

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de MASTER en génie
mécanique**

Option : construction mécanique

Thème

**Etude et conception d'une imprimante 3D
de composites à fibres longues**

Réalisé par :

M^{elle} : KHERBOUCHE Souhila

M^{elle} : MOUSSAOUI Chafia

Devant le jury composé de :

M^r. FERHOUM Rabah

Enseignant-Chercheur à l'UMMTO

Président

M^r. OULD OUALI Mohand

Enseignant-Chercheur à l'UMMTO

Encadreur

M^r. ZIANI Hocine

Enseignant-Chercheur à l'UMMTO

Examineur

Remerciement :

Tout d'abord nous remercions le bon dieu pour nous avoir accordé la santé, et la volonté pour faire cet humble travail.

Non adressons nos remerciement, les plus vifs, et nos respects aux personnes qui ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu nous remercions Mr Ould Ouali professeur à l'université d'UMMTO, pour avoir accepté de nous encadrer, afin de mener à bien cette étude, et pour les orientations et les conseils que nous a guidé dans notre travail et nous a aidés à trouver des solutions pour avancer.

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

Nous ne pourrons jamais remercier notre chère famille pour nous toujours encouragé et enseigné le goût du savoir et ambition.

Nous remercierons également toute la famille enseignante que nous ont formés toutes ces années ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Dédicace :

Je dédie mon travail :

A celle qui m'a inséré le goût de la vie et le sens de la responsabilité...ma mère Chibahe

Noura.

Celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage....mon

Cher père Djafar.

A mon chers frères : walid

A mes sœurs :

Sadjia et son mari SadjiaArafe et ses enfant silas, hocine

Fadhila et son mari Moulod et ses enfant mahmoud, ayain

Liza, Rzika

A mes meilleur amis : lamia, mon binomeSouhila

Et celui qui m'a encouragé Naim

et tous mes amis et tous ceux qui m'ont aidés

Chafia

Dédicace:

Je dédie ce travail :

A mes chers parents bien aimés.

A mes sœurs et mon frère.

A toute ma famille.

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis.

A toute la promotion 2020/2021.

A tous ceux qui me connaissent.

Souhila

Table de matière :

Introduction générale	1
Chapitre 1 : généralités	3
1.1 Introduction:	4
1.2 Définition:	4
1.3 Historique :	5
1.4 Domaines d'application: [4]	6
1.4.1 Le prototypage rapide :	6
1.4.2 Impression 3D en médecine:	8
1.4.2.1 Les implants dentaires:	9
1.4.2.2 La transplantation d'organes	9
1.4.3 L'automobile:	10
1.4.4 L'aéronautique, l'aérospatiale et la défense :	11
1.4.5 L'architecture et le Design :	11
1.4.6 L'éducation :	12
1.4.7 La nourriture 3D (ou le « food-printing »)	12
1.4.8 Accessoires	13
1.4.9 Domaine concernés	13
1.5 Les différents procédés de prototypage rapide 3D	14
1.5.1 La Stéréo-lithographie (SLA) :	14
1.5.2 Impression par Dépôt de Fil (FDM) :	14
1.5.3 Frittage laser sélectif (SLS) « selective laser sintering » :	14
1.5.4 Fusion laser sélective (SLM) « selective laser melting »:	15
1.5.5 Fabrication d'objets laminés (LOM) « laminated object manufacturing » ou « sheet lamination »:	15
1.5.6 Photopolymérisation (DLP) :	15
1.5.7 Projection de Liant « Binder Jetting » :	15
1.5.8 Triple injection (Polyjet) :	16
1.5.9 Fusion par faisceau d'électrons (EBM) :	16
1.5.10 Laminage par dépôt sélectif (SDL) :	16
1.6 La Fabrication Additive (FA ou Impression 3D)	16
1.6.1 Les avantages de la technologie	17
1.6.2 FDM « fused deposition modeling »:	17
1.7 Matériau	19

1.7.1	ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène):	19
1.7.2	Plastique :.....	20
1.7.3	Nylon.....	21
1.8	Matériau composite	22
1.8.1	Les fibres courtes :.....	23
1.8.2	Les fibres longues :.....	23
1.9	Technologie d'impression 3D composite FDM :.....	24
1.9.1	Fonctionnement de l'imprimante:.....	24
1.10	Machine-outil à commande numérique :	25
1.10.1	Partie commande :.....	25
1.10.2	Commandes G-code:.....	26
1.10.2.1	G-code quelle est sa fonction en impression 3D	26
1.10.2.2	Les composants d'un G-code:.....	27
1.10.3	Quelques G-codes utiles:	27
1.10.4	Quelques M-codes:.....	27
1.11	Conclusion :.....	28
Chapitre 2 : technologie, étude et conception.....		29
2.1	Introduction :	30
2.2	Cahier de charge:.....	30
2.3	Les Filament:	31
2.3.1	Filament PLA:.....	31
2.3.2	Fibre de carbone:.....	31
2.4	Les supports:	32
2.5	Choix de moteurs:	35
2.5.1	Moteurs linéaires:.....	35
2.5.2	Moteur à réluctance variable	35
2.5.3	Moteur Électrique synchrone.....	35
2.5.4	Moteur pas à pas	36
2.5.4.1	Comparaison des trois de moteurs pas à pas:.....	36
2.6	La table chauffante:.....	37
2.7	L'extrudeuse:.....	38
2.7.1	Composants de l'extrudeuse.....	39
2.8	La cinématique de l'imprimante 3d:.....	41
2.8.1	Axe X, Y, courroie, pignon :	42

2.8.2	Axe z (la tige) :	42
2.8.3	Contrôle de L'extrudeuse :	43
2.9	Systèmes de transmission:	44
2.10	Système de fixation:	45
2.11	Logiciel de conception SolidWorks 2014 :	45
2.12	Justification du choix des pièces:	46
2.13	L'assemblage	54
2.14	Justification du choix des matériaux	55
2.15	Arduino	57
2.15.1	Arduino Mega 2560 :	58
2.15.1.1	Spécifications techniques de la carte Arduino Mega 2560	58
2.15.1.2	Comment utiliser les cartes Arduino ?	59
2.16	Conclusion :	59
Chapitre 3 : Commande logiciel de l'imprimante 3D		60
3.1	Introduction :	61
3.2	Marlin firmware :	61
3.2.1	Caractéristiques principales	62
3.2.2	Configuration :	62
3.3	Logiciel de tranchement « Simplify3D »:	75
3.3.1	Pratique avec Simplify3D :	75
3.3.2	Fichiers de modèle 3D (STL) :	83
3.3.3	Manipulation de modèle 3D	83
3.3.4	Fichiers FFF: comment votre modèle sera imprimé	84
3.3.5	Fichiers toolpath : Instructions pour l'imprimante :	85
3.3.6	Impression de plusieurs pièces avec l'assistant double Extrusion :	85
3.3.7	Utilisation de la mise à niveau automatique du lit dans simplifier 3D :	87
3.3.8	Comment ajouter des Supports	88
3.3.8.1	Comment modifier l'endroit où le matériel de Support est placé	89
3.3.9	Génération de G-code :	90
3.3.9.1	Les 10 commandes G-Code les plus courantes pour l'impression 3D	91
3.4	Envoyer / modifier des commandes G-Code	95
3.5	Un processus simplifié	95
3.6	Application à une pièce avec support :	98
3.6.1	Choix de la géométrie (fichier Stl) :	98

3.6.2	Analyse de la pièce avec Simplify3D :	99
3.6.3	Code généré par Simplify3D :	100
3.7	Conclusion :	101
Conclusion générale.....		102
Dessin industriel		111

Liste des figures :

Figure 1 : exemple d'une imprimante 3d	4
Figure 2 : historique de l'imprimante 3D	5
Figure 3:exemple d'objet complexe produit par prototypage rapide.	8
Figure 4: Exemple de valve artificielle pour le cœur humain.	10
Figure 5 : exemple de pare-chocs et de tableau de bord imprimés en 3D	11
Figure 6 : Exemple de série de maquettes d'études architecturales.....	12
Figure 7: exemple d'un accessoire réalisé par une imprimante 3D.....	13
Figure 8: Représentation du FDM.....	18
Figure 9: composites	22
Figure 10: les fibres courtes	23
Figure 11: les fibres longues.....	23
Figure 12: principe général de fabrication additive par couche.....	25
Figure 13: fonction originale d'une commande numérique	26
Figure 14: surplombs et ponts illustrés avec l'exemple classique des lettres Y, H et T.	33
Figure 15: Y et H imprimés en FDM avec support.	33
Figure 16: Les ponts plus longs que 5mm peuvent être imprimés avec support d'impression 3D. Notez comment ils sont gonflés et déformés.	34
Figure 17: moteur pas à pas.	36
Figure 18: les composants de l'extrudeuse	39
Figure 19: schématisation de la buse.....	40
Figure 20:Axe X, Y, courroie, poulie	42
Figure 21: Axe z moteur, tige	43
Figure 22 : controle de l'extrudeuse	43
Figure 23: poulies et courroie.....	44
Figure 24: Tige filetée	44
Figure 25: vis de fixation	45
Figure 26: le cache et la base	46
Figure 27: La porte glissière verticale	47
Figure 28: porte glissière.....	47
Figure 29: Porte moteur	48
Figure 30: Coupleur	49
Figure 31: porte table	49
Figure 32: plaque dentée et porte courroie.....	50
Figure 33: glissière et arbre fileté	51
Figure 34: le lit chauffant, la couche isolante et la table	52
Figure 35: La bobine et Tige de bobine.....	53
Figure 36: support extrudeuse	53
Figure 37: l'assemblage final de l'imprimante 3D	54
Figure 38: Représentation de la Carte Arduino	58
Figure 39: Marlin firmware	61
Figure 40: Configuration MARLIN	63
Figure 41: La fenêtre de l'interface principale Simplify3d	76
Figure 42: exemple d'une statuette.....	77
Figure 43: outil de visualisation sur Simplify3D.....	77

Figure 44: délimitation de volume d'application sur Simplify3D	78
Figure 45: délimitation de la hauteur de construction	79
Figure 46: paramètre d'ajout de processus	80
Figure 47: paramétrage de l'impression 3D	81
Figure 48: paramètre d'impression de plusieurs pièces	82
Figure 49: Paramètre de double extrusion	86
Figure 50: réglage de l'option de coloration de prévisualiseur G-code	87
Figure 51: utilisation de la mise à niveau automatique	88
Figure 52: structure de soutien de model	89
Figure 53: Modèle d'application	98
Figure 54: génération de support	99
Figure 55: génération de support automatique du modèle	100
Figure 56: impression du modèle	100
Figure 57: enregistrement du fichier G-code	101

Liste des tableaux :

Tableau 1 représentant l’histoire de l’impression 3D [3]	6
Tableau 2: dimensions de cache et base.....	46
Tableau 3: Dimensions de porte glissière verticale	47
Tableau 4: dimensions de porte glissière.....	48
Tableau 5: Dimensions de porte moteur	48
Tableau 6: Dimensions du coupleur	49
Tableau 7: Dimensions de porte glissière verticale	50
Tableau 8: Dimensions de porte courroie et plaque dentée	50
Tableau 9: Dimensions des glissières et de l’arbre fileté	51
Tableau 10: Dimensions des tables	52
Tableau 11: Dimensions de la bobine et de la tige de la bobine	53
Tableau 12: Dimensions de l'extrudeuse.	53
Tableau 13: choix des matériaux	55
Tableau 14: significations des lettres dans G-code	91

Liste des abréviations :

3D : 3 Dimensions.

