

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**
Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



En vue de l'obtention du diplôme

De Master Professionnel

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

Etude et Conception d'une Imprimante 3D

Proposé par :

M^r : SEDJAL

Réalisé par :

M^{elle} : ALI AHMED Syriane

M^r : HADID Ahmed

**Promotion :
2014/2015**



REMERCIEMENTS

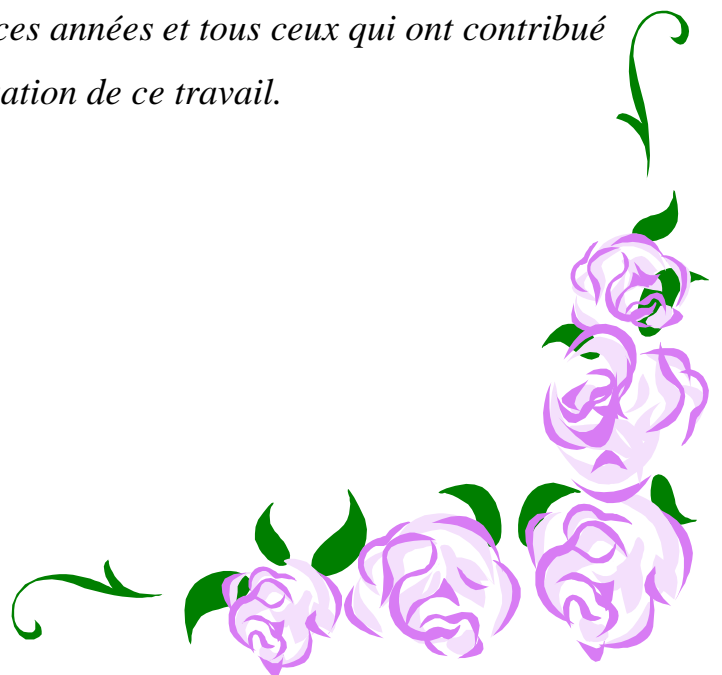
C'est à Dieu, que nous adressons toute notre gratitude en premier lieu.

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

Nos remerciements vont également au président et aux examinateurs qui ont consentis à juger notre travail,

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

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





Dédicaces

*Je dédie ce travail :
A mes chers parents bien
aimés.*

A mes sœurs et mon frère.

A toute ma famille.

*A mon binôme et toute sa
famille.*

A tout mes amis.

*A toute la promotion
2014/2015*

A tous ceux qui me connaissent

Ahmed





Dédicaces

*Je dédie ce travail :
A mes chers parents bien
aimés.*

A ma sœur et mon frère.

A toute ma famille.

*A mon binôme et toute sa
famille.*

A tout mes amis.

*A toute la promotion
2014/2015*

A tous ceux qui me connaissent

Syriane



Sommaire

Introduction Générale :	1
Chapitre I : Généralités sur l'imprimante 3D	
1. Historique	2
2. Actualités sur l'impression 3D	4
3. Evolution de l'impression en 3D	5
3.1 Première Génération	5
3.2 Deuxième Génération	5
3.3 Troisième Génération	5
4. Le principe de fonctionnement de l'imprimante 3D	6
5. Procédés d'impressions	7
• Stéréolithographie	7
• Le dépôt de filament fondu	8
• Selective Laser Sintering	9
• Le procédé Poly Jet	10
• Le procédé DLP	11
6. Les matériaux utilisés pour l'impression 3D	12
6.1 Les plastiques	12
6.2 Les métaux	12
6.3 La céramique	12
6.4 Les autres matériaux	12
7. Domaines d'applications	13
7.1 Prototypage rapide	13
7.2 Impression 3D en médecine	14
7.3 L'automobile	18
7.4 L'aéronautique, l'aérospatiale et la défense	19
7.5 L'architecture et le Design	20
7.6 L'éducation	21
7.7 La nourriture 3D (ou le food-printing)	21
7.8 Accessoires	22
8. Les économies réalisées grâce aux imprimantes 3D	24

Chapitre II : Etude et Conception

1.	Introduction	25
2.	Cahier de charge	25
	Objectif	25
3.1	Système de guidage	26
	• Glissières	26
3.2	Système de transmission	26
	• Courroies	26
	• Tige filetée.....	27
3.3	Système de fixation	27
	• Par vis.....	27
3.4	Système de commande	28
3.4.1	Moteurs électriques.....	28
3.4.2	Choix de moteurs.....	28
3.4.3	Moteurs pas à pas.....	29
	• Moteur à réluctance variable	29
	• Moteur à aimant permanant.....	29
	• Moteur hybride.....	30
3.4.4	Comparaison des trois types de moteurs pas à pas.....	30
3.	Justification du choix des pièces.....	31
4.1	La poutre	31
4.1	Pièce écrou	32
4.2	Pièce L	33
4.3	Les caches	34
4.4	Porte glissière horizontal	35
4.5	Porte glissières vertical	36
4.6	Boite pignon et tige de pignon.....	37
4.7	Porte moteur	38
4.8	Coupleur	39
4.9	Porte courroies et plaque dentée.....	40
4.10	Glissières et arbre fileté.....	41
4.11	Les tables.....	42

4.12 Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal	43
4.13 La bobine et tige de bobine	44
4.14 L'extrudeur	45
4.15 L'assemblage final	46
5. Justification des choix de materiau.....	47
6. La partie électronique	50
6.1 Arduino	50
6.2 Le logiciel host	50
6.3 Le Slicer	50
7. Conclusion	51

Chapitre III : Calculs Analytique

1. Introduction	52
2. Définition	52
3. Détermination des masses	52
4. Théories et applications numériques	54
4.1 Calcul de la flèche et du moment fléchissant maximal	54
➤ Conditions aux limites	55
➤ Applications numériques.....	56
4.2 Calcul de résistance	59
4.3 Condition de résistance	59
➤ Applications numériques	59
5. Résultats	60
6. Conclusion	60
Conclusion générale.....	61
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure I.1 : Procédé de Stéréolithographie.....	7
Figure I.2 : Procédé FDM	8
Figure I.3 : Procédé Sélective laser Sintering.....	9
Figure I.4 : Procédé poly jet.....	10
Figure I.5 : Procédé DLP.....	11
Figure I.6 : Exemple d'implants dentaires fabriqués par imprimante 3D.....	15
Figure I.7 : Exemple d'un nouveau type de plâtre à base de résine et résine.....	16
Figure I.8 : Exemple de valve artificielle pour le cœur humain.....	17
Figure I.9 : Exemple de Pare choc et de tableau de bord imprimés en 3D.....	18
Figure I.10 : Exemple de charnières d'Airbus en un seul bloc, sans soudure, ni boulon...	19
Figure I.11 : Exemple de série de maquettes d'étude architecturales.....	20
Figure II.1 : Schéma d'une imprimante 3D.....	25
Figure II.2 : Glissières.....	26
Figure II.3 : Courroie	26
Figure II.4 : Tige filetée.....	27
Figure II.5 : Vis de fixation	27
Figure II.6 : Moteur pas à pas	29
Figure II.7 : La poutre.....	31
Figure II.8 : Axes principaux.....	31
Figure II.9 : La Pièce écrou.....	32

Liste des figures

Figure II.10 : La pièce L.....	33
Figure II.11 : Les caches	34
Figure II.12 : Le porte glissières horizontal.....	35
Figure II.13 : Le porte glissières vertical.....	36
Figure II.14 : Boîte pignon et tige de pignon.....	37
Figure II.15 : Porte moteur.....	38
Figure II.16 : Coupleur.....	39
Figure II.17 : Porte courroies, Mini porte courroies et Plaque dentée.....	40
Figure II.18 : La cale et son emplacement.....	40
Figure II.19 : Glissières et Arbre fileté.....	41
Figure II.20 : Les tables.....	42
Figure II.21 : Porte moteur horizontal et Porte pignon horizontal.....	43
Figure II.22 : La bobine et Tige de bobine.....	44
Figure II.23 : L'extrudeur.....	45
Figure II.24 : L'assemblage final.....	46
Figure III.1 : Imprimante 3D.....	52
Figure III.2 : Poutre encastrée-encastrée.....	54
Figure III.3 : Glissières sur l'axe Y.....	56
Figure III.4 : Glissières sur l'axe X.....	57

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Comparaison des trois de moteurs pas à pas.....	30
Tableau II.2 : Dimensions de la poutre	32
Tableau II.3 : Dimensions de la pièce écrou	32
Tableau II.4 : Dimensions de la pièce L	33
Tableau II.5 : Dimensions des caches	34
Tableau II.6 : Dimensions de porte glissière horizontale.....	35
Tableau II.7 : Dimensions de porte glissière verticale	36
Tableau II.8.a : Dimensions de la boîte pignon	37
Tableau II.8.b : Dimensions de la tige du pignon	37
Tableau II.9 : Dimensions du porte moteur.....	38
Tableau II.10 : Dimensions du coupleur	39
Tableau II.11 : Dimensions du porte courroie, plaque dentée et cale.....	40
Tableau II.12 : Dimensions des glissières et de l'arbre fileté.....	41
Tableau II.13 : Dimensions des tables	42
Tableau II.14 : Dimensions du porte moteur et porte pignon horizontaux.....	43
Tableau II.15 : Dimensions de la bobine et de la tige de la bobine	44
Tableau II.16 : Dimensions de l'extrudeur	45
Tableau II.17 : Dimensions de l'imprimante 3D	46
Tableau II.18 : Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux.....	47
Tableau III.1 : Les masses des composants de l'imprimante 3D	53
Tableau III.2 : Les masses des vis de fixation	54

Liste des abréviations

3D : 3 Dimensions.

SLA : Stéréolithographie

FDM : Fused Déposition Modeling.

SLS : Selective Laser Sintering.

LAM : Laser Additive Manufacturing.

MIT : Massachusetts Institute of Technology.

stl : format du fichier 3D

PLA : Poly Lactique Acide.

DLP : Digital Light Processing.

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styène.

CSC : Computer Sciences Corporation.

R-D : Recherche et Développement.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

CAD : Computer Aided Design.

UV : Ultraviolet.

CNC : Computer Numerical Control.

NASA : National Aeronautics and Space Administration.

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

LEGO : marque de jouets

Liste des abréviations

M_f : Moment fléchissant [N.mm]

$M_{f\max}$: Moment fléchissant maximal [N.mm]

I : Moment quadratique [mm⁴]

Y_{AC} : Flèche au point AC [mm]

\dot{Y}_{AC} : Première intégration de la flèche [mm]

\ddot{Y}_{AC} : Deuxième intégration de la flèche [mm]

R_A : Réaction au point A [N]

R_B : Réaction au point B [N]

P : Poids [N]

L : Longueur [mm]

C_1 : Constante 1

C_2 : Constante 2

g : La gravité [N/Kg]

m : La masse [Kg]

d : Le diamètre [mm]

R_{pe} : Résistance pratique à l'extension [N/mm²]

R_e : Résistance à l'élasticité [N/mm²]

s : Coefficient de sécurité

Liste des abréviations

σ_f : Contrainte de flexion [N/mm^2]

R_f : Coefficient de flexion [mm^3]

V : Le point le plus éloigné à la ligne neutre [mm]

Introduction générale :

L'imprimante a considérablement contribué au développement des industries et de l'administration. Mais l'évolution se poursuit donnant naissance à une nouvelle dimension dans l'impression « l'impression tridimensionnelle ».

Il est actuellement possible de fabriquer des équipements et des objets de toute sorte dans une grande variété de matériaux directement depuis sa maison ou son lieu de travail à partir de son ordinateur personnel, ou professionnel on peut créer une représentation digitale de ces objets, ou simplement télécharger en ligne les fichiers de leurs représentations tridimensionnelles, puis après avoir transmis ce fichier numérique à l'imprimante 3D connectée à l'ordinateur ; voir l'objet prendre forme sous ses yeux.

L'objectif de notre travail est de faire une étude et une conception d'une imprimante 3D, et il est composé de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous citons des généralités et des définitions sur l'imprimante 3D.

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, nous présentons la méthode de calcul de la résistance de quelques éléments spécifiques, à la flexion.

Et enfin nous terminons par une conclusion générale.

1. Historique :

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

1860 -Un photographe Français, qui était aussi sculpteur, François Willème, partisan de l'art industriel, met au point une méthode combinant la photographie et la sculpture pour reproduire le réel. Sa méthode de photosculpture saisit un objet en 3 dimensions à l'aide de photos prises autour de l'objet.

De 1863 à 1869 -les Parisiens ont pu s'offrir, grâce à la Société générale de photosculpture, leur buste sculpté en un temps record pour un prix record.

1892 - Blather propose une méthode de stratification de la production de cartes topographiques.

1972 - Mastubara de Mitsubishi Motors propose que les matériaux photo durci (photopolymères) soient utilisés pour produire des pièces en couches.

1981 - Hideo Kodama, de L'Institut de recherche industrielle de Nagoya publia le premier rapport sur un système de travail de prototypage rapide à l'aide de photopolymère. Un modèle a été construit couche par couche, chacune d'elles correspondaient à une tranche en coupe transversale dans le modèle.

1982 - C'est une équipe composée d'Alain Le Méhauté (Alcatel), Olivier de Wiite (Cilas) et de Jean-Claude André (CNRS) qui a breveté le principe de l'impression 3D dès 1984. Le premier brevet déposé date du 16 juillet 1984, trois semaines avant le brevet américain mais Alcatel et Cilas abandonneront rapidement ce brevet faute d'identifier un avenir à cette invention.

1984 - Charles Hull, (fondateur de 3D Systems) invente la (SLA) qui est breveté en 1987. La technologie permet de choisir un modèle 3D et d'utiliser un laser pour le graver dans un liquide spécial (photopolymère).

1991 - Stratasy produit la première machine FDM au monde. Cette technologie utilise le plastique et une extrudeuse pour déposer des couches sur un lit d'impression.

1992 -3D Systems produit sa première machine d'impression 3D SLA.

1992 - DTM produit la première machine SLS. Cette machine est similaire à la technologie SLA mais utilise une poudre (et laser) au lieu d'un liquide. Ces technologies étaient à leurs balbutiements et ne sont pas parfaites; il y avait une déformation dans le matériau lorsqu'il durcissait, et les machines avaient un coût prohibitif pour les inventeurs, mais leur potentiel était indéniable. Des décennies plus tard, ce potentiel est encore en cours.

1994 - Le professeur Emmanuel Sachs, du Massachusetts Institute of Technology, à Boston, utilise des têtes d'imprimante projetant de la cire chaude (plutôt que de l'encre) sur une poudre très fine. A chaque passage, la tête d'impression dépose localement des gouttelettes de cire qui agglomèrent les grains pour former des couches successives jusqu'à créer un objet rigide, en 3D.

1997 - Aeromet invente la technologie LAM, processus révolutionnaire pour l'impression directe de pièces en titane en trois dimensions sans l'utilisation de moules ou de matrices.

1999 - Des scientifiques parviennent à développer des organes à partir de cellules de patients et utiliser un échafaudage 3D imprimé pour les soutenir. Le premier organe imprimé en 3D, une vessie humaine, a été implanté chez l'homme.

2000 - La première imprimante 3D jet d'encre, et la première imprimante 3D multicolore faite par Z Corp.

2001 - La première imprimante de bureau 3D réalisée par Solidimension.

2002 - Un rein miniature imprimé en 3D. Les scientifiques visent à produire des organes en taille réel.

2005 - Le projet Reprap est fondé par le Dr Adrian Bowyer à l'Université de Bath. Le projet a été conçu comme une démocratisation de la technologie d'impression 3D.

2008 - La Reprap Darwin est la première imprimante 3D en mesure de produire un grand nombre de ses propres pièces,

- Le premier matériau biocompatible FDM produit par Stratasys.

- La première prothèse de jambe 3D est produite.

- Thingiverse lance un site Web pour partager des fichiers 3D librement.

2009 - MakerBot a frappé un grand coup en fournissant des kits de bricolage open-source pour les particuliers désireux de construire leurs propres imprimantes 3D et ainsi ouvrir l'impression 3D à un public plus large, et Organovo commercialise la première bio-imprimante 3D.

2011 - La première voiture 3D imprimée (Urbee par Kor Ecologic).

2012 - La première mâchoire imprimée en 3D en Hollande par Layer Wise.

2013 - Cody Wilson de Defense Distributed est invité à retirer du web ses designs permettant d'imprimer le premier pistolet 3D fonctionnel au monde, et Louis DeRosa invente un stylo d'impression 3D.

2014 - La NASA envoie dans l'espace la première imprimante 3D qui défie la pesanteur.

2. Actualités sur l'impression 3D :

❖ Un hôtel imprimé en 3D aux Philippines :

Le « LEWIS GRAND HÔTEL » est le premier hôtel au monde imprimé en 3D

❖ Impression de 10 maisons en 24H :

La société chinoise « WINSUN » à réaliser son projet qui consistait d'imprimer dix maisons de deux cents mètres carrés chacune dans vingt-quatre heures avec une imprimante géante qui fait quarante mètres de longueur, dix mètres de largeur, et six mètres de hauteur.

❖ NIKE et ADIDAS impriment leurs premières chaussures:

NIKE, le géant américain était le premier à utiliser ce procédé pour concevoir la semelle à crampon de sa « VAPOR LASER TALON », un modèle destiné aux joueurs de football américains, en 2014 elle dévoile sa « VAPOR CARBON » une chaussure dans certains éléments ont été imprimés en 3D.

ADIDAS qui est connu pour innover toujours plus dans la création de nouveaux designs et pour expérimenter régulièrement de nouveaux procédés de production, vient d'intégrer l'impression 3D dans son processus de fabrication. Contrairement à NIKE c'est la première fois qu'il use de ce procédé pour concevoir ces chaussures.

3. Evolution de l'impression en 3D :

Cette réalité de coût abordable pour le prototypage à la demande est née des visionnaires du MIT qui développèrent en 1993 la plus rapide et la moins coûteuse méthode de prototypage par impression en 3D. Après la création en 1994 de Z Corporation par quelques-uns de ces mêmes visionnaires, il y'a eu une promesse pour mettre le prototypage à la portée de chaque designer ou ingénieur. Par cette promesse, il s'agissait de développer des imprimantes 3D qui s'appuieraient sur les imprimantes de texte et qui évolueraient rapidement pour offrir vitesse, faible coût, précision, couleur et convivialité.

3.1 Première Génération

En 1996, c'est introduit la Z 402, la première imprimante 3D du marché, redéfinissant 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.

3.2 Deuxième Génération

En 2003, la 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 redéfinissait l'impression 3D avec une nouvelle génération d'imprimantes haute résolution et des couleurs éclatantes

3.3 Troisième Génération

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, dépoudeur), 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.

4. Le principe de fonctionnement de l'imprimante 3D :

En superposant ou en adjoignant des particules ou des filaments d'un matériau entre eux, il est possible de donner forme à un ensemble. Il est là, tout le secret de l'impression 3D. Il suffit de s'imaginer que l'on joue avec des pièces de LEGO de taille minuscule et qu'on les agence de manière à donner une forme précise à une nouvelle création. Il est alors possible d'utiliser des modèles fournis par le fabricant ou sur internet, mais aussi de créer ses propres modèles sur son ordinateur via des logiciels spécialisés en modélisation 3D.

Il faut ensuite charger une bobine de fil à l'emplacement prévu à cet effet sur l'imprimante 3D. Cette bobine agit comme l'encre d'une imprimante classique, c'est elle qui constitue la matière de l'objet en cours de création. Une fois la bobine est mise en place, la tête d'impression chauffante aspire ce fil pour le faire fondre progressivement, puis créer des couches successives sur le plateau de verre qui s'abaisse petit à petit. C'est l'accumulation de ces couches tout en hauteur qui forme l'objet final.

Les matériaux employés dans les impressions 3D sont généralement des thermoplastiques qui fusionnent entre eux lorsqu'ils sont chauffés, ou d'autres substances qui durcissent lorsqu'elles sont exposées à des lasers.

5. Procédés d'impressions

L'impression 3D est en passe de s'imposer comme le nouveau moyen de création d'objets. Aujourd'hui, pour produire ces objets de façon industrielle, on utilise des procédés de soustraction, c'est-à-dire que l'on enlève de la matière, par fraisage ou découpe, par exemple. L'impression 3D propose l'inverse, à savoir l'ajout de couches de matière successives. Pour ce faire, de nombreuses solutions existent, voici les principales :

- Stéréolithographie

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

Une des formes de la Stéréolithographie la plus répandue est la Photo-polymérisation ; on concentre un rayon ultraviolet dans une cuve remplie de photopolymère (un matériau synthétique dont les molécules se modifient sous l'effet de la lumière la plupart du temps ultraviolette). Le Laser ultraviolet travaille le modèle 3D souhaité couche après couche. Quand le rayon frappe la matière, cette dernière se durcit sous son impact tout en se liant aux couches adjacentes. A la sortie de la cuve, on obtient une forme à la résolution remarquable et, la matière non frappée par le laser peut être utilisée pour le prochain objet.

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

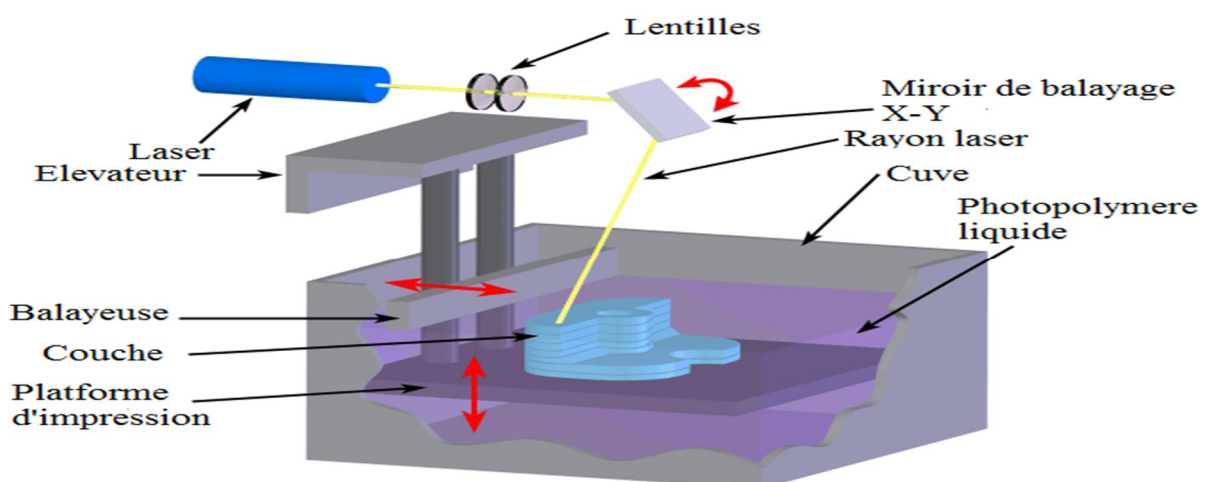


Figure I.1 : Procédé de Stéréolithographie

- Le dépôt de filament fondu

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

Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D FFF(*Fused Filament Fabrication*)

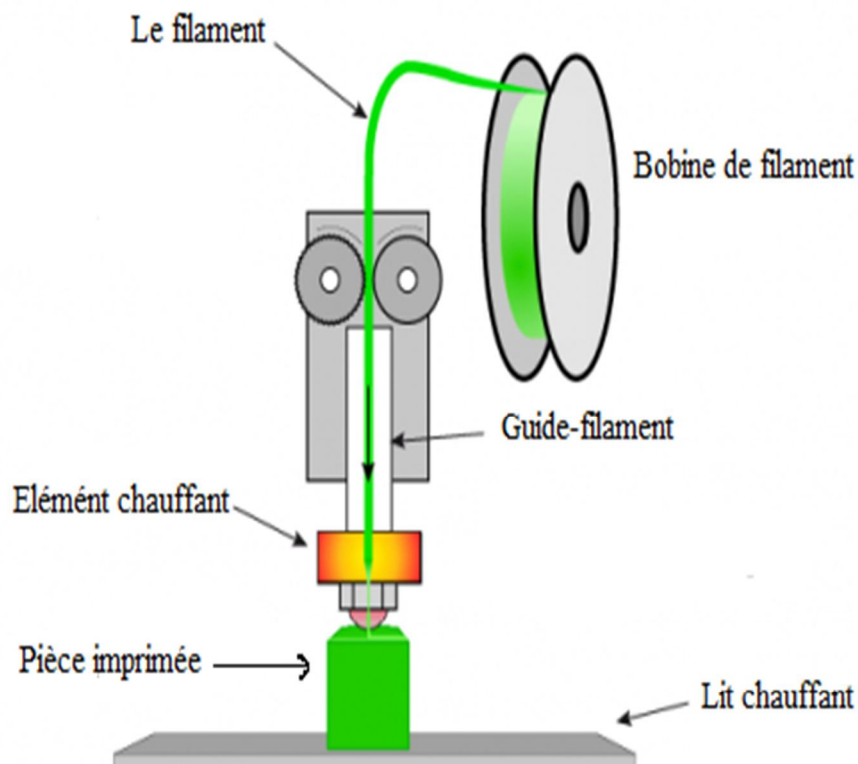
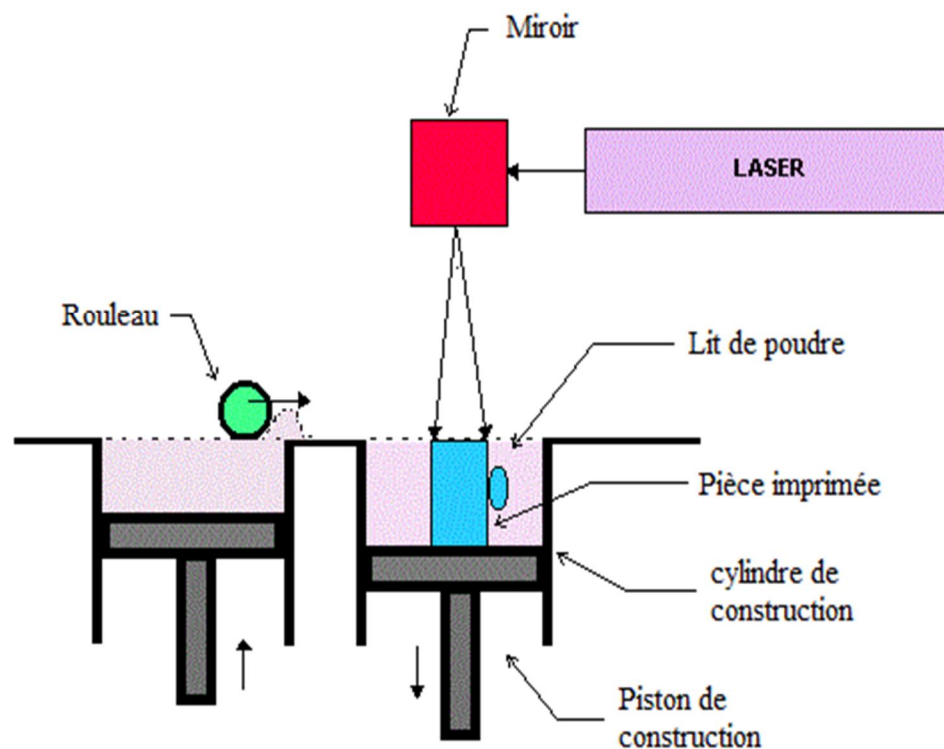


Figure I.2 : Procédé de Fused Deposition

- Selective Laser Sintering :

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



Frittage Selectif par Laser

Figure I.3 : Procédé de Selective Laser Sintering

- Le procédé Poly Jet

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

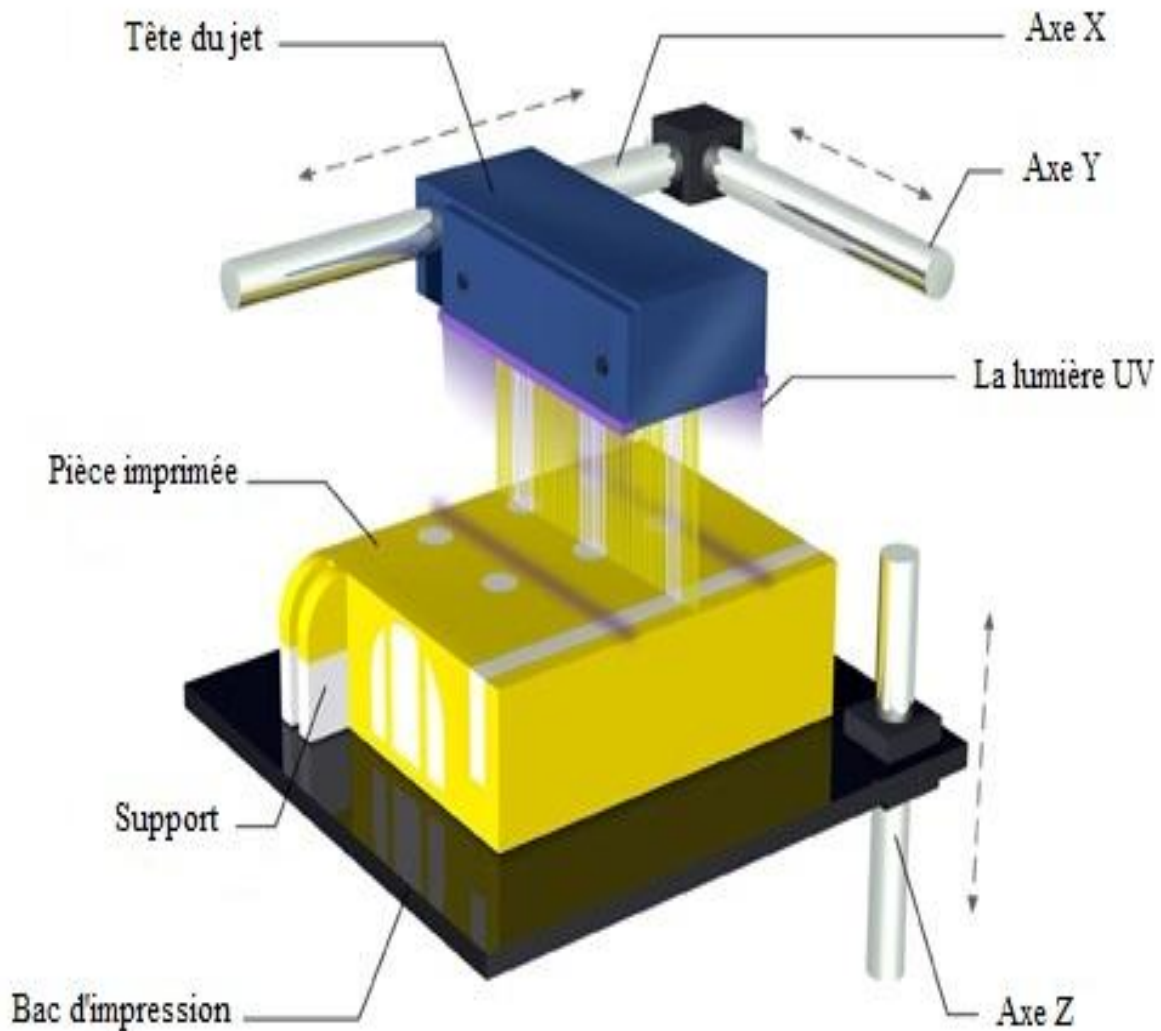


Figure I.4 : Procédé Poly Jet

- Le procédé DLP

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

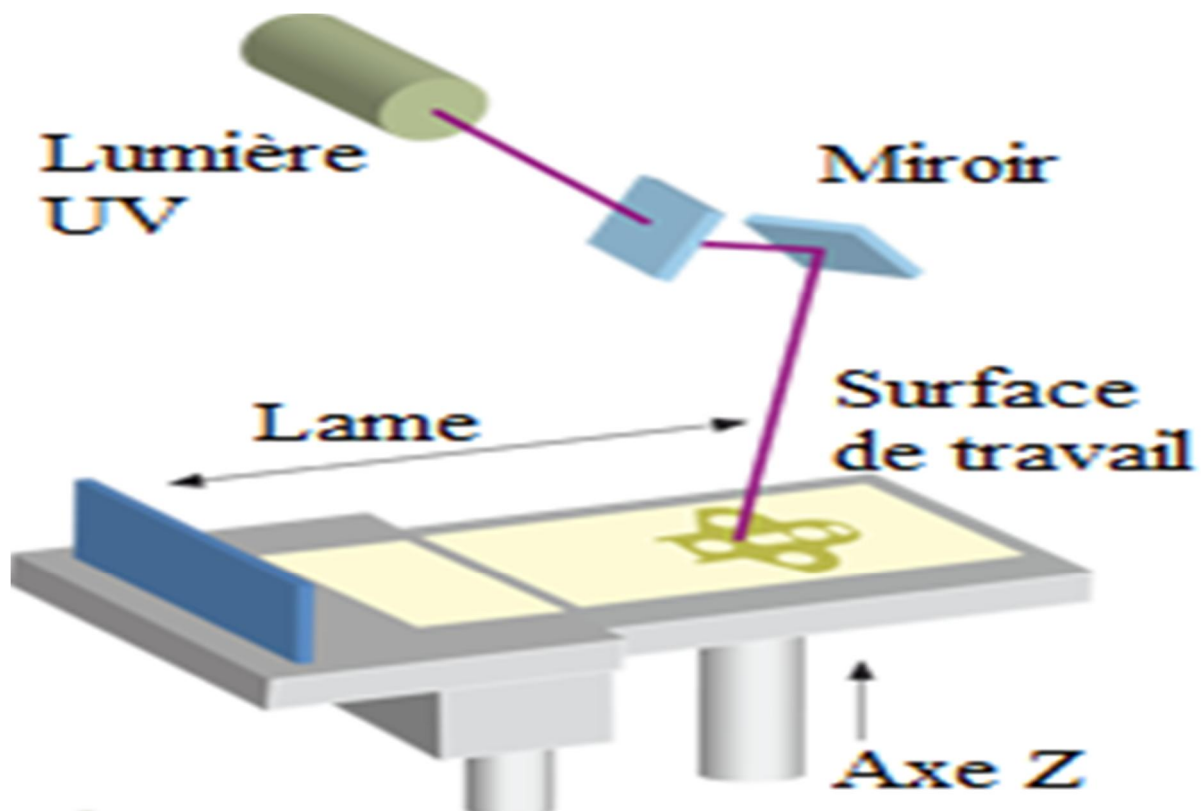


Figure I.5 : Procédé de DLP

6. Les matériaux utilisés pour l'impression 3D

Ces techniques d'impression 3D ne seraient rien sans les matériaux qui les accompagnent, qui se sont beaucoup diversifiés ces dernières années. À l'heure actuelle, les plus employés sont les plastiques et les métaux, auxquels il faut ajouter les céramiques et les matières organiques. Chaque procédé de fabrication additive a son propre matériau de prédilection.

