République Algérienne démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA Fares MEDEA

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master en Génie Mécanique

Option :Mécatronique

THEME

Conception et simulation d'une imprimante 3D FDM en utilisant SolidWorks

Présenté par:

ZEKRINI Adnane Amir
HEBBACHE Houssameddine

Encadré par:

Pr. ABDELLAH EL-HADJ A.
Dr. BETTACHE Farouk

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

*Nous remercions **ALLAH** le tout puissant de nousavoir accordé la santé et le courage d'arriver auterme de ce travail.

*On tient à remercier notre promoteur Pr.ABDELLAH EL-HADJ A.EtDr.BETTACHE Farouk à lui témoigner toute notre reconnaissanceet notre gratitude, par ses pertinentes critiques, sesconseils, ses corrections et suggestions.

* Nous tenos à remercier vivement tous les nombres du jury d'avoire accepté d'assister à l'évaloution de notre travail.

*On remercie aussi nos enseignants et nosamis pour leur aide et leurs encouragements.

*On remercie nos parents de nous avoirsoutenus en les appelant.

* On remercie toutes les personnesqui ont contribué de près ou de loinà la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail :

*Aux plus beaux création que Dieu a créés sur Terre bien sur je parle de mes CHERS PARENTS.

*À Mon frère : Nouh

* À ma chère sœur : Nour el imane.

*À quelqu'un dont la mémoire est chérea mon défunt grand père –ALLAH yarhmou-.

*À mon binôme : ZEKRINI Adnane Amir, merci pour tout ce que tu m'as fourni tout au long de notre carrière

*À toute ma famille et tous mes amis : Walid,Hichem,Lakhdar,yassine, Mhamed qui sont vraiment toujours avec moi.

HEBBACHE Houssamediine

Dédicace

Je dédie ce travail :

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

*À mes chères sœurs nour el houda ,meriem , maissone pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

*À mon cher frère seifeddin , pour leur appui et leur encouragement.

*À toute ma famille spécialement Mes tantes ,mes oncles, mes grand-père et mes grand-mère pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

*À tout mes amies et mes collègue spécialement mon binôme houssam

que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fuit de votre soutien infaillible.

Merci d'être toujours là pour moi.

ZEKRINI Adnane Amir

الملخص:

الطابعة ثلاثية الأبعاد هي آلة تمكننا من من صناعة أجسام صلبة حقيقية عن طريق تصميمها بالحاسوب، هذه الطابعة تمتاز بدقة عالية وكفاءة حسنة.

من مميزات هذه التقنية صناعة الأجسام المفقودة والتي يتعذر الحصول عليها، كما تمكننا من ربح الكثير من الوقت والتكلفة.

هذه الدراسة تقترح تصميم لطابعة ثلاثية الأبعاد تكتسي أهمية لدى المصنعين وحتى في المجال التعليمي .

الكلمات المفتاحية: طابعة ثلاثية الأبعاد، صناعة الأجسام ،التصميم، آلة.

Résumé:

L'imprimante 3D est une machine qui nous permet de créer de vrais objets solides en la concevant avec un ordinateur, et cette imprimante se caractérise par une grande précision et une bonne efficacité.

L'un des avantages de cette technologie est la fabrication d'objets perdus et inaccessibles, et elle nous permet de gagner beaucoup de temps et d'argent.

Nous proposant une conception d'imprimante 3D qui intéresse les industriels et même dans le domaine déductaic.

Mots clés: imprimante 3D, objets solides, design, machine

.**Summary:**

The 3D printer is a machine that allows us to create real solid objects by designing it with a computer, and this printer is characterized by high precision and good efficiency.

One of the benefits of this technology is the making of lost and inaccessible items, and it saves us a lot of time and money.

This study proposes a 3D printer design that is of interest to manufacturers and even in the educational field.

Keywords: 3D printer, solid objects, design, machine.

Liste des figures :

Figure 1.1 : Imprimante FDM ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1-2 :La stéréolithographie (SLA)..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.3 : Le procédé DLP ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.4. Le filtrage laser (SLS) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.5. Impression par le procédé PolyJet..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.6 : impression par FTI ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.7 : Filament ABS ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.8 : Filament PLA..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 1.9 Matériaux Alumide ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.1 :schéma d'un impremante 3d..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.2 : Imprimante 3d FDM (delta)..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.3 : Imprimante 3d FDM (Polair)..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.4 : fonctionnement d'une imprimante a des bras robotiques..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.5 : Imprimante 3D i3 concept ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.6 : Imprimante 3D core X,Y ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figures 2.7 :moteur aimant..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figures 2.8 : moteur bipolaire..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figures 2.9.moteur unipolaire..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.10 :moteur pas à pas Réluctance variable ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.11 : Moteur hybride..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.12. vis à billes ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.13 :Vis à billes super S séries ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.14 Figure 2.15 :Vis à billes super T séries ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.16 Figure 2.17 :Vis à billes à recirculation externe ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.18 Figure 2.19:Vis à billes recirculation interne..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.20.Figure 2.21 :Vis à billes de type Recirculation de la cabine d'extrémité**Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.22. Les composantes de la carte Rasberry Pi..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.23. Les composants de la carte BeaglBone ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.24 carte arduino uno..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.25 : carte arduino Lenardo..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figue 2.26. Carte arduino mega..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.27 carte arduino Nano ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 2.28.Carte arduino Mini Pro ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.29 Constitution de la carte Arduino ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-30.driver moteur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-31.dataschéet du driver ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-32. Ramps carde ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-33. Capteur de fin de course ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-34.lit chauffant ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2.35 : logiciel CAO solidWork ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-36. Ideamaker. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 2-37.les types de remplissage du modèle ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.1 : châssis ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.2 : fixation de châssis ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.2 : plateau d'impression ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.3 : coupleur flexible ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.4 : conception de système de transmission de l'axe Z ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.5 : conception de transmission de l'axe X ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.5 : système de transmission de l'axe X et Y. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.6 : système de transmission de l'axe X et Y. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.7 : système courroie, poulie ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.8 : conception de la tête d'extrusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.9 : axe de guidage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.10 : bague en bronze ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.11 : conception final de l'imprimante 3d ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.12 : conception final de l'imprimante 3d ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.13 : conception de moteur NEMA17 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.14 : Lit chauffante. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.15 : Branchement de l'Alimentation. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.16 : bloc chauffante. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.17 : Carte RAMPS 1.4 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3.18 : diagramme de connexion des contrôleurs sur la carte RAMPS et connexion des moteurs pas à pas aux contrôleurs ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.1 : ouvrir le dossier d'installation. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.2 : exécuter Matlab en tant qu'administrateur. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.3 : relie deux logiciels. ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 4.4 : activation Simscape 1. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.5 : activation Simscape 2. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.6 : export le fichier de SolidWorks. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.8 : schéma fonctionnel. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.9 : schéma fonctionnel modifiée. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.10 : simulation de l'axe Z. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.11 : représente le schéma bloc de l'axe X. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.12 : schéma fonctionnel modifiée. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.13 : simulation de l'axe X. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4.12 : schéma fonctionnel de notre imprimante 3D. **Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux :

Tableau 1-1 : principaux technologie et matériaux……12

Tableau 2-1.Comparaison entre les types des moteurs pas à pas……..22

Tableau 2.2. Les caractéristiques principales de la carte Arduino…….31

Tableau 3.1 : les avantages et les inconvénients…….42

Tableau 3.2 : Matérielnécessaire……50

Sommaire :

Remerciments

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction génerale…….…….1

Chapitre01 : Généralité sur l'impression 3D et les imprimantes 3D…….……...3

1-1. Introduction :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-2. Historique :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3. Les différents types de l'impression 3D : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3-1. Le dépôt de filament fondu :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3-2. La procédé de photopolymérisation :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3-3. Le filtrage sélectif par laser : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3-4. Le procédé Jet de photopolymère (PolyJet) : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-3-5. FTI (Film Transfer Imaging) : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-4.Matriaux d'impression : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-4-1 les polymères : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-4-2. Les matériaux composites : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-4-3. Métaux :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-5. Technologie de l'imprimante 3D..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-5-1. Principe de fonctionnement :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-6.Les avantages et les inconvénients de l'impriment 3D ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-6-1.les avantages ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-6-2. les inconvénients :..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-7.conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre 02 : l'imprimante 3D FDM…….15

2-1.Introduction :..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-2.Modélisation de dépôt de filament fondu :..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-2-1.Processus, matériaux, domaines d'application : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-3.Les différentsmécanisme des imprimantes 3d FDM..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-3-1. concept Delta..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-3-2. Imprimante 3D Polair : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-3-3.Les bras robotiques : **Erreur ! Signet non défini.**
2-3-4. imprimante 3D cartésienne **Erreur ! Signet non défini.**
2-3-4-1.concept i3 : **Erreur ! Signet non défini.**
2-3-4-2. Core x,y : **Erreur ! Signet non défini.**
2-4.Firmware : **Erreur ! Signet non défini.**
2-5.Code G **Erreur ! Signet non défini.**
2-5-1.Mouvement de la machine **Erreur ! Signet non défini.**
2-6.Les Moteur pas à pas : **Erreur ! Signet non défini.**
2-6-1.Principe de fonctionnements **Erreur ! Signet non défini.**
2-6-2.Les types des moteurs pas à pas : **Erreur ! Signet non défini.**
2-6-2-1.Selon la conception des moteurs **Erreur ! Signet non défini.**
2-6-3.Comparaison entre les types des moteurs pas à pas : **Erreur ! Signet non défini.**
2-7.Les vis à billes : **Erreur ! Signet non défini.**
2-7-1.Les type de vis à billes **Erreur ! Signet non défini.**
a) La série super S **Erreur ! Signet non défini.**
b) Les séries super t **Erreur ! Signet non défini.**
c) Type de recirculation externe **Erreur ! Signet non défini.**
d) Recirculation interne **Erreur ! Signet non défini.**
e) Recirculation de la cabine d'extrémité **Erreur ! Signet non défini.**
2-8.La carte programmable : **Erreur ! Signet non défini.**
2-7-1.Les types de la carte programmable : **Erreur ! Signet non défini.**
a) Raspberry Pi : **Erreur ! Signet non défini.**
b) beagleBone : **Erreur ! Signet non défini.**
c) La carte arduino : **Erreur ! Signet non défini.**
La carte Arduino UNO **Erreur ! Signet non défini.**
La carte Arduino Lenardo **Erreur ! Signet non défini.**
La carte Arduino Mega **Erreur ! Signet non défini.**
La carte Arduino Nano **Erreur ! Signet non défini.**
La carte Arduino Mini Pro **Erreur ! Signet non défini.**
Les composantes de la carte arduino : **Erreur ! Signet non défini.**
Les caractéristiques principales de la carte Arduino : **Erreur ! Signet non défini.**
Le driver STEPSTICK A4988 **Erreur ! Signet non défini.**
Ramps **Erreur ! Signet non défini.**
2-9. Thermistor **Erreur ! Signet non défini.**

2-10. End stops..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-11. Lit chauffant..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-12. La table ..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-13.Génie logiciel ..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-13-1.SolidWorks :..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-13-2.Ideamaker:..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-13-2-1.Remplissage du modèle :..... **Erreur ! Signet non défini.**
2-14. Conclusion : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Chapitre 03 :conception d'une imprimante 3D……..41
3-1. Introduction :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2. Conception de la partie mécanique : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-1. Le châssis..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-2.Le plateau de travail :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-3.La transformation de mouvement :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-3-1.Transmission de mouvement de l'axe Z :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-3-2.Transmission de mouvement de l'axe X et Y :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-4. La tête d'extrusion :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-5. Le système de guidage : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-2-6. Dessin d'assemblage : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3. Partie commande : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-1.Moteur pas à pas NEMA 17 : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-2. Lit chauffant :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-3 L'alimentation :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-4. bloc chauffante :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-5 : Câblage :..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-3-6. Contrôleur de moteurs pas à pas ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3-4.Conclusion : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Chapitre 04 :simulation SolidWorks/MATLAB……..….59
4-1.Introduction : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-2. Simscape Multibody : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-2-1.Installation de Simscape Multibody :..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-2-2. Activation Simscape :..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-3. Export SolidWorks :..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-4.Schéma fonctionnel ou schéma bloc :..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-4-1.Schéma bloc de l'axe Z : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

4-4-2.Schéma bloc de l'axe X :..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-4-3.Schéma bloc de l'assemblage du notre imprimante 3D : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
4-5.Conclusion :..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion génerale…….71
Bibliographie
ANNEXE

Introduction générale

Introduction générale

Vu la mondialisation et la globalisation actuelles des échanges marchands, l'unité de productiondoit faire face à plusieurs contraintes -tell que les délais, la qualité et lacomplexité des produits... etc.-, qui rendent les systèmes de production trèscomplexes ; pour les affronter, la notion de prototypage rapide devienne très importante etobligatoire pour les industriels et ceci aussi bien pour des raisons de coût et deproductivité. Le prototypage rapide est la transformation des idées innovantes en produitsfinaux réussis. Ce dernier (qui nous a orienté vers la nouvelle technique d'impression 3d) suscite un intérêt croissantque ce soit chez les industriels, ou bien chez les passionnés de la technologie et lesacadémiques.

L'impression 3D utilise souvent les systèmes de prototypage rapide et fait partie de la famille des machines –outil à commande numérique (CNC) ;et s'applique Dans plusieurs domaines- commercial, social, médicale, spatial, aéronautique, industrielle de défense… .

En regardant l'importance et l'utilisation de la presque-totalité des domaines de la vie de cette technique,nous avons mis en œuvre un modèle fonctionnel d'une imprimante 3D comme un projet de fin d'étude, cette imprimante utilise la technique FDM : modélisation par dépôt de matière fondue. Tout au long de notre travail, nous avons mis le point sur toutes les étapes nécessaires pour la conception d'une telle machine.

Le travail qu'onprésente dans ce mémoire est divisé en trois (04) chapitres, suivant ces étapes :

Le premier (01) chapitre : des généralitéset l'historique de la technologie de l'impression 3D.

Et dans le deuxième (02) chapitre : l'imprimante 3D FDM dépôt de filament et ses composantes soit mécanique ou électrique.

Le troisième(03) chapitre : la conception de chaque pièce de l'imprimante 3D en utilisant SolidWorks, puis la partie de commande et logiciel.

Le quatrième (04) chapitre : la simulation de notre imprimante 3D en utilisant Matlab et SolidWorks.

En concluant notre fruit de travaille par une conclusion générale avec des perspectives terminera notre travail.

Chapitre 01 : Généralité sur les imprimantes 3D

1-1. Introduction :

L'impression 3D est une méthode de fabrication (fabrication par addition) basée sur l'ajout des couches de la matière, contrairement aux technique procédant par m'enlèvement de la matière comme fraisage . L'impression 3D permet de réaliser des objets solides en trois dimensions.

Le point de départ de l'impression 3D et un fichier CAO (conception Assistée par ordinateur) contenant un dessin 3D, décomposé en tranches. Ce fichier est envoyée à imprimante 3D qui transformer l'idée en objet réel par l'ajout des couches successives.

1-2. Historique :

Si le phénomène d'impression 3D s'emballe depuis quelques années, le procédé existe pourtant depuis le milieu des années 1980.voici un bref historique de l'impression 3D présentant les grands tournants technique ou pratique.

1983-1986 : la naissance de l'impression 3D

Cette première imprimante 3D débouchera sur le premier modèle de série en 1988: la SLA-2502 de 3D systems. L'imprimante sera alors aux industriels à crée des objets pour tester leur design avant de décider la production des pièces en série.[1]

1990-1992 : L'impression couche après couche

Ce n'est pas encore parfait loin de là mais le potentiel énorme de l'impression 3D de dévoile avec la création couche après couche d'objet 3D prouve qu'elle est capable de créer des pièces complexes.[1]

1999 : la première prothèse implantée sur un être humain

Les chercheurs et les ingénieurs créent une espèce de prothèse permettant d'accompagner l'agrandissement de la vessie d'un patient. Outre la contrainte de devoir créer un « objet » adapté à la physionomie de la malade .il convient de trouver un système réduisant les risques de rejets. La pièce est donc enrobée de cellules du patient cette étape constitue une avancée majeure en ouvrant de nouvelles perspectives à la médecine. [2]

2002 : Un premier rein fonctionnel

C'est encore la même équipe de scientifique sui est à la base de cette prouesse (bio ?) médicale. Cette fois les universitaires du laboratoire Wake Forest Institute for Régénérative Médicine recréent un rein fonctionnel capable de filtrer le sang et de diluer l'urine. Il est greffé sur des animaux et ouvre la voie à la création d'organes et de tissus à des buts médicaux. [2]

2005 : Lancement du RepRap Project :

En 2005 est bien une date clé. Le Dr. Adrian Boyier et son équipe de l'Université de Bath imaginent une prouesse technologique en lançant la construction d'une imprimante 3D capable de créer les pièces utiles à son fonctionnement. Leur but ? rendre le plus accessible possible l'impression 3D où une machine auto-replicante « Viraliserait » son usage et les services qu'elle peut apportait. [2]

2008 : Le RepRap Project abouti/ shapeways.com ouvre

Le project Rep Rap réussi son pari. Leur première imprimante auto-réplicante sort. Darwin permet à un possesseur de créer d'autres machines pour son réseau proche .c'est aussi cette année-là que sort la version Beta de la boutique de plans en ligne Shapeways.com. Designers architectes et ingénieurs peuvent créer des plans de manière conjointe et faire imprimer des objets complexes à prix abordable. [2]

2009 : MakerBot Industries à l'assaut du grand public

Cette année-là, la société MakerBot Industries propose à la vente un KitDIY(Do It Yourself) à l'attention des particuliers. Tout le monde peut désormais posséder chez soi une imprimante 3D fonctionnelle à prix abordable. [2]

2010 : Un vaisseau sanguin imprimé avec une imprimante spéciale

L'impression 3D à vocation médicale fait son petit bout de chemin mais à la fin 2010 tout s'accélère. En décembre 2010, une équipe de chercheur parvient à créer avec une bio-imprimante 3D organovo un vaisseau sanguin fonctionnel. [1]

2011 : Un premier drone à 5000 Livres Sterling

Les ingénieurs de l'Université de Southampton parviennent à créer un avion sans pilote en une semaine pour le prix de 5000 Livres Sterling. Susla5c'est le nom de cet avion) mesure prêt de 2m d'envergure et propulsée par un moteur électrique lui permettant d'atteindre la vitesse de 160 Km/h. Imprimées grâce à la technologie SLS, les pièces du fuselage ont été produites en un temps record et avec une finesse remarquable. [1]

2011 : Après l'avion : La voiture

Lors de la conférence TedX de winnipeg au canada, la société Kor Ecologic présente Urbee, une voiture dont la carrosserie est complètement composée de pièces imprimées à l'aide d'une imprimante 3D. Urbee est « eco-friendly » et est dessinée pour consommer le moins de carburant possible 1.18 litres aux cent kilomètre sur autoroute et moitié moins en ville. On estime qu'elle couterait entre 10000 et 50000 dollars si le projet commercial est valable. [1]

2011 : L'or et l'argent en impression Grand Public

i.materialise.com propose l'impression d'objets en or ou en argent plus que jamais le monde de l'imprimante 3D fait les yeux doux aux artisans et bijoutiers. Plus besoin de moules pour tirer des pièces en série, le bijou est unique et à prix réduit.[1]

2013 : Une Arme à feu fonctionnelle

Triste jour pour l'impression 3D avec l'un de ses plus gros buzz : La diffusion d'une vidéo, puis plus conséquemment des plans d'une arme à feu le tout fait polémique et remonte jusqu'au gouvernement américain qui interdit leur diffusions.

1-3. Les différents types de l'impression 3D :

Aujourd'hui, le marché de l'impression en trois dimensions ou de la fabrication additive propose différents types d'impression. Alors pas si simple de repérer… d'autant plus que chaque type a sa propre technologie pour réaliser l'objet en volume, et sa vitesse et la matière première .Dans la suite, nous présentons les différents types d'impression en trois dimension (3D).

1-3-1. Le dépôt de filament fondu :

La technologie plus connue sous son nom anglais de FDM (Fused Desposion Modleling) ou FFF (Fused Filament Fabrication). Cette technologie a été développée par S.Scott Crump à la fin des années 80 et commercialisée en 1990 par Stratasys (USA).

Cette technique est souvent considérée la méthode existence la plus basique. Le FDM repose sur 3 éléments principaux : un plateau d'impression sur lequel est imprimé la pièce, une bobine de filament qui sert de matériau et une tête d'extrusion également appelé extrudeur. Pour résumer, le filament est entraimé et fondu par l'extrudeur de l'imprimante 3D, celui-ci dépose le matériau de manière précise couche par couche sur le plateau. [3]

Cette technique posséde l'avantage de permettre une fabrication des pièces de façon plus efficace, en offrant un cycle de conception plus court et souvent à moindre coût comparé aux méthodes soustractives traditionnelles. Elle génère aussi moins de déchets, permet la réalisation d'objets aux forme complexe et rend la personnalisation possible. Cependant, elle n'est pas réalisable avec autant de matériaux que les méthodes conventionnelles ce qui limite considérablement son utilisation.[4]

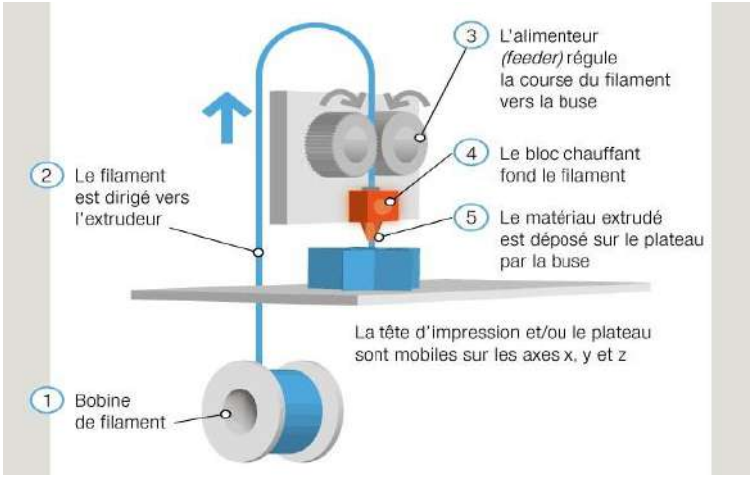


Figure 1.1 : Imprimante FDM

1-3-2. La procédé de photopolymérisation :

Dans ce type on a deux technologies :

* SLA (Sterolithography Apparatus) :

La technologie destéréolithographie aussi connue sous le nom de vat polymérisation a été inventée en 1986 par le fondateur de la société 3D systems Charles HULL.

Une des formes de la stérolithographie les plus répandues est la photopolyrisation (SLA) ou photoplymérisation en cuve, elle consiste à concentre un rayon lumineux, la plupart du temps un laser UV dans une cuve remplie de photopolymère, un matériau synthétique dont les molécules se solidifient sous l'effet de la lumière ultraviolette. Ainsi, le laser se déplace et solidifie la matière à la surface du bac, créant une première. La plateforme supportant le bac descend progressivement, selon l'axe Z (voir la figure 1.2) afin que laser solidifie la tranche suivante, et jusqu'à l'obtention finale du modèle. [5]

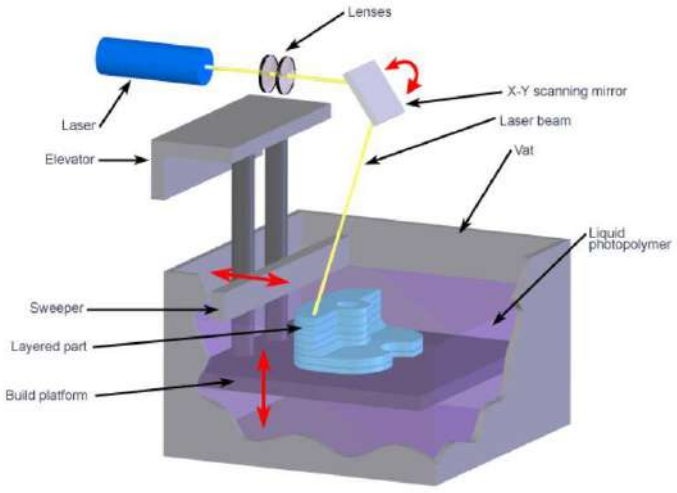


Figure 1-2 :La stéréolithographie (SLA)

***DLP (Digital light processing)**

Cette technique est utilisée pour la première fois en 2002 par la société Envision TEC. Le procédé est fondé sur l'utilisation d'une puce contenant jusqu'à 2 millions de miroirs microscopiques imaginée et crée par larry HORBECK dès 1987.

Le principe est le même que pour la technologie SLA, la lumière ultraviolette, guidée par commande numérique, photopolymérise le mélange monomère /photoinitiateur. À la différence de la technique SLA, c'est une puce qui balaye en une seule fois, toute la surface du réservoir, à la manière d'un négatoscope, ne laissant passer la lumière qu'aux endroits. Définis informatiquement, il n'y a pas de mouvement de translation, mais exclusivement un mouvement vertical du plateau d'impression mobile [6]

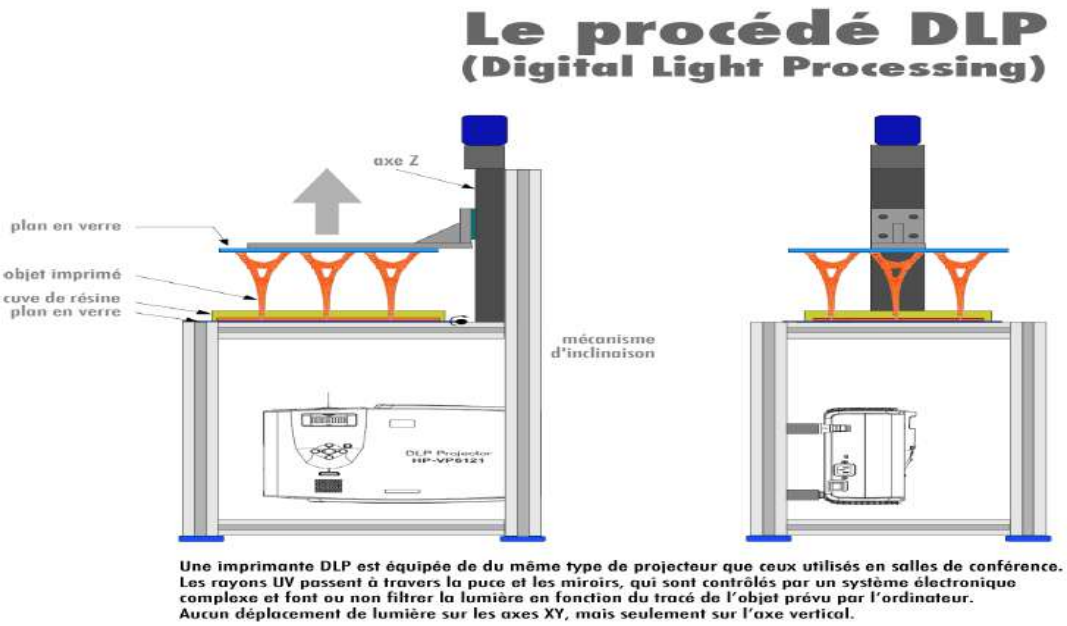


Figure 1.3 : Le procédé DLP

1-3-3. Le filtrage sélectif par laser :

La technologie connue sous son nom anglais SLS (Selective Laser Sintering), c'est une technique additive consistant à chauffer de fines particules de plastique, métal, céramique ou de poudre de verre à l'aide d'un laser.

Le procédé de la SLS utilise la poudre de polymère comme matériaux principale de construction, tel que du polyamide un laser chauffe la couche de poudre de façon sélective fusionnant ainsi les particules de poudre de format la première section de l'objet. Pour chaque nouvelle couche, le bac descend et une nouvelle couche de poudre est déposée au-dessus de la première. En même temps que la seconde tranche se crée, elle est fusionnée à la première, constituant ainsi un objet solide, Le procédé est ainsi répété jusqu'à l'obtention complète de l'objet. [5]

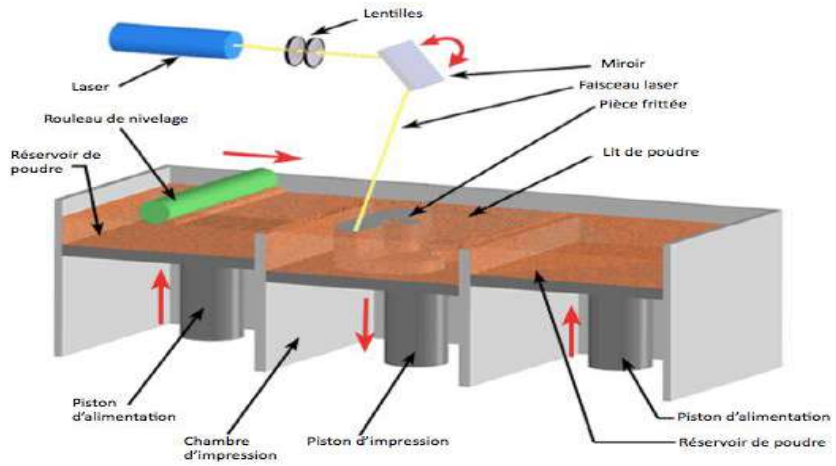


Figure 1.4. Le filtrage laser (SLS)

1-3-4. Le procédé Jet de photopolymère (PolyJet) :

Aussi connue avec le nom MJM (Modelage à Jets Multiples), cette technique consiste à déposer une couche de résine (du plastique type acrylate ou polypropylène) liquide de la même manière qu'une imprimante à jet d'encre avec une épaisseur de 2/100 à 4/100 de millimètres. [7]. La figure (1.5) montre une imprimante avec le procédé PolyJet .

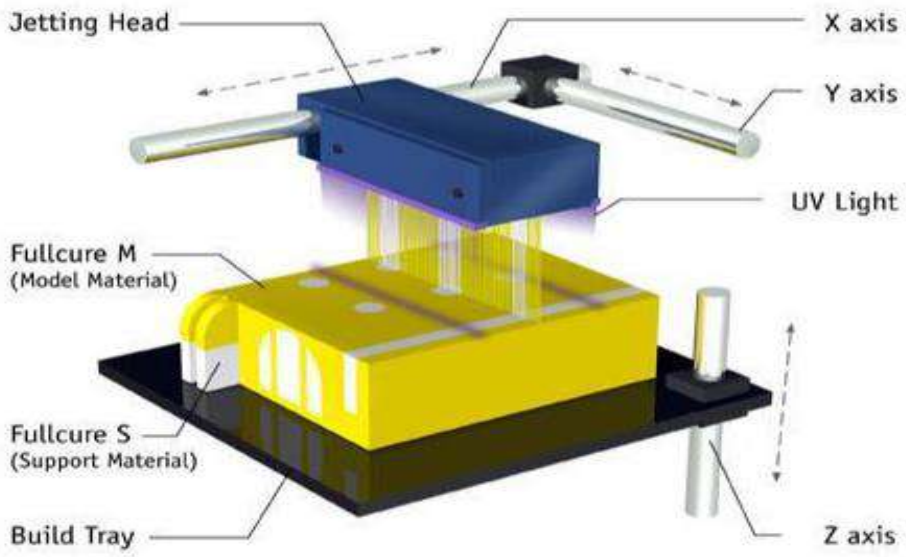


Figure 1.5. Impression par le procédé PolyJet

1-3-5. FTI (Film Transfer Imaging) :

Un film transparent recouvert d'une couche de résine photopolymère est placé devant le vidéo projecteur intégré à la machine, l'image de la coupe 2D projetée dessus va fairedurcir la résine. Le plateau de production est remonté d'une épaisseur tandis que le film transparent fait un aller-retour dans la cartouche afin de recevoir une nouvelle couche derésine liquide, l'image de la coupe 2D suivante est projetée dessus et ainsi de suite. La pièce est ainsi reconstituée couche par couche. [7]

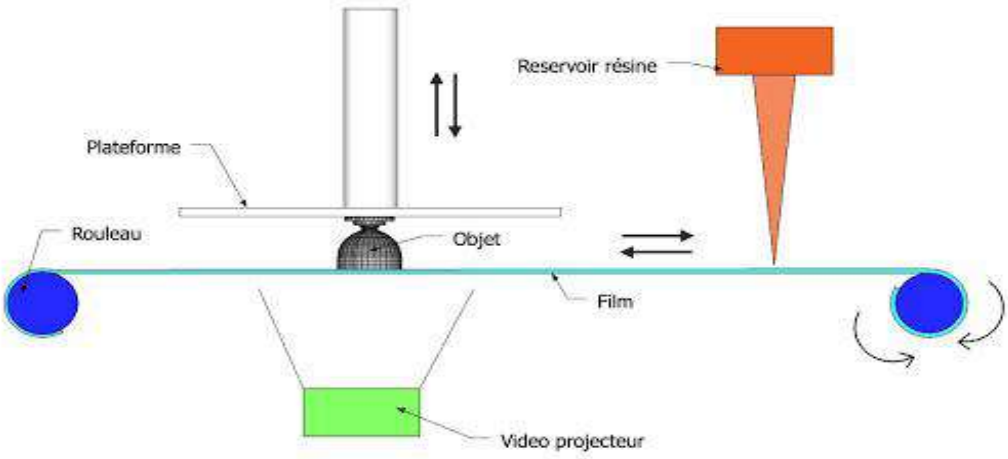


Figure 1.6 : impression par FTI

1-4.Matriaux d'impression :

Pour fabrique un objet, nous devons connaitre les matériaux que nous pouvons utiliser d'autant plus que chaque technologie ci-dessus dépend d'un type spécifique de matériaux .voici quelque matériaux utilisant dans l'impression 3d

1-4-1 les polymères :

On peut classer les polymères en deux groupes : les thermoplastiques etles thermodurcissables en fonction de leur comportement à des températures élevées. Les premiers sont réversibles, là où les seconds ne le sont pas.

a) Les thermoplastiques : ABS et PLA

L'acrylonitrile butadiène styrène ou ABS est un polymère thermoplastique, utilisé par l'ensemble des imprimantes à usage personnel. Fondant entre 200 et 250 °C, une fois durci, l'ABS est capable de résister à d'importantes variations de température, allant de -20 °C à +80 °C.

L'ABS est utilisé dans de nombreux objets composés de plastiques qui nous entourent : ordinateurs, téléphones, Lego, etc.



Figure 1.7 : Filament ABS

L'acide polyatique ou PLA est le second polymère thermoplastique utilisépar les imprimantes personnelles FDM. Fondant entre 160 et 220 °C, lePLA durcit moins rapidement que l'ABS. En pratique le PLA est plus facileà mettre en œuvre que l'ABS, car moins sensible aux variations detempérature. [5]

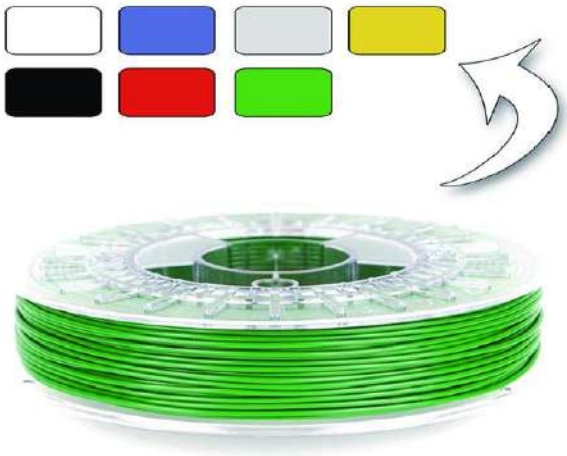


Figure 1.8 : Filament PLA

b) Polyamides et résines :

Le polyamide (PA) est le polymère le plus couramment utilisé dans lesprocédés de fusion par lit de poudre (c'est-à-dire par frittage au laser). Le nylon est un polyamide synthétique,

Les matériaux utilisés dans les procédés de photopolymères (projectionde matière et photopolymérisation en cuve) sont des polymères thermodurcis.

