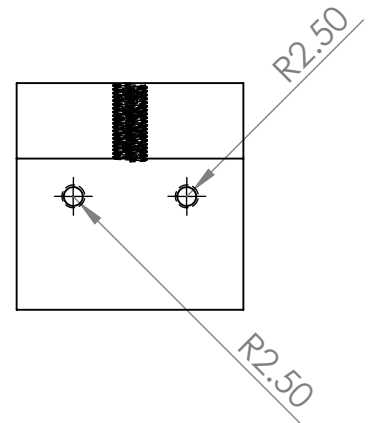
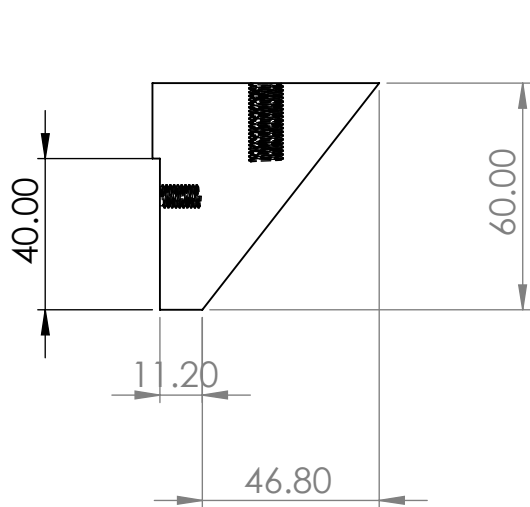


DATE : 2020/2021

MATERIAU: ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°17

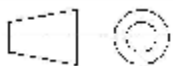


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:2

PIECE N°18: SUPPORT COUTEAU

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

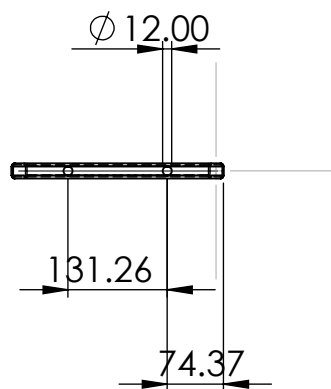
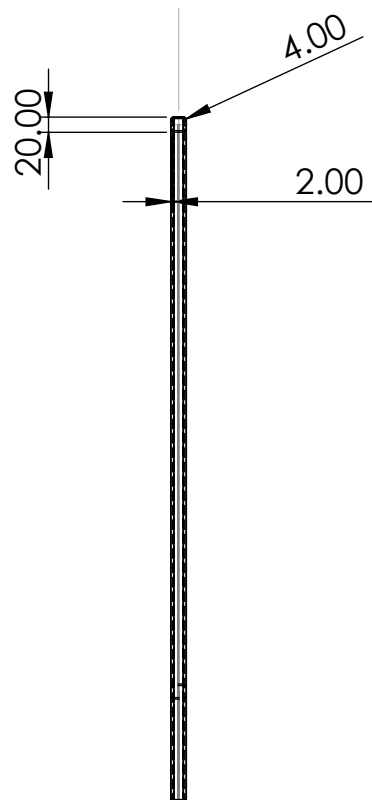
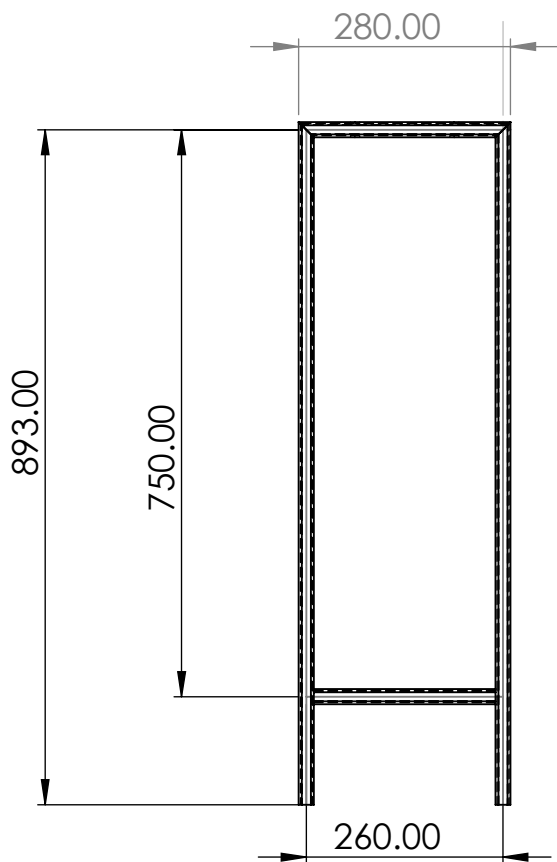


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ALUMINIUM
ALIAGE 1060

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°18



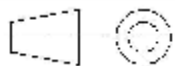
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:10