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styène.

ASTM : American Standards of TechnicalMaterial.

CAD : Computer Aided Design.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

CNC : Computer Numerical Control.

CNRS : Centre national de la recherche scientifique.

CSC : Computer Sciences Corporation.

DLP : Digital Light Processing.

DMLS : frittage laser direct de métal.

EBM : fusion par faisceau d'électron.

FA : Fabrication Additive.

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur.

FFF : Fused Filament Fabrication.

FDM : Fused Déposition Modeling.

LAM : Laser Additive Manufacturing.

LOM : Fabrication d'objets laminés.

MIT : Massachusetts Institute of Technology.

NASA : National Aeronautics and Space Administration.

PLA : Poly Lactique Acide.

PVA : alcool polyvinylique.

R-D : Recherche et Développement.

SLA : Stéréolithographie.

SDL : le Laminage par Dépôt Sélectif.

SLM : Fusion laser selective.

SLS : Selective Laser Sintering.

stl : format du fichier 3D.

UV : Ultraviolet.

Introduction générale

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

Le concept « additive manufacturing » ou l'impression 3D permet aujourd'hui la réalisation illimitée des objets dans certains domaines.

Cette technologie s'applique dans plusieurs domaines (commercial, social, médecine, spatial, aéronautique, industrie de défense,...). La création d'un fichier CAO et un fichier du FAO sont nécessaires pour produire un objet par impression 3D, obtenu soit par sa numérisation via un scanner 3D, soit par recours à un logiciel de modélisation, contenant les paramètres de fabrication, ces données étant à mettre en œuvre avec le ou les matériaux sélectionnés .

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

Le document est organisé en 3 parties:

Dans le premier chapitre nous citons des généralités sur l'historique de l'impression 3D et les définitions et quelques notions sur le prototypage rapide, domaine d'utilisation, matériaux utilisés,...etc.

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

Dans le dernier chapitre, nous présentons le logiciel « Simplify3D » utilisé pour transformer le fichier 3D au format STL en G-code et quelques G-codes utiles pour l'impression 3D.

Enfin nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 1 : généralités

1.1 Introduction:

Dans ce premier chapitre nous présentons le procédé de mise en forme des matériaux par ajout de matière appelé fabrication additive. Nous présentons successivement les techniques de fabrication additive, quelques matériaux utilisés ainsi que la commande de ces machines.

1.2 Définition:

L'organisme mondial pour Le développement et l'établissement de normes dans l'industrie manufacturière ASTM a défini l'impression 3D comme :

« Un procédé d'assemblage de matériaux pour fabriquer des objets à partir des données numériques d'un modèle tridimensionnel, généralement couche par couche, par opposition à des méthodes de fabrication soustractives » (ASTM, 2013). [1]

Une imprimante 3D est donc un dispositif de fabrication assistée par ordinateur (FAO) qui crée des objets en trois dimensions. Comme une imprimante traditionnelle, une imprimante 3D reçoit les données numériques d'un ordinateur comme contribution. Cependant, au lieu d'imprimer sur le papier, une imprimante 3D construit un modèle 3D à partir d'un matériau personnalisé. Le processus d'imprimante d'un modèle 3D varie en fonction du matériau utilisé pour créer l'objet. Par exemple, lors de la construction d'un modèle, une imprimante 3D peut chauffer et fondre les couches de plastique ensemble en utilisant un processus appelé modélisation par dépôt fondu (FDM). Lors de la création d'un objet métallique, une imprimante 3D peut utiliser un processus appelé frittage laser direct du métal(DMLS).



Figure 1 : exemple d'une imprimante 3d

1.3 Historique :

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

Première Génération —les imprimantes 3D arrivent En 1996, avec la Z®402, la première imprimante 3D du marché, définissant vitesse et faible coût dans le prototypage rapide. Les versions ultérieures telles que la Z402c et la Z406 introduisent l'impression multicolore 3D pour des modèles plus vifs et plus informatifs.

Deuxième Génération - performance améliorée, faible coût et couleur. En 2003, notre version ZPrinter® 310 a permis une percée fulgurante grâce à sa simplicité et d'un prix d'une accessibilité sans précédent. En 2005, le Spectrum Z™510 redéfinit l'impression 3D avec une nouvelle génération d'imprimantes haute résolution et des couleurs éclatantes.

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



Figure 2 : historique de l'imprimante 3D [2]

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

Tableau 1 représentant l'histoire de l'impression 3D [3]

1.4 Domaines d'application: [4]

1.4.1 Le prototypage rapide :

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

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

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

Temps : L'objectif du prototypage rapide est de construire des modèles rapidement, dans le but de réduire le temps de développement du produit.

Coût : Le prototypage rapide permet de réaliser des prototypes sans avoir besoin d'outils coûteux, tout en garantissant les performances du produit final.

Complexité des formes : les machines qui fonctionnent en ajoutant des matériaux peuvent produire des formes extrêmement complexes (inclusion, cavité...), irréalisables par des procédés tels que l'usinage par exemple.

Le prototypage rapide comprend une variété de procédés de technologies de fabrication, bien que la plupart utilisent la fabrication additive en couche. Cependant, d'autres technologies utilisées par le prototypage rapide comprennent l'usinage à grande vitesse, le moulage et l'extrusion.

Alors que la fabrication additive est le processus de prototypage rapide le plus courant, d'autres processus plus conventionnels peuvent également être utilisés pour créer des prototypes.

Ces processus comprennent:

Soustractif: par lequel un bloc de matériau est sculpté pour produire la forme souhaitée en utilisant le fraisage, le meulage ou le tournage.

Compressif: par lequel un matériau semi-solide ou liquide est forcé dans la forme souhaitée avant d'être solidifié, comme par coulée, frittage compressif ou moulage.



Figure 3: exemple d'objet complexe produit par prototypage rapide.

1.4.2 Impression 3D en médecine:

La technique de l'impression 3D consiste à superposer des couches de matériaux jusqu'à former une structure solide finie. Cette technique va a contrario de ce qui existait jusqu'à présent, à savoir modeler et façonner de la matière existante jusqu'à obtention du produit souhaité. Ce processus révolutionnaire, couplé à l'imagerie médicale, permet donc aux médecins de concevoir et de fabriquer des prothèses uniques et adaptées à chaque patient.

Outre le sur-mesure, l'impression 3D présente un autre avantage : son coût, nettement moins élevé que les techniques traditionnelles de fabrication. C'est l'une des raisons qui a poussé Nicolas Huchet à s'intéresser à l'impression 3D. Ce jeune breton, victime d'un accident de travail en 2002, perd l'usage de son bras et se retrouve alors contraint de porter des prothèses, soit trop limitées en termes d'usage, soit trop onéreuses. Cet autodidacte découvre alors les fab-labs, ces ateliers partagés de fabrication numérique, et décide de concevoir sa propre « main bionique » au moyen de la technologie 3D. Grâce à des plans de robots open-source, disponibles gratuitement sur internet, il réussit l'impensable : fabriquer une main. Depuis, son association « MyHuman Kit » poursuit son développement, en s'appuyant sur les fab-labs et sur l'intelligence collective pour développer de nouvelles solutions technologiques d'aide au handicap et accompagner les personnes qui souhaitent fabriquer leurs propres prothèses.

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

1.4.2.1 Les implants dentaires:

En combinant le scan 3D des voies orales avec la conception CAO, l'impression 3D a déjà envahi le premier niveau de complexité du corps humain.

Les laboratoires dentaires peuvent ainsi, rapidement et avec une grande précision, produire des plâtres dentaires, des appareils orthodontiques, des plateaux de réception et de positionnement, des gouttières et des appareils transparents, des couronnes, des bridges, etc. L'impression 3D est facile d'utilisation et peut utiliser des matériaux d'impression dentaires spécialisés. Elle permet d'améliorer les délais de production ainsi que la productivité des ateliers.

De plus, en travaillant avec des modèles numériques, les professionnels peuvent stocker l'ensemble des fichiers clients pour un coût quasiment nul.

Ils offrent à leurs clients un confort inégalé avec des pièces parfaitement adaptées à leurs besoins. La fabrication additive offre en outre un rapide retour sur investissement. Avec des gammes de matériaux tout à fait adaptées aux cliniques et laboratoires dentaires, l'impression 3D revient à un prix abordable pour une précision et une vitesse d'exécution inégalées.

1.4.2.2 La transplantation d'organes

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

Des chercheurs du laboratoire de fabrication additive de l'Université Simon Fraser reproduisent une forme d'art distinctive – le pliage subtil de l'origami – pour créer des technologies imprimables en 3D pour aider à lutter contre le COVID-19 et aider les médecins à identifier et diagnostiquer divers problèmes de santé.

Le travail en évidence, dirigé par WooSoo Kim, professeur agrégé de l'École d'ingénierie des systèmes mécatroniques de la SFU, est un ventilateur imprimé en 3D portable et peu coûteux, entraîné par un tube en origami breveté et intelligent imprimé en 3D. Un aperçu détaillé de la conception et du développement de l'innovation, récemment évalué par une équipe locale d'inhalothérapeutes, a été publié dans la revue *Électronique flexible et imprimée*.

