



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



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de la Construction
Département génie mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme master académiques en génie mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Thème :

Conception et réalisation d'une imprimante 3D

Présenté par

M. YAZID Abd elkarim

M. CHENOUNE Amine

proposé et dirigé par

M. KACIMI Bachir

Mme. TEKAL Fatiha

Présenté devant le Membre de Jury Composé de :

Président :

Examineur :

Rapporteur :

Promotion : 2023/2024

Remerciement

La rédaction de ces quelques lignes représente notre gratitude envers toute personne qu'ils nous ont aidé de près ou de loin à conclure notre cursus universitaire. Nos remerciements vont d'abord au DIEU qui nous a maintenu en santé et nous a doté de courage et de puissance pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance à nos encadreurs **M.KACIMI Bachir** et **Mme. TAKLAL Fatiha**; pour l'effort qu'ils ont fourni, pour leur suivi, leurs conseils et orientations, et leurs patiences envers nous.*

Nous adressons nos remerciements aux membres de jury qui vont nous accorder une partie de leurs temps pour examiner et évaluer notre travail.

Nos remerciements vont davantage à tous les enseignants du département de génie mécanique pour le savoir qu'ils nous ont transmis durant nos cinq années d'études.

Nous remercions également toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs partage d'information, leurs critiques ont guidé notre réflexion et contribué à la rédaction de ce modeste travail, ils ont été d'un grand soutien.

Un remerciement spécial pour ceux à qui nous devons l'essentiel, nos très chers parents pour leurs prières et leurs soutiens tout au long de notre cursus.

Dédicace

Je dédie ce travail à,

Mon cher défunt père que dieux l'accueil dans son vaste paradis ainsi que à ma très chère mère, pour leurs amour et leurs tendresse, leurs soutien, ils n'ont jamais cessé de prier pour moi tout au long de mes études, vous avez fait de moi ce que je suis aujourd'hui et j'espère vous rendre fière.

Amine

Dédicace

Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce travail que je tien très chaleureusement à le dédier à : Ma mère (رحمة الله عليها) et mon père qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études et pour leurs patiences que Dieu les protègent et les gardes pour moi. Et à mes très chers frère et sœur et amis, pour tous les moments d'échange et de débat aux personnes qui m'ont toujours aidé et soutenu.

MERCI A TOUS.

Abdelkrim

I.3.3.1. Caractéristiques des plastiques d'impression 3D.....	22
I.3.3.2. Processus d'impression 3D plastique.....	22
I.3.3.3. Les paramètres clé de chaque technologie d'impression 3D plastique (FDM, SLA, SLS)	29
I.4. Conclusion	30

Chapitre II : Conception de l'imprimante 3d

II.1. Introduction	31
II.2 Cahier de charge :	31
II.3 Les Filament:	31
II. 3.1 Filament PLA :	31
II.3.2 Fibre de carbone :	32
II.4. Les supports :	32
II.4.2 Les différentes structures de support possibles en impression 3D FDM :	33
II.5 Choix de moteurs :	34
II.5.1. Le moteur pas à pas : [.....	34
II.6.la table chauffante :	37
II.7. L'extrudeuse :	39
II .7 .1. Composants de l'extrudeuse :	40
II.8. La cinématique de l'imprimante 3D :	42
II.8.1. Axe X, Y, courroie, pignon :	42
II.8.2. Axe z (la tige) :	43
II.8.3. Contrôle de L'extrudeuse :	43
II.9. Systèmes de transmission :	44
II.10. Système de fixation :	45
II.11. Logiciel de conception SolidWorks 2020 :	45
II.12 Justification du choix des pièces :	46
II.13 Justification du choix des matériaux.....	52
II.14 Acier inoxydable recuit :	53
II.15. Arduino	54
II .15 .1.Spécifications techniques de la carte Arduino UNO	55
II.15.2 Comment utiliser les cartes Arduino ?	55

II.16 Conclusion	56
------------------------	----

Chapitre III : Réalisation et étude techno-économique

III. 1 Introduction	57
III .2 .Les matériaux pour la réalisation	57
III. 3 Les composants	57
III.3 .1 le Bâti	58
III.3.2 La base	58
III.3.3 Porte table	59
III.3.4 Plaque dentée.....	60
III.3.5 porte glissière	60
III.3.6 Porte glissière verticale	61
III.3.7 Coupleur	61
III.3 .8 la bobine et tige de bobine :	62
III.4 .Imprimante 3D utilise :	63
III.4.1. Caractéristiques principales.....	63
III.4.2. Fonctionnalités et avantages.....	63
III.4.3. Qualité d'impression.....	63
III.5. Logiciel Ultimaker cura :	64
III.5.1. Fonctionnement du logiciel :	65
III.5.2. Fichiers de modèle 3D (STL) :	65
III.5.3 Comment ajouter des Supports :	66
III.5.4. Génération de G-code :	67
III.5.5. Appliquer différents réglages à une même pièce :	67
III.5.6. Caractéristiques principales :	68
III.6. Le G-code :	69
III.6 .1. Fonctionnement du G-code :	69
III.6.2. Exemple de lignes de G-code :	70
III.6.3. Utilisation du G-code en impression 3D :	70
III.6.4. Personnalisation et optimisation.....	70
III.7. Etude techno-économique :	71

III.8.CONCLUSION :	72
<i>Conclusion générale</i>	73
<i>Bibliographie.</i>	
<i>Annexes</i>	

- **Liste des abréviations**

3D : Trois Dimensions

PLA : Poly Lactique Acide

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styène

CLIP : Continuous Liquid Interface Production

UV : Ultra-Violet

SLA : Stéréolithographie

DLP : Digital Light Processing

MSLA : Masked Stereo-Lithography Apparatuses

LSD : Liquid Crystal Display

FDM : Fused Desposition Modeling (Dépôt de Fil Fondu)

SLS : Frittage Laser Sélectif

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

FA : Fabrication Additive

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1 : Exemple d'une imprimante 3D.....	02
Figure 2 : Les matériaux utilisés pour l'impression 3D	05
Figure 3 : Historique de l'imprimante 3D.....	07
Figure 4 : Evolution du marché mondial (vente de matériels et services) entre la période 2013-2020	09
Figure 5 : Répartition des recettes du marché de l'impression 3D par région	11
Figure 6 : Evolution des ventes mondiales des imprimantes 3D	11
Figure 7 : Le composite.....	14
Figure 8 : Fibres courtes.....	15
Figure 9 : Fibres longues.....	15
Figure 10 : Le filament.....	16
Figure 11 : Fonctionnement de la technologie SLA.....	19
Figure 12 : Fonctionnement de la technologie DLP	19
Figure 13 : Fonctionnement de la technologie MSLA / LCD	20
Figure 14 : Représentation du FDM.....	20
Figure 15 : Schéma du processus FDM	24
Figure 16 : Représentation du SLA.....	25
Figure 17 : Représentation graphique du fonctionnement de base de l'impression 3D SLA .	26
Figure 18 : Schéma de processus du frittage sélectif par laser (SLS)	28

Chapitre II

Figure 1 : Les supports.....	33
Figure N2 : moteur pas à pas.	35
FIGURE 3 : la table chauffante.....	39
FIGURE 4 : L'extrudeuse.	40
FIGURE 5 : Composants de l'extrudeuse.....	42
Figure 6 :Axe X, Y, courroie, poulie	42
Figure 7 : Axe z moteur, tige.....	43
Figure 8 : contrôle de l'extrudeuse.....	43
Figure 9 : poulies et courroie.....	44
Figure 10 : Tige filetée	45
Figure 11 : vis de fixation.....	45
Figure 12 : le cache et la base	46
Figure 13 : La porte glissière verticale.....	47
Figure 14 : porte glissière.....	47
Figure 15 : Porte moteur.....	48
Figure 16 : Coupleur	48
Figure 17 : porte table	49
Figure 18 : plaque dentée et porte courroie.....	49
Figure 19 : glissière et arbre fileté.....	50
Figure 20 : le lit chauffant, la couche isolante et la table.....	50
Figure 21 : La bobine et Tige de bobine.....	51
Figure 22 : support extrudeuse.....	51
Figure 23 : l'assemblage final de l'imprimante 3D.....	52
Figure N° 24 : Arduino.....	54

Chapitre III

Figure III.1 : le bâti	58
Figure III.2 : la base	59
Figure III.3 : port table	59
FIGURE III.4 : plaque dentée	60
FIGURE III.5 : porte glissière.....	60
FIGURE III.6 porte glissière verticale.....	61
FIGURE III.7 : Coupleur	61
Figure III.8 : bobine	62
FIGURE III.9 : tige de bobine.....	62
FIGURE III.10 : imprimante 3d ANYCUBIC MEGA S	64
FIGUR III.11 : La fenêtre de l'interface principale ULTIMAKER CURA	65
FIGURE III.12 : model 3d en STL	66
FIGURE III. 13: ajouter des Supports	67
Figure III.14 : réglage de remplissage	68
FIGURE III.15 :G-CODE	69

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1 : Liste des normes publiées en matière d'impression 3D	06
Tableau 2 : Représentant l'histoire de l'impression 3D	08
Tableau 3 : Types de résine utilisée pour l'impression 3D.....	17
Tableau 4 : Caractéristiques des plastiques d'impression 3D	22
Tableau 5 : Comparaison des imprimantes 3D SLS27 [18]	28
Tableau 6 : Paramètres de l'impression 3D FDM, SLA, SLS28	29

Chapitre II

Tableau 01 : Comparaison des trois de moteurs pas à pas	36
---	----

Chapitre III

Tableau III .1 : Les matériaux pour la réalisation.....	57
Tableau III.2 : les prix des composants fabriqué de l'imprimante 3d.....	71

Introduction générale

Introduction générale

L'impression 3D, ou fabrication additive, est une technologie révolutionnaire qui transforme la manière dont nous concevons, fabriquons et utilisons des objets. Elle permet de créer des objets tridimensionnels à partir de modèles numériques, en ajoutant des couches successives de matériaux, tels que des plastiques, des métaux ou des céramiques. Utilisée dans divers secteurs, de l'industrie à la médecine, en passant par l'art et l'éducation, l'impression 3D offre des possibilités infinies de personnalisation et de production rapide.

Cette technologie ne se contente pas de modifier la chaîne de production traditionnelle, elle ouvre également la voie à des innovations durables et à des économies de ressources, redéfinissant ainsi les frontières de la fabrication moderne,

La création d'un fichier CAO et un fichier du FAO sont nécessaire pour produire un objet par impression 3D, obtenu soit par sa numérisation via un scanner 3D, soit par recours à un logiciel de modélisation, contenant les paramètres de fabrication, ces données étant à mettre en œuvre avec le ou les matériaux sélectionnés.

L'objectif de notre travail est l'amélioration de la conception d'une imprimante 3D tout en cherchant à remédier les problèmes d'impression 3D rencontrés préalablement. Le document est organisé en 3 parties :

Dans le premier chapitre nous citons l'état de l'art sur les imprimantes 3D, des généralités sur l'historique de l'impression 3d et les Différents types de l'imprimante 3D (résine, plastique et composites) et quelques notions sur le prototypage rapide, domaine d'utilisation, matériaux utilisés, etc.

Dans le deuxième chapitre, nous récapitulons les variantes solutions que nous avons choisies pour la conception de notre machine tout en exposant les pièces utilisées, le choix de forme et de matériaux et l'assemblage final ainsi que la partie électronique de l'imprimante 3D.

Dans le dernier chapitre, est consacré à la réalisation de notre imprimante 3D, en détaillant les différentes étapes de sa fabrication ainsi que ses divers composants.

Enfin nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I :

*Etat de l'art sur les imprimantes 3D composite,
résine et plastique*

I.1. Introduction

L'imprimante 3D est une machine dont on entend de plus en plus parler au quotidien, est 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 transformation des nouvelles idées. Dans ce chapitre, on va voir la définition et les types des imprimantes 3D.

I.2. Définitions

Le terme « impression 3D » est généralement utilise pour décrire une approche de fabrication qui consiste à construire des objets par couches. Ce processus est plus correctement décrit comme méthode de fabrication additive et également appelé prototypage. [03]

Les technologies d'impression 3D ne sont pas entièrement nouvelles sur le marché, certaines ont été développées et utilisées pour la première fois à la fin des années 1990. [05]

Cependant, un grand battage médiatique entoure l'utilisation de l'impression 3D, présentée comme une technologie disruptive qui transformera à jamais les systèmes de fabrication.



Figure 1 : Exemple d'une imprimante 3D

I.2.1. Fonctionnement de l'impression 3D [15]

En premier lieu, il convient de dessiner la forme souhaitée sur un logiciel de CAO. Il existe un nombre important de logiciels sur le marché qui permettent de créer ses modèles 3D, les plans sont ensuite transmis à l'imprimante.

En deuxième étape, l'imprimante traite cette modélisation 3D conformément à la logique de fabrication additive : c'est-à-dire découper la modélisation 3D en couches 2D grâce à un logiciel approprié.

L'imprimante 3D reçoit donc une série d'instructions qu'elle va restituer un objet 3D. Plusieurs technologies existent pour passer de couches 2D à objet 3D.

Deux grands types de procédés dont en fait utilisés pour former les objets :

- Soit la matière travaillée peut entrer en fusion et elle peut être fondue peu à peu pour obtenir la forme souhaitée. (Exemple : Plastique).
- Soit la matière peut être solidifiée sous l'action de chaleur où la lumière (laser). (Exemple : Résine).

Mais dans les deux cas, l'impression 3D « pense » couche par couche pour obtenir la forme 3D. Chacun des méthodes implique des qualités propres qui jouent sur la durée nécessaire à l'obtention de l'objet mais aussi la taille limite des objets.

Après une étape de fabrication additive, le produit n'est terminé ni prêt à l'emploi. Il nécessite :

- Un nettoyage, un enlèvement des supports, un polissage, un sablage, un grenaillage ;
- Un usinage ;
- Un traitement thermique.

I.2.2. Les matériaux utilisés dans l'impression 3D [13]

- **PLA (Acide Poly Lactique) :**

Le PLA est le consommable le plus couramment utilisé pour les imprimantes personnelles à dépôt de fil. Ecologique car d'origine végétale (amidon de maïs, racine de manioc et betterave) ce plastique biodégradable et non toxique, il dégage une légère odeur sucrée pendant son impression. Si le PLA est pur et que l'extrudeur de l'appareil est en acier

inoxydable, alors celui-ci peut être utilisé pour imprimer des objets destinés à être en contact avec des aliments tels que des bols ou des tasses par exemple.

- **ABS (acrylonitrile butadiène styrène) :**

Fabriqué à base de pétrole, L'ABS qui est soluble dans l'acétone permet de souder les pièces métalliques avec une goutte ou deux, ou de lisser et créer un effet brillant par brossage ou trempage pièces entières dans l'acétone. Sa force, sa souplesse et sa meilleure résistance à la température font de lui le matériau préféré pour les ingénieurs et les applications professionnelles.

- **La poudre de polyamide :**

Ce matériau est notamment utilisé pour imprimer des prototypes blancs, selon un procédé d'impression 3D par frittage laser. Cette technique se repasse sur l'utilisation d'un faisceau laser qui vient sculpter votre objet en fusionnent les grains qui se solidifient sous l'effet de la chaleur.

- **La poudre d'alumide :**

L'alumide est un mélange de polyamide et d'aluminium. Ce matériau offre l'avantage de pouvoir réaliser des pièces à la fois très solides et très flexibles avec une importante résistance à la chaleur.

- **La résine liquide :**

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.

- **Acier inoxydable :**

Plus connu sous l'appellation « d'inox », l'acier inoxydable a été le premier métal à être commercialisé pour la fabrication additive. Comme son nom le suggère il possède des propriétés mécaniques de haute résistance à la corrosion.

- **Le titane :**

Les pièces imprimées à partir de titane ou de ses alliages sont réputées pour leur légèreté, leur solidité et leur résistance à la corrosion très élevée.

- **L'aluminium :**

Il est le plus souvent utilisé pour la fabrication de moules à parois fines et aux géométries complexe. Il existe aussi l'alumide, une poudre à base de polyamide et d'aluminium. Il offre l'avantage de pouvoir réaliser des pièces à la fois très solides et très flexibles avec une importante résistance à la chaleur.

- **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 béton :**

Le béton avec sa grande capacité à résister à la compression et surtout la capacité à modifier ces caractéristiques rhéologiques. Le béton est le meilleur matériau à faire imprimer les habitations et ces pièces.

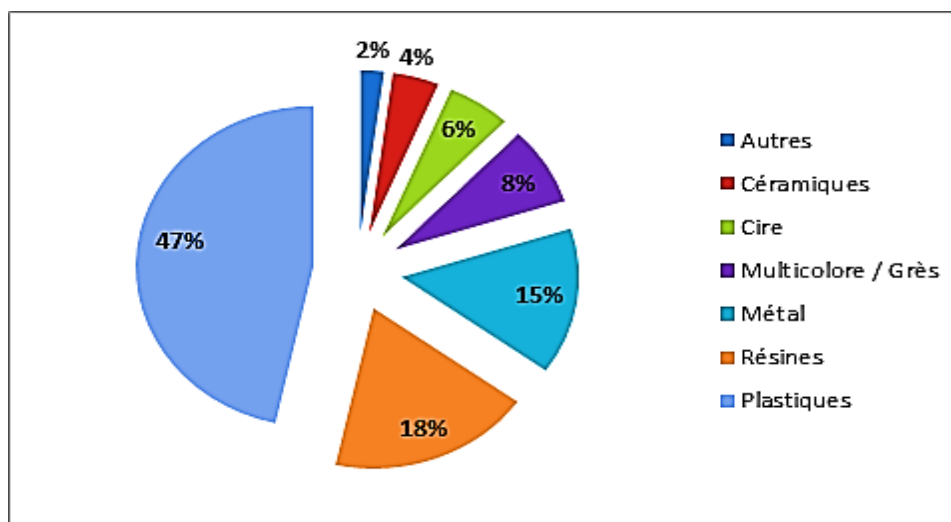


Figure 2 : Les matériaux utilisés pour l'impression 3D

Tableau 1 : Liste des normes publiées en matière d'impression 3D

Technologie	Procédé de fabrication
ISO17296-2:2015	Fabrication additive—Principes généraux--Partie2:Vue d'ensemble des catégories de procédés et des matières premières
ISO17296-3:2014	Fabrication additive -- Principes généraux -- Partie 3 : Principales caractéristiques et méthodes d'essai correspondantes
ISO17296-4:2014	Fabrication additive— Principes généraux--Partie4:Vue d'ensemble des échanges de données
ISO/ASTM 52900:2015	Fabrication additive--Principes généraux--Terminologie
ISO/ASTM 52901:2017	Fabrication additive—Principes généraux—Exigences pour l'achat de pièces
ISO/ASTM 52915:2016	Spécification normalisée pour le format de fichier pour la fabrication additive (AMF) Version 1.2
ISO/ASTM 52921:2013	Terminologie normalisée pour la fabrication additive – Systèmes de coordonnées et méthodes d'essai

Source : ISO

I.2.3. Historique et marché des imprimantes 3D

I.2.3.1. Historique

Afin d'essayer d'établir un historique de l'impression 3D, nous écrivons l'évaluation des imprimantes 3D chez Zprinter qui est un des premiers industriels à se lancer dans ce domaine.

- **Première Génération** —les imprimantes 3D arrivent En 1996, avec la Z®402, la première imprimante 3D du marché, définissant vitesse et faible coût dans le prototypage rapide. Les versions ultérieures telles que la Z402c et la Z406 introduisent l'impression multicolore 3D pour des modèles plus vifs et plus informatifs.
- **Deuxième Génération** - performance améliorée, faible coût et couleur. En 2003, notre version ZPrinter® 310 a permis une percée fulgurante grâce à sa simplicité et d'un prix d'une accessibilité sans précédent. En 2005, le Spectrum Z™510 redéfinit l'impression 3D avec une nouvelle génération d'imprimantes haute résolution et des couleurs éclatantes.

- **Troisième Génération** - Focalisée sur une utilisation facile. En 2007, la ZPrinter 450 lança la troisième génération d'imprimantes en 3D, se focalisant sur une facilité d'utilisation et la compatibilité de bureau. La solution tout en une (impression, dépoudrer), automatisée et autonome a accru la commodité et la convivialité au bureau. Elle fut suivie en 2008 par la ZPrinter 650, avec des tailles et des performances accrues, puis en 2009 la ZPrinter 350, qui rendit l'impression 3D encore plus abordable. Ces imprimantes ont permis l'accessibilité 3D à des nouvelles catégories d'utilisateurs.



Figure 3 : Historique de l'imprimante 3D

Tableau 2 : Représentant l'histoire de l'impression 3D

1977	Swainson dépose un brevet aux Etats-Unis pour un système de durcissement de résine
1982	Recherches sur la stéréolitho-graphie menées parallèlement en France et aux Etats-Unis
1984	Dépôts de brevets sur la stéréolithographie par J.C. André et C. Hull
1986	Création de 3D Systèmes à Valencia en Californie (SLA)
1989	Création de Stratasys et commercialisation des imprimantes FDM Création de la société EOS en Allemagne pour les procédés de frittage laser
1990	Dépôt de brevets pour la photo fabrication par masques (Pomerantz)
1995	Création de Z Corporation et imprimantes 3 DP (MIT)
1995-1997	Recherche sur les procédés avec masque : cristaux liquides (LCD) micromiroirs (DLP/DMD) ; Création d'Arcam (EBM)
1998-2001	Travaux de recherche des procédés multi-photoniques avec une résolution submicronique
2002	Création Envision TEC Digital Light Processing (DLP) (Allemagne)
2005	Lancement du projet RepRap au Royaume-Unis à l'Université de Bath
2007	Création de Shapeways (Pays-Bas) sous licence GNU/GPL, Poly-Shape(France)
2009	Création de Shapeways (Pays-Bas) sous licence GNU/GPL, Poly-Shape(France)
2012	MakerBot Industries et Sculpteo(France) \ Expiration du brevet de FDM 45 000 nouvelles machines imprimantes 3D sont vendues
2013	Fusion de Stratasys et Objet ; Acquisition de Z Corp et Vidar par 3D Systems Stratasys absorbe MakerBotIndustries. Création de 14 « Fablabs » en France

I.2.3.2. Marché des imprimantes 3D

- **Situation du marché :**

Le marché mondial de l'impression 3D est en plan croissance depuis quelques années. En effet, le marché global de cette technologie est passé de 4 Milliards de dollars 2013 à 6 Milliards de dollars en 2016, soit un taux de croissance annuel moyen de 14%.

Les prévisions estiment que l'industrie de l'impression 3D atteindra les 13 Milliards de dollars en 2018. Cette croissance est due essentiellement à l'évolution du marché primaire à savoir les systèmes d'impression 3D. celui-ci à augmenter d'au moins 30% par an de 2012 à 2014. [15]

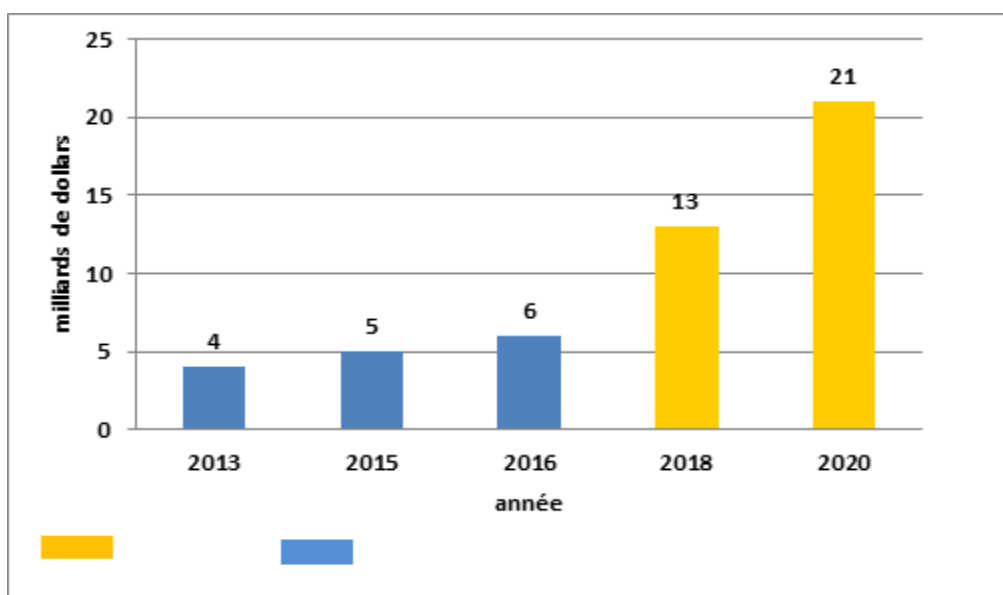


Figure 4 : Evolution du marché mondial (vente de matériels et services) entre la période 2013-2020

Research and Markets a récemment publié son rapport sur le marché, estimait que la technologie vaudra plus de 28 Milliards de dollars d'ici 2028. Soit une croissance annuelle de 28% depuis 2020. Cependant, raison de la crise sanitaire, cette estimation de croissance est désormais revue à la baisse en 2028, l'impression 3D devait maintenant valoir 19.8 Milliards de dollars, soit croissance de 27%. Une diminution qui n'est peut-être pas si importante compte tenu de l'impact que le COVID-19 a eu sur l'économie mondiale. [08]

- **Croissance de l'impression 3D au marché : [15]**
- **Impression 3D : La première génération :**

Auparavant, le prototypage industriel rapide exigeait des investissements importants. En plus de l'achat de matériel, il fallait engager des techniciens spécialisés et souscrire des contrats de maintenance coûteux. Aujourd'hui, les imprimantes 3D industrielles se trouvent dans des boutiques ou des laboratoires de fabrication de modèles, ou bien les impressions sont confiées à des prestataires de services industriels. C'est pourquoi l'impression 3D industrielle est souvent restreinte à des projets prioritaires où des modèles destinés à une présentation finale et ne fait pas partie des moyens à disposition de chacun des concepteurs.

- **La répartition géographique :**

Le plus grand marché est représenté par les Etats-Unis, car les leaders historiques du secteur des imprimantes 3D y sont implantés, à l'instar de 3D system et stratasys. Le pays a surtout misé les équipements permettant de travailler les thermoplastiques à l'inverse de l'Europe.

L'Allemagne vient en tête des pays européens et se positionner pour l'impression métallique grâce à la présence dans le pays de cinq des plus gros fabricants d'imprimantes métal.

Quant à la France, elle est en retard dans le secteur de l'impression 3D et les investissements dans cette technologie sont moindres. Les imprimantes 3D viennent généralement en complément des machines traditionnelles dans les ateliers de production. On n'y rencontre pas ou peu d'usines dédiées exclusivement à l'impression 3D comme aux USA.

En général, les pays qui utilisent au plus cette technologie sont ceux qui ont une forte culture industrielle et qui trouvent dans la fabrication additive un nouveau moyen de production rapide et des coûts moins élevés. Ceci est incarné par les pays de l'Amérique du Nord et les pays de l'Europe de l'Ouest avec plus de 60% sur le marché mondial des imprimantes 3D.

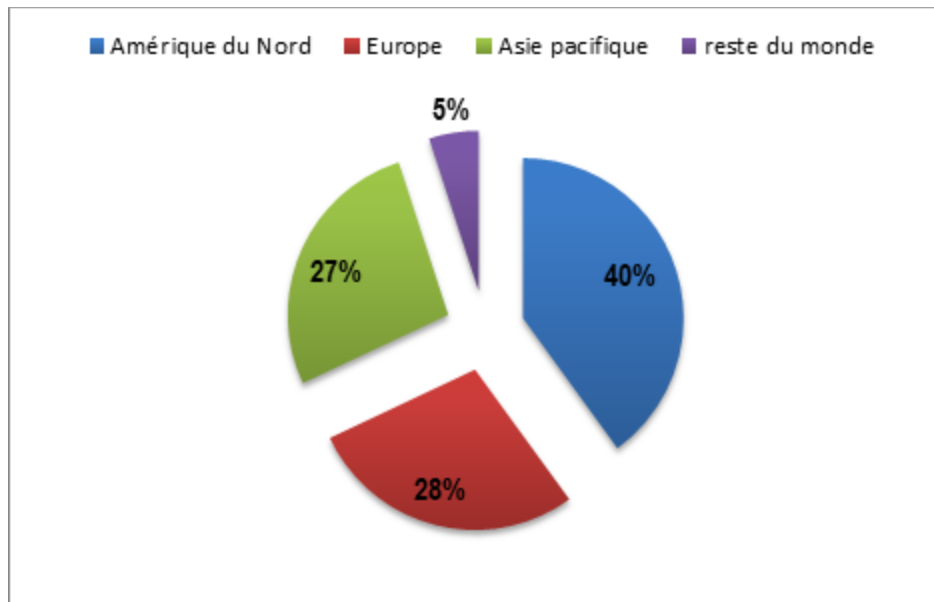


Figure 5 : Répartition des recettes du marché de l'impression 3D par région

- Le secteur de vente :

En 2015, les ventes des imprimantes 3D ont dépassé les 200000 unités et les estimations prévoient que celles-ci atteindront les 2.3 Millions en 2018 il est à noter que la technologie à dépôt de filament est la moins cher (coût inf à 500 dollars) et la plus répandue. Elle représente 80% des ventes.

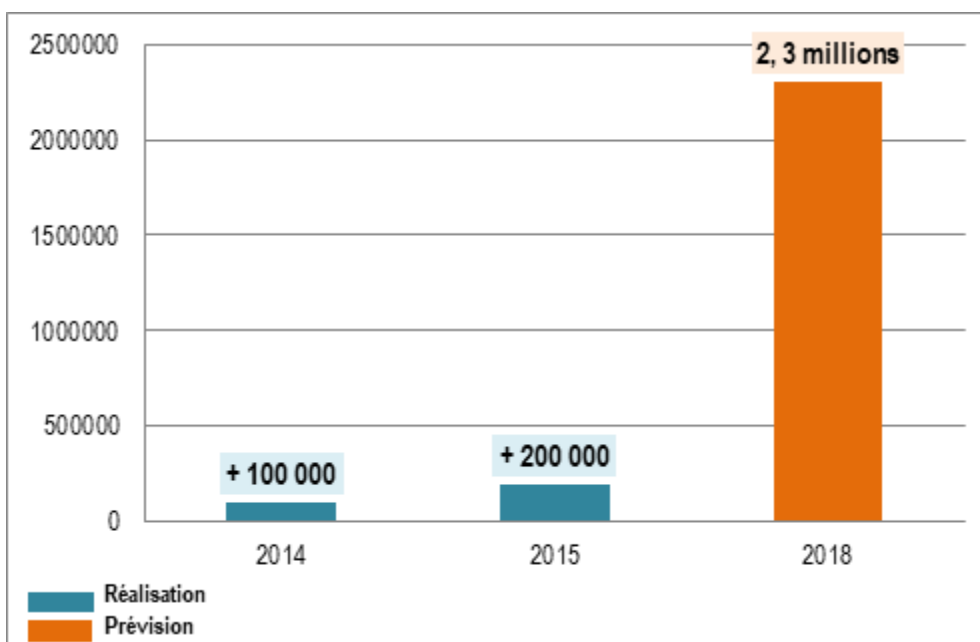


Figure 6 : Evolution des ventes mondiales des imprimantes 3D

Le graphique ci-dessus montre que les pays de l'Amérique du Nord et de l'Europe de l'Ouest occupent la part du lion en termes de ventes d'imprimantes 3D avec plus de 65% suivis par la Chine et les pays de l'Asie pacifique avec 15% et 13% respectivement.

