République algérienne démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr Yahia FARES de Médéa Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire de Fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème :

Etude et Conception d'une extrudeuse de filaments plastique pour Application dans L'impression 3D

Réalisé et présenté par : Hamidi Meriem

Mechtaoui Wiam

Dirigé par : Dr Rachid Boughedaoui

Et Pr. A. Abdellah el Hadj

Juin 2025

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons commencer en exprimant notre profonde gratitude à Allah le Tout-Puissant, qui nous a accordé le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos encadrants, le Dr Rachid Boughedaoui et le Pr A. Abdellah El Hadj, pour le temps qu'ils nous ont consacré tout au long de ce projet, ainsi que pour leur inspiration, leur aide précieuse et leur disponibilité constante.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance à l'ensemble des membres du jury pour le temps et les efforts qu'ils ont consacrés à l'évaluation de notre projet de fin d'études.

Nos remerciements chaleureux vont à tous les enseignants de l'Université de Médéa, ainsi qu'à l'ensemble des ingénieurs de laboratoire qui ont contribué, de près ou de loin, à notre formation. Nous tenons à remercier particulièrement le Dr N. Amoura, dont l'aide nous a été d'un grand secours durant la réalisation de ce projet.

Nous sommes profondément reconnaissants envers toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réussite de ce mémoire. Leurs encouragements, leur soutien et leur expertise ont été inestimables tout au long de notre parcours.

Nous exprimons également notre gratitude à nos familles pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien permanent, qui nous ont donné la force de persévérer dans les moments difficiles.

Enfin, merci à nos collègues et amis pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de cette aventure.

À vous tous, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicace

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu,
Lui qui éclaire mes pas, apaise mes doutes
Et m'accorde la force d'avancer malgré les épreuves.

À vous, mes chers parents,
Vous qui m'avez offert l'amour, l'équilibre et la foi,
Qui avez cru en moi même lorsque moi, je doutais.
Votre tendresse et vos sacrifices sont les fondations de ce parcours.

A mes frères et sœurs
Fethia, Hadjira, Youcef, fethelnour, Brahim, Hamza pour leur soutien indéfectible, leur affection constante et leurs présences dans chaque étape de ma vie

Amon binôme Wiam

Chacun de vous porte en lui une partie de mon cœur.

MERIEM

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU
De m'avoir donné la force et le courage de mener
à bien ce modeste travail.
Je tiens à dédier cet humble travail à :

Aux âmes de nos justes martyrs de Gaza, qui nous ont appris que la dignité ne s'achète pas et que le sang pur est le chemin vers la liberté

A ma tendre mère et mon très cher père
qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long décès longues années d'études.

A mes frères : Taha ; Abdelwareth ; Youcef ; Yacine

A mon binôme : Maria

A tous ma famille

Tous ceux qui m'aiment et que j 'aime

WIAM

Sommaire

Introduction Générale *1*

Chapitre I : Etat de l'art *1*

I.1.Introduction **4**

I.2.Technologies d'impression 3D **4**

I.3.Principe de la technologie FDM **4**

I.4.Types de filaments pour impression FDM **4**

I.5. Importance du filament dans la chaîne de production **5**

I.6. Les extrudeuses de filament : principe et exemples **5**

I.7.Limites des systèmes actuels **5**

I.8. Conclusion **6**

Chapitre II : Généralité sur les plastiques *7*

II.1. Introduction **8**

II.2. Définition de plastique **8**

1.1 II.3. Fabrication du plastique **8**

1.2 II.4. Types de plastiques **8**

II.4.1. Les thermoplastiques 8

II.4.1.1. LE PET (Le polyéthylène téréphtalate) 9

- ***Définition*** 9
- ***Propriétés et caractéristiques*** 9

II.4.1.2. LE PEHD (Le polyéthylène haute densité) 10

- ***Définition*** 10
- ***Propriétés et caractéristiques*** 10

II.4.1.3. LE PVC (Polyvinyl chloride) 11

- ***Définition*** 11
- ***Propriétés et caractéristiques*** 11

II.4.1.4.ASA (Acrylonitrile styrène acrylate) 11

- ***Définition*** 11
- ***Propriétés et caractéristiques*** 12

II.4.2 Les thermodurcissables 12

II.6. Recyclage de plastique 13

II.6.1. Étapes du processus de recyclage 13

II.6.1. Les types de recyclage 14

II.6.2. Défis et opportunités 14

II.7. Machines de recyclage existantes : analyse des conceptions et limites 15

II.7.1. Machines de tri 15

II.7.2. Broyeurs 15

II.7.3. Ligne de lavage 16

II.7.4. Machines de séchage 16

II.7.5. Machines d'extrusion 17

II.7.6. Mixer 17

II.7.7. Pelletizers 18

II.8. Conclusion 18

Chapitre 3 : Filaments et impression 3D 6

III.1. Filament 3D 20

III.1.1. Introduction 20

III.1.2. Définition de filaments 20

III.1.3. Types de filament 21

III.1.3.1. LE PLA (Polylactic Acid) 21

- ***Définition du matériau*** 21
- ***Les avantages et les inconvénients*** 21
- ***Les applications*** 22

III.1.3.2. L'ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) 22

III.1.3.3. Le Nylon (poly hexaméthylène adipamide) 24

III.2. Impression 3D 25

1.2.1 III.2.1. Définition 25

1.2.2 III.2.2. Domaines d'application de l'impression 3D 26

III.5. Conclusion 28

2 Chapitre IV: Approche générale des extrudeuses 22

2.1 IV.1. Introduction 29

2.2 IV.1.2. Définition 29

***2.3* IV.1.3. Principe de fonctionnement 29**

2.4 IV.1.4.Les types d'extrudeuse 30

2.4.1 IV.1.4.1. Extrudeuse Monovis 30
2.4.2 IV.1.4.2. Extrudeuse bivis 30
2.4.2.1 IV.1.4.2.1. Les types des extrudeuses bivis 31
2.4.3 IV.1.4.3. Extrudeuse à piston 31
2.4.4 IV.1.4.4. Extrudeuse gonflage 32

2.5 **IV.1.5. Les composantes principales d'extrudeuse 32**

2.6 **IV.1.6. Zones fonctionnelles d'une extrudeuse 33**

IV.1.7. Description fonctionnelle de l'extrudeuse 34

CONCLUSION 35

Chapitre V : Etude et conception de l'extrudeuse 34

V.1.Introduction 36

V.2. Etude de la machine 36

2.6.1 V.2.1. Partie 1 : Extrusion 36
2.6.1.1 V.2.1.1. Principe de fonctionnement 37
2.6.1.2 V.2.1.2. Les organes de la partie d'extrusion 37
V.2.1.3. Choix de matériau de fil de filament 40
IV.2.1.4. Géométries de système vis-fourreau [23] 41
V.2. Partie 2 : Bobinage 42
❖ **Principe de fonctionnement** 42
Organe de la partie bobinage 43
2.6.1.3 IV.2.2.1. Choix de moteur 44
2.6.2 V.3. Système de refroidissement 46

IV.4. Conception de la machine 47

IV.4.1. Conception de la partie d'extrusion 48
a. Le motoréducteur 48
b. Group extrusion 49
V.4.2. Conception de la partie de refroidissement 50
a.la chambre de refroidissement 50
2.6.3 IV.4.3. Conception de la partie bobinage 51
IV.4.5. Conception de la base principale 52

CONCLUSION GENERALE 53

Listes des Figures

***Figure II-1**: Produit plastiques* 8

***Figure II-2**: Code de recyclage de PET [3]* 10

***Figure II-3**: Code de recyclage PEHD [3]* 11

***Figure II-4**: Code de recyclage PVC [3]* 11

***Figure II-5**: Machine de tri* 16

***Figure II--6**: Broyeurs* 16

***Figure II-7**: Ligne de lavage* 17

***Figure II-8**: Machines de séchage* 17

***Figure II-9**: Machine d'extrusion* 18

***Figure II-10**: Mixer* 18

***Figure II-11**: Pelletizers* 19

***Figure III-1**: Filament 3D[9]* 23

***Figure III-2**: Les bobine des filament en PLA[10]* 24

***Figure III-3**: Les bobines des filament en ABS[12]* 25

***Figure III-4**: Les bobines de filament en nylon [14]* 26

***Figure III-5**: Les bobine de filament en nylon [14]* 28

***Figure III-6**: L'impression 3D* 28

***Figure III-7**: Pieces impremees en rapide* 28

***Figure III-8**: Otheses médical* 29

***Figure III-9**: Pieces aéronautique* 29

***Figure III-10**: Maquette d'architecte imprimée en 3D* 30

***Figure IV-1**: Extrudeuse [19]* 34

***Figure IV-2**: Extrudeuse monovis* 35

***Figure IV-3**: Extrudeuse bivis* 36

***Figure IV-4**: Extrudeuse à piston* 37

***Figure IV-5**: Extrudeuse gonflage* 37

***Figure IV-6**: Zone fonctionnelle d'une extrudeuse* 38

***Figure IV-7**: Bête a corne d'extrudeuse* 39

***Figure IV-8**: diagramme de pieuvre* 39

***Figure V-1**: Vue d'ensemble de l'extrudeuse* 42

***Figure V-2**: Motoréducteur* 43

***Figure V-3**: La trémie* 43

***Figure V-4**: Collier* 44

***Figure V-5**: Filière* 44

***Figure V-6**: Fourreau* 45

***Figure V-7**: Vis sans fin* *45*
***Figure V-8**: Accouplement* *46*
***Figure V-9**: Géométries de système vis-fourreau* *47*
***Figure V-10**: Système de bobinage* *48*
***Figure V-11**: Moteur pas à pas* *49*
***Figure V-12**: Support* *49*
***Figure V-13**: Bobine* *50*
***Figure V-14**: Vue de la face d'engrenage* *52*
***Figure V-15**: Ventilateur* *53*
***Figure V-16**: Extrudeuse de filament pour l'impression 3D* *53*
***Figure V-17**: Motoréducteur* *54*
***Figure V-18**:Nomenclature de group d'extrusion* *55*
***Figure V-19**:Chambre de refroidissement* *56*
***Figure V-20**: Ventilateur* *56*
***Figure V-21**: Système de bobinage* *57*
***Figure V-22**: Table* *58*

Liste des Tableaux

***Tableau 1**: technique de transformation des plastiques.....12*

***Tableau 2**: Caractéristiques d'impression et paramètre de PLA [10].....22*

***Tableau 3**: Caractéristiques d'impression et paramètre de ABS [12].....24*

***Tableau 4**: Propriétés mécaniques [18].....40*

***Tableau 5**: Propriétés thermiques [18].....40*

***Tableau 6**: Vitesse tangentielle max pour éviter la dégradation de la matière [19].....41*

***Tableau 7**. Caractéristique d'engrenage.....44*

ملخص

يعرض هذا البحث حلاً مبتكرًا لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية، من خلال استخدام عملية البثق لتحويلها إلى خيوط تُستخدم في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

يتناول في البداية معلومات عامة حول المواد البلاستيكية وطرق إعادة تدويرها، إضافة إلى أنواع الخيوط والطابعات ثلاثية الأبعاد. ثم يتم التطرق إلى دراسة نظرية لنظام البثق والتدوير، تليها مرحلة التصميم والنمذجة باستخدام برنامج Solidworks.

يهدف هذا المشروع إلى تقليل التلوث البيئي والاستفادة من النفايات البلاستيكية بإعادة استخدامها بطريقة مفيدة

الكلمات المفتاحية : إعادة التدوير، البلاستيك، البثق، الخيط، الطباعة ثلاثيةالابعاد , solidworks.

Résumé

Ce mémoire présente une solution innovante pour le recyclage des déchets plastiques, en mettant en œuvre un procédé d'extrusion permettant leur transformation en filament pour impression 3D.

Il aborde dans un premier temps des notions générales sur les plastiques et leur recyclage, ainsi que les types de filaments et d'imprimantes 3D. Par la suite, une étude théorique de l'extrudeuse et du système d'enroulement est menée, avant de passer à la conception et à la modélisation de la machine à l'aide du logiciel SolidWorks.

Ce projet vise à réduire la pollution environnementale et à valoriser les déchets plastiques en leur offrant une nouvelle utilité.

Mots-clés : recyclage, plastique, extrusion, filament, impression 3D, SolidWorks.

Abstract

This thesis presents an innovative solution for recycling plastic waste through the extrusion process, which transforms it into filament for 3D printing.

It begins with general insights into plastics and their recycling methods, followed by an overview of filament types and 3D printers. Then, a theoretical study of the extruder and winding system is conducted, leading to the mechanical design and modeling of the machine using SolidWorks.

The project aims to reduce environmental pollution and repurpose plastic waste by giving it a new, practical application.

Keywords: recycling, plastic, extrusion, filament, 3D printing, SolidWorks.

Liste des abréviations

FDM: Fused Deposition Modeling**.**

FFF: Fused Filament Fabrication**.**

SLA: Stereolithography**.**

SLS: Selective Laser Sintering**.**

STL: STereoLithography.

3D: Trois Dimensions.

PLA: Polylactic Acid.

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene.

PETG: Polyéthylène Téréphtalate Glycol**.**

TPU: Thermoplastic Polyuréthane.

PC: Polycarbonate.

PEEK: Polyether Ether Ketone.

PET : Polyéthylène Téréphtalate.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PVC : Polychlorure de vinyle.

ASA : Acrylonitrile Styrène Acrylate.

UV : Ultraviolet.

OBJ : Format 3D qui inclut aussi textures et couleurs.

USB: Universal Serial Bus.

SD: Secure Digital.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

CAD: Computer-Aided Design.

LED: Light Emitting Diode**.**

Introduction Générale

L'impression 3D, ou fabrication additive, s'impose aujourd'hui comme une révolution technologique majeure dans divers domaines tels que l'industrie, le médical, l'architecture, l'éducation ou encore le design. Elle offre la possibilité de produire des objets complexes et personnalisés avec une grande précision, tout en réduisant le gaspillage de matière et les délais de production. Parmi les procédés existants, la technologie FDM (Fused Deposition Modeling) reste la plus utilisée, notamment en raison de sa simplicité, de son faible coût et de l'accessibilité de ses matériaux. Ce procédé repose sur l'utilisation de filaments thermoplastiques, chauffés puis extrudés à travers une buse, afin de former les objets couche par couche.

Cependant, malgré ses nombreux avantages, l'impression 3D FDM reste dépendante d'un facteur clé : la disponibilité de filaments de qualité, souvent issus de procédés industriels coûteux et peu durables sur le plan environnemental. Dans un contexte où la gestion des déchets plastiques constitue un défi planétaire, il devient crucial de repenser la chaîne de production de ces filaments en intégrant une approche de recyclage local et durable.

Ainsi, une question essentielle se pose : comment produire, à l'échelle locale, un filament de bonne qualité, à faible coût, et à partir de déchets plastiques ? C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, qui vise à concevoir une extrudeuse de filament plastique capable de transformer des déchets en matière première pour l'impression 3D. Une telle machine permettrait non seulement de valoriser les déchets, mais aussi de réduire les coûts d'exploitation et de promouvoir une économie circulaire dans le domaine de la fabrication additive.

Ce mémoire a pour objectif d'étudier le fonctionnement des extrudeuses, d'élaborer un cahier des charges adapté aux contraintes locales, et de concevoir mécaniquement les différents composants de la machine (vis, fourreau, trémie, système de bobinage, etc.). La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks, afin d'aboutir à une solution technique complète. L'approche méthodologique adoptée repose sur une analyse bibliographique approfondie, un dimensionnement mécanique des éléments, et une réflexion sur les aspects économiques et écologiques du projet. Enfin, des pistes d'amélioration seront

évoquées, notamment l'intégration de systèmes de contrôle automatisé et l'extension vers un prototype fonctionnel.

L'ensemble du mémoire est structuré en quatre chapitres : le premier présente un état de l'art de l'impression 3D et des extrudeuses existantes ; le deuxième est consacré aux plastiques et à leur recyclage ; la troisième traite des filaments et des principes de l'impression 3D ; enfin, le dernier chapitre décrit la conception détaillée de l'extrudeuse développée. Ce travail s'inscrit ainsi dans une démarche à la fois technique, environnementale et pédagogique, visant à contribuer à la diffusion de solutions innovantes et accessibles pour le recyclage des plastiques

Chapitre I :
Technologies d’impression 3D

I.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu des technologies d'impression 3D, en mettant particulièrement l'accent sur la technologie FDM (Fused Deposition Modeling), la plus utilisée dans le contexte de l'extrusion de filament. Nous analyserons également les types de filaments existants, les caractéristiques attendues d'un filament de qualité, et enfin, les extrudeuses actuelles présentes sur le marché.