6.1 Les plastiques :

La résine, le polyamide et l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène), trois plastiques aux propriétés différentes, ont longtemps été les matériaux phares de l'impression 3D et demeurent encore très populaires. Utilisés très souvent en prototypage rapide, ils interviennent également dans la production d'objets finis.

6.2 Les métaux :

Les techniques d'impression de métal connaissent actuellement une très forte croissance. Elles intéressent particulièrement les industriels pour des raisons de coût économique. En effet, l'impression 3D de métal engendre beaucoup moins de pertes de matière et se révèle capable de réaliser des formes à la fois plus solides et plus légères, tout en réduisant l'impact énergétique. Quant aux métaux précieux, Or, argent, bronze et platine servent généralement à la réalisation de petits modèles finis (bagues, bracelets, broches...).

6.3 La céramique :

La céramique est un matériau de plus en plus employé en impression 3D. Même si la technologie utilisée s'avère relativement fastidieuse et requiert de nombreuses étapes, elle permet de fabriquer des pièces qu'il aurait été impossible de réaliser avec une méthode traditionnelle.

6.4 Les autres matériaux :

Si les plastiques et les métaux sont les matériaux les plus utilisés, des expérimentations poussées ont été menées avec d'autres composants, notamment dans les domaines architectural, alimentaire et médical. Certaines imprimantes permettent de fabriquer des formes en chocolat ou en fromage, d'autres sont capables d'imprimer du tissu humain ou du cuir de vache, et d'autres encore ont été testées avec des matériaux de construction comme le béton.

7. Domaines d'applications

7.1 Prototypage rapide :

À l'origine, l'impression 3D a été conçue pour réaliser un prototypage rapide, en fabriquant un ou deux échantillons physiques. Il permettait aux concepteurs de détecter et de corriger, rapidement et à peu de frais, les défauts de conception, ce qui avait pour effet d'accélérer le processus de fabrication du produit et de minimiser les risques commerciaux. Selon les analystes commerciaux CSC, le prototypage qui représente environ 70% du marché de l'impression 3D, reste la principale application commerciale de cette technique.

Néanmoins, des améliorations de la précision et de la rapidité de cette technique, ainsi que de la qualité des matériaux utilisés, ont poussé certains secteurs commerciaux à ne plus limiter l'utilisation de l'impression 3D à leurs laboratoires de recherche-développement (R-D) en l'intégrant à leur stratégie de fabrication.

Cette technique est déjà largement utilisée pour fabriquer des bijoux et d'autres articles de mode sur mesure, pour produire des couronnes, des ponts et des implants dans les laboratoires dentaires, ainsi que dans la production de prothèses et d'appareils auditifs, de façon à offrir aux patients une solution parfaitement adaptée. L'impression 3D convient particulièrement à la production courte de faible volume et offre aux entreprises une solution plus souple, rentable et rapide par rapport aux méthodes classiques de production de masse.

7.2 Impression 3D en médecine :

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

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

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

a) Les implants dentaires

En combinant le scan 3D des voies orales avec la conception CAO, l'impression 3D a déjà envahi le premier niveau de complexité du corps humain. Les laboratoires dentaires peuvent ainsi rapidement et avec une grande précision de produire des plâtres dentaires, des appareils orthodontiques, des plateaux de réception et de positionnement, des gouttières et des appareils transparents, des couronnes, des bridges, etc.

L'impression 3D est facile d'utilisation et peut utiliser des matériaux d'impression dentaires spécialisés.

Elle permet d'améliorer les délais de production ainsi que la productivité des ateliers. De plus, en travaillant avec des modèles numériques, les professionnels peuvent stocker l'ensemble des fichiers clients pour un coût quasiment nul. Ils offrent à leurs clients un confort inégalé avec des pièces parfaitement adaptées à leurs besoins.

La fabrication additive offre en outre un rapide retour sur investissement. Avec des gammes de matériaux tout à fait adaptées aux cliniques et laboratoires dentaires, l'impression 3D revient à un prix abordable pour une précision et une vitesse d'exécution inégalées (figure I.6).



Figure I.6 : Exemple d'implants dentaires fabriqués par imprimante 3D

b) L'impression de tissus vivants ou le bio printing

Ce qu'on appelle le bio printing ou impression de tissus vivants est l'un des secteurs les plus porteurs de cette technologie. Ce sont ni plus, ni moins que des pièces détachées pour le corps.

L'impression 3D est capable de sauver des vies. En imprimant des os ou même des organes, l'homme pourrait faire face à la maladie et à de nombreux problèmes de santé. Si l'on prend l'exemple des transplantations d'organe, au lieu d'attendre la disponibilité d'un organe par le décès d'un autre être humain, les patients pourraient se voir transplanter un cœur ou un rein réalisé sur mesure par une imprimante 3D. Il en serait de même pour remplacer un cartilage usé ou une rotule fissurée. Le principe : le fabricant scanne la partie du corps humain concernée, le scanner enregistre la forme qu'il transforme ensuite en fichier numérique compatible avec des logiciels de conception 3D. Enfin, le fichier 3D est imprimé.

A noter enfin que le Bio-printing va constituer de nouveaux domaines de formation du corps médical.

c) Les prothèses

La possibilité de fabriquer toute sorte de prothèses imprimées en 3D constitue une avancée majeure et bouleverse déjà la vie de ceux qui ont pu en bénéficier.

Aux Etats-Unis, on recense plus de deux millions de personnes équipées de prothèses ou de membres artificiels. L'impression 3D permettrait de réaliser celles-ci avec un niveau de personnalisation sans précédent. Ces implants doivent être acceptés par les organismes des patients. Ceux imprimés en 3D ne devraient pas susciter plus de phénomènes de rejets que ceux actuellement à la disposition du corps médical. En août 2014, des chirurgiens d'un hôpital de Pékin ont implanté une vertèbre fabriquée en 3D chez un jeune garçon chinois de 12 ans, une première mondiale (figure I.7).

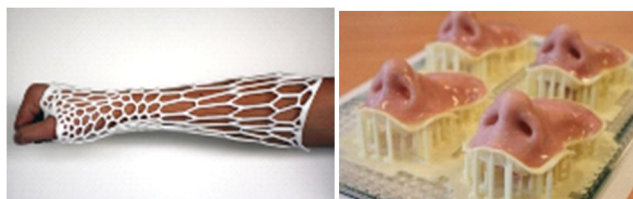


Figure I.7 : Exemple d'un nouveau type de plâtre à base de résine et prothèses de nez.

d) La transplantation d'organes

En 2012, 12 800 personnes en France avaient déjà bénéficié d'une transplantation d'organe. Avec le vieillissement de la population, ce nombre ne peut que s'accroître. Cette situation crée de belles opportunités pour l'impression 3D (figure I.8).

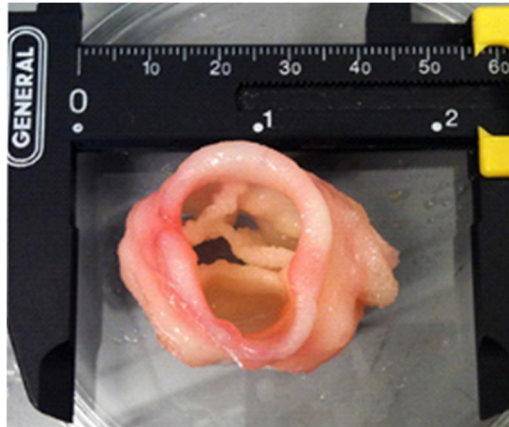


Figure I.8 : Exemple de valve artificielle pour le cœur humain.

e) La fabrication de médicaments

Un chercheur anglais s'est lancé dans l'impression de molécules pour créer des médicaments à partir d'une imprimante 3D. Pourquoi ne pas demain imprimer ses propres médicaments à la maison depuis une imprimante 3D à partir des sites internet officiels des laboratoires pharmaceutiques et ainsi disposer sans délai du médicament localement, là où les gens en ont besoin. Une fois le problème de la prescription médicale qui ne peut être évité, un bouleversement prochain dans le fonctionnement de l'industrie pharmaceutique, ne peut être écarté. La majorité des médicaments sont composés aujourd'hui à partir de molécules banales, telles que le carbone, l'hydrogène, ou encore l'oxygène ce qui implique qu'avec peu d'encres différentes, il est possible de créer une vaste gamme de médicaments (à commencer par l'Ibuprofène).

Par ailleurs, il va être possible de fournir des médicaments à des malades qui n'y ont pas accès aujourd'hui du fait de coûts de distribution. Ces nouvelles perspectives devraient permettre de lutter plus efficacement contre les méfaits des médicaments contrefaits.

7.3 L'automobile :

L'imprimante 3D dans le secteur de l'automobile favorise aussi le travail itératif. Elle permet de tester les pièces sans contrainte budgétaire et fluidifie la chaîne de production. L'impression 3D est idéale pour créer des prototypes automobiles résistants et des articles à partir de thermoplastiques d'ingénierie de haute performance.

La production additive permet de :

- Remplacer l'usinage CNC

Les pièces réalisées par usinage CNC sont coûteuses et longues à produire. L'impression 3D permet de réduire considérablement les coûts de production. Les pièces en plastique imprimées donnent au final de meilleurs résultats sur le plan technique. Elles sont plus légères et peuvent présenter des formes extrêmement complexes qui seraient difficiles à réaliser avec les techniques de fabrication traditionnelle.

- Fabriquer des outils plus adaptés

Pour les appareils portatifs utilisés sur les lignes d'assemblage, les ingénieurs peuvent avoir recours à l'impression 3D pour fabriquer des outils parfaitement adaptés et qui présentent de bien meilleurs résultats que les outils conventionnels.

- Tester et identifier des problèmes de conception

Dans certains cas, l'utilisation de modèles de CAO seule n'est pas suffisante pour cerner les problèmes de conception. Les ingénieurs font alors appel à l'impression 3D pour identifier un problème de design qui n'aurait pas été identifié lors de la phase de conception initiale (figure I.9).



Figure I.9 : Exemple de pare-chocs et de tableau de bord imprimés en 3D

7.4 L'aéronautique, l'aérospatiale et la défense :

Les ingénieurs de ces secteurs à forte dominante technologique utilisent aussi l'impression 3D pour le prototypage, l'outillage et la fabrication de pièces finies. A partir de thermoplastiques à haute performance, ils sont en mesure de construire des gabarits de montage, des jauges de contrôle mais aussi des pièces finies utilisées dans ces secteurs. L'imprimante 3D permet de créer des pièces résistantes à la chaleur, aux substances chimiques et aux rayons ultra-violetts qui n'absorbent en outre pas l'humidité. Plus de trois cents pièces différentes imprimées en 3D équipent déjà les avions fabriqués par la société Boeing (les conduits d'air par exemple). Pour de petites séries et des pièces aux formes compliquées, il est possible ainsi de réduire considérablement les coûts de production. L'impression 3D permet par ailleurs un gain de poids pour les pièces en plastique ou en métal et offre une meilleure isolation électrique. Les thermoplastiques de production de haute qualité sont donc une solution idéale pour la fabrication de composants pour avions, en raison de leur légèreté et leur résistance à la chaleur, atouts déterminants dans cette branche de l'industrie.

Pour le secteur de la Défense, l'impression 3D donne aux gouvernements et aux militaires la liberté de concevoir des pièces en faible quantité, de créer rapidement de l'outillage à moindre coût et de construire des prototypes complexes et sophistiqués. L'impression 3D est déjà largement utilisée dans la fabrication des drones. Les prototypes imprimés en 3D permettent d'anticiper les défauts potentiels de conception avant d'engager le lancement de grandes séries réduisant ainsi l'image négative et les surcoûts liés à l'introduction sur le marché de nouveaux produits comportant des défauts sur le marché. Les ingénieurs de conception et de fabrication peuvent enfin utiliser ces prototypes comme outil de communication qui serviront à améliorer le produit tout au long du cycle de développement jusqu'à la phase de production (figure I.10).



Figure I.10 : Exemples de charnières d'Airbus en un seul bloc, sans soudure, ni boulons

7.5 L'architecture et le Design :

Pour les cabinets d'architecture, les bureaux d'étude ou les studios de design, l'impression 3D facilite le travail et le rend plus rapide en créant des modèles résistants et complexes, directement à partir de données CAO ou CAD issues d'un logiciel 3D d'architecture ou de design 3D.

Ces modèles conduisent à l'élaboration de maquettes détaillées dans une gamme de matériaux y compris les photopolymères rigides prêts pour la peinture.

L'impression 3D permet un gain de temps et une meilleure communication dans la fabrication de maquettes d'étude ou de maquettes artistiques. En imprimant des modèles plus détaillés, les clients peuvent mieux visualiser et comprendre le design et faciliter ainsi le processus décisionnel des projets.

C'est un gain considérable sur le temps passé et les dépenses liées à la production de modèles de construction, nécessitant souvent des détails très précis. Les maquettes ainsi créées sont en outre plus résistantes que les modèles traditionnels (figure I.11).



Figure I.11 : Exemple de série de maquettes d'études architecturales.

7.6 L'éducation :

L'imprimante 3D va devenir, par ailleurs, un véritable outil pour la salle de classe. Plusieurs fonctionnalités peuvent d'ores et déjà être envisagées :

- Il fournit aux enseignants des aides visuelles en trois dimensions utilisables dans leur cours pour illustrer une notion difficile à saisir.
- Au lieu de montrer des images d'objets, il permet aux enseignants de susciter l'intérêt de leurs élèves en imprimant des objets réels.
- Il améliore l'apprentissage pratique et l'apprentissage par la pratique à l'aide de mini-modèles réalistes en 3D.
- Il offre plus d'espace pour les activités interactives en classe
- Il permet aux étudiants d'acquérir de nouvelles compétences et de nouvelles opportunités, ceux-ci pouvant présenter leurs projets imprimés non seulement en cours mais aussi lors d'entretiens d'embauche. La connaissance de ces techniques d'impression va également devenir un atout pour les entreprises qui utilisent l'impression 3D en interne.

7.7 La nourriture 3D (ou le food-printing) :

L'idée est de pouvoir choisir dans un catalogue illimité de recette en ligne, le plat que l'on souhaite consommer. Il suffit d'appuyer sur la touche, « imprimer » pour obtenir la préparation du plat désiré. Comme le micro-onde a révolutionné nos pratiques culinaires, le food-printing devrait conduire à des bouleversements plus grands encore, surtout quand on connaît l'intérêt des gens pour la cuisine et le temps qu'ils passent à table. Le principe est toujours le même : le recours à des logiciels CAO puis à des ingrédients reconditionnés ou des ingrédients de synthèse. Le food-printing génère au niveau des temps de préparation des gains de temps considérables et offre en outre la possibilité de mesurer avec la plus grande exactitude l'apport calorique des plats imprimés.

Bien que cette technique n'en soit qu'à ses balbutiements, elle intéresse déjà beaucoup les grands groupes de l'agro-alimentaire. Par ailleurs, à une époque où de par le monde des millions d'êtres humains souffrent encore de malnutrition, l'impression en 3D de plats protéinés constitue à terme une perspective non négligeable qui ne peut à priori être écartée.

7.8 Accessoires :

Il convient d'évoquer en fin les accessoires qui peuvent être produits par fabrication additive. Le designer Ron Arad a lancé en avril 2013 une gamme de lunettes de soleil imprimées, faites d'une seule pièce. Ron explique que cette méthode de fabrication permet de s'affranchir des manipulations fastidieuses nécessaires à l'assemblage des différentes pièces qui composent une paire de lunettes classique.

Dans le domaine des chaussures de sport, Nike, l'équipementier sportif a dévoilé en mars 2013 une chaussure de football dont semelle et crampons solidaires sont réalisés à partir d'imprimantes 3D. La firme New Balance va encore plus loin. En étudiant la foulée d'un coureur à l'aide de capteur et de logiciels CAO, elle est capable de générer une semelle 100% personnalisée à sa foulée. Cette personnalisation grand public est prévue à l'horizon 2018.

8. Les économies réalisées grâce aux imprimantes 3D :

Le recours à la fabrication additive permet de disposer de la bonne pièce de rechange (en plastique ou en métal) au bon moment. L'utilisation des imprimantes 3D permet ainsi de gagner en réactivité et en rapidité puisqu'il suffit simplement de télécharger le design de la pièce de rechange fourni par le constructeur via une librairie virtuelle et de lancer son impression.

Elle est donc particulièrement appropriée pour un grand nombre de références de pièces de rechanges critiques pour le fonctionnement des appareils et qui ont des consommations erratiques.

L'intérêt est de répondre à la demande des clients dans un délai très court et pour un coût moindre puisque cette organisation ne nécessite ni coûts d'immobilisation, ni coûts de transport.

Le simple changement d'une pièce défectueuse permet ainsi de prolonger la vie d'un produit. Avec un nouveau concept : « réparer plutôt que jeter ». L'impression 3D met ainsi fin à l'obsolescence programmée d'un grand nombre de pièces. Nous avons en effet tous constaté que certains produits ou articles ont des délais de fonctionnement programmés par le fait même de leur mode de fabrication. La consommation des produits et le marketing du jetable règnent en maître sur les articles que nous achetons. L'argument qui consiste à dire « ce produit n'existe plus dans notre catalogue » ou « le produit est trop vieux, nous n'avons plus les pièces de rechange en stock », est en voie de disparition. Les industriels et les fabricants doivent tenir compte de cette mutation afin de pouvoir adapter les structures de réalisation de leurs produits. Cela permet également au particulier de réaliser une belle économie puisqu'il ne lui est pas nécessaire d'acheter un nouveau produit.

Avec le recours à l'impression additive, il est maintenant possible de produire des pièces de rechange pour des machines en fin de vie sans avoir à les acheminer depuis le fabricant.

Dans cette recherche d'optimisation des coûts, économie rime parfois avec écologie. L'impression 3D possède ainsi un potentiel important en termes de développement durable.

Si on prend l'exemple d'un fabricant de machine à laver. Il doit en principe fournir des pièces de remplacement (souvent à des prix exorbitants) à tous les magasins qui vendent ses produits même si la plupart de ces pièces ne seront probablement jamais utilisées. Mais le commerçant est tenu d'avoir ces pièces en stock lesquelles selon toute vraisemblance ont été fabriquées en Chine par exemple où à l'origine a été envoyé la matière première. De Chine, les pièces ont ensuite été dirigées vers l'entrepôt central qui les a réparties aux quatre coins de la planète. Bref, une simple pièce de rechange en plastique peut avoir fait deux fois le tour de la planète avant de se retrouver entre les mains des clients. D'un point de vue écologique, c'est inacceptable. D'autant plus que se développe aujourd'hui une prise de conscience collective des consommateurs qui intègrent largement l'impact écologique dans leur acte d'achat.

Pour conclure sur le marché des pièces détachées, il faut préciser que c'est un marché très rentable qui a un bel avenir devant lui.

1. Introduction :

Notre projet consiste à concevoir une imprimante 3D, et pour cela nous avons en premier lieu définis les fonctions qui sont indispensables, tel que le guidage des éléments, la fixation des pièces et la transmission de mouvements, ensuite on a dessiné les pièces de notre machine avec les formes et les dimensions convenables, après on a défini les matériaux de chacune selon son importance dans l'assemblage.

2. Cahier de charge :

Le but de ce thème c'est de concevoir une imprimante 3D, qui a pour dimensions :

Selon X : $L_{\max}=540\text{mm}$; selon Y : $L_{\max}=500\text{mm}$; selon Z : $L_{\max}=570\text{mm}$;

Et un poids entre 10 et 15 Kg

Notre machine sert à imprimer des objets en volume selon le procédé de dépôt de matière fondue.

3. Objectif :

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

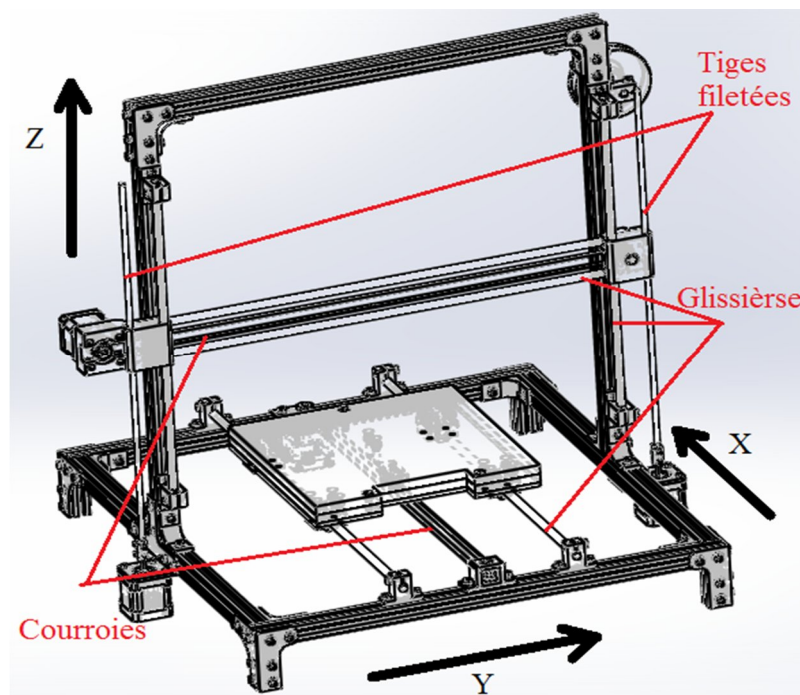


Figure II.1 : Schéma d'une imprimante 3D

2.1 Système de guidage :

- **Glissières :**

En mécanique, le guidage est une action assurée par un joint cinématique dans un mécanisme. Par exemple une glissière assure un guidage en translation. Les glissières de guidage constituent l'un des organes les plus importants dans les machines-outils. Elles font partie de l'âme mécanique d'une machine et contribuent pour une large part à sa précision, ses performances et sa durée de vie (figure II.2).

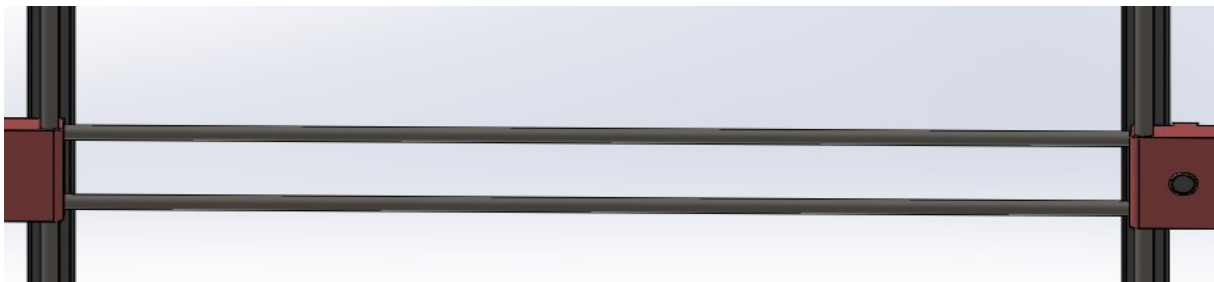


Figure II.2 : Glissières

2.2 Système de transmission :

- **Courroies**

La courroie est utilisée pour la transmission des mouvements. C'est une pièce construite d'un matériau souple. La courroie est utilisée avec des poulies. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception, le concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteurs et récepteur, elle est économique, silencieuse et amorti les vibrations et les chocs (figure II.3).



Figure II.3 : Courroie

- **Tige filetée :**

Une tige filetée est en mécanique le composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle est l'écrou. Cette tige se monte facilement dans l'assemblage, elle est résistante aux efforts, elle assure une bonne transmission de mouvement et économique par rapport aux autres systèmes (figure II.4).



Figure II.4 : Tige filetée

2.3 Système de fixation :

- **Par vis :**

La vis est un organe mécanique comportant une tige filetée et une tête, elle est destinée à réaliser la fixation d'une ou de plusieurs pièces. Elle vient dans différentes tailles et est construite à partir de différents matériaux pour la rendre apte à tenir tout ensemble (de minuscules composants informatiques aux machines industrielles massives). Les vis assurent une bonne fixation et résistent à la rouille (figure II.5).



Figure II.5 : Vis de fixation

2.4 Système de commande :

2.4.1 Moteurs électriques :

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie mécanique. Les moteurs électriques sont tous réversible ; ils sont capables de produire du courant électrique si on les fait tourner par un moyen mécanique.

2.4.2 Choix de moteurs :

Les différents types de moteurs électriques sont :

Moteurs à courant continu et Moteurs à courant alternatif.

Moteurs synchrones et Moteurs asynchrones.

Moteurs universels

Moteurs sans balais.

Moteurs pas à pas.

2.4.3 Moteurs pas à pas :

Le moteur pas à pas est un autre genre de moteurs électriques que l'on trouve dans les organes servocommandés (permettant de contrôler un mécanisme), comme les moteurs de positionnement des têtes de lecture/écriture des disques durs d'ordinateurs. Les moteurs pas à pas présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante (figure II.6).

On peut classer les moteurs pas à pas en trois catégories



Figure II.6 : Moteur pas à pas

- **Moteur à réluctance variable :**

Il s'agit d'un moteur qui comporte un rotor à encoches se positionnant dans la direction de la plus faible réluctance. Ce rotor, en fer doux, comporte moins de dents qu'il n'y a de pôles au stator. Le fonctionnement du moteur est assuré par un pilotage du type unipolaire et l'avance du rotor est obtenue en excitant tour à tour une paire de pôles du stator.

- **Moteur à aimant permanent :**

Un aimant permanent est solidaire de l'axe du moteur (rotor). Des bobines excitatrices sont placées sur la paroi du moteur (stator) et sont alimentées chronologiquement. Le rotor s'oriente suivant le champ magnétique créé par les bobines.

• **Moteur hybride :**

Le moteur pas à pas hybride allie le principe du moteur à réluctance variable à celui du moteur à aimant permanent. Le rotor du moteur hybride comprend 2 structures régulières de dents. Ces 2 blocs sont décalés d'une 1/2 dent l'un par rapport à l'autre et sont fixés de part et d'autre d'un aimant permanent magnétisé axialement.

Le circuit magnétique du stator possède plusieurs pôles constitués de paquets de tôles entourés chacun d'une bobine ; les paquets de tôles se terminant par des dents. Une phase est constituée de plusieurs dents ; 4 dans la plupart des cas. Tous les pôles de la phase sont décalés de façon à assurer le déphasage de 90°.

2.4.4 Comparaison des trois types de moteurs pas à pas:

Types de moteurs	Moteur à aimant permanent	Moteurs à réluctance variable	Moteur hybride
Résolution (nombre de tour /pas)	Moyenne	Bonne	Elevée
Couple moteur	Elevée	Faible	Elevée
Sens de rotation	Il dépend : <ul style="list-style-type: none"> - Du sens du courant pour le moteur bipolaire. - De l'ordre d'alimentation des bobines. 	Il dépend uniquement : <ul style="list-style-type: none"> - De l'ordre d'alimentation des bobines. 	Il dépend : <ul style="list-style-type: none"> - Du sens du courant - De l'ordre d'alimentation des bobines.
Fréquence de travaille	Faible	Grande	Grande

Tableau II.1 : Comparaison des trois de moteurs pas à pas

On a utilisé un moteur pas à pas hybride, à cause de sa grande capacité de travail, de son couple et sa résolution élevée.

3. Justification du choix des pièces :

Cette partie est nécessaire justifier, elle permet de justifier le choix des formes des pièces, et de définir leurs dimensions.

3.1 La poutre :

➤ Forme :

C'est la pièce qu'on a choisi pour le châssis de notre imprimante, à laquelle on a donné une forme géométrique en X, qui nous permet de placer d'autres pièces sur chacun de ces côtés d'une part, et d'autre part elle peut résister à des efforts importants (figure II.7).

Notre châssis se compose des poutres à différentes longueurs suivant X, Y et Z (figure II.8).

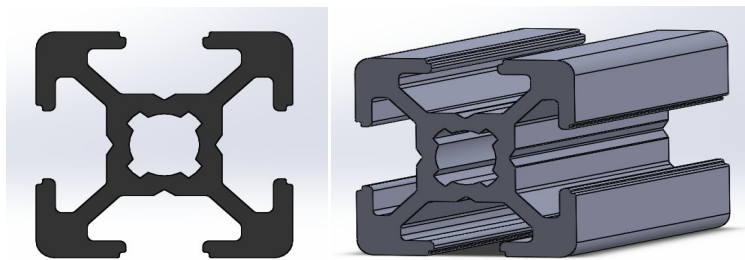


Figure II.7 : La poutre

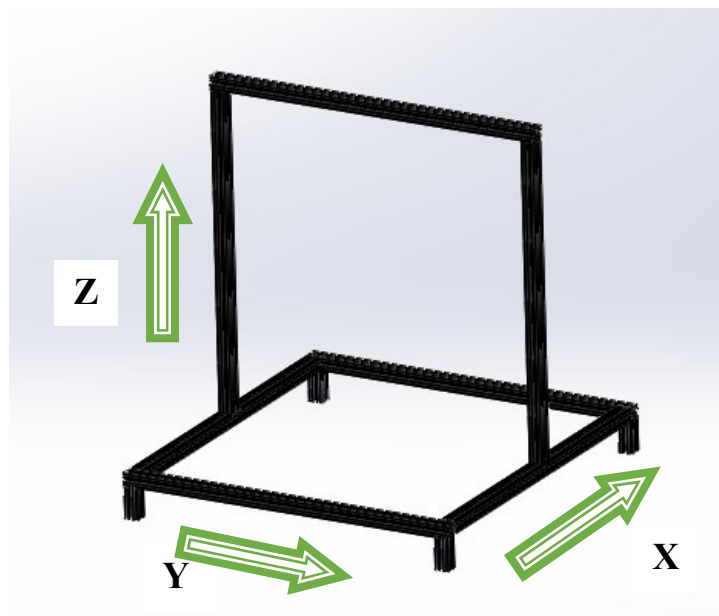


Figure II.8 : Axes principaux

➤ **Dimensions :**

Dimensions (mm)	
Longueur suivant X	500.00
Longueur suivant Y	500.00
Longueur suivant Z	500.00
Longueur suivant Z (Pied)	50.00
Largeur	20.00
Profondeur	20.00

Tableau II.2 : Dimensions de la poutre

3.2 Pièce écrou :

➤ **Forme :**

C'est une pièce essentielle dans cette machine, elle est placée sur la poutre pour assurer la fixation de tous les éléments (figure II.9).