PIECE N°19: PIED

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

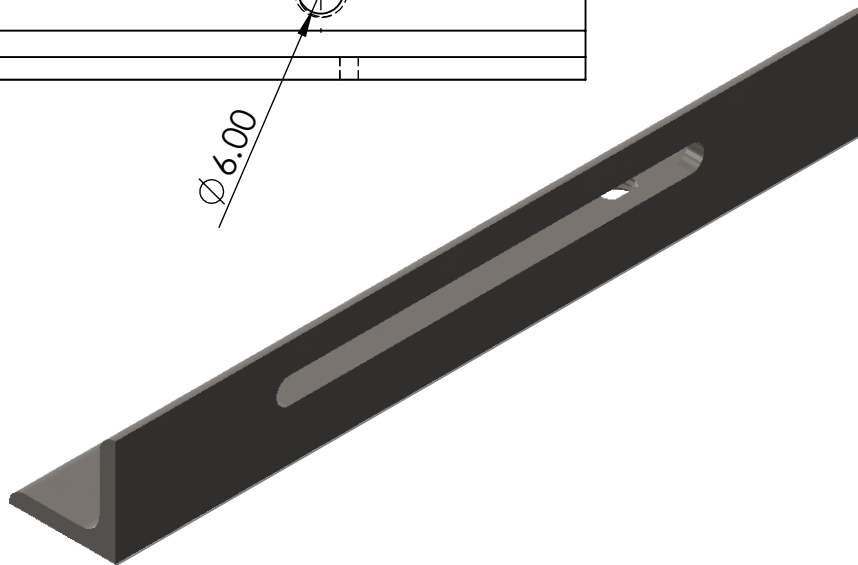
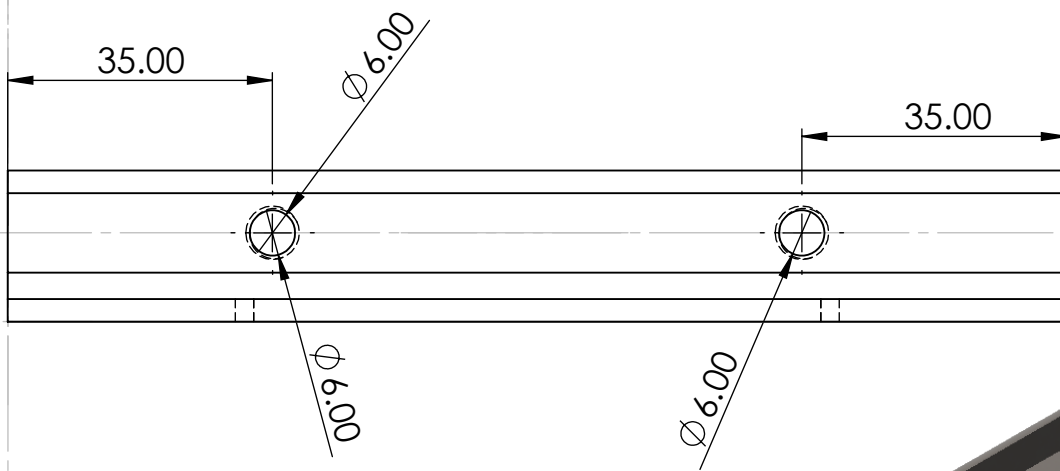
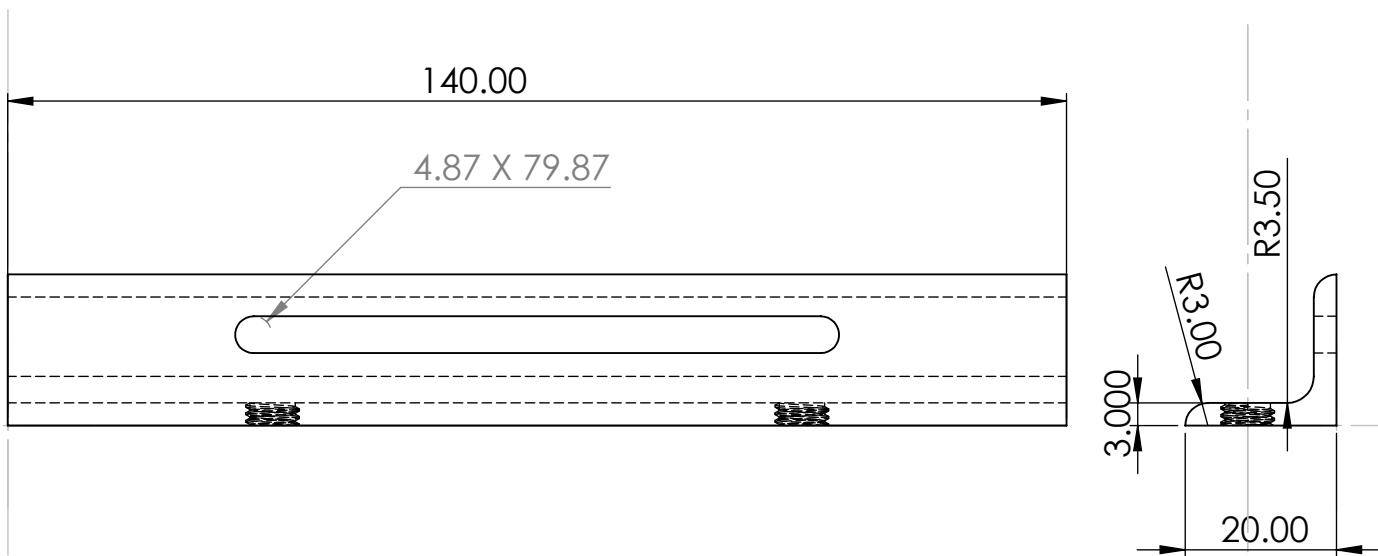


DATE : 2020/2021

MATERIAU: ACIER
INOXYDABLE 316

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°19

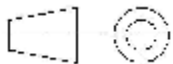



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:1

PIECE N°20: SUPPORT TAPIS

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

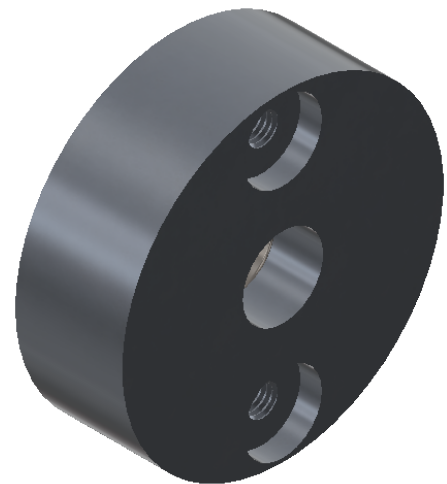
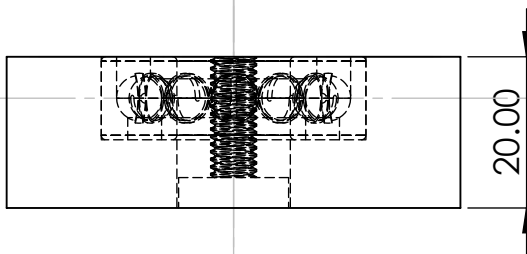
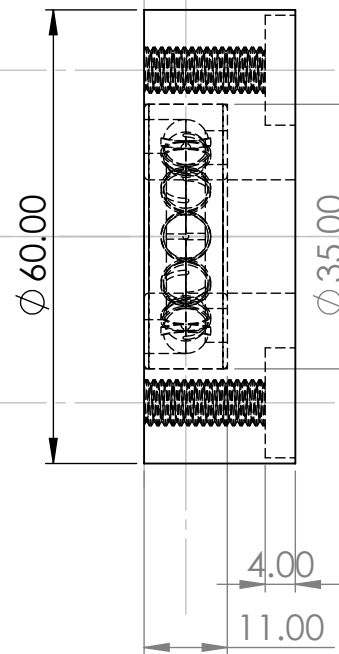
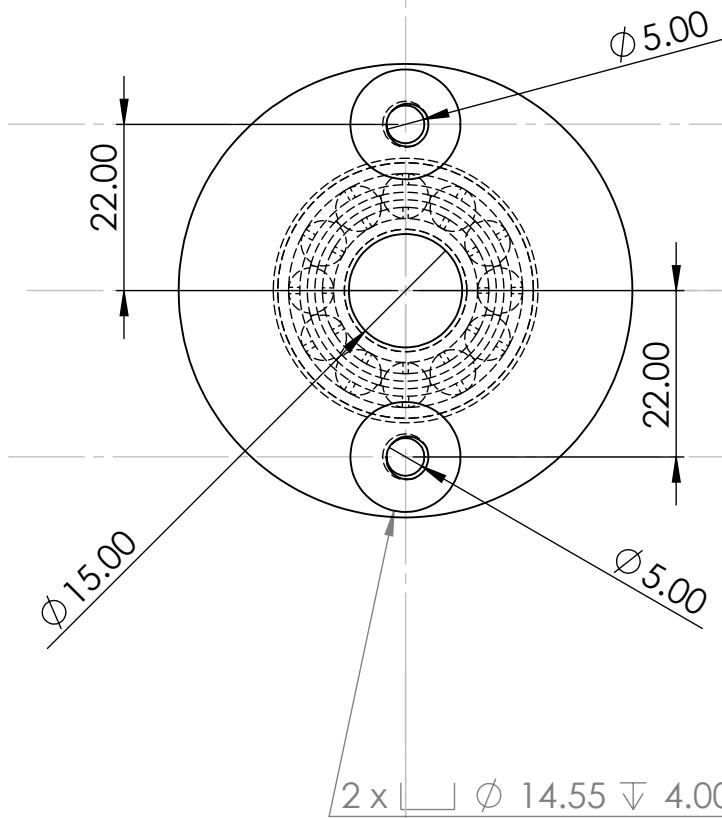