I.2.Technologies d'impression 3D

L'impression 3D, ou fabrication additive, regroupe plusieurs procédés permettant de créer des objets tridimensionnels à partir d'un modèle numérique. Ces technologies se classent principalement en :

- FDM (Fused Deposition Modeling) : dépôt de filament fondu couche par couche.
- SLA (Stereolithography) : photopolymérisation d'une résine liquide avec un laser.
- SLS (Selective Laser Sintering) : frittage de poudre à l'aide d'un laser.
- DLP, MJF, Binder Jetting, etc.

Parmi ces technologies, le FDM est la plus accessible, notamment pour les particuliers, les écoles et les PME, en raison de son coût faible et de sa facilité d'utilisation.

I.3.Principe de la technologie FDM

Le fonctionnement de l'impression FDM repose sur un filament plastique enroulé sur une bobine, qui est chauffé à une température de fusion puis extrudé à travers une buse. L'imprimante déplace cette buse selon un parcours préprogrammé pour déposer le matériau fondu couche après couche.

La qualité du filament utilisé est essentielle : un diamètre constant (1,75 mm ou 2,85 mm selon les normes) et une bonne homogénéité garantissent une extrusion fluide, une qualité d'impression élevée, et la réduction des problèmes tels que le bouchage ou les défauts dimensionnels.

I.4.Types de filaments pour impression FDM

Les matériaux les plus utilisés sont :

- PLA (Acide polylactique) : biodégradable, facile à imprimer, faible déformation.
- ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène) : résistant, mais nécessite une température plus élevée.
- PETG : compromis entre PLA et ABS.
- TPU : flexible.

- Nylon, PC, PEEK, etc.

Chaque matériau impose des exigences spécifiques en matière de température d'extrusion, d'humidité, de vitesse d'impression, et de compatibilité avec les buses.

I.5. Importance du filament dans la chaîne de production

Un filament mal extrudé peut entraîner :

- Des variations de diamètre provoquant des dépôts irréguliers.
- Une mauvaise adhérence entre les couches.
- Des blocages dans la buse ou l'entraînement.

La régularité du diamètre, la pureté chimique, et la tenue thermique sont les critères essentiels d'un bon filament. Ces exigences imposent un contrôle précis lors de sa fabrication.

I.6. Les extrudeuses de filament : principe et exemples

Une extrudeuse de filament est une machine capable de transformer des granulés ou déchets plastiques broyés en filament de qualité, en suivant plusieurs étapes :

- Alimentation (trémie)
- Fusion du plastique (résistances chauffantes)
- Pression mécanique (vis sans fin)
- Formation du filament (buse calibrée)
- Refroidissement (ventilation ou bain)
- Enroulement sur bobine

Exemples d'extrudeuses commerciales :

- Filabot : système complet avec broyeur, extrudeuse et bobineuse.
- ProtoCycler : extrudeuse intelligente avec contrôle automatique du diamètre.
- Noztek Pro, Felfil Evo, etc.

Ces extrudeuses industrielles ou semi-professionnelles offrent des performances intéressantes, mais restent souvent coûteuses ou peu adaptées aux besoins spécifiques de projets locaux ou éducatifs.

I.7.Limites des systèmes actuels

Les systèmes commerciaux souffrent de plusieurs limites :

- Coût élevé
- Complexité d'entretien et de réglage
- Faible adaptation à des matériaux recyclés sans traitement préalable

- Peu de modularité

Ces constats justifient l'intérêt de développer une solution personnalisée, à bas coût, ouverte et adaptée à un contexte éducatif, local ou durable.

I.8. Conclusion

Ce chapitre a permis d'établir une vue d'ensemble sur les technologies d'impression 3D, les exigences liées aux filaments, et les extrudeuses existantes. Ces éléments constituent une base solide pour formuler un cahier des charges cohérent et orienter les choix techniques dans la conception d'une extrudeuse optimisée.

Chapitre II : Généralité sur les plastique

II.1. Introduction

Aujourd'hui, les plastiques occupent une place prépondérante, même dans le monde industriel, grâce à leurs propriétés uniques, leur polyvalence et leur coût.

Ces dernières années, il est devenu indispensable dans de nombreux domaines de pointe. Les plastiques font également partie de la famille des matériaux polymères, dotés d'une grande structure, d'un poids léger, d'une résistance à la corrosion et de la capacité d'être formés par moulage ou extrusion en plusieurs formes. Qui sont souvent de sérieux concurrents pour d'autres produits chimiques.

II.2. Définition de plastique

Le plastique est un matériau synthétique fabriqué à partir de polymères, qui sont de longues chaînes moléculaires formées d'unités répétitives appelées monomères. Ces polymères sont généralement dérivés du pétrole, du gaz naturel ou, plus récemment, de sources végétales. Il peut être classé en différents types en fonction de sa composition chimique et ses propriétés physiques.

Les plastiques peuvent être moulés, formés dans une variété de formes et de tailles différentes et est souvent utilisé pour fabriquer des produits tels que des emballages, des jouets, des pièces automobiles, des articles ménagers et des équipements médicaux.



Figure II-1 : Produit plastiques [1]

II.3. Fabrication du plastique

Le plastique est toujours élaboré à partir d'éléments naturels, qui sont ensuite transformés : Comme Le gaz naturel, la cellulose, le charbon, et le pétrole brut (c'est un le

principal composant naturel utilisé pour produire du plastique, son raffinage permet d'extraire Le naphta, matière première dans le procédé de polymérisation).

La production de plastique commence par le processus de raffinage du pétrole brut, qui permet d'extraire différentes fractions, dont le naphta qui est le principal composant utilisé pour produire le plastique. Les plasturgistes doivent soumettre ce liquide issu du pétrole à une opération de craquage, qui consiste en un chauffage à 800°C suivi d'un refroidissement rapide à 400°C dans des vapocraqueurs, afin de pouvoir l'exploiter. Ce traitement permet de fragmenter les grosses molécules d'hydrocarbures qui le composent en molécules plus légères, qui peuvent ensuite être utilisées pour produire du plastique.

Ces molécules ou monomères sont ensuite polymérisés en les assemblant avec des catalyseurs et dans les conditions de température et de pression appropriées. Après la réaction, qui peut être soit une "addition" ou une "condensation", les monomères se combinent pour ne former qu'une seule macromolécule, à savoir le polymère.

Lorsqu'ils quittent la raffinerie, les polymères peuvent se présenter sous forme de granulés, de liquides ou de poudres. Afin de compléter la production de plastique, l'ajout d'adjuvants et d'additifs est nécessaire. Ces produits peuvent être minéraux, métalliques, organiques ou chimiques, avec des propriétés lubrifiantes, colorantes ou encore ignifugeantes dans ce dernier cas, par exemple.

Leur fonction est d'offrir au plastique les meilleures propriétés (thermoplastiques, thermodurcissables, élastomères, etc.) pour l'application prévue.

Le plastique est ensuite coulé et mis en forme par différentes méthodes : le moulage, l'extrusion, le thermoformage ou encore l'injection.

Dans certaines situations, il est également faisable de produire du plastique à partir de matière recyclée. Cette opération consiste à broyer le plastique en petites paillettes, à le laver, à l'essorer, à le sécher, à le tamiser, puis à le régénérer en granulés.**[2]**

II.4. Types de plastiques

Les plastiques sont des matériaux déformables ils peuvent être moulés facilement. En général à chaud et sous pression il existe un grand nombre de plastique aux propriétés différentes on les classe en deux catégories :

II.4.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques constituent une famille de matériaux polymères caractérisés par leur capacité à devenir malléables sous l'effet de la chaleur. Ce processus, appelé

plastification, est réversible : à température élevée, ces matériaux deviennent ductiles et peuvent être façonnés, puis durcis au refroidissement, en conservant la forme obtenue. Cette propriété leur confère une grande flexibilité dans le processus de fabrication et leur permet d'être recyclés indéfiniment sans dégradation significative de leurs caractéristiques, ce qui constitue un avantage majeur pour l'économie circulaire. Cependant, leur persistance dans l'environnement constitue un enjeu écologique majeur, puisque la dégradation naturelle du PET et d'autres thermoplastiques peut s'étendre sur plusieurs centaines d'années.

II.4.1.1. LE PET (Le polyéthylène téréphtalate)

- ***Définition***

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est une résine polymère thermoplastique appartenant à la famille des polyesters. Sa structure chimique permet d'obtenir un matériau dur, rigide et résistant, à l'usage varié dans de nombreux secteurs industriels, notamment dans la fabrication de fibres textiles, de films, ainsi que de contenants pour liquides alimentaires ou autres produits de consommation courante.

- ***Propriétés et caractéristiques***

Le PET possède plusieurs qualités qui en expliquent la large utilisation :

- **Résistance chimique** : Il présente une excellente résistance aux acides concentrés ou dilués, ainsi qu'aux alcools, cétones, graisses et huiles, garantissant une bonne durabilité en milieu varié.
- **Densité** : Elle oscille entre 1,30 et 1,40 g/cm³, conférant au matériau légèreté et rigidité.
- **Température de ramollissement** : La zone de transition thermodynamique se situe entre 70 et 80 °C, permettant un façonnage précis par thermoformage.
- **Transparence** : La propriété optique de transparence en fait un choix privilégié pour les emballages alimentaires, notamment les bouteilles de boissons, qui requièrent une grande visibilité du produit.
- **Capacité thermique** : Le PET peut résister à des températures allant jusqu'à 120 °C, ce qui lui confère une certaine résistance à la chaleur lors de l'utilisation ou du nettoyage.
- **Conductivité électrique** : En tant qu'isolant, il a une faible conductivité électrique, ce qui lui permet d'être employé dans certains domaines électriques ou électroniques.

- **Recyclabilité** : Le PET est l'un des plastiques les plus recyclés à l'échelle mondiale. Son cycle de recyclage permet de produire de nouveaux produits tout en réduisant l'impact environnemental.

➢ ***Enjeux environnementaux***

Malgré ses nombreux atouts, le PET pose des problèmes environnementaux importants en raison de sa persistance dans la nature. La gestion efficace de ses déchets et le développement de filières de recyclage performantes sont donc indispensables pour limiter sa contribution à la pollution plastique. La recherche s'oriente également vers des alternatives biodégradables ou à base de matériaux renouvelables pour répondre à ces défis.



Figure II-2 : Code de recyclage PET [3]

II.4.1.2. LE PEHD (Le polyéthylène haute densité)

➢ ***Définition***

Est un matériau thermoplastique polymère. Il est couramment utilisé dans la fabrication de bouteilles de lait, de jus de fruits, mais également dans des articles ménagers tels que des bouteilles de lessive, des savons et des shampoings. Le PEHD est très apprécié pour sa résistance et sa durabilité, ce qui en fait un choix populaire pour de nombreuses applications industrielles et domestiques.

➢ ***Propriétés et caractéristiques***

- Une résistance mécanique élevée avec une bonne résistance aux chocs à froid, une faible absorption d'humidité et une excellente résistance chimique
- Haute densité sa densité entre 0,94 à 0,97 g/cm
- Recyclable : facilement réutilisé pour de nombreux usages industriels.
- Faible coût.



Figure II-3 : Code de recyclage PEHD [3]

II.4.1.3. LE PVC (Polyvinyl chloride*)*

- ***Définition***

Le PVC est une résine synthétique issue de la polymérisation du chlorure de vinyle. Deuxième plastique en termes de production et de consommation après le polyéthylène, le PVC est utilisé dans une vaste gamme de produits domestiques et industriels, des imperméables et rideaux de douche aux encadrements de fenêtres et à la plomberie intérieure.

- ***Propriétés et caractéristiques***

- Grande résistance aux chocs qui en fait un matériau largement utilisé dans la fabrication de tuyaux en PVC.
- Meilleures performances d'installation grâce à sa flexibilité.
- Il résiste aux intempéries pendant des années sans nécessiter aucun entretien.
- Grande capacité hydraulique, capable de transporter une plus grande quantité d'eau dans le même diamètre que les tuyaux fabriqués avec d'autres types de matériaux.
- Coût de maintenance réduit.
- Grande résistance à la corrosion causée par les produits chimiques agricoles ou les substances naturelles présentes dans le sol.



Figure II-4 : Code de recyclage PVC [3]

II.4.1.4.ASA (Acrylonitrile styrène acrylate)

- ***Définition***

Est thermoplastique polyvalent pour l'impression 3D utiliser dans largement

l'industrie automobile il a une composition chimique similaire à l'ABS.

- ***Propriétés et caractéristiques***

- Un meilleur aspect une résistance aux UV.
- Plus facile à imprimer que la PLA et l'ABS.
- Résistance aux chocs.
- Une grande ténacité et rigidité.
- Bonne résistance chimique.
- Recyclable.
- Bonne stabilité dimensionnelle.

II.4.2 Les thermodurcissables

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissement : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. La technique de fabrication est difficile à mettre en œuvre mais elle produit des matériaux très solides et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur.

II.4.2.1. Principales techniques de transformation des plastiques

Tableau 1: technique de transformation des plastiques

Procédé	Principe	Exemples d'applications
Moulage par injection	Fusion de granulés puis injection sous pression dans un moule fermé	Pièces techniques, capots, composants électroniques
Extrusion	Poussée de matière fondue à travers une filière afin d'obtenir un profilé continu	Tubes, feuilles, profilés
Soufflage	Parois d'un tube fondu gonflées dans un moule par injection d'air	Bouteilles, bidons, récipients creux
Thermoformage	Chauffe d'une plaque thermoplastique puis mise en forme par aspiration ou pressage sur un moule	Emballages, plateaux, coques fines
Recyclage mécanique	Broyage, lavage, fusion et granulage du plastique usagé pour réintroduction dans la chaîne de production	Matière première secondaire pour pièces non critiques

Procédé	Principe	Exemples d'applications
Impression 3D (fabrication additive)	Dépôt ou solidification couche par couche d'un matériau fondu ou réactif selon un modèle numérique	Prototypage rapide, pièces sur mesure, outillage léger

Remarque : le choix du procédé dépend de la nature du polymère (thermoplastique ou thermodurcissable), du volume de production, de la complexité géométrique et des performances recherchées.

Ces technologies offrent une palette de solutions couvrant aussi bien la production de masse que la fabrication de pièces uniques ou recyclées, contribuant ainsi à répondre aux exigences industrielles modernes en matière de qualité, de durabilité et d'économie circulaire.

II.6. Recyclage de plastique

Le recyclage des plastiques vise à transformer les déchets plastiques en matières premières secondaires réutilisables pour la fabrication de nouveaux produits. Ce processus s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, permettant de réduire la consommation de ressources vierges et de limiter l'impact environnemental de la pollution plastique.

II.6.1. Étapes du processus de recyclage

Collecte et tri

Les déchets plastiques sont collectés à partir de différents points (ménages, industries, décharges) puis triés selon leur type de polymère (PET, HDPE, PVC, etc.) afin d'adapter le procédé de traitement à la nature du matériau.

Nettoyage et broyage

Les plastiques triés sont broyés en paillettes (flakes) à l'aide de broyeurs à lames. Ces paillettes sont ensuite lavées à l'eau chaude, parfois additionnée de détergents, pour éliminer impuretés, colles, colorants ou résidus organiques.

Transformation thermique

Les flakes propres sont fondus à haute température (environ 280 °C) dans des extrudeuses, afin d'obtenir une matière homogène qui peut être granulée ou directement utilisée dans un nouveau cycle de production.

Réutilisation industrielle

Le plastique recyclé est revalorisé par les industriels dans la fabrication de divers objets selon les demandes du marché : contenants, textiles synthétiques, pièces techniques, etc.

II.6.1. Les types de recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- Le recyclage << chimique >> : utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- Le recyclage << mécanique >> : est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- Le recyclage << organique >> : consiste, après compostage ou fermentation à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.**[6]**

II.6.2. Défis et opportunités

- **les défis**
  - Augmentation constante de la production mondiale de déchets plastiques.
  - Multiplicité des polymères, nécessitant un tri précis et différencié.
  - Manque d'équipements performants pour certains types de plastiques.
  - Faible sensibilisation sur la valeur ajoutée du recyclage.
  - Insuffisance d'infrastructures pour le tri à la source et le traitement local.
  - Coût élevé de certaines technologies de recyclage chimique ou avancé.

- **opportunities**
  - Source abondante et accessible de matières premières secondaires.
  - Valorisation de polymères comme le PET, utilisé pour produire bouteilles, textiles, flacons, stylos, etc.
  - Réduction des coûts liés à l'extraction et la transformation de ressources fossiles.

