



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

Université Saad Dahleb - Blida 1  
Faculté de technologie  
Département de Génie mécanique



## **Mémoire de fin d'étude**

*En vue de l'Obtention du Diplôme Master en Génie Mécanique*  
*Option : Fabrication Mécanique et Productique « FMP »*

**Thème :**

# ***Etude, Conception et Simulation d'une Machine d'Extrusion Plastique avec Système de Bobinage Filamentaire***

*Présenté par :*

**HARAZI Djamil**

**KHEDDAOUI Mohamed**

*Encadré par :*

**Dr. MECHRAOUI Salah-Eddine**

*Co-encadré par :*

**Mr. Lounici Bilel**

***Année Universitaire : 2019-2020***

## *Dédicace*

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à :  
A l'être le plus cher de ma vie, ma mère la personne qui m'as appris, m'as supporté et m'as dirigé vers la gloire.

À mon père qui m'a quitté aussi tôt, en vrai il n'a jamais quitté mon cœur.

A tous les membres de ma famille qui porte le nom de kheddaoui à mes frères et sœurs.

A mon ami intime considéré comme frère ainsi que son père, une personne qui m'a beaucoup marqué, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A mon amie intime et tt personnes qui occupe une place dans ma vie.

KHEDDAOUI Mohamed

---

Je dédie ce modeste travail a :

Mes chers parents, pour tout leur sacrifice, leur amour, support et leur soutien. Vous êtes ma force dans la vie.

A mon cher frère et ma chère sœur et à toutes les personnes de ma grande famille.

A mes amis et mes camarades.

HARAZI Djamil

# ***Remerciements***

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé la force et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Je tien a remercie nos encadreurs Mr. MECHRAOUI Salah-Eddine et Mr. LOUNICI Bilel pour leur qualité d'encadrement exceptionnel, pour leur patience et leur disponibilité durant notre préparation. Nos remerciements s'adressent aussi au Chef de département de Mécanique, Mr. TEMMAR Mustapha et tous les professeurs qui ont attribué à notre réussite.

# Sommaire

Liste des Figures.....	I
Liste des Tableaux .....	III
Résumé.....	IV
Abstract.....	IV
ملخص .....	IV
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Fabrication par fusion.....</b>	<b>2</b>
I.1. Introduction .....	3
I.2. Définition .....	3
I.3. Types de fabrication par fusion .....	4
I.3.1. Frittage .....	4
I.3.2. Forgeage liquide.....	5
I.3.3. Moulage [3] .....	5
I.3.4. Extrusion.....	10
I.3.5. Impression 3D.....	10
I.4. Les plastiques .....	11
I.4.1. Définition.....	11
I.4.1. Les plastiques les plus utilisés dans l'impression 3D.....	12
I.4. Conclusion.....	13
<b>Chapitre II : Etude de la machine d'extrusion et le mécanisme de bobinage.....</b>	<b>14</b>
I.1. Introduction .....	15
II.2. Conception de la machine : .....	15
II.2.1 Partie I : Extrusion .....	16
II.2.1.1. Principe de fonctionnement .....	16
II.2.1.2. Organe de la partie d'extrusion.....	16
II.2.1.3. Choix de matériau de fil de filament .....	20
II.2.1.4. Systèmes Vis-fourreau .....	21
II.2.1.5. Choix de moteur de la partie d'extrusion .....	22

II.2.2. Partie II : Bobinage .....	26
II.2.2.1. Principe de fonctionnement .....	26
II.2.2.2. Organe de la partie bobinage .....	26
II.2.2.3. Emplacement de la bobine.....	29
II.2.2.4. Choix de moteur.....	31
II.3. Comment faire fonctionner la machine.....	39
II.4. Problèmes prévus .....	39
II.5. Conclusion .....	39
<b>Chapitre III : Conception de la machine d'extrusion et le mécanisme de bobinage.....</b>	<b>40</b>
III.1. Introduction.....	41
III.2. Logiciel SolidWorks.....	41
III.3. Conception.....	41
III.3.1. Conception de la partie d'extrusion (Partie 1).....	42
III.3.2. Conception de la partie bobinage (Partie 2) .....	45
III.3.2. Conception de la base principale (Partie 3).....	49
<b>Chapitre IV : Simulation Numérique avec Flow Simulation.....</b>	<b>50</b>
IV.1. Définition de Flow-Simulation .....	51
IV.2. Simulation de l'écoulement .....	51
IV.2.1. Simulation de la vitesse d'écoulement .....	51
IV.2.1.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la vitesse d'écoulement .....	52
IV.2.1.2. Résultat de la simulation de la vitesse d'écoulement.....	58
IV.2.2. Vérification de la température.....	58
IV.2.2.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la température .....	59
IV.2.2.2. Résultats de la simulation de la température .....	59
IV.3. Conclusion.....	60
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe A1. Dessins de définition de quelques pièces.....</b>	<b>62</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>71</b>

---

# Liste des Figures

## Chapitre I.

Figure I. 1 : Fonderie en moule métallique. ....	3
Figure I. 2 : Engrenages frittés [2]. ....	4
Figure I. 3 : Principe de forgeage liquide. ....	5
Figure I. 4 : Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable à joint horizontal. ....	6
Figure I. 5 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau. ....	7
Figure I. 6 : Machine de moulage à basse pression. ....	7
Figure I. 7 : Etapes d'obtention d'un tuyau avec le moulage par centrifugation. ....	8
Figure I. 8 : Principe du Surmoulage. ....	9
Figure I. 9 : Presse d'injection. ....	9
Figure I. 10 : Principe d'extrusion. ....	10
Figure I. 11 : Impression 3D (Makerbot replicator 2). ....	11

## Chapitre II.

Figure II. 1 : Conception de la machine complète. ....	15
Figure II. 2 : Organes de la partie I de la machine: Extrusion. ....	16
Figure II. 3 : Motoréducteur. ....	17
Figure II. 4 : La trémie. ....	17
Figure II. 5 : Fourreau. ....	18
Figure II. 6 : Vis sans fin. ....	18
Figure II. 7 : Tête d'extrusion. ....	19
Figure II. 8 : Groupe d'accouplement. ....	20
Figure II. 9 : Géométrie du vis-fourreau. ....	21
Figure II. 10 : Spécifications de motoréducteur tiré de la marque benzlers-radicon [9]. ....	25
Figure II. 11 : La partie bobinage. ....	26
Figure II. 12 : Moteur D'ISSY Motor Ma-63-40 006. ....	27
Figure II. 13 : Support. ....	27
Figure II. 14 : Bobine. ....	28
Figure II. 15 : Bielle-manivelle. ....	29
Figure II. 16 : Partie de la bobine. ....	32
Figure II. 17 : Système d'engrenage de la bobine. ....	33
Figure II. 18 : Propriétés de la bobine (Masse) après conception SolidWorks. ....	34
Figure II. 19 : Caractéristiques des dents [10]. ....	34
Figure II. 20 : Dimensions de moteur MB 63-40 006 [11]. ....	35
Figure II. 21 : Bielle-manivelle. ....	36
Figure II. 22 : Variateur de fréquence <i>FR-D720S-025SC-EC</i> . ....	38

---

## Chapitre III.

Figure III. 1 : Logo SolidWorks. ....	41
Figure III. 2 : Extrudeuse de filament pour l'impression 3D. ....	42
Figure III. 3 : Motoréducteur <b>benzlers-radicon</b> . ....	42
Figure III. 4 : Conception du group extrusion. ....	43
Figure III. 5 : Conception du corps d'accouplement. ....	44
Figure III. 6 : Moteur <i>MB 63-40 006</i> . ....	45
Figure III. 7 : Conception de la bobine. ....	46
Figure III. 8 : Conception de la Bielle-manivelle. ....	47
Figure III. 9 : Conception de la base de la partie bobinage. ....	48
Figure III. 10 : Conception de la base principale de la partie bobinage. ....	49

## Chapitre IV.

Figure IV. 1 : Le mécanisme "vis-fourreau-buse" à étudier. ....	51
Figure IV. 2: Démarrage de la simulation avec Flow Simulation. ....	52
Figure IV. 3 : Fermeture du système. ....	52
Figure IV. 4 : Création du nouveau projet. ....	53
Figure IV. 5 : Choix d'unités. ....	53
Figure IV. 6 : Choix de types d'analyse et d'axe de référence. ....	54
Figure IV. 7 : Choix de la matière (polyéthylène PP). ....	54
Figure IV. 8 : Définition des conditions initiales. ....	55
Figure IV. 9 : Définition des conditions aux limites. ....	55
Figure IV. 10 : Définition des conditions aux limites (Condition à l'entrer). ....	56
Figure IV. 11 : Définition des conditions aux limites (Condition à la sortie). ....	56
Figure IV. 12 : Choix des résultats : vitesse sur l'axe. ....	57
Figure IV. 13 : Lancement de calcul. ....	57
Figure IV. 14 : Vitesse sur la buse de l'extrudeuse. ....	58
Figure IV. 15 : Zones de température ....	59
Figure IV. 16 : Température en zone 1 de 30° C à 105° C. ....	59
Figure IV. 17 : Température en zone 2 de 105° C à 130° C. ....	60
Figure IV. 18 : Température en zone 3 de 130° C à 160° C. ....	60

---

# Liste des Tableaux

## Chapitre II.

Tableau II.1 : Caractéristiques mécanique [5].....	20
Tableau II.2 : Caractéristiques physique [5].....	21
Tableau II.3 : Caractéristiques thermique [5].....	21
Tableau II. 4 : Vitesse tangentielle maximum pour éviter la dégradation de la matière [6]. ....	22
Tableau II. 5 : Variation de la vitesse de rotation de la bobine lors son remplissage. ....	32
Tableau II. 6 : Fiche technique de moteur MB 63-40 006. ....	35
Tableau II. 7 : Vitesse de la bielle manivelle. ....	37
Tableau II. 8 : Fiche technique du variateur de fréquence FR-D720S-025SC-EC [12].....	38



---

# Résumé

Pour valoriser les déchets, selon le type du plastique, on peut avoir recours à une deuxième mise en œuvre de ces matériaux. Parmi ces mise en œuvre on trouve le procédé d'extrusion. Ce travail consiste en l'Etude et la Conception avec SolidWorks d'une Machine d'Extrusion Plastique avec un Système de Bobinage Filamentaire. Ensuite, une Simulation Numérique du procédé d'Extrusion Plastique est réalisée avec Flow-Simulation de SolidWorks afin de vérifier les paramètres obtenus lors de cette étude.

**Mots Clés : Extrusion Plastique, Extrudeuse, Conception Mécanique, SolidWorks.**

---

# Abstract

To recover waste, depending on the type of plastic, it is possible to use these materials a second time. Among these implementations is the extrusion process. This work consists of the Study and Design with SolidWorks of a Plastic Extrusion Machine with Filament Winding System. Then, a Numerical Simulation of the Plastic Extrusion process is carried out with Flow-Simulation from SolidWorks in order to verify the parameters obtained during this study.

**Key words: Plastic Extrusion, Extruder, Mechanical Design, SolidWorks.**

---

## ملخص

لإعادة تدوير النفايات، اعتمادًا على نوع البلاستيك، يمكن استخدام هذه المواد مرة ثانية. من بين هذه التطبيقات عملية البثق. يتكون هذا العمل من دراسة وتصميم باستخدام SolidWorks لآلة بثق البلاستيك مع نظام لف الفتيل. بعد ذلك، يتم إجراء محاكاة عددية لعملية بثق البلاستيك باستخدام Flow-Simulation من SolidWorks من أجل التحقق من المعلمات التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة.

**كلمات مفتاحية : بثق البلاستيك، الباثق ، التصميم الميكانيكي ، SolidWorks.**

# Introduction générale

Le processus de recyclage est défini comme un processus ou un mécanisme par lequel la réutilisation des matériaux utilisés et nécessaires à la fabrication de nouveaux produits afin de réduire l'utilisation de matières premières comme le verre, le papier et le plastique. Le recyclage de nos jours a une grande importance notamment pour le plastique. Une matière qui ne se dégrade quasiment pas dans la nature. Grâce à cette matière qu'on retrouve jetée presque par tout, des économies substantielles sont réalisées en matière de production de nouvelles matières plastiques. Ce processus commence d'abord par la collecte des déchets et le tri dans un centre spécialisé. Ensuite, le broyage en paille. Après avoir fait un dernier tri, viendra l'étape de l'extrusion, puis la purification des granulés. Enfin, la production d'un nouveau produit.

Dans notre travail de recherche nous nous sommes intéressés plus précisément à l'extrusion du plastique ; en l'occurrence, nous avons choisi la matière plastique en particulier l'ABS pour réaliser notre travail ; autrement dit l'étape dans la quelle il y aura lieu une transformation. Elle consiste à faire fondre les paillettes à certains degrés de température et dans une énorme machine pour donner des joncs qui seront refroidis dans l'eau puis coupés pour former des granulés.

A travers cette étude, nous nous sommes intéressés à la conception et la simulation d'un système extrudeuse et un système de bobinage. Ce dernier a pour but de fabriquer des filaments d'impression 3D. L'objectif principal de notre travail est la conception de la machine d'extrusion et le système bobinage pour fabriquer des fils avec le logiciel SolidWorks puis la simulation du processus d'extrusion avec la partie Flow-Simulation de SolidWorks afin de vérifier les calculs réalisés en amont de la conception.

Pour mener ce travail, nous avons commencé par une synthèse bibliographique où nous avons donné un aperçu général sur la fabrication par fusion et ses différents types. Parmi ces derniers, l'extrusion et l'impression 3D.

Ensuite, dans un deuxième chapitre nous avons parlé plus précisément de l'extrudeuse tout en faisant les études analytiques et numériques afin de calculer non seulement les dimensions du mécanisme, mais aussi les vitesses de rotation et le choix moteur. Aussi, une étude pour la bobine des filaments est réalisée.

Dans un troisième chapitre, nous avons utilisé SolidWorks pour réaliser la conception de la machine et ses différents composants.

Dans le quatrième chapitre, nous avons utilisé Flow-Simulation du logiciel SolidWorks pour vérifier nos résultats analytiques.

Enfin, ce travail a été achevé par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

# **Fabrication par fusion**

## I.1. Introduction

Un procédé de fabrication est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication. Ces procédés de fabrication font partie de la construction mécanique. Les techniques d'assemblage ne font pas partie des procédés de fabrication, elles interviennent une fois que les différentes pièces ont été fabriquées. Parmi ces procédés on va parler de la fabrication par fusion qui est la plus souvent utilisée car non seulement elle est économique mais :

- Elle permet de produire des pièces de formes complexes (difficilement réalisable par l'usinage ou par d'autres procédés).
- La série des pièces est identique.
- La rapidité de la réalisation.
- Obtention des pièces massives tel que : bâti, volant ... etc.

## I.2. Définition

Le terme « fusion » désigne un phénomène de changement d'état de la matière, plus exactement le passage de l'état solide à l'état liquide. La transition de phase inverse s'appelle la solidification [1]. En parlant des procédés de fabrication, la fabrication par fusion implique la liaison d'éléments par le biais de la chaleur. On retrouve dans cette catégorie le frittage, le moulage, la fabrication additive (plus connue sous le nom d'impression 3D), ces trois principaux procédés de fabrication par fusion sont les plus utilisés.

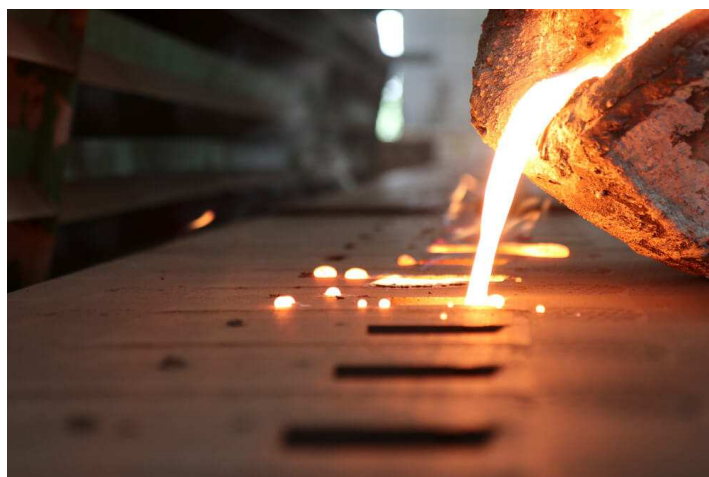


Figure I. 1 : Fonderie en moule métallique.

## I.3. Types de fabrication par fusion

### I.3.1. Frittage

Le frittage est un processus qui implique plusieurs phases. La première phase consiste à obtenir et préparer la poudre, puis la phase de la compaction. Enfin, Les dernières phases sont le frittage et la finition.

Le frittage peut être défini comme un processus de traitement thermique dans lequel une poudre métallique est transformée en un produit solide sans passer par l'état liquide. Durant le procédé une forte union entre particules est créée, ce qui augmente la force et la résistance de la pièce obtenue. L'élévation de la température provoque la soudure des particules de poudre entre elles, et la diffusion des éléments d'alliage, par un mécanisme de diffusion à l'état solide. La poudre métallique à partir de laquelle le processus est démarré peut être ferrique ou ferreux. Les matériaux les plus communs sont l'acier au carbone, l'acier inoxydable, le bronze, ...etc.

Les pièces fabriquées par frittage sont utilisés dans les domaines des outils et machines industriels, automobile, ascenseurs, armurerie, couverts, etc. dans chacun de ces secteur, le frittage proportionne des pièces de grande porosité qui agissent comme de filtre, pièce réfractaire, pièces de carbures parmi autres. Parmi les avantages de frittage on cite :

- L'aspect économique du point de vue énergétique car il fonctionne à température relativement basse.
- L'obtention des formes complexes à partir de l'outillage de compactage, sans opérations d'usinage supplémentaire nécessaire, cas des engrenages, les cannelures, les profils, ... etc. (Figure I.2).
- La rapidité du procédé qui permet l'obtention d'une forme définitive.



Figure I. 2 : Engrenages frittés [2].

### I.3.2. Forgeage liquide

Le forgeage liquide ou "squeeze casting" est un procédé très peu utilisé à l'extérieur de l'industrie automobile. Il est divisé en deux sous procédés. En premier lieu, le procédé d'origine, nommé direct ; le moule est fait comme pour le matriçage ; il est monté sur une presse verticale de forge. Le métal est coulé directement dans l'empreinte. Ce procédé présente plusieurs obstacles et nécessite une grande précision du dosage. De plus, il ne permet d'obtenir que des pièces de la même épaisseur.

En second lieu, Le procédé indirect qui est dérivé de la coulée sous pression ; il utilise les mêmes presses et la même technologie pour les moules. Néanmoins, il y a deux points de contrariétés :

- L'injection se fait à une vitesse faible, ce qui supprime le passage d'air pendant la coulée et rend possible le traitement thermique des pièces.
- Le système d'alimentation est très divergeant du moulage sous pression, ce qui permet de masselotter selon le même principe qu'en moulage par gravité et avec une efficacité accrue en raison de l'application de la pression.

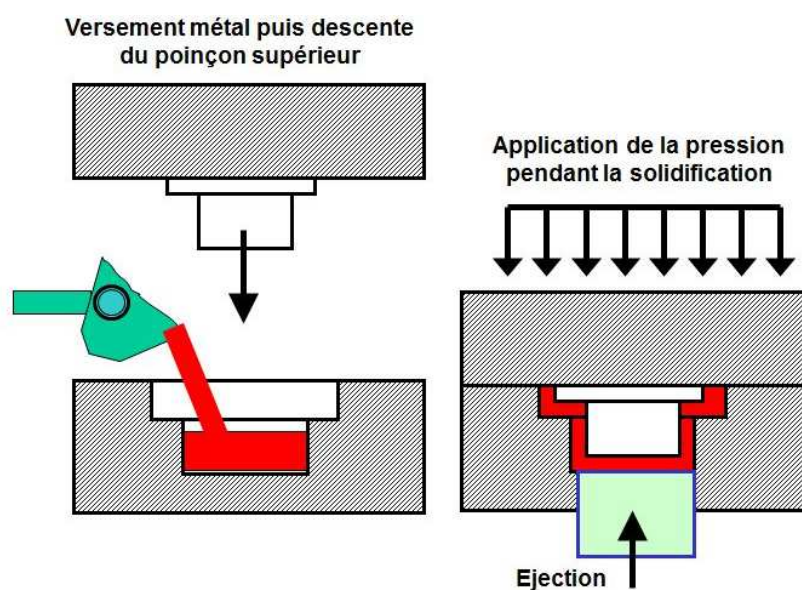


Figure I. 3 : Principe de forgeage liquide.

### I.3.3. Moulage [3]

Le moulage proprement dit consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule. Les moules peuvent être confectionnées en une, deux ou plusieurs parties. Les différents types de moulage sont :

### I.3.3.1. Moulage en sable

Le démoulage s'effectue par destruction du moule. On doit donc fabriquer autant de moules que de pièces à fabriquer. Il existe plusieurs techniques d'obtention du moule en sable (sable humide ; durcissement thermique, chimique ou physique). Le moule en sable est obtenu à partir d'un modèle permanent (généralement en bois, en résine ou en métal) ou unique (en cire ou en polystyrène) dans le cas du moulage à modèle perdu. L'intérêt de cette technique est que le sable est réfractaire (il résiste à la chaleur), et que le moule ne coûte pas cher à fabriquer. Par contre, l'état de surface ( $Ra \approx 3,2 \mu\text{m}$ ) et la précision obtenue sont assez mauvais. Cette technique convient bien pour des petites séries.

#### Etapes d'opération :

- Le châssis inférieur (2) est rempli de sable, puis compressé par la plaque modèle face externe (1),
- Le châssis supérieur (4), posé sur la plaque modèle face interne (5), est rempli de sable presse par la plaque (3).
- La plaque (3) est retirée, un noyau (6) est déposé dans la partie inférieure du moule (6), puis le châssis (4) est positionné sur le châssis (2), centré par les goujons. Le moule ainsi formé peut recevoir le métal en fusion.
- Après décochage, la pièce (8) est débarrassée des masselottes (7) et peut rejoindre le parachèvement.

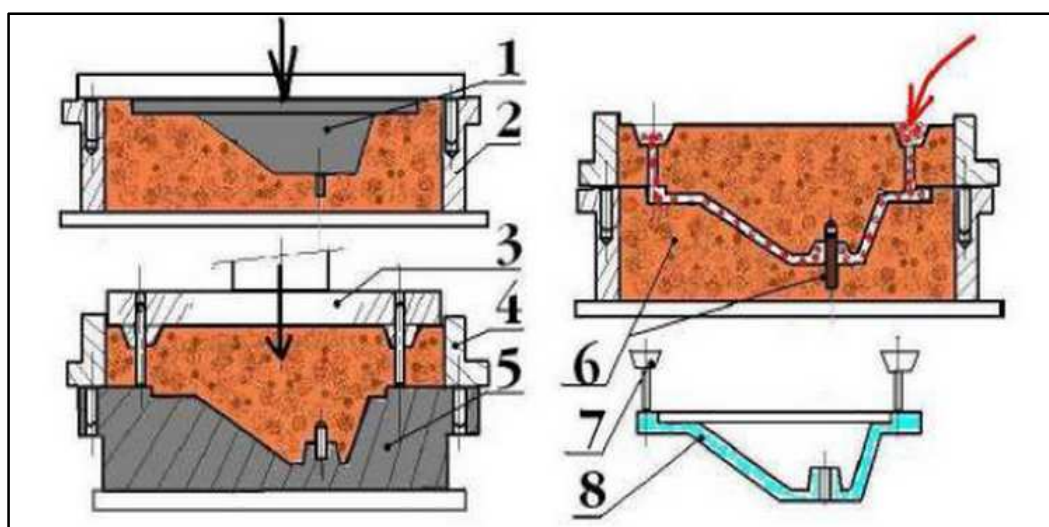


Figure I. 4 : Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable à joint horizontal.

### I.3.3.2. Moulage coquille par gravité

Le moulage en coquille consiste à obtenir une pièce à partir d'un moule métallique constitué de plusieurs parties, dans lequel est coulé un alliage en fusion. Les formes intérieures de la coquille déterminent les formes extérieures de la pièce, éventuellement complétées de noyaux et broches. Le remplissage de la



coquille se fait sous la seule action du poids de l'alliage soit par gravité ou coulée directe, soit en source, de bas en haut suivant le principe des vases communicants.

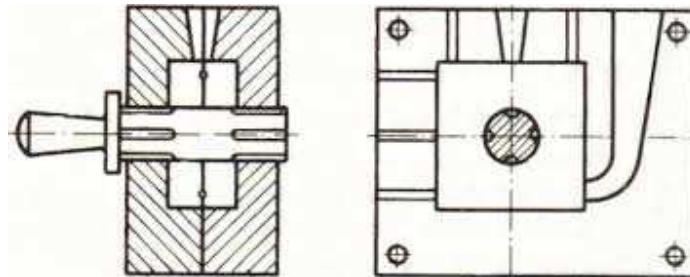


Figure I. 5 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau.

### I.3.3.3. Moulage basse pression

Le moulage basse pression consiste à injecter verticalement (à faible vitesse) le métal liquide à partir d'un four placé sous le moule par l'intermédiaire d'un tube céramique (ou en fonte poteyé) via une pression d'un gaz neutre qui appliqué sur le métal liquide va le forcer à remonter dans le tube et à remplir l'empreinte. La basse pression, en croissance, est presque exclusivement réservée à la transformation des alliages d'aluminium. La qualité des pièces réalisées en basse pression est supérieure à celle des pièces en moulage coquille car le remplissage (de bas en haut) est très maîtrisé et permet une très bonne santé interne. On fabrique typiquement des jantes ou des culasses automobiles (avec noyaux sable) par ce procédé (Figure I.6).

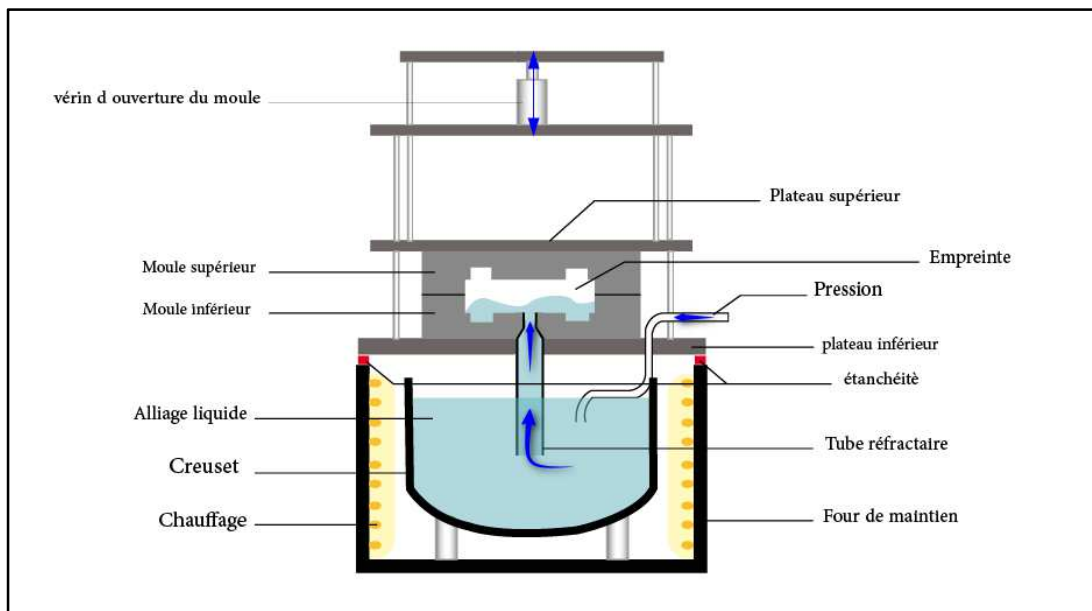


Figure I. 6 : Machine de moulage à basse pression.