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°20

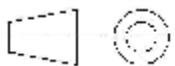



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE1:1

PIECE N°21: PALIER

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

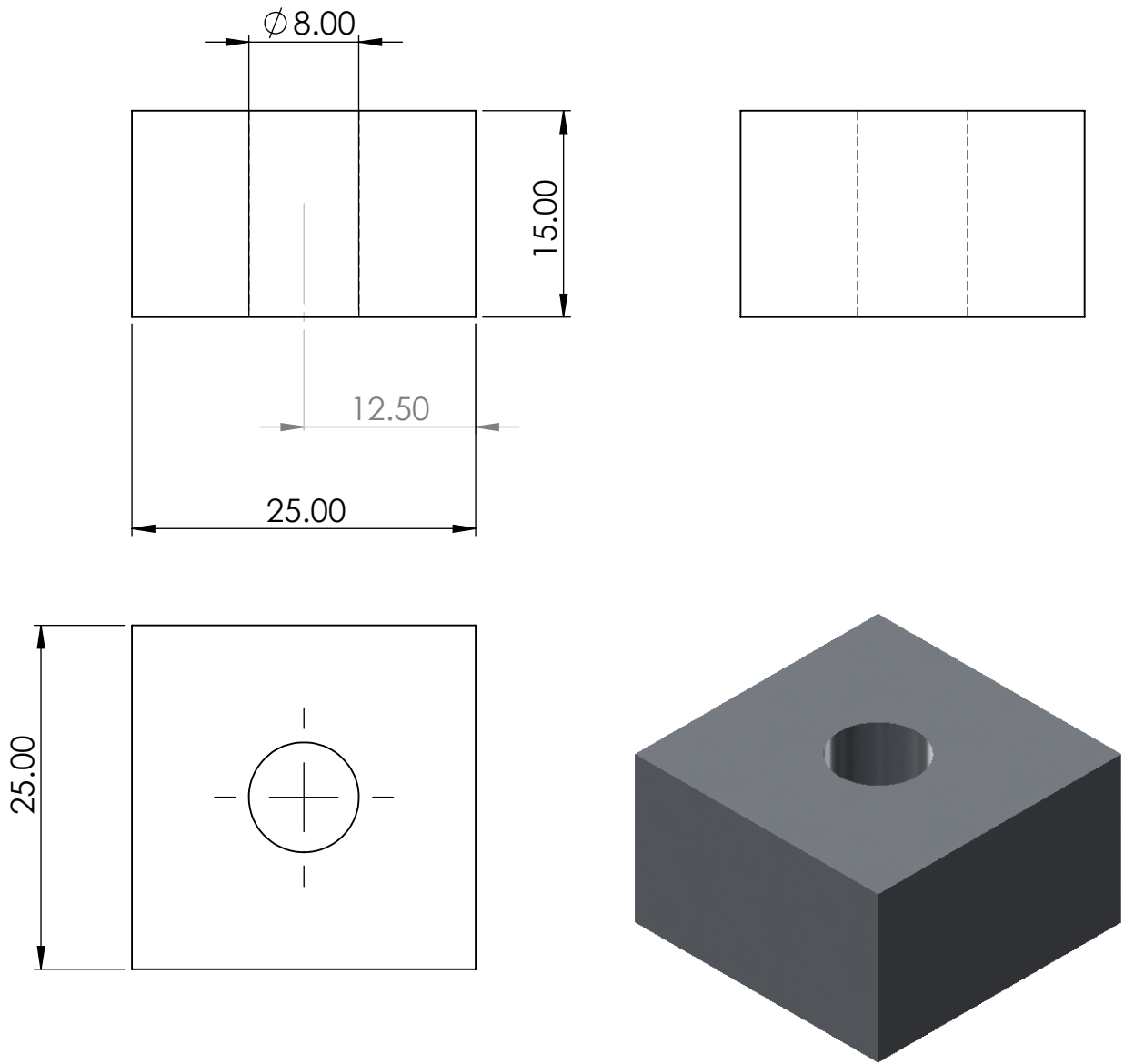


DATE : 2020/2021

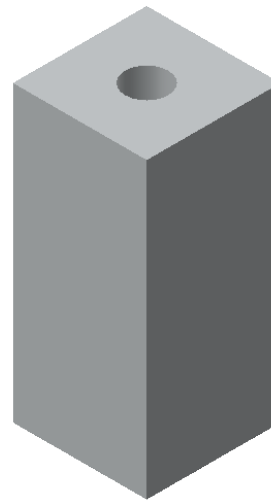
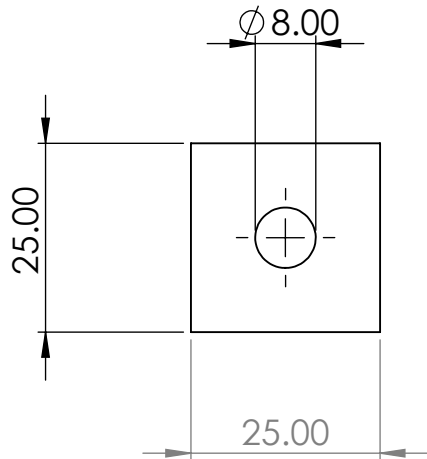
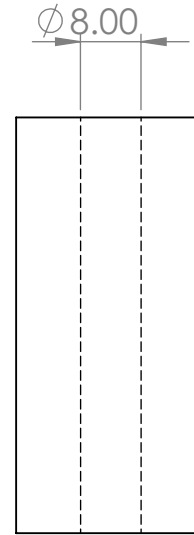
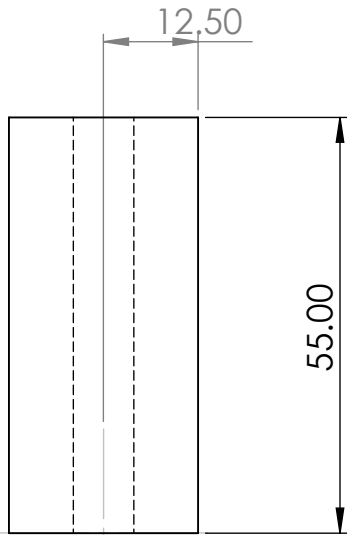
MATERIAU: ALUMINIUM
ALIAGE 1060