I.2.4. Avantages et limites de l'imprimante 3D [14]

I.2.4.1. Avantages de l'imprimante 3D

✓ Fabriquer des objets de toutes sortes :

Le principe même de l'imprimante 3D grand public est de permettre aux particuliers de créer leurs propres objets en plastique. Il est possible de fabriquer de la vaisselle en plastique, donc incassable, mais aussi des jouets pour les enfants. La précision offerte par l'imprimante 3D grand public est suffisante pour développer des objets relativement techniques.

L'imprimante 3D est donc un excellent outil pour développer la créativité.

✓ Réparer ces objets cassés :

Bien souvent, lorsqu'un appareil électroménager vient à cassé, le premier réflexe est de rendre au magasin ou sur internet pour racheter un modèle de même gamme, les pièces détachées étant souvent introuvable, même auprès du constructeur. Avec l'imprimante 3D, chaque utilisateur a la possibilité de modéliser sur son ordinateur la pièce qui lui manque, puis de la créer en relief. L'imprimante 3D est alors perçue comme un outil anticonsumériste permettant de vaincre l'obsolescence.

✓ L'amélioration des conditions de vie :

Grâce à l'imprimante 3D, des progrès considérables pourraient être apportés aux conditions de vie de chacun, notamment des personnes présentant un handicap. Le plastique étant un matériau plus léger que le métal, il peut effectivement être utilisé pour des enfants : la fabrication d'un exosquelette pour une petite fille de 4 ans a d'ores et déjà été mise en place.

L'imprimante 3D, pourrait alors permettre à chacun de trouver une solution adaptée à son problème et de la fabriquer sur mesure et à moindre coût.

I.2.4.2. Les limite de l'imprimante 3D

- **La maitrise des logiciels :**

S'il existe des modèles prêts à l'emploi disponibles sur internet ou fournis par les fabricants, l'intérêt des imprimantes 3D réside dans la possibilité de créer des objets sur mesure. La fabrication de tels objets nécessite la maitrise de logiciels CAO de modélisation 3D, qu'ils sont souvent peu intuitifs et difficiles à comprendre pour un utilisateur classique.

- **Matériaux et tailles limité :**

Pour l'heure, les imprimantes 3D grand public ne sont capables de fabriquer que des objets en plastique. En effet, le plastique fond à partir de 130°, tandis que le métal nécessite une température de fusion de plus de 1000°, ce qui génère une différence de technologie dans la fabrication des imprimantes 3D. par ailleurs des objets fabriqués via l'imprimante 3D est elle aussi limitée : toutefois, cette limitation peut être contournée en fabriquant un objet de taille conséquente en plusieurs fois.

- **Les risques sanitaires :** (Risque pour la santé et la sécurité liés à l'impression 3D).

Les COVs (composés organiques volatils) émus par les imprimantes 3D, pouvant être toxique, il est recommandé d'utiliser ces imprimantes dans des locaux ventilés, voire porter des vêtements protecteurs ainsi qu'un masque respiratoire. Pour le moment les études sur les COV sont surtout réalisées sur l'impression 3D FDM.

I.3. Types des imprimantes 3D

L'impression 3d fait partie des techniques qui sont les plus employées depuis quelques années. Grâce à cet outil de qualité professionnelle, vous êtes désormais capable d'imprimer les murs d'une maison ainsi que les objets du quotidien. Les imprimantes 3D sont des équipements qui s'arrachent comme des petits pains.

Toutefois, il est important de savoir qu'il existe une multitude sur le marché qui permettant de fabriquer des pièces. Les meilleures imprimantes utilisent différentes sortes de matériaux d'impression et processus d'impression afin de réaliser une impression recto-verso.

I.3.1. Imprimantes pour composites

Très utilisés dans le secteur industriel, les imprimantes 3D composites sont aujourd'hui des solutions d'impression 3D de plus en plus sollicitées dans le milieu des entreprises. Pour répondre à cette demande grandissante, les fabricants du monde entier se

sont mis à proposer des imprimantes 3D composites, les matériaux composites se développent également de plus en plus sur le marché de l'impression 3D.

I.3.1.1. Matériaux composites[10]

En général, le terme « composite » fait référence à tout matériau composé de deux ou plusieurs matériaux différents non mixibles. Les composites tirent parti des caractéristiques des différents matériaux.

Lorsqu'ils sont utilisés dans l'impression 3D, les composites sont généralement constitués d'un matériau en plastique ou en nylon renforcé de fibre. L'impression composite permet aux fabricants de construire des pièces légères mais solides en raison des propriétés de résistance des matériaux fibreux.

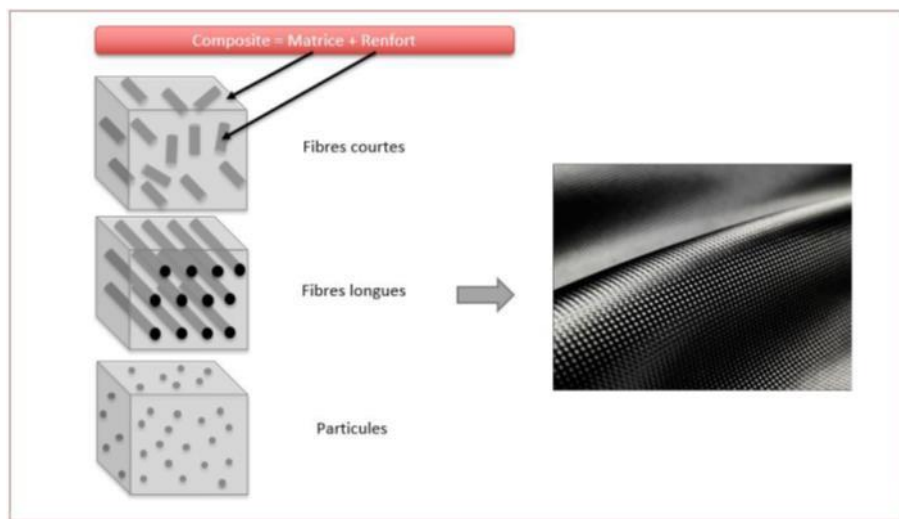


Figure 7 : Le composite

- Les fibres en impression 3D se présentent sur deux formats : fibres courtes et fibres continues (longues).
- Les composites sont extrêmement utiles pour la fabrication des pièces légères mais solides.
- Les fibres ajoutent en effet de la résistance à une pièce sans impacter son poids.

➤ Les fibres courtes :

Dans les applications de fibres courtes, les fibres moins d'un millimètre de long et sont mélangées dans un thermoplastique. Les matériaux sont généralement imprimés à l'aide de la technologie traditionnelle de modélisation par dépôt du fusion FDM. Les fibres augmentent la

rigidité de matériaux, mais n'auront qu'un impact limité sur la résistance. De plus, selon la quantité de fibres, l'état de surface de la pièce imprimé peut être impacté.

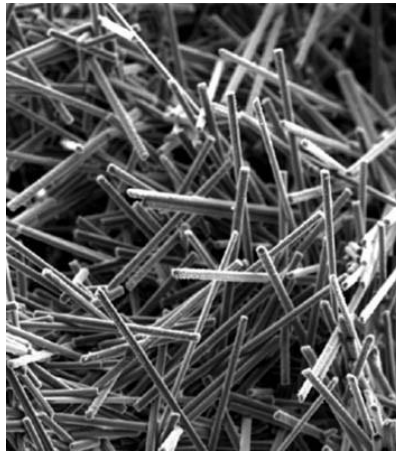


Figure 8 : Fibres courtes

➤ **Les fibres longues :**

L'amélioration des performances ainsi provient des fibres continues qui traversent une pièce sans interruption, répartissant les charges sur toute la géométrie des pièces. Les fibres continues, par conséquent, ont un impact significatif sur la résistance de la pièce. La fibre plus couramment utilisée est la fibre de carbone car elle a le rapport résistance/poids plus élevé. On emploie également la fibre de verre et de Kevlar ou Armide.



Figure 9 : Fibres longues

I.3.1.2. Les composites en impression 3D [19]

Dans la fabrication additive, les matériaux composites se présentent principalement sous la forme d'un filament, c'est pourquoi ils sont principalement utilisés dans l'impression FDM.

Les composites à fibres discontinues peuvent être extrudés en utilisant le procédé FDM normal, puisque le filament contient déjà la fibre. Cependant, il faut tenir compte de fait que la quantité d'impression est affectée par la quantité de fibres employés. Les composites à fibres courtes renforcent uniformément l'ensemble de la pièce. D'autre part, l'impression 3D à fibre continue est un processus plus compliqué qui nécessite deux buses pour imprimer simultanément.



Figure 10 : Le filament

I.3.1.3. Les avantages et les limites de l'impression 3D composite

L'impression 3D composite offre les mêmes avantages que l'impression 3D classique : réduction de délais de production, diminution de la quantité de matière utilisée ; possibilité de personnaliser les pièces, etc... Elle se différencie par sa capacité à améliorer les propriétés d'une pièce, que ce soit en termes de résistances mécanique ou à la température.

Si on se penche désormais vers les limites, ou du moins les freins, à l'impression 3D composite, on trouve que les fibres continues ajouteront une complexité au processus de fabrication par rapport aux fibres courtes. La fibre continue est plus contraignante que la fibre courte, les plus petites zones ne pourront pas être remplies.

Aussi, dans le choix des couleurs du matériau, le noir est la seule option. De plus, la taille du plateau d'impression peut représenter un frein pour certains utilisateurs qui auraient besoin de produire de grandes pièces.

I.3.2. Imprimantes pour résines

La fabrication d'objets 3D peut aussi être réalisée avec la résine. Dans ce cas, vous devez opter pour les technologies CLIP ou « Continuous Liquid Interface Production ». Cette technologie d'impression 3D est assez particulière. Elle fonctionne avec un bain de résine liquide dans lequel une séquence d'images est projetée en continu.

Les résines (aussi appelées photopolymères UV sensibles) sont des matériaux d'impression pour les imprimantes SLA. Les résines sont des liquides, qui sont durcies (solidifiées) grâce à l'exposition à une lumière UV. Les résines sont habituellement beaucoup plus chères que les filaments, mais leur prix diffère en fonction de leurs propriétés.

Les résines contiennent habituellement trois composants :

- La base de résines (monomères et oligomères).
- Des photo-initiateurs : des molécules qui réagissent à la lumière UV, ce qui lance le processus de solidification.
- Des additifs : des adjonctions qui changent la couleur et les propriétés de la résine. [02]

I.3.2.1. Types de résines utilisées pour l'impression 3D :

Les résines ne se différencient pas en fonction du type de matériau. Il n'y a essentiellement qu'un seul type de résine. La différence se fait par l'ajout d'additifs et de colorants. Un paramètre typique qui peut être affecté par des additifs est le degré de dureté et la robustesse. La table suivante résume les types de résines les plus communes ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Tableau 3 : Types de résine utilisée pour l'impression 3D

Type de résine	Description	Application
Résines standards	Le plus souvent utilisé pour l'impression générale et peut offrir des finitions de surface très détaillées avec des résolutions inférieures à 25 microns. Ces résines n'offrent pas de propriétés particulières et sont généralement plus fragiles que les matériaux FDM standard.	Idéal pour le prototypage très détaillé ou pour les modèles qui ne sont pas fonctionnels.
Résines techniques	Plus récemment, les fabricants de résines SLA se sont lancés dans le secteur de l'ingénierie en simulant des plastiques techniques courants offrant des résines ABS ou de type polypropylène, flexibles et haute température. Ces résines offrent des propriétés d'ingénierie supérieures sans sacrifier la qualité d'impression, mais à un coût plus élevé.	Applications robustes, flexibles et à haute température.

Résines dentaires	Pour l'orthodontie générale, on utilise couramment des résines à usage général ou des résines coupables. Les récents lancements de résines biocompatibles de classes 1 et 2 au cours de l'année écoulée permettent maintenant aussi d'utiliser la technologie SLA pour créer des guides chirurgicaux. Ces résines sont très précises et suffisamment durables pour être stérilisées à l'auto-clave avant l'utilisation chirurgicale.	Applications dentaires
Résines coulables	Ces résines se spécialisent dans les détails fins et l'impression d'éléments délicats et ont été conçues pour permettre la coulée de précision directe. Très petits détails capturés par cette résine avec une taille minimale de 0,2mm. Une fois durcie correctement, la résine brûle avec peu ou pas de cendres ou de résidus.	Bijoux, modèles réduits et applications de moulage à la cire perdue

I.3.2.2. Principe de base de l'impression 3D résine. [09]

L'impression 3D résine utilise un type de liquide appelé résine photosensible, qui se solidifie lorsqu'il est exposé à un rayonnement UV. Cette technologie se décline en trois catégories principales : la SLA, la DLP et la MSLA qui se distinguent par la source de lumière utilisée et la méthode de mise en forme de cette lumière.

A. La stéréolithographie (SLA)

Procédé d'impression 3D résine par stéréolithographie utilise un laser pour polymériser la résine. Un rayon laser est généré, puis en rebondissant sur plusieurs miroirs pilotés par l'impression 3D, le laser entre en contact avec de la résine préalablement placée dans un bac dont le fond laisse passer la lumière. Lorsque le faisceau laser entre en contact avec la résine au fond du bac, celle-ci se durcit instantanément.

Projection de matière : Procédé de fabrication additive dans lequel des gouttelettes du matériau fabriqué sont déposés de manière sélective. Les imprimantes 3D SLA utilisant des matériaux thermodurcissables réactifs à la lumière appelés « résine ». Lorsque les résines SLA sont exposées à certaines longueurs d'ondes de lumière, de courtes chaînes moléculaires se rejoignent. [09]

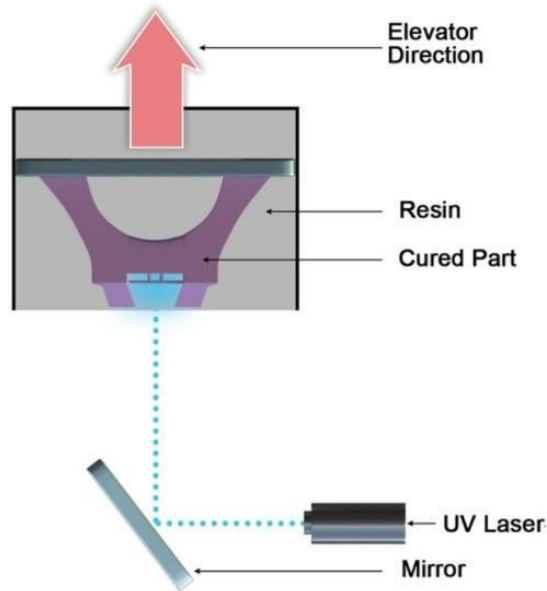


Figure 11 : Fonctionnement de la technologie SLA

B. Le Digital Light Processing (DLP)

Procédé d'impression 3D résine par DLP, utilise un projecteur UV, pour projeter au fond du bac de résine l'image de la section de la pièce à polymériser. Toute la couche de la pièce est donc solidifiée en même temps. La lumière émise par le projecteur UV étant diffuse moins puissante que celle véhiculée par le rayon laser utilisé en SLA, le projecteur doit maintenir pendant quelque instant l'image de la section de la pièce afin que la quantité de lumière générée soit suffisante pour permettre une polymérisation de toute la section.

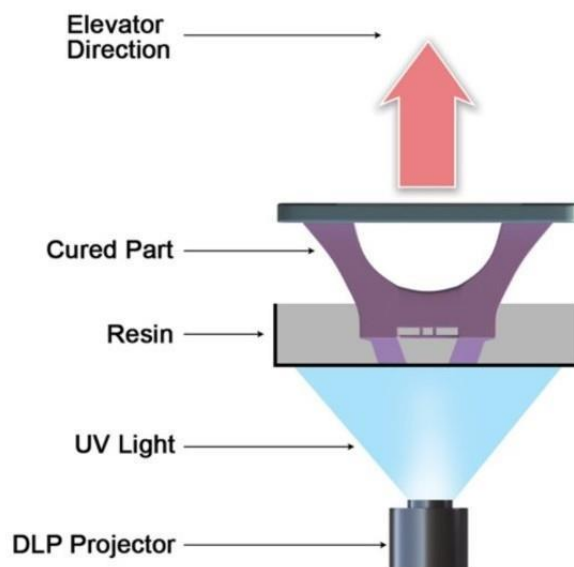


Figure 12 : Fonctionnement de la technologie DLP

C. Masked Stéréo-LithographyApparatuses (MSLA), appelé aussi LiquidCrystal Display (LCD)

Le procédé d'impression 3D résine MSLA ou LSD utilise un écran LED pour générer de la lumière. Cette lumière passe ensuite par un masque opacifiant. Ce masque est composé de pixels pouvant être actifs (laissant passer la lumière) ou bien passifs (ils ont alors noirci et ne laissent passer la lumière). Ce masque ne laisse actifs que les pixels qui composent la section de la pièce à imprimer. Il en résulte que seule une image de cette section atteint le fond du bac de résine et que cette section uniquement est polymérisée. Du fait que la totalité de l'écran LED est utilisé au cours de cette opération, une plus grande quantité de lumière est reçue durant le même intervalle de temps qu'avec le procédé DLP, ce qui conduit à un procédé plus rapide. [38]

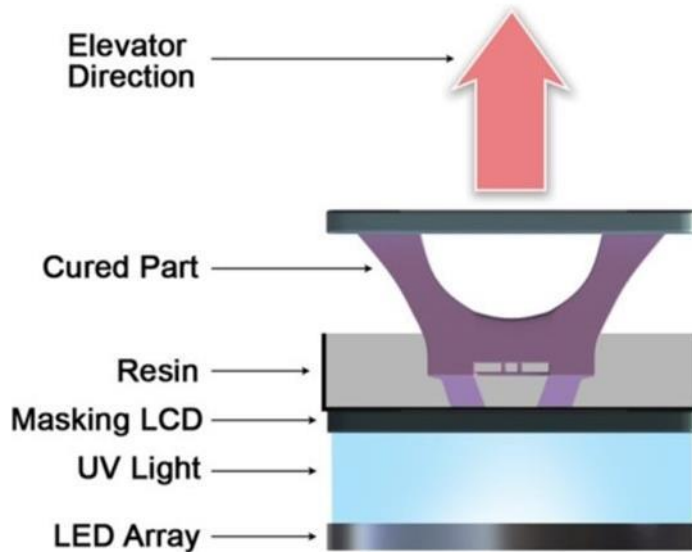


Figure 13 : Fonctionnement de la technologie MSLA / LCD

I.3.2.3. Les avantages et inconvénients de l'impression 3D résine [20]

➤ **Avantages :**

- **Qualité de surface exceptionnelle :** L'un des principaux avantages de l'impression 3D résine est sa capacité de produire des objets avec une qualité de surface exceptionnelle. Grâce à sa résolution élevée, les pièces imprimées en résine ont des détails fins et des finitions lisses, qui les rendent idéales pour les projets nécessitant une grande précision.

- **Précision** : L'impression 3D résine est connue pour sa grande précision dimensionnelle. Cela signifie que les pièces imprimées sont fidèles au modèle 3D originel, ce qui est essentiel pour de nombreuses applications, notamment la fabrication de prototypes, la bijouterie et la dentisterie.
- **Polyvalence des matériaux** : La résine est disponible dans une grande variété de types et de couleurs, ce qui permet aux utilisateurs de choisir le matériau qui convient le mieux à leur projet. Il existe des résines standard, des résines flexibles, des résines transparentes, ...
- **Rapidité d'impression** : Les impressions 3D résine sont généralement plus rapides pour des objets de taille similaire. Cela peut être un avantage lorsque vous avez besoin de pièces rapidement.
- **Inconvénients** :
 - **Coût élevé** : L'entrée dans le monde de l'impression 3D résine peut être coûteuse. Les imprimantes résines elles-mêmes sont souvent plus onéreuses et les résines de qualité peuvent également être chères.
 - **Toxicité** : La résine utilisée dans l'impression 3D ; résine peut être toxique. Il est essentiel de manipuler ces matériaux avec précaution et prendre des mesures de sécurité appropriées, telles que l'utilisation d'une ventilation adéquate et des gants.
 - **Post traitement requis** : Après l'impression, les pièces résine nécessitent généralement un post-traitement, tel qu'un rinçage dans de l'alcool isopropylique et une cure UV, pour durcir la surface et éliminer tout résidu collant.
 - **Moins durables** : Les objets imprimés peuvent être moins durables que ceux fabriqués avec d'autres technologies, car la résine peut être fragile et sujette à la dégradation sous certaines conditions.

L'impression 3D résine offre une technologie puissante pour transformer des idées en réalité, mais elle nécessite une compréhension approfondie pour faire le meilleur projet.

En conclusion, l'impression 3D résine est une technologie qui permet la fabrication additive de pièces précises et détaillées. Grâce à ses différentes variations technologiques (DLA, DLP et MDLA) et avancées réalisées par les fabricants, cette technologie offre des possibilités infinies dans de nombreux domaines. Que ce soit pour prototypage, la production de pièces fonctionnelles ou la création artistique, l'impression 3D résine est devenu un outil essentiel pour de nombreux professionnels à la recherche d'un outil précis capable de produire des pièces de haute qualité.

I.3.3. Imprimantes pour plastiques

L'imprimante multifonction pour le plastique est la plus populaire du marché. Elle est parfaite pour la réalisation de formes vraiment très complexes.

I.3.3.1. Caractéristiques des plastiques d'impression 3D

Tableau 4 : Caractéristiques des plastiques d'impression 3D[12]

$T_g(^{\circ}\text{C})$	PLA	ABS	PC/ABS	PPSF	PEI
	55-63	108	125	230	215
Résistance en traction à la rupture (MPa)	53	32	41	55	81
Module de Young (GPa)	3.4	2.23	1.96	2.1	2.77
Allongement à la rupture(%)	6	7	6	3	3.3
Résistance à l'impact (J.m^{-1})	13	128	196	58.7	41
Température de fléchissement sous charge($^{\circ}\text{C}$)	51	82	110	189	216

I.3.3.2. Processus d'impression 3D plastique

Les trois procédés d'impression 3D les plus utilisés actuellement sont les suivants :

A. Les imprimantes 3D pour dépôt de filament fondu (FDM) [12]

La technologie FDM (Fused Deposition Modeling) est technique d'impression 3D créant des pièces de façon additive en utilisant des filaments. Le procédé consiste à déposer du fil fondu couche par couche, à partir d'un modèle 3D.

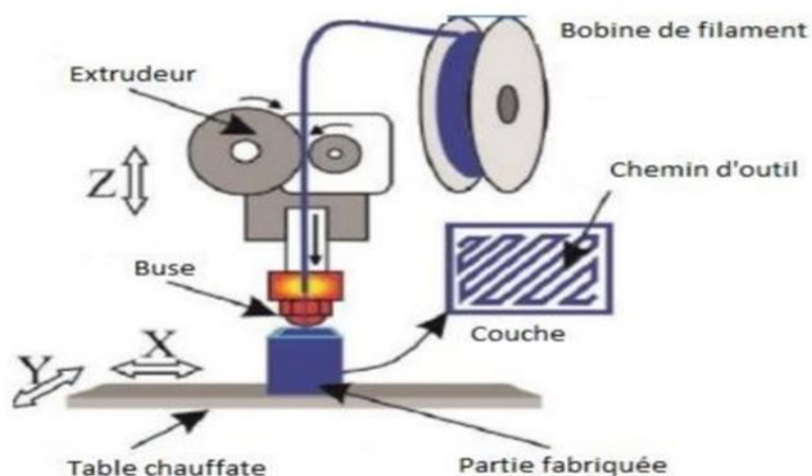


Figure 14 : Représentation du FDM

- **Matériaux utilisés pour la technique FDM : [11]**

Les matériaux utilisés par le prototypage rapide par dépôt de fil (FDM) sont plusieurs, mais les plus communs sont l'ABS et le PLA.

- **PLA (Poly Lactique Acide) :** Le PLA est une thermoplastique d'origine végétale, c'est un matériau le plus facile à imprimer car il a besoin d'une température plus basse et il nécessite une pression plus élevée. Ce qui concerne les propriétés mécaniques de PLA, c'est un matériau moins élastique, avec une résistance supérieure à la déformation et plus résistante à la traction et la flexion. L'allongement est très faible et par conséquent, la déformation avant de se casser est presque inexistante, il présente une rupture fragile.
- **ABS (Acrylonitrile Butadiène Styène) :** L'ABS est un thermo plastique amorphe constitué par trois monomères : l'acrylonitrile, le butadiène et le styrène. L'ABS n'est pas biodégradable, mais peut être réutilisé et il dégage des gaz pendant sa fusion qui ne sont pas bon pour la santé. Propriétés mécaniques de l'ABS : Les pièces d'ABS ont une bonne résistance mécanique et aussi une résistance aux températures extrêmes. Il a une bonne ténacité, dure et rigide avec une résistance élevée à l'abrasion chimique mais pas aux rayons UV.
- **Nylon :** Le nylon est plastique de la famille des polyamides, il est un thermoplastique cristallin. Il dégage peu d'odeur lors de l'impression 3D. Propriétés mécaniques : Le nylon a les meilleures propriétés mécaniques d'allongement à la rupture et à la résistance à la fatigue. Il présente une très bonne adhésion entre les couches.
- **PET (Polytériphtalate d'éthylène) :** Le PET est un thermoplastique polyester amorphe le plus connu et notamment le matériau le plus utilisé pour les bouteilles d'eau gazeuses car il est léger, transparent, extrêmement solide. Il ne libère pas de gaz quand il est imprimé. Propriétés mécaniques : Le PET est un matériau assez rigide et très léger, très résistant aux chocs. Il possède des filaments les plus solides du marché. La rigidité est moyenne. Il s'agit également d'un bon isolant électrique.

- **Pourquoi choisir la technologie d'impression 3D FDM ? [22]**

La technologie 3D FDM est une technologie d'impression 3D les plus populaires. Elle donne accès à une fabrication rapide. Il d'agit d'une option parfaite, que ce soit pour le prototypage ou la production des pièces fonctionnelles en séries. C'est en effet une solution

d'impression 3D abordables pour les pièces mécaniques et fonctionnelles. De plus, la technologie FDM propose un large choix de matériaux, du plastique ou métal.

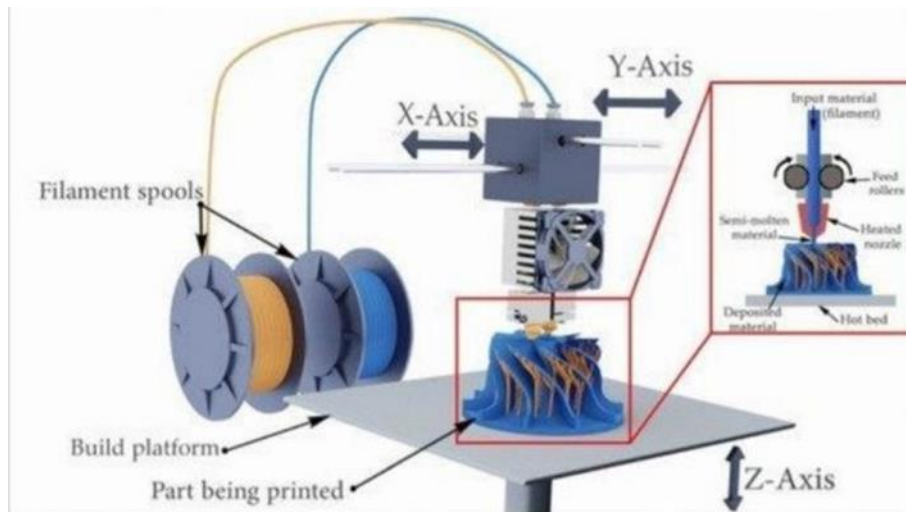


Figure 15 : Schéma du processus FDM

- **Avantages de la technologie FDM : [08]**

- La technologie est propre, facile à utiliser et adaptée au bureau.
- Les thermoplastiques techniques pris en charge sont stables tant du point de vue mécanique qu'environnemental.
- Les géométries complexes et les cavités supposées problématiques, s'avèrent très pratiques avec la technologie FDM.

- **Inconvénients de la technologie FDM : [17]**

- L'impression 3D FDM est mieux adaptée à la production des pièces de petite taille, mais les produits finis sont susceptibles d'avoir des surfaces rugueuses et nécessitent un post-traitement pour avoir une finition plus lisse.
- Etant donné que les imprimantes FDM placent les filaments couche par couche, ils sont susceptibles d'être anisotropes.
- L'impression FDM nécessite l'utilisation de structures de support, ce qui peut augmenter les coûts.

B. Les imprimantes 3D stéréo lithographient (SLA) :

Ce processus additif est l'endroit où un fichier de CAO 3D est découpé numériquement en centaines ou en milliers de couches très minces.

SLA est l'endroit où la plaque de construction est immergée dans un matériau photopolymère (c'est-à-dire en liquide qui peut être durci en un solide au noyau du lumière UV).