### I.3.3.4. Moulage par centrifugation

Le moule est entraîné en rotation rapide. Le matériau liquide versé à l'intérieur se colle à la paroi par la force centrifuge et solidifie (Figure I.7).

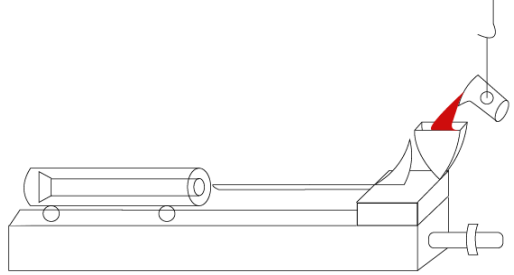
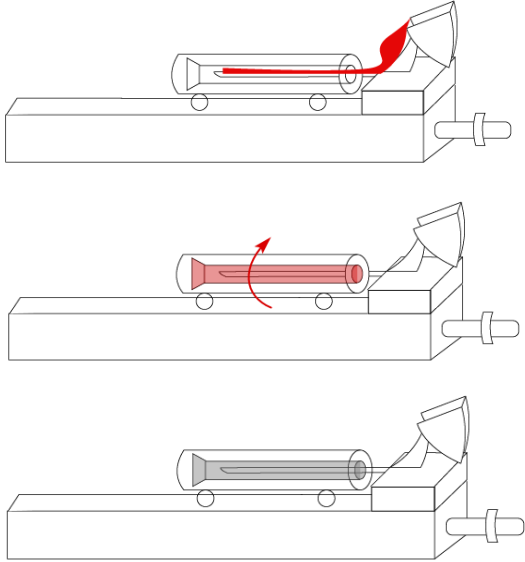
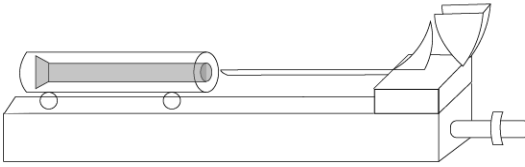
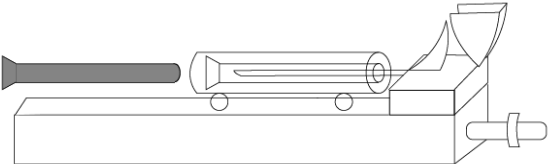
<p><u>Étape 01</u> : Mise en place des noyaux d'emboîtement de tuyau.</p>	
<p><u>Étape 02</u> : Rotation du moule et début de la coulée.</p>	
<p><u>Étape 03</u> : Fin de la coulée.</p>	
<p><u>Étape 04</u> : Démoulage du tuyau avant son acheminement vers le four de traitement thermique.</p>	

Figure I. 7 : Etapes d'obtention d'un tuyau avec le moulage par centrifugation.

### I.3.3.5. Moulage par insert (Surmoulage)

Cette technique consiste à mouler un matériau (souvent en plastique) par-dessus une pièce appelée insert (souvent en métal), inséré dans le moule. Il faut pour cela que le matériau à surmouler possédé une température de fusion plus faible que le matériau de l'insert (Figure I.8).

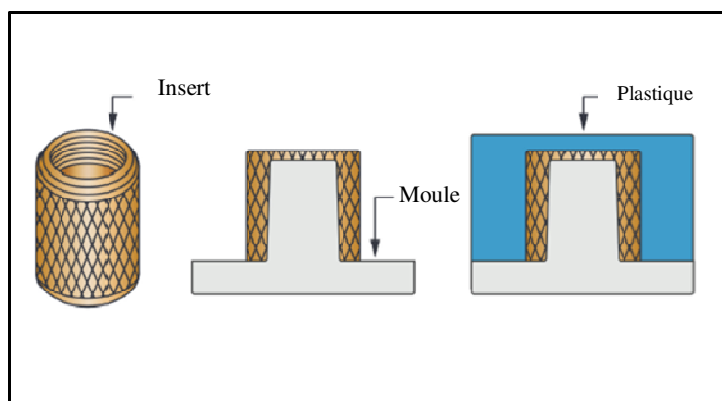


Figure I. 8 : Principe du Surmoulage.

### I.3.3.6. Moulage par injection

Le moulage par injection utilise des matières thermoplastiques. Ces dernières se présentent sous forme de granulés avant la phase de transformation. Elles sont ramollies sous l'effet de la chaleur. Une fois sous forme liquide, la matière est injectée dans un moule et prend l'empreinte de celui-ci. Une fois dans le moule, la matière refroidit et se solidifie, puis un mécanisme éjecte la pièce hors du moule. Ce mode de fabrication est utilisé pour produire des pièces de fine épaisseur pour un grand nombre d'applications. On peut extraire la pièce qui devient utilisable (Figure I.9).

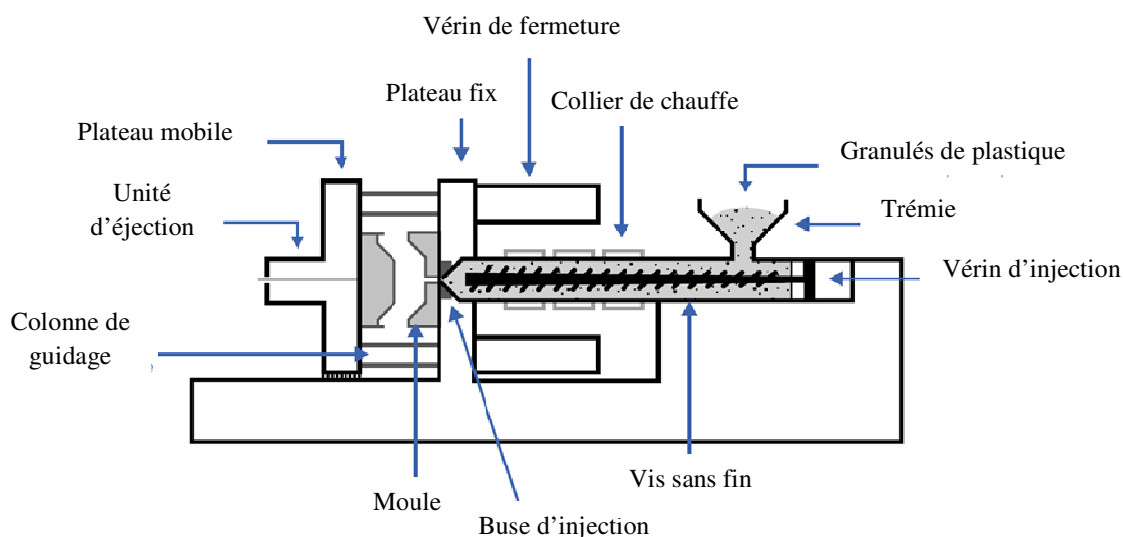


Figure I. 9 : Presse d'injection.

### I.3.4. Extrusion

L'extrusion est une technique de transformation des matières thermoplastiques. Elle permet d'obtenir des objets finis ou semi-finis par un processus technologique continu. Cette technique permet d'élargir l'assortiment d'objets fabriqués, et d'étendre la gamme de produits à partir des profilés rigides et souples à la fabrication des plaques, des feuilles, des objets creux, des granulés plastifiés, des câbles multifils et multicolores, etc. La presque totalité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, mais une seule partie en sort sous forme d'objets finis. L'extrusion est très utilisée pour la fabrication des granulés et des compounds transformés ensuite par d'autres méthodes. Chaque extrudeuse (Figure I.10) accomplit trois actions principales :

- elle transporte, le long du cylindre, la matière du point d'alimentation à la filière,
- elle la plastifie grâce au malaxage et à la chaleur apportée de l'extérieur,
- elle augmente progressivement la pression de la matière et la force à passer par la filière qui lui donne la forme figée ensuite par le refroidissement.

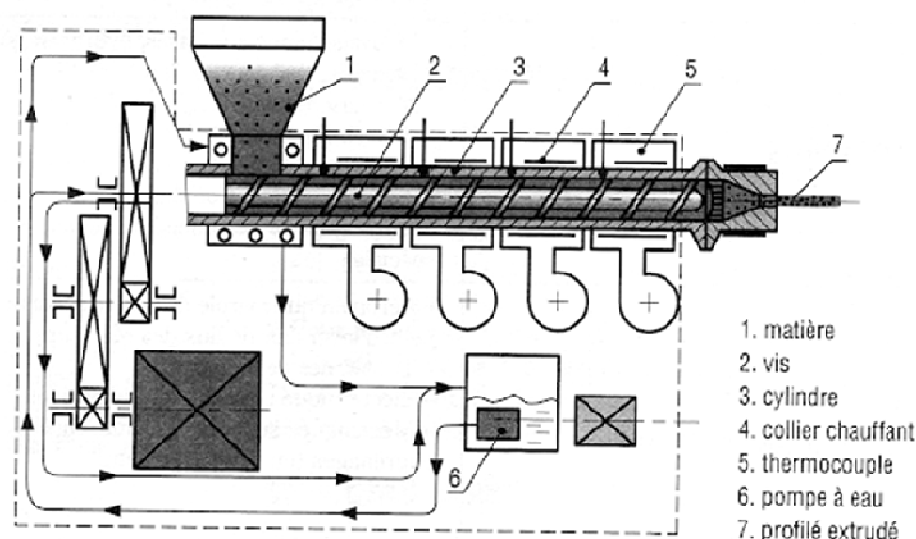


Figure I. 10 : Principe d'extrusion

### I.3.5. Impression 3D

De nos jours, l'impression 3D est accessible au grand public. Le début des imprimantes 3D date des années 1980, années où le premier processus de prototype rapide apparaît. Depuis il y a eu plusieurs milliers de brevets, de développement, de recherche et d'amélioration dans ce domaine. Aujourd'hui, la méthode de fabrication additive est intégrée. Ce procédé est dit additif car la fabrication repose sur la superposition de fines couches, une par une. Cette technologie peut produire des formes complexes impossibles avec les méthodes traditionnelles de moulage, d'usinage ou la technologie soustractive. Les domaines d'applications sont très variés : Aéronautique, aérospatial, automobile, médical, génie civil, etc.

Les avantages de cette fabrication sont multiples :

- a- Consolidation de pièces multiples : le nombre d'éléments dans un ensemble peut être réduit par la conception d'un composant unique complexe.
- b- Réduction des coûts d'outillage : les pièces peuvent être fabriquées directement sans outillage.
- c- Accès à des géométries complexes : canaux internes pour refroidissement conforme, éléments cachés, parois minces et fins maillages.
- d- Liberté vis-à-vis des restrictions liées aux méthodes classiques de fabrication soustractive et par moulage, lorsqu'elles sont combinées avec l'application de nouvelles règles de conception.
- e- Légèreté : matière de fabrication positionnée uniquement à l'endroit requis pour un allègement optimum des pièces.
- f- Articles sur mesure ou personnalisés.



Figure I. 11 : Impression 3D (Makerbot replicator 2)

Il existe plusieurs matériaux plastiques qu'on peut l'utiliser dans l'impression 3D, mais avant que nous commençons de parler de ses matériaux nous allons voir dans la partie suivante c'est quoi qu'un plastique.

## I.4. Les plastiques

### I.4.1. Définition

Un plastique est un matériau constitué de composés synthétiques ou semi-synthétiques qui a la propriété d'être malléable (capable de changer de forme). La plupart des plastiques sur le marché sont entièrement synthétiques, le plus souvent dérivés de la pétrochimie. Cependant, étant donné les préoccupations environnementales croissantes, les plastiques dérivés de matériaux renouvelables tels que

l'acide polylactique (PLA) sont également populaires sur le marché. En raison de leur faible coût, de leur facilité de fabrication, de leur polyvalence et de leur résistance à l'eau, les plastiques sont utilisés dans une multitude de produits et de secteurs. Sur le marché de la fabrication additive, ce n'est pas une exception : c'est la famille de matériaux la plus employée.

#### **I.4.1. Les plastiques les plus utilisés dans l'impression 3D**

Les technologies de dépôt de matière fondue sont les plus connues pour utiliser des matériaux plastiques. Ils se présentent sous la forme d'une bobine de filament qui est placée sur l'imprimante 3D. Il existe de nombreuses variétés de plastiques avec différentes caractéristiques [4] parmi ses plastiques on a :

- **ABS :**

C'est le matériau phare des briques de Lego, très utilisé aussi dans la carrosserie des voitures, les appareils électroménagers et dans de nombreuses applications de capotage. Le plastique ABS, c'est-à-dire l'acrylonitrile butadiène styrène, est le plastique le plus utilisé dans l'industrie. Il appartient à la famille des thermoplastiques ou plastiques thermiques et possède une base d'élastomères à base du polybutadiène qui le rend plus souple et résistant aux chocs.

- **PLA :**

L'acide polylactique ou PLA, contrairement à l'ABS, est biodégradable dans certaines conditions car il est fabriqué à partir de matières renouvelables (amidon de maïs). L'une de ses caractéristiques principales est son faible rétrécissement à l'impression 3D, raison pour laquelle des plateaux chauffants ne sont pas nécessaires lors de l'impression.

- **ASA :**

Techniquement connu sous le nom d'Acrylonitrile styrène acrylate, ce matériau possède des propriétés similaires à l'ABS avec toutefois une meilleure résistance aux rayons UV. On peut quand même avoir quelques complications pendant l'impression, c'est pour cela qu'il est recommandé d'avoir un plateau chauffant.

- **PET :**

Le polytéréphtalate d'éthylène, plus connu sous le nom de PET, se trouve principalement dans les bouteilles en plastique jetables. C'est un filament idéal pour des pièces destinées au contact alimentaire, semi-rigide et offrant une bonne résistance.

- **PEGT :**

Le PETG, ou polyester glycolisé, est un thermoplastique largement utilisé sur le marché de la fabrication additive, combinant à la fois la simplicité de l'impression 3D du PLA et la résistance de l'ABS.

- **PC :**

Le polycarbonate (PC) est un matériau très résistant conçu pour des applications d'ingénierie. Ce matériau est capable de supporter de hautes températures jusqu'à 150°C sans se déformer. Le polycarbonate est susceptible d'absorber l'humidité de l'air, ce qui peut affecter ses performances et sa résistance à l'impression. Par conséquent, il doit être conservé dans des boîtes hermétiques. Le PC est très apprécié par l'industrie de la fabrication additive pour sa solidité et sa transparence. Il a une densité beaucoup plus faible que le verre, ce qui le rend particulièrement intéressant pour la conception de pièces optiques, d'écrans de protection ou d'objets décoratifs.

- **PP :**

Le PP est un autre thermoplastique très utilisé en automobile, pour les emballages, les vêtements professionnels jetables, et dans la fabrication d'une centaine d'objets du quotidien. Le polypropylène est réputé pour sa résistance à l'abrasion et sa capacité à absorber les chocs, en plus d'une relative rigidité et flexibilité. Un des inconvénients est sa faible résistance aux températures et sa sensibilité au rayonnement UV, raison pour laquelle plusieurs fabricants d'imprimantes ont développé des dérivés de ce matériau, les simili-polypropylènes, afin de renforcer ses propriétés physiques et mécaniques.

## **I.4. Conclusion**

La fabrication mécanique est un secteur qui regroupe des travailleurs polyvalents qui s'affairent à la conception, à la fabrication, au réglage, à la réparation ou à l'assemblage d'une multitude de pièces, d'outils, d'accessoires et de produits métalliques. Dans notre travail nous avons vu de plus près tous ce qui concerne la fabrication par fusion dans la construction mécanique et les différents Machines utiliser dans ce domaine. Nous avons précisé le fonctionnement des procédés (frittage, moulage avec ses différents types, extrusion et impression 3D) qui nous permet d'obtenir différent pièces et outils mécaniques. Ces techniques vont nous faciliter la fabrication. En outre, limité les coûts d'outillage en obtiendras des pièces massives et complexe.

**Chapitre II : Etude de  
la machine d'extrusion  
et le mécanisme de  
bobinage**

## I.1. Introduction

L'extrusion est une technique de transformation de la matière plastique qui permet la fabrication de différents objets. Parmi ces derniers, on retrouve les filaments en plastique connus et utilisés dans le domaine de l'impression 3D. Tout cela se fait à l'aide d'une machine dite extrudeuse dont on va présenter son étude et sa conception dans ce chapitre. Nous allons commencer par sa conception jusqu'à son fonctionnement en passant par les calculs de diamètre de la vis et la vitesse nécessaire en outre du choix de moteur qui lui convient. On termine par la conception du système de bobinage filamentaire après les calculs appropriés.

## II.2. Conception de la machine :

Le système à étudier permet d'extruder la matière plastique puis de produire des bobines de filament pour l'impression 3D, de plusieurs diamètres selon le besoin clientèle. La figure II.1 présente la machine complète après la conception. Nous verrons la conception en détail dans le chapitre III.

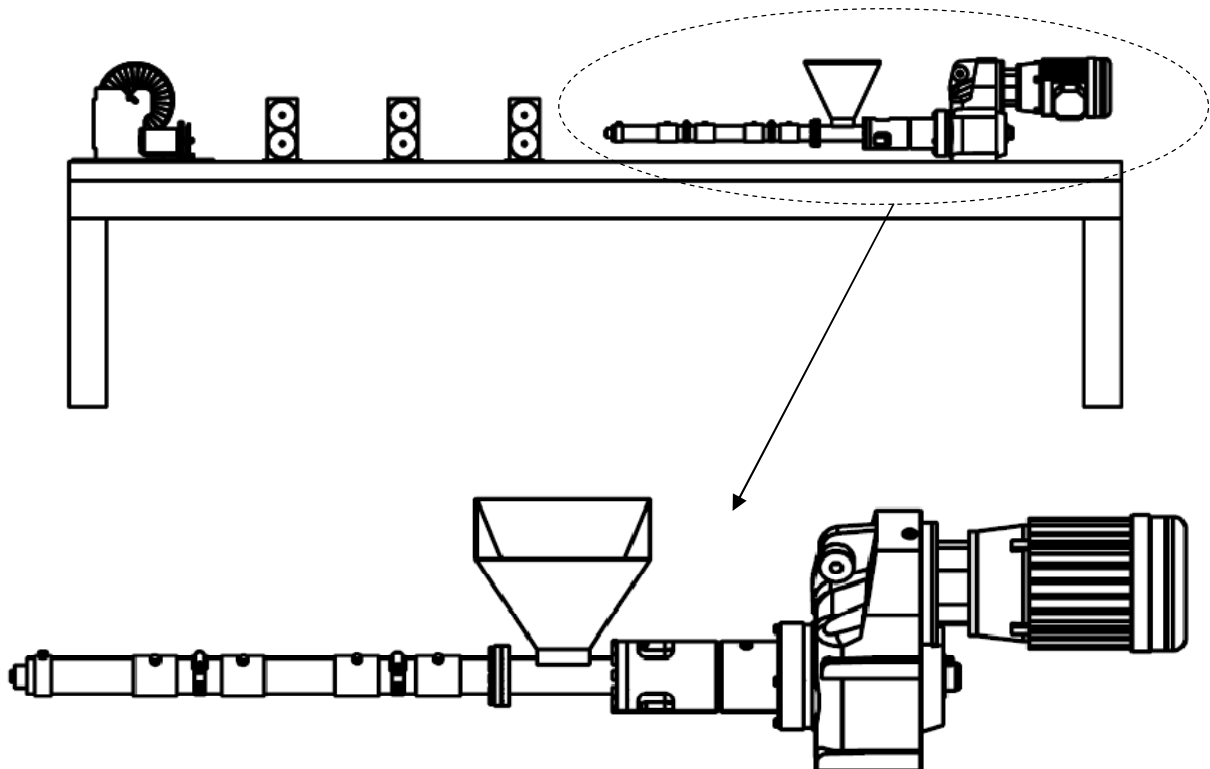


Figure II. 1 : Conception de la machine complète.

Nous divisons la machine en deux parties selon l'ordre chronologique de leurs fonctions :



## II.2.1 Partie I : Extrusion

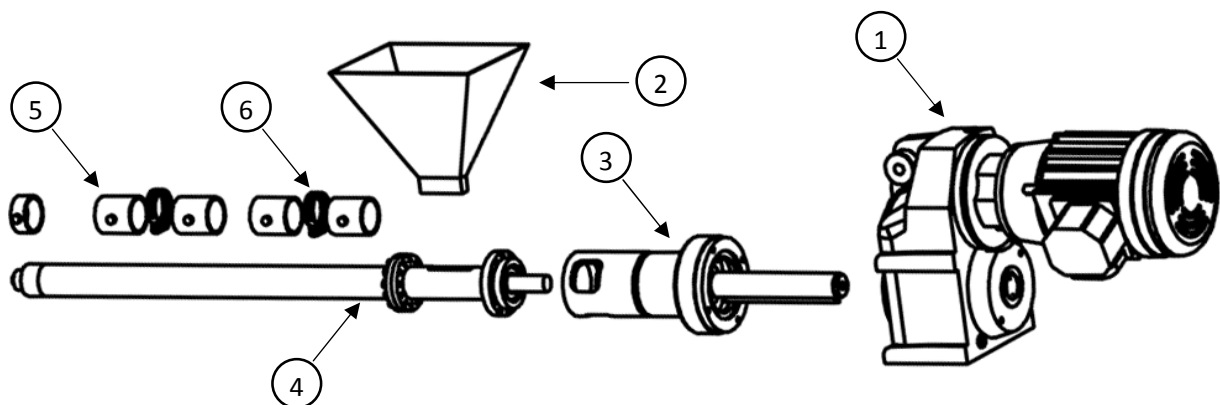
La partie extrusion consiste à faire passer la matière fondue à travers une filière. Cette dernière nous donne la forme de matière souhaitée (filament).

### II.2.1.1. Principe de fonctionnement

D'abord, la matière est ajoutée dans la trémie sous forme de granules. Ensuite, la trémie alimente en continu la vis sans fin (Partie I), qui assure à la fois le chauffage, le malaxage, la mise en pression et le dosage de la matière, qui est refoulée sous pression dans la tête d'extrusion. La tête contient une filière qui donne la forme finale de notre filament, et le filament va solidifier et refroidi à l'aide de l'eau ou de l'air. Ensuite pour terminer, nous allons guider notre filament jusqu'au bobine (Partie II : bobinage).

### II.2.1.2. Organe de la partie d'extrusion

La partie d'extrusion de notre machine contient plusieurs composants, la figure II.2 présente ces différents composants :



6	02	Thermocouple
5	05	Collier chauffant
4	01	Vis-fourreau
3	01	Group d'accouplement
2	01	La trémie
1	01	Motoréducteur
Numéro	Quantité	Nom

Figure II. 2 : Organes de la partie I de la machine: Extrusion.

#### **a- Motoréducteur**

Le motoréducteur (Figure II.2) est un ensemble constitué d'un réducteur de vitesse déjà équipé d'un moteur électrique et prêt à être monté sur les installations. Le rôle du motoréducteur dans la partie d'extrusion est d'assurer la rotation de la vis sans fin.



Figure II. 3 : Motoréducteur.

### **b- La trémie**

C'est un récepteur de la matière sous forme de granulé, qui va descendre par gravité jusqu'au vis sans fin.

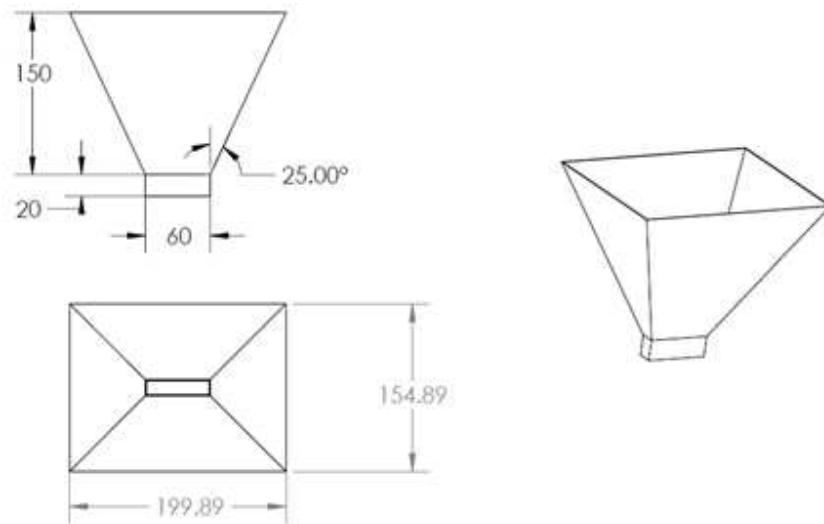


Figure II. 4 : La trémie.

### **c- Vis-fourreau**

L'ensemble de vis-fourreau est un ensemble qui contient un cylindre (fourreau), une vis sans fin et des colliers chauffants.

- **Fourreau** : est un cylindre chauffé par un système d'échauffement (colliers chauffants + thermocouples), donc il va assurer une température équilibrée nécessaire pour la fusion de la matière plastique, ainsi il représente une voie que la matière passe à travers. Il est assemblé avec le groupe d'accouplement avec une bride de 12 boulons.

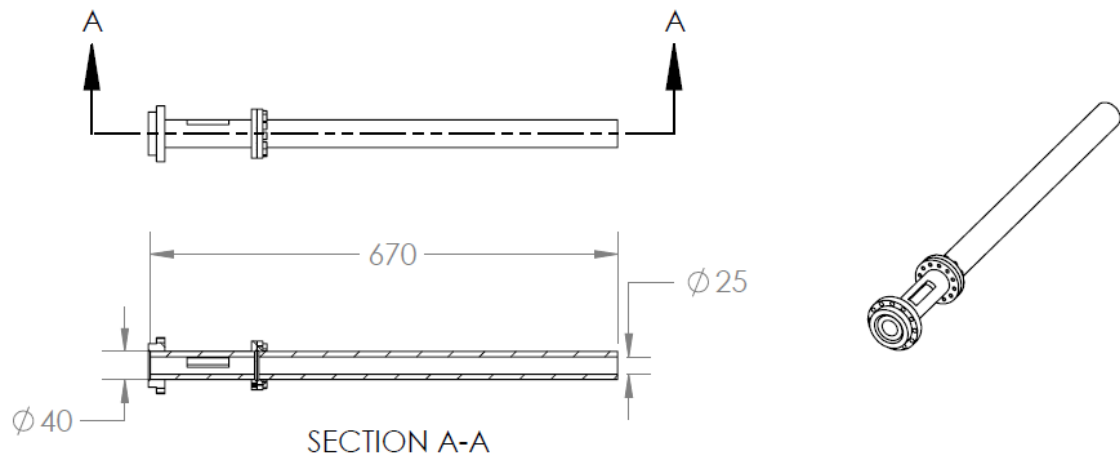


Figure II. 5 : Fourreau.

- **Vis sans fin** : Une vis sans fin est un cylindre comportant une cannelure hélicoïdal (parfois plusieurs), la faisant rassembler à une tige filetée. Elle est l'organe la plus importante dans notre machine, cette derrière tourne dans un cylindre chauffé (fourreau) pour assure le transport de la matière de la trémie jusqu'à la tête d'extrusion.