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°21

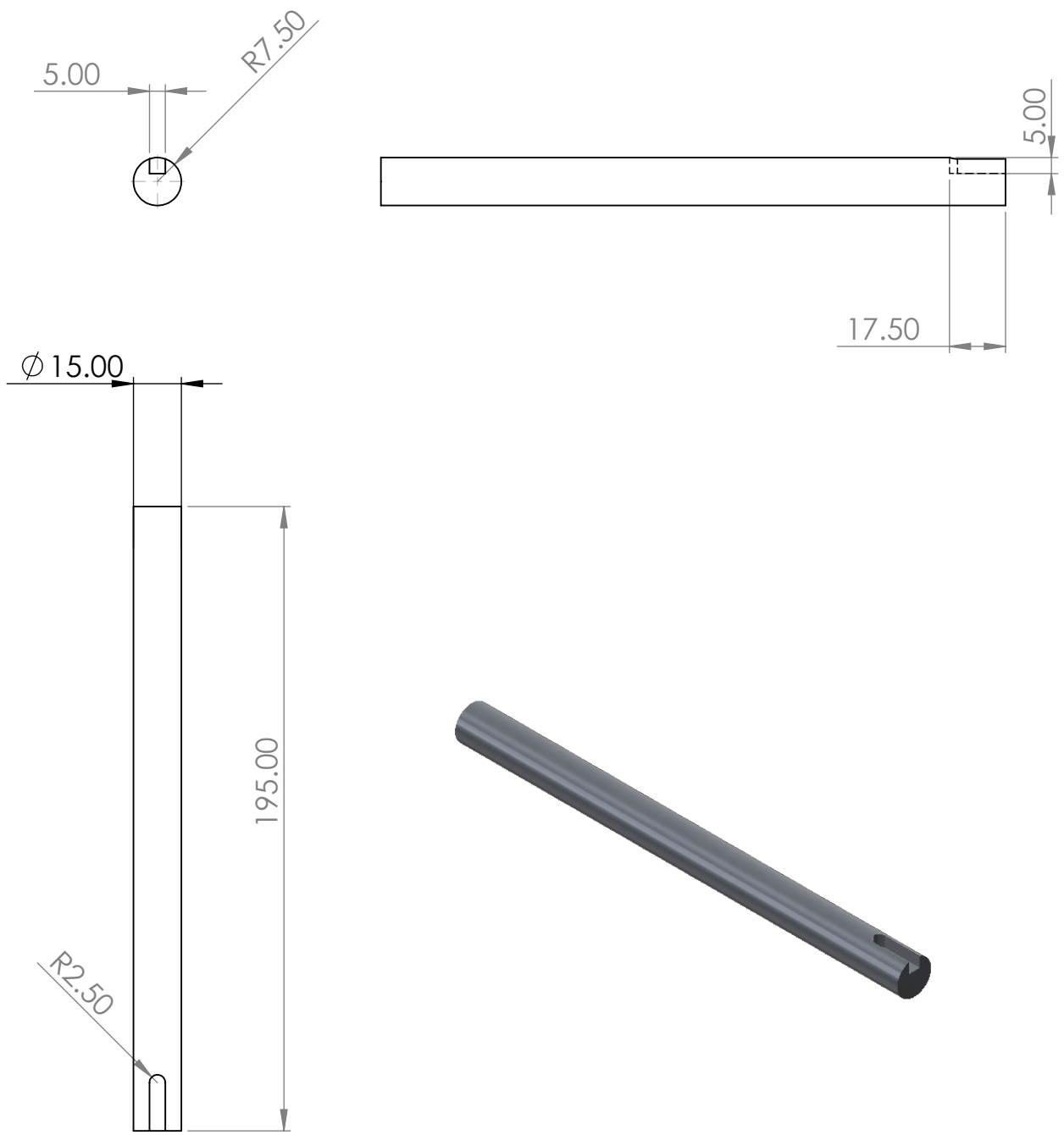


ECHELLE 2:1	PIECE N°22: CALE	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU:ALUMINIUM ALIAGE 1060	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°22