- Contribution significative à la protection de l'environnement et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Encouragement de filières industrielles locales tournées vers l'économie circulaire.

II.7. Machines de recyclage existantes : analyse des conceptions et limites

Il existe des machines de recyclage plastique opérant une seule fonction et d'autre équipement opérant plusieurs fonctions

II.7.1. Machines de tri

Ces machines sont utilisées pour séparer les différents types de plastique. Elles utilisent généralement un tamis vibrant pour trier les matériaux en fonction de leur taille, permettant ainsi de les filtrer et de les collecter séparément.



Figure II-5 : Machine de tri

II.7.2. Broyeurs

Les broyeurs de plastique comprennent des modèles pour une huge gamme de matières premières, telles que : les broyeurs de fûts en plastique, de films plastiques et de tuyaux coupants.

Les broyeurs de plastique sont utilisés pour décomposer de gros morceaux de plastique en flocons de plastique. Cela permet de préparer le plastique pour le recyclage



Figure II-6 : Broyeurs

II.7.3. Ligne de lavage

Les lignes de lavage sont utilisées pour nettoyer le plastique recyclé avant de le transformer en un nouveau produit. Grâce au tapis convoyeur, les matériaux sales et les impuretés peuvent être éliminés. Le lavage est une étape essentielle dans le processus de recyclage du plastique.



Figure II-7 : Ligne de lavage

II.7.4. Machines de séchage

Les machines de séchage sont utilisées pour éliminer toute l'humidité des matériaux plastiques recyclés.



Figure II-8 : Machines de séchage

II.7.5. Machines d'extrusion

Les extrudeuses sont utilisées pour faire fondre le plastique, puis l'extruder sous forme de granulés ou de nouveaux produits.



Figure II-9 : Machine d'extrusion

II.7.6. Mixer

Les mélangeurs de plastique sont utilisés pour mélanger différents types de plastique avant los angeles fusion. Ils sont divisés en mélangeurs horizontaux et mélangeurs verticaux, généralement utilisés pour mélanger uniformément les granulés de plastique fraîchement produits avec le masterbatch ou d'autres matières premières. Cela permet de créer un produit stable.



Figure II-10 : Mixer

II.7.7. Pelletizers

Habituellement connecté à une extrudeuse et à un sécheur pour découper le fil plastique fraîchement produit en petites pastilles.



Figure II-11 : Pelletizers

II.8. Conclusion

Les plastiques demeurent incontournables pour leurs atouts de légèreté, résistance et faible coût. Cependant, leur diffusion massive engendre une pression environnementale majeure : accumulation des déchets et dégradation lente. Face à ces enjeux, le recyclage mécanique, soutenu par un parc de machines spécialisées ou intégrées, offre une solution techniquement mature ; il doit toutefois surmonter des défis de tri, de pureté matière et de maîtrise énergétique. En parallèle, l'essor des plastiques biodégradables et le perfectionnement des

technologies de recyclage chimique complètent la palette de réponses visant à réduire durablement l'empreinte du plastique.

Chapitre 3 : Filaments et impression 3D

III.1. Filament 3D

III.1.1. Introduction

Au fil des dernières décennies, la technologie d'impression 3D s'est imposée comme l'une des innovations majeures de l'ère numérique et industrielle. Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels que l'industrie, la médecine, l'architecture et l'éducation. Grâce à sa liberté de conception, sa diversité de matériaux et sa capacité à produire des formes complexes, elle ouvre de nouvelles possibilités d'innovation. L'impression 3D contribue à une économie de matière et continue d'évoluer grâce à la recherche et au développement constants.

Toutefois, le succès de cette technologie repose en grande partie sur la qualité des filaments utilisés. Ces matériaux, qui alimentent les imprimantes 3D, nécessitent une caractérisation approfondie de leurs propriétés pour garantir des résultats optimaux. La caractérisation des filaments devient essentielle pour comprendre et optimiser leurs propriétés mécaniques, thermiques et chimiques. Cela permet d'ajuster les paramètres d'impression pour garantir la qualité des objets finaux.

III.1.2. Définition de filaments

Le filament est quant à lui un thermoplastique obtenu en mélangeant des granulés plastiques ou des chutes de plastique broyé avec plusieurs additifs. L'utilisation d'une extrudeuse de filament est nécessaire pour avoir cet aspect en tube. Après plusieurs étapes de refroidissement, le filament passe dans une enrouleuse pour obtenir une bobine qui sera ensuite utilisée par une imprimante 3D. **[7]**

Le processus de fabrication des filaments est long car il s'agit de transformer les granulés plastiques en tubes capables d'être extrudés. Plusieurs étapes sont donc nécessaires : on commencera par enlever l'humidité des granulés. Puis, ces derniers sont fondus pour pouvoir passer dans une extrudeuse, outil qui viendra donner cette forme tubulaire à notre filament. Une fois formé, le filament est refroidi dans des bains adaptés. Il sera ensuite mis en bobine pour être utilisé sur une imprimante 3D. **[7]**



Figure III-1 : Filament 3D [8]

III.1.3. Types de filament

III.1.3.1. LE PLA (Polylactic Acid)

➢ ***Définition du matériau***

Est un polyester thermoplastique utiliser dans les emballage alimentaire fibres et dans le domaine médicale (fils de suture). Il possède une rigidité élevée bonne perméabilité et sa résistance thermique est limitée, et le plus utilisé dans l'impression 3D par les particuliers, ce type de filament est le plus simple à utiliser.

➢ ***Les avantages et les inconvénients***

- Rigidité : sa rigidité élevée permette une diminution d'épaisseur pour certains emballages.
- Bonne résistance UV.
- Une bonne stabilité dimensionnement ainsi que le caractère <<non toxique>> du PLA.
- De très bonnes propriétés optiques en termes de transparence et de brillance.
- De bonnes propriétés barrière aux graisses, aux huiles et aux arômes.
- Un niveau de perméabilité à la vapeur d'eau intermédiaire et de barrière aux gaz (O2, CO2).
- Une tension superficielle permettant une impression facile.
- Le PLA est un matériau biodégradable, biocompatible et bio-résorbable.
- Faible résistance à l'humidité.
- Ne se colle pas facilement



Figure III.2: Les bobine des filaments en PLA [9]

- ***Les applications***
  - Pièces sans constraints mécaniques.
  - Ustensiles.
  - Pièces de décoration.
  - Pièces de modélisme.
  - Prototypage Marketing et communication.

Tableau 2: Caractéristiques d'impression et paramètre de PLA [10]

Caractéristiques d'impression	Paramètres
Température d'extrusion	Entre 195 et 210° C
Température de plateau	Entre 20 et 40° C
Type de plateau	Vitre, métal microperforé
Traitement de surface plateau	Peu d'importance
Température de chambre	Température ambiante
Ventilation	100 %
Vitesse d'impression	Environ 50 mm/s – 60mm/s (maxi)
Vitesse de rétraction	40 mm/s
Distance de rétraction	1.2 mm
Niveau de compétences en impression 3D requis	Accessible à tous

III.1.3.2. L'ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)

- ***Définition***

Est un polymère thermoplastique industriel combinant trois différents monomères utiliser les composantes des machines ou des accessoires de plomberie. Ce matériau est très léger et durable.

L'ABS est habituellement utilisé au lieu du PLA quand une plus grande résistance à la température et une plus grande solidité sont nécessaires.

- ***Les avantages et les inconvénients***
  - L'ABS possède une bonne résistance aux impacts.
  - Légère et rigide.
  - Recyclable.
  - Bonne résistance chimique et au choc.
  - Bonne résistance à l'abrasion.
  - Sensible aux UV.
  - Odeur lors de l'impression.



FigureIII.4 : Les Bobines des filaments en ABS [11]

- ***Les applications***
  - Les métiers du workwear(vêtements de travail), notamment pour les coques de protection des casques de chantiers et des casquettes de sécurité.
  - Les composants de claviers d'ordinateur et les briques LEGO.
  - pièces pour appareils ménagers.
  - sanitaires et pièces automobiles.

Tableau 3: Caractéristiques d'impression et paramètre de ABS [12]

Caractéristiques d'impression	Paramètres
Température d'extrusion	Entre 240 et 270° C
Température de plateau	Entre 90 et 110° C
Type de plateau	Micro perforé /verre ou miroir + solution adhésive type Dimafix
Traitement de surface plateau	Peu d'importance
Température de chambre	20 à 50° C
Ventilation	0 à 20%
Vitesse d'impression	50 à > 300 mm/s
Vitesse de rétraction	40 mm/s
Distance de rétraction	0.8 mm
Quantité de matière Rétractée	0.5 mm
Niveau de compétences en impression 3D requis	Intermédiaire

III.1.3.3. Le Nylon (poly hexaméthylène adipamide)

- ***Définition***

Le Nylon est un thermoplastique Polyamide très utilisé dans l'industrie automobile, médicale et alimentaire.**[5]**

- ***Les avantages et les inconvénients***

  - Matériau durable et résistant aux impacts, à la friction, à l'abrasion, à la corrosion et aux produits chimiques, il est parfait pour réaliser des pièces subissant des frottements ou de fortes contraintes mécaniques.
  - Pour l'imprimer il faudra veiller à une bonne stabilité de la température de la zone d'impression. Un caisson sera donc indispensable.
  - Le Nylon dégage des particules et des fumées qu'il faudra filtrer / évacuer.



Figure III-6 : Les bobine de filament en nylon [13]

- ***Les applications***
  - Roulements
  - Bagues.
  - Engrenages.
  - Poulies.
  - Joints.
  - Poulies.
  - Pignons.

III.2. Impression 3D

III.2.1. Définition

D'après la définition établie par l'American Society for Testing and Materials (ASTM), l'impression 3D est :

« Un procédé d'assemblage de matériaux pour fabriquer des objets à partir de données numériques issues d'un modèle tridimensionnel, généralement couche par couche, par opposition aux méthodes de fabrication soustractives. » (ASTM, 2013) [4]

Cette définition souligne le principe fondamental de la fabrication additive : ajouter de la matière, couche après couche, jusqu'à l'obtention de la forme souhaitée, contrairement aux procédés traditionnels qui enlèvent de la matière.

L'impression 3D, également appelée fabrication assistée par ordinateur (FAO), permet ainsi de créer des objets physiques à partir de modèles numériques en trois dimensions. Le fonctionnement général rappelle celui d'une imprimante classique : un fichier est envoyé à l'imprimante depuis un ordinateur. Mais ici, au lieu de déposer de l'encre sur une feuille, l'imprimante 3D dépose un matériau fondu ou structuré — comme un filament plastique — pour construire un objet en relief.

Le matériau utilisé influence directement le processus d'impression. Chaque technologie additive est adaptée à un type de matière spécifique : plastiques, métaux, résines, céramiques ou composites. Dans le cas de l'extrusion de filament, la régularité du dépôt, la température de fusion et l'adhérence entre les couches dépendent fortement des propriétés du filament utilisé. D'où l'importance d'en comprendre la nature et le comportement pour garantir des résultats fiables et reproductibles.

- FDM (Fused Deposition Modeling) : dépôt de filament fondu couche par couche.
- Parmi les technologies d'impression 3D (SLA, SLS.DLP.), le FDM est la plus accessible, notamment pour les particuliers, les écoles et les PME, en raison de son coût faible et de sa facilité d'utilisation.

Par exemple :

- Un processus de modélisation par dépôt fondu (FDM) : Lors de la création d'un objet en plastique (polymère), une imprimante 3D peut chauffer et fondre les couches ensemble.



Figure III.7 : L'impression 3D

III.2.2. Domaines d'application de l'impression 3D

- **Le prototypage rapide :** L'une des premières et des plus répandues applications de l'impression 3D est le prototypage rapide. Cette technique permet de fabriquer un prototype physique d'un objet avant sa production en série. Elle offre aux concepteurs et ingénieurs la possibilité de valider des concepts, tester des assemblages, et ajuster des formes avec rapidité et à moindre coût.

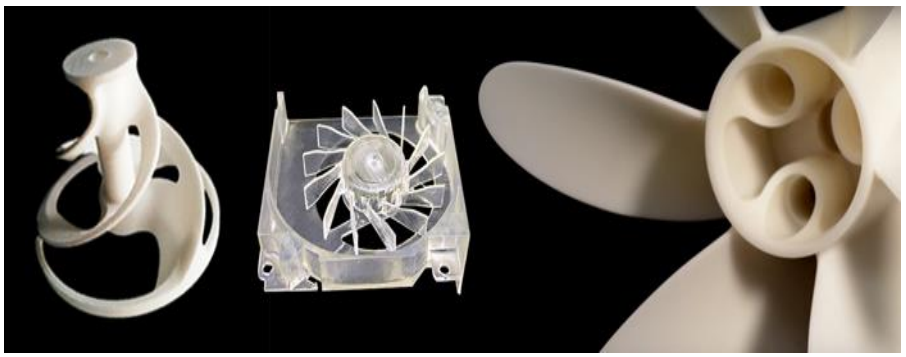


Figure III-8 : Pieces imprimées en 3D

- **Le secteur médical**

Dans le secteur médical, l'impression 3D constitue une avancée majeure. Elle permet la fabrication de prothèses personnalisées, d'implants (hanches, bras, appareils dentaires et auditifs) ainsi que de modèles anatomiques servant à la planification chirurgicale. La possibilité de reproduire des organes ou des os en matériaux biomimétiques améliore considérablement la précision des interventions.



Figure III-9 : Orthèses médical

- **L'industrie aéronautique :** L'industrie aéronautique bénéficie également des atouts de l'impression 3D. Celle-ci permet la production de pièces complexes et allégées, avec des temps de fabrication réduits. Le gain de poids sur les composants structurels contribue à l'amélioration des performances et à la réduction de la consommation de carburant.



FigureIII-10 : Pieces aéronautique

- **Les domaines de l'architecture :** Dans les domaines de l'architecture, du bâtiment et

des structures, l'impression 3D ouvre de nouvelles perspectives en matière de construction. Elle permet la création de maquettes détaillées, mais aussi, à plus grande échelle, l'édification de bâtiments à l'aide de matériaux spécifiques, avec une grande précision et un gain de temps considérable**.**



FigureIII.11 : Maquette d'architecte imprimée en 3D

Enfin, l'impression 3D s'impose dans d'autres secteurs comme la mode, le design, ou les accessoires personnalisés. Elle permet la création d'objets uniques et esthétiques, tels que des bijoux sur mesure, lunettes, casques audio personnalisés, poignées de vélo, et bien d'autres articles où la forme et la créativité sont primordiales.

III.5. Conclusion

L'évolution des filaments d'impression 3D permet de répondre aux besoins variés et exigeants des industries modernes. La diversité de ces matériaux et la possibilité d'intégrer des renforts naturels ou techniques sont des atouts majeurs pour répondre aux défis de performance, d'éco-responsabilité et d'optimisation des coûts dans un contexte industriel. Ces avancées permettent d'envisager l'impression 3D non seulement comme un outil de prototypage, mais aussi comme un processus de fabrication directe.

Chapitre IV: Approche générale des extrudeuses

IV.1. Introduction

L'extrusion est un procédé de fabrication continu utilise largement dans l'industrie plastique et permet une production en genre série, avec un bon contrôle des dimensions et des propriétés du produit final.

Ce chapitre présente une généralité sur les extrudeuses, leurs types et fonctionnements.

IV.1.2. Définition

Est une machine industrielle utilisée pour forcer un matériau polymère à travers un moule conçu (appelé « filière ») sous pression et chaleur, pour un produit final continu d'une forme spécifique.

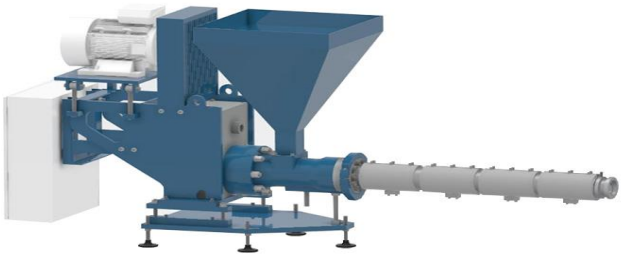


Figure IV-1 : Extrudeuse [14]

IV.1.3. Principe de fonctionnement

Les copeaux de plastique sont introduits dans une trémie et tombent par gravité dans un cylindre horizontal appelé fourreau, chauffé tout du long par des résistances chauffantes. A l'intérieur du fourreau, une vis sans fin tourne et achemine le plastique jusqu'à la sortie du fourreau à travers une forme appelée filière.

L'action de la vis et de la chaleur permettent de fondre et mélanger les copeaux de plastique afin d'obtenir une pâte visqueuse et malléable.