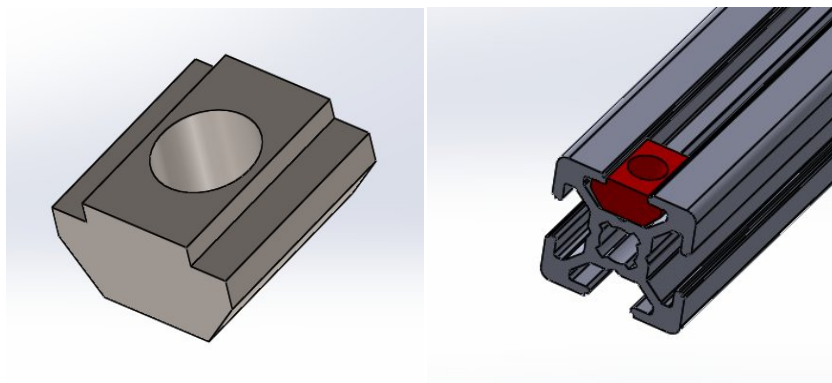


Figure II.9 : La Pièce écrou

➤ **Dimensions :**

Dimensions (mm)	
Longueur	10.00
Largeur max	12.00
Profondeur	5.00

Tableau II.3 : Dimensions de la pièce écrou

3.3 Pièce L :

➤ **Forme :**

C'est une pièce qui a pour rôle de réaliser l'angle 90° entre les poutres (figure II.10).

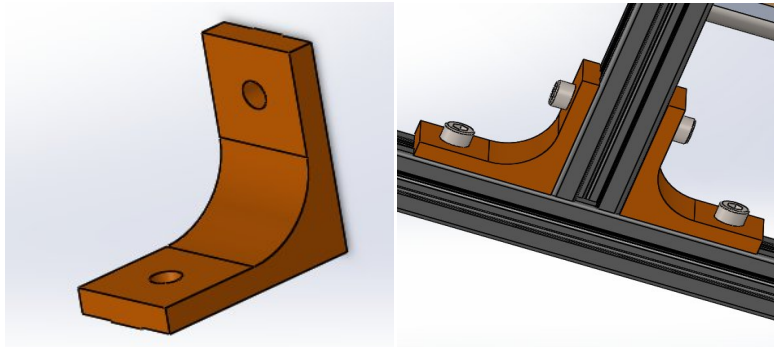


Figure II.10 : La pièce L

➤ **Dimensions :**

Dimensions (mm)	
Longueur	40
Largeur	20
Profondeur	40

Tableau II.4: Dimensions de la pièce L

3.4 Les caches :

➤ **Forme :**

C'est des pièces conçus pour fixer et rassembler les poutres entre elles, réalisent l'angle 90° et pour le design de la machine (figure II.11).

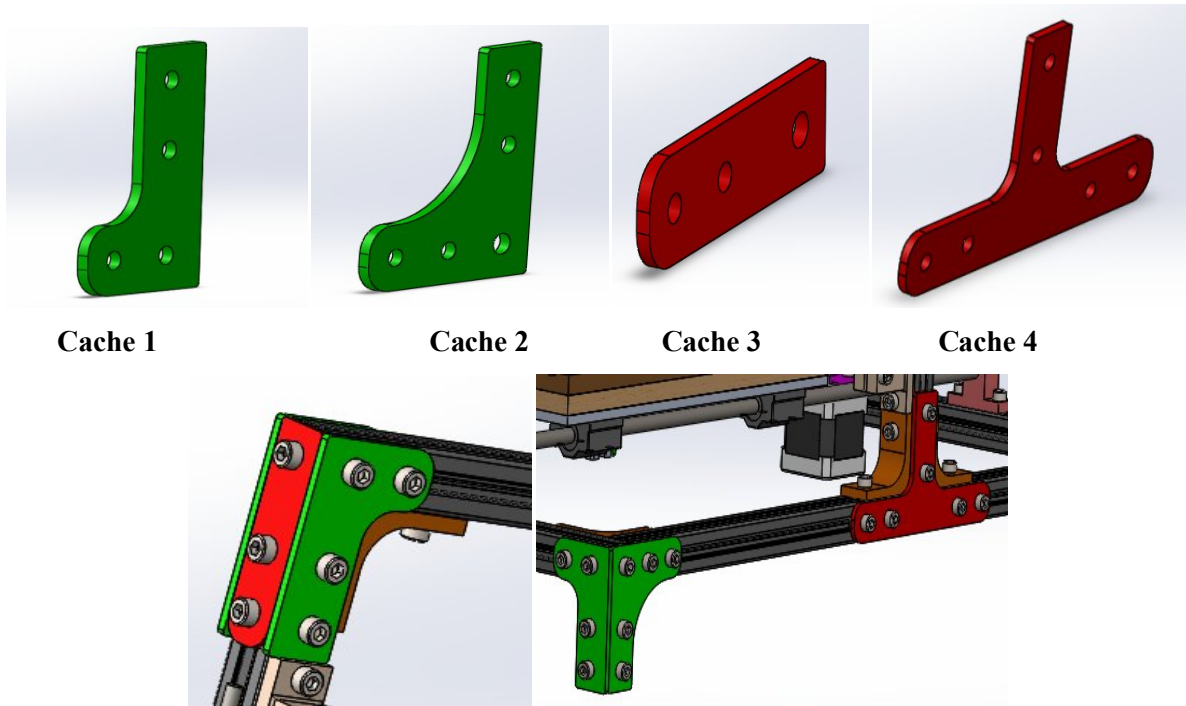


Figure II.11 : Les caches

➤ **Dimensions :**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Cache 1	70	43	3
Cache 2	70	60	3
Cache 3	70	20	3
Cache 4	128	70	3

Tableau II.5: Dimensions des caches

3.5 Porte glissière horizontal :

➤ **Forme :**

Cette pièce sert d'encastrement pour les glissières sur l'axe X, elle assure leur fixation, et les empêchent de bouger (figure II.12).

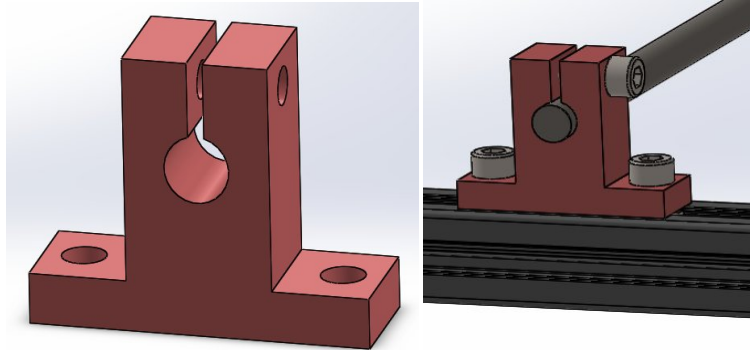


Figure II.12 : Le porte glissières horizontal

➤ **Dimensions :**

Dimensions (mm)	
Longueur	42
Largeur	32.80
Profondeur	14

Tableau II.6 : Dimensions de porte glissière horizontale

3.6 Porte glissières vertical :

➤ **Forme :**

C'est la même que la pièce précédente, juste qu'on a changé de plan aux perçages pour pouvoir la fixer la glissière de l'axe Z (figure II.13).

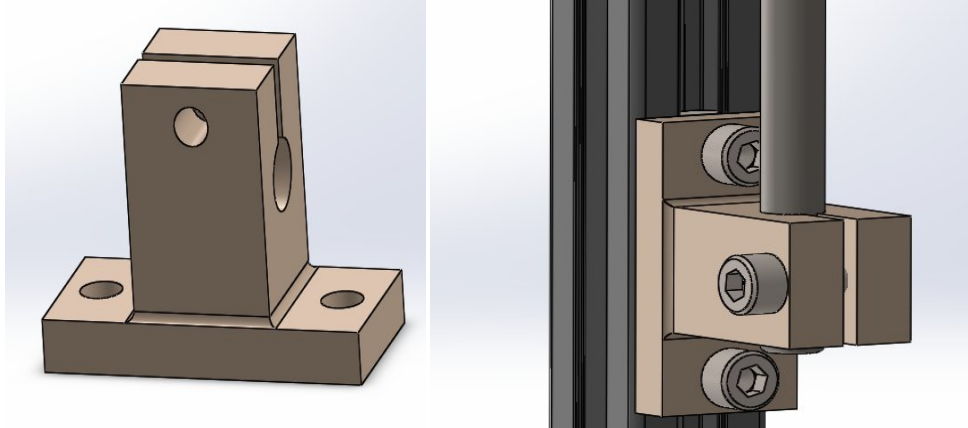


Figure II.13 : Le porte glissières vertical

➤ **Dimensions :**

Dimensions (mm)	
Longueur	42
Largeur	32.82
Profondeur	20

Tableau II.7 : Dimensions de porte glissière verticale

3.7 Boite pignon et tige de pignon :

➤ **Forme :**

Elle sert à fixer le pignon avec une tige pour assurer une bonne transmission (figure II.14).

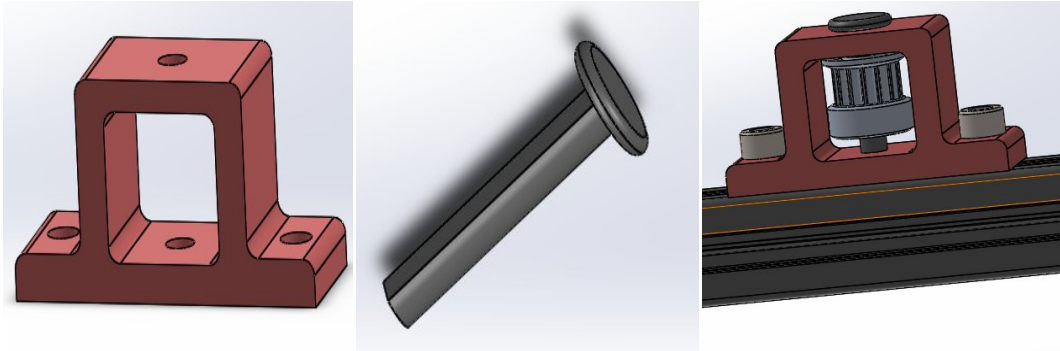


Figure II.14 : Boite pignon et tige de pignon

➤ **Dimensions :**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Boite pignon	54	28	20

Tableau II.8.a : Dimensions de la boite pignon

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Tige de pignon	32	12

Tableau II.8.b : Dimensions de la tige du pignon

3.8 Porte moteur:

➤ **Forme :**

C'est la pièce qui nous permet de placer le moteur ou on veut sur le châssis (figure II.15).

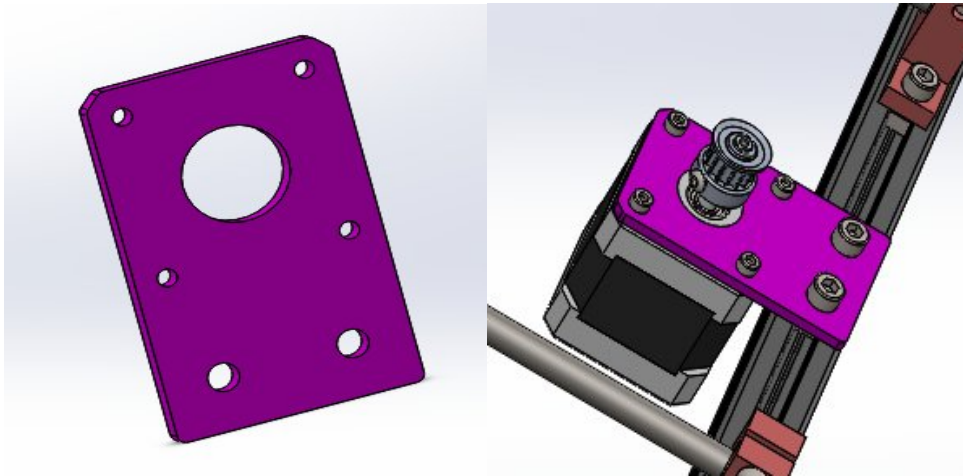


Figure II.15: Porte moteur

➤ **Dimensions:**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte moteur	67	42	3

Tableau II.9 : Dimensions du porte moteur

3.9 Coupleur:

➤ **Forme:**

C'est une pièce qui est destinée pour assurer la liaison entre deux systèmes, généralement destinée à transmettre un mouvement (figure II.16).

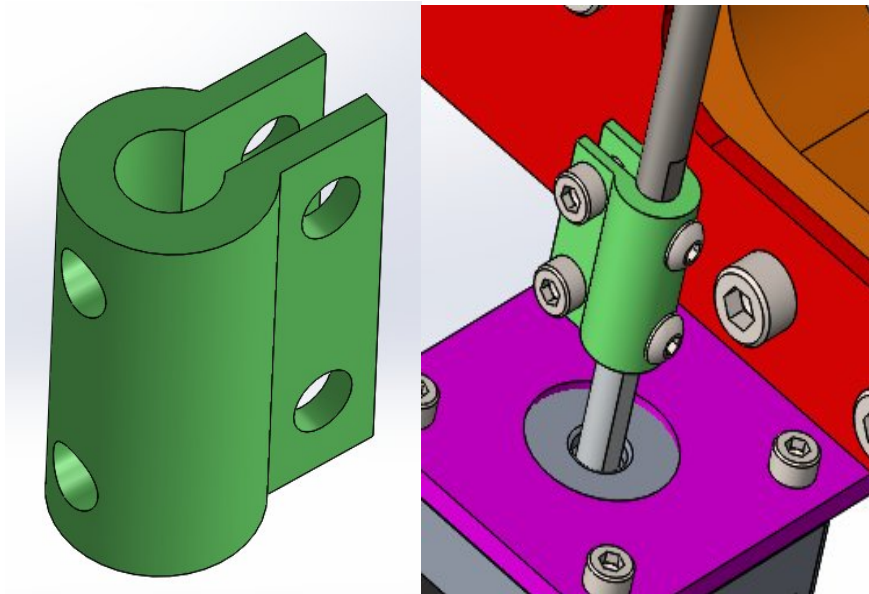


Figure II.16 : Coupleur

➤ **Dimensions:**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Coupleur	20	15	10

Tableau II.10 : Dimensions du coupleur

3.9 Porte courroies et plaque dentée:

➤ **Forme:**

Permet de réaliser la liaison complète entre la courroie et la table, ou bien l'extrudeur (figure II.17).

* **Cale:** c'est une pièce intermédiaire entre la table et le porte courroies pour assurer le bon fonctionnement du système (figure IV.18).

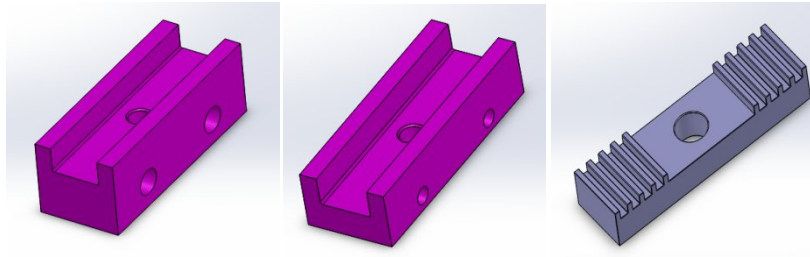


Figure II.17 : Porte courroies, Mini porte courroies et Plaque dentée.

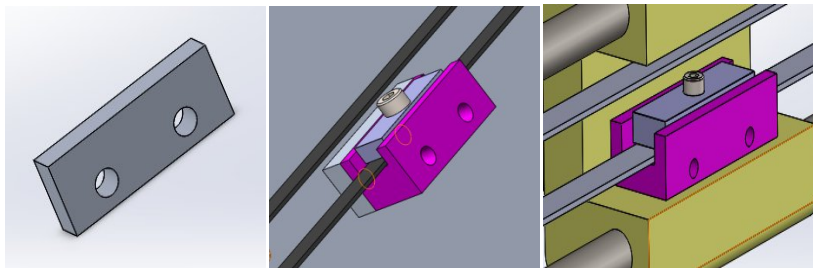


Figure II.18 : La cale et son emplacement

➤ **Dimensions :**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte courroies	40	15	15
Mini porte courroies	40	15	10
Plaque dentée	32	9	4.85
Cale	40	15	5.73

Tableau II.11 : Dimensions du porte courroie, plaque dentée et cale

3.10 Glissières et arbre fileté:

➤ Forme:

Les glissières assurent le guidage transversal, horizontal et vertical de la table et l'extrudeur, et l'arbre fileté assure le déplacement du train horizontal (figure II.19).



Figure II.19: Glissières et Arbre fileté

➤ Dimensions:

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Arbre fileté	440	M6
Glissière verticale	390	8
Glissière horizontale	558	8
Glissière transversale	540	8

Tableau II.12 : Dimensions des glissières et de l'arbre fileté

3.11 Les tables:

Les tables sont les supports de la pièce imprimée (figure II.20).

➤ **Forme:**

a. Lit chauffant:

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

b. Couche isolante:

Elle sépare le lit chauffant et la table.

c. La table:

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

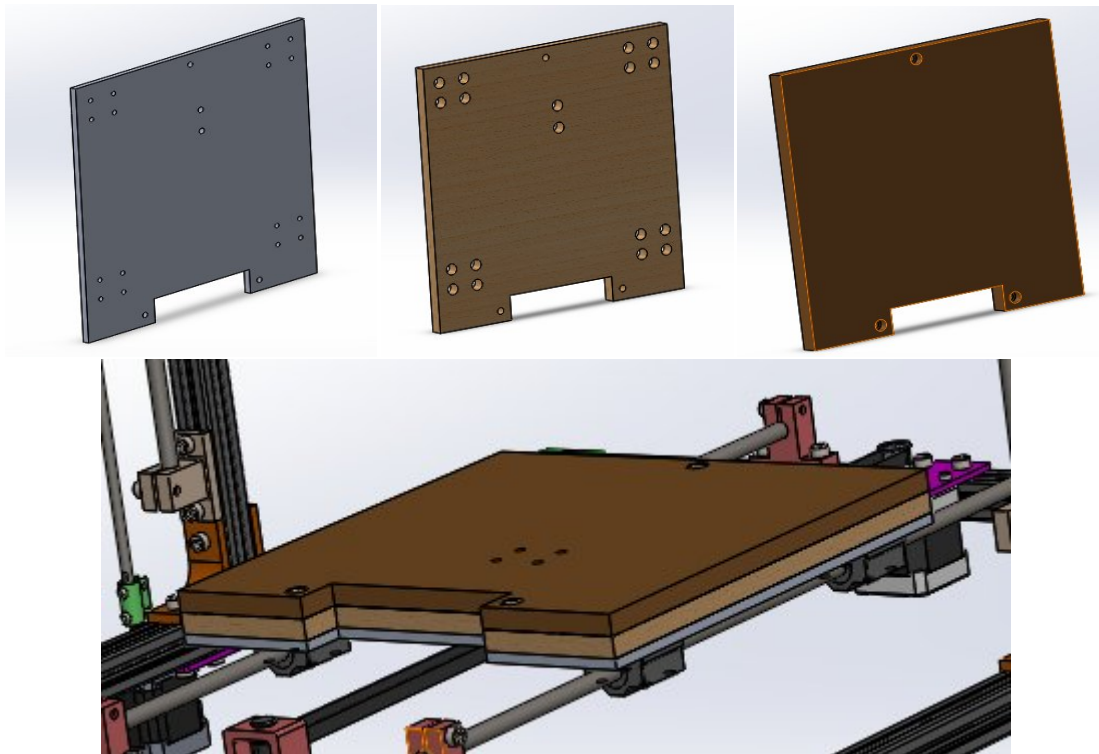


Figure II.20 : Les tables

➤ **Dimensions:**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Lit chauffant	240	240	10
Couche isolant	240	240	10
Table	240	240	5

Tableau II.13 : Dimensions des tables

3.12 Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal:

➤ **Forme:**

Le porte moteur horizontal, sert à porter le moteur horizontal avec son pignon et la courroie, porte les deux glissières horizontales, la glissière et l'arbre fileté sur le plan vertical, (figure II.21).

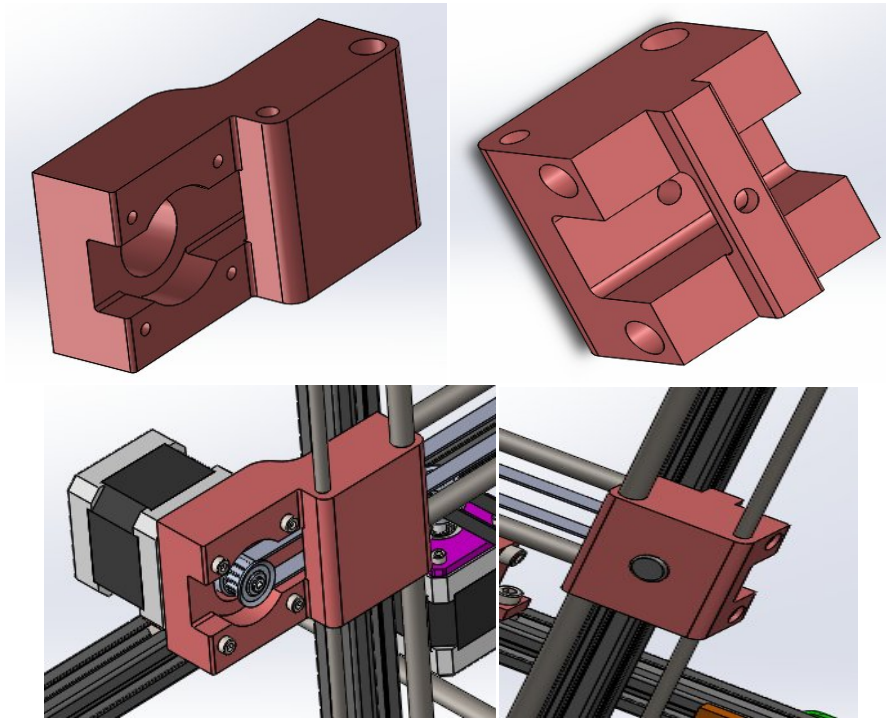


Figure II.21 : Porte moteur horizontal et Porte pignon horizontal

➤ **Dimensions:**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Porte moteur horizontal	50	47	29
Porte pignon horizontal	90	50	34

Tableau II.14 : Dimensions du porte moteur et porte pignon horizontaux

3.13 La bobine et tige de bobine:

➤ **Forme:**

La bobine sert à porter le filament, et le porte bobine sert à fixer la bobine au châssis (figure II.22).

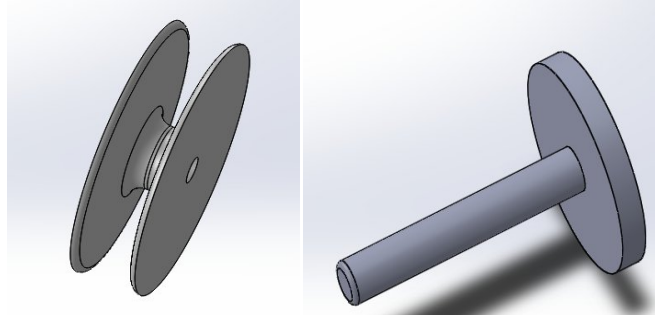


Figure II.22 : La bobine et Tige de bobine

➤ **Dimensions:**

	Longueur (mm)	Diamètre max (mm)	Diamètre min (mm)
La bobine	20	80	8.20
Tige de bobine	55	38	8

Tableau II.15 : Dimensions de la bobine et de la tige de la bobine

3.14 L'extrudeur:

➤ Forme:

L'ensemble composé de cette roue dentée motorisée et de la buse chauffante qui fond le filament (figure II.23).

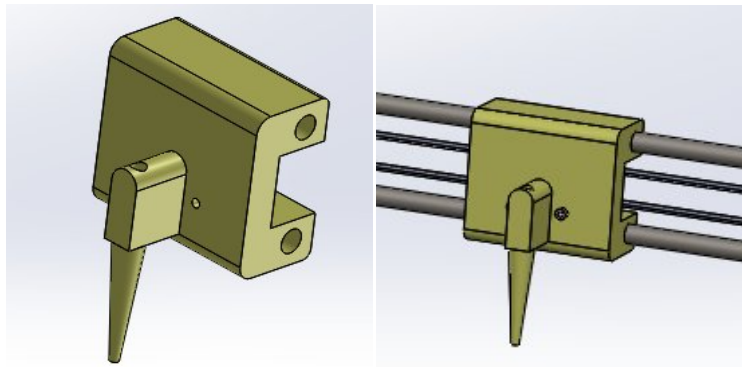


Figure II.23 : L'extrudeur

➤ Dimensions:

	Longueur (mm)	largeur (mm)	Profondeur (mm)
L'extrudeur	60	54	48.61

Tableau II.16 : Dimensions de l'extrudeur

3.15 L'assemblage final :

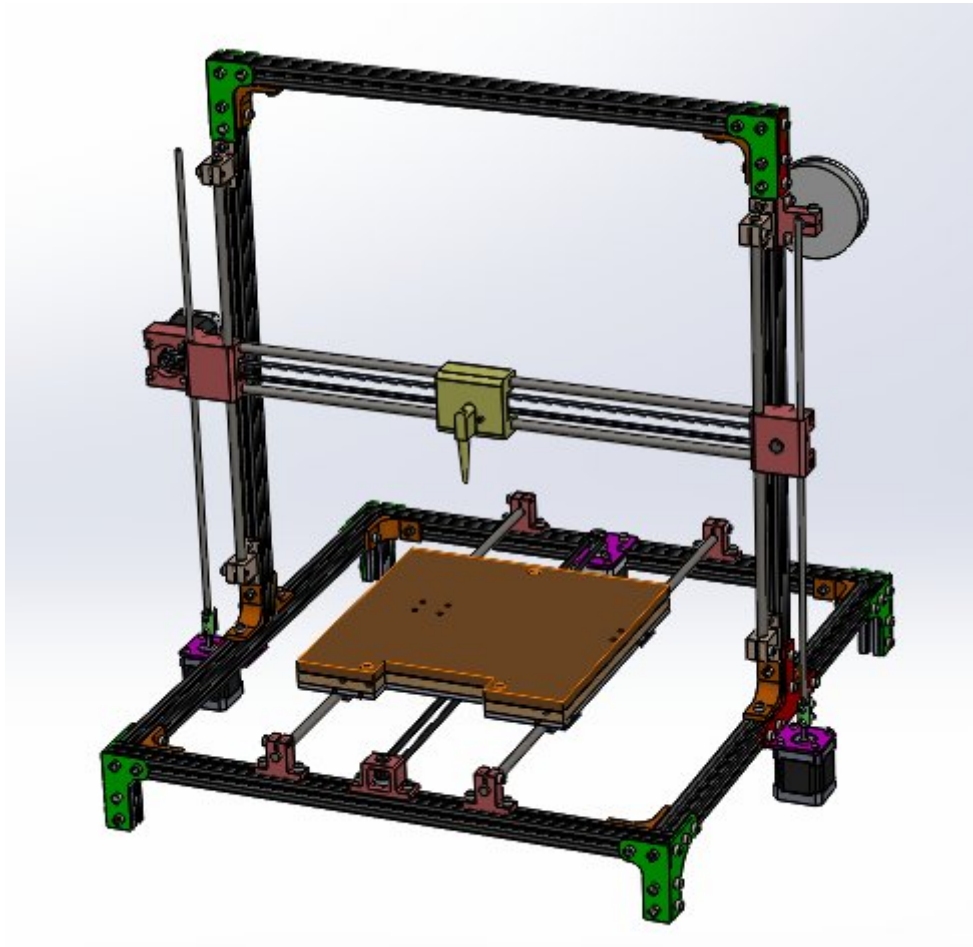


Figure II.24 : L'assemblage final

➤ Dimensions :

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Imprimante 3D	540.00	500.00	570.00

Tableau II.17 : Dimensions de l'imprimante 3D

4. Justification du choix des matériaux :

Cette partie permettra de définir et justifier le choix des matériaux utilisé.

Matériaux	Eléments
Alliage d'aluminium 6063 T1	La poutre
201 Acier inoxydable recuit	Pièce écrou
PBT à usage général	La bobine
Aisi 1020 acier laminé à froid	Glissières sur l'axe X
Bronze d'aluminium	Lit chauffant
Balsa	Couche isolante
Caoutchouc	Les courroies
Aisi 1010 barre d'acier laminée à chaud	<ul style="list-style-type: none"> • Glissières sur l'axe Y • Glissières sur l'axe Z • Arbre fileté • Tige de pignon
Alliage d'aluminium 1060	<ul style="list-style-type: none"> • Pièce L • Les caches • Le coupleur • L'extrudeur • La cale • Porte courroies • Mini porte courroies • Porte pignon • Porte bobine • Plaque dentée • Table • Porte glissières vertical • Porte glissières horizontal • Porte moteur • Porte moteur horizontal

Tableau II.18: Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux

4.1 Alliage d'aluminium 6063 T1:

6063 T1 est un alliage d'aluminium, magnésium et silicium. 6063 est principalement utilisé dans des formes extrudés pour l'architecture, en particulier les cadres de fenêtres, des portes, des toits, et signer des cadres.

La température de fusion des alliages d'aluminium est $T_f \approx 660^\circ$, apte aux opérations de fonderie. Sa résistance à l'élasticité est $E = 69$ GPa.

Nous avons choisi l'alliage d'aluminium 6063 T1 pour notre poutre parce que c'est un alliage très ductile vue qu'on peut aisément le mettre en forme. Il présente des propriétés mécaniques spécifiques, sa masse volumique est trois fois moins que l'acier, $\rho = 2700$ Kg.m⁻³.

Il résiste bien à la corrosion grâce à la formation d'une couche d'oxyde en surface.

4.2 Acier inoxydable recuit :

L'acier inoxydable est un alliage d'acier comportant moins de 1.2% de carbone, avec plus de 10.5% de chrome, c'est un métal légèrement plus doux que l'acier ordinaire et a un aspect lumineux et éclatant. L'avantage de l'acier inoxydable est sa résistance à l'oxydation, ce qui en fait un choix optimal dans un environnement extérieur où l'humidité est souvent présente dans l'air.

4.3 L'alliage d'aluminium 1060 :

L'alliage d'aluminium 1060, est un alliage dont l'élément principal est l'aluminium, il se compose de 99% d'aluminium au minimum. On l'a utilisé à cause de sa légèreté et sa rigidité.

4.4 PBT à usage général :

Poly butylène téréphtalate est un polymère thermoplastique faisant partie de la famille des polyesters. Parmi ces principales caractéristiques, c'est qu'il a une excellente tenue à la chaleur, une bonne tenue aux agents chimiques et un bon comportement vis-à-vis des frottements et en fatigue.

4.5 Aisi 1020 acier laminé à froid :

On l'a choisi pour les glissières à cause de sa grande résistance à l'élasticité $R_e = 350$ N/mm².

4.6 Bronze d'aluminium :

Les alliages d'aluminium bronzes sont une gamme d'alliages à base de cuivre dans lesquels l'aluminium constitue jusqu'à 14% l'élément d'alliage primaire. Nous l'avons choisi comme matériau pour le lit chauffant parce que c'est un très bon conducteur thermique qui aidera la première couche de la pièce imprimée à adhérer.