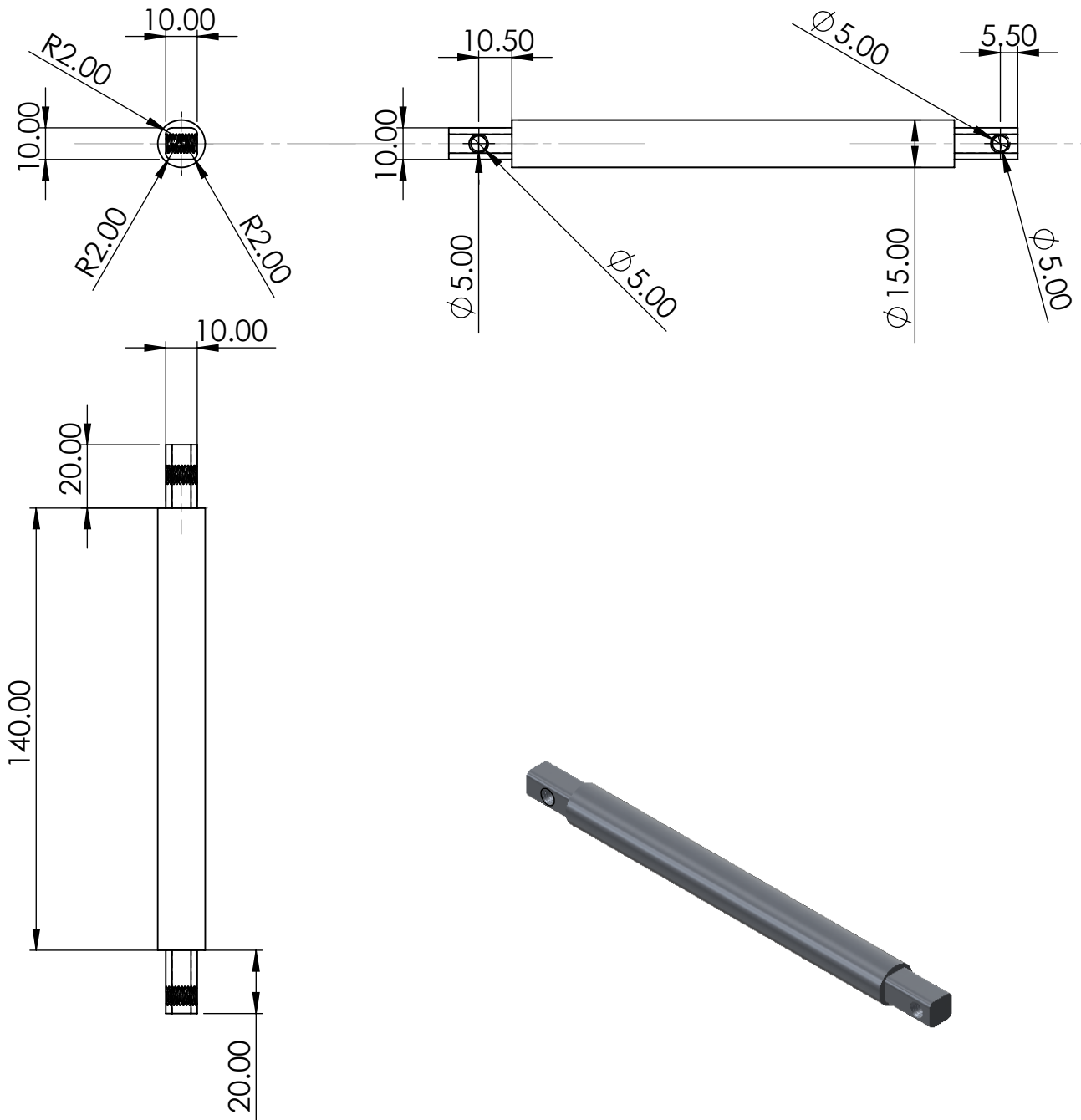

 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:1	PIECE N°23: CALE DE BLOC	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU:ALUMINIUM ALIAGE 1060	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°23




 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:2	PIECE N°24: AXE DE TAPIS 1	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU:ALUMINIUM ALIAGE 1060	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°24

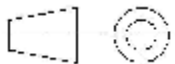


UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01

ECHELLE 1:2

PIECE N°25: AXE DE TAPIS 2

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

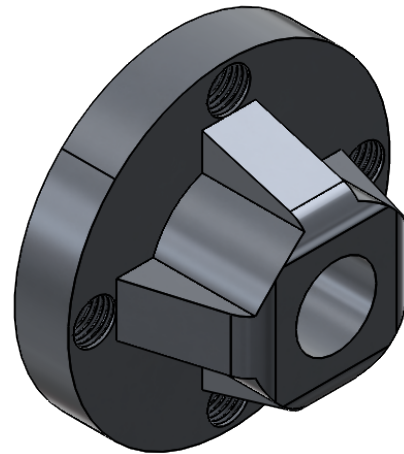
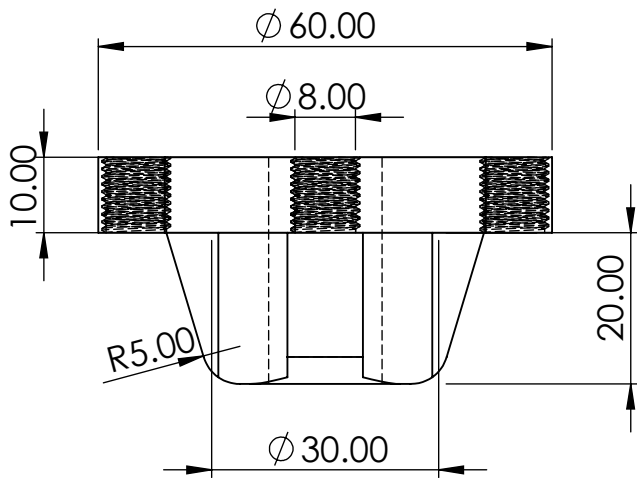
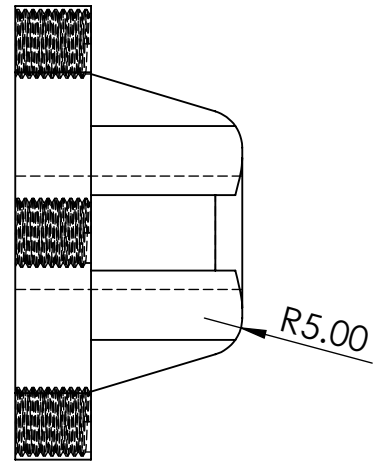
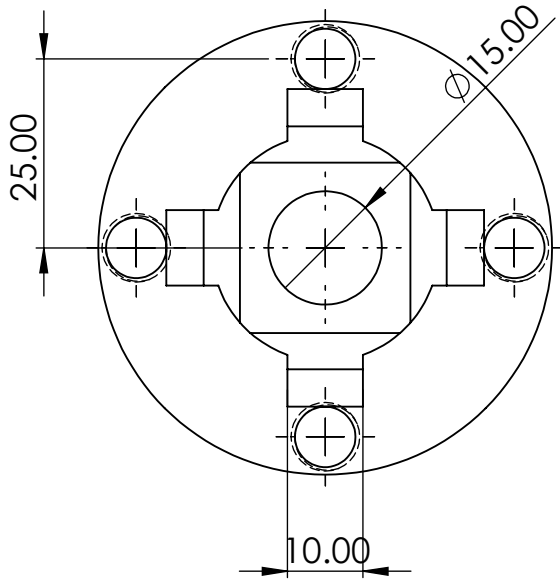