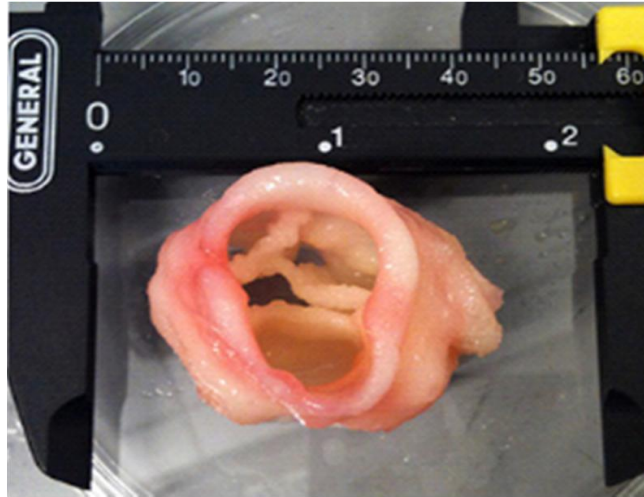


Figure 4: Exemple de valve artificielle pour le cœur humain.

Le ventilateur mécanique portable est conçu pour aider la respiration d'une personne en contractant de manière fiable un tube en origami imprimé en C) technologie d'origami imprimée en 3D pour aider à lutter contre le COVID-19 3D, plutôt que de comprimer un masque à assistée avec un gain de résistance mécanique. La conception imprimé valve à sac conventionnel (BVM), réduit la taille globale de la machine de respiration en 3D et les matériaux légers réduisent également les coûts de production.

1.4.3 L'automobile:

Parmi les secteurs qui utilisent les technologies de fabrication additive, l'industrie automobile est l'un de ceux qui en tirent le plus profit. Cette technologie permet aux constructeurs automobiles de réduire leurs coûts, le temps de fabrication et le poids des pièces devenues de plus en plus complexes notamment lors du prototypage. La fabrication additive permet également une plus grande personnalisation au niveau de la conception, transformant ainsi les modèles de voitures en des expériences d'utilisation inoubliables. Avec la croissance importante que connaît l'impression 3D dans l'industrie automobile, les revenus générés devraient atteindre les 12,4 milliards de dollars d'ici 2028. Pour mieux comprendre l'impact de cette technologie sur l'industrie, nous avons choisi quelques cas d'applications concrètes qui montrent comment l'impression 3D bouleverse le secteur automobile. Ici, il s'agira d'avantage de pièces imprimées en 3D que de voitures conçues par impression 3D.

Dans certains cas, l'utilisation de modèles de CAO seule n'est pas suffisante pour cerner les problèmes de conception. Les ingénieurs font alors appel à l'impression 3D pour identifier un problème de design qui n'aurait pas été identifié lors de la phase de conception initiale (figure 5).



Figure 5 : exemple de pare-chocs et de tableau de bord imprimés en 3D

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

L'impression 3D offre de belles promesses aux fabricants, notamment du côté de l'aéronautique. Mais des défis restent à surmonter afin de rattraper ceux qui ont quitté les blocs de départ plus rapidement.

L'entreprise québécoise FusiA spécialisée dans la production de pièces métalliques par fabrication additive avec la technologie de la fusion laser. La transformation de la poudre métallique en métal (fusion) se fait grâce à un laser plutôt qu'à l'aide d'un faisceau d'électrons, une méthode utilisée par certains concurrents.

Pour Cyrille Chanal, la fabrication additive, autre nom donné à l'impression 3D, devient rapidement incontournable dans le secteur manufacturier. «Elle nous permet de construire des pièces complexes beaucoup plus rapidement, parfois même dans la semaine, et aussi de rassembler plusieurs pièces en une seule, ce qu'on appelle intégration de fonctions, dit-il. Cela élimine le recours aux soudures, diminuant ainsi les coûts et le temps de fabrication.»

Autre avantage, crucial dans le transport et surtout en aérospatiale, les pièces sont de 30 à 70 % plus légères qu'en fabrication traditionnelle. «Normalement, pour fabriquer une pièce, on enlève de la matière sur un morceau de métal. Mais dans la fabrication additive, c'est l'inverse: on dépose la matière seulement là où elle est nécessaire », explique M. Chanal.

1.4.5 L'architecture et le Design :

Deux types d'imprimantes 3D sont principalement utilisés en architecture, chacune permettant des applications différentes :

Des imprimantes 3D pour créer des modèles 3D à petit prix. Elles seront utilisées pour réaliser des études et estimations pendant les premières phases du processus de création.

Des imprimantes 3D pour fabriquer des modèles réalistes et précis. Ces modèles 3D sont souvent utilisés pour promouvoir un projet en présentant une maquette architecturale visuellement attrayante.



Figure 6 : Exemple de série de maquettes d'études architecturales

1.4.6 L'éducation :

L'impression 3D, autrefois réservée aux secteurs industriels, connaît une forte démocratisation depuis quelques années maintenant. Aujourd'hui, grâce aux imprimantes 3D de bureau notamment, cette technologie devient accessible et indispensable pour l'éducation. Les imprimantes 3D s'intègrent dans l'éducation en permettant la découverte de technologies innovantes, le développement de la créativité des étudiants ainsi que la mise en place de projets éducatifs et techniques. « Makershop » vous propose des imprimantes 3D d'éducation adaptée répondant aux différents besoins et niveaux d'apprentissage.

1.4.7 La nourriture 3D (ou le « food-printing »)

Les imprimantes 3D pour aliments sont de plus en plus populaires dans les restaurants, les foires alimentaires, et même parfois à la maison. Notre guide sur l'impression 3D alimentaire couvre les bases (quels aliments peuvent être imprimés, comment cela fonctionne, ...) et propose une liste de quelques-unes des meilleures options disponibles aujourd'hui.

Les imprimantes 3D de nourriture ne sont plus un fantasme de science-fiction, mais existent bel et bien. L'impression 3D alimentaire devient de plus en plus populaire non seulement pour les professionnels, mais aussi pour les particuliers.

La plupart des imprimantes 3D alimentaires utilisent l'extrusion, tout comme les imprimantes 3D FFF (FDM). Cependant, au lieu de matériau plastique, les imprimantes 3D de nourriture usent d'ingrédients de type pâte. Les ingrédients les plus communs sont le chocolat, la pâte à

pancake ou encore la crème, quoique beaucoup d'autres possibilités existent. Les repas sont imprimés en 3D couche après couche, la plupart du temps via une seringue extrudeuse.

1.4.8 Accessoires

Retrouvez ici tous les accessoires nécessaires pour l'impression 3D : pinces, spatules, colles, rubans adhésifs ou encore laques adhésives. Ces outils trouvent vite leur utilité après quelques impressions 3D. Les accessoires font partie du kit essentiel pour imprimer en 3D, petits prix, grands résultats.



Figure 7: exemple d'un accessoire réalisé par une imprimante 3D [5]

1.4.9 Domaine concernés

Cette technologie est de plus en plus utilisée dans les domaines de l'industrie et d'architecture, car elle est nettement meilleure marché et plus rapide que les techniques de prototypage rapides traditionnelles.

Cette technologie s'applique également à d'autres secteurs tels que :

- Archéologie (reproduction ou analyse de pièces) ; dans le spatial pour la réalisation des pièces de rechange. ; Jeux vidéo; Cinéma d'animation; Police scientifique; Cadastre – Topologie
- Océanographie (réalisation de fond des océans); Restauration d'art (réalisation de pièces manquantes); Cadeau d'entreprise (personnalisation des cadeaux) ; Système d'information géographique

1.5 Les différents procédés de prototypage rapide 3D

La Stéréolithographie est l'un des premiers procédés de prototypage rapide par addition de matière. En se développant, la technique et les procédés ont évolué et se sont diversifiés.

Lorsqu'on réfère au prototypage rapide 3D on réfère donc à différents types d'impression 3D; le Frittage Sélectif par Laser (SLA), le Dépôt de Fil (FDM), le Laminage par Dépôt Sélectif (SDL),... [6]

1.5.1 La Stéréo-lithographie (SLA) :

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

SLA est l'endroit où la plaque de construction est immergée dans un matériau photopolymère (c'est-à-dire un liquide qui peut être durci en un solide au moyen de la lumière UV). Semblable à d'autres procédés de fabrication additive, il imprime des pièces couche par couche de bas en haut. Le faisceau laser UV ou la lumière trace les sections transversales de chaque couche tout en durcissant le liquide en un solide. Ce processus est comme s'il s'agissait d'un pointeur laser contrôlé par ordinateur qui trace chaque section transversale unique d'une manière très précise. [6]

1.5.2 Impression par Dépôt de Fil (FDM) :

Le processus de la FDM (la modélisation par dépôt fondu) est comme un pistolet à colle contrôlé par ordinateur qui dépose du plastique sur une construction plate-forme (plateau) de manière très précise en respectant le principe de couche par couche.

Cette technologie utilise des bobines thermoplastiques de qualité technique qui sont introduites à travers le système et dans la tête d'impression très chaude où il se trouve fondu et déposé sur le plateau de construction. [6]

1.5.3 Frittage laser sélectif (SLS) « selective laser sintering » :

Cette technologie utilise un processus similaire à celui de SLA, mais au lieu de photopolymère liquide, il utilise un matériau en poudre, généralement du métal ou du plastique. Un faisceau laser CO₂ de haute puissance trace chaque section transversale en « frittage » du matériau en poudre ensemble. Cela signifie que le matériau en poudre est chauffé juste assez pour se lier mais ne pas fondre les uns aux autres car la fusion entraînerait la déformation de la pièce. La plate-forme tombe légèrement tandis qu'un rouleau étale une

autre couche de matériau non fritté sur la couche précédente. Chaque section transversale nouvellement fritté se lie à la couche précédente. [6]

1.5.4 Fusion laser sélective (SLM) « selective laser melting » :

Souvent connu sous le nom de fusion sur lit de poudre, ce procédé est privilégié pour la fabrication de pièces complexes à haute résistance. La fusion laser sélective est fréquemment utilisée par les industries de l'aérospatiale, de l'automobile, de la défense et de la médecine. Ce processus de fusion à base de lit de poudre utilise une fine poudre métallique qui est fondue couche par couche pour construire des prototypes ou des pièces de production à l'aide d'un laser ou d'un faisceau d'électrons à haute puissance. Les matériaux SLM courants utilisés dans le PR comprennent les alliages de titane, d'aluminium, d'acier inoxydable et de cobalt-chrome. [6]

1.5.5 Fabrication d'objets laminés (LOM) « laminated object manufacturing » ou « sheet lamination » :

Ce procédé peu coûteux est moins sophistiqué que le SLM ou le SLS. Mais il ne nécessite pas de conditions spécialement contrôlées. LOM construit une série de stratifiés minces qui ont été découpées avec précision avec des faisceaux laser ou un autre dispositif de découpe pour créer la conception du modèle CAO. Chaque couche est livrée et collée sur la précédente jusqu'à ce que la pièce soit complète. [6]

1.5.6 Photopolymérisation (DLP) :

Similaire au SLA, cette technique utilise également la polymérisation de résines qui sont durcies à l'aide d'une source lumineuse plus conventionnelle qu'avec le SLA, le DLP nécessite souvent l'utilisation de structures de support et un durcissement post-construction.

