

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : Génie mécanique

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Construction mécanique

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**ETUDE DE LA CONCEPTION D'UNE EXTRUDEUSE DE  
FILAMENT POUR IMPRESSION 3D**

Présenté par : *AZZI Hamza*

Encadrant : *BENAMIRA Mohamed*

MC(B)

UBMA

## Jury de Soutenance :

|                   |       |      |           |
|-------------------|-------|------|-----------|
| BEY KAMEL         | Pr    | UBMA | Président |
| BENAMIRA MOHAMED  | MC(B) | UBMA | Encadrant |
| CHEMAMI ABDENACER | MC(A) | UBMA | Examineur |

Année Universitaire : 2022/2023

## **Résumé**

Ce mémoire présente une étude de la conception d'une extrudeuse de filament pour impression 3D. Pour cela, il a été nécessaire d'étudier les différents types d'extrudeuses. Ensuite un développement a été fait pour le modèle mono-vis qui a fait l'objet de cette étude. L'étude de la conception a été effectuée selon deux aspects, fonctionnel et structurelle. De plus, un développement de la chaîne cinématique a été présenté. Pour compléter l'étude, une maquette d'extrudeuse a été réalisée par impression 3D dans le but mettre en évidence les aspects de la réalisation.

## **Remerciements**

Grâce à Dieu le tout puissant qui m'a accordé la patience, la volonté et l'inspiration pour terminer ce travail ; Merci mon Dieu. En second lieu, je tiens à remercier ma mère, car c'est aussi grâce à elle, qui croyait en mes capacités et qui est pour moi la lumière qui illumine mon chemin, son encouragement me pousse toujours vers l'avant.

Je tiens également à adresser mes remerciements à Monsieur BENAMIRA Mohamed, mon encadrant, pour ses conseils, sa bonne orientation et surtout pour sa patience durant toute la durée de préparation du mémoire.

Il est également important pour moi d'adresser mes remerciements les plus sincères à Mr BENHACINE Naaman et Mr AYAD Amar de l'école supérieure des technologies industrielles d'ANNABA pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur l'impression 3D. Sans oublier le chef département et l'ingénieur de laboratoire du département de Métallurgie pour m'avoir donné l'occasion de réaliser les essais mécaniques.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail mémoire.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et que l'on pas pus les citer.

## LISTE DES FIGURE

|   |    |
|---|----|
| Fig 1 : Schéma de l'implémentation de procédé de fabrication additive .....   | 2  |
| Fig 2 : Normes et structure proposées par l'ASTM et ISO .....   | 5  |
| Fig 3 : Principe de la méthode de dépôt de filament fondu .....   | 6  |
| Fig 4 : Schéma de principe du prototypage rapide .....  | 9  |
| Fig5 : le filament .....  | 11 |
| Fig6 : Extrudeuse Reifenhauer (avec l'aimable autorisation de Reifenhauer).....   | 14 |
| Fig7 : Schéma d'une extrudeuse monovis.....   | 14 |
| Fig8 : procédé d'Extrusion-calandrage.....  | 16 |
| Fig9 : procédé d'Extrusion en filière plat .....  | 16 |
| Fig10 : procédé d'Extrusion-soufflage .....   | 17 |
| Fig11 : procédé de mise en œuvre par Extrusion-gonflage .....   | 17 |
| Fig12 : zones fonctionnelles d'une extrudeuse.....  | 19 |
| Fig13 : schéma d'une ligne d'extrusion.....   | 20 |
| Fig14 : Eléments constitutifs d'une extrudeuse mono-vis.....  | 22 |
| Fig15 : bête à corne d'extrudeuse .....   | 23 |
| Fig16 : Diagramme de pieuvre .....  | 24 |
| Fig17 : Diagramme FAST .....  | 25 |
| Fig18 : Schéma de l'extrudeuse monovis .....  | 26 |
| Fig19 : structure fonctionnelle générale de l'extrudeuse illustrant l'interaction des.....                                      | 27 |
| Figure 20: description géométrique de la zone de pompage.....   | 29 |
| Fig. 21 : chaîne cinématique .....  | 29 |
| Fig. 22 : Évolution du débit et du débit spécifique en fonction la pression en tête pour une zone d'alimentation spiralée ..... | 30 |
| Fig23 : Schéma de l'extrudeuse monovis .....  | 32 |
| Fig24 : assemblage extrudeuse .....   | 32 |
| Fig25 : extrudeuse miniature fabriquée .....  | 33 |
| Fig26 : Mise en plan assemblage extrudeuse.....   | 34 |
| Fig27 : Mise en plan filière.....   | 35 |
| Fig28 : filière.....  | 36 |
| Fig29 : Mise en plan accouplement .....   | 37 |
| Fig30 : accouplement.....   | 38 |
| Fig31 : Géométrie du système vis-fourreau .....   | 39 |
| Fig32 : Mise en plan vis son fin.....   | 40 |
| Fig33 : vis son fin .....   | 41 |

### **Liste des tableaux**

|   |    |
|---|----|
| Tab1 : principaux matériaux d'impression 3D ..... | 10 |
| Tab2 : Application de l'extrudeuse .....          | 15 |

## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction générale :  | 1  |
| I.1- Introduction :  | 2  |
| I.2- Historique :  | 2  |
| I.3- Définition :  | 3  |
| I.4- Les étapes de la fabrication additive :                             | 3  |
| I.5- Les normes relatives à la fabrication additive :                    | 4  |
| I.6- Méthode de dépôt de filament fondu :                                | 6  |
| I.7- Les risques liés à l'utilisation de la fabrication additive :       | 7  |
| I.8 Les enjeux de la fabrication additive :                              | 7  |
| I.9. Utilisation de la fabrication additive dans le prototypage rapide : | 8  |
| II.1- Généralités :  | 10 |
| II.2- Matériaux utilisés pour l'impression 3D :                          | 10 |
| II.3. Présentation des principaux matériaux plastiques :                 | 11 |
| II.2.1- Les polymères :  | 11 |
| II.2.2- ABS :  | 11 |
| II.2.3- LE PLA :   | 12 |
| II.4- Procédés de fabrication du filament (l'extrusion) :                | 13 |
| II.4.1- Principe de base :   | 13 |
| II.4.4-Diverses applications de l'extrudeuse :                           | 15 |
| II.5- Différents procédé fabrication qui utilisent l'extrusion :         | 15 |
| II. 6 - Domaines d'application :   | 18 |
| II.7- Défauts d'extrusion :  | 18 |
| II.8- Les composantes d'une ligne d'extrusion :                          | 20 |
| III.1- Introduction :  | 21 |
| III.2- Eléments constitutifs d'une extrudeuse mono-vis :                 | 21 |
| III.3- Description fonctionnelle de l'extrudeuse :                       | 22 |
| III.4- Description structurelle du système :                             | 25 |
| III.4.1- Le convoyage :  | 28 |
| III.4.2- Zone de fusion :  | 28 |
| III.4.3- La zone de pompage :  | 28 |
| III.5- Etude de la chaîne cinématique de l'extrudeuse :                  | 29 |
| IV.1- Description générale :   | 32 |
| IV.2- Assemblage (extrudeuse):   | 32 |

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la fabrication additive**

## I.1- Introduction :

La fabrication additive est un nouveau procédé qui permet d'obtenir des pièces (objets) en ajoutant de la matière. Cette opération est réalisée couche par couche à l'aide d'un modèle 3D créé dans un logiciel de CAO. Ce type de procédé était à l'origine destiné à la construction de prototypes et de maquettes. Cependant, la fabrication additive répond désormais à la demande de pièces fonctionnelles. Cependant, la gamme de matériaux proposés est encore limitée, en particulier dans les secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale et du médical [1].

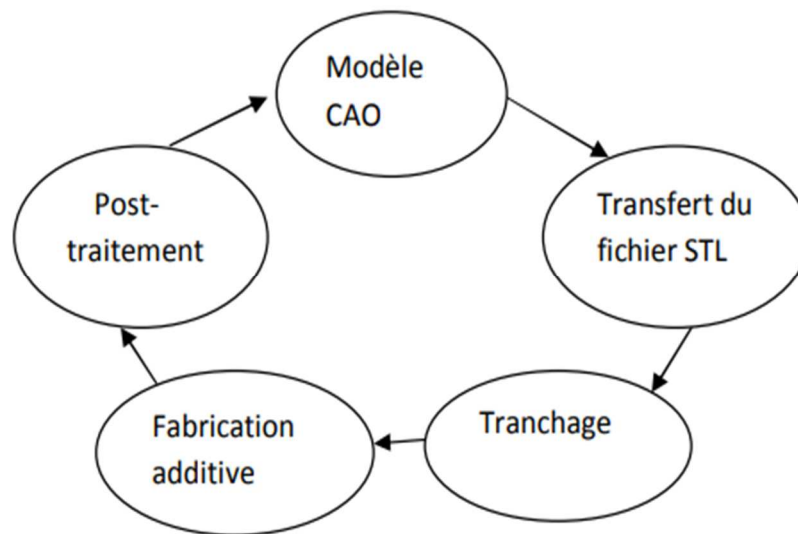


Fig1 : Schéma de l'implémentation de procédé de fabrication additive [1]

## I.2- Historique :

En 1892, premier brevet de Brunzer sur la fabrication additive, proposant une méthode d'obtention d'outils pour créer des cartes topographiques. A l'origine des techniques modernes de stratification, cette méthode commence par la création de deux parties d'un moule qui permettent la création de cartes topographiques en empilant des feuilles de cire préalablement découpées selon les courbes de niveau de la carte souhaitée [2].

Mais, ce n'est que dans les années 80 que le développement de cette méthode de fabrication a commencé. c'est en juillet 1984 que le premier brevet de fabrication additive a été déposé pour Silas Alcatel par trois Français, Jean-Claude André, Olivier de Witt et Alain Le Mehaute. Deux semaines plus tard, Chuck Hull des États-Unis a obtenu un brevet pour la technologie de stéréolithographie (SLA pour équipement de stéréolithographie). Ce brevet est à l'origine du



nom de l'extension de fichier d'impression. St et 3D System, l'un des principaux fabricants d'imprimantes 3D.

Ce dernier lance sa première imprimante 3D, la SLA-250, fin 1988. En 1989, une nouvelle technologie est apparue, basée sur le dépôt de fil fondu. En 1995, la technologie d'impression 3D métal DMLS (Direct Metal Laser Sintering) fait son apparition, et en 1997 le frittage laser [4,3]. Mais ce n'est qu'au milieu des années 2000 que le public a entendu parler de l'impression 3D [4,3].

### **I.3- Définition :**

La fabrication additive est le processus de création d'objets tridimensionnels à partir de fichiers numériques. Ce procédé est dit additif car il repose sur l'empilement de fines couches de matière les unes sur les autres. Cette technologie peut créer des géométries complexes impossibles avec les méthodes traditionnelles de coulée et d'usinage, ou avec des techniques soustractives [11].

### **I.4- Les étapes de la fabrication additive :**

Le processus de fabrication additive comprend plusieurs étapes. Cela commence par la création d'un fichier de conception et se termine par la création du volume de la pièce à fabriquer. On distingue les étapes suivantes [5] :

#### **➤ Conception assistée par ordinateur :**

La première étape de la FA consiste à créer un modèle 3D de la pièce à l'aide d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur. D'autres techniques sont utilisées, telle que la rétro-ingénierie pour numériser l'objet et obtenir un modèle numérique.

#### **➤ Conversion en fichier STL :**

La plupart des machines de fabrication additive sont compatibles avec le format STL (stéréolithographie), qui est rapidement devenu un standard de l'industrie. Les modèles de logiciels de CAO convertis de cette manière sont des fichiers qui décrivent uniquement la géométrie de surface d'un objet tridimensionnel. Le fichier STL constitue la base des calculs définissant les différentes couches nécessaires pour fabriquer la pièce.

➤ **Transfert du fichier STL à la machine :**

Le fichier STL est ensuite transféré vers l'imprimante. A ce niveau, les opérations sont principalement effectuées pour s'assurer que la forme, la position, les dimensions et l'orientation sont conformes au résultat attendu.

➤ **Paramétrage de la machine :**

La machine possède un paramétrage qui doit être ajusté en fonction de la qualité requise de la pièce. Des paramètres tels que l'épaisseur de la couche et la vitesse de dépôt sont souvent utilisés par les machines d'impression 3D.

➤ **Fabrication de la pièce :**

Généralement, le processus de fabrication est automatisé et nécessite peu d'intervention humaine. Cependant, une surveillance du processus est nécessaire.

➤ **Détachement de la pièce :**

Une fois l'impression achevée, la pièce reste collée à la table d'impression et doit être retirée manuellement de la machine.

➤ **Post-traitement :**

Un traitement supplémentaire peut être nécessaire pour utiliser les pièces ainsi obtenues. De plus, dans le cadre du post-traitement, supprimez les supports qui ont été utilisés pour créer la pièce.

### **I.5- Les normes relatives à la fabrication additive :**

Deux organismes de normalisation (ISO) et (ASTM) collaborent pour établir des normes sur divers sujets liés à la fabrication additive [9] :

- la terminologie
- la conception des machines

- Les matériaux
- Les essais
- etc.

La structure de cette normalisation proposée se divise en trois catégories [9] figure 7.



Fig2 : Normes et structure proposées par l'ASTM et ISO [9]

### I.6- Méthode de dépôt de filament fondu :

Dans cette technique, le filament de polymère thermoplastique est déposé sous forme de couches l'une sur l'autre pour obtenir le volume de la pièce à fabriquer en 3D (Figure 9). Avant d'être déposé, le filament est chauffé dans une buse jusqu'à un état semi-liquide qui lui permet d'être extrudé et déposé. L'état plastique du filament, sous l'effet de la température est une propriété critique pour le succès de cette technologie, permettant au filament non seulement d'être posé, mais également d'être fondu lors de l'impression et solidifié après dépôt à température ambiante [7].

