

**Republique algerienne democratique et populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Kasdi Merbah Ouargla**  
**Faculté des Sciences Appliquées**  
**Département de Génie Mécanique**

**Année 2023/2024**

**N° d'enregistrement :**  
**004/2024/**



**THESE**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel**  
**Fabrication Mécanique et Productique**

**Etude et conception d'un Imprimante 3D**

**Présente et soutenue publiquement par :**

Douma Hicham

Farouk kounti

**Le 09/06/2024**

**Devante le jury compose de:**

Dr. Kbailia moussa	(UKM Ouargla)	Président de jury
Dr. Gherfi abdel hafide	(UKM Ouargla)	Examineur
Dr. Bentaleb Fayçal	(UKM Ouargla)	Encadreur





## REMERCIEMENTS

C'est à Dieu, que nous adressons toute notre gratitude en premier lieu.

Nos remerciements, les plus vifs, et nos respects s'adressent à notre promoteur Monsieur Bentaleb, pour avoir accepté de nous encadrer, afin de mener à bien cette étude, et pour les orientations et conseils tant précieux qui nous ont guidés durant ce mémoire.

Nos remerciements vont également au président et à l'examineur qui ont consentis à juger notre travail,

Nous ne remercierons jamais assez nos chères familles pour nous avoir toujours encouragés et nous avoir enseigné le goût du savoir et de l'ambition.

Nous remercierons aussi l'ensemble de la famille enseignante pour nous avoir formé durant toutes ces années et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.



## Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents bien aimés.

A mes sœurs et mon frère.

A toute ma famille.

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis.

A toute la promotion 2023/2024

A tous ceux qui me connaissent

Hicham



## Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents bien aimés.

A mes sœurs et mon frère.

A toute ma famille.

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis.

A toute la promotion 2023/2024

A tous ceux qui me connaissent

Farouk

## Sommaire

I.	Introduction générale :	2
II.	Chapitre I	4
II.1	Introduction :	4
II.2	Historique :	4
II.3	Procédés d'impressions :	6
II.3.1	Stéréolithographie :	6
II.3.2	Le dépôt de filament fondu :	7
II.3.3	Le frittage sélectif par laser :	8
II.3.4	Le procédé Poly Jet :	8
II.3.5	Le procédé DLP :	9
II.4	Matériaux d'impression :	10
II.4.1	Les polymères :	10
II.4.2	Les matériaux composites :	13
II.4.3	Autres matériaux :	14
II.5	Technologies de l'imprimante 3D :	17
II.5.1	Impression à base de thermoplastiques et de composites :	17
II.5.2	Impression à base de résines :	17
II.5.3	Impressions à base de métaux :	18
II.5.4	Impression 3D en couleur :	18
II.6	Les applications d'un imprimant 3D :	18
II.6.1	Domaine industriel :	18
II.6.2	Domaine de médecine :	19
II.6.3	Le prototypage rapide :	20
II.6.4	Domaine de génie civil :	21
II.7	Conclusion :	21

## Sommaire

---

III.	Chapiter II.....	23
III.1	Introduction : .....	23
III.2	Cahier de charge : .....	23
III.3	Les composants d'une imprimante 3D : .....	23
III.3.1	L'extrudeuse : .....	24
III.3.2	Système de guidage : .....	27
III.3.3	Système de transmission : .....	28
III.3.4	Système de fixation : .....	29
III.3.5	Système de commande : .....	29
III.3.6	La partie électronique : .....	31
III.4	Justification du choix des pièces .....	33
III.5	Justification du choix des matériaux : .....	38
III.5.1	Alliage d'aluminium 6060 T <sub>5</sub> : .....	40
III.5.2	Acier inoxydable recuit 201 : .....	39
III.5.3	L'alliage d'aluminium 1060 : .....	40
III.5.4	PBT à usage général : .....	40
III.5.5	Bronze d'aluminium : .....	40
III.5.6	Le balsa : .....	40
III.5.7	Le caoutchouc : .....	40
III.5.8	AISI 1010 barre d'acier laminée à chaud : .....	40
III.6	Conclusion : .....	40
IV.	Chapitre III.....	43
IV.1	Introduction .....	43
IV.2	Définition.....	43
IV.3	Détermination des masses : .....	43
IV.4	Théories et applications numériques : .....	44
IV.4.1	Calcul de la flèche et du moment fléchissant maximal : .....	44

## Sommaire

---

IV.5	Résultats : .....	49
IV.6	Conclusion : .....	49
V.	Conclusion général : .....	51

## Liste des figures

<b>Liste des figures</b>	<b>page</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur l'imprimante 3D</b>	
<b>Figure I.1</b> : Procédé de Stéréolithographie.	7
<b>Figure I.2</b> : Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D FFF (Fused Filament Fabrication).	7
<b>Figure I.3</b> : Procédé de Le frittage sélectif par laser	8
<b>Figure I.4</b> : Procédé Poly Jet.	9
<b>Figure I.5</b> : Procédé de DLP.	10
<b>Figure I.6</b> : Exemples d'objet en PET.	10
<b>Figure I.7</b> : Exemple d'objet en PP.	11
<b>Figure I.8</b> : Exemples d'objet en ABS	12
<b>Figure I.9</b> : Exemples d'objet en PLA.	12
<b>Figure I.10</b> : Exemple d'objet en polyamide.	13
<b>Figure I.11</b> : Des yeux artificiels imprimés en 3D.	13
<b>Figure I.12</b> : Exemples d'objet en alumide.	14
<b>Figure I.13</b> : Exemples d'objet en aluminium.	15
<b>Figure I.14</b> : Exemple d'objet en céramique.	15
<b>Figure I.15</b> : Exemple d'objet en sable.	16
<b>Figure I.16</b> : Exemple d'objet en bois.	16
<b>Figure 1.17</b> : Fabrication des pièces avec impression 3D.	19
<b>Figure I.18</b> : Exemple d'implants dentaires fabriqués par imprimante 3D.	19
<b>Figure 1.19</b> : Exemple de prothèse.	20
<b>Figure I.20</b> : exemple d'objet complexe produit par prototypage rapide.	20
<b>Figure I.21</b> : Le musée Ordos et le Guangzhou Dayi Village.	21
<b>Chapitre II : Etude et conception</b>	
<b>Figure II.1</b> : Schéma d'une imprimante 3D à dépôt de filament fondu.	24
<b>Figure II.2</b> : Les composantes de l'extrudeuse.	25
<b>Figure II.3</b> : Les schématisations de la buse.	26
<b>Figure II.4</b> : Glissières	28
<b>Figure II.5</b> : Courroies dentée.	28

## Liste des figures

---

<b>Figure II.6</b> : Tige fileté	29
<b>Figure II.7</b> : Vis de fixation	29
<b>Figure II.8</b> : Moteur pas à pas.	31
<b>Figure II.9</b> : Marlin firmware	32
<b>Figure II.10</b> : La poutre	33
<b>Figure II.11</b> : Le châssis	33
<b>Figure II.12</b> : La Pièce écrou	34
<b>Figure II.13</b> : Coupleur	34
<b>Figure II.14</b> : arbre fileté	35
<b>Figure II.15</b> : Les tables	36
<b>Figure II.16</b> : Porte moteur	36
<b>Figure II.17</b> : Porte moteur horizontal	37
<b>Figure II.18</b> : Porte poulie de courroie	37
<b>Figure II.19</b> : Glissière	38
<b>Figure II.20</b> : l'imprimante 3D	38
<b>Chapiter III : Calculs analytique.</b>	
<b>Figure III.1</b> : Imprimante 3D	43
<b>Figure III.2</b> : Poutre encastree-encastree	44
<b>Figure III.3</b> : Glissières sur l'axe Y	46
<b>Figure III.4</b> : Glissières sur l'axe X	47

## Liste des tableaux

---

<b>Liste des tableaux</b>	<b>page</b>
<b>Chapitre II : Etude et conception.</b>	
<b>Tableau II.1</b> : Dimensions du châssis.	33
<b>Tableau II.2</b> : Dimensions du la pièce écrou.	34
<b>Tableau II.3</b> : Dimensions du coupleur	35
<b>Tableau II.4</b> : Dimensions de l'arbre fileté.	35
<b>Tableau II.5</b> : Dimensions des tables.	36
<b>Tableau II.6</b> : Dimensions de la porte moteur.	36
<b>Tableau II.7</b> : Dimensions de la porte moteur horizontal.	37
<b>Tableau II.8</b> : Dimensions de la porte poulie de courroie.	37
<b>Tableau II.9</b> : Dimensions de la glissière.	38
<b>Tableau II.10</b> : Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux.	39
<b>Chapiter III : Calculs analytique.</b>	
<b>Tableau III.1</b> : Les masses des composants de l'imprimante 3D.	44

## Liste des abréviations

---

3D : 3 Dimensions.  
SLA : Stéréolithographie  
FDM : Fused Déposition Modeling.  
SLS : Selective Laser Sintering.  
LAM : Laser Additive Manufacturing.  
MIT : Massachusetts Institute of Technology.  
stl : format du fichier 3D  
PLA : Poly Lactique Acide.  
DLP : Digital Light Processing.  
ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène.  
CSC : Computer Sciences Corporation.  
R-D : Recherche et Développement.  
CAO : Conception Assistée par Ordinateur.  
CAD : Computer Aided Design.  
UV : Ultraviolet.  
CNC : Computer Numerical Control.  
NASA : National Aeronautics and Space Administration.  
CNRS : Centre national de la recherche scientifique  
LEGO : marque de jouets  
 $M_f$  : Moment fléchissant [N.mm]  
 $M_{f_{max}}$  : Moment fléchissant maximal [N.mm]  
 $I$  : Moment quadratique [mm<sup>4</sup>]  
 $Y_{AC}$  : Flèche au point AC [mm]  
 $Y'_{AC}$  : Première intégration de la flèche [mm]  
 $Y''_{AC}$  : Deuxième intégration de la flèche [mm]  
 $R_A$  : Réaction au point A [N]  
 $R_B$  : Réaction au point B [N]  
 $P$  : Poids [N]  
 $L$  : Longueur [mm]  
 $C_1$  : Constante 1  
 $C_2$  : Constante 2  
 $g$  : La gravité [N/Kg]  
 $m$  : La masse [Kg]

## Liste des abréviations

---

d : Le diamètre [mm]

$R_{pe}$  : Résistance pratique à l'extension [ $N/mm^2$ ]

$R_e$  : Résistance à l'élasticité [ $N/mm^2$ ]

$F_s$  : Coefficient de sécurité

$\sigma_f$  : Contrainte de flexion [ $N/mm^2$ ]

$W_f$  : Module de flexion [ $mm^3$ ]

## **Abstract:**

The 3D printer is a machine capable of creating objects in three dimensions using materials like plastic, ABS, PLA, and metal.

This research is a simulation of a 3D printer. 3D printing is very important in the educational field for the creation of models, mechanical parts, etc., and also in the industrial field, especially for rapid prototyping.

## **Résumé:**

La imprimante 3D est une machine capable de créer des objets en trois dimensions en utilisant des matériaux comme le plastique, l'ABS, le PLA et le métal.

Cette recherche est une simulation d'une imprimante 3D. L'impression 3D est très importante dans le domaine éducatif pour la réalisation de maquettes, de pièces mécaniques, etc., et également dans le domaine industriel, notamment pour les prototypes rapides.

Mot clé : Imprimante3d,FDM,Extrusion,CAO,FAO,PLA,ABS,G-code,Slic3R,Cu

## **المخلص:**

الطابعة ثلاثية الأبعاد هي آلة قادرة على صنع أشياء في ثلاثة أبعاد باستخدام مواد مثل البلاستيك، ABS، PLA، والمعدن .

هذا البحث هو محاكاة لطابعة ثلاثية الأبعاد . تعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد مهمة جداً في المجال التعليمي مثل تحقيق النماذج، القطع الميكانيكية، إلخ، وأيضاً في المجال الصناعي خاصة في النماذج الأولية السريعة.

# *Introduction Générale*

## Introduction générale

---

### **Introduction générale :**

Les progrès de l'impression ont été essentiels pour façonner les secteurs industriels et administratifs. Pourtant, ces avancées ne se sont pas arrêtées là, ouvrant ainsi la voie à une ère totalement nouvelle : l'impression 3D.

Aujourd'hui, il est possible de créer une multitude d'objets et d'équipements dans une gamme variée de matériaux directement depuis son domicile ou son lieu de travail. Grâce à un ordinateur personnel ou professionnel, on peut concevoir une représentation numérique de ces objets ou simplement télécharger des fichiers de leurs modèles 3D en ligne. Ensuite, en envoyant ce fichier numérique à une imprimante 3D connectée à l'ordinateur, on peut voir l'objet se matérialiser sous nos yeux.

L'objectif de ce travail consiste à étudier et concevoir une imprimante 3D, et il se divise en trois chapitres :

Le premier chapitre traite des généralités et des définitions relatives aux imprimantes 3D.

Le deuxième chapitre présente les différentes solutions retenues pour la conception de notre machine, en détaillant les pièces utilisées, le choix des formes et des matériaux, l'assemblage final.

Le troisième chapitre aborde la méthode de calcul de la résistance de certains éléments spécifiques à la flexion.

Enfin, nous concluons par une conclusion générale.

*Chapitre I :*  
*Généralités sur*  
*l'imprimante 3D*

## I.1 Introduction :

L'imprimante 3D est une machine dont on entend de plus en plus parler au quotidien et qui est sur le point d'envahir l'industrie traditionnelle, elle représente une révolution industrielle mondiale, et L'objectif des imprimantes 3d c'est la flexibilité de production et la rapidité de la transformation des nouvelles idées, dans ce chapitre on va voir la définition, l'historique, les différents types et le domaine d'application de l'imprimante 3D. [1]

## I.2 Historique :

En 1984, l'Américain Charles Hull invente la stéréolithographie. Mais l'impression 3D tient ses origines depuis plus longtemps, voici un voyage à travers l'histoire :

- **1860** : Un photographe Français, qui était aussi sculpteur, François Willème, partisan de l'art industriel, met au point une méthode combinant la photographie et la sculpture pour reproduire le réel. Sa méthode de photosculture saisit un objet en 3 dimensions à l'aide de photos prises autour de l'objet.
- **De 1863 à 1869** : Les Parisiens ont pu s'offrir, grâce à la Société générale de photosculture, leur buste sculpté en un temps record pour un prix record.
- **1892** : Blantier propose une méthode de stratification de la production de cartes topographiques.
- **1972** : Mastubara de Mitsubishi Motors propose que les matériaux photo durcis (photopolymères) soient utilisés pour produire des pièces en couches.
- **1981** : Hideo Kodama, de L'Institut de recherche industrielle de Nagoya publia le premier rapport sur un système de travail de prototypage rapide à l'aide de photopolymère. Un modèle a été construit couche par couche, chacune d'elles correspondaient à une tranche en coupe transversale dans le modèle.
- **1982** : C'est une équipe composée d'Alain Le Méhauté (Alcatel), Olivier de Wiite (Cilas) et de Jean-Claude André (CNRS) qui a breveté le principe de l'impression 3D dès 1984. Le premier brevet déposé date du 16 juillet 1984, trois semaines avant le brevet américain mais Alcatel et Cilas abandonneront rapidement ce brevet faute d'identifier un avenir à cette invention.
- **1984** : Charles Hull, (fondateur de 3D Systems) invente la (SLA) qui est breveté en 1987. La technologie permet de choisir un modèle 3D et d'utiliser un laser pour le graver dans un liquide spécial (photopolymère).
- **1991** : Stratasys produit la première machine FDM au monde. Cette technologie utilise le plastique et une extrudeuse pour déposer des couches sur un lit d'impression.

- **1992** : 3D Systems produit sa première machine d'impression 3D SLA.
- **1992** : DTM produit la première machine SLS. Cette machine est similaire à la technologie SLA mais utilise une poudre (et laser) au lieu d'un liquide. Ces technologies étaient à leurs balbutiements et ne sont pas parfaites ; il y avait une déformation dans le matériau lorsqu'il durcissait, et les machines avaient un coût prohibitif pour les inventeurs, mais leur potentiel était indéniable. Des décennies plus tard, ce potentiel est encore en cours.
- **1994** : Le professeur Emmanuel Sachs, du Massachusetts Institute of Technology, à Boston, utilise des têtes d'imprimante projetant de la cire chaude (plutôt que de l'encre) sur une poudre très fine. A chaque passage, la tête d'impression dépose localement des gouttelettes de cire qui agglomèrent les grains pour former des couches successives jusqu'à créer un objet rigide, en 3D.
- **1997** : Aeromet invente la technologie LAM, processus révolutionnaire pour l'impression directe de pièces en titane en trois dimensions sans l'utilisation de moules ou de matrices.
- **1999** : Des scientifiques parviennent à développer des organes à partir de cellules de patients et utiliser un échafaudage 3D imprimé pour les soutenir. Le premier organe imprimé en 3D, une vessie humaine, a été implanté chez l'homme.
- **2000** : La première imprimante 3D jet d'encre, et la première imprimante 3D multicolore faite par Z Corp.
- **2001** : La première imprimante de bureau 3D réalisée par Solidimension.
- **2002** : Un rein miniature imprimé en 3D. Les scientifiques visent à produire des organes en taille réel.
- **2005** : Le projet Reprap est fondé par le Dr Adrian Bowyer à l'Université de Bath. Le projet a été conçu comme une démocratisation de la technologie d'impression 3D.
- **2008** : La Reprap Darwin est la première imprimante 3D en mesure de produire un grand nombre de ses propres pièces :
  - ✓ Le premier matériau biocompatible FDM produit par Stratasys.
  - ✓ La première prothèse de jambe 3D est produite.
  - ✓ Thingiverse lance un site Web pour partager des fichiers 3D librement.
- **2009** : Maker Bot a frappé un grand coup en fournissant des kits de bricolage open source pour les particuliers désireux de construire leurs propres imprimantes 3D et ainsi ouvrir l'impression 3D à un public plus large, et Organovo commercialise la première bio-imprimante 3D.