Une version alternative est la production continue d'interface liquide (CLIP, « continuous liquid interface production »), dans laquelle la pièce est extraite en continu d'une cuve, sans utiliser de couche.

Lorsque la pièce est retirée de la cuve, elle traverse une barrière lumineuse qui modifie sa configuration pour créer le motif en coupe souhaité sur le plastique. [6]

1.5.7 Projection de Liant « Binder Jetting » :

Cette technique permet d'imprimer une ou plusieurs pièces en même temps, bien que les pièces produites ne soient pas aussi résistantes que celles créées à l'aide de SLS. Le collage

du liant utilisé un lit de poudre sur lequel des buses pulvérisent des gouttelettes micro-fines d'un liquide pour lier les particules de poudre ensemble pour former une couche de la pièce.

Chaque couche peut ensuite être compactée par un rouleau avant que la couche suivante de poudre ne soit déposée et le processus recommence.

Une fois terminée, la pièce peut être durcie dans un four pour brûler le liant et fondre la poudre en une pièce cohérente. [6]

1.5.8 Triple injection (Polyjet) :

Polyjet est une puissante technologie d'impression 3D qui produit des pièces, des prototypes et des outillages lisses et précis. Avec une résolution de couche microscopique et une précision jusqu'à 0.014 mm, il peut produire des parois minces et des géométries complexes en utilisant la plus large gamme de matériaux disponibles avec n'importe quelle technologie. [6]

1.5.9 Fusion par faisceau d'électrons (EBM) :

Cette technologie est similaire au SLS, la principale différence entre ces deux est la source d'énergie et le matériau d'impression 3D utilisé pour créer une pièce ou un prototype fonctionnel. Un faisceau d'électron a le devoir d'être une source d'énergie dans l'impression 3D EBM, alors que dans l'impression 3D SLS, le devoir d'une source d'énergie est pris en charge par le laser CO2. [6]

1.5.10 Laminage par dépôt sélectif (SDL) :

Le SDL est un procédé d'impression 3D utilisant du papier. Ce processus est similaire à la méthode de prototypage rapide de fabrication d'objets stratifiés (LOM). Le processus implique des couches de papier enduit d'adhésif (ou de stratifiés en plastique ou en métal) qui sont successivement collées avec un rouleau chauffant et découpées en forme avec un découpeur laser couche par couche. Un rouleau avec le matériau déplace chaque nouvelle feuille de matériau sur la dernière et répète le processus jusqu'à ce que l'objet soit terminé. [6]

1.6 La Fabrication Additive (FA ou Impression 3D)

La fabrication additive est un procédé utilisé pour créer un objet physique (ou 3D) en superposant des matériaux un par un sur la base d'un modèle numérique. Contrairement à la fabrication soustractive qui crée son produit final en découpant un bloc de matériau, la fabrication additive ajoute des pièces pour former son produit final.

Notre type d'impression 3D est basé sur la technique FDM (dépôt de matière fondu ou « Fused Déposition Modeling »).

1.6.1 Les avantages de la technologie

- Production des pièces solides et à haute résolution, idéal pour tester de nouvelles conceptions, ajustements et fonctions.
- Les imprimantes FDM de haut de gamme ont un matériau de support soluble.
- Grande variété de thermoplastique.
- Aide très utile pour créer des montages CNC.
- Raccourcissement des délais de la conception à la production.
- Pas de perte de matière, contrairement à l'usinage.
- Gain de masse important.
- Principalement utilisés pour des prototypes et des petites séries.

1.6.2 FDM « fused deposition modeling »:

FDM ou FFF (fabrication par filament fondu ou « fused filament fabrication ») est la technologie d'impression la plus utilisée, elle consiste à faire fondre une résine à travers une buse chauffée.

La technologie FDM utilise des bobines de filament thermoplastique de qualité technique qui sont introduites dans le système et dans la tête d'impression très chaude ou elles sont fondues et déposées sur le plateau de fabrication. Le processus est assez simple et basique.

Avantages : facile à utiliser, pas de perte de matière.

Inconvénients : Finition rugueuse de la surface

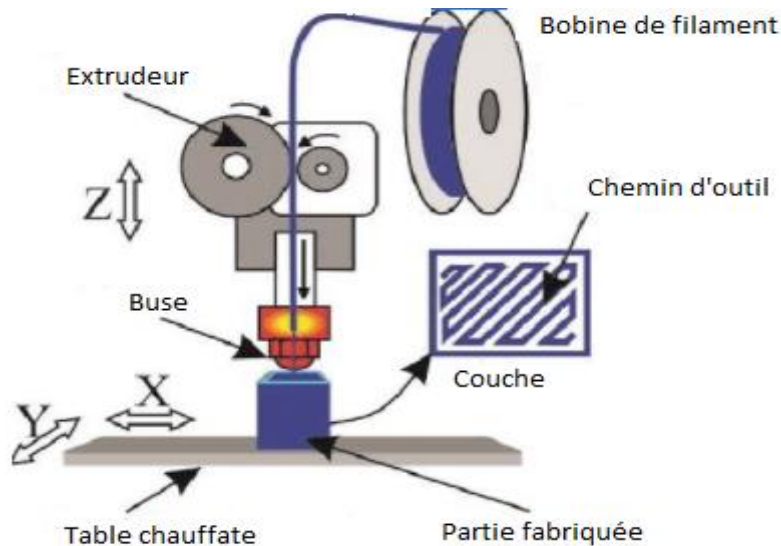


Figure 8: Représentation du FDM [7]

Avant l'impression: un modèle 3D créé sur le logiciel de CAO est envoyé au logiciel de l'imprimante 3D. C'est là que la partie est orientée et découpée en minuscules couches très fines. Le logiciel de l'imprimante calcule ensuite le chemin de la tête d'impression pour chaque section fine/couche de pièce interne. Ce sera le chemin ou la tête d'impression déposera le matériau. Lorsque la tête d'impression a terminé de tracer la section transversale de la première couche, le lit d'impression se déplacera un peu vers le bas.

Cela donnera la tête d'impression suffisamment d'espace pour commencer à poser la couche ou la section suivante. Le processus se répète jusqu'à ce que la pièce soit terminée. [8]

Démarrage d'impression: l'imprimante 3D alimente la bobine de plastique à travers le système jusqu'à la tête d'impression. La tête est chauffée pour transformer le plastique en un état semi-liquide. Le plastique est pressé à travers la pointe de la tête tandis que la tête trace la section transversale simultanément. Cela laisse un très fin cordon de matière plastique qui, après avoir tracé et rempli toute la section transversale, créera la première couche de la pièce. Pour les contre-dépouilles ou surplombs, le matériel de support est imprimé en place qui agit comme un échafaudage. [8]

Une fois l'impression terminée ou le post-traitement: l'utilisateur retire la pièce du plateau de fabrication ou de la feuille de fabrication et détache le matériau de support dans la mesure du possible. La pièce est ensuite trempée dans un détergent qui dissout le reste du matériau de support. [8]

Remarque: la plupart des imprimantes de bureau n'ont pas de support soluble. Ils utilisent le même matériau que la pièce qui crée une forte liaison entre la pièce et le matériau de support. Lorsque vous retirez le matériau de support d'une pièce comme celle-ci, il laisse une finition de surface très rugueuse.

Plus de post de traitement: vous pouvez faire beaucoup plus avec la pièce à ce stade en fonction de son application. Les pièces FDM sont très poreuses et absorbent/laissent fuir d'eau comme une éponge. Si vous avez besoin qu'il soit étanche à l'eau, vous devez enduire ou tremper la pièce dans un produit chimique tel que l'époxy pour lui donner un joint étanche à l'eau. Les pièces FDM peuvent également être peintes. Les pièces rugueuses peuvent être poncées ou lissées dans une chambre à vapeur d'acétone (dangereux et vous perdez la tolérance de la pièce car cela fait fondre légèrement la pièce). Les pièces imprimées peuvent également être percées et taraudées vous pouvez également mettre des inserts filetés en métal dans les pièces imprimées pour une tenue plus ferme et plus fiable. [8]

1.7 Matériau

Les matériaux utilisés pour le prototypage rapide par dépôt de fil (FDM) sont nombreux. Cependant, les imprimantes à bas prix utilisent surtout des thermoplastiques : les plus communs sont l'ABS et le PLA.

1.7.1 ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène):

L'ABS a une longue histoire dans le monde de l'impression 3D. Ce matériau a été l'un des premiers plastiques à être utilisés avec les imprimantes 3D industrielles. De nombreuses années plus tard, l'ABS est toujours un matériau très apprécié grâce à son faible coût et ses bonnes propriétés mécaniques. L'ABS est connu pour sa ténacité et sa résistance aux chocs, vous permettant d'imprimer des pièces durables qui résistent à une utilisation et à une usure supplémentaires. Les blocs de construction (LEGO) sont fabriqués à partir de ce matériau pour la même raison. L'ABS a également une température de transition vitreuse plus élevée, ce qui signifie que le matériau peut résister à des températures beaucoup plus élevées avant de commencer à se déformer. Cela fait de l'ABS un excellent choix pour les applications extérieures ou à haute température. Lorsque nous imprimons avec l'ABS, veillons utiliser un espace ouvert avec une bonne ventilation, car le matériau a tendance à avoir une légère odeur. L'ABS a également tendance à se contracter un peu en refroidissant, contrôlant ainsi la température de votre volume de construction et de la pièce à l'intérieur peut avoir des avantages majeurs. [9]

1.7.2 Plastique :

Le plastique PLA ou acide polylactique est une matière plastique à base végétale, qui utilise couramment la fécule de maïs comme matière première. Ce matériau est un polyester aliphatique thermoplastique et c'est la principale matière première naturelle utilisée dans l'impression 3D. Le PLA est un polymère thermoplastique entièrement biodégradable composé de matière première renouvelable. Parmi tous les matériaux d'impression 3D, le PLA fait partie des matériaux les plus utilisés pour la fabrication additive.