Semblable à d'autres procédés de fabrication additive, il imprime des pièces couche par couche de bas en haut. Le faisceau laser UV ou la lumière trace les sections transversales de chaque couche tout en durcissant le liquide en un solide. Ce processus est comme s'il s'agissait d'un pointeur laser contrôlé par ordinateur qui trace chaque section transversale unique d'une manière très précise. [01]

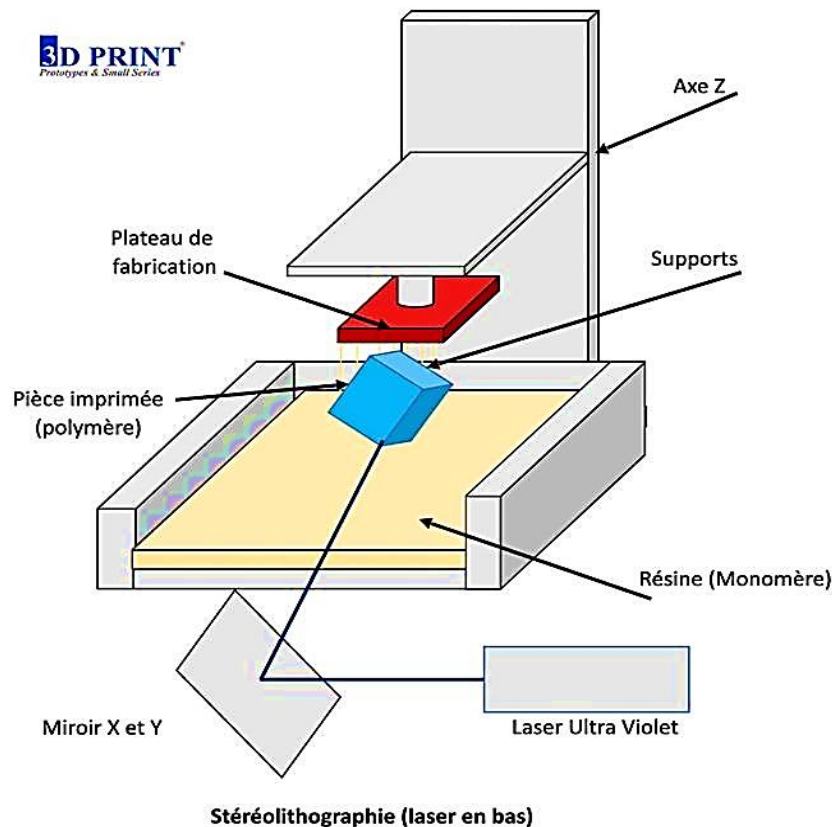


Figure 16 : Représentation du SLA

Cependant, avec les machines SLA, les choses ne s'arrêtent généralement pas à la fin de l'impression. Les objets imprimés ne sont pas adaptés à une utilisation immédiate après la fin du travail d'impression, car ils ont tendance à être un peu mous et collants. Ce qui cause par les restes de résines non solidifiés à la surface de l'objet. Il est recommandé de laver l'objet

dans de l'alcool isopropylique et de durcir davantage d'une lumière UV. Tout cela doit être fait très soigneusement en portant des gants de protection.²³



Figure 17 : Représentation graphique du fonctionnement de base de l'impression 3D SLA

• **Pourquoi choisir l'impression 3D SLA (Avantages) :** [04]

Des ingénieurs, des designers, des fabricants choisissent l'impression 3D SLA pour plusieurs caractéristiques :

- **Isotropie :** L'impression SLA permet de créer des pièces hautement isotropes. Obtenir des pièces isotropes est possible grâce à un certain nombre de facteurs contrôlables en intégrant la chimie des matériaux ou processus de l'impression. Au cours de l'impression, les composants de la résine forment des liaisons covalentes, mais entre chaque couche, la pièce reste en phase, la réaction à moitié terminée.
- **Étanchéité :** Les pièces imprimées grâce à la technologie SLA sont ininterrompues que soient des formes pleines ou avec des canaux internes. Cette étanchéité est importante pour l'ingénierie ou la production industrielle, les ingénieurs utilisent l'étanchéité de l'impression SLA pour résoudre les défis liés aux flux d'air et de liquides dans les domaines de l'automobile.
- **Détails fins et finitions de surface lisse :** L'impression SLA considérée comme la référence absolue en matière de finition de surface lisse, avec un aspect comparable à

celui obtenu grâce aux méthodes de production industrielle traditionnelle comme l'usinage, le moulage par injection et de filage.

- Polyvalence des matériaux : Les résines SLA ont l'avantage d'avoir de nombreuses formules différentes. Les matériaux peuvent être mous ou durs, fortement chargés en matériaux secondaires comme du verre ou de la céramique. L'imprimante SLA devienne un outil permettant d'exploiter les différentes capacités de nombreux matériaux.

➤ **Les limites de la stéréo lithographie :** [21]

- **Fragilité :** La stéréo lithographie utilise des équivalentes matières qui sont des résines. Les pièces ainsi obtenues sont donc plus fragiles que les pièces définitives. Si la qualité de finition permet d'obtenir des prototypes fonctionnels, la stéréo lithographie ne permet cependant pas d'obtenir des pièces utilisables pour des tests mécaniques.
- **Machines coûteuses :** Si on avait prédit le boom de l'impression 3D il y a quelques années, les experts ont négligé le coût des matières et la difficulté de la prise en main. Ainsi, il est plus difficile pour les entreprises de créer elles-mêmes leur prototype en stéréo lithographie, aussi préfèrent-elles souvent faire appel à des entreprises spécialisées.
- **Production unitaire :** Du fait du temps nécessaire pour produire une pièce, l'usage de la stéréo lithographie est limitée à trois exemplaires, aussi ne convient-elle pas à la production de masse.

C. Frittage laser sélectif (SLS) :

Cette technologie utilise un processus similaire à celui de SLA, mais au lieu de photopolymère liquide, il utilise un matériau en poudre, généralement du métal ou du plastique.

Un faisceau laser CO2 de haute puissance trace chaque section transversale en « frittage » du matériau en poudre ensemble. Cela signifie que le matériau en poudre est chauffé juste assez pour se lier mais ne pas fondre les uns les autres car la fusion entraînerait la déformation de la pièce. La plate-forme tombe légèrement, tandis qu'un rouleau étale une autre couche de matériau sur la couche précédente. Chaque transversale nouvellement frittée se lie à la couche précédente. [01]

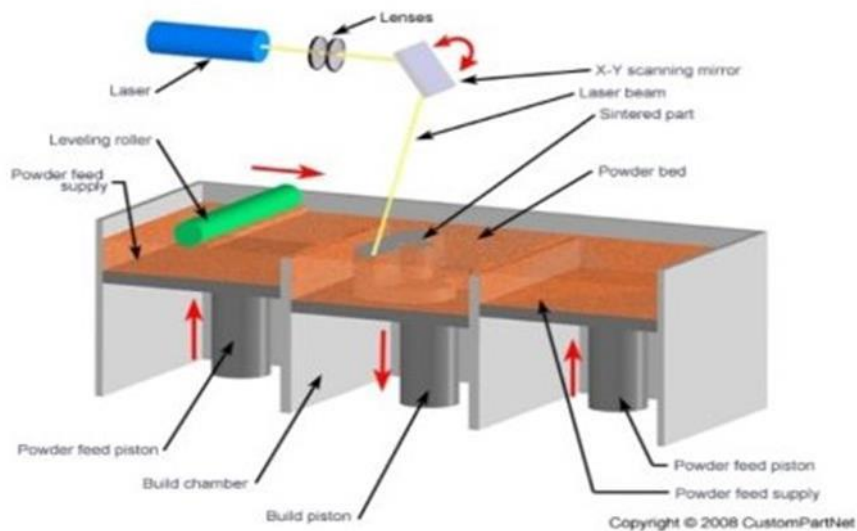


Figure 18 : Schéma de processus du frittage sélectif par laser (SLS)

Tableau 5 : Comparaison des imprimantes 3D SLS27 [18]

	Série fuse : imprimantes	Imprimantes 3D SLS
	3D SLS d'ateliers industriels	industrielles traditionnelles
Prix	A partir de 23 899 € pour la fuse 1 + 30W	200 000 € - 500 000 € ou plus
Volume d'impression	Maximum 165 x 165 x 300mm	Maximum 550 x 550 x 750 mm
Avantages	Abordable Pièces de qualité élevée Volume de production élevé Grand choix de matériaux. Processus de travail simplifié Faible encombrement Maintenance réduite	Volume d'impression important Pièces de qualité élevée Volume de production élevé Grand choix de matériaux.
Inconvénients	Volume d'impression réduit	Appareillage coûteux Encombrement important Environnement de travail requis Maintenance importante Requiert un opérateur attitré

I.3.3.3. Les paramètres clé de chaque technologie d'impression 3D plastique (FDM, SLA, SLS)

Tableau 6 : Paramètres de l'impression 3D FDM, SLA, SLS28 [16]

Paramètre	FDM	SLA	SLS
Matériau d'impression	Filaments thermoplastiques	Résines liquides	Matériaux en poudre
Volume de construction	Grand	Petit	Moyen
Finitions	Rugueux	Lisse	Lisse
Facilité d'impression des détails	Faible	Elevée	Elevée
Variété de matériaux	Modérée	Limitée	Elevée
Résistance des pièces	Forte	Forte	Forte
Post-traitement	Modéré	Extensif	Modéré
Coût	Faible	Elevé	Elevé

En conclusion, l'impression 3D a parcouru une longue route et offre un large choix de technologie d'impression, chacune ayant des caractéristiques et avantages uniques. Il existe une technologie d'impression 3D qui peut répondre aux besoins d'ingénieurs ou d'entrepreneurs.

Comprendre les différences entre FDM, SLA et SLS peut vous aider à prendre une décision éclairée et à obtenir les résultats souhaités.

I.4. Conclusion

Les imprimantes 3D avec ces différents types sont désormais considérées comme l'une des révolutions majeures du XXIème siècle, capable de modifier profondément notre style de vie. Elle permet de réaliser des modèles de qualité pour un bon prix. Ainsi que l'évolution des matériaux imprimables, seront dans le futur des axes prisés, permettant ainsi une vulgarisation et une large utilisation dans les différents domaines.

Chapitre II :

Conception de l'imprimante 3d

II.1. Introduction

Ce chapitre traite des éléments essentiels à prendre en compte lors de la conception d'une imprimante 3D. Il aborde le choix des filaments pour une imprimante FDM, les technologies d'extrusion et de chauffage, ainsi que l'importance des supports d'impression. Les aspects liés au contrôle électronique (comme l'utilisation d'Arduino) et aux moteurs sont également discutés, car leur placement et leur sélection sont cruciaux dès le début de la conception. Enfin, il explique le processus de création d'un objet réel en utilisant un logiciel de CAO et l'impression en couches successives

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.

- Zone d'impression : le plan de travail est dans le plan (X, Y).
- Selon X: 360 mm;
- Selon Y: 360 mm;
- Selon Z (hauteur): 361 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 Filament:

Les filaments pour imprimantes 3D, comme le PLA, le PETG et l'ABS, sont essentiels pour créer des objets en 3D. Le PLA est facile à utiliser et biodégradable, idéal pour les débutants. Le PETG est durable et résistant, parfait pour des pièces fonctionnelles, tandis que l'ABS, bien qu'il nécessite un environnement contrôlé, est utilisé pour des applications industrielles. Chaque filament a des caractéristiques uniques, permettant de choisir le meilleur matériau selon le projet.

II. 3.1 Filament PLA :

Le filament PLA (acide polylactique) est l'un des matériaux les plus populaires pour l'impression 3D, notamment en raison de sa facilité d'utilisation et de sa biodégradabilité.

Fabriqué à partir de ressources renouvelables comme l'amidon de maïs, il offre une bonne adhérence aux surfaces d'impression et produit des détails précis, ce qui le rend idéal pour les prototypes et les modèles décoratifs. Sa faible température d'impression permet de réduire le risque de déformation, ce qui en fait un choix privilégié pour les débutants. De plus, sa large gamme de couleurs et sa finition brillante ajoutent une touche esthétique aux créations.

Détails et caractéristiques

- Température d'impression : 180 - 220  C (conseillée 190  C)
- Diamètres standards : 1.75 mm et 3.00 mm

II.3.2 Fibre de carbone :

La fibre de carbone est un matériau composite de haute performance, réputé pour sa légèreté et sa résistance exceptionnelle. Utilisée dans des applications variées, de l'aéronautique à l'automobile, elle se distingue par sa rigidité et sa durabilité, tout en étant beaucoup plus légère que l'acier. En impression 3D, la fibre de carbone est souvent intégrée à des filaments comme le nylon ou le PLA, améliorant ainsi leurs propriétés mécaniques et offrant une finition esthétique unique. Ce matériau est particulièrement pris   pour des pièces nécessitant une performance accrue et une réduction de poids, ce qui le rend incontournable dans des secteurs où chaque gramme compte. [30]

II.4. Les supports :

Les supports sont des structures temporaires utilisées pour maintenir des pièces en cours d'impression, surtout lorsqu'elles comportent des surplombs ou des détails complexes. Ils jouent un rôle crucial dans le processus d'impression en évitant l'affaissement ou la déformation des parties en surplomb, garantissant ainsi une qualité d'impression optimale. Les types de supports varient en fonction du matériau utilisé et de la technologie d'impression. Certains filaments, comme le PLA, permettent de créer des supports qui peuvent être facilement retirés, tandis que d'autres, comme le PVA, sont solubles dans l'eau, offrant une solution sans traces. Le choix du support approprié est essentiel pour réussir des impressions complexes et obtenir des pièces précises et esthétiques.

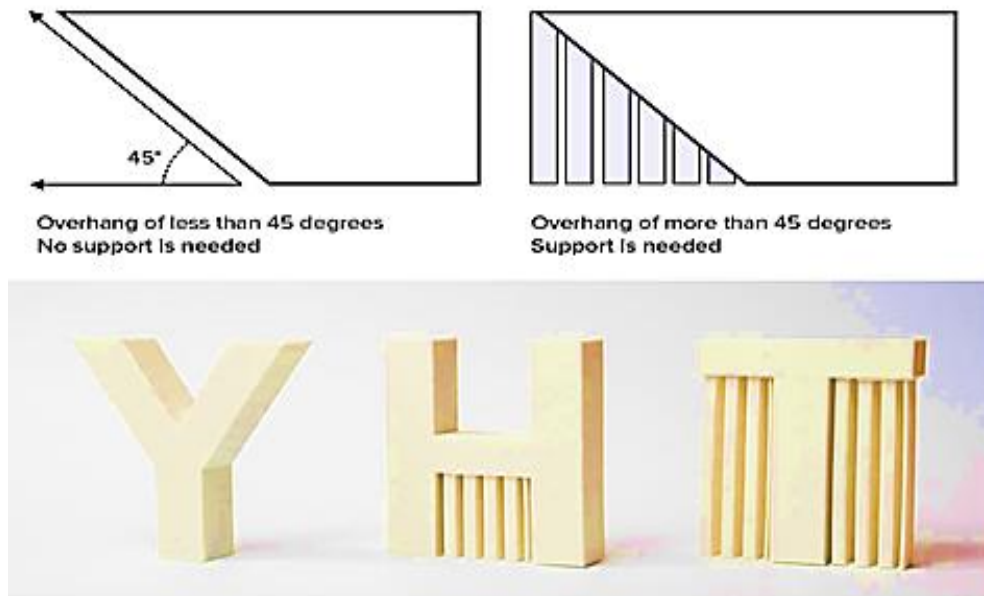


Figure 1 : Les supports

II.4.2 Les différentes structures de support possibles en impression 3D FDM :

En impression 3D FDM (Fused Deposition Modeling), plusieurs types de structures de support peuvent être utilisés pour optimiser la qualité des impressions. Voici quelques-unes des plus courantes :

1. Supports en ligne : Ces structures créent des lignes verticales pour soutenir les surplombs. Elles sont simples à imprimer et faciles à retirer.
2. Supports en grille : Formés de motifs en croix, ils offrent un bon soutien tout en utilisant moins de matériau. Ils sont efficaces pour des géométries complexes.
3. Supports en arbre : Ces supports se ramifient comme des branches, fournissant un soutien minimal tout en réduisant la quantité de matériau utilisé. Ils sont idéaux pour des pièces avec des détails fins.
4. Supports dissolvables : Fabriqués avec un filament soluble comme le PVA, ils peuvent être facilement retirés en plongeant la pièce dans l'eau, ce qui évite d'endommager la pièce principale.
5. Supports en forme de maille : Ces structures légères et élastiques permettent un bon soutien tout en réduisant le poids, souvent utilisées pour des impressions nécessitant un équilibre entre robustesse et légèreté.

Le choix de la structure de support dépend des exigences spécifiques de chaque impression, notamment la complexité de la pièce et le matériau utilisé.

II.5 Choix de moteurs :

Il existe plusieurs types de moteurs électriques, chacun ayant des caractéristiques et des applications spécifiques. Voici les principaux :

1. Moteurs à courant continu (CC) : Ces moteurs fonctionnent avec une alimentation en courant continu. Ils offrent un contrôle de vitesse simple et un bon couple à basse vitesse. On les trouve souvent dans les jouets, les petits appareils électroménagers et les véhicules électriques.
2. Moteurs à courant alternatif (CA) : Ils utilisent un courant alternatif et sont souvent classés en deux catégories :
 - ✓ Moteurs synchrones : La vitesse du rotor est synchronisée avec la fréquence du courant. Ils sont utilisés dans des applications nécessitant une vitesse constante, comme les générateurs.
 - ✓ Moteurs asynchrones (ou à induction) : Plus courants dans l'industrie, ils ne nécessitent pas de balais et sont robustes. Ils sont utilisés dans des applications telles que les pompes, les ventilateurs et les compresseurs.
3. Moteurs pas à pas : Ces moteurs permettent un contrôle précis de la position et de la vitesse. Ils sont souvent utilisés dans les imprimantes 3D, les CNC et d'autres applications nécessitant un positionnement exact.
4. Moteurs brushless (sans balais) : Ces moteurs offrent une meilleure efficacité et une durée de vie plus longue que les moteurs avec balais. Ils sont couramment utilisés dans les drones, les véhicules électriques et les appareils de haute technologie.
5. Moteurs à courant continu à balais : Ils utilisent des balais pour commuter le courant dans le moteur, offrant une construction simple et un couple élevé, mais nécessitant un entretien.

II.5.1. Le moteur pas à pas : [06]

Le moteur pas à pas est un type de moteur électrique conçu pour se déplacer en étapes discrètes, offrant un contrôle précis de la position et de la vitesse. Contrairement aux moteurs traditionnels, qui tournent de manière continue, le moteur pas à pas fonctionne en divisant un tour complet en un certain nombre de pas, ce qui permet un positionnement exact sans

nécessiter de capteurs de rétroaction. Utilisé dans de nombreuses applications, telles que les imprimantes 3D, les robots et les dispositifs de contrôle industriel, ce moteur est apprécié pour sa simplicité et sa fiabilité. Sa capacité à fonctionner dans des conditions variées en fait un choix privilégié pour les systèmes nécessitant une précision élevée.



Figure N2 : moteur pas à pas.

Les trois principaux types de moteurs pas à pas sont : [07]

1. **Moteur à pas variable (Variable Reluctance Stepper Motor)** : Ce type utilise le principe de la variation de la réluctance magnétique. Les pôles magnétiques de l'armature et du rotor sont disposés de manière à ce que le rotor se déplace vers la position de moindre réluctance, offrant une bonne précision mais un couple relativement faible.
2. **Moteur à courant permanent (Permanent Magnet Stepper Motor)** : Ce moteur utilise des aimants permanents sur le rotor. Il offre un couple plus élevé que le moteur à pas variable et est généralement plus efficace, ce qui le rend idéal pour des applications nécessitant une bonne performance à faible vitesse. [06]

Moteur hybride (Hybrid Stepper Motor) : Ce type combine les avantages des moteurs à pas variable et des moteurs à courant permanent. Il utilise des aimants permanents et une conception améliorée pour fournir un couple élevé, une bonne précision et un fonctionnement stable. C'est le type le plus couramment utilisé dans les applications modernes.

Chacun de ces moteurs a ses propres avantages et inconvénients, et le choix dépend souvent des besoins spécifiques de l'application [06]

La beauté de la nature réside dans sa diversité et son harmonie. Des montagnes majestueuses aux rivières sinueuses, chaque paysage raconte une histoire unique. Les forêts, avec leurs arbres imposants et leur faune variée, offrent un refuge pour de nombreuses espèces. Les saisons changent, peignant le monde de couleurs vibrantes : le vert éclatant du printemps, le jaune doré de l'automne, et le blanc pur de l'hiver. Cette richesse naturelle nous

rappelle l'importance de préserver notre environnement pour les générations futures. En nous connectant à la nature, nous trouvons souvent un apaisement et une inspiration qui nourrissent notre esprit. [06]

Le moteur à piston, souvent désigné comme moteur à combustion interne, est un élément central de nombreuses applications automobiles et industrielles. Son fonctionnement repose sur le principe de la combustion d'un mélange air-carburant, qui produit une explosion contrôlée dans les cylindres. Cette explosion pousse les pistons, transformant l'énergie chimique en énergie mécanique. Bien que ce type de moteur ait révolutionné les transports, il fait face à des défis environnementaux croissants, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Les innovations technologiques, comme l'optimisation des performances et l'utilisation de carburants alternatifs, visent à réduire son impact écologique tout en maintenant son efficacité. [06]

Le moteur pas à pas est un type de moteur électrique conçu pour se déplacer en étapes discrètes, offrant un contrôle précis de la position et de la vitesse. Contrairement aux moteurs traditionnels, qui tournent de manière continue, le moteur pas à pas fonctionne en divisant un tour complet en un certain nombre de pas, ce qui permet un positionnement exact sans nécessiter de capteurs de rétroaction. Utilisé dans de nombreuses applications, telles que les imprimantes 3D, les robots et les dispositifs de contrôle industriel, ce moteur est apprécié pour sa simplicité et sa fiabilité. Sa capacité à fonctionner dans des conditions variées en fait un choix privilégié pour les systèmes nécessitant une précision élevée.

Voici une comparaison des trois types de moteurs pas à pas :

Caractéristique	Moteur à pas variable	Moteur à courant permanent	Moteur hybride
Principe de fonctionnement	Utilise la réluctance magnétique	Utilise des aimants permanents sur le rotor	Combine réluctance et aimants permanents
Couple	Faible, surtout à basse vitesse	Modéré à élever, bon à basse vitesse	Élevé, surtout à basse et moyenne vitesse
Précision	Bonne précision	Précision correcte, mais moins	Très bonne précision

		qu'hybride	
Efficacité	Moins efficace	Plus efficace que le moteur à pas variable	Très efficace
Applications	Moins courant dans les applications modernes	Utilisé dans des applications simples	Très courant dans l'automatisation et la robotique
Complexité	Relativement simple	Simple, mais moins performant	Plus complexe, mais offre de meilleures performances

Tableau 01 : Comparaison des trois de moteurs pas à pas**II.6.la table chauffante :**

La table chauffante d'une imprimante 3D est un composant complexe et critique qui se compose de plusieurs parties, chacune ayant un rôle spécifique pour assurer une impression de haute qualité. Voici un détail des principales composantes :

1. **Le plateau de surface** : C'est la partie supérieure sur laquelle le filament est déposé lors de l'impression. Il peut être fait de différents matériaux, comme le verre borosilicate, l'aluminium ou parfois des plaques spéciales recouvertes de surfaces adhérentes (comme le PEI ou le BuildTak). Le choix du matériau est important pour garantir une bonne adhérence de la première couche et une surface lisse pour l'objet imprimé. Le verre est apprécié pour sa planéité, tandis que l'aluminium chauffe rapidement et uniformément.
2. **La résistance chauffante** : Sous le plateau, on trouve un élément chauffant qui est responsable de la montée en température du plateau. Cet élément peut prendre la forme d'un tapis chauffant en silicone ou d'une résistance intégrée directement dans le plateau. La chaleur générée permet de maintenir une température constante pendant l'impression, ce qui empêche la déformation des objets en cours de fabrication, un problème récurrent avec certains matériaux comme l'ABS ou le nylon.

3. **Le capteur de température (thermistance ou thermocouple)** : Ce capteur est essentiel pour surveiller la température du plateau en temps réel. Il envoie des informations au système de contrôle de l'imprimante pour réguler la puissance de la résistance chauffante et maintenir une température stable. Les capteurs de température assurent que la table chauffante reste dans la plage de température optimale pour le matériau en cours d'utilisation (par exemple, 50-60°C pour le PLA et 100-110°C pour l'ABS).

4. **Le système d'alimentation électrique** : La résistance chauffante est alimentée en électricité par une source dédiée, généralement reliée à l'alimentation de l'imprimante 3D. Certaines imprimantes utilisent une alimentation de 12V ou 24V, tandis que d'autres, pour des plateaux de grande taille, peuvent nécessiter une alimentation directe en courant alternatif (AC) pour atteindre des températures élevées plus rapidement. Un relais ou un MOSFET est souvent utilisé pour contrôler la puissance qui arrive à la résistance et éviter la surchauffe.

5. **Le système de fixation et de maintien** : Le plateau chauffant est généralement fixé à une structure mobile (l'axe Z ou l'axe Y, selon la conception de l'imprimante). Il doit être bien sécurisé tout en permettant des ajustements pour assurer un bon niveau. Certains systèmes utilisent des vis de réglage manuelles pour ajuster le niveau du plateau (appelé **nivellement manuel**), tandis que d'autres sont équipés de capteurs pour un **nivellement automatique**, qui ajuste la position du plateau en fonction de l'emplacement de la buse. Cela garantit que la première couche soit déposée uniformément, quelle que soit la position sur le plateau.

6. **La surface d'adhérence** : Bien que ce soit une composante additionnelle, de nombreuses imprimantes 3D utilisent des feuilles ou revêtements spécifiques sur la table chauffante pour améliorer l'adhérence. Des surfaces comme le PEI (Polyétherimide), les rubans Kapton, ou des feuilles magnétiques amovibles permettent aux objets de mieux adhérer pendant l'impression tout en facilitant leur retrait après refroidissement.

En résumé, la table chauffante d'une imprimante 3D est un ensemble de composants parfaitement synchronisés pour garantir une température constante et un environnement propice à l'adhérence des matériaux thermoplastiques. Chaque partie, du plateau à la résistance, joue un rôle vital dans la réussite des impressions et dans la minimisation des défauts tels que la déformation ou le décollage des pièces.

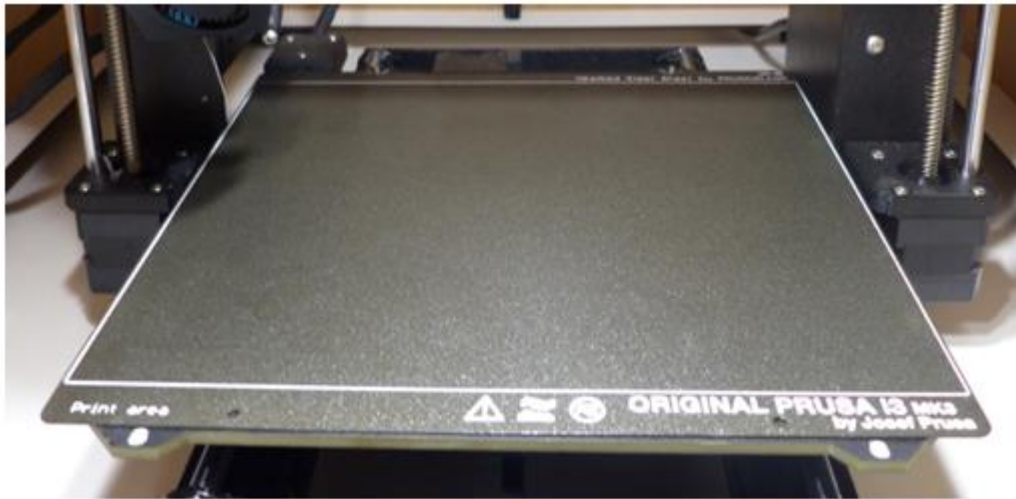


FIGURE 3 : la table chauffante

Spécification :

- Matériau : aluminium
- Taille : env. 360 x 360 x 5,5 mm
- Puissance du lit chauffant : 140-145 W

Spécifications du lit chaud :

- Matériau : base en aluminium
- Tension : 12 V
- Température maximale : 120 degrés Celsius
- Dimensions : env. 360 x 360 mm
- Épaisseur : 1,5 mm de lit chaud
- Résistance 12V d'environ 0,9 ohm

II.7. L'extrudeuse :

L'extrudeuse est un élément clé qui gère l'alimentation, la fusion et l'extrusion du filament plastique pour créer des objets en trois dimensions. Composée d'un moteur d'entraînement et d'une tête d'impression (hotend), elle chauffe le filament et l'extrude à travers une buse fine pour former les couches de l'objet. Il existe deux types d'extrudeuses : Bowden et Direct Drive. Sa précision est essentielle pour assurer un flux constant, éviter les bourrages et garantir des impressions de qualité en ajustant la température selon le type de filament. [06]



FIGURE 4 : L'extrudeuse.

Dans une extrudeuse, il y a trois zones clés :

1. **La zone froide** est située près de l'entrée du filament, généralement refroidie par un ventilateur pour empêcher le filament de fondre prématurément. Cela permet au filament d'être poussé vers la tête d'impression de manière stable.
2. **La zone de transition** est l'endroit où le filament commence à chauffer progressivement à mesure qu'il approche de la tête d'impression. Ici, il passe de l'état solide à un état partiellement fondu. [27]
3. **La zone chaude** se situe dans la tête d'impression (hotend), où le filament est complètement fondu à la température appropriée pour être extrudé à travers la buse et former les couches de l'objet.

Ces trois zones fonctionnent ensemble pour assurer un flux de filament fluide, sans bourrages, et pour garantir une extrusion contrôlée et précise.

II .7 .1. Composants de l'extrudeuse :

1. **Moteur d'entraînement** : Il pousse le filament dans l'extrudeuse, souvent à l'aide d'un engrenage denté qui assure une prise ferme sur le filament.
2. **Roulement d'appui** : Ce composant maintient le filament en contact avec l'engrenage d'entraînement, permettant une bonne traction et un débit constant.
3. **Tête d'impression (hotend)** : C'est ici que le filament est chauffé jusqu'à son point de fusion. Elle comprend plusieurs sous-composants :

- **Bloc chauffant** : Partie qui génère la chaleur nécessaire pour faire fondre le filament.
 - **Buse** : L'extrémité par laquelle le filament fondu est extrudé pour créer les couches de l'objet imprimé. La taille de la buse influence la finesse des détails, la tête d'impression joue un rôle essentiel dans le résultat final. Sa taille, son diamètre et le matériau utilisé influencent directement la précision, la finesse et la vitesse d'impression. Le diamètre de la buse affecte la quantité de filament extrudé et la résolution obtenue. Des buses de 0,4 à 0,6 mm sont courantes, mais des diamètres de 0,2 mm permettent une meilleure résolution, tandis que des buses plus grandes, jusqu'à 1,0 mm, sont utilisées pour des pièces de grand volume.
 - **Thermistance** : Un capteur qui mesure la température de la hotend, permettant un contrôle précis de la chaleur.
4. **Radiateur (heat sink)** : Situé juste au-dessus de la hotend, il dissipe la chaleur pour éviter que le filament ne fonde prématurément dans la zone froide.
 5. **Ventilateur** : Il refroidit le radiateur et empêche la chaleur de remonter vers la zone d'alimentation, ce qui garantit que le filament reste solide avant d'atteindre la hotend.
 6. **Tube Bowden (optionnel)** : Présent dans les systèmes Bowden, ce tube guide le filament du moteur d'entraînement jusqu'à la hotend, réduisant ainsi le poids de la tête d'impression pour plus de vitesse.