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ALUMINIUM
ALIAGE 1060

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°25

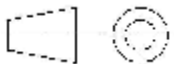



 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:1

PIECE N°25: LA BRIDE

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

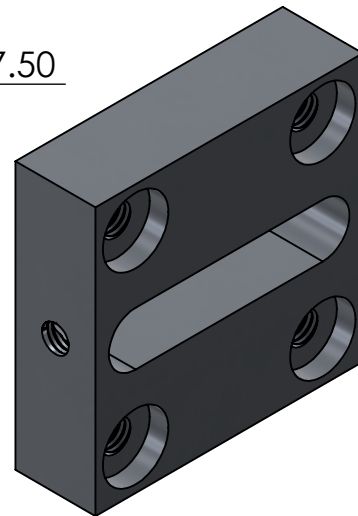
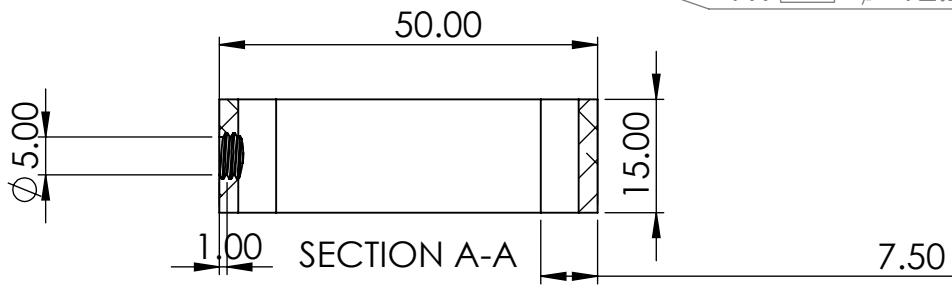
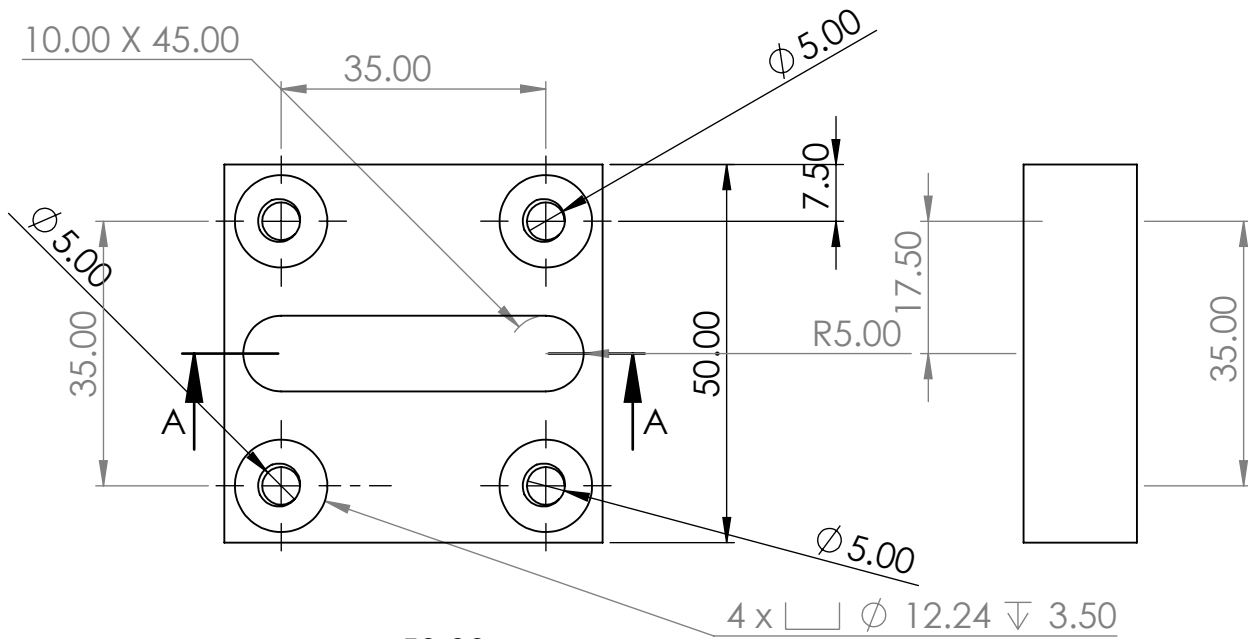