Le PLA est utilisé dans l'impression 3D à l'aide de la technologie FDM et avec l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène), ce matériau est l'un des matériaux standards de cette technologie. Il y a souvent une tendance à comparer ces matières plastiques, car ce sont les deux alternatives les plus courantes disponibles pour les imprimeurs grand public. La matière plastique est facile à utiliser.

C'est le matériau le plus facile à imprimer car il a besoin d'une température plus basse (température d'extrusion 180 à 220°C), mais son coefficient de friction est plus élevé que celui de l'ABS et il nécessite une pression plus élevée. Propriétés mécaniques : En ce qui concerne les propriétés mécaniques du PLA, c'est un matériau ayant un module de Young supérieur à l'ABS, moins élastique, avec une résistance supérieure à la déformation et plus résistante à la traction et à la flexion.

L'intérêt de ce matériau PLA aux caractéristiques générales intéressantes est sa simplicité d'utilisation, L'allongement est très faible et, par conséquent, la déformation avant de se casser est presque inexistante, il présente une rupture fragile.

Le PVA (alcool polyvinylique) :

Est un plastique principalement utilisé comme matériau de support lors des impressions d'objets en PLA et/ou ABS. Sa température d'impression varie entre 190 et 210 °C. Il est biodégradable et se dissout facilement avec de l'eau, ce qui permet un nettoyage rapide de ces structures additionnelles (Berthon, 2014).

Le polyamide :

Est un autre plastique fortement utilisé dans l'impression 3D. Il se trouve principalement sous forme de fine poudre, blanche et granuleuse, pour être utilisé avec les technologies de frittage laser (SLS). Cependant, certaines familles de ce matériau, comme le nylon, peuvent se présenter sous la forme de filaments et être utilisées avec le procédé FDM (Sanchez, 2013). Il possède de nombreuses qualités telles qu'une bonne stabilité, rigidité, flexibilité et une

excellente résistance aux chocs. La couleur finale est de nature blanche, mate, et opaque, avec une surface légèrement poreuse (Berchon, 2014).

- La poudre de polyamide peut être mélangée avec de l'aluminium pour donner naissance à l'alumine. La combinaison de ces deux composants offre l'avantage de réaliser des pièces à la fois très solides et flexibles, tout en conservant une bonne résistance à la chaleur (Sanchez, 2013). L'impression L'alumine s'effectue avec les technologies de frittage laser (SLS), et produit des objets avec un aspect proche du métal. Néanmoins, sa surface légèrement poreuse et sableuse nécessite souvent un travail de finition, qui peut être de nature diverse (Berthon, 2014).

- Une autre grande famille des plastiques utilisée dans l'impression 3D concerne les résines. Ces résines sont des polymères liquides qui constituent le matériau de base de plusieurs techniques d'impression 3D, comme la Stéréolithographie et la PolyJet. Elles permettent d'obtenir des objets avec une très bonne finition externe, de couleur variée, ou même transparente. Dans tous les cas, il est possible de réaliser un processus de coloration ainsi que n'importe quel autre traitement post-impression.

Le choix entre ces différents plastiques va dépendre du procédé d'impression et des propriétés recherchées. Il s'agit d'une liste non exhaustive, le domaine des matériaux plastiques est en constante évolution et voit apparaître régulièrement de nouveaux plastiques.

[10]

1.7.3 Nylon

Le nylon est conçu pour vous offrir une expérience de niveau supérieur avec l'impression 3D. En tant que matériau d'impression, il est tout aussi polyvalent que les filaments plus courants comme le PLA ou l'ABS, mais il présente les avantages supplémentaires de la flexibilité, de la résistance à la traction et d'une résolution de couche extraordinairement élevée.

Son faible coefficient de friction et sa température de fusion élevée (et son point de fusion) le rendent idéal pour les pièces qui doivent se déplacer les unes contre les autres sans casser comme des engrenages; d'autres types de filaments sont très cassants pour le type d'usure que le fonctionnement interne présente souvent.

Le nylon est également appelé polyamide, ce qui signifie qu'il s'agit d'un polymère synthétique fabriqué en liant un groupe amine d'une molécule à la molécule carboxylique d'une autre. Cela fait du plastique nylon avec des molécules très longues et lourdes

construites à partir de sections d'atomes courts mais répétitifs à l'infini. Pensez à des chaînes composées de nombreux maillons individuels pour vous faire une idée.

La structure du nylon est ce qui donne sa force à tout filament 3D fabriqué à partir de celui-ci, et elle donne également au matériau du filament de nylon l'extensibilité qui le rend si facile à filer en un filament en premier lieu. [11]

1.8 Matériau composite

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

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

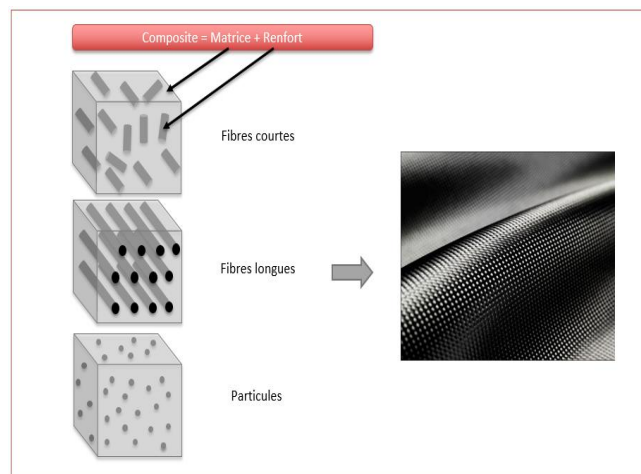


Figure 9: composites [12]

- Les fibres en impression 3D se présentent sous deux formats: fibres courtes et fibres continues (longues).
- Les composites sont extrêmement utiles pour la fabrication des pièces légères mais solides.
- Les fibres ajoutent en effet de la résistance à une pièce sans impacter son poids. Comme mentionné, il existe deux types de renforts: à fibre courte ou à fibres longues.

1.8.1 Les fibres courtes :

Dans les applications de fibres courtes, les fibres mesurent moins d'un millimètre de long et sont mélangées dans un thermoplastique. Les matériaux sont généralement imprimés à l'aide de la technologie traditionnelle de modélisation par dépôt de fusion FDM. Les fibres augmentent la rigidité du matériau, mais n'auront qu'un impact limité sur la résistance. De plus, selon la quantité de fibres, l'état de surface de la pièce imprimée peut être impacté.



Figure 10: les fibres courtes [13]

1.8.2 Les fibres longues :

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

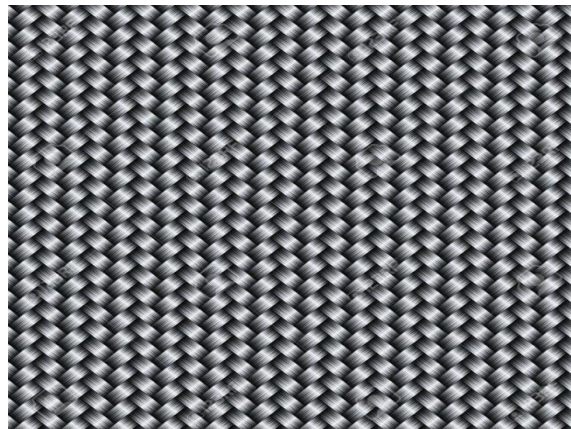


Figure 11: les fibres longues [14]

1.9 Technologie d'impression 3D composite FDM :

1.9.1 Fonctionnement de l'imprimante:

La technologie de fabrication additive se présente sous de nombreuses formes et tailles, mais quel que soit le type d'imprimante 3D ou de matériau utilisé, le processus d'impression 3D suit les mêmes étapes de base.

Cela commence par la création d'un plan 3D à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur CAO.

Une fois le plan 3D créé, l'imprimante doit être préparée. Cela comprend le remplissage des matières premières (le plastique ou les composites dans notre cas) et la préparation de plateau de construction (le nettoyer ou appliquer un adhésif pour empêcher le mouvement et le gauchissement de la chaleur pendant l'impression).

Une fois appuyer sur imprimer, la machine prend le relais, construisant automatiquement l'objet souhaité. Bien que les processus d'impression varient en fonction du type de technologie d'impression 3D, l'extrusion de matériaux (qui comprend un certain nombre de types de processus différents tels que la modélisation par dépôt de fusion dans notre cas) est le processus le plus couramment utilisé dans les imprimantes 3D de bureau.

L'extrusion de matériau fonctionne comme un pistolet à colle. Le matériau d'impression (le filament en plastique) est chauffé jusqu'à ce qu'il se liquéfie et soit extrudé à travers la buse d'impression. En utilisant les informations du fichier numérique (la conception est divisée en fines sections transversales bidimensionnelles afin que l'imprimante sache exactement où placer le matériau) la buse dépose le polymère en couche minces, souvent 0.1 mm d'épaisseur. Le polymère se solidifie rapidement, se liant à la couche inférieure avant que le plateau de fabrication ne s'abaisse et que la tête d'impression n'ajoute une autre couche. En fonction de la taille et de la complexité de l'objet, l'ensemble du processus peut prendre de quelques minutes à plusieurs jours. Une fois l'impression terminée, chaque objet nécessite un peu de post-preuve. Cela peut aller du décollement de l'objet du plateau de construction à la suppression des structures de support (matériau temporaire imprimé pour supporter les surplombs sur l'objet) pour éliminer l'excès poudres.

Le principe général de la fabrication additive est présenté sur la Figure 12.