Ces composants fonctionnent ensemble pour garantir une extrusion stable, précise et adaptée au type de matériau utilisé.

Chaque partie doit être fabriquée avec un matériau adapté à son rôle. La zone de transition nécessite un matériau à faible conductivité thermique, comme l'acier inoxydable ou le titane. La zone chaude utilise des matériaux à haute conductivité thermique, comme l'aluminium ou le laiton, voire du cuivre pour les buses plus sophistiquées. Pour l'impression avec des matériaux abrasifs, des buses en acier trempé ou en carbure de tungstène sont recommandées. Enfin, la zone froide requiert également un matériau à bonne conductivité thermique, généralement l'aluminium.

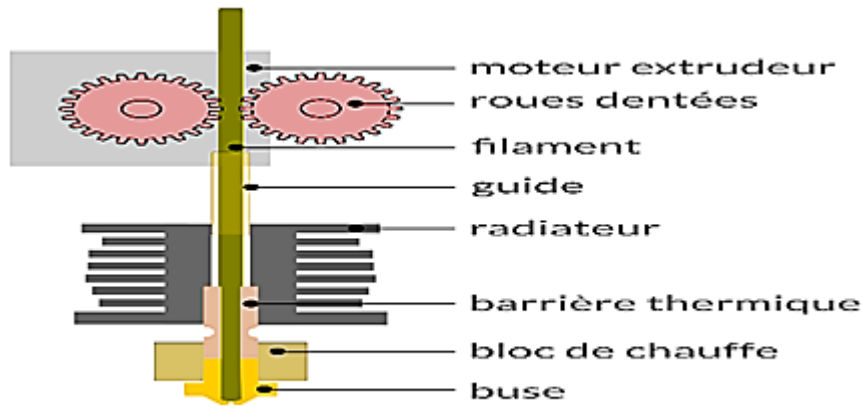


FIGURE 5 : Composants de l'extrudeuse

II.8. La cinématique de l'imprimante 3D :

L'imprimante 3D nécessite des moteurs pour contrôler les déplacements et permettre à l'extrudeuse de déposer le matériau sur le plateau. Il y a trois axes de mouvement : X, Y et Z, chacun étant géré par un moteur pas à pas. Les axes X et Y contrôlent les déplacements de l'extrudeuse, tandis que l'axe Z ajuste la montée et la descente du plateau chauffant.

II.8.1. Axe X, Y, courroie, pignon :

Sur les axes X et Y, le déplacement est assuré par une courroie reliée à une poulie, qui convertit un mouvement rotatif en mouvement linéaire. Ainsi, la distance parcourue par la poulie correspond à celle de la courroie, c'est-à-dire que si la poulie tourne de 1 mm, la courroie se déplace également de 1 mm.

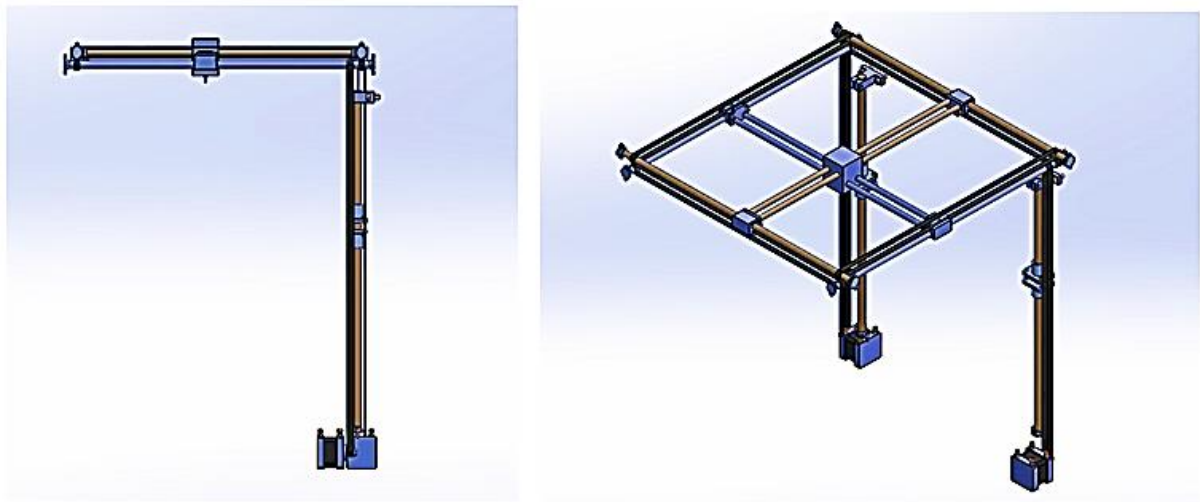


Figure 6 :Axe X, Y, courroie, poulie

II.8.2. Axe z (la tige) :

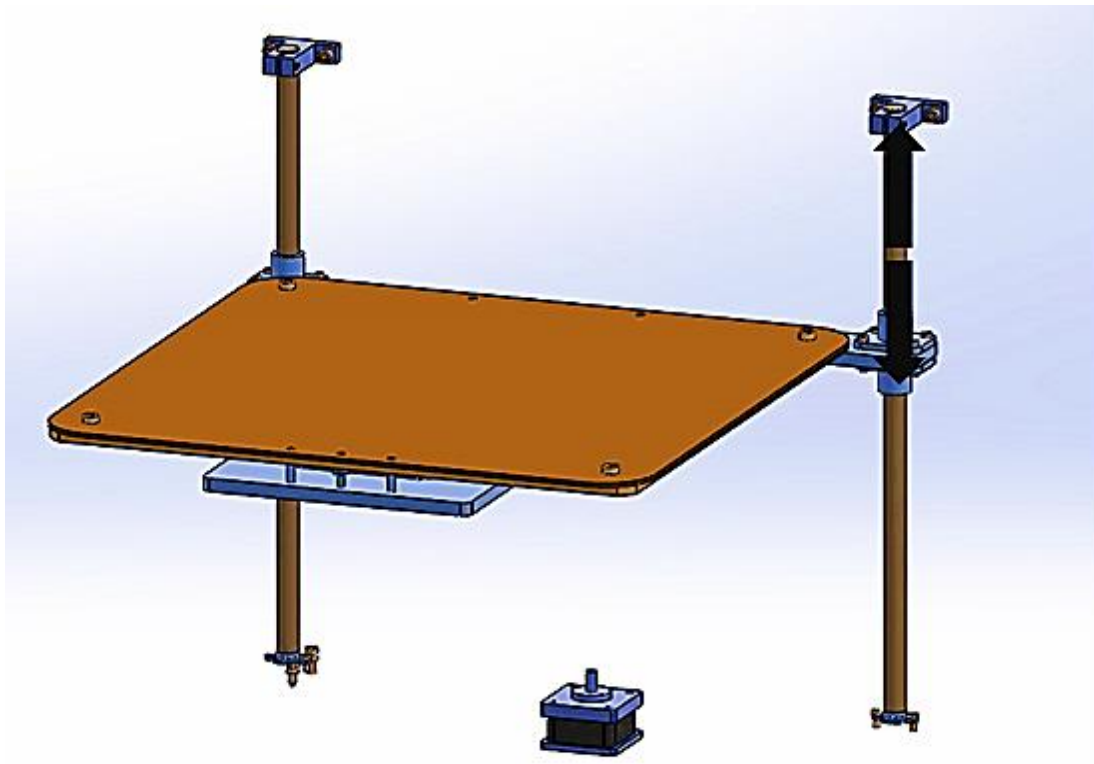


Figure 7 : Axe z moteur, tige

Sur l'axe Z, le déplacement est assuré par une vis filetée reliée au moteur. Le mouvement rotatif du moteur est converti en mouvement linéaire sur la tige, offrant ainsi un contrôle plus précis.

II.8.3. Contrôle de L'extrudeuse :

L'extrusion directe nécessite de placer l'extrudeuse au plus près de l'extrémité chaude. L'extrudeuse est connectée au système de déplacement sur les axes X et Y.

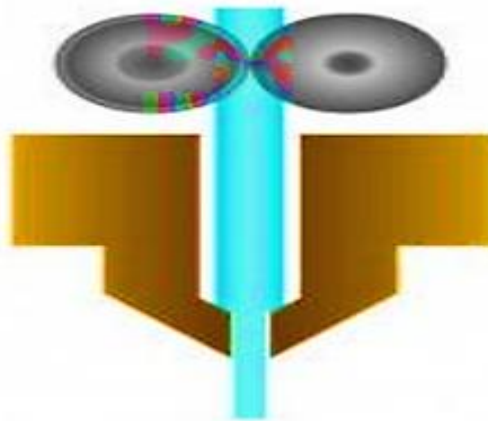


Figure 8 : contrôle de l'extrudeuse

II.9. Systèmes de transmission :

Poulies et courroies :

Ce mécanisme fonctionne sur le principe de l'adhérence et du frottement entre les composants pour transférer le mouvement. Il convertit la rotation du moteur en un déplacement linéaire de la tige glissante.



Figure 9 : poulies et courroie

Tige filetée :

La tige filetée, élément mâle du système vis/écrou, est utilisée pour assembler des pièces ou transformer un mouvement. Elle se combine avec des écrous et rondelles pour une installation durable. Fabriquée généralement en métal, elle peut aussi être en plastique dur pour des pièces de petite taille ou légères. La tige s'utilise avec un trou taraudé pour assurer sa fixation.



Figure 10 : Tige filetée

II.10. Système de fixation :

Par vis :

Une vis de fixation, couramment appelée vis, est une pièce mécanique avec une tige filetée et une tête. Contrairement aux vis coniques, son filetage est constant sur toute la longueur. Elle sert à assembler des composants de machines en exerçant une force de précontrainte entre les pièces à fixer.



Figure 11 : vis de fixation

II.11. Logiciel de conception SolidWorks 2020 :

SolidWorks 2020 est une version améliorée du logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), offrant de nouvelles fonctionnalités pour la modélisation 3D, la simulation et la gestion des données de produit. Avec des outils optimisés pour la conception paramétrique, il permet aux ingénieurs et concepteurs de créer des modèles complexes avec plus de précision et d'efficacité. Parmi ses nouveautés, on trouve une meilleure gestion des

grandes assemblées, des améliorations au niveau de la simulation et un flux de travail plus intuitif, facilitant ainsi le développement de produits innovants et la réduction des délais de conception.

Dans ce travail, nous avons utilisé SolidWorks pour concevoir notre imprimante 3D, en détaillant les pièces et mécanismes conçus.

II.12 Justification du choix des pièces :

Réduire le nombre de pièces permet de diminuer les coûts et d'améliorer l'efficacité, tant au niveau de la fabrication que de la logistique.

Le cache et la base :

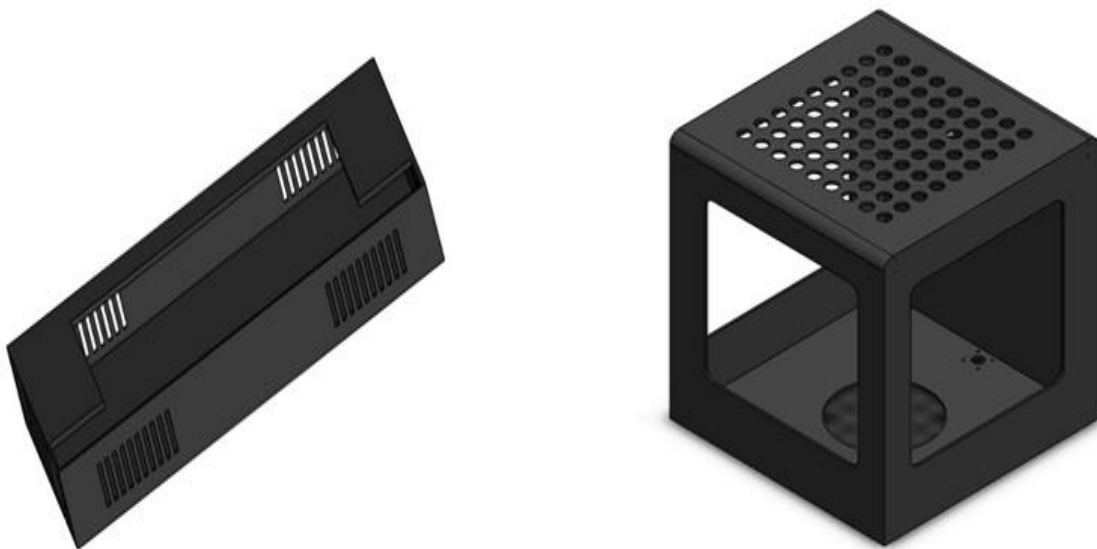


Figure 12 : le cache et la base

Portes glissières verticale:

C'est une pièce de sertissage encastrée pour les glissières de l'axe X. Elle permet de fixer solidement les glissières tout en empêchant leur déplacement .

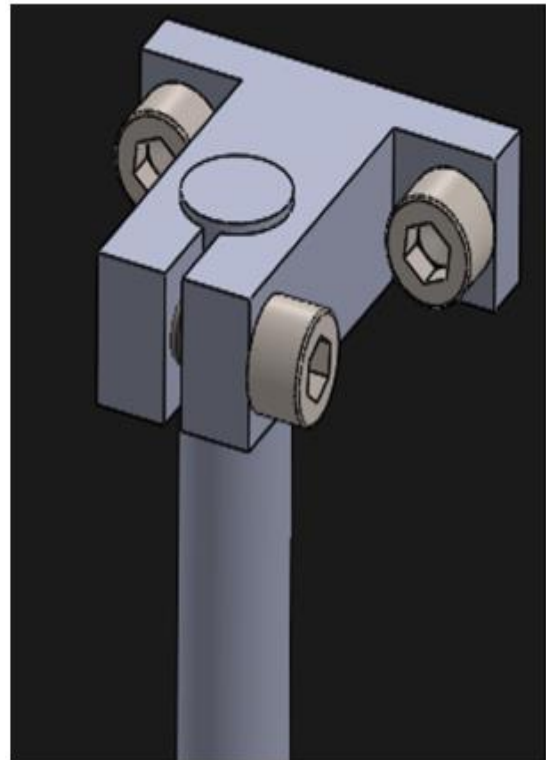
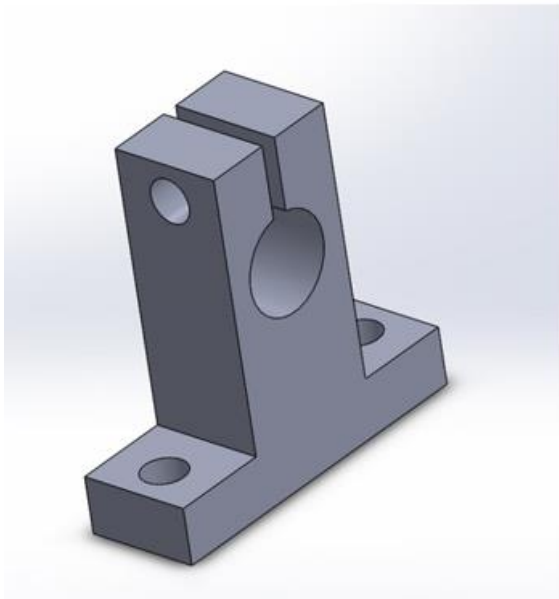


Figure 13 : La porte glissière verticale

Porte glissière :

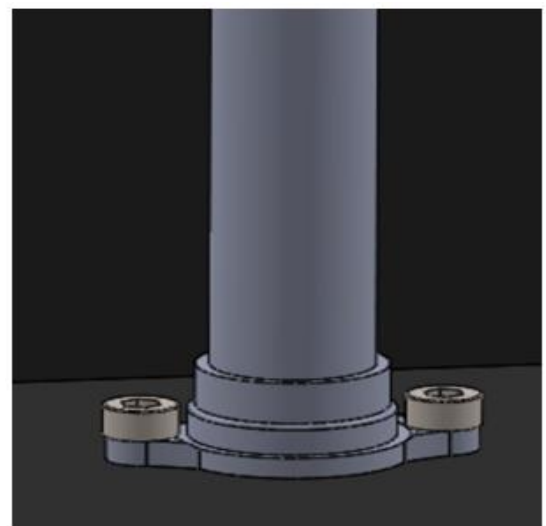
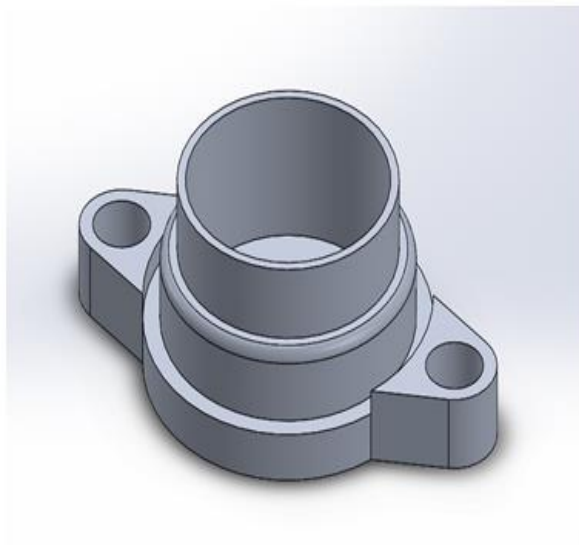


Figure 14 : porte glissière

Porte moteur:

Cette pièce sert à positionner le moteur et à le fixer solidement sur le châssis

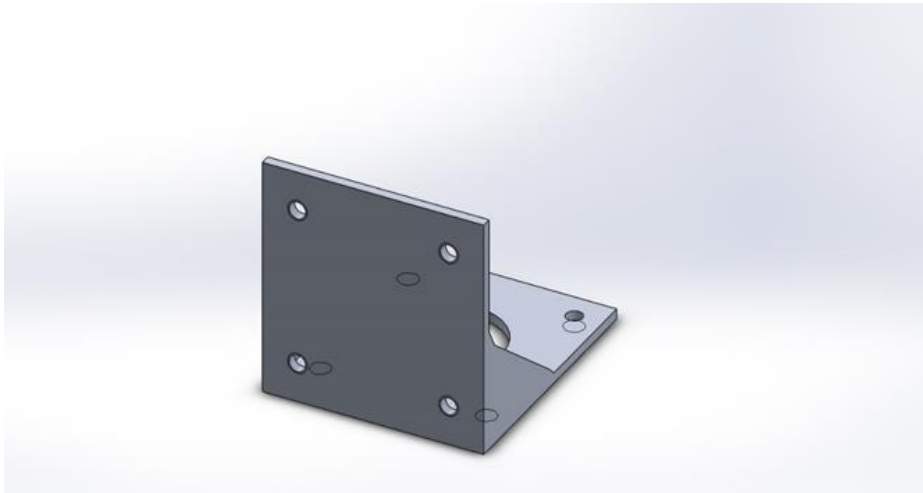


Figure 15 : Porte moteur

Coupleur :

C'est une pièce conçue pour assurer une liaison solide entre deux systèmes permettant la transmission d'un mouvement

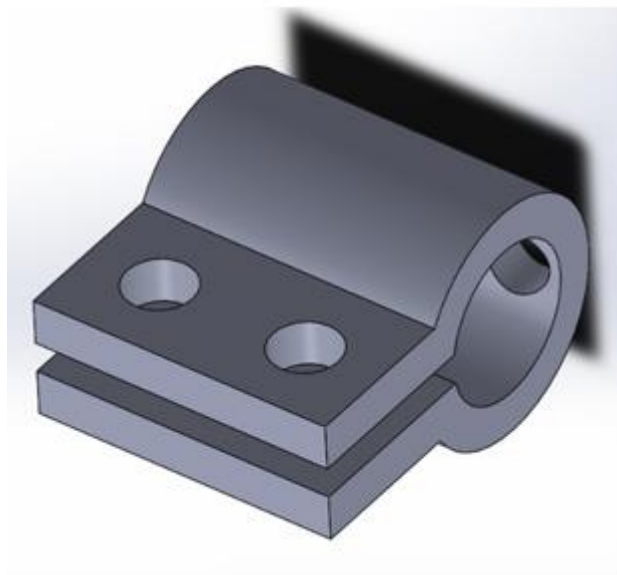


Figure 16 : Coupleur

Porte table :

Les glissières verticales supportent la table chauffante.

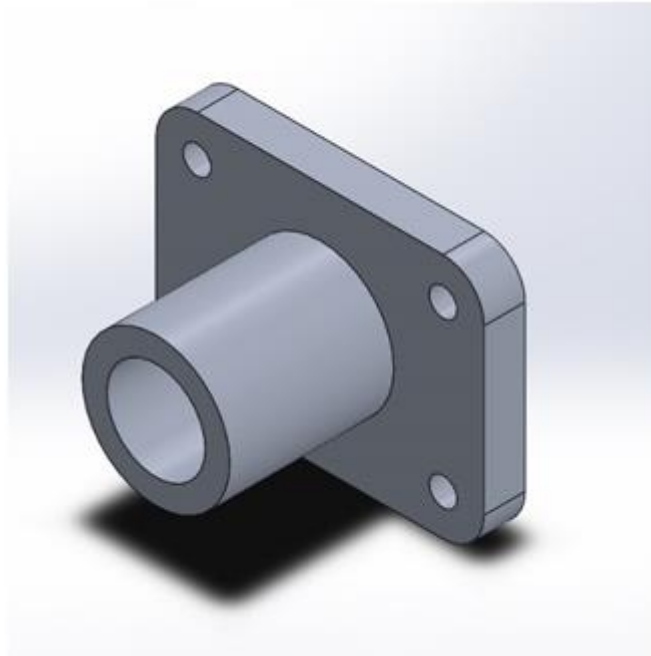


Figure 17 : porte table

Porte courroie et plaque dentée:

Permet une connexion complète entre la courroie et l'extrudeuse.

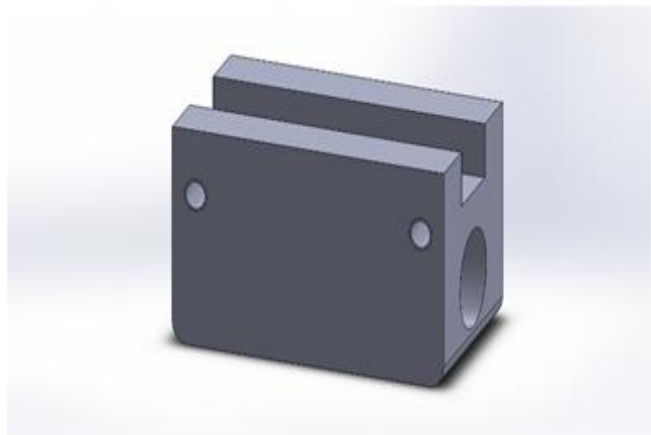
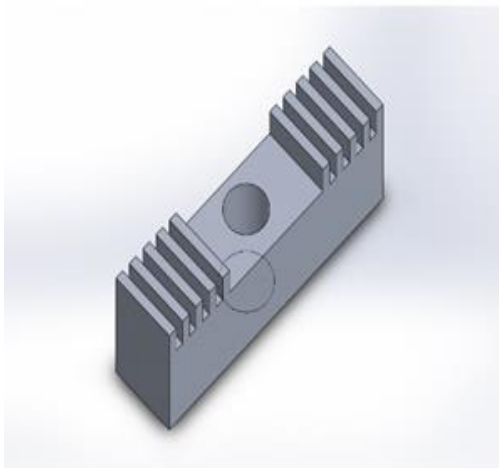


Figure 18 : plaque dentée et porte courroie

Glissières et arbre fileté :

Le bloc coulissant garantit le guidage horizontal et vertical de la table de travail ainsi que de l'extrudeuse. L'arbre fileté permet le déplacement vertical du lit chauffant.

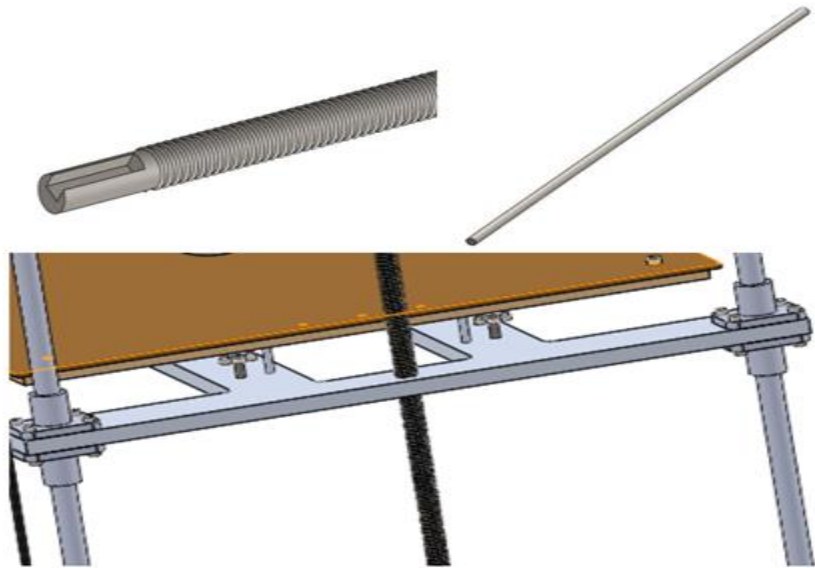


Figure 19 : glissière et arbre fileté

Les tables:

Les tables constituent les supports de la pièce imprimée.

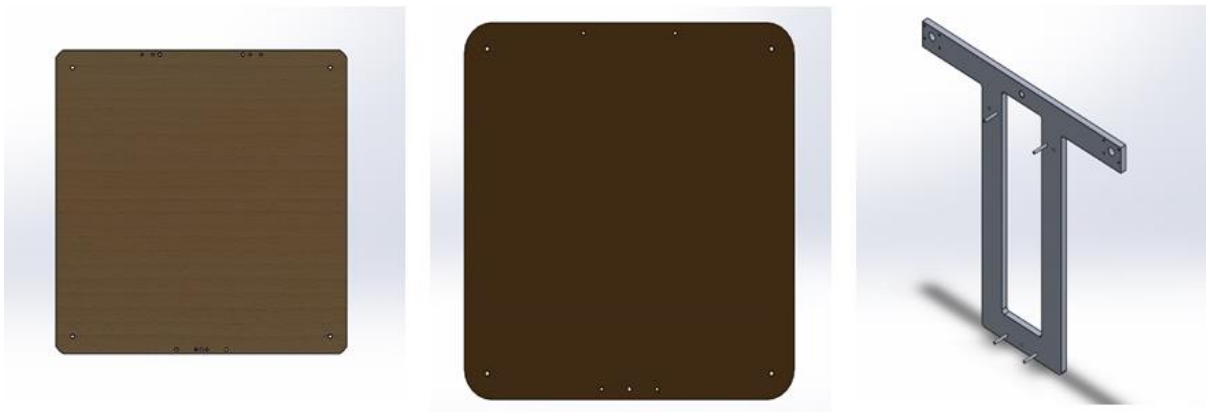


Figure 20 : le lit chauffant, la couche isolante et la table

Lit chauffant :

Il accueille la pièce imprimée et garantit l'adhérence des premières couches.

Couche isolante:

Elle isole le lit chauffant de la table. Ce panneau d'isolation ignifuge, placé derrière un radiateur, réfléchit la chaleur vers l'intérieur de la pièce. Installé contre une cloison, il protège du froid tout en conservant la chaleur accumulée. De plus, cette plaque agit comme une barrière électromagnétique.

Emmagasinée. Cette plaque joue également le rôle de barrière électromagnétique.

La table:

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

La bobine et tige de bobine

La bobine supporte le filament, tandis que le porte-bobine permet de la fixer au châssis.