4.7 Le balsa :

C'est un terme qui désigne un bois extrêmement léger, Il vient souvent en complément d'autres matériaux composites, et peut donc être utilisé pour fabriquer de véritables sandwichs, composés de plusieurs couches de matériaux dont l'aluminium. C'est un isolant thermique c'est pour ça qu'on l'a utilisé comme matériau à la table pour qu'elle ne conduise pas la chaleur sur toute la machine.

4.8 Le caoutchouc :

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

4.9 Aisi 1010 barre d'acier laminée à chaud :

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

5. La partie électronique :

5.1 Arduino :

Afin de fonctionner correctement, l'imprimante 3D est pilotée par une **carte électronique** qui va centraliser toutes les informations afin de commander les moteurs, la température de chauffe, écouter les différents capteurs. Cette carte fait le lien entre le PC (les fichiers 3D) et la partie hardware (matériel) de l'imprimante. Doté du nom d'Arduino cette carte est pas protégée par des droits d'auteurs, et permet de piloter tous types de systèmes (drone, robot, imprimante 3D, système d'arrosage,...) à condition de la programmer pour ça.

La première étape est d'envoyer une suite de paramètres et d'informations à la carte Arduino afin que celle-ci fonctionne en mode « imprimante 3D ». On télécharge donc ces informations directement dans la carte, qui les stockera par la suite. Une fois les fichiers téléchargés, et le micro-logiciel est communiqué à la carte électronique, la carte Arduino fonctionnera en mode imprimante 3D. Une fois votre carte Arduino configurée, il faut un logiciel host et un slicer.

5.2 Le logiciel host :

Il permet d'ouvrir simplement des fichiers 3D, et de les envoyer vers l'imprimante. L'host sert aussi de logiciel de commande et de réglages de l'imprimante. Ce qui veut dire qu'on va pouvoir paramétrer notre imprimante 3D. Par exemple, c'est grâce au logiciel host qu'on va définir à quelle température l'extrudeur va monter, quelles sont les coordonnées de la machine (X0, Y0 et Z0) et pas mal d'autres paramètres.

5.3 Le Slicer :

Le slicer est un logiciel différent de l'host, mais en revanche, il est intégré dans l'host.

Le slicer est une partie très importante du processus d'impression. Pour faire simple, il va transformer un fichier 3D au format STL en G-code. Le G-code c'est une suite d'instructions qui vont être envoyées à l'imprimante 3D, et qui vont permettre d'imprimer la pièce.

Le G-code, c'est une sorte de carte d'identité de l'objet. C'est ce code, assimilé par Arduino, qui va permettre de dessiner la pièce.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a cité toutes les solutions possibles pour concevoir notre imprimante, on est passé par tous les systèmes dont elle se compose, puis on a cité les pièces dont elle se compose leurs formes et leurs dimensions suivant les trois axes X, Y et Z ainsi que le matériau utilisé pour chaque pièce avec la justification de tous les choix que nous avons fait, a la fin on a abordé la partie électronique avec la carte et les logiciels pilotant.

1. Introduction :

L'étude en résistance des matériaux est une étape nécessaire, elle permet d'évaluer les déformations éventuelles des pièces, et donc leur durée de vie.

Notre étude se limite seulement sur les éléments de l'imprimante les plus sollicités, qui sont les glissières qui se trouvent sur les axes X et Y, et qui ont tendance à fléchir à cause du poids des éléments qu'elles supportent.

2. Définition :

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

3. Détermination des masses :

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

On a utilisé des pièces normalisées et des pièces usinées. Les masses des pièces normalisées sont tirées d'après les catalogues des fournisseurs. Les masses des pièces usinées sont tirées approximativement du logiciel de conception Solidworks 2014. Le tableau (IV.1) représente les masses des pièces de notre machine.

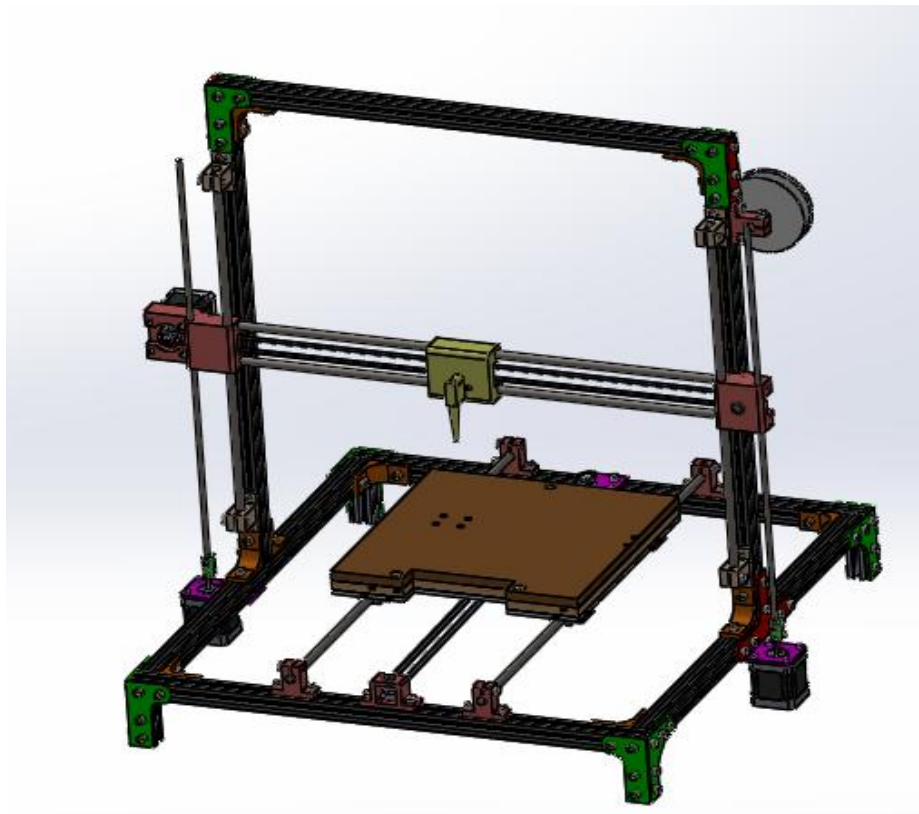


Figure III.1 : Imprimante 3D

Nom de la pièce	Volume (mm ³)	Masse (Kg)	Désignation (m _i)
Extrudeur	64559.39	174.31 .10 ⁻³	m ₁
Mini porte courroies	3926.67	10.60 .10 ⁻³	m ₂
Courroies	8120.32	8.12 .10 ⁻³	m ₃
Porte courroies	6486.85	17.51 .10 ⁻³	m ₄
Poulie	1836.53	4.96 .10 ⁻³	m ₅
Plaque dentée	1078.55	2.91 .10 ⁻³	m ₆
La cale	3185.17	8.60 .10 ⁻³	m ₇
Moteur	74664.59	574.92 .10 ⁻³	m ₈
Table	275126.50	742.84 .10 ⁻³	m ₉
Couche isolante	538514.60	86.16 .10 ⁻³	m ₁₀
Lit chauffant	551965.53	4084.54 .10 ⁻³	m ₁₁
Supports de table	16144.20	43.59 .10 ⁻³	m ₁₂
Pièce imprimée	/	500 .10 ⁻³	m ₁₃
Poutre	81917.88	221.18 .10 ⁻³	m ₁₄
Coupleur	1261.41	3.41 .10 ⁻³	m ₁₅
Porte glissières horizontal	8790.74	23.73 .10 ⁻³	m ₁₆
Porte glissières vertical	11976.41	32.34 .10 ⁻³	m ₁₇
Porte pignon	11652.52	31.46 .10 ⁻³	m ₁₈
Pied	8191.79	8.19 .10 ⁻³	m ₁₉
Glissières transversales X	27143.36	213.62 .10 ⁻³	m ₂₀
Glissières horizontales Y	28048.14	220.74 .10 ⁻³	m ₂₁
Bobine	34428.43	44.76 .10 ⁻³	m ₂₂
Tige de la bobine	8178.76	8.18 .10 ⁻³	m ₂₃
Porte pignon horizontal	37537.67	101.35 .10 ⁻³	m ₂₄
porte moteur horizontal	75786.30	204.62 .10 ⁻³	m ₂₅
Glissières verticales Z	19593.35	154.20 .10 ⁻³	m ₂₆
Arbre filetée	7873.37	7.87 .10 ⁻³	m ₂₇
Cache 1	5756.41	15.54 .10 ⁻³	m ₂₈
Cache 2	6743.41	18.18 .10 ⁻³	m ₂₉
Cache 3	3888.81	10.50 .10 ⁻³	m ₃₀
Cache 4	10243.94	27.66 .10 ⁻³	m ₃₁
Porte moteur	7413.11	20.02 .10 ⁻³	m ₃₂
Tige de pignon	749.57	5.90 .10 ⁻³	m ₃₃
Pièce écrou	311.83	2.45 .10 ⁻³	m ₃₄
Pièce L	8401.23	22.68 .10 ⁻³	m ₃₅

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

Vis de fixation	Volume (mm ³)	Masse (Kg)
Vis chc M 2.5	73.76	0.07 .10 ⁻³
Vis chc M 3	146.38	0.15 .10 ⁻³
Vis chc M 4	258.60	0.26 .10 ⁻³
Vis chc M 5	395.01	0.40 .10 ⁻³
Vis à tête bombé M 3	61.83	0.06 .10 ⁻³

Tableau III.2 : Les masses des vis de fixation

4. Théories et applications numériques :

4.1 Calcul de la flèche et du moment fléchissant maximal :

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

$$M_f = -EI \cdot \ddot{y}$$

Equation (III.1)

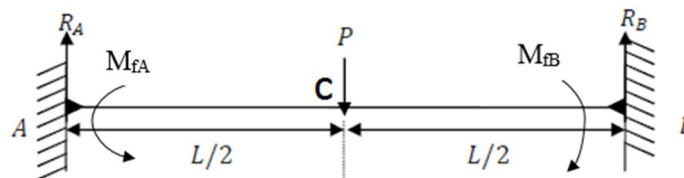


Figure III.2 : Poutre encastree-encastree

Avec : M_f : moment fléchissant.

E : module d'élasticité longitudinale.

\ddot{y} : dérivée seconde de la déformée y.

I : moment quadratique de la section, tel que :

$$I = \pi d^4 / 64$$

Equation (III.2)

- Par symétrie : $R_A = R_B = \frac{P}{2}$
- $M_{fA} = -M_{fB}$
- $M_{f \max} = M_{f(x=\frac{L}{2})}$

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

P : c'est la charge appliquée au centre des glissières ; $P = \sum m_i \cdot g$

Tels que m_i : somme des masses (Kg).

Equation (III.3)

g : gravité (N/Kg)

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

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

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

$$EI \ddot{y}_{AC} = -M_{fAC} = \frac{P/2}{2} \cdot x - M_{fA}$$

$$EI \dot{y}_{AC} = \frac{(P/2) \cdot x^2}{4} - M_{fA} \cdot x + C_1$$

$$EI y_{AC} = \frac{(P/2) \cdot x^3}{12} - M_{fA} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1 \cdot x + C_2$$

Conditions aux limites :

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

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

$$EI \dot{y}_{AC} = 0 \quad \Longrightarrow \quad \frac{P/2}{4} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 - M_{fA} \cdot \frac{L}{2} = 0$$

Donne: $M_{fA} = \frac{(P/2) \cdot L}{8}$

Equation (III.4)

$$\dot{y}_{AC} = \left[\frac{(P/2) \cdot x}{4EI} \right] \left(x - \frac{L}{2} \right)$$

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

$$y_{AC} = \left[\frac{(P/2) \cdot L^2}{16EI} \right] \left(\frac{2L-3L}{12} \right)$$

$$y_{AC} = -\frac{1}{192} \cdot \frac{(P/2)L^3}{EI} \text{ (mm)}$$

Equation (III.5)

➤ Applications numériques:

1. Calcul de la fleche:

– Glissières sur l'axe Y:

Notre glissière ci-contre de longueur L=468mm, encastrée des deux extrémités soumise à une charge P en son milieu.

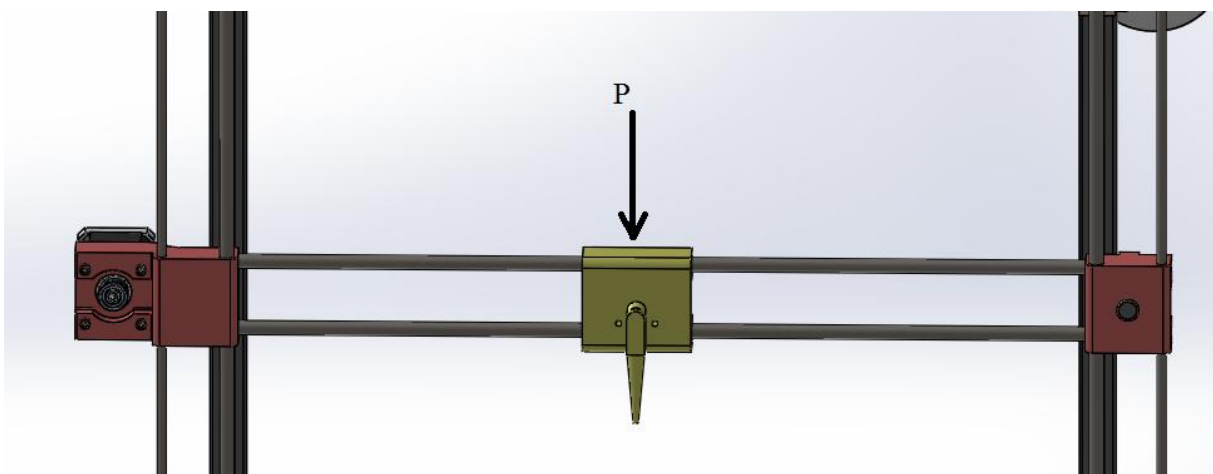


Figure III.3 : Glissières sur l'axe Y

La charge appliquée sur la barre de l'axe Y est : $P = \sum_1^8 m_i \cdot g$

$P = 0,8 \cdot 10 = 8N$ \implies $P = 8N$

Pour des raisons de sécurité la force choisit doit être supérieur à la force calculée, donc on prend : $P = 24N$

On a :

$$L = 468 \text{ mm}$$

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

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$I = \frac{3.14 \times (8)^4}{64} = 200.96 \text{ mm}^4$$

$$\text{De l'équation (IV.5) : } y_{AC} = -\frac{1}{192} \cdot \frac{12 \cdot (468)^3}{200 \cdot 10^3 \cdot 200.96}$$

$$y_{AC} = -0.16 \text{ mm}$$

– **Glissières sur l'axe X :**

Notre glissière de longueur $L=506\text{mm}$, encastrée des deux extrémités soumise à une charge en son milieu.

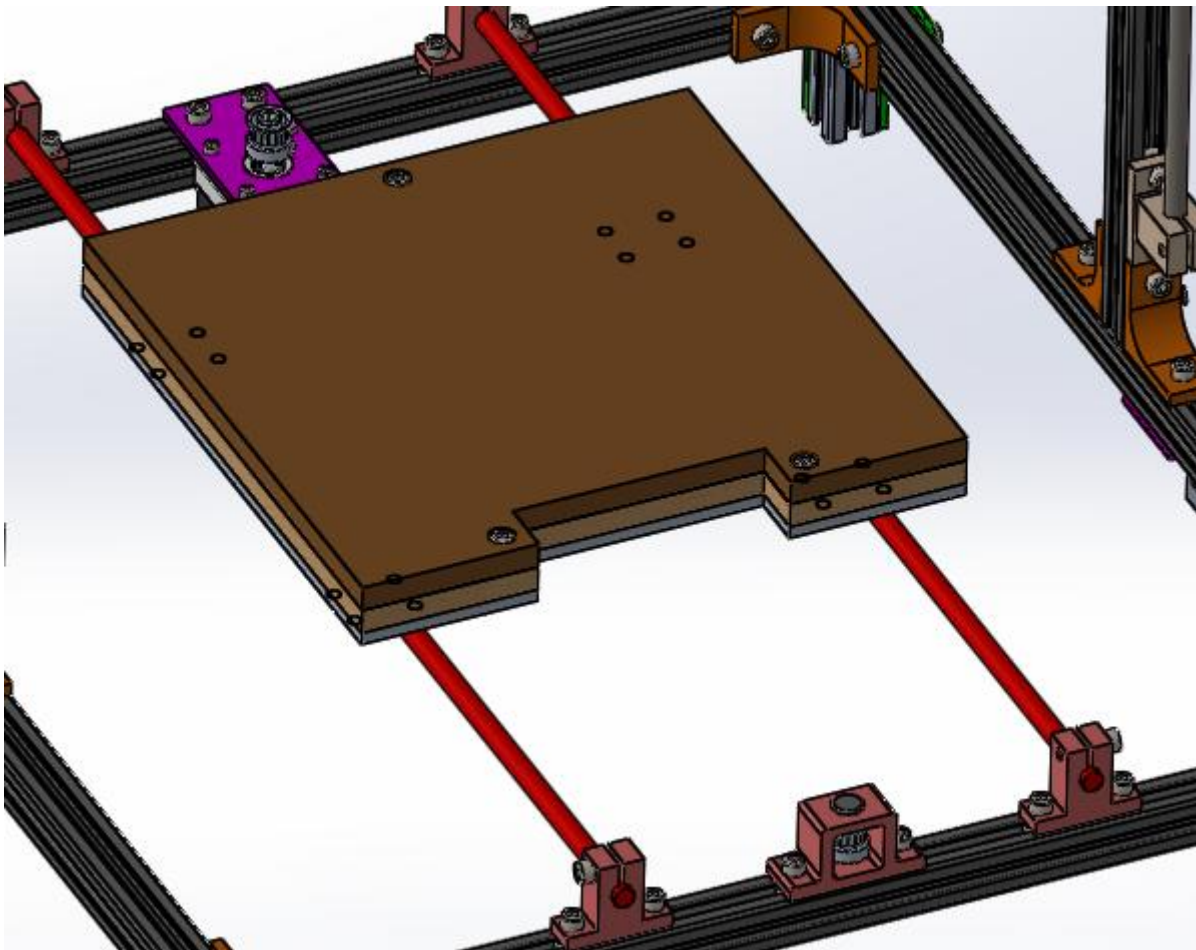


Figure III.4 : Glissières sur l'axe X

La charge appliquée sur la barre de l'axe X est : $P = \sum_3^{13} m_i \cdot g$

$$P = 60,74N$$

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

$$P = 150N$$

On a :

$$L = 506 \text{ mm}$$

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

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$I = \frac{3.14 \times (8)^4}{64} = 200.96 \text{ mm}^4$$

De l'équation (IV.5) :

$$y_{AC} = -\frac{1}{192} \cdot \frac{75 \cdot (506)^3}{200 \cdot 10^3 \cdot 200.96}$$

$$y_{AC} = -1.26 \text{ mm}$$

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

– Sur l'axe Y :

De l'équation (IV.4) :

$$M_{f \max} = \frac{(24/2) \cdot 468}{8}$$

$$M_{f \max} = 702 \text{ N. mm}$$

– Sur l'axe X :

$$M_{f \max} = \frac{(150/2) \cdot 506}{8}$$

$$M_{f \max} = 4743 \text{ N. mm}$$

4.2 Calcul de résistance :

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

$$R_{pe} = R_e / s$$

Avec R_e : résistance du matériau à l'élasticité

Equation (III.6)

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

Donc : $R_{pe} = 350/2$

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

4.3 Condition de résistance :

$$\sigma_f = \frac{M_{f \max}}{R_f} \leq R_{pe}$$

Equation (III.7)

Avec : σ_f : contrainte normale maximale. R_f : module de résistance à la flexion.

V : la distance entre la fibre neutre et le point de la section le plus éloigné, $V = d/2$.

I/V : Module de résistance à la flexion, noter R_f tel que :

$$R_f = \pi d^3 / 32$$

Equation (III.8)

➤ Applications numériques :

Sur l'axe Y :

On a: $M_{f \max} = 702 \text{ N.mm}$

$$R_f = 3,14 \cdot (8)^3 / 32$$

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

$$\text{Donc : } \sigma_f = \frac{702}{50,24}$$

$$\sigma_f = 13,97 \text{ N/mm}^2 < 175 \text{ N/mm}^2$$

Sur l'axe X :

On a: $M_{f \max} = 4743.75 \text{ N.mm}$

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

$$\text{Donc : } \sigma_f = \frac{4743.75}{50,24}$$

$$\sigma_f = 94.42 \text{ N/mm}^2 < 175 \text{ N/mm}^2$$

5. Résultats :

A partir des valeurs trouvées lors de nos calculs, on distingue que la condition de résistance est vérifiée, et que les glissières qu'on a utilisé résistent largement à la flexion.

6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié la résistance à la flexion des éléments les plus sollicités de notre imprimante qui sont les glissières qui servent de guidage sur les axes X et Y, nous avons déterminé la flèche et le moment fléchissant de chacune, puis déterminé si la condition de résistance est vérifiée. Les résultats que nous avons obtenus affirment que nos glissières résistent largement à la flexion.

Conclusion générale :

L'impression 3D est désormais considérée comme l'une des révolutions majeures du XXI^e siècle, capable de modifier profondément notre style de vie. Après avoir perduré longtemps dans l'industrie de pointe, cette technologie fait peu à peu sa place dans nos foyers et tend à s'intégrer dans notre société malgré ses limites actuelles. Dans les prochaines années à suivre, les avancées scientifiques permettront de pousser ses capacités au maximum, permettant d'imprimer n'importe quelle matière, n'importe quelle taille et toutes les formes possibles et inimaginables. Les applications notamment scientifiques seront alors démultipliées. D'autres outils comme les logiciels de modélisation suivront aussi cette évolution, devenant toujours plus performants et plus précis. On prévoit d'ici une dizaine d'années une explosion du nombre d'imprimantes 3D dans le monde, ce pic permettra de faire baisser les coûts et ainsi d'accéder à une démocratisation, mais cette fois ci dans nos foyers.

La production des objets sera alors centralisée et locale, chaque personne ayant des besoins et des objets à imprimer différents de son voisin. Les coûts de production baissant, on est en droit de s'attendre à une possible augmentation du niveau de vie dans les pays disposant de l'impression tridimensionnelle. De plus, de plus en plus de personnes voudront produire leurs propres objets et l'imprimante s'imposera comme ses prédécesseurs ; la machine à vapeur, l'électricité et le numérique, dans nos maisons et perdurera jusqu'à la prochaine évolution technologique. La IV^e révolution industrielle est en marche et persistera aussi longtemps que les hommes auront besoin de produire.

Liste des équations

Equation (III.1): Equation des moments fléchissant.

Equation (III.2): Equation du moment quadratique.

Equation (III.3): Equation du poids.

Equation (III.4): Equation du moment fléchissant maximal.

Equation (III.5): Equation de la flèche.

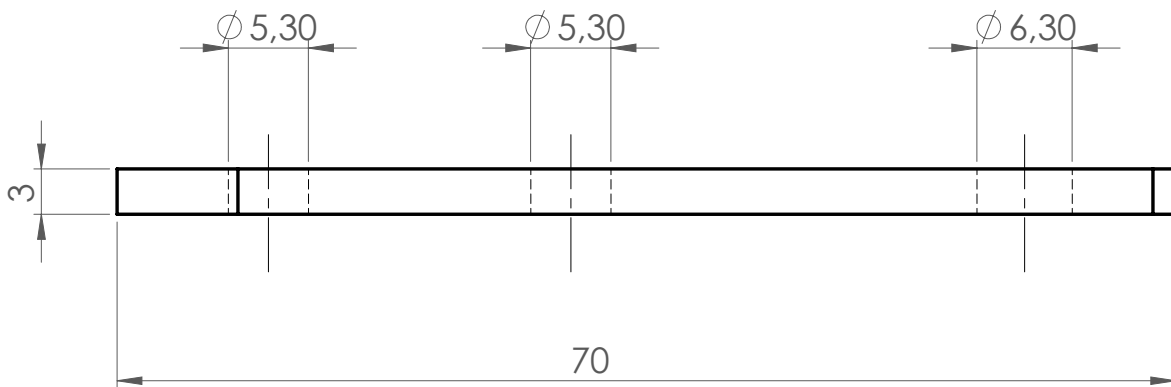
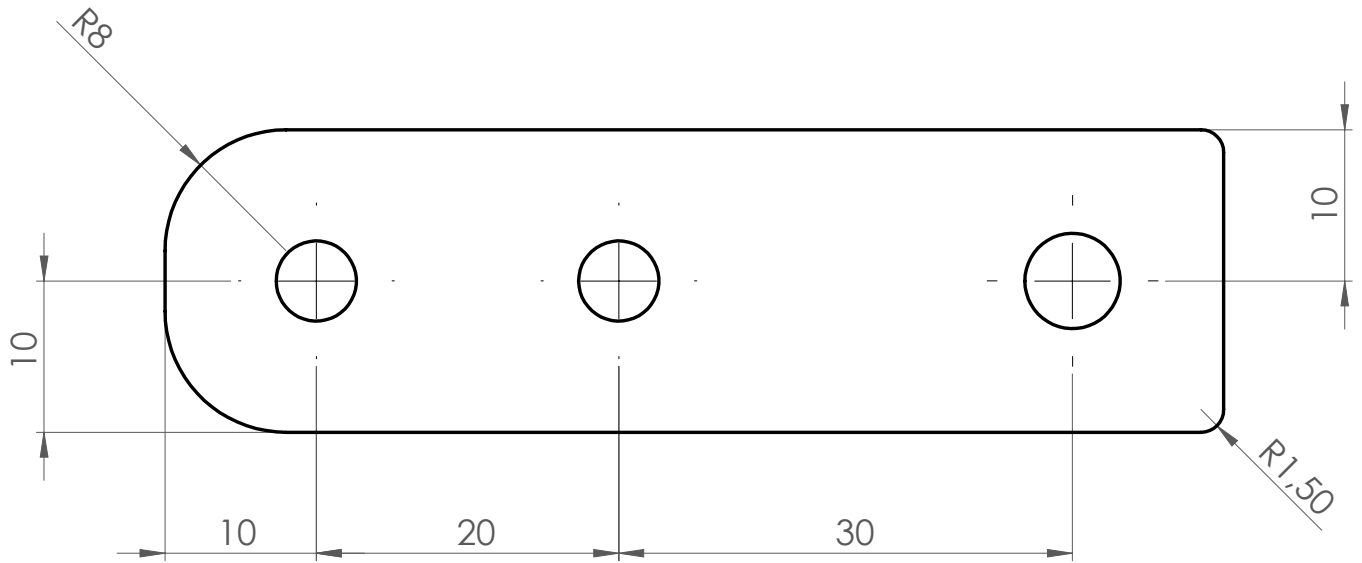
Equation (III.6): Equation de la résistance pratique à l'extension.

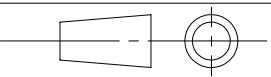
Equation (III.7): Equation de la contrainte normale maximale.

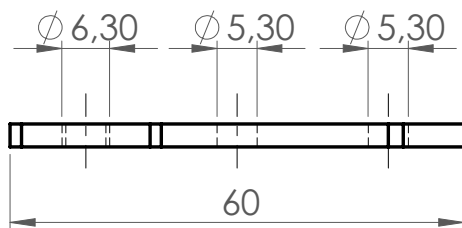
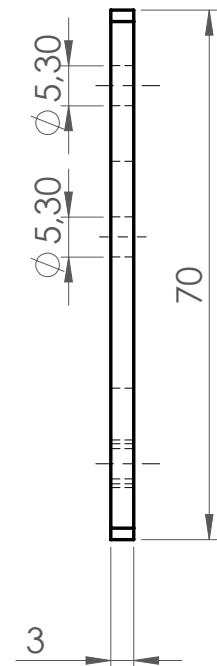
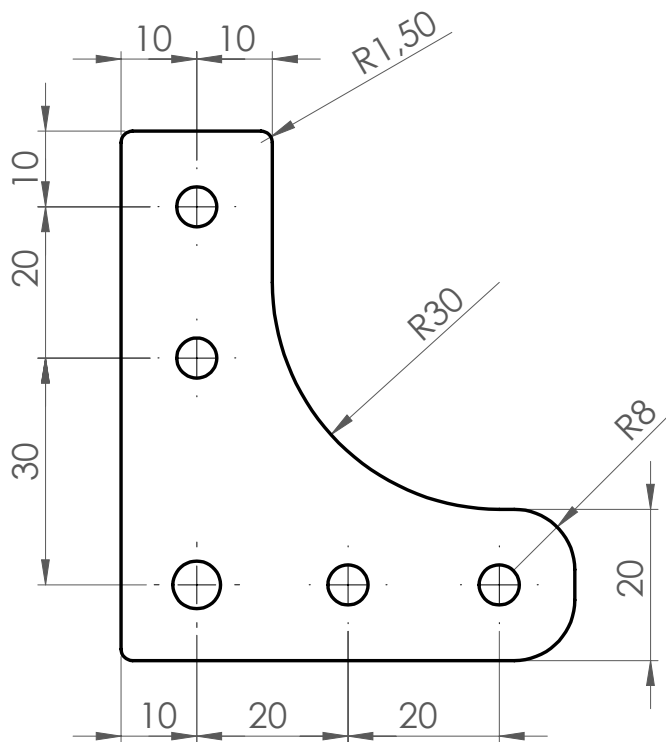
Equation (III.8): Equation du module de résistance à la flexion.

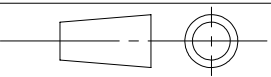
Références Bibliographiques

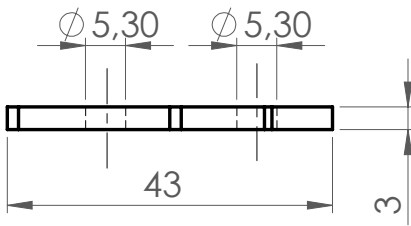
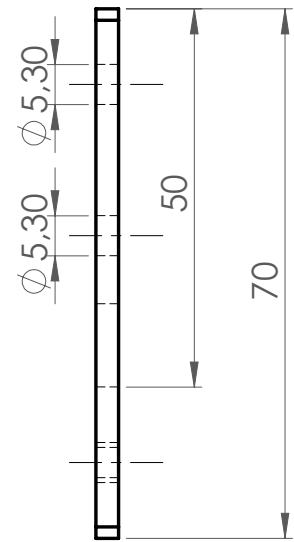
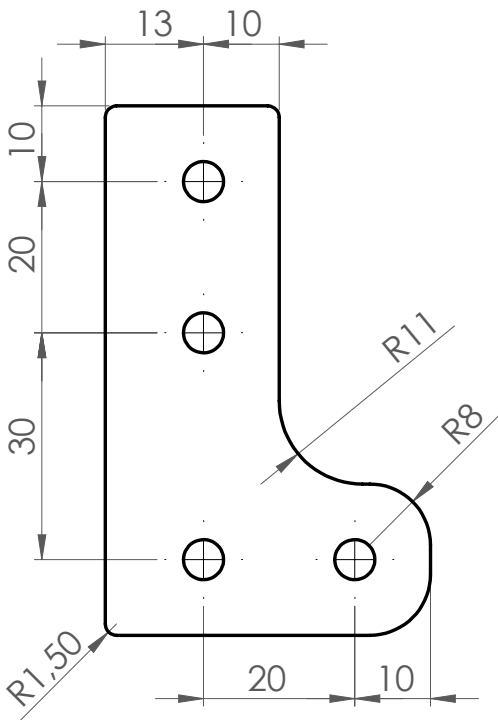
- [1] Stéphane Rufer, « Quel est l'impact de l'impression 3D sur le Supply Chain ? »; Université PARIS DAUPHINE, Master II ; 2013/2014.
- [2] Z-Corporation, Worldwide Headquarters.
- [3] Charlie Choissuard Elineau, « L'impression en volume, un avenir pour l'imprimante », N°1 juin 2011.
- [4] R .Itterbeek, RDM-Flexion.
- [5] Arnaud Delaplace, et all; Mécanique des structures, 2008.
- [6] TPE Imprimante 3D.
- [7] www.my3dprintedlife.com
- [8] www.wikipedia.com
- [9] G& Ltée, 2012
- [10] www.grabcad.com
- [11] Marc Burbridge, enseignant dessin de bâtiment. CIMME. CSMB, 15 novembre 2013.
- [12] Les NUMERIQUES, publié le 16 avril 2014
- [13] Pierrick Bouffaron, Mission pour la Science et la Technologie, Consulat Général de France à San Francisco, Août 2014.