- **2011** : La première voiture 3D imprimée (Urbee par Kor Ecologic).
- **2012** : La première mâchoire imprimée en 3D en Hollande par Layer Wise.
- **2013** : Cody Wilson de Defense Distributed est invité à retirer du web ses designs permettant d'imprimer le premier pistolet 3D fonctionnel au monde, et Louis De Rosa invente un stylo d'impression 3D.
- **2014** : La NASA envoie dans l'espace la première imprimante 3D qui défie la pesanteur.  
[2]

### **I.3 Procédés d'impressions :**

L'impression 3D est en passe de s'imposer comme le nouveau moyen de création d'objets.

Aujourd'hui, pour produire ces objets de façon industrielle, on utilise des procédés de soustraction, c'est-à-dire que l'on enlève de la matière, par fraisage ou découpe, par exemple.

L'impression 3D propose l'inverse, à savoir l'ajout de couches de matière successives. Pour ce faire, de nombreuses solutions existent, voici les principales :

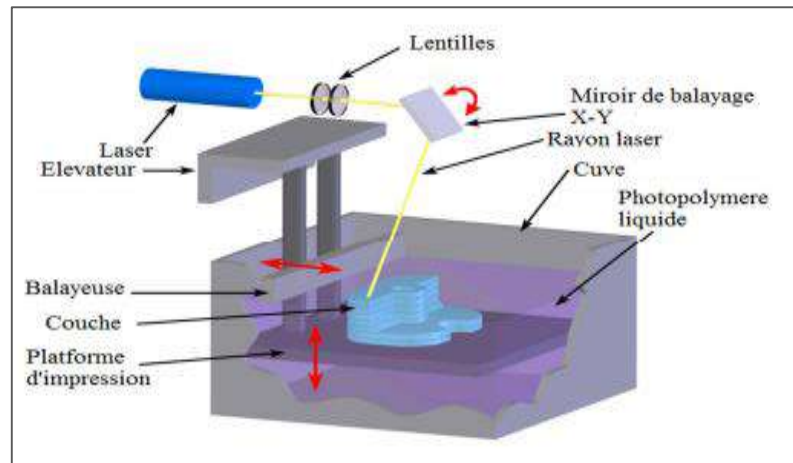
#### **I.3.1 Stéréolithographie :**

Le procédé de Stéréolithographie a été inventé en 1986 par le fondateur de la société 3D Systems Charles Hull. A l'époque pourtant, on ne parlait pas encore d'impression ou d'imprimantes 3D.

Une des formes de la Stéréolithographie la plus répandue est la Photo-polymérisation ; on concentre un rayon ultraviolet dans une cuve remplie de photopolymère (un matériau synthétique dont les molécules se modifient sous l'effet de la lumière la plupart du temps ultraviolette). Le Laser ultraviolet travaille le modèle 3D souhaité couche après couche.

Quand le rayon frappe la matière, cette dernière se durcit sous son impact tout en se liant aux couches adjacentes. A la sortie de la cuve, on obtient une forme à la résolution remarquable et, la matière non frappée par le laser peut être utilisée pour le prochain objet.

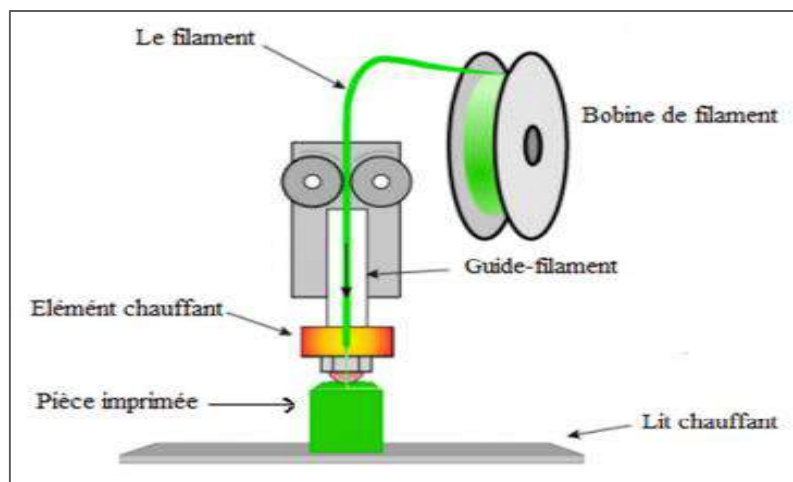
Mais on doit à la Stéréolithographie autre chose : C'est le fameux format « stl » qui est actuellement le format numérique en passe de devenir le standard dans le monde de l'impression 3D (figure I.1).



**Figure I.1 :** Procédé de Stéréolithographie. [3]

### I.3.2 Le dépôt de filament fondu :

Plus connue sous l'acronyme FDM, ce procédé a été inventé par Scott Crump à la fin des années 80 pour voir la première sortie commerciale du procédé en 1991. Le FDM consiste à porter à la fusion de petites gouttes de matière plastique (Souvent le plastique de type ABS – celui des Lego) qui créent la forme couche après couche. Une fois que la goutte quitte l'applicateur, elle durcit de manière quasi-immédiate tout en se fondant avec les couches inférieures. C'est le procédé de loin le moins coûteux et c'est sur lui que se reposent aujourd'hui la grande majorité des imprimantes 3D grands publics. Outre le plastique ABS, les plastiques PLA (Polylactic Acide) et d'autres polymères biodégradables peuvent être travaillés depuis ce procédé (figure I.2).



**Figure I.2 :** Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D FFF (Fused Filament Fabrication). [4]

### I.3.3 Le frittage sélectif par laser

On attribue l'invention de ce procédé à Carl Deckard et Joe Beamanand, chercheurs à l'Université d'Austin, au milieu des années 80. Cette technologie est proche de la Stéréolithographie mais sans la cuve remplie de polymère. Des matières dures (sous forme de poudre) comme le polystyrène, le verre, le nylon, certains métaux (dont le titane, l'acier ou l'argent) ou de la céramique sont frappées par un laser. Là où le laser frappe, la poudre s'assemble pour créer la forme. Toute la poudre non frappée peut être réutilisée pour les prochains objets à imprimer (figure I.3).

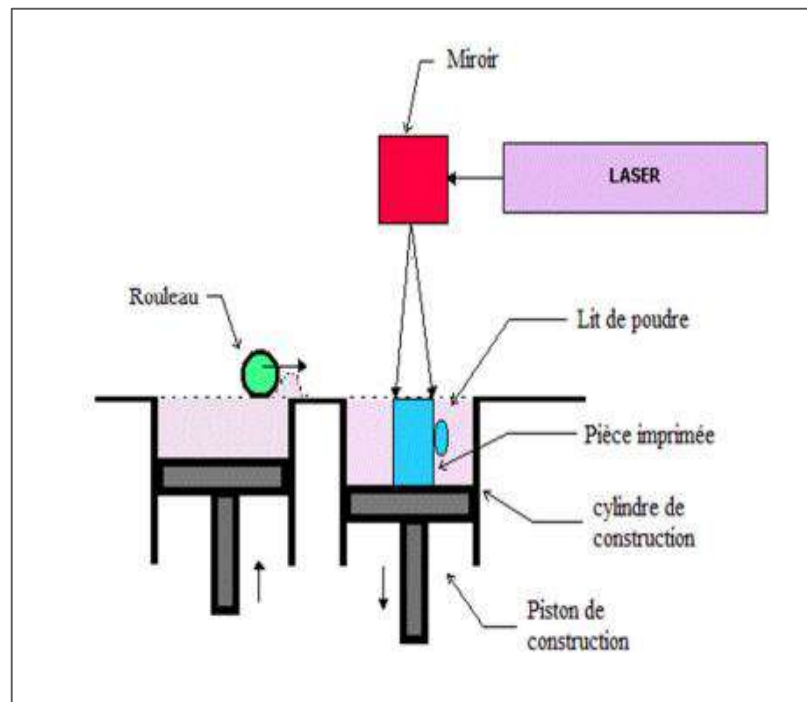


Figure I.3 : Procédé de Le frittage sélectif par laser. [5]

### I.3.4 Le procédé Poly Jet :

Breveté par la société Objet en 1999, le procédé dit Poly Jet s'appuie sur la photopolymérisation, tout comme le SLA. Ici, des jets de matériau sont projetés sur le support d'impression. Ceux-ci correspondent là encore aux couches définies par le logiciel d'impression. Après chaque jet, le polymère est solidifié grâce à un rayon UV. Un avantage certain de cette technologie, elle ne nécessite pas de post-traitement, comme le ponçage ou le rinçage. Il est également possible d'ajouter au matériau d'impression un deuxième matériau de support qui se dissout dans l'eau (figure I.4).

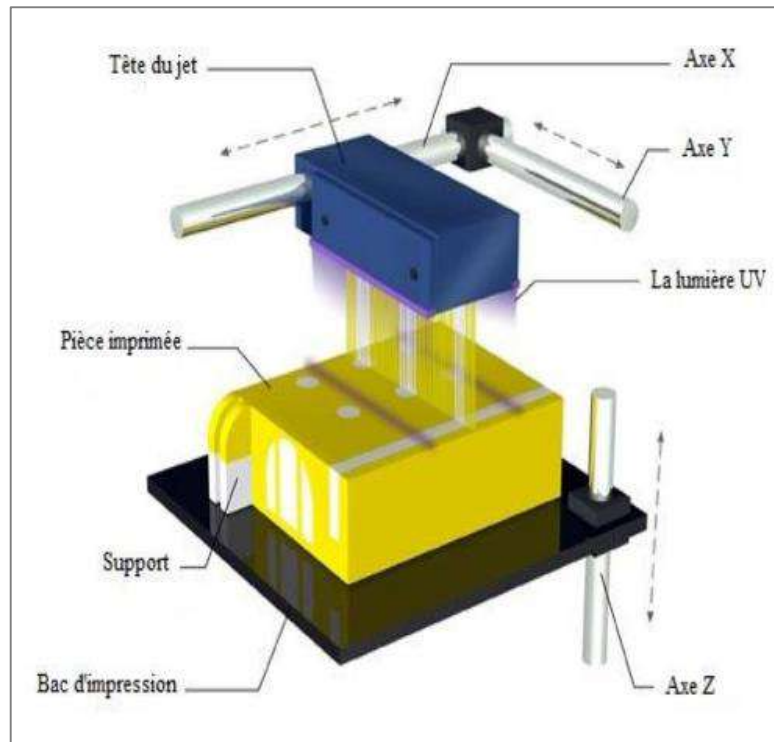


Figure I.4 : Procédé Poly Jet. [6]

### I.3.5 Le procédé DLP :

Développé pour des travaux nécessitant une grande précision, comme la bijouterie ou la fabrication de prothèses, le procédé DLP s'appuie sur la même technologie que celle qui est embarquée dans un bon nombre de vidéoprojecteurs. Le principe est similaire à la SLA, dans le sens où la lumière est utilisée pour solidifier un polymère liquide. Une puce composée d'une matrice de miroirs orientables réfléchit une lumière UV et projette une sorte d'image correspondant à la forme de la couche à imprimer. Cette lumière vient donc frapper le polymère qui se trouve dans un bac pour le solidifier. Le traitement se fait couche par couche, comme dans le cas du SLA. L'avantage du procédé DLP sur la stéréo-lithographie est sans conteste la rapidité. En effet, une couche peut être solidifiée à chaque projection de lumière. Seul un déplacement vertical de la plateforme est nécessaire (figure I.5).

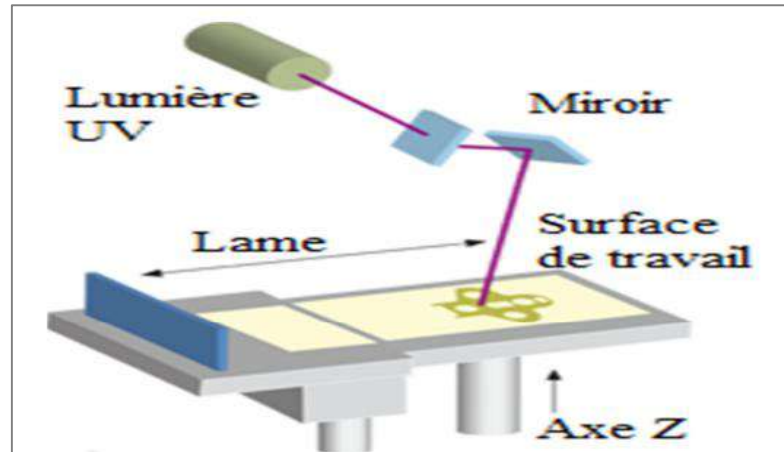


Figure I.5 : Procédé de DLP. [7]

#### I.4 Matériaux d'impression :

Cette technologie offre aujourd'hui un très large panel de consommable en effet chaque procédé d'impression 3D fonctionne avec son propre type de matériaux c'est pour cela on les a classés en trois catégories : polymères, composites et autres matériaux.

##### I.4.1 Les polymères :

###### I.4.1.1 Les thermoplastiques :

###### a. Polytéraphthalate (PET) :

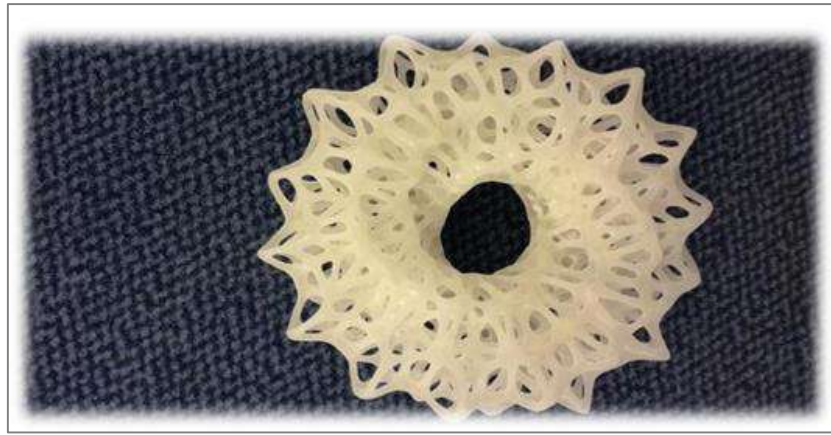
Le polytéraphthalate d'éthylène, plus connu sous le nom de PET, est utilisé principalement dans les bouteilles en plastique. C'est un matériau idéal pour des pièces destinées au contact alimentaire, semi-rigide et offrant une bonne résistance. Pour obtenir les meilleurs résultats d'impression, il est nécessaire d'atteindre des températures de 75°C à 90°C car la température de transition vitreuse du PET est de 70°C. Le plus souvent commercialisé sous la forme d'un filament translucide, la variante la plus utilisée dans le monde de l'impression 3D est le PETG qui est un copolymère issu de la copolymérisation du PET avec le cyclohexano diméthanol [8].



Figure I.6 : Exemples d'objet en PET. [8]

**b. Le Polypropylène (PP) :**

Un autre thermoplastique très utilisé en automobile, pour les emballages, les vêtements professionnels, et dans la fabrication d'une centaine d'objets du quotidien. Le polypropylène (PP) est connu pour sa résistance à l'abrasion et sa capacité à absorber les chocs, en plus d'une relative rigidité et flexibilité. Un de ses inconvénients est sa faible stabilité thermique et sa sensibilité au rayonnement UV, raison pour laquelle plusieurs fabricants d'imprimantes ont développé des dérivés de ce matériau, les simili-polypropylènes (Exemple : filaments de polypropylène renforcé avec la fibre de verre pour éviter le phénomène du warping), afin de renforcer ses propriétés physiques et mécaniques [8].



**Figure I.7 :** Exemple d'objet en PP. [8]

**c. Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) :**

Les polymères ABS sont une famille unique de techno-polymères. Leur nom est représenté par les initiales des trois monomères qui le constituent : l'acrylonitrile qui apporte la résistance thermique au vieillissement ; le butadiène qui contribue à la conservation des propriétés aux basses températures, à la ténacité et à la résistance aux chocs et le styrène qui donne la rigidité et la facilité de mise en forme. En général, les ABS ne résistent pas aux agents atmosphériques. Si les meubles en ABS sont exposés à l'extérieur, leur couleur peut varier et s'atténuer [9].



**Figure I.8 :** Exemples d'objet en ABS. [8]

**d. Polylactique (PLA) :**

L'acide polylactique est un produit intermédiaire résultant de la fermentation du sucre ou de l'amidon (par exemple de betterave ou de maïs) : les bactéries de l'acide lactique font fermenter le produit de base. Ensuite, l'acide lactique est polymérisé par un nouveau procédé de fermentation, pour devenir de l'acide polylactique /polylactide (PLA). Ce matériau transparent ressemble aux produits synthétiques thermoplastiques de grande consommation, non seulement par ses propriétés mécaniques et thermiques, mais il peut en outre être travaillé sur les installations existantes pour donner des films, des pièces moulées, des gobelets, etc. [9]



**Figure I.9 :** Exemples d'objet en PLA. [8]

**e. Les Polyamides Certains :**

Polyamides sont biocompatibles comme le PA11 et le PA12, ils peuvent être utilisés pour des pièces en contact avec les aliments (sauf ceux contenant de l'alcool), et contrairement au PLA et à l'ABS, des surfaces plus lisses sans effet ondulé sont obtenues. Etant constitué de structures semi-cristallines, ce matériau présente un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et chimiques, d'où sa stabilité thermique, rigidité, flexibilité. Ces avantages donnent lieu à une large gamme d'applications et un grand niveau de détail. Une qualité

supérieure utilisée par exemple pour la fabrication d'engrenages, de pièces pour l'aérospatiale, l'automobile, la robotique, les prothèses médicales [8].



**Figure I.10 :** Exemple d'objet en polyamide. [8]

#### **I.4.1.2 La résine :**

La résine est un polymère liquide photosensible. L'impression avec ce matériau consiste en un dépôt successif de couches qui sont immédiatement solidifiées par UV. La pièce prend alors les allures d'une pièce plastique rigide et lisse [10].