La filière située au bout du fourreau donne la forme à cette pâte visqueuse, produisant ainsi des pièces dont la longueur peut être très variable et modulable.**[15]**

IV.1.4.Les types d'extrudeuse

IV.1.4.1. Extrudeuse Monovis

Il contient une seule vis pour contrôler la compression, la fusion et l'extrusion du matériau. Utilisé dans les thermoplastiques (tuyaux, feuilles, films), les industries alimentaires (comme les pâtes). Celles les plus couramment utilisées dans l'industrie de transformation des thermoplastiques C'est également simple, puissant et peu coûteux. Mais ne convient pas non plus au mélange de matériaux complexes.

La matière est introduite dans la trémie qui s'ouvre sur le fourreau à l'entrée de la vis et celle-ci la pousse de façon continue jusqu'à la filière.

On distingue trois principaux types d'extrudeuse mono-vis sont :

- Extrudeuse à pas constante et à 2 axes de différent diamètre ou bien axe conique.
- Extrudeuse à axe uniforme et à pas régressif.
- Extrudeuse à axe conique ou à deux axes de différente diamètre (assemblé bout à bout) et à pas régressif.

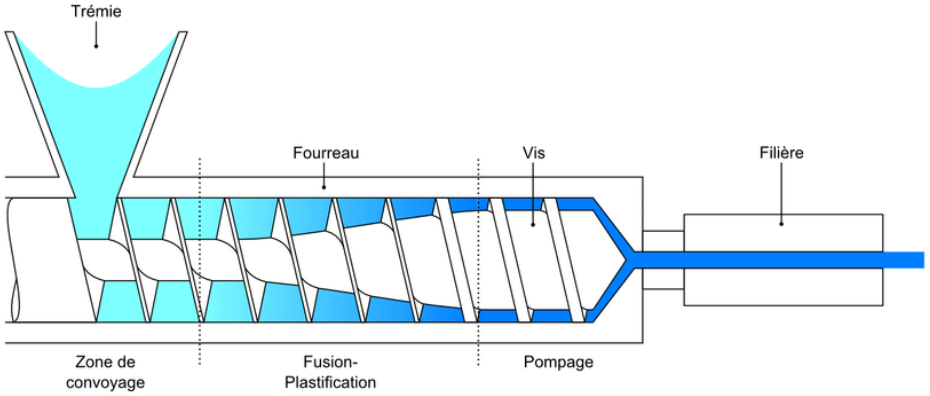


Figure IV-2 : Extrudeuse monovis [16]

IV.1.4.2. Extrudeuse bivis

Il contient deux vis qui tournent ensemble soit dans le même sens, soit dans des sens opposés. Il est utilisé pour mélanger des matières et des produits alimentaires complexes. Elle se caractérise par un meilleur mélange des matériaux et une grande flexibilité de production, mais elle est plus coûteuse et plus complexe que monovis.

IV.1.4.2.1. Les types des extrudeuses bivis

Les deux critères principaux permettant de classer les différents Systèmes Bi-vis sont :

- Le sens de rotation : les vis sont dites Co-rotatives si elles tournent Dans le même sens et contrarotatives si elles tournent en sens inverse l'une de l'autre.
- L'interpénétration : les vis sont dites interpénétrées lorsque le filet de l'une pénètre plus ou moins profondément dans le chenal de la vis voisine.

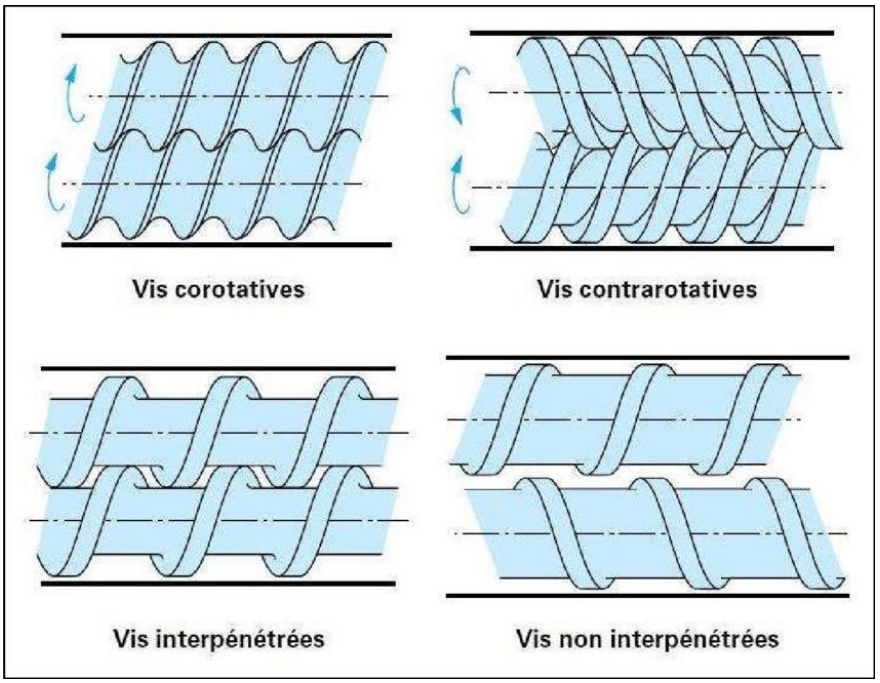


Figure IV-3 : Extrudeuse bivis [16]

IV.1.4.3. Extrudeuse à piston

Le matériau est poussé par un piston plutôt au lieu d'une vis tournante. Il est utilisé pour les matériaux à haute viscosité, certains produits pharmaceutiques et les pâtes denses. Il offre une grande précision dans le contrôle de la quantité mais est limité en termes de débit.



Figure IV-4 : Extrudeuse à piston [14]

IV.1.4.4. Extrudeuse gonflage

Permet de fabriquer des films plastiques. La matière transformée en tube aux parois très fines est gonflée avec de l'air et étirée pour constituer une bulle cylindrique qui est ensuite refroidie et enroulée en bobine.



FigureIV-5 : Extrudeuse gonflage [14]

IV.1.5. Les composantes principales d'extrudeuse

La trémie, le fourreau, vis sans fin, têtes d'extrusion, les collier choufant, la chambre de refroidissement.

IV.1.6. Zones fonctionnelles d'une extrudeuse

Sur le long d'une extrudeuse on peut distinguer trois zones fonctionnelles :

- *La zone d'alimentation* : où la matière extruder « polymère » est encore solide (sous forme de granulés ou poudre).
- *La zone de fusion-plastification* : dans cette zone le polymère commence fondre et prends forme d'une pâte molle et passe de l'état solide à l'état fondu.
- *La zone de pompage* : c'est la dernière zone géométrique, le polymère est totalement fondu et homogénéisé et mis en pression.

La fusion de la matière l'intérieur du fourreau se fait par deux sources de chaleur :

- ❖ Par conduction : au contact du fourreau chauffé électriquement (résistances chauffantes).
- ❖ Par frottement visqueux interne : le polymère est déformé grâce au travail mécanique fourni par la rotation de la vis. **[17]**

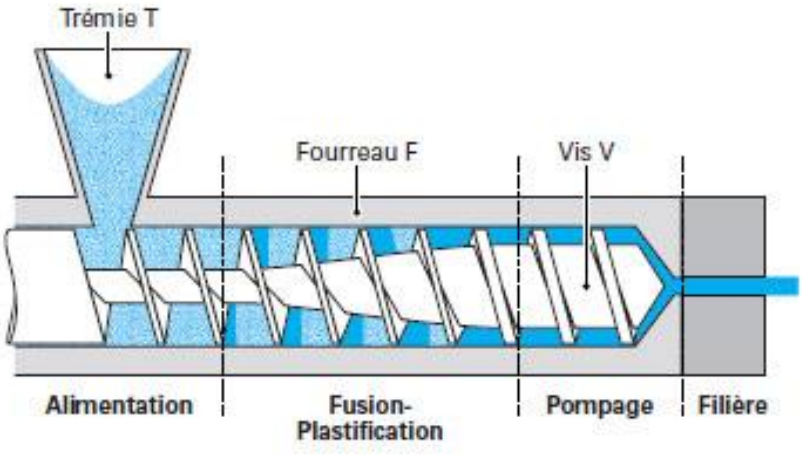
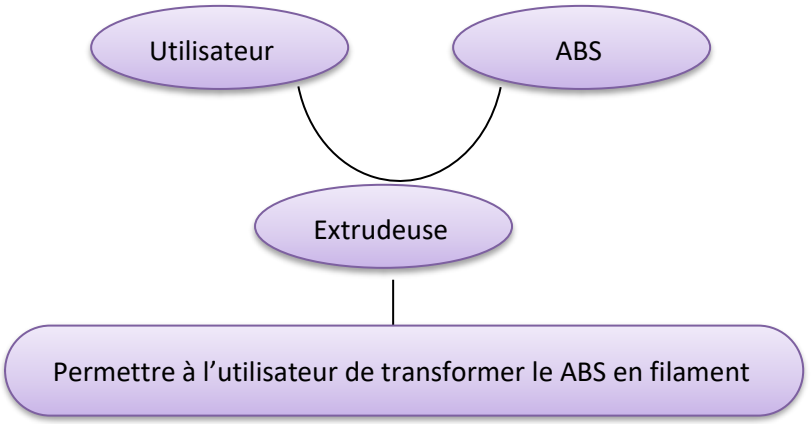


Figure IV-6 : Zone fonctionnelle d'une extrudeuse [16]

IV.1.7. Description fonctionnelle de l'extrudeuse

Le diagramme de la bête à corne est un des outils utilisés pour l'analyse fonctionnelle, il permet de faire l'énoncé fonctionnel du besoin. Il s'agit de faire une représentation graphique en répondant à trois questions :

1. À qui rend-il service ?
2. Sur quoi agit-il ?
3. Dans quel but ?



FigureIV-7 : Bête a corne d'extrudeuse

On utilise également le diagramme la pieuvre qui permet de représenter les relations entre le produit et les différentes parties de l'environnement. Ces relations sont exprimées en termes de fonctions :

La fonction principale (FP) et les fonctions contraintes (FC).

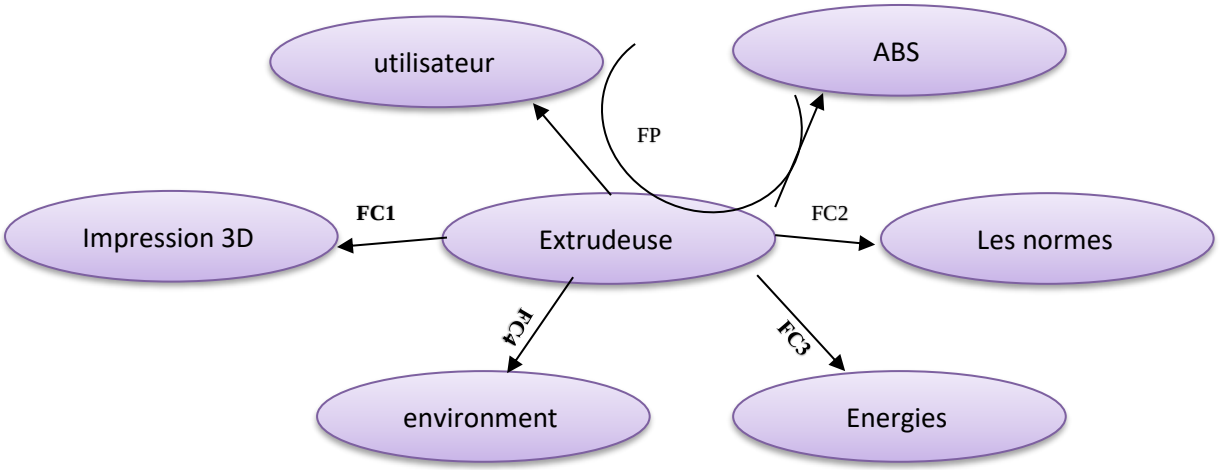


Figure IV-8 : Diagramme de pieuvre

FP : Permettre l'utilisateur de transformer le PLA granuler à filmant.

FC1 : Produire un filament adapté aux imprimantes

FC2 : Respecter les normes.

FC3 : s'alimenter en énergie.

FC4 : Résister à l'environnement extérieur.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases du fonctionnement des extrudeuses, leurs types et leurs composants principaux. Ces notions sont essentielles pour mieux comprendre la suite de notre travail, dédiée à la conception d'une extrudeuse adaptée à la production de filament pour impression 3D.

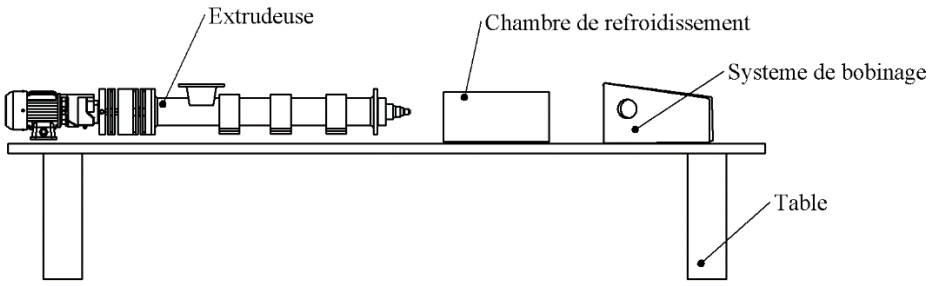
Chapitre V : Etude et conception de l’extrudeuse

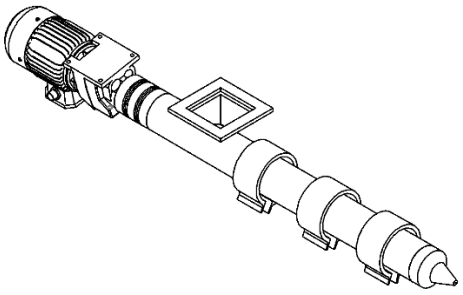
V.1.Introduction

Ce chapitre présente l'étude et la conception d'une extrudeuse adaptée à la fabrication de filament pour impression 3D. Il aborde l'analyse des besoins, le choix des composants, ainsi que la modélisation du système afin d'assurer un fonctionnement efficace et fiable.

V.2. Etude de la machine

La figure suivante représente la conception finale de notre système qui est permette à extruder le plastique pour la production de filament d'impression 3D.





FigureV.1 : Vue d'ensemble de l'extrudeuse

V.2.1. Partie 1 : Extrusion

Cette partie permette à extruder le plastique (ABS) pour le transformer en filament d'impression 3D.

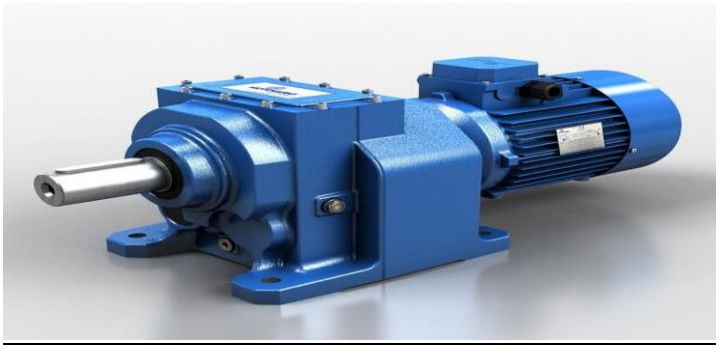
V.2.1.1. Principe de fonctionnement

En ajoute la matière plastique ABS se forme de granules sur la trémie, et dans le fourreau le vis sans fin pousse la matière vers la filière d'après l'échauffement de PET par des collier maintenue à une température contrôlée. D'après ce processus nous obtenons un fil avec des dimensions précises.

V.2.1.2. Les organes de la partie d'extrusion

a. Motoréducteur

Est un équipement mécanique compose de deux éléments : un moteur et un réducteur mécanique utilise pour transmettre la puissance vers un système mécanique afin d'actionner ce dernier, et dans ce partie le motoréducteur assurer la rotation de la vis sans fin.



FigureV.2 : Motoréducteur

b. Trémie

La métiers plastique broyés, lavés et séchés sont placés dans la trémie.

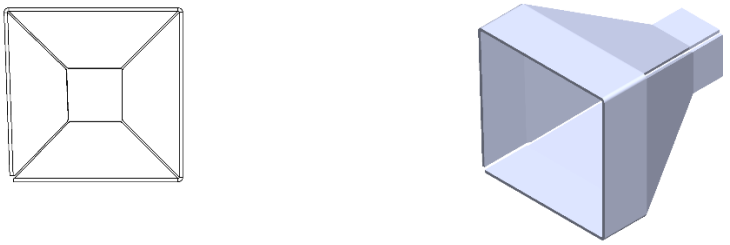


Figure V-3 : La trémie

c. collier

Sont conçus pour le chauffage de formes cylindriques. Ils sont appliqués directement sur la partie extérieure de la pièce et permettent de monter ou maintenir en température des formes pleines ou un fluide (gaz ou liquide) stocké dans une enceinte.