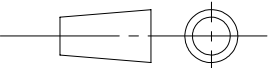


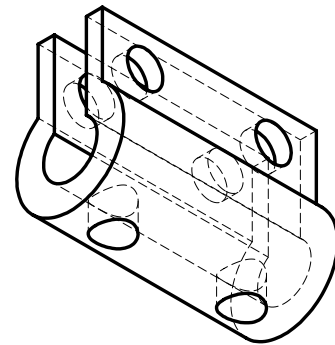
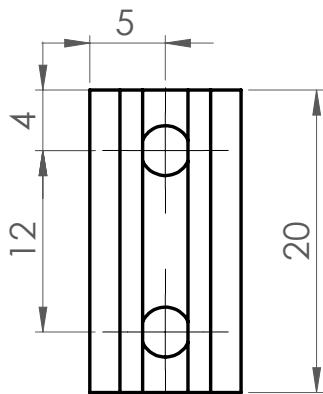
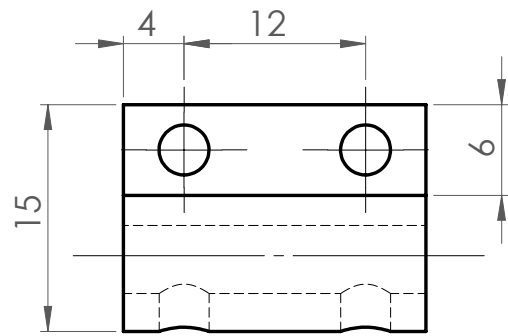
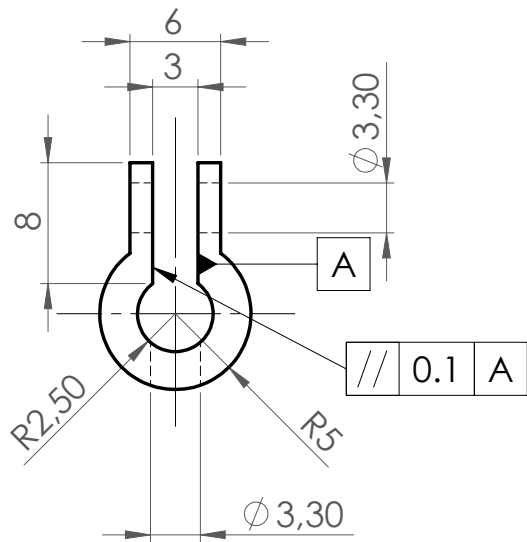
28	2	Cache 3	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

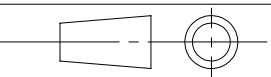


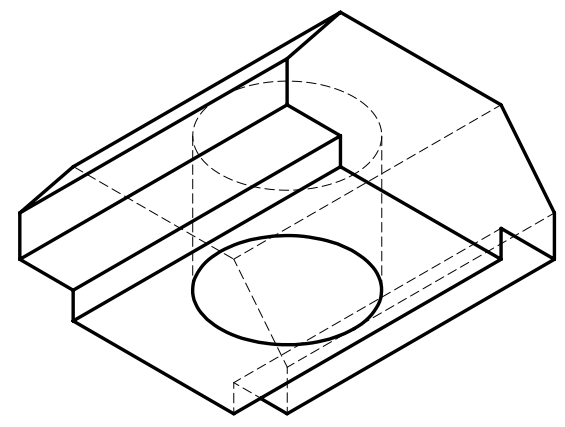
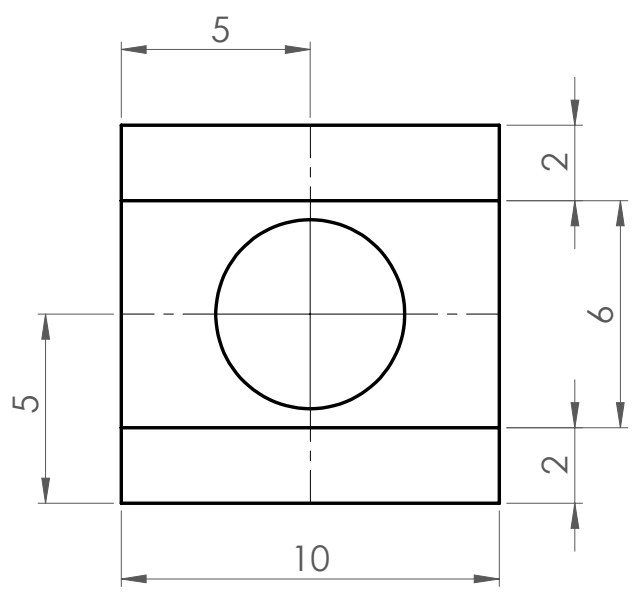
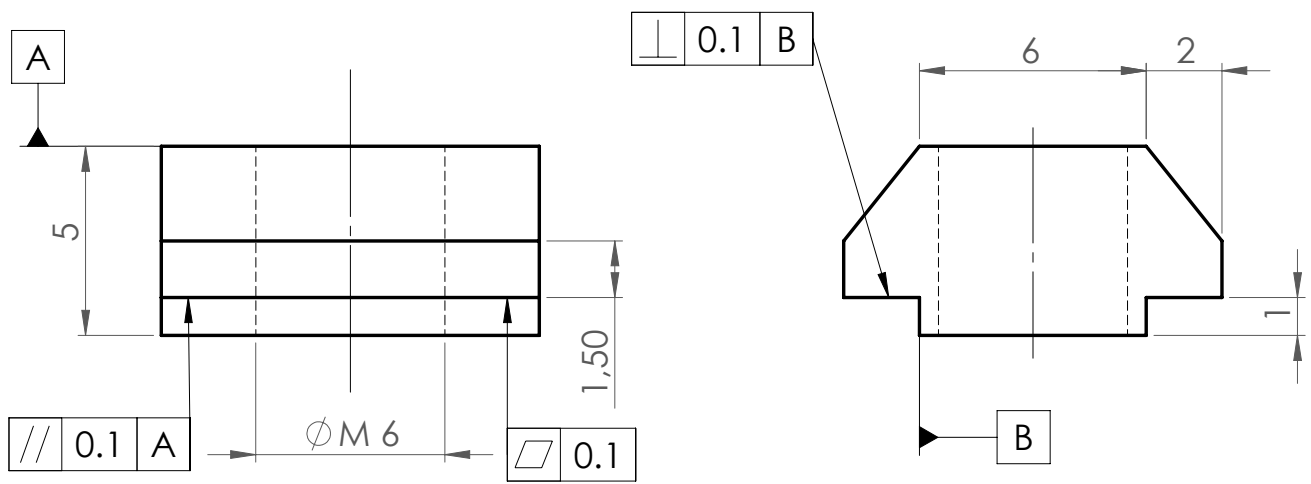
24	4	Cache 2	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par : Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

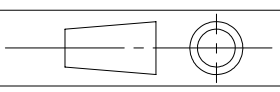


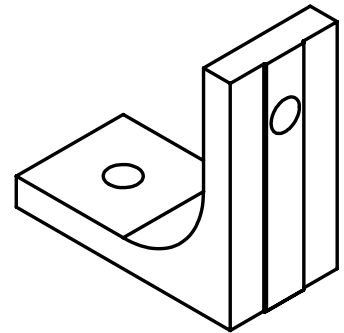
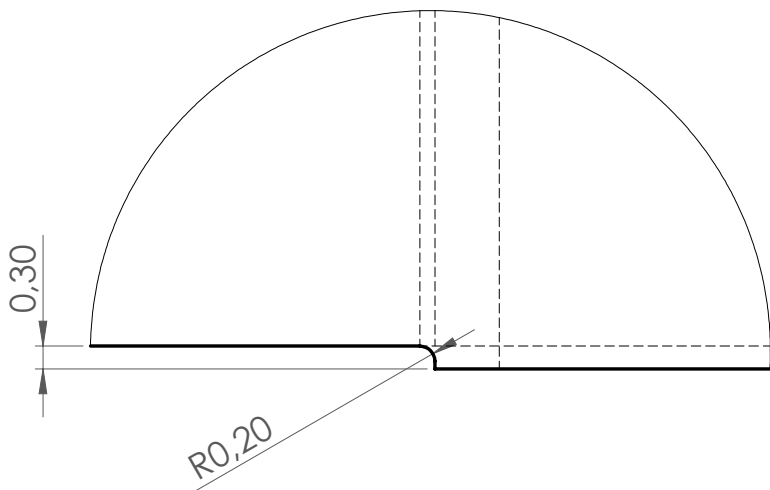
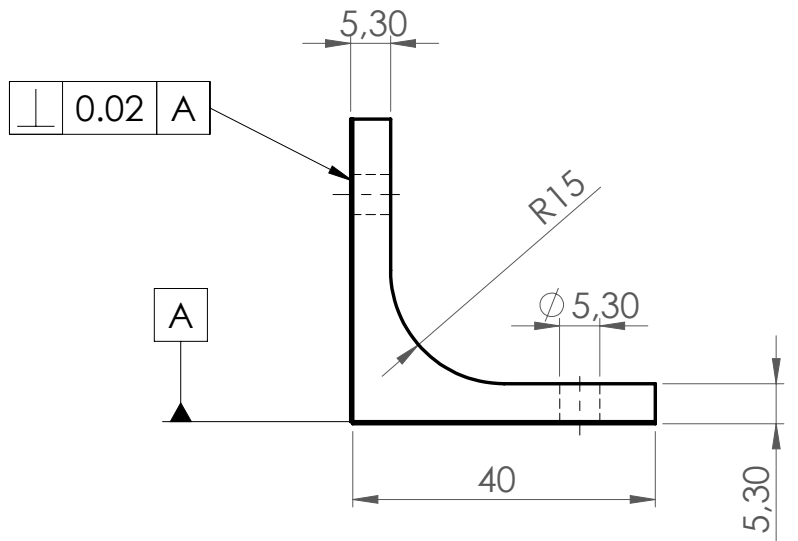
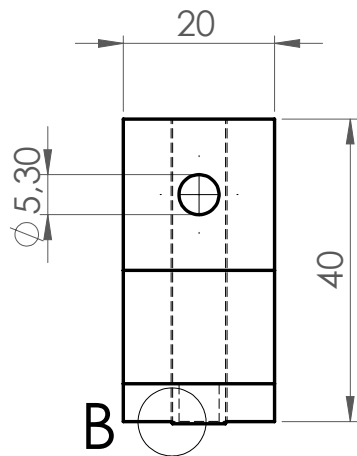
25	8	Cache 1	Alliage d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



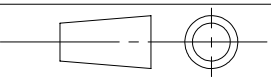
17	2	Coupleur	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

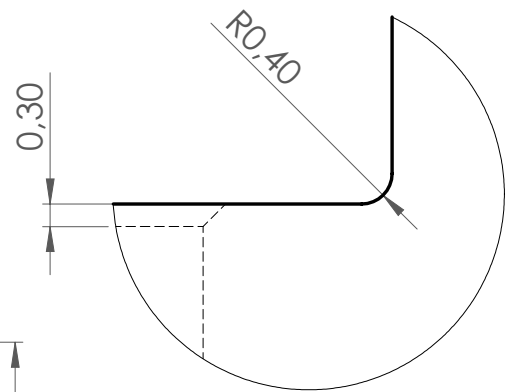
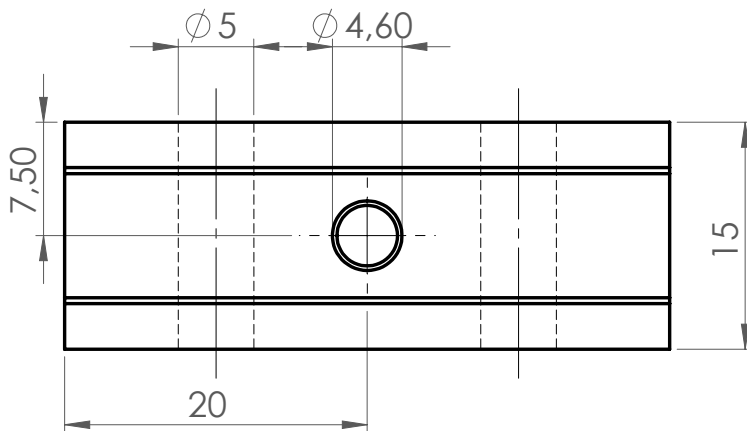
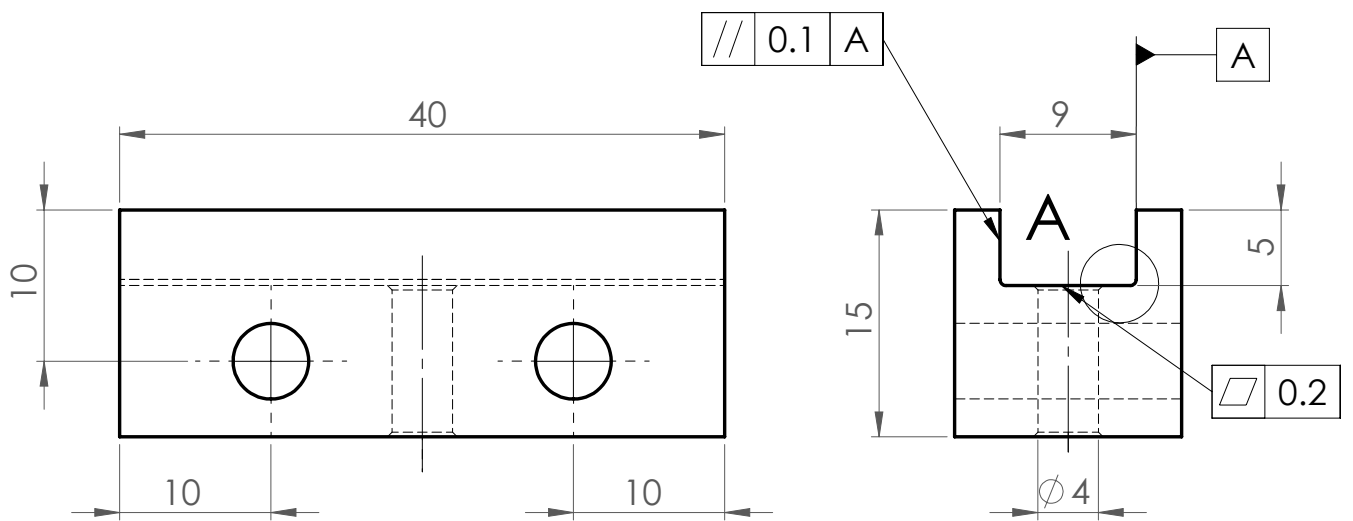


16	116	Piece ecrou	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

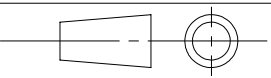


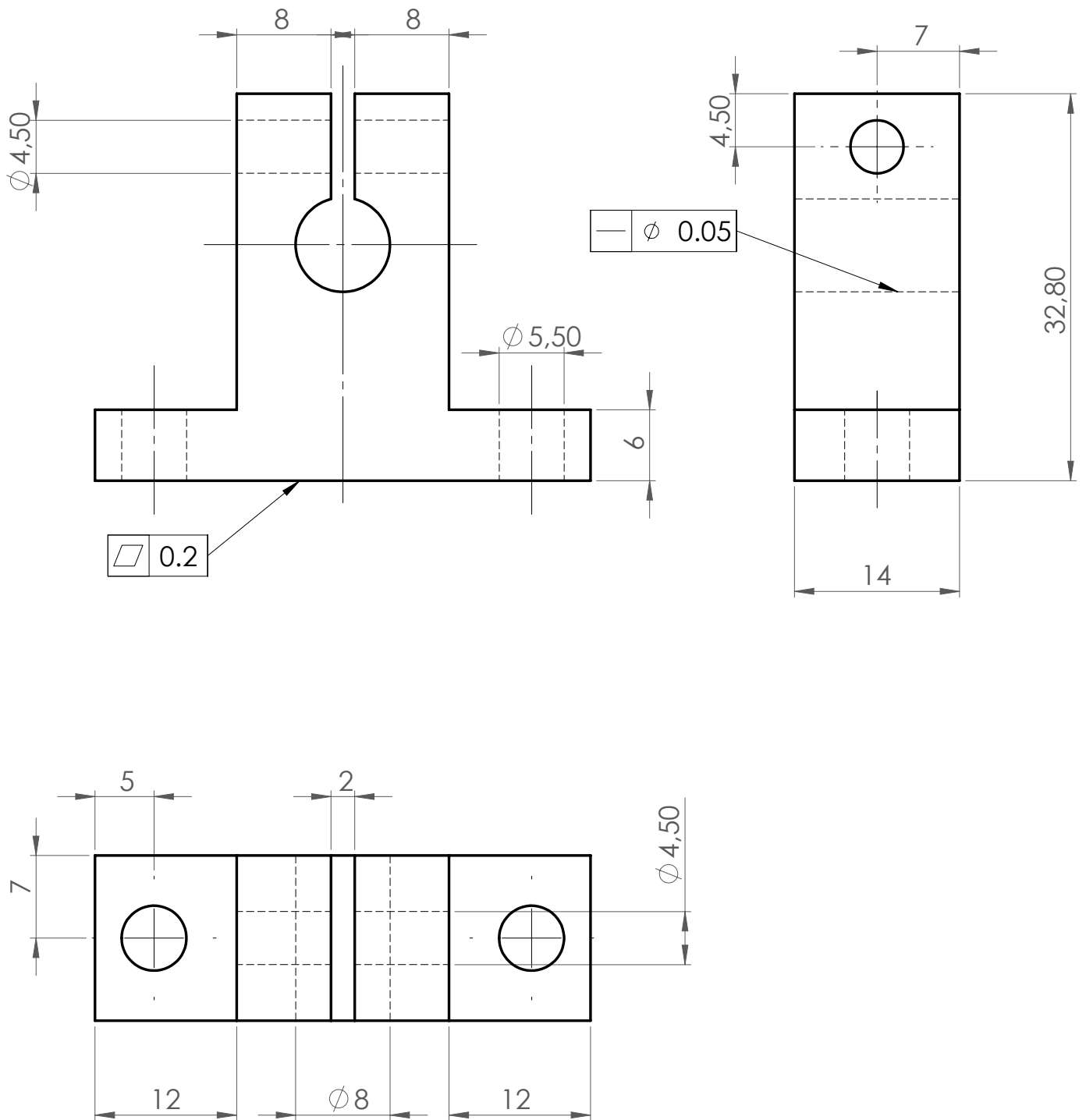
DÉTAIL B
ECHELLE 10 : 1

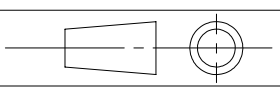
15	8	Piece "L"	Alliage d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
 A4				Animé par: Mr Sedjal
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

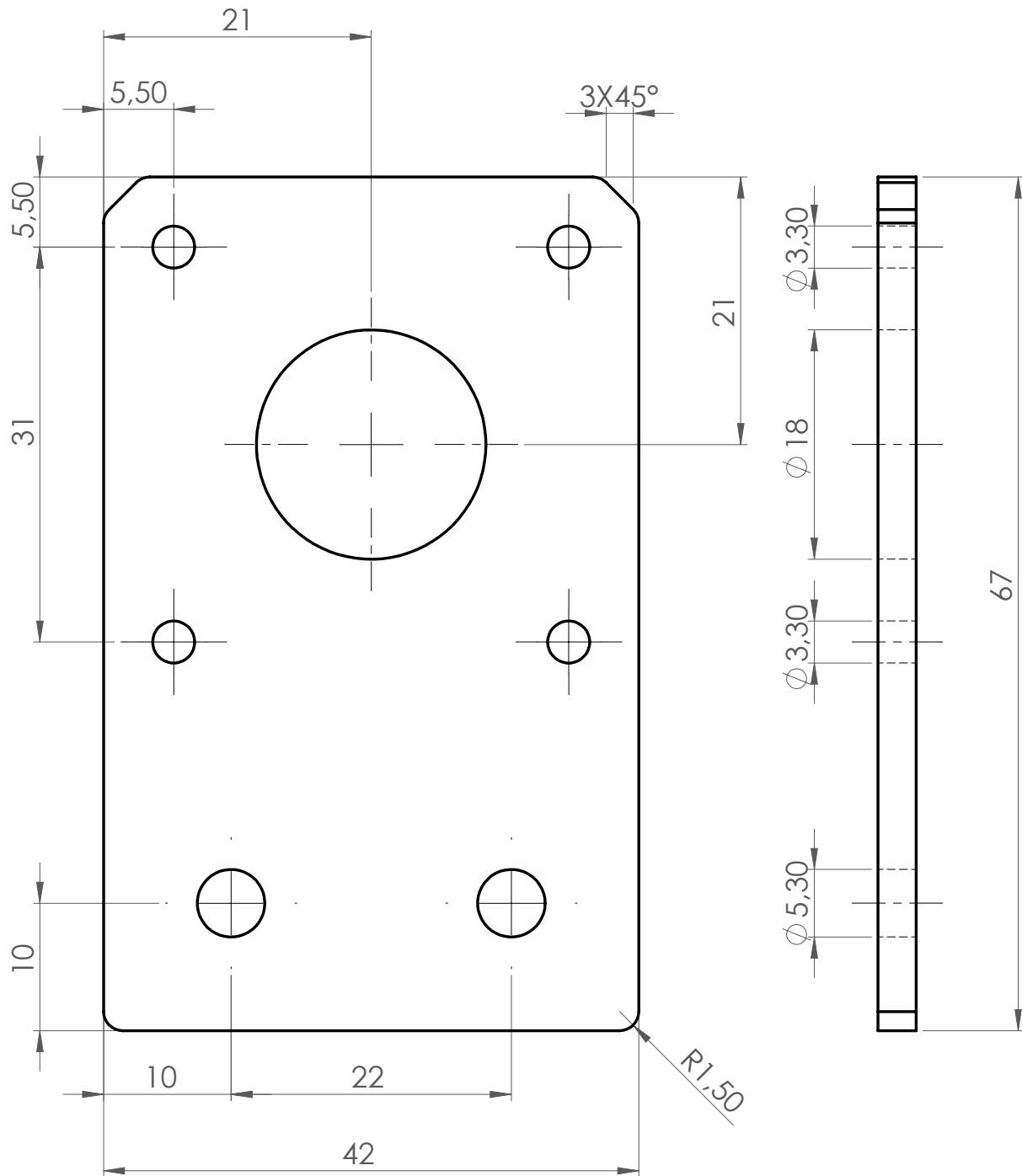


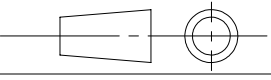
DÉTAIL A
ECHELLE 10 : 1

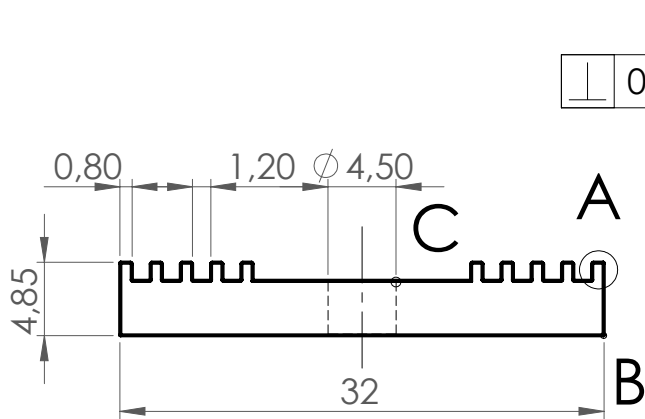
18	1	Porte courroie	Alliage d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



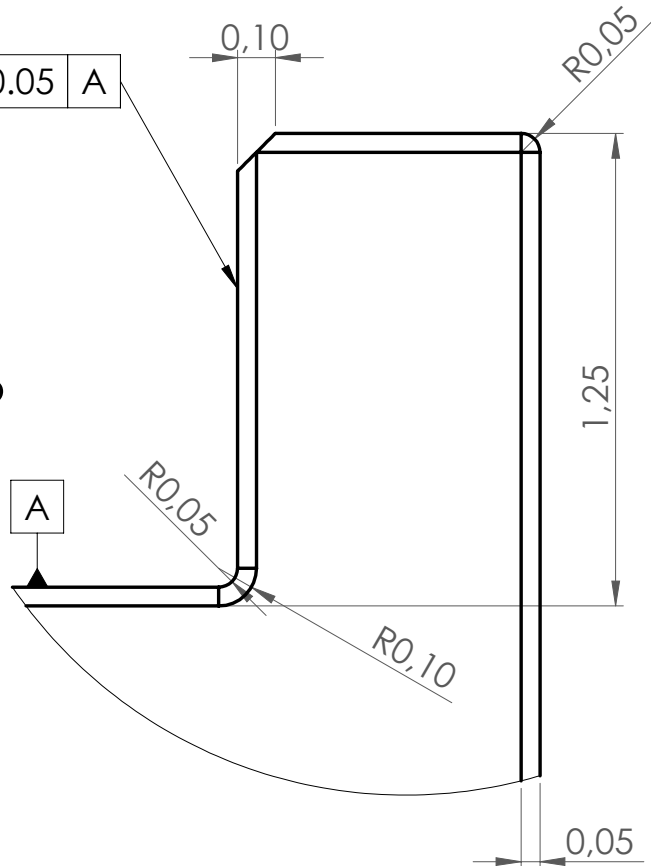
13	4	Porte glissière transversal	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



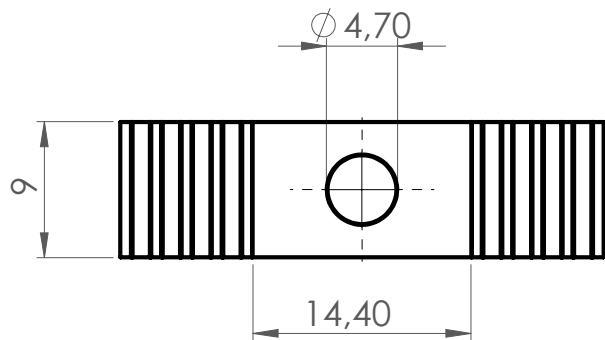
26	3	Porte moteur	Alliage d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



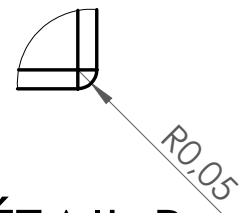
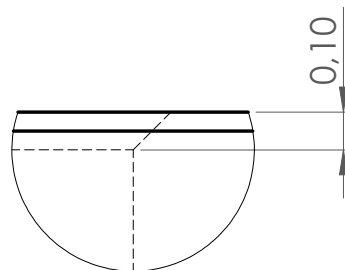
DÉTAIL A
ECHELLE 50 : 1

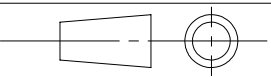


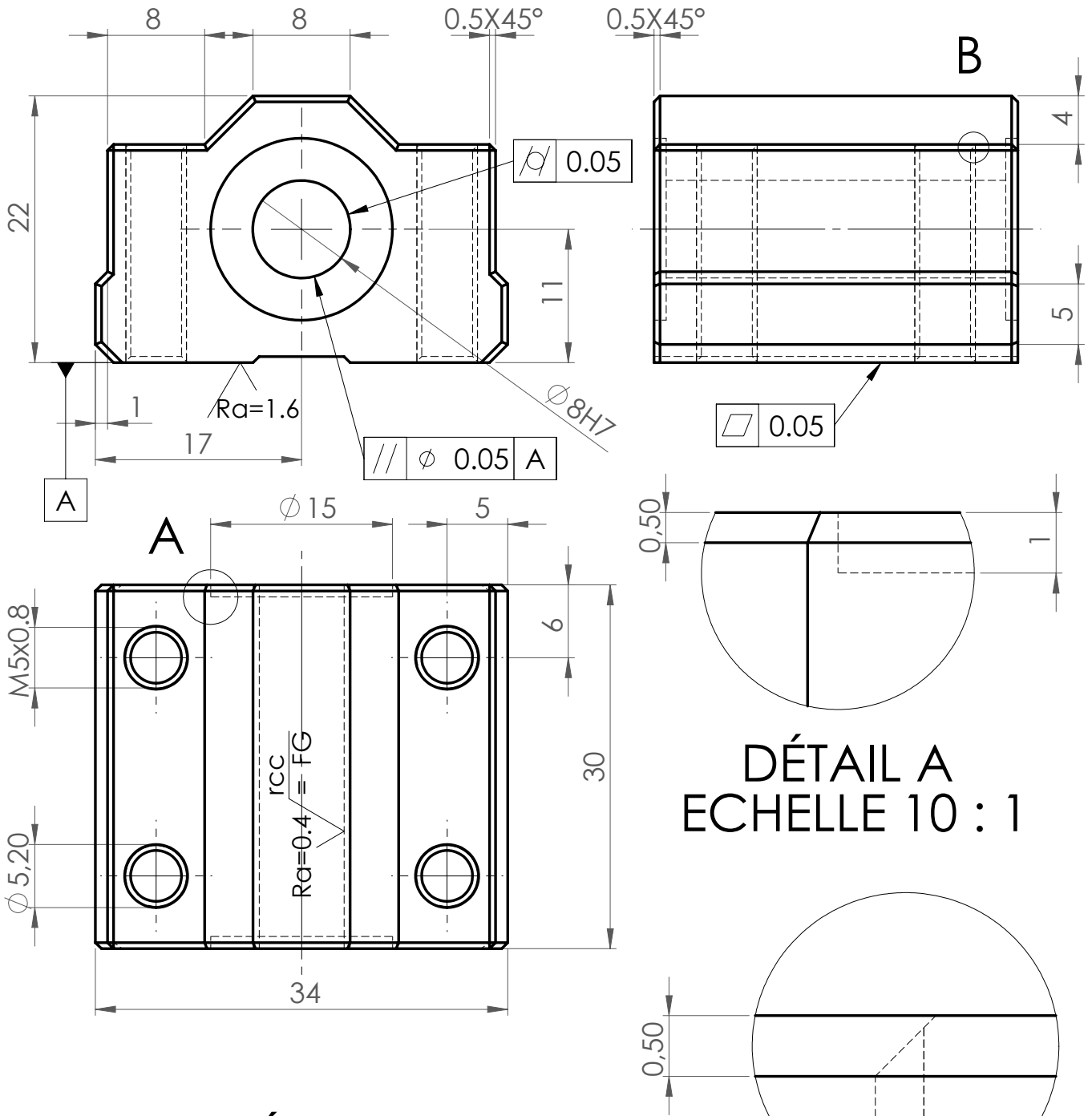
DÉTAIL B
ECHELLE 50 : 1



DÉTAIL C
ECHELLE 50 : 1

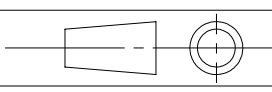


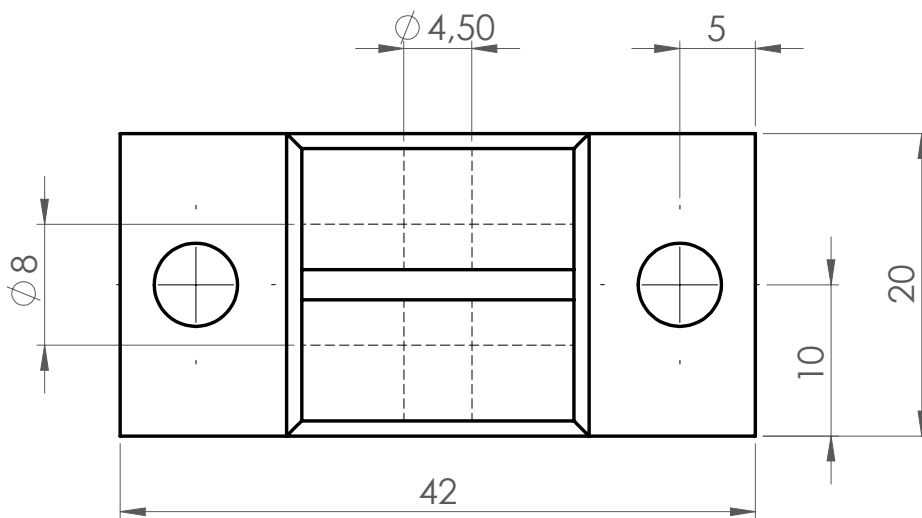
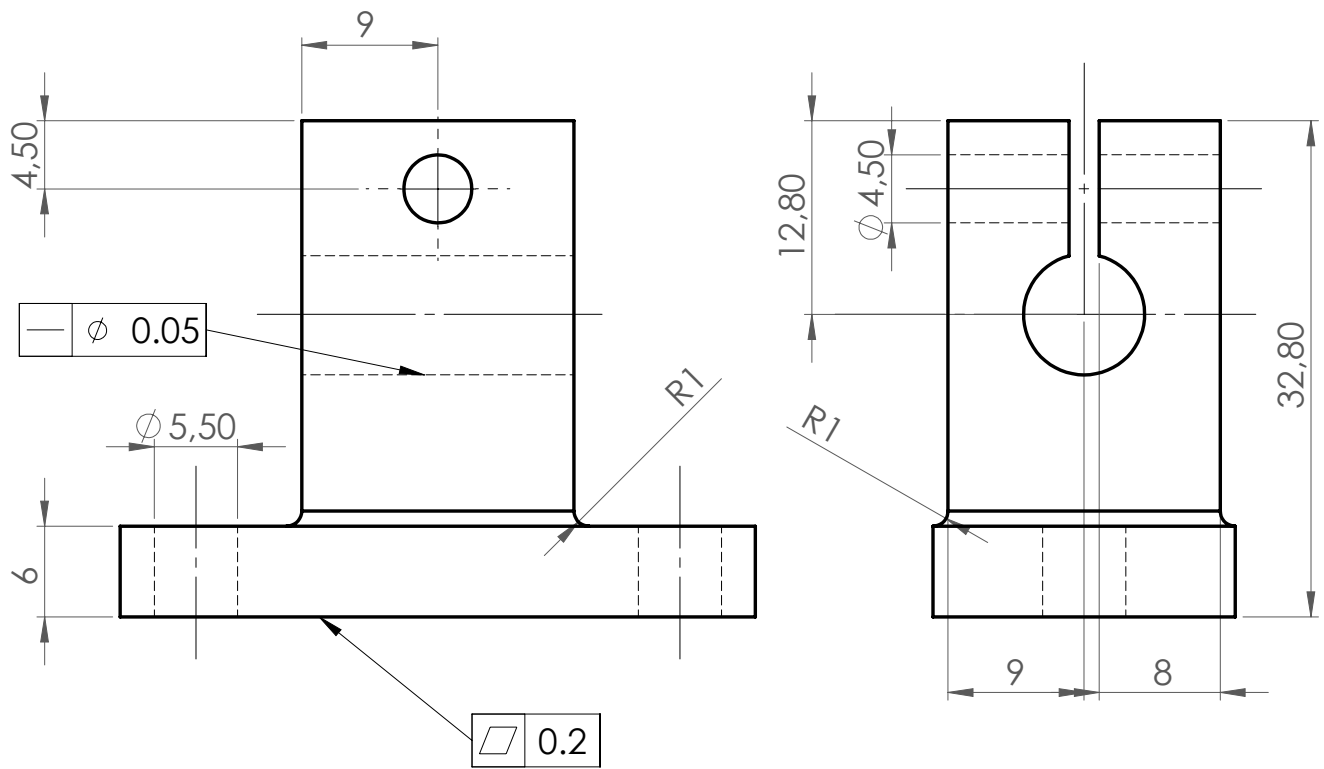
21	2	Plaque dentée	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