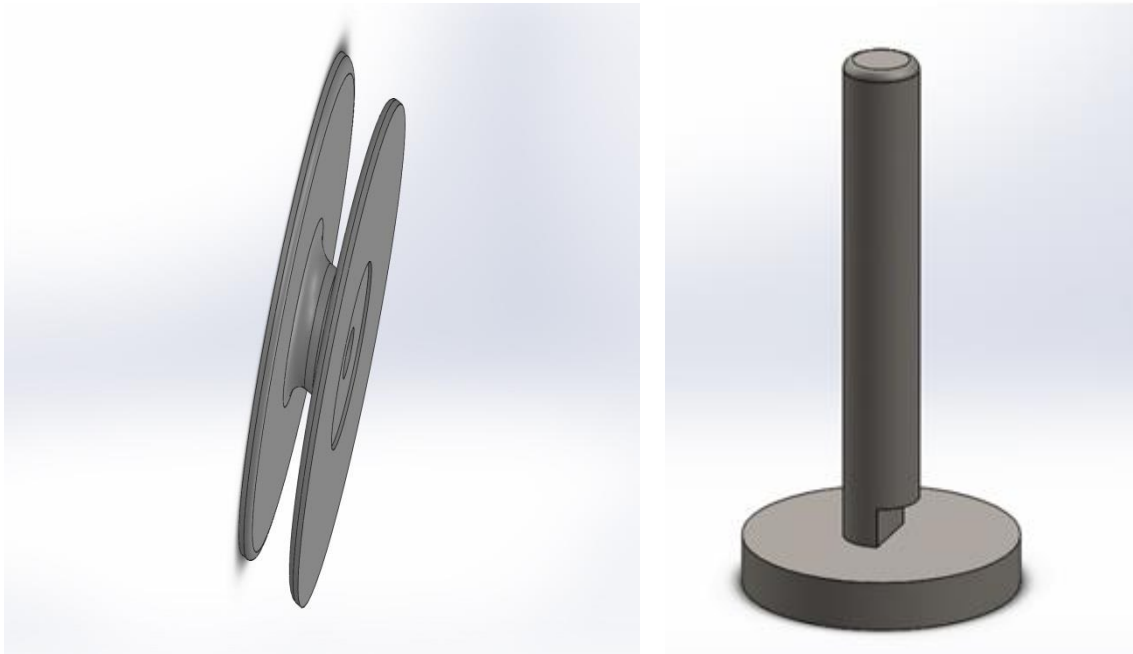


Figure 21 : La bobine et Tige de bobine

Support extrudeuse :

Support extrudeuse sert a porter l'extrudeuse

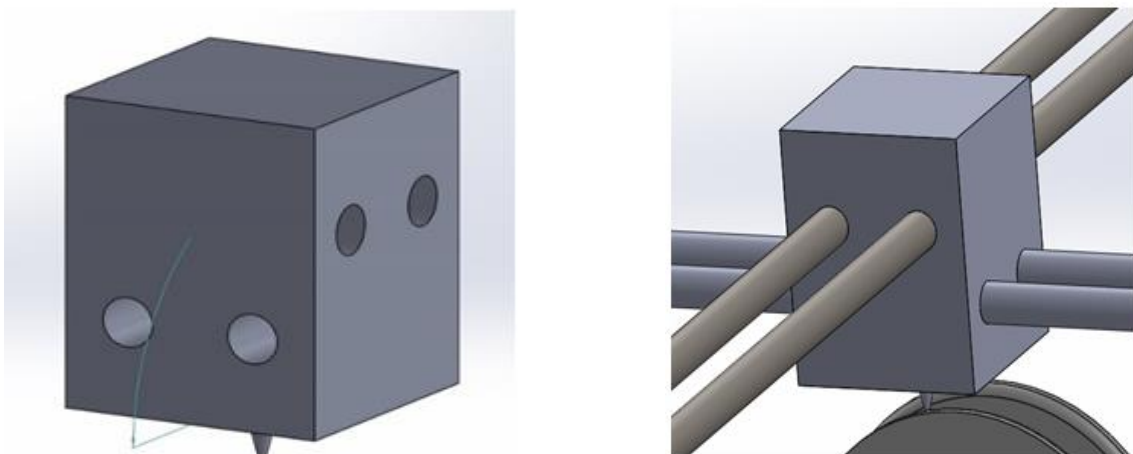


Figure 22 : support extrudeuse

L'assemblage

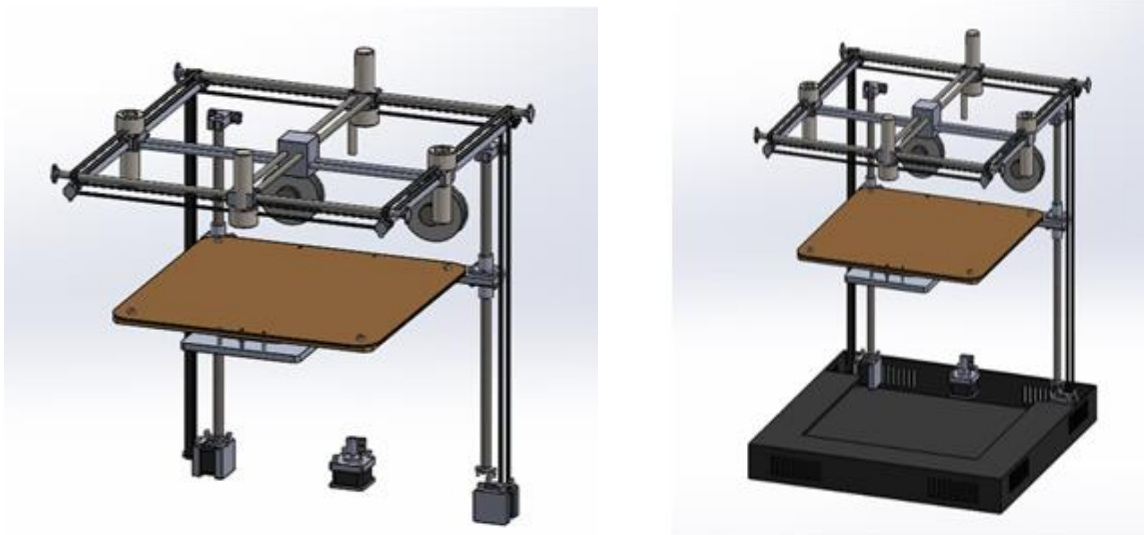


Figure 23 : l'assemblage final de l'imprimante 3D

II.13 Justification du choix des matériaux

Dans cette partie nous présentons le choix des matériaux pour chaque élément mécanique :

Alliage d'aluminium 6063 T1:

L'alliage d'aluminium 6063T1 est composé principalement de silicium et de magnésium. Cet alliage est couramment utilisé dans des formes extrudées pour des applications architecturales, notamment les cadres de fenêtres, portes, toitures et supports d'enseignes. Sa température de fusion est d'environ 660°C, ce qui le rend adapté aux opérations de fonderie. Il présente une résistance à l'élasticité de 69 GPa.

Nous avons sélectionné l'alliage d'aluminium 6063T1 pour notre poutre en raison de sa grande ductilité, ce qui facilite sa mise en forme. Il possède également des propriétés mécaniques spécifiques, avec une masse volumique trois fois inférieure à celle de l'acier, soit 2700 kg/m³. De plus, cet alliage offre une bonne résistance à la corrosion grâce à la formation d'une couche d'oxyde protectrice en surface.

L'alliage d'aluminium 1060 :

L'alliage d'aluminium 1060 est principalement composé d'au moins 99 % d'aluminium. Nous l'avons choisi en raison de sa légèreté et de sa rigidité.

II.14 Acier inoxydable recuit :

L'acier inoxydable est un alliage constitué principalement de fer et de carbone, contenant moins de 1,2 % de carbone et plus de 10,5 % de chrome. Ce métal est légèrement plus malléable que l'acier classique et présente une finition brillante. L'un des principaux avantages de l'acier inoxydable est sa résistance à l'oxydation, ce qui en fait un matériau idéal pour une utilisation en extérieur, où l'humidité est souvent présente.

PBT à usage général :

Le polybutylène téréphtalate est un polymère thermoplastique appartenant à la famille des polyesters. Le PBT est couramment utilisé pour le filage de matériaux d'impression 3D à base de polyester. Parmi ses principales caractéristiques, il offre une excellente résistance à la chaleur, une bonne résistance aux agents chimiques, ainsi qu'une performance satisfaisante en matière de frottement et de fatigue.

Aisi 1020 acier laminé à froid :

Nous l'avons sélectionné pour les glissières en raison de sa limite d'élasticité élevée, qui est de 350 N/mm².

Bronze d'aluminium :

Les alliages d'aluminium bronze sont composés d'aluminium et de cuivre, avec un maximum de 14 % d'aluminium. Dans le cas du bronze d'aluminium, la proportion d'aluminium est de 11 %, le reste étant du cuivre. Nous avons opté pour ce matériau pour le lit chauffant en raison de sa excellente conductivité thermique, qui favorise l'adhésion de la première couche de la pièce imprimée.

Le balsa :

Ce terme désigne un bois très léger et fragile, souvent utilisé pour fabriquer des modèles réduits d'avions. Il est généralement combiné avec d'autres matériaux composites, permettant la création de structures multicouches, y compris des éléments en aluminium. En tant qu'isolant thermique, ce bois est également utilisé sur la table pour empêcher la chaleur de se propager dans la machine.

Le caoutchouc :

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

Aisi 1010 barre d'acier laminée à chaud :

C'est un acier de construction, on l'a utilisé pour sa résistance et sa dureté. [38]

II.15. Arduino



Figure N° 24 : Arduino

La carte Arduino est une plateforme de prototypage électronique open-source, très populaire pour le développement de projets électroniques. Elle est dotée d'un microcontrôleur programmable qui permet de contrôler divers composants comme des capteurs, des moteurs ou des LEDs. Grâce à son interface simple et à un environnement de programmation convivial, Arduino facilite la création de prototypes pour les amateurs, les étudiants et les professionnels. La carte est disponible en plusieurs modèles, adaptés à différentes applications, allant de simples projets d'automatisation à des systèmes plus complexes. Sa flexibilité et son large écosystème en font un outil incontournable dans le domaine de l'électronique et de la robotique. [36]

Arduino est un choix populaire pour les projets de bricolage, y compris la construction d'imprimantes 3D, pour plusieurs raisons :

1. **Abordabilité** : Les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses par rapport à d'autres plateformes de microcontrôleurs, ce qui les rend accessibles aux amateurs et aux passionnés.

2. **Open-source** : Le matériel et le logiciel Arduino sont open-source, ce qui signifie que les fichiers de conception et le code sont librement disponibles pour la modification et la distribution. Cela favorise une grande communauté de développeurs qui contribuent à la plateforme et partagent leurs projets et leurs connaissances.

3. **Facilité d'utilisation** : Les cartes Arduino sont conçues dans un souci de simplicité, ce qui les rend adaptées aux débutants ayant peu d'expérience en programmation ou en électronique. L'IDE Arduino (Environnement de Développement Intégré) offre une interface conviviale pour écrire et téléverser du code sur la carte.

4. **Polyvalence** : Les cartes Arduino peuvent être facilement intégrées à une large gamme de capteurs, actionneurs et autres composants électroniques, ce qui permet une flexibilité dans la conception et la fonctionnalité du projet.

5. **Support de la communauté** : Arduino dispose d'une communauté d'utilisateurs et de développeurs grande et active qui fournissent un support, des tutoriels et des ressources en ligne. Cet aspect communautaire peut être précieux pour résoudre les problèmes et trouver de l'inspiration pour les projets.

Dans l'ensemble, Arduino offre une plateforme pratique pour le prototypage et la construction de projets de bricolage comme les imprimantes 3D en raison de son abordabilité, de son accessibilité, de sa facilité d'utilisation, de sa polyvalence et du solide soutien de la communauté.

Caractéristiques techniques

II .15 .1.Spécifications techniques de la carte Arduino UNO

- Microcontrôleur : ATmega328.
- Tension de fonctionnement nominale : 5V.
- Entrées/sorties digitales : 14.
- Entrées analogiques : 6.
- Mémoire Flash : 32 KB (ATmega328)
- Fréquence d'horloge : 16 MHz.

II.15.2 Comment utiliser les cartes Arduino ?

La carte dispose d'entrées analogiques et numériques. Par exemple, un bouton marche/arrêt constitue une entrée numérique, tandis que les cadrans réglés à des degrés différents représentent des entrées analogiques. En utilisant les broches disponibles sur la

carte, l'appareil peut être connecté à ces entrées. De plus, nous pouvons intégrer des "shields" pour ajouter davantage de fonctionnalités au circuit imprimé. L'empilement de plusieurs shields permettra d'enrichir les capacités du système. [30]

II.16 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré toutes les solutions envisageables pour la conception de notre imprimante, tout en justifiant nos choix. Nous avons examiné les différents systèmes qui composent l'imprimante 3D et répertorié ses composants, en combinant leurs formes et dimensions le long des axes X, Y et Z, ainsi que les matériaux utilisés dans chaque section. Enfin, nous avons abordé la partie électronique, y compris la carte et les logiciels de contrôle. Dans le chapitre suivant, nous traiterons de la partie logicielle de l'imprimante 3D.

Chapitre III :

Réalisation et étude techno-économique

III. 1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur la réalisation technique d'une imprimante 3D, en explorant ses composants essentiels. Chaque élément de l'imprimante, du système de translation au plateau d'impression, joue un rôle crucial dans la précision et la qualité des objets produits. Nous examinerons en détail ces différents éléments, en commençant par une présentation des principaux composants et de leurs fonctions respectives dans le processus d'impression.

III .2 .Les matériaux pour la réalisation

Le tableaux suivants répertorient les différents matériaux et matériels consommables

Eléments	Matériaux
Bâti	Aluminium, plaque résine
La base	Bois, aluminium, acier
Porte table	PLA
plaque dentée	PLA
porte glissière	PLA
Porte glissière verticale	PLA
Coupleur	PLA
tige de bobine	PLA
la bobine	PLA

Tableau III .1 : Les matériaux pour la réalisation

III. 3 Les composants

Le système de translation d'une imprimante 3D permet le déplacement précis de la tête d'impression et du plateau le long des axes X, Y, et Z. Il est composé de rails de guidage qui assurent des mouvements linéaires fluides, de courroies et de vis à billes pour le déplacement, ainsi que de moteurs pas à pas qui contrôlent ces mouvements. Des poulies permettent de transmettre la force des moteurs aux courroies, et des capteurs de fin de course définissent les

positions limites des axes. Ce système garantit la précision nécessaire pour superposer les couches et créer des objets en trois dimensions.

III .3 .1 le Bâti

Le bâti d'une imprimante 3D constitue la structure fondamentale qui soutient et maintient tous les composants de l'appareil. Sa conception est cruciale pour garantir la stabilité et la rigidité nécessaires à des impressions de haute qualité. Fabriqué en aluminium et en plaques de résine extérieure, nous avons percé des trous de 25 mm de diamètre dans la plaque de résine pour évacuer l'air chaud lors de l'impression, ainsi qu'un autre trou de 300 mm pour refroidir les moteurs.

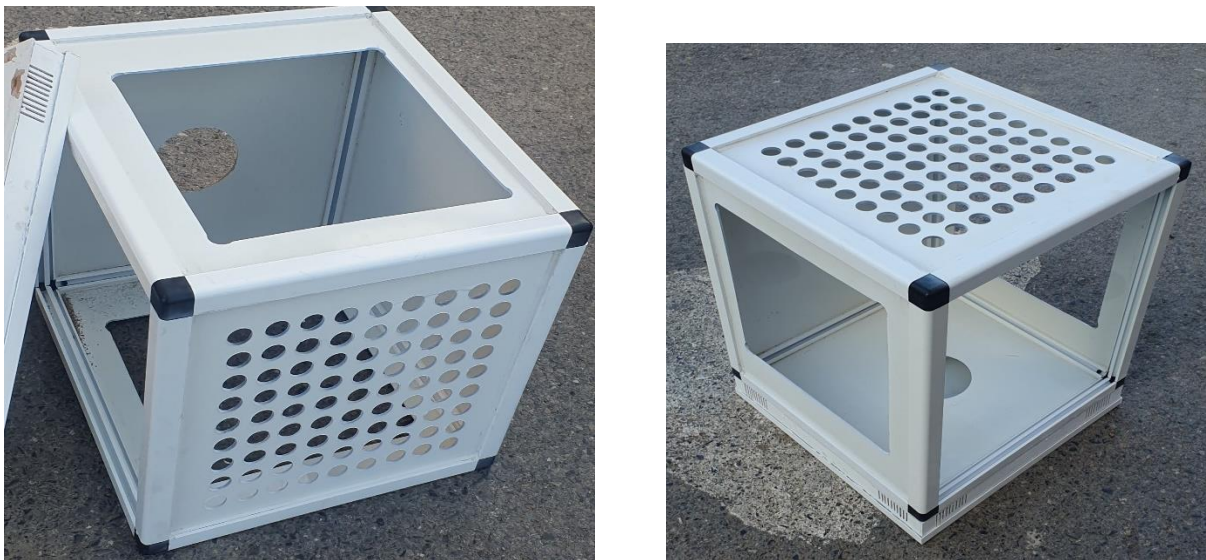


Figure III.1 : le bâti

III .3.2 La base

La base est fabriquée en bois et des corniers en aluminium, permettant de soutenir le système électronique et de fixer les moteurs pas à pas, tout en étant solidement attachée au bâti.



Figure III.2 : la base

3.3 Porte table

Le port table est fabrique à base de plastique PLA fabrique à l'aide d'une imprimante 3D, Le porte-table, ou plateau d'impression, supporte l'objet en cours de fabrication et se déplace généralement sur l'axe Z ou Y. Elle est essentielle pour garantir un dépôt précis des couches et peut être chauffée pour améliorer l'adhérence des matériaux et éviter les déformations.

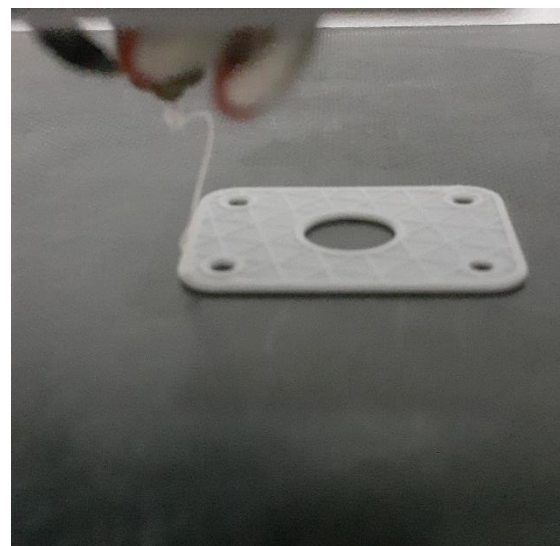
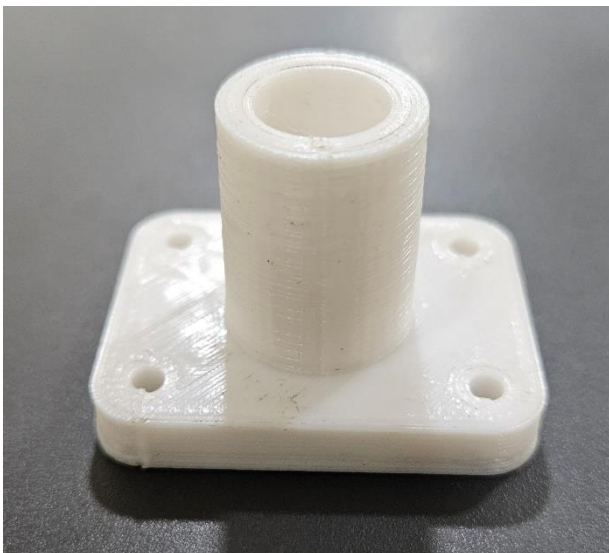


Figure III.3 : port table

3.4 Plaque dentée

La plaque dentée dans une imprimante 3D, souvent utilisée dans les systèmes de transmission de mouvement, joue un rôle crucial dans la conversion du mouvement rotatif en mouvement linéaire. Elle est généralement associée à un pignon, qui est une roue dentée. Lorsque le moteur fait tourner le pignon, celui-ci engrène avec la plaque dentée pour déplacer la tête d'impression ou le plateau. Ce système permet un positionnement précis et un contrôle efficace des axes, contribuant ainsi à la qualité de l'impression.

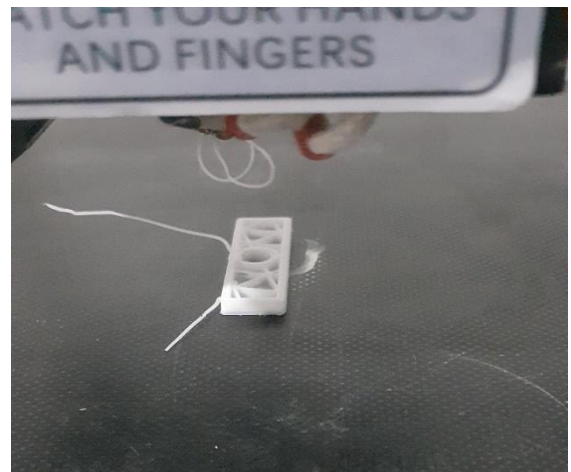
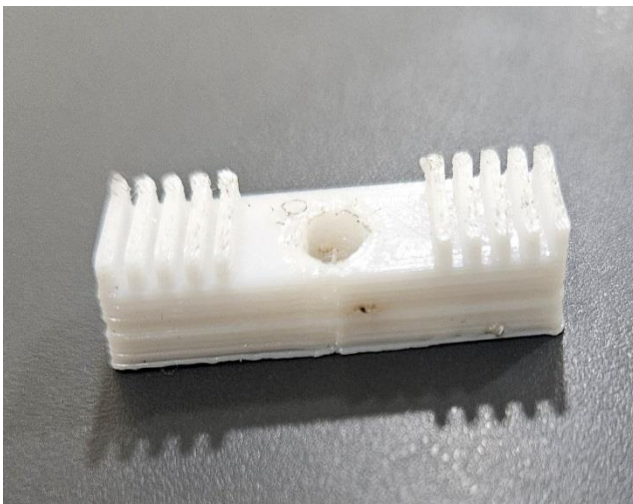


FIGURE III.4 : plaque dentée

3.5 porte glissière



FIGURE III.5 : porte glissière

3.6 Porte glissière verticale

Une porte à glissière verticale est fabriquée en plastique PLA sur une surface plane. Elle se déplace de haut en bas pour protéger l'intérieur tout en offrant un accès facile. Utilisée surtout sur les imprimantes fermées, elle protège contre la poussière et stabilise la température, tout en améliorant la sécurité en empêchant l'accès pendant l'impression.

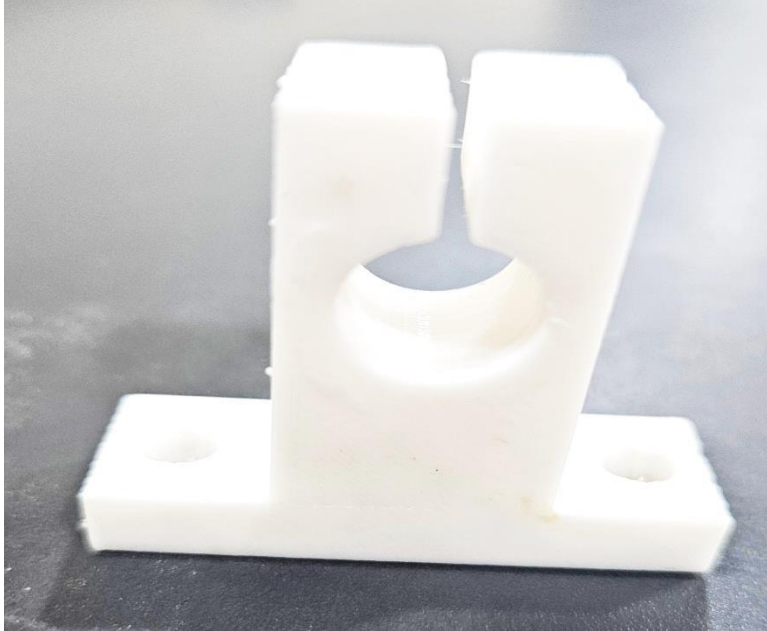


FIGURE III.6 porte glissière verticale

3.7 Coupleur

Le coupleur dans une imprimante 3D relie le moteur à la vis de transmission, transformant le mouvement de rotation en déplacement linéaire. Il absorbe les désalignements et réduit les vibrations, garantissant un mouvement fluide et précis, crucial pour la qualité des impressions.



FIGURE III.7 : Coupleur

3 .8 la bobine et tige de bobine :

La bobine permet de supporter le filament, tandis que le porte-bobine fixe la bobine au châssis, fabriquer à l'aide d'une imprimante 3d FDM avec de filament PLA .



Figure III.8 : bobine



FIGURE III.9 : tige de bobine

III.4 .Imprimante 3D utilise :[37]

L'Anycubic Mega S est une imprimante 3D populaire et polyvalente, reconnue pour sa facilité d'utilisation, sa fiabilité, et son excellent rapport qualité-prix. Destinée aussi bien aux débutants qu'aux utilisateurs plus expérimentés, elle se distingue par plusieurs caractéristiques techniques notables qui en font un modèle performant pour divers projets de prototypage, de modélisation ou de création artistique.

4.1. Caractéristiques principales

L'Anycubic Mega S dispose d'une structure en métal solide, assurant une grande stabilité lors de l'impression. Sa conception semi-assemblée permet une installation rapide, généralement en moins de 30 minutes, ce qui la rend accessible aux utilisateurs novices.

L'imprimante est équipée d'un extrudeur Titan, qui améliore la précision et la qualité d'impression, notamment lors de l'utilisation de filaments flexibles tels que le TPU. Elle prend en charge différents types de filaments comme le PLA, l'ABS, le PETG et d'autres matériaux courants dans l'impression 3D.

Avec un volume d'impression de 210 x 210 x 205 mm, l'Anycubic Mega S offre un espace suffisant pour la plupart des projets personnels et professionnels. Elle est également dotée d'un lit chauffant ultrabase qui garantit une excellente adhérence des impressions tout en facilitant le retrait des pièces une fois le travail terminé.

4.2. Fonctionnalités et avantages

L'un des points forts de l'Anycubic Mega S est son écran tactile intuitif, qui rend la navigation dans les paramètres de l'imprimante facile et fluide. De plus, elle intègre une fonction de reprise d'impression, qui permet de reprendre une impression en cas de coupure de courant, ce qui est très pratique pour éviter la perte de projets en cours.

Cette imprimante dispose également de capteurs qui détectent la fin du filament, interrompant automatiquement l'impression pour permettre le remplacement du matériau, garantissant ainsi une impression sans erreur ni gaspillage.

4.3. Qualité d'impression

Grâce à sa précision de 0,05 mm, l'Anycubic Mega S offre des impressions de haute qualité, avec des couches uniformes et des détails nets. Sa vitesse d'impression, allant jusqu'à 100 mm/s, est suffisante pour garantir un bon équilibre entre rapidité et précision.

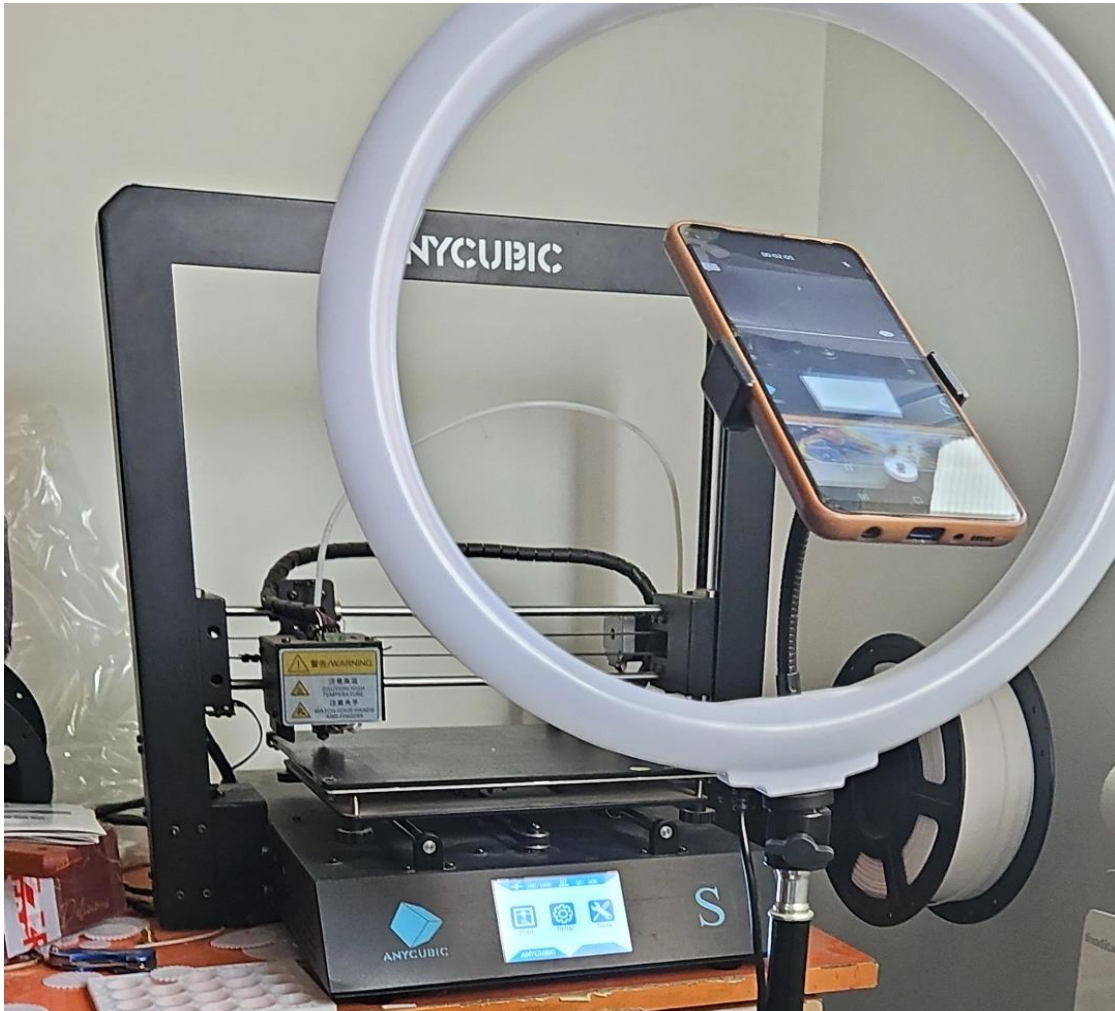
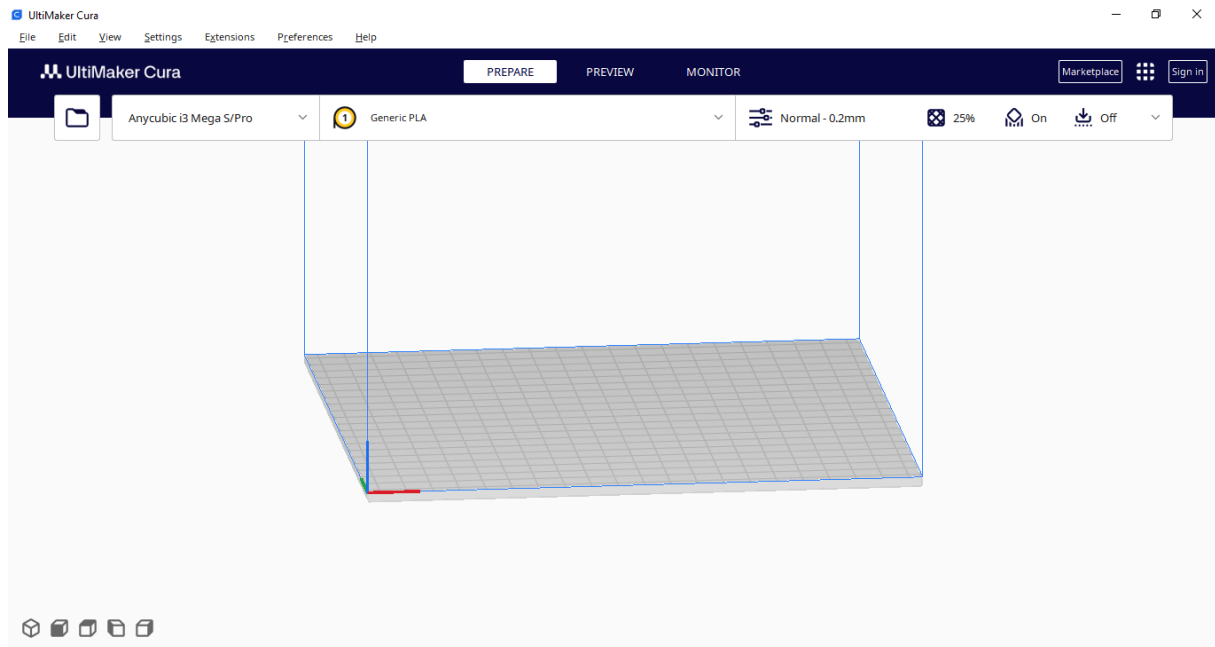


FIGURE III.10 : imprimante 3d ANYCUBIC MEGA S

III.5. Logiciel Ultimaker cura : [35]

Ultimaker Cura est l'un des logiciels de tranchage les plus populaires dans le domaine de l'impression 3D. Développé par Ultimaker, ce programme open-source est compatible avec une grande variété d'imprimantes 3D, ce qui en fait un outil incontournable pour les amateurs comme pour les professionnels.