1-4-2. Les matériaux composites :

Les matériaux composites sont souvent utilisés afin d'améliorer les propriétés du produit fini, telles que sa résistance à la traction, sa densité ou encore sa rigidité.

L'alumide :

L'alumide est un matériau composé d'un mélange de poudre de polyamide et de fines particules d'aluminium. Il possède l'aspect du métal, et présente une meilleure résistance à la chaleur que la plupart des thermoplastiques.[5]



Figure 1.9 Matériaux Alumide

1-4-3. Métaux :

a) L'aluminium et ses alliages :

C'est un alliage classique capable de résister à fortes charges. Utilisé dans les pièces qui composent les moteurs.

b) Le cobalt et ses alliages :

Il est utilisé pour la fabrication de moules à cire perdue, permettant des géométries complexes. Il est répandu dans le domaine biomédical et dans l'ingénierie à haute température.

c) Le titane et ses alliages :

Peu répandu dans les industries traditionnelles à cause de son coût élevé et de sa tendance à présenter des impuretés en cas de mauvaise manipulation, le titane est aujourd'hui repris par l'impression 3D, qui s'avère plus fiable et qui permet d'éviter les phases de soudure. C'est un matériau biocompatible, qui offre une excellente adhérence au tissu osseux par exemple.. Il est cependant 50 fois plus cher que l'acier (Berchon, 2014). [5]

Dans le tableau suivant, il y'a une résumé de chaque technologie d'impression avec le matériau utilisant :

Procédé	**Nom de la technologie**	**Matériaux**
Photopolymérisation	SLA (Stereolithography Apparatus)) DLP (Digital light Processing)	Polymère Epoxy ; Epoxy chargé
Le filtrage sélectif par laser	SLS (Selective laser Sintering)	Polyamides (PA) ; Aciers Alliages d 'aluminium, de cobalt, cobalt-chrome, Molybdène; alliages de Titane ; Céramiques
Dépôt de filament fondu	FDM (Fused deposition Modeling)	ABS ; PLA ;
Jets de photopolymère	PolyJet ou MJM (Modelage à Jets Multiples),	Polyéthylène Téréphtalate (PET)

Tableau 1-1 : principaux technologie et matériaux

1-5. Technologie de l'imprimante 3D

L'impriment 3D est distingué pour construire les prototypes, ce méthode basée à la fabrication additive il est capable de réalise des objets complexe avec une grand précision, par plusieurs matériaux.

1-5-1. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de l'impriment 3D varie en fonction de la technologie avec lequel travaillez, comme on a mentionné précédemment, mais il existe des étapes que chaque impriment traverse comme suite :

Étape 1 : Modéliser un objet 3D à partir D'un logiciel CAO (conception assiste par ordinateur) il existe un nombre important de logiciels sur le marché par exemple (SolidWorks, AutoCAD …).

Étape 2 : Exporter notre modélisation au format (.STL) (Stéréolitographie).

Étape 3 : Ouvrir le fichier STL à partir d'un logiciel de découpe (ex. : CatalystEX, Slic3R, IdeaMaker).Ajuster les propriétés (épaisseur des couches, remplissage, échelle). Le logiciel calcul le découpage du matériel et du support couche par couche.

Étape 4 : Configuration du plateau d'impression et lancer l'impression.

Étape 5 : Laisser opérer la magie ! Couche par couche. (Durée : 1 heure par clé à molette.)

Étape 6 :Récupérer son objet 3D.

Étape 7 : Retirer l'objet du plateau d'impression.[8]

1-6.Les avantages et les inconvénients de l'impriment 3D

1-6-1.les avantages

- Fabrication des objets de toutes sortes
- Réparer les objets cassés
- Forte personnalisation possible des biens et produit à bas cout
- Design et production efficace (légèreté, résistance, complexité) ;
- Variété de production (capacité à produire des biens différents)
- Capacité de production d'objet très petit
- Peu de déchets lors de la fabrication
- Production à la demande, volumes réduits

1-6-2. les inconvénients :

- Matériaux et tailles limités.
- La potentielle création l'arme.
- Production non compétitive de grand volumes de produits variété encore limitée des matériaux de base utilisés comme intrants.
- Difficulté de combiner plusieurs matériaux.
- Impression complexe d'objet de grande taille qualité et durabilité limitées des biens finaux.[1]. [9]

1-7.conclusion

Dans ce chapitre on a présenté l'historique de l'impression 3D ainsi que leur différente technologie et les matériaux utilisant dans l'impression 3D, puis on s'est intéressés au l'imprimante 3D et son principe de fonctionnement .Enfin on a présente les avantages et les inconvénients de l'imprimante 3D.
Dans ce chapitre suivant, on s'intéresseà l'imprimante 3D FDM (Fused Desposition Modeling).

Chapitre 02 :

L’imprimante 3D

FDM

2-1.Introduction :

Dans ce chapitre on va voir (le principe de fonctionnement, les composant de l'impriment FDMcomme la carte Arduino, SHIELD, et les logiciels qui gérer notre projet, les avantages de cette technologie, les domaines d'utilisation…) dans le but de donne une image claire et bien précise du côté matériel et logiciel.

2-2.Modélisation de dépôt de filament fondu :

2-2-1.Processus, matériaux, domaines d'application :

Les imprimantes domestiques fonctionnent généralement avec du filament plastique.La technologie derrière cela est souvent appelé Le dépôt de filament fondu et le nom le plus utilise c'est en anglais (Fused Deposition ModelingFDM) est une technologie d'impression 3D qui fonctionne par extruder un polymère thermoplastique à travers une buse chauffée qui se dépose sur un bâtiment étape.

FDM est également considéré comme une forme de fabrication additive, qui en même temps est un «processus d'assemblage de matériaux pour fabriquer des objets à partir de données de modèle 3D, généralement en couches surcouche".

La création d'un objet imprimé en 3D via FDM nécessite, en premier lieu, de travailler sur un fichier STL (format de fichier de lithographie stéréo) qui tranche et oriente mathématiquement le modèle pour le prochainprocessus de construction. Parfois, le logiciel est capable de générer des structures de support pour l'objet automatiquement.

En général, la machine nécessite des matériaux pour l'objet et le soutien.

Le simple processus implique un filament en plastique qui est alimenté par une bobine à la buse où le matériel est liquéfié et «dessiné» sur la plate-forme.

Dès qu'il touche la phase de construction, le filament durcit en se déposant progressivement, suivant une certaine structure, afin de créer l'impression 3D finale.

Lorsqu'une couche est dessinée, la plate-forme diminue d'une épaisseur de couche afin que l'imprimante soit en mesure de commencer à travailler sur la couche suivante. [10]

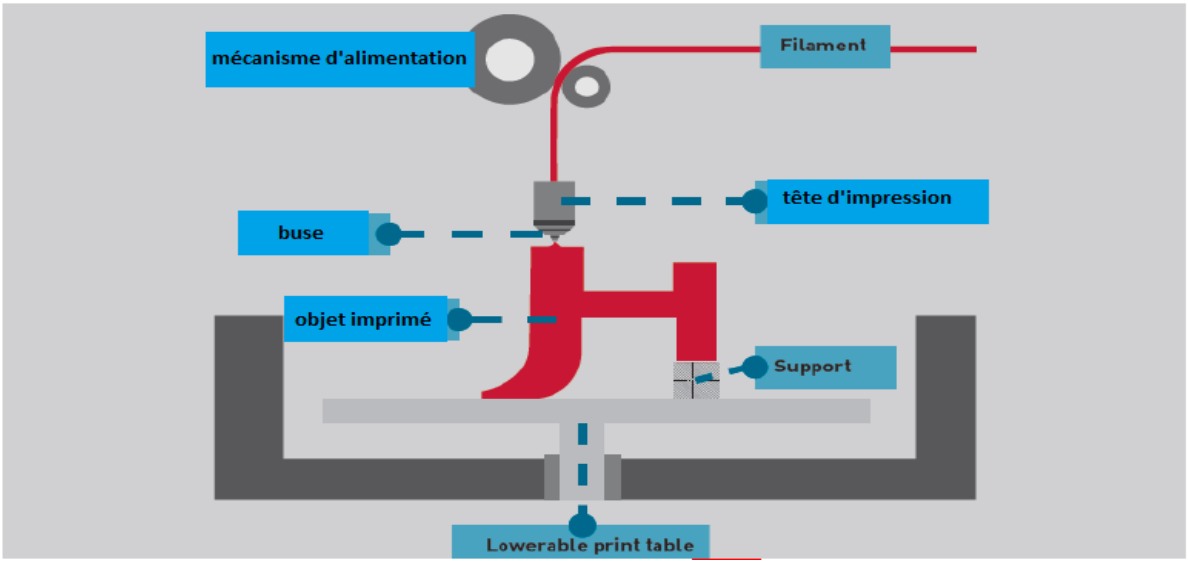


Figure 2.1 :schéma d'un impremante 3d

Il existe de nombreux matériaux différents qui peuvent être utilisés avec FDM. En premier lieu, ils sont répartir entre les catégories industrielles et de consommation.
Les plus couramment utilisés sont ABS (acrylonitrile butadiène styrène), PLA (acide polyactique) et nylon (polyamide), mais autres des variétés de matériaux exotiques peuvent également être utilisées, comme un mélange de matériaux de plastique et de bois ou carbone.[11]
Parce que cette technologie présente de très bons avantages, le FDM est souvent utilisé dans le domaine du non-fonctionnel prototypes afin de produire des pièces de concept, des modèles fonctionnels, des prototypes général, fabrication d'outillage et de modélisation, et pièces d'utilisation finale.
Plus précisément, FDM peut être utilisé pour la production à faible volume et les prototypes destinés aux tests de forme, d'ajustement et de fonction.
Dans le même temps, il est le plus couramment utilisé dans le secteur aérospatial, par exemple, pour produire éoliennes.
Les modèles anatomiques à usage médical sont favorables pour la constriction danscette technologie. Enfin, FDM a lentement permis le prototypage rapide de biomédical micro-appareils, le type d'appareils qui sont utilisés quotidiennement dans les hôpitaux, par exemple, donc très fondamental, car il est considéré à la fois moins cher,et en même temps très sûr. [10]

2-3.Les différentsmécanisme des imprimantes 3d FDM:

2-3-1. concept Delta:

Pour ce mécanisme le seul composent qui bouge est la tête Les imprimantes Delta ont été conçues pour accélérer le processus d'impression. Cependant, beaucoup pensent que ce type d'imprimante n'est pas aussi précis qu'une imprimante cartésienne.[12]

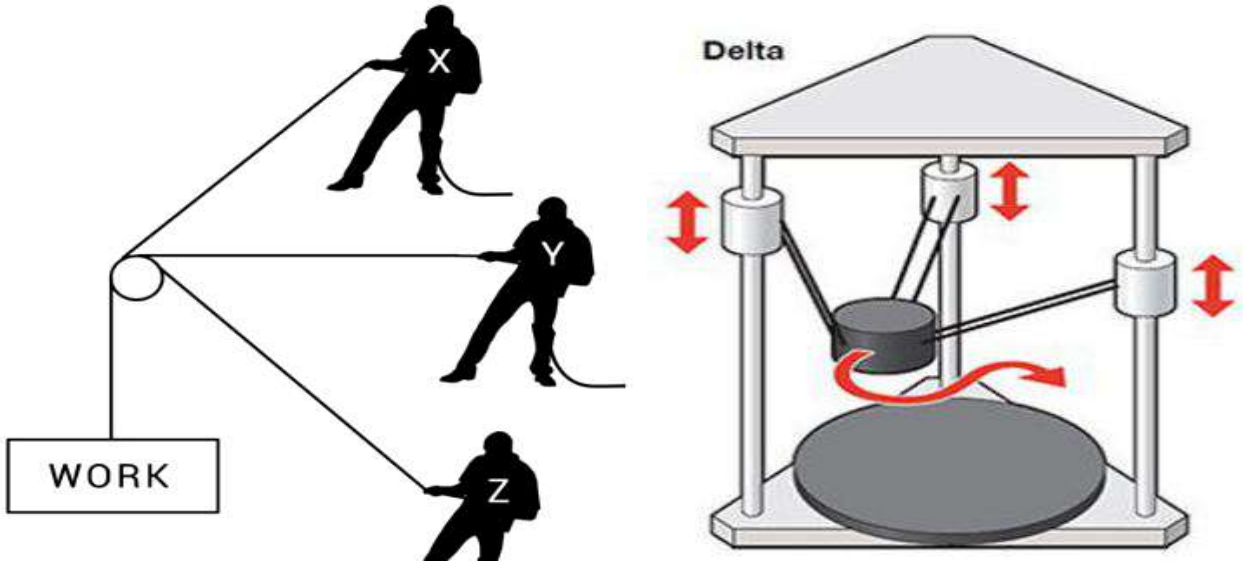


Figure 2.2 : Imprimante 3d FDM (delta)

2-3-2. Imprimante 3D Polair :

Le positionnement des imprimantes Polar 3D n'est pas déterminé par les coordonnées X, Y et Z, mais par un angle et une longueur. Cela signifie que la plaque tourne et se déplace en même temps, l'extrudeuse se déplaçant de haut en bas. Le principal avantage des imprimantes 3D Polar FDM est qu'elles ne comportent que deux moteurs, tandis que les imprimantes cartésiennes en ont besoin d'au moins trois. À long terme, l'imprimante polaire a une plus grande efficacité énergétique et peut fabriquer des objets plus gros tout en utilisant moins d'espace.[12]

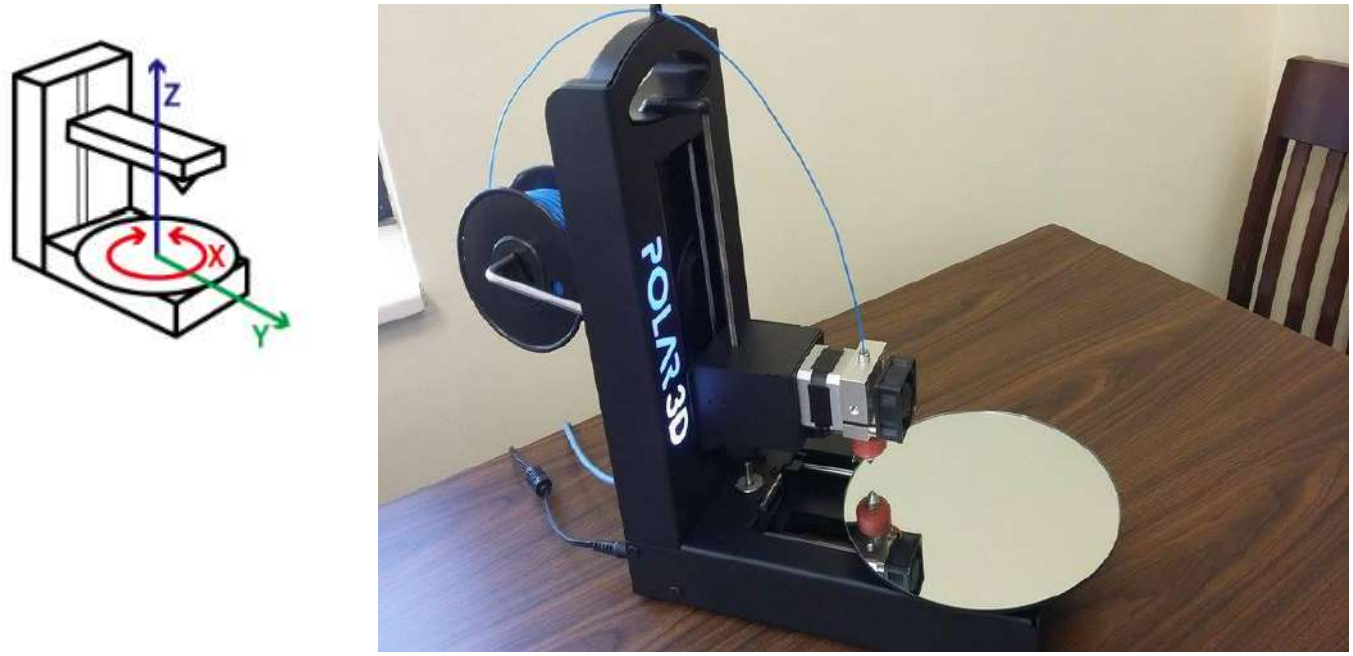


Figure 2.3 : Imprimante 3d FDM (Polair)

2-3-3.Les bras robotiques :

Plus connus pour assembler des composants sur des lignes de production industrielle, en particulier dans les grandes usines automobiles. Alors que l'impression 3D a commencé à incorporer des bras robotiques dans leur processus de production, notamment dans l'impression 3D de maisons et de bâtiments, cette technologie reste encore au stade de développement.

Bien que n'étant pas un processus d'impression couramment utilisé, cette méthode d'impression FDM commence à voir une augmentation de son utilisation. En effet, le processus n'est pas fixé sur une plaque d'impression, ce qui le rend beaucoup plus mobile. De plus, grâce à la flexibilité lors du positionnement de la tête d'impression FDM 3D, il est plus facile de créer des structures complexes. Il convient de noter, cependant, que la qualité d'impression finale n'est pas aussi bonne que les imprimantes cartésiennes conventionnelles.[12]



Figure 2.4 : fonctionnement d'une imprimante ades bras robotiques

2-3-4. imprimante 3D cartésienne :il y a deux types **:**

2-3-4-1.concept i3 :

Ce type et le plus utilise dans le monde, ce mécanisme base à : chaque axe lié à son moteur pas à pas. la table se déplace à la axe y et la tête dans les sens X et Z . Ce type est simple, facile pour calcules le mouvement pour chaque moteur mais il y a des problèmes dans l'axe y et des fantôme surtout dans les grand pièce.[13]

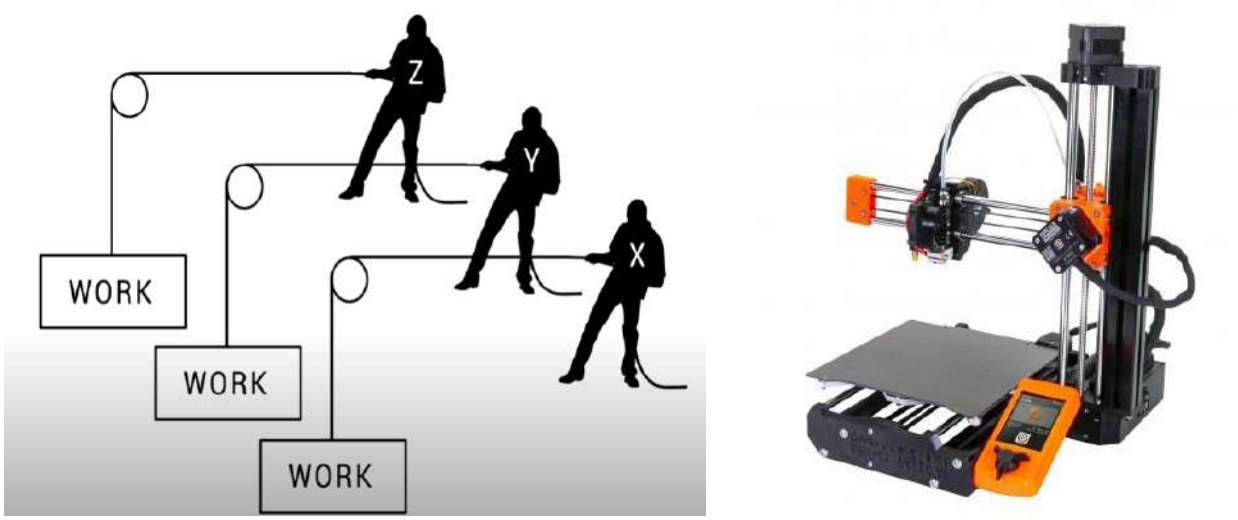


Figure 2.5 : Imprimante 3D concepti3

2-3-4-2. Core x,y :

la déférence et que la table déplace sur z et la tête sur x,y , Un système CoreXY utilise un système complexe de deux longues courroies d'entraînement qui s'enroulent.[13]

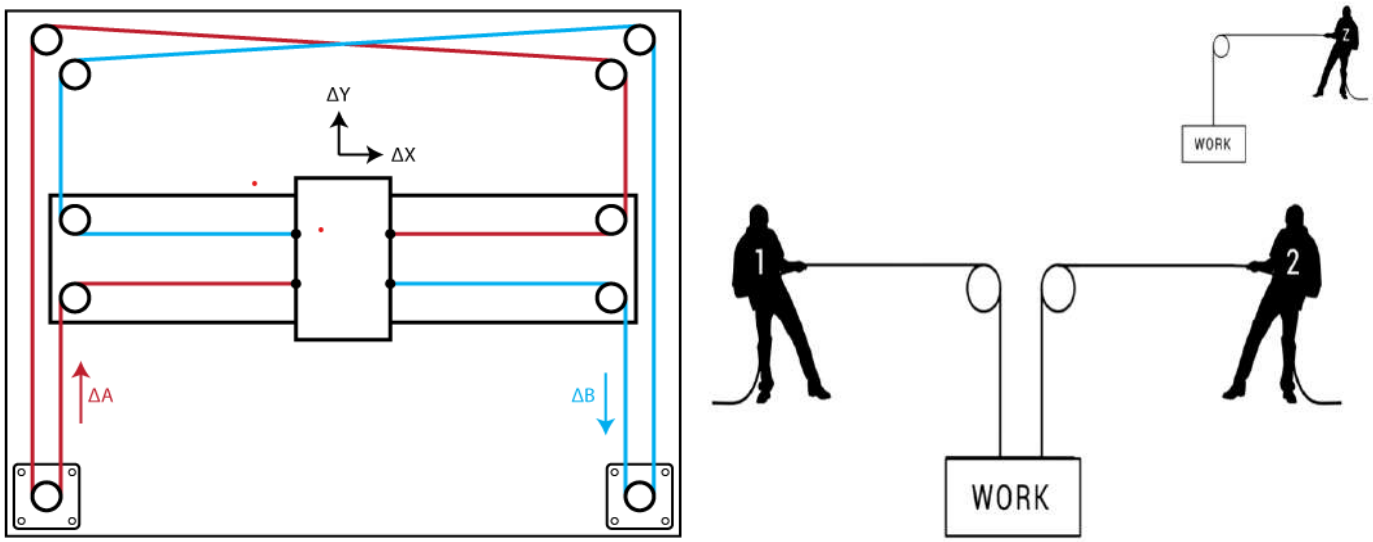


Figure 2.6 : Imprimante 3D core X,Y

L'avantage est qu'il y a moins d'élan lorsque le système de mouvement doit brusquement changer de direction. En d'autres termes, il est plus facile pour un système CoreXY d'effectuer des changements de mouvement, ce qui arrive très fréquemment dans une impression 3D. En termes de qualité d'impression, cela signifie que les effets tels que le "ringing", une série de perturbations de surface de type écho, ont tendance à disparaître, car ils sont causés par l'incapacité du système de mouvement à surmonter complètement l'élan d'une lourde tête d'outil chargée de moteurs.[14]

2-4.Firmware :

Le firmware, comme son nom l'indique, est le pont entre le matériel et les logiciels d'un système informatique. Lorsque le logiciel envoie des commandes au matériel d'un système informatique, le firmware interprète et traduit les commandes du logiciel sous une forme reconnaissable par le matériel.

Dans notre cas, lorsque votre logiciel d'imprimante 3D (comme Repetier Host, Cura ou OctoPrint) envoie du code G à votre imprimante 3D, le firmware traduit les commandes du code G en signaux électriques spécifiques qui sont envoyés aux moteurs, réchauffeurs, ventilateurs et d'autres composants sur l'imprimante 3D.

Par exemple, si le logiciel hôte envoie «G1 X50 Y50» à l'imprimante 3D, le firmware de l'imprimante 3D détermine jusqu'où les moteurs doivent tourner pour déplacer l'extrudeuse à X = 50 mm et Y = 50 mm, puis envoie les signaux électriques aux moteurs pour les tourner la quantité appropriée.[15]

2-5.Code G

Code G est un langage de programmation pour les machines CNC, les imprimantes 3D permettentde contrôler les moteurs et leur vitesse ce qui indique comment la machine se déplacer.

G-code signifie "code géométrique", et suit certaines variations du modèle alphanumérique :

N ## G ## X ## Y ## Z ## F ## S ## T ## M ##

N: Numéro de ligne
G: Mouvement
X: Position horizontale
Y: Position verticale
Z: Profondeur
F: Avance
S: Vitesse de broche
T: Sélection d'outil
M: Fonctions diverses
I et J: Centre incrémental d'un arc
R: Rayon d'un arc les codes alphanumériques sont utilisés pour la programmation, car ilsconstituent un moyen simple de :
1. Définir le mouvement et la fonction (G ##)
2. Déclarer une position (X ## Y ## Z ##)
3. Définir une valeur (F ## et / ou S ##)
4. Sélectionnez un élément (T ##)
5. Allumer et éteindre quelque chose (M ##), tel que le liquide de refroidissement, les broches, le mouvement d'indexation, les verrouillages d'axe, etc.[16]

Par exemple,

G01 X1 Y1 F20 T01 M03 S500

Indiquerait généralement un mouvement d'avance linéaire (G01) à la position XY donnée avec une vitesse d'avance de 20. Il utilise l'outil 1 et la vitesse de broche est de 500.

Les fonctions diverses varient d'une machine à l'autre, afin de savoir ce que M-code signifie, le manuel d'instruction de la machine devra être référencé.

2-5-1.Mouvement de la machine

Tout ce qu'une machine peut faire est basé sur trois types de mouvement de base:
1. Déplacement rapide : un déplacement linéaire vers une position XYZ aussi vite que possible
2. Déplacement d'alimentation: un déplacement linéaire vers une position XYZ à une vitesse d'avance définie
3. Mouvement circulaire : un mouvement circulaire à un taux d'avance défini

Chaque code g indique à la machine quelle variation de ces mouvements de base effectuer, et comment l'exécuter.

X et Y sont des coordonnées cartésiennes pour la position horizontale et verticale et Z représente la profondeur de la machine. Ces chiffres alpha suivront la commande mouvement / fonction (G) pour déclarer la position de la machine.
Ensuite, F détermine le débit d'alimentation (pour les déplacementsd'alimentation ou les déplacements circulaires), tandis que S détermine la vitesse de la broche ou l'extrusion dans lecas d'une imprimante 3D. T est utilisé pour sélectionner un outil. D'autres chiffres alpha utilisés dans la programmation peuvent inclure I, J et R, qui concernent les centres d'arc et les rayons.[16]

2-6.Les Moteur pas à pas :

Le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linaire). Sa structure de base se présente sous la forme de deux pièces séparées mécaniquement, le Stator et le Rotor. L'interaction électromagnétique entre ces deux parties assure la rotation.[17]

2-6-1.Principe de fonctionnements

Moteur qui sous l'action d'une impulsion électrique de commande effectue une fraction de tour (ou "pas").
• La valeur du pas est définit :
– par un angle par pas (ex : 1.8° par pas).
– en nombre de pas par tour (ex. : 200 pas par tour).
L'excitation du moteur se fait via les bobines du stator.
• Le nombre de pas dépend :
– du nombre de phases (groupe de bobine) ;
– du nombre de pôles du rotor et du stator ;
– de la séquence des commutations des phases du moteur. [18]

2-6-2.Les types des moteurs pas à pas :

2-6-2-1.Selon la conception des moteurs

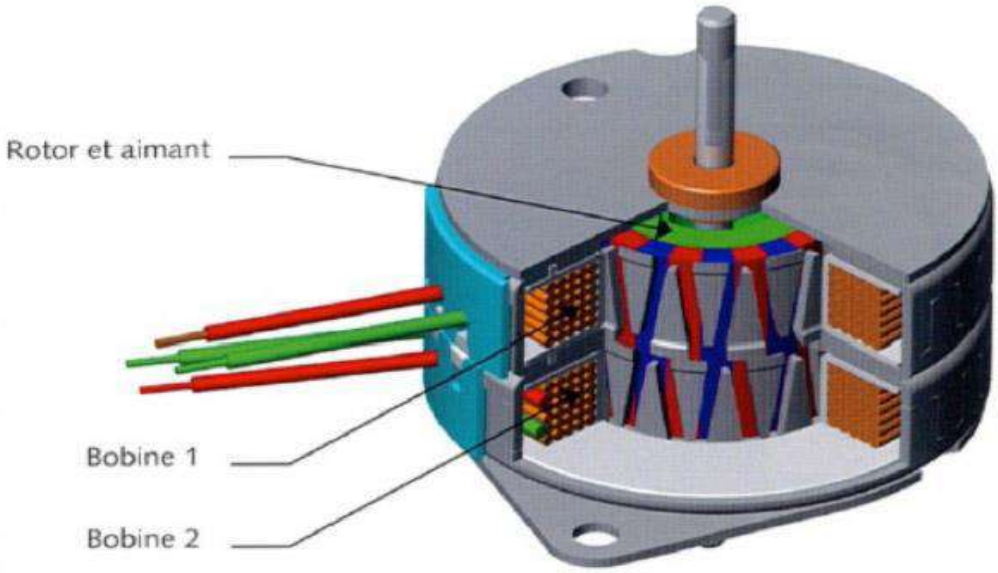
Tous les moteurs pas à pas comprennent un stator portant des bobines dans les quelle le courant est commuté par l'électronique de commande. Par contre la différence aux niveaux de rotor.

a) Moteur à aimant :

Le nom de ce type de moteur pas à pas est lié à la conception de son stator : une tôlemagnétique découpée et emboutie.

Sur un diamètre intérieur, les tôles composent une série de dents qui symbolise les pôles du stator tout en laissant un espace torique pour une bobine.
Chaque sous-ensemble représente une phase stator.

Le rotor est un barreau aimanté radialement ayant plusieurs paires de pôles N-S.



Figures 2.7 :moteur aimant

Avantages du moteur à aimant permanent :

- Dimensions réduites
- Bon rendement
- Bon amortissement des oscillations
- Grand angle de pas (nombre de pas faible : 48)

Inconvénients du moteur à aimant permanent :

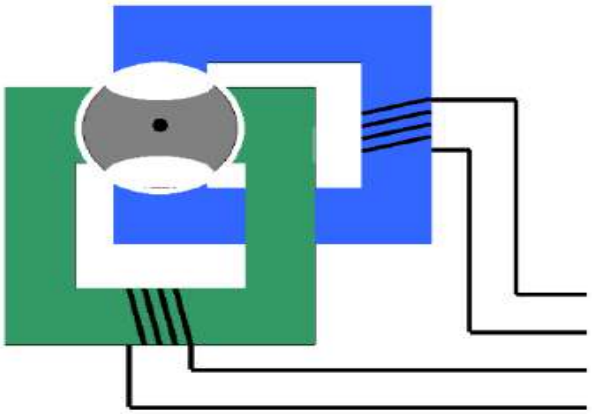
- Puissance faible
- Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement)
- Couple résiduel sans courant
- Vitesse faible

Les types du moteur aiment permanent

a) Le moteur bipolaire

Les bobinages d'un moteur bipolaire sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens.

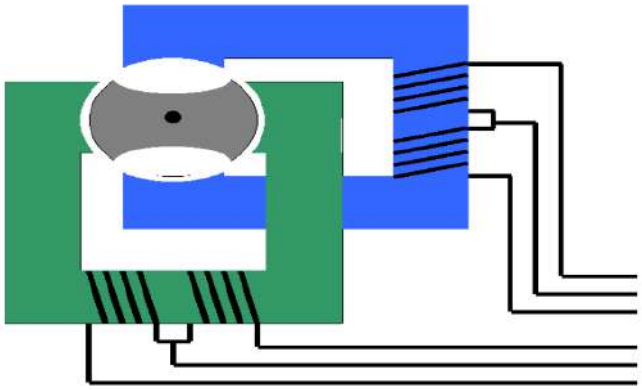
Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire.



Figures 2.8 : moteur bipolaire

b) Moteur unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire.[17]



Figures 2.9.moteur unipolaire

b) Moteur pas à pas Réluctance variable

Moteur pas à pas à Réluctance variableLe principe de fonctionnement de ce type de moteur pas à pas est proche de celui du moteur hybride, avec une structure dentée au rotor et au stator.

Il n'y a pas d'aimant au rotor pour renforcer l'action du flux et donc pas de couple résiduel sans courant.

Ce type de moteur pas à pas n'est presque plus utilisé ni fabriqué.

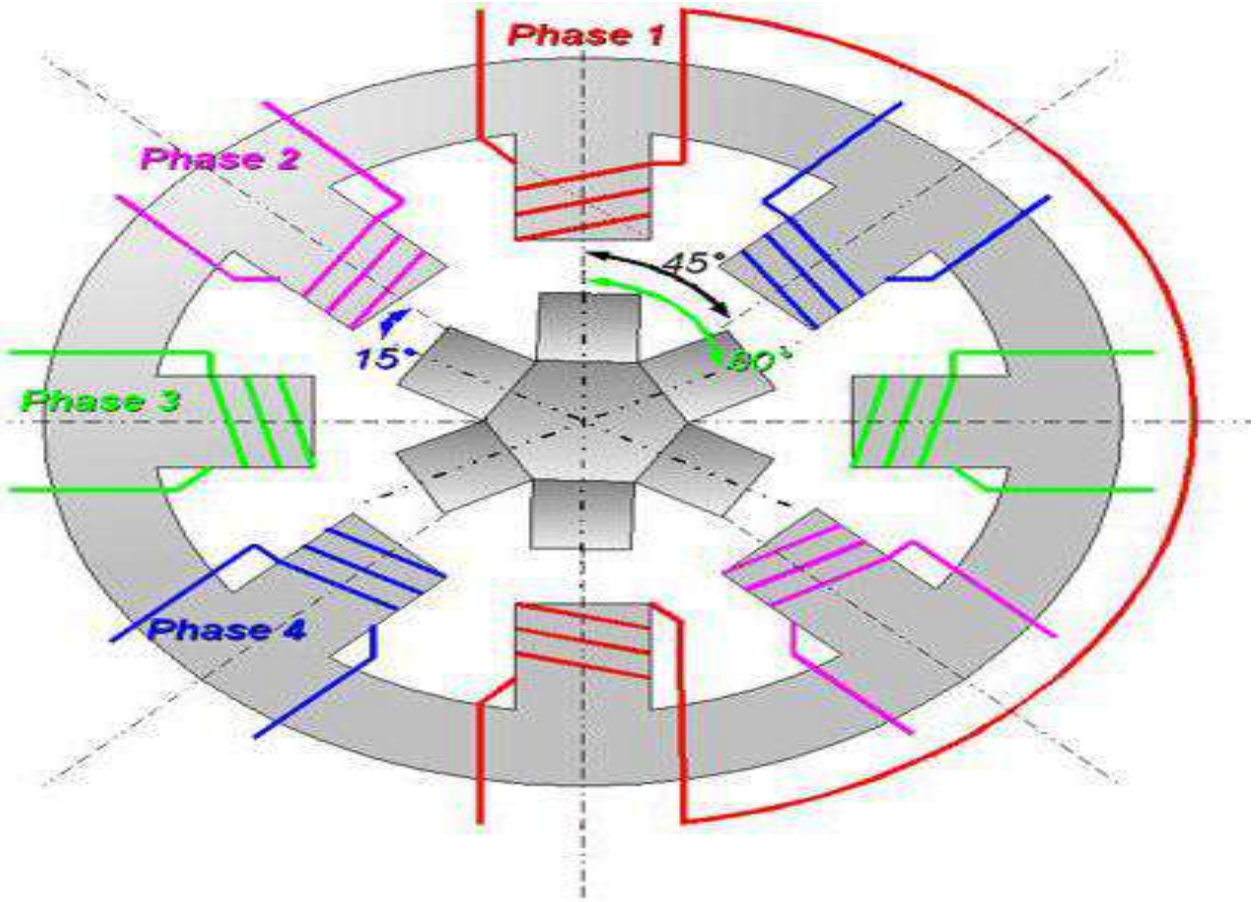


Figure 2.10 :moteur pas à pas Réluctance variable

c) Moteurs pas à pas hybrides

Le moteur pas à pas « hybride » allie le principe du moteur à réluctance variable à celuidu moteur à aimant permanent.