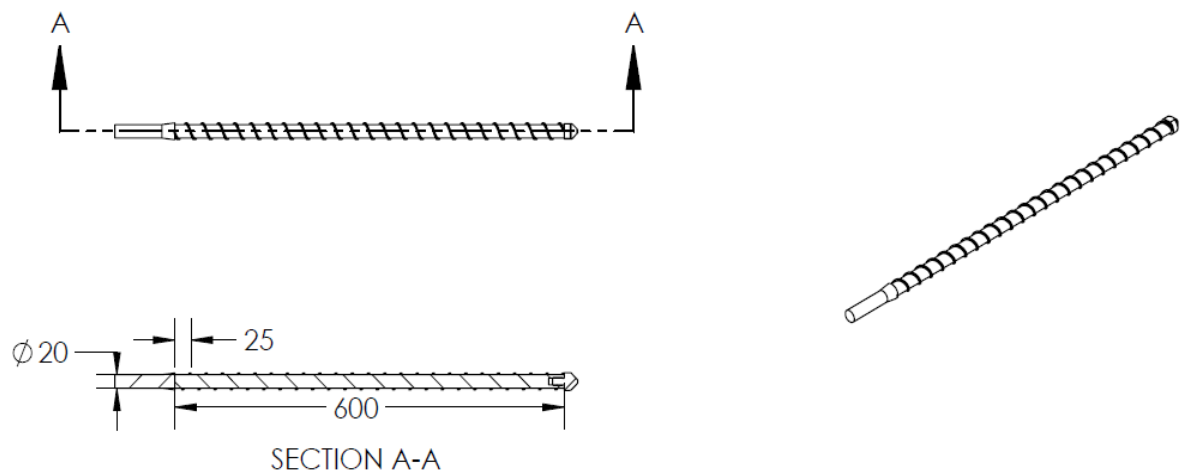


Figure II. 6 : Vis sans fin.

- **Tête d'extrusion et la filière** : fournie la forme finale dont on a besoin.

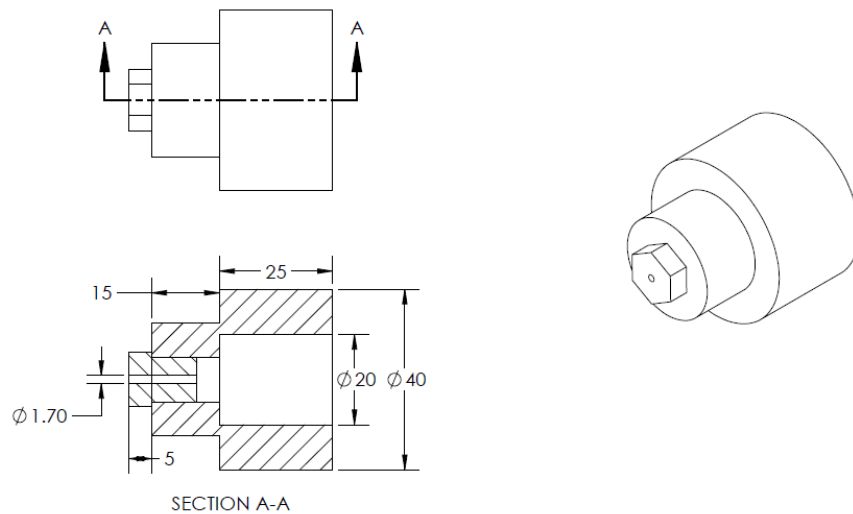


Figure II. 7 : Tête d'extrusion.

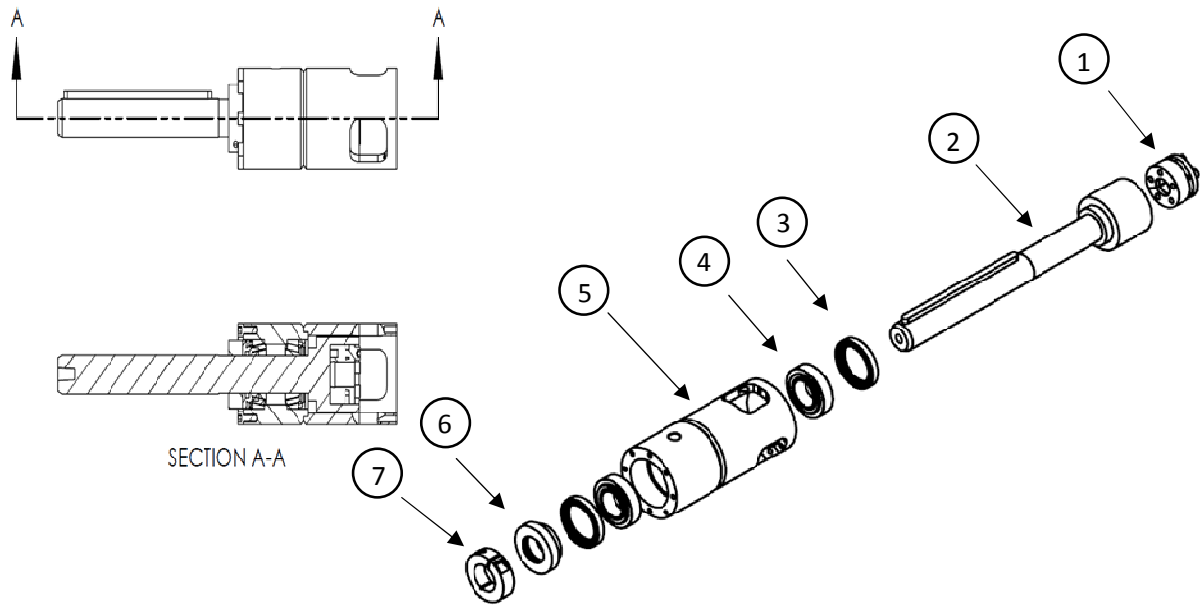
#### **d- Les colliers chauffants et les thermocouples**

Dans l'ensemble de vis fourreau, les colliers chauffants servent à chauffer par conduction et réguler l'ensemble du système à la température de travail du polymère utilisé. Ils ont des formes circulaires, qui permettent d'entourer le fourreau cylindrique. Pour fonctionner, ils sont reliés directement au système électrique de la presse. Il existe plusieurs types de colliers chauffants correspondant aux puissances demandées. En général, pour les fourreaux des presses à injection, on utilise souvent les colliers de type céramique, ou bien de type mica.

#### **e - Groupe d'accouplement**

Le groupe d'accouplement a le rôle d'accoupler le motoréducteur avec la vis sans fin par ces étapes :

1. Le moteur réducteur tourne avec une vitesse connue puis il fait tourner l'arbre par une clavette entre eux.
2. Un récepteur de la vis installée par serrage avec l'arbre donc il va tourner avec la même vitesse de ce dernier.
3. La vis sans fin va s'installer par serrage avec le récepteur de la vis donc il va tourner avec une vitesse égale à la vitesse de moteur.



7	01	Collier d'arbre
6	01	Entretoise de roulements et joints
5	01	Corps de roulement
4	02	Roulement
3	02	Joint de roulement
2	01	Arbre d'accouplement
1	01	Récepteur de la vis
<b>Numéro</b>	<b>quantité</b>	<b>Nom</b>

Figure II. 8 : Groupe d'accouplement.

### II.2.1.3. Choix de matériau de fil de filament

Il existe plusieurs filaments dans l'impression 3D, parmi les thermoplastiques les plus employés, on retrouve 2 consommables dominants : le PLA et l'ABS, des polymères qui deviennent mous et malléables lorsqu'ils sont chauffés et qui reviennent à un état solide au moment de refroidissement. Pour notre étude nous avons choisis l'ABS « Acrylonitrile butadiène styrène » car il est plus résistant et supporte bien les écarts de température.

#### a- Caractéristiques d'ABS

Coefficient de poisson	0,35
Coefficient de frottement	0,5
Elongation à la rupture (%)	45
Module de tension (GPa)	2,1 - 2,4
Résistance à la traction (MPa)	41 - 45
Résistance aux choques IZOD ( $\text{J m}^{-1}$ )	200 - 400

Tableau II.1 : Caractéristiques mécanique [5].

Absorption d'eau - sur 24 heures (%)	0,3 - 0,7
Densité (g cm <sup>-3</sup> )	1,05
Indice limite d'oxygène (%)	19
Inflammabilité	HB à 1,5 mm
Résistance à radiation	Passable
Résistance aux ultra-violets	Mauvaise

Tableau II.2 : Caractéristiques physique [5].

Température d'utilisation	-20 à 80°C
Température de fusion	130°C
T° translation vitreuse	105 à 115°C
Conductivité thermique à 23°C (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,17
Capacité thermique massique (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1,8

Tableau II.3 : Caractéristiques thermique [5].

### **b- Dimension de fil de filament**

Nous voulons obtenir un fil de filament d'ABS de diamètre  $D_{fil} = 1,7$  mm. C'est le diamètre de la majorité des fils universellement commercialisés pour l'impression 3D.

### **II.2.1.4. Systèmes Vis-fourreau**

Les éléments géométriques essentiels du système vis-fourreau sont indiqués sur la figure ci-dessous :

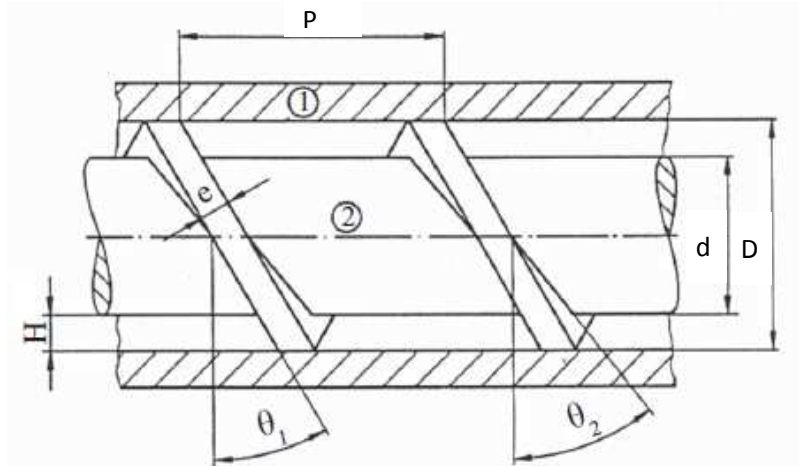


Figure II. 9 : Géométrie du vis-fourreau.

### **a- Géométrie du système vis-fourreau [6]**

- Le diamètre intérieur du fourreau = le diamètre extérieur du vis =  $D = 25$  mm.
- Le diamètre du corps de vis = diamètre intérieur de vis =  $d = 20$  mm.

Ces deux paramètres donnent l'accès à la profondeur de chanal :  $H = \frac{D-d}{2}$ .

- La profondeur de chanel  $H = 2,5$  mm.
- L'épaisseur  $e = 2$  mm.
- Le pas de la vis  $P = 25$  mm.

Le pas de vis nous permet de déterminer l'angle  $\theta$  que fait le filet avec un plan orthogonal à l'axe de la vis.

$$\operatorname{tg}\theta(r) = \frac{P}{\pi \times 2r} = \frac{P}{\pi \times D}$$

AN : cas de l'extrusion des matières thermoplastiques  $P = D \Rightarrow \operatorname{tg}(\theta) = \frac{25}{3,14 \times 25} = 0,319 \Rightarrow \theta \approx 17^\circ$

- La longueur de la vis  $l = 600$  mm .
- Nombre de filet  $n = \frac{l}{P} = 24$  .

### **b- La vitesse maximale de rotation de la vis sans fin $N_{\max}$ .**

La vitesse de rotation maximale est fournie dans les documentations matière (Tableau II.4). Elle est exprimée en vitesse tangentielle sur le diamètre extérieur de la vis [6] :

$$\text{Vitesse de rotation (tr/min)} = \frac{\text{Vitesse tangentielle en (m/s)} \times 60000}{\text{Périmètre de la vis en (mm)}} = N_{\max}$$

Matières	ABS	PA6 PA66	PA11 PA12	PBT	PC	PE HD	PE bd	PMM A	POM	PS	PS b	SAN	PVC	PP
Vitesse tangentielle (m/s)	0,6 0,65	0,3 0,5	0,3 - 0,5	0,3 0,35	0,3 0,5	0,75 0,8	0,7 0,75	0,35 0,4	0,5 0,6	0,7 0,8	0,7 0,8	0,55 0,65	0,15 0,2	0,75 0,8

Tableau II. 4 : Vitesse tangentielle maximum pour éviter la dégradation de la matière [6].

AN : En prenant une vitesse tangentielle = 0,625 pour le ABS,  $N_{\max} = \frac{0,625 \times 60000}{\pi \times 25} = 477,71$  **tr/min.**  
Notre vis sans fin peut tourner jusqu'à **477,71 tr/min.**

### **II.2.1.5. Choix de moteur de la partie d'extrusion**

Afin de choisir un motoréducteur pour la partie d'extrusion de notre machine nous devons passer par les étapes suivantes :

- Connaitre la vitesse d'écoulement voulue.
- Déterminer le débit volumique optimal  $Q_{\text{Optimale}}$ .
- Calculer la vitesse de rotation optimale de la vis qui nous assure ce débit  $N_{\text{Optimale}}$ .
- Calculer la puissance nominale  $P_{n1}$ .
- Choisir le motoréducteur.

#### **a- La vitesse d'écoulement**

Dans l'extrusion des filaments la vitesse d'écoulement est entre 0,05 m/s jusqu'au 0,30 m/s. Nous allons choisir une vitesse d'écoulement moyenne  $V_{\text{écoulement}} = 0,15$  **m/s** pour la bien contrôler manuellement. Dès que le fil sort de la filière jusqu'il arrive à la bobine.

**b- Le débit volumique optimal Q optimal**

La vitesse d'écoulement représente la distance traversée par le fil de filament par lapse de temps. Par conséquent, la vitesse d'écoulement  $V_{\text{écoulement}} = \frac{\text{La longueur}}{\text{Volume de fil par lapse de temps}}$ .

Le débit volumique représente le volume de fil de filament sortant de la filière par lapse de temps, donc le débit volumique optimal :  $Q_{\text{Optimale}} = \frac{\text{Volume de fil}}{\text{lapse de temps}}$ .

Pour  $t = 1 \text{ min}$  on a :  $V_{\text{écoulement}} \times t = 0,15 \text{ (m/s)} \times 60 \text{ (s)} = 9 \text{ m}$

Ainsi pour une minute on a une longueur de fil égale à 9 m.

$$\text{Volume de fil} = S \times L$$

Avec :

S : la surface de fil

L : longueur de fil

$$S = \pi \times \frac{D_{\text{fil}}^2}{4}$$

AN :

$$S = 3,14 \times \frac{1,7^2}{4}, \text{ cela donne } S = \mathbf{0,0000227 \text{ m}^2}$$

Volume de fil =  $0,0000227 \times 9$ , cela donne un volume de fil =  $\mathbf{0,0002043 \text{ m}^3}$

Ainsi donc, le débit optimal  $Q_{\text{optimal}} = \mathbf{0.00002043 \text{ m}^3/\text{min}}$ .

**c- La vitesse de rotation de la vis nécessaire N2**

On a :

$$Q = S \times P \times N_2 \times \varphi \times C \quad (1)$$

Avec :

S : la section utile :  $S = \pi \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right)$ ,

P : Pas de la vis,

$N_2$  : la vitesse de rotation de la vis,

$\varphi$  : degré de remplissage : entre 0,15 et 0,45 ; valeur supérieur pour les matériaux à haut fluidité à faible coefficient de frottement,

C : coefficient de vitesse : entre 0,5 et 1.

**Remarque :**

Il y a une réduction de débit d'environ 2% pour chaque 1° d'angle de pas. Règle applicable pour des angles de pas jusqu'à  $\theta=20^\circ$ . Alors, pour un angle de pas  $\theta=17^\circ$  le débit a une réduction de  $2\% \times 17 = 34\%$ .

$$Q_{\text{optimal}} = Q - 34\% Q$$



$$Q_{\text{optimal}} = 0,66 Q$$

$$Q = \frac{1}{0,66} Q_{\text{optimal}} \quad (2)$$

**La section utile :**

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

$$\text{AN : } S = 3,14 \left( \frac{0,025^2 - 0,020^2}{4} \right) \Rightarrow S = 0,0001766 \text{ m}^2$$

De (1) et (2) on a :

$$Q = S \times P \times N_2 \times \phi \times C = \frac{1}{0,66} Q_{\text{optimal}} \Rightarrow N_2 = \frac{(Q_{\text{optimal}})}{0,66 (S \times P \times \phi \times C)}$$

Pour l'ABS qui a un coefficient de frottement moyen nous avons choisi :

$$\phi = 0,30 \text{ et } C = 0,7 [7].$$

$$\text{AN : } N_{\text{optimale}} = \frac{(0,0002043)}{0,66 (0,0001766 \times 0,025 \times 0,3 \times 0,7)} \Rightarrow N_2 = 33,38 \text{ tr/min} \approx 33,4 \text{ tr/min}$$

La vitesse de rotation de notre vis est **33.4 tr/min.**

#### **d- la puissance nominale $P_{n1}$**

Selon [7], nous avons pour le choix de moteur et le réducteur les lois et les données suivantes :

- Couple de sortie :  $C_2 = 70 \text{ N.m}$
- Puissance de sortie :  $P_2 = \frac{C_2 \times N_2}{9550}$
- Puissance d'entrée :  $P_1 = \frac{P_2}{n}$
- $n=0,96$

$$\text{AN : } P_2 = \frac{70 \times 33,4}{9550} = 0,24 \text{ KW}$$

$$P_1 = 0,25 \text{ K}$$

Pour le calcul de la puissance nominale nécessaire, il faut prendre en considération les caractéristiques de la machine à entraîner et de sa motorisation, on multiplie  $P_1$  par le facteur de service  $F_s$ , le cas de l'extrudeuse plastique de fonctionnement moyen **3 à 10 heures/jour**,  $F_s = 1,25$ .

- La puissance nominale,  $P_{n1} = P_1 \times F_s$

$$\text{AN : } P_{n1} = 0,25 \times 1,25 = 0,31 \text{ K}$$

#### **e- Choix de motoréducteur**

D'après les résultats de calculs ci-dessus, nous avons choisi un moteur de vitesse nominale :

**$N=1380 \text{ tr/min}$ , et de puissance nominale  $P_n = 0,37 \text{ KW}$ .**

La vitesse de rotation de vis nécessaire est environ **33,4 tr/min**, et puisque la vitesse du moteur est égale à **1380 tr/min**, le choix de réducteur est assez simple, il suffit de calculer le rapport de réduction nominale :

$$i_n = \frac{N}{N_2}$$

AN :  $i_n = \frac{1380}{33,4} \approx 41,32$


Le motoréducteur référence (**F032228.TMHK1A.37C--**) de la marque **BR (benzlers-radicon)** remplit suffisamment nos besoins et justifie notre choix [8] (Figure II.10).

Direct Code Entry box  
**F032228.TMHK1A.37C--** Configure

Column Selection Buttons  

F	0	3	2	2	2	8	.	T	M	H	K	1	A	.	3	7	C	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Product specifications	Values
Gearbox Series	F
Size of Unit	3
No of Reductions	2
Exact Ratio	27.86
Output Torque Capacity	102 Nm
Overhung Load Capacity	6550 N
Weight of Base Unit	28 Kg
Motor Standard	IEC
Motor Frame Size	80A, B14 Frame
Number of Motor Poles	6
Motor power	.37 kW
Output speed	33 rpm
Service factor	3.65



F-Series

Direct Code Entry box  
**F032228.TMHK1A.37C--** Configure

Column Selection Buttons  

F	0	3	2	2	2	8	.	T	M	H	K	1	A	.	3	7	C	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Kit description	Part kit code
Primary Unit-Gearhead Kit	F03-28.0H
Primary Unit-Motor Adaptor Kit	M01K
Primary Unit-Motor Kit	MA080KA.37CS-
Primary Unit-Oil quantity	1.3 Litre(s)
Primary Unit-Primary Gear Kit	PG0473.6
Primary Unit-Torque Bush kit	F04/06-0T

Code	Values
F	Series
03	Size of Unit
2	Reduction
2	Revision
28.	Nominal Ratio
T	Standard Unit with Torque Bushing
M	Geared Motor - with IEC standard motor
H	Metric Hollow Shaft
K	Motor frame size 80A & Flange type B14
1	Mounting Position 1
A	A - Terminal Box Position '22' Degree
.37	Motor Power
C	6 Pole,1000 rpm,50 HZ(Standard Output Motor)
-	No Additional Motor Features
-	No Additional Gearbox Features

Figure II. 10 : Spécifications de motoréducteur tiré de la marque benzlers-radicon [9].

## II.2.2. Partie II : Bobinage

La partie bobinage a comme rôle d'installer le filament autour d'une bobine au fur et à mesure de la sortie du filament.

### II.2.2.1. Principe de fonctionnement

Après extrusion, le filament va être guidé pour s'installer sur la bobine. D'abord il faut faire passer le filament par un guide de filament qui a un système de va et vient pour assurer la translation de filament sur la longueur de la bobine puis il va être fixé sur la bobine. Dès que la bobine commence à tourner le filament va tourner et s'installer autour d'elle.

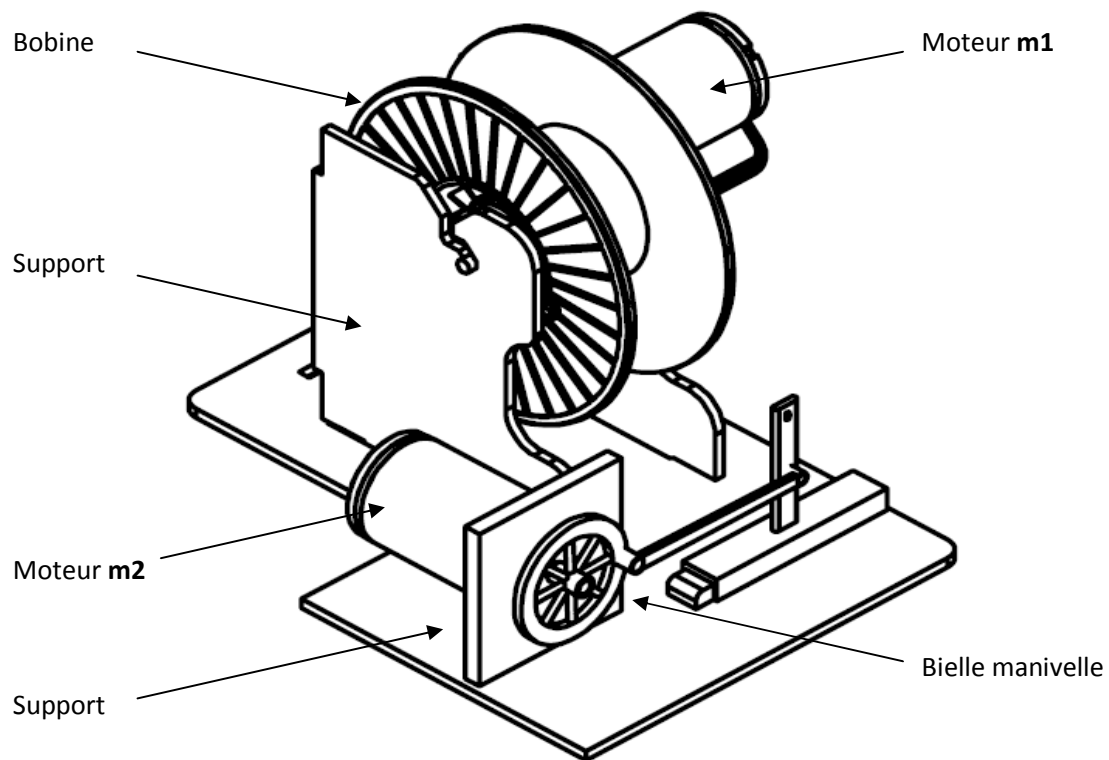


Figure II. 11 : La partie bobinage.

### II.2.2.2. Organe de la partie bobinage

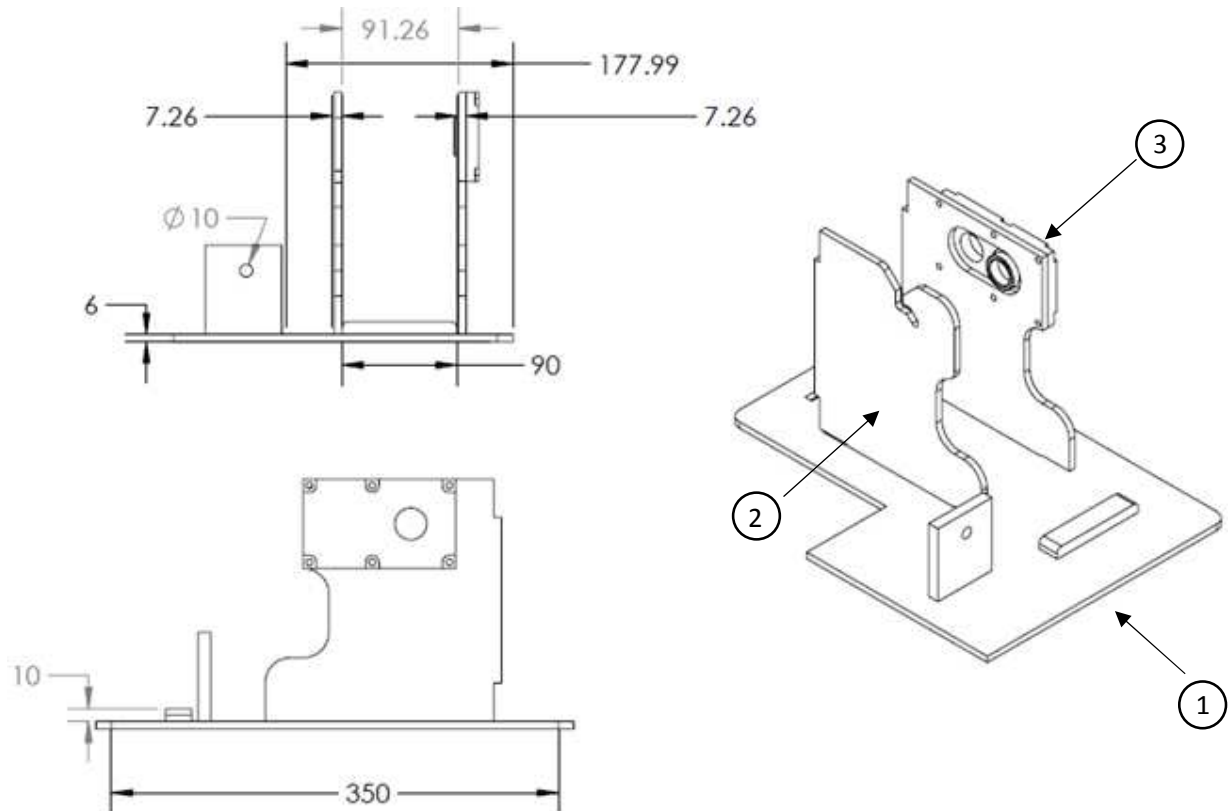
**a- Moteurs :** Nous avons deux petits moteurs du même type D'ISSY Motor Ma-63-40 006 (Figure II.12), un qui assure la rotation de la bobine et l'autre assure la rotation de la manivelle.



Figure II. 12 : Moteur D'ISSY Motor Ma-63-40 006.