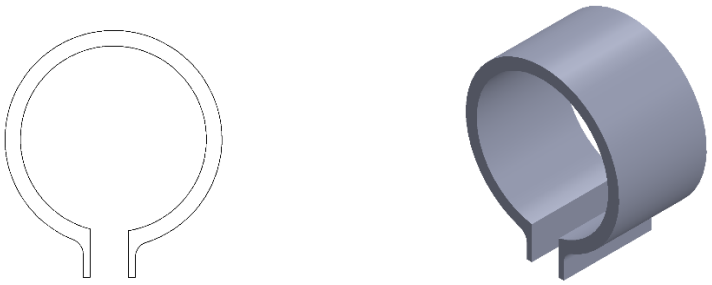


Figure V.4 : Collier

d. Filière

Utilise pour donne une forme précise de la matière plastifier.



Figure V.5 : Filière

e. system vis -fourreau

- Fourreau : est une gaine ou un tube creux servant à protéger, guider ou contenir un objet long, comme la vis sans fin.

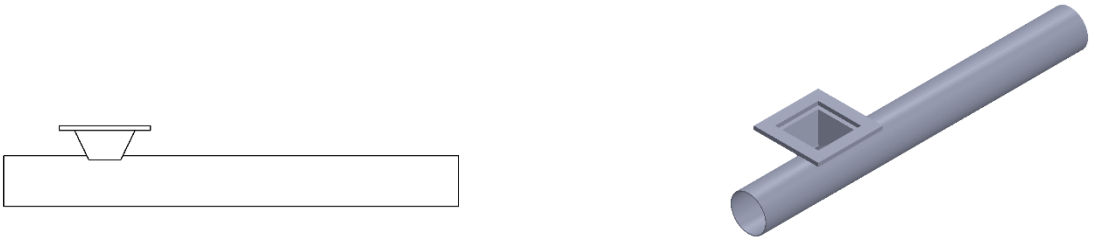


Figure V.6 : Fourreau

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

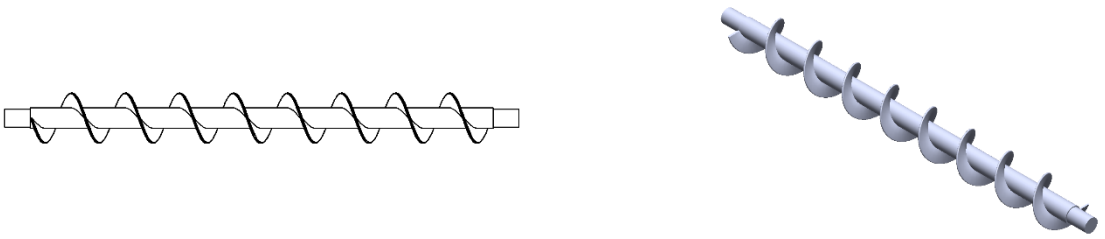


Figure V.7 : Vis sans fin

F. Accouplement

Une solution pour transmettre la puissance de l'arbre de sortie du réducteur à la vis d'extrusion.



Figure V.8 : Accouplement

V.2.1.3. Choix de matériau de fil de filament

Il existe plusieurs matières plastique pour la production de filament d'impression 3D comme l'ABS.PLA, ASA…etc. et pour notre étude nous avons choisis le matériau ABS **(**Le polyéthylène téréphtalate) en raison de ses propriétés (rigidité, transparence, résistance aux chocs…)

a. Caractéristiques de ABS

- **Propriétés mécaniques**

Tableau 4: Propriétés mécaniques [18]

Propriétés mécaniques	Valeur
Module en traction	2030 MPA
Limite d'élasticité à la traction	43 ,6 MPA
Allongement à la rupture	34%

Propriétés thermiques

Tableau 5: Propriétés thermiques [18]

Propriétés thermique	Valeur
Température de fusion	225-245 °C
Température de plateau	100 °C

b. dimension de filament

D'après les caractéristiques de notre impression 3D nous prenons le filament de diamètre D=1.75mm

IV.2.1.4. Géométries de système vis-fourreau [19]

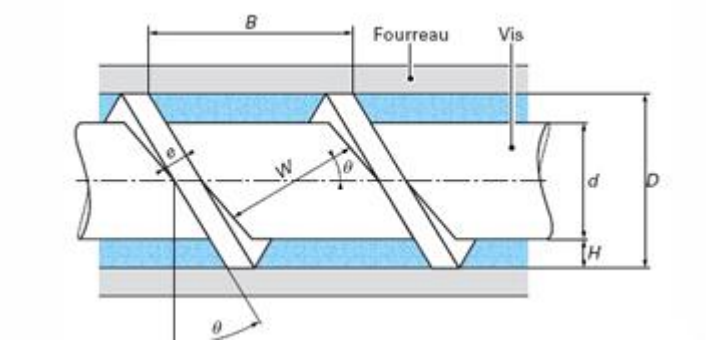


Figure V.9 : Géométries de système vis-fourreau

- Le diamètre intérieur de fourreau=le diamètre extérieur de vis : D=100 mm
- Le Diamètre du corps de vis=le diamètre intérieur de vis : d=40mm

Ces deux paramètres donnent l'accès à la profondeur de chenal :

$$\boldsymbol{H = \frac{D-d}{2}} \quad \text{(1)}$$

- La profondeur de chenal :H=30mm
- Le pas de la vis :P=105mm
- L'épaisseur : e=4mm

Le pas de vis nous permet de détermine l'ongle Ɵ que fait le filet avec un plan orthogonal a l'axe de la vis.

$$\boldsymbol{\tan\theta\,(r) = \frac{p}{\pi} \times d} \quad \text{(2)}$$

AN : cas de l'extrusion de matière thermoplastique p=D→ $\tan\theta\,(r) = \frac{105}{3{,}14} \times 100 = 0{,}344$

→Ɵ=18,46°

- Longueur de la vis **: L=1000mm**
- Nombre de filet : $\boldsymbol{n = \frac{l}{p} = 10}$

➢ **<u>La vitesse maximale de rotation de la vis sans fin</u>**

La vitesse de rotation maximale et fournie dans les documentations matière (tableau III.4) elle est exprimée en vitesse tangentielle sur le diamètre extérieur de la vis. [20]

Nmax : vitesse de rotation en tr\min

$$\boldsymbol{Nmax = \frac{V.t.v\ (m\backslash s) \times 60000}{P.v\ (mm)}} \quad \text{(3)}$$

V.t.v : vitesse tangentielle de la vis.

P.v : périmètre de la vis.

Tableau 6: Vitesse tangentielle max pour éviter la dégradation de la matière [19]

Métiers	ABS	PBT	PC
Vitesse tangentielle	0,6-0,65	0,3-0,35	0,3-0,5

AN : on prend une Vitesse tangentiel =0,4 pour le PET $\boldsymbol{Nmax = \frac{0{,}65 \times 60000}{3.14 \times 100} = 124{,}2\ tr\backslash min}$

Donc notre vis san fin peut tourner jusqu'à **124 tr/min.**

- **<u>Le choix de moteur de la partie d'extrusion [21]</u>**

Ont choisi un moteur de la marque **BR (benzler-rdicon)**

La vitesse nominale de moteur : **N =1380 tr\min** avec un puissance **Pn=0,37 kw**

V.2. Partie 2 : Bobinage

La partie de bobinage nous permet d'attirer le filament et de les enrouler sur une bobine de manière automatique

❖ Principe de fonctionnement

Le système de bobinage fonctionne en enroulant automatiquement le filament à l'aide d'un moteur pas à pas qui transmet le mouvement à travers une série de pignon qui réduire la vitesse de rotation et augmenter le couple.

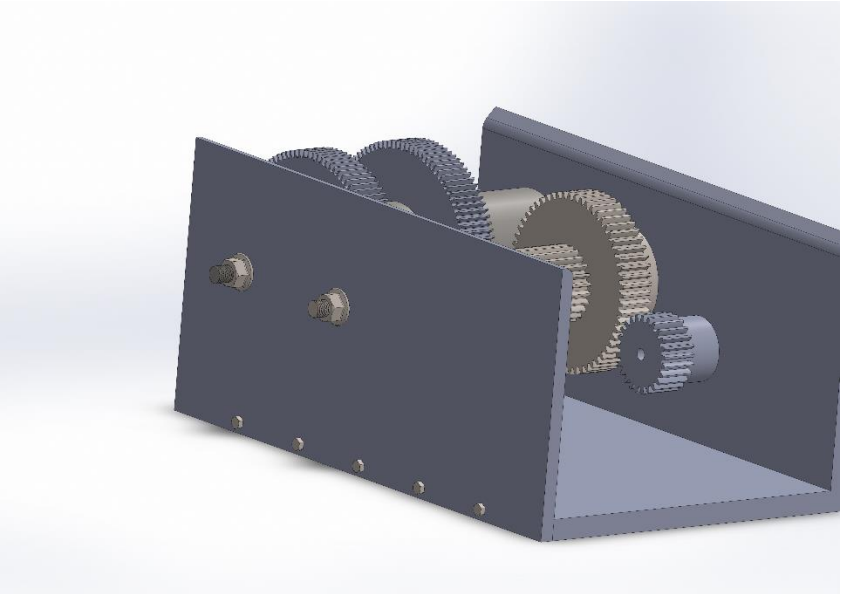


Figure V.10 : Système de bobinage

Organe de la partie bobinage

- ***Moteur pas à pas***

Un moteur pas à pas est un moteur électrique synchrone sans balais qui divise une rotation complète en un grand nombre d'étapes. Ils offrent un positionnement et un contrôle précis sans mécanisme de rétroaction, ce qui les rend idéaux pour de nombreuses applications, notamment dans l'automatisation et la robotique. Contrairement aux autres types de moteurs, les moteurs pas à pas transforment des impulsions électriques en mouvement rotatif de l'arbre d'un certain angle, appelé le pas. Ces moteurs sont souvent utilisés dans des systèmes nécessitant un contrôle précis de la position et de la vitesse. **[22]**



Figure V-11 : Moteur pas à pas

- ***Support***

Permet de fixe l'installation de la partie bobinage.

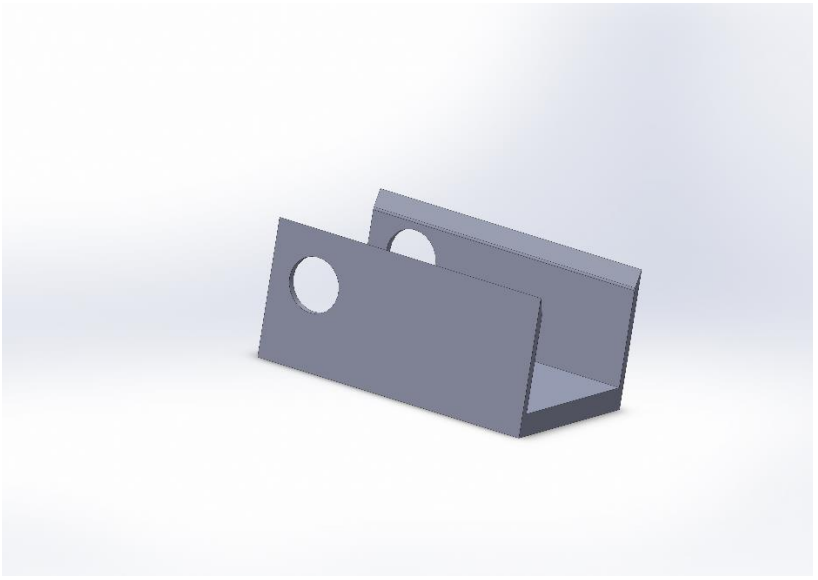


Figure V.12 : Support

- ***Bobine***

Permet à enrouler le filament d'après l'extrusion

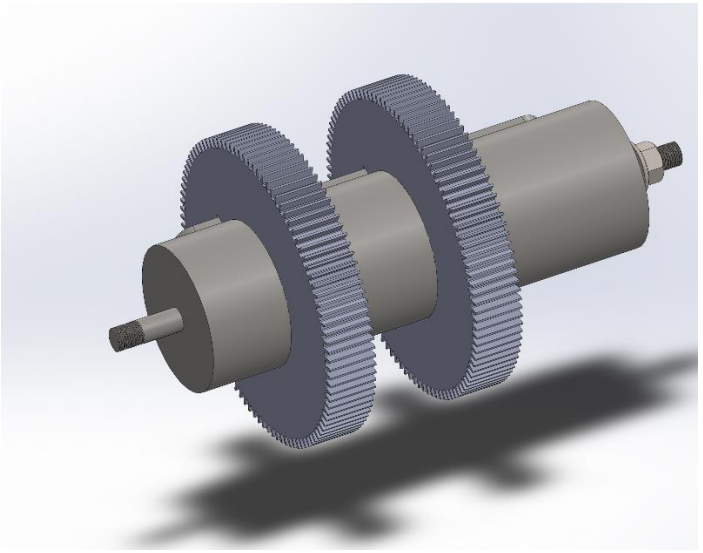


Figure V. 13 : Bobine

IV.2.2.1. Choix de moteur

Pour connaitre la vitesse de rotation appropriée de ce système on doit faire les calcule suivant :

Tableau 7. Caractéristique d'engrenage

Module	$m \geq 2{,}37\sqrt{2960000 \times p/N \times r \times z \times Rep}$	2
Z1		25
Z2		60

Z3		25
Z4		100
Pas	$P = m \times \pi$	6,28
Saillie	$Ha = m$	2
Creux	$Hf = 1.25 \times m$	2,5
Hauteur de dent	$H = ha + hf$	4,5
Diamètre primitif	$D = m \times z1$	50
\\	$D = m \times z2$	120
\\	$D = m \times z3$	50
\\	$D = m \times z4$	200

Caractéristique d'engrenage

Grace aux teste que nous avant réaliser, nous avant pris la décision que la vitesse idéale pour un bon bobinage du filament et de 30tr/min à 40tr/min**. [23]**

On a la relation suivante :

$$\frac{\boldsymbol{Z1}}{\boldsymbol{Z2}} = \frac{\boldsymbol{D2}}{\boldsymbol{D1}} = \frac{\boldsymbol{N1}}{\boldsymbol{N2}} \quad \text{..... (4)}$$

Dans notre réducteur

$$\frac{\boldsymbol{Ne}}{\boldsymbol{Ns}} = \frac{\boldsymbol{Z2}}{\boldsymbol{Z1}} \times \frac{\boldsymbol{Z4}}{\boldsymbol{Z3}} \quad \text{..... (5)}$$

Donc :

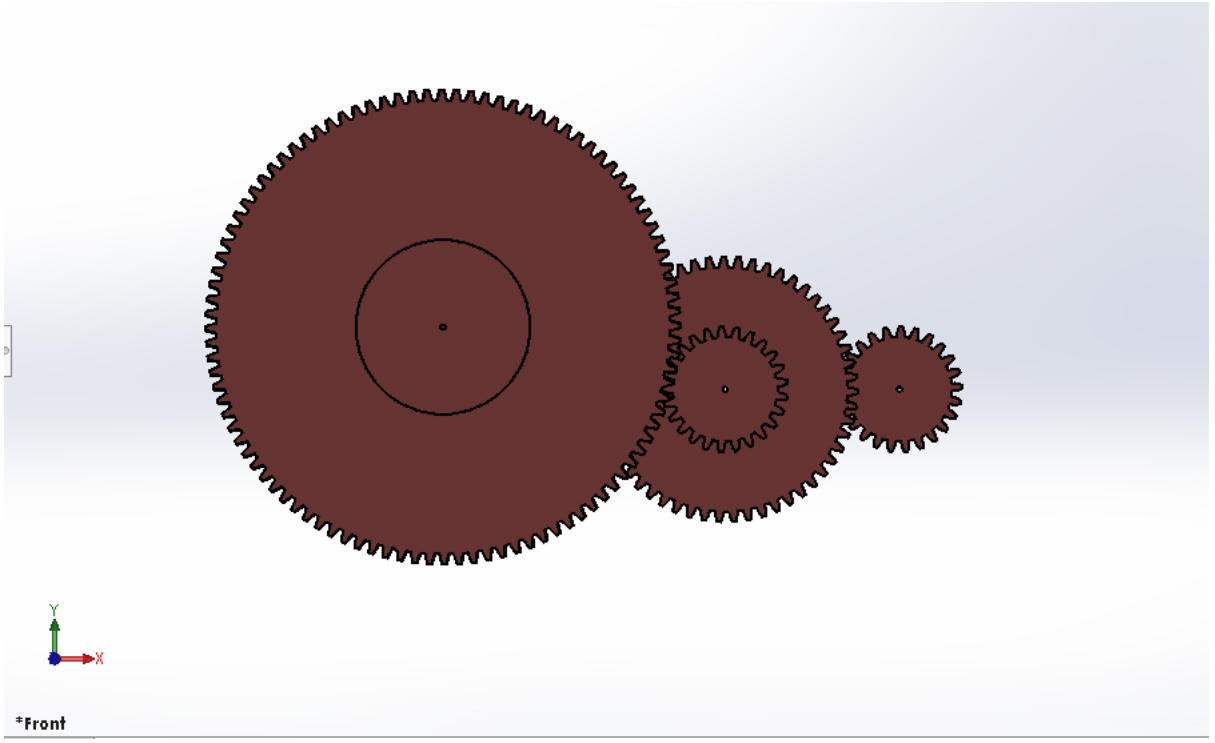
$$\boldsymbol{Ne} = \boldsymbol{Ns} \times \frac{\boldsymbol{Z2}}{\boldsymbol{Z1}} \times \frac{\boldsymbol{Z4}}{\boldsymbol{Z3}} \quad \text{..... (6)}$$

AN :

$$\boldsymbol{Ne} = 30 \times \frac{60}{25} \times \frac{100}{25} = 288 \boldsymbol{tr\backslash min}$$

$$\boldsymbol{Ne} = 40 \times \frac{60}{25} \times \frac{100}{25} = 384\ \boldsymbol{tr\backslash min}$$

Donc la vitesse d'entrée est variée entre 300et 400 tr/min.et on voix choisir un moteur pas à pas NEMA 17 de vitesse de rotation **300 tr/min.**



FigureV.14 : Vue de la face d'engrenage

1.1.1 V.3. Système de refroidissement

Le système de refroidissement dans notre machine joue un rôle crucial pour éviter les problèmes liés à la surchauffe du filament et garantir des impressions de haute qualité.