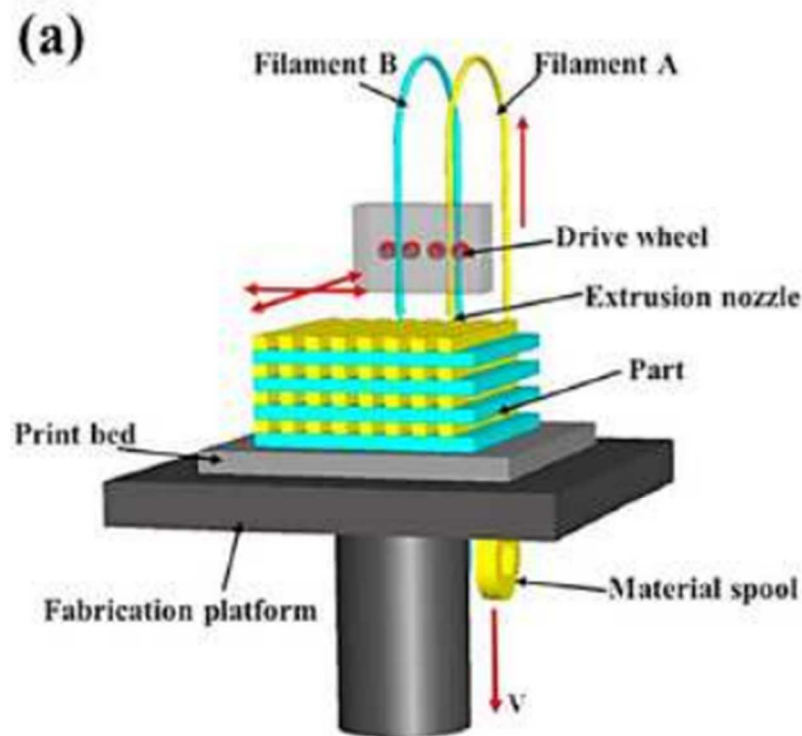


Fig3 : Principe de la méthode de dépôt de filament fondu [7]

#### ➤ Avantages de la technologie FDM :

- Technologie propre, facile à utiliser et adaptée au bureau.
- Nombreux thermoplastiques pris en charge stables tant du point de vue mécanique qu'environnemental après fabrication. Possibilité d'utiliser des thermoplastiques biosourcés.
- Possibilité de fabriquer des géométries complexes supposées problématiques.

- Coûts et maintenance limités en comparaison d'autres techniques de fabrication additive.

### **I.7- Les risques liés à l'utilisation de la fabrication additive :**

On distingue différents risques liés à l'utilisation de cette technologie [10] :

- **Risques chimiques :**

Ce sont des risques liés à l'utilisation des matériaux, et des opérations de post fabrication. Les émanations de produits sous forme gazeuse pendant la fabrication sont également prises en compte.

- **Risque d'explosion :**

Le risque d'explosion est élevé dans le cas d'équipement fermé et mal ventilé. De plus, les matières plastiques isolantes peuvent provoquer une forme d'accumulation de charges électrostatiques capables de s'évacuer sous forme de décharge électrostatique.

- **Risque machines :**

L'utilisation de certaines machines présente un risque de nature spécifique. La prévention des risques s'appuie dans ce cas sur des exigences réglementaires de conception et d'utilisation.

### **I.8 Les enjeux de la fabrication additive :**

Pour que fabrication additive propose des solutions acceptables, il est nécessaire de répondre aux exigences en termes de coût, qualité et délais [18].

- Coût :**

Agir sur les coûts implique la réduction du prix des machines et du coût de production. Car pour les industriels, il s'agit d'un investissement important et le prix d'une machine se répercute aussi sur le coût de production.

**☑ Qualité :**

La qualité est un enjeu clé de la fabrication additive. Certes, des secteurs d'activité tels que la médecine, l'aviation, l'aérospatial ou l'automobile, qui s'intéressent à ces technologies sont contraints de produire des pièces d'une certaine qualité. A cet effet, il y a plusieurs points clés sur lesquels on doit agir :

- La connaissance du procédé de fabrication,
- Les moyens de contrôle de la qualité,
- La répétabilité de fabrication

**☑ Délai :**

La fabrication additive présente des avantages en termes de délai, parce que :

- Le matériau brut est universel quelle que soit la géométrie des pièces.
- L'universalité des outils de production.

**I.9. Utilisation de la fabrication additive dans le prototypage rapide :**

Le prototypage rapide est la production physique d'un produit, de modèles, de pièces etc. puis on réalise un assemblage, figure 6. Généralement, ces derniers sont obtenus par fabrication additive communément appelée impression 3D. Si la conception ressemble étroitement au produit final proposé, il s'agit d'un prototype.

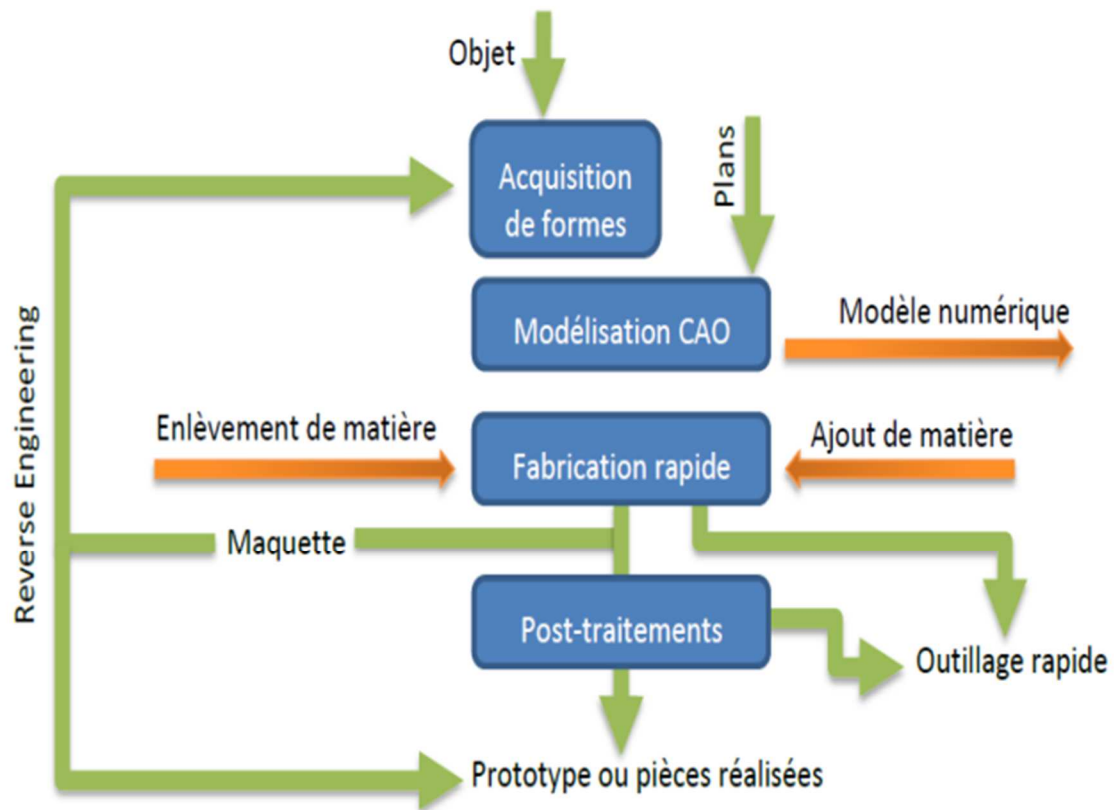


Fig4 : Schéma de principe du prototypage rapide [9]

Le prototypage rapide implique trois concepts de base [9] :

- **Temps** : L'objectif du prototypage rapide est de construire des modèles rapidement, dans le but de réduire le temps de développement du produit.
- **Coût** : Le prototypage rapide permet de réaliser des prototypes sans avoir besoin d'outils coûteux, tout en garantissant les performances du produit final.
- **Complexité des formes** : les machines qui fonctionnent en ajoutant des matériaux peuvent produire des formes extrêmement complexes (inclusion, cavité...), irréalisables par des procédés tels que l'usinage par exemple.

# **Chapitre II**

## **Les polymères utilisés dans la fabrication du filament**



## II.1- Généralités :

Les deux principaux matériaux actuellement utilisés dans l'impression 3D sont les plastiques et les métaux. Cependant, toutes les technologies d'impression 3D ne sont pas compatibles. Les imprimantes personnelles impriment essentiellement à partir de deux types de plastique : ABS et PLA. De plus, certains modèles avec dépôt de filament fondu (FDM) peuvent également traiter des matériaux alimentaires tels que le chocolat, le fromage et le glaçage. La technologie FDM est également utilisée pour l'impression de béton [12].

### II.1- Matériaux utilisés pour l'impression 3D :

Le tableau 1 présente les différentes catégories de matériaux utilisés dans la fabrication additive [12].

| Matériaux organiques | Céramiques                                 | Plastiques                            | Métaux                          |
|----------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| Cires                | Alumine                                    | ABS (acrylonitrile butadiène styrène) | Aluminium                       |
| Tissus/cellules      | Mullite                                    | PLA (acide polylactique)              | Acier d'outillage               |
|                      | Zircone                                    | PET (polytéréphtalate d'éthylène)     | Titane                          |
|                      | Carbure de silicium                        | Polyamide (nylon)                     | Inconel                         |
|                      | Phosphate tricalcique                      | Polyamide renforcé                    | Cobalt-chrome                   |
|                      | Résines époxy chargées en céramique (nano) | PEEK (Polyétheréthercétone)           | Résines époxy Thermodurcissable |
|                      | Silice (sable)                             | Cuivre                                | Acier inoxydable                |
|                      | Plâtre                                     | PMMA (Polyméthacrylate de méthyle)    | Or/platine                      |
|                      | Graphite                                   | PC (polycarbonate)                    | Hastelloy                       |
|                      |  | PPSU ou PPSF (Polyphénylsulfone)      |                                 |
|                      |  | Ultem                                 |                                 |
|                      |  | Alumide                               |                                 |

Tab1 : principaux matériaux d'impression 3D [12]

## II.2. Présentation des principaux matériaux plastiques :

Les matériaux utilisés dans le prototypage rapide par dépôt de fil (FDM) varient, mais certaines imprimantes utilisent principalement des thermoplastiques, l'ABS et le PLA étant les plus courants [12]. On les retrouve sous forme de bobines, figure 7. Les imprimantes personnelles à dépôt de filament fondu (FDM) l'emploient généralement en bobines de filament d'1,75 mm ou de 3 mm de diamètre, aux couleurs variées.



Fig5 : le filament [12]

### II.2.1- Les polymères :

Les polymères sont actuellement le matériau le plus populaire pour l'impression 3D, avec une part de marché de 64 %. Les plastiques sont des polymères qui peuvent être moulés lorsqu'ils sont exposés à une source de chaleur, comme l'ABS et le PLA [12].

### II.2.2- ABS :

Appartenant à la famille des thermoplastiques, l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) est l'un des matériaux les plus populaires de l'impression 3D. Utilisé par toutes les imprimantes personnelles. Fondant entre 200 et 250 °C, l'ABS peut supporter des températures qui varient de - 20 °C à 80 °C. Lorsqu'il est imprimé par la technique du dépôt de filament fondu, il

nécessite l'utilisation d'un plateau d'impression chauffant (entre 90 et 105 °C). L'ABS il n'est pas biodégradable, mais il présente une bonne résistance aux chocs grâce. L'ABS est utilisé dans la fabrication de divers objets du quotidien : appareils électroménagers, téléphones, ordinateurs, jouets... Les célèbres briques de Lego sont notamment réalisées dans ce matériau.[12]

### II.2.3- LE PLA :

Le PLA (polylactic Acid, acide polylactique) est un polymère utilisé couramment dans l'impression 3D. Ce dernier fond à une température comprise entre 160 et 220 °C, est plus difficile à manipuler que l'ABS, car il refroidit et durcit très rapidement. Mais, Contrairement à l'ABS, la plaque d'impression chauffée n'est pas nécessaire. L'impression se fait à 185°C directement sur différents supports [1].

#### ➤ Les avantages [12]:

- Rigidité.
- Aspect agréable (surface dure et brillante).
- Stabilité dimensionnelle.
- Bonne résistance aux chocs aux rayures.
- Moulage et formage aisés, décoration et impression facile.

#### ➤ Les inconvénients [12] :

- Opacité
- Très électrostatique (nécessité d'agents antistatiques)
- Jaunissement à l'extérieur (nécessité d'un stabilisant).
- Transparence laiteuse.

Certaines applications peuvent être considérées [12] :

- Industrie automobile et transport
- Appareils domestique et de jardinage
- Electrotechnique et électronique
- Bureautique et in informatique
- Phono, photo, optique

- Machines-outils
- Sanitaire et médecine
- Jouets
- Sport et loisirs.

### **II.3- Procédés de fabrication du filament (l'extrusion) :**

L'extrusion est un processus continu de fabrication de produits de section constante. Dans certains procédés, il est possible de changer la forme en ligne après la sortie de l'extrudeuse, ou d'utiliser l'extrudeuse comme produit semi-fini et de reformer hors ligne lors ligne. La plupart des extrudeuses modernes sont des extrudeuses à vis. L'extrusion représente environ 35 % du poids de la transformation des thermoplastiques. Certains produits extrudés subissent une deuxième transformation, comme le thermoformage. La plupart des produits extrudés sont des films (environ 60 %), suivis des tubes (plus de 20 %) et des tôles (plus de 15 %) [13].

#### **II.3.1- Principe de base :**

Les thermoplastiques peuvent être mis en forme par plastification ou fusion puis en les forçant dans une matrice ou éventuellement un poinçon pour créer un entrefer qui correspond à la forme de l'extrémité du profilé. L'extrudeuse est l'élément principal de l'ensemble du matériel nécessaire à l'extrusion d'un produit. Cet ensemble constitue une ligne d'extrusion comprenant principalement [13]:

- l'extrudeuse, en général à vis, qui, alimentée en granulés, réchauffe et plastifie la matière avant de l'amener sous pression à la filière ;
- la filière et éventuellement le poinçon, qui vont donner la forme voulue au flux de matière ;
- les dispositifs de calibrage (calibre ou conformateur) et de refroidissement, qui vont donner la forme définitive du profilé et la fixer par refroidissement ;
- le dispositif de tirage, qui assure l'entraînement du profilé à vitesse constante ;
- les dispositifs annexes : coupe à longueur, marquage.