Le rotor du moteur hybride comprend 2 structures régulières de dents.
Ces 2 blocs sont décalés d'une ½ 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° (quadrature).[18]

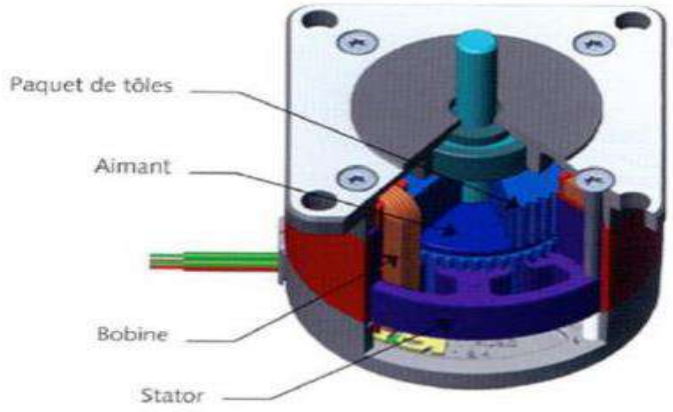


Figure 2.11 : Moteur hybride

2-6-3.Comparaison entre les types des moteurs pas à pas :

	Aimant permanent	**Hybride**	**Reluctance variable**
Coût	Bas	Haut	Moyen/Haut
Vitesse	Bas	Très haut	Haut
Couple résiduel	Haut	Moyen	Minimum
Amortissement	Bon	Moyen/Bon	Mauvais
Inertie rotor	Haut	Bas	Bas
Rendement	Moyen	Très haut	Moyen
Angle de pas	7.5°/15°/18°	0.9°/1.8°	1.8°

Nbrs de pas/tour	48/24/20	400/200	200
Précision du pas	Bas	Haut	Moyen

Tableau 2-1.Comparaison entre les types des moteurs pas à pas

2-7.Les vis à billes :

Les vis à billes sont constituées d'une tige filetée et d'un écrou intégrés aux éléments roulants qui passent par un mécanisme de retour. Les vis à billes convertissent le mouvement rotatif en mouvement linéaire et sont le plus souvent utilisées dans les machines industrielles et les machines de précision.[19]

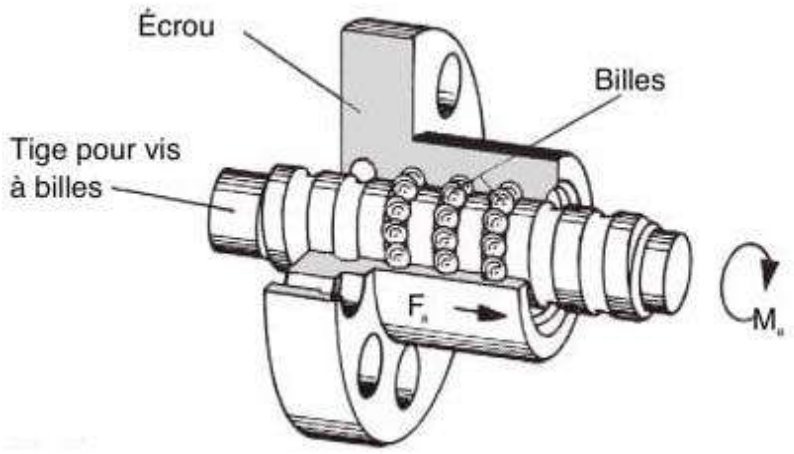


Figure 2.12. vis à billes

2-7-1.Les type de vis à billes

a) **La série super S**

Utilise un système de retour de conception breveté qui peut absorber le bruit d'impact de la balle, ce qui réduit considérablement l'intensité du bruit et permet à la vis à billes de maintenir des performances optimales dans des environnements rigoureux.



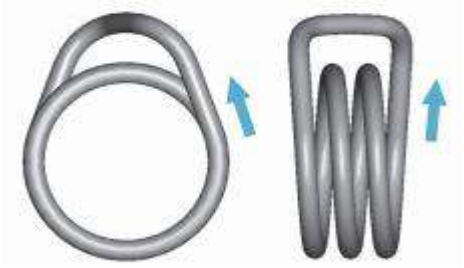
Figure 2.13 :Vis à billes super S séries

b) **Les séries super t**

Cette conception optimale réduit non seulement le niveau de bruit, mais également les vibrations, ce qui permet une rotation plus douce.



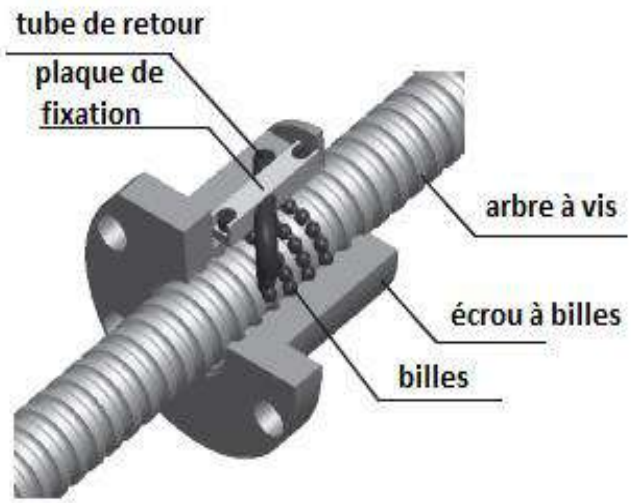
Figure 2.14Figure 2.15



Vis à billes super T séries

c) Type de recirculation externe

Recirculation externe se compose de l'arbre de vis, l'écrou à billes, les billes en acier, les tubes de retour et la plaque de fixation. Les billes en acier sont introduites dans l'espace entre l'arbre à vis et l'écrou à billes, les billes sont détourné de la boule de commande et ramené par le tube de retour du guide de boule d'une boucle.Puisque les tubes de retour sont situés à l'extérieur du corps de l'écrou, ce type est appelé vis à billes de type à recirculation externe.



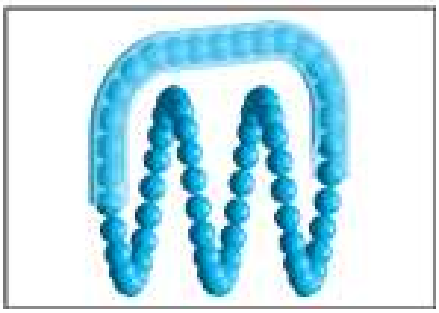


Figure 2.16 Figure 2.17

Vis à billes àrecirculation externe

d) Recirculation interne

Ce conception, appelée vis à billes de type à recirculation interne, se compose de l'axe de vis, de l'écrou à billes, des billes en acier et des capuchons de retour à billes. Les billes d'acier ne font qu'un tour autour de la broche à vis. Le circuit est fermé par un capuchon de retour de balle dans l'écrou permettant aux billes de traverser les pistes de billes adjacentes.

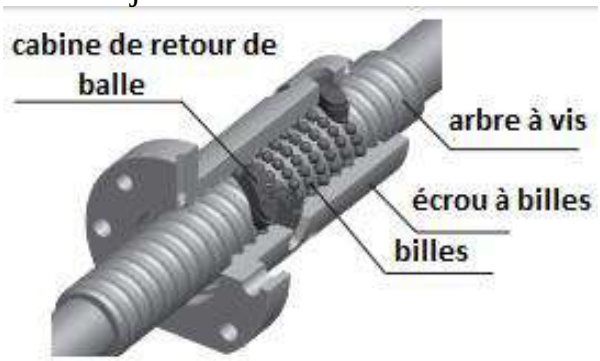


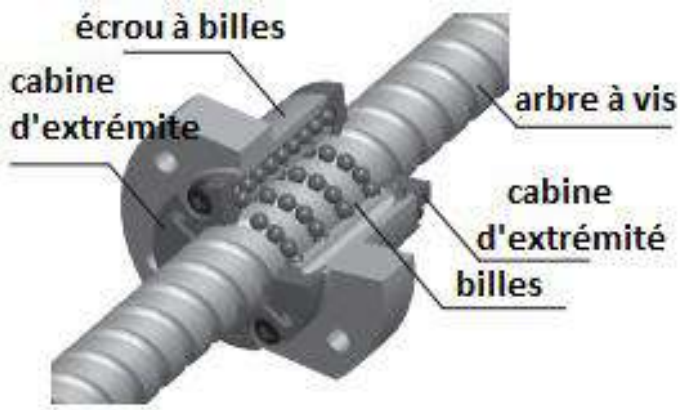


Figure 2.18 Figure 2.19

Vis à billes recirculation interne

e) Recirculation de la cabine d'extrémité

Ce conception est appelée vis à billes de type recirculation de la cabine d'extrémité fig 2.16. La conception de base de ce système de retour est la même que l'écrou de type à recirculation externe fig 2.17, sauf que le tube de retour est fait à l'intérieur du corps de l'écrou comme un trou traversant. Les billes dans cette conception traversent tout le circuit des pistes de billes dans la longueur de l'écrou. par conséquent, un écrou court avec la même capacité de charge que la conception conventionnelle peut être utilisé.[20]



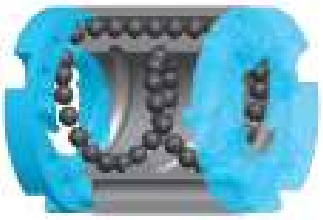


Figure 2.20 Figure 2.21

Vis à billes de type Recirculation de la cabine d'extrémité

2-8.La carte programmable :

C'est une carte qui a besoin de programme informatique pour fonctionner, on peut l'assimiler à un être humain, quand son cerveau est vide il ne sait rien et il ne fait rien.
Les cartes programmables utilisent la technologie digital pour fonctionner n'ayant moins rien ne les empêche de travailler avec des valeurs analogiques mais là c'est le programme qui va conditionner ça.
Les cartes programmables sont des nano-ordinateur mono cartes à des processeurs très puissants comme ARM cortex. [18]

2-7-1.Les types de la carte programmable :

On a plusieurs types du carte programmable on suite on va voire quelque exemples de ces cartes programmable :

a) Raspberry Pi :

Dans la figure suivant on va voir les composantes de la carte Rasebbery Pi :

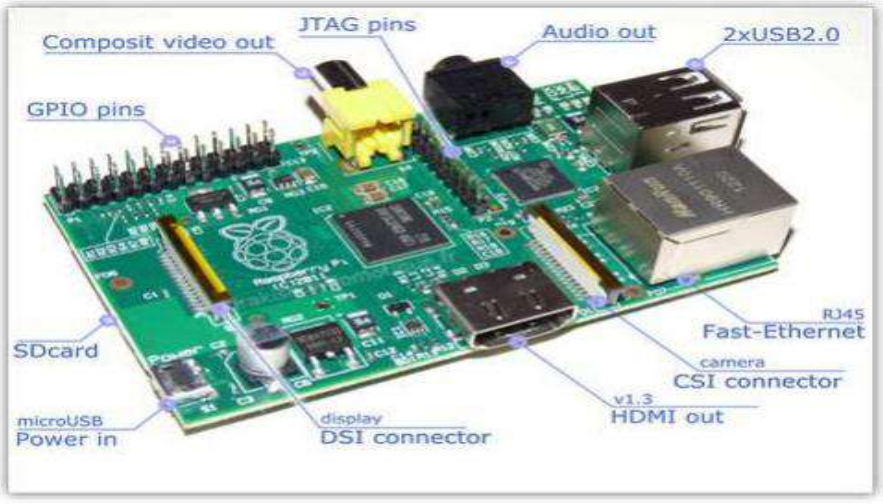


Figure2.22.Les composantes dela carte Rasberry Pi

Les caractéristiques de la carte Rasberry Pi :

CPU: 4 coeur 1.2ghz
Ram : 1 gb
flash : Carte sd
GPIO : 40
Dimensions : 85,60 mm ×53,98 mm ×17 mm
Masse : 44,885 g
Langage : python
Os : linux.[21]

b) beagleBone :

Les composantes de la carte beagleBone sont :

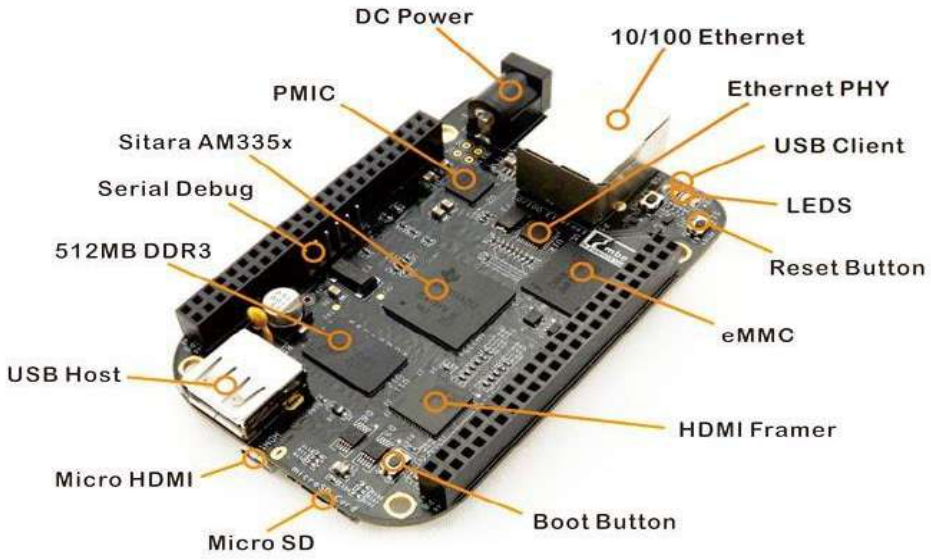


Figure 2.23. Les composants de la carte BeaglBone

Les caractéristiques de la carte BeaglBone :

CPU: cortex A8 1ghz
Ram : 512 MB
flash : 4GB
GPIO : 65
Langage : python
Os : linux.[21]

c) La carte arduino :

Une carte Arduino est une petite carte électronique (5,33 x 6,85 cm) équipée d'un micro-contrôleur. Le micro-contrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable.[22]

- **Les différents types de la carte arduino :**

On plusieurs types de la carte arduino on va voire quelque exemples :

➢ **La carte Arduino UNO**

C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets. Comme c'est la carte la plus utilisée, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net et ainsi de ne pas rester seul dans son exploration.



Figure 2.24 carte arduino uno

La carte Arduino Lenardo

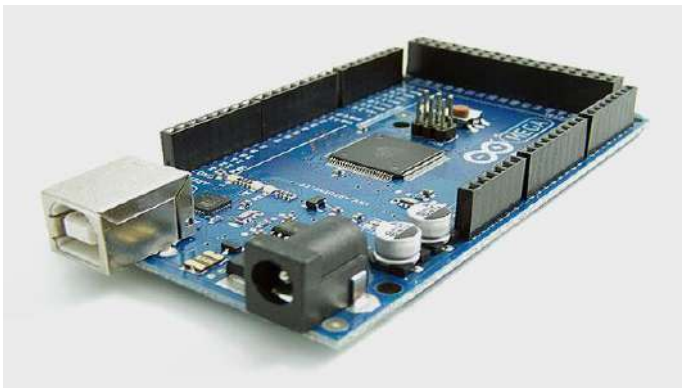
C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino Uno en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net



Figure 2.25 : carte arduino Lenardo

➢ **La carte Arduino Mega**

La carte Arduino Mega est la carte la plus diffusée après la carte Arduino Uno. Elle offre un nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes



Figue 2.26. Carte arduino mega

- **La carte Arduino Nano**

La carte Arduino nano n'est ni plus ni moins qu'une carte Arduino uno miniaturisée. Sa taille et son poids réduits la destinent à une utilisation dans des espaces réduits (en textile par exemple) ou dans des applications de robotique ou de modélisme pour lesquels le poids et la taille sont des facteurs déterminant (hélicoptères, drônes…)

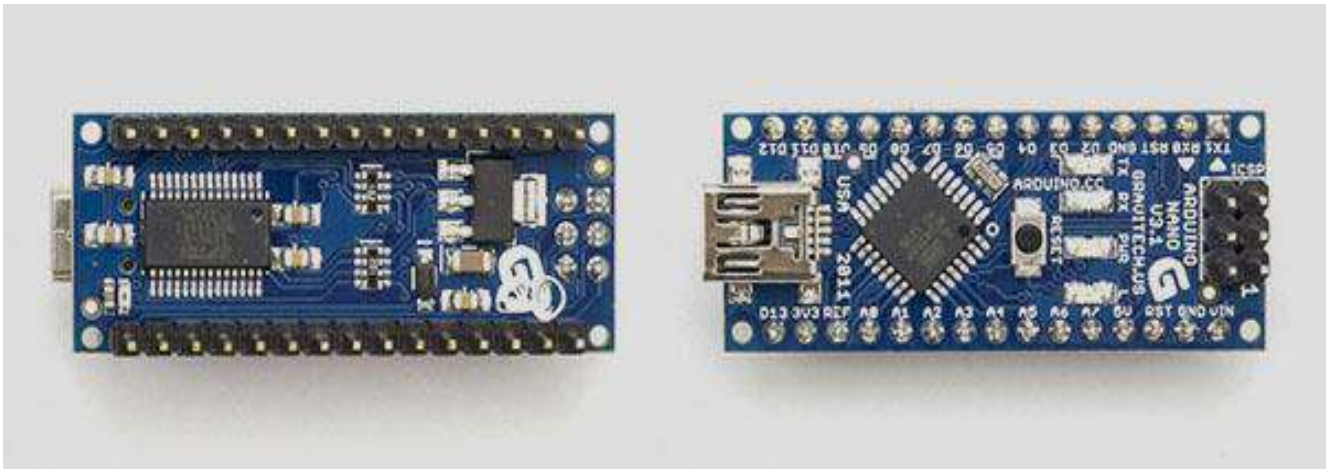


Figure 2.27 carte arduino Nano

- **La carte Arduino Mini Pro**

La carte arduino Mini Pro est une carte Arduino Uno simplifiée à l'extrême permettant néanmoins de piloter de petits projets ou certains éléments d'un projet. Attention, cette carte n'intègre pas de port USB ce qui rends sa connectivité délicate.[23]

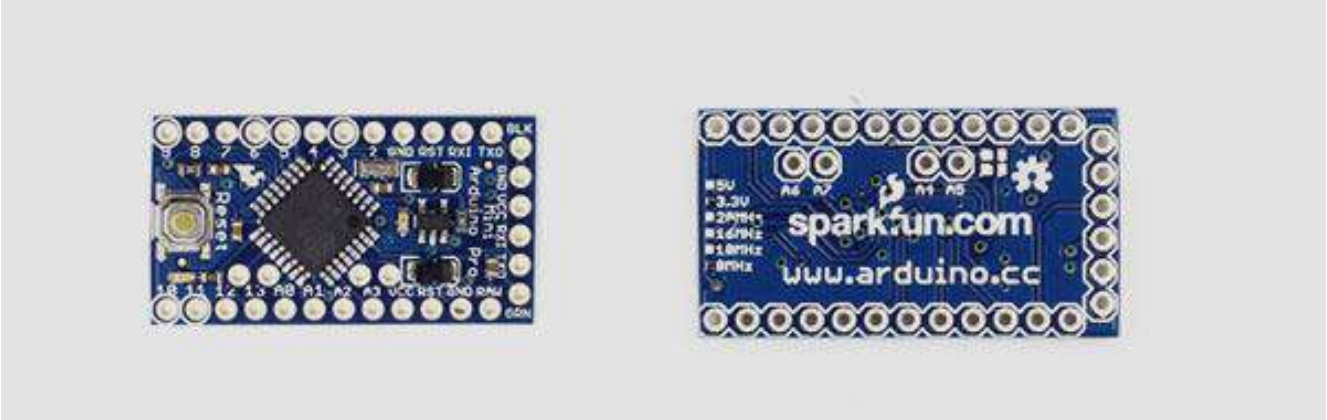


Figure 2.28.Carte arduino Mini Pro

- **Les composantes de la carte arduino :**

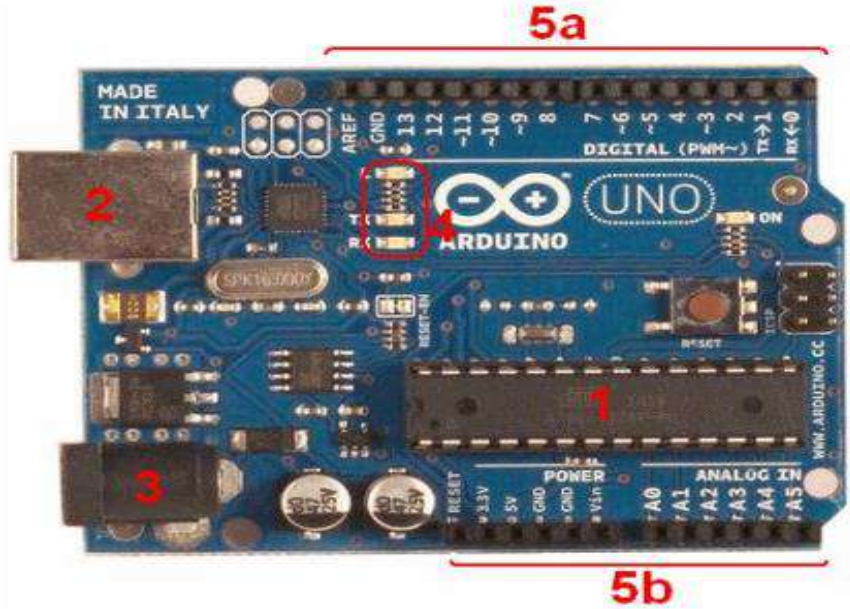


Figure 2.29 Constitution de la carte Arduino

1. Le micro-contrôleur : Il va recevoir le programme et le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter.

2, 3 : Alimentation : Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (en 2) ou bien par une alimentation externe (en 3) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte.

4. Visualisation : Les trois "points blancs" entourés en rouge sont des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

• Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel.

• Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

5a, 5b : La connectique :

La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis a par la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte (en 5a et 5b). C'est grâce à cette connectique que la carte est "extensible", car l'on peut y brancher tous types de montages et modules ! Par exemple, la carte Arduino Uno peut être étendue avec des shields, comme le « Shield Ethernet » qui permet de connecter cette dernière à internet.[24]

- **Les caractéristiques principales de la carte Arduino :**

Chaque carte arduino consiste des caractéristique spécifique le tableau suivant apparaît les caractéristique de carte arduino ATmega328.[25]

Microcontrôleur	**ATmega328**
Fréquences horloge	16Mhz
Tension de fonctionnement	5v
Tension d'alimentation	7~12v
Broches E/S numériques	6~20v
Broches d'entrées analogiques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM représenter par le symbole tilde)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5v)	40 mA (Attention 200 mA max total entrée/sortie cumulées)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3v	50mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5v	500mA max sur port USB
Mémoire programme flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader (chargeur d'amorçage)
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1KB (ATmega328)
Interface	USB (permet d'alimenté la carte et de transféré les programmes vers la carte)
Alimentation externe	Jack
Dimensions	6.86 cm × 5.3 cm

Tableau 2.2. Les caractéristiques principales de la carte Arduino ATmega 328

Le driver STEPSTICK A4988

C'est un contrôleur de moteur pas à pas en micro_stepping ;leur avantage Contrôle en courant ajustable, à l'aide d'un potentiomètre, Protection en cas desurchauffe, court-circuit... ; il y'a 5 résolutions différentes de pas :
full-step : Pas complet
half-step : 1/2 pas
quarter-step : 1/4 de pas
eighth-step : 1/8 ième de pas
sixteenth-step : 1/16 ième de pas

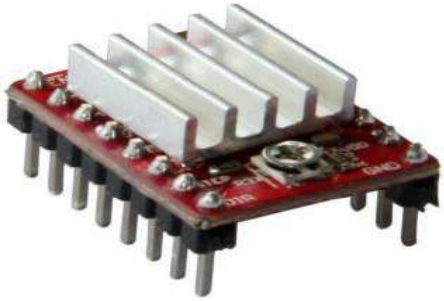


Figure 2-30.driver moteur

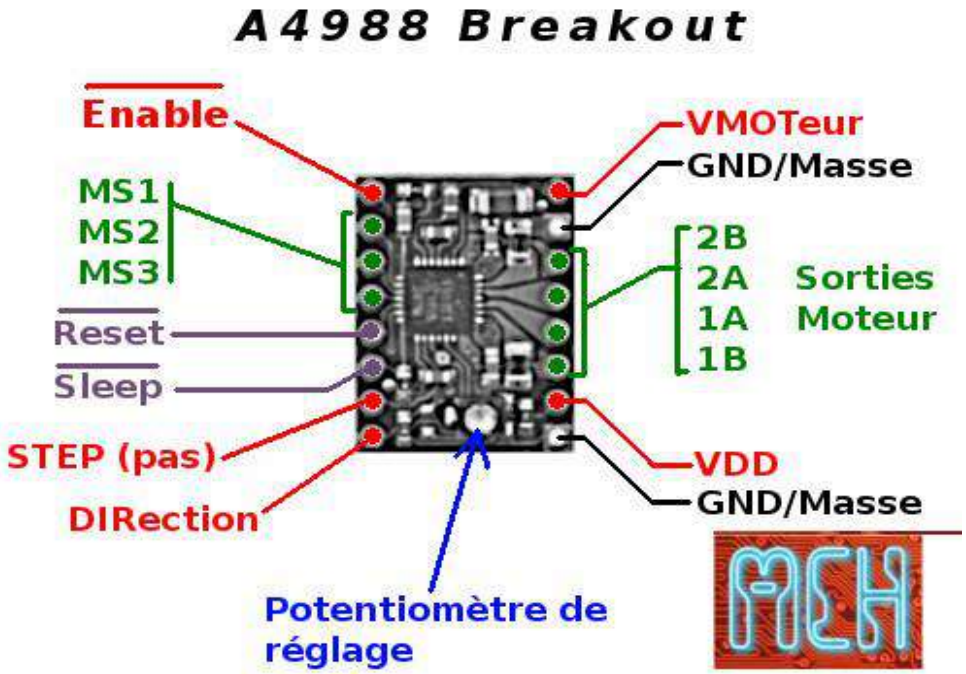


Figure 2-31.dataschéet du driver

Enable : Logique Inversée, permet d'activer ou désactivé le moteur. Etat Haut=High=Moteur

- actif... et axe bloqué entre les pas. Etat bas=Low=Axe totalement libre
- MS1, MS2, MS3 : permet de sélectionner la configuration Step/MicroStep.
- Reset : Logique inversée. Permet de faire une réinitialisation du module.
- Sleep : Logique inversée. Généralement connecté sur la broche "Reset" du module.
- Step: Envoyer un signal d'horloge (Niveau Haut puis Niveau bas, High puis Low) pour
- avancer le moteur d'un pas.

- DIR: Permet d'indiquer la direction de rotation du moteur. Etat Haut=High pour tourner
- dans un sens, Etat bas=Low pour tourner dans l'autre sens.
- VMot: Tension d'alimentation du moteur. Habituellement 12V pour les moteurs pas à pas.
- Tension entre 8 et 12v.
- GND: Sous "VMOT", masse pour l'alimentation moteur.
- 2B 2A: Première bobine du moteur pas à pas bipolaire .
- 1A 1B: Deuxième bobine du moteur pas à pas bipolaire
- VDD: Alimentation de la logique de commande entre 3 et 5.5v.
- GND: Sous "VDD", masse de la logique de commande.[26]

Ramps

La Ramps (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) est une carte conçue pour piloter le circuit de puissance d'une imprimante 3D et pour y connecter les différents senseurs, capteur de fin de course.. etc.

On peut monter sur ce schield cinq pilotes des moteurs pas à pas Pololu. Il peut contrôlerjusqu'à 5 moteurs pas à pas avec un pas de 1/16éme Différents connecteurs du Ramps.

à partir de ce schéma, on commence à mieux entrevoir où se branchent les différentscomposants électronique, essentiellement les moteurs, thermistor de température, afficheur LCD, lecteur SD, résistance extrudeur, ventilateur de l'extrudeur, lit chauffant, endstop.[17]

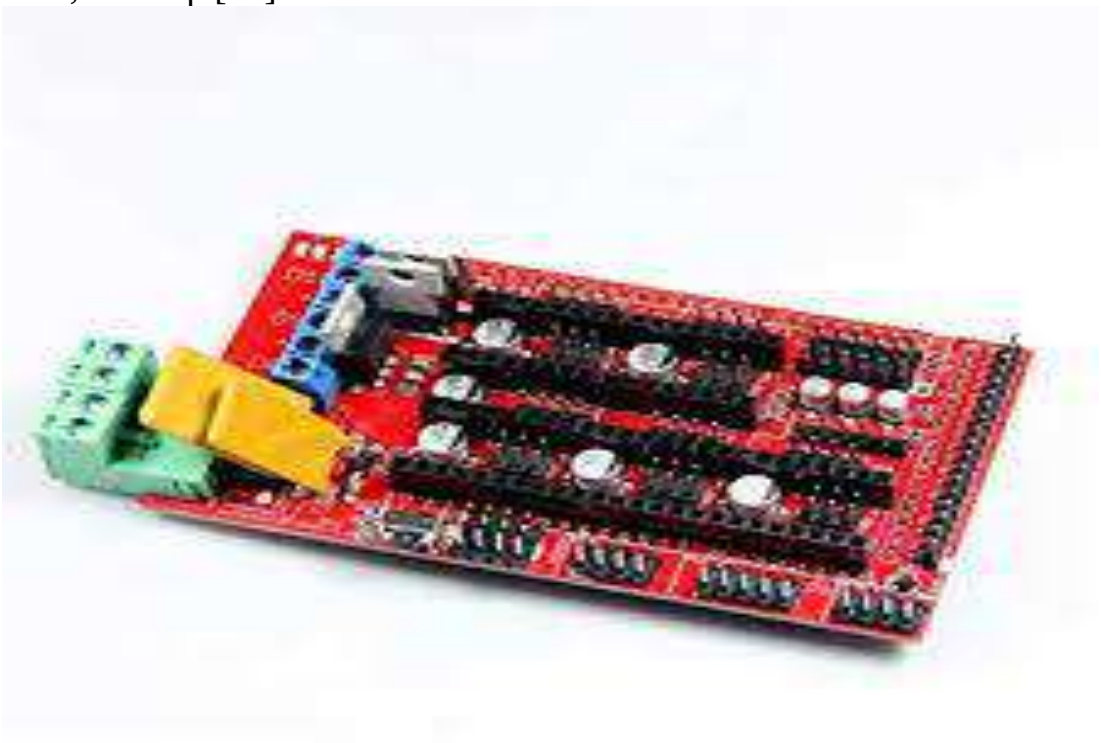


Figure 2-32. Ramps carde

2-9. Thermistor

Les thermistances sont des composants dont la résistance diminue lorsque la température augmente. Elles présentent de grandes variations de résistance pour de faibles variations de température. Enfermé dans sa bulle de verre, cette thermistance permet de relever des températures franchement élevée. Les thermistances utilisés pour prendre la température du Lit chauffant (entre 80 et 110°C) et l'extrudeur qui atteint 180 à 240°C. Ce type de thermistance peut être utilisé entre les températures de -40°C à +350°C.

2-10. End stops

C'est des capteurs de fin de course pour la protection du notre Matériel, il y a 3 groupes dedeux connecteurs dans l'ordre X, Y, Z. Chaque groupe de connecteur commence par les (End_Stop) Min, suivit du (End_Stop) Max du même axe.

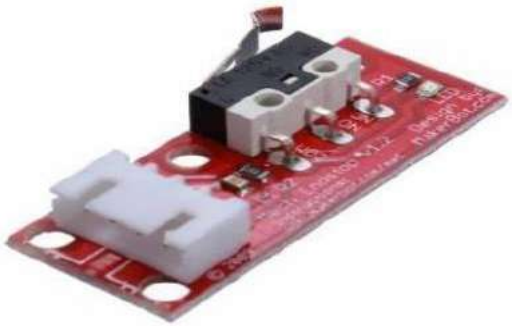


Figure 2-33. Capteur de fin de course

2-11. Lit chauffant

Il est nécessaire pour des problèmes d'adhésion, déformation des pièces au plateaud'impression, le Lit chauffante est la table de l'imprimante, contient un circuit chauffant fixé sous le plan de travail, il permet une bonne répartition de la chaleur sur la plaque de travail.

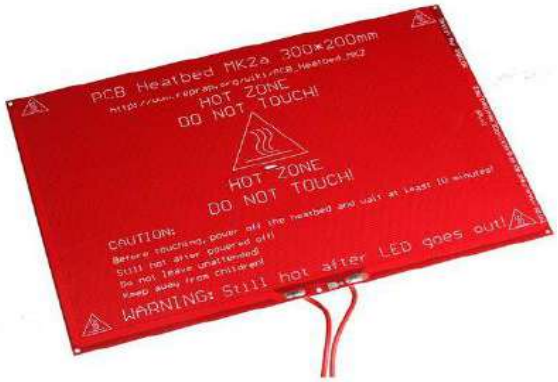


Figure 2-34.lit chauffant

2-12. La table

Dans l'imprimante 3D, la table joue non seulement un rôle majeur dans la production de la pièce, elle assure la combinaison des coches à l'aide d'une plaque chauffante de l'autre côté, et la table détermine l'épaisseur des coches (garantit le mouvement sur Z).