Lorsque le filament est extrudé par la buse chauffée, il est initialement à une température élevée et malléable. Si cette chaleur n'est pas rapidement dissipée, le filament peut se ramollir à des endroits indésirables, entraînant des déformations, des bavures ou même des obstructions de la buse. C'est là qu'intervient le système de refroidissement.

Le système de refroidissement comprend un ventilateur positionné près de la buse. Ce ventilateur souffle de l'air frais directement sur le filament sortant de la buse, ce qui permet de refroidir le matériau fondu, le solidifie, et lui permet de conserver sa forme plus rapidement.

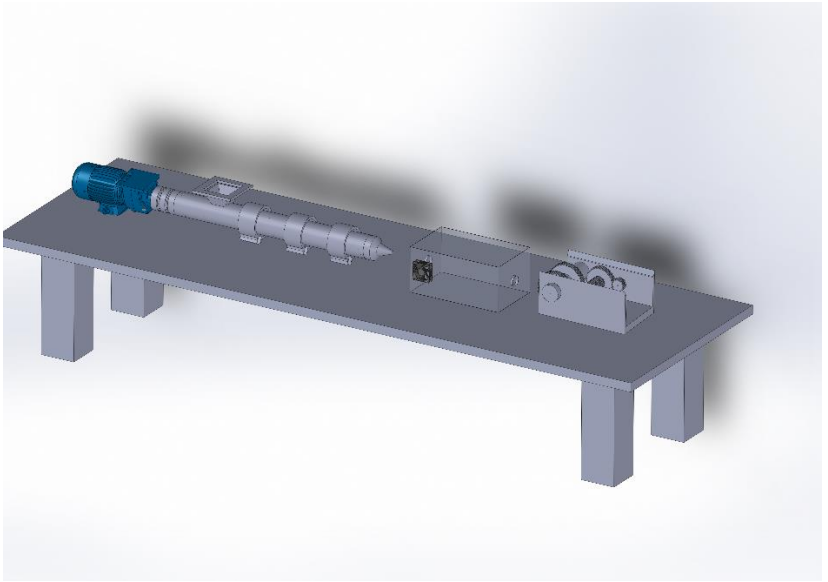
En plus de refroidir le filament, le système de refroidissement contribue également à maintenir une température stable dans l'ensemble de l'extruder. Lorsque le moteur d'extrusion et le bloc chauffant génèrent de la chaleur, le ventilateur aide à dissiper cette chaleur pour éviter toute surchauffe de l'extruder**. [5]**



FigureV.15 : Ventilateur

IV.4. Conception de la machine

Il existe plusieurs logiciels utilises en CAO, parmi lesquels on cite : Solid Edge, TopSolid, Catia, FreeCAD, SolidWorks…Dons notre travail nous avons utilisés le logiciel SolidWorks pour faire la conception de chaque pièce de notre machine pour avoir l'assemblage finale de l'extrudeuse.



FigureV.16 : Extrudeuse de filament pour l'impression 3D

On a divisé notre conception on quatre parties principales :

1.Partie d'extrusion : on a dessiné toutes les pièces nécessaires de cette partie (vis sans fin, fourreau, collier chauffant, filière, La trémie, ...) avec SolidWorks et on a téléchargé le fichier CAD de notre motoréducteur.

2.Partie de refroidissement ; on a dessiné la chambre de refroidissement er on a téléchargé le fichier CAD du ventilateur.

3.Partie de bobinage : on a téléchargé le fichier de moteur qu'on a choisi avant et on a dessine les pièces.

4. partie de la base principale de la machine.

IV.4.1. Conception de la partie d'extrusion

a. Le motoréducteur

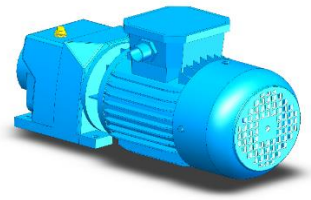
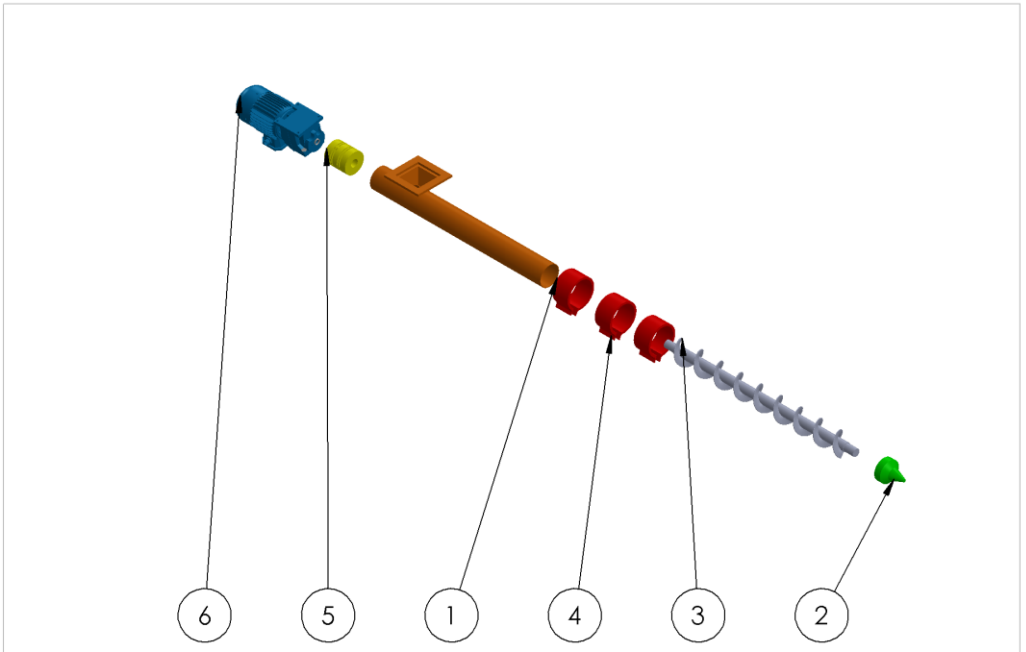


Figure V.17 : Motoréducteur

b. Group extrusion



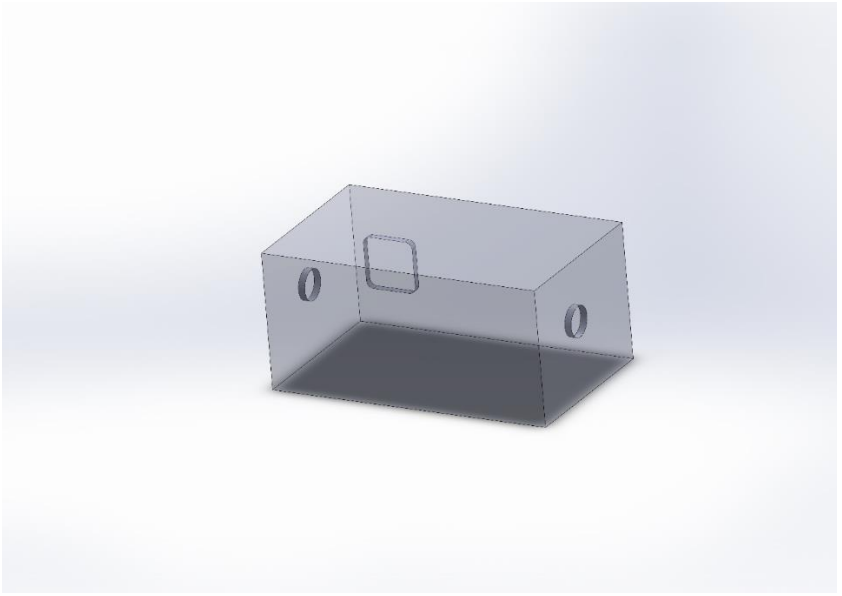
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Fourreau	1
2	Filliere	1
3	vis san fin	1
4	Collier	3
5	Accouplement	1
6	Motoreducteur	1

ECHELLE: 1:2	**HAMIDI**.M- **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Group extrusion	Matière: ACIER
11/06/2025		A4

Figure V. 18 : Nomenclature de group d'extrusion

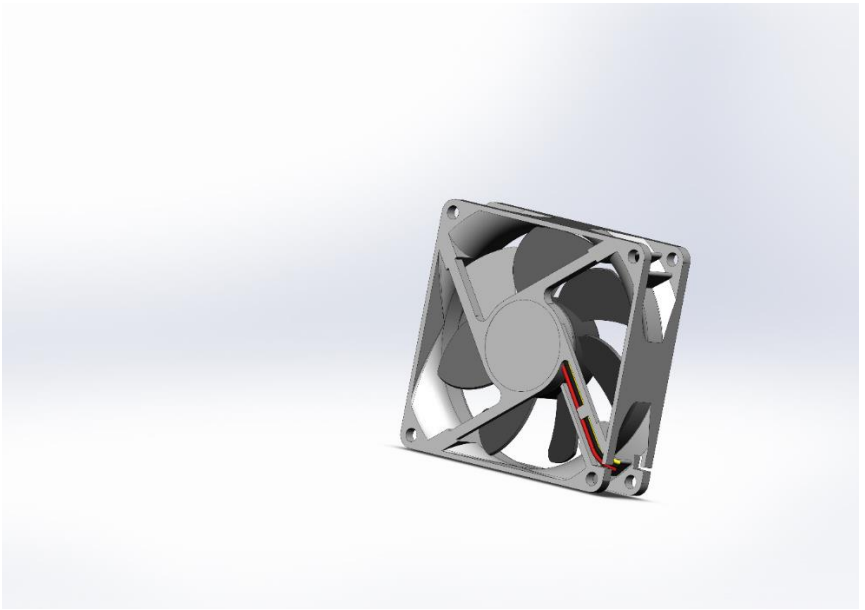
V.4.2. Conception de la partie de refroidissement

a.la chambre de refroidissement



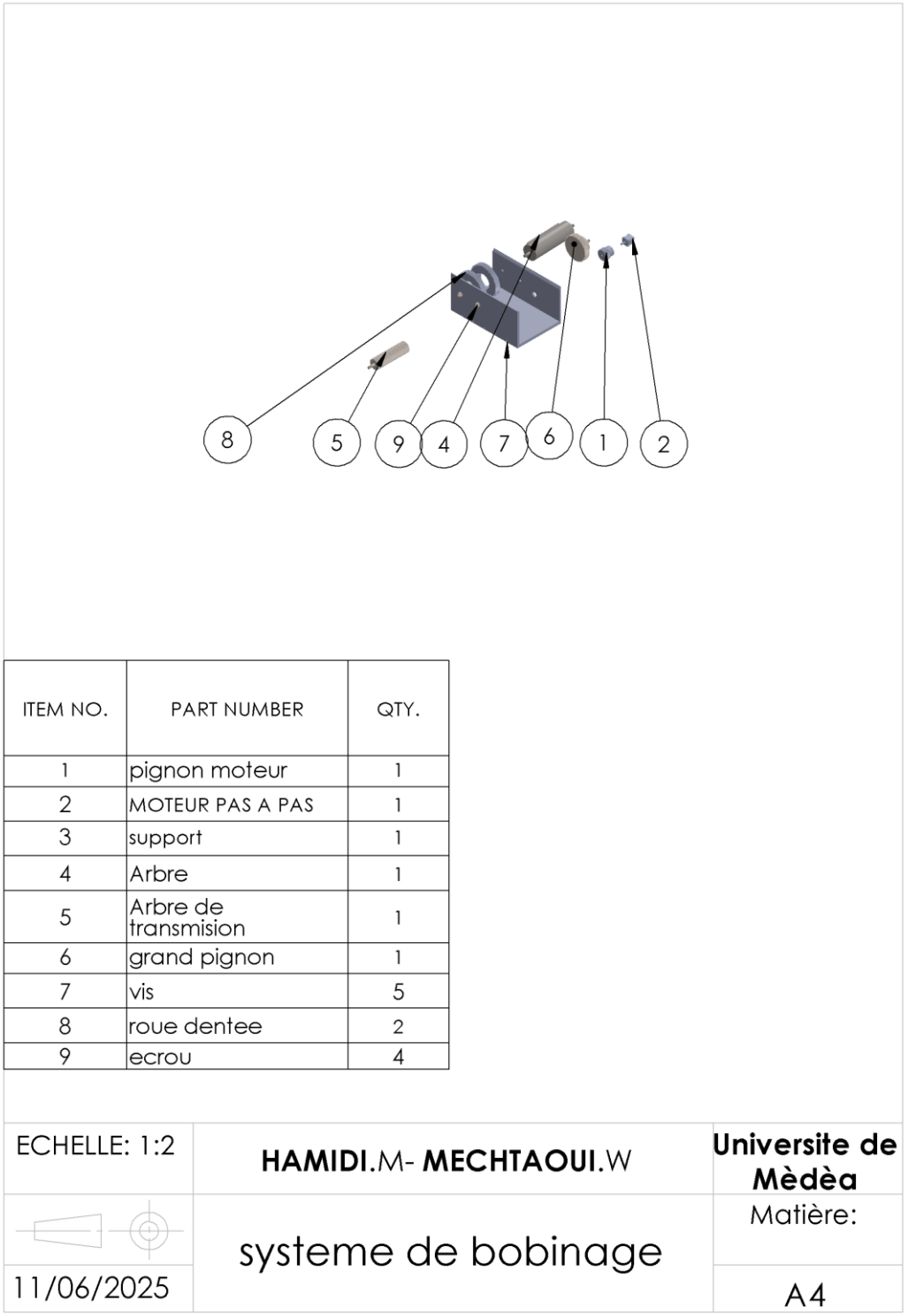
FigureV.19 : Chambre de refroidissement

b. ventilateur



FigureV.20 : Ventilateur

IV.4.3. Conception de la partie bobinage



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	pignon moteur	1
2	MOTEUR PAS A PAS	1
3	support	1
4	Arbre	1
5	Arbre de transmision	1
6	grand pignon	1
7	vis	5
8	roue dentee	2
9	ecrou	4

ECHELLE: 1:2	**HAMIDI**.M- **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	systeme de bobinage	Matière:
11/06/2025		A4