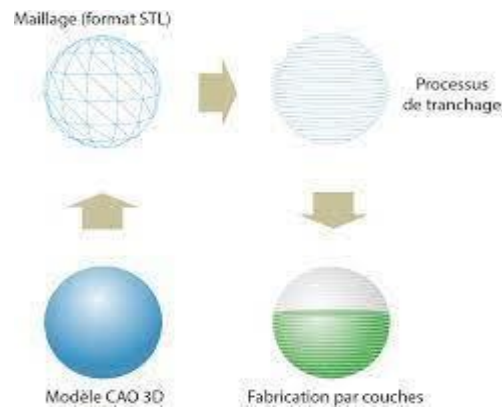


Figure 12: principe général de fabrication additive par couche. [15]

1.10 Machine-outil à commande numérique :

La commande d'une machine-outil au moyen d'informations enregistrées sur des bandes ou des cartes perforées est appelée commande numérique, car les informations fournies au système de commandes consistent en une série de nombres en binaires.

Ainsi la commande numérique est une méthode et un système de contrôle d'une machine ou d'un processus par des instructions sous forme de nombres. Les fonctions de commande de la machine effectuées par l'opérateur dans les machines conventionnelles sont traduites en instructions numériques qui peuvent être comprises par l'unité de commande de la machine.

1.10.1 Partie commande :

Différente d'une machine conventionnelle et constituée d'une armoire dans laquelle on trouve :

- Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier,
- Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine),
- La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes,
- L'écran de visualisation de toutes les données enregistrées,
- Le calculateur,
- Les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire ...).
- La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine.

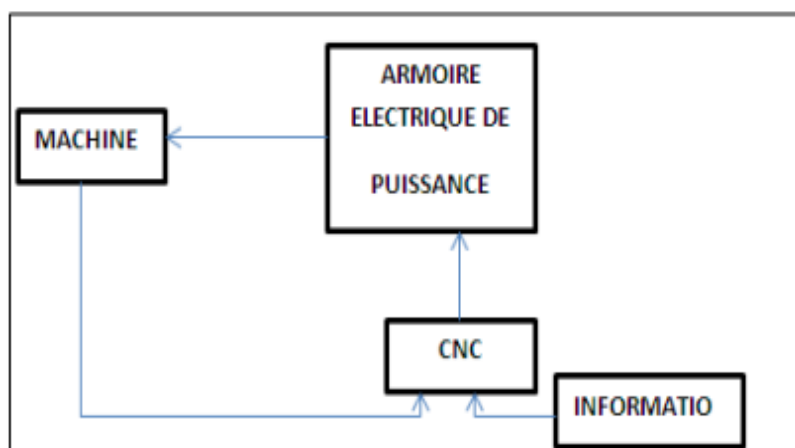


Figure 13: fonction originale d'une commande numérique [16]

1.10.2 Commandes G-code:

G-code est le langage opérationnel pour les machines CNC. Il contrôle numériquement les machines CNC, comment déplacer des outils afin d'effectuer diverses opérations. C'est l'équivalent d'une programmation manuelle où chaque opération est expliquée ligne par ligne et est séparée du M-code et du T-code, codes qui contrôlent la machine et l'outillage (l'extrudeuse pour l'imprimante 3d).

1.10.2.1 G-code quelle est sa fonction en impression 3D

La fabrication additive, c'est bien plus qu'allumer la machine et appuyer sur un bouton. Ce processus comporte de nombreuses étapes, de la conception d'une pièce à son post-traitement final, en passant par un programme de tranchage. Ainsi, avant de lancer l'impression 3D, le modèle en question doit passer par un logiciel de découpe, également appelé slicer. Dans ces logiciels, le fichier de commande pour l'imprimante 3D. Ce fichier est constitué du (G-code) un langage de programmation qui permet à la machine de comprendre la pièce finale.

Le code G est composé de commandes G et M, et chaque commande a une action ou une action désignée. La combinaison de ces commandes avec ces commandes permettra à l'imprimante 3D de savoir quel modèle suivre pour créer la pièce finale. Il s'agit du logiciel de découpe lors de la conversion de modèles en fichiers STL. Dans ce cas, nous nous concentrerons uniquement sur les imprimantes 3D FDM, nous ferons donc référence à des termes tels que : extrudeuse, plateau d'impression ou filament thermoplastique. Parmi les différents types de commandes que les imprimantes 3D interpréteront, nous avons constaté que les commandes de mouvement, de compression, de chauffage et de perception peuvent comprendre l'importance de ce langage.

1.10.2 Les composants d'un G-code:

Il faut comprendre la différence entre un G-code et un M-code. Ces deux commandes sont incluses dans le fichier et indiquent à l'imprimante comment et ou extruder le matériau. La seule différence est que les imprimantes utilisant des codes G comprennent généralement les codes G, tandis que les codes M sont des codes spécifiques à chaque ligne d'imprimante. Par conséquent, la langue se compose de plusieurs paramètres. Les éléments de base de la lecture de ces codes sont les différentes valeurs alphanumériques.

1.10.3 Quelques G-codes utiles:

G0: déplacement rapide

G1: déplacement linéaire

G2: arc dans le sens des aiguilles d'une montre

G3: arc dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

G4: attente

G10: créer un décalage du système de coordonnées à partir de l'absolu

G17: sélectionner le plan XY (par défaut)

G18: sélectionner le plan XZ (non implémenté)

G19: sélectionner le plan YX (non implémenté)

G20: définir les unités en pouces

G21: définir les unités en millimètres

G28: déplacement aux origines

G30: auto-level (Déplace l'axe Z pour calculer la planéité du plateau)

G90: Position Absolue (la position absolue est l'unité par défaut sur les RepRap)

G91: Position Relative (Toutes les coordonnées à partir de maintenant sont liés à la dernière position)

G92: Définir la Position

1.10.4 Quelques M-codes:

M0: Arrêt optionnel (Permet de mettre en pause l'impression à un moment prédéfini)

M18: Arrêt de tous les moteurs

M80: ATX Power On

M81: ATX Power Off

M82: Définir le mode Absolu pour l'extrudeuse

M83: Définir le mode relatif pour l'extrudeuse

M92: Définir les pas/mm

M104: Définir la température de l'extrudeuse

M105: Retourner la température de l'extrudeuse et du plateau chauffant

M106: Allumer les ventilateurs

M107: Éteindre les ventilateurs

M108: Définir la vitesse d'extrusion

M109: Définir la température de l'extrudeuse et attendre

M112: Arrêt d'urgence

M117: Afficher un Message

M140: Définir la température du plateau chauffant (Rapide)

M200: définir le diamètre de filament

Exemple:

G1 X5 Y-5 Z6 F3300.0 (passer à la position <5, -5, 6> à la vitesse 3300.0)

G21 (régler les unités en mm)

G90 (définir le positionnement sur absolu)

G92 X0 Y0 Z0 (définir la position actuelle sur <0, 0, 0>) [17]

1.11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les technologies d'impression 3D, quelques matériaux utilisés, les domaines d'application et la technologie d'impression 3D FDM.

Dans le chapitre suivant, nous passerons à la conception de notre imprimante 3D et les technologies (table chauffante et extrudeuse) que nous allons utiliser pour notre imprimante 3D.

Chapitre 2 : technologie, étude et conception

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous aborderons des aspects qui interviendront dans le choix des nombreuses solutions possible lors de la conception d'une imprimante 3D.

On s'intéressera d'abord aux filaments à utiliser dans notre imprimante 3D FDM, puis on discutera les différentes technologies (extrudeuse et étage de chauffage), on traitera aussi un point important que sont les supports à prévoir lors de l'impression 3D. Les aspects « contrôle électronique » (Arduino...) et les moteurs seront aussi abordés car leurs emplacement devront être prise en charge lors de la conception, mais aussi parce qu'il est nécessaire de faire un choix tôt dans la conception.

En effet, l'impression 3D permet de réaliser un objet réel : un concepteur dessine l'objet 3D grâce à un outil de conception assistée par ordinateur (CAO)... le découpage est envoyé à l'imprimante 3D suivant un système électronique qui passe à la réalisation par dépose ou solidification de la matière couche par couche jusqu'à obtenir la pièce finale.

2.2 Cahier de charge:

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

Afin de réaliser cette étude, nous nous sommes fixé un objectif selon le cahier des charges (ou plutôt spécifications techniques) donné ci-dessous. Il y a aussi lieu de signaler que ces caractéristiques techniques concernent principalement les dimensions de la zone d'impression qui être assez importante en comparaison à l'imprimante disponible au laboratoire LEC2M.

Zone d'impression : le plan de travail est dans le plan (X, Y).

Selon X: 360 mm;

Selon Y: 360 mm;

Selon Z (hauteur): 400 mm.

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

2.3 Les Filament:

2.3.1 Filament PLA:

Le filament PLA est l'un des matériaux phares pour la fabrication d'objets à l'aide d'une imprimante 3D à technologie FFF « Fused Filament Fabrication ».

Le fil PLA (acide polylactique) fond à une température comprise entre 180 et 220 °C et ne nécessite pas de plateau chauffant. Le PLA est naturellement translucide à l'état brut. Les filaments PLA sont vendus en versions opaques et translucides.

Les bobines de PLA sont très populaires auprès des imprimantes 3D car le matériau est facile à imprimer et utilisé pour rendre des pièces très réussies. Autre point d'intérêt pour le fil PLA, c'est qu'il accepte diverses finitions : peintes, polies,... Le fil PLA est disponible en deux diamètres standard, PLA 1,75 mm et PLA 3 mm. Le choix du diamètre du fil dépend des spécifications de l'imprimante utilisée.

Le PLA est idéal pour tous les projets orientés vers l'esthétique. Malgré une résistance mécanique limitée, il trouve également une application dans le domaine technique à travers la vérification de forme ou le prototypage. Le post-traitement des pièces imprimées avec du fil PLA est très simple. [18]

Détails et caractéristiques

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

2.3.2 Fibre de carbone:

Avec les fibres carbone il est possible de réaliser des pièces résistantes, par exemple pour drones, robotique, RC & modélisme / maquettisme, automobile, prototypage professionnel. Ce matériau peut être utilisé dans différents domaines qui nécessitent une grande résistance mécanique.

La fibre de carbone est devenue populaire dans de nombreux secteurs car elle offre une rigidité élevée, une résistance élevée à la traction, un faible poids, une résistance chimique élevée, une résistance aux températures élevées et une faible dilatation thermique. La fibre de carbone pure est en fait cinq fois plus résistante que l'acier et deux fois plus rigide, tout en étant plus léger.