D'après une recherche qui a été faite en Corée du sud. Ils ont annoncé qu'il allait bientôt pouvoir commencer la commercialisation de son premier œil artificiel imprimé en 3D en 2020, fabriqué par une photopolymérisation où une lumière laser UV est projetée sur une résine liquide photosensible qui se durcit au contact de celle-ci. La lumière fabrique ainsi la pièce selon la forme souhaitée, couche par couche [11].



**Figure I.11 :** Des yeux artificiels imprimés en 3D. [11]

#### **I.4.2 Les matériaux composites :**

Les composites sont créés lorsqu'un deuxième matériau : un renfort est ajouté à un matériau de base : la matrice. L'un des matériaux de base les plus communs en impression 3D est le polyamide utilisé dans les systèmes de fusion sur lit de poudre, mais aussi grandement utilisé dans les systèmes d'extrusion de matière (FDM/FFF) [12].

Les matériaux ajoutés pour former un composite comprennent le verre, l'aluminium et les fibres de carbone. Les matériaux composites sont souvent utilisés afin d'améliorer les propriétés du produit fini, telles que sa résistance à la traction, sa densité ou encore sa rigidité [12]. Depuis une trentaine d'années, les matériaux composites occupent une place toujours plus importante dans de nombreux secteurs industriels. Utilisés pour des applications qui exigent de hautes performances, ils ont l'avantage d'être beaucoup plus légers que les matériaux métalliques. Aujourd'hui, de nombreux progrès ont été accomplis, mais la production de pièces critiques souvent complexes, avec des matériaux composites peut relever du défi, et exige des connaissances approfondies et spécialisées.

#### I.4.2.1 L'alumide :

Les objets en alumide sont fabriqués à partir d'une combinaison entre polyamide et aluminium en poudre en utilisant la technologie de frittage sélectif par laser (SLS). Avec une surface légèrement poreuse et d'un aspect sableux et granuleux, ce matériau offre une grande solidité, et supporte des températures moyennement élevées et aux chocs et une relative flexibilité. Cependant, des post-traitements sont généralement nécessaires : meulage, polissage, revêtement et fraisage par exemple. L'alumide est utilisé pour des modèles complexes, pièces de conception ou pour des petites séries de modèles fonctionnels, ayant besoin d'une rigidité importante et d'un aspect proche de l'aluminium. La technique employée implique des limites géométriques faibles [8].



Figure I.12 : Exemples d'objet en alumide. [8]

#### I.4.3 Autres matériaux :

##### I.4.3.1 Les métaux :

- **L'aluminium** : Ce matériau est un excellent compromis entre légèreté et solidité. En plus d'être résistant à la corrosion, il peut être soudé. Par rapport aux aciers, il est moins robuste à la fatigue et aux hautes températures, il est principalement utilisé dans les

domaines où la notion de poids est essentielle : pièces mécaniques des voitures de course, aéronautique, aérospatiale, vélos etc... [13].

- **Le titane** : C'est le matériau phare de la médecine et de l'aérospatiale grâce à son excellent compromis entre solidité et poids, en plus de sa grande résistance à la corrosion et sa biocompatibilité. Comme pour l'aluminium, les alliages de titane présentent des propriétés mécaniques et un comportement chimique améliorés [13].



**Figure I.13** : Exemples d'objet en aluminium. [13]

#### I.4.3.2 La céramique :

Présent dans les applications médicales, sanitaires ou industrielles la céramique est de plus en plus utilisée dans l'impression 3D. Les objets céramiques peuvent être imprimés avec la technique du frittage sélectif par laser (SLS) à partir d'une poudre sèche préalablement comprimée, ou par solidification du matériau à l'état liquide, processus ressemblant à la technique FDM avec une tête d'impression modifiée [14].



**Figure I.14** : Exemple d'objet en céramique. [14]

#### I.4.3.3 Le sable :

Le sable est utilisé principalement pour la fabrication des moules de fonderie mais il peut être aussi très utile dans le domaine de l'architecture quand il est combiné avec d'autres matériaux [14].



**Figure I.15** : Exemple d'objet en sable. [14]

#### **I.4.3.4 Le béton :**

Le même principe d'impression des céramiques peut être utilisé pour imprimer du béton ou n'importe quel autre matériau composite fabriqué à partir d'une pâte humide [14].

#### **I.4.3.5 Le bois :**

Sous la forme de filament, le bois est utilisé dans de nombreuses technologies de l'impression 3D. Il ne s'agit pas de bois brut mais de bois composite, matériau composé de fibres de bois et de résine de polymère. Très utilisé pour l'habillage et l'isolation de bâtiment et de mobilier extérieur, ce matériau souple a aussi l'avantage d'être en partie fabriqué en bois recyclé. Le bois composite, ou WPC pour Wood-plastic composite en Anglais, résiste aux intempéries, au soleil et ne pourrit pas avec le temps. De plus, il ne nécessite pas d'entretien particulier comme le demanderait du vrai bois. Ces avantages en font une matière première intéressante pour imprimer des objets à l'aspect du bois mais sans ses inconvénients. La température d'impression, comprise entre 185 et 230°C, permet d'obtenir une couleur claire ou foncée à partir d'un bois standard. On peut donc nuancer et apporter une touche personnelle sans couche additive. [14]



**Figure I.16** : Exemple d'objet en bois. [14]

## **I.5 Technologies de l'imprimante 3D :**

Il existe de nombreuses techniques d'impression 3D. La diversité des matériaux ne permet pas d'utiliser une seule et même technique. Ces techniques permettent d'obtenir des résultats sensiblement différents, qui ne nécessitent ni le même type d'équipement ni le même procédé mécanique.

### **I.5.1 Impression à base de thermoplastiques et de composites :**

#### **I.5.1.1 Dépôt de matière fondue (FDM) :**

Cette technologie FDM (Fused Deposition Modeling) consiste à mettre en place une bobine, de fil polymère en général qui en se déroulant est emmenée dans un moteur. Une buse est présente et chauffe la matière. En fonction des polymères, la température varie de 120 à 220 degrés. Une fois que la matière est dans la buse, elle atteint sa température de transition vitreuse. C'est à ce moment-là que la matière est expulsée de la buse et déposée sur un plateau. Ce plateau est, ou non, chauffé [12].

#### **I.5.1.2 Le frittage laser (SLS) :**

La technique d'impression 3D SLS (Selective Laser Sintering) a pour principe premier de fusionner de fines particules de poudre avec un laser. Ces particules sont chauffées à l'intérieur d'un bac à une température juste en dessous de la température de fusion. Un rouleau vient déposer une première couche de matière. Le laser vient ensuite faire fusionner les particules de matières entre elles, créant ainsi la première couche. Le plateau descend ensuite pour permettre l'étalement d'une deuxième couche par le rouleau. Le processus se poursuit jusqu'à ce que la pièce soit complètement imprimée. Il suffit ensuite de la récupérer et la débarrasser des particules n'ayant pas été fusionnée : c'est le procédé de finition. La matière étant utilisée pour ce type d'impression est donc une poudre : la plupart du temps polyamide, il peut également s'agir de verre, céramique ... Il est possible de mélanger plusieurs particules de différents matériaux. La seule contrainte est de parvenir à garder une composition homogène avec des particules de taille identique [12].

### **I.5.2 Impression à base de résines :**

#### **I.5.2.1 La stéréolithographie (SLA) :**

Le procédé de fabrication additive SLA (Stereolithography Apparatus) dans lequel un photopolymère (substance synthétique qui subit une transformation sous l'action de la lumière) liquide plongé dans une cuve est durci de manière sélective par polymérisation activée par la lumière [12].

**I.5.2.2 Projection de matière :**

Procédé de fabrication additive dans lequel des gouttelettes du matériau fabriqué sont déposées de manière sélective [12].

**I.5.3 Impressions à base de métaux :****I.5.3.1 Le frittage laser de métal (DMLS) :**

Le procédé DMLS (Direct Metal Sintring) qui utilise l'énergie d'un laser afin d'agglomérer la poudre métallique en dirigeant ce dernier pour qu'il dessine l'objet en question par couches transversales successives. Ce procédé est similaire au procédé SLS [12].

**I.5.3.2 La fusion par faisceau d'électrons (EBM) :**

Le procédé de fabrication additive EBM (Electron Beam Melting) dans lequel l'énergie thermique focalisée sert à faire fondre les matériaux au fur et à mesure qu'ils se déposent [12].

**I.5.4 Impression 3D en couleur :****I.5.4.1 Le procédé de projection de liant :**

Procédé de fabrication additive dans lequel un agent de liaison liquide est déposé de manière sélective pour lier/agglutiner des matériaux en poudre [12].

**I.5.4.2 Le laminage par dépôt sélectif :**

Procédé de fabrication additive dans lequel des couches de matériau sont liées entre elles pour former un objet [12].

**I.6 Les applications d'un imprimant 3D :****I.6.1 Domaine industriel :**

L'utilisation de ce nouvel outil présente plusieurs intérêts. Même si une imprimante n'est pas polyvalente, il en existe aujourd'hui qui prennent en charge des matériaux de plus en plus variés : le plastique bien sûr, mais aussi le métal, la céramique, le verre, voire des matériaux alimentaires ou des tissus vivants. [15]

En outre, une imprimante 3D en industrie permet d'économiser du temps et des moyens financiers puisqu'il n'y a plus d'étapes de pré-industrialisation, de création de moules ou de gabarits. Enfin, les réalisations des imprimantes 3D en industrie peuvent présenter des formes réellement complexes et entièrement personnalisées. [16]



**Figure 1.17** : Fabrication des pièces avec impression 3D. [16]

### **I.6.2 Domaine de médecine :**

Dans le monde médical, l'impression 3D apporte de belles promesses dans de nombreux domaines : des implants dentaires aux prothèses auditives en passant par la chirurgie réparatrice. Elle a un double avantage : permettre aux fabricants d'économiser de l'argent qu'ils peuvent investir dans la recherche et offrir aux clients un confort encore jamais atteint, en leur proposant des prothèses parfaitement adaptées à leur morphologie personnelle. L'expert britannique Phil Reeves estime qu'il existe environ 10 millions d'appareils auditifs et plus de 500 000 implants dentaires imprimés en 3D en circulation dans le monde entier.

Les matériaux d'impression 3D utilisés dans le monde médical offrent de plus une excellente finition et une grande stabilité.

Jusqu'ici, les prototypes médicaux ont encore été utilisés avec parcimonie dans le secteur de la santé pour des raisons de coût et de temps. L'impression 3D est un outil plus rapide, plus simple qui permet aux fabricants de produits médicaux de développer des dispositifs d'essais cliniques prêts à l'emploi rendant la validation de ces dispositifs plus rapide, plus simple, mieux adaptable et plus fonctionnelle. [2]



**Figure I.18** : Exemple d'implants dentaires fabriqués par imprimante 3D. [2]



**Figure 1.19 :** Exemple de prothèse. [15]

### **I.6.3 Le prototypage rapide :**

Le prototypage rapide est la fabrication rapide d'une pièce physique, d'un modèle ou d'un assemblage à l'aide de la conception assistée par ordinateur (CAO) 3D. La création de la pièce, du modèle ou de l'assemblage est généralement réalisée par fabrication additive, ou plus communément appelée impression 3D.

Lorsque la conception correspond étroitement au produit fini proposé, il s'agit d'un prototype de haute-fidélité, par opposition à un prototype de base fidélité, ou il existe une différence marquée entre le prototype et le produit final.

Le prototypage rapide intègre les trois concepts de base que sont le temps, le coût et la complexité de la forme. [17]



**Figure I.20 :** exemple d'objet complexe produit par prototypage rapide. [18]

#### I.6.4 Domaine de génie civil :

On en entend parler de plus en plus dans beaucoup de secteurs dont le domaine médical, mais les imprimantes 3D se présentent également comme le futur du BTP. Beaucoup d'entreprises créent leurs imprimantes 3D pour construire leurs propres bâtiments. Les avantages sont nombreux, surtout au niveau de la rapidité et du prix. Les premiers bâtiments sont déjà sortis de terre à Dubaï et surtout en Chine. [16]

La Chine est en avance sur tout le monde dans ce secteur, déjà en 2008 les entreprises chinoises construisaient des maisons avec cette technique.

La société Ying Chuang est leader et c'est elle qui a imprimé le premier mur en béton en 2008. La rapidité d'impression est la véritable force de cette entreprise, elle met en effet moins de 24h à bâtir une maison. Elle travaille sur de nombreux projets colossaux comme le musée Ordos et le Guangzhou Dayi Village (ci-dessous). [16]



Figure I.21 : Le musée Ordos et le Guangzhou Dayi Village. [16]

#### I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une définition de l'impression 3D avec un aperçu de son histoire, des domaines dans lesquels elle est utilisée, ainsi que des matériaux utilisés. Ensuite, nous avons abordé les technologies actuelles en mettant en évidence leurs différences et leurs applications.

*Chapitre II*  
*Etude et*  
*conception*

## II.1 Introduction :

Notre projet vise à concevoir une imprimante 3D utilisant la technique de dépôt de filament fondu. Pour ce faire, nous avons d'abord défini les fonctions essentielles telles que le guidage des éléments, la fixation des pièces et la transmission des mouvements. Ensuite, nous avons élaboré les dessins des composants de notre machine en respectant les formes et dimensions appropriées. Enfin, nous avons déterminé les matériaux de chaque composant en fonction de son importance dans l'assemblage.

## II.2 Cahier de charge :

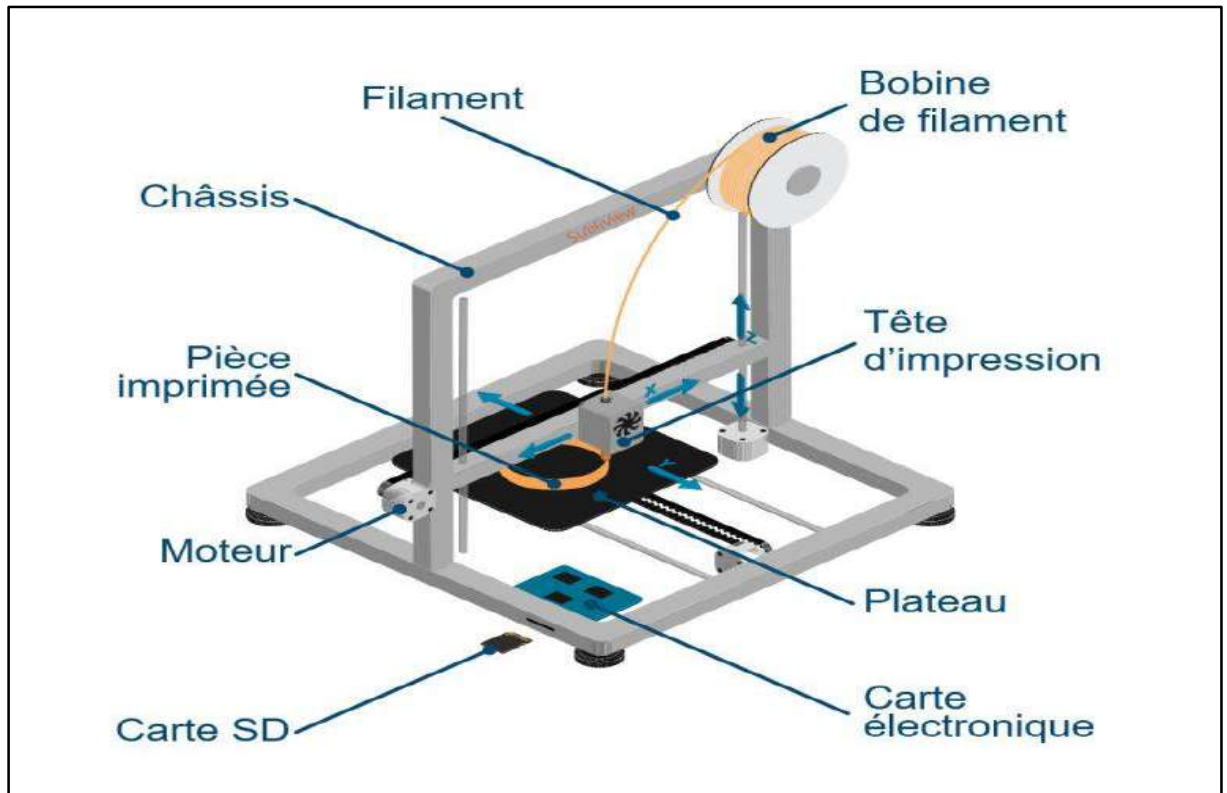
Le but de ce thème c'est de concevoir une imprimante 3D ; qui a pour dimensions : Afin de réaliser cette étude, nous nous sommes fixé un objectif selon le cahier des charges (ou plutôt spécifications techniques) donné ci-dessous. Il y a aussi lieu de signaler que ces caractéristiques techniques concernent principalement les dimensions de la zone d'impression qui être assez importante en comparaison à l'imprimante disponible au laboratoire LEC2M. Zone d'impression : le plan de travail est dans le plan (X, Y).

- Selon X : 20 mm ;
- Selon Y : 40 mm ;

Notre machine sert à imprimer des objets en volume selon le procédé de dépôt de matière fondue FDM avec une tête d'impression double extrudeuses : une extrudeuse sert à extruder le plastique, l'autre à extruder la fibre en carbone entouré par une couche d'abrasif.

## II.3 Les composants d'une imprimante 3D :

L'imprimante 3D à dépôt de filament fondu est une machine qui permet d'imprimer des objets en trois dimensions, à partir de diverse matières, et selon différents procédés, cet appareil est constitué de glissières pour assurer le guidage des éléments, des courroies et des tiges filetées pour assurer la transmission et des vis pour la fixation de toutes les pièces; et voilà le schéma qu'on veut réaliser (figure II.1).



**Figure II.1** : Schéma d'une imprimante 3D à dépôt de filament fondu. [19]

### II.3.1 L'extrudeuse:

C'est un mécanisme composé de plusieurs parties dont le principe de fonctionnement est de conduire le filament vers la buse chauffante pour le faire fondre lors de la fabrication.