2-13.Génie logiciel

2-13-1.SolidWorks : Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

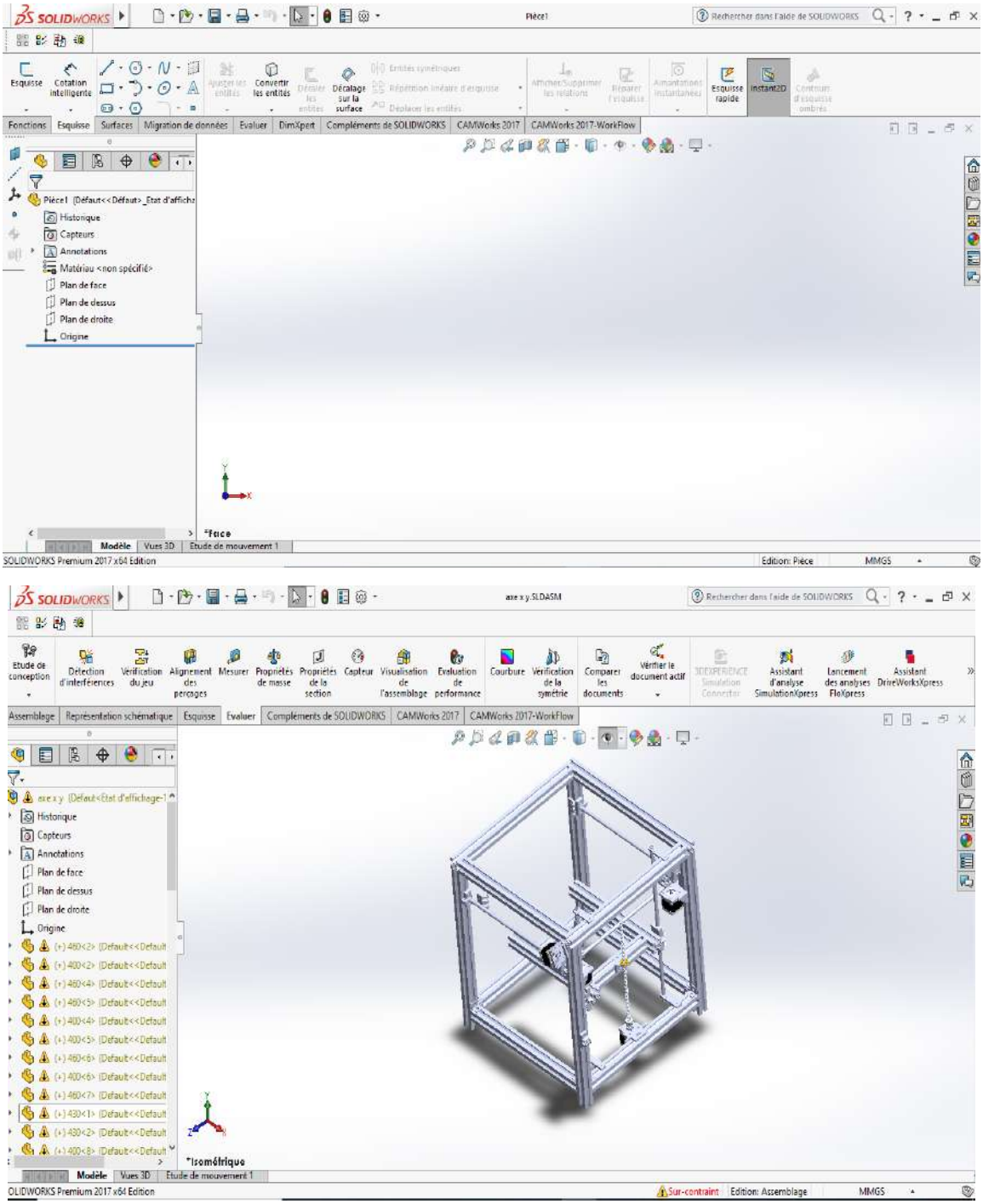


Figure 2.35 : logiciel CAO solidWork

2-13-2.Ideamaker:

Ideamaker est un outil qui traduit des modèles 3D en instructions interprétées par une imprimante 3D. Il découpe le modèle en couches horizontales et génère les chemins appropries pour la machine à faire. Tous les instructions est porter dans un document s'appelle le code G.

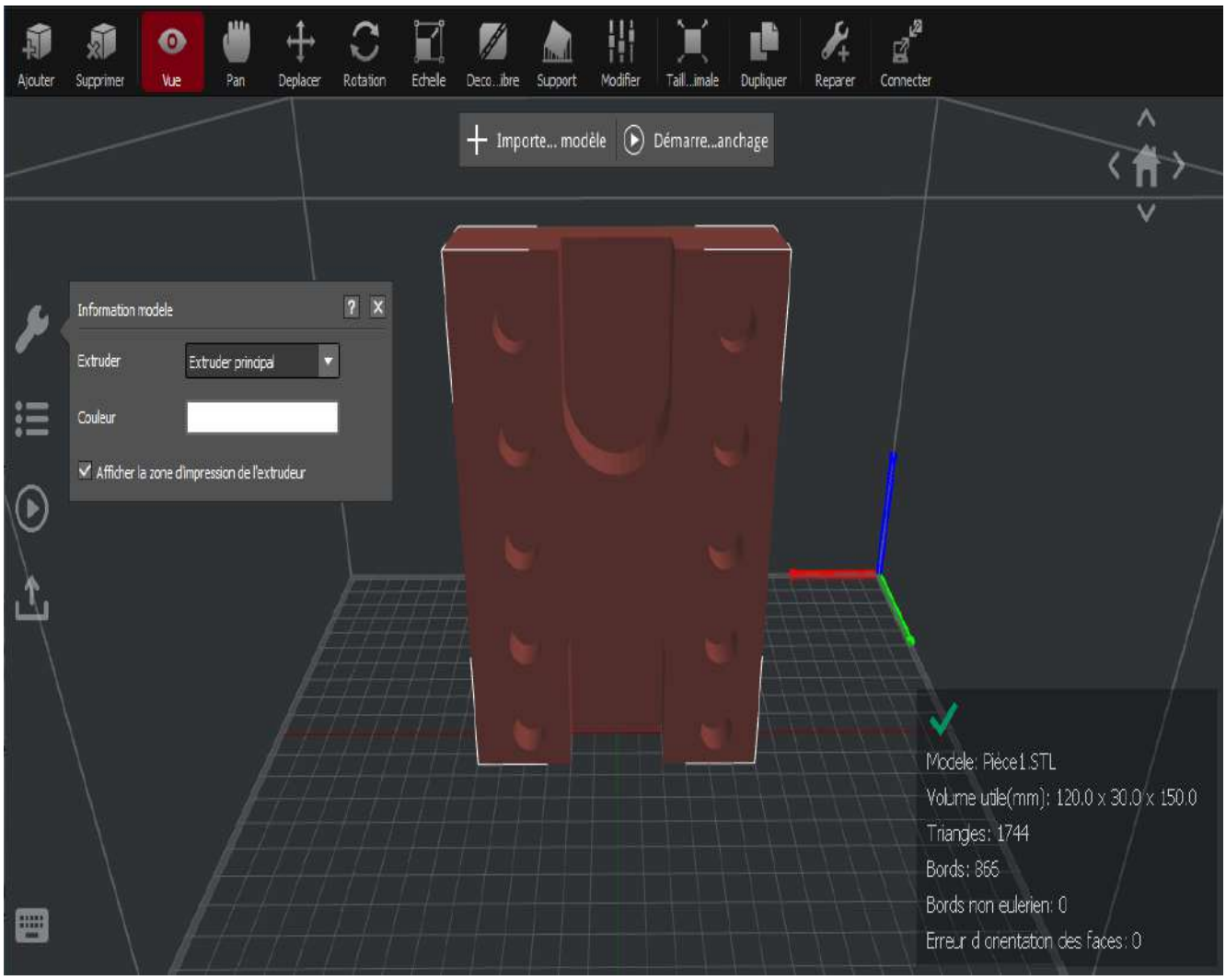


Figure 2-36. Ideamaker.

2-13-2-1.Remplissage du modèle :

Lorsque nous parlons du remplissage, il s'agit de la structure imprimée à l'intérieur de l'objet. Cela signifie que si nouspenser dans l'exemple d'un cube, les six murs extérieurs seront imprimés de manière solide, avec une certaine épaisseur, mais la partie interne du cube ne sera pas solide ; vous devrez choisirle pourcentage de remplissage, et même la forme géométrique du remplissage. Comme apparaît dans la figure suivant : [10]

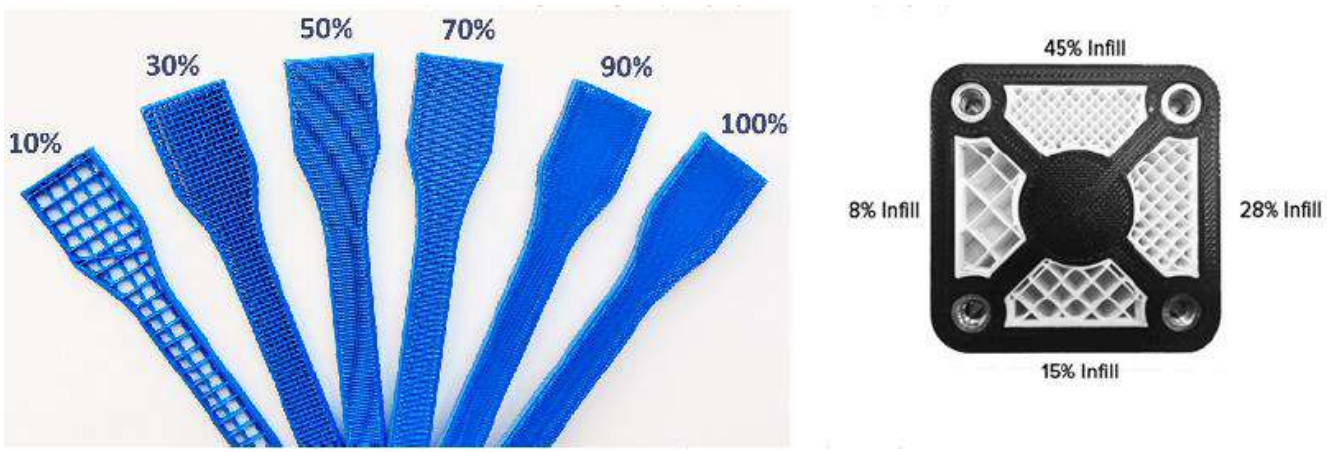


Figure 2-37.les types de remplissage du modèle

Cette option affect beaucoup le travail d'impression comme exemple (le temps de travail la solidité de modèle le poids la consommation de la matière premier …).

2-14. Conclusion :

Dans ce chapitre on a détaillé et étudié chaque type de moteur pas à pas en montrant ses caractéristiqueset sa planification, Ensuite, nous avons étudiévis à bille en mentionnant son design et ses fonctionnalités.

Apres on a mentionné et détaillé la partie de la programmation et les électroniques ou on a mentionné quelques cartes programmable.

On conclut avec la mention de quelques programmes et logiciels utilitaires pour notre imprimante 3D

Dans ce chapitre suivant, on s'intéresse àla conception de chaque pièce de l'imprimante 3D.

Chapitre 03 : conception d’une imprimante 3D

3-1. Introduction :

Dans ce chapitre nous traitons deux parties importantes dans la conception : partie mécanique sur lequel nous concentronssur l'étude et la conception des pièces mécanique de l'imprimante et le programme utilisé pour dessiner ces pièces mécaniques est SolidWorks. Et la deuxième partie est la partie commande, donnons des notions sur le circuit d'Arduino, circuit de puissance, l'alimentation…

3-2. Conception de la partie mécanique :

3-2-1. Le châssis

Comme première étape, et afin d'assurer une enveloppe solide et résistante contre toute vibration et mouvement, nous avons au début conçu le châssis externe. Ce dernier aura pour rôle de fixer les trois axes de mouvements et la tête d'extrusion et permet de porter les autres éléments de l'imprimante 3D. La dimension de notre châssis est 450*450*450 mm et son conception représentée sur la figure suivante.



Figure 3.1 : châssis

Caractéristique du matériau :

- Nom :V-slot aluminium 6063 T5
- Type de modèle : profil de rai linéaire.
- Taille de profile : 30*30 mm.
- Limite de traction : 186 MPa.
- Limite d'élasticité : 145 Mpa.

Masse = 1860.42 g

Volume = 1860424.52 mm^3

Centre de gravité : (mm)
X = -65.13
Y = -50.88
Z = 490.26

Principaux axes et moments d'inertie : ($g.mm^2$)
Pris au centre de gravité.

Ix = (0.20, 0.96, -0.20)	Px = 134428524.23
Iy = (-0.68, 0.28, 0.68)	Py = 135036944.17
Iz = (0.71, 0.00, 0.70)	Pz = 135191253.46

Moments d'inertie : ($g.mm^2$)
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

Lxx = 135091450.63	Lxy = 114642.85	Lxz = -100598.83
Lyx = 114642.85	Lyy = 134475419.80	Lyz = -114848.21
Lzx = -100598.83	Lzy = -114848.21	Lzz = 135089851.44

Moments d'inertie : ($g.mm^2$)
Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 587076388.30	Ixy = 6280276.62	Ixz = -59509879.86
Iyx = 6280276.62	Iyy = 589536919.16	Iyz = -46523047.23
Izx = -59509879.86	Izy = -46523047.23	Izz = 147799115.41

Pour la fixation des éléments de châssis se fait très simplement par : cast corner Braket 20*20*17 mm et l'intermédiaire de lardon et de vis.

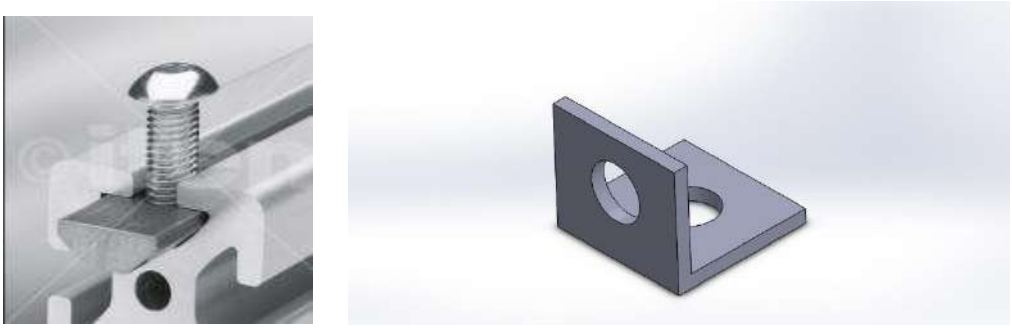


Figure 3.2 : fixation de châssis

3-2-2.Le plateau de travail :

Le plateau de travail est fabriqué à partir de plaques en alliage d'aluminium, et en utilisant lit chauffante (MK2A PLAQUE CHAFFANTE) a une dimension 300*300*3 mm^3, qui spécifie que la machine doit être capable de fabriquer des pièces d'un volume maximum de 300 x 300 x 300 mm^3.Le plateau se déplace sur le plan vertical (l'axe Z) en utilisant pour le déplacement vis à bille. La figure (3.2) suivante représente le plateau d'impression.

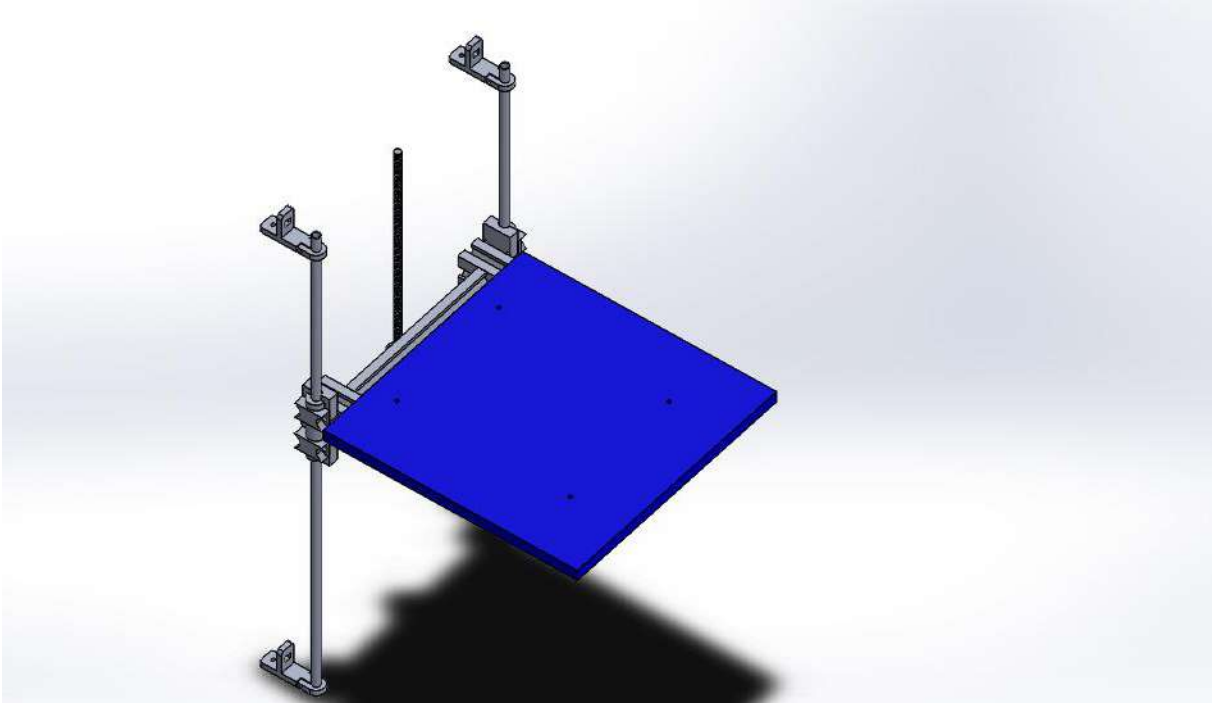


Figure 3.2 : plateau d'impression

3-2-3.La transformation de mouvement :

Lors de la veille technologique, nous avons donc retenu deux systèmes principaux pour transformer ce mouvement de rotation du moteur en un mouvement de translation :

- Le système poulie-courroie.
- Le système vis-écrou traditionnel.

Ces deux systèmes différents ont des avantages et inconvénients ; mais le système qui nous semblait être le plus avantageux est le système vis-écrou.

Avantages	Inconvénients
-Transmission silencieuse. (poulie-courroie). -Vitesse de transmission élevée (jusqu'à 100m/s pour les courroies plates).(poulie-courroie). -Grand entraxe possible entre les poulies.(poulie-courroie). -Bonne résistance.(vis-écrou) -Facilité d'assemblage / Démontage.(vis-écrou). -Fabrication assez facile.(vis-écrou) -Réversibilité (selon le cas).(vis-écrou) -Précisions (position axiale...).(vis-écrou) -Coût limité.(vis-écrou).[27]	-Durée de vie limitée. (poulie-courroie). -Couple transmissible faible pour les courroies plates. (poulie-courroie). -Tension initiale de la courroie nécessaire pour garantir l'adhérence. (poulie-courroie). -Rendement faible (sauf pour les vis à billes ou à rouleaux). (vis-écrou) -Course limitée. (vis-écrou) -Flambement et fléchissement. (vis-écrou). -Réversibilité (selon le cas). (vis-écrou).[27]

Tableau 3.1 : les avantages et les inconvénients

3-2-3-1.Transmission de mouvement de l'axe Z :

Notre imprimante doit ses déplacements au moteur pas à pas qui donne un mouvement de rotation à l'arbre de sortie. Notre but ici est de transformer cette rotation en un mouvement de translation. Il faut donc une pièce qui transmette le mouvement de rotation et une pièce autre qui transforme celui-ci en mouvement de translation. C'est une liaison Hélicoïdale. Le système bien connu pour réaliser cette liaison est un système « Vis-écrou ».

Dans ce cas-là, nous nous sommes orientés vers le système vis-écrou en utilisant vis à bille. Le principe de réalisation est basé sur la fixation d'un coupleur flexible sur l'arabe du moteur. ce copleur est un accouplement rigide admet des erreurs de position angulaire.

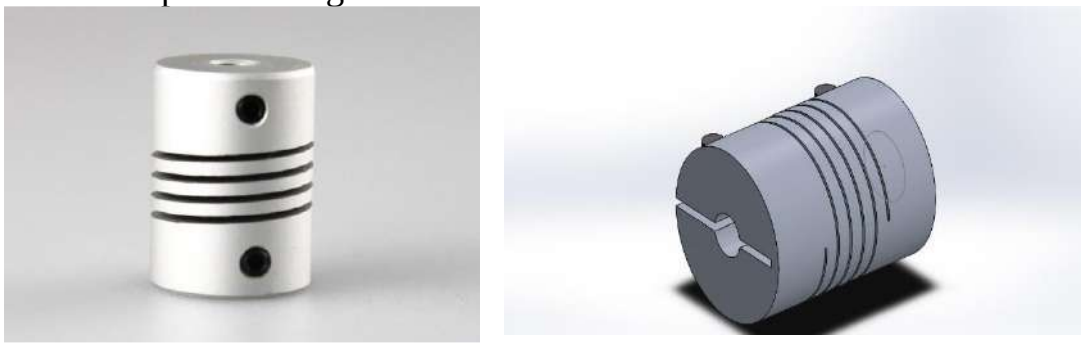


Figure 3.3 : coupleur flexible

La figure suivante (3.4) représente la conception de système de transmission de l'axe Z (vis à bille coupleur et moteur pas à pas)



Figure 3.4 : conception de système de transmission de l'axe Z

Calcule la précision :

En a utilisé vis à bille de caractéristique suivante : M6 L500 mm et d 12 à charge maximale 400 Kgf (cas dynamique).

Précision (mm) = distance de déplacement pour une seul impulsion.

$$\text{impulsion_par_mm} = \frac{\text{impulsionsparrev} \times \text{microsteps}}{\text{pas_tige}}$$

Avec :
Impulsions_par_rev = nombre de pas du moteur, 200 par révolution du moteur de 1.8°.
Microsteps = valeur du micro-pas du driver du moteur, 16.
Pas tige = le pas de la tige de M6est de 1 mm

Application numérique :

$$\text{impulsion}_{\text{par}_{\text{mm}}} = \frac{200 \times 16}{1} = 3200$$

$$\text{impulsion}_{\text{par}_{\text{mm}}} = 3200$$

On a :
3200 impulsion 1mm
1 impulsionprécision mm

$$\text{Précision (mm)} = \frac{1 \text{ impulsion} \times 1\text{mm}}{\text{impulsion_par_mm}}$$

Application numérique :

$$\text{Précision (mm)} = \frac{1}{3200} = 0.00031.$$

Pour une impulsion on a un déplacement de 0.00031 millimètre

3-2-3-2.Transmission de mouvement de l'axe X et Y :

La figure (3.5) suivante représente la conception de système de transmission de l'axe X.



Figure 3.5 : conception de transmission de l'axe X

Les deux figure (3.5) et (3.6) suivante représente la conception de système de transmission de l'axe X et Y.

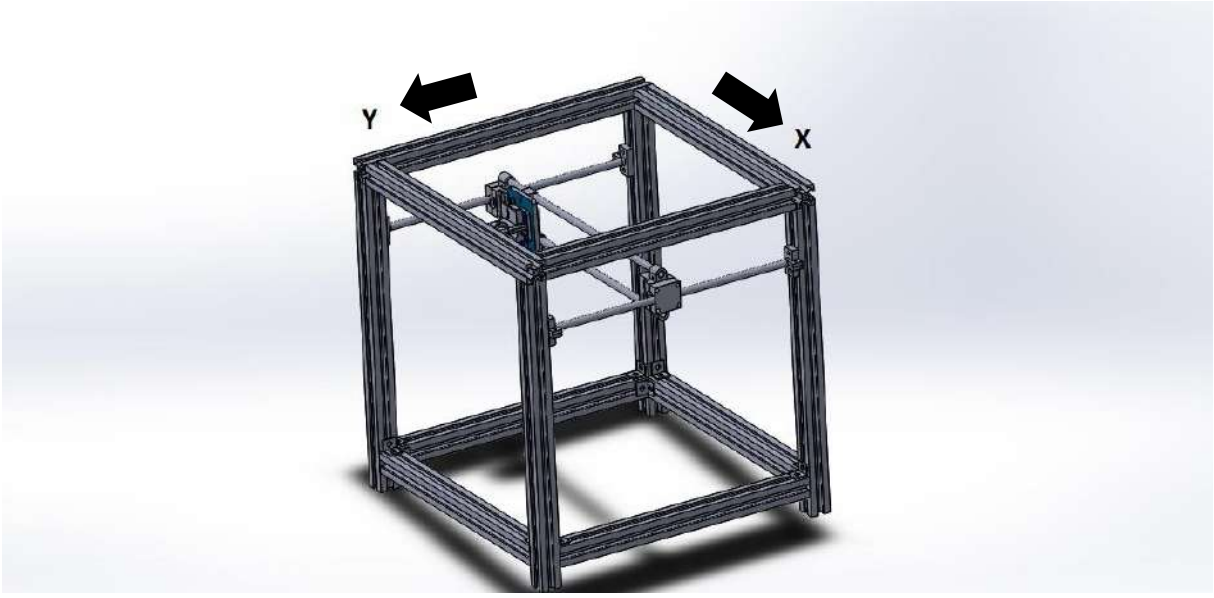


Figure 3.5 : système de transmission de l'axe X et Y.

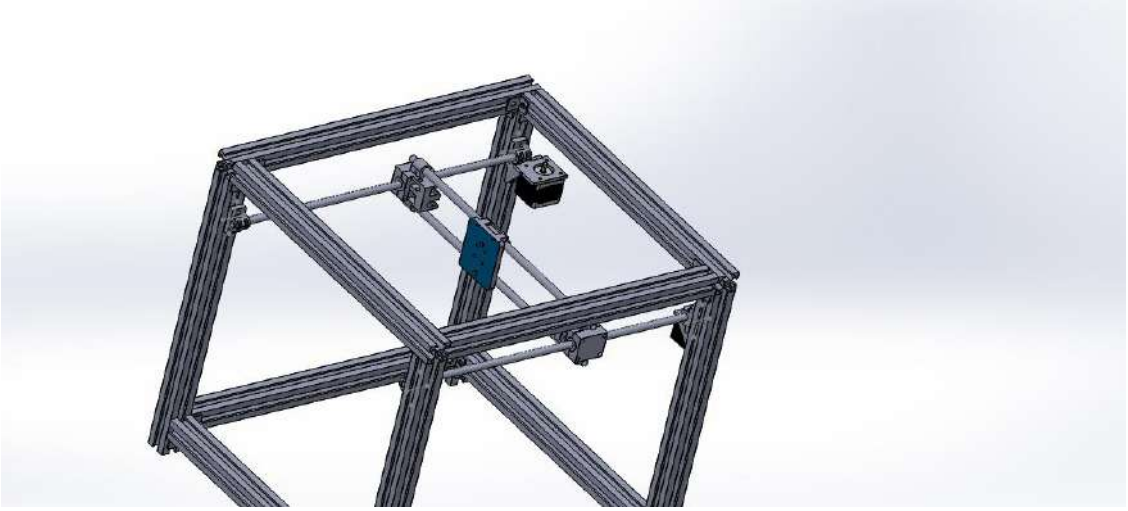


Figure 3.6 : système de transmission de l'axe X et Y.

Les axes X et Y utilisent les mêmes principes de transmission et transformation de mouvement système poulie-courroie.
Sur l'axe X et Y le déplacement ce fait avec une courroie relier avec une poulie, qui transforme un déplacement rotationnelles a un déplacement linéaire le déplacement de la poulie égale au déplacement de la courroie c.-à-d. si la poulie tourne avec une distance de 1mm la croie aussi déplace avec 1mm.

La figure suivante (3.7) représente le système poulie-courroie.

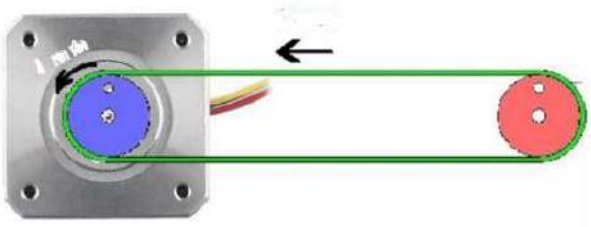


Figure 3.7 : système courroie, poulie

Pour calculer la précision de notre imprimante, il faut définir le nombre l'impulsion envoyé aux moteurs pour déplacer une millimètre, et la distance déplacer pour une impulsion.
Cella il y a une relation entre les pas de moteur et le diamètre de la poulie.

$$\text{impulsion_par_mm} = \frac{\text{impulsions par rev} \times \text{microsteps}}{\text{pasdents} \times \text{Nbr dent poulie}}$$

Avec :

impulsions_par_rev = nombre de pas du moteur, 200 par révolution du moteur de 1.8°.
microsteps = valeur du micro-pas du driver du moteur, 16.
Pas dent = distance entre 2 dents de la poulie, 2mm.
Nbr dent poulie = nombre de dents du la poulie, 20.

Application numérique :

$$\text{impulsion}_{\text{par}_{\text{mm}}} = \frac{200 \times 16}{20 \times 2} = 80 \text{ impulsion /millemetre}$$

On a :

80 impulsion ➡ 1mm
1 impulsion ➡ précision mm

$$\text{Précision (mm)} = \frac{1 \text{ impulsion} \times 1\text{mm}}{\text{impulsion_par_mm}}$$

Application numérique :

$$\text{Précision (mm)} = \frac{1}{80} = 0.0125.$$

Pour une impulsion on a un déplacement de 0.0125 millimètre

3-2-4. La tête d'extrusion :

L'extruder est un des éléments essentiels dans une imprimante 3D, C'est le sous ensemble qui génère l'avancement du fil pendant que la machine est en fonctionnement. Il se situe juste en amont de la buse chauffante et est intégré à la tête d'impression.
L'extruder devra donc répondre à des critères de légèreté et d'encombrement réduit afin de ne pas entrainer un surdimensionnement du châssis et des guidages.

La tête d'extrusion pousse le fil de filament avec une poulie fixé sur l'arbre du moteur. On utilisant la tête Genuine E3Dv6.

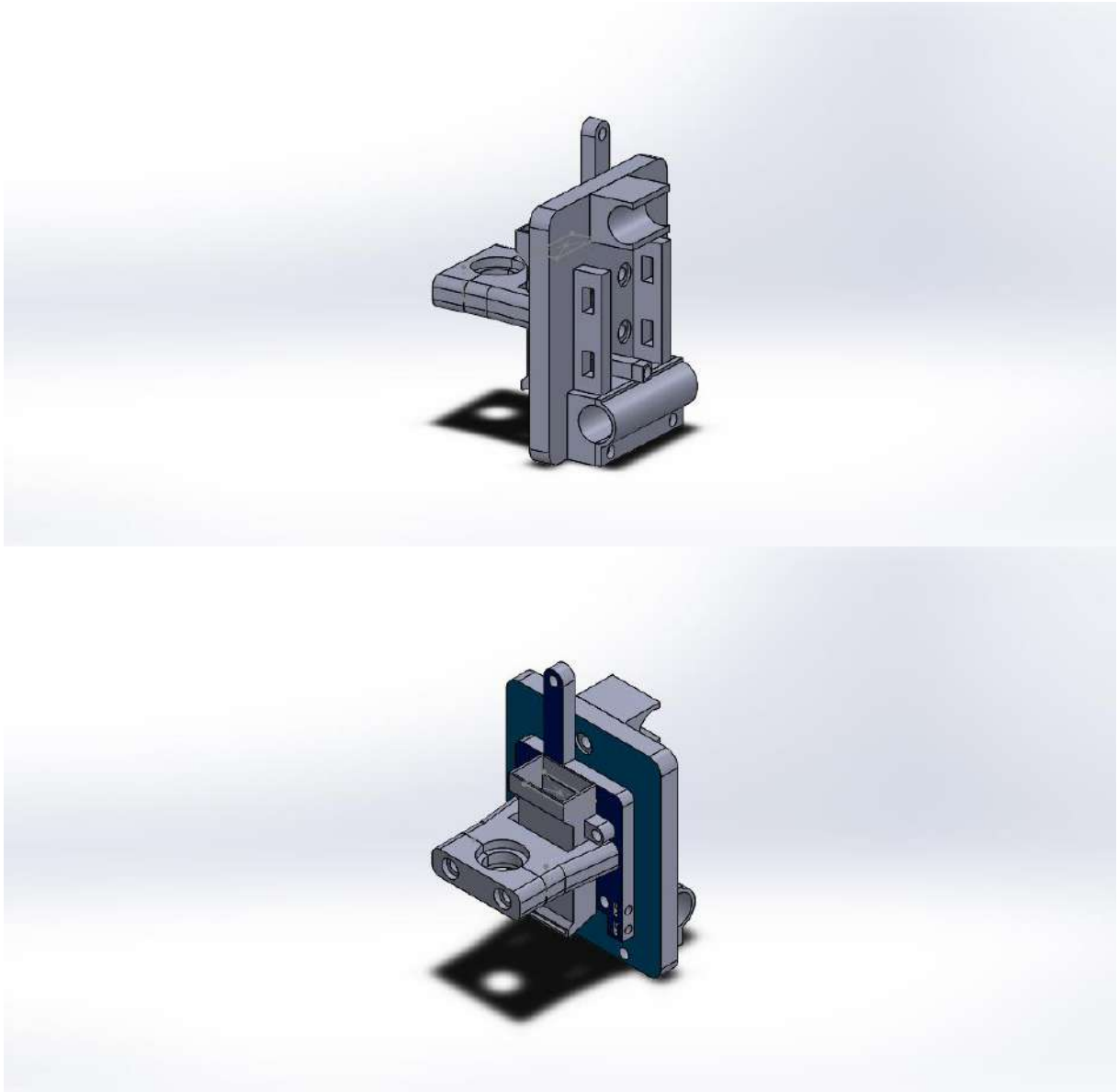


Figure 3.8 : conception de la tête d'extrusion

3-2-5. Le système de guidage :

Le système de guidage est très important pour la facilité de mouvement sans frottement et la fluidité du mouvement des axes de l'imprimante. Nous avons choisi des tiges lisses en aluminium de diamètre 8 mm.

Nous avons constaté que le guidage des axes X, Y et Z doivent être réalisés par l'intermédiaire des bagues en bronze. En effet, cette solution permet de guider les axes sur les tiges lisses de diamètre 8mm pour assurer un bon déplacement suivant les trois axes, nous avons installé deux tiges pour chaque axe.