Les fibres de carbone combinées à d'autres matériaux pour former ce que nous appelons des composites. Ces composites sont constitués d'une matrice de base, à laquelle on vient ajouter des fibres de carbone. Le principal avantage est l'obtention d'un plastique plus solide, mais plus léger, avec un niveau de rigidité accru.

La fibre de carbone et la fabrication additive :

L'impression 3D utilise de plus en plus tous les composites, particulièrement le carbone, dans ses activités de fabrication. Dans l'impression 3D, il y a essentiellement deux façons d'utiliser la fibre de carbone, la première étant l'ajout de la fibre dans le filament (filament renforcé en fibre de carbone) ; la deuxième est l'impression directe de la fibre de carbone dans la pièce (d'impression 3D de fibre de carbone continue).

Renforcement continu en fibre de carbone :

Les filaments renforcés de fibres de carbone sont plus résistants que les filaments conventionnels. Cependant, pour obtenir des composants plus résistants, une autre technique, appelée renforcement continu en fibres de carbone, peut être utilisée. Dans ce cas, deux buses sont nécessaires : l'une extrude le filament et l'autre extrude la fibre de carbone. Étant donné que la fibre de carbone n'est pas coupée en petits morceaux, elle conserve plus de résistance. L'impression 3D en fibre de carbone continue est suffisamment solide pour remplacer l'aluminium à la moitié du poids. Les fabricants d'imprimantes 3D affirment qu'elle peut remplacer l'impression 3D métallique dans certaines applications - le principal avantage étant qu'elle est moins chère que le métal. Enfin, en plaçant des fibres de carbone selon des techniques de conception de fabrication additive, la résistance de la pièce peut être augmentée tout en réduisant l'utilisation de matière. [19]

2.4 Les supports:

Une imprimante 3D FDM travaille en déposant couche sur couche thermoplastique pour créer un objet 3D. Pour cette raison, chaque nouvelle couche doit être soutenue par la couche qui se trouve sous elle. Si votre modèle a un surplomb qui n'est pas supporté par quoi que ce soit, il est nécessaire de prévoir des structures de support imprimées 3D supplémentaires pour assurer une impression réussie (Figure 14).

Les structures de support sont considérées comme un mal nécessaire dans l'impression 3D.

Voici quelques exemples de surplomb et de ponts illustrés à l'aide des lettres Y, H, et T.

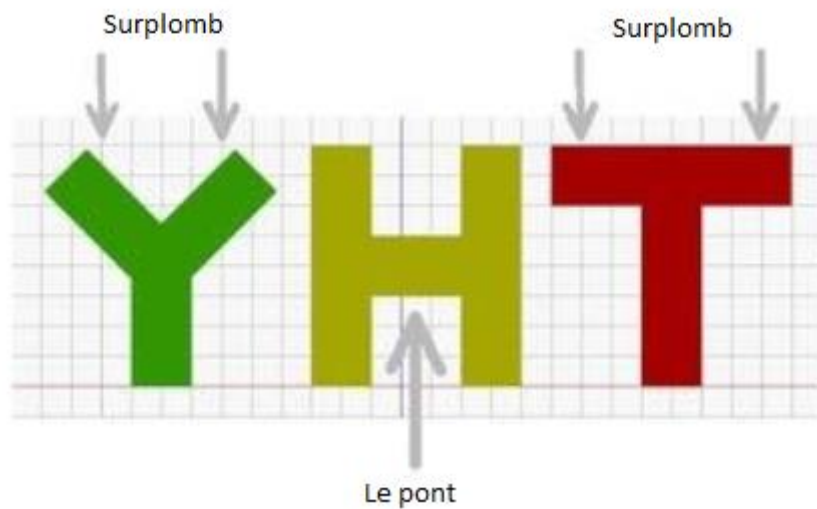


Figure 14: surplombs et ponts illustrés avec l'exemple classique des lettres Y, H et T. [20]

Mais tous les surplombs ne doivent pas être supportés. La règle générale est la suivante: si un surplomb s'incline à moins de 45 degrés de la verticale, vous pouvez imprimer ce surplomb sans utiliser de structures de support d'impression 3D.

Les imprimantes 3D utilisent un très petit décalage horizontal entre les calques consécutifs. Ainsi, un calque ne s'empile pas parfaitement sur le calque précédent mais s'empile avec un décalage minuscule. Cela permet à l'imprimante d'imprimer des surplombs qui ne s'inclinent pas trop par rapport à la verticale. Tout ce qui est en dessous de 45 degrés peut être soutenu par les couches précédentes, on considère que la ligne de rupture est de quarante-cinq degrés. Cet aspect est mieux illustré par les lettres Y et T de la figure 15.



Figure 15: Y et H imprimés en FDM avec support. [20]

Tout comme les surplombs, les ponts ont besoin de soutien. Cependant, la règle de base est que : si un pont à moins de 5 mm de longueur, l'imprimante peut être en mesure de l'imprimer sans avoir besoin de structures de support d'impression 3D.

Pour ce faire, l'imprimante utilise une technique appelée « bridging » - où elle étire le matériau chaud sur de courtes distances et parvient à l'imprimer avec un fléchissement minimal.

Cependant, si le pont est plus long que 5 mm, cette technique ne fonctionne pas. Dans ce cas, des structures de support d'impression 3D doivent être ajoutées.

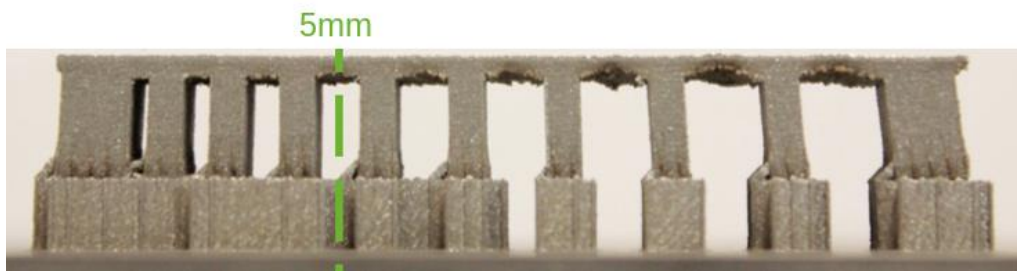


Figure 16: Les ponts plus longs que 5mm peuvent être imprimés avec support d'impression 3D. Notez comment ils sont gonflés et déformés. [20]

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

Le premier facteur à considérer est le type de matériau utilisé. Certains sont faciles à éliminer, soit parce qu'ils sont solubles, soit parce qu'ils peuvent être cassés sans effort. D'autre part, vous devez regarder la structure du stand lui-même.

- **Le support en forme d'arbre:**

C'est une structure en forme d'arbre qui supporte les surplombs du modèle. Ce type de support d'impression 3D ne touche que le porte-à-faux à certains points.

L'avantage d'utiliser un support d'impression 3D semblable à un arbre est qu'il est plus facile à enlever et n'abîme pas trop le dessous du porte-à-faux. Mais notez qu'il ne convient qu'aux surplombs non plats comme le bout du nez, le bout des doigts ou les arcs. Il ne fournit pas assez de stabilité pour les surplombs plats.

- **Support linéaire ou accordéon:**

C'est le type de support le plus couramment utilisé en impression 3D. Ce type de support se compose de piliers verticaux qui touchent la totalité du surplomb. Ce type de support d'impression 3D fonctionne pour presque tous les surplombs et ponts. Cependant, ils sont

beaucoup plus difficiles à enlever et beaucoup plus susceptibles d'endommager la surface du modèle.

2.5 Choix de moteurs:

Il y a différents types de moteurs électriques: moteurs à courant continu et moteurs à courant alternatif, moteurs universels, moteurs asynchrones et moteurs synchrones, moteurs à réluctance variable et enfin moteurs pas à pas. Nous présentons dans ce qui suit ces moteurs afin d'effectuer notre choix.

2.5.1 Moteurs linéaires:

Un moteur linéaire est un moteur qui ne produit pas de mouvement de rotation mais produit un mouvement linéaire. Contrairement aux moteurs rotatifs, les moteurs linéaires déplacent les composants le long de trajectoires linéaires ou courbes.

Il existe 2 types de moteurs linéaires:

- Ceux à accélération faible utilisés dans le transport.
- Ceux à accélération rapide utilisés dans les armes. [21]

2.5.2 Moteur à réluctance variable

Le moteur à réluctance variable possède un dispositif très prometteur qui est encore en cours de développement. C'est un moteur qui comporte un rotor à un écart dans la direction de la plus faible réluctance. Ce type de rotor en fer doux a moins de dents que les pôles du stator. Le rotor étant en fer doux, son mouvement n'a rien à voir avec les sens d'alimentation des différentes phases. Le choix de la séquence de puissance détermine son sens de rotation. Le fonctionnement du moteur est garanti par un guide unipolaire, et l'avancement du rotor est obtenu en excitant une paire de pôles magnétiques en séquence. [21]

2.5.3 Moteur Électrique synchrone

Le moteur synchrone est un type de moteur à courant alternatif. La vitesse de rotation (vitesse synchrone) est constante et synchronisée avec la fréquence de tension à laquelle elle est connectée et le nombre de paires de pôles du moteur.

Ce sont généralement des moteurs triphasés, mais les moteurs synchrones de faible puissance sont généralement alimentés par une tension monophasée courante dans les ménages. Les moteurs synchrones sont également appelés moteurs vectoriels ou moteurs « Rowan ». [21]

2.5.4 Moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas peuvent être contrôlés très précisément en termes de distance et de vitesse de rotation. Les moteurs pas à pas sont ainsi nommés parce que chaque impulsion électrique fait tourner le moteur d'un pas. Ces moteurs sont contrôlés par un pilote, qui envoie les impulsions dans le moteur, le faisant tourner. Le nombre d'impulsions que le moteur tourne est égal au nombre d'impulsions envoyées au pilote. Le moteur tourne à une vitesse égale à la fréquence de ces mêmes impulsions. Les moteurs pas à pas sont très faciles à contrôler. La plupart des conducteurs recherchent des impulsions de 5V qui se trouvent être le niveau de tension de la plupart des circuits intégrés. Les moteurs pas à pas peuvent réagir et accélérer rapidement. Ils ont une faible inertie du rotor qui peut monter en vitesse rapidement. Pour cette raison, ces moteurs sont adaptés aux mouvements courts et rapides.