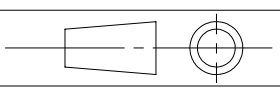


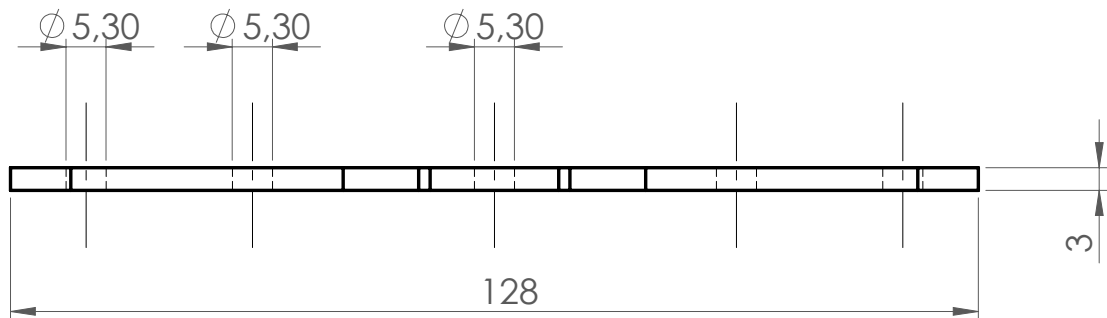
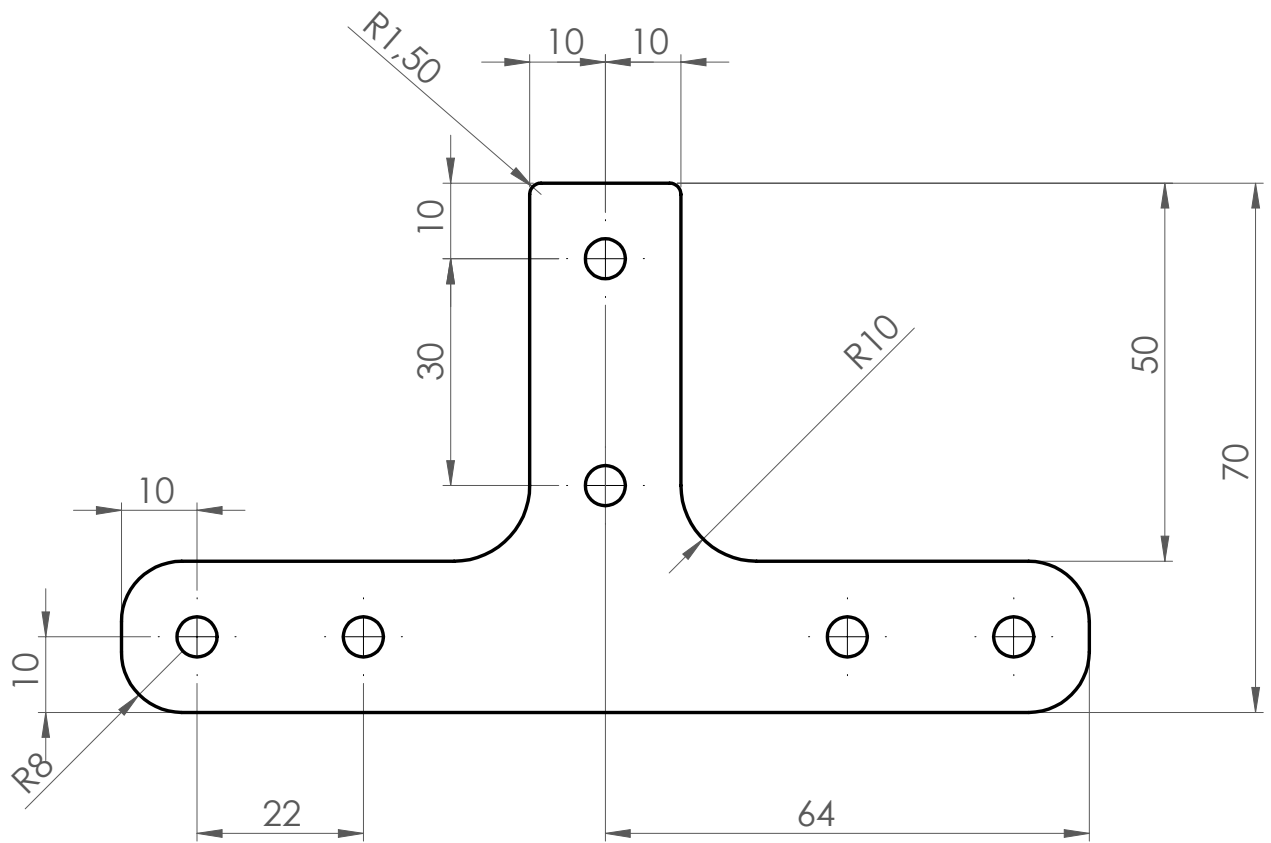
DÉTAIL B
ECHELLE 20 : 1

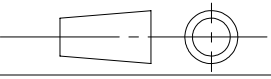
DÉTAIL A
ECHELLE 10 : 1

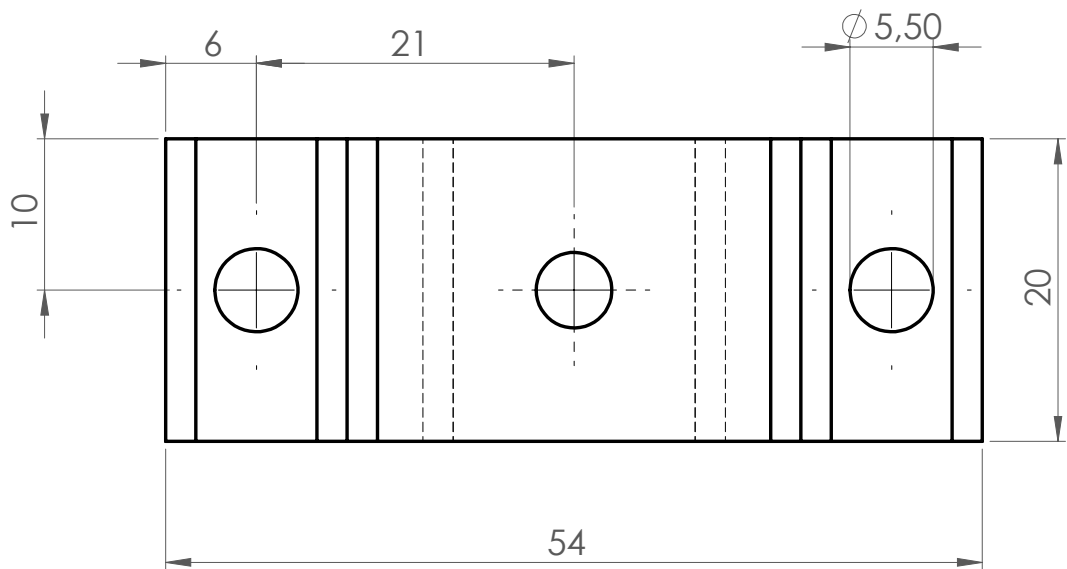
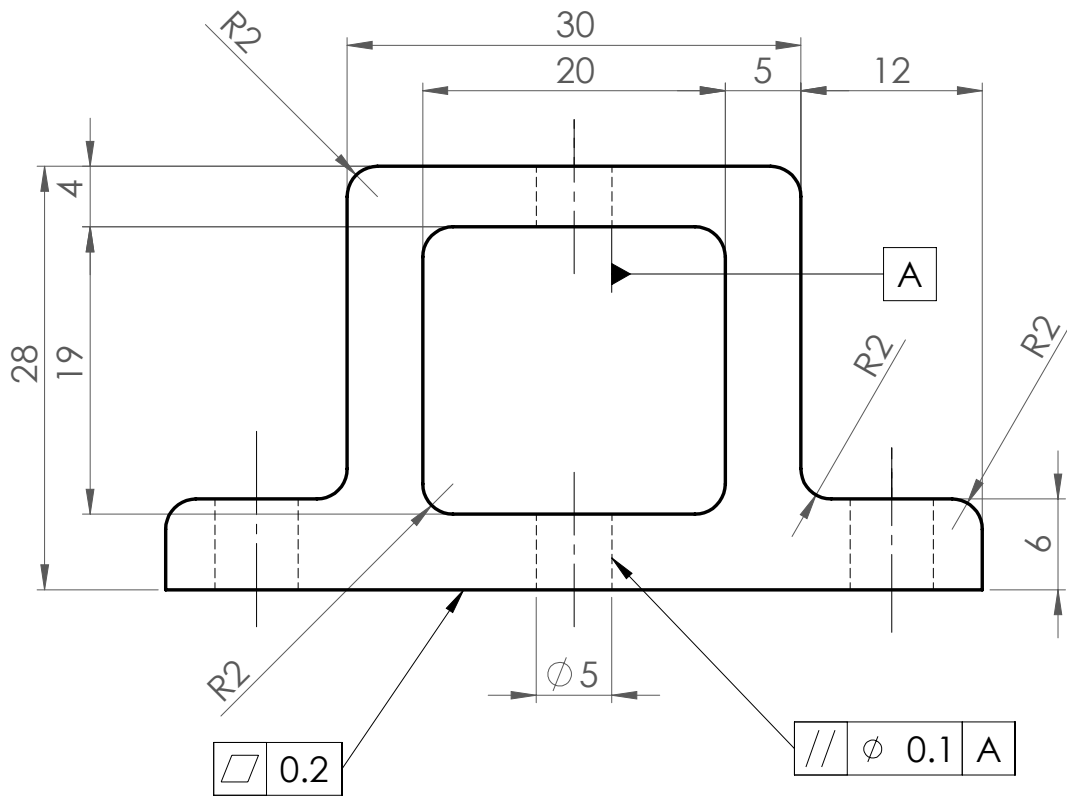
12	4	Support de table	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D	Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed	
			Animé par: Mr Sedjal	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

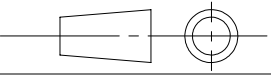


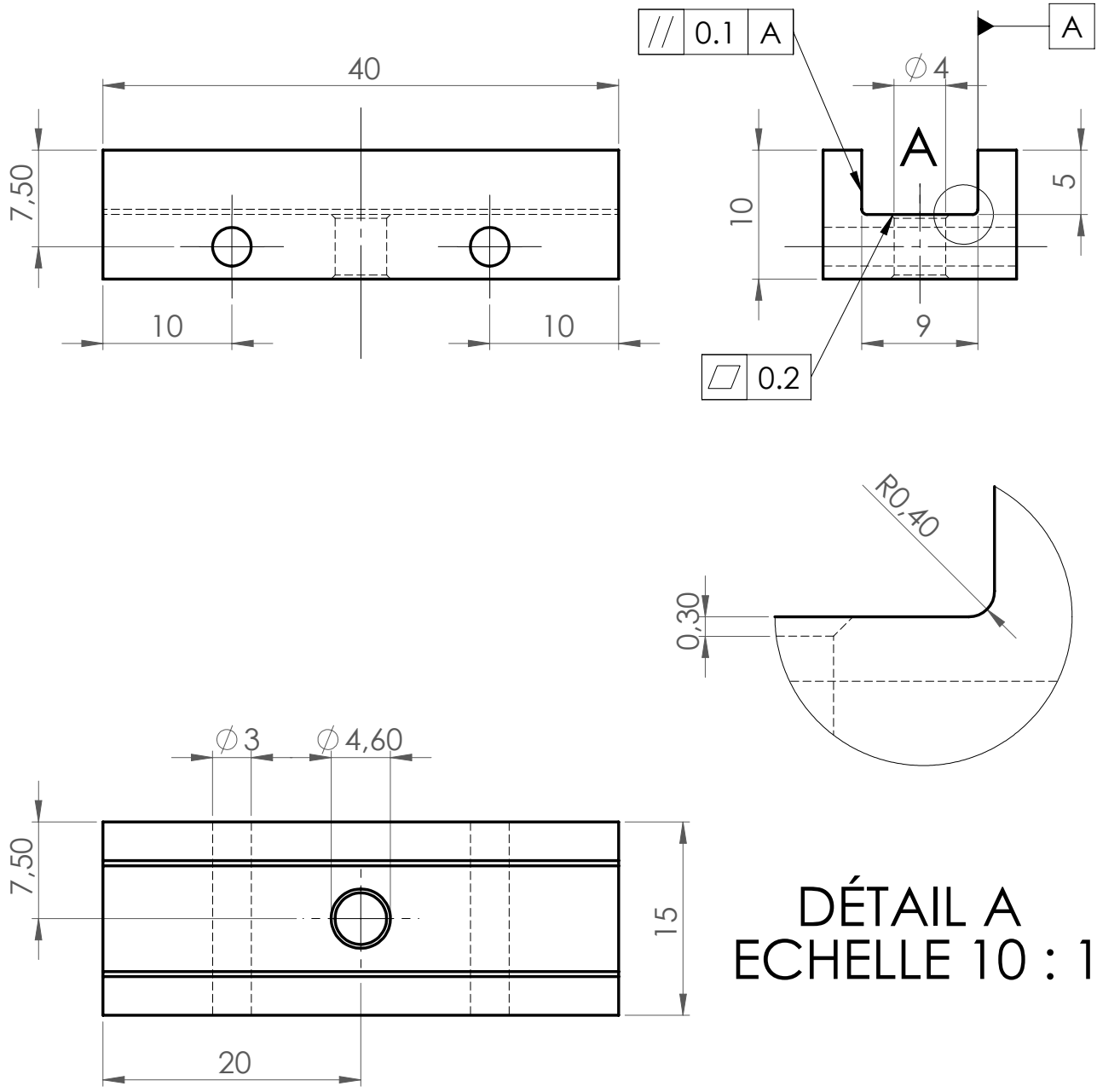
14	4	Porte glissière vertical	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



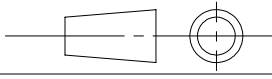
27	2	Cache 4	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

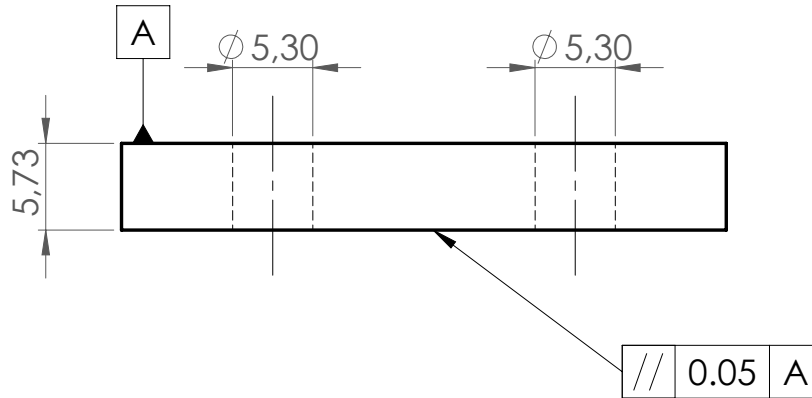
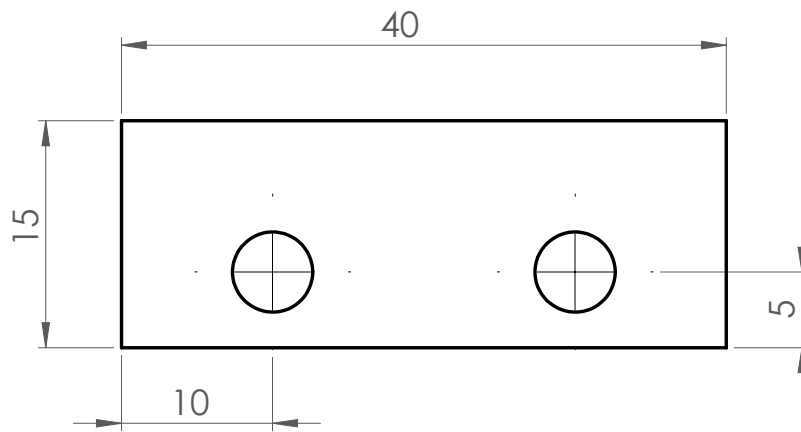


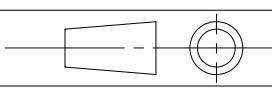
22	1	Boite pignon	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

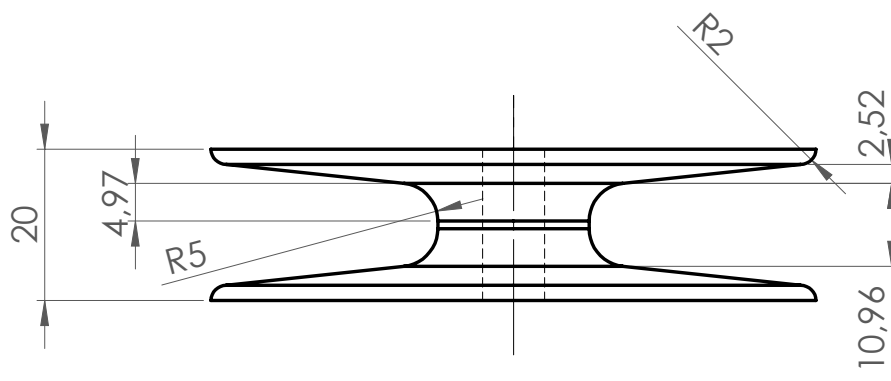
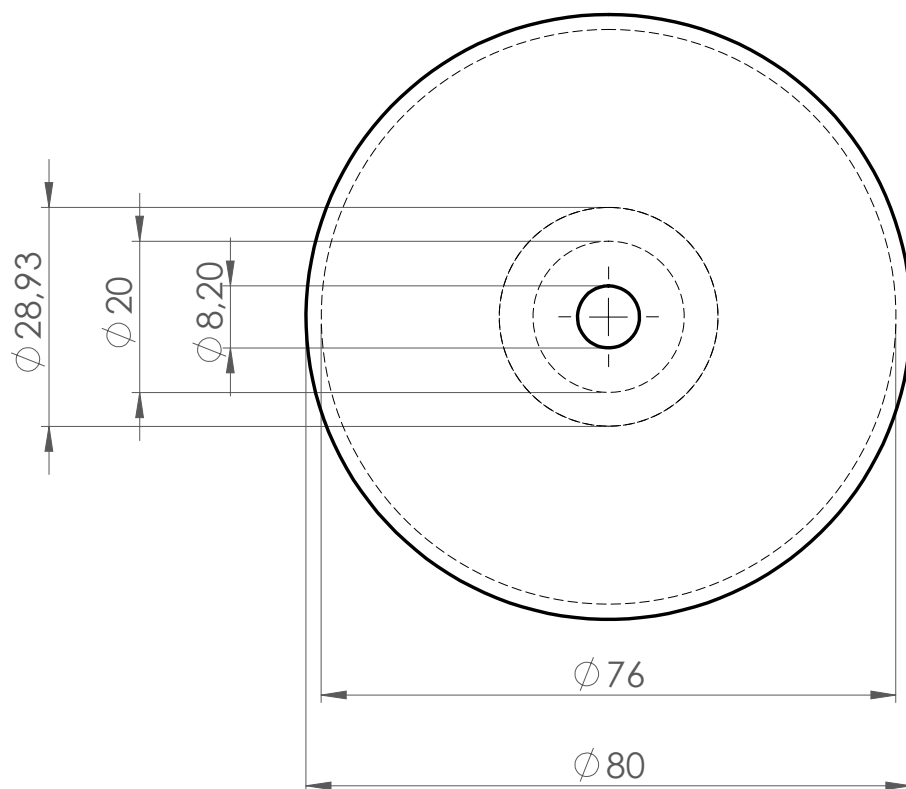


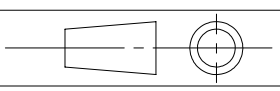
DÉTAIL A
ECHELLE 10 : 1

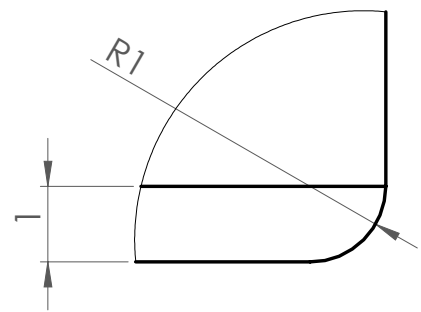
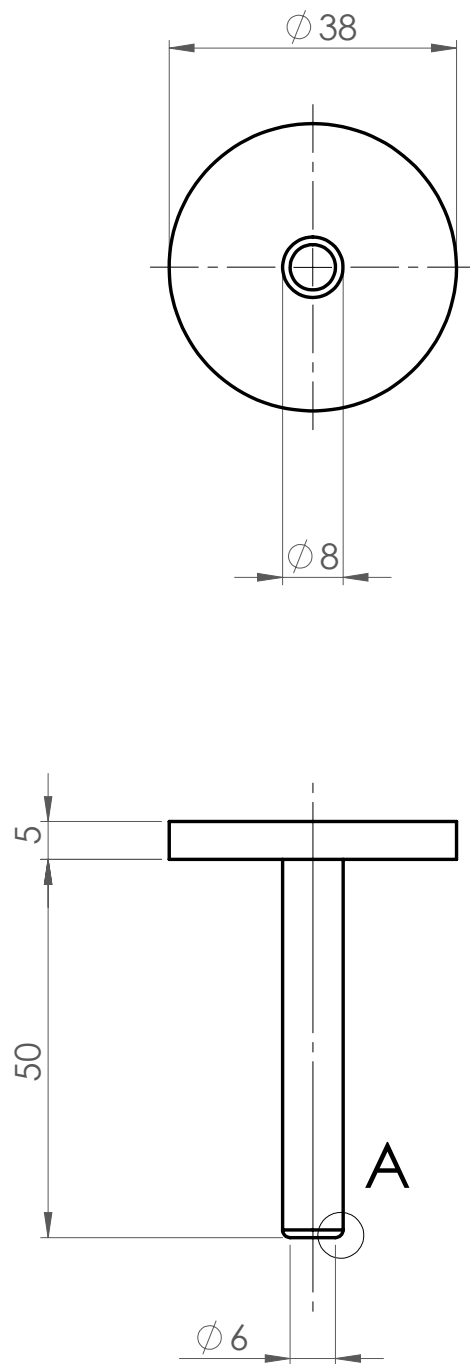
19	1	Mini porte courroie	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D	Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed	
			Animé par: Mr Sedjal	
A4			Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	



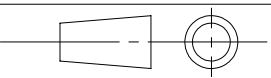
20	1	Cale	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 2:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

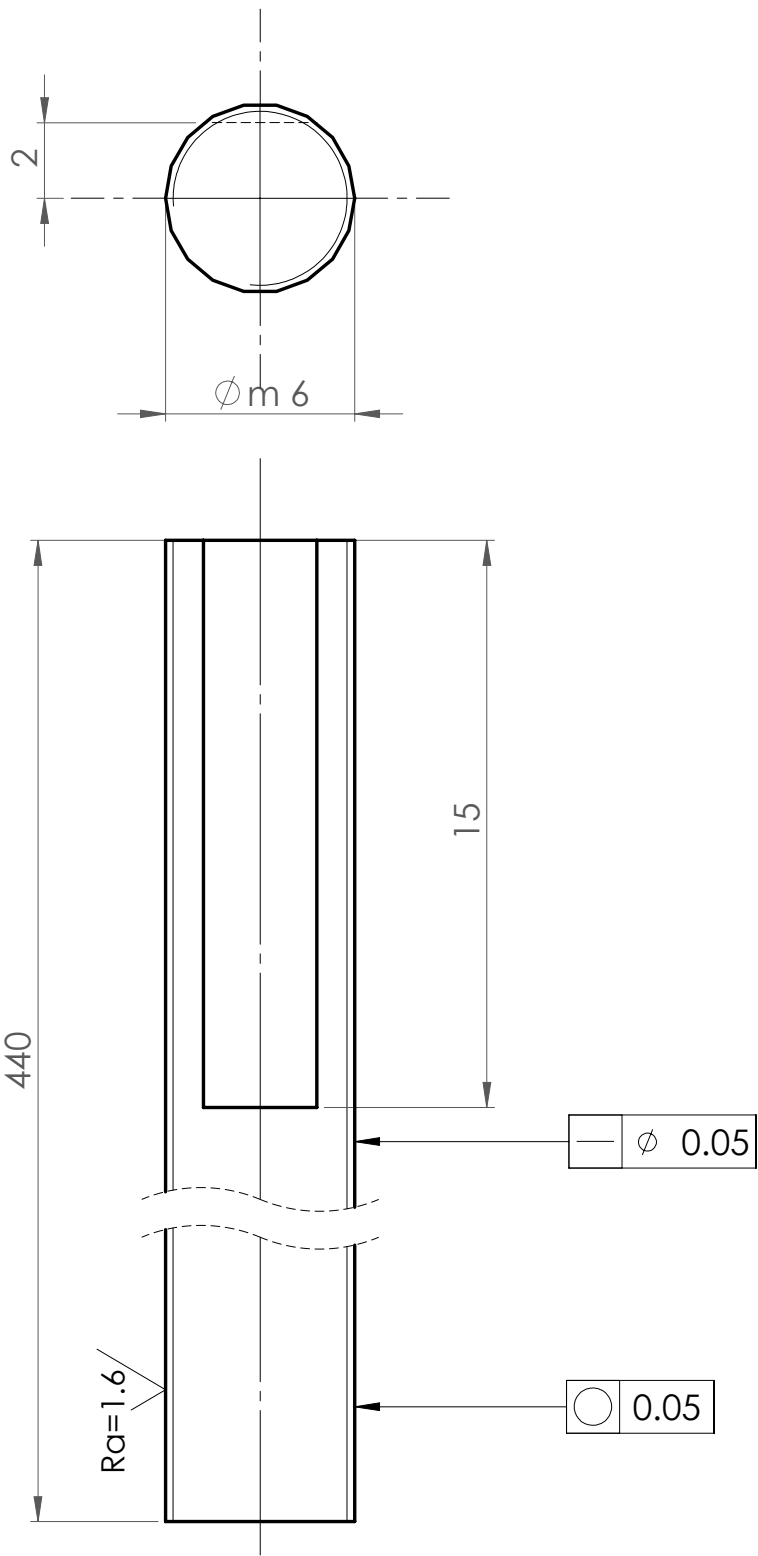


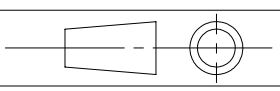
29	1	Bobine	Plastique PBT	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