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°25



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:1

PIECE N°27 : REGLATEUR

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

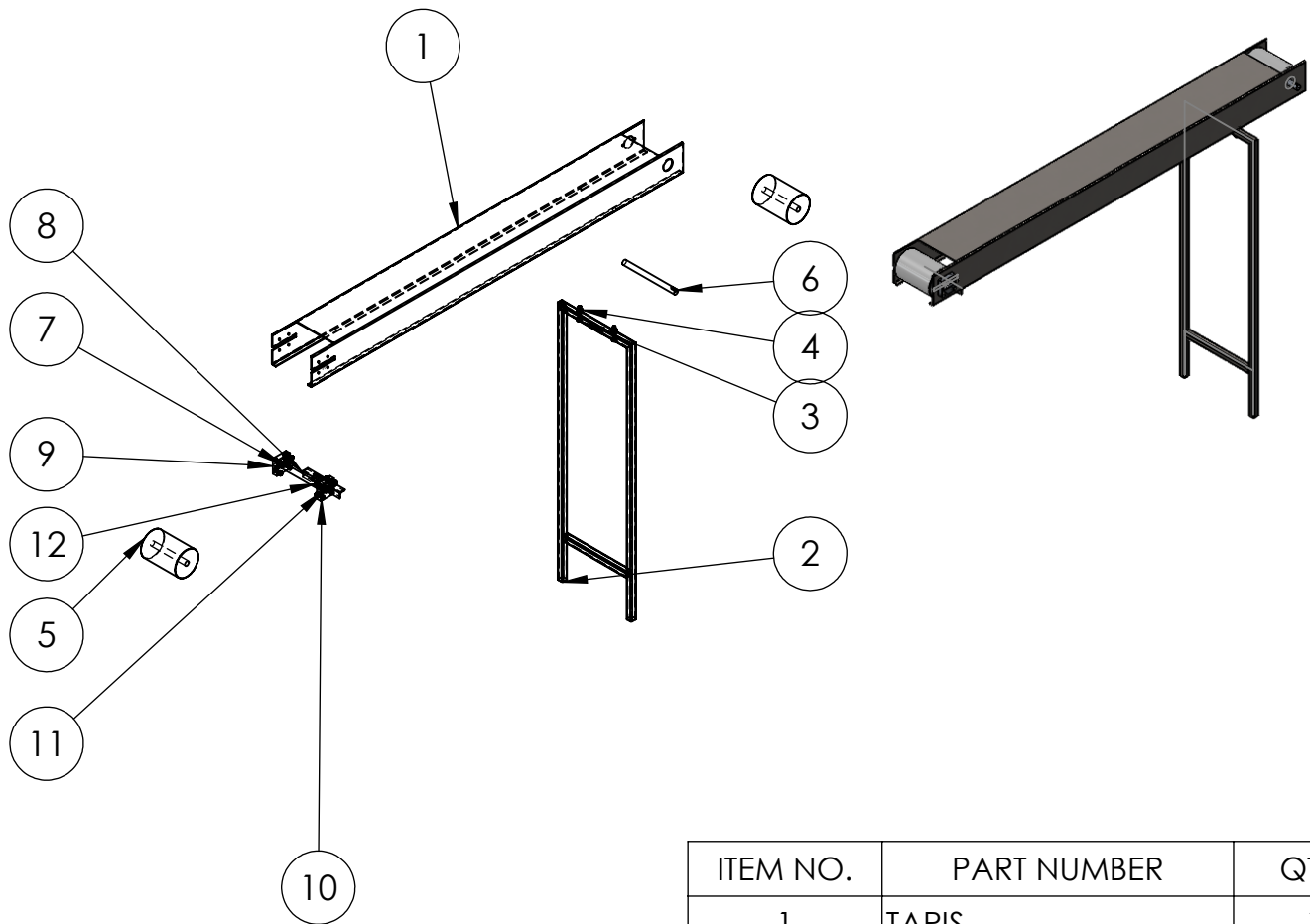


DATE : 2020/2021

MATERIAU : ALUMINIUM
ALIAGE 1060

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°:30



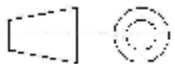
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	TAPIS	1
2	PIED	1
3	ISO 4015 - M8 x 40 x 22-N	2
4	ISO - 4034 - M8 - N	2
5	ROUE DE GUIDE	2
6	AXE DE TAPIS 1	1
7	AXE DE TAPIS 2	1
8	SUPPORT DE TAPIS	1
9	REGLATEUR	2
10	ISO 4762 M6 x 20 - 20S	8
11	ISO 4162 - M6 x 50 x 50-S	2
12	ISO - 4034 - M6 - S	10


 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:20

DESSIN SOUS -ESSEMBLES : TAPIS

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

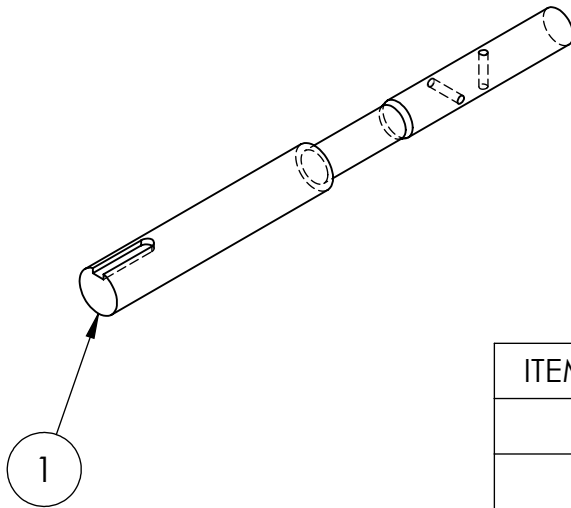
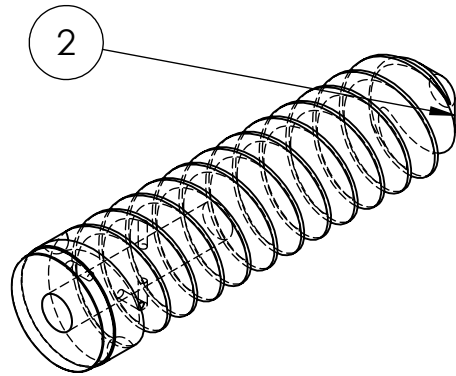
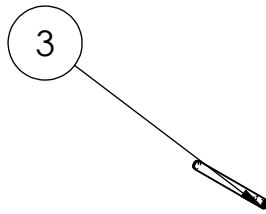
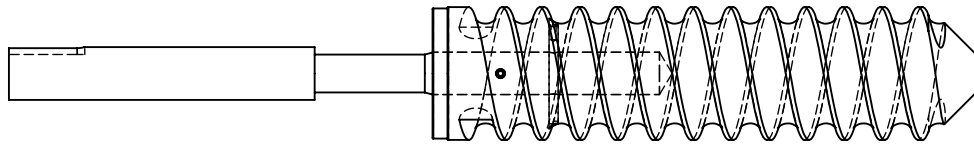


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER
INOXYDABLE 316 + POM-c

MACHINE DE GATEAUX

PLAN N°28



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	AXE PRINCIPALE	1
2	VIS SANS FIN	1
3	ISO 8735-6x35-A-St	2



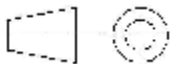
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