**Remarque :** Nous verrons comment nous avons choisi ce moteur dans la partie choix de moteur dans ce même chapitre.

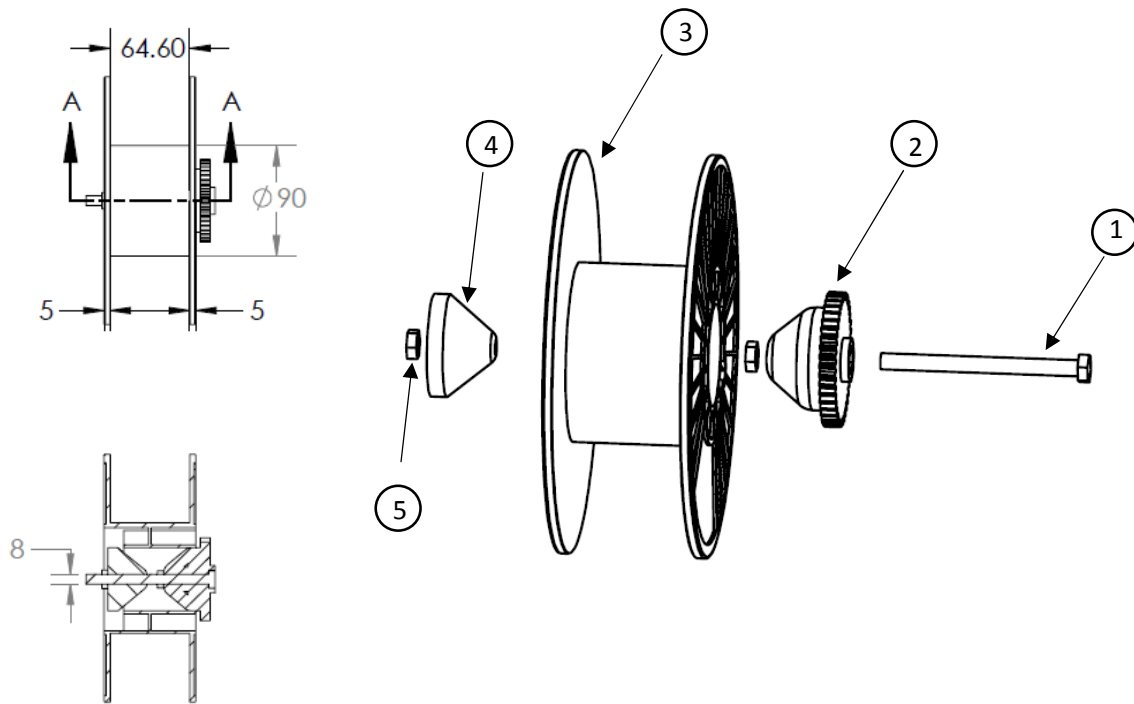
**b- Support :** Le support consiste à fixer l'installation des organes de la partie bobinage (Figure II.13).



3	01	Support moteur
2	02	Base de coté
1	01	Base principale
Numéro	Quantité	Nom

Figure II. 13 : Support.

**c- Bobine :** La bobine consiste à enrouler le filament après extrusion (Figure II.14).



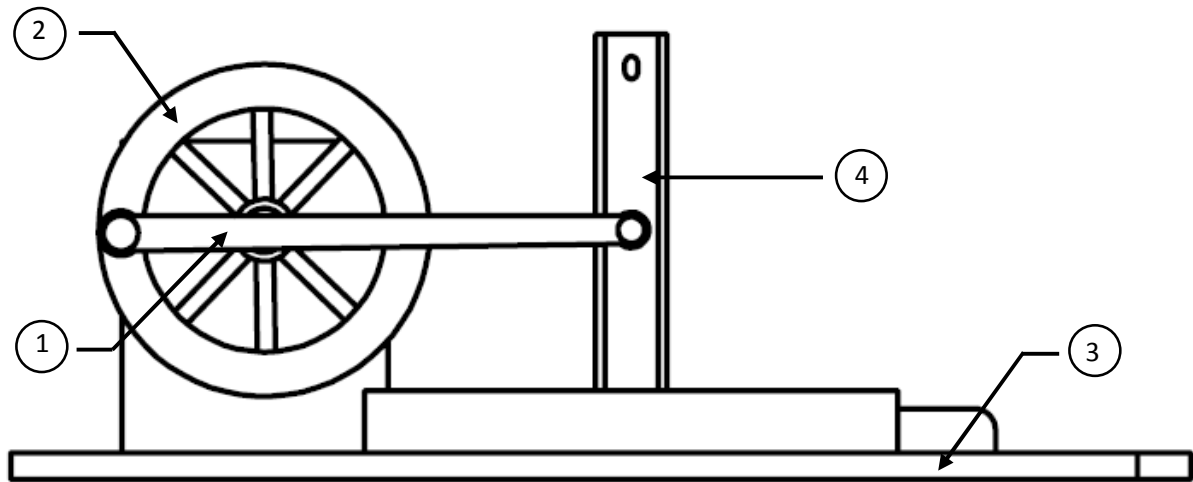
5	02	Ecrou 08 mm
4	01	Contre écrou
3	01	Bobine
2	01	Engrenage d'entraînement
1	01	Arbre 08 mm
Numéro	Quantité	Nom

Figure II. 14 : Bobine.

**d- Bielle-manivelle :**

Le système bielle-manivelle est un système plan de solide articulé. Il permet de transformer, par l'intermédiaire d'une bielle, le mouvement de rotation continu d'une manivelle à un mouvement de translation alternatif du coulisseau. On qualifie respectivement pour une bielle de "tête" et de "pied" les parties de cette bielle en liaison avec la manivelle d'une part et avec le coulisseau d'autre part.

Dans notre cas la bielle-manivelle a le rôle d'assurer la translation de filament sur toute la longueur de la bobine (Figure II.15).



4	01	Guide de filament
3	01	Coulisseau
2	01	Manivelle
1	01	Bielle
Numéro	Quantité	Nom

Figure II. 15 : Bielle-manivelle.

### II.2.2.3. Emplacement de la bobine

Nous devons s'assurer que le filament soit solide et froid lorsqu'il arrive à la bobine.

#### a- Temps de refroidissement (solidification) de fil

a-1- Détermination de la diffusion thermique :

$$\alpha_{\text{eff}} = \frac{\lambda}{\rho \times C_p}$$

Avec :

$\lambda$  : Conductivité thermique = 0,17 W/m.K = 0,00000148732 Cal cm<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

$\rho$  : Masse volumique = 1,3 g.cm<sup>-3</sup>.

$C_p$  : Capacité thermique massique = 1,8 J/g.K = 0,00157582418 Cal.g<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>.

Unités de calculs : 1 watt = 1/4.1868 cal.s<sup>-1</sup> ; 1m=10<sup>2</sup> cm ; 1 Kelvin= 273 Celsius ; 1 joule = 0.239 cal.

AN :  $\alpha_{\text{eff}} = 0,00072602789 \text{ cm}^2/\text{s}$ .

a-2- Temps de solidification [10] :

$$t = \frac{r^2}{\alpha_{\text{eff}} \times 5.784} \times \text{Ln} \left( 1.599 \times \frac{T_m - T_s}{T_e - T_s} \right)$$

Avec :

$T_m$  : T° de matière sortie de la buse en °C.

$T_e$  : Température de solidification de la matière.

$T_s$  : température ambiante.

$r$  = rayon de fil en cm

$$\text{AN : Pour une température ambiante de } 23^\circ \text{C : } t = \frac{0.085^2}{\alpha_{\text{eff}} \times 5.784} \times \text{Ln} \left( 1.599 \times \frac{135-23}{80-23} \right) = 1,97\text{s} \approx 2\text{s}$$

Donc le fil va solidifier en 2s.

a-3- Temps de refroidissement [10] :

Nous voulons que la température de notre fil soit  $30^\circ\text{C}$  lorsqu'il arrive à la bobine, alors, nous devons appliquer la loi de refroidissement de Newton à fin de déterminer le temps nécessaire pour avoir une température de  $30^\circ\text{C}$ . La loi de refroidissement de Newton est :

$$T \geq T_a : T(t) = r \cdot e^{-kt} + T_a$$

Avec :

$k$  : est une constante positive,

$T_a$  : température ambiante =  $23^\circ\text{C}$ ,

$T$  : Température en ( $^\circ\text{C}$ ),

$t$  : temps en (s),

$r$  : est une constante =  $(T_0 - T_a)$ .

AN :

a) Pour  $t = 0$  s on a une température  $T_0 = 135^\circ\text{C} \Rightarrow T(t) = r \cdot e^{-k(0)} + 23 = 135$ .

Avec :  $r + 23 = 135 \Rightarrow r = 112$

b) Pour  $t = 2$  on a  $T = 80^\circ\text{C} \Rightarrow T(t) = r \cdot e^{-k(2)} + 23 = 112 \cdot e^{-2k} + 23 = 80 \Rightarrow e^{-2k} = \frac{80-23}{112} = 0,5089e$ .

Ce qui donne  $\text{Ln}(e^{-2k}) = \text{Ln}(0,5089) \Rightarrow k = \frac{-0,6755}{-2} \Rightarrow k = 0,3377$

De (a) et (b) on peut écrire la loi de refroidissement de Newton qui gouverne notre cas :

$$T(t) = 112 \cdot e^{-0,3377t} + T_a$$

Pour  $T = 30^\circ\text{C} \Rightarrow T(t) = 112 \cdot e^{-0,3377t} + 23 = 30 \Rightarrow e^{-0,3377t} = \frac{30-23}{112} \Rightarrow t = \frac{\ln(-2,772)}{-0,3377} = 8,21\text{s}$

Nous allons obtenir la température  $30^\circ\text{C}$  après **8.21s** de la sortie de la filière.

**b- Emplacement de la bobine :**

Nous voulons que le fil arrive à la bobine avec une température au moins de  $30^\circ\text{C}$ . Donc, ca va prendre 8,21s de temps au minimum après la sortie de la filière. Avec une vitesse d'écoulement  $V_{\text{écoulement}} = 0,15$  m/s, nous allons calculer la distance nécessaire entre la filière et la bobine.

$$D_{\text{nécessaire}} = t(\text{s}) \times V_{\text{écoulement}}(\text{m/s})$$

$$AN : D_{\text{nécessaire}} = 8.21s \times 0,15 \text{ m/s} = \mathbf{1,23m}$$

Pour cela, nous allons choisir à placer notre bobine à distance de **1.5 m** de la filière. Et pour s'assurer du refroidissement des filaments, nous pouvons rajouter des ventilateurs.

#### II.2.2.4. Choix de moteur

On a besoin de deux moteurs. Donc, on divise la partie bobinage en deux parties :

##### a- Partie de la bobine

###### a-1. la vitesse de rotation de la bobine $N_b$ :

Le fil va s'installer autour de la bobine, pour chaque tour de bobine le fil va tourner avec une longueur égale au périmètre de la bobine ( $P_b$ ). Nous avons choisi une bobine de diamètre  $D_b = 90 \text{ mm}$ .

$$P_b = D_b \times \pi$$

$$AN : P_b = 0,09 \times 3,14 = \mathbf{0,2826 \text{ m/tour}}$$

Le périmètre de la bobine est 0,2826 m et il est égal à la longueur de fil installé sur la bobine dans un tour.

$$\text{vitesse de rotation de la Bobine égal à : } N_b = \frac{\text{la vitesse d'écoulement}}{\text{la Longueur installer par tour}}$$

$$AN : N_b = \frac{0,15 \text{ (m/s)}}{0,2826 \text{ ( m/tour)}} = 0,53 \text{ tr/s} \Rightarrow \mathbf{N_b = 31,8 \text{ tr/min}}$$

La bobine va tourner avec une vitesse de 31,8 tr/min au départ. La vitesse de rotation de la bobine va changer une fois le diamètre change ; nous allons charger la bobine par 30 lignes de filament. Donc, nous allons rajouter  $(30 \times 1,7) \times 2 = 51 \times 2 = 102 \text{ mm}$  de plus sur le diamètre.

Alors, le diamètre finale  $D_{bf} = 90 + 102 = \mathbf{192 \text{ mm}}$ , (Figure II.16).

###### a-2. la vitesse de rotation finale :

$$P_{bf} = D_{bf} \times \pi$$

$$AN : P_{bf} = 192 \times 0,001 \times 3,14 \Rightarrow \mathbf{P_{bf} = 0,60288 \text{ m/tour}}$$

$$\text{La vitesse de rotation finale : } N_{bf} = \frac{0,15 \text{ (m/s)}}{0,60288 \text{ ( m/tour)}} = 0,2488 \text{ tr/s} \Rightarrow \mathbf{N_{bf} = 14,93 \text{ tr/min}}$$

Donc la vitesse de rotation de la bobine doit diminuer de 31,8 tr/min jusqu'à 14,93 tr/min au final, en fonction de périmètre, donc lorsque le diamètre change la vitesse change avec l'équation suivante :

$$f(N_b) = \left[ \left( \frac{0,15}{\pi \times D_b} \right) \times 60 \right]$$



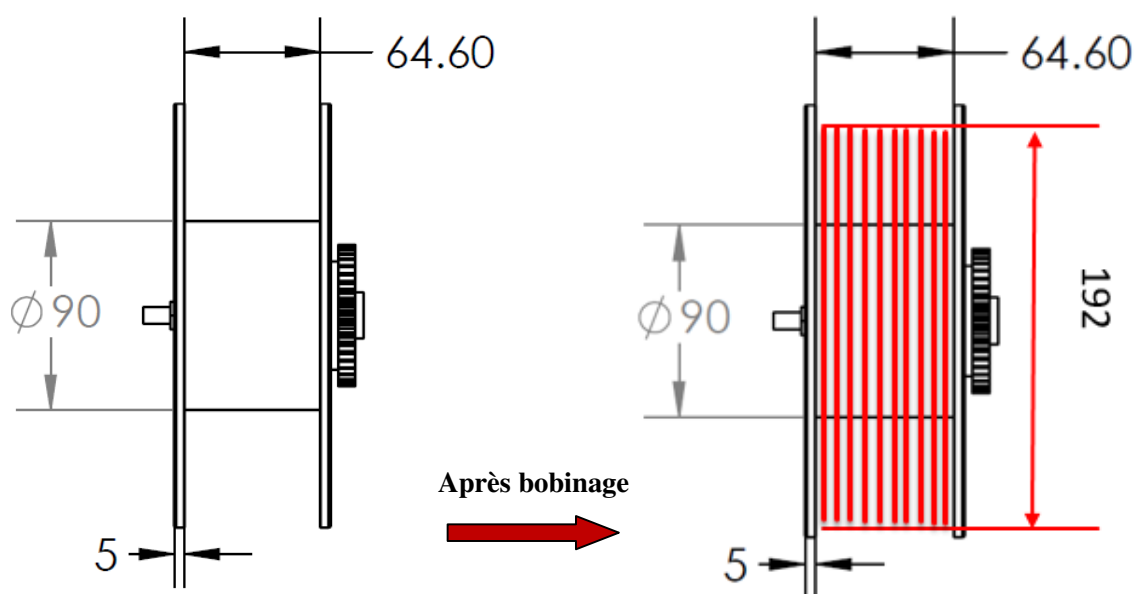


Figure II. 16 : Partie de la bobine.

a-3. Calcul la durée de la vitesse :

La vitesse de rotation va changer en fonction de diamètre et chaque diamètre va prendre une durée pour qu'il se change. Le diamètre va se changer lorsque toute la longueur de la bobine soit remplie. La longueur de la bobine = 64,6 mm. Donc elle va se remplir par  $\frac{64,6}{1,7} = 38$  ligne de filament.

Pour chaque tour de bobine la longueur va être remplie par une ligne (1.7mm) donc nous aurions besoin de 38 tour de la bobine pour que la longueur soit complètement remplie. En effet, la durée va changer avec

l'équation suivante : **La durée** =  $\frac{38}{N_b}$

Diamètre D <sub>b</sub> (mm)	Vitesse de rotation N <sub>b</sub> (tr/min)	La durée (min)	La durée (s)
90	31,8	1,19	71,4
93,4	30,69	1,24	74,4
96,8	29,01	1,28	76,8
100,2	28,6	1,33	79,8
103,6	27,67	1,37	82,2
107	26,79	1,42	85,2
110,4	25,97	1,46	87,6
113,8	25,19	1,51	90,6
117,2	24,45	1,55	93
120,6	23,77	1,60	96
124	23,11	1,64	98,4
127,1	22,49	1,69	101,4
130,8	21,91	1,73	103,8
134,2	21,35	1,78	106,8
137,6	20,83	1,82	109,2
141	20,33	1,87	112,2
144,4	19,84	1,91	114,91
147,8	19,39	1,95	117,58
151,2	18,95	2	120
154,6	18,53	2,05	123
158	18,14	2,09	125,4
161,4	17,75	2,14	128,45
164,8	17,39	2,15	131,1
168,2	17,04	2,23	133,8
171,6	16,7	2,27	136,52
175	16,37	2,32	139,27
178,4	16,06	2,36	141,96
181,8	15,76	2,41	144,64
185,2	15,47	2,45	147,38
188,6	15,19	2,5	150,09
192	14,92	2,54	152,81
		Total=57,85 min	3502,7s

Tableau II. 5 : Variation de la vitesse de rotation de la bobine lors son remplissage.

a-4. Vitesse de rotation minimale de moteur Nm1 :

Pour accoupler la bobine avec le moteur on a utilisé un système d'engrenage qui est un mécanisme élémentaire constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de positions relatives invariables, et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dent successivement en contact.

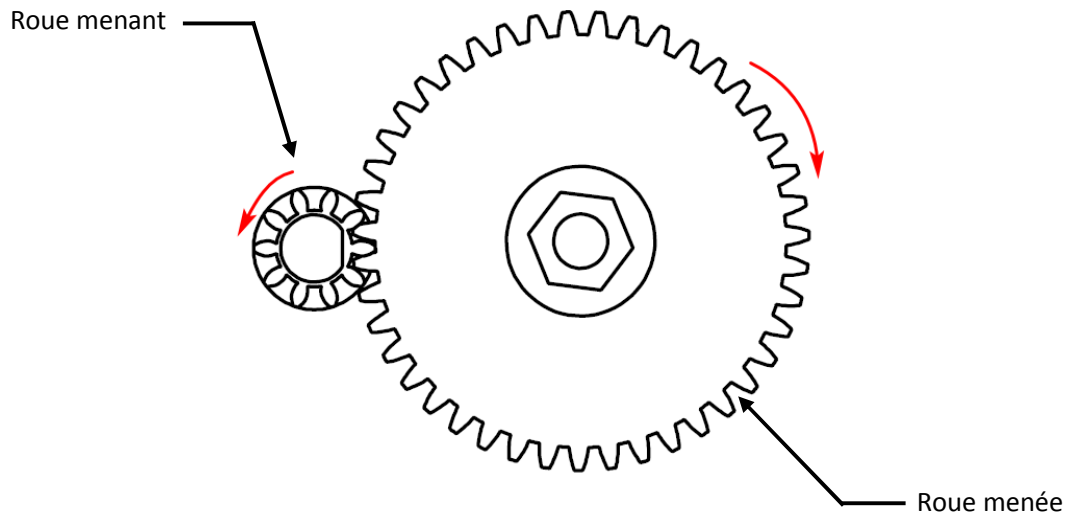


Figure II. 17 : Système d'engrenage de la bobine.

Pour déduire la vitesse minimale de moteur il faut d'abord calculer le rapport de transmission :

$$\text{Rapport de transmission} = \frac{Z1}{Z2} = \frac{N_{m1}}{N_B}$$

Avec :

Z1 : Nombre de dents dans la première roue (menée - entraînée)

Z2 : Nombre de dents dans la deuxième roue (menant)

N<sub>m1</sub> : la vitesse de rotation de moteur

N<sub>B</sub> : la vitesse de rotation de la bobine

AN :

$$\text{Rapport de transmission} = \frac{43}{10} = \frac{N_{m1}}{31,8} \Rightarrow N_{m1} = \mathbf{136,74 \text{ tr/min}}$$

La vitesse de rotation minimale de moteur est : **136,74 tr/min**

a-5. Couple de moteur C<sub>m1</sub> :

$$C = m \times g \times a$$

Avec :

m : la masse de bobine en (kg),

g : la gravité = 9,81 N/kg,

a : l'entraxe entre les deux pignons en (m).

On a choisit une bobine de PET, donc la masse de la bobine **m = 0,43 kg**, (Figure II.18).

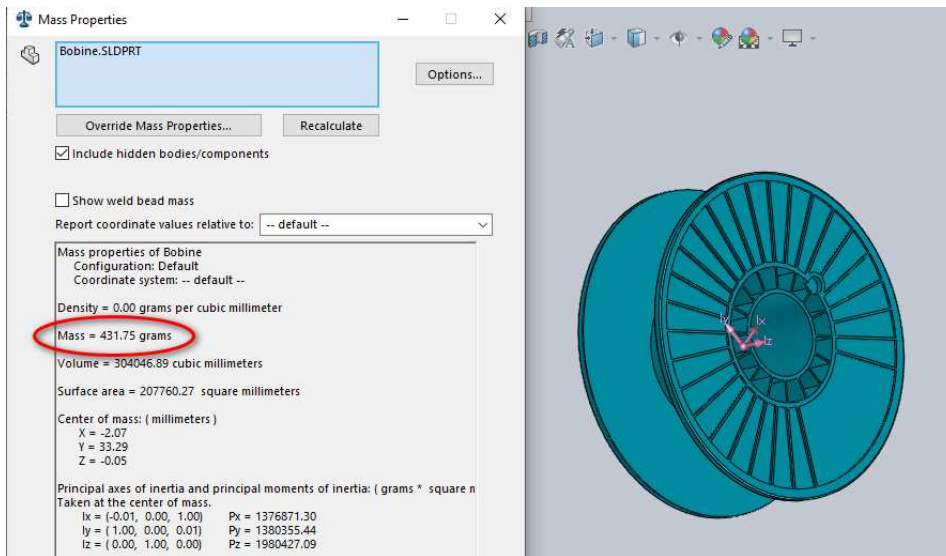


Figure II. 18 : Propriétés de la bobine (Masse) après conception SolidWorks.

L'entraxe entre les deux pignons :

$$a = \frac{m(Z1 + Z2)}{2}$$

La hauteur dent (Figure II.19) :  $h = 3,38 \text{ mm}$ .

On a :  $h = h_a + h_f = 2,25 \times m \Rightarrow m = \frac{h}{2,25} = 1,502 \text{ mm}$ .

Alors :  $a = \frac{1,502(43+10)}{2} = 39,8 \text{ mm} \Rightarrow a = 0,0398 \text{ m}$ .

Le couple de moteur égale à :  $C = 0,43 \times 9,81 \times 0,0398 \Rightarrow C = 0,17 \text{ N.m}$

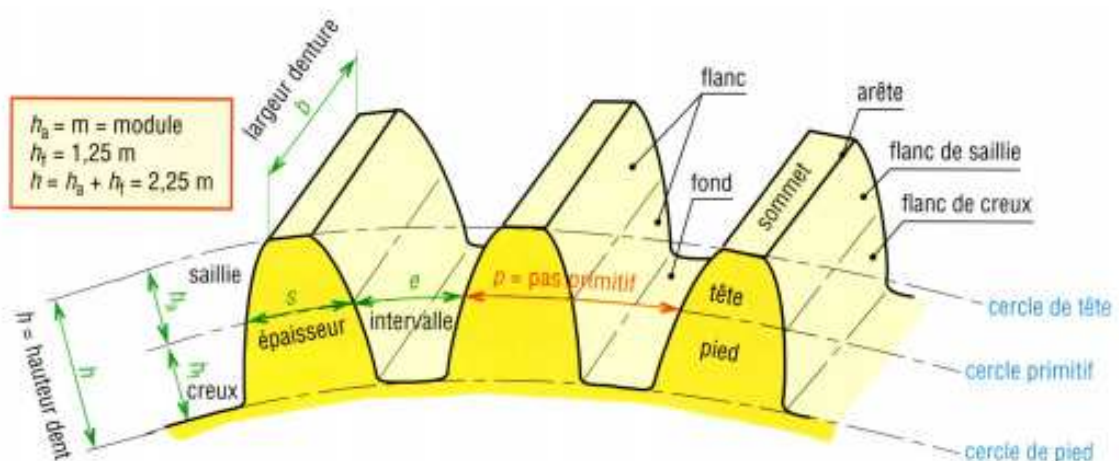


Figure II. 19 : Caractéristiques des dentures [10].

a-6. Choix du moteur :

Il faut choisir un moteur qui à une vitesse plus grande que 136,74 tr/min et un couple plus de 0,17 N.m. Donc, on a choisi le moteur à courant continué model : **MB 63-40 006** [11] (Figure II.20 et Tableau II.6).

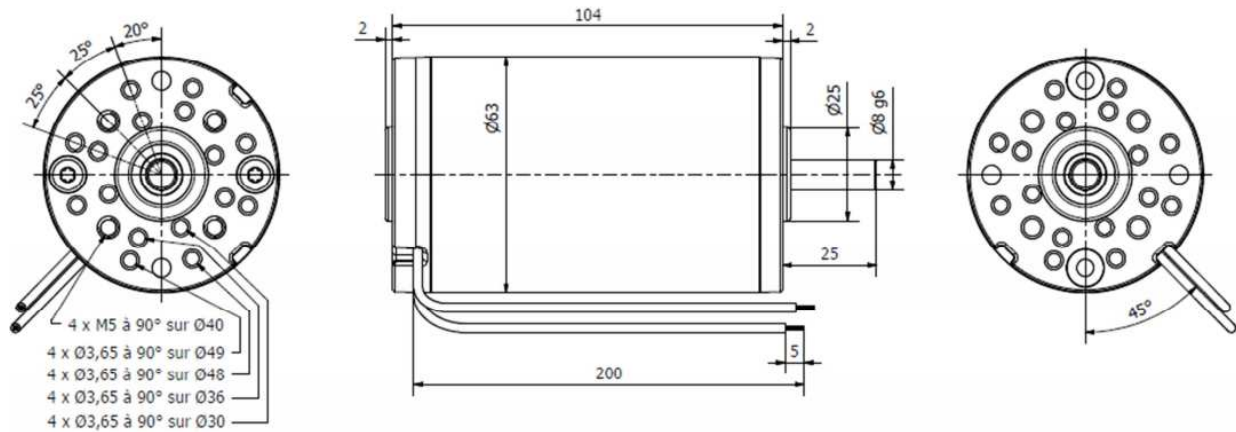


Figure II. 20 : Dimensions de moteur MB 63-40 006 [11].

Données techniques						
Modèle	MA 63-40 001	MA 63-40 002	MA 63-40 003	MA 63-40 004	MA 63-40 005	MA 63-40 006
Tension d'alimentation (Vcc)	12	24	48	110	24	72
Vitesse à vide (min <sup>-1</sup> )	3600	3500	3300	3400	1270	5600
Courant à vide (A)	1,0	0,5	0,2	0,08	0,2	0,3
Vitesse nominale (min <sup>-1</sup> )	2980	2950	2850	2980	1050	4900
Couple nominal (N.cm)	14	15	14	12	12	20
Puissance utile nominale (W)	44	47	42	39	13	105
Courant nominal (A)	5,7	2,9	1,3	0,6	0,8	2,2
Puiss. absorbée nominale (W)	69	70	62	66	19	161
Rendement nominal (%)	64	67	67	58	66	66
Couple de démarrage (N.cm)	95	100	105	100	68	170
Intensité de démarrage (A)	30	16,5	8,5	4,3	4,0	16,4
Inertie du rotor (g.cm <sup>2</sup> )	450	446	443	442	442	450
Masse totale (kg)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Tableau II. 6 : Fiche technique de moteur MB 63-40 006.