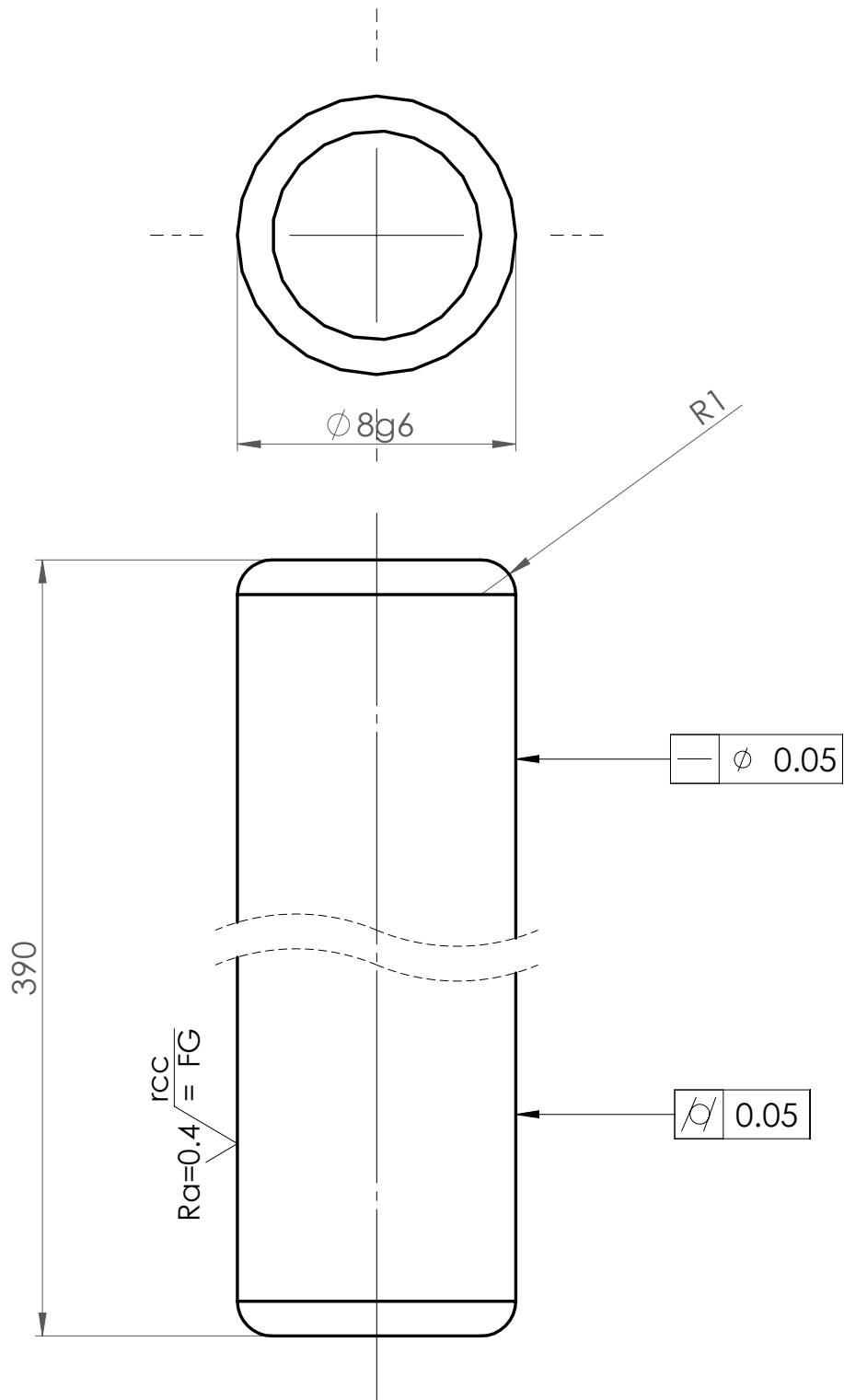


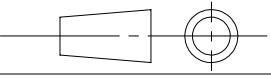
DÉTAIL A
ECHELLE 10 : 1

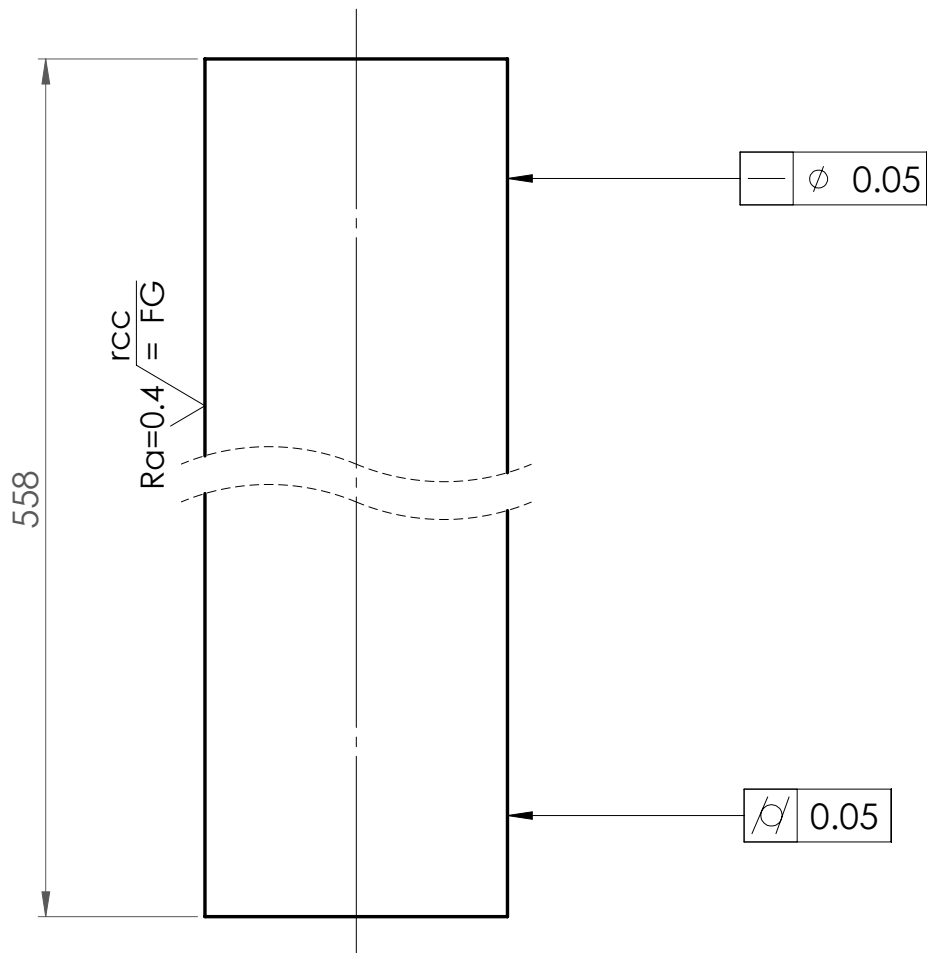
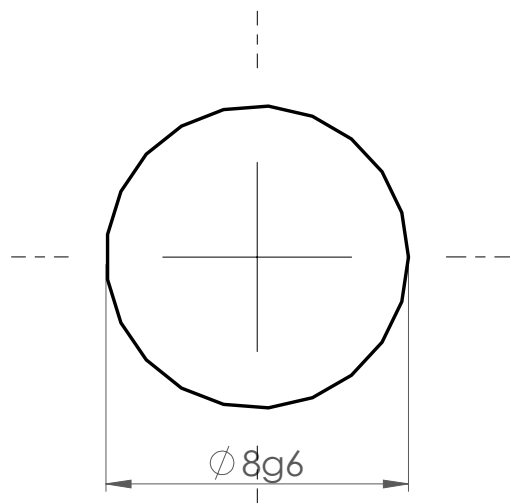
30	1	Tige du pignon	Acier	Laminée a chaud
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D	Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed	
			Animé par: Mr Sedjal	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

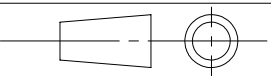


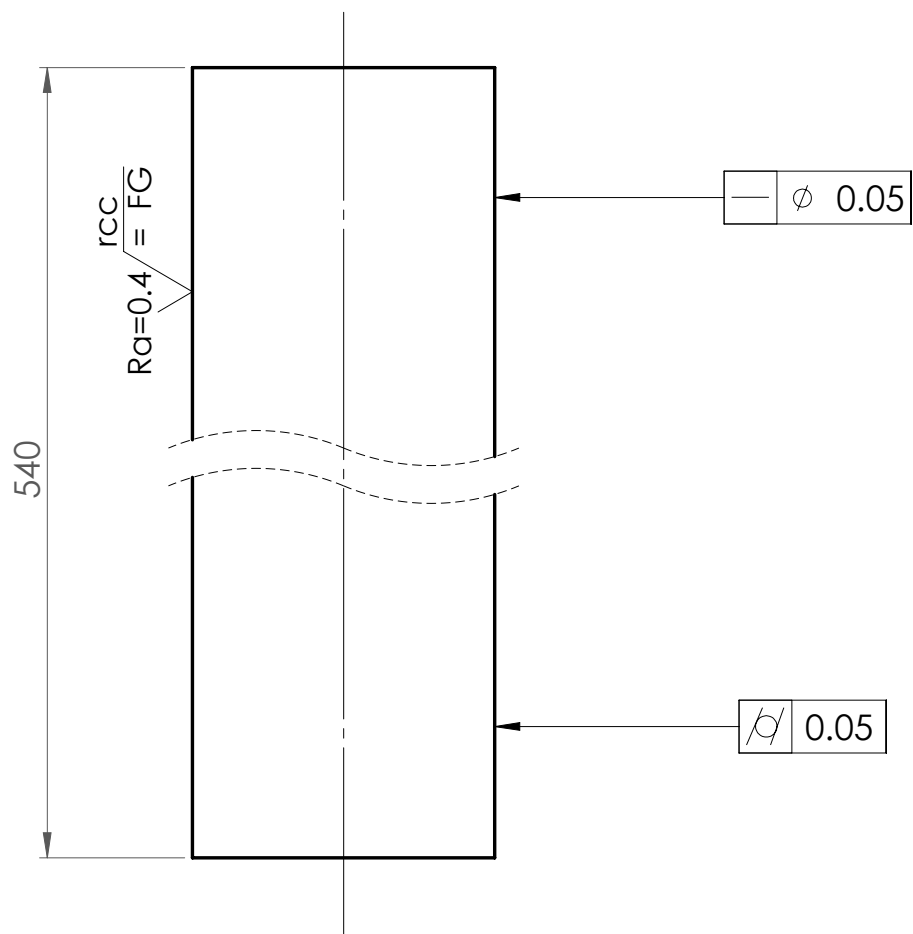
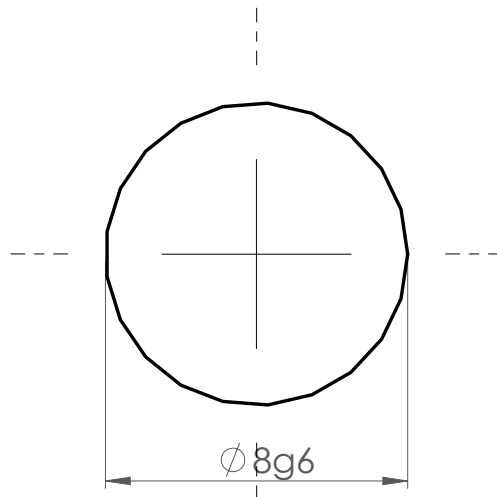
2	2	Arbre fileté	Acier	Laminée a chaud
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

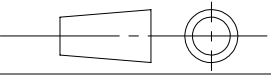


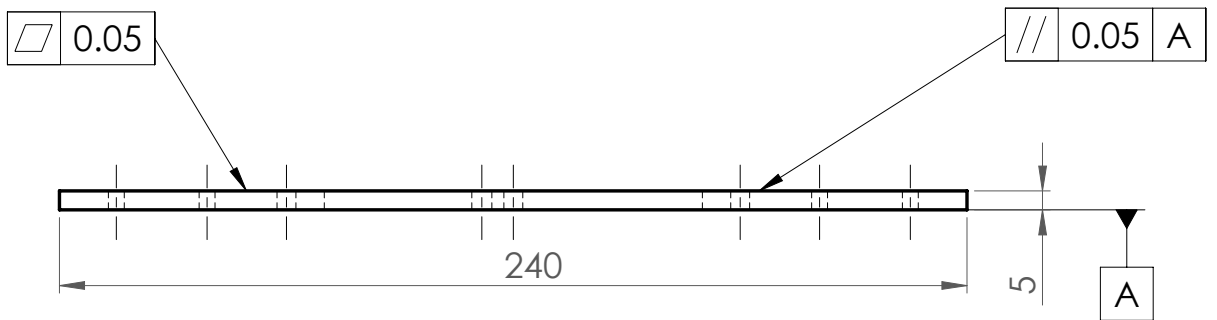
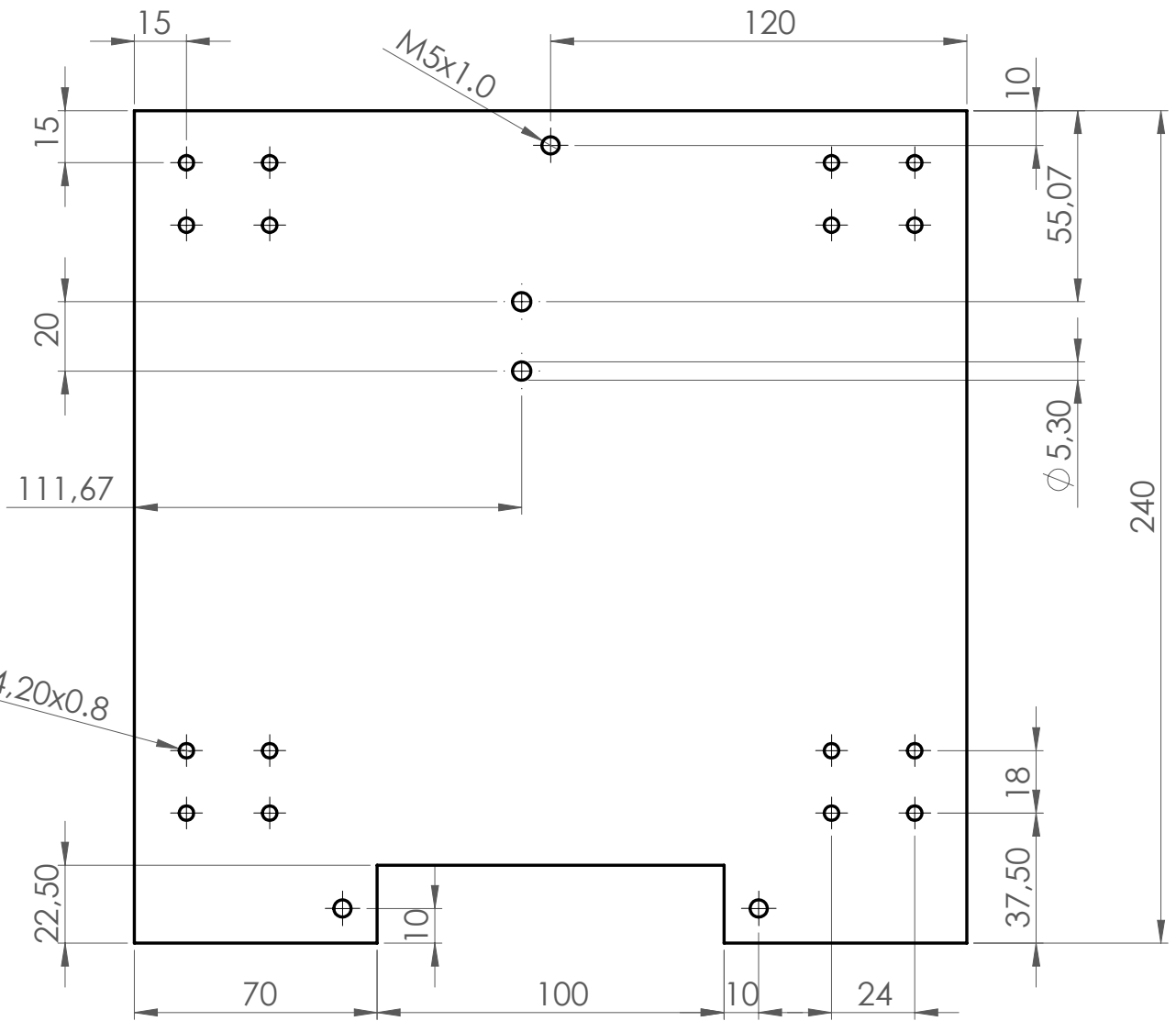
3	2	Glissière vrtical	Acier	Laminée a chaud
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

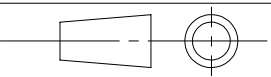


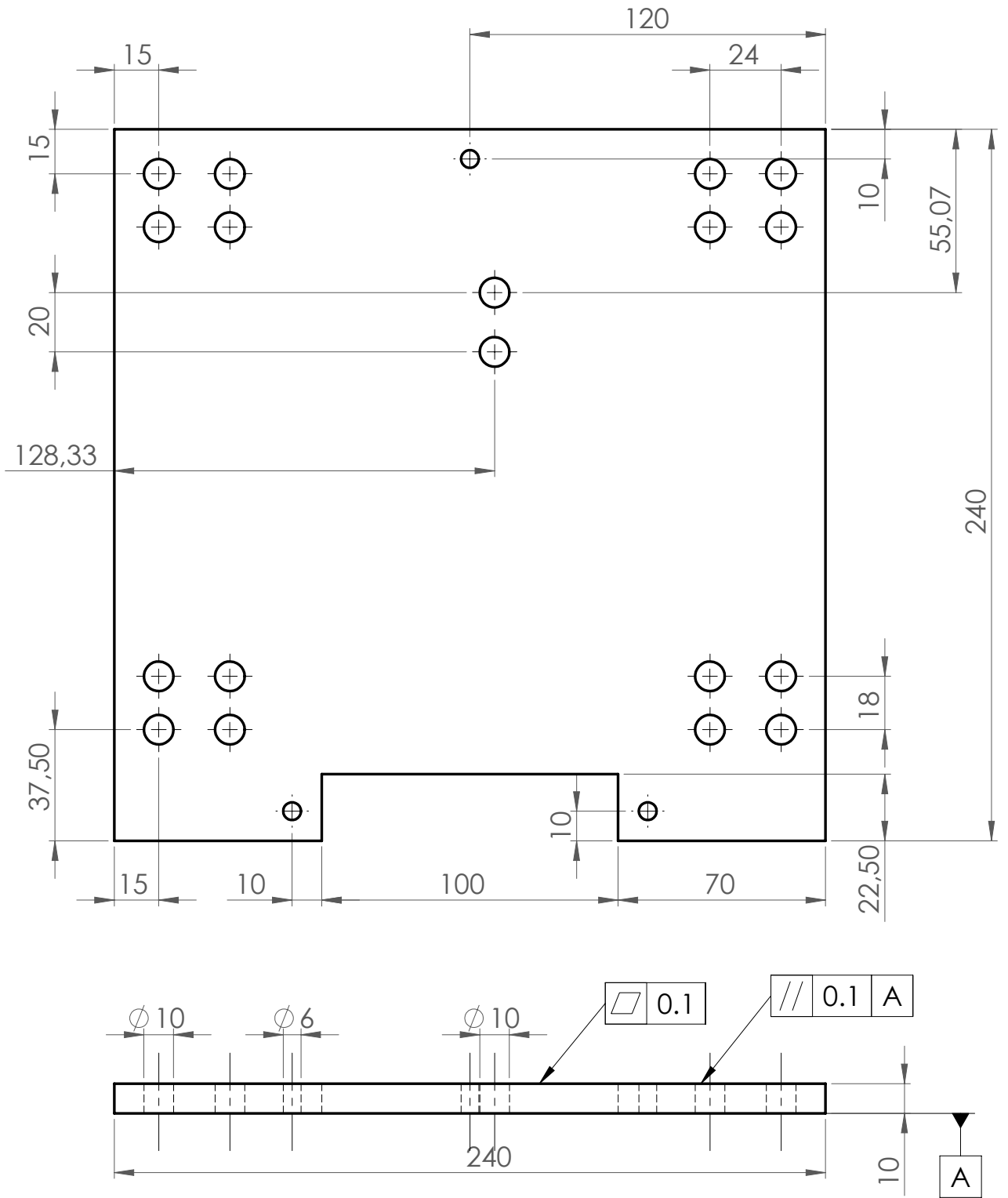
4	2	Glissière horizontale	Acier	Laminée froid
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

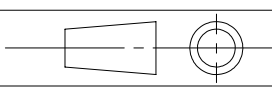


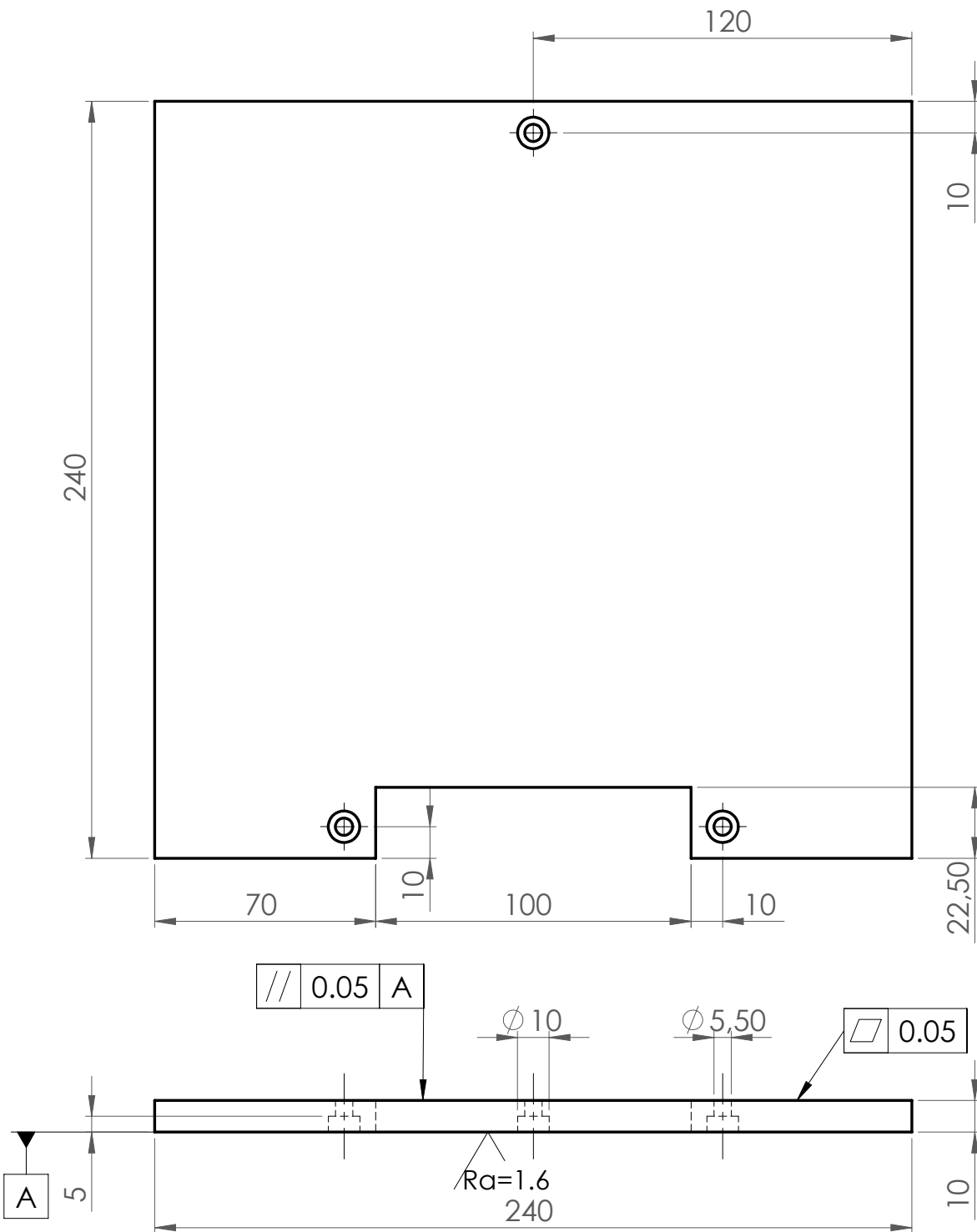
5	2	Glissière transversal	Acier	Laminée a froid
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

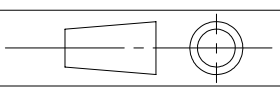


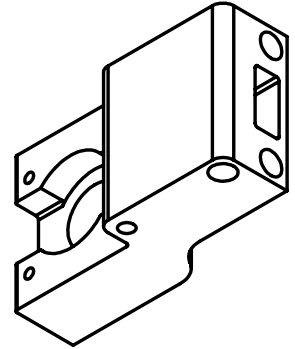
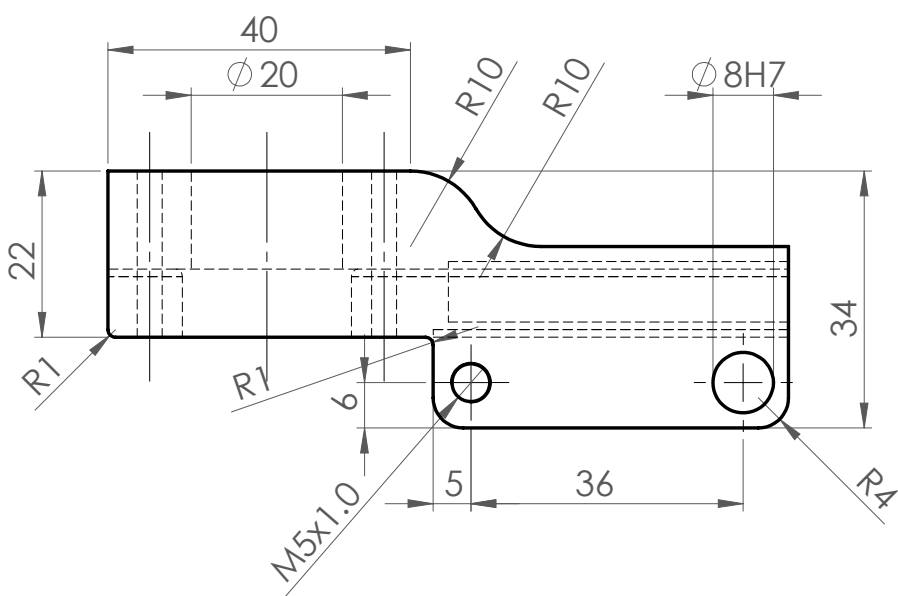
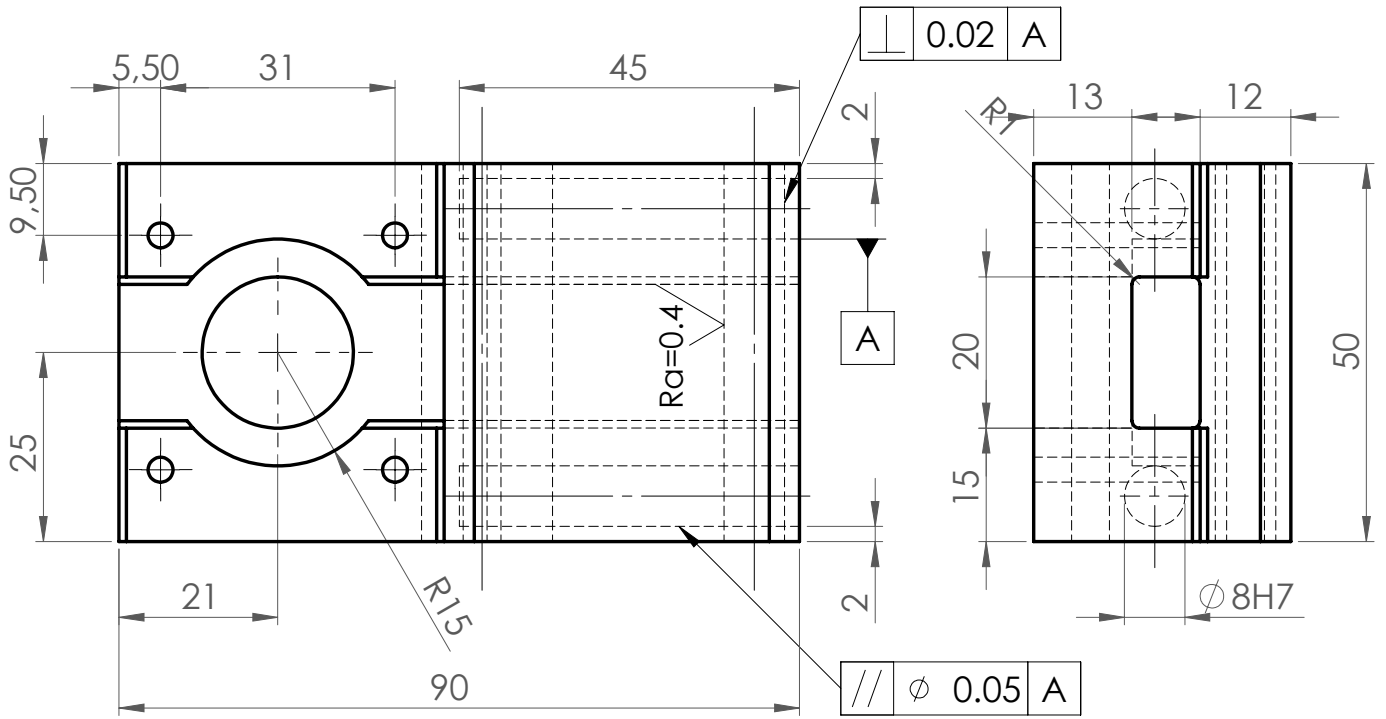
9	1	Table	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:2		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

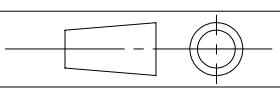


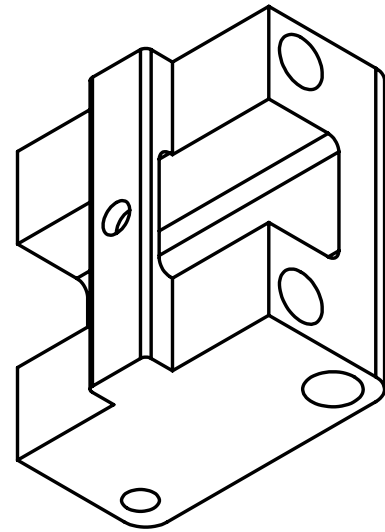
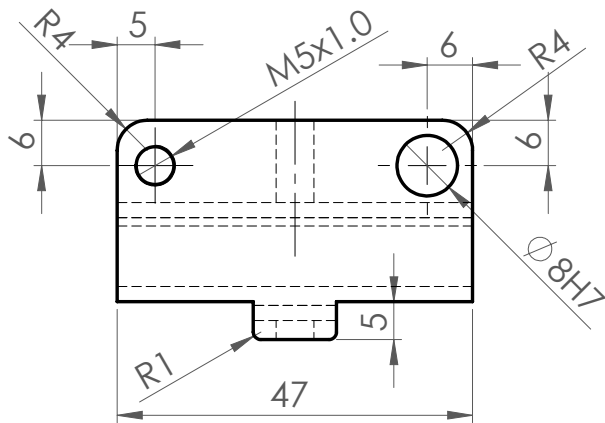
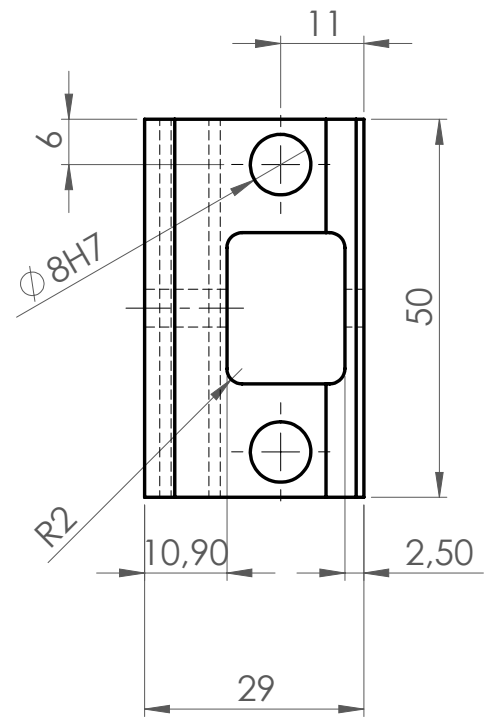
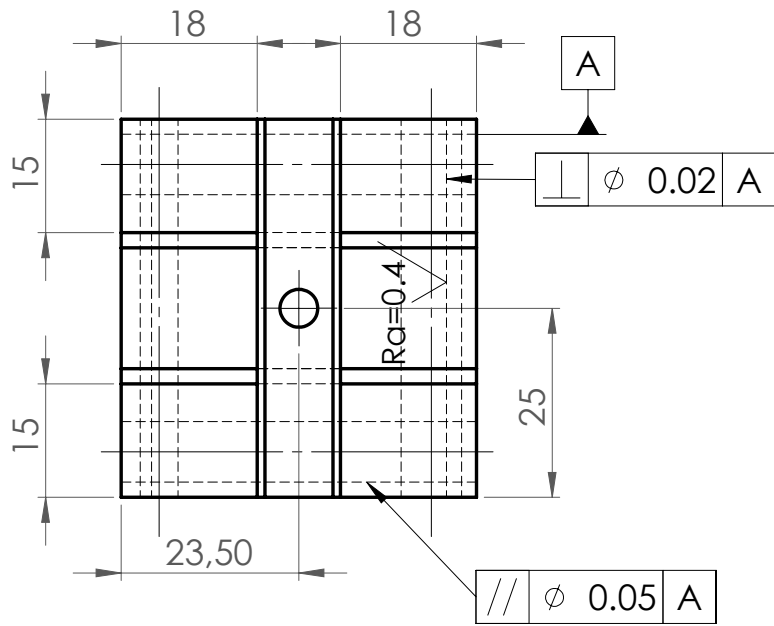
10	1	Couche isolante	Bois balsa	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:2		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