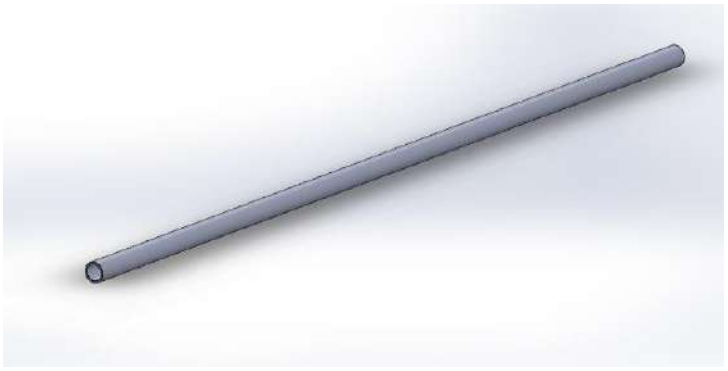


Figure 3.9 : axe de guidage



Figure 3.10 : bague en bronze

3-2-6. Dessin d'assemblage :

Les deux figures suivantes représentent la conception finale de l'imprimante 3D à l'aide de SolidWorks

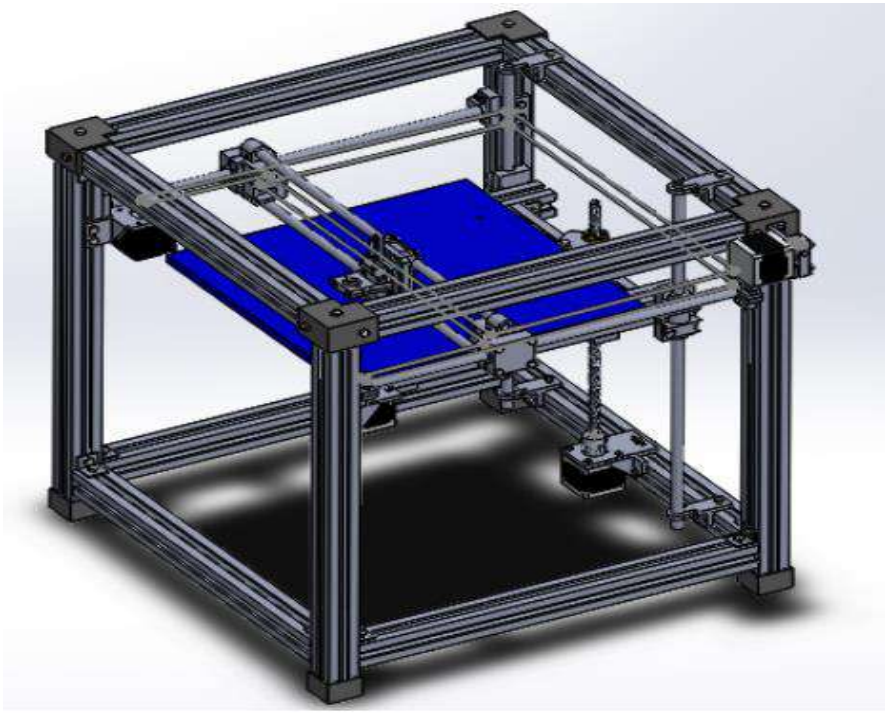


Figure 3.11 : conception final de l'imprimante 3d

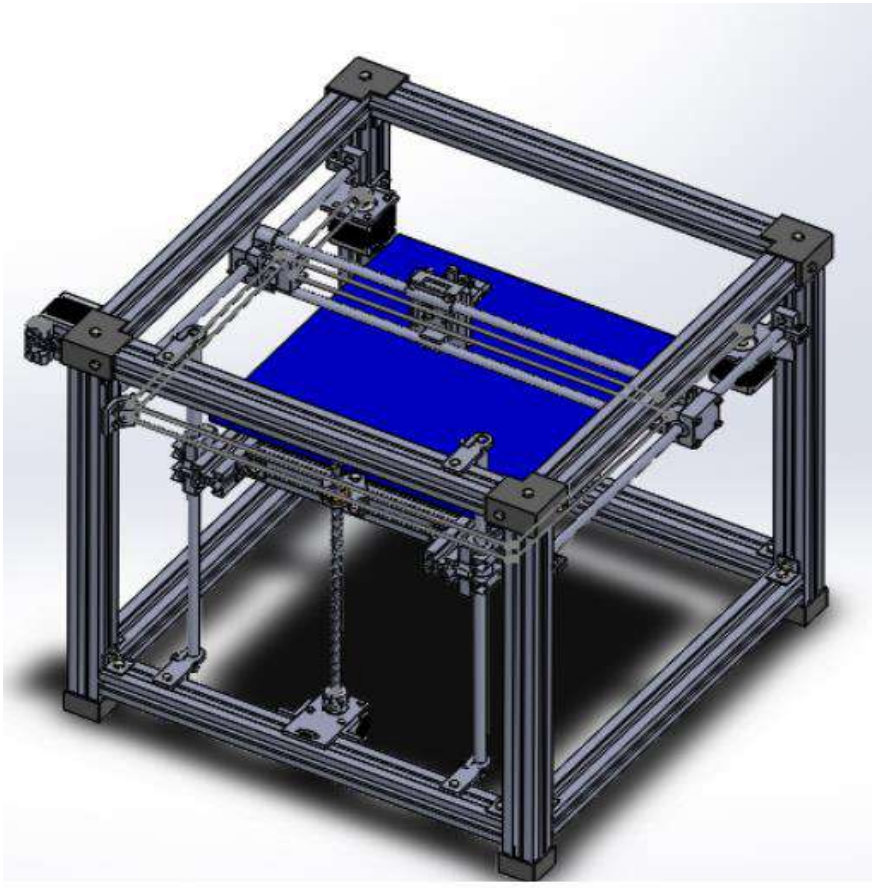


Figure 3.12 : conception final de l'imprimante 3d

3-3. Partie commande :

Dans la partie commande, nous avons besoin les composantes électrique suivante :

Matériel	Quantité
Arduino Méga2560	1
Carte de puissance : Ramps 1.4	1
Moteur NEMA17	4
Driver Stepstick polulo A4988	4
Résistance (Extrudeuse)	1
Thermistor	1
Lit chauffante (MK2A)	1
Afficheur LCD	1
Ventilateur	1
Câble USB	1
Capteur de Fin de course	3
Alimentation ATX 650W 1	1

Tableau 3.2 : Matérielnécessaire

3-3-1.Moteur pas à pas NEMA 17 :

Le moteur pas à pas utilisée dans ce projet est du type NEMA17,Le choix de ce type de moteur c'est basé sur un critère de précision angulaire (pas mini).

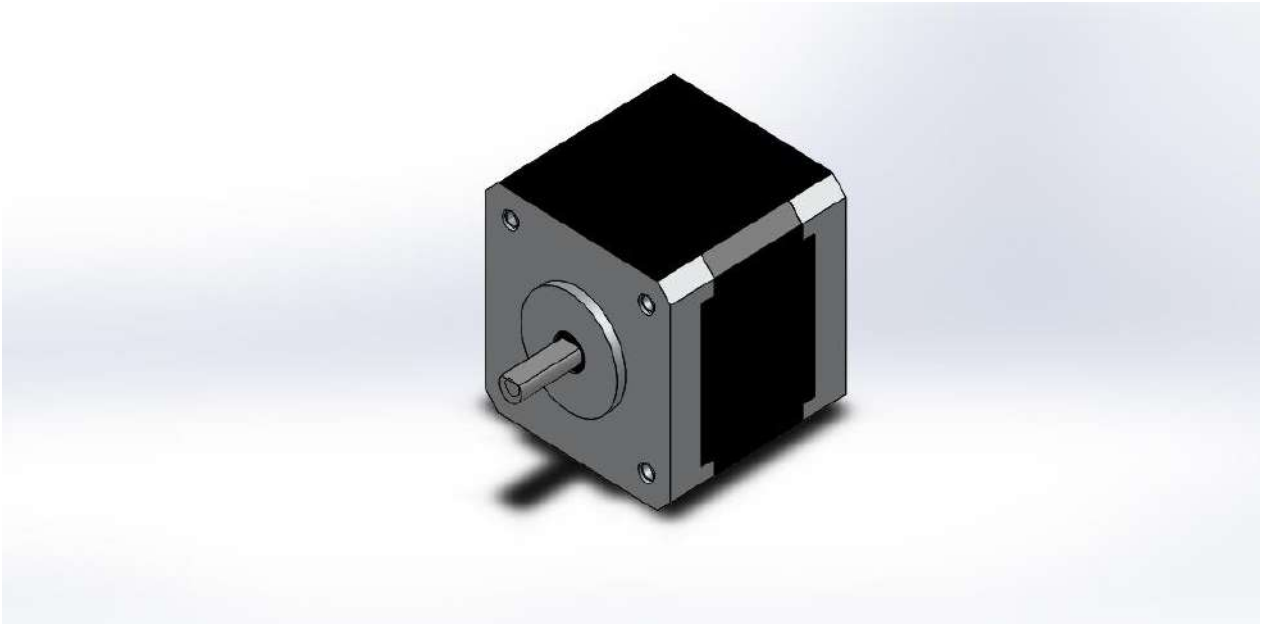


Figure 3.13 : conception de moteur NEMA17

Caractéristiques du moteur

- Norme du moteur pas à pas : NEMA 17
- Dimensions : 42.3x42.3x48mm
- Poids : 350g
- Diamètre de l'axe : Ø5 x ~24 mm
- Nombre de phase : 2
- Voltage standard : 2,8 V
- Nombre de pas : 200
- Pas angulaire : 1,8° (+/-5%)
- Couple de maintien : 5,0 Kg.cm (49N.cm soit 70oz.in)
- Connection : 4 fils molex ou dupont
- Résistance/phase : 1,65 Ohm par phase
- Inductance/phase : 2,8 mH par phase
- Courant/phase : 1,68 A par phase.

3-3-2. Lit chauffant :

On a utilisé Lit chauffante MK2A, Ce circuit chauffant -MK2A- est à fixer sous le plan de travail en alu ou plaque de verre, il permet une bonne répartition de la chaleur sur la plaque de travail. Cette chauffe est obligatoire ou très conseillé pour avoir une bonne accroche du filament et éviter le phénomène de Wrapping (les bords de la pièces se décollent et "rebiquent").[27]



Figure 3.14 : Lit chauffante.

Caractéristiques :

- Matériau : aluminium.
- Couleur : noir
- Modèle : MK2A.
- Dimensions : 328 x 328 x 3 mm
- Surface de chauffage : 300 x 300 mm.
- Longueur thermique : 1 m.
- Longueur du câble : 60 mm.
- Tension de soutien : 12 V ou 24 V.
- Résistance : 1,3 Ohm.
- Poids : 900 g.

Il est également facile à utiliser et à installer,a une longue durée de vie.

3-3-3 L'alimentation :

Pour notre alimentation représentée par la figure 3.15, le cahier des charges est le suivant :

- ✓ Fournir au moins 16 A sur une sortie 12v.
- ✓ pouvoir démarrer grâce à un bouton on/off.
- ✓ avoir une led de mise sous tension (rouge).
- ✓ avoir une led de mise en marche (verte).

Pour cela, On a choisi une alimentation basant uniquement sur l'ampérage disponible sur la sortie 12V1 (20A) et 12V2 (20A), avec une puissance de 500W, les alimentations de PC fournissant toujours plusieurs sortie 5v pour brancher les disques durs ou lecteurs de DVD.

Souhaitant également ajouter à notre montage, 2 diodes de fonctionnement :

- ✓ une pour signaler la mise sous tension (rouge).
- ✓ une pour signaler la mise en route (verte).

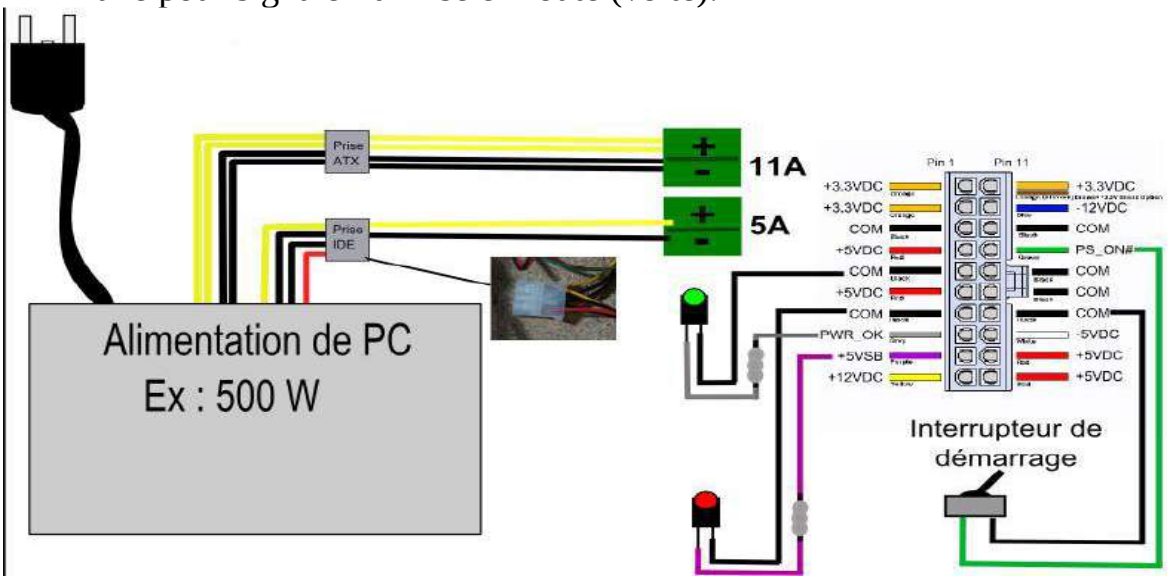


Figure 3.15 : Branchement de l'Alimentation.

3-3-4. bloc chauffante :

Le bloc chauffant est un bloc de métal dans lequel est insérée une cartouche chauffante.

Cette cartouche chauffante (12 ou 24volts) permet de monter la température du bloc.

Il existe également un ventilateur pour le bloc chauffant qui lui permet de baisser la température

Enfin pour contrôler la température, il y a également une résistance thermique. Tout est relié à la carte de contrôle qui suivant la mesure de la température, augmente ou baisse celle-ci.[28]

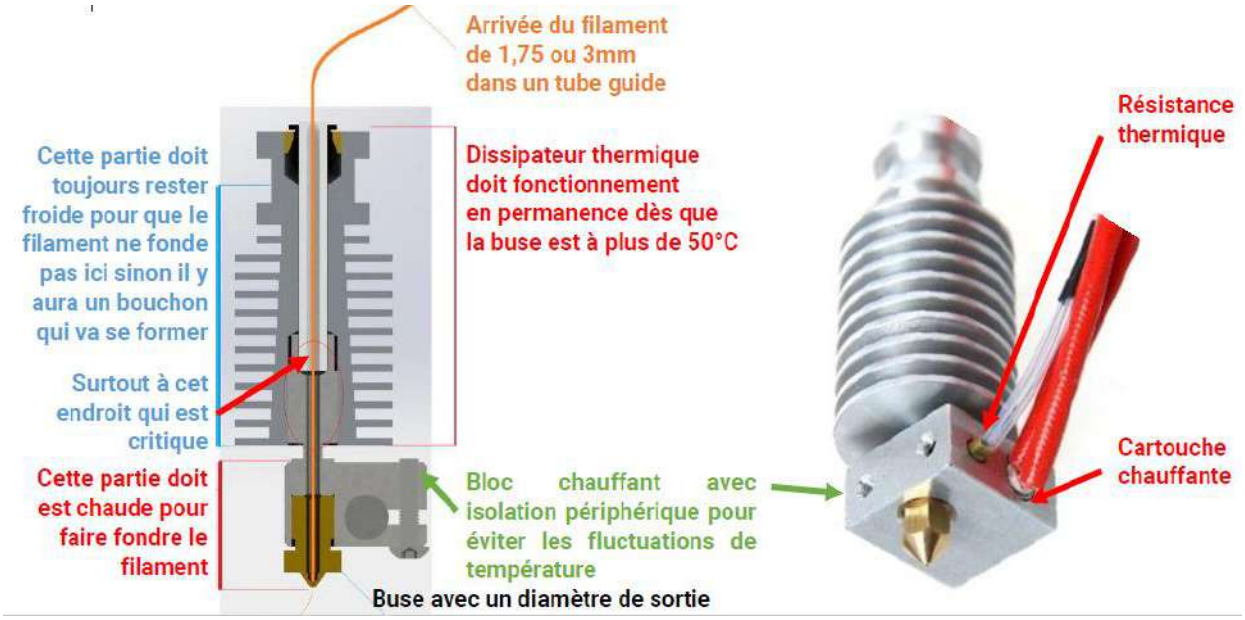


Figure 3.16 : bloc chauffante.

3-3-5 : Câblage :

Le module le plus connu dans le domaine des imprimantes 3D est sans doute celui issu du projet RepRap de fabrication d'imprimantes de prototypage rapide « auto-réplicantes ». Ce module, baptisé RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield), est probablement le module le plus utilisé dans les imprimantes 3D.

La figure (3.17) suivante représente les différentes entrées/sorties tel que le montre sur la carte shiled.

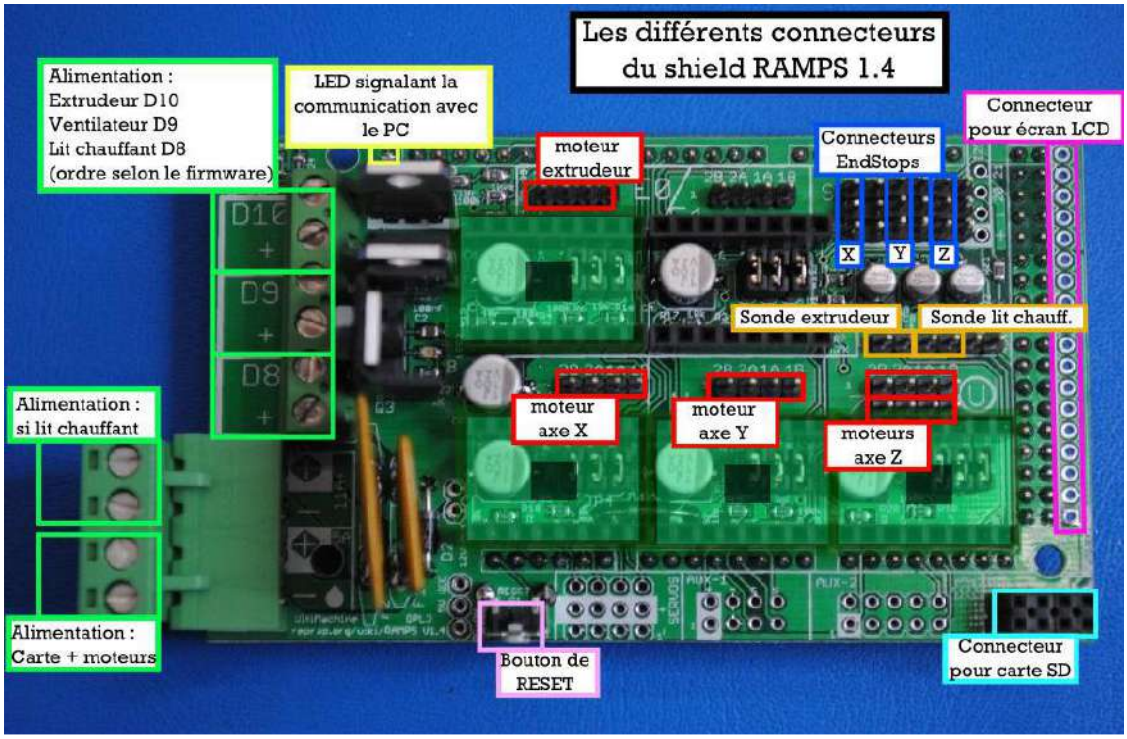


Figure 3.17 : Carte RAMPS 1.4

3-3-6. Contrôleur de moteurs pas à pas

Pour pouvoir faire fonctionner un moteur pas à pas, il est nécessaire d'utiliser un contrôleur de moteur pas à pas. Ce dernier permet de commander la vitesse de rotation du moteur à partir des signaux de sortie de la carte Arduino., mais ces derniers ne sont pas adaptés à la puissance des moteurs utilisés pour notre imprimante 3D. Nous avons donc ajouté des contrôleurs externes pour chacun des moteurs, Ces contrôleurs sont branchés sur la carte RAMPS selon le diagramme de connexion de la Figure 3.18.

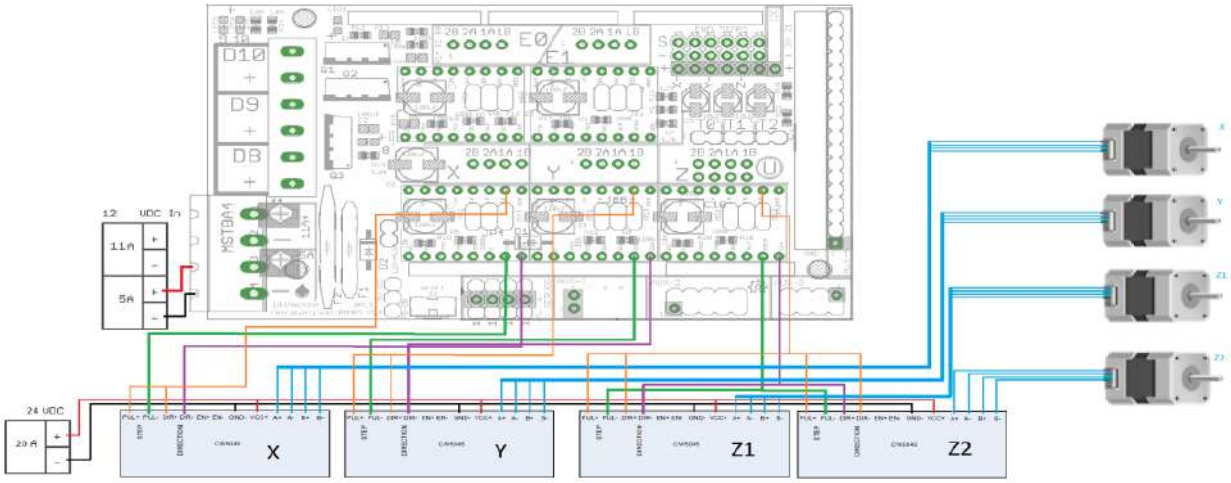


Figure 3.18 : diagramme de connexion des contrôleurs sur la carte RAMPS et connexion des moteurs pas à pas aux contrôleurs

3-4.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une conception de chaque pièce de notre imprimante 3d par l'utilisation de logiciel SolidWorks, puis on a vu le dessin d'assemblage.

Puis dans la partie deuxième de notre chapitre on a présenté les composants nécessaires de la partie commande de l'imprimante et son câblage.

Dans le chapitre suivant on va voir la simulation entre Matlab Simulink et SolidWorks

Chapitre 04 : Simulation SolidWorks/MATLAB

4-1.Introduction :

Dans ce chapitre nous utiliserons solidWorks et Matlab/Simulink, et devons aussi savoir le simscape pour faire une simulation finale de notre imprimante 3d.

La simulation nous permet de savoir quelles erreurs nous pouvons obtenir dans la réalisation.

4-2. Simscape Multibody :

Simscape Multibody fournit un environnement de simulation multi-objets pour les systèmes mécaniques 3D tels que les robots, les suspensions de véhicules et les équipements de construction.

Simscape Multibody (anciennement SimMechanics) fournit un environnement de simulation multi corps pour les systèmes mécaniques 3D, tels que les robots, les suspensions de véhicules, les équipements de construction et les trains d'atterrissage d'avions. Vous pouvez modéliser des systèmes multi corps à l'aide de blocs représentant des solides, des liaisons, des contraintes, des éléments de force et des capteurs. Simscape Multibody formule et résout les équations de mouvement pour l'ensemble du système mécanique. Vous pouvez importer dans votre modèle des assemblages de CAO complets, comprenant l'ensemble des masses, inerties, liaisons et contraintes, ainsi que la géométrie 3D. Une animation 3D générée automatiquement vous permet de visualiser les dynamiques du système.

Vous pouvez concevoir plusieurs systèmes d'objets en regroupant des blocs qui représentent des objets, des articulations et des éléments de puissance dans un graphique. Les assemblages CAO complets, y compris tous les blocs, l'inertie, les joints et l'ingénierie 3D, peuvent être importés dans votre modèle. Les corps peuvent également être créés à partir de formes solides de base ou définis à l'aide des données MATLAB. Vous pouvez appliquer des pouvoirs et des profils de mouvement, après quoi vous êtes prêt à simuler.

Simscape Multibody permet de développer des systèmes de contrôle et de tester les performances au niveau système. Vous pouvez paramétrer vos modèles à l'aide de variables et d'expressions MATLAB, et développer les systèmes de contrôle pour votre système multi corps dans Simulink. Vous avez la possibilité d'intégrer des systèmes hydrauliques, électriques, pneumatiques et d'autres systèmes physiques à votre modèle à l'aide de composants provenant de la famille de produits Simscape.[29]

4-2-1.Installation de Simscape Multibody :

Tout d'abord, vous devez connaître la version de SolidWorks avec laquelle vous travaillez, puis télécharger Matlab et Simscape Multibody de même version comme SolidWorks. Dans notre mémoire en utilisant SolidWorks 2017, Matlab et simscape 2017b.

Les figures suivantes représentent la méthode de l'installation de Simscape.

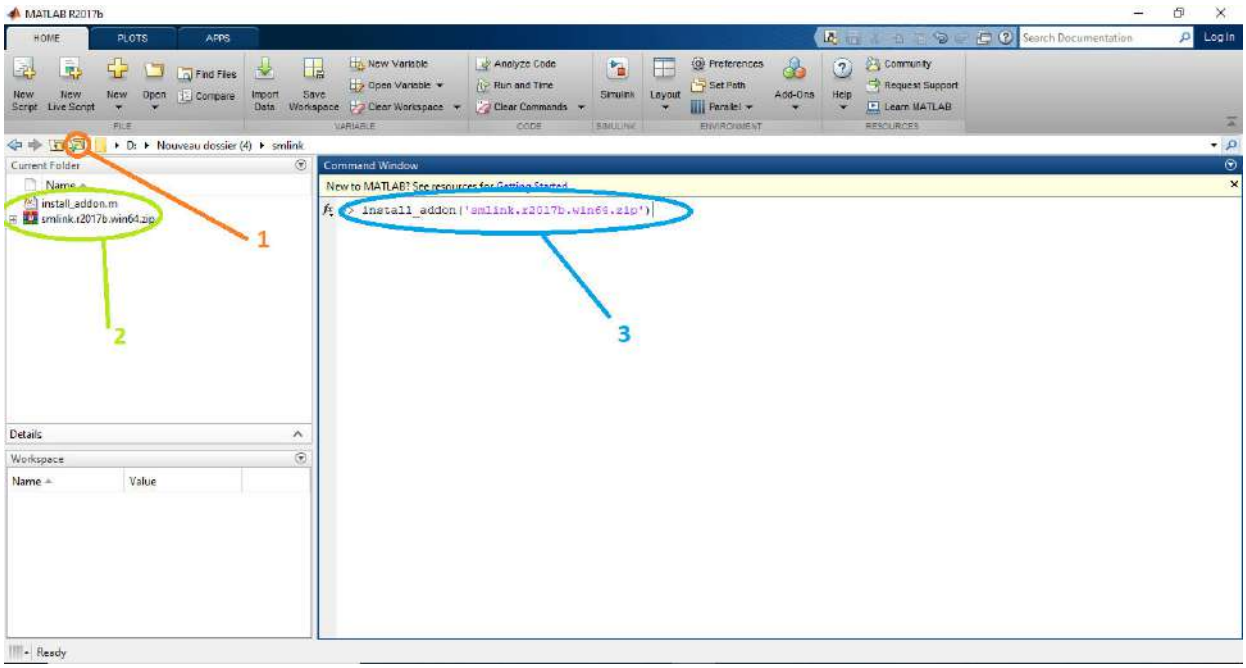


Figure 4.1 : ouvrir le dossier d'installation.

L'étape 1 : ouvrir le fichier d'installation.

L'étape 2 : Vérifiez que le fichier d'installation a été ajouté.

L'étape 3 : Installez le fichier en utilisant l'ordre de commande install_addon('nom de fichier complet') voir le figure 4.1. puis appuyez sur le bouton ENTRE pour faire l'installation.

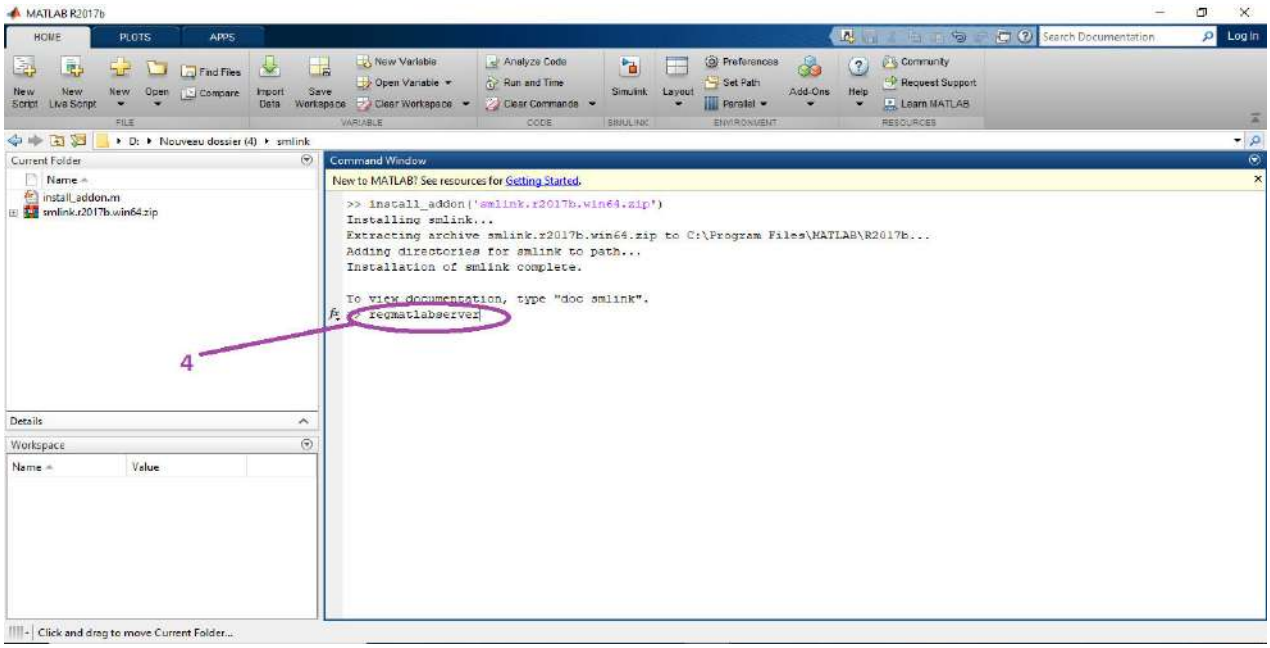


Figure 4.2 : exécuter Matlab en tant qu'administrateur.

L'étape 4 : exécuter Matlab en tant qu'administrateur en utilisant le command regmatlabserver. Ce que cela fait est ce registre Matlab est un serveur d'admission qui nous permet de connecter les deux logiciels.

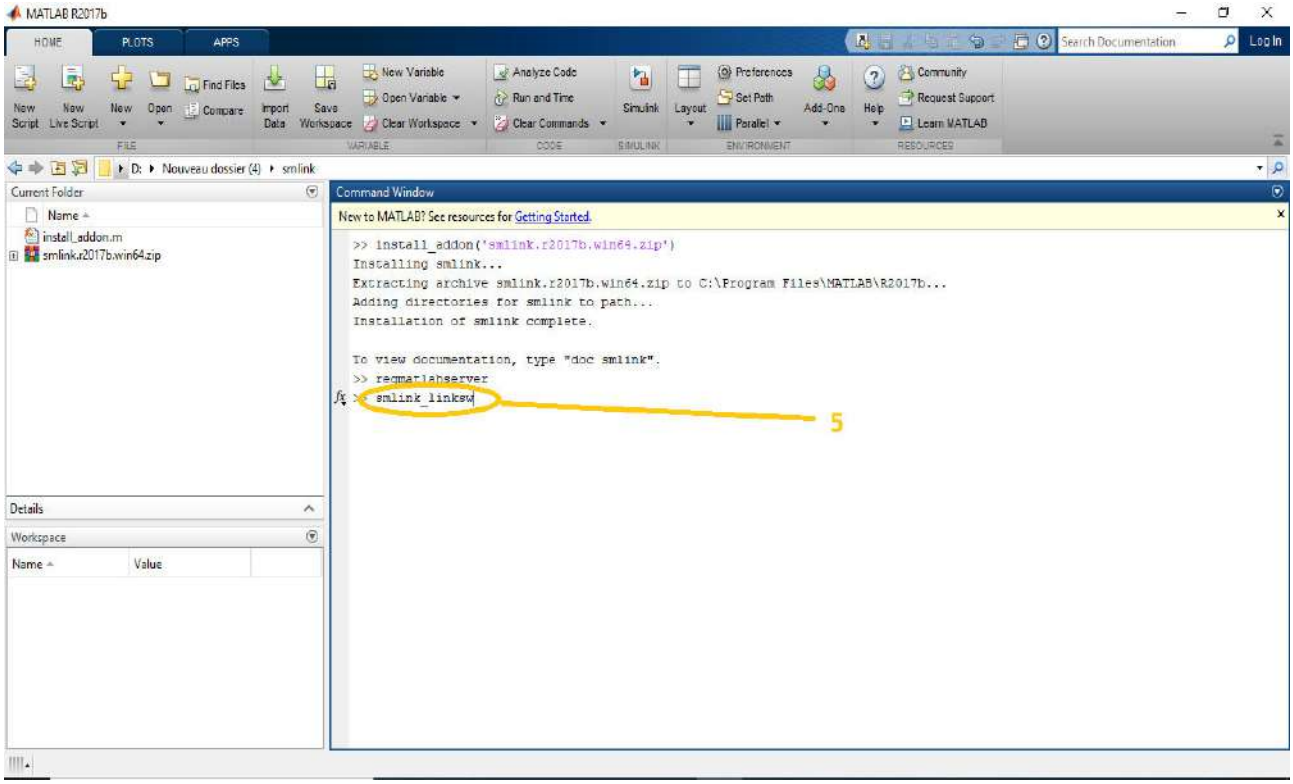


Figure 4.3 : relie deux logiciels.

L'étape 5 : Dans cette étape nous relierons les deux programmes (Simscape/ SolidWorks) en utilisant le command smlink_linksw.

4-2-2. Activation Simscape :

Pour activer le programme Simscape, vous devez ouvrir SolidWorks, puis aller dans Outils, puis Compléments et on va vérifier que Simscape Multibody Link a été activé voir la figure 4.4 et la figure 4.5

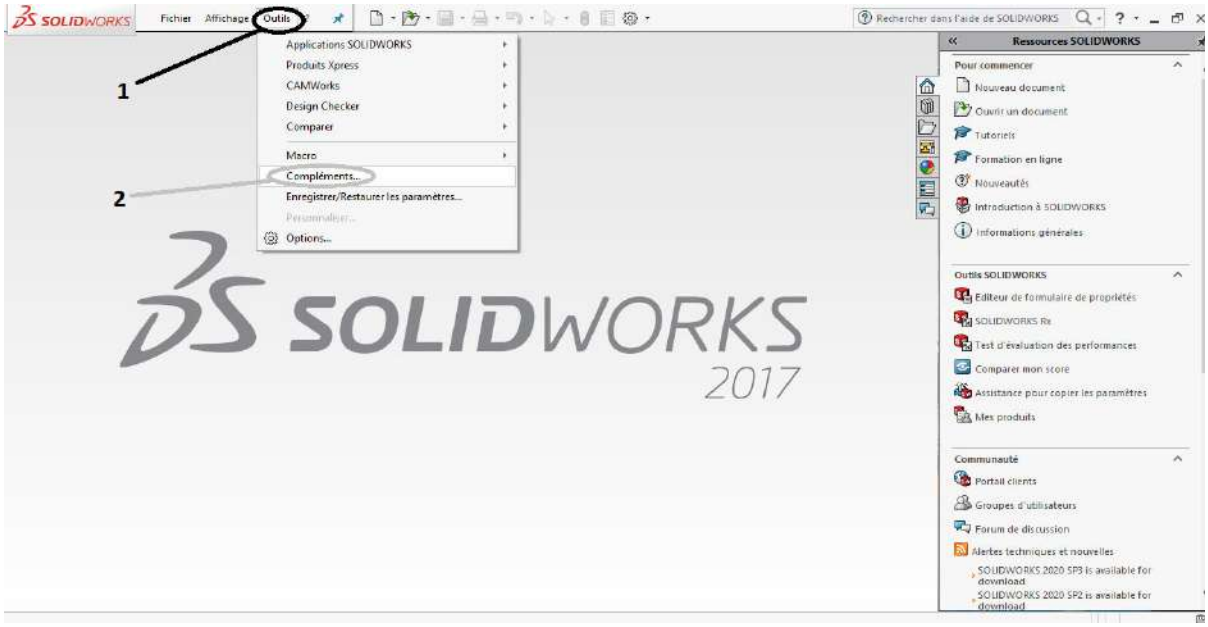


Figure 4.4 : activation Simscape 1.