### b- Partie bielle-manivelle

Pour assurer la translation de notre filament sur la longueur de la bobine nous avons choisi un système de bielle-manivelle.

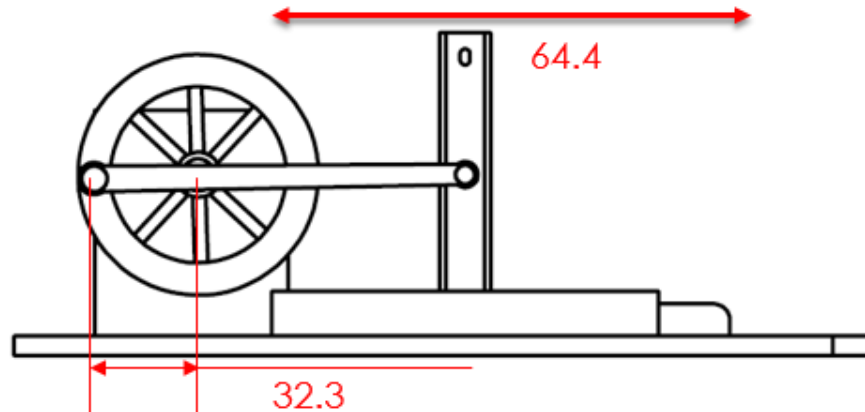


Figure II. 21 : Bielle-manivelle.

#### b-1. Principe de fonctionnement :

- Le filament va passer par un guide de filament qui est installé sur un coulisseau.
- La bielle s'installe sur la manivelle d'un côté (tête de bielle) et sur le coulisseau d'autre côté (pied de bielle).
- La manivelle tourne avec une vitesse précise ; donc la tête bielle va tourner avec la même vitesse.
- La fixation de bielle sur le coulisseau assure la transformation de la force de rotation à la tête de bielle en force de translation au pied de bielle.
- Le coulisseau va déplacer par une distance qui égal à la distance entre la position de la tête de bielle au début et au finale.
- Le guide de filament va se déplacer avec le coulisseau alors le filament va déplacer et installer sur tout la longueur de bobine.

#### b-2. Vitesse de rotation de manivelle :

Pour chaque (1/2) tour de manivelle, le coulisseau va avancer ou reculer par une distance de 64.6 mm. Donc notre guide, le filament va glisser sur la même distance. La vitesse change dans un laps de temps donné. A propos de la vitesse de rotation de la bobine. Elle prend une durée bien précise pour que sa longueur soit remplie, par la suite elle change sa vitesse. En effectuant cela, le guide de filament doit être glissé d'environ 64.6 mm à chaque 1/2 tr de la manivelle.

Pour conclure, la vitesse de la bille manivelle varie en fonction de la durée selon la loi :

$$N_{B-M} = \frac{0,5 \times 1}{\text{Durée}}$$

Durée (min)	Vitesse (tr/min)	Durée (min)	Vitesse (tr/min)
1,19	0,42	1,91	0,261
1,24	0,4	1,95	0,256
1,28	0,39	2	0,25
1,33	0,376	2,05	0,243
1,37	0,36	2,09	0,239
1,42	0,352	2,14	0,233
1,46	0,342	2,18	0,229
1,51	0,331	2,23	0,224
1,55	0,322	2,27	0,22
1,60	0,312	2,32	0,215
1,64	0,305	2,36	0,211
1,69	0,296	2,41	0,207
1,73	0,289	2,45	0,204
1,78	0,281	2,5	0,2
1,82	0,274	2,54	0,196
1,87	0,367		

Tableau II. 7 : Vitesse de la bielle manivelle.

b-3. Vitesse de rotation minimale de moteur  $N_{m2}$  :

Nous avons choisi le même système d'accouplement que nous avons utilisé sur la bobine, alors le rapport de transmission  $N = 4,3$ .

$$N_{m2} = N_{B-M \max} \times \text{Rapport de transmission } N$$

AN :

$$N_{m2} = 0,42 \times 4,3 \Rightarrow N_{m2} = \mathbf{1,806 \text{ tr/min}}$$

b-4. Couple de moteur  $C_{m2}$  :

$$C_{m2} = m \times g \times a$$

Avec :

$m$  : la masse du système bielle-manivelle en (kg) = 0,39 kg.

$g$  : la gravité = 9,98 N/kg.

$a$  : l'entraxe entre les deux pignons en (m) = 0,0398 m

AN:

$$C_{m2} = 0,39 \times 9,98 \times 0,0398 \Rightarrow C_{m2} = \mathbf{0,155 \text{ N.m} = 15,5 \text{ N.cm}}$$

b-5. Choix du moteur  $m2$  :

On va choisir le même moteur **MB 63-40 006**.

b-6.Variation de la vitesse :

Pour faire varier la vitesse de rotation de la bobine et de la manivelle on va utiliser un variateur de fréquence voir la figure II.22.



Figure II. 22 : Variateur de fréquence *FR-D720S-025SC-EC*.

b-6.1. Principes de fonctionnement d'un variateur de fréquence :

La vitesse du champ magnétique et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend directement de la fréquence de la tension d'alimentation c'est sur ce paramètre que le variateur va agir. Le principe général étant de fournir un courant à amplitude et à fréquence variable tout en maintenant une tension constante.

b-6.2.Choix de variateur de fréquence :

Pour le **MB 63-40 006** qui a un courant nominal de 0.8 A et une puissance de 0.105 KW On doit choisir un variateur de fréquence correspond à ces données, donc on a choisi le variateur de fréquence **FR-D720S-025SC-EC**

Type	Courant nominal [A] *	Puissance nominale du moteur [kW] *	L x H x P (mm)
FR-D720S-008SC-EC	0,8	0,1	68 x 128 x 80,5
FR-D720S-014SC-EC	1,4	0,2	68 x 128 x 80,5
FR-D720S-025SC-EC	2,5	0,4	68 x 128 x 142,5
FR-D720S-042SC-EC	4,2	0,75	68 x 128 x 162,5
FR-D720S-070SC-EC	7,0	1,5	108 x 128 x 155,5
FR-D720S-0100SC-EC	10,0	2,2	140 x 150 x 155,5

Tableau II. 8 : Fiche technique du variateur de fréquence FR-D720S-025SC-EC [12].

### II.3. Comment faire fonctionner la machine

- Faire chauffer la machine à la température désirée.
- Attendez 20 minutes.
- Ajouter le plastique désiré dans la trémie.
- Mettez le moteur en marche.
- Le matériau qui sort de la machine pendant les 2 premières minutes est pour nettoyer la machine des anciens grains de plastiques des sessions précédentes.
- La machine est maintenant prête pour la production.
- Mesure le diamètre du filament par un pied à coulisse.
- Guider le filament manuellement jusqu'au bobine.
- Attacher le filament avec la bobine.
- Mettez les moteurs de la bobine et de la manivelle en marche au même temps.
- Attendez pour que la bobine soit totalement charger en filament.
- Eteindrez les moteurs de la bobine et de manivelle.
- Coupez le filament et récupérez le produit final (Bobine de filament).

### II.4. Problèmes prévus

Le problème le plus commun avec l'extrusion est d'avoir une vitesse de sortie qui n'est pas uniforme. Il y a quelques raisons pour lesquelles cela pourrait se produire :

- Le plastique peut être sale, obstruant la buse et rendant le plastique difficile à sortir.
- Deux types différents de plastique sont mélangés ensemble, les causes communes pour cela peuvent être la contamination dans l'étape de tri ou le plastique laissé dans le cylindre de l'activité précédente.

Dans ce cas, un type de plastique fond alors que l'autre n'obstrue pas le plastique qui traverse la buse.

La température n'est pas assez élevée et le plastique dans le cylindre ne parvient pas à fondre complètement.

### II.5. Conclusion

Une bonne extrusion est une extrusion qui nous donne une vitesse d'écoulement stable et uniforme ; pour cela on est toujours obligé de vérifier l'intégrité et la pureté de la matière première et leur température au bout de l'extrusion, ainsi que au moment d'ajuster notre procédé on est obligé d'assurer de vider le cylindre au complet avant de tenter fabriquer un nouveau produit. On peut toujours contrôler la vitesse d'écoulement de notre matière par changer la vitesse de rotation de la vis sans fin, par changer la température ou par changer la surface delà filière de sortie.



**Chapitre III :  
Conception de la  
machine d'extrusion et  
le mécanisme de  
bobinage**

### III.1. Introduction

En continuation du chapitre précédent, ce chapitre a pour objectif de présenter l'environnement du logiciel SolidWorks ainsi que réaliser la conception des différents éléments de la machine d'extrusion et le système de bobinage avec ce logiciel. Quelques pièces ont été présentées en annexe.

### III.2. Logiciel SolidWorks

SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plant. Ces fichiers sont en relation. À quelque ce soit le niveau, toute modification est répercutée vers tous les fichiers concernés.



Figure III. 1 : Logo SolidWorks.

### III.3. Conception

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Il existe plusieurs logiciel utilisés en CAO, parmi les quels on cite : FreeCAD, Solid Edge, Kompas 3D, TopSolid, Catia, Abaqus, SolidWorks...etc.

Dans notre travail conception et de simulation, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour faire la conception de chaque pièce de notre machine puis, l'assemblage de toutes les pièces pour avoir la conception finale de notre extrudeuse.

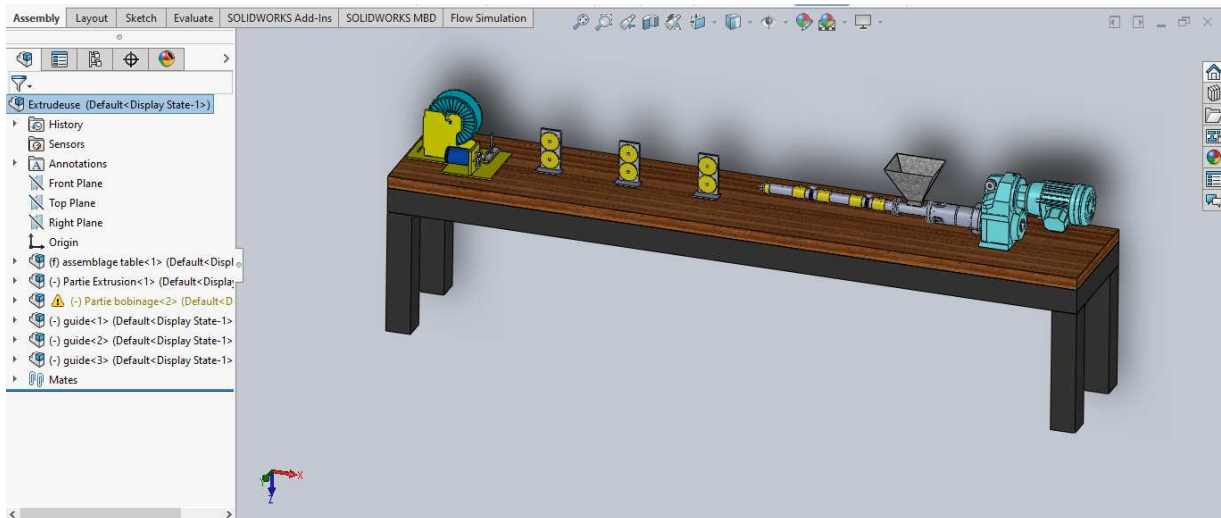


Figure III. 2 : Extrudeuse de filament pour l'impression 3D.

On a divisé notre conception en trois parties principales :

1. La partie d'extrusion : on a téléchargé le fichier CAD de notre moteur qu'on a choisi en chapitre 2 **benzlers-radicon**, puis on a dessiné toutes les pièces nécessaires de notre machine (vis sans fin - la buse - les fourreaux ...etc.) avec SolidWorks, puis on a réalisé l'assemblage.
2. La partie bobinage : on a téléchargé le fichier du moteur qu'on a choisi en chapitre 2 **MB 63-40 006** et on a réalisé la conception des pièces et l'assemblage.
3. La base principale : c'est la base ou on va installer les parties 1 et 2.

### III.3.1. Conception de la partie d'extrusion (Partie 1)

#### a. Partie 1- Moteur **benzlers-radicon** :

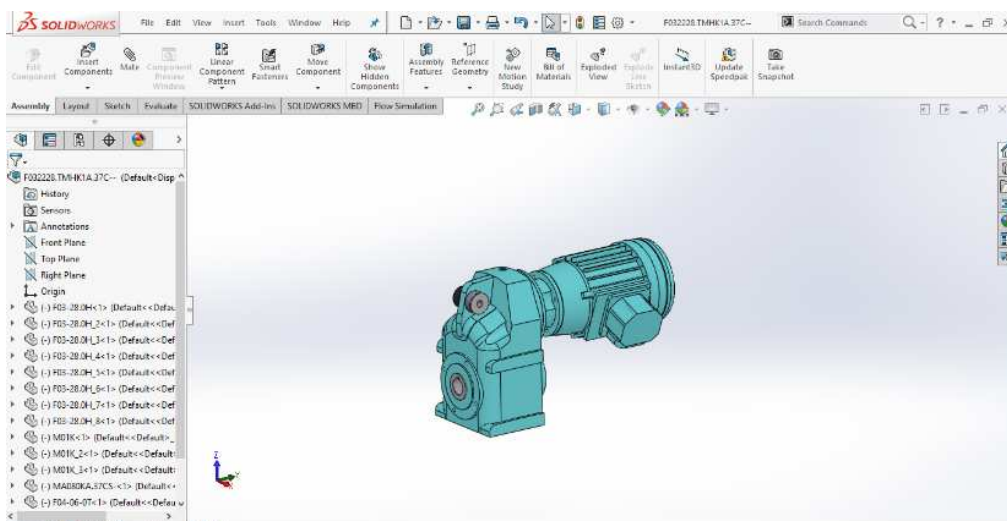


Figure III. 3 : Motoréducteur **benzlers-radicon**.

b. Partie 1- Group extrusion :

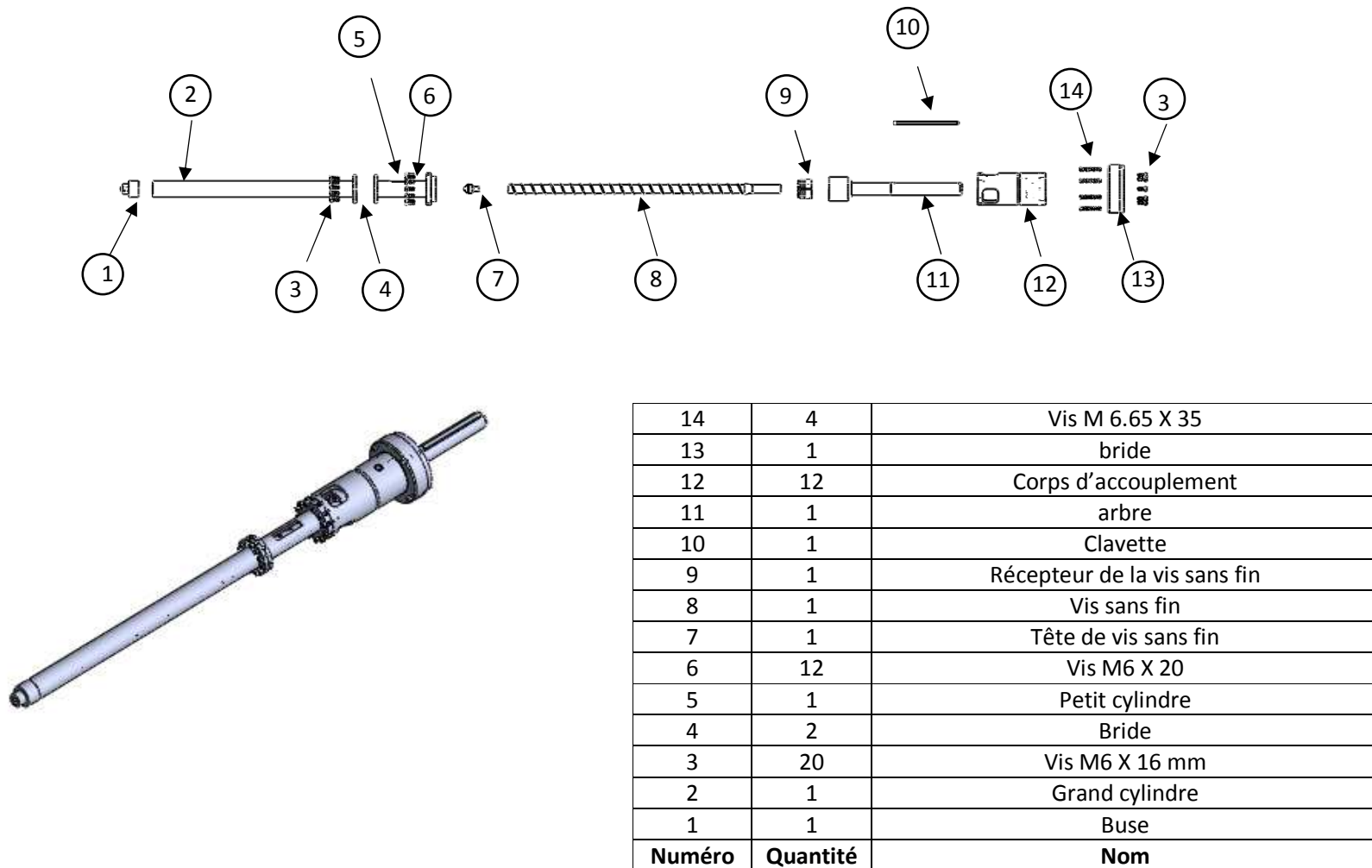
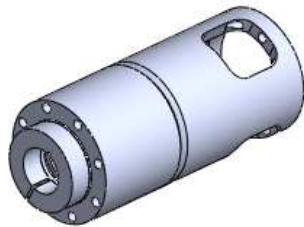
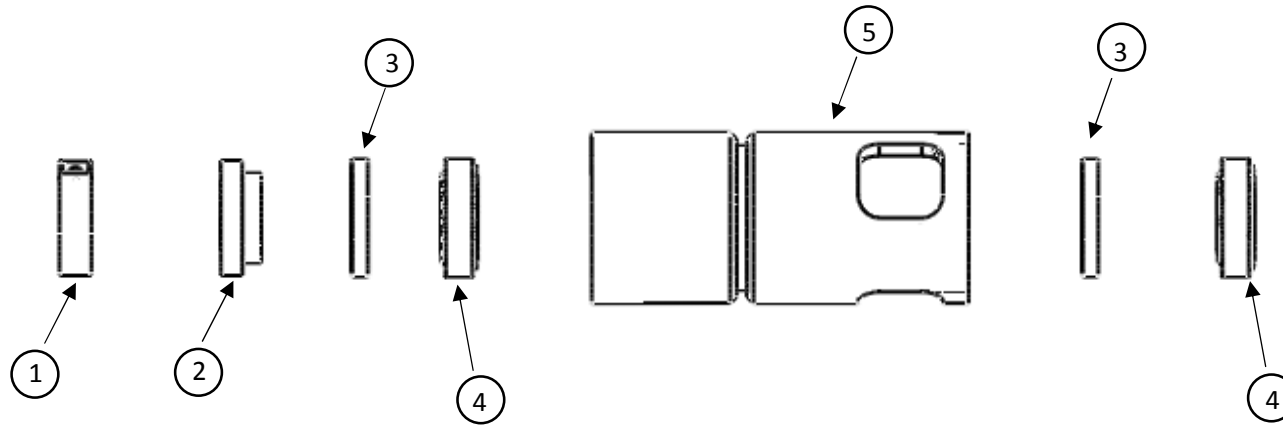


Figure III. 4 : Conception du group extrusion.

c. Partie 1- Corps d'accouplement :



5	1	Corps d'accouplement
4	2	roulement
3	2	joint
2	1	Espaceur des roulements
1	1	Collier d'arbre
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	<b>Nom</b>

Figure III. 5 : Conception du corps d'accouplement.

### III.3.2. Conception de la partie bobinage (Partie 2)

#### a. Partie 2- Moteur MB 63-40 006 :

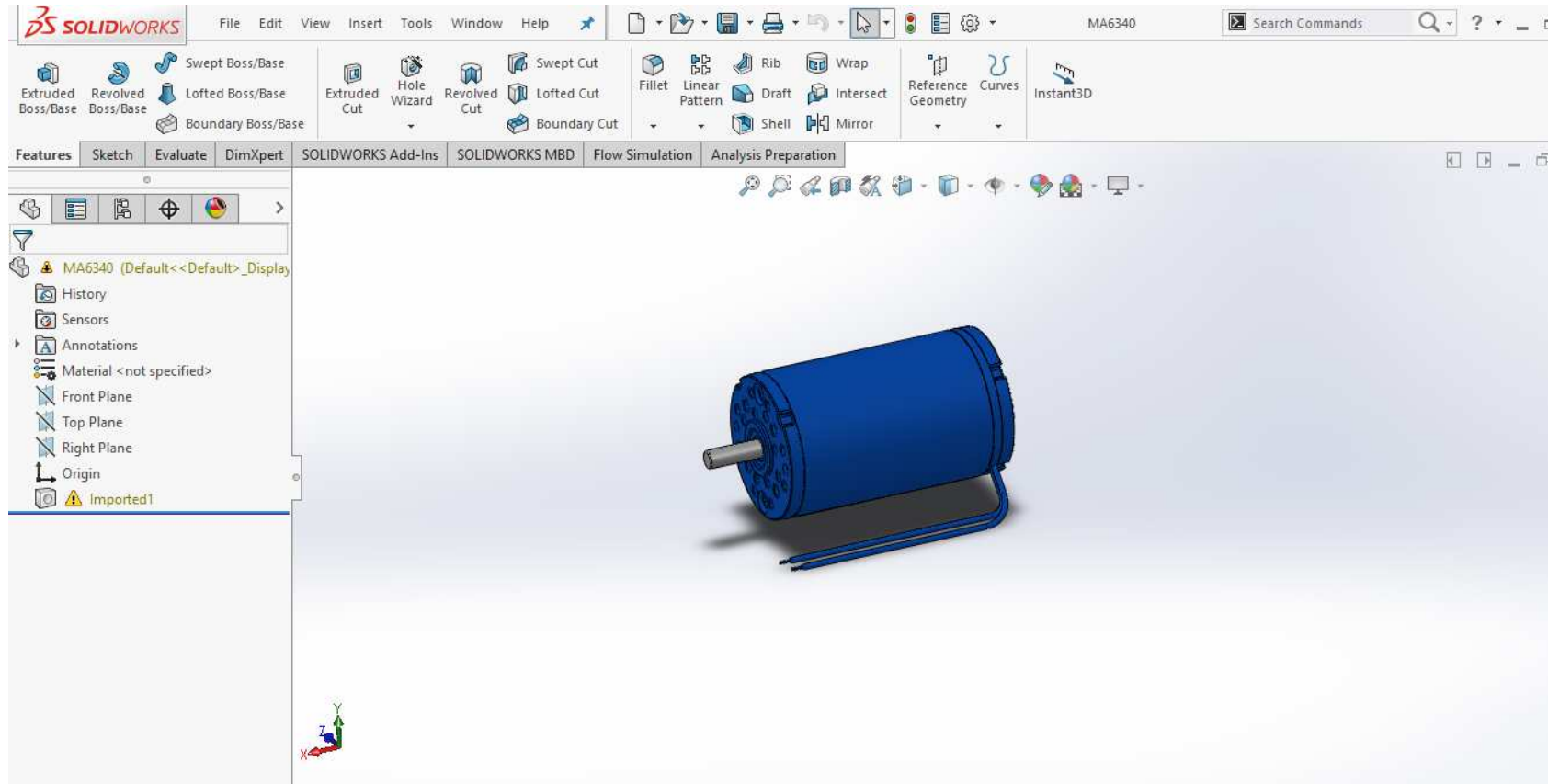


Figure III. 6 : Moteur MB 63-40 006

b. Partie 2 - Bobinage :

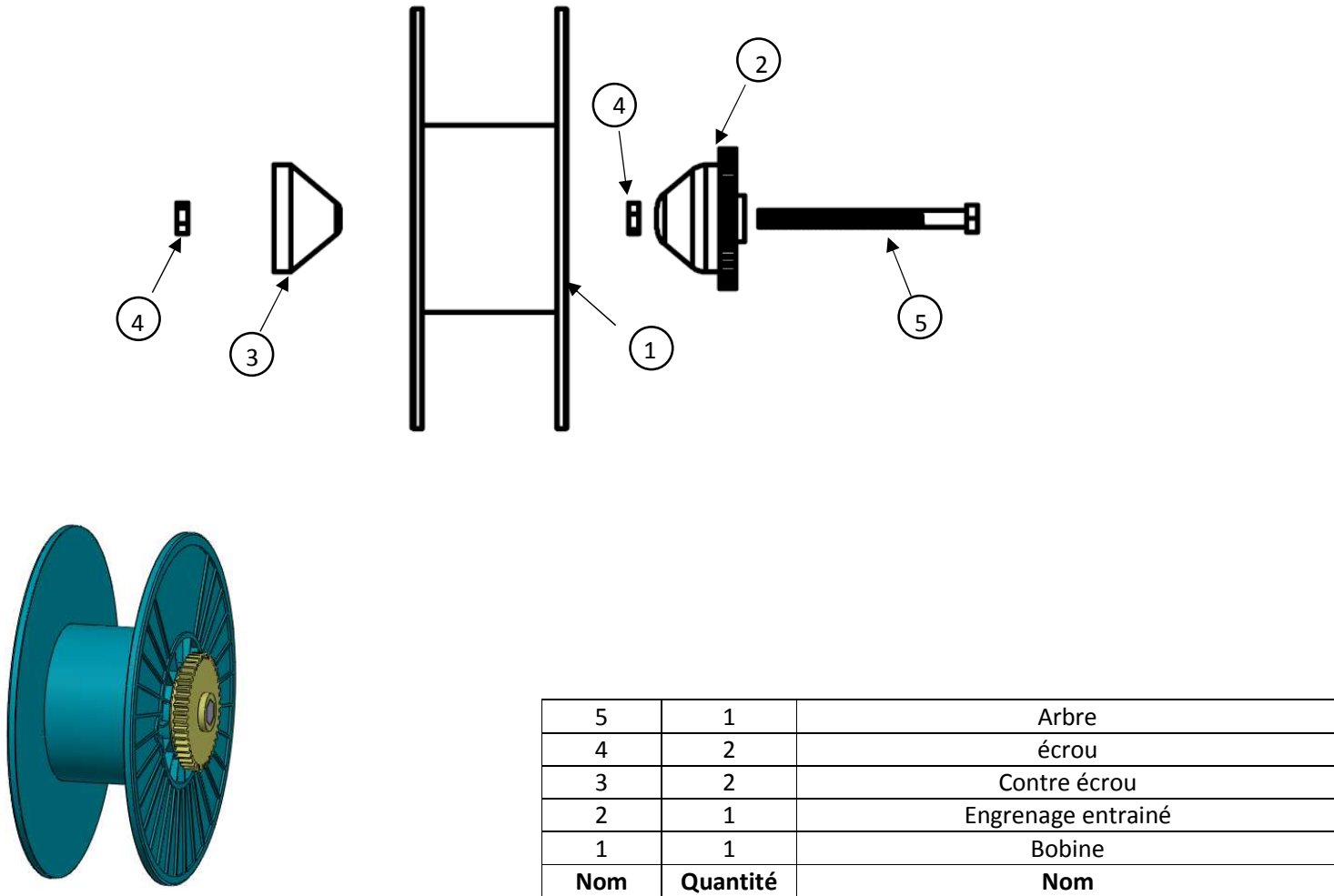
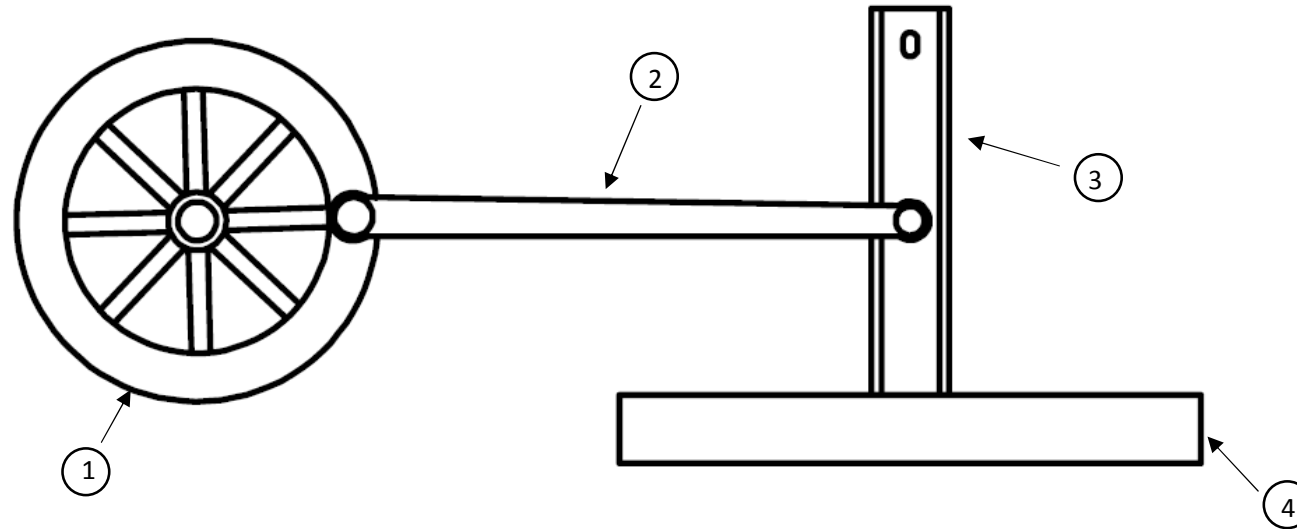