Fig6 : Extrudeuse Reifenhauser (avec l'aimable autorisation de Reifenhauser).[13]

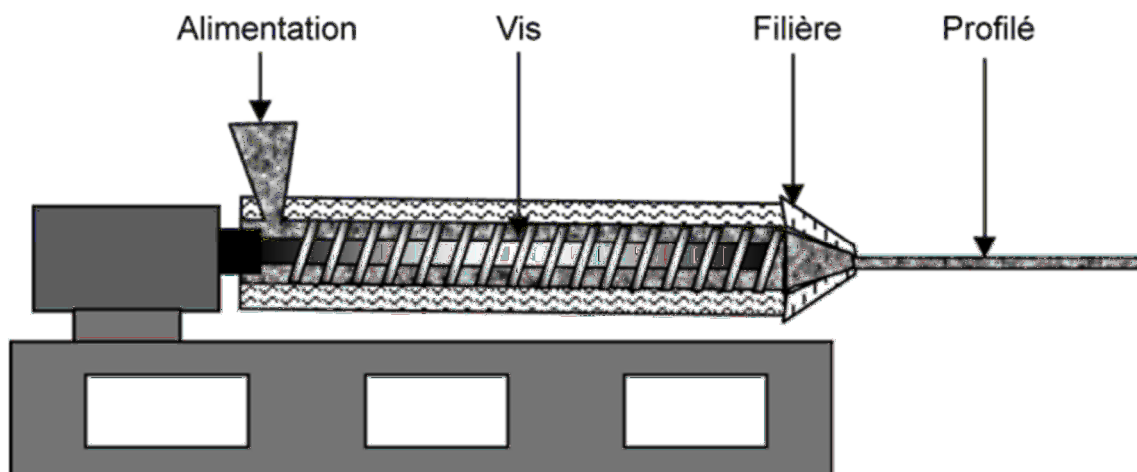
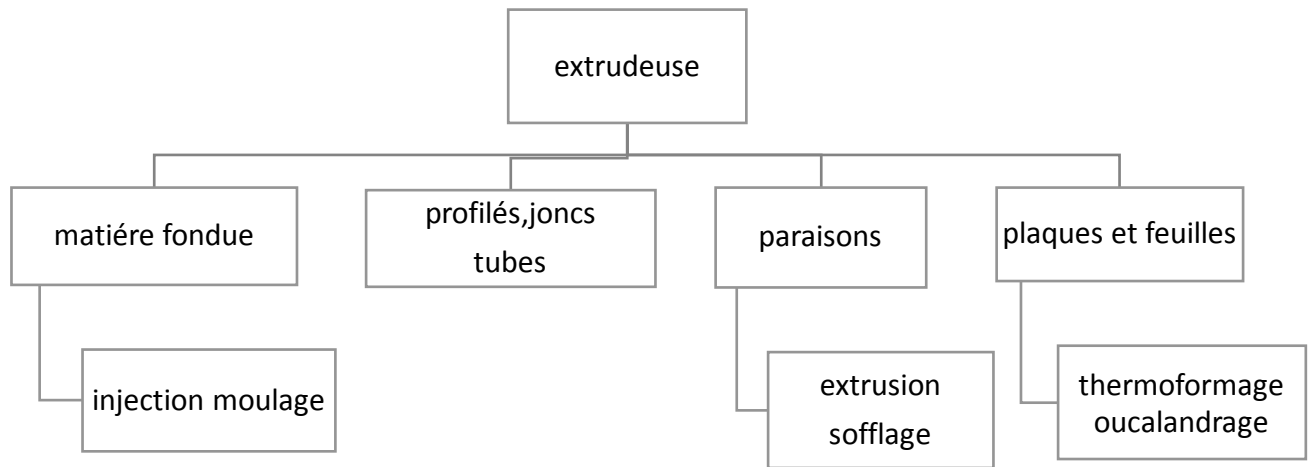


Fig7 : Schéma d'une extrudeuse monovis.[13]

### II.3.4-Diverses applications de l'extrudeuse :



Tab2 : Application de l'extrudeuse [13]

### II.4- Différents procédé fabrication qui utilisent l'extrusion :

L'extrusion est un procédé qui permet de mettre en forme un produit finis ou semi-finis tels que des plaques, des fibres, des tuyaux, des gaines de câbles, des corps creux, des feuilles. La technologie d'extrusion des thermoplastiques est utilisée dans une variété de processus de fabrication tels que [13] :

- **Extrusion-gainage** : cette technique permet de recouvrir des conducteurs électriques d'au moins une couche de matériau polymère pour les isoler.
- **Extrusion-formage** : Dans ce processus, une feuille de thermoplastique est appliquée sur un moule et chauffée par un rayonnement jusqu'à la température de transition vitreuse.
- **Extrusion-calandrage** : Le procédé, sert au laminage de produits plats en thermoplastiques ou en caoutchouc.

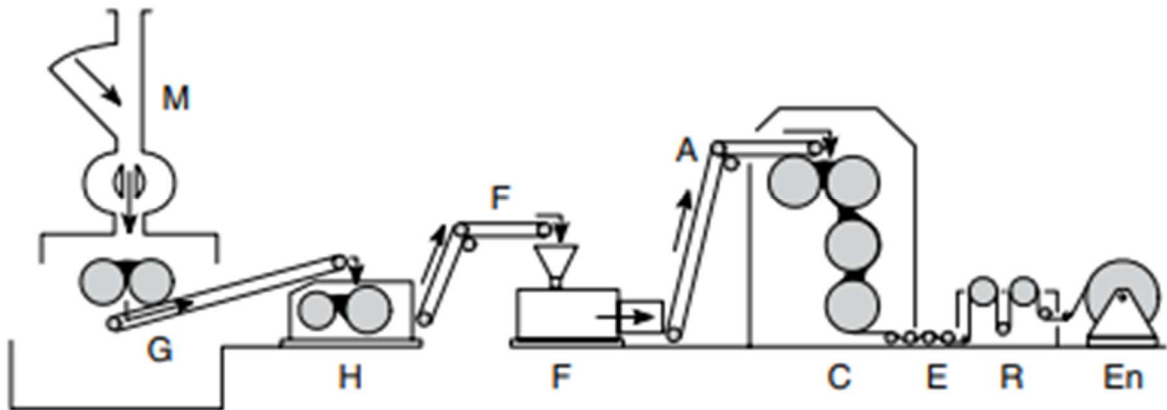


Fig8 : procédé d'Extrusion-calendrage [15]

- **Extrusion en filière plat** : Permet de réaliser des plaques de 1 mm à 10 mm en général, et de longueur qui dépasse les 2 m

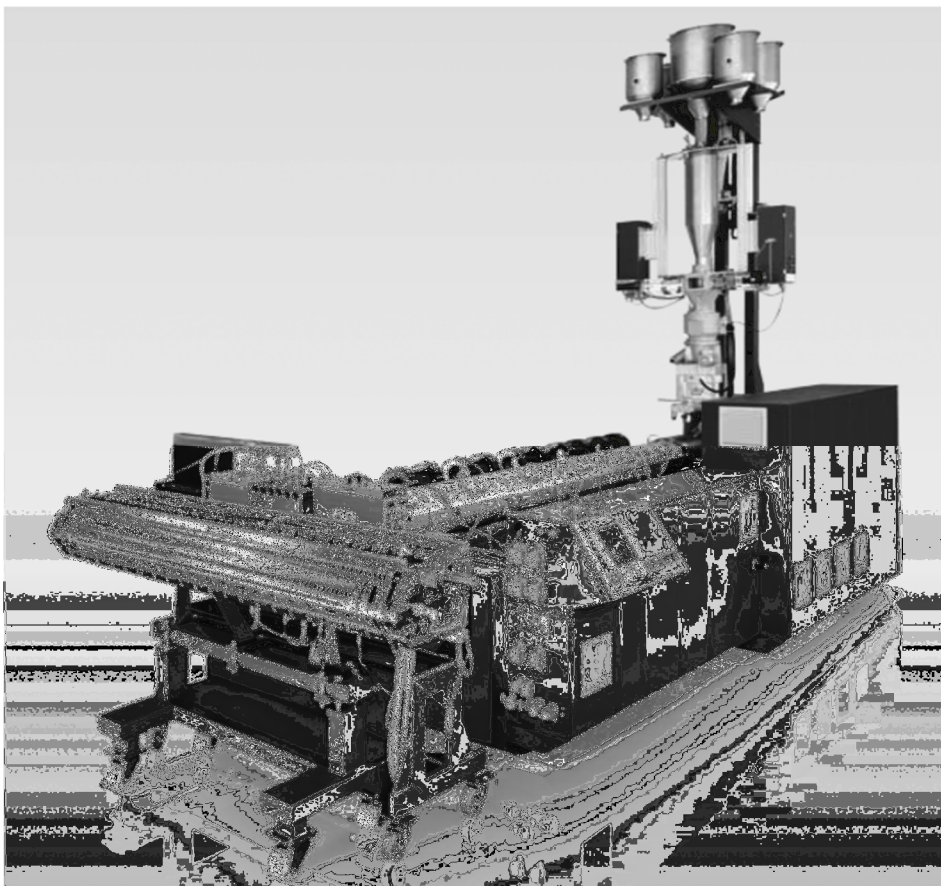


Fig9 : procédé d'Extrusion en filière plat [13]

- **Extrusion-soufflage** : Permet de mouler en discontinu des corps creux (bouteilles...), elle consiste à gonfler un tube obtenu par extrusion, en y soufflant de l'air ou du gaz interne.

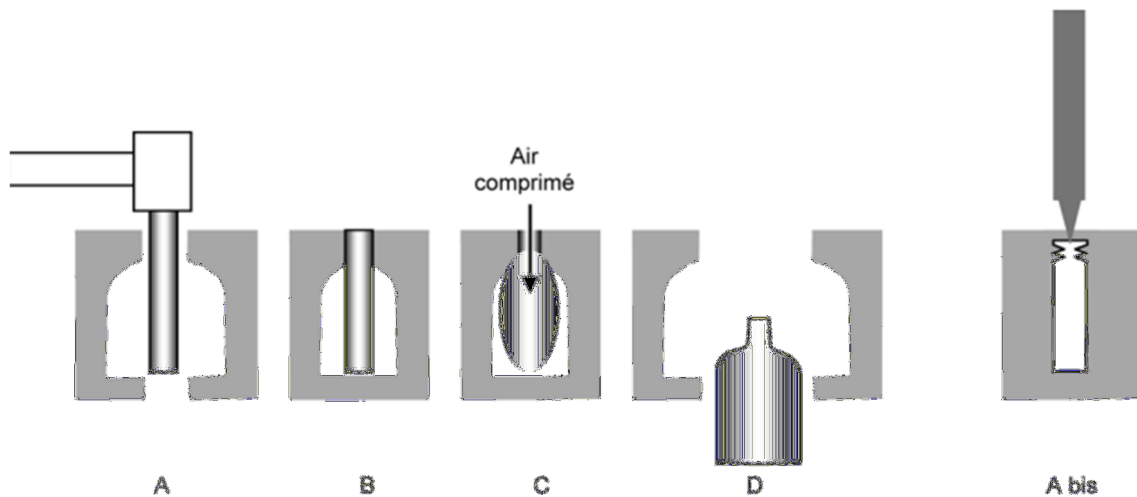


Fig10 : procédé d'Extrusion-soufflage [13]

- **Extrusion-gonflage** : Cette méthode nous permet d'obtenir des films (sac plastiques, etc.).

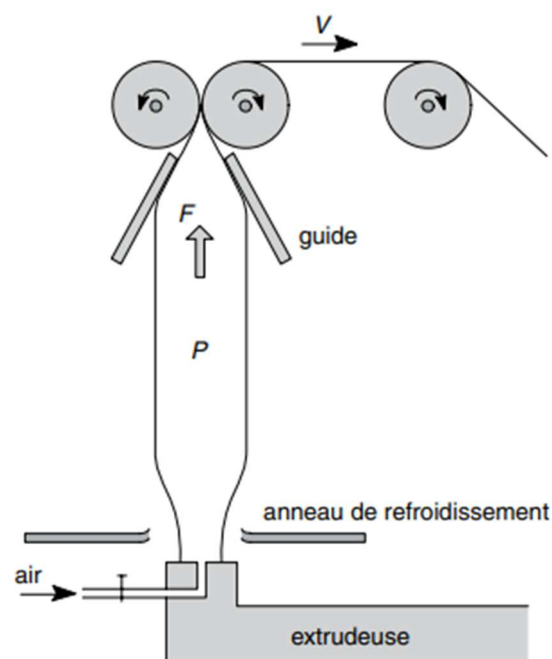


Fig11 : procédé de mise en œuvre par Extrusion-gonflage [15]



## II. 5 - Domaines d'application :

Les produits fabriqués par l'extrusion sont utilisés dans divers domaines tels que [16] :

- Pétrochimie : bandes de glissement.
- Le médical.
- Pharmacie : tubes pour analyses, tubes protecteurs pour aiguilles.
- L'agroalimentaire : tubes pour le conditionnement de produits alimentaires
- Emballage : tubes d'alimentation pour machines de montage, tubes de protection.
- L'automobile : profilés pour joints de planchers de camions, joints de protection pour cache bagages de coffres.
- L'aéronautique : profilés pour marquage au sol des cabines d'avions civils.
- L'électronique : composants de câbles, tous types de tubes isolants, emballages de protection de connecteurs.
- Télécoms : profilés pour centrales téléphoniques.
- Le bâtiment et l'ameublement : portails, clôtures, revêtements muraux.

## II.6- Défauts d'extrusion :

Il existe plusieurs défauts liés à l'extrusion qui sont des déformations d'extrudât souvent observées pendant l'extrusion à grande vitesse des thermoplastiques. On peut distinguer plusieurs déformations d'extrudât [14] :

### ➤ Déformations de surface :

Les déformations de surface sous leurs diverses formes sont une conséquence d'un écoulement de surface libre.

### ➤ Déformations de volume :

Les déformations de volume proviennent des instabilités d'écoulement apparaissant à l'entrée de la filière.

➤ **Mauvaises conditions de procédé :**

vis pas adaptée, vitesse de rotation trop grande, mauvais profil de température.

➤ Problèmes de débit.