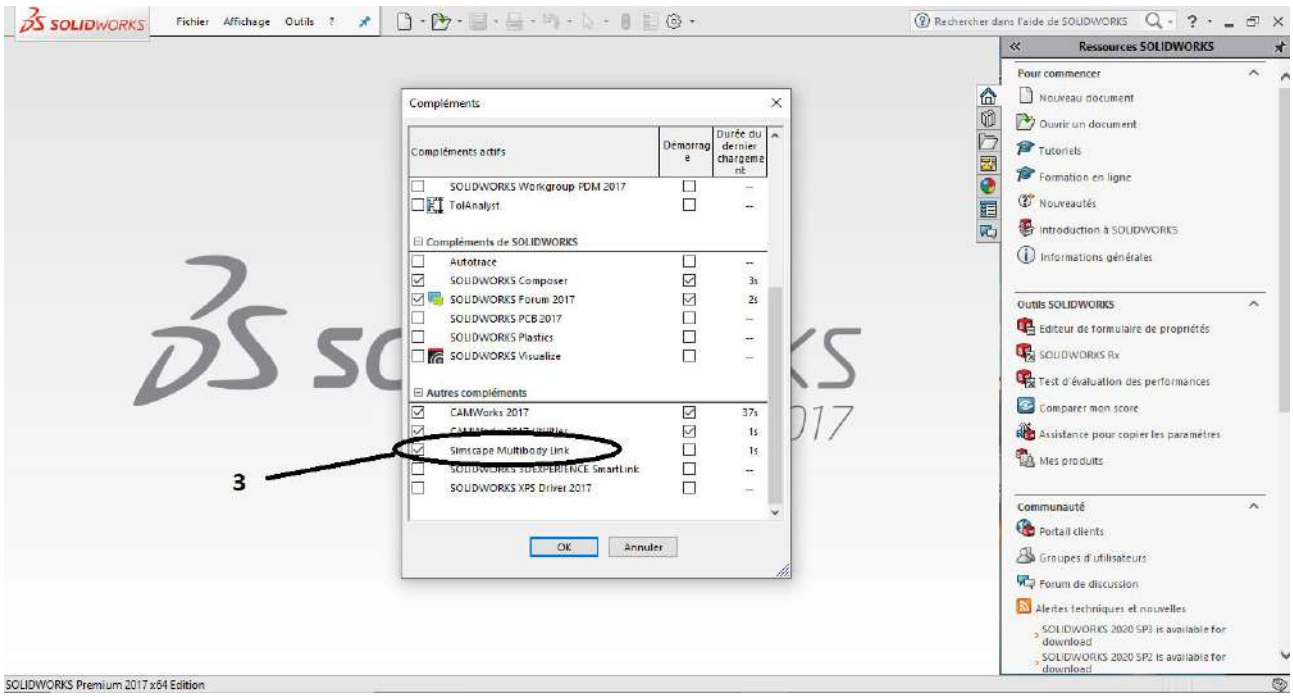


Figure 4.5 : activation Simscape 2.

4-3. Export SolidWorks :

D'abord, nous ouvrons notre assemblage dans SolidWorks. Ensuite, nous allons à **« outils, simscape Multibody link, export, simscape Multibody »** puis nous enregistrons le fichier.

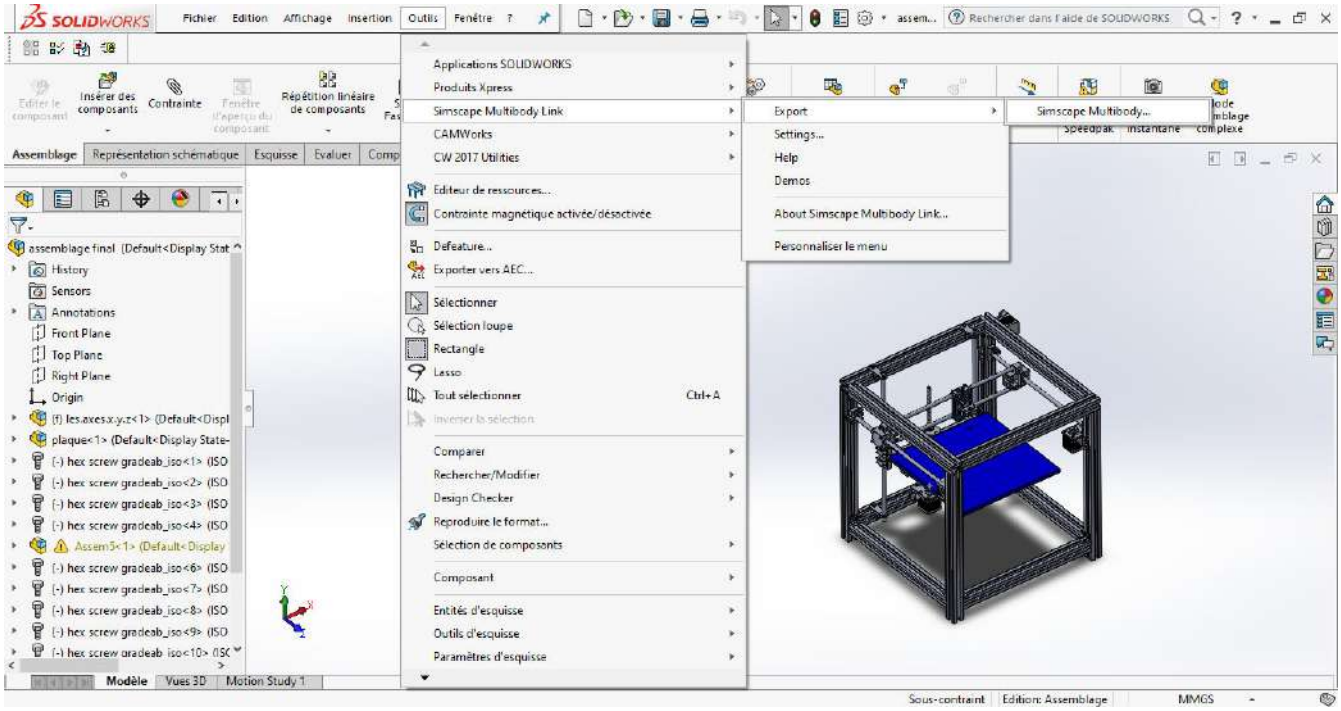


Figure 4.6 : export le fichier de SolidWorks.

4-4.Schéma fonctionnel ou schéma bloc :

4-4-1.Schéma bloc de l'axe Z :

Pour extrait le schéma fonctionnel de l'assemblage de l'axe Z (vis à bille coupleur et moteur pas à pas), en utilisant la commande **smimport('nom de fichier.xml')** puis entre

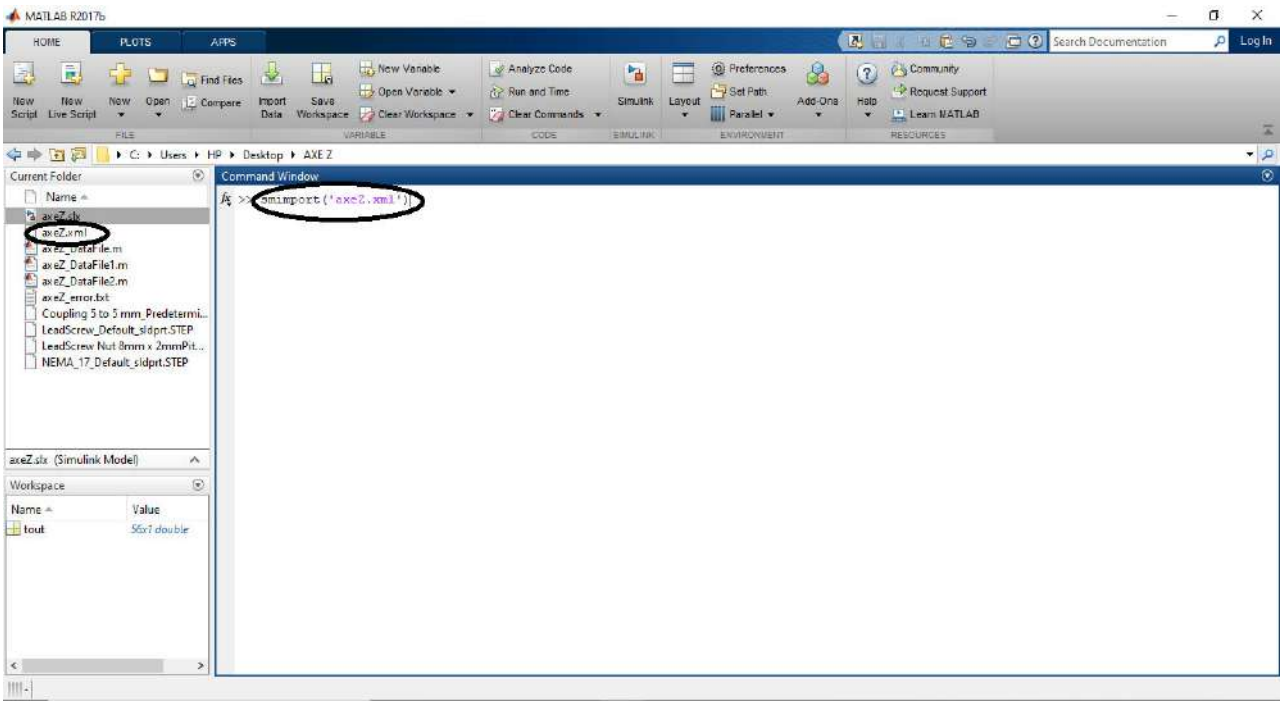


Figure 4.7 : extrait le schéma fonctionnel.

Puis on va voir le schéma :

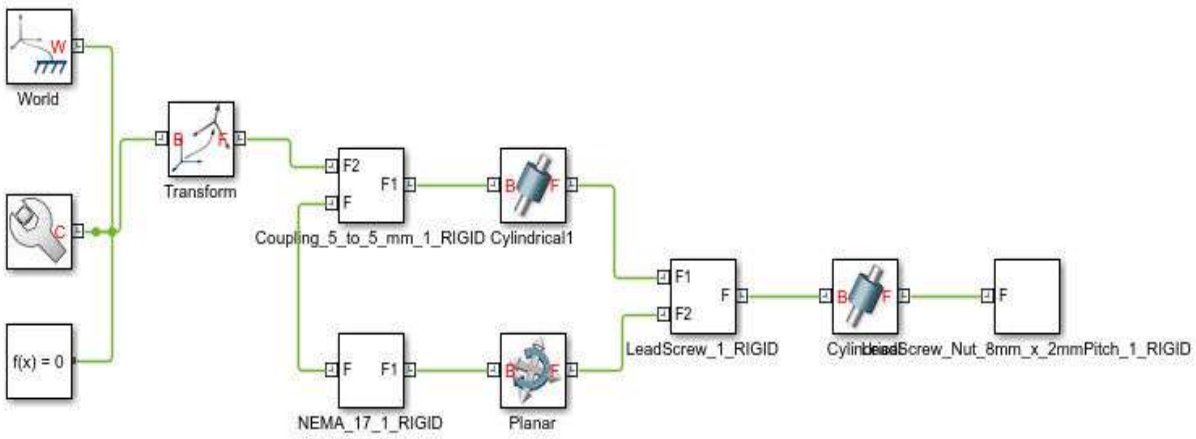


Figure 4.8 : schéma fonctionnel.

Pour faire la simulation, le schéma doit être modifié pour le MATLAB être compris le système comment fonctionnée exacte.

La modification qui on a fait :

- Remplacé la liaison (Cylindrical 2) par (Prismatic joint).
- Modifié paramètre de liaison (Prismatic) et ajoute une Force pour l'entré.
- Ajoute un convertisseur (S-PS) pour transférer le signal à une force physique.
- Ajoute un constat pour donner un signal de force.

La figure 4.9 représente le schéma après la modification :

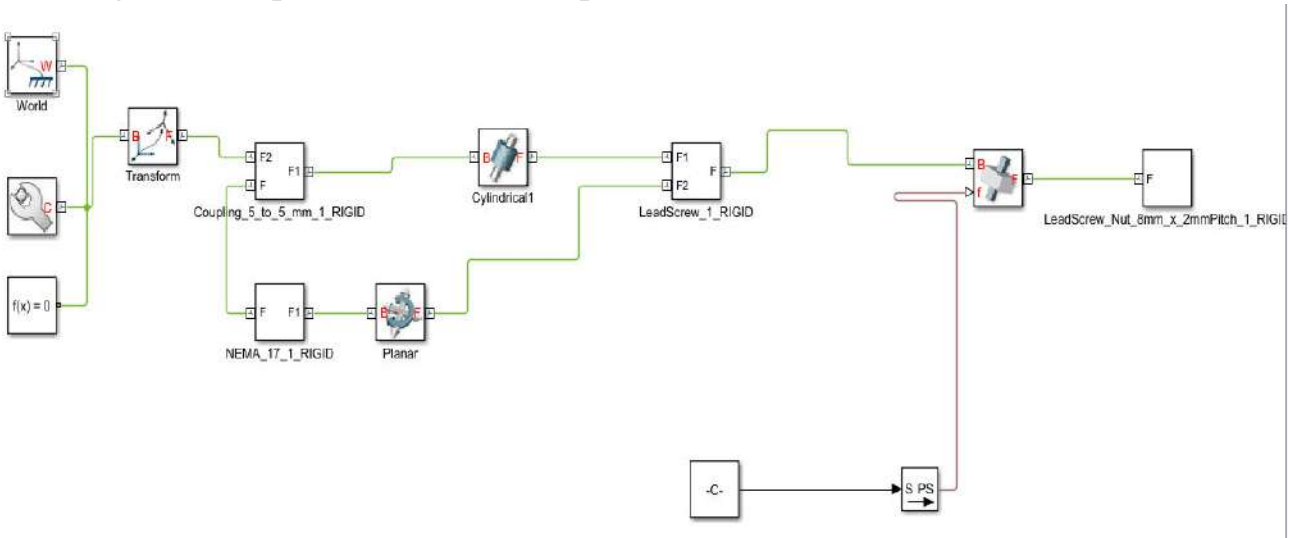


Figure 4.9 : schéma fonctionnel modifiée.

Puis appuie sur RUN pour voire la simulation

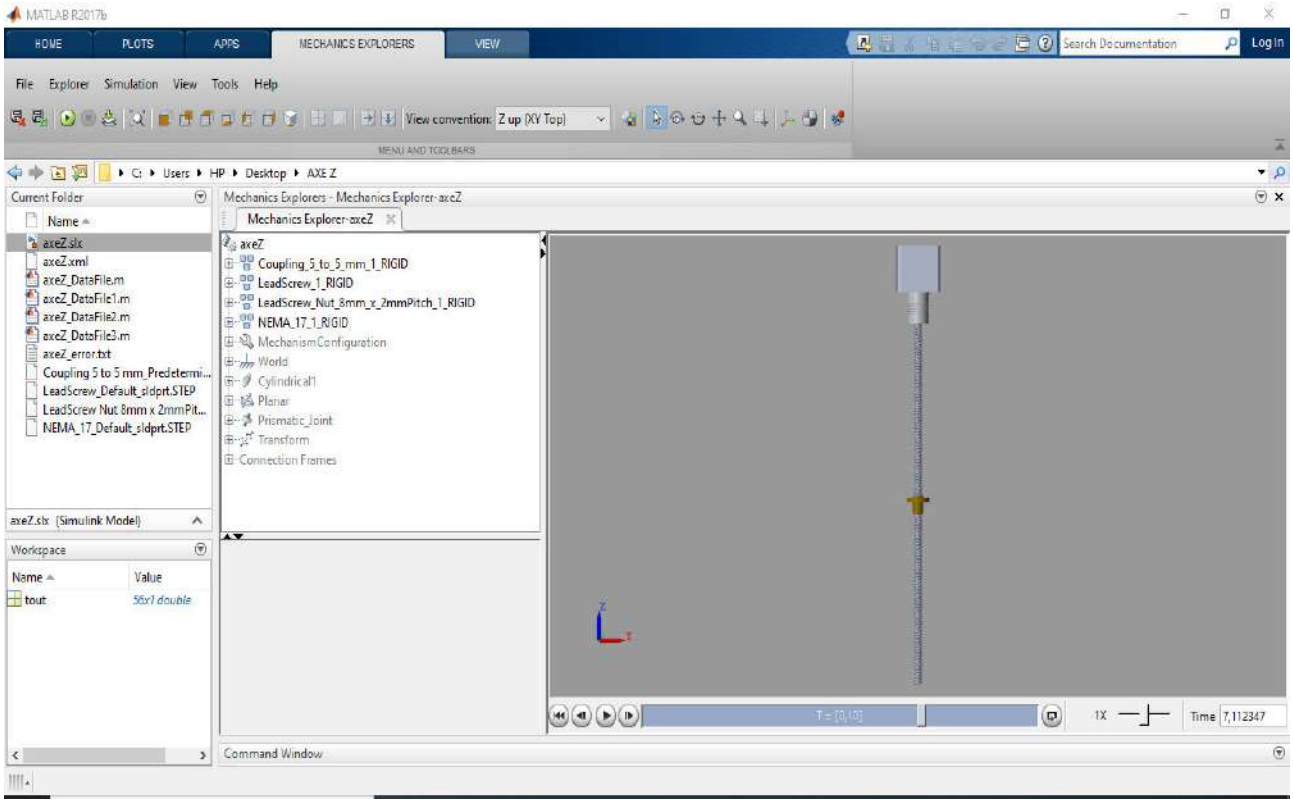


Figure 4.10 : simulation de l'axe Z.

4-4-2.Schéma bloc de l'axe X :

Après l'exportation de fichier de sous assemblage de l'axe X et en a extrait le schéma fonctionnelle avec l'utilisation de la commande **smimport** dans le MATLAB.

La figure 4.11 représente le schéma bloc de l'axe X :

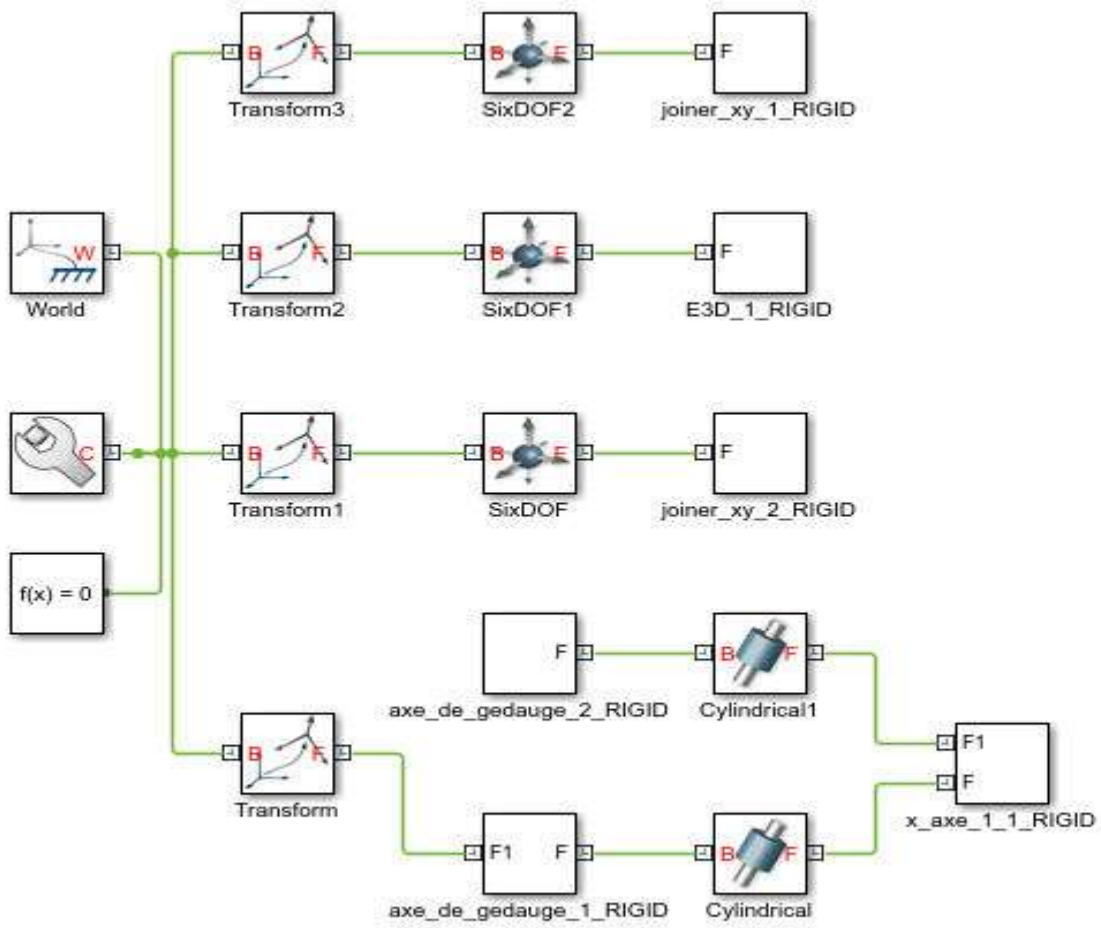


Figure 4.11 : représente le schéma bloc de l'axe X.

La modification qui on a fait dans le schéma fonctionnel :

- Remplacé la liaison (Cylindrical) et (Cylindrical 1) par (Prismatic joint).
- Modifié paramètre de liaison (Prismatic) et ajoute une Force pour l'entré.
- Ajoute un convertisseur (S-PS) pour transférer le signal à une force physique.
- Ajoute une (step) pour donner un signal de force.

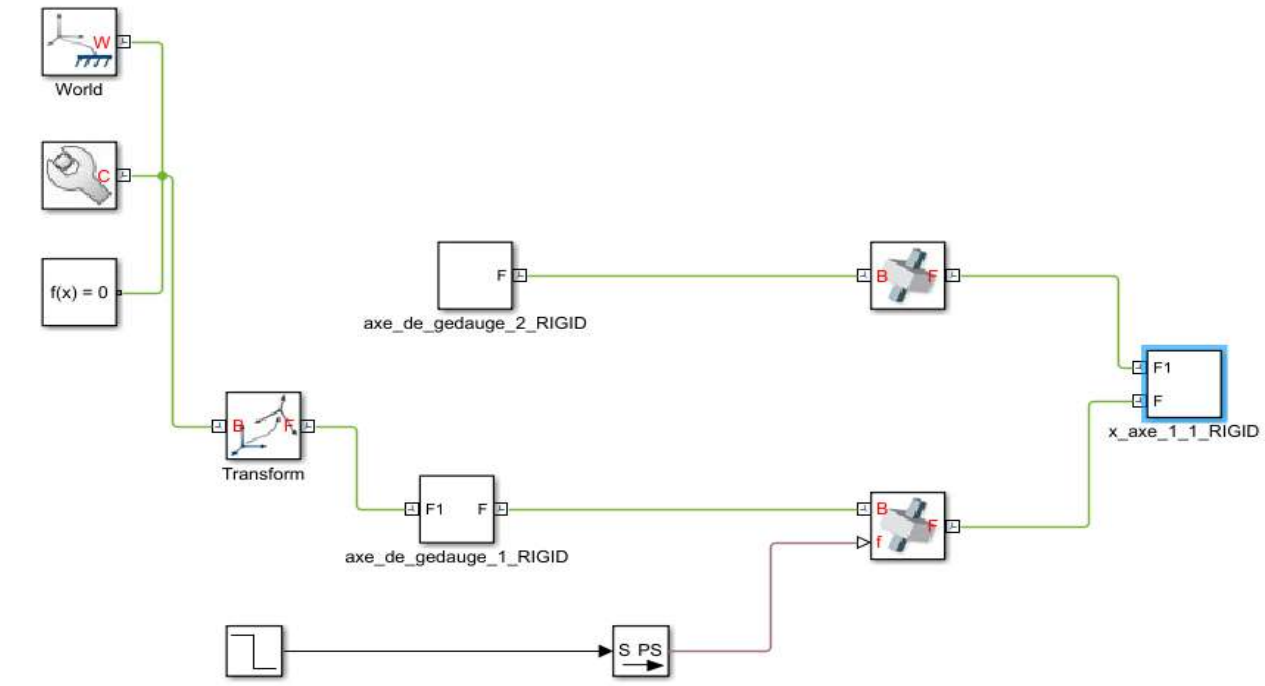


Figure 4.12 : schéma fonctionnel modifiée.

Puis appuie sur RUN pour voire la simulation

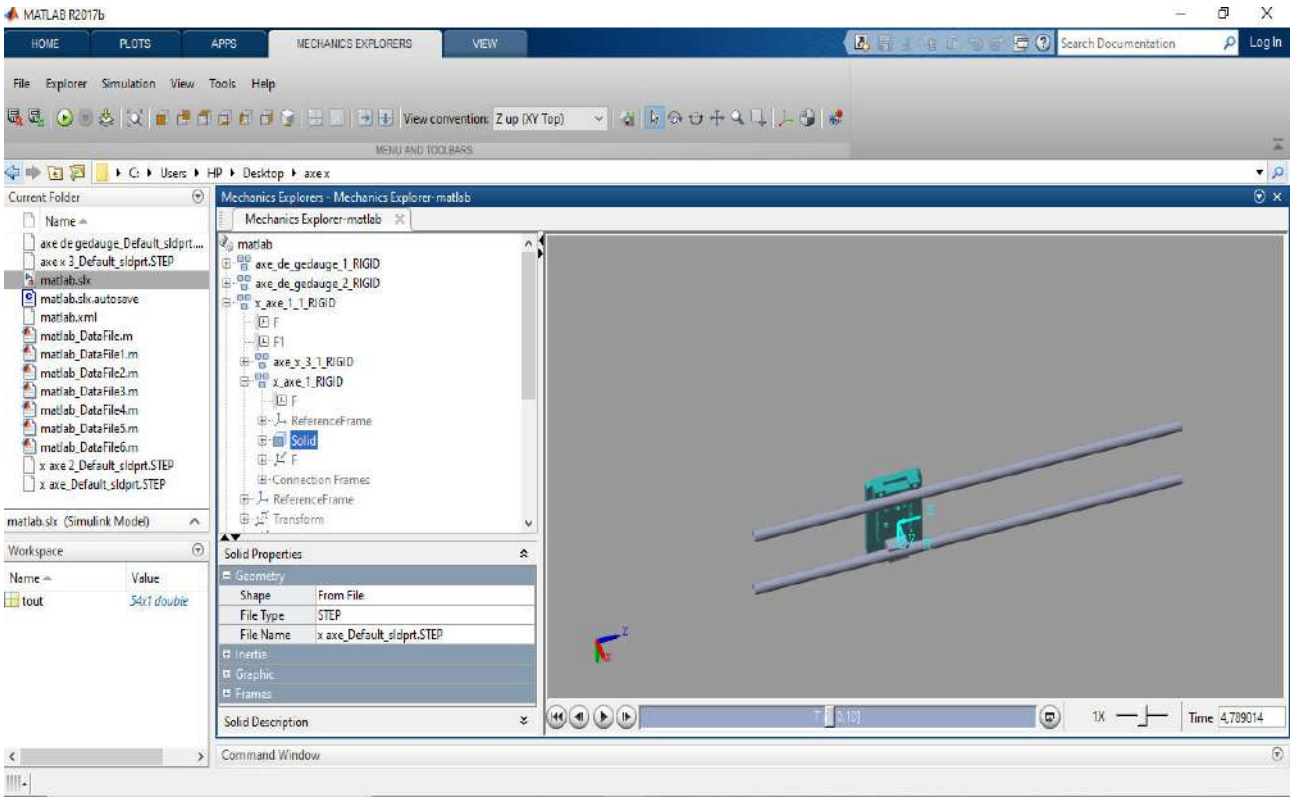


Figure 4.13 : simulation de l'axe X.

4-4-3.Schéma bloc de l'assemblage du notre imprimante 3D :

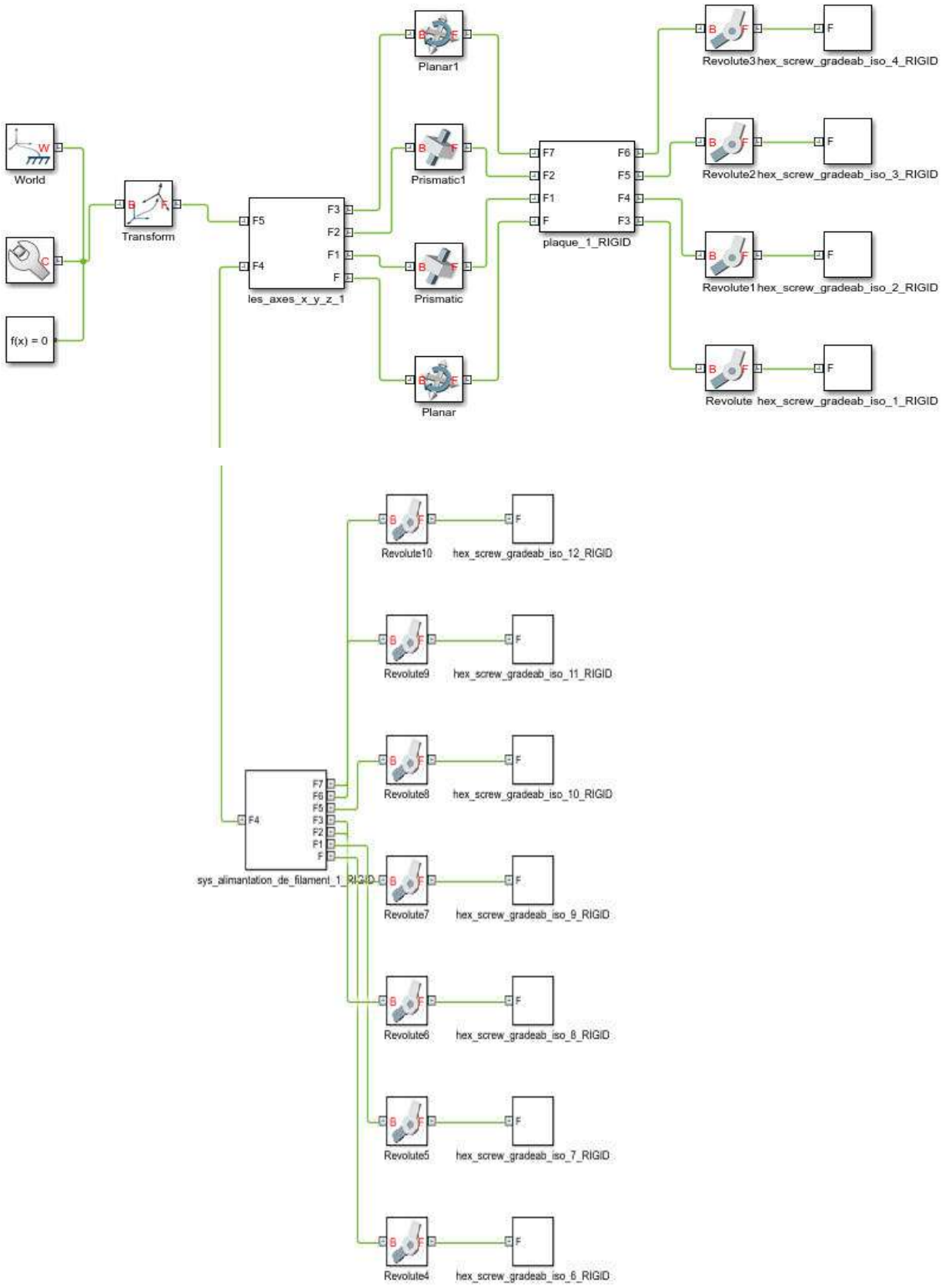


Figure 4.12 : schéma fonctionnel de notre imprimante 3D.

4-5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté et défini Simscape Multibody et comment l'installé. Puis on a donné les étapes nécessaire pour exporté le fichier XML de SolidWorks et comment extrait le schéma fonctionnel ou le schéma bloc pour faire la simulation.

On a fait aussi une simulation de l'assemblage de l'axe Z et l'axe X.

Conclusion générale

Conclusion générale

L’impression 3D permet de façonner un produit, couche après couche, en travaillant directement à partir d’une multitude de matériaux.

Aujourd'hui l'impression 3D joue un rôle fondamental dans le monde de l'impression et a un avantage sur les autres méthodes de fabrication dites -traditionnelles- par sa capacité d'offre aux créateurs, aux designers et aux ingénieurs d'entreprises d'imaginer de nouvelles conceptions, et permet aussi de réaliser plusieurs de type de produit du façonnage d'objets brutes, d'usinage , production de pièces ...etc avec une bonne décision.

Dans ce travail, nous avons mis en œuvre une imprimante 3D.Ainsi nous avons décrit étape par étape la construction de cette imprimante 3D, on a pu acquérir d'avantage d'idées sur le plan théorique, notamment l'étude de l’existant, l'étude mécanique, électronique et logiciel.

On est vraiment déçu de ne pas prendre le plaisir à travailler sur le plan pratique à cause de cette crise la pandémie de COVID-19.

Bibliographie

Bibliographie

[1] :Said BOUGOUR. « l'impression 3D comme moyen d'évolution des processus de production ». CAHIERS DU LAB.RII , document de travail université du littoral cote d'opale. Janvier 2015.

[2] : FRANCOIS , « Histoire de l'impression 3D », 04/02/2020, 22 :55, http://www.monunivers3d.com/guide/histoire/

[3] : S.SANCHEZ, « l'impression 3D par dépôt de matière fondue », on vous explique tout !Availble : http://www.3dnatives.com/depot-de-matiere-fondue-fdm/, 07/02/2020, 09 :32.

[4] : J.EVANS, « 3D printing makes material advances :compaines are setepping up thier efforts to expand the limited palette of resins suitable for additive manufacturing plastics enginiering » 2016

[5] : B.GUILLAUME, d.b.MICHEL, T.NADIM, « L'impression 3D », école de design de l'université Lavel 2017

[6] : Julien HEYD, « l'apport de la fabrication additive en chirurgie orale », thèse pour la diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, université de lorriane, 2017.

[7] : Christelle PAYEN, « L'impression 3D », Eurasanté à l'attention des entreprise de la région Nord-Pas de calais, décembre 2013.

[8] : Marc BURBIDGE , « Introduction à l'impression 3D » cours, 15 novembre 2013.

[9] :Pirrick BOUFFARON, « Impression 3D », rapport d'ambassade/consulat général de France à San Francisco Californie, septembre 2014.

[10] : [3D PRINTING TECHNICAL GUIDE], 2017, ERASMUS3D+

[11] : F. Kunz, A. A. Jorg, L. Chaabane: « Innovation Infrastructure& Services ». Switzerland Innovation Park Biel. 2017.