FIGUR III.11 : La fenêtre de l'interface principale ULTIMAKER CURA

III.5.1.Fonctionnement du logiciel :

Cura est un logiciel de tranchage ("slicer") qui transforme des modèles 3D numériques, souvent au format STL ou OBJ, en instructions spécifiques pour les imprimantes 3D, connues sous le nom de G-code. Ces instructions détaillent les mouvements de la tête d'impression, les vitesses, les températures et d'autres paramètres essentiels pour une impression réussie.

III.5.2.Fichiers de modèle 3D (STL) :

La première étape du flux de travail **ULTIMAKER CURA** consiste à importer le modèle 3D à imprimer. Ce fichier est généralement exporté depuis un programme de CAO ou téléchargé depuis un site web qui fournit des fichiers de conception 3D. Le type de fichier le plus courant pour ces modèles 3D est le fichier STL (stéréolithographie), mais **ULTIMAKER CURA** supporte également les fichiers OBJ et 3MF. Ces fichiers contiennent des informations sur le modèle 3D à créer. Ils définissent les limites et la forme de modèle 3D à l'aide de centaines de

triangles qui définissent la surface de la pièce.

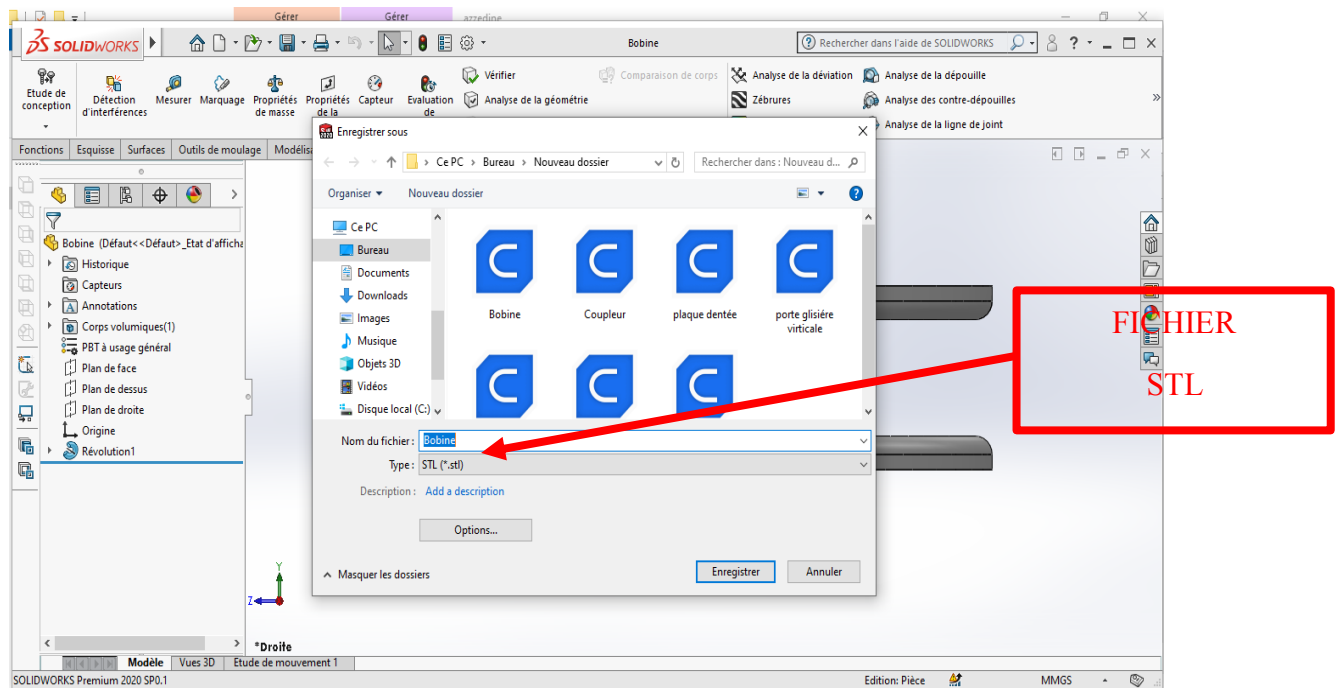


FIGURE III.12 : model 3d en STL

III.5.3 Comment ajouter des Supports :

Lorsque nous rencontrons un modèle qui nécessite du matériel de support, ULTIMAKER CURA facilite son ajout à l'impression. Commençons par importer un modèle dont nous savons qu'il aura besoin de support. Nous utiliserons la statue Moai comme modèle. En regardant ce modèle, il est clair qu'il y a plusieurs zones qui vont probablement violer notre limite d'angle de 45 degrés. Ajoutons un nouveau processus FFF, ou éditons un processus existant, afin d'imprimer le modèle Moai. Pour ajouter du matériel de support pour ce modèle, ouvrons les paramètres de notre processus FFF et activons l'option générer du matériel de support et on remarque que le logiciel a déjà ajouté les structures de soutien .

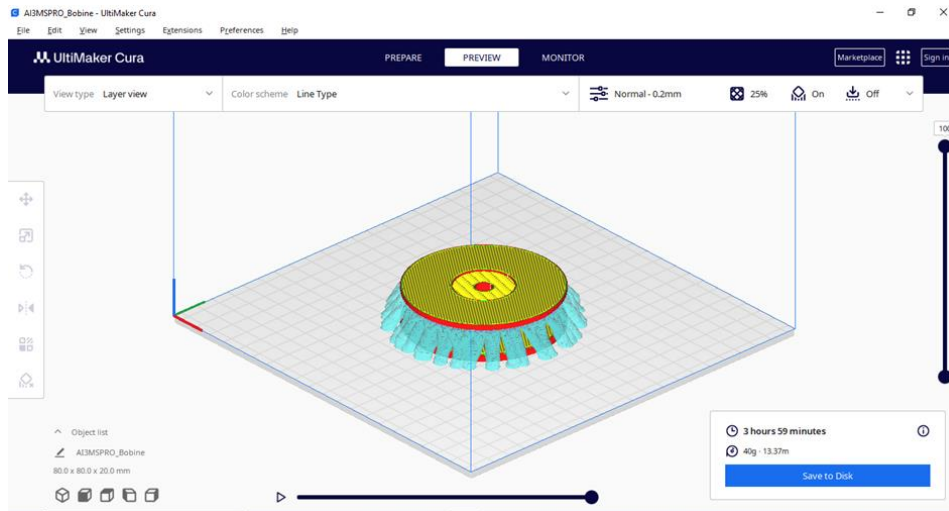


FIGURE III. 13: ajouter des Supports

III.5.4. Génération de G-code :

L'algorithme du logiciel , ULTIMAKER CURA génère un code G 10 à 20 fois plus rapide que les logiciels d'impression 3D actuels. Même les pièces les plus complexes et les plus lourdes peuvent être coupées en quelques secondes au lieu de quelques minutes.

III.5.5. Appliquer différents réglages à une même pièce :

Comparé aux logiciels classiques, la configuration par section de **ULTIMAKER CURA** est véritablement révolutionnaire : il permet d'appliquer différents paramètres à une seule pièce. Cela permet de renforcer certaines zones en augmentant le taux de remplissage à 50 % et l'épaisseur des parois à 2 mm, tout en allégeant d'autres parties avec un remplissage de 10 %, voire nul. Il est également possible d'accélérer l'impression des zones les plus simples, tandis que pour les sections fines et détaillées, la vitesse est réduite afin d'assurer une qualité de surface optimale, tout en réduisant le temps total d'impression. Cet outil optimise comme jamais auparavant le temps, la consommation de matériau et la structure des pièces.

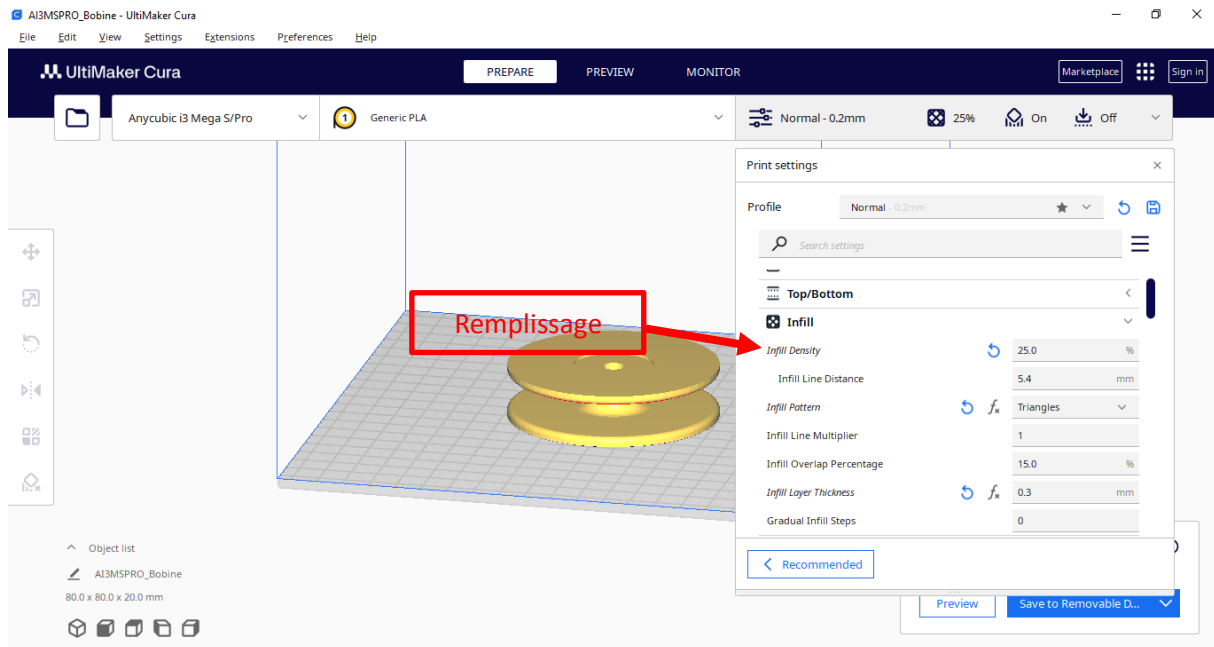


Figure III.14 : réglage de remplissage .

III.5.6. Caractéristiques principales :

L'une des forces d'Ultimaker Cura réside dans sa simplicité d'utilisation. Il propose une interface intuitive avec des paramètres préconfigurés, permettant aux débutants de démarrer rapidement sans avoir à plonger dans des réglages complexes. Cependant, pour les utilisateurs plus expérimentés, Cura offre également un vaste éventail de paramètres personnalisables pour affiner chaque détail de l'impression, tels que la vitesse, l'épaisseur des couches, la densité de remplissage et plus encore.

Parmi les fonctionnalités importantes, on trouve :

- Mode recommandé et mode personnalisé : Le mode recommandé simplifie les réglages pour les novices, tandis que le mode personnalisé permet d'ajuster des centaines de paramètres.
- Prise en charge de multiples imprimantes : Cura est compatible avec une large gamme d'imprimantes 3D, pas seulement les modèles Ultimaker. Cela en fait un choix polyvalent pour de nombreux utilisateurs.
- Aperçu des couches : Avant d'envoyer le modèle à l'impression, Cura offre un aperçu visuel couche par couche, permettant de vérifier les structures internes et la qualité de l'impression.

- **Plugins et intégrations :** Il est possible d'étendre les fonctionnalités du logiciel avec divers plugins, et Cura peut s'intégrer à des logiciels de conception 3D comme SolidWorks et Autodesk.

Performances et avantages :

Cura est apprécié pour sa rapidité et son efficacité. Le logiciel est capable de gérer des modèles complexes et de trancher des fichiers de grande taille sans difficulté. Il est régulièrement mis à jour par la communauté et l'équipe d'Ultimaker, garantissant des améliorations continues et de nouvelles fonctionnalités.

En outre, Cura propose une gestion intelligente des supports (les structures qui soutiennent les parties suspendues d'une impression) et permet d'optimiser l'utilisation des matériaux, réduisant ainsi les coûts d'impression.

III.6.Le G-code : [39]

Le G-code est un langage de programmation utilisé pour contrôler les machines-outils, y compris les imprimantes 3D, les fraiseuses, les tours et autres équipements automatisés. Il s'agit de la norme industrielle pour communiquer les instructions spécifiques aux machines à commande numérique (CNC) sur la manière de se déplacer, d'usiner ou d'imprimer une pièce. En impression 3D, le G-code est essentiel, car il dicte précisément chaque étape de la création d'une pièce en transformant le modèle 3D en commandes lisibles par l'imprimante.

```
N148 G1 Y1.12
N150 G3 X2.245 Y1.37 R.25
N152 G1 X.755
N154 G3 X.505 Y1.12 R.25
N156 G1 Y.63
N158 G3 X.755 Y.38 R.25
N160 G1 X2.245
N162 G3 X2.495 Y.63 R.25
N164 G1 Y.875
N166 G2 X2.745 Y1.125 R.25
N168 G1 X2.865
N170 Z.1 F6.42
N172 G0 X0. Y.125
N174 G1 Z-.0625
```

FIGURE III.15 :G-CODE

III.6 .1.Fonctionnement du G-code :

Un fichier G-code contient une série de commandes structurées qui définissent les mouvements de l'imprimante 3D, ainsi que divers paramètres tels que la température, la vitesse, et la vitesse de ventilation. Chaque ligne du G-code correspond à une action spécifique que l'imprimante doit effectuer. Par exemple, les codes G1 et G0 commandent le

mouvement de la tête d'impression, tandis que d'autres commandes contrôlent des aspects comme la vitesse d'extrusion du filament ou la position du lit chauffant.

III.6.2.Exemple de lignes de G-code :

Voici un exemple basique de lignes G-code :

- G28 : Home de tous les axes (ramène l'imprimante à son point de départ).
- G1 X50 Y50 Z0.2 F1500 : Déplace la tête d'impression aux coordonnées X=50, Y=50, Z=0.2 avec une vitesse de 1500 mm/min.
- M104 S200 : Définit la température de la buse à 200°C.
- M140 S60 : Définit la température du plateau chauffant à 60°C.
- G92 E0 : Remet à zéro l'extrudeur.

III.6.3.Utilisation du G-code en impression 3D :

Dans le contexte de l'impression 3D, le G-code est généré automatiquement à partir de logiciels de tranchage comme Ultimaker Cura, Simplify3D ou PrusaSlicer. Ces programmes convertissent le modèle 3D en tranches ou couches successives, puis traduisent ces informations en G-code pour dicter les mouvements précis de la machine.

Le G-code définit notamment :

- **Les mouvements de la tête d'impression** : le chemin suivi pour déposer ou ne pas déposer de filament.
- **Les vitesses d'impression** : la vitesse à laquelle la tête se déplace ou extrude le filament.
- **Les températures** : tant pour la buse que pour le lit chauffant.
- **La gestion des supports** : les structures temporaires nécessaires pour soutenir les parties en surplomb du modèle.

III.6.4.Personnalisation et optimisation

Bien que le G-code soit généré automatiquement, il est possible de l'éditer manuellement pour apporter des ajustements fins. Les utilisateurs avancés peuvent modifier directement les commandes pour ajuster les paramètres, optimiser certaines parties de l'impression, ou résoudre des problèmes spécifiques. Cette flexibilité permet de gagner du temps, de réduire la consommation de filament, ou d'améliorer la qualité des pièces imprimées.

III.7. Etude techno-économique :

Se représente L'étude techno économique des différents composants et leurs coûts lors de notre réalisation de l'imprimante 3D .

Composant	Prix
Le bâti	8000 da
La base	3000 da
Porte table	900da
Plaque dentée	300 da
Porte glissière	500 da
Porte glissière verticale	700 da
coupleur	1000 da
Tige de bobine	500 da
bobine	1200 da
Total ht	16100 da

Tableau III.2 : les prix des composants fabriqué de l'imprimante 3d

III.8.CONCLUSION :

Ce chapitre traite de la réalisation technique d'une imprimante 3D, en expliquant les composants essentiels et leur rôle dans le processus d'impression. Il présente d'abord les matériaux utilisés, Le logiciel Ultimaker Cura est également abordé, servant à transformer des modèles 3D en instructions (G-code) pour l'imprimante. Le G-code, crucial pour la qualité de l'impression, contrôle les mouvements, la température et la vitesse de l'imprimante,

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre projet est la conception et l'étude d'une imprimante 3D. Bien que cette technologie ait longtemps été réservée à l'industrie de pointe, elle commence à s'imposer dans les foyers et à s'intégrer dans la société, malgré certaines limites actuelles.

La réalisation de ce projet se déroule en trois étapes : d'abord, la conception précise de l'objet assistée par ordinateur via le logiciel SolidWorks ; ensuite, l'utilisation d'une carte Arduino pour gérer la tête d'impression ; et enfin, la génération du code (G-CODE) nécessaire à la conversion de l'objet en commandes pour les actionneurs.

Ce projet nous a permis de comprendre le fonctionnement de l'automatisation d'un processus et de nous familiariser avec différents langages de programmation, tels que SolidWorks, G-CODE, et le logiciel Arduino, nous avons également eu l'occasion d'expérimenter avec une imprimante 3D pour réaliser des différents composants utilisés dans l'assemblage de l'imprimante, ce qui nous a permis de comprendre cette technologie.

Ensuite, nous avons essayé de créer une imprimante 3D, mais le temps ne suffit pas, en plus de l'indisponibilité ou de la pénurie des matériaux dont nous avons besoin.

A la fin, nous espérons qu'à l'avenir quelqu'un viendra compléter cela, avec les capacités nécessaires disponibles.

Référence Bibliographie

Références bibliographiques

1. Livres

- [01]B. Franta : 3D Printing, Top 5 methodes+ secrets from the trade, edition Kimdle, 2015.
- [02]Jusef Prusa, Les bases de l'impression 3D, Première édition, 2020.
- [03] Liu Q, M Cand Schmitte, SM : rapid prototyping in dentistry technology and application, Int J Adv Manuel Technol (2006).
- [04]Livre Blanc, présentation de l'impression 3D stéréolithographie : Guide complet pour les professionnels, Mai 2019.
- [05]Strub, J R, Rekaw, E D : computeraied desing and fabrication of dental restoration : curreny systems and future possibilities, J. AM. Deny assoc (2006).
- [06]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.
- [07]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.

2. Thèses et mémoires

- [08] Chaouaf Mohmed Abd El Moatez, Etude des erreurs d'impression 3D su la géométrie d'une roue dentée an PLA, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2021-2022.
- [09] Guillaume Blum, Michel de Biois, Nadim Tadjine : L'impression 3D, l'émerveillement technique aux enjeux organisationnels, économiques et sociaux, Ecole de desing, Université de Laval, 2017.
- [10] Kherbouche Souhila, Moussaoui Chafia, Etude et conception d'une imprimante 3D à fibre longue, UMMTIO.
- [11] Lemsadfa Haiballah : Contribution et réalisation d'une imprimante 3D, Université de Saad Dahleb de Blida, 2017-2018.
- [12] Oussama Ben Nasr : Optimisation des paramètres d'impression 3D, Université du Québec, Mars 2022.

- [13] Ouamarane Hakim, Makaci Oussama : L'impression 3D dans la construction ; Université Aki Mohand Oulhadj de Bouira, 2019-2029.
- [14] Sais Bougour, L'impression 3D comme moyen d'évolution des processus de production, Université du Littoral côte d'Opale, Laboratoire de recherche sur l'industrie et l'innovation, janvier 2015.

3. Articles

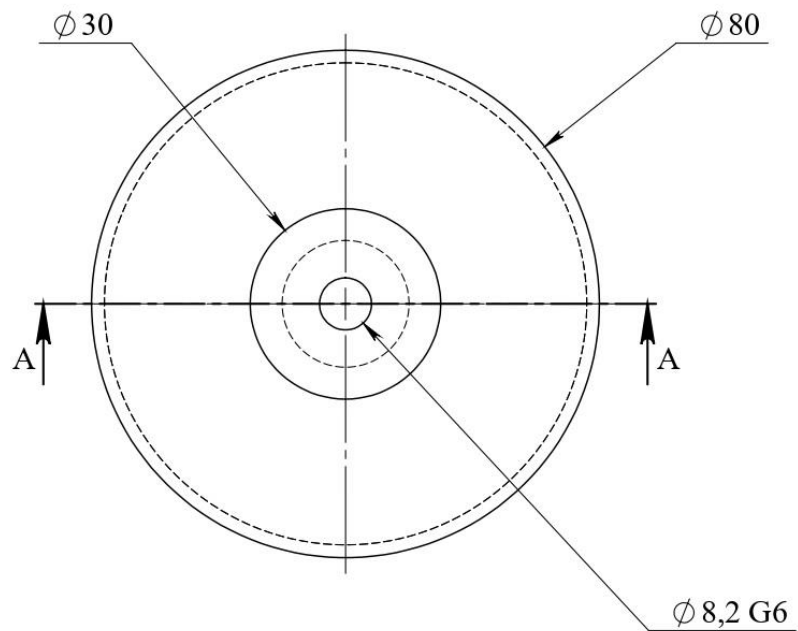
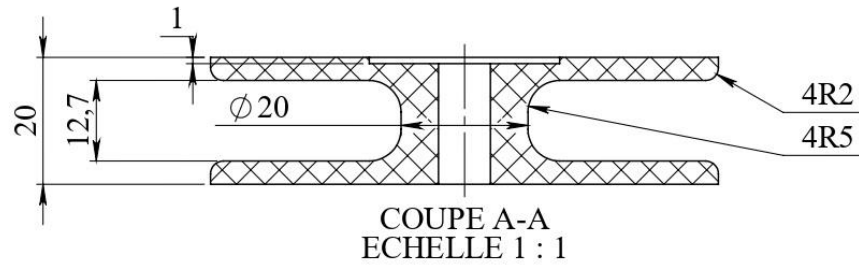
- [15] Agence de promotion de l'industrie et de l'innovation : note sur l'impression 3D, centre d'étude et de prospectives industrielles, janvier 2018.
- [16] Guest User : Les différentes techniques d'impression 3D FDM, SLA, ou SLS, 2023.
- [17] Pooja P : Impression 3D FDM : tout ce que vous devez savoir, 2023.

4. Sites web

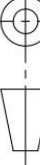
- [18] <https://Guided'impression3Dàfrittagesélectiparlase> (SLS) . Consulté le (13-03-2024).
- [19] <https://L'impression3Dcomposite:onvousexpliquetout> ! consulté le (14-03-2024).
- [20] <https://L'impression3Drésine:Avantage,inconvénientes>. Consulté le (16-03-2024).
- [21] <https://protolabs.com:avantagesetlimitesdelastèreolithographie>. Consulté le (18-03-2024).
- [22] <https://qu'est-cequelaecnologieFDMpourl'impression3D?sculpto>. Consulté le (13-03-2024).
- [23] <https://www.filimprimante3d.fr/5-filament-pla> (consulté le 08 décembre 2021)
- [24] <https://www.3dnatives.com/fibre-de-carbone-impression-3d-050520203> / (consulté le 08 décembre 2021)
- [25] <https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/> (consulté le 20 novembre 2021)
- [26] https://www.amazon.fr/Imprimante-chauffant-3D-Chauffant-Aluminium-%C3%89paisseur/dp/B09F3FX3QS/ref=mp_s_a_1_2?keywords=plaque+chauffante+imprimante+3d&qid=1638108186&sr=8-2 (consulté le 29 novembre 2021)
- [27] <http://www.primante3d.com/buses-impression3d-04082020> / (consulté le 29 novembre 2021)

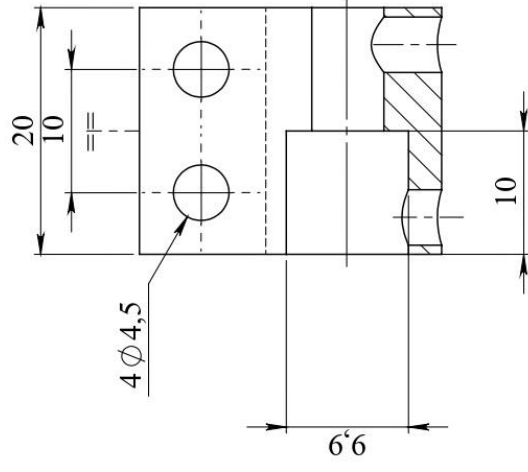
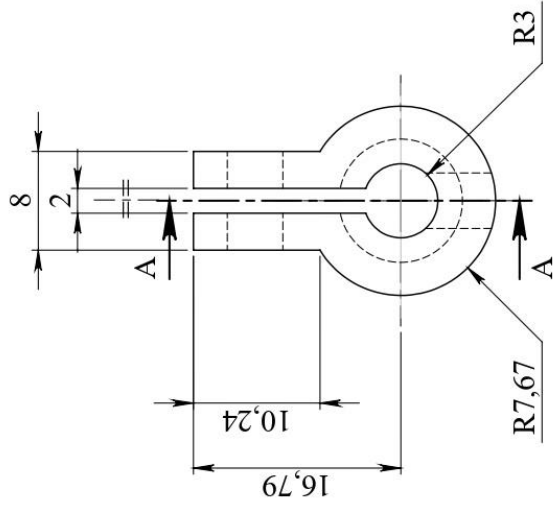
- [28]<https://www.rhino3dprinter.com/urun/creality-cr10-ve-ender-3-serisi-ikili-hotend-seti> (consulté le 29 novembre 2021)
- [29]<https://fr.aliexpress.com/item/32964669352.html> (consulté le 29 novembre 2021)
- [30]<https://www.3dnatives.com/tout-ce-qu'il-faut-savoir-sur-arduino> /(consulté le 22 novembre 2021)
- [31]Whatis Marlin? | Marlin Firmware (marlinfw.org) (consulté le 10 janvier 2022)
- [32]Configuring Marlin | Marlin Firmware (marlinfw.org) (consulté le 10 janvier 2022)
- [33]<https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/> (consulté le 23 novembre 2021)
- [34]<https://www.impressionen3d.com/pratique-avec-simplify3d-fabbaloo/> (consulté le 23 novembre 2021)
- [35] <https://ultimaker.com> (Consulté le : 22-09-2024).
- [36] <https://store.arduino.cc> (Consulté le : 23-09-2024).
- [37] <https://fr.anycubic.com> (Consulté le : 24-09-2024)
- [38] <https://Imprimantes3DFDM,RésineouSLS:commentchoisir?netforme3D.Fr> .
Consulté le (20-03-2024)
- [39] <https://www.zintilon.com> (Consulté le : 27-09-2024)

Annexes

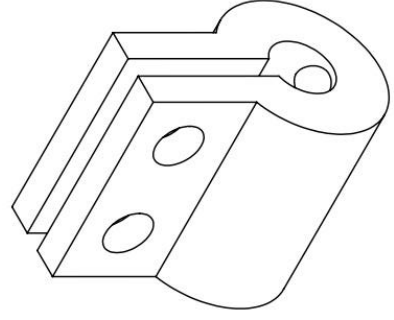


03	02	Bobine	PLA	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/1		Imprimante 3D		Etat de surface
Planche N°: 03				1.6/
		CHENOUNE AMINE - YAZIDE ABD EL KARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II

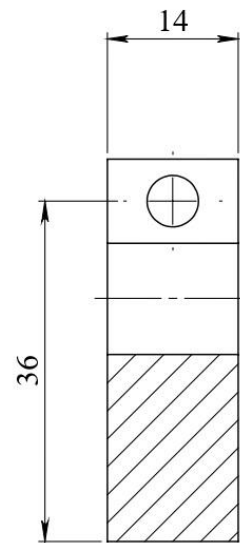
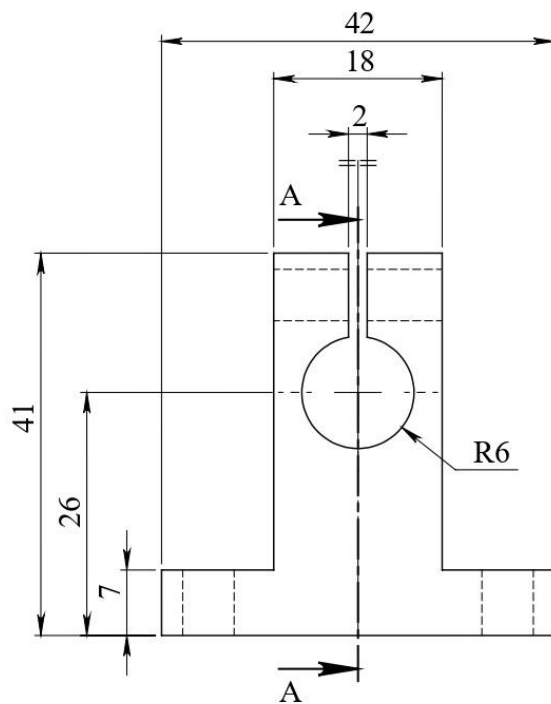
04	01	Cache	Aluminium Plaque résine	1/2
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/10		Imprimante 3D		
Planche N° 04				
		Etat de surface		
		1.6/ 		
		Promo 2023/2024		
A4		 FGC DGM UMMTO	Master II	