Figure III. 7 : Conception de la bobine.

c. Partie 2 - Bielle –manivelle :

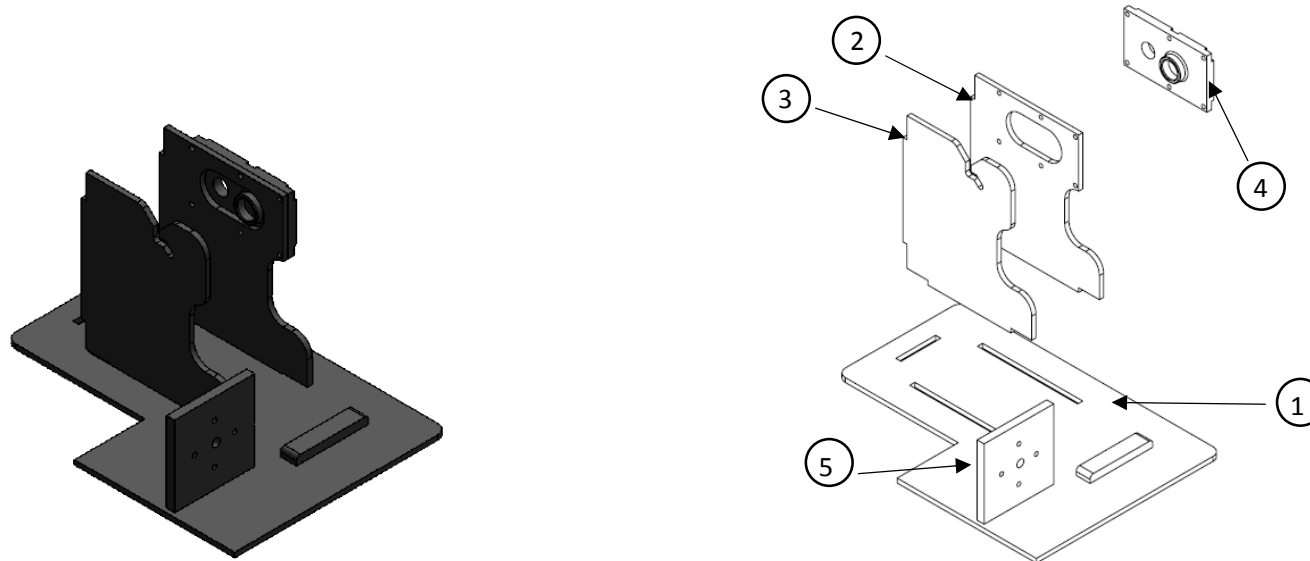


4	1	Coulisseau
3	1	Guide de filament
2	1	Bielle
1	1	Manivelle
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	<b>Nom</b>

Figure III. 8 : Conception de la Bielle-manivelle.



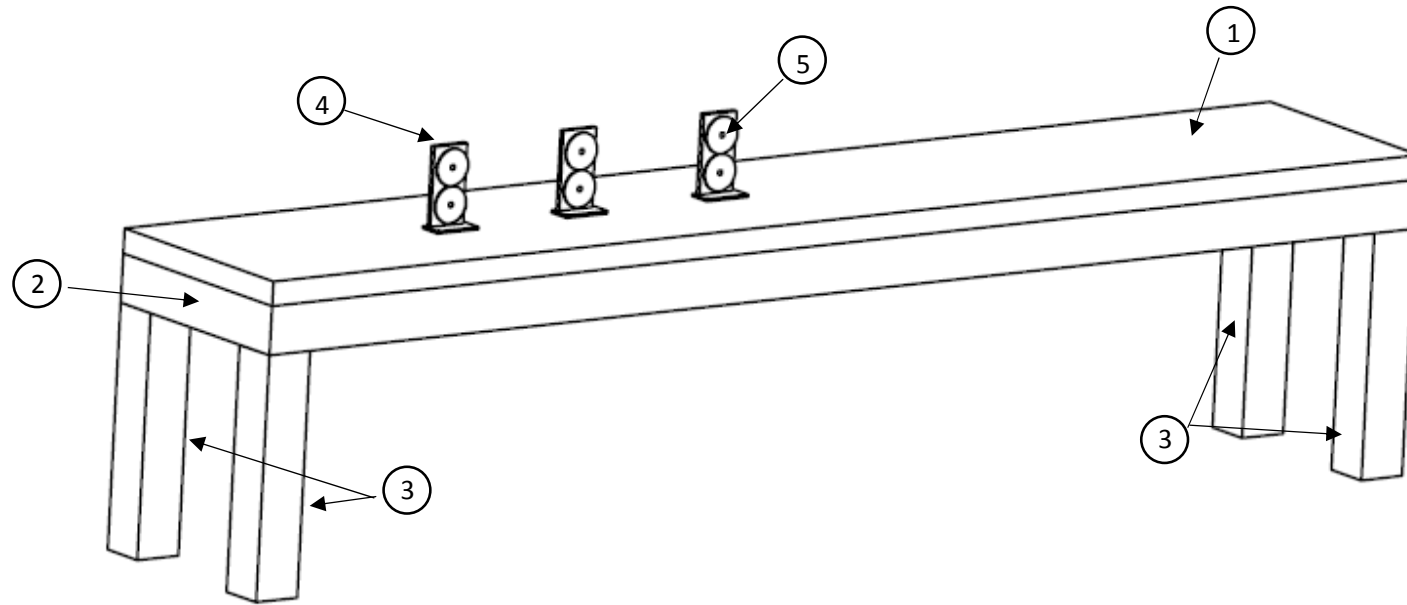
d. Partie 2 - Base de la partie bobinage :



5	1	Support moteur 2
4	1	support moteur 1
3	1	Base 02
2	1	Base 01
1	1	Base principal
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	<b>Nom</b>

Figure III. 9 : Conception de la base de la partie bobinage.

III.3.2. Conception de la base principale (Partie 3)



5	6	Poulie
4	3	support de poulies
3	4	pieds
2	1	cadre
1	1	base
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	<b>Nom</b>

Figure III. 10 : Conception de la base principale de la partie bobinage.

# **Chapitre IV :**

# **Simulation Numérique**

# **avec Flow Simulation**

## IV.1. Définition de Flow-Simulation

D'abord, SolidWorks Flow-Simulation est le premier logiciel convivial de simulation d'écoulement et d'analyse thermique totalement intégré à SolidWorks. Il est utilisé par les étudiants, concepteurs, analystes et ingénieurs...etc. pour comprendre, valider et améliorer de nouvelles idées de produits pendant la phase de conception. Ensuite, il permet d'explorer les pièces ou les assemblages relevant de l'écoulement des fluides, du transfert de chaleur et des forces appliquées sur les volumes immergés ou environnants. Cela a pour but de produire des conceptions très efficaces et/ou optimiser la performance des utilisateurs.

SolidWorks Flow-Simulation est basée sur deux principes majeurs :

- l'utilisation de la CAO native comme source d'informations géométrique ;
- la combinaison de la modélisation CFD 3D complète avec des méthodes d'ingénierie plus simples dans les cas où la résolution du maillage est insuffisante pour une simulation 3D.

## IV.2. Simulation de l'écoulement

On va calculer par l'option de Flow-Simulation la vitesse d'écoulement sur toute la partie d'extrusion ainsi que la température de la matière plastique. Ensuite on va vérifier la concordance de ces résultats avec les résultats obtenus analytiquement dans le deuxième chapitre.

### IV.2.1. Simulation de la vitesse d'écoulement

Dans la partie d'extrusion, la matière plastique va passer entre la vis et le fourreau avec un débit égal à  $0,00002043 \text{ m}^3/\text{min}$  (débit trouvé analytiquement en chapitre 2). Donc, nous avons créé un système similaire du vis-fourreau avec SolidWorks pour appliquer la fonction Flow-Simulation (Figure IV.1). Puis nous allons effectuer les étapes de simulation.

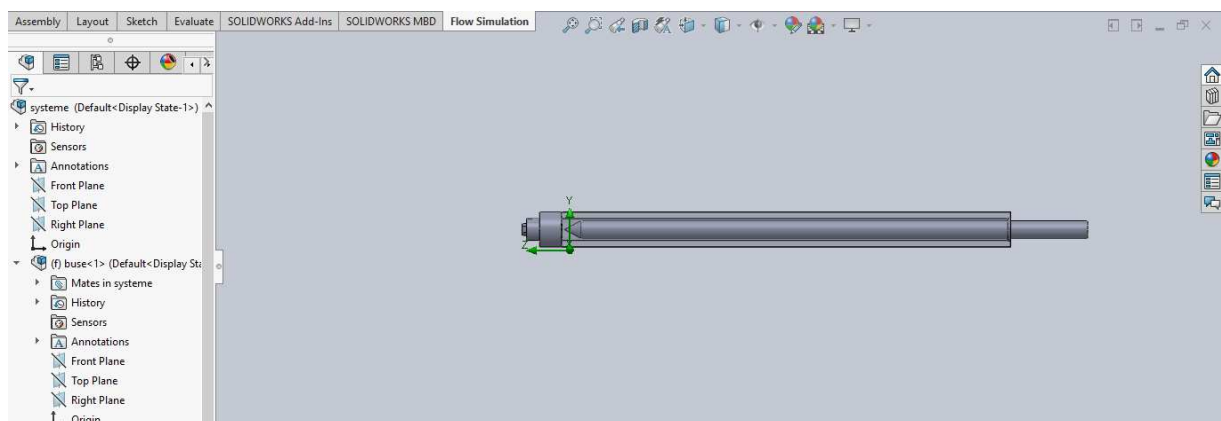


Figure IV. 1 : Le mécanisme "vis-fourreau-buse" à étudier.

### IV.2.1.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la vitesse d'écoulement

1. On clique sur la fonction Flow Simulation, puis on clique sur l'icône du bouchon pour fermer le système.

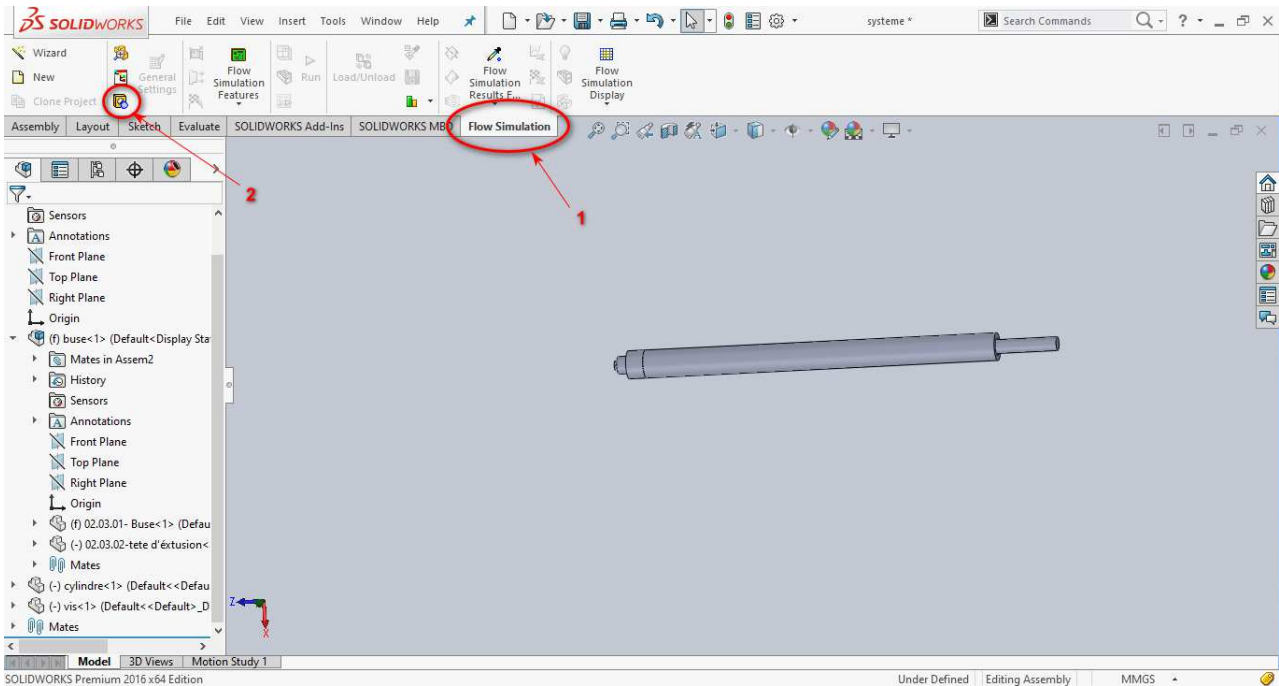


Figure IV. 2: Démarrage de la simulation avec Flow Simulation.

2. Fermeture du système : on va fermer tout le système par deux bouchons pour ne pas avoir des fuites.

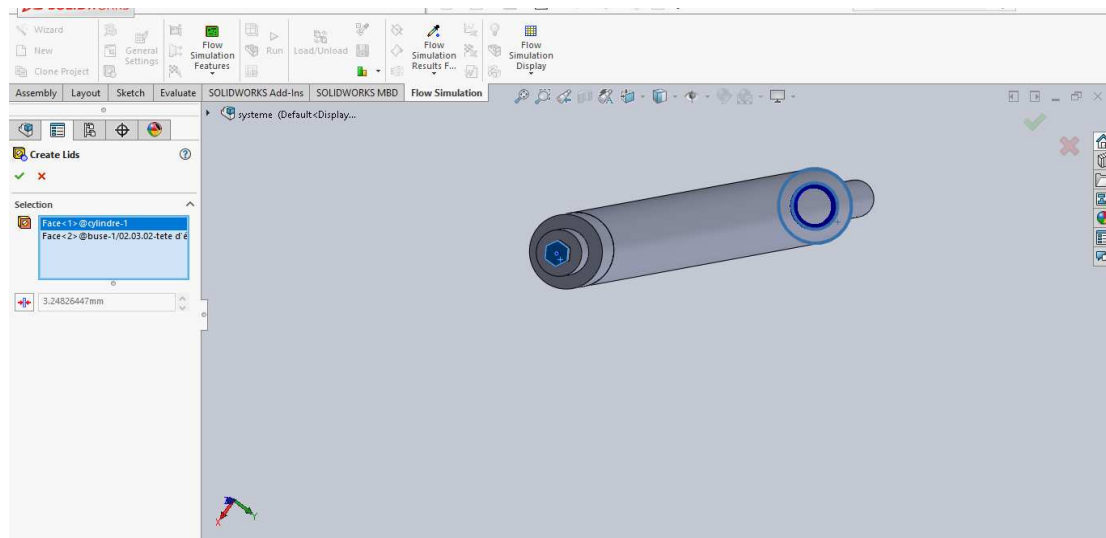


Figure IV. 3 : Fermeture du système.

3. Création du nouveau projet :

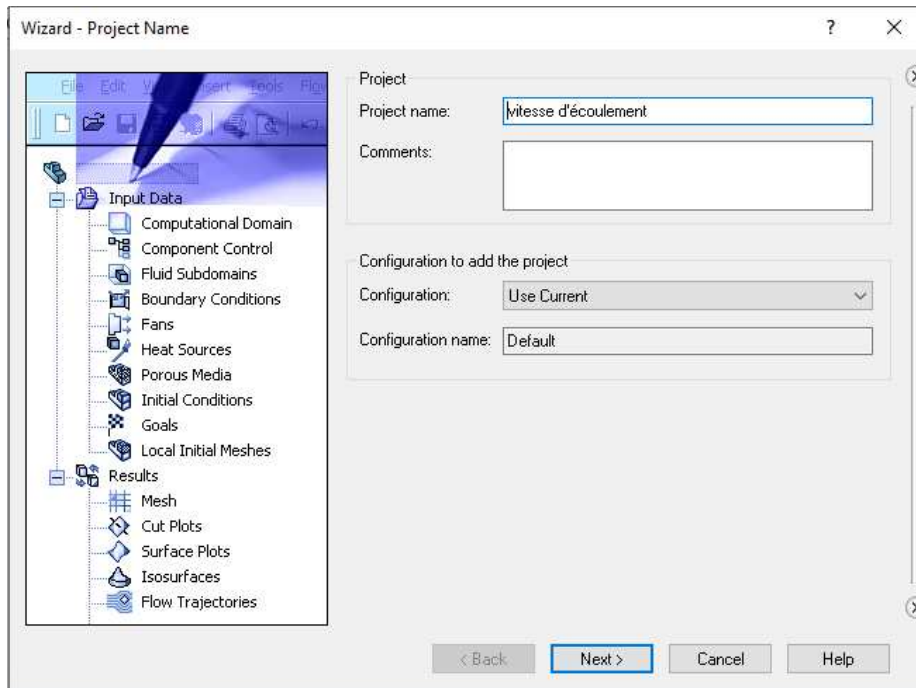


Figure IV. 4 : Création du nouveau projet.

4. Choix d'unités :

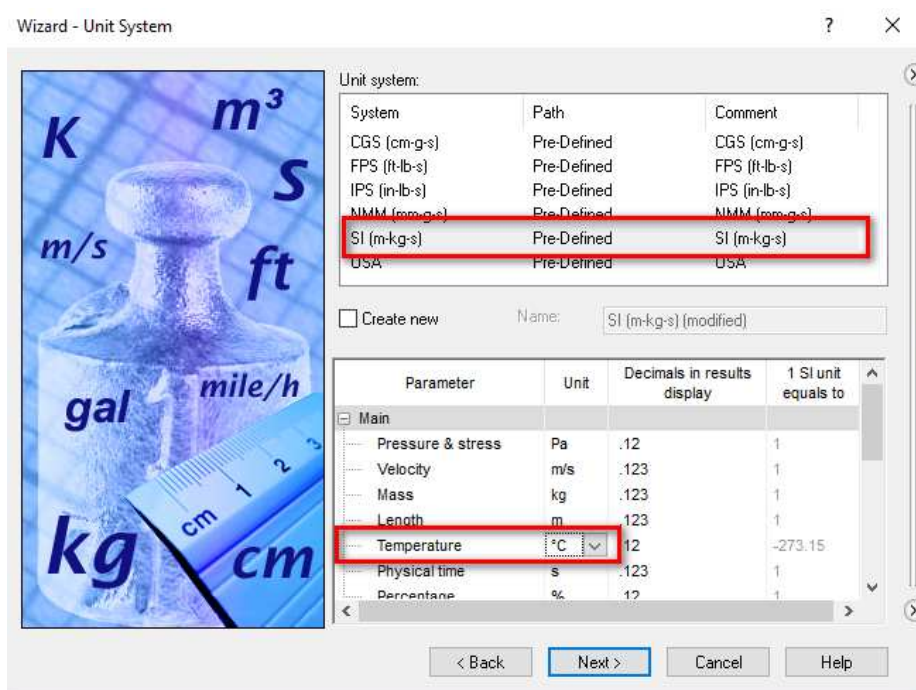


Figure IV. 5 : Choix d'unités.

5. Choix de types d'analyse et d'axe de référence :

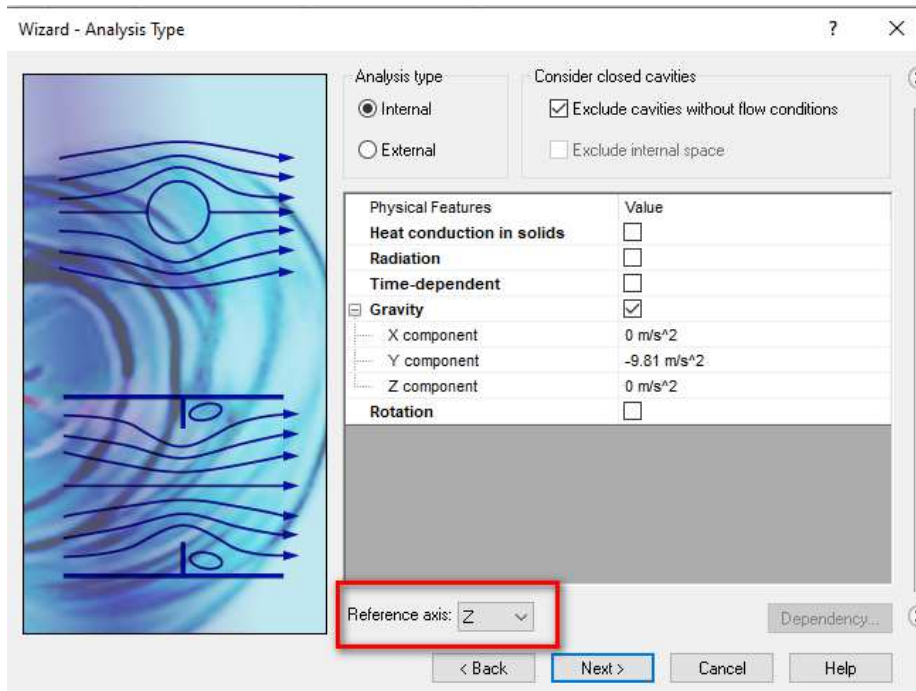


Figure IV. 6 : Choix de types d'analyse et d'axe de référence.

6. Choix de la matière :

On à choisit la matière polyéthylène PP car elle a presque le même point de fusion d'ABS.

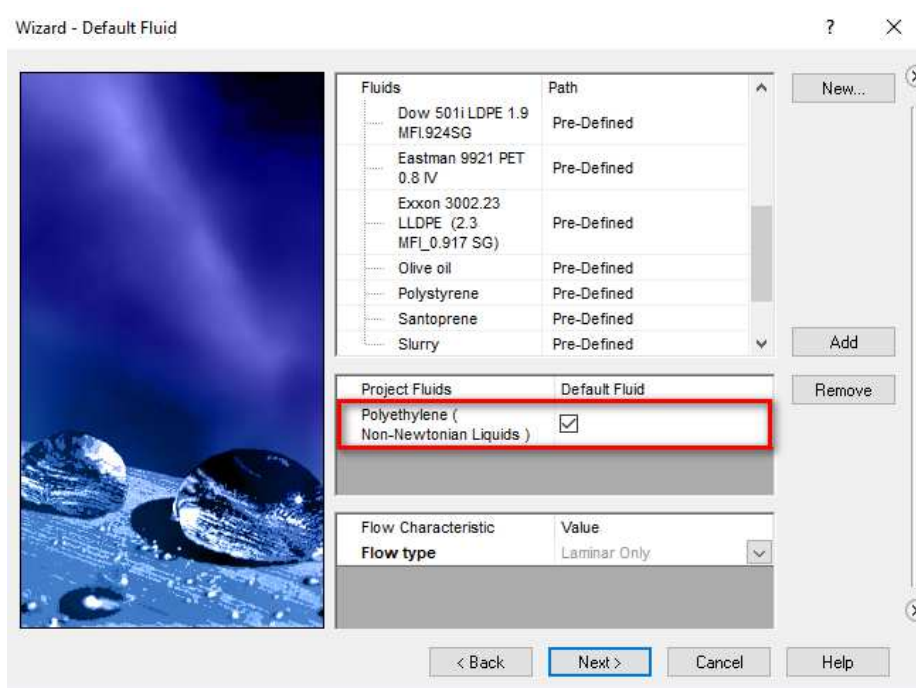


Figure IV. 7 : Choix de la matière (polyéthylène PP)

7. Définition des conditions initiales :

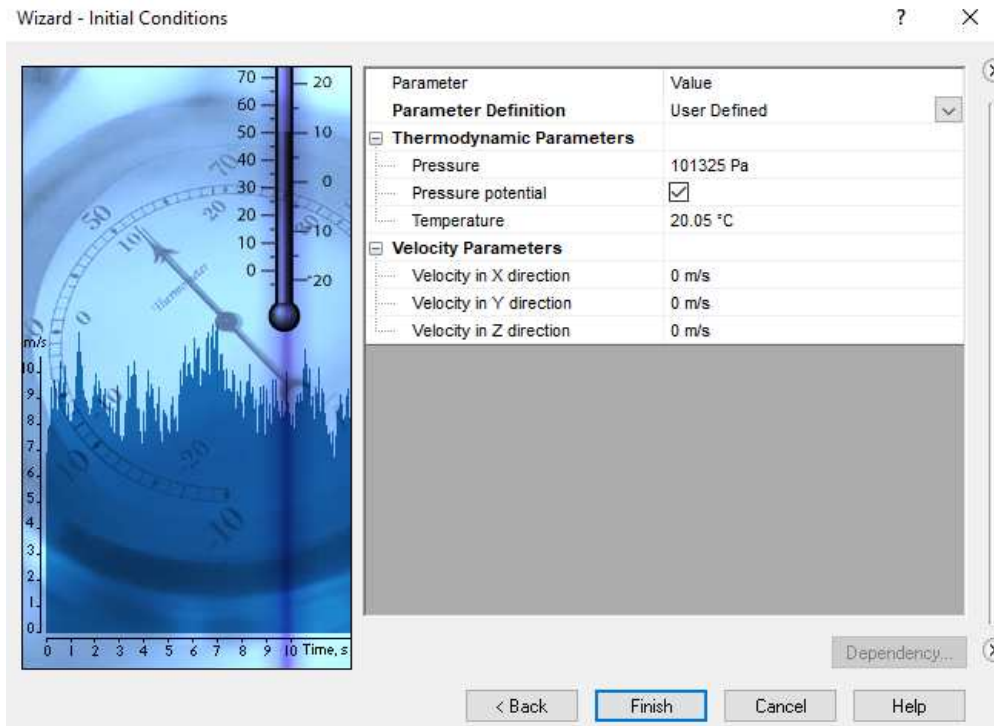


Figure IV. 8 : Définition des conditions initiales.