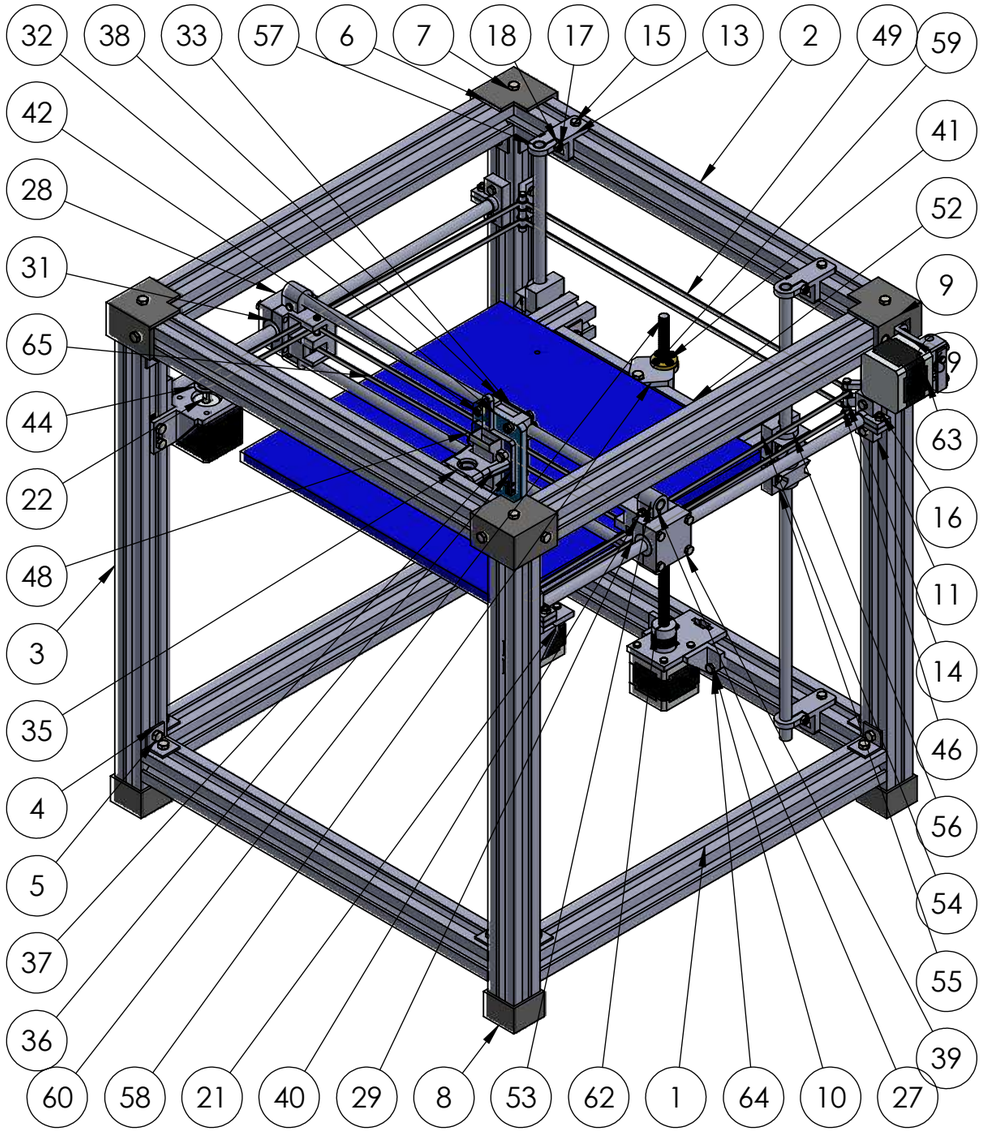
[12] : Alex M, The 4 Types of FFF / FDM 3D Printer Explained, 12/12/2015 sur https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/ .05/03/2020 à 14 :56

[13] : Emmett Grames, CoreXY 3D Printer: Why It Makes a Difference, 06/10/2019 sur https://all3dp.com/2/corexy-3d-printer-is-it-worth-buying/. 05/03/2020 à 22 :58

[14] : Kerry Stevenson, are corexy 3d printers taking over?, 09/03/2020 sur https://www.fabbaloo.com/blog/2020/3/9/are-corexy-3d-printers-taking-over. 31/05/2020 à 15 :30

[15] : https://all3dp.com/2/3d-printer-firmware-which-to-choose-and-how-to-change-it/ 06/03/2020 à 11 :36
[16] :https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturingengineer/g-code. 07/03/2020 à 22 :53
[17] : LEMSADFA Haiballah,[Contribution et réalisation d'une imprimante 3d],2018, mémoire de fin d'étude
[18] : Djedouani. Belal ,Ould amhed haiballa mohamed lemine, [Développement d'un Banc d'essai pour l'étude est le diagnostic des moteurs à pas Hybrides], 2016, mémoire de fin d'étude
[19] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Vis_%C3%A0_billes. 08/03/2020 à 10 :23
[20] : [Ball screws] , 2018,HIWIN
[21] : bloctechno, « Carte électronique programmable », Development board Impossible.
[22] : C. Fréou et A. Grimault, « Decouverte_arduino.odt », www.Techmania.fr
[23] : http://blewando.dlinkddns.com/elv/Promo2018/th14/pag6.html. 09/03/2020 à 23 :03
[24] : Arduino, http://projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.pdf. 10/03/2020 à 09 :26
[25] : CHELOUCHE Djalal , DJAFRI Menad « Etude et Réalisation d'une Carte Arduino » Projet de fin d'études, 2016
[26] : http://wiki.mchobby.be/index.php?title=A4988. 13/05/2020 à 02 :52
[27] :http://www.paoparts.com/fr/plaques-lit-chauffant/200-plaque-chauffante-mk2a.html. 13/05/2020 à 17 :28
[28] : Corentin Yviquel, l'impression 3D, 28/11/2018 sur https://fablab.alencon.fr/uploads/project_cao/282/2018-11 28_Atelier_FabLab_reglages_imprimante_3D.pdf. 17/05/2020 à 00 :15
[29] : Steve Miller, Model and simulate multibody mechanical systems, 03/03/2016, sur https://fr.mathworks.com/videos/simscape-multibody-overview-117986.html. 23/06/2020 à 14 :46

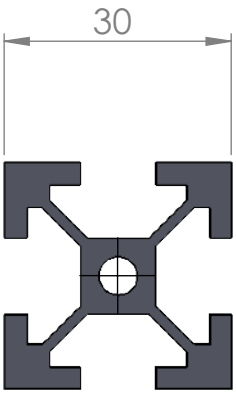
ANNEXE

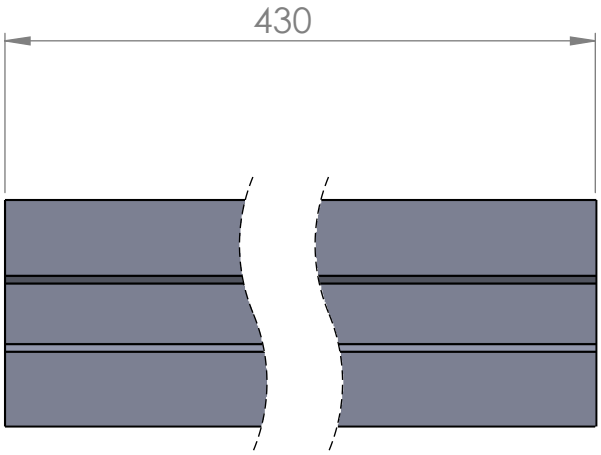


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	bar d'aluminum		4
2	bar d'aliminum2		4
3	bar d'aliminum3		4
4	fixation		18
5	ISO 4018 - M5 x 16-WN		32
7	ISO 4017 - M5 x 10-N		24
11	clamp axe y		4
12	qxe 400		2
13	z chaft clamp		4
14	xy idler		2
15	ISO 4017 - M4 x 16-N		17
21	moteur droit		1
22	NEMA 17		2
23	ISO 4017 - M3 x 6-N		24
26	moteur gauche		1
27	axe de gedauge		2
28	x y joiner part 2		2
29	xy joiner		2
30	ISO - 4036 - M3 - N		2
31	brushing		2
32	x axe		1
33	x axe 2		1
34	axe x 3		1
35	E3D clamp		1
36	E3D monte		1
37	fan		1
39	ISO 4017 - M4 x 20-N		10
48	Belt5-3^cadre + les axe x y + les moteur		1
49	Belt6-4^cadre + les axe x y + les moteur		1
52	bar alimuinum		1
53	bar alimuinum 280 mm		2
54	z axe carriage		2
55	z axe carriage clamp		4
56	bouching 8 mm		2
57	axe z		2
58	z nut mount		1
59	LeadScrew Nut 8mm x 2mmPitch		1
60	LeadScrew		1
62	Coupleur 5. 8		1
63	NEMA_17		2
64	z axe moteur		1
65	plaque chauffant		1
66	bad support		4
68	bowden 2		1
69	bowden		1
70	bowden roue		1
71	roue		1

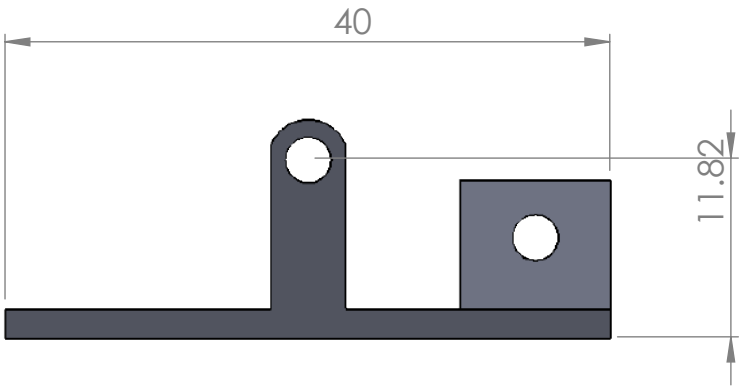


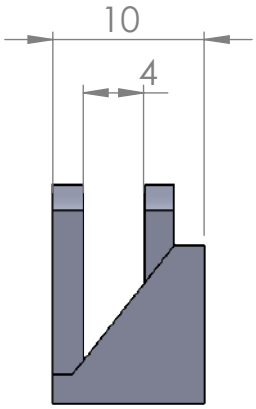
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	axe de guidage	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

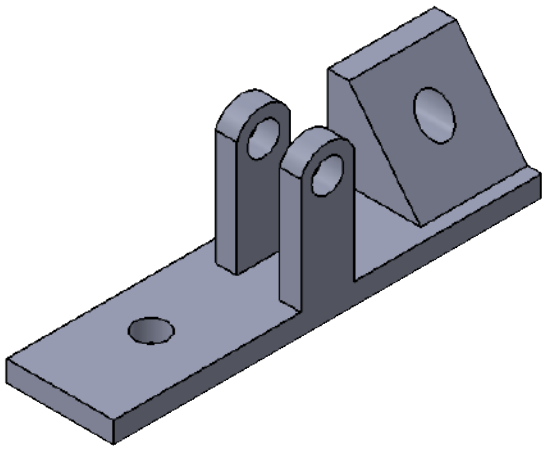




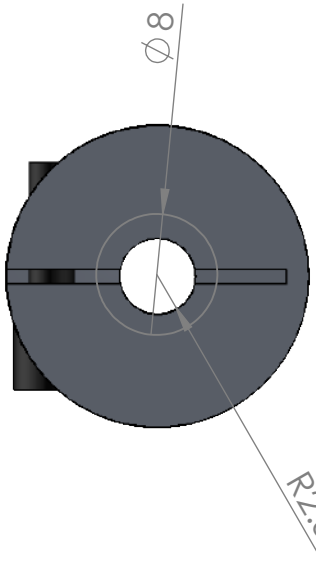
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	bar d'aluminume	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

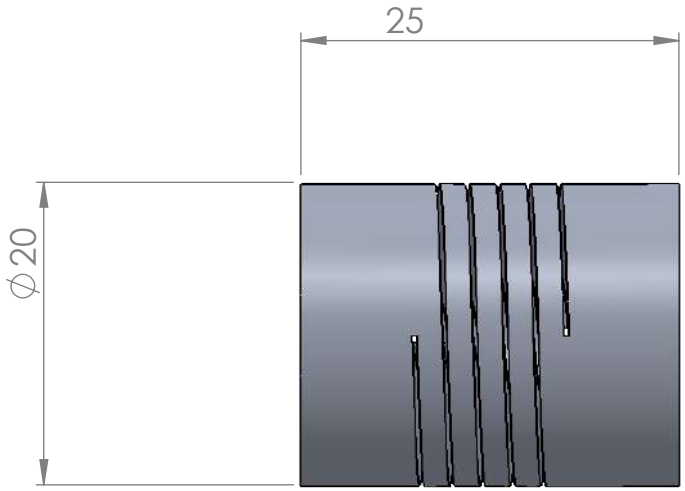


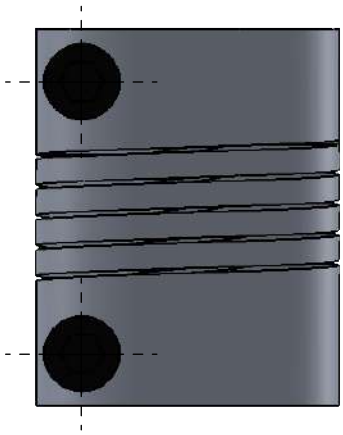


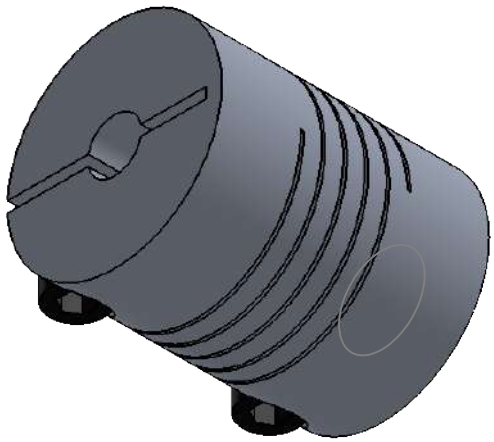


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	bowden 2	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

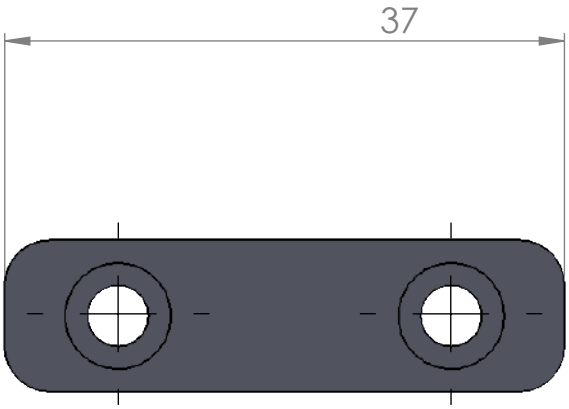


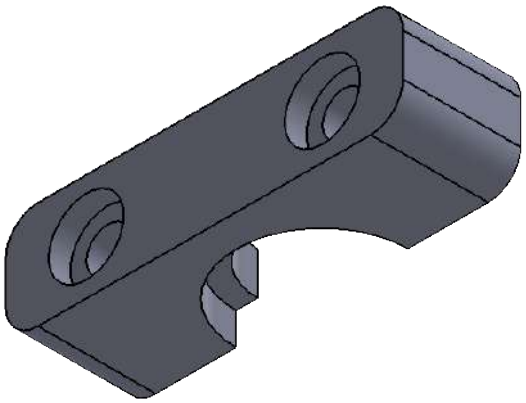


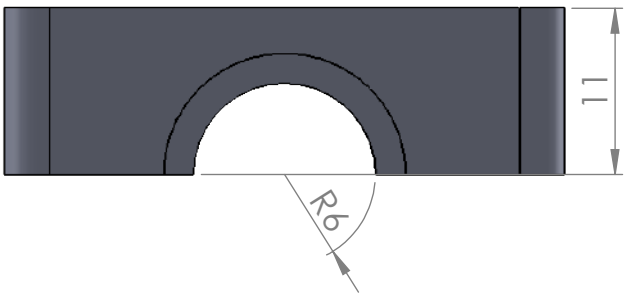




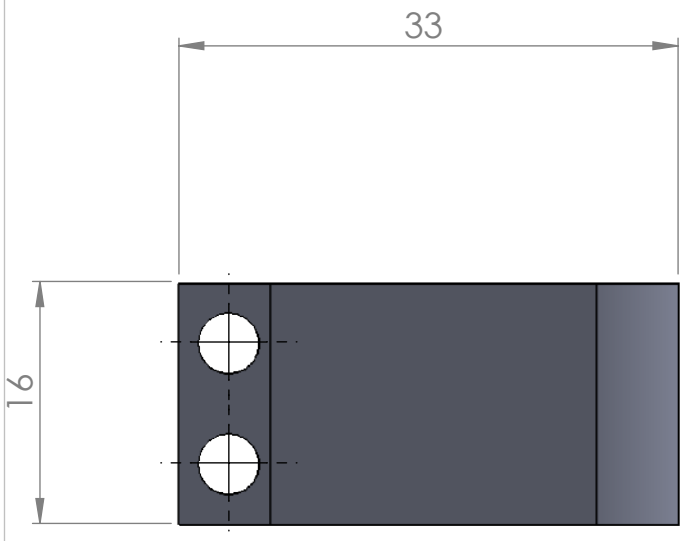
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	coupleur	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

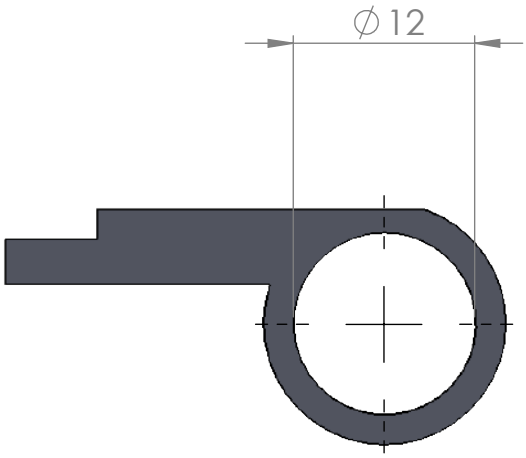


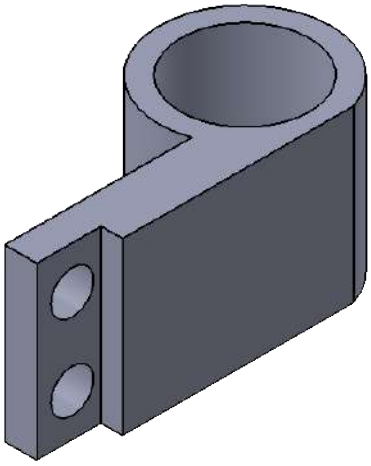




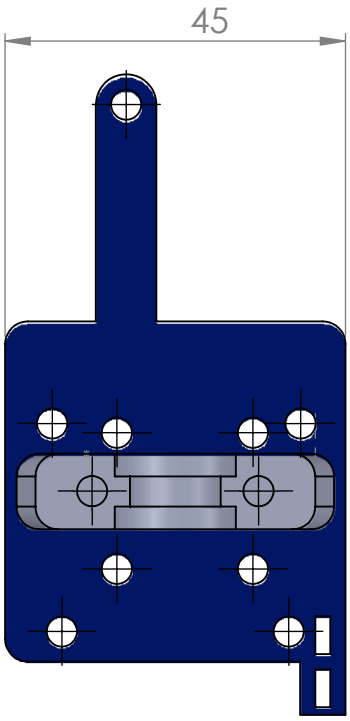
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	E3D clamp	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

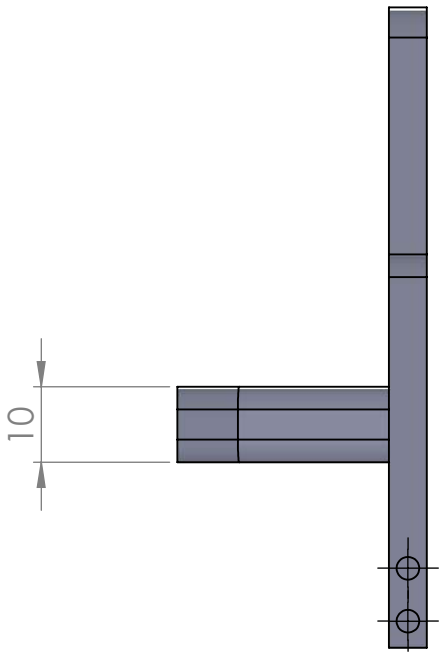


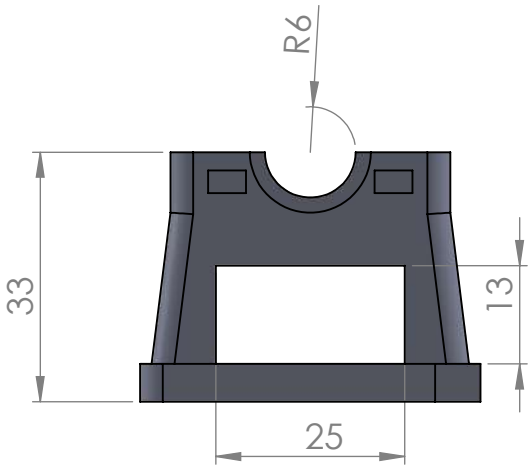


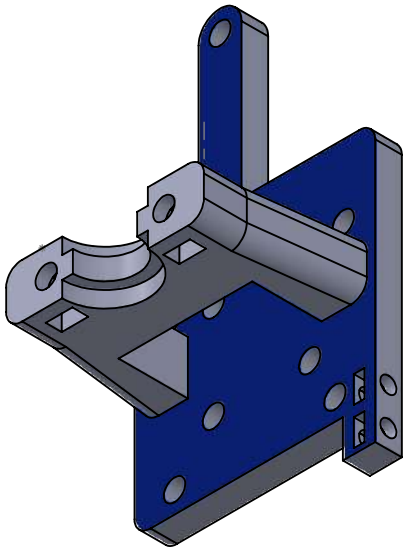


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	E3D sensor	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

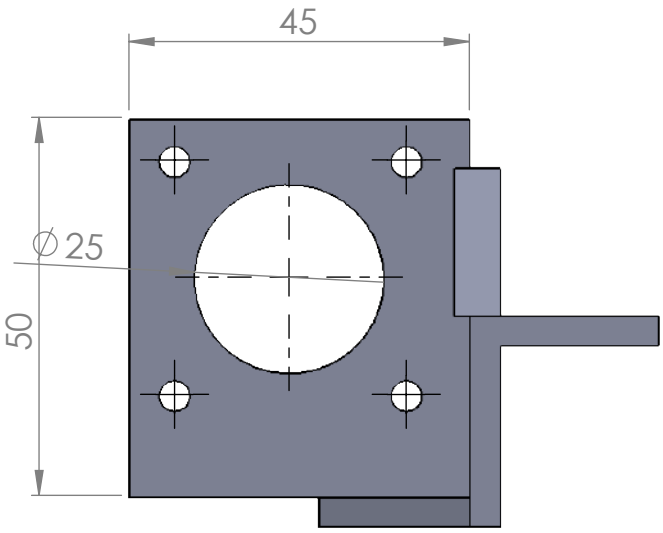


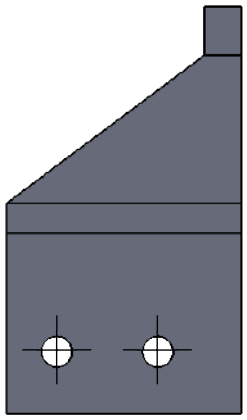


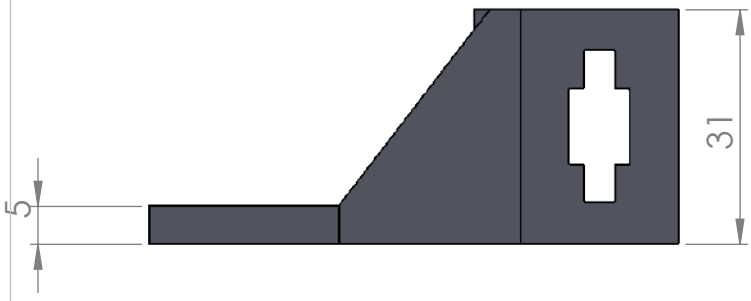


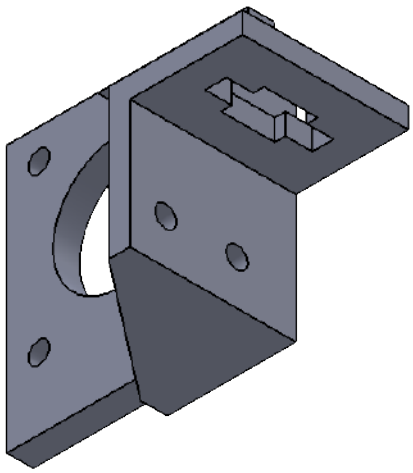


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	E3D	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

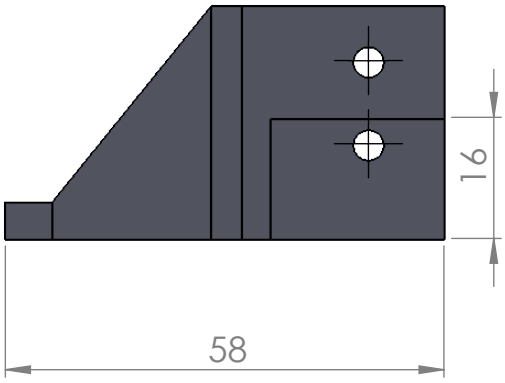


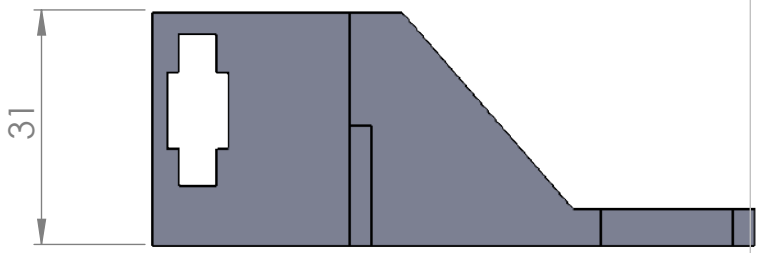


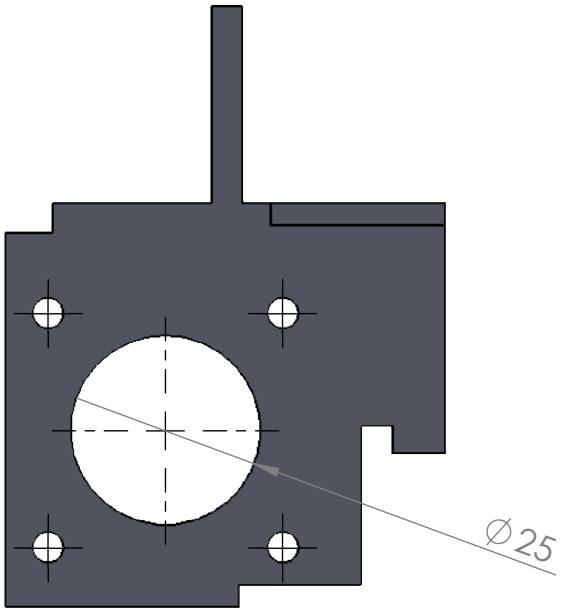


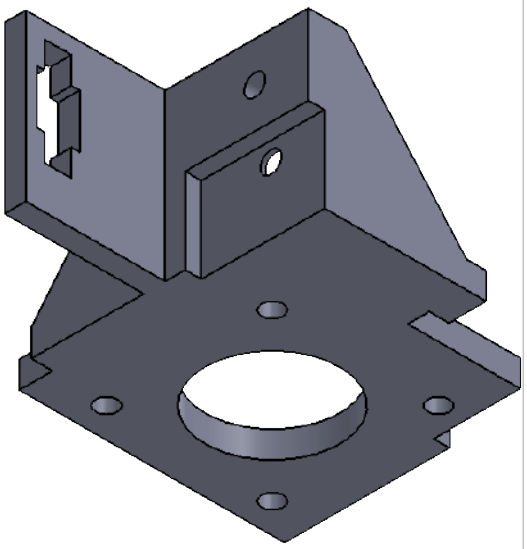


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	moteur droit	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		





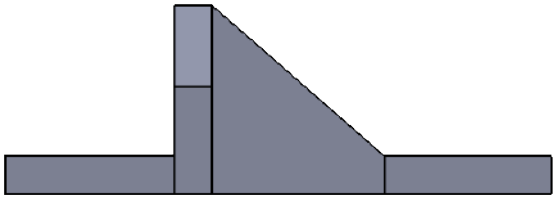


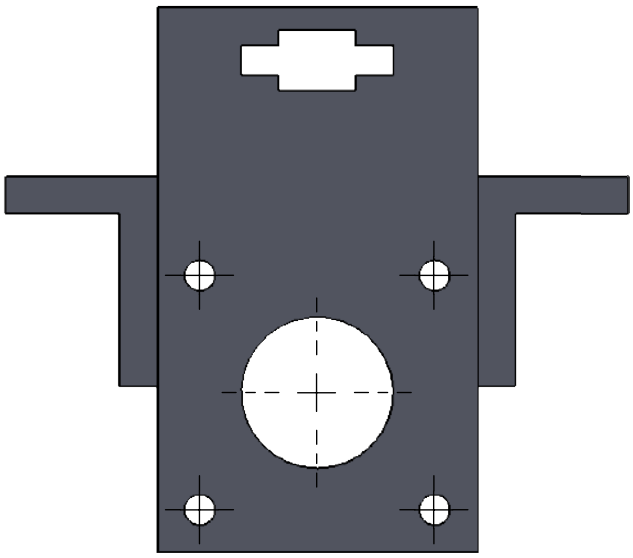


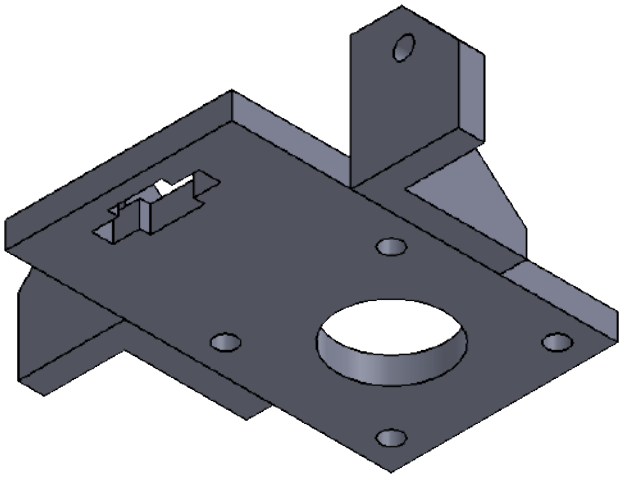
Université Docteur Yahia Farés de Médéa

DESSIN	moteur gauche	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		



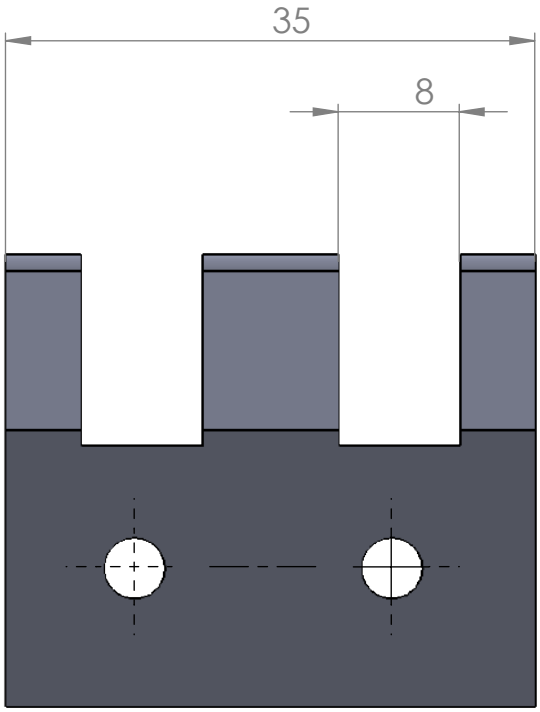


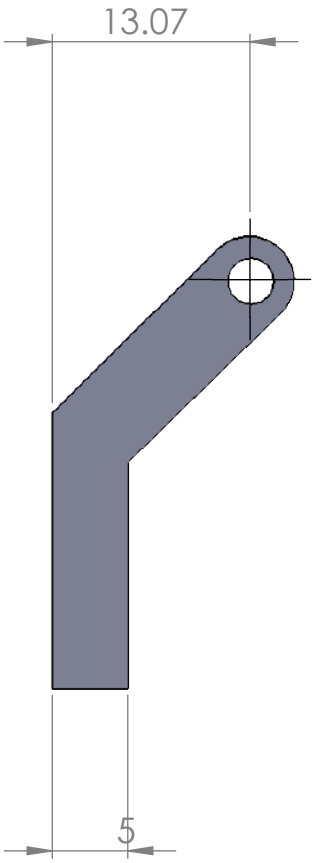


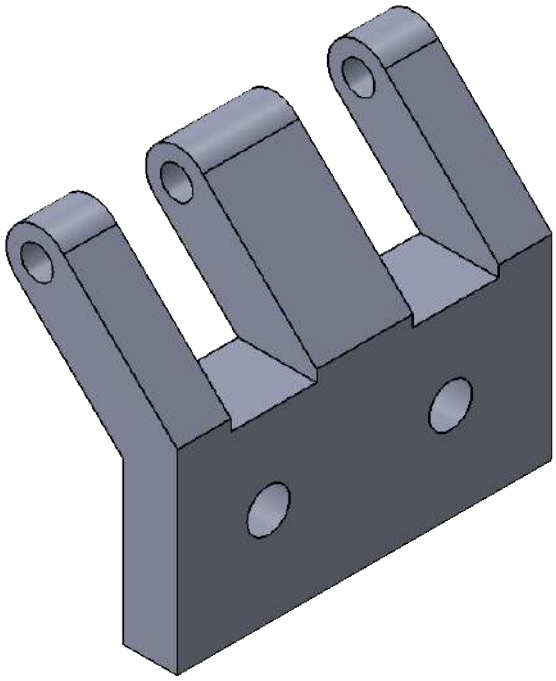


Université Docteur Yahia Farés de Médéa

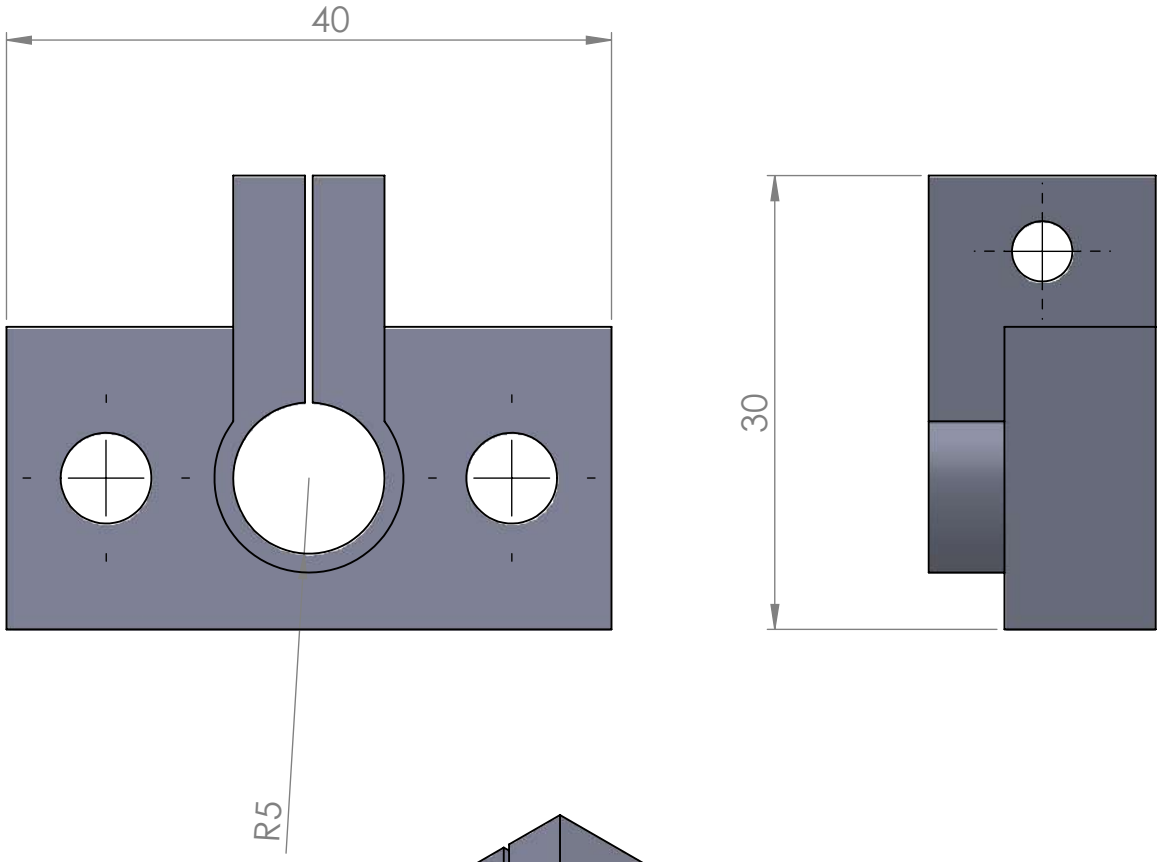
DESSIN	support de moteur z	Groupe 01
G M		Ech1:1