La tête d'impression est le mécanisme le plus important de l'imprimante.

Les micros millimètres nécessitent une grande précision lors du déplacement pendant l'impression. C'est pourquoi il ne doit pas y avoir de frottement ni de vibration lors de l'utilisation. En impression, la partie mécanique de la machine est la plus importante pour assurer cette précision sur l'axe de mouvement.

L'extrudeuse est un sous-système qui pousse le filament jusqu'à l'extrémité chaude. Dans l'extrudeuse, il y a un actionneur, généralement un moteur pas à pas. Il existe différentes stratégies pour y parvenir, mais nous essayons généralement de le transmettre par friction.

Le point chaud est la zone où le filament fond. Le filament y est poussé par l'extrudeuse, et une fois fondu, il est extrudé par la buse. Il y a 3 quartiers significativement différents du « hotend » (buse) :

- a. **Zone chaude** : c'est la zone échange d'énergie entre la partie chaude et le filament. Le but est de s'assurer que le transfert de chaleur est le plus efficace possible et d'obtenir un flux de chaleurs stable.

- b. Zone froide :** c'est la zone où le filament est guidé vers la zone terminale chaude. Il est important qu'il soit aussi froid que possible, c'est pourquoi il est généralement refroidi par convection d'air forcée.
- c. La zone de transition :** c'est la zone situés entre la zone chaude et la zone froide. Il est important que la zone de transition thermique soit la plus petite possible pour que le gradient de température soit très agressif. De cette façon, nous pouvons nous assurer que le matériau ne fond pas ou ne se ramollit pas avant d'atteindre la zone chaude. Lorsque le matériau commence à se ramollir, sa viscosité augmente, ce qui peut entraîner un échec de l'impression, car l'extrusion du filament nécessite plus de pression et le mécanisme de l'extrudeuse n'atteint pas toujours ce point. [20]

### II.3.1.1 Composants de l'extrudeuse :

La figure représente les différents composants de l'extrudeuse.



**Figure II.2 :** Les composants de l'extrudeuse. [21] [22]

Avec :

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Moteurs pas à pas.         | 6. Ventilateur pas à pas.   |
| 2. Buses à pas doux.          | 7. Radiateur pas à pas.     |
| 3. Bloc chauffant progressif. | 8. Pignon moteur pas à pas. |
| 4. Guides pas à pas.          | 9. Palier à gradins.        |
| 5. Résistance pas à pas.      |                             |

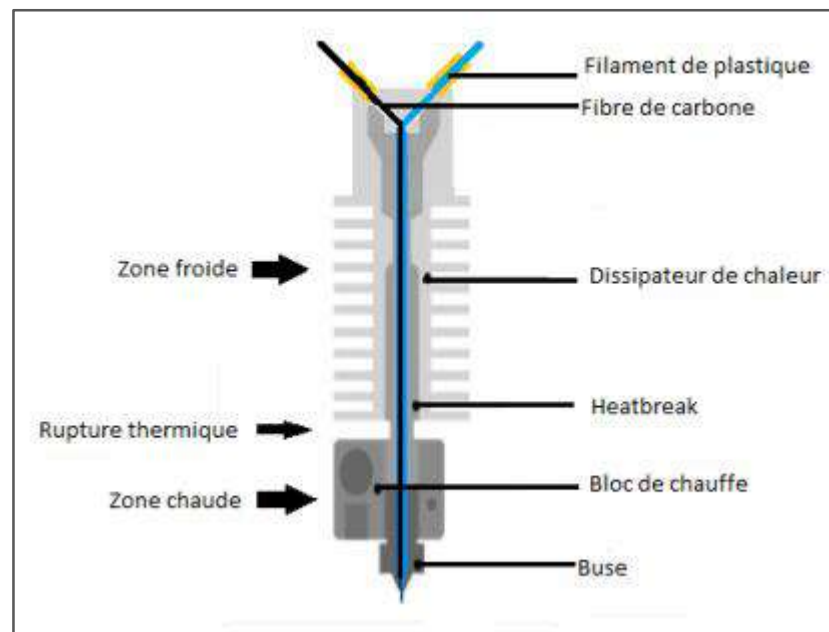
#### a. Moteurs pas à pas :

Le moteur est la source de la force qui pousse les fils pour être contrôlée. Grâce à ce dernier, on peut contrôler la quantité de matière injectée.

### b. Buses à pas doux :

Joue un rôle clé dans le résultat final. Sa taille et son diamètre, ainsi que le matériau utilisé pour sa fabrication, ont un impact direct sur la précision, la finesse et la vitesse d'impression. C'est la tête d'impression, la sortie de la buse est le point où le plastique fondu sort et se dépose sur la pièce. Plus le diamètre de la buse d'extrémité chaude est grand, plus il est possible d'extruder les filaments sous la même pression appliquée par le système d'extrusion. Plus le débit binaire est élevé, plus la hauteur de couche peut être élevée, mais plus la résolution finale obtenue est faible.

Le diamètre de buse le plus courant est compris entre 0,4 et 0,6 mm. Pour les pièces de haute résolution, avec le FDM, on peut descendre jusqu'à 0,2 mm. Et pour les pièces de grand volume, il est courant de trouver des buses allant jusqu'à 1,0 mm.



**Figure II.3** : Les schématisations de la buse. [23]

Le matériau utilisé pour la fabrication de chaque partie doit être en adéquation avec son rôle. Pour la zone de transition, un matériau à très faible conductivité thermique est nécessaire, comme l'acier inoxydable ou le titane.

Pour la zone chaude, on utilise généralement des matériaux ayant une bonne conductivité thermique et faciles à usiner, tels que l'aluminium et le laiton. Dans les buses plus sophistiquées, le cuivre peut également être utilisé.

Pour les applications où l'impression avec des matériaux abrasifs est nécessaire, la buse est généralement revêtue ou faite de matériaux plus durs comme l'acier ou le carbure de Tungstène, qui sont traités en surface. Dans le cas de notre imprimante, la buse utilisée

devra être en acier trempé puisque elle utilise le filament de carbone qui est entouré d'abrasif. Pour la zone froide, il faut des matériaux ayant une bonne conductivité thermique. L'aluminium est généralement utilisé.

**c. Bloc chauffant progressif :**

Fabriqué en aluminium et contient une résistance qui chauffe le bloc à la température de fusion du fil. La chaleur de fusion reste constante dans le bloc, c'est là que le plastique fond.

**d. Guides pas à pas :**

Ce sont des tubes en plastique qui guident les filaments.

**e. Résistance pas à pas :**

Chauffer le bloc chauffant, serrer le fil et le pousser vers la buse.

**f. Ventilateur pas à pas :**

Utilisé pour refroidir le fil (s'il chauffe, le fil glissera) et pour refroidir le moteur.

**g. Radiateur pas à pas :**

Relâchez la température du moteur et des fils vers l'extérieur.

**h. Pignon moteur pas à pas :**

Relié au moteur, le pignon moteur saisit le fil et le pousse vers la buse.

**i. Palier à gradins :**

Parallèle au pignon d'entraînement, utilisé pour tendre le fil et le pousser vers la buse. Tendez le fil et poussez-le vers la buse. L'ensemble composé de cette roue dentée motorisée et de la buse chauffante qui font le filament. [24]

### **II.3.2 Système de guidage :**

#### **II.3.2.1 Glissières :**

En mécanique, le guidage représente une fonction accomplie par un joint cinématique au sein d'un mécanisme. À titre d'exemple, une glissière assure un guidage en translation. Les glissières de guidage sont parmi les composants les plus cruciaux dans les machines-outils. Elles constituent l'essence même de la mécanique d'une machine et jouent un rôle significatif dans sa précision, ses performances, ainsi que sa durée de vie (voir figure II.4). [25]

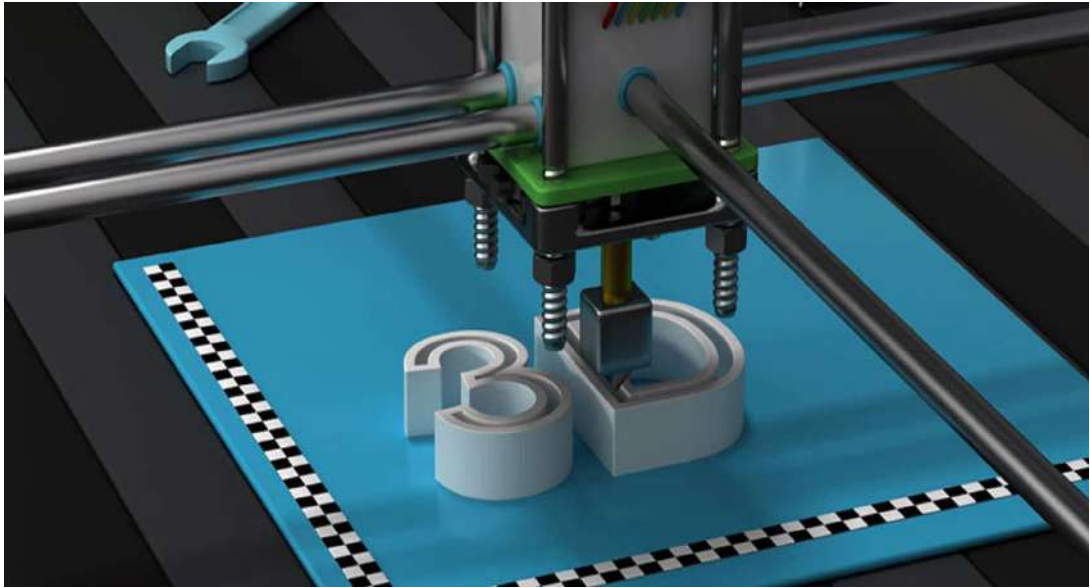


Figure II.4 : Glissières [25]

### II.3.3 Système de transmission :

#### II.3.3.1 Courroies dentée :

Une courroie dentée, également appelée courroie synchrone, est un type de transmission mécanique par courroie utilisé pour synchroniser la rotation de deux ou plusieurs poulies. En effet, elle joue un rôle essentiel en assurant la traction et l'effet de transmission de puissance dans divers mécanismes. Elle est généralement en matière caoutchouc ou en polyuréthane et est constituée de dents qui s'insèrent dans les rainures correspondantes de la poulie. Cela leur permet de tourner sans glisser et réduit la friction entre elles. Ce type de courroie est assez flexible ce qui lui permet d'absorber les chocs, qui sont fréquents dans les applications de haute performance. (Voir figure II.5). [26]



Figure II.5 : Courroies dentée. [2]

#### II.3.3.2 Tige filetée :

En mécanique, une tige filetée est le composant mâle d'un système vis/écrou utilisé pour assembler des pièces ou pour convertir un mouvement. Son pendant féminin est l'écrou. Cette

tige s'intègre facilement dans l'assemblage, résiste aux contraintes, assure une transmission de mouvement efficace et est économique par rapport à d'autres systèmes (voir figure II.6). [27]



**Figure II.6 :** Tige filetée [2]

### II.3.4 Système de fixation :

#### II.3.4.1 Par vis :

La vis est un élément mécanique composé d'une tige filetée et d'une tête, conçue pour assurer la fixation d'une ou plusieurs pièces. Elle est disponible dans diverses tailles et est fabriquée à partir de différents matériaux afin de lui permettre de maintenir ensemble des éléments variés, allant des composants informatiques minuscules aux imposantes machines industrielles. Les vis garantissent une fixation robuste et résistent à la corrosion (voir figure II.7). [28]



**Figure II.7 :** Vis de fixation [2]

### II.3.5 Système de commande :

Tout d'abord, une bobine de filament est chargée dans l'imprimante 3D, puis alimentée par la tête d'impression qui est équipée d'une buse chauffante. Une fois que la buse atteint la température désirée, un moteur entraîne le filament à travers elle, le faisant fondre. L'imprimante déplace la tête d'impression en déposant le matériau fondu à des endroits précis, où il se refroidit et se solidifie. Quand une couche est terminée, la plate-forme de construction descend et le processus se répète, couche par couche. Une fois l'impression terminée, l'objet 3D est généralement prête à l'emploi, mais il peut nécessiter un post-traitement, comme l'enlèvement des structures de support ou le lissage de la surface.

### II.3.5.1 Moteurs électriques :

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Tous les moteurs électriques sont réversibles, ce qui signifie qu'ils peuvent également générer du courant électrique lorsqu'ils sont entraînés par un moyen mécanique. [29]

- **Choix de moteurs :**

Les différents types de moteurs électriques sont [2] :

- Moteurs à courant continu et Moteurs à courant alternatif ;
- Moteurs synchrones et Moteurs asynchrones ;
- Moteurs universels Moteurs sans balais ;
- Moteurs pas à pas.
- **Moteurs pas à pas**

Ces dernières années, l'impression 3D a révolutionné l'industrie manufacturière, permettant de créer facilement des produits complexes. Cependant, l'un des principaux défis a toujours été de maintenir la précision et l'exactitude du processus d'impression. C'est là que les moteurs pas à pas linéaires entrent en jeu. Ces moteurs offrent un contrôle et un mouvement améliorés, permettant aux imprimantes 3D d'atteindre des niveaux plus élevés de précision et d'exactitude.

Les moteurs pas à pas linéaires sont un composant fondamental des imprimantes 3D, chargés de contrôler le mouvement le long des axes X, Y et Z. Contrairement aux moteurs traditionnels qui tournent, les moteurs pas à pas linéaires génèrent un mouvement linéaire, ce qui les rend idéaux pour le positionnement et le mouvement précis requis dans l'impression 3D. Ces moteurs fonctionnent en convertissant les impulsions électriques en étapes mécaniques précises, permettant un contrôle très précis de la tête d'extrudeuse de l'imprimante.

En utilisant des moteurs pas à pas linéaires, les imprimantes 3D peuvent réaliser des mouvements aussi petits qu'une fraction de millimètre, ce qui donne lieu à des impressions complexes et détaillées. Ce niveau de précision est crucial, en particulier lors de l'impression de conceptions ou de composants complexes nécessitant des tolérances strictes. Les moteurs pas à pas linéaires garantissent que chaque couche de l'impression est placée avec la plus grande précision, éliminant ainsi toute erreur ou désalignement susceptible de compromettre le produit final. (Voir figure II.8). [30]



**Figure II.8 :** Moteur pas à pas. [17]

### **II.3.6 La partie électronique :**

#### **II.3.6.1 Arduino :**

Afin de fonctionner correctement, l'imprimante 3D est pilotée par une carte électronique qui va centraliser toutes les informations afin de commander les moteurs, la température de chauffe, écouter les différents capteurs. Cette carte fait le lien entre le PC (les fichiers 3D) et la partie hardware (matériel) de l'imprimante.

Alors que de nouveaux outils continuent d'apporter de l'innovation à l'industrie, la communauté des fabricants d'impression 3D fait de même. Parmi ces outils se trouve l'Arduino, qui est une carte de circuit imprimé programmable qui est généralement considérée comme un microcontrôleur. Arduino a été lancé en 2005 pour les étudiants de l'Ivraie Interaction Design Institute en Italie. C'est un appareil bon marché et facile à utiliser qui permet aux débutants et aux professionnels d'utiliser des capteurs et d'actionneurs pour créer des modèles qui interagissent avec l'environnement environnant. Aujourd'hui, la société produit divers circuits imprimés et accessoires pour améliorer la puissance de traitement de l'Arduino.

Arduino est le nom d'une entreprise italienne qui produit notamment les cartes Arduino, ou Arduino en abrégé. Ces cartes se déclinent en de nombreux modèles et proposent différentes fonctions, comme le WIFI ou le Bluetooth. Parmi les différents modèles, la carte Arduino la plus populaire est UNO. Arduino UNO se vend moins de 25 \$ US. Il s'agit d'un matériel puissant capable de gérer toutes sortes de données entrantes. Pour en revenir au principe de fonctionnement de ces circuits imprimés, un microcontrôleur, qui est un petit processeur informatique, est monté sur une carte Arduino avec différents composants qui gèrent l'entrée et la sortie. Sur le microcontrôleur, plusieurs options d'entrée sont disposées, telles que des boutons et des capteurs photoélectriques. Les informations peuvent également être envoyées

au processeur de l'ordinateur. Après avoir analysé les données, le processeur de l'ordinateur envoie le résultat à tout appareil connecté à l'Arduino, comme une imprimante 3D. Comme la carte est open source, tant au niveau de la partie frontale que de la partie dorsale, elle permet d'avoir une myriade d'entrées contrôlant n'importe quelle sortie.

Pour contrôler la carte, il faut la connecter à un ordinateur à travers à un port USB intégré. En utilisant l'Arduino sur un ordinateur, il est possible d'écrire du code (C++, python, langage Arduino) qui est envoyé à la carte via le port USB. Une fois la connexion USB supprimée, lorsque la carte est mise sous tension, le code s'exécute en continu dans une boucle. [20]

### II.3.6.2 Le logiciel Marlin firmware :

Marlin est un « firmware open source » pour la famille RepRap de prototypeurs rapides de réplique - populairement connu sous le nom d'imprimantes 3D. Il a été dérivé de Sprinter et grbl, et est devenu un projet open source autonome le 12 août 2011 avec sa version Github.

Marlin est sous licence GPLv3 et est gratuit pour toutes les applications.

Dès le début, Marlin a été conçu par et pour les passionnés de RepRap pour être un pilote d'imprimante simple, fiable et adaptable qui fonctionne tout simplement. En témoignage de sa qualité, Marlin est utilisé par plusieurs imprimantes 3D commerciales. Marlin est également capable de piloter des machines CNC et des graveurs laser.

L'une des clés de la popularité de Marlin est qu'il fonctionne sur des microcontrôleurs AVR Atmel 8 bits peu coûteux - Marlin 2.x a ajouté la prise en charge des cartes 32 bits. Ces puces sont au centre de la populaire plate-forme open source Arduino / Genuino. Les plates-formes de référence pour Marlin sont un Arduino Mega2560 avec RAMPS 1.4 et Re-Arm avec Ramps 1.4.