**V- Zones fonctionnelles d'une extrudeuse :**

Sur le long d'une extrudeuse on peut distinguer trois zones fonctionnelles [16] :

- ✓ **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 :

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

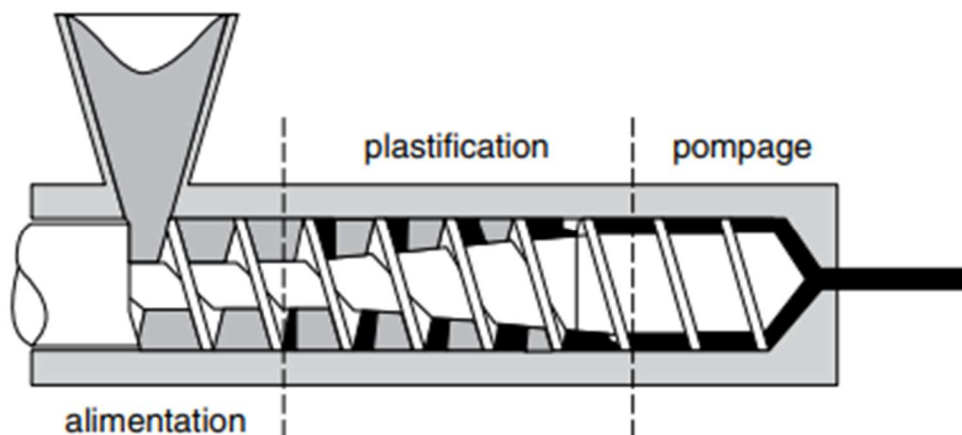


Fig12 : zones fonctionnelles d'une extrudeuse.[15]

## II.5- Les composantes d'une ligne d'extrusion :

- Une ligne d'extrusion se compose généralement de cette façon [16]:
- Une ou plusieurs extrudeuses, mono-vis ou bi-vis
- Une filière d'extrusion → Un dispositif de conformation
- Un bac de refroidissement
- Un banc de tirage
- Un banc de découpe
- Un banc de réception ou enrouleur

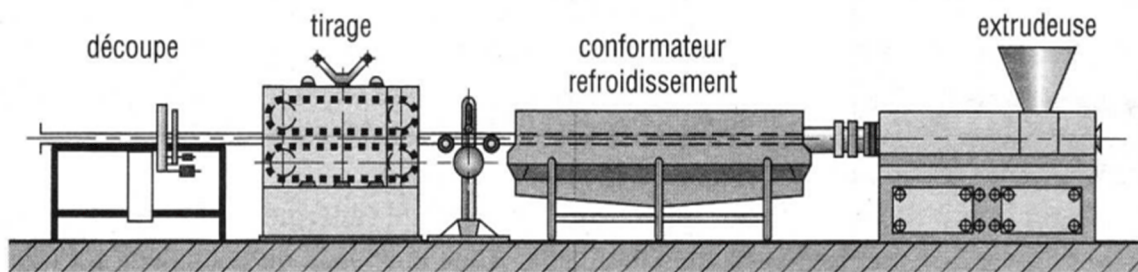


Fig13 : schéma d'une ligne d'extrusion.[15]

# **Chapitre III**

## **Description fonctionnelle et structurelle de l'extrudeuse**

### III.1- Introduction :

La conception des systèmes est une activité qui se déroule au sein des bureaux d'études et l'objectif, est de réaliser un dossier qui définit complètement et sans ambiguïté un produit. Ce dernier répond généralement à l'expression du besoin d'un utilisateur. La conception fait appel à diverses disciplines telle que la mécanique, l'électronique, l'énergétique, ...etc.

D'une manière générale, un système est une association structurée d'éléments, de composants, ou de sous-systèmes interagissent de façon organisée dans le but le système d'accompli une fonction.

La conception fait appel à la définition de l'environnement du produit. On distingue les éléments du milieu environnant qui sont généralement classés dans quatre grandes familles :

- L'environnement humain
- L'environnement matériel
- L'environnement énergétique
- La matière d'œuvre

### III.2- Eléments constitutifs d'une extrudeuse mono-vis :

L'extrudeuse mono-vie courante comprend principalement [13] :

A : fourreau

B : vis sans fin

C : filière

D : trémie

E : polymère granulé

F : moteur 1

G : réducteur

H : Elément chauffant

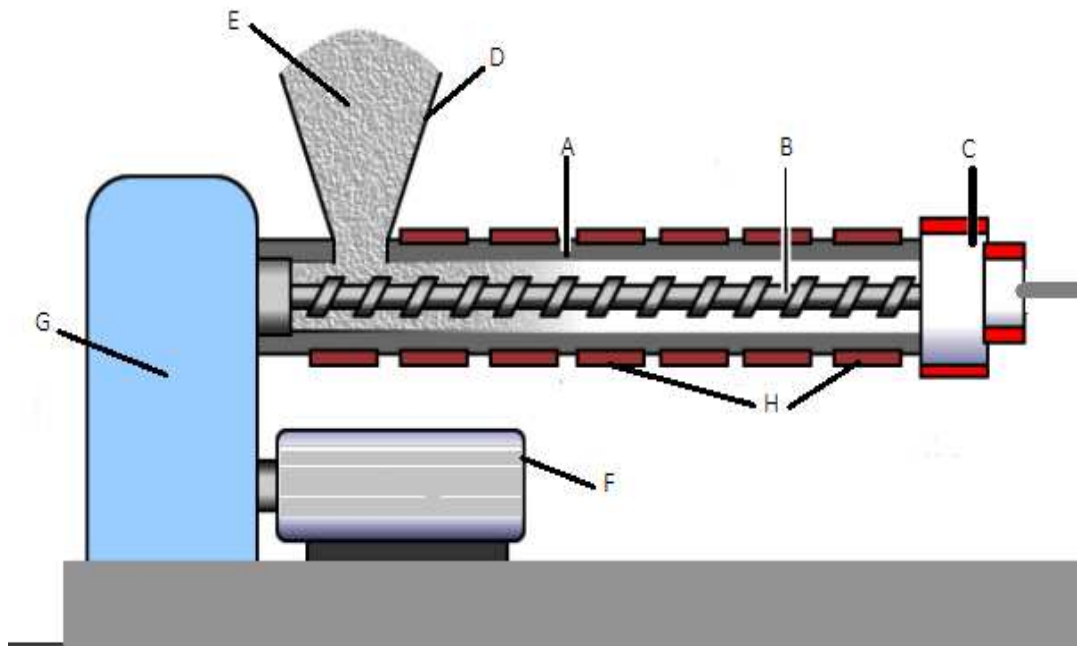


Fig14 : Eléments constitutifs d'une extrudeuse mono-vis

### III.3- Description fonctionnelle de l'extrudeuse :

L'analyse fonctionnelle consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions d'un produit pour satisfaire le besoin exprimé [3].

- Recensement : identifier les fonctions relatives au produit
- Ordonnement : classer les fonctions recensées
- Caractérisation : définir les critères d'appréciation relatifs aux fonctions.
- Hiérarchisation : évaluer l'ordre d'importance des fonctions
- Valorisation : Attribuer à chaque fonction une valeur qui correspond à son importance

L'analyse fonctionnelle s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit existant. Le caractère innovant d'un produit fait que son analyse fonctionnelle soit une expression du besoin. Selon la définition donnée plus haut, cette étape consiste à donner la description fonctionnelle de l'extrudeuse.

A commencer par le diagramme de la bête à corne, Cette méthode est employée pour l'analyse d'un produit existant, mais peut être utilisée dans la reconception du produit. La mise en œuvre comporte les étapes suivantes [5] :

1. Mise en évidence du besoin
2. Recherche des milieux extérieurs (exploitation et adaptation)
3. Détermination des fonctions
4. Apport d'un schéma général de raisonnement

Le diagramme de la bête à corne est un des outils utilisés, 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 ?

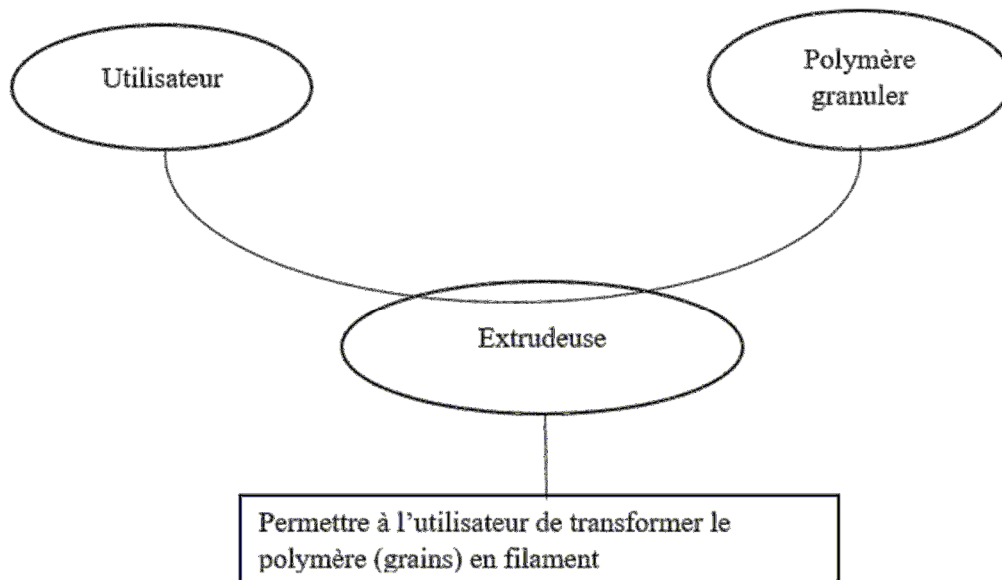


Fig15 : bête à corne d'extrudeuse

On utilise également un schéma la pieuvre (figure 4) qui permet de représenter graphiquement les relations entre le produit et les différentes parties de l'environnement (ME. I). Ces relations sont exprimées en termes de fonctions : la fonction principale (FP) et les fonctions contraintes (FC).

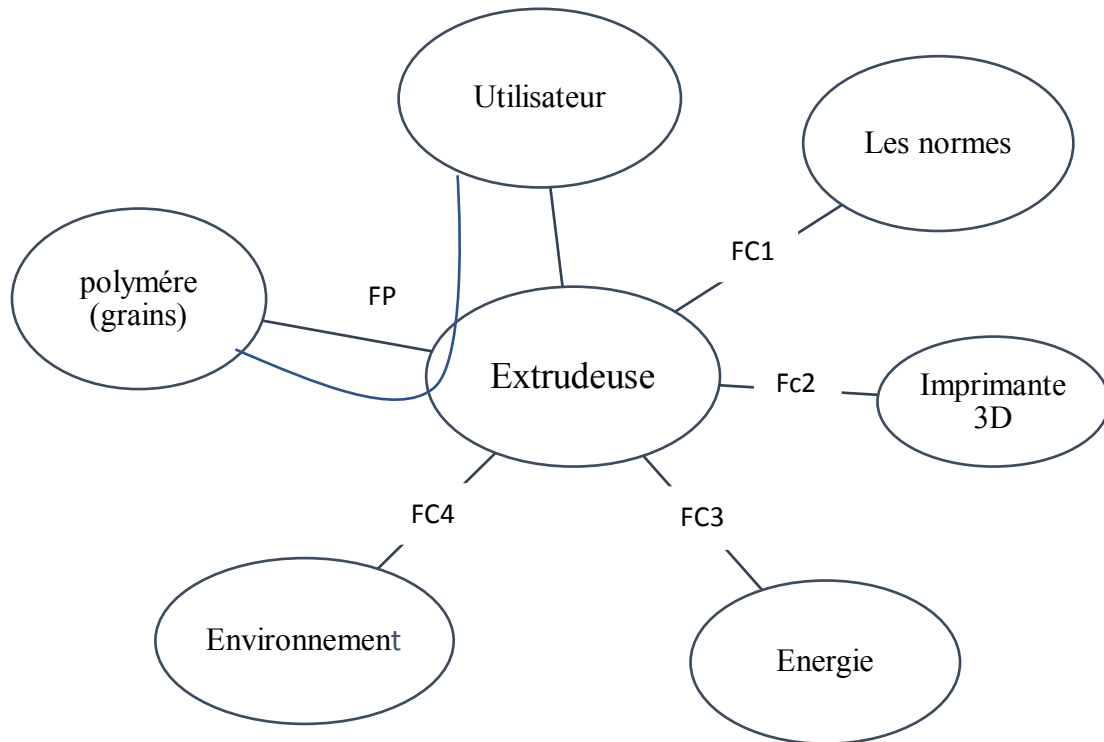


Fig16 : Diagramme de pieuvre

Fp : Permettre l'utilisateur de transformer polymère granuler à filmant.

Fc1 : Respecter les normes

Fc2 : fournir un filament adapté aux imprimantes

Fc3 : s'alimenter en énergie

Fc4 : Résister à l'environnement extérieur.

Le diagramme FAST illustre les fonctions techniques et les solutions technologiques en mesure d'assurer la réalisation de ces fonctions.



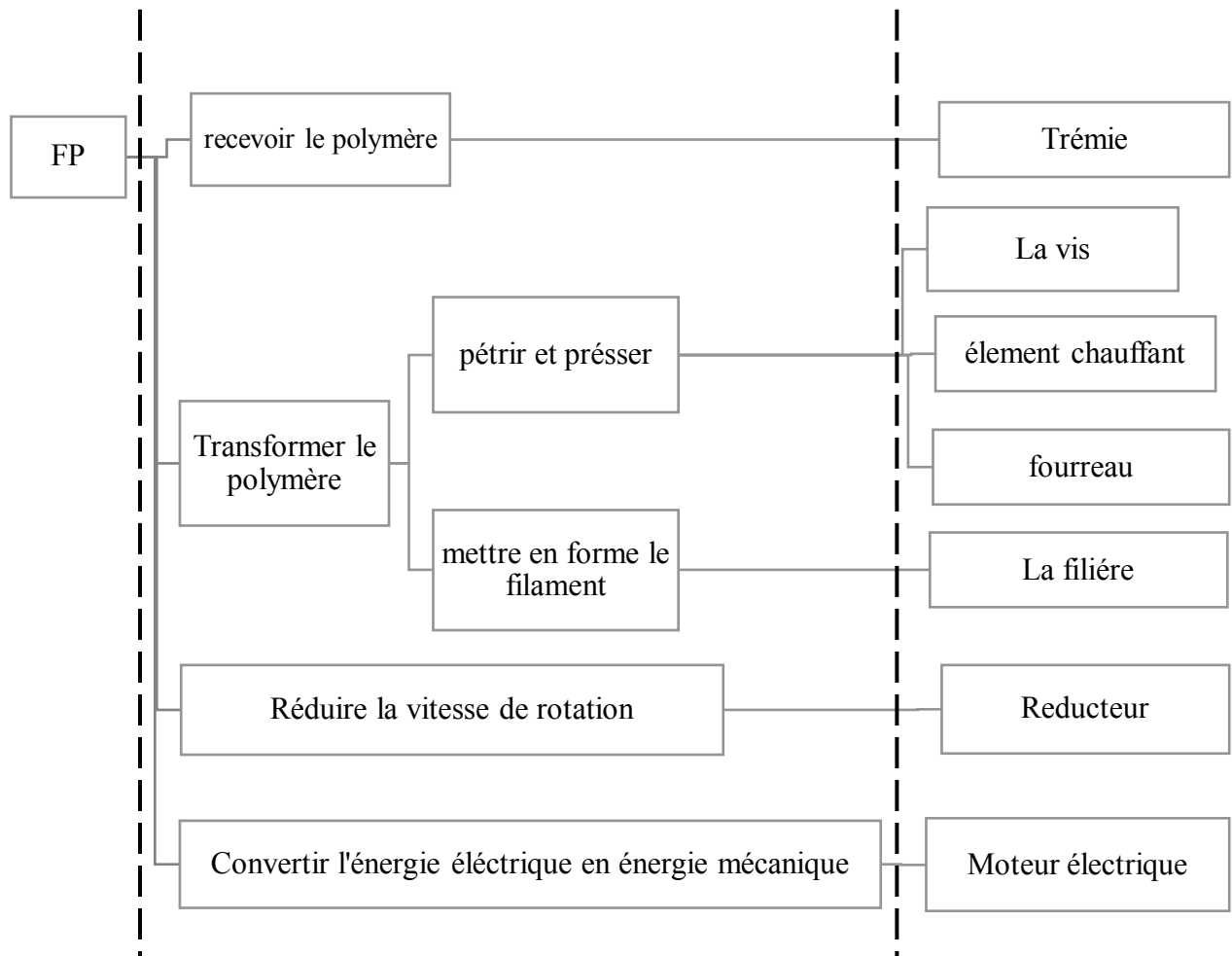


Fig17 : Diagramme FAST

### III.4- Description structurelle du système :

Pour que le polymère puisse franchir la filière placée à l'extrémité de l'extrudeuse, cette dernière doit : convoyer le polymère, le fondre et le mettre en pression. Mais, on cherche toujours à obtenir à la sortie de l'extrudeuse un débit régulier, avec un matériau homogène, à une température donnée, et des conditions de production satisfaisantes (débit maximal, consommation énergétique limitée). Pour cela, la compréhension des mécanismes mis en jeu, ainsi que leur modélisation sont un point capital. On peut distinguer trois zones phénoménologiques [17], figure 20:

- la zone de convoyage solide, dans laquelle le polymère est entièrement solide ;
- la zone de fusion, dans laquelle coexistent du polymère encore solide et du polymère déjà fondu ;
- la zone de pompage, dans laquelle le polymère est totalement fondu. L'énergie nécessaire à

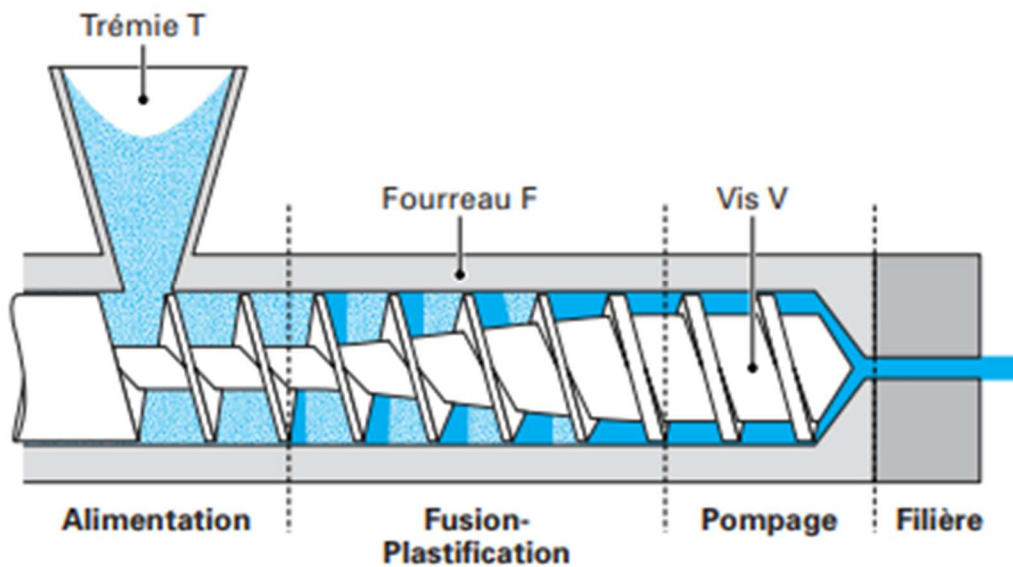


Fig18 : Schéma de l'extrudeuse monovis [17]

La fusion consiste à mettre en pression du polymère nécessite de l'énergie issue de deux sources principales [17]:

- l'énergie mécanique, fournie par la rotation de la vis, qui engendre des déformations au sein d'un milieu très visqueux ;
- l'énergie thermique, fournie par la régulation du fourreau. Le rapport de ces deux termes est ce que l'on appelle le nombre de Brinkman [17]:

$$Br = \frac{\eta v_F^2}{\lambda(T_F - T)}$$

Avec :

$\eta$  (Pa · s) :viscosité,

$v_F$  (m · s<sup>-1</sup>) : vitesse linéaire de la vis au sommet du filet,

$\lambda$  (W · m<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>) : conductivité thermique du polymère,

$T_F$  (°C) : température du fourreau,

$T$  (°C) :température moyenne du polymère

La structure fonctionnelle de l'extrudeuse est développée comme suite, figure

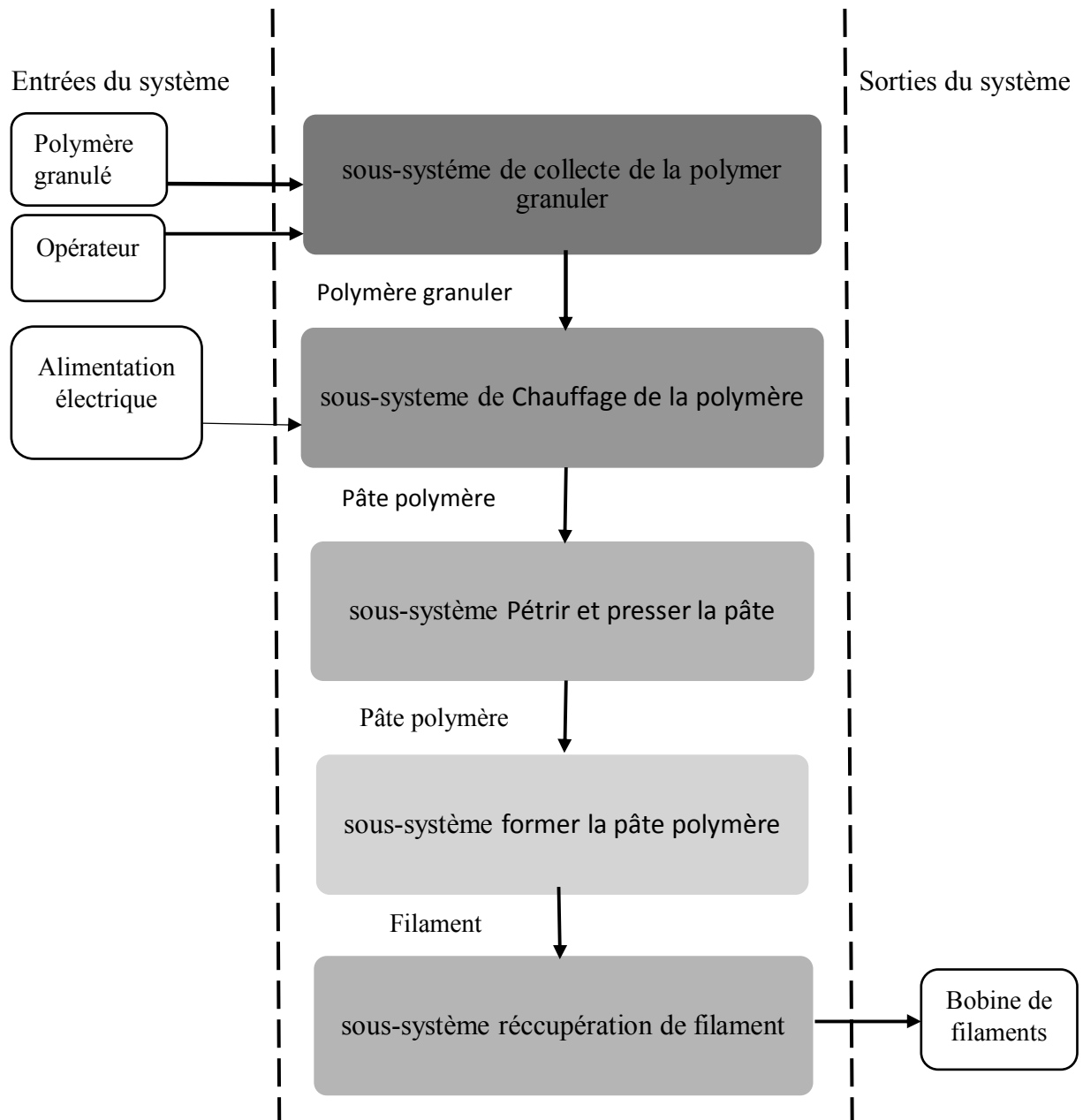


Fig19 : structure fonctionnelle générale de l'extrudeuse illustrant l'interaction des Sous-systèmes

### III.4.1- Le convoyage :

Le convoyage du solide en partant de la zone d'alimentation peut être modélisé à partir d'un certain nombre d'hypothèses, dont les principales sont les suivantes [17] :

- on considère un bloc solide compact, qui avance le long du chenal à la vitesse  $u$ , sous l'effet des forces de frottement qui s'exercent sur le fourreau, les filets de vis et la surface de la vis ;
- le solide est supposé élastique, indéformable, à température constante

### III.4.2- Zone de fusion :

La zone de fusion est une zone clé pour l'ensemble du procédé d'extrusion. C'est à ce niveau que le polymère passe de l'état solide à l'état fondu. Le contrôle du mécanisme de fusion permettra d'obtenir un produit sans infondus, homogène et exempt de dégradation [17].

### III.4.3- La zone de pompage :

La zone de pompage permet de porter le polymère à une pression nécessaire pour assurer l'écoulement dans la filière avec un débit voulu. Si l'on déroule le chenal de la vis et que l'on fait l'hypothèse du fourreau tournant, on obtient un écoulement de cisaillement dans une cavité parallélépipédique de longueur  $Z_p$ , de largeur  $W$  et de hauteur  $H_p$ . La direction du cisaillement fait un angle  $\theta$  avec l'axe du chenal de la vis, figure 23. Dans cette géométrie, on considérera que l'écoulement peut se décomposer en deux écoulements indépendants (ce n'est vrai en toute rigueur que pour des fluides newtoniens) [17] :

- un écoulement transversal, dans un plan perpendiculaire au chenal de la vis ;
- un écoulement longitudinal, le long du chenal, en direction de la filière.

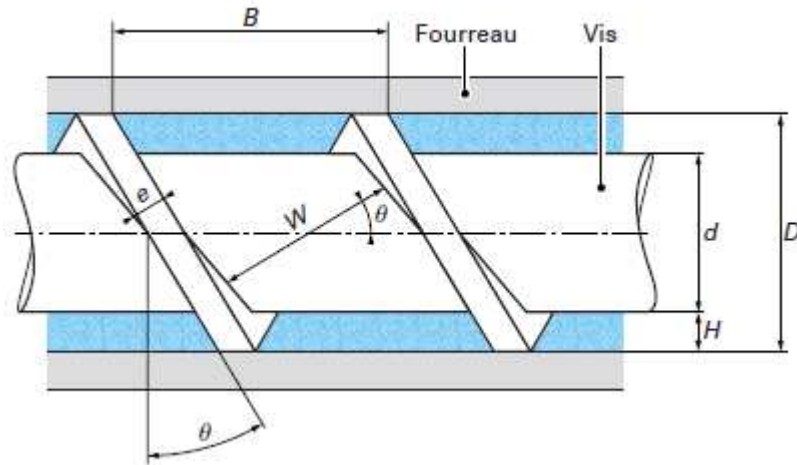


Figure 20: description géométrique de la zone de pompage

### III.5- Etude de la chaîne cinématique de l'extrudeuse :

Les éléments impliqués dans la transmission de la puissance dans l'extrudeuse sont représentés schématiquement dans la figure 24.

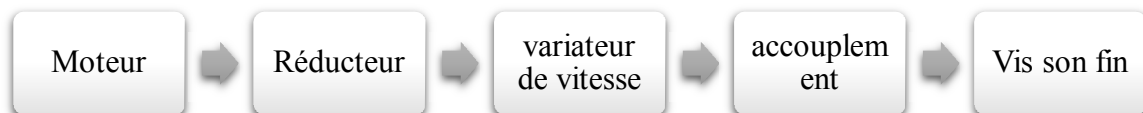


Fig. 21 : chaîne cinématique

Dans le cas d'un moteur électrique avec une vitesse de rotation d'environ 3000 tr/min, il est nécessaire d'utiliser un réducteur de vitesse mécanique afin de réduire le nombre tour à un niveau susceptible d'être adéquat pour l'opération d'extrusion.

Selon la figure 23, la gamme des vitesses de rotation de la vis sans fin est de l'ordre de 30 à 60 Tr/min. De plus, pour avoir plusieurs vitesses de rotation de la vis il est commode d'utiliser un réducteur de vitesse, avec un rapport important de réduction et un variateur de vitesse dont les rapports de réduction seront moins importants.

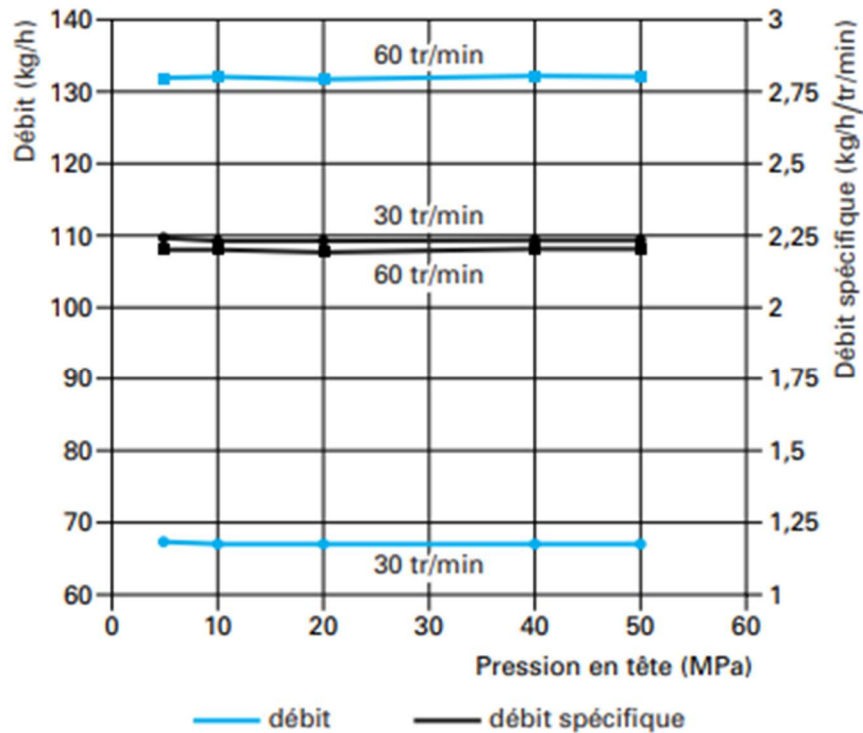


Fig22 : Évolution du débit et du débit spécifique en fonction la pression en tête pour une zone d'alimentation spiralée [17]

Dans le cas d'un réducteur de vitesse à roue et vis sans fin, il est possible d'avoir un rapport important avec un minimum d'encombrement.