ECHELLE 1:5

DESSIN DES SOUS-ENSEMBLES
VIS+AXE

HEMMADA-FEYED-ELDIRYA

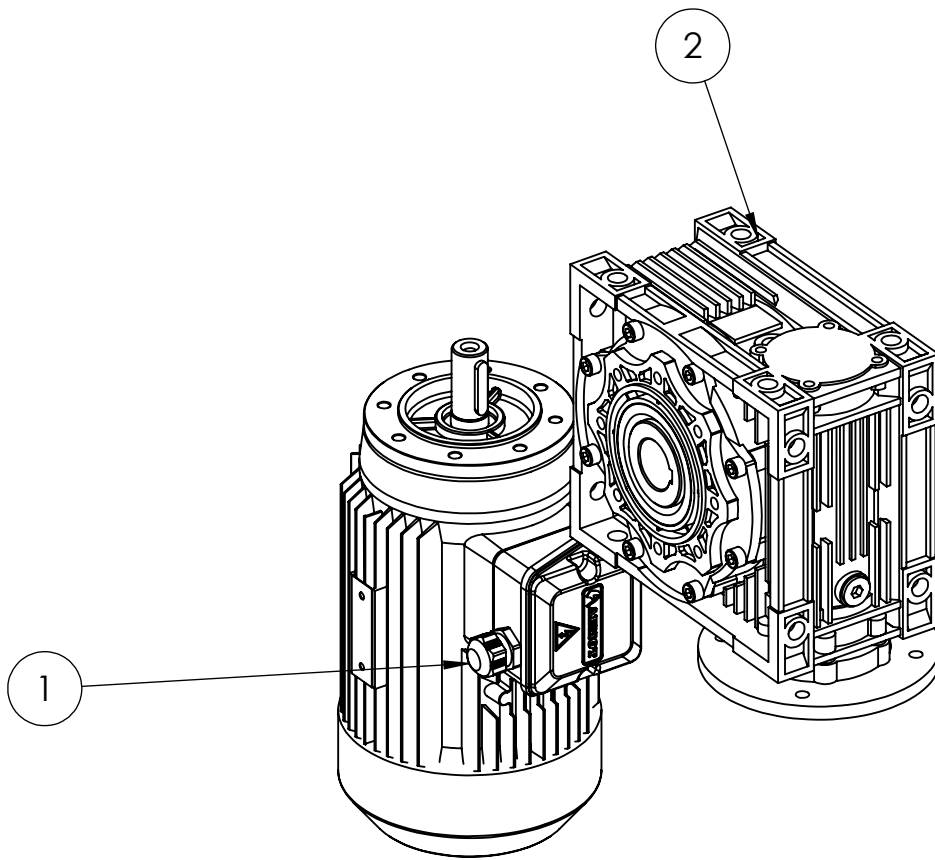


DATE : 2020/2021

MATERIAU:ACIER
INOXYDABLE 316


MACHINE DE GATEAUX

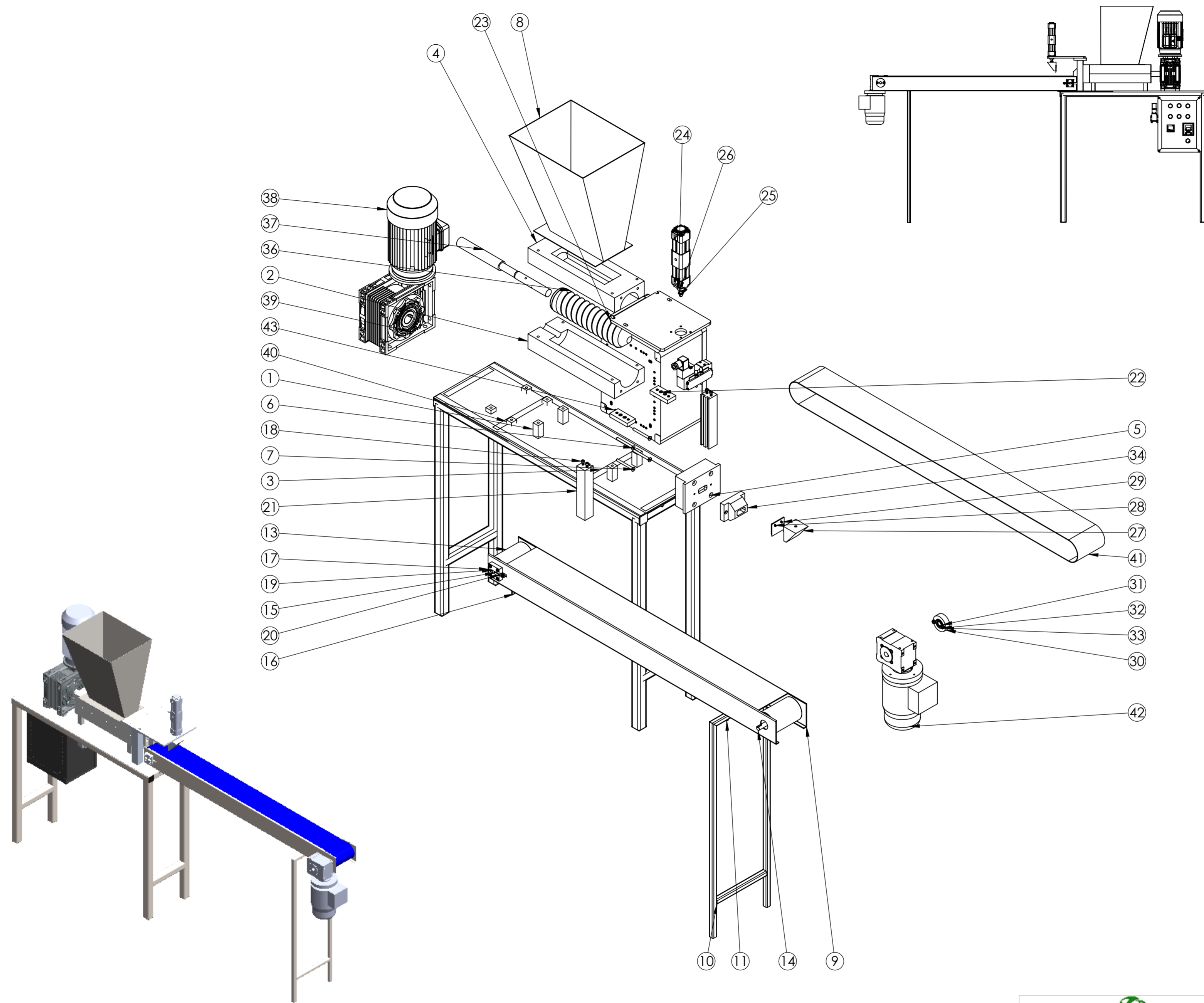
PLAN N°29





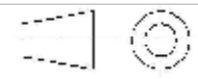
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	MOTEUR 1.5 kw	1
2	REDUCTEUR R60	1


 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01
 

ECHELLE 1:5	DESSIN DES SOUS-ENSEMBLES MOTEUR REDCTEUR	HEMMADA-FEYED-ELDIRYA
		DATE : 2020/2021
MATERIAU: NON SPECIFIE	MACHINE DE GATEAUX	PLAN N°29



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	CALE BLOC	4
2	BLOC 2	1
3	TABLE	1
4	BLOC 1	1
5	TUNNEL	1
6	ISO 10642 - M8 x 80 - 28N	1
7	ISO 10642 - M8 x 80 - 80N	3
8	TREMIE	1
9	TAPIS	1
10	PIED	1
11	ISO 4015 - M8 x 40 x 22-N	2
12	ISO - 4034 - M8 - N	2
13	ROUE DE GUIDE	2
14	AXE DE TAPIS 1	1
15	AXE DE TAPIS 2	1
16	SUPPORT DE TAPIS	1
17	REGLATEUR	2
18	ISO 4762 M6 x 20 - 20S	12
19	ISO 4162 - M6 x 50 x 50-S	2
20	ISO - 4034 - M6 - S	10
21	SUPPORT DE MOULE	2
22	SUPPORT	2
23	SUPPORT VERIN	1
24	VERIN	1
27	SUPPORT DE COUPEAU	1
28	COUPEAU	1
29	ISO 10642 - M5 x 12 - 12S	2
30	PALIER	1
31	SKF - 7202 BE - Full,DE,AC,Full_68	1
32	ISO 4762 M6 x 25 - 25S	2
33	ISO - 4161 - M6 - S	2
34	MOULE	1
35	LA BRIDE	1
36	VIS SANS FIN	1
37	AXE PRINCIPALE	1
38	MOTEUR 1.5 kw	1
39	REDUCTEUR	1
40	CALE REDUTEUR	4
41	TAPIS ALIMENTAIRE	1
42	MOTEUR TAPIS	1
43	ARMOIRE ELECTIQUE	1

 UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01 		
ECHELLE 1:10  MATERIAU : ACIER INOXYDABLE 316	DESSIN D'ASSEMBLAGE MACHINE DE GATAUX	HEMMADA-FEYED-EL DIRIA DATE : 2020/2021 PLAN N°27