Les fonctionnalités sont activées au besoin pour adapter Marlin aux composants ajoutés.



Figure II.9 : Marlin firmware. [31]

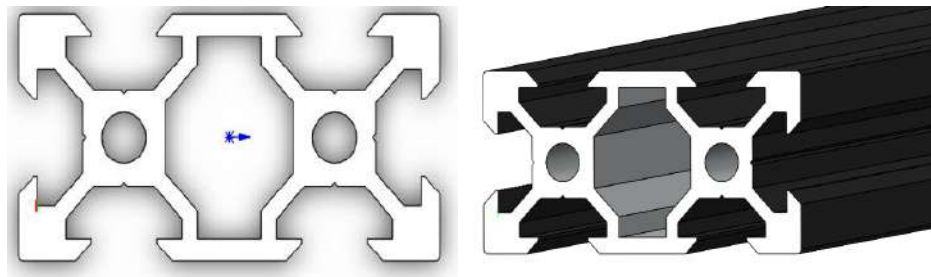
## II.4 Justification du choix des pièces :

### II.4.1 La poutre :

- **Forme :**

C'est la pièce qu'on a choisi pour le châssis de notre imprimante, à laquelle on a donné une forme géométrique en X, qui nous permet de placer d'autres pièces sur chacun de ces côtés d'une part, et d'autre part elle peut résister à des efforts importants (figure II.1).

Notre châssis se compose des poutres à différentes longueurs suivant X, Y et Z (figure II.2).



**Figure II.10 :** La poutre.



**Figure II.11 :** Le châssis.

- **Dimensions :**

**Tableau II.1 :** Dimensions du châssis.

Longueur suivant X (mm)	600.00
Longueur suivant Y (mm)	600.00
Longueur suivant Z (mm)	600.00
Largeur (mm)	40.00
Profondeur (mm)	20.00

### II.4.2 Pièce écrou :

#### Forme :

C'est une pièce essentielle dans cette machine, elle est placée sur la poutre pour assurer la fixation de tous les éléments (figure II.12).

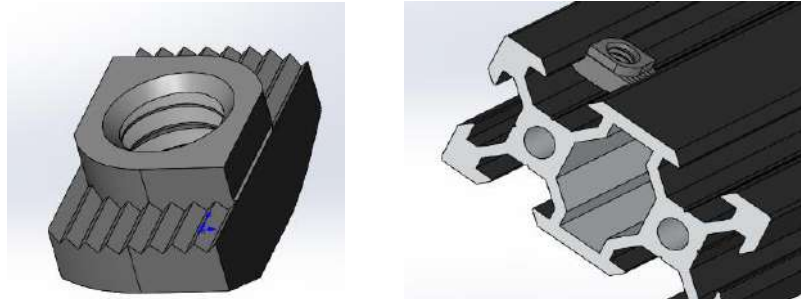


Figure II.12 : La pièce écrou.

- **Dimensions :**

Tableau II.2 : Dimensions du la pièce écrou.

Longueur (mm)	10.50
Largeur max (mm)	6.40
Profondeur (mm)	4.40

### II.4.3 Coupleur :

- **Forme :**

C'est une pièce qui est destinée pour assurer la liaison entre deux systèmes, généralement destinée à transmettre un mouvement (figure II.13).

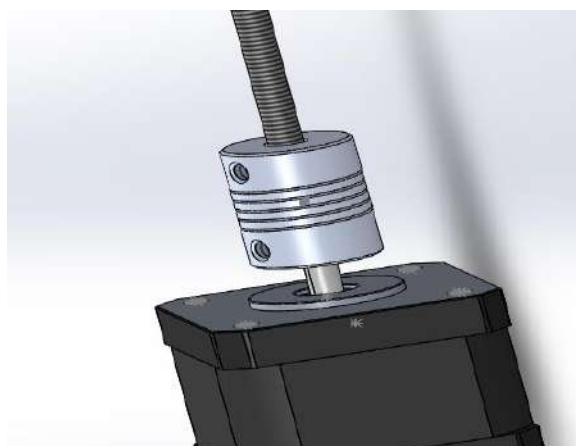


Figure II.13 : Coupleur.

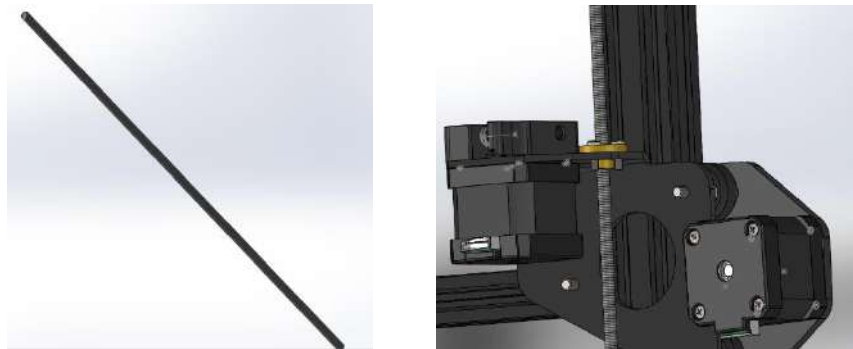
**Tableau II.3 : Dimensions du coupleur**

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Coupleur	24.6	18.8

**II.4.4 Glissières et arbre fileté :**

- **Forme :**

L'arbre fileté assure le guidage vertical de la table (figure II.14).

**Figure II.14 : Arbre fileté**

- **Dimensions :**

**Tableau II.4 : Dimensions de l'arbre fileté.**

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Arbre fileté	600	M6
Glissière verticale	600	8
Glissière horizontale	600	8
Glissière transversale	600	8

**II.4.5 Les tables :**

Les tables constituent les supports de la pièce imprimée.

- **Forme :**
  - **Lit chauffant :**

Il reçoit la pièce imprimée, et assure l'adhésion des premières couches.

- **Couche isolante :**

Elle sépare le lit chauffant et la table.

- **La table :**

Sert de support pour les deux tables, et assure leurs déplacements sur l'axe X.

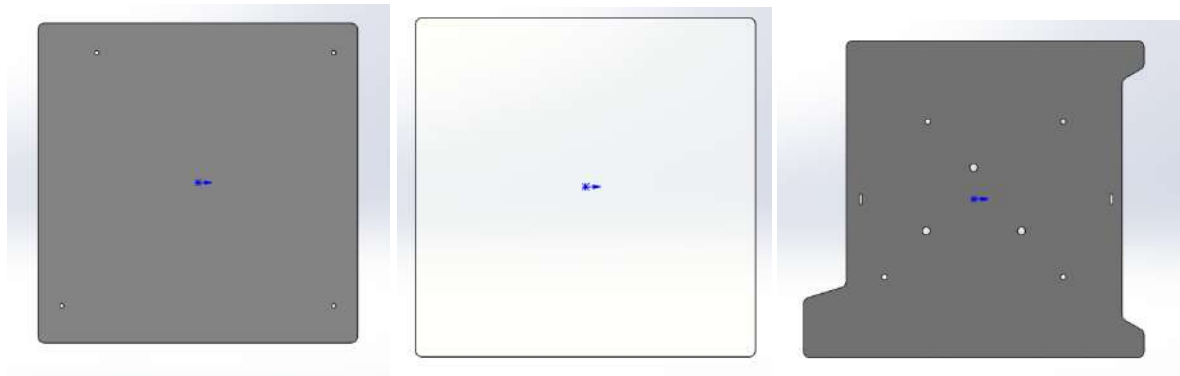


Figure II.15 : Les tables.

- **Dimensions :**

Tableau II.5 : Dimensions des tables

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
Lit chauffant	250	250	1
Couche isolante	250	250	4.5
Table	200	215	4.5

#### II.4.6 Porte moteur :

- **Forme :**

C'est la pièce qui nous permet de placer le moteur sur le châssis (figure II.16).

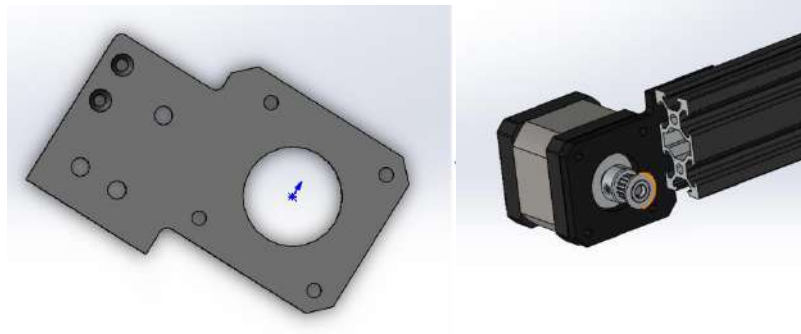


Figure II.16 : Porte moteur

- **Dimensions :**

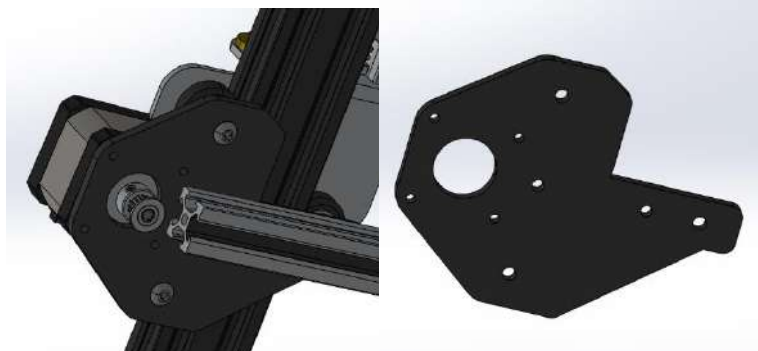
Tableau II.6 : Dimensions de la porte moteur

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte moteur	74.7	39.8	4.5

**II.4.7 Porte moteur horizontal :**

- **Forme :**

Le porte moteur horizontal, sert à porter le moteur horizontal avec son pignon et la courroie.



**Figure II.17 :** Porte moteur horizontal.

- **Dimensions :**

**Tableau II.7 :** Dimensions de la porte moteur horizontal.

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte moteur horizontal	122.3	47	4.5

**II.4.8 Porte poulie de courroie :**

- **Forme :**

La porte poulie, sert à porter la poulie avec son courroie.



**Figure II.18 :** Porte poulie de courroie

- **Dimensions :**

**Tableau II.8 :** Dimensions de la porte poulie de courroie

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte poulie de courroie	51.5	17.9	4.5

II.4.9 Glissière

- **Forme**

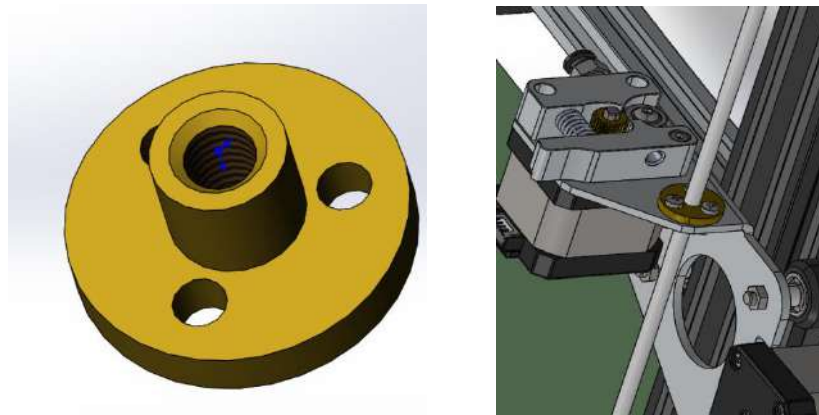


Figure II.19 : Glissière

- **Dimensions :**

Tableau II.9 : Dimensions de la glissière

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Coupleur	9.5	19.9

II.4.10 L'assemblage final :

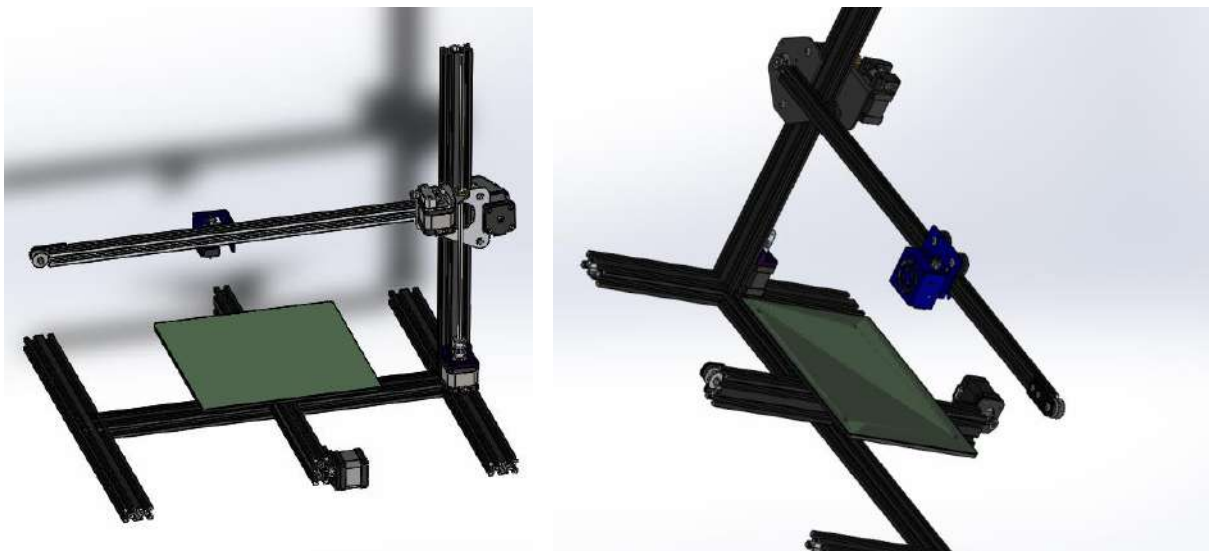


Figure II.20 : l'imprimante 3D.

## II.5 Justification du choix des matériaux :

**Tableau II.10** : Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux.

Matériaux	Eléments
Alliage d'aluminium 6060 T <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La poutre.</li> <li>• Glissières sur l'axe X.</li> <li>• Glissières sur l'axe Y.</li> <li>• Glissières sur l'axe Z.</li> </ul>
201 Acier inoxydable recuit	Pièce écrou
PBT à usage général	La bobine
Bronze d'aluminium	Lit chauffant
Balsa	Couche isolante
Caoutchouc	Les courroies
AISI 1010 barres d'acier laminé à chaud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbre fileté.</li> <li>• Tige de pignon</li> </ul>
Alliage d'aluminium 1060	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pièce L.</li> <li>• Les caches.</li> <li>• Le coupleur.</li> <li>• L'extrudeur.</li> <li>• La cale.</li> <li>• Porte courroies.</li> <li>• Mini porte courroies.</li> <li>• Porte pignon.</li> <li>• Porte bobine.</li> <li>• Plaque dentée.</li> <li>• Table.</li> <li>• Porte glissières vertical.</li> <li>• Porte glissières horizontal.</li> <li>• Porte moteur.</li> <li>• Porte moteur horizontal.</li> </ul>

### II.5.1 Alliage d'aluminium 6060 T<sub>5</sub> :

Le profilé extrudé en aluminium 6060 T5 est conçu pour répondre à une variété d'applications industrielles et de construction grâce à sa méthode de fabrication qui permet d'obtenir des formes diverses et complexes. Ce matériau est traité pour améliorer sa résistance et sa dureté,

sans compromettre sa malléabilité. Les profilés peuvent se présenter sous de multiples formes, y compris des configurations personnalisées, pour s'adapter aux exigences spécifiques des projets. Ils sont appréciés pour leur résistance à la corrosion et leur facilité de traitement de surface, ainsi que pour leur équilibre entre légèreté et solidité, ce qui les rend adaptés à de nombreuses applications tout en étant respectueux de l'environnement grâce à leur potentiel de recyclage. [32]

### **II.5.2 Acier inoxydable recuit 201 :**

L'acier inoxydable est un alliage d'acier contenant moins de 1.2% de carbone, avec plus de 10.5% de chrome. Il s'agit d'un métal légèrement plus doux que l'acier ordinaire, doté d'un aspect lumineux et éclatant. L'avantage notable de l'acier inoxydable réside dans sa résistance à l'oxydation, ce qui en fait un choix optimal dans des environnements extérieurs où l'humidité est fréquemment présente dans l'air. [33]

### **II.5.3 L'alliage d'aluminium 1060 :**

L'alliage d'aluminium 1060 est principalement composé d'aluminium, représentant au moins 99% de sa composition. Il est choisi en raison de sa légèreté et de sa rigidité.

### **II.5.4 PBT à usage général :**

Le polybutylène téréphtalate est un polymère thermoplastique appartenant à la famille des polyesters. Parmi ses principales caractéristiques, on compte son excellente résistance à la chaleur, sa bonne résistance aux agents chimiques et son comportement satisfaisant en termes de frottement et de fatigue.

### **II.5.5 Bronze d'aluminium :**

Les bronzes d'aluminium sont une famille d'alliages à base de cuivre offrant une combinaison de propriétés mécaniques et chimiques inégalées par toute autre série d'alliages. Ils contiennent environ 5 à 12% d'aluminium. De plus, les bronzes d'aluminium contiennent également du nickel, du silicium, du manganèse et du fer. Ils ont une excellente résistance, similaire à celle des aciers faiblement alliés, et une excellente résistance à la corrosion, en particulier dans l'eau de mer et les environnements similaires, où les alliages surpassent souvent de nombreux aciers inoxydables. Leur excellente résistance à la corrosion résulte de l'aluminium dans les alliages, qui réagit avec l'oxygène atmosphérique pour former une couche superficielle mince et dure d'alumine (oxyde d'aluminium) qui agit comme une barrière à la corrosion de l'alliage riche en cuivre. On les trouve sous forme forgée et moulée. Les bronzes d'aluminium sont généralement de couleur dorée. [34]

**II.5.6 Le balsa :**

Le terme fait référence à un bois extrêmement léger, souvent utilisé en complément d'autres matériaux composites. Il peut ainsi être intégré dans la fabrication de structures sandwich, constituées de plusieurs couches de matériaux, dont l'aluminium. En raison de ses propriétés isolantes thermiques, nous l'avons choisi comme matériau pour la table afin d'éviter la transmission de chaleur à l'ensemble de la machine.