Dans le cas d'un moteur avec une vitesse :  $v_{\text{moteur}} = 3000 \text{ tr/min}$

La vitesse de la rotation de la vis :  $v_{\text{vis}} = 60 \text{ tr/min}$

On obtient un rapport de réduction

$$r = \frac{w_s}{w_e} = \frac{6.28}{314} = 0.02$$

Pour un système de roue et vis sans fin :

Avec un nombre de filet pour la vis sans fin :  $Z_v = 2$

$$r = \frac{z_v}{z_R}$$

$$Z_R = \frac{z_v}{r} = \frac{2}{0.02}$$

On obtient le nombre de dents  $Z_R = 100$  dents

Ainsi il est possible, en fonction d'un calcul de résistance de déterminer les dimensions des éléments du réducteur.

En interposant un variateur de vitesse il serait possible de varier la gamme des vitesses de la vis dans un l'intervalle dont le maximum serait  $v_{vis} = 60$  tr/min.

# **Chapiter IV**

## **Conception et réalisation d'une maquette d'extrudeuse**



#### IV.1- Description générale :

Le schéma de principe d'une extrudeuse monovis est présenté (figure 25). Celle-ci comporte une vis sans fin V qui tourne à l'intérieur d'un fourreau cylindrique F, régulé en température par des systèmes de chauffe et de refroidissement. Le polymère sous forme solide (granulés, poudre) est introduit dans la trémie T située à une extrémité de la machine.

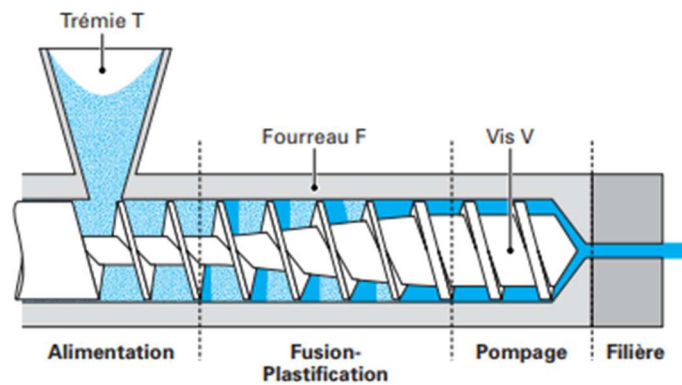


Fig23 : Schéma de l'extrudeuse monovis [17]

#### IV.2- Assemblage (extrudeuse):

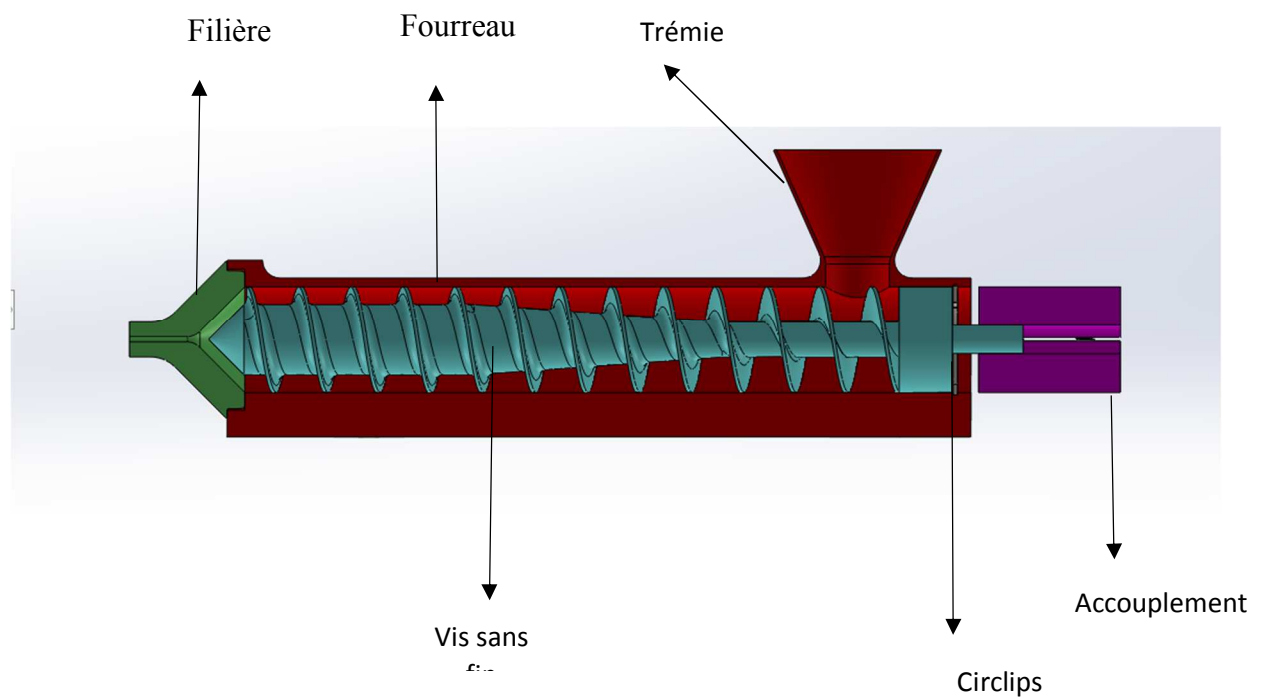


Fig24 : assemblage extrudeuse



Fig25 : extrudeuse miniature fabriquée

➤ **Mise en plan assemblage :**

Permettre de transformer le polymère (grains) en filament

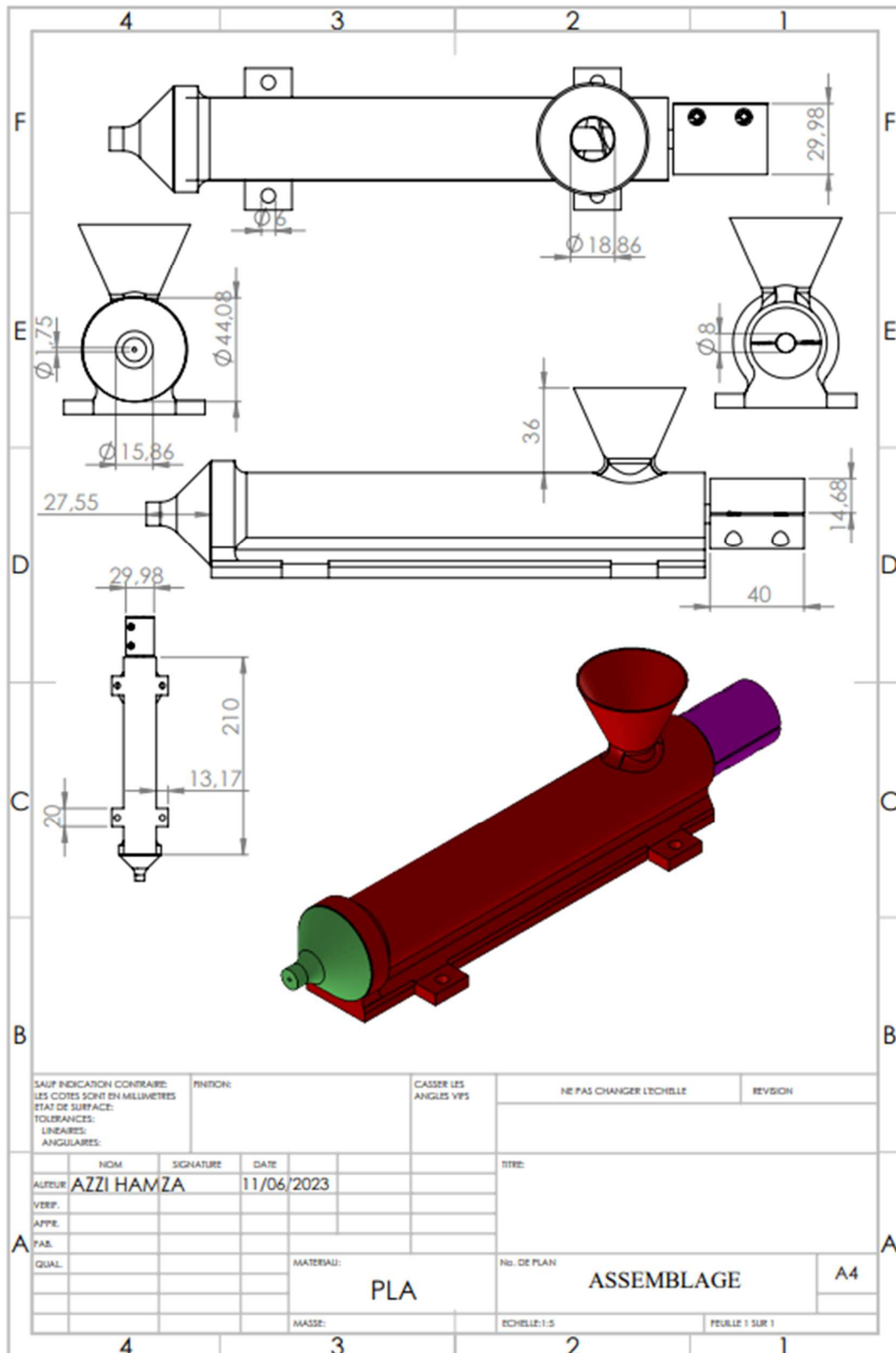


Fig26 : Mise en plan assemblage extrudeuse

➤ **Mise en plan filière :**

la filière et éventuellement le poinçon, qui vont donner la forme voulue au flux de matière

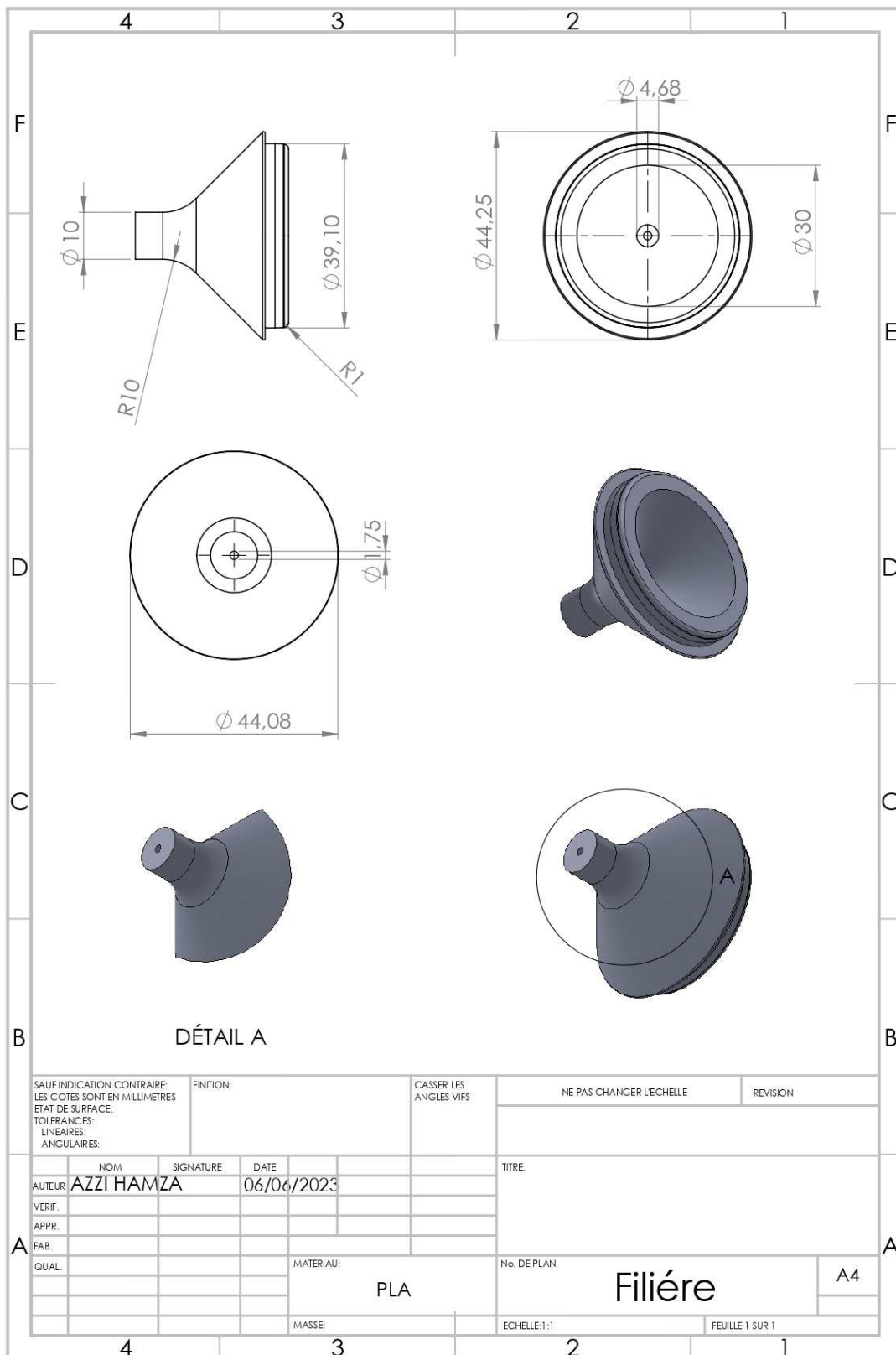


Fig27 : Mise en plan filière

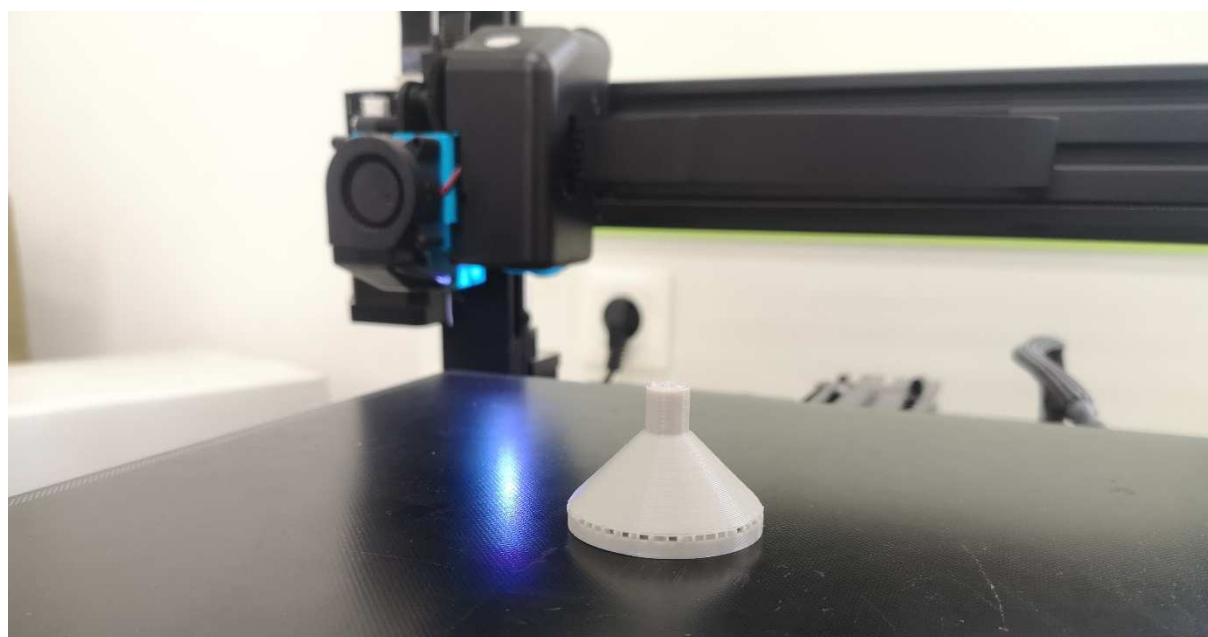


Fig28 : filière

➤ **Mison plan accouplement :**

Assembler l'arbre sortie du réducteur avec la vis pour transformer le mouvement :