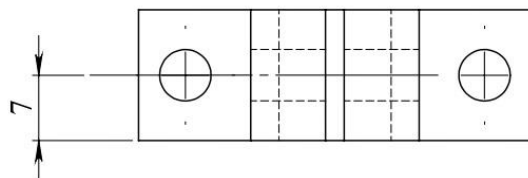
COUPE A-A

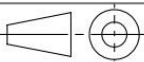


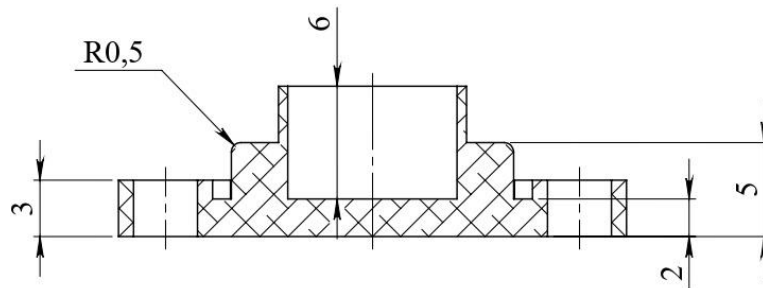
06	01	Coupleur		PLA	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 2/1		Imprimante 3D			Etat de surface 1.6/
Planche N° 06					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD EL KARIM			Promo 2020/2021
A4		 FGC DGM UMMTO			Master II



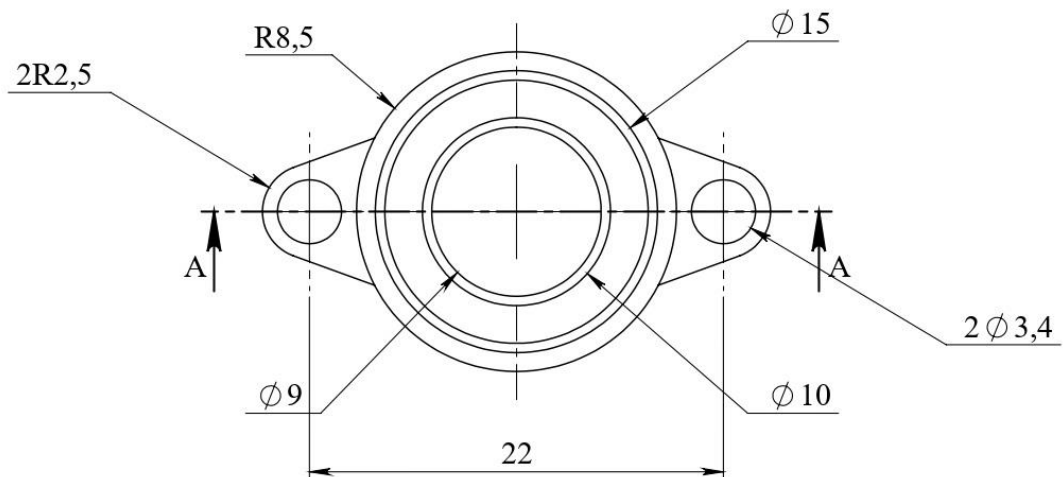
COUPE A-A
ECHELLE 3 : 2

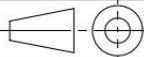


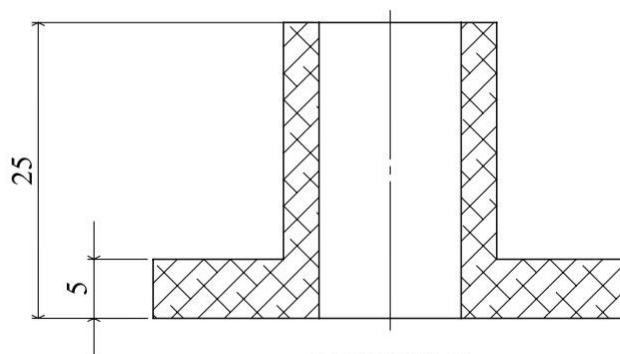
18	02	Porte glissière virticale		PLA	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle:		Impremante 3D			Etat de surface
Planche N°:					3.2/
		CHENOUNE AMINE _ YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



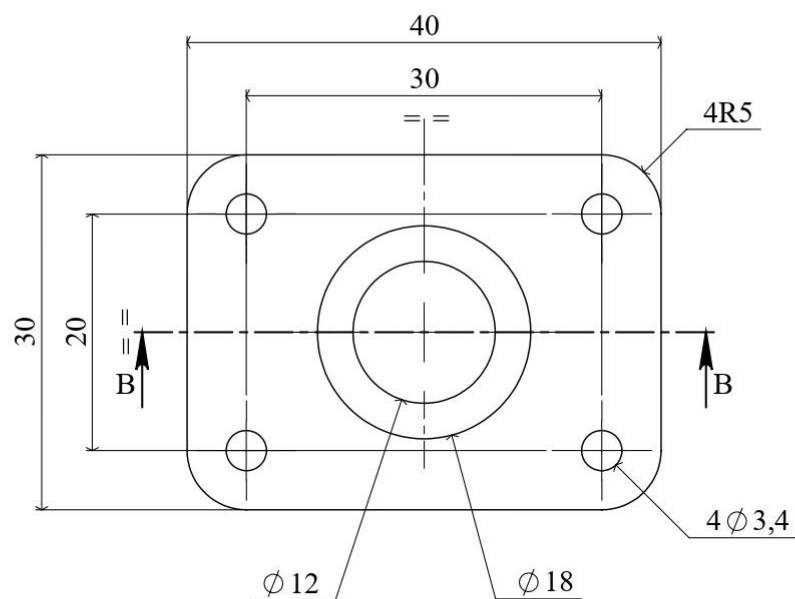
COUPE A-A
ECHELLE 3 : 1



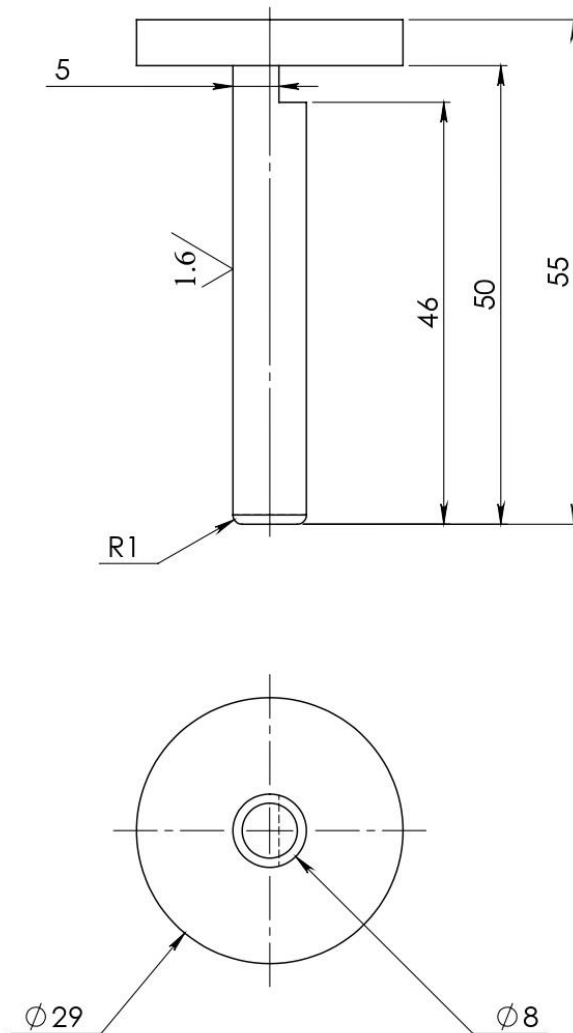
19	04	Porte glissière	PLA	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 3/1		Impremante 3D		Etat de surface
Planche N°: 19				3.2/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKRIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II



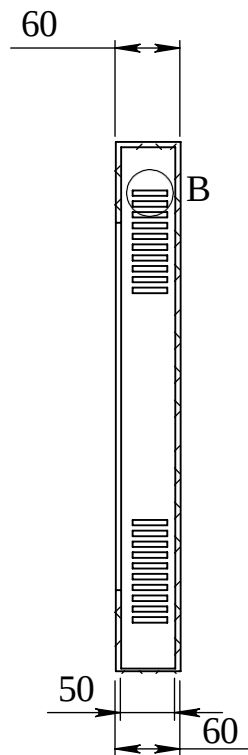
COUPE B-B
ECHELLE 2 : 1



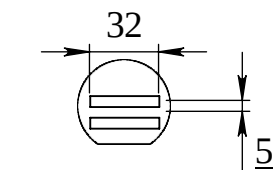
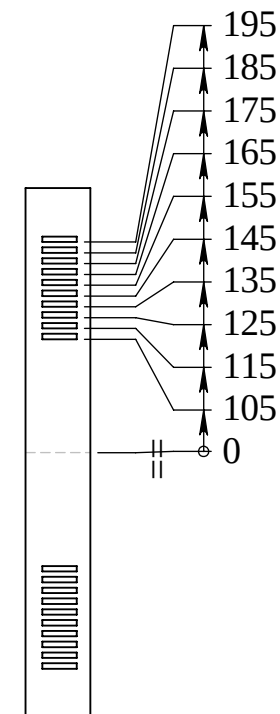
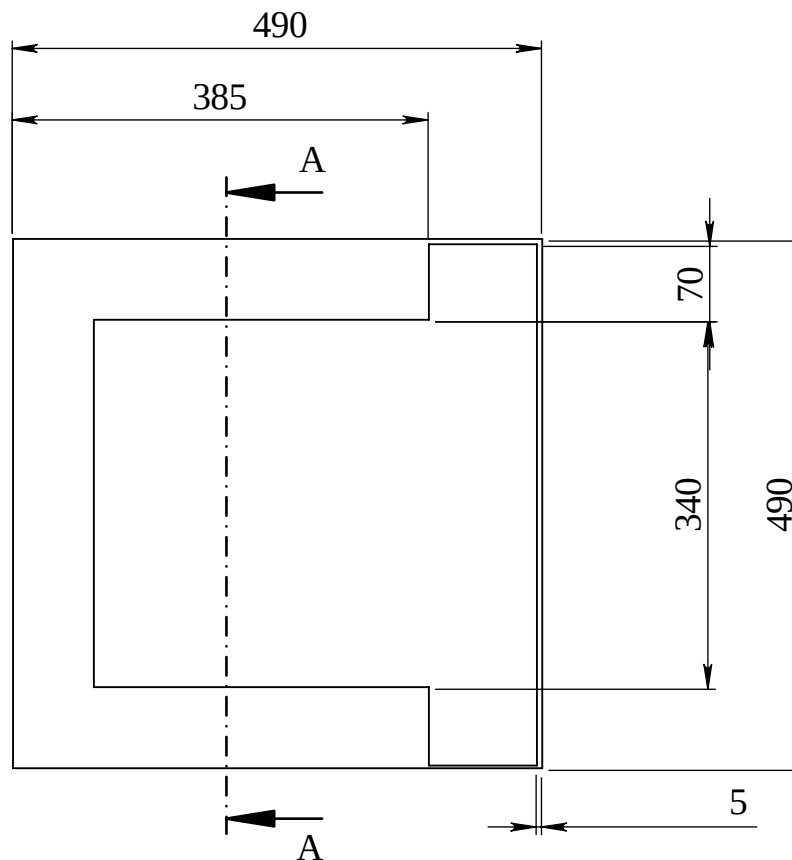
21	04	Porte Table	PLA	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 2/1		Impremante 3D		Etat de surface
Planche N°: 21				3.2/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II



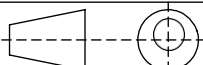
25	02	Tige de Bobine		PLA	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 3/2		Impremante 3D			Etat de surface
Planche N°:					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II

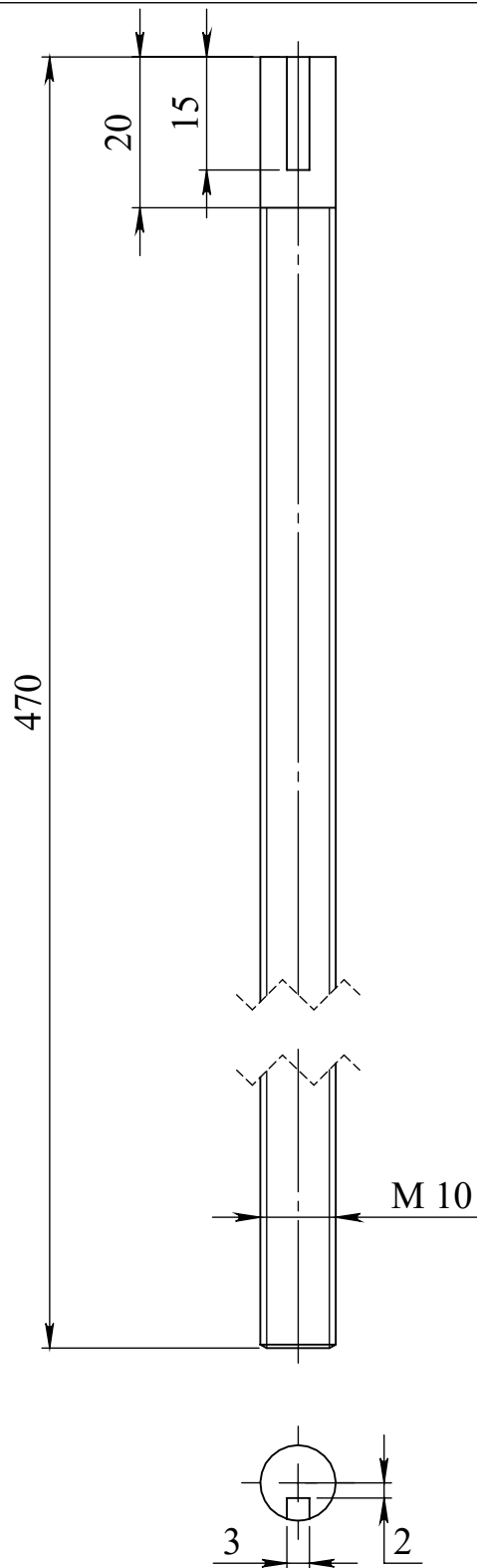


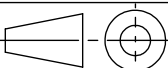
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 7

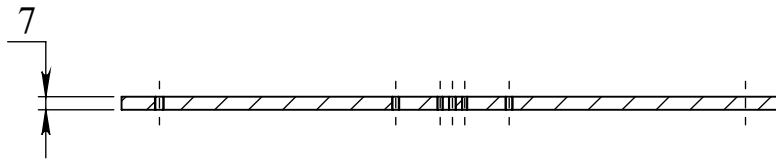


DÉTAIL B
ECHELLE 2 : 7

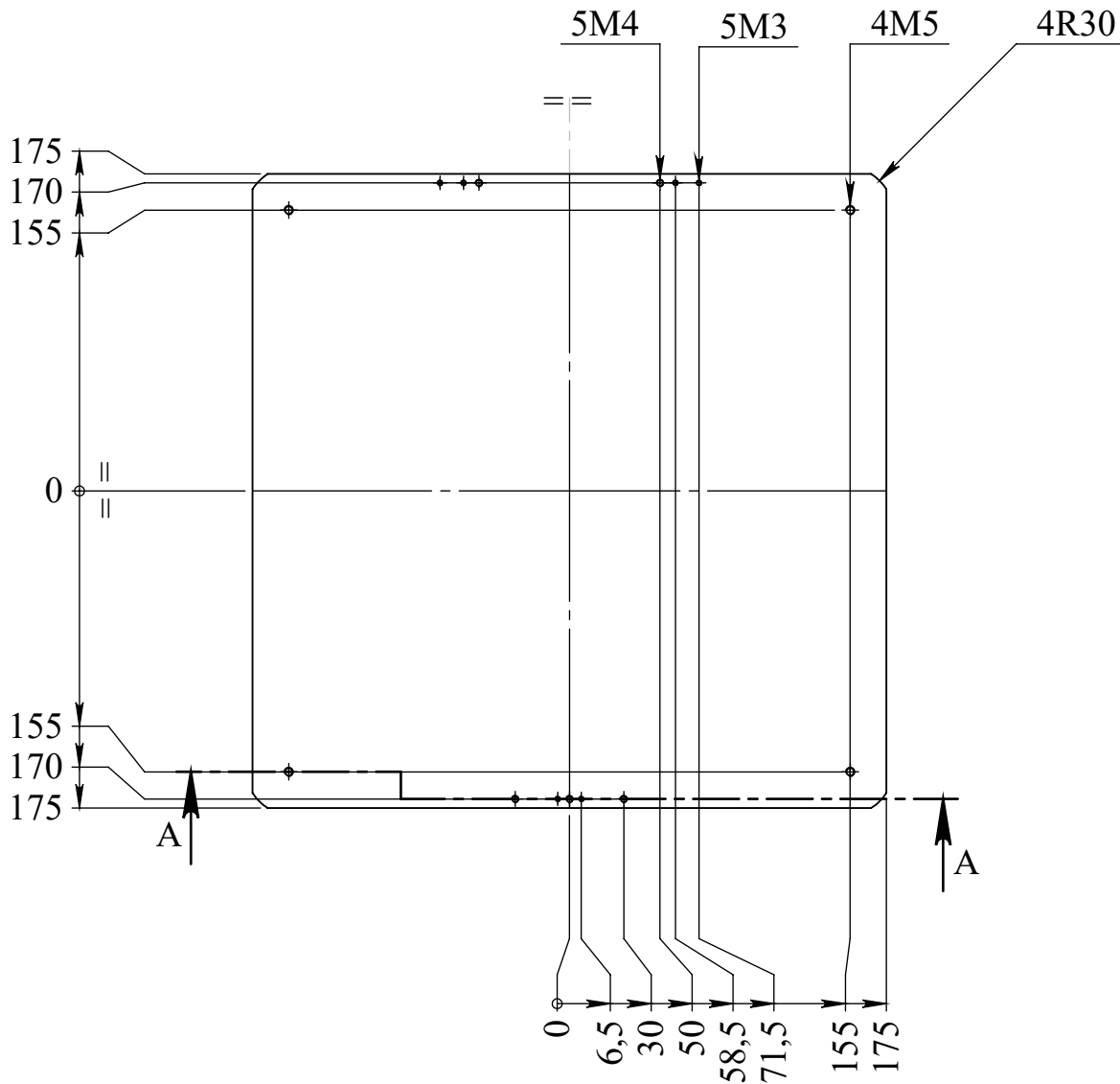
02	01	Base	Acier/Bois	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/7		Imprimante 3D		Etat de surface
Planche N° 02				Ra=3.2 ✓
		CHENOUNEAMINE-YAZIDABDELKARIM A4		Promo2023/2024
		FGCDGMUMMTO		Master II

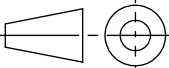


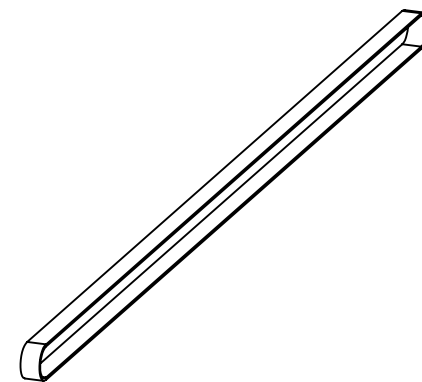
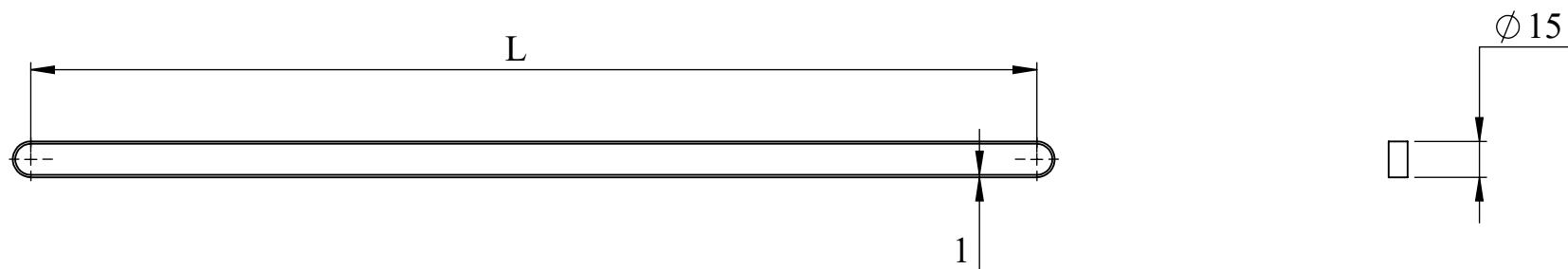
01	01	Arbre fileté	Acier	ISO 4026
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/1		Imprimante 3D		Etat de surface Ra = 3.2/
Planche N°: 01				
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD EL KARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II



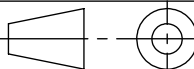
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 4



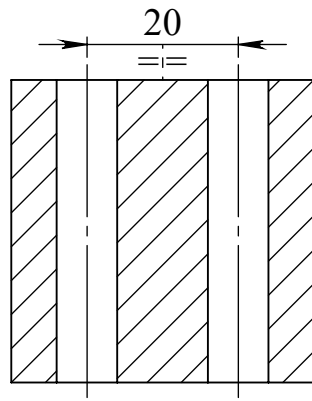
05	01	Couche Isolante	Balsa	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/4		Imprimante 3D		Etat de surface
Planche N°: 05				3.2/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD KARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II



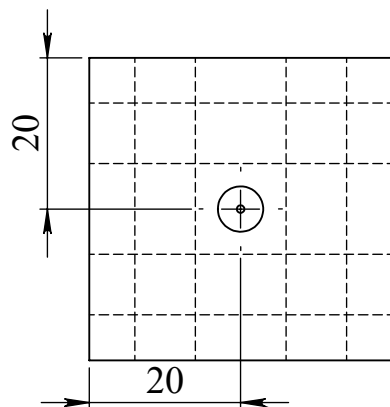
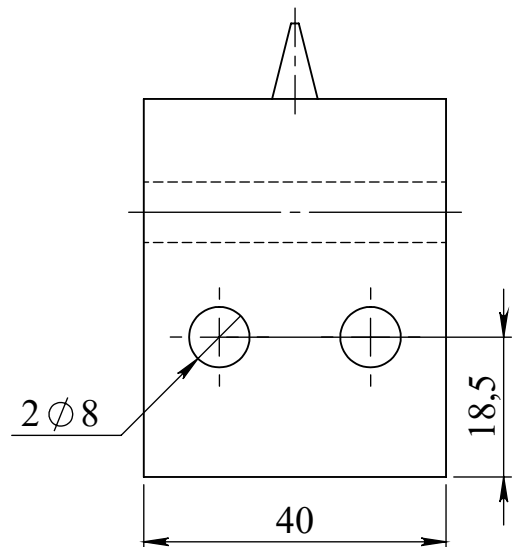
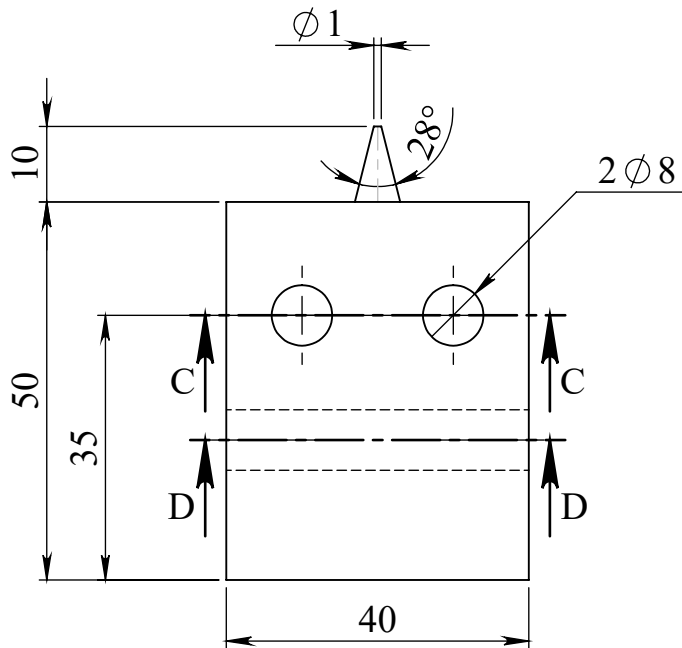
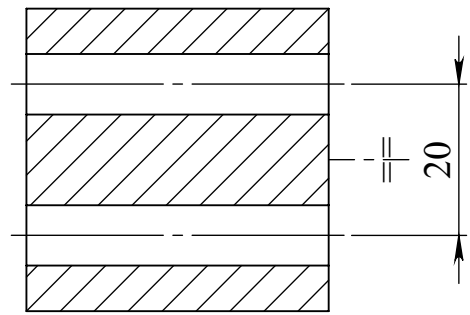
L
421
441
532.5
549

07	01	courroie x		-	ISO 1080
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/3		Imprimante 3D			Etat de surface
Planche N° 07					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD EL KARIM			Promo 2020/2021
A4		 FGC DGM UMMTO			Master II

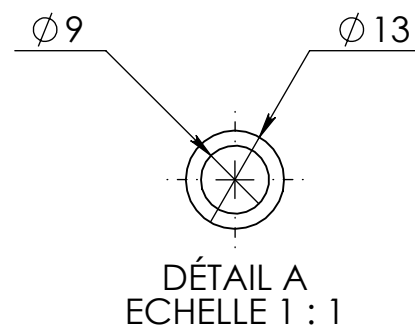
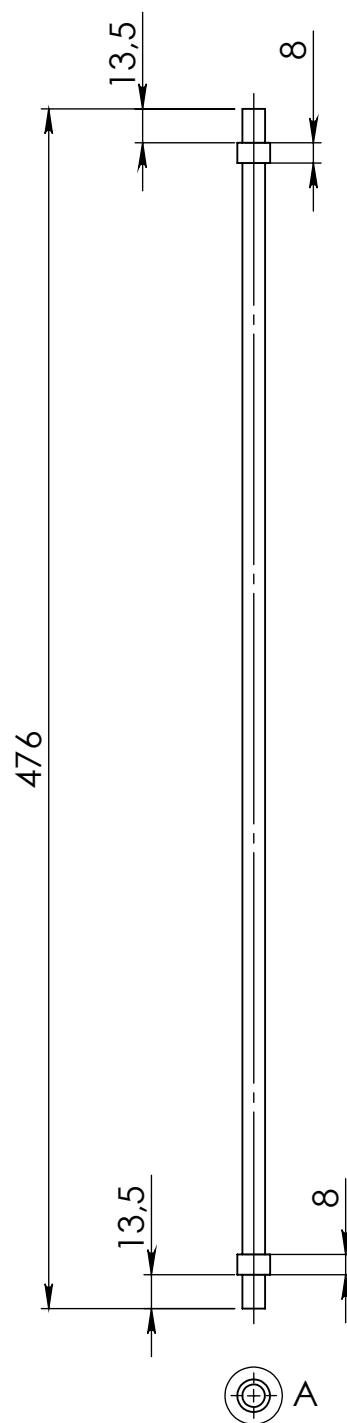
COUPE C-C

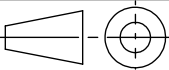


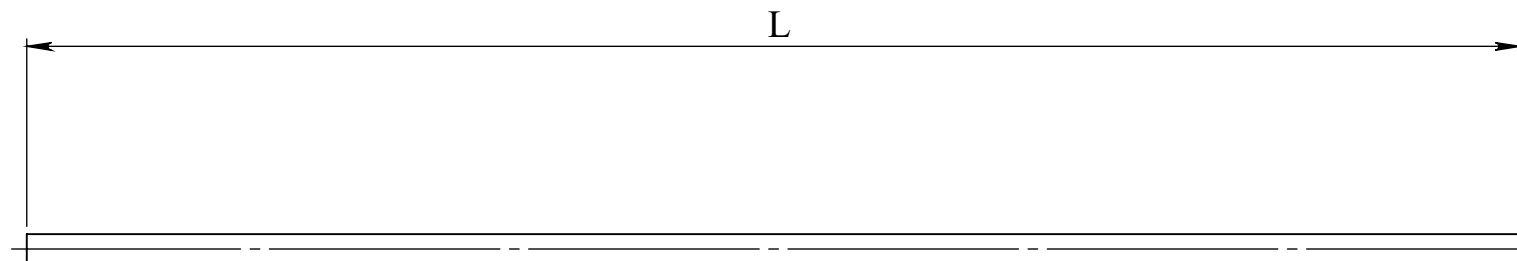
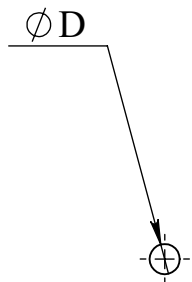
COUPE D-D

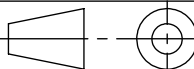


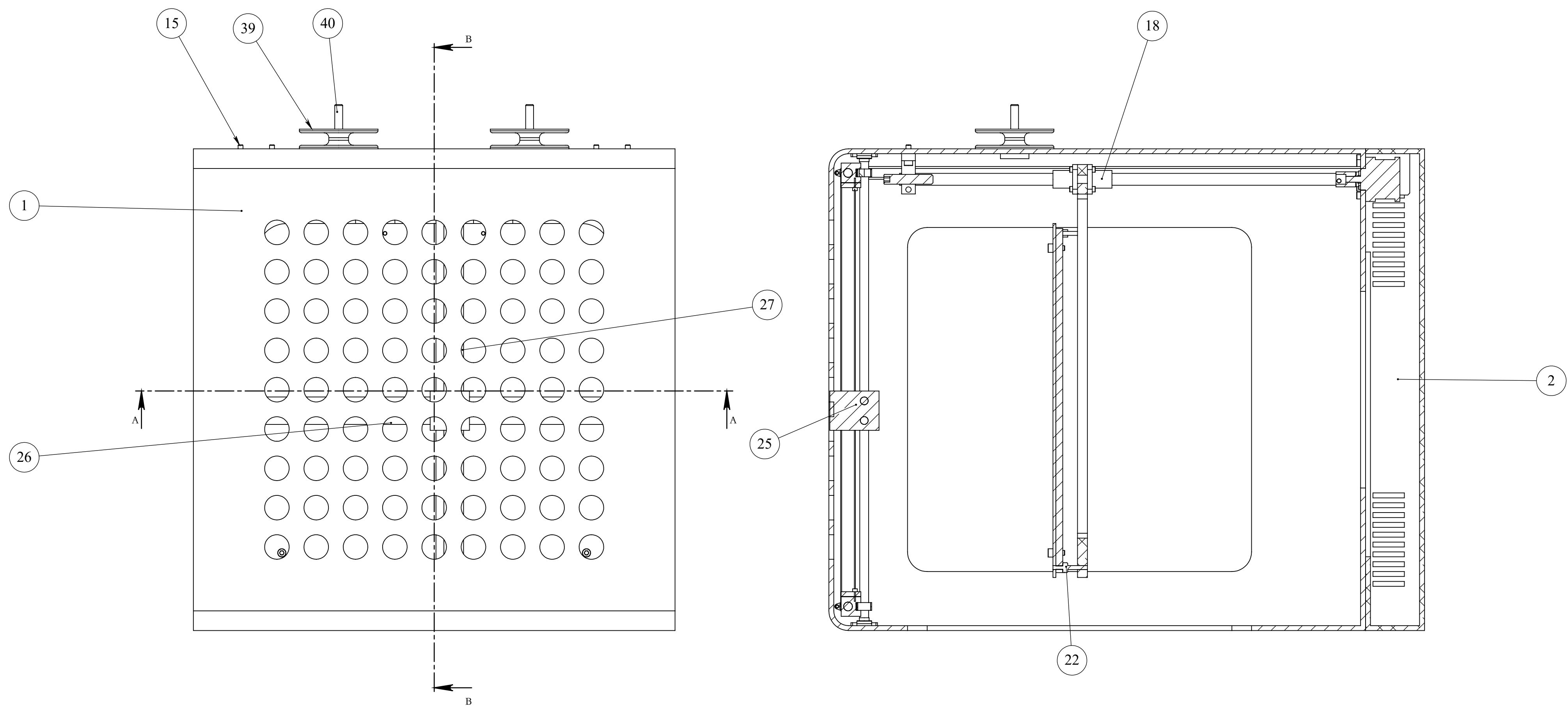
08	01	extudeuse		Alliage Aluminium 1060	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/1		Imprimante 3D			Etat de surface 0.8 ✓
Planche N°: 08					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKAEIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