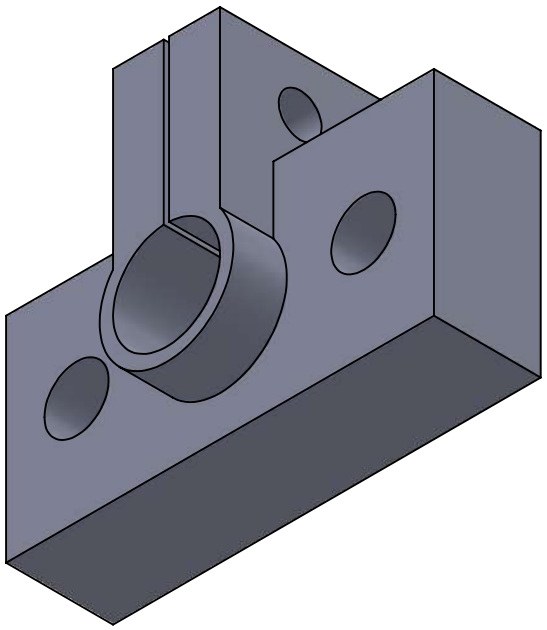




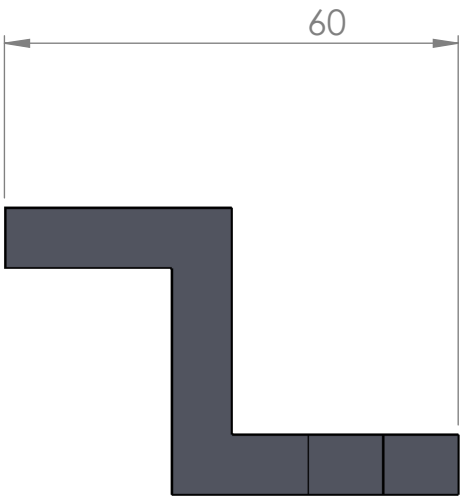


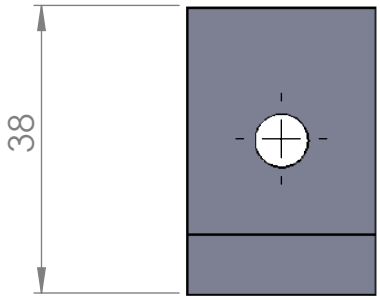
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	pulley	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

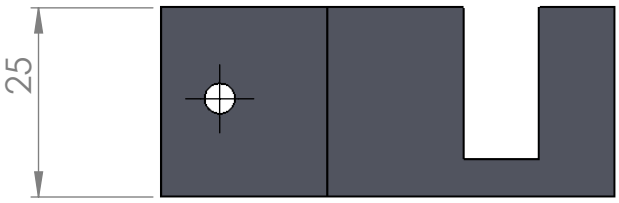


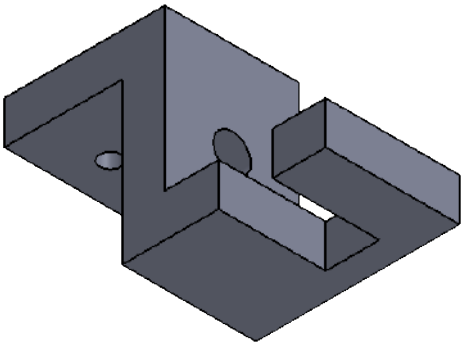


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	serrer de l'axe y	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

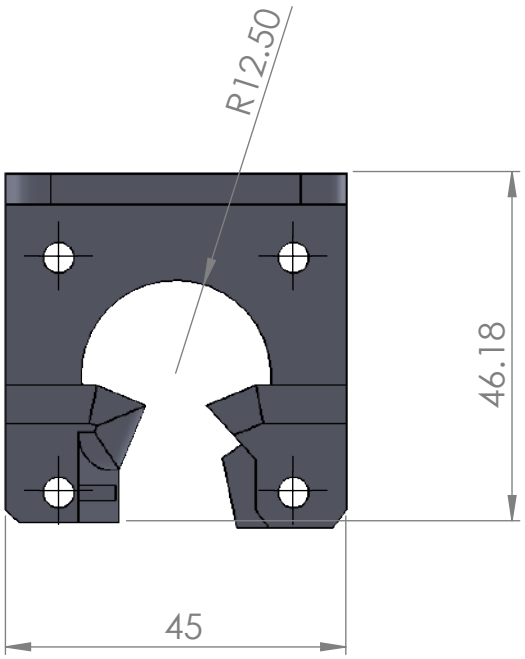


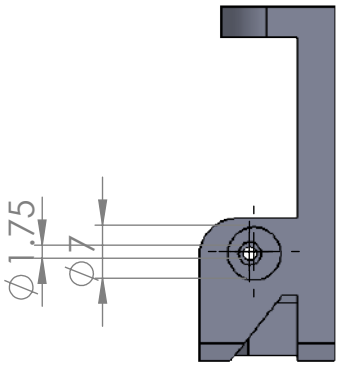


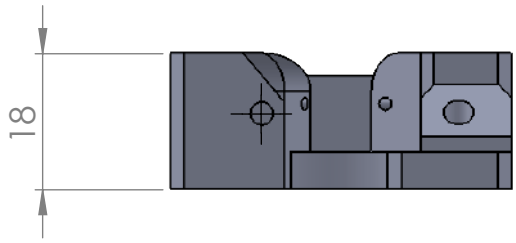


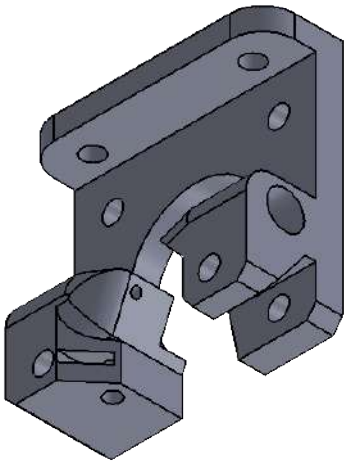


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	support de lit	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

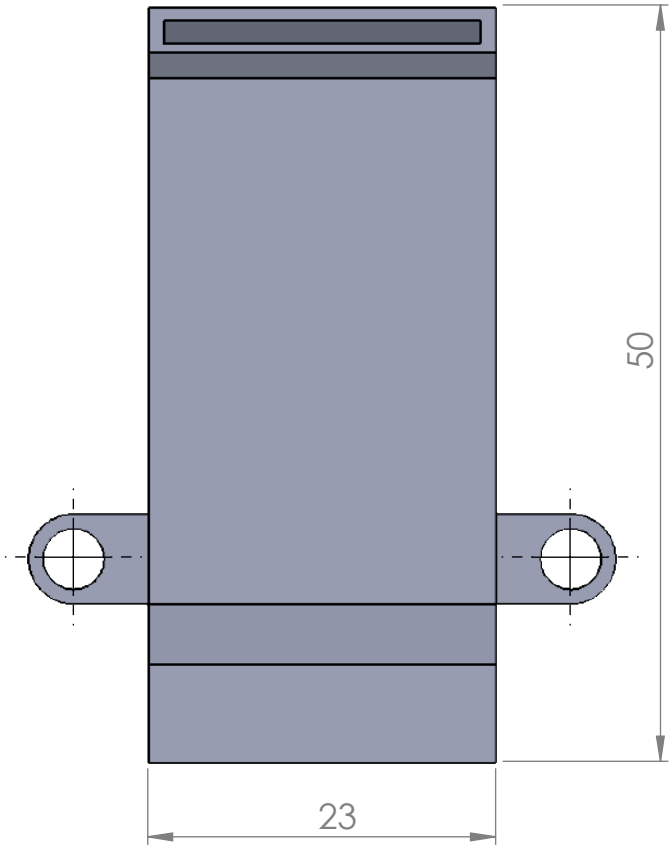


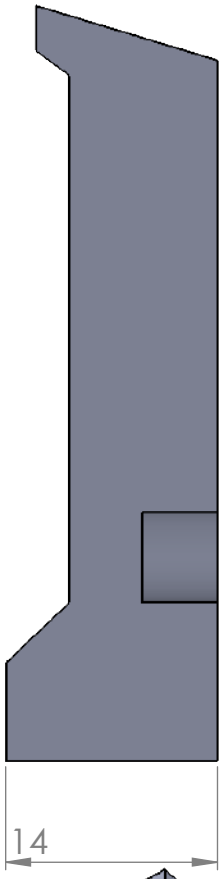


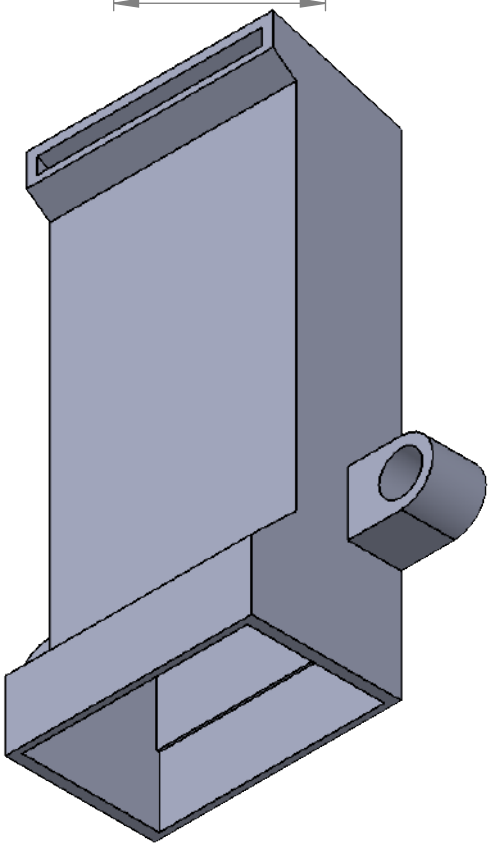




Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	support de moteur d'alimentation	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		



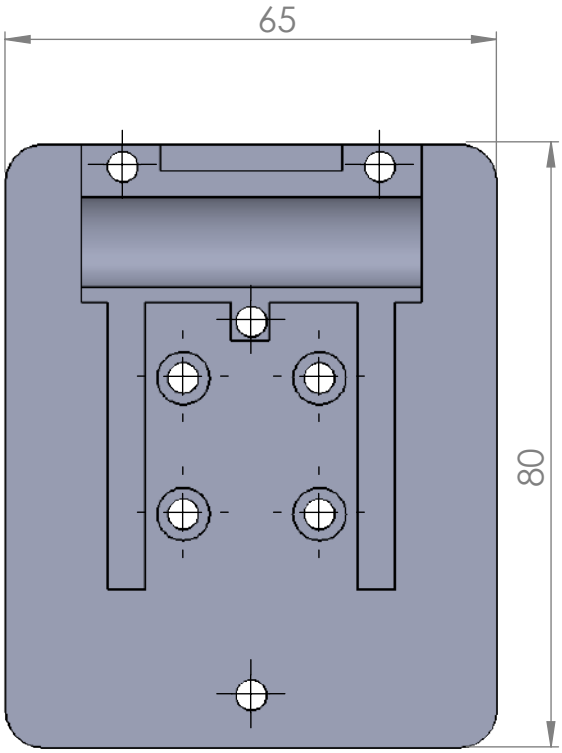


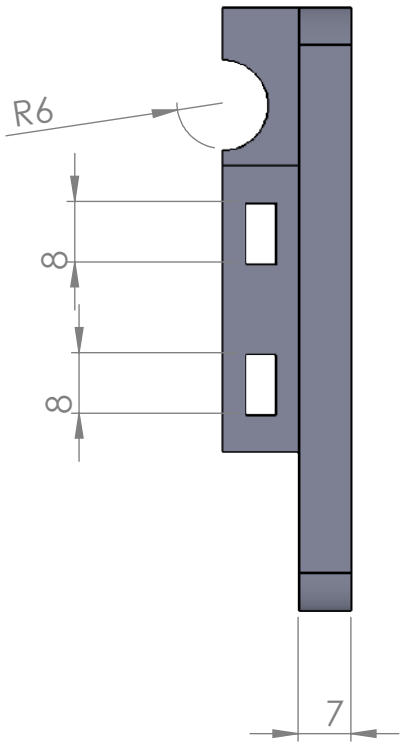


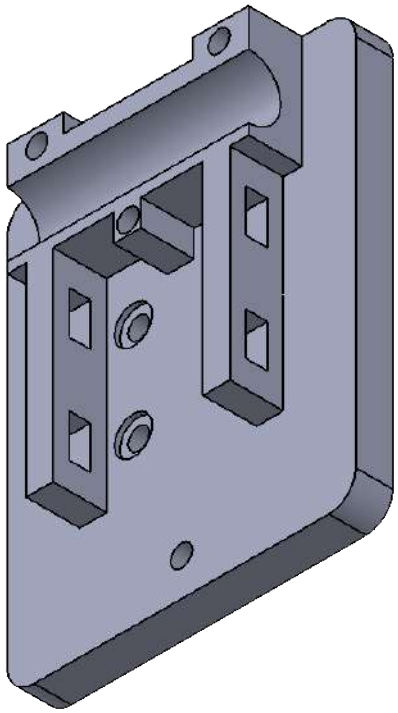


Université Docteur Yahia Farés de Médéa

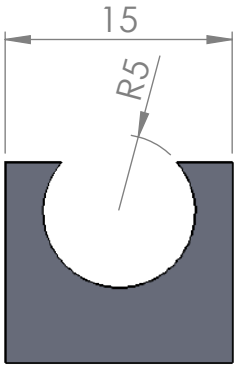
DESSIN	tube de ventilation	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

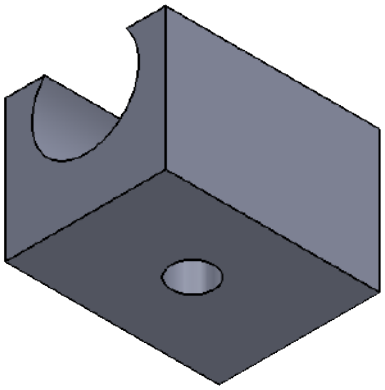


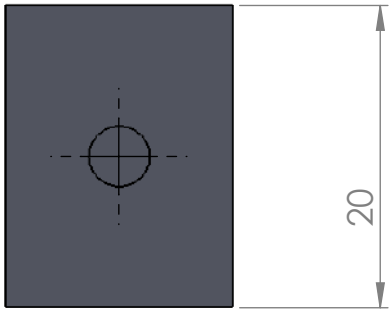




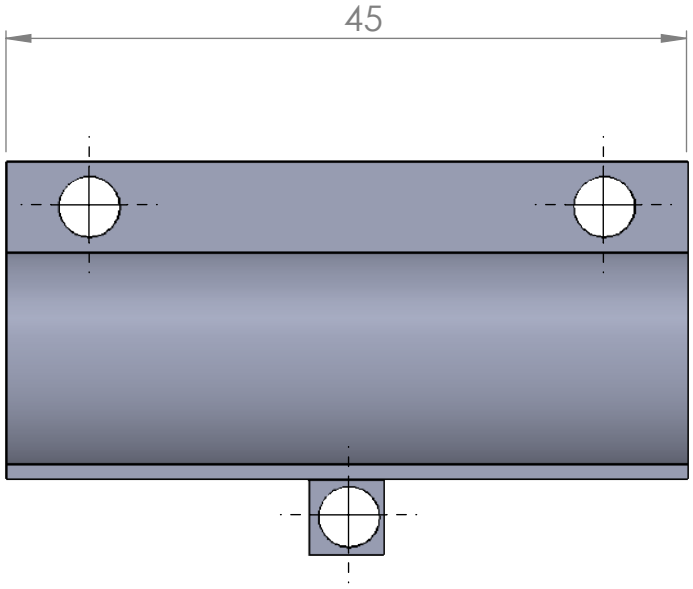
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	x axes support	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

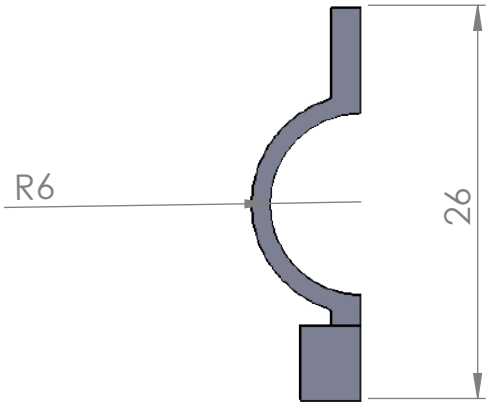


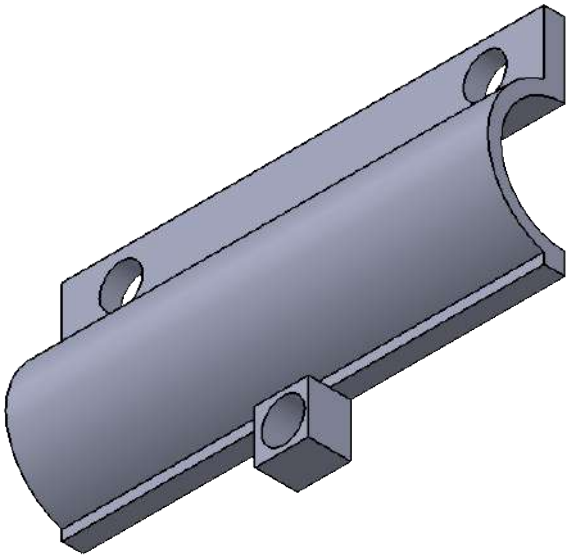




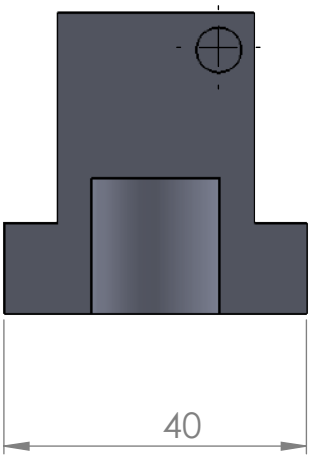
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	x axe support2	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

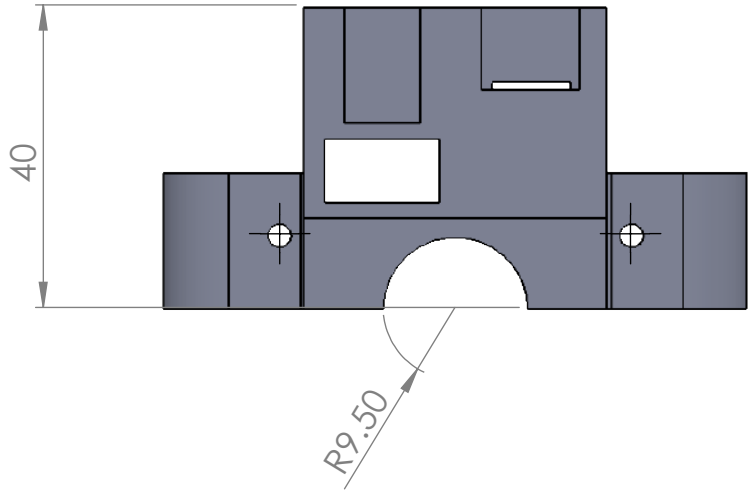


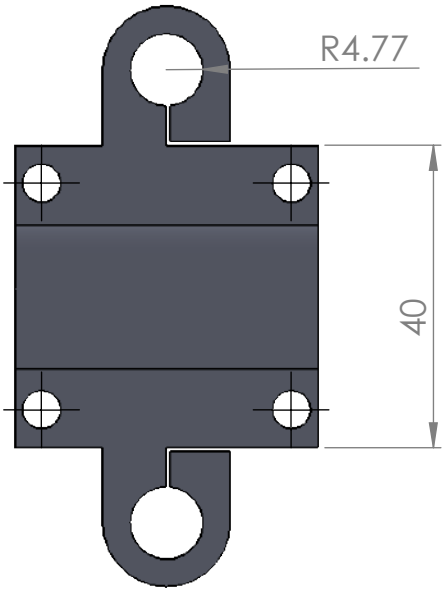


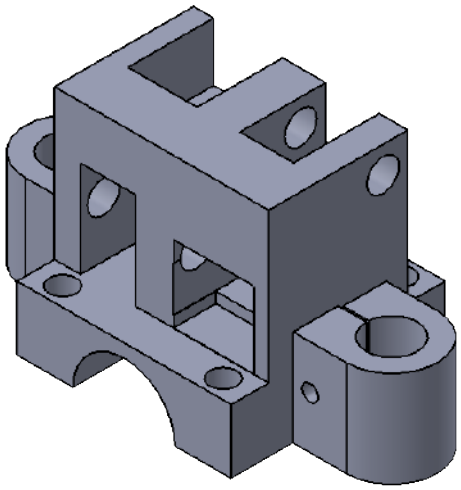


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	x axe support 3	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

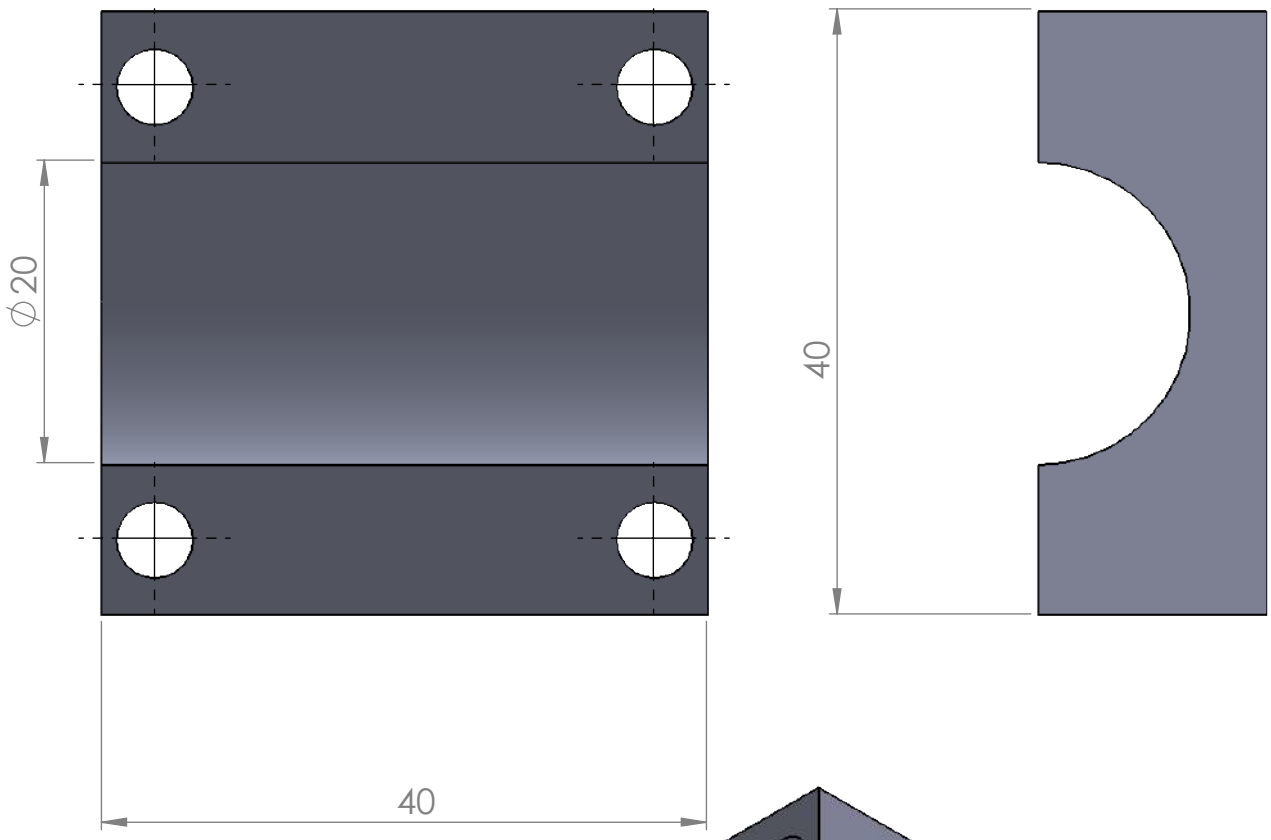


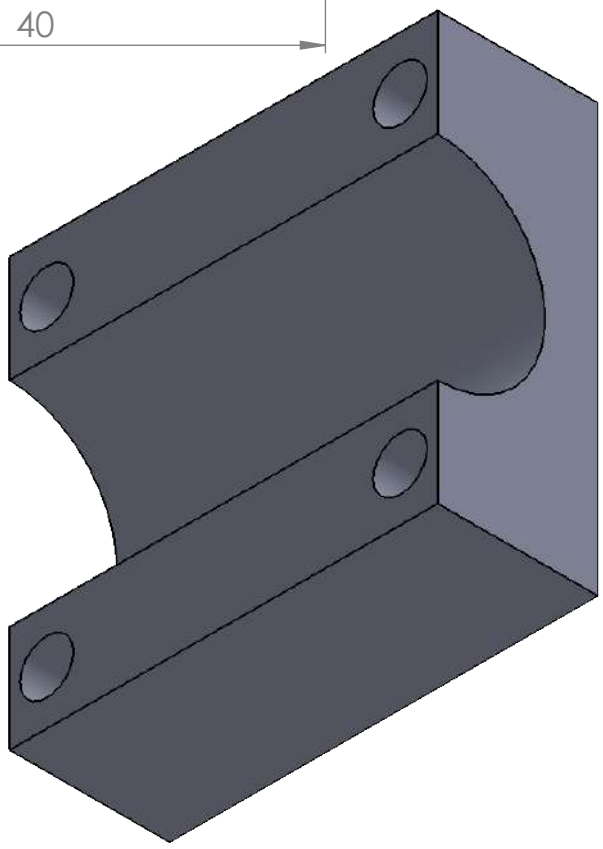






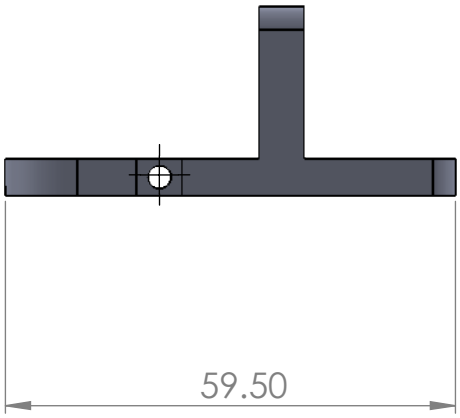
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	xy lien	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

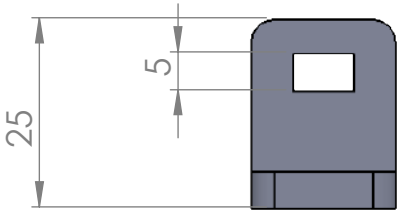




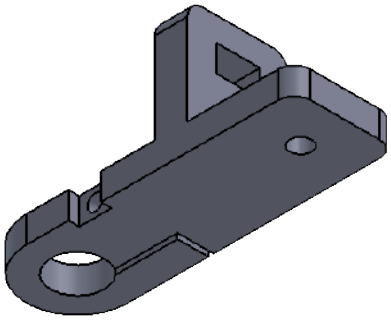
Université Docteur Yahia Farés de Médéa

DESSIN	xy lien2	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

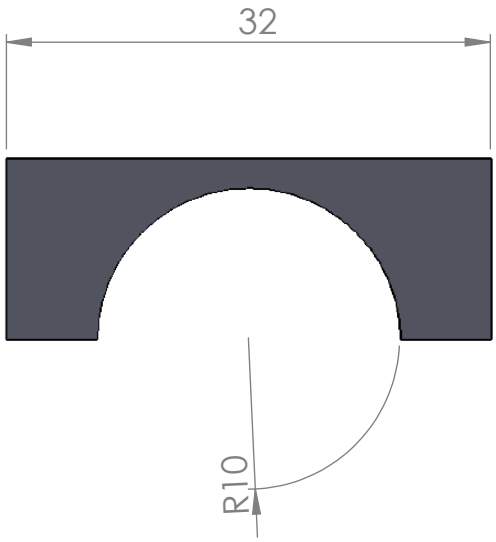


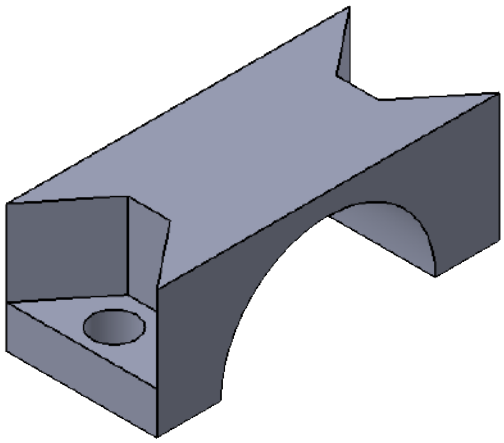


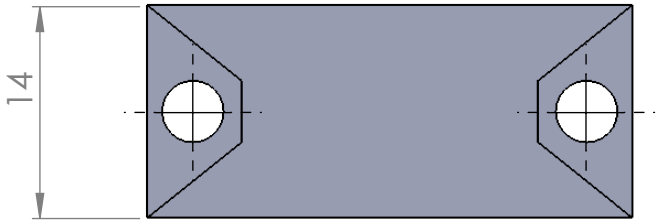




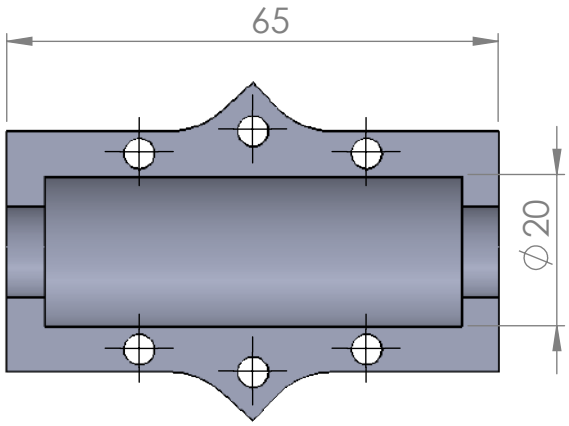
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	z axe serrer	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		

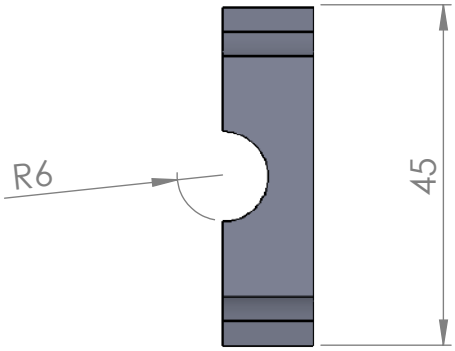


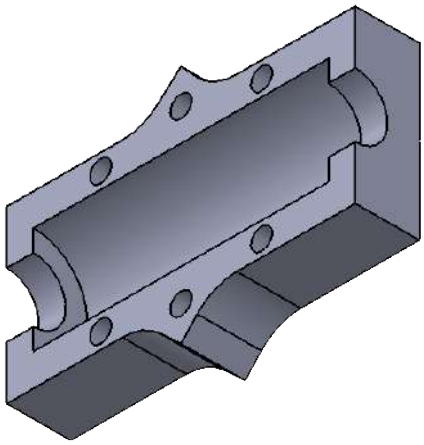




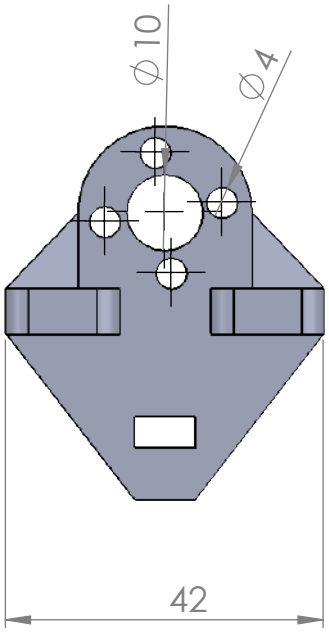
Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	z axe serrer2	Groupe 01
G M		Ech2:1
19/20		

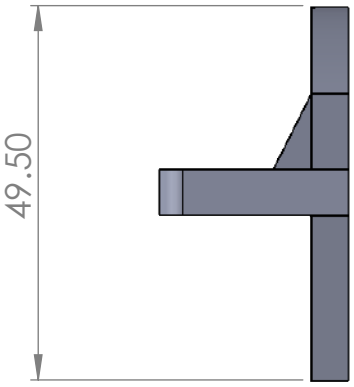


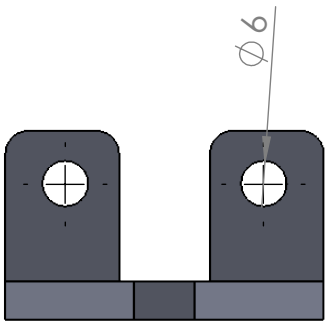


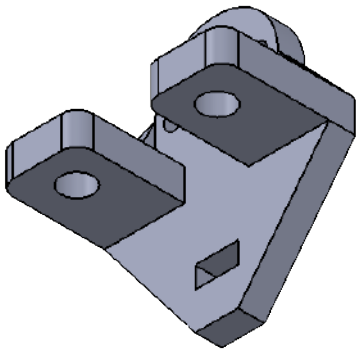


Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	z axe serrer2	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		









Université Docteur Yahia Farés de Médéa		
DESSIN	z montage d'écrou	Groupe 01
G M		Ech1:1
19/20		