FigureIV.21 : Système de bobinage

IV.4.5. Conception de la base principale

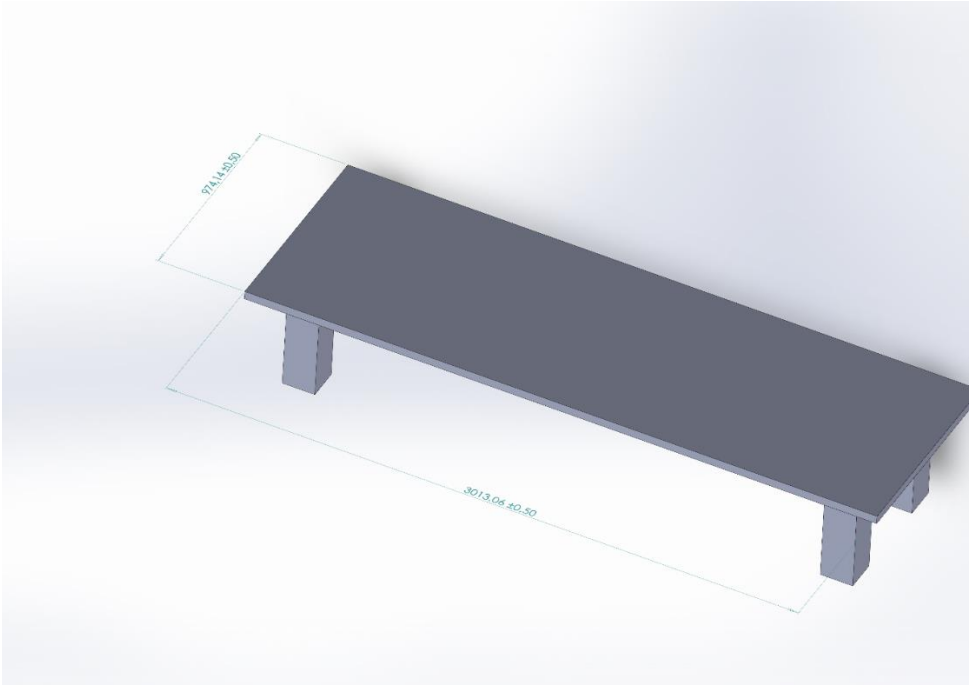


Figure IV.22 : Table

CONCLUSION GENERALE

Suite à cette série d'études, nous avons opté pour le processus de fabrication de filaments pour l'impression 3D, automobile il s'agit d'un processus éco-responsable très délicat et ayant une valeur économique significative, marquant la nécessité de concevoir une répondre optimale en termes de coûts et d'efficacité pour une gadget d'extrusion fiable. Notre principale préoccupation était de concevoir un extrudeur capable de transformer des granulés plastiques en filaments adaptés aux imprimantes 3D. Nous avons mis l'accessoire sur le composant théorique au début. Il sert de structure pour bâtir une compréhension plus élaborée du contexte.

Nous avons étudié les différents types de plastiques utilisés dans les industries modernes, en nous concentrant particulièrement sur les polymères utilisés dans les imprimantes 3D. De plus, nous avons abordé la question du recyclage comme un problème socio-économique très essentiel. Divers symboles de recyclage et leurs définitions ont été enseignés, ce qui aide à choisir les matériaux appropriés à utiliser dans Fabrication. Nous nous sommes concentrés sur les étapes d'avènement telles que relation entre les propriétés d'une system et ses matériaux, ce qui a facilité les étapes d'software de l'étude. Cela a fourni compréhension nécessaire des technologies d'affect 3D et des mécanismes des propriétés des matériaux et des processus de mise en forme.

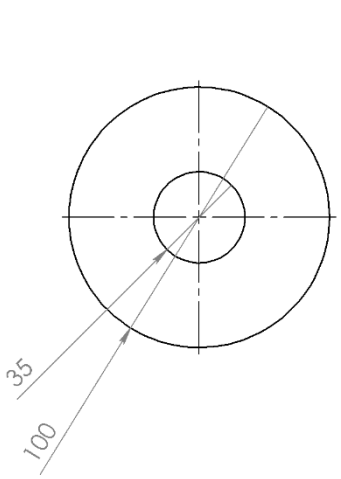
Nous avons ensuite déplacé notre attention vers le travail pratique : d'abord en étudiant en détail les composants d'extrusion des machines, qui comprenaient leurs types, l'unité de chauffage, Vis sans fin et le système de refroidissement, puis en concevant un extrudeur qui respecte les normes de l'industrie à l'aide du logiciel de conception moderne SolidWorks, qui assure los fabrication de diamètres de filament uniformes.

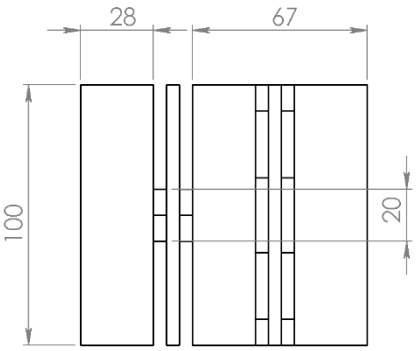
Nous avons examiné le système de bobinage, qui est Dernière étape du processus de production. Ce système permet un enroulement ordonné et synchronisé du fil produit en corrélation avec Vitesse de sortie. Les paramètres évaluations de ce système, tels que Vitesse rotationnelle, le couple et le rapport de synchronisation avec le système d'extrusion, doivent être calculés pour garantir la qualité du rouleau très last, ainsi que la stabilité tout au long de fabrication.

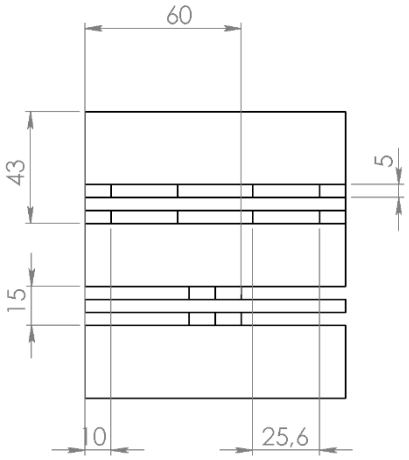
Il convient de rappeler que ce projet n’est pas un plan définitif ou un modèle universel, mais plutôt une esquisse sous forme de proposition qui peut être travaillée en termes de

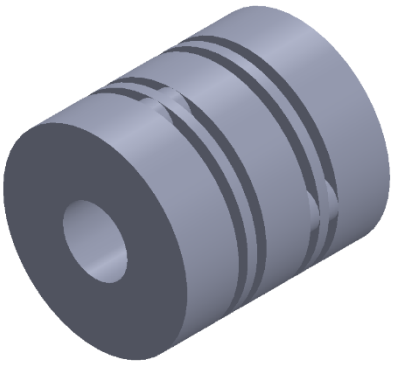
perfectionnement et de développement ultérieurs. Malgré les contraintes techniques et logistiques rencontrées lors de l'exécution, nous avons pu établir des bases solides pour la théorique d'un gadget d'extrusion fonctionnelle. Avec le développement croissant des cadres technologiques, des modifications supplémentaires avancées telles que l'incorporation de capteurs laser ou optiques pour surveillance en temps réel et le contrôle précis du diamètre du fil sont réalisables dans les versions ultérieures. L'intégration de systèmes de contrôle intelligents (Arduino/PLC) pour le contrôle automatisé de température, de vitesse et de la rotation de l'enroulement du fil est une autre possibilité. Lier Machine à une application pour téléphone portable ou ordinateur permettant une supervision à distance de la system à travers une interface numérique. Il est également possible de se diriger vers l'affect 3D des composants de System pour permettre un entretien proche plus facile et des modifications manufacturières.

De telles avancées prospectives ne permettront pas seulement de perfectionner ce système multifonctionnel en outil éducatif ou en prototype, mais aussi de l'évoluer en une plateforme fiable qui favorise la fabrication autonome et promeut le recyclage dans le cadre du développement durable.

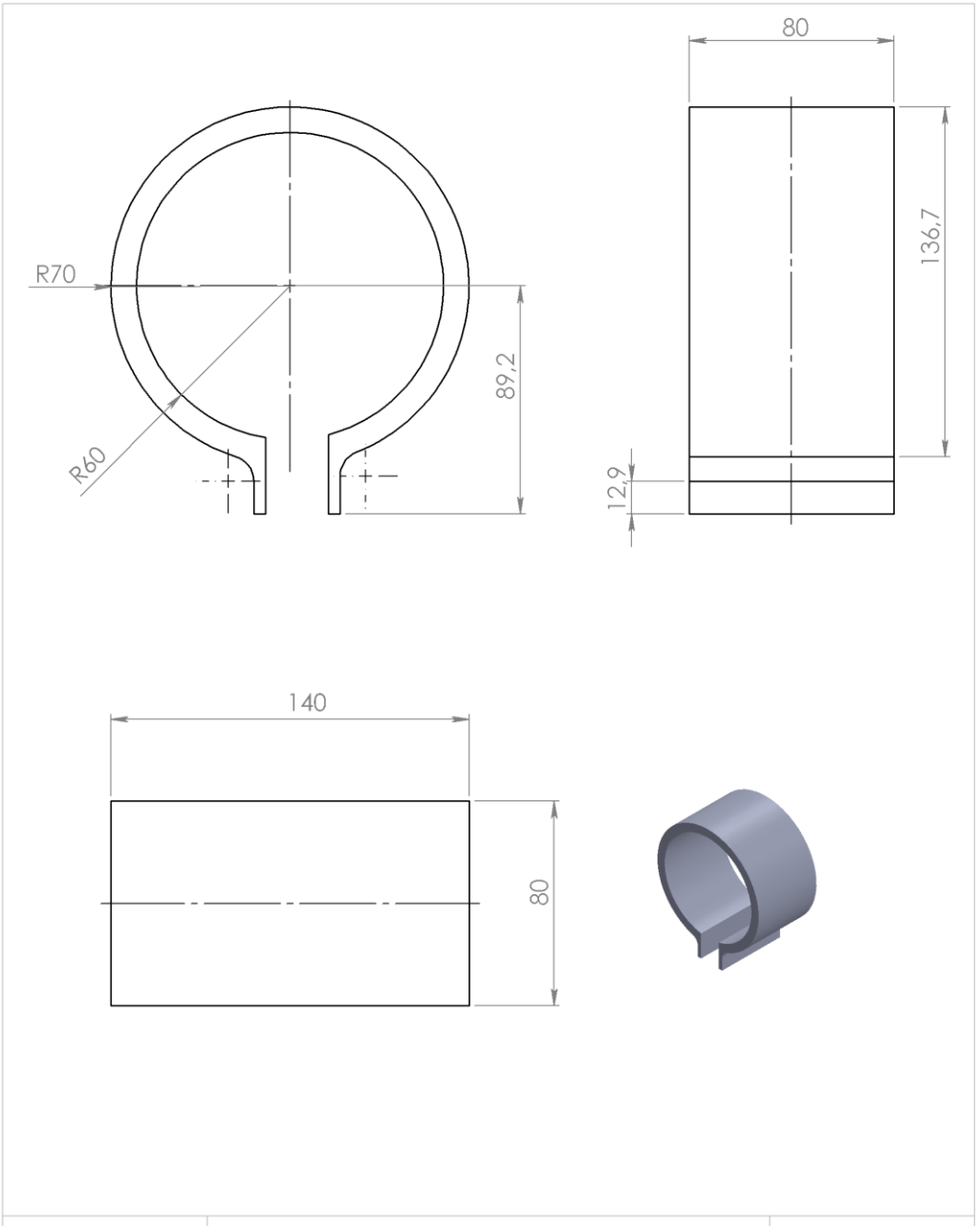




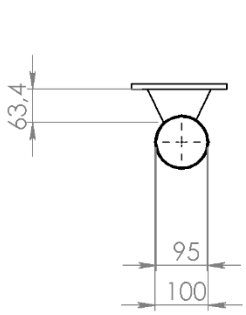


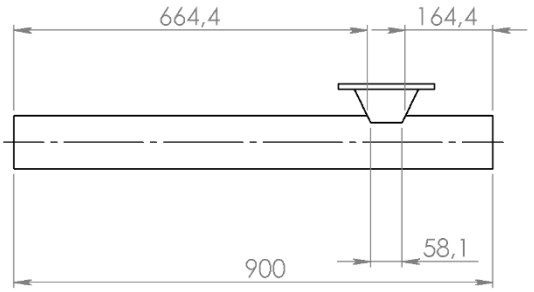


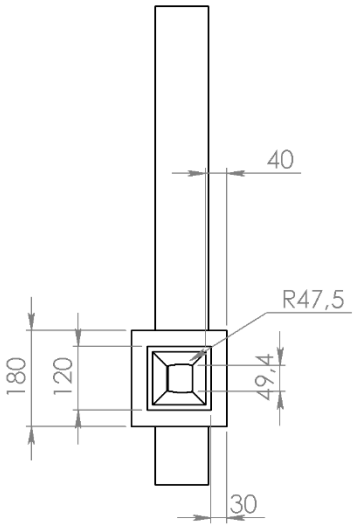
ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	ACCOUPLEMENT	ACIER au carbone
11/06/2025		A4

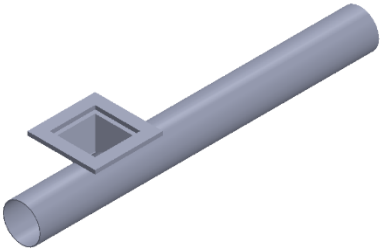


ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	COLLIER	Matière: cuivre
11/06/2025		A4

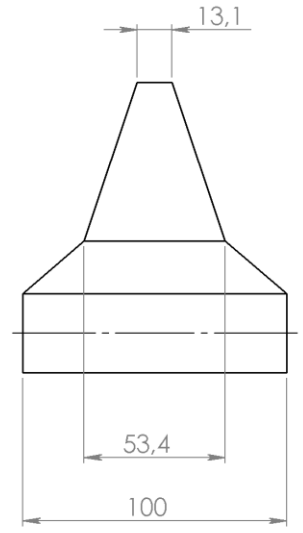


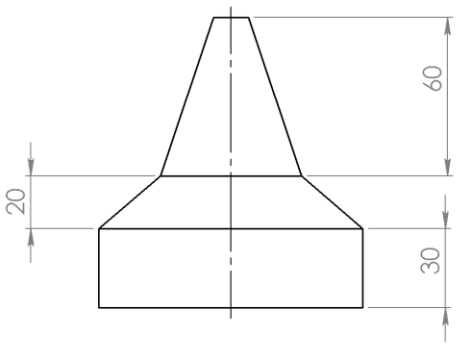


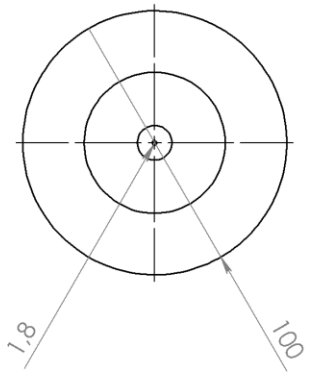


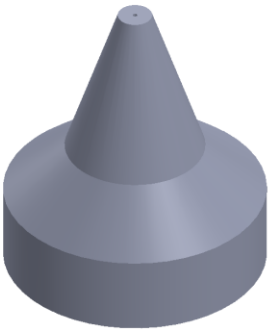


ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Fourreau	ACIER faiblement allier
11/06/2025		A4