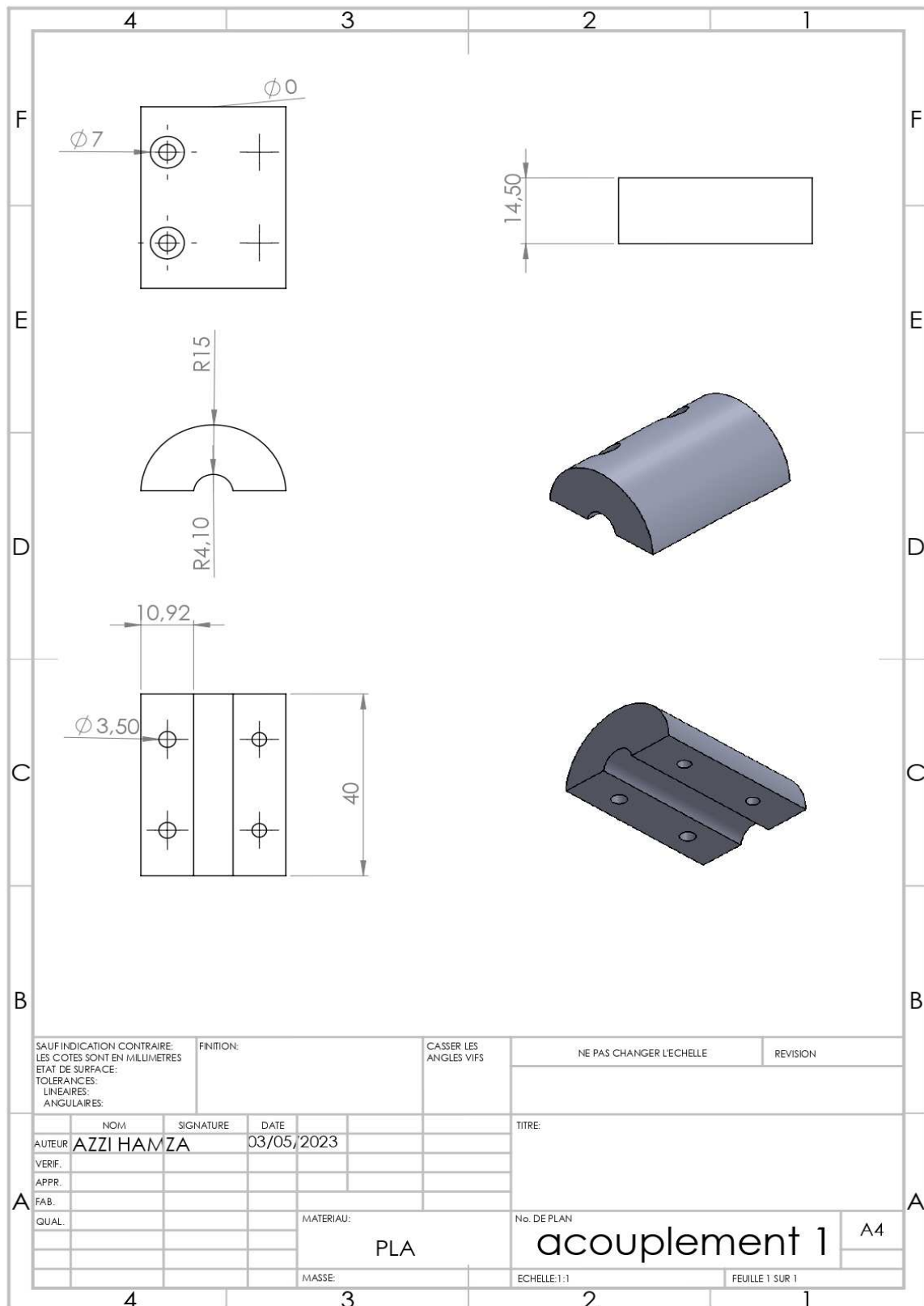


Fig29 : Mise en plan accouplement

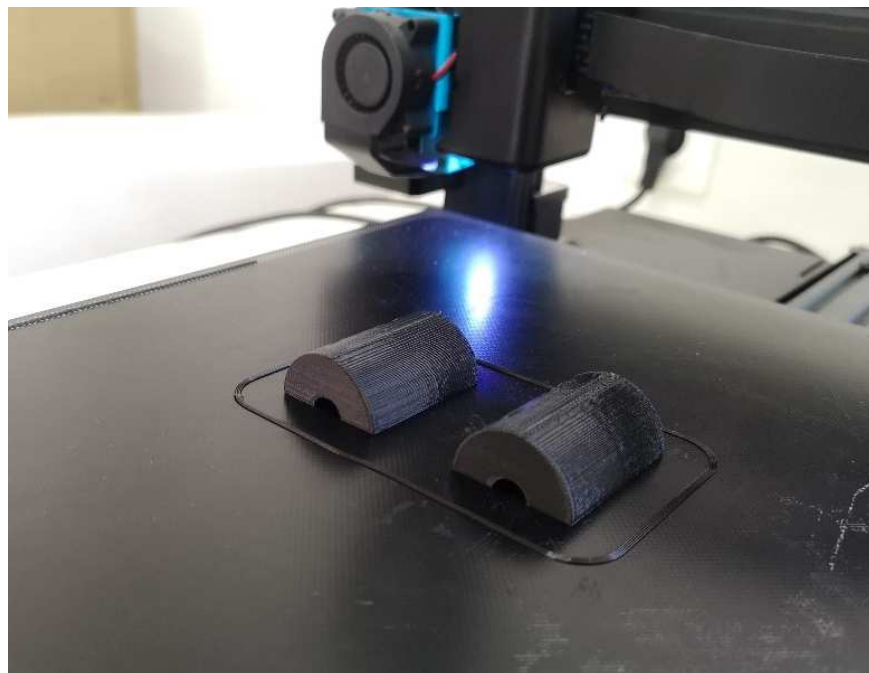


Fig30 : accouplement

### IV.3- Géométrie du système vis/fourreau :

La géométrie de la vis est définie pour permettre au procédé de travailler dans des conditions optimales en fonction du polymère utilisé. Le diamètre du corps de la vis augmente généralement de l'arrière à l'avant de la machine, soit sur toute la longueur, soit sur une partie seulement de la longueur. Dans ce dernier cas, qui est le plus courant, on peut distinguer trois zones géométriques (figure 25) :

- la zone d'alimentation, où la profondeur du chenal est constante ;
- la zone de compression, où la profondeur du chenal diminue progressivement ;
- la zone de pompage, où la profondeur du chenal est à nouveau constante, mais plus faible qu'en alimentation. On trouve parfois dans cette zone de pompage des éléments de mélange.

Ces vis sont conçues pour que la zone de compression s'identifie à la zone de fusion, mais ceci n'est en général pas vérifié pour toutes les conditions opératoires. Les éléments géométriques essentiels de ce système vis- fourreau sont indiqués sur la figure 2. Quatre paramètres suffisent à définir cette géométrie [17] :

- le diamètre intérieur du fourreau :  $D$  ;
- le diamètre du corps, ou diamètre interne, de la vis :  $d$  ;
- le pas de la vis :  $B$  ;
- l'épaisseur du filet :  $e$

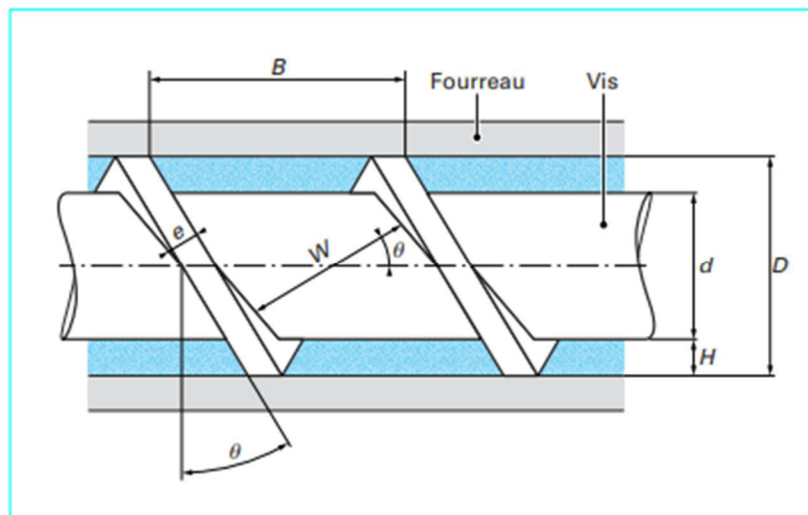


Fig31 : Géométrie du système vis-fourreau [17]



➤ **Mise en plan vis son fin :**

le rôle de la vis dans l'extrudeuse est de transporter, fondre, homogénéiser et extruder Pétrir et presser la pâte les matières plastiques en un flux continu de plastique fondu.