**II.5.7 Le caoutchouc :**

On l'a utilisé pour les courroies à cause de sa souplesse et sa performance. [2]

**II.5.8 AISI 1010 barre d'acier laminée à chaud :**

C'est un acier de construction, on l'a utilisé pour sa résistance et sa dureté. [2]

**II.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, toutes les solutions envisageables pour la conception de notre imprimante ont été énumérées. Nous avons examiné en détail tous les systèmes qui la composent, en passant en revue les différentes pièces avec leurs formes et dimensions selon les axes X, Y et Z. De plus, le matériau choisi pour chaque pièce a été spécifié, accompagné de la justification de toutes les décisions prises.

*Chapitre III :*  
*Calculs*  
*analytique*

### III.1 Introduction

L'étude de la résistance des matériaux est une étape essentielle, permettant d'évaluer les éventuelles déformations des pièces et ainsi leur durabilité. Notre analyse se concentre uniquement sur les composants les plus sollicités de l'imprimante, à savoir les glissières des axes X et Y, sujettes à la flexion sous le poids des éléments qu'elles soutiennent.

### III.2 Définition

La flexion est un mode de travail d'une structure soumise à des forces, ou actions mécaniques qui tendent à modifier la courbure de sa ligne moyenne. [32]

### III.3 Détermination des masses :

Avant de commencer l'étude, on détermine d'abord la masse de chaque élément de notre machine figure (III.1).

On a utilisé des pièces normalisées et des pièces usinées. Les masses des pièces normalisées sont tirées d'après les catalogues des fournisseurs. Les masses des pièces usinées sont tirées approximativement du logiciel de conception Solidworks 2020. Le tableau (III.1) représente les masses des pièces de notre machine.



Figure III.1 : Imprimante 3D.

Tableau III.1 : Les masses des composants de l'imprimante 3D.

Nom de la pièce	Volume (m <sup>3</sup> )	Masse (Kg)	Désignation (mi)
Extrudeur	0.0000614089	0.1658016	m <sub>1</sub>
Poulie	0.000002118	0.0057186	m <sub>2</sub>
La cale	0.000003542	0.0065634	m <sub>3</sub>
Moteur	0.000079332	0.2141964	m <sub>4</sub>
Table	0.0001935	0.4698	m <sub>5</sub>
Couche isolante	0.00004746093	0.0066445302	m <sub>6</sub>
Lit chauffant	0.0000625	0.16875	m <sub>7</sub>
Pièce imprimée	/	0.5	m <sub>8</sub>
Poutre	0.000174	0.4698	m <sub>9</sub>
Coupleur	0.0000068287	0.0184376	m <sub>10</sub>
Porte glissières horizontal	0.0000301593	0.0814300816	m <sub>11</sub>
Porte glissières vertical	0.0000301593	0.0814300816	m <sub>12</sub>

III.4 Théories et applications numériques :

III.4.1 Calcul de la flèche et du moment fléchissant maximal :

Connaissant l'équation des moments fléchissant **M<sub>f</sub>** en fonction de x (positions le long de la poutre), la pente  $\dot{y}=0$  et la déformée y sont obtenues par intégrations successives à partir de :

$$M_f = -EI \cdot \ddot{y} \dots\dots\dots (III-1)$$

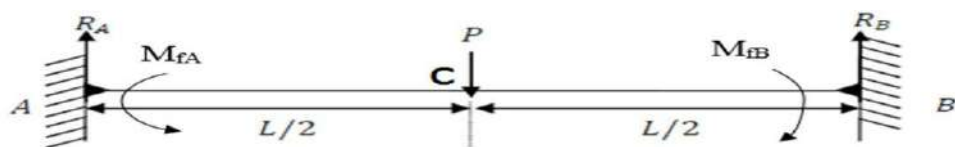


Figure III.2 : Poutre encastree-encastree

Avec :

- M<sub>f</sub> : moment fléchissant.
- E : module d'élasticité longitudinale.
- $\ddot{y}$  : dérivée seconde de la déformée y.
- I : moment quadratique de la section, tel que :

$$I = be^3 / 12 \dots\dots\dots (III-2)$$

Par symétrie :  $R_A = R_B = \frac{P}{2}$

$M_{fA} = -M_{fB}$

$M_{f \max} = -M_{f(x=\frac{L}{2})}$

**Avec :**  $R_A$  : réaction au point A.  $R_B$  : réaction au point B.

$P$  : c'est la charge appliquée au centre des glissières ;

$$P = \sum m_i \cdot g \dots\dots\dots (III-3)$$

Tels que :

- $m_i$  : somme des masses (Kg).
- $g$  : gravité (N/Kg)

Où  $M_{fB}$  reste indéterminé et le système est hyperstatique d'ordre 1, le principe des intégrations successives à partir de l'équation (IV.1).

$$M_{fC} = M_{fA} - R_A \cdot x$$

$$M_{fAC} = M_{fA} - \frac{P}{2} \cdot x$$

$$Ely'_{AC} = -M_{fAC} = -M_{fA} + \frac{P}{2} \cdot x$$

$$Ely_{AC} = -M_{fA} \cdot x + \frac{P}{4} \cdot x^2 + C_1$$

$$Ely_{AC} = -M_{fA} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{P}{12} \cdot x^3 + C_1 \cdot x + C_2$$

**a. Conditions aux limites :**

Les conditions aux limites à l'encastrement A permettent de déterminer les constantes  $C_1$  et  $C_2$

- Pour  $X = 0$  ,  $Y = 0$  ce qui donne  $C_2 = 0$ .
- De même, la pente de la tangente en A est nulle,  $y'_{AC}=0$  ce qui donne  $C_1 = 0$ .
- De plus, au centre de la poutre, pour  $x = L/2$  la pente de la tangente en C est nulle.

$Ely'_{AC} = 0$

$$-M_{fA} \cdot \left(\frac{L}{2}\right) + \frac{P}{4} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 + C_1 = 0$$

Donne :

$$M_{fA} = \frac{(p) \cdot L}{8} \dots\dots\dots (III-4)$$

$$Y'_{AC} = \left[\frac{(p) \cdot x}{4EI}\right] \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)$$

$$Y_{AC} = \left[\frac{(p) \cdot x^2}{4EI}\right] \cdot \left(\frac{x}{3} - \frac{L}{4}\right)$$

$$Y_{AC} = \left[ \frac{(p) \cdot x^2}{16EI} \right] \cdot \left( \frac{2L-3L}{12} \right)$$

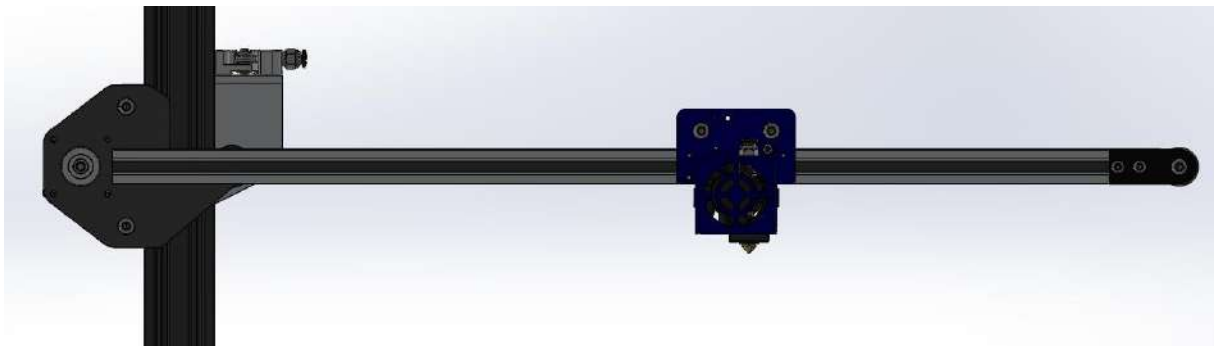
$$Y_{AC} = - \frac{1}{192} \cdot \frac{(p) \cdot L^3}{EI} \dots\dots\dots (III-5)$$

**b. Applications numériques :**

**1. Calcul de la flèche :**

➤ **Glissières sur l'axe Y :**

Notre glissière ci-contre de longueur L=600mm, encastrée des deux extrémités soumise à une charge P en son milieu.



**Figure III.3:** Glissières sur l'axe Y

La charge appliquée sur la barre de l'axe Y est:

$$P = \sum_1^4 m_i \cdot g$$

$$P = 0,4 \cdot 10 = 4N$$

$$P = 4 N$$

Pour des raisons de sécurité la force choisit doit être supérieur à la force calculée, donc on prend : P = 8 N

On a :

$$L = 600 \text{ mm}$$

$$E = 200.103 \text{ N/mm}^2$$

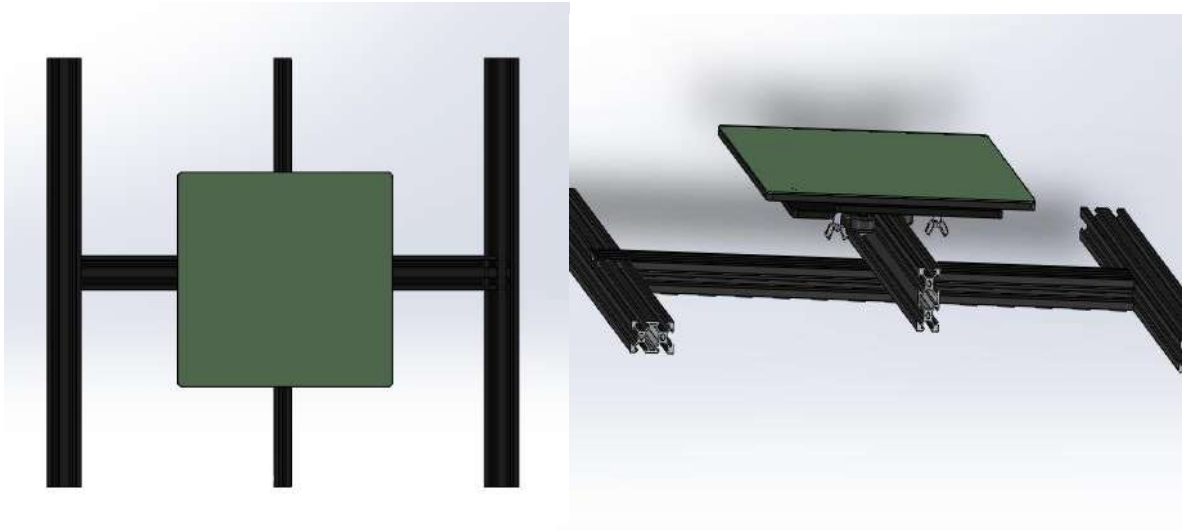
$$B=20 \text{ e}=40$$

$$I = \frac{20 \times 40^3}{12} = 106666.666 \text{ mm}^4$$

$$\text{De l'équation (III.5) : } y_{AC} = - \frac{1}{192} \frac{8 \times (600)^3}{200 \times (10)^3 \times 106666.666} = -0.000421875$$

➤ **Glissières sur l'axe X :**

Notre glissière de longueur L= 600 mm, encastrée des deux extrémités soumise à une charge en son milieu.



**Figure III.4 :** Glissières sur l'axe X.

La charge appliquée sur la barre de l'axe X est

$$P = \sum s^8 m_i \cdot g$$

$$P = 13.6 \text{ N}$$

Pour des raisons de sécurité la force choisit doit être supérieur à la force calculée, donc on prend :

$$P = 27.2 \text{ N}$$

On a:

$$L = 600 \text{ mm}$$

$$E = 200 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$B = 20 \text{ e} = 40$$

$$I = \frac{20 \times 40^3}{12} = 106666.666 \text{ mm}^4$$

$$\text{De l'équation (III.5) : } y_{AC} = - \frac{1}{192} \frac{27.2 \times (600)^3}{200 \times (10)^3 \times 106666.666} = -0.0014343751$$

## 2. Calcul du moment fléchissant maximal $M_{f \max}$ :

De l'équation (III.4) :

✓ **Sur l'axe Y :**

$$M_{f \max} = \frac{8 \times 600}{8} = 600 \text{ N.mm}$$

✓ **Sur l'axe X :**

$$M_{f \max} = \frac{27.2 \times 600}{8} = 2040 \text{ N.mm}$$

### 3. Calcul de résistance :

Pour que nos glissières résistent aux sollicitations, il faut être certain de rester dans la zone élastique. On se fixe donc un seuil à ne pas dépasser, à l'aide d'un coefficient de sécurité  $F_s$ , selon le matériau utilisé, ce seuil est appelée contrainte admissible, ou encore résistance pratique à l'extension  $R_{pe}$ , tel que :

$$R_{pe} = \frac{R_e}{F_s} \dots\dots\dots (III-6)$$

Avec  $R_e$  : résistance du matériau à l'élasticité.

On a utilisé l'acier laminé à froid, sa résistance à l'élasticité est  $R_e = 350 \text{ N/mm}^2$ . Et le coefficient de sécurité  $F_s = 2$  ;

Donc :  $R_{pe} = 350/2 = 175 \text{ N/mm}^2$

#### a. Condition de résistance :

$$\sigma_f = \frac{M_{f \max}}{W_f} \leq R_{pe} \dots\dots\dots (III-7)$$

Avec :

- $\sigma_f$  : contrainte normale maximale.
- $W_f$  : module de résistance à la flexion.

avec :

$$W_f = \frac{\pi d^3}{32} \dots\dots\dots (III-8)$$

#### Applications numériques :

##### ✓ Sur l'axe Y :

On a:  $M_{f \max} = 600 \text{ N.mm}$

$$W_f = \frac{3.14 \times 8^3}{32}$$

$$W_f = 50,24 \text{ mm}^3$$

$$\text{Donc : } \sigma_f = \frac{600}{50.24} = 11.94 \text{ N/mm}^2$$

$$11.94 \text{ N/mm}^2 < 175 \text{ N/mm}^2$$

##### ✓ Sur l'axe X :

On a:

$$M_{f \max} = 2040 \text{ N.mm}$$

$$W_f = 50,24 \text{ mm}^3$$

Donc :

$$\sigma_f = \frac{2040}{50.24} = 40.6050 \text{ N/mm}^2$$

---

$$40.6050 \text{ N/mm}^2 < 175 \text{ N/mm}^2$$

**III.5 Résultats :**

D'après les résultats obtenus dans nos calculs, il est clair que la condition de résistance est respectée et que les glissières choisies supportent largement les contraintes de flexion.

**III.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons examiné la résistance à la flexion des composants les plus sollicités de notre imprimante, à savoir les glissières de guidage des axes X et Y. Nous avons calculé la flèche et le moment fléchissant pour chacune de ces glissières, puis vérifié si elles répondaient aux exigences de résistance. Les résultats obtenus confirment que nos glissières supportent largement la flexion.

*Conclusion  
Générale*

## Conclusion générale

---

### **Conclusion générale :**

L'avènement de l'impression tridimensionnelle est aujourd'hui célébré comme une révolution majeure du 21<sup>e</sup> siècle, offrant la promesse de métamorphoser notre vie quotidienne. Autrefois cantonnée aux secteurs industriels de pointe, cette technologie commence à s'inviter chez les particuliers, malgré ses actuelles contraintes. Les prochaines années devraient assister à des percées scientifiques qui permettront d'exploiter pleinement son potentiel, avec la capacité d'imprimer une multitude de matériaux et de formes de toutes dimensions. Les applications, notamment dans le domaine scientifique, connaîtront une expansion significative. En parallèle, les logiciels de conception deviendront toujours plus sophistiqués et précis. On anticipe une montée en flèche du nombre d'imprimantes 3D dans le monde au cours de la décennie à venir, rendant cette technologie accessible à un public élargi grâce à la diminution des coûts de production. Cette décentralisation de la production permettra à chacun de créer des objets personnalisés répondant à des besoins spécifiques, potentiellement améliorant ainsi le niveau de vie, surtout dans les régions où l'impression 3D sera largement répandue. Par ailleurs, la tendance à fabriquer ses propres objets devrait se renforcer, faisant de l'imprimante 3D un équipement domestique indispensable, au même titre que la machine à vapeur, l'électricité ou l'informatique. Cette transformation marque le début d'une nouvelle ère industrielle, qui persistera aussi longtemps que l'homme aura besoin de créer des objets.