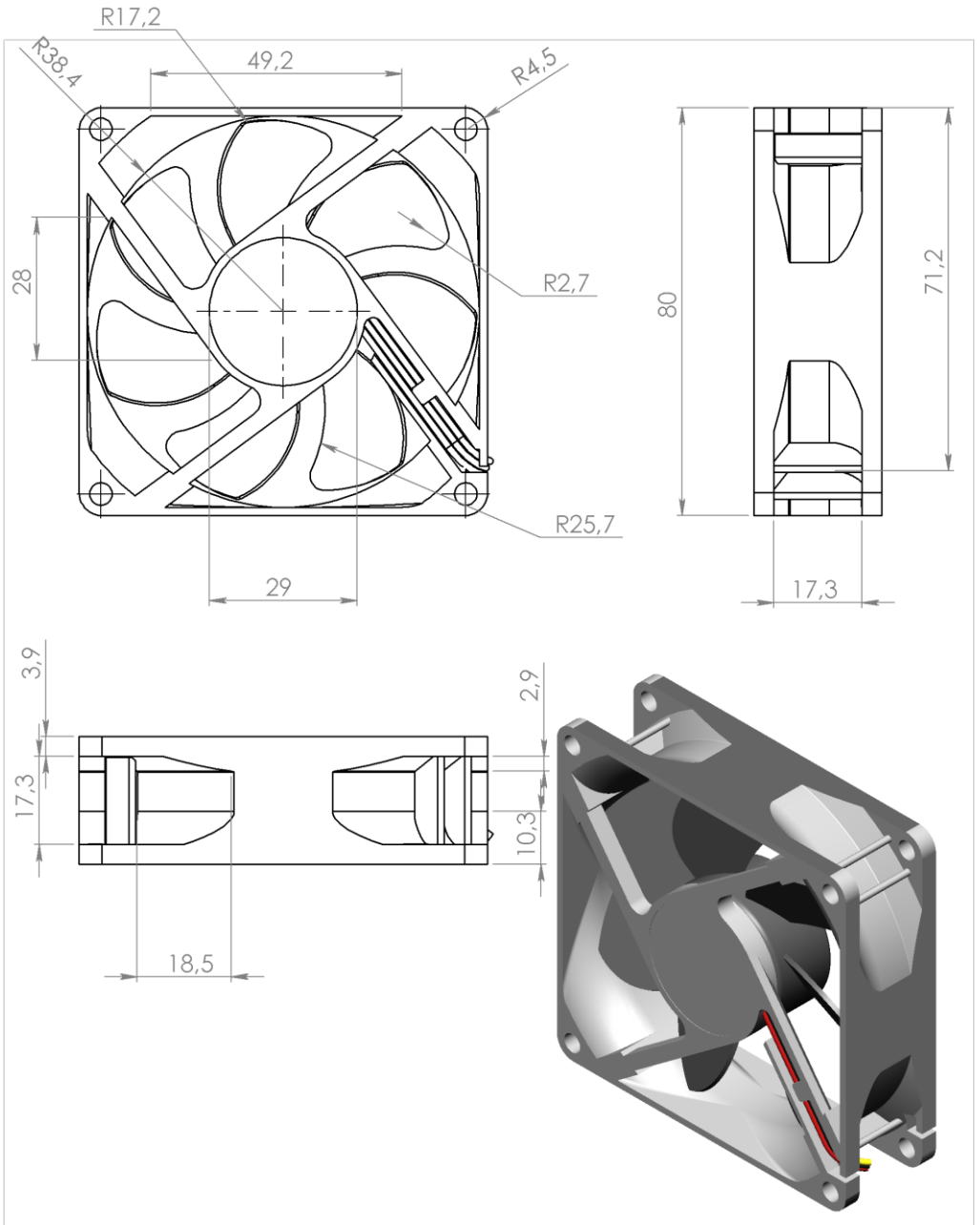




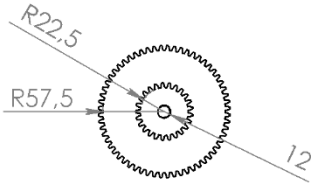


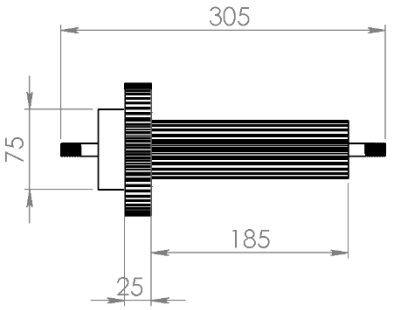


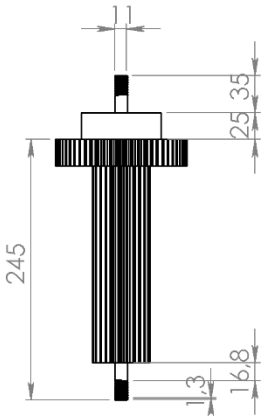
ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Filliere	ACIER au carbone
11/06/2025		A4

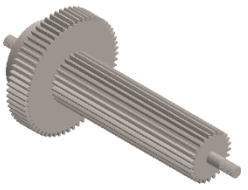


ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Ventilateur	Matière: ACIER
11/06/2025		A4

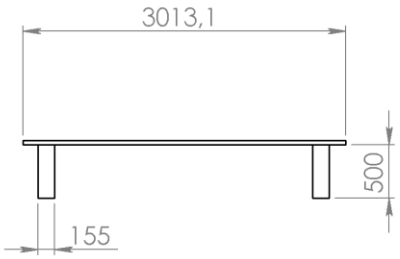


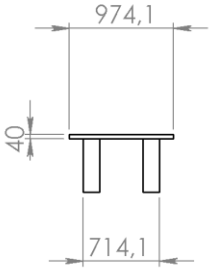


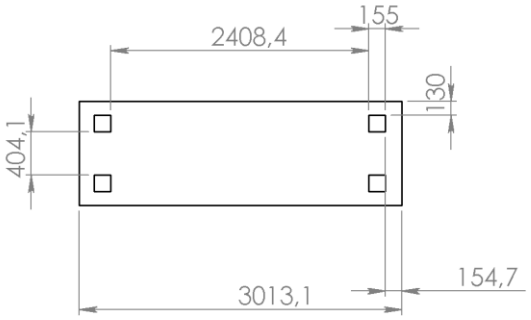


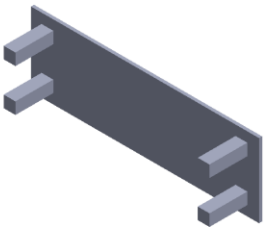


ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Pignon 2	Acier de cementation
11/06/2025		A4

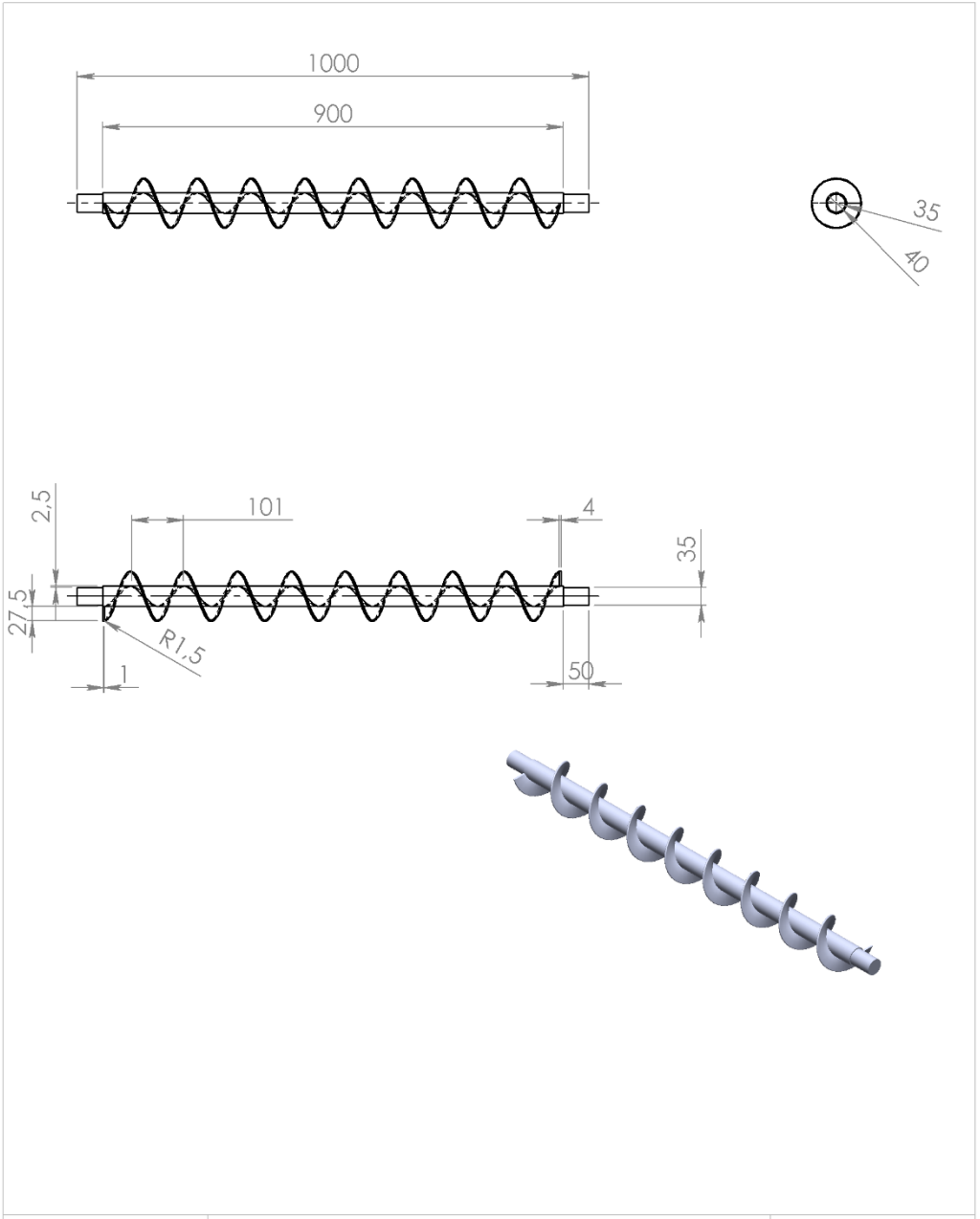




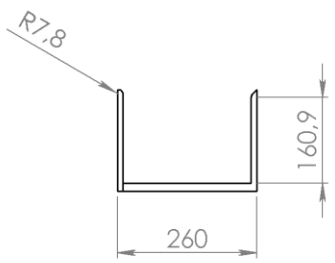


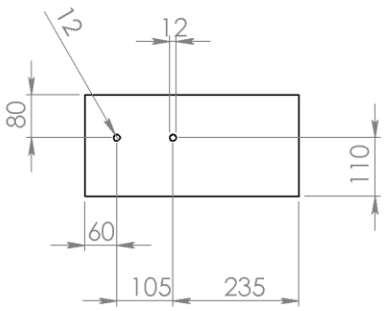


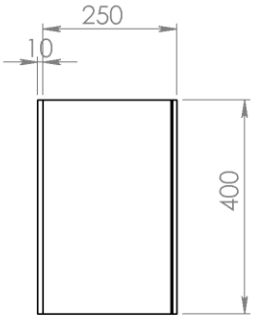
ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	Table	Matière:
11/06/2025		A4

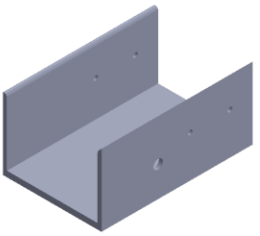


ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	VIS SANS FIN	Acier de nitruration
11/06/2025		A4



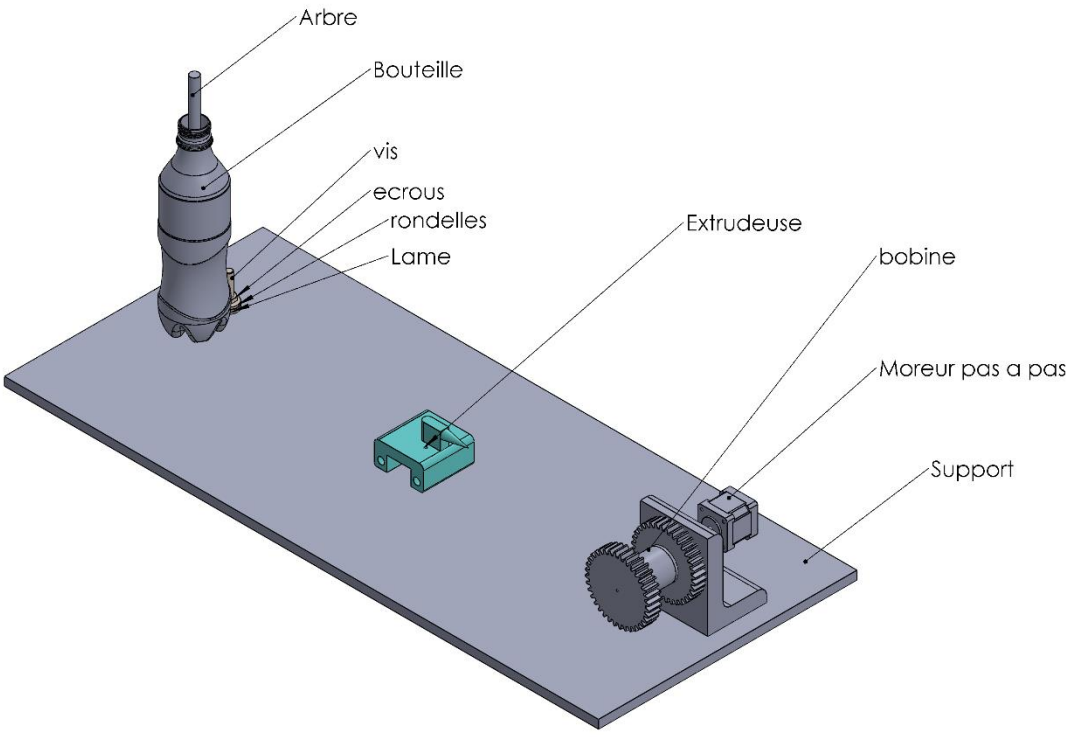






ECHELLE: 1:5	**HAMIDI**.M - **MECHTAOUI**.W	**Universite de Mèdèa**
	support	Matière: ACIER
11/06/2025		A4

Vue 3D de prototype



Références Bibliographiques

[1] https://pmtrackerp.in/features-of-erp-software-for-the-plastic-manufacturing-industry/.

[2] Flexico. (n.d.). Comment les plastiques sont-ils fabriqués ? Flexico. https://www.flexico.com/comment-les-plastiques-sont-ils-fabriques/.

[3] https://fr.vecteezy.com/art-vectoriel/4922232-pet-01-recycling-code-symbol-plastic-recycling-vector-polyethylene-sign.

[4] Livres recommandés : "Plastic Materials" – J. A. Brydson

[5] BENHARIGA, Y, & BENZIANE, A. (2023). *Confection d'un micro system de recyclage de Plastique en polyéthylène téréphtalate pour Production de filament d'imprimante 3D* (diplôme de master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed). Page 9

[6] Miri, M., & Lekmouchi, I. (2017). *Etude d'une ligne de recyclage du plastique (Bac horizontal et extrudeuse*) (diplôme de master, Université Saad Dahleb De BLIDA Faculté De L'Ingénieur Département De Mécanique).

[7] 3Dnatives. (2023, 23 novembre). Filaments vs granulés : quel type de plastique choisir en impression 3D ? 3Dnatives. **https://www.3dnatives.com/filaments-vs-granules-impression-3d-23112023/**

[8] https://www.3dnatives.com/en/which-filament-should-i-choose-for-my-3d-printer-070620214/# !

[9] https://alexnld.com/product/two-trees-4pcs-200g-spool-1-75mm-red-yellow-green-transparent-color-pla-filament-kit-for-3d-printing/.

[10] https://boutique.capifil-extrusion-plastique.fr/produit/filament-3d-pla-1kg-coloris-naturel/.

[11] https://www.usinenouvelle.com/expo/filament-3d-pla-impression-3d-p455470843.html.

[12] https://boutique.capifil-extrusion-plastique.fr/produit/filament-3d-abs-800g-coloris-vert/.

[13] https://www.amazon.sa/-/en/OVERTURE-Filament-Polyamide-Dimensional-Accuracy/dp/B087R3WY6T.

[14] https://technology.plasticodyssey.org/extrudeuse-recyclage/.

[15] Plastic Odyssey. (2023). Fonctionnement de l'extrudeuse – Recyclage plastique.

[16] Bliard, C. (2019). Extrusion réactive : Définition, concepts et exemples d'application [Rapport de recherche, IFP Energies nouvelles]. HAL. https://hal.science/hal-02333270v1/file/BliardExtrusioReactive-.pdf

[17] Azzi, M. (2024). *Étude et réalisation d'une extrudeuse pour la fabrication du filament pour l'impression 3D* [Mémoire de fin d'études, Université Badji Mokhtar Annaba]. Bibliothèque numérique de l'Université d'Annaba. https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2024/06/MEMOIRE-AZZI.pdf.

[18] Ultimaker. (2017.). Fiche technique – ABS (Version 3.011) [PDF]. Retrieved from https://um-support-files.ultimaker.com/materials/2.85mm/tds/ABS/TDS%20ABS%20v3.011-fre-FR.pdf.

[19] 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.

[20][21] Harazi, D., & Kheddaoui, M. (2020). *Étude, conception et simulation d'une machine d'extrusion plastique avec système de bobinage filamentaire* [Mémoire de fin d'études, Université Saad Dahleb].

[22] Omega Engineering. (s.d.). Stepper Motors. https://www.omega.co.uk/prodinfo/stepper_motors.html.

[23] Maouche, N., Djouadi, B., & Bouchibane, A. (2023). *Étude, conception et fabrication d'une machine pour le recyclage* (Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, Faculté de Technologie, Département de Génie Mécanique).