09	04	Glissière Horizontale		AISI 1010	-
Ref	Nbr	Désignation			Observation
Echelle: 1/3		Imprimante 3D			Etat de surface 0.8/✓
Planche N°: 09					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



12	02	Glissière Vertical	AISI 1010	467	12
11	02	Glissière Travers Y	AISI 1010	420	8
10	02	Glissière Travers X	AISI 1010	395	8
Ref	Nbr	Désignation	Matière	L	D
Echelle: 1/2		Imprimante 3D		Etat de surface 0.8/ ✓	
Planche N° --					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM		Promo 2020/2021	
A4		 FGC DGM UMMTO		Master II	

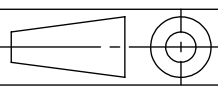


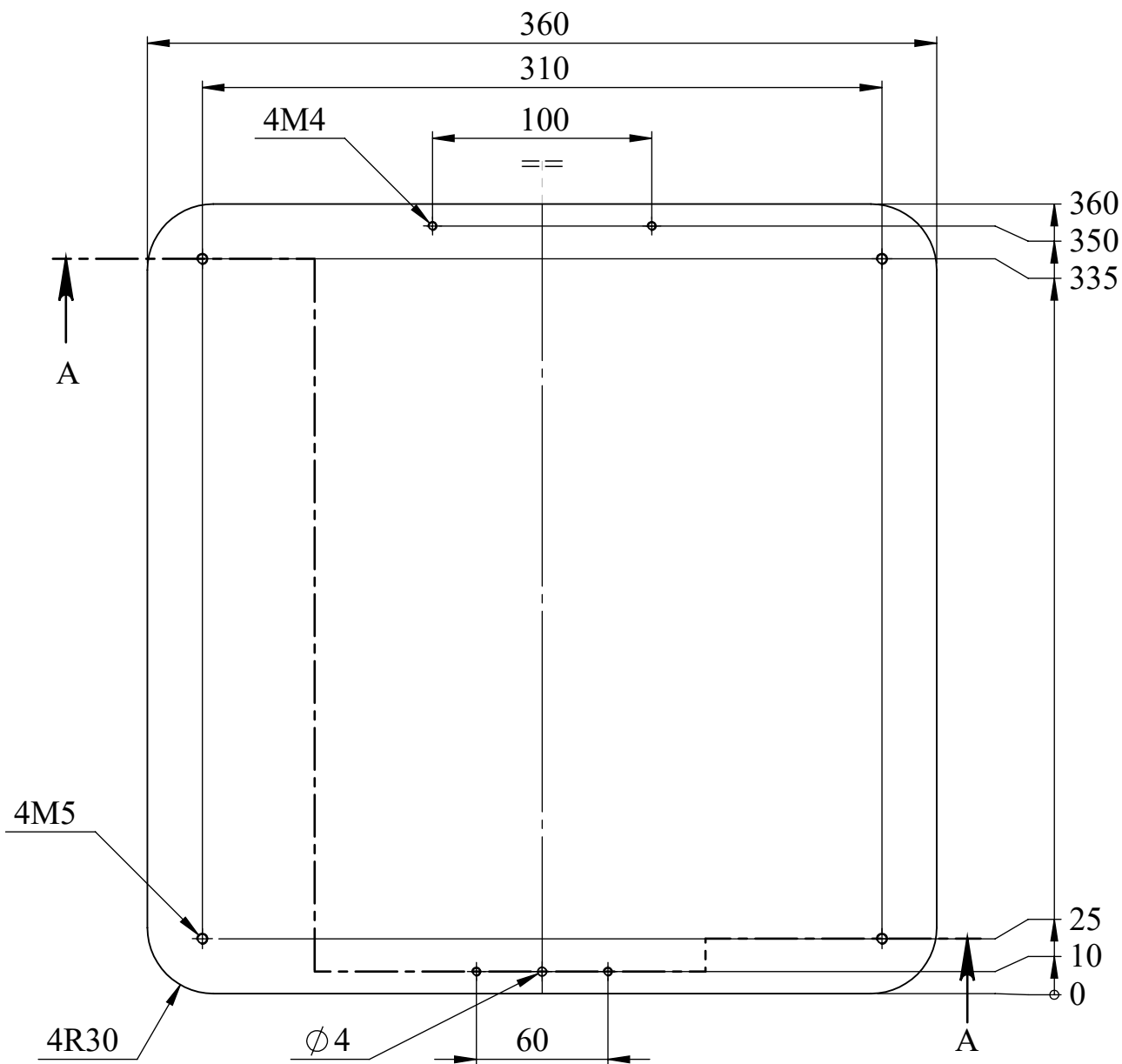
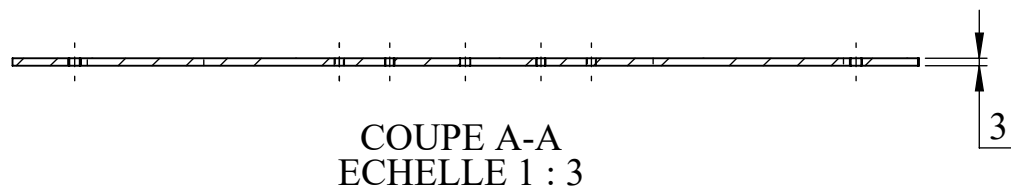
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 3

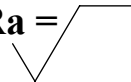
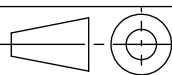


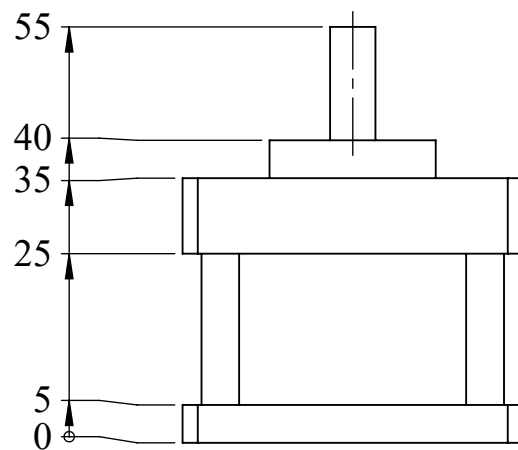
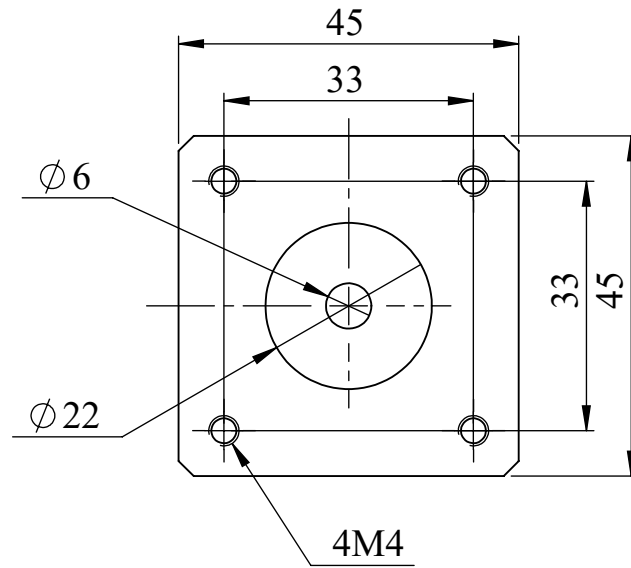
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 3

NB
Les reste des numéro des pièces manquant est caché

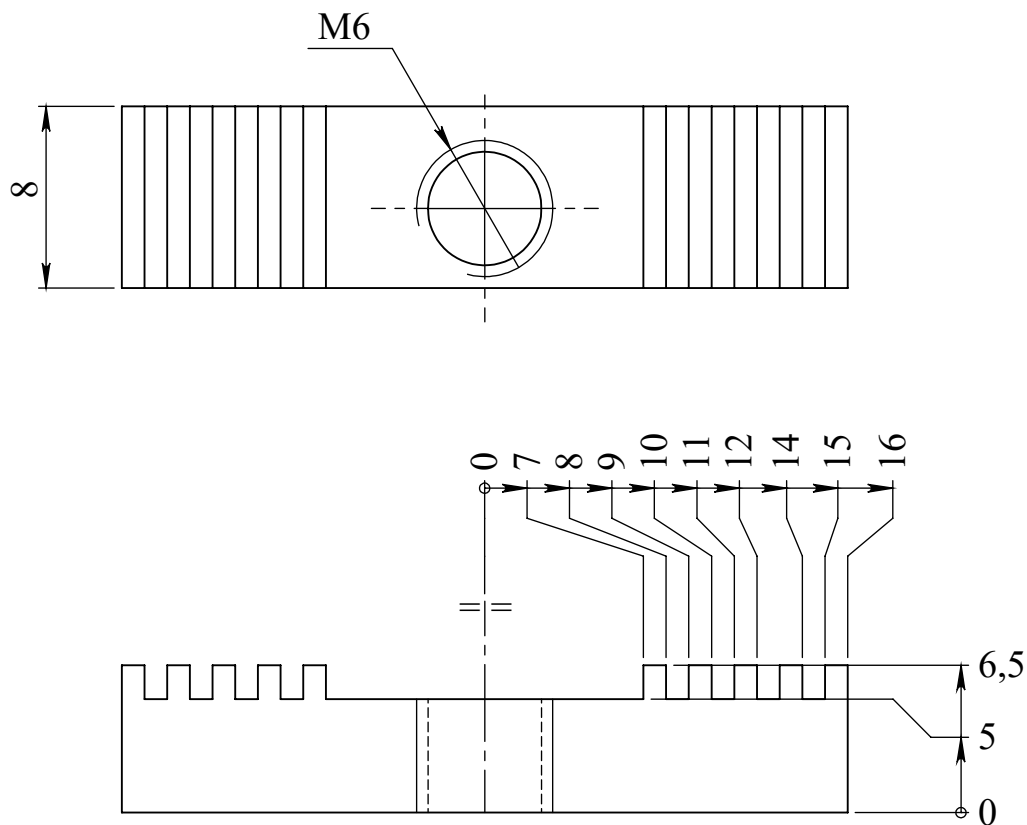
No. ARTICLE		NUMERO DE PIECE		QTE	
1		Cache		1	
2		Base		1	
3		porte glissière verticale		2	
4		glissière verticale		2	
5		porte glissière		2	
6		Moteur		1	
7		Coupleur		1	
8		Moteur 1		2	
9		ISO 4762 M4 x 16 - 16N		11	
10		ISO 4762 M2 x 16 - 16N		1	
11		ISO 4762 M4 x 8 - 8N		8	
12		ISO 4027 - M4 x 5-N		2	
13		ISO 4762 M4 x 12 - 12N		2	
14		ISO - 4036 - M4 - N		2	
15		ISO 4762 M5 x 16 - 16N		4	
16		ISO 4762 M3 x 10 - 10N		12	
17		table		1	
18		porte table		4	
19		ISO 4762 M3 x 8 - 8N		16	
20		Couche Isolante		1	
21		lit chauffant		1	
22		Support		1	
23		Support 1		2	
24		ISO 4762 M5 x 12 - 12N		4	
25		Extrudeuse		1	
26		Glissière transversale Y		2	
27		glissière traver X		2	
28		glissière horizontale		2	
29		porte glissière 2		8	
30		porte courroie		4	
31		porte extrudeuse		4	
32		courroie 9x 441		2	
33		courroie 9x 421		2	
34		courroie 9x 532.5		1	
35		courroie 9x 549		1	
36		plaque dentée		4	
37		socket head cap screw_iso		4	
38		glissière horizontale 2		2	
39		Bobine		2	
40		tige de bobine		2	
41		ISO 4026 - M10 x 50-N		1	
25	01	Ensemble Impremante		-	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle : 1/3		Impremante 3D			Etat de surface
Planche N°: 25					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo: 2020/2021
A2		 FGC - DGM - UMMTO			Master II



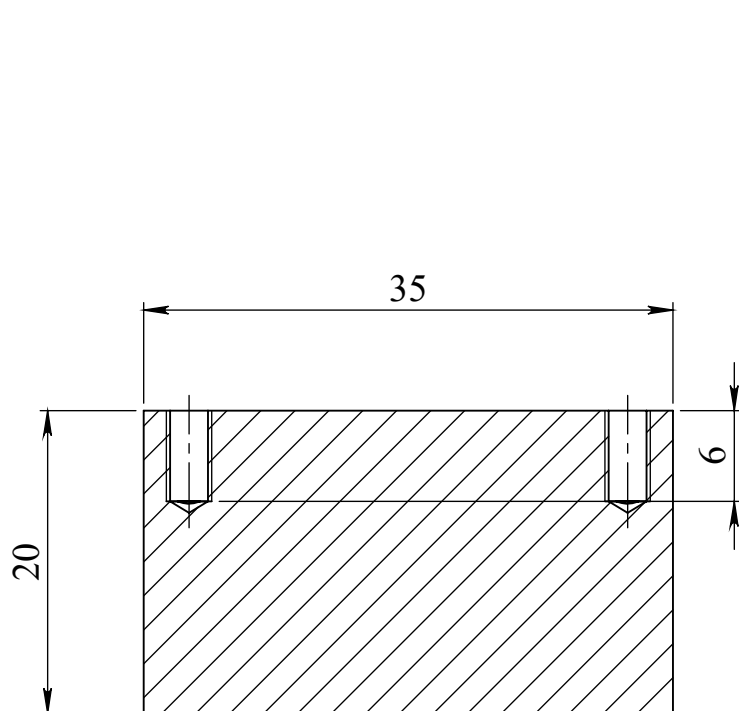
13	01	Lit chauffant		Bronze Aliminium	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/3		Imprimante 3D			Etat de surface
Planche N°: 13					Ra = 
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



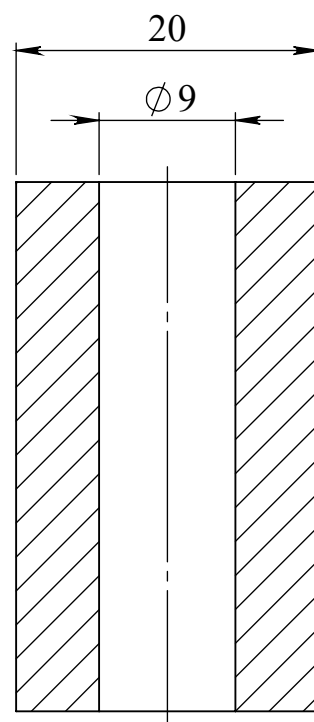
14	03	Moteur		-	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/1		Impremante 3D			Etat de surface
Planche N°: 14					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



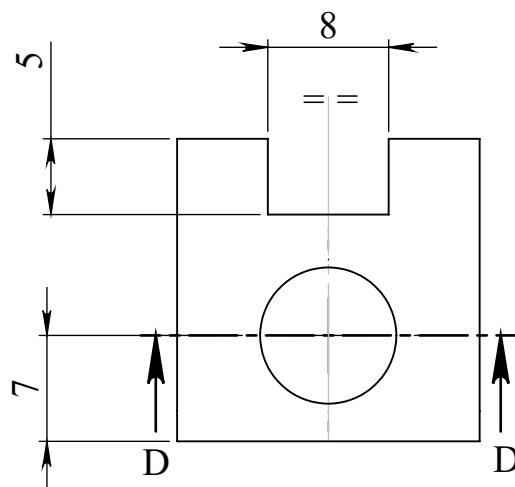
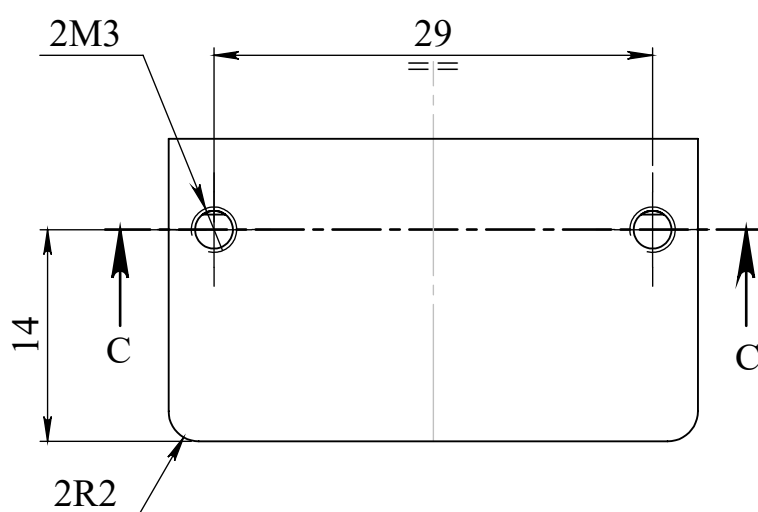
15	01	plaque dentée		Alliage Aluminium 1060	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle:		Imorimante 3D			Etat de surface
Planche N°:					3.2/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



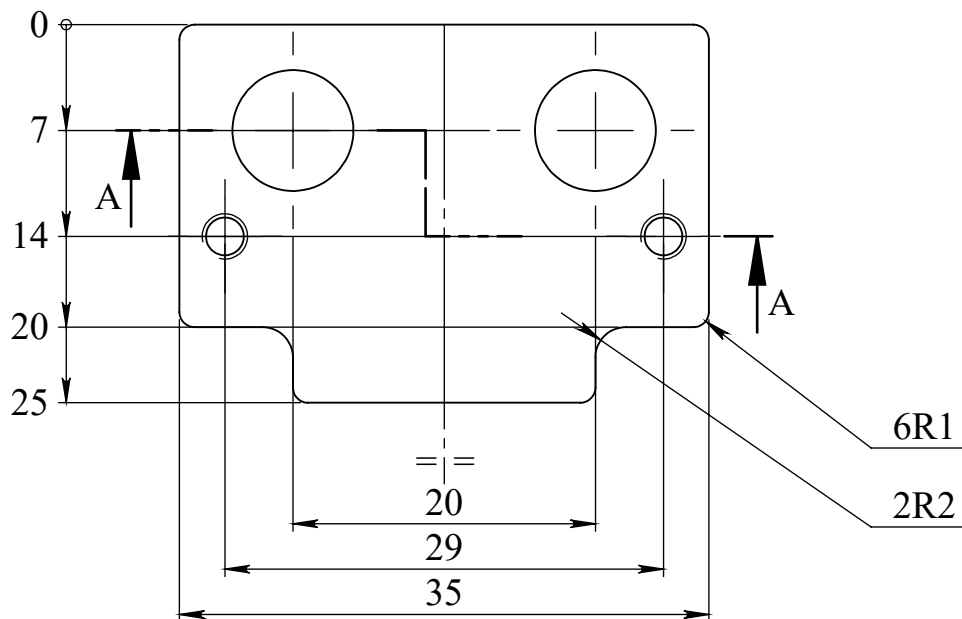
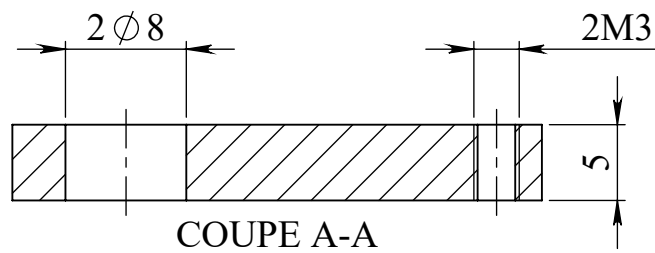
COUPE C-C



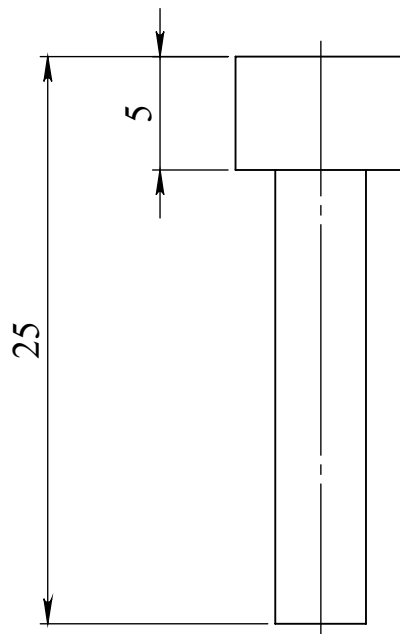
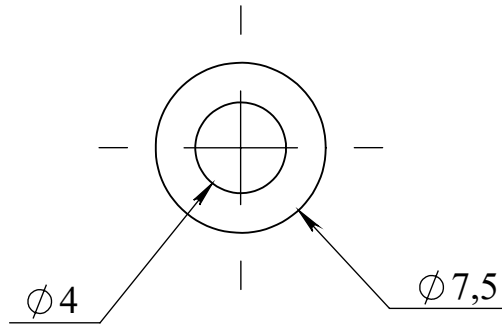
COUPE D-D

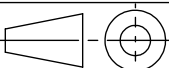


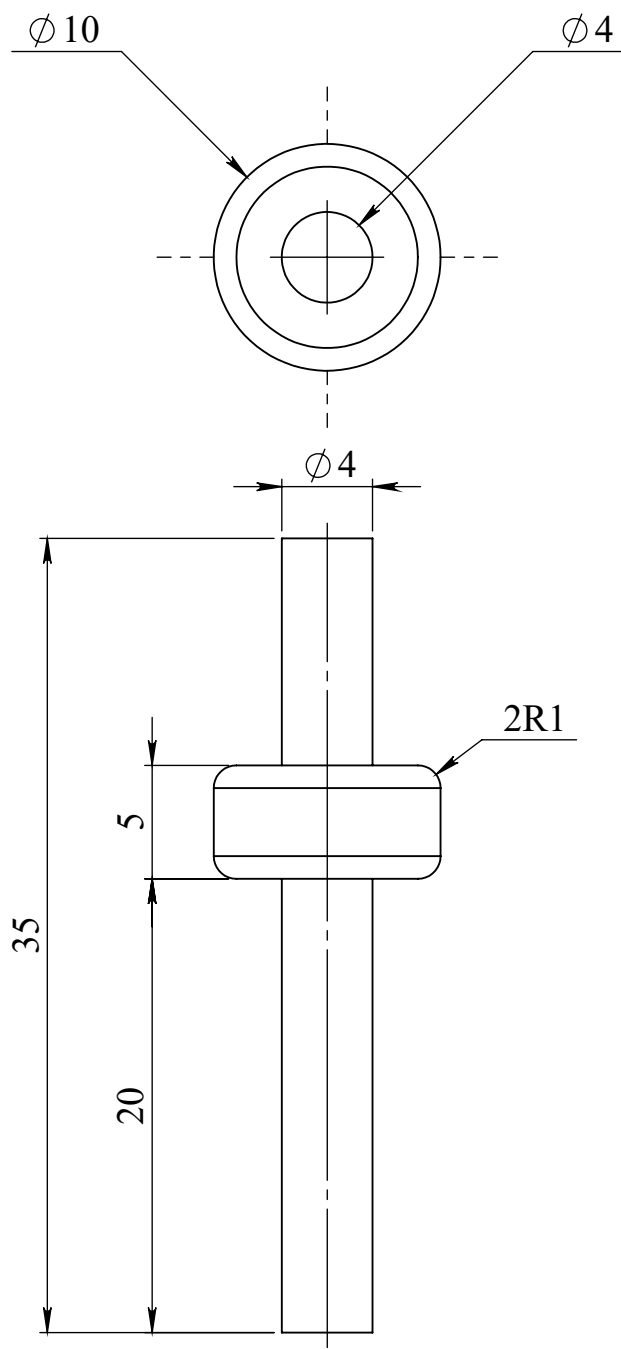
16	04	Porte Courroie		alliage aluminium 1060	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 2/1		Impremante 3D			Etat de surface 1.6/ ✓
Planche N°: 15					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II

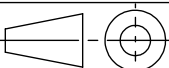


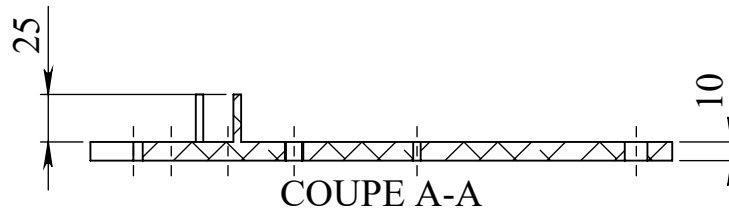
17	04	Porte Extrudeuse		Alliage Aluminium 1060	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 2/1		Impremante 3D			Etat de surface 3.2/✓
Planche N°: 17					
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II



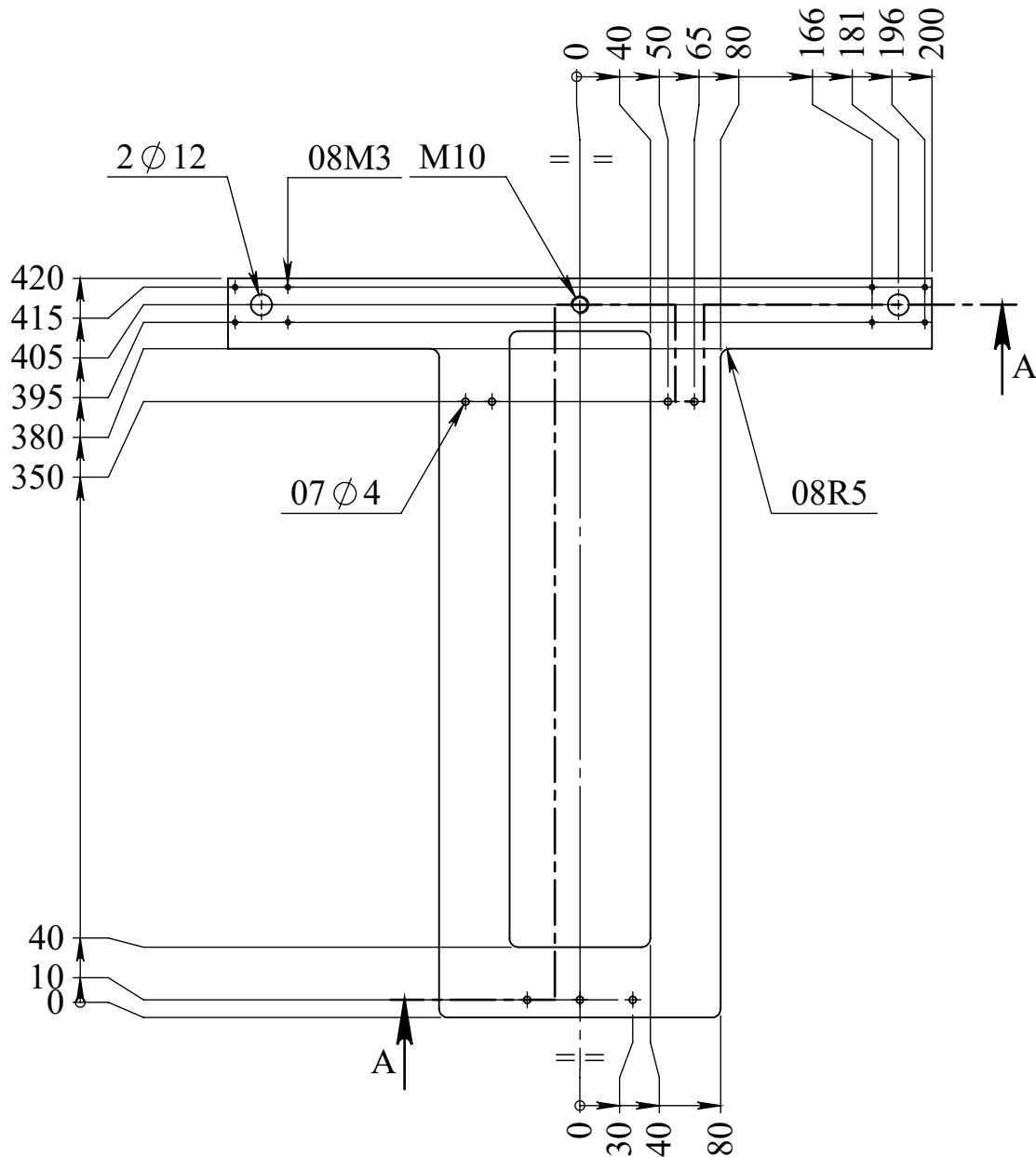
22	02	Support 1		XC 38	-
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 3/1		Impremante 3D			Etat de surface
Planche N°: 22					3.2/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			MASTER II

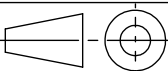


23	01	Support	XC 38	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 3/1		Impremant 3D		Etat de surface 3.2/✓
Planche N°: 23				
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 4



24	01	Table	Alliage Aluminium 1060	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/4		Impremante 3D		Etat de surface
Planche N°: 24				1.6/
		CHENOUNE AMINE - YAZID ABD ELKARIM		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		MASTER II