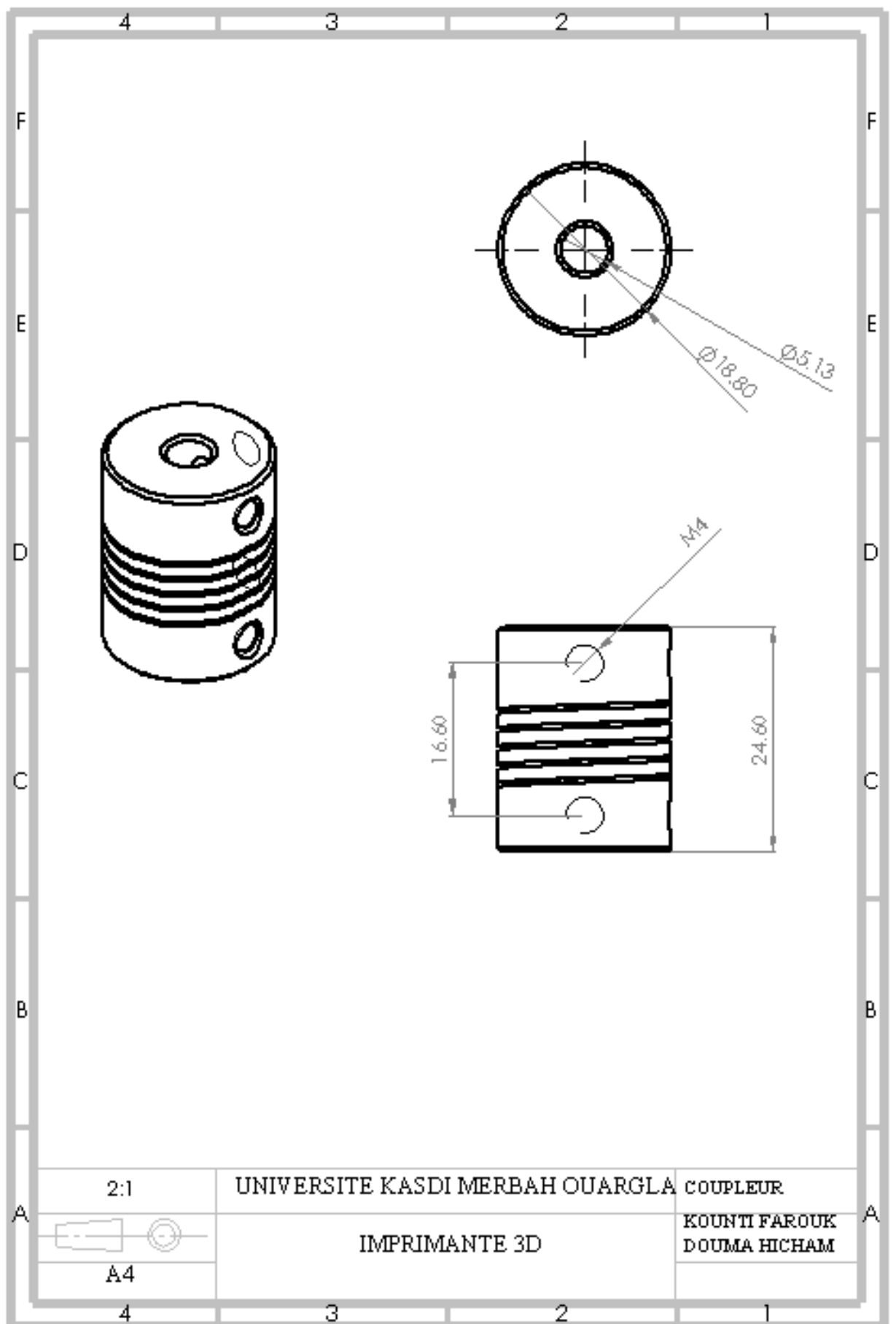
*Références  
Bibliographiques*


## Références bibliographiques :

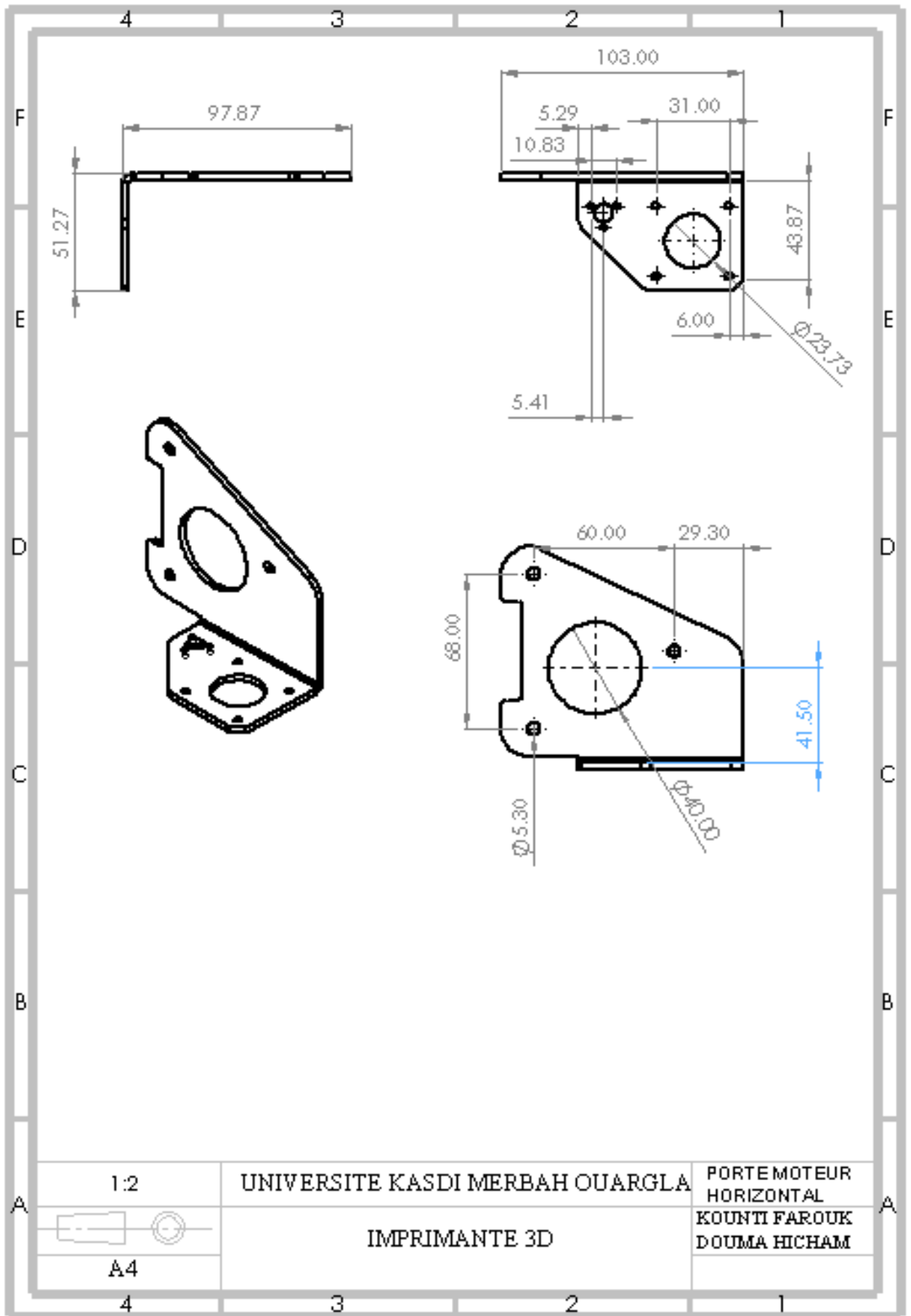
- [1] : LEMSADFA Haiballah, Contribution et réalisation d'une imprimante 3d, mémoire en vue de l'obtention du titre de Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2017/2018.
- [2] : SEDJAL, Etude et conception d'une imprimante 3D, mémoire en vue de l'obtention du titre de Master, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2015/2014.
- [3] : L'impression 3D par Stéréolithographie, POINT D'ENCRE vous explique tout ! - Blog de la marque Point d'Encre (pointdencre.fr)
- [4] : Imprimante 3D fonctionnement - Comment ça marche ? | PRIMANTE3D
- [5] : [https://www.researchgate.net/figure/Selective-Laser-Sintering-142-Electron-Beam-Melting-EBM-Electron-Beam-Melting-and-its\\_fig1\\_312412048](https://www.researchgate.net/figure/Selective-Laser-Sintering-142-Electron-Beam-Melting-EBM-Electron-Beam-Melting-and-its_fig1_312412048)
- [6] : [https://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-PolyJet-Matrix-method-Proto-3000-2013\\_fig2\\_310469956](https://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-PolyJet-Matrix-method-Proto-3000-2013_fig2_310469956)
- [7] : <https://fabric-advanced-biology.univ-lyon1.fr/ceramic-printer-3d-ceram>
- [8] : A la découverte des matériaux d'impression 3D : Les plastiques, (2018).  
<https://www.3dnatives.com/materiaux-impression-3d-abs-pla-polyamides-alumide>
- [9] : Charline Choissard et Romain Elineau, « l'impression en volumes, un avenir pour l'imprimerie ? », N°1 - Juin 2011.
- [10] : Quels matériaux pour imprimer en 3D ?  
<http://www.primante3d.com/materiaux>
- [11] : L'impression 3D en met plein la vue, (2018).  
<https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/limpression-3d-en-met-plein-la-vue-57565>
- [12] : **Guillaume Blum, Michel de Blois, Nadim Tadjine.** « L'impression 3d : de l'émerveillement technique aux enjeux organisationnels, économiques et sociétaux », École de design, Université Laval, (2017)
- [13] : A la découverte des matériaux d'impression 3D : Les métaux, (2017).  
<https://www.3dnatives.com/a-la-decouverte-des-materiaux-dimpression-3d-deuxieme-partieles-metaux>
- [14] : A la découverte des matériaux d'impression 3D : Céramiques et matériaux organiques, (2017).  
<https://www.3dnatives.com/materiaux-impression-3d-ceramiques-bois>
- [15] : Adapté de (CARRABINE 2010 ; SCHUMACHER, FABBRI ET AL.2014)
- [16] : [industrie-techno.com/article/les-promesses-de-limpression-3d-metallique.38572](http://industrie-techno.com/article/les-promesses-de-limpression-3d-metallique.38572)

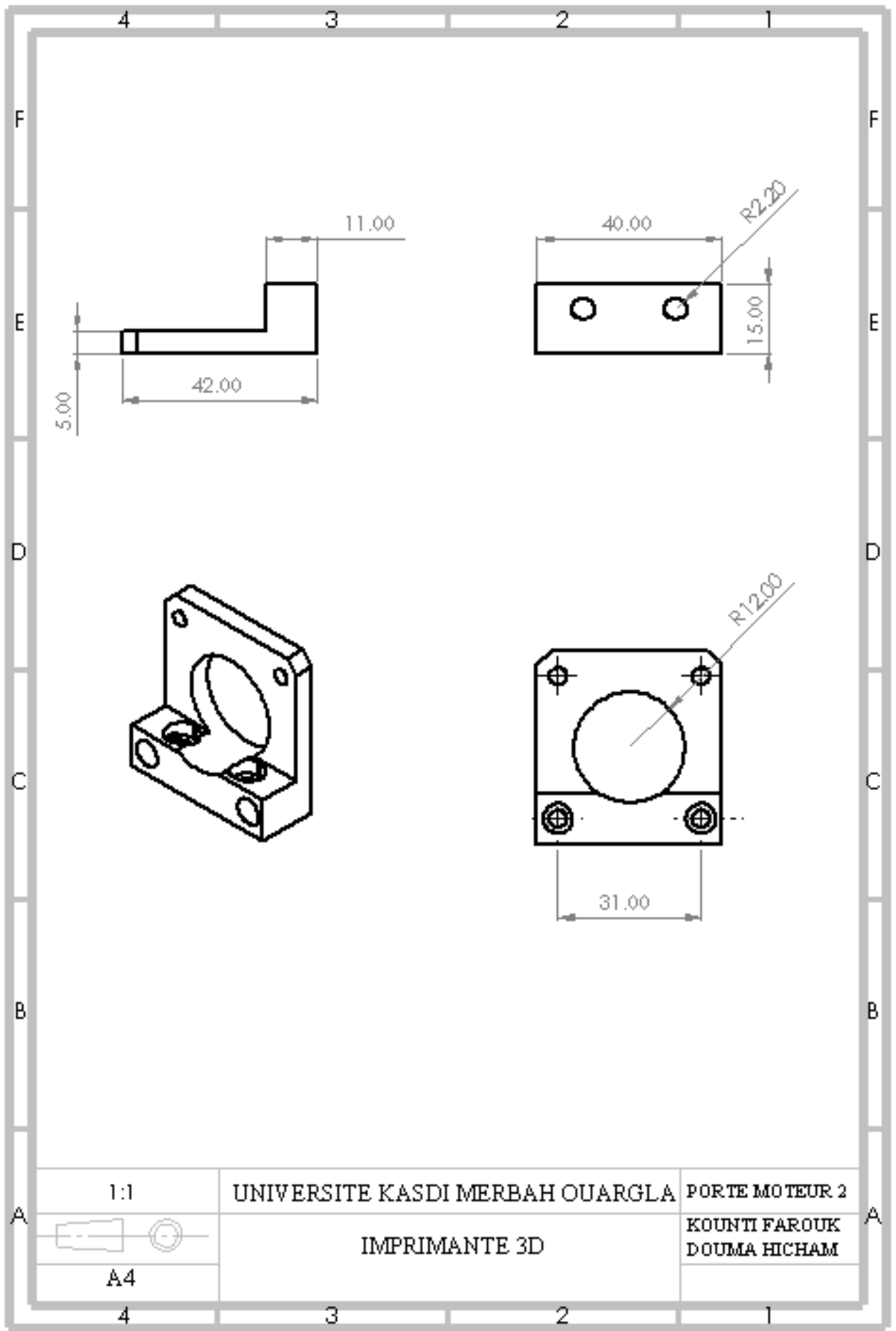
- [17] : S. Ali Ahmed, A. Hadid, étude et conception d'une imprimante 3D, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master, UMMTO, Tizi Ouzou, 61p, 2015.
- [18] : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rapid\\_Prototyping\\_at\\_RCA\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rapid_Prototyping_at_RCA_1.jpg)
- [19] : <https://www.moussasoft.com/guide-complet-de-limpression-3d-fdm/>
- [20] : <http://www.primante3d.com/buses-impression3d-04082020/> (consulté le 29 novembre 2021).
- [21] : <https://www.rhino3dprinter.com/urun/creality-cr10-ve-ender-3-serisi-ikili-hotend-seti> (Consulté le 29 novembre 2021)
- [22] : <http://www.primante3d.com/buses-impression3d-04082020/> (consulté le 29 novembre 2021).
- [23] : <https://www.primante3d.com/buses-impression3d-04082020/>
- [24] : B.Franta, 3D printing – top 5 methods + secrets from the trade, édition kindle, 2015
- [25] : [fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/740671](http://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/740671)
- [26] : [www.123roulement.com/transmission-puissance/courroie-dentee](http://www.123roulement.com/transmission-puissance/courroie-dentee)
- [27] : [protorx.com/tige-filetee/](http://protorx.com/tige-filetee/)
- [28] : Dr. HAMZA-CHERIF Sidi Mohammed, Assemblages par éléments filetés : Eléments de technologie et dimensionnement, 2016/2017.
- [29] : [www.science.lu/de/electromobilite/comment-fonctionnent-les-moteurs-electriques-asynchrones](http://www.science.lu/de/electromobilite/comment-fonctionnent-les-moteurs-electriques-asynchrones)
- [30] : [www.smoothmotor.com/fr/a-news-linear-stepper-motors-in-3d-printing-enhancing-precision-and-accuracy#:~:text=Les%20moteurs%20pas%20à%20pas%20linéaires%20sont%20un,et%20le%20mouvement%20précis%20requis%20dans%20l'impression%203D.](http://www.smoothmotor.com/fr/a-news-linear-stepper-motors-in-3d-printing-enhancing-precision-and-accuracy#:~:text=Les%20moteurs%20pas%20à%20pas%20linéaires%20sont%20un,et%20le%20mouvement%20précis%20requis%20dans%20l'impression%203D.)
- [31] : Whatis Marlin ? | Marlin Firmware (marlinfw.org) (consulté le 10 janvier 2022)
- [32] : <https://french.alibaba.com/g/aluminum-extruded-profile-6060-t5.html>
- [33] : [material-properties.org/fr/quelles-sont-les-proprietes-des-aciers-inoxydables-caracteristiques-definition/](http://material-properties.org/fr/quelles-sont-les-proprietes-des-aciers-inoxydables-caracteristiques-definition/)
- [34] : [material-properties.org/fr/quelles-sont-les-proprietes-des-aciers-inoxydables-caracteristiques-definition/](http://material-properties.org/fr/quelles-sont-les-proprietes-des-aciers-inoxydables-caracteristiques-definition/)
- [35] : <https://openbuilds.com/builds/ba3dp.7789/>