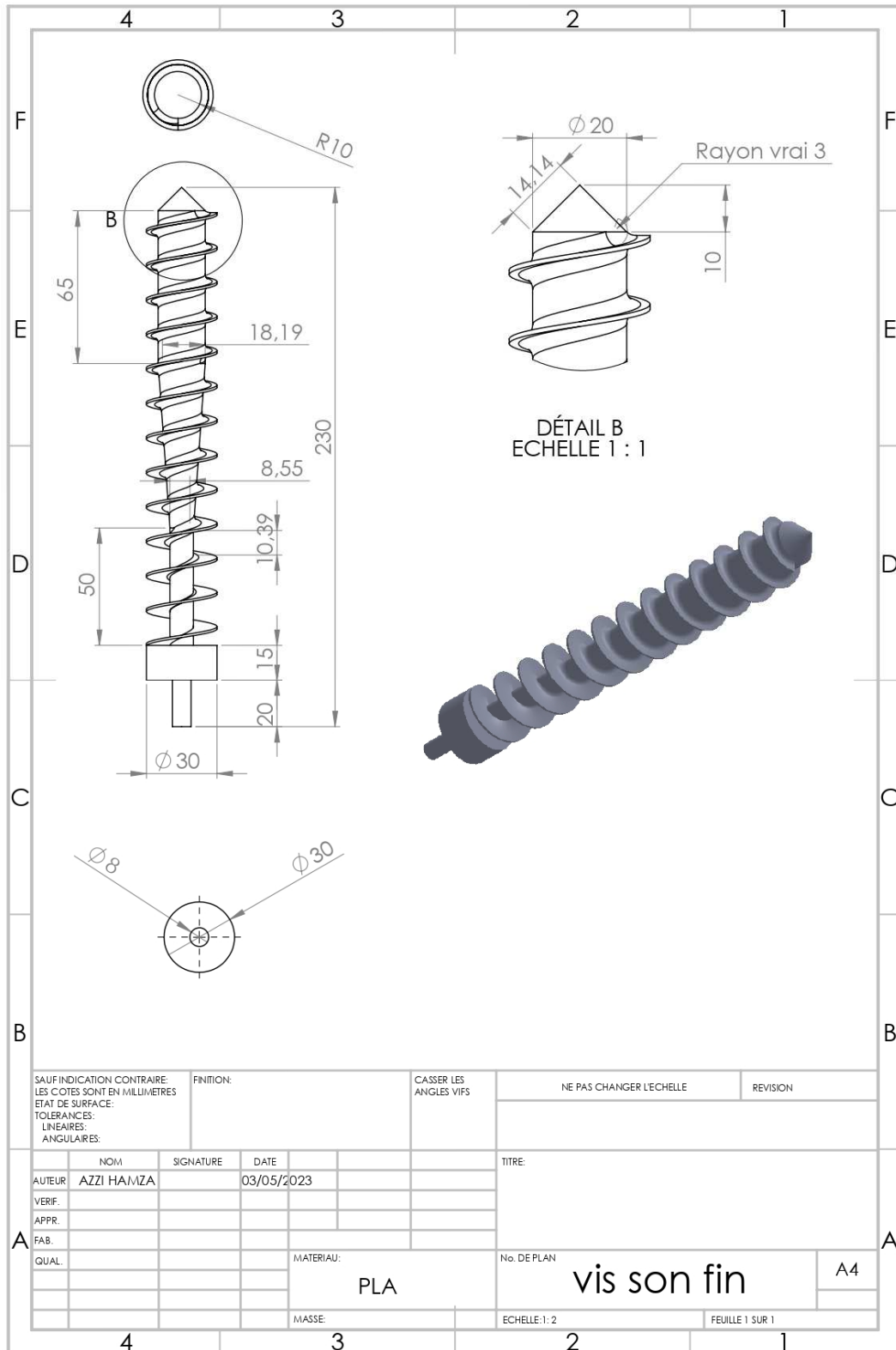


Fig32 : Mise en plan vis son fin

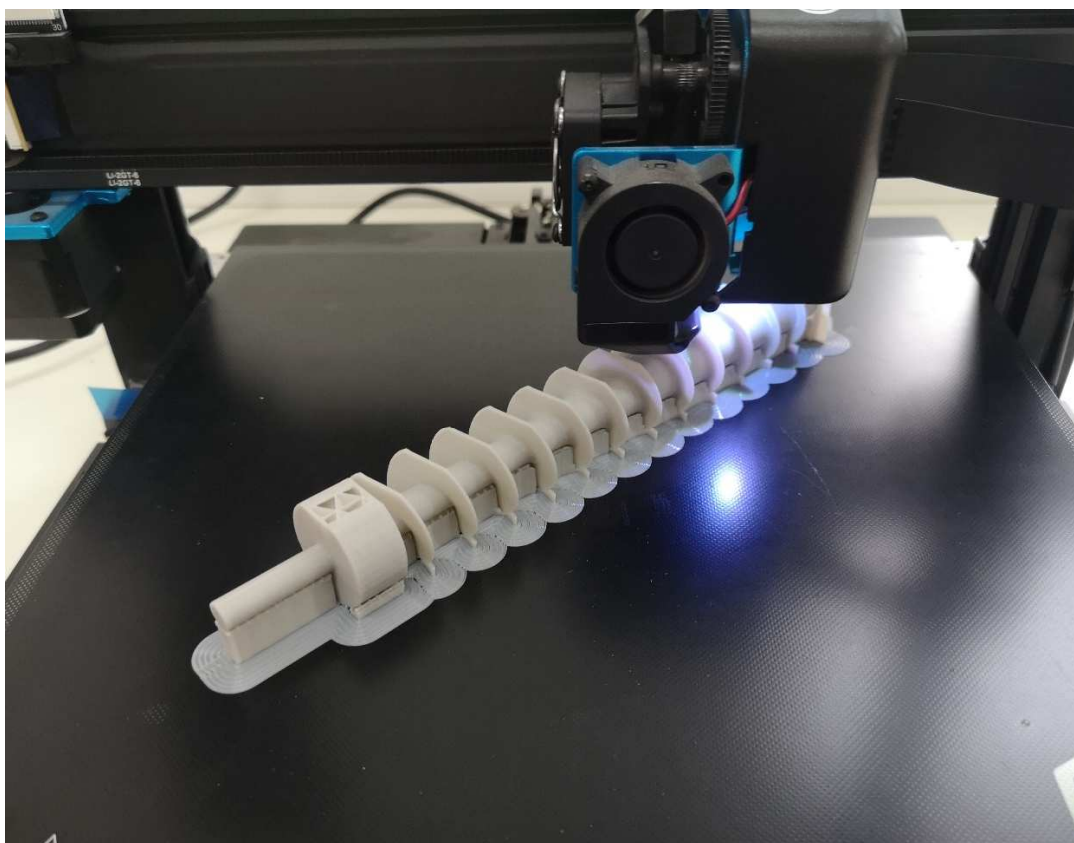


Fig33 : vis son fin

➤ **Fourreau :**

le rôle du cylindre dans l'extrudeuse est de fournir un canal pour les plastiques fondus, de maintenir une pression constante, une température uniforme et de réguler la température des matériaux grâce à des éléments chauffants.

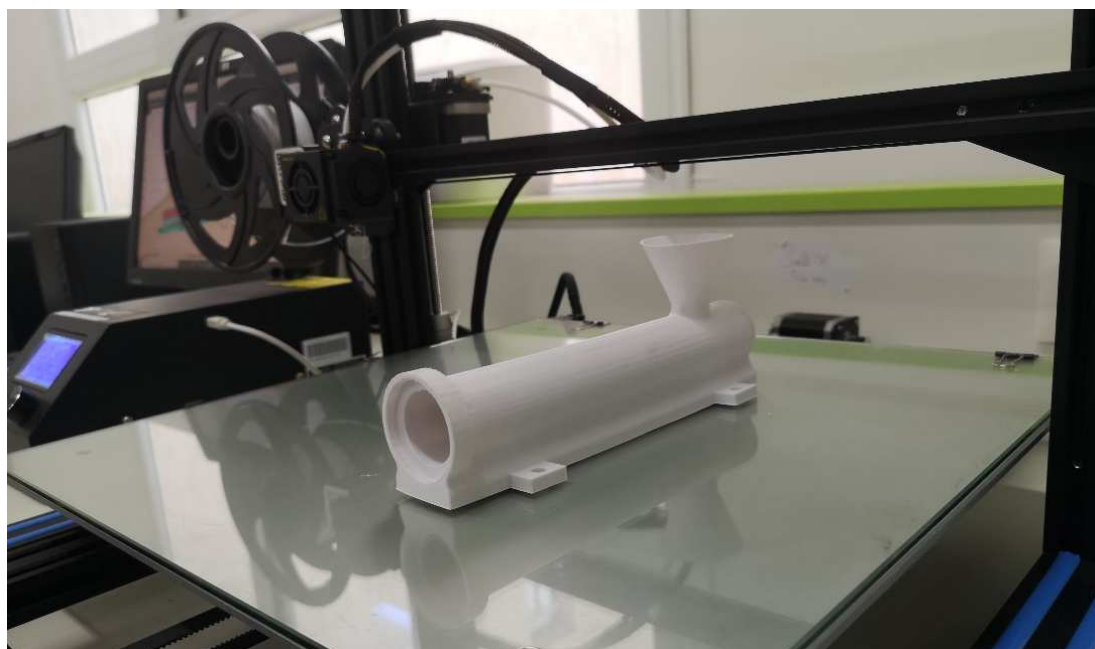
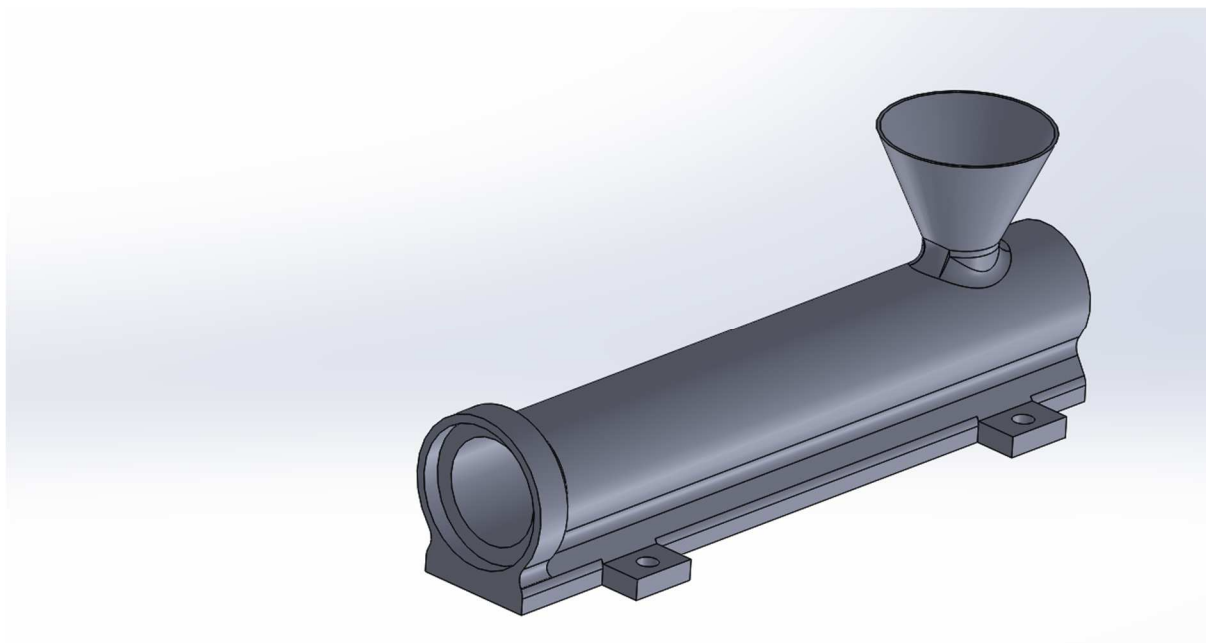


Fig34 : fourreau

➤ Mise en plan fourreau :

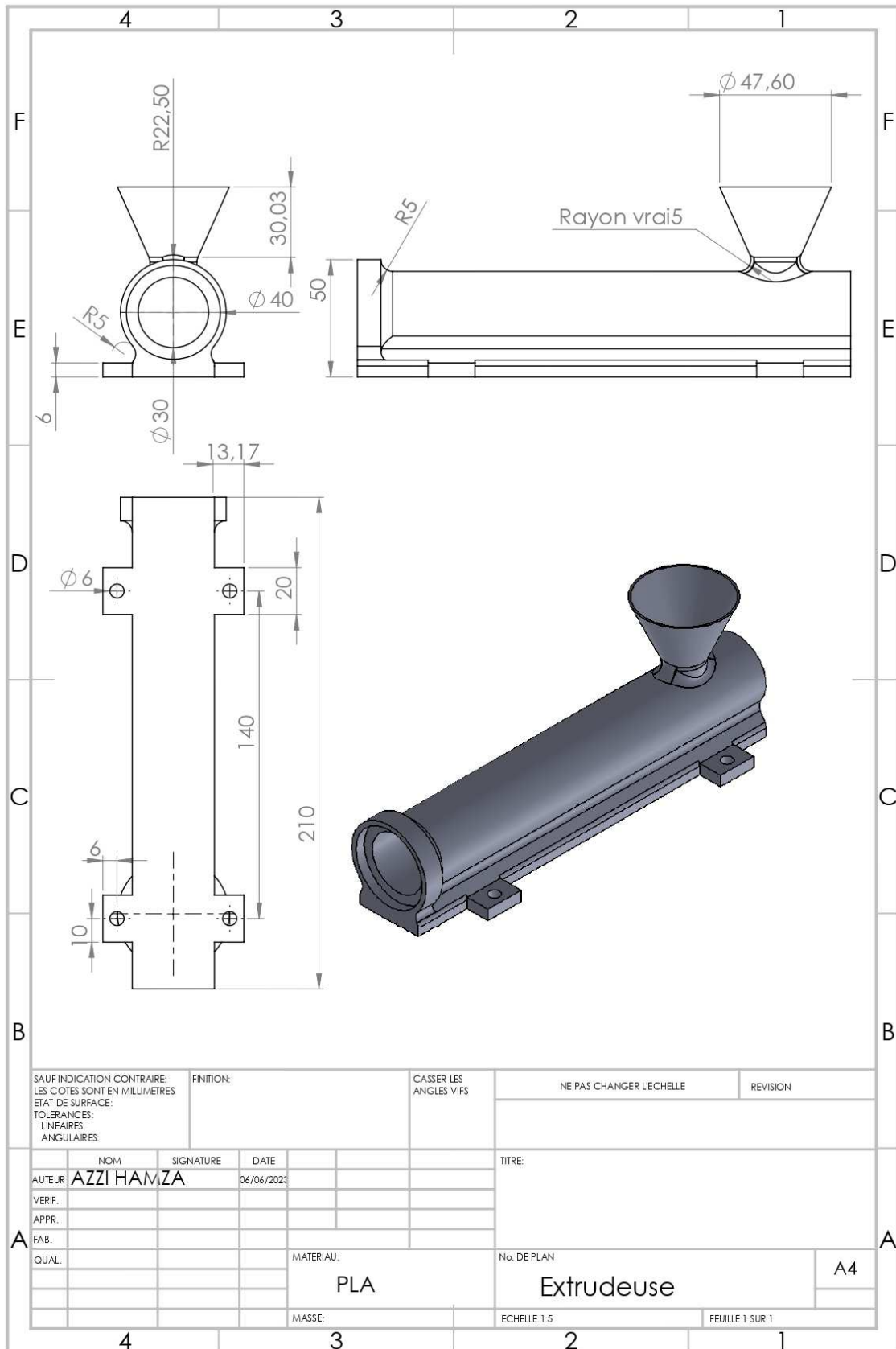


Fig35 : Mise en plan fourreau

# **Conclusion générale**

## **Conclusion :**

Le travail de ce mémoire concerne l'étude de la conception d'une extrudeuse de filament pour l'impression 3D. L'étude bibliographique effectuée a mis en évidence non seulement l'intérêt de ce procédé, mais également, les différents aspects à prendre en compte dans le cadre d'une étude de conception d'une extrudeuse

L'étude de la conception est articulée autour de deux principaux aspects, l'aspect fonctionnel et l'aspect structurel. Dans le premier, une description fonctionnelle a été réalisée pour mettre en évidence les différentes fonctions que l'extrudeuse doit assurer. Quant à l'aspect structurel, il présente une présentation des principaux éléments constitutifs de l'extrudeuse.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement des principaux éléments de l'extrudeuse, une maquette a été réalisée par impression 3D. Cette dernière a mis en évidence une représentation susceptible de subir des améliorations et des modifications constructives du système.

## Références bibliographiques :

- [1] Adnene SAKLY " Fabrication additive de pièces à base d'alliages métalliques complexes ", thèse université de Lorraine, 2013
- [2] : MATÉRIAUX 2014 24-28 nov. "Montpellier RECUEIL DES RÉSUMÉS Colloques 01 à 20", www. Matériaux 2014.net.
- [3] : Fabrication additive. Mobiliser les forces françaises, Paris, Presses des Mines, Les Docs de La Fabrique, 2016
- [4] : Fabrication additive : le cap de l'industrialisation, Livre Blanc Manufacturing.fr 05/2017
- [5] Alex parent " Développement d'un système de fabrication additive hybride par mise en fusion d'un filament d'aluminium grâce au chauffage par induction ", 2019
- [6] Michel Berçot " fabrication additive ", <https://eduscol.education.fr>, décembre 2018
- [7]: Tuan D, Alirez a, Gabriele "additive manufacturing (3D printing): Areview of materials, methods, application and challenge" le 2018
- [8] : Veille et prospective "Technologie LA FABRICATION ADDITIVE UN EEMPLIMENT DE RISQUE ?", Hygiène et sécurité du travail – n °233- décembre 2013
- [9] : Fabrication additive. Mobiliser les forces françaises, Paris, Presses des Mines, Les Docs de La Fabrique, 2016
- [10] Veille et prospective " Technologie LA FABRICATION ADDITIVE UN EEMPLIMENT DE RISQUE ?", Hygiène et sécurité du travail – n °233- décembre 2013
- [11] : Les document de la fabrique "fabrication additive mobilise les forces françaises" charles-pierre astalfi emmanuel constantin, antoine moulte
- [12] Mathilde Berchon, Bertier Luyt "L'impression 3D 2eme édition " France 5 mai 2014
- [13] : Michel Biron "Aide-mémoire Transformation des matières plastiques" Paris, 2010
- [14] : Rudy Koopmans, revue technique d'ingénieur, AM3657.
- [15] Marc Carrega "Aide-mémoire Matières plastiques" Paris, 2007
- [16] : Niegen S, Technologie de l'extrusion, Appareillages, Procédés défauts d'extrusion, L'usine nouvelle, Dunond, Paris, 2006.
- [17] : Maurice postel et francis durieux "Techniques de l'ingenieur " paris, 1996
- [18] : Alexandre Piaget " Maitre de la qualité en fabrication additive ", thèse, université de Grenoble aples, 2019