8. Définition des conditions aux limites :

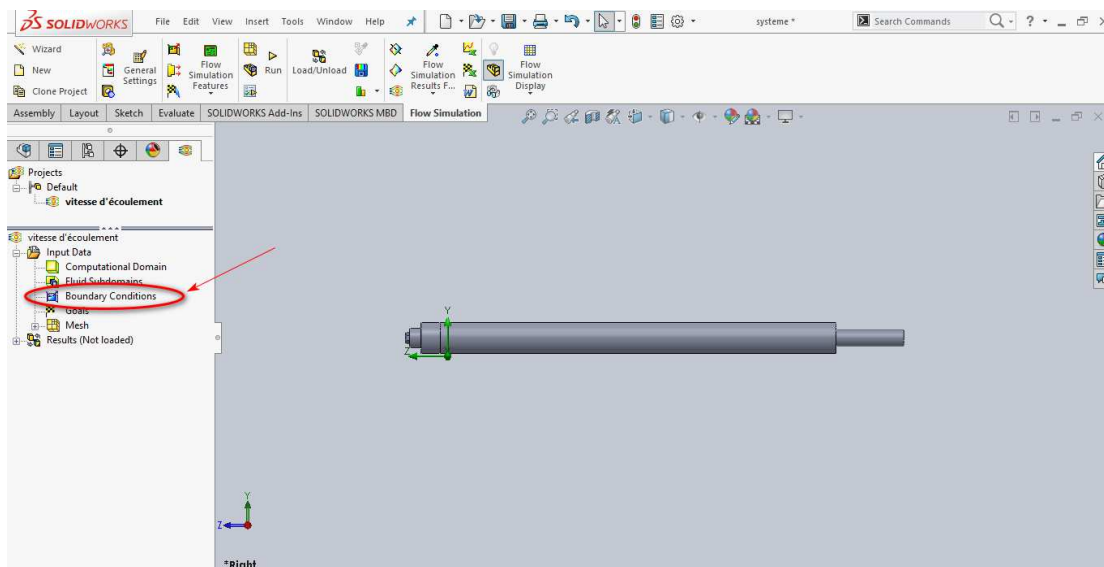


Figure IV. 9 : Définition des conditions aux limites.



### 8.1. Condition à l'entrée :

À l'entrée on a un débit volumique  $Q = 0.00002043 \text{ m}^3/\text{min} = 0.00002043 \text{ m}^3/\text{min} = 3.405 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ , donc on va ajouter cette valeur à **Inlet volume flow** (le débit volumique entrant).

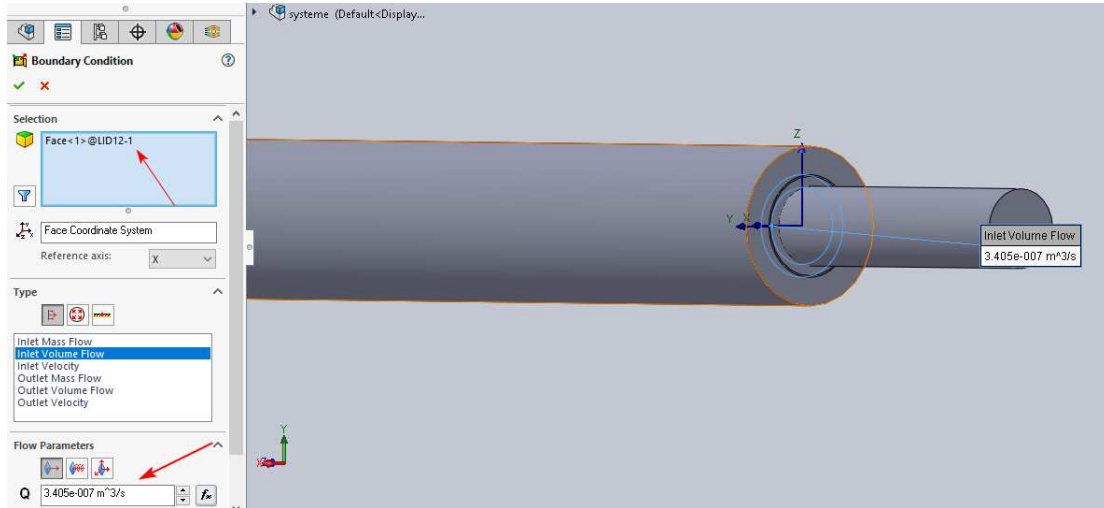


Figure IV. 10 : Définition des conditions aux limites (Condition à l'entrée).

### 8.2. Conditions à la sortie :

En sortie, on ajoute les conditions normales d'environnement, une température de 23°C et une pression de 101325 Pa.

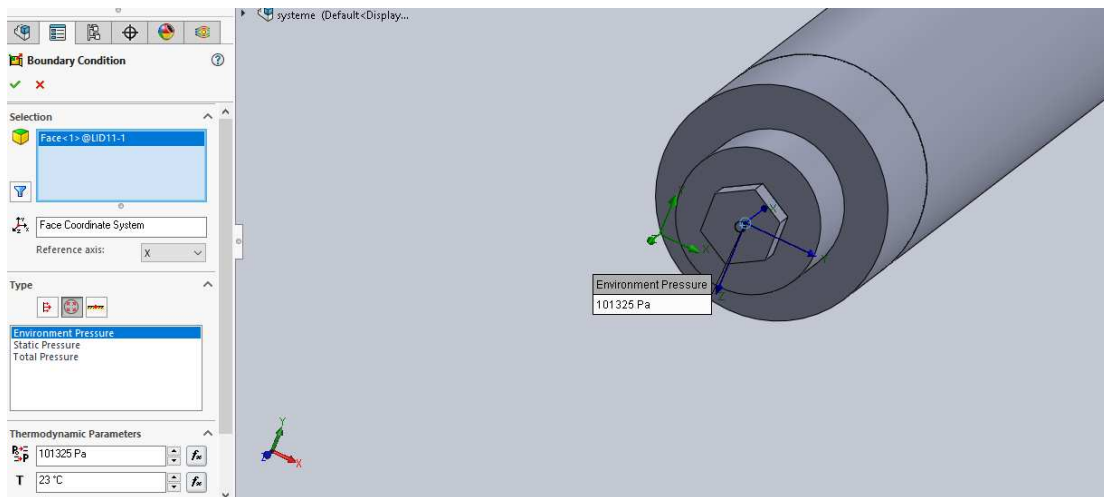


Figure IV. 11 : Définition des conditions aux limites (Condition à la sortie).

8.3. Choix des résultats : vitesse sur l'axe Z

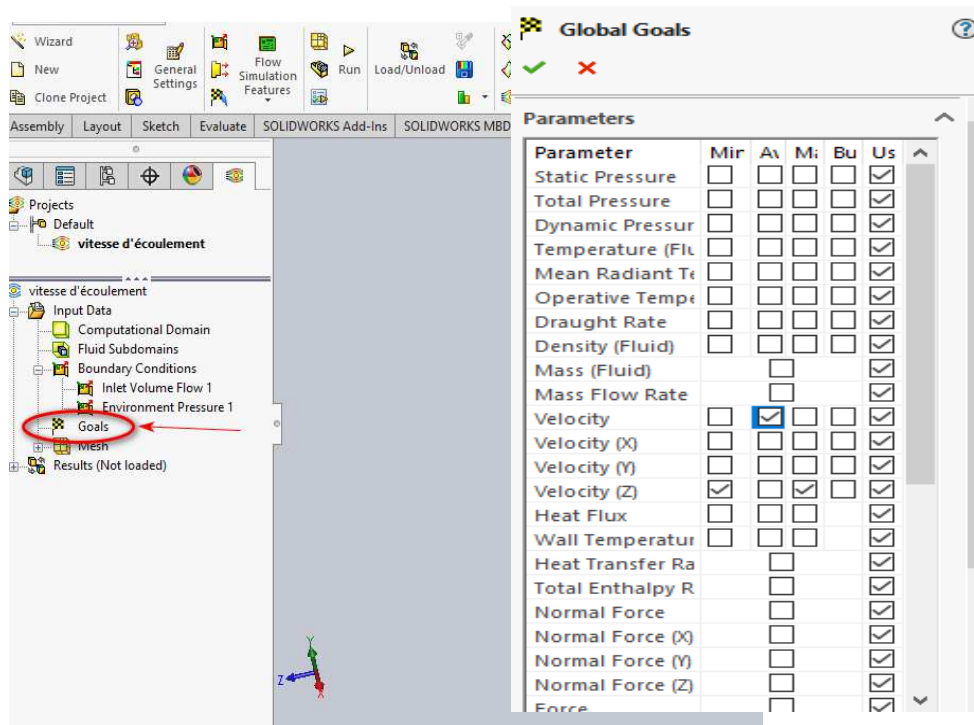


Figure IV. 12 : Choix des résultats : vitesse sur l'axe.

9. Lancement de calcul :

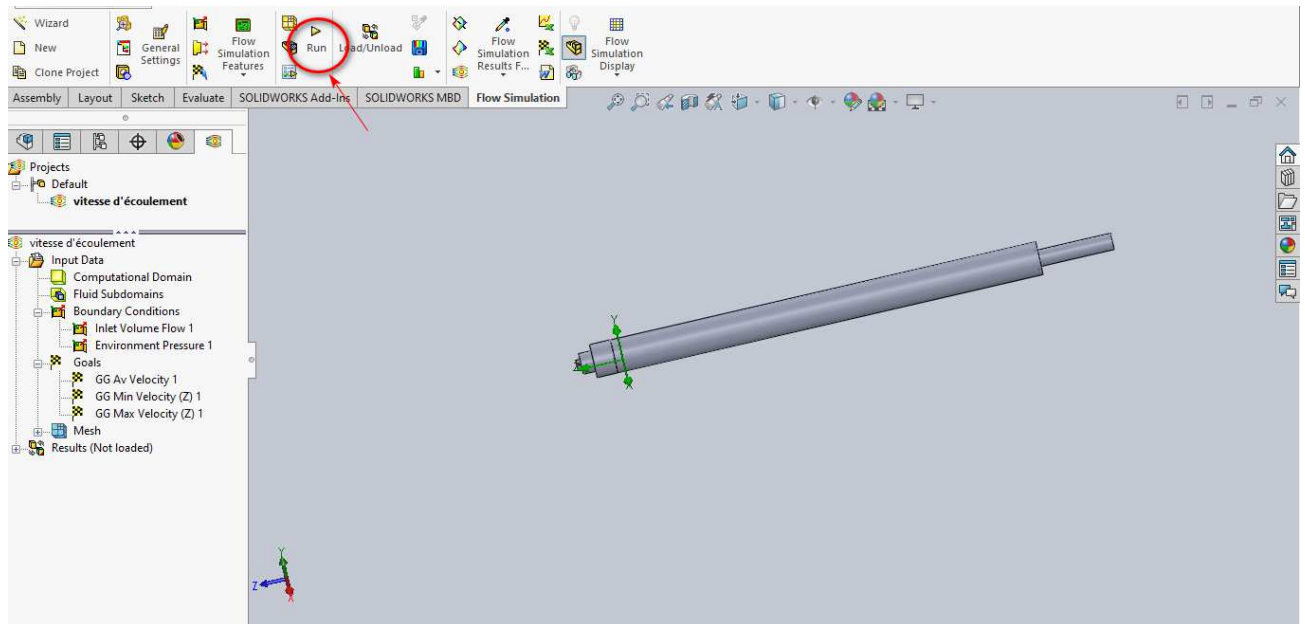


Figure IV. 13 : Lancement de calcul.

#### IV.2.1.2. Résultat de la simulation de la vitesse d'écoulement

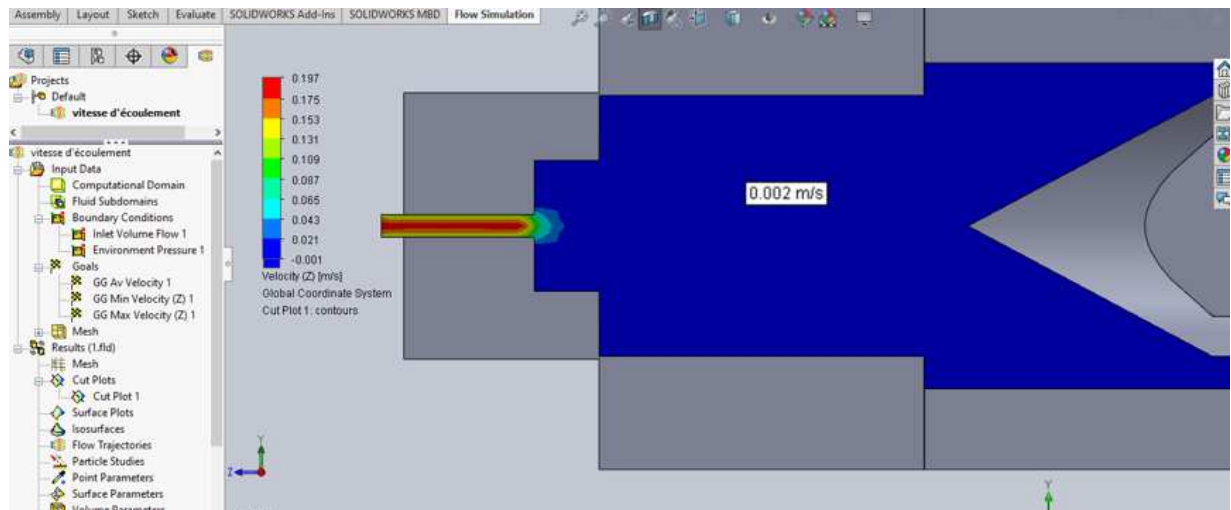


Figure IV. 14 : Vitesse sur la buse de l'extrudeuse.

La vitesse est très faible à l'entrée de la buse (0,002 m/s) puis elle augmente à la sortie de la buse. Comme le montre la figure IV.14, cette vitesse est comprise entre 0,131 m/s et 0,197 m/s. Ce qui va très bien avec la vitesse de départ imposée dans le chapitre 2 avant de faire la conception.

**Remarque** : les valeurs négatives de la vitesse représente la déviation de la matière à l'axe opposé à cause de la collision avec les bords de la buse.

Tout d'abord, nous allons mesurer la vitesse au niveau de la sortie par un appareil de mesure. Ensuite, nous allons régler la vitesse de la bobine et de la bielle-manivelle à travers la vitesse d'écoulement obtenue par les équations qu'on nous avons vues dans le chapitre II.

#### IV.2.2. Vérification de la température

Nous avons divisé notre système en trois zones de température :

Zone 1 : la température égale à 105° C pour que la matière ABS commence à ramollir.

Zone 2 : la température égale à 130° C, dans cette zone on va atteindre la température de fusion pour que la matière sois prête à fusionner sur la prochaine zone.

Zone 3 : la température égale à 160° C car cette zone est très petite. Donc on a besoin de choisir une température un peu supérieur à la température voulue à la sortie pour avoir cette dernière.

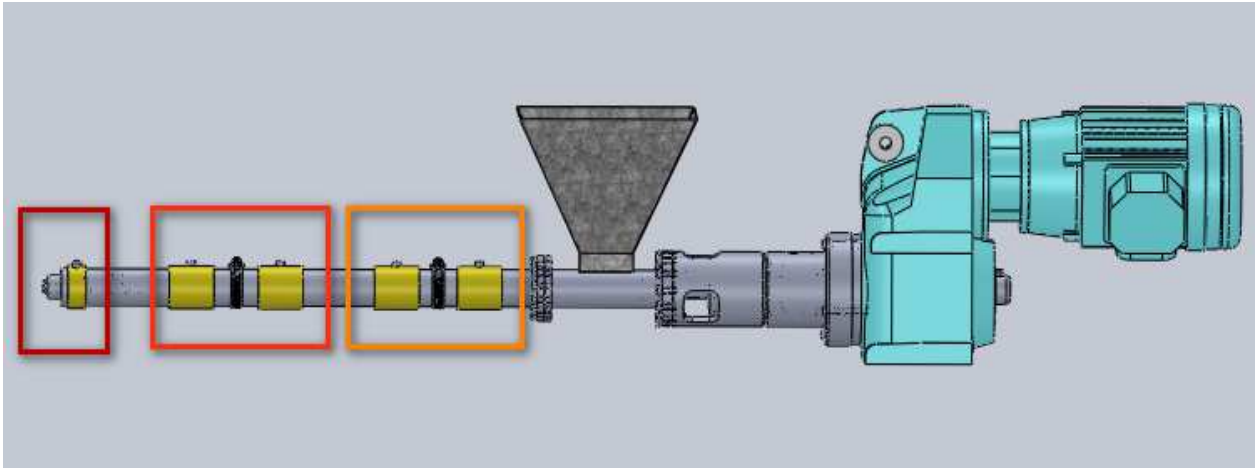


Figure IV. 15 : Zones de température

#### IV.2.2.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la température

Nous allons faire les mêmes étapes réalisées sur la partie « vitesse », sauf que nous allons changer la température à la place de la vitesse sur les conditions initiales. Puis, on va choisir la température de fluide sur la liste des objectives comme résultat.

#### IV.2.2.2. Résultats de la simulation de la température

**Zone 01 :** La température augmente rapidement de 30° C au début jusqu'à 105° C à la fin de cette zone.

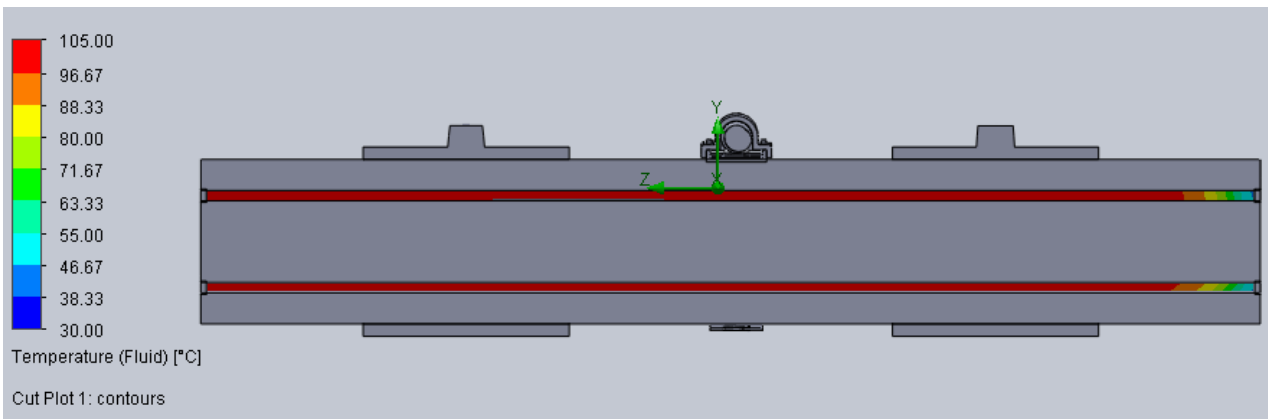


Figure IV. 16 : Température en zone 1 de 30° C à 105° C.

**Zone 02 :** La température augmente graduellement de 105° C au début de cette zone à 130° C à la fin de cette zone (Figure IV.17).

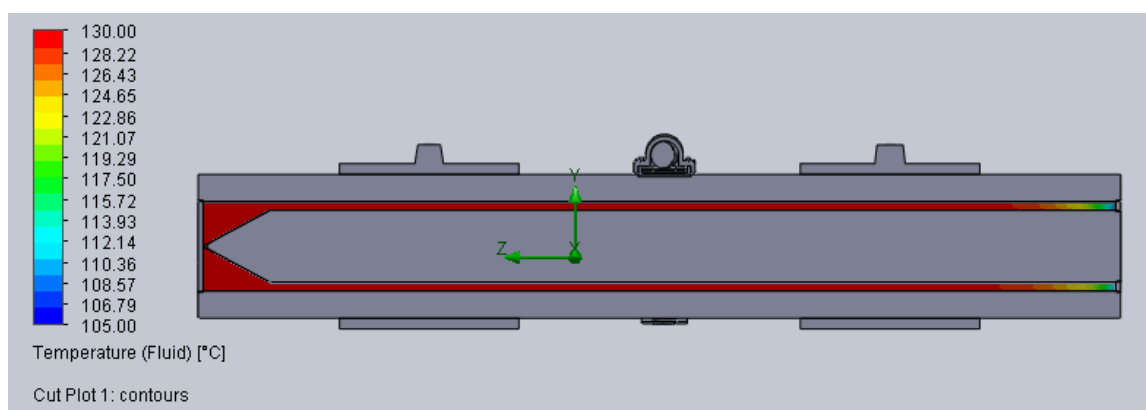


Figure IV. 17 : Température en zone 2 de 105° C à 130° C.

**Zone 03 :** La température augmente de 130°C à la température finale de la matière ABS qui est entre 130°C et 160°C. Elle représente la température parfaite pour l'extrusion de l'ABS (Figure IV.18). Après optimisation nous avons choisi la température de chauffe 160°C afin d'avoir une température  $\approx 135^\circ\text{C}$  en sortie.

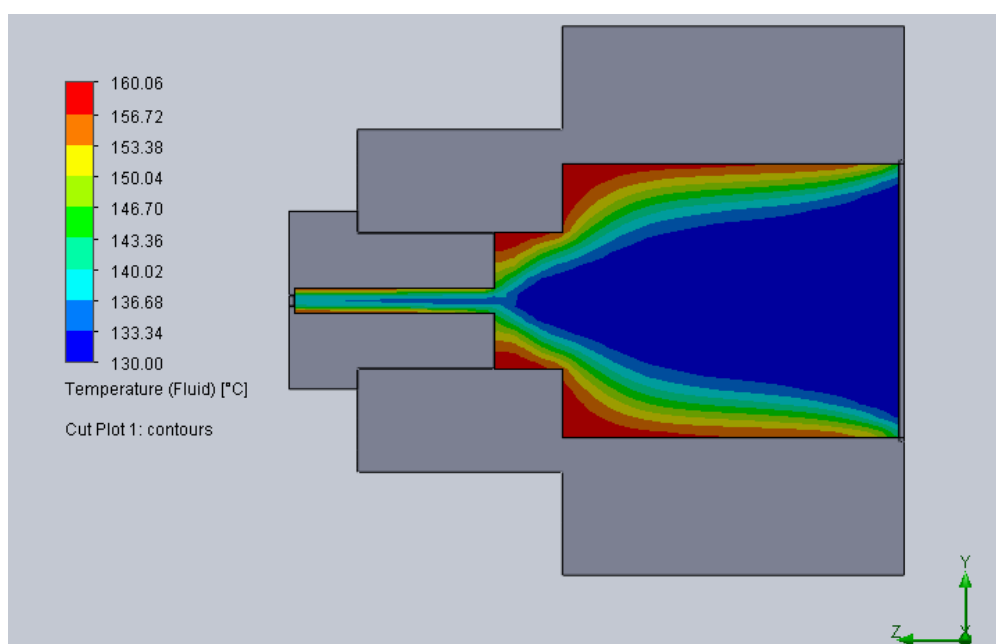


Figure IV. 18 : Température en zone 3 de 130° C à 160° C.

### IV.3. Conclusion

Ce chapitre représente une vérification des calculs réalisés dans le chapitre 2. Nous avons d'abord défini le logiciel avec lequel nous avons travaillé à savoir SolidWorks Flow-Simulation. Ensuite, nous avons vérifié la vitesse d'écoulement et la température de la matière plastique lors de l'extrusion. Tout en expliquant les étapes suivies pour effectuer les tâches voulues de la simulation numérique. Les résultats numériques obtenus montrent une bonne concordance avec ceux obtenus analytiquement.

# Conclusion générale

A travers ce travail qui rentre dans le cadre de notre formation de master, nous avons mieux compris comment résoudre une problématique ou un sujet technique de conception d'un mécanisme de fabrication mécanique à travers son étude et sa conception.

Durant notre travail, nous avons réalisé une étude de conception, et de vérification à travers une simulation numérique d'un système d'extrudeuse combiné à un système de bobinage a fin d obtenir des filaments destinés à l'utilisation pour l'impression 3D.

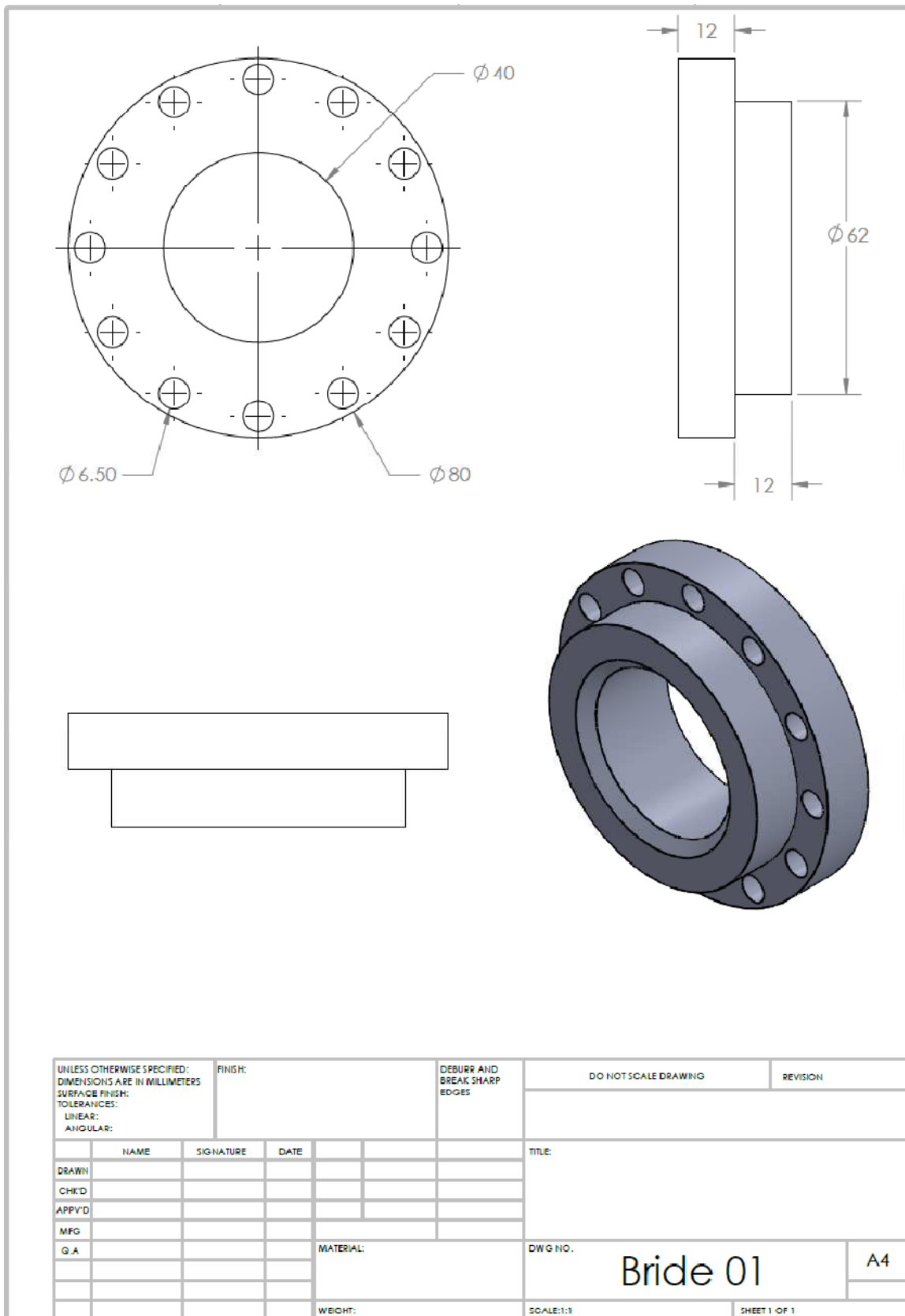
Nous avons parlé d'une façon détaillée de l'extrudeuse tout en faisant une étude analytique et numérique afin de calculer les dimensions de la vis, les vitesses de rotations et les choix des moteurs pour l'extrudeuse et aussi pour le système de bobinage. Après la conception de tous les composants de la machine avec le logiciel SolidWorks, la fonction Flow-Simulation de SolidWorks a été employée pour la vérification des résultats finaux.