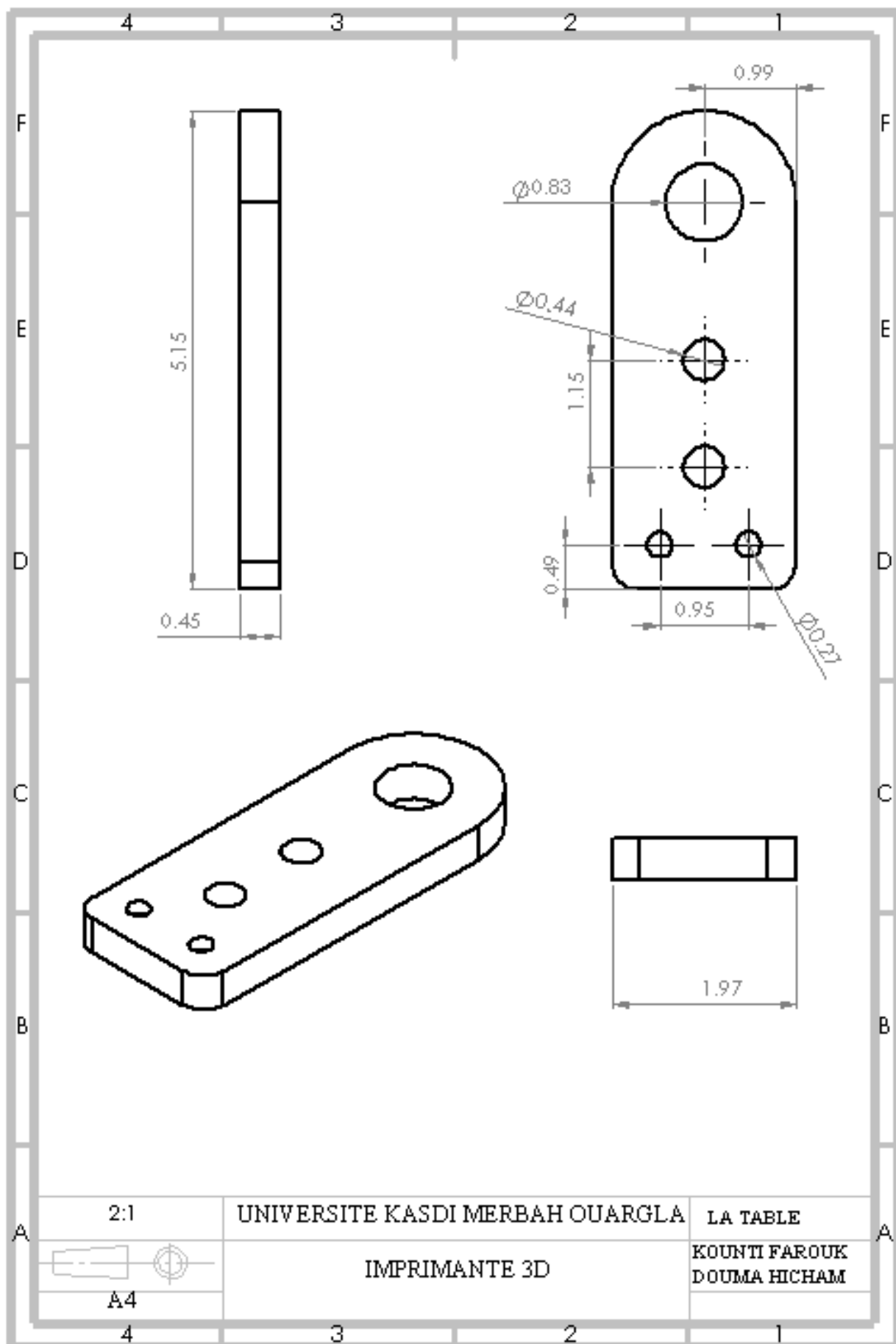
# *Annexes*

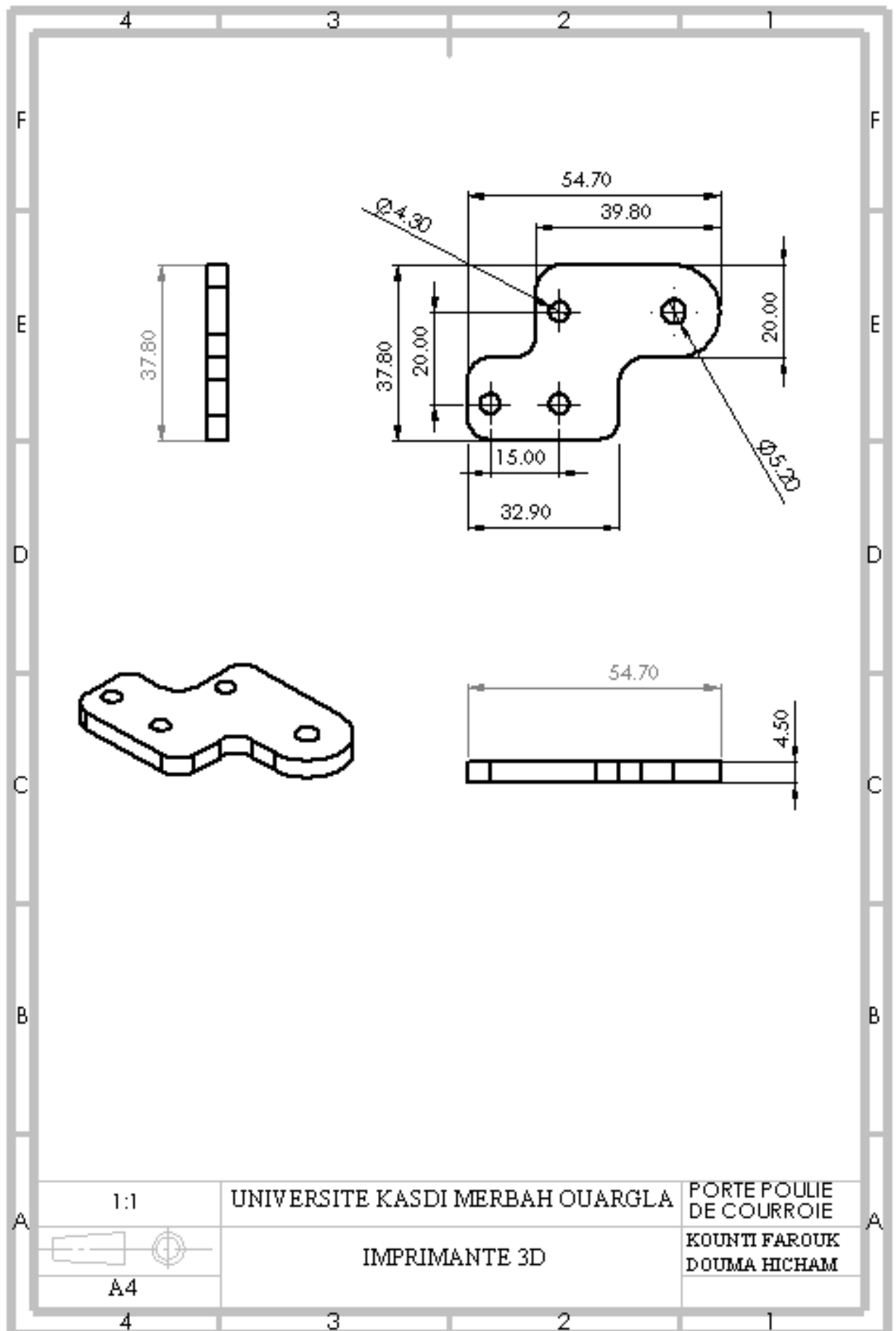


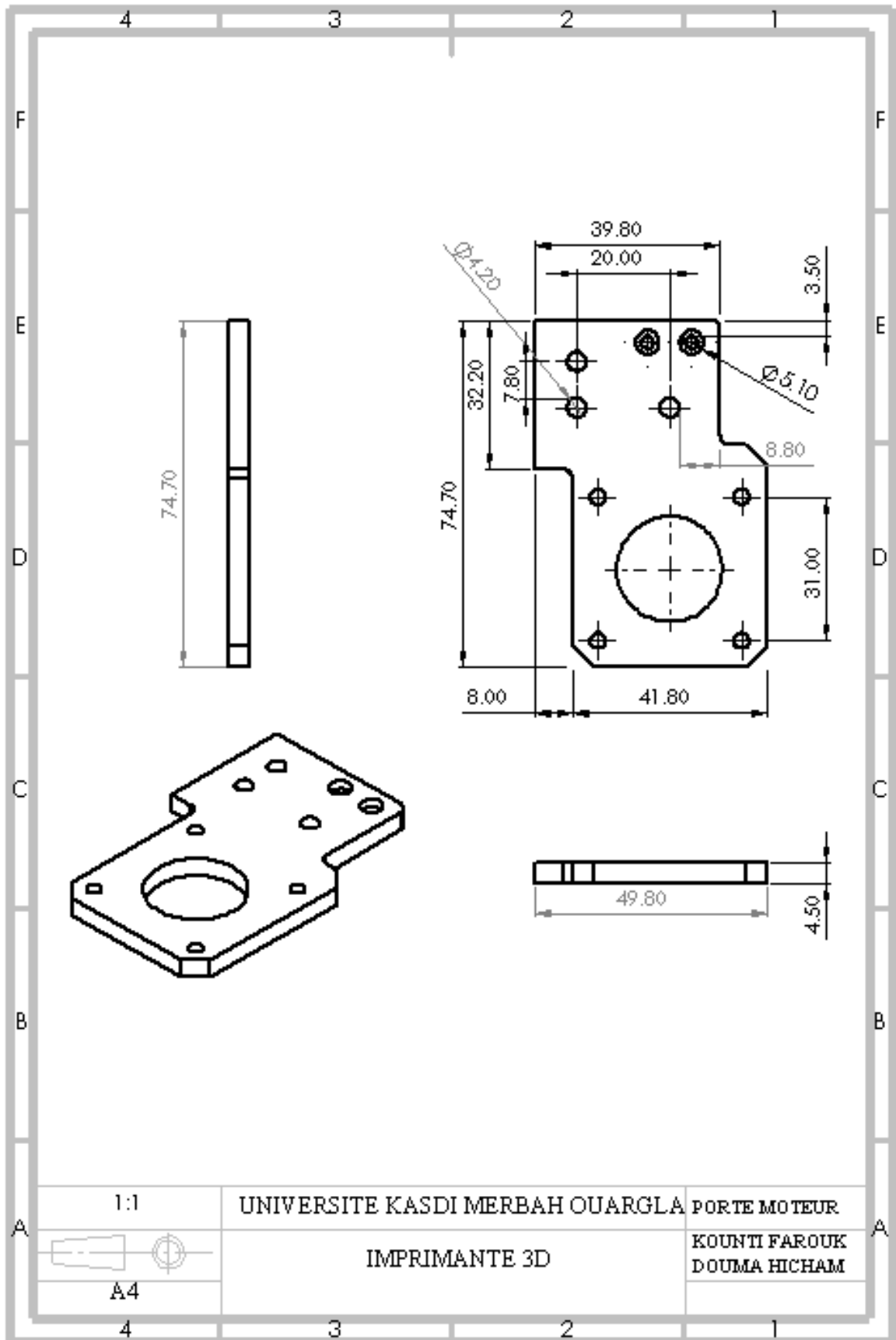
2:1	UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA	COUPLEUR
	IMPRIMANTE 3D	KOUNTI FAROUK DOUMA HICHAM
A4		

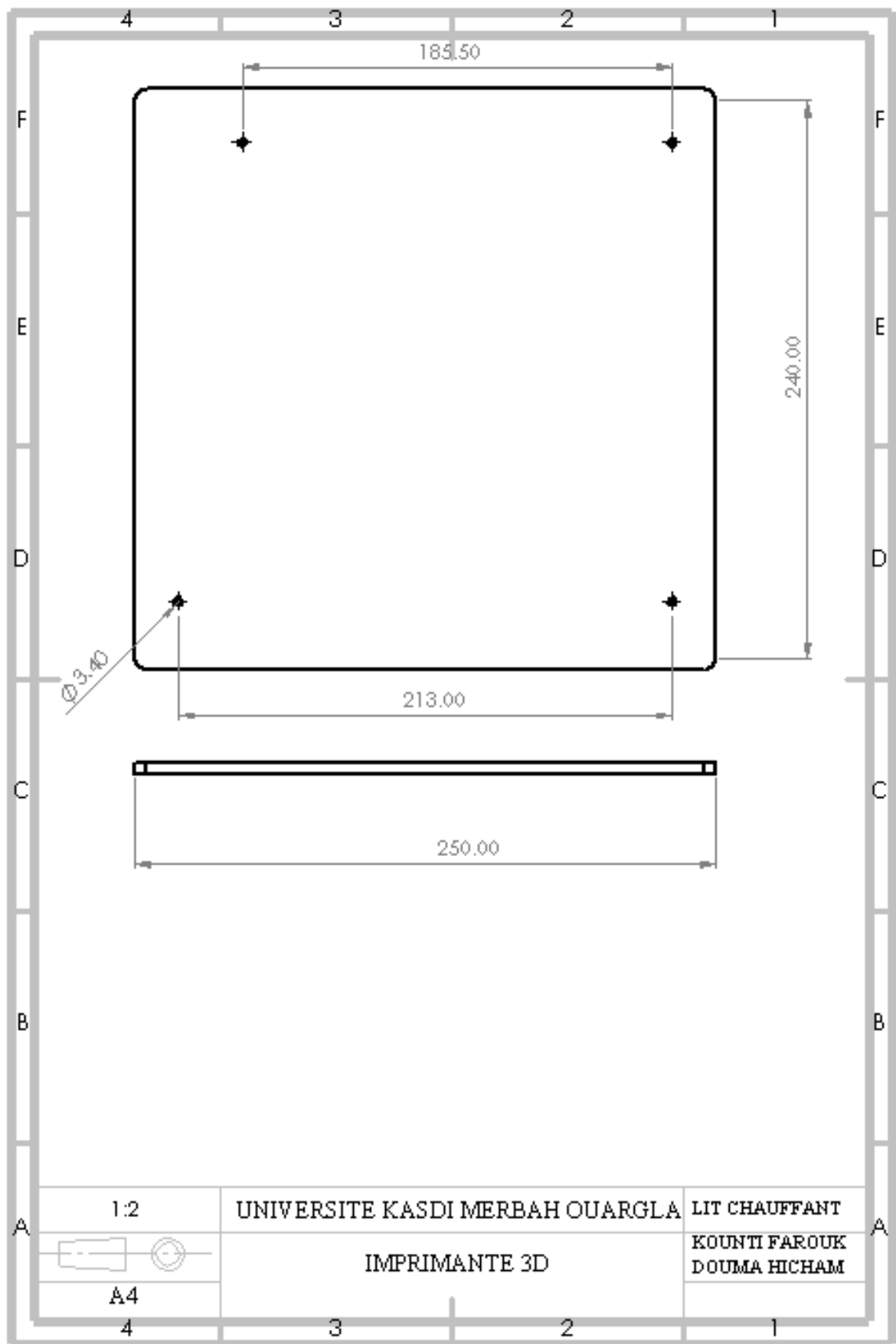


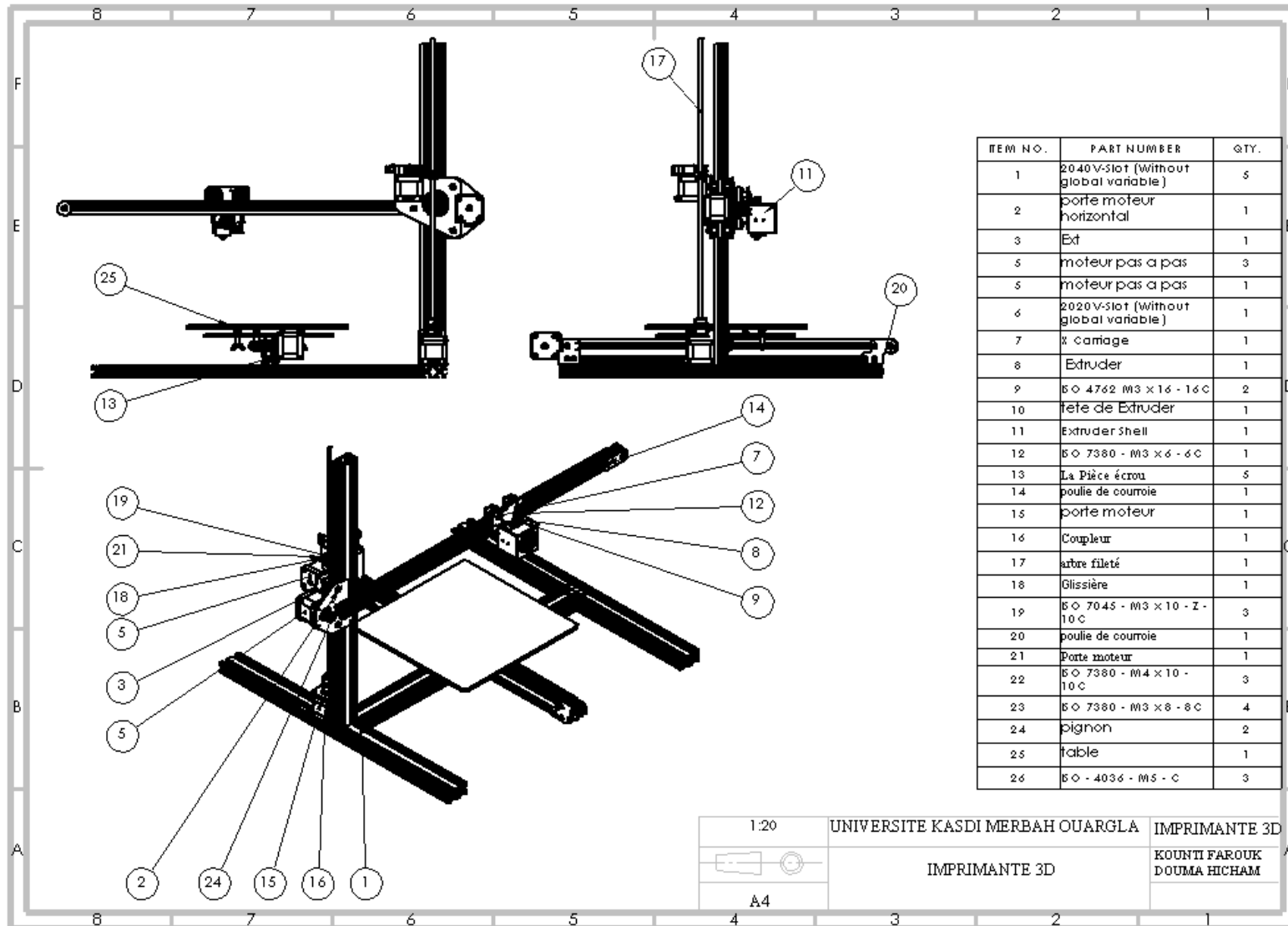












ITEM N.O.	PART NUMBER	QTY.
1	2040V-Slot (Without global variable)	5
2	porte moteur horizontal	1
3	Ext	1
5	moteur pas a pas	3
5	moteur pas a pas	1
6	2020V-Slot (Without global variable)	1
7	X cariage	1
8	Extruder	1
9	Ø 4762 M3 x 16 - 16 C	2
10	rete de Extruder	1
11	Extruder Shell	1
12	Ø 7380 - M3 x 6 - 6 C	1
13	La Pièce écrou	5
14	poulie de courroie	1
15	porte moteur	1
16	Coupleur	1
17	arbre fileté	1
18	Glissière	1
19	Ø 7045 - M3 x 10 - Z - 10 C	3
20	poulie de courroie	1
21	Porte moteur	1
22	Ø 7380 - M4 x 10 - 10 C	3
23	Ø 7380 - M3 x 8 - 8 C	4
24	pignon	2
25	table	1
26	Ø - 4036 - M5 - C	3

1:20	UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA	IMPRIMANTE 3D
	IMPRIMANTE 3D	KOUNTI FAROUK DOUMA HICHAM
A4		