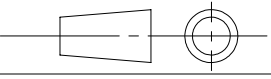


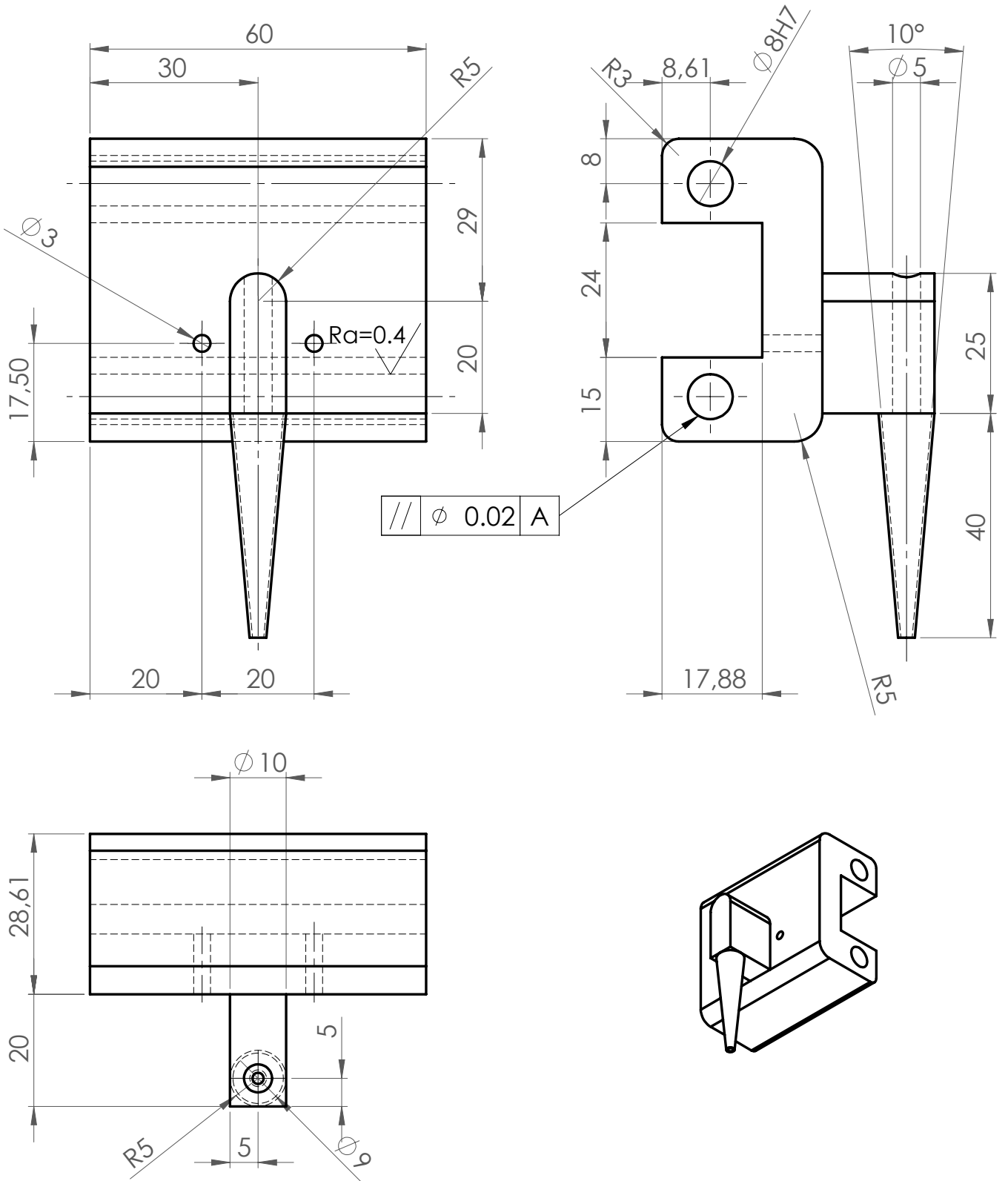
11	1	Lit chauffant	Bronze d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:2		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

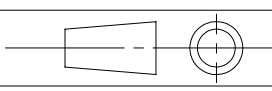


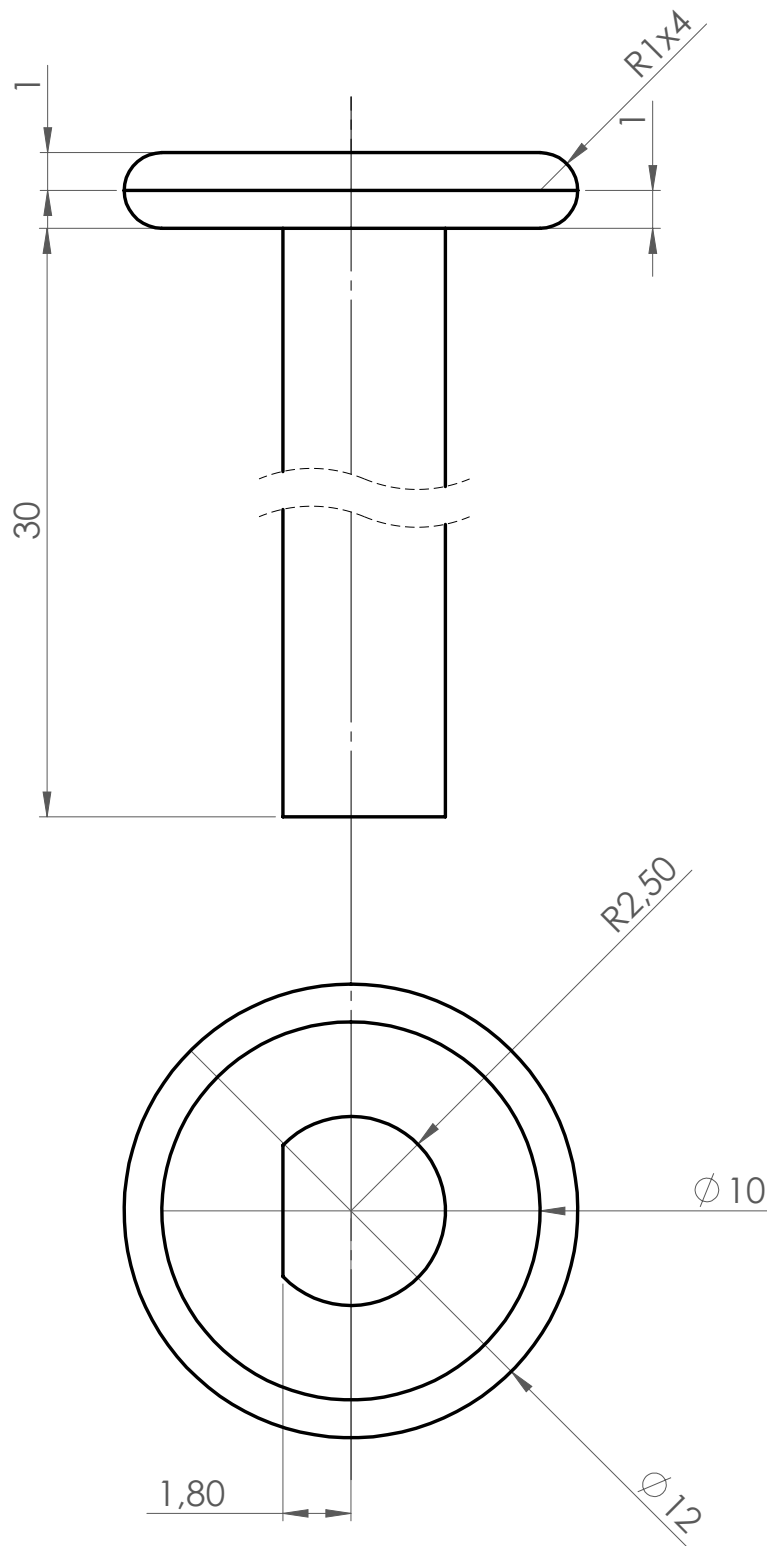
6	1	Porte moteur horizontal	Alliage d'alluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: MrSedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

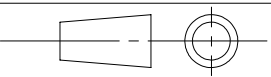


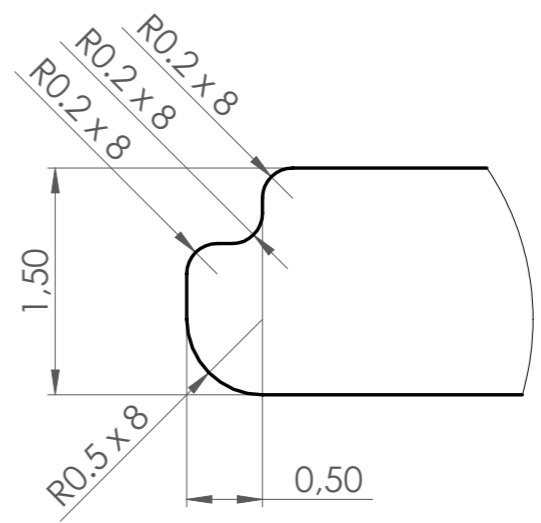
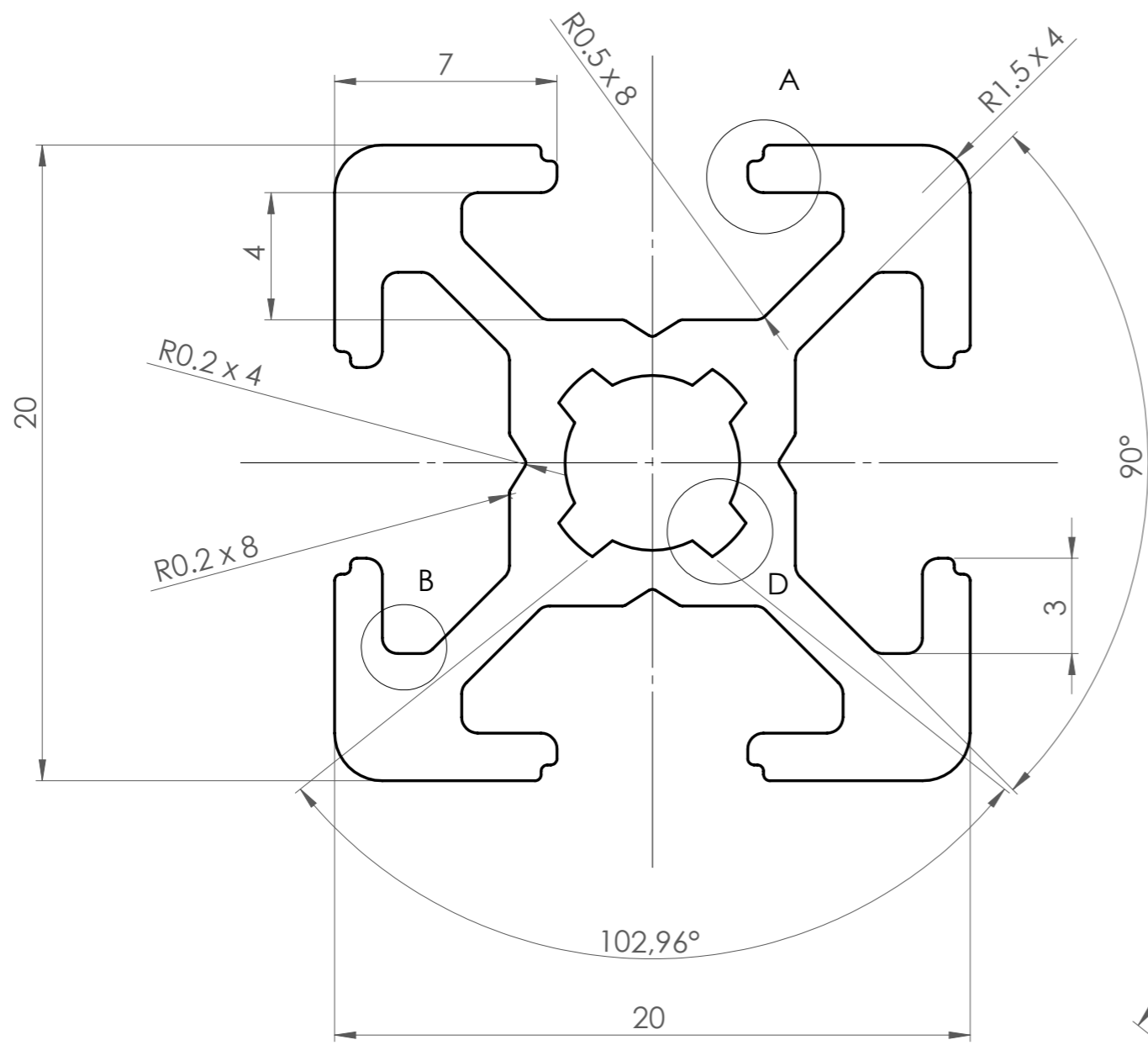
7	1	Poret pignon horizontal	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
 A4				Animé par: Mr Sedjal
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



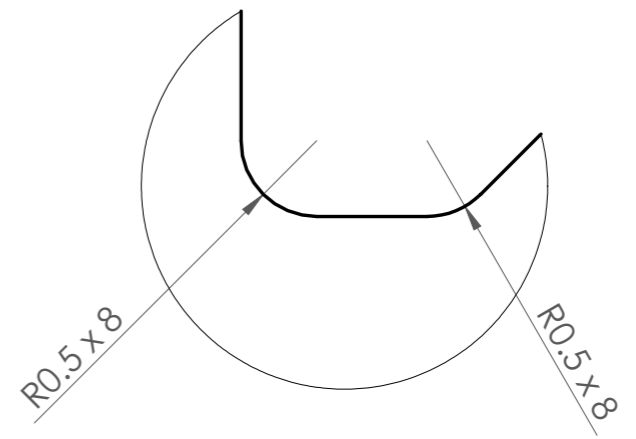
8	1	Extrudeur	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



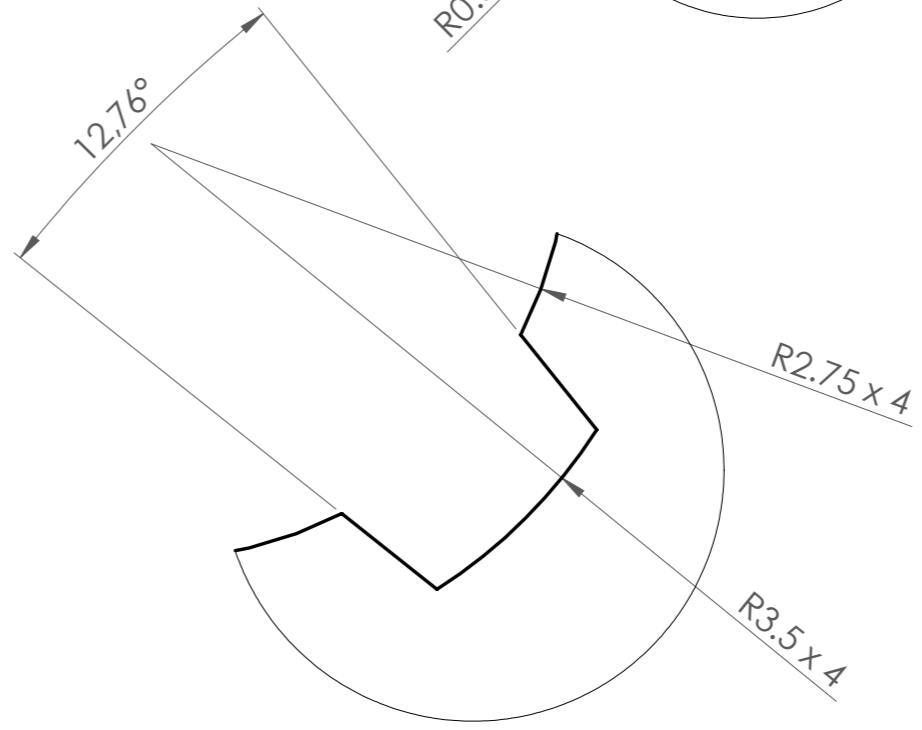
23	1	Tige du pignon	Acier	Laminée a chaud
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		IMPRIMANTE 3D		Réalisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
				Animé par: Mr Sedjal
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



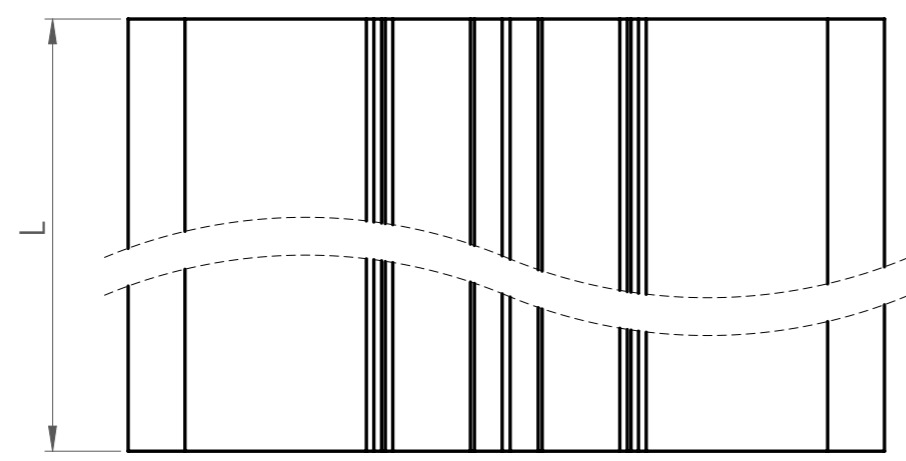
DÉTAIL A
ECHELLE 20 : 1



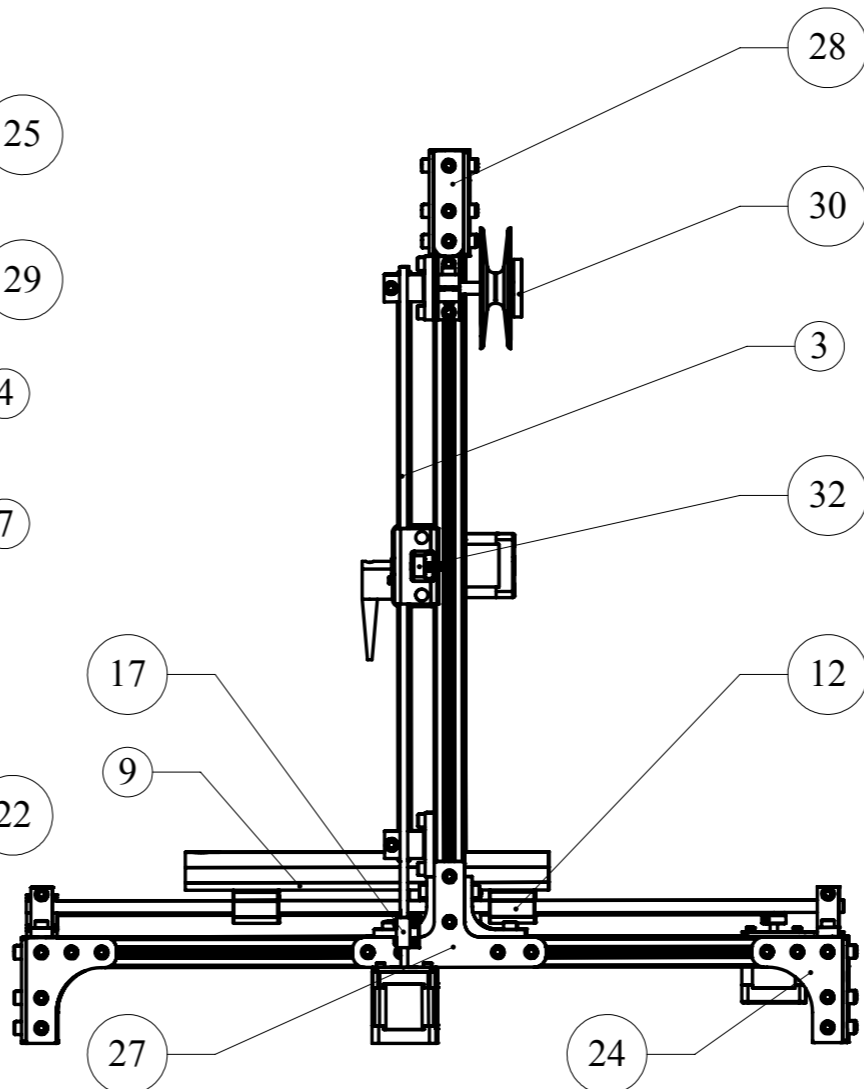
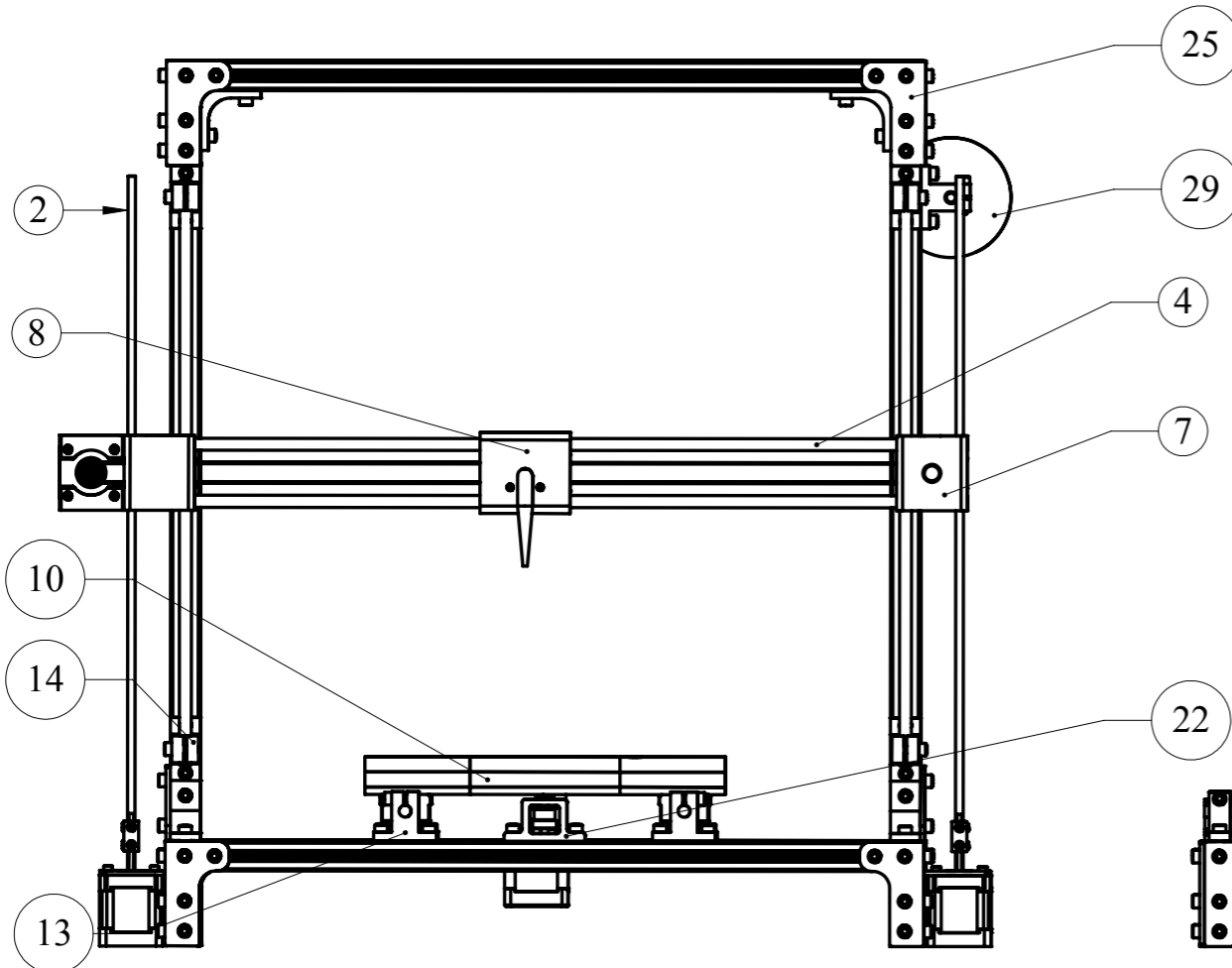
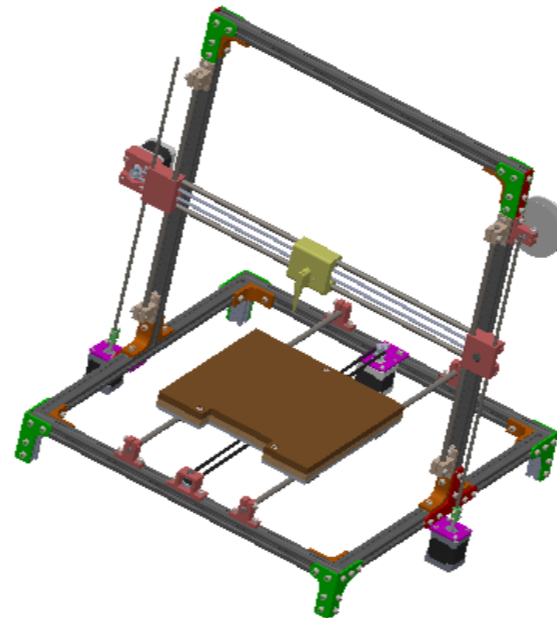
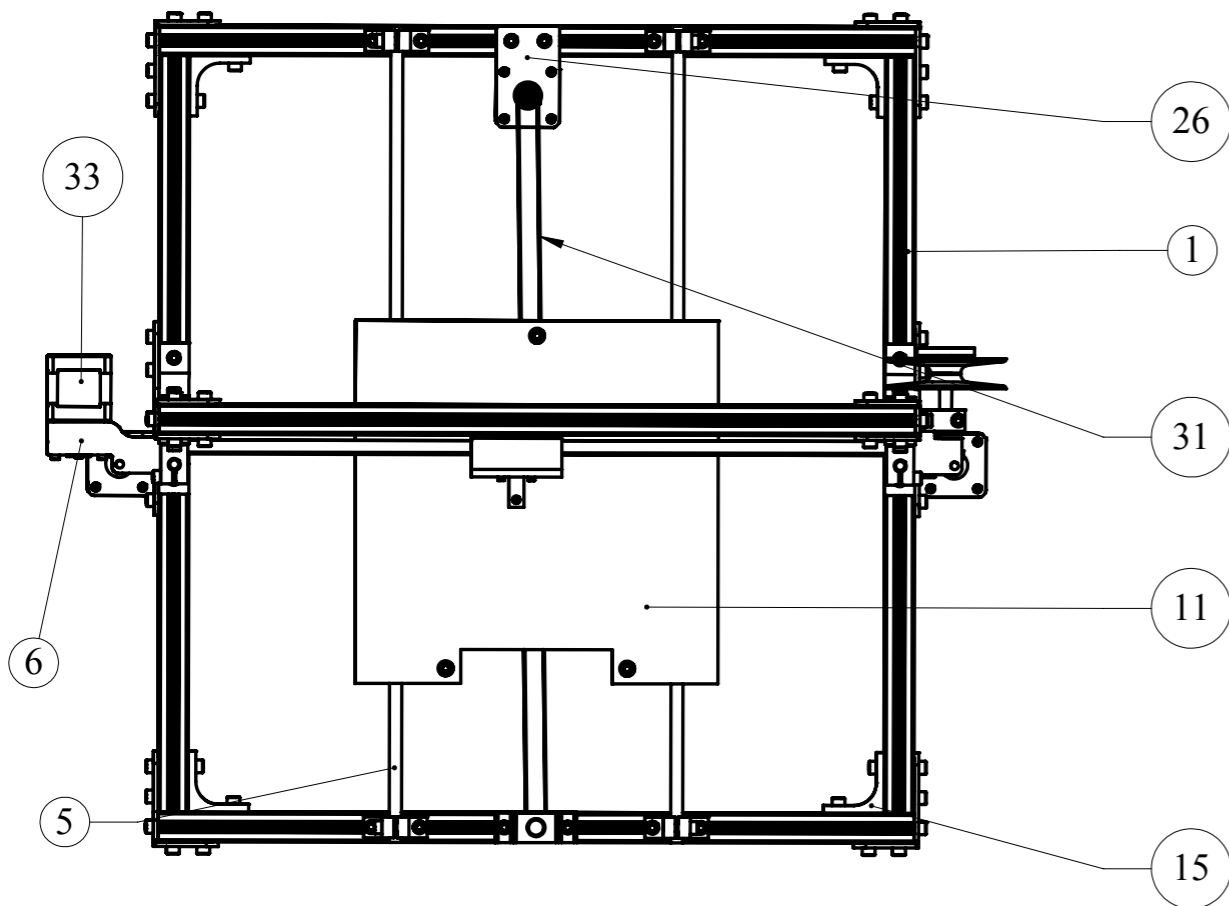
DÉTAIL B
ECHELLE 20 : 1



DÉTAIL D
ECHELLE 20 : 1



1 /	Poutre	Alliage d'aluminium	
Rep/Nbr	Designation	Matiere	Observation
Echelle: 5:1	IMPRIMANTE 3D	Realisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed	
A3		Animé par: Mr Sedjal	
Universite Mouloud Mammeri Tizi Ouzou			



43	4	Vis a tete bombéeM3 L5	Bronze d'alluminium	
42	1	Vis CHC M2.5 L8	Bronze d'alluminium	
41	14	Vis CHC M5 L16	Bronze d'alluminium	
40	116	Vis CHC M5 L8	Bronze d'alluminium	
39	4	Vis CHC M3 L30	Bronze d'alluminium	
38	12	Vis CHC M3 L12	Bronze d'alluminium	
37	4	Vis CHC M3 L6	Bronze d'alluminium	
36	2	Vis CHC M2.5 L20	Bronze d'alluminium	
35	6	Vis CHC M5 L20	Bronze d'alluminium	
34	17	Vis CHC M4 L10	Bronze d'alluminium	
33	4	Moteur	/	
32	4	Pignon	Alliage d'alluminium	
31	2	Courroie	Caoutchouc	
30	1	Tige de bobine	Acier	Laminée a chaud
29	1	Bobine	Plastique PBT	
28	2	Cache 3	Alliage d'alluminium	
27	2	Cache 4	Alliage d'alluminium	
26	3	Porte moteur	Alliage d'alluminium	
25	8	Cache 1	Alliage d'alluminium	
24	4	Cache 2	Alliage d'alluminium	
23	1	Tige du pignon	Acier	Laminée a chaud
22	1	Boite pignon	Alliage d'alluminium	
21	2	Plaque dentée	Alliage d'alluminium	
20	1	Cale	Alliage d'alluminium	
19	1	Mini porte courroie	Alliage d'alluminium	
18	1	Porte courroie	Alliage d'alluminium	
17	2	Coupleur	Alliage d'alluminium	
16	116	Piece ecrou	Acier inoxydable	
15	8	Piece "L"	Alliage d'alluminium	
14	4	Porte glissiere vertical	Alliage d'alluminium	
13	4	Porte glissiere transversal	Alliage d'alluminium	
12	4	Support de table	Alliage d'alluminium	
11	1	Lit chauffant	Bronze d'alluminium	
10	1	Couche isolante	Bois balsa	
9	1	Table	Alliage d'alluminium	
8	1	Extrudeur	Alliage d'alluminium	
7	1	Porte pignon horizontal	Alliage d'alluminium	
6	1	Porte moteur horizontal	Alliage d'alluminium	
5	2	Glissiere transversale	Acier	Laminée a froid
4	2	Glissiere horizontale	Acier	Laminée a froid
3	2	Glissiere verticale	Acier	Laminée a chaud
2	2	Arbre fileté	Acier	Laminée a chaud
1	/	Poutre	Alliage d'alluminium	
Rep/Nbr		Designation	Matiere	Observation
Echelle: 1:5		IMPRIMANTE 3D		Realisé par: Mr Hadid Melle Ali ahmed
A3				Animé par: Mr Sedjal
Universite Mouloud Mammeri Tizi Ouzou				