Les résultats numérique de la vitesse en sortie de la buse (0,15 m/s) imposée pour la partie étude, a été confirmée avec l'outil numérique (entre 0,131 m/s et 0,197 m/s).

Pour finir, c'est avec un grand enthousiasme que nous avons nous lancé dans cette recherche en souhaitant que ce modeste travail aidera toutes personnes désirant en savoir plus sur la fabrication mécanique et l'extrusion plus particulièrement

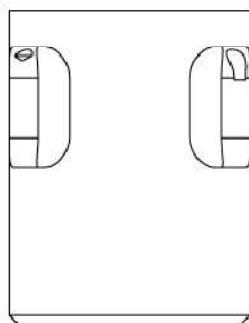
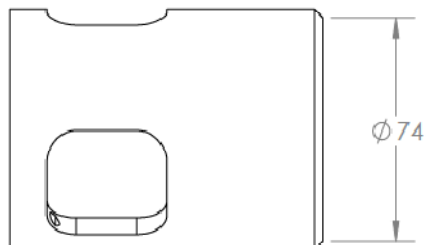
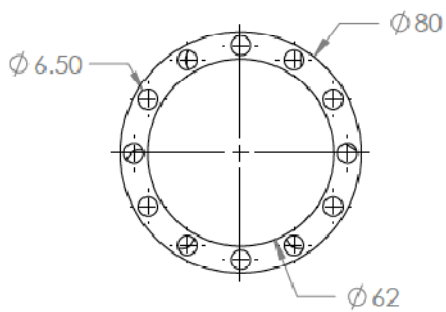
# Annexe A1. Dessins de définition de quelques pièces.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN									
CHKD									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.		A4	
						tête de vis			
					WEIGHT:	SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

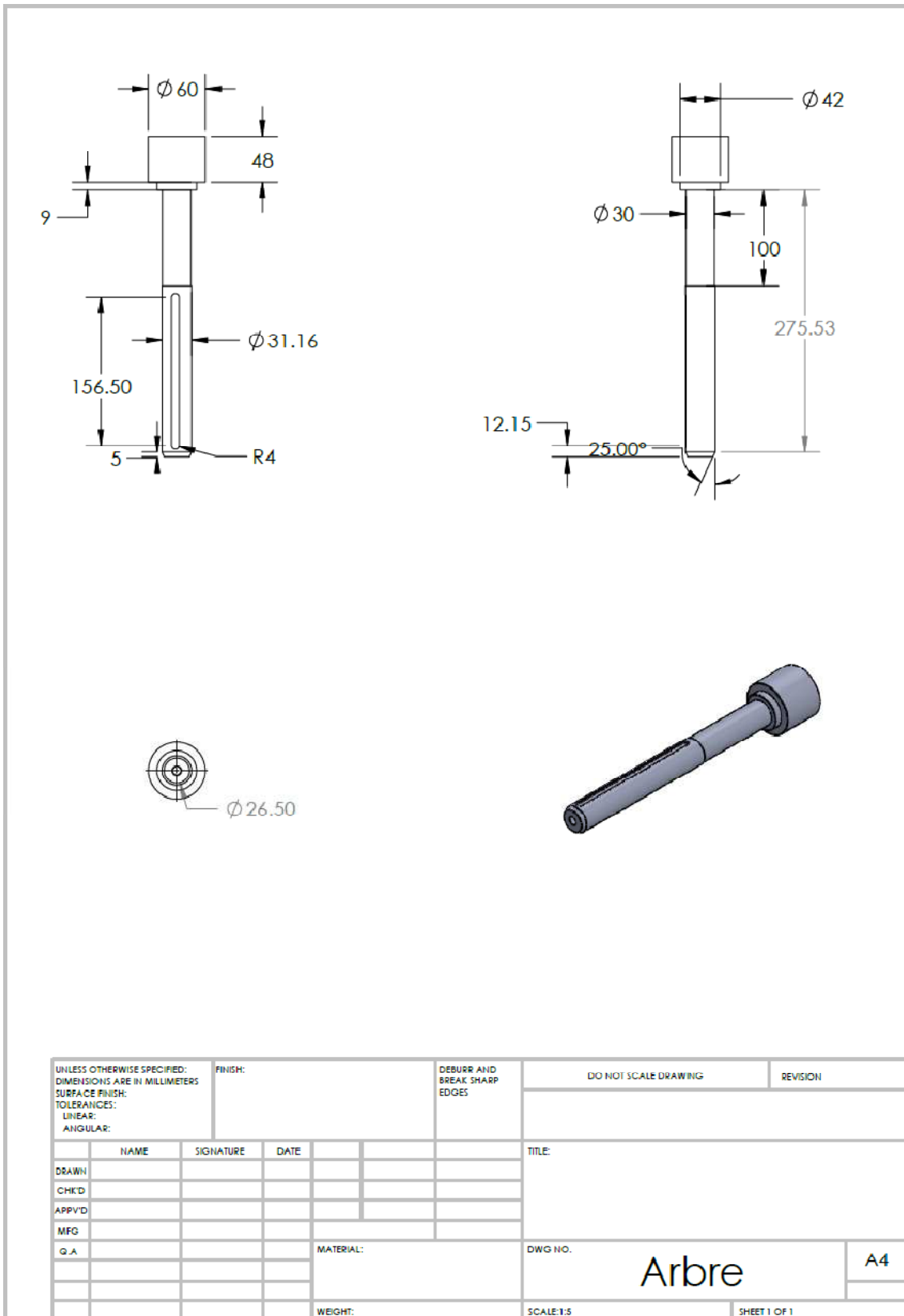


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
G.A						MATERIAL:		DWG NO. <b>Bride 01</b>	
						WEIGHT:		SCALE: 1:1	
								SHEET 1 OF 1	



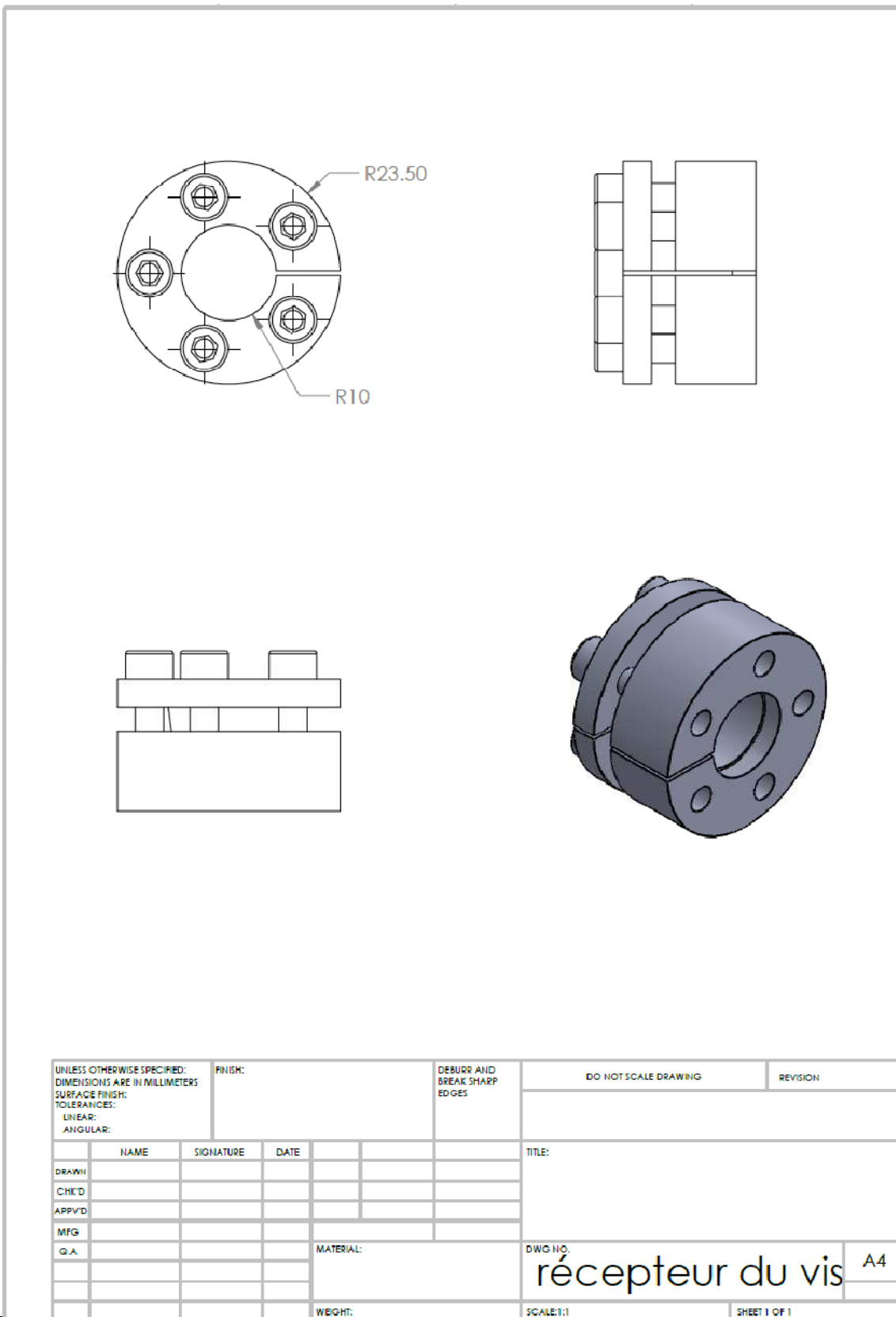


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPY'D									
MFG									
Q.A						DWG NO.		A4	
						Corp 01			
				WRIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

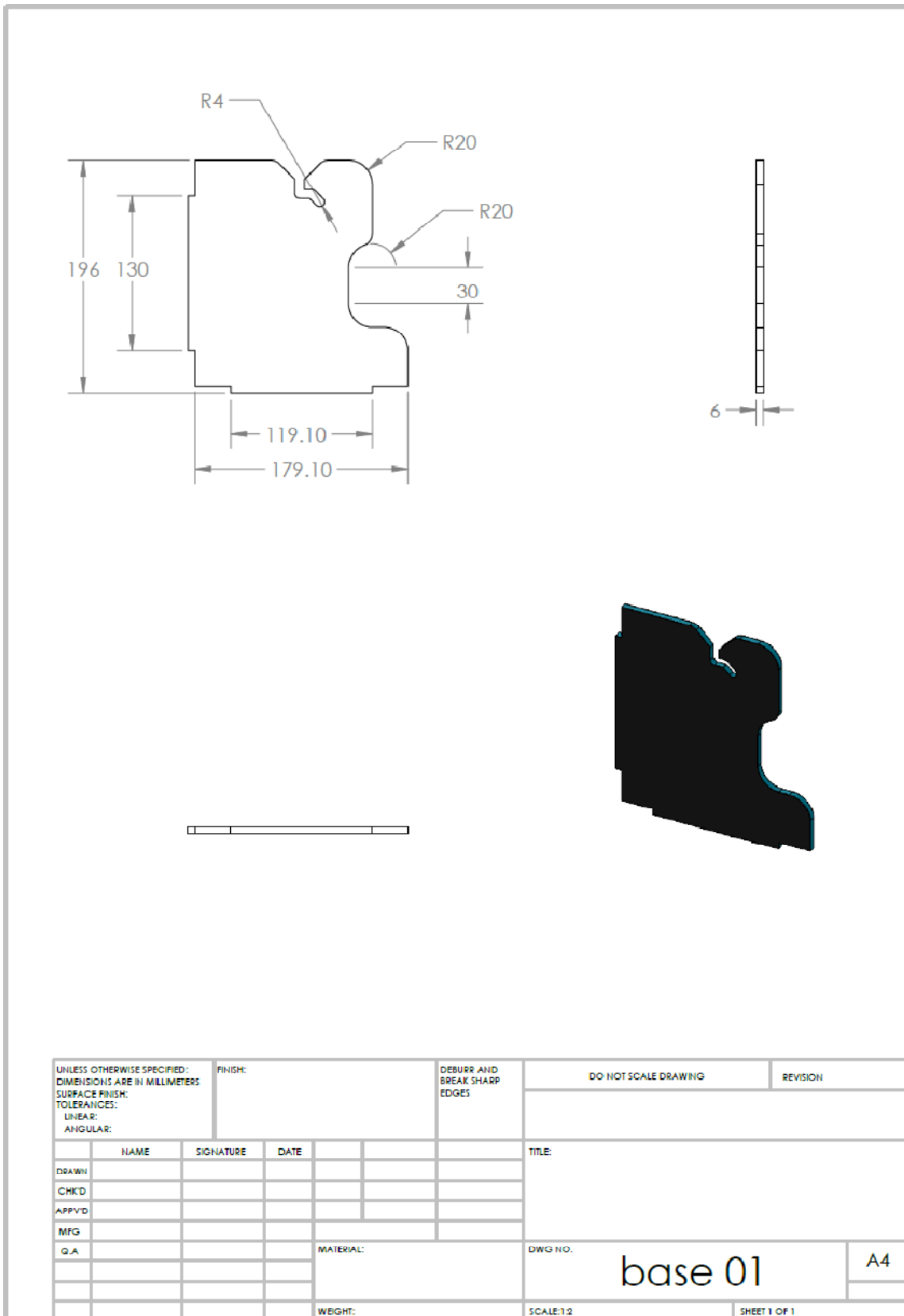


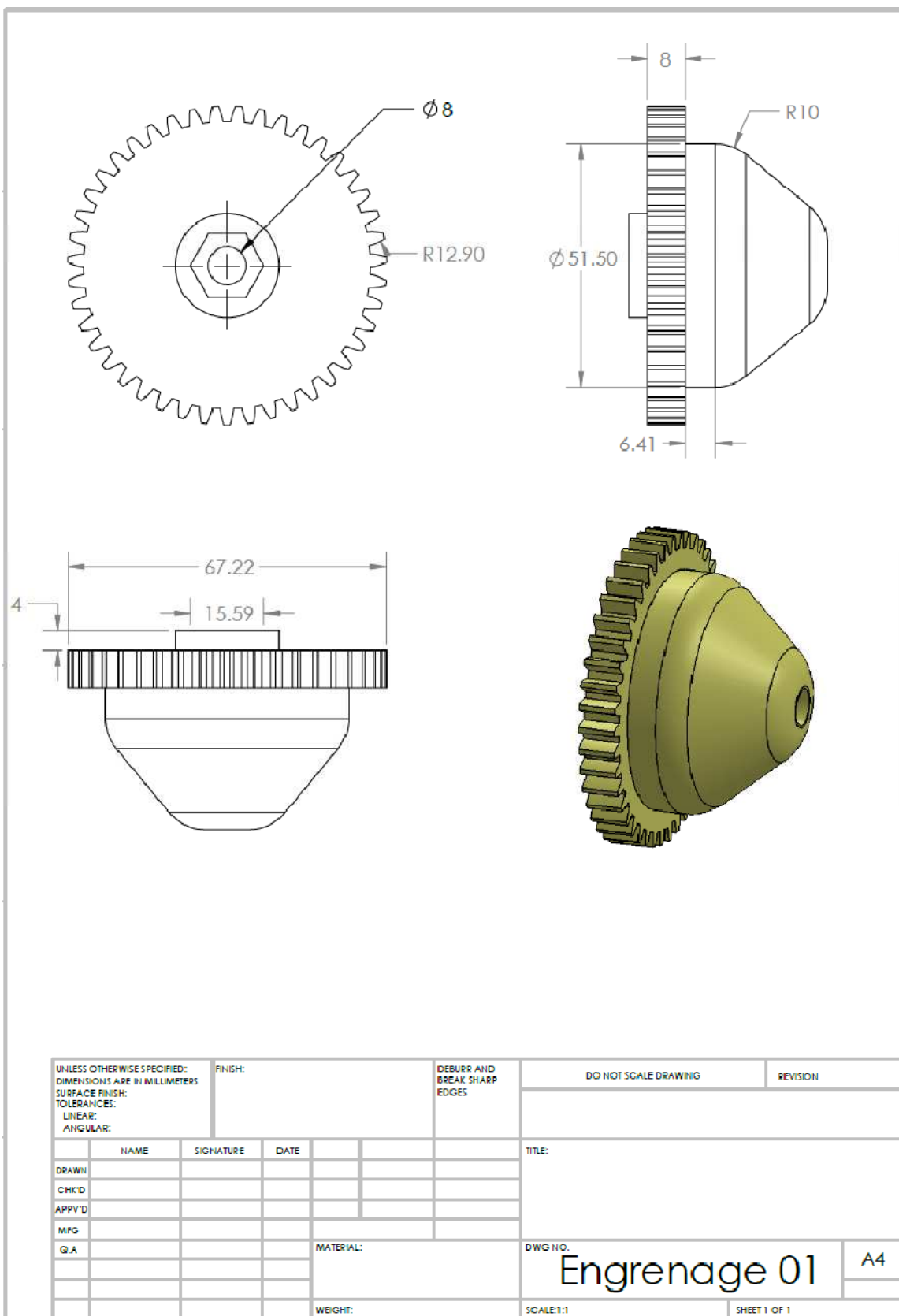
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHKD									
APPVD									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	

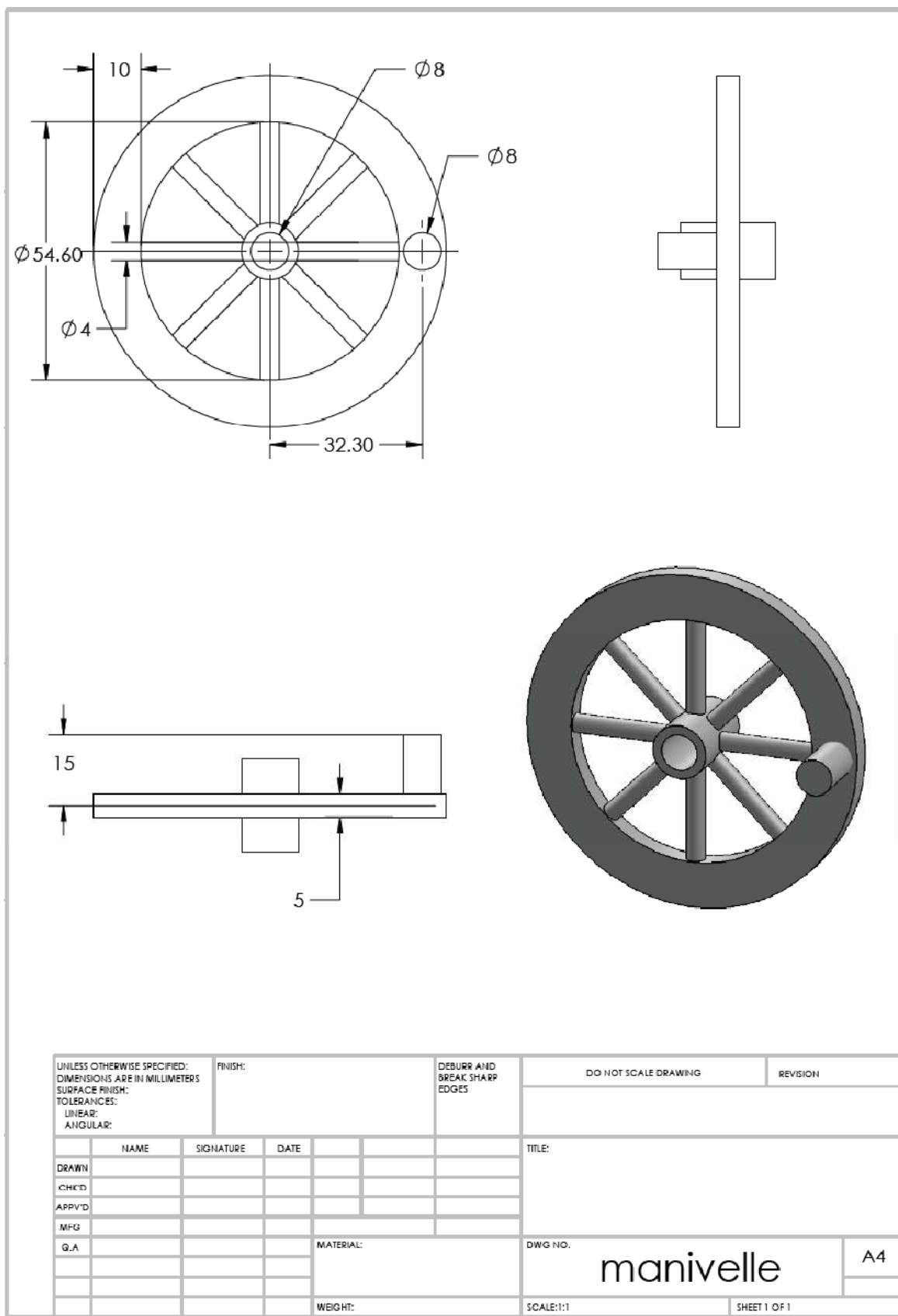
Arbre

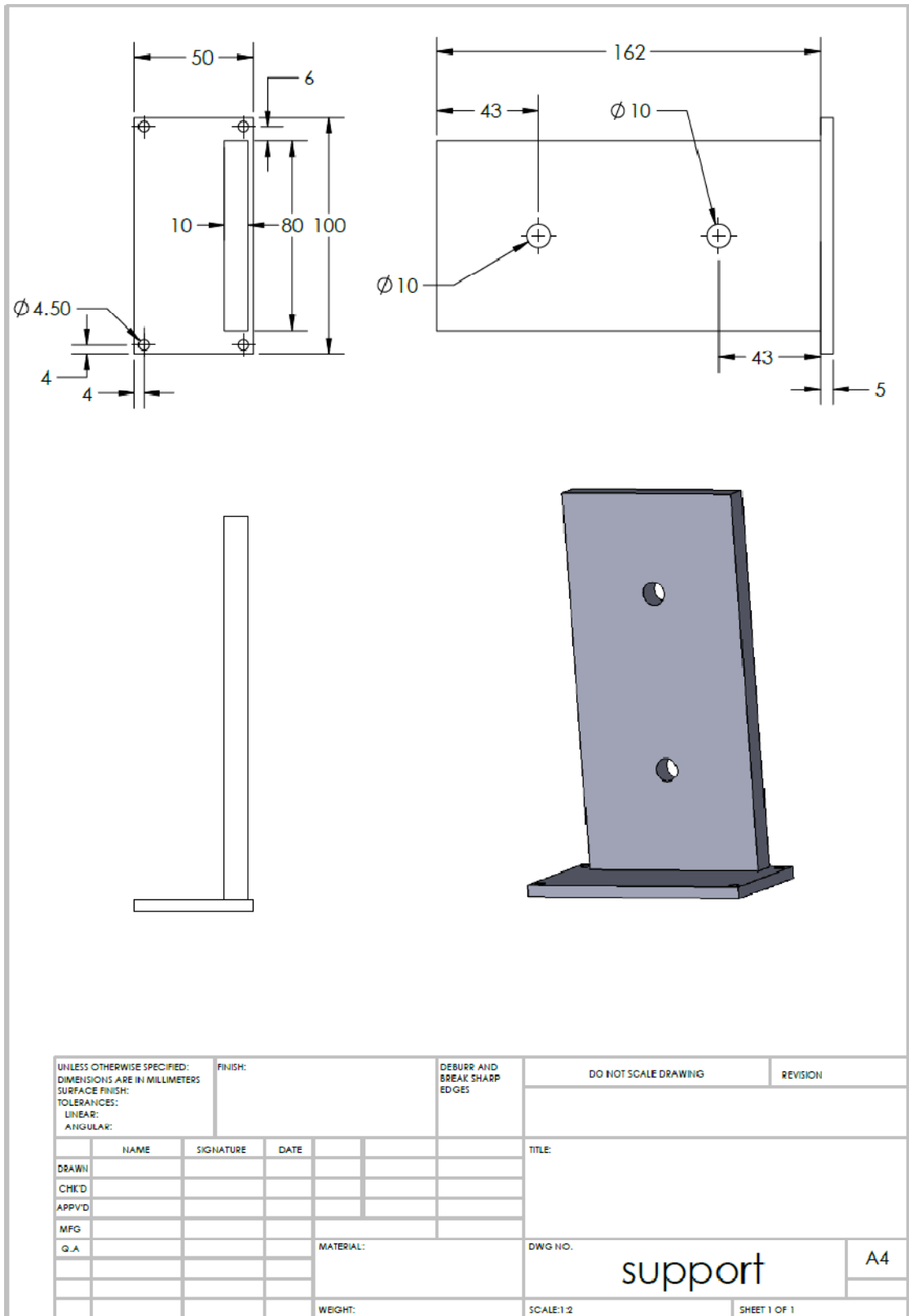


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN									
CHECK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A.					MATERIAL:	DWG NO.		A4	
						récepteur du vis			
					WEIGHT:	SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	









# Références bibliographiques

- [1] Nathalie Mayer, Fusion-état de la matière, article science, « <https://www.futura-sciences.com/sciences/définitions/physique-fusion-15305/> »
- [2] Auteurs multiples, Les alliages d'aluminium moulés, Paris, Centre technique des industries de la fonderie et Centre québécois de la recherche et du développement de l'aluminium, 2002.
- [3] Pierre Mella, le moulage en coquille par gravité, école paris-saclay, 2016.
- [4] M. MELAS, RECORD, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en œuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets. Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques, janvier 2003, 175 p, n°00-0905/1A.
- [5] Groupe goodfellow : fournisseur international de matériaux polyacrylonitrile-butadiène-styrène.
- [6] Jean-François AGASSANT, Pierre AVENAS, Jean-Philippe SERGENT, Bruno VERGNES, Michel VINCENT, Mise en forme des polymères, Approche thermomécanique de la plasturgie, 4eme Edition, Lavoisier, 2014.
- [7] La recherche des paramètres pour le choix et le pré réglage des presses à injection, Cours, page 05.
- [8] CE-shneckenflugel, dimensionnement des pales de vis, page 01, Catalogue de Motoréducteur benzlers-radicon :Series F Mounted Getriebemotorwelle -Version 3.
- [9] Choix de moteur en ligne : [http://www.swift-gears.com/ContentPages/support\\_content\\_template/support/Direct.aspx](http://www.swift-gears.com/ContentPages/support_content_template/support/Direct.aspx).
- [10] Ariem Redon, Les engrenages, cour de construction, pare : 02.
- [11] Catalogue D'ISSY MOTOR.
- [12] Site commercial, « <https://www.technoindus.com/variateurs-de-frequence-micro-variateur-01-75-kw/variateur-de-frequence-fr-d700-01kw-08a-220-230-mono-220-230-tri-ip20-2147483647-51090.html> ».