Figure 17: moteur pas à pas. [21]

Il existe 3 types de moteur pas à pas:

- Le moteur à réluctance variable.
- le moteur à aimants permanents.
- le moteur hybride, qui est une combinaison des deux technologies précédentes. [21]

En raison des caractéristiques intéressantes des moteurs pas à pas, et vu les recommandations des précédentes études, nous adaptons ce type de moteur pour notre imprimante 3D.

2.5.4.1 Comparaison des trois de moteurs pas à pas:

Moteur à aimant permanent:

- Ils ont un couple élevé en raison de l'incorporation d'un aimant sur le rotor.
- Les angles disponibles sont grands.
- La taille est conditionnée par le rotor à aimant permanent et le terrain, vous pouvez obtenir de petites tailles.

- Parce que l'aimantation du rotor, ce moteur un couple résiduel ou un couple de freinage.
- L'effet d'amortissement généré par l'aimantation des limites de la plage de vitesses. [21]

Moteur à réluctance variable:

- Ne comprenant pas un aimant permanent, le rotor peut être fabriqué avec un petit diamètre, et donc la taille du moteur est également réduite.
- Avec un petit diamètre de rotor, le moment d'inertie de cette offre est également une plage dynamique élevée (haute vitesse), et un couple de départ.
- L'angle de pas est limité, le diamètre de pôles de stator limite le nombre de bobines qu'il peut contenir.
- Il n'a pas de couple participation résiduelle quand il est éteint, ce qui est souvent un inconvénient.
- Ils ont beaucoup moins de couple, mais en la rendant plus facile. [21]

Les Moteurs hybrides:

- Possibilité d'obtenir des angles de petit pas, sans l'aide d'un grand nombre de phases.
- Ils ont une bonne gamme dynamique, de moteurs à aimants permanents et à réluctance variable.
- En intégrant aimantation, montrent le couple de maintien résiduel sans pouvoir.
- Ces mesures sont contenues sans atteindre le moteur VR en raison de l'emplacement de l'aimant permanent dans le stator.
- Produit un couple élevé produit par des moteurs à réluctance vigueur que VR.
- On a utilisé un moteur pas à pas hybride; à cause de sa grande capacité de travail, de son couple et de sa résolution élevée. [21]

2.6 La table chauffante:

Les tables chauffantes sont des pièces maitresse de l'imprimante 3D. Elles sont constitués de:

- Lit chauffant pour imprimante 3D, la plaque est recouverte d'un revêtement microporeux et présente une forte adhérence lors de l'impression.
- Plaque d'aluminium de plate-forme de lit chaud, la plaque et le lit chauffant sont intégrés super plats, bénéfiques pour un chauffage rapide et uniforme.

- Fournitures pour outils de lit chauffant pour imprimante 3D de 1,5 mm, le revêtement spécial est un revêtement inorganique d'une dureté de 8 Mohs et peut fonctionner à une température de 400 ° C.
- Lit chauffant à substrat en aluminium à lit chauffant, le lit chauffant peut être réutilisé pour de nombreuses impressions consécutives et il suffit de l'essuyer avec un chiffon/un tissu imbibé si nécessaire.
- Lit chauffant pour imprimante 3D, le produit est compatible avec toutes les imprimantes 3D cartésiennes avec lit chauffant MK3. [22]

Spécification :

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

Spécifications du lit chaud :

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

2.7 L'extrudeuse:

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

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

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

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

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

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

Zone froide : c'est la zone où le filament est guidé vers la zone terminale chaude. Il est important qu'il soit aussi froid que possible, c'est pourquoi il est généralement refroidi par convection d'air forcée.

La zone de transition : c'est la zone situés entre la zone chaude et la zone froide. Il est important que la zone de transition thermique soit la plus petite possible pour que le gradient de température soit très agressif. De cette façon, nous pouvons nous assurer que le matériau ne fond pas ou ne se ramollit pas avant d'atteindre la zone chaude. Lorsque le matériau commence à se ramollir, sa viscosité augmente, ce qui peut entraîner un échec de l'impression, car l'extrusion du filament nécessite plus de pression et le mécanisme de l'extrudeuse n'atteint pas toujours ce point. [23]

2.7.1 Composants de l'extrudeuse.

La figure représente les différents composants de l'extrudeuse.



Figure 18: les composants de l'extrudeuse [24] [25]

Pour la zone chaude, on utilise généralement des matériaux ayant une bonne conductivité thermique et faciles à usiner, tels que l'aluminium et le laiton. Dans les buses plus sophistiquées, le cuivre peut également être utilisé. Pour les applications où l'impression avec des matériaux abrasifs est nécessaire, la buse est généralement revêtue ou faite de matériaux plus durs comme l'acier ou le carbure de Tungstène, qui sont traités en surface. Dans le cas de notre imprimante, la buse utilisée devra être en acier trempé puisque elle utilise le filament de carbone qui est entouré d'abrasif.

Pour la zone froide, il faut des matériaux ayant une bonne conductivité thermique. L'aluminium est généralement utilisé.

Bloc chauffant progressif (élément 3 de la figure 18) : fabriqué en aluminium et contient une résistance qui chauffe le bloc à la température de fusion du fil. La chaleur de fusion reste constante dans le bloc, c'est là que le plastique fond.

Guides pas à pas (élément 4 de la figure 18) : Ce sont des tubes en plastique qui guident les filaments.

Résistance pas à pas (élément 5 de la figure 18) : chauffer le bloc chauffant, serrer le fil et le pousser vers la buse.

Ventilateur pas à pas (élément 6 de la figure 18) : Utilisé pour refroidir le fil (s'il chauffe, le fil glissera) et pour refroidir le moteur.

Radiateur pas à pas (élément 7 de la figure 18) : Relâchez la température du moteur et des fils vers l'extérieur.

Pignon moteur pas à pas (élément 8 de la figure 18) : relié au moteur, le pignon moteur saisit le fil et le pousse vers la buse.

Palier à gradins (élément 9 de la figure 18) : parallèle au pignon d'entraînement, utilisé pour tendre le fil et le pousser vers la buse. Tendez le fil et poussez-le vers la buse.

L'ensemble composé de cette roue dentée motorisée et de la buse chauffante qui font le filament. [6]

2.8 La cinématique de l'imprimante 3d:

L'imprimante 3D a besoin des moteurs qui contrôlent les mouvements et permettent à l'extrudeuse d'imprimer sur le plateau. Il y a trois axes de mouvement: X, Y et Z et chaque

axe est contrôlé par un moteur pas à pas : le mouvement selon les axes X et Y est donné pour l'extrudeuse, et l'axe Z permet à la table chauffante de monter et de descendre.

2.8.1 Axe X, Y, courroie, pignon :

Sur l'axe X et Y Le déplacement se fait avec une courroie reliée avec une poulie, qui transforme un déplacement rotationnel en un déplacement linéaire. Le déplacement de la poulie est égale au déplacement de la courroie, c.-à-d. si la poulie tourne d'une longueur d'arc d'un (01) mm la courroie aussi se déplace d'un (01) mm, représenté par la figure 20.



Figure 20:Axe X, Y, courroie, poulie

2.8.2 Axe z (la tige) :

La figure 21 représente le couplage de l'axe Z (moteur, tige).

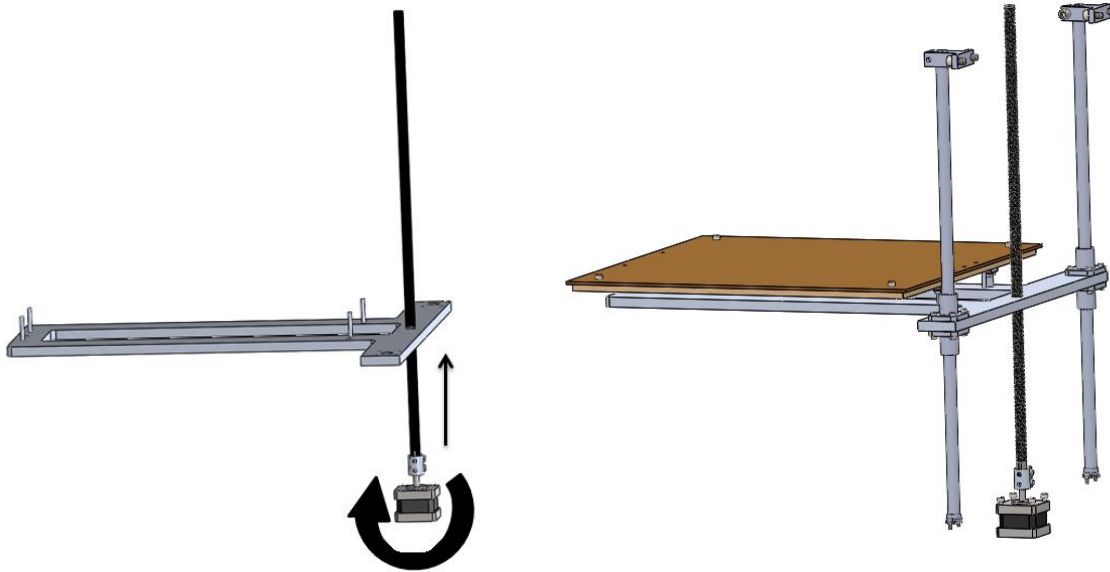


Figure 21: Axe z moteur, tige

Pour l'axe Z le déplacement se fait avec une vis fileté couplé au moteur. Le mouvement rotationnel du moteur se transforme en mouvement linéaire sur la tige, pour un contrôle plus précis.

2.8.3 Contrôle de L'extrudeuse :



Figure 22 : controle de l'extrudeuse

L'extrusion directe nécessite d'amener l'extrudeuse aussi près que possible de l'extrémité chaude.

L'extrudeuse est reliée au système de mouvement dans le plan (X, Y).

2.9 Systèmes de transmission:

Poulies et courroies :

Le système de poulies et courroie repose sur le principe d'adhérence et de frottement entre les éléments pour transmettre le mouvement. Ce système permet de transmettre un mouvement de rotation du moteur en un déplacement de la tige glissière.



Figure 23: poulies et courroie

Tige filetée:

La tige filetée est un composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle, est l'écrou. Elle s'utilise avec des écrous et des rondelles pour une installation complète et durable.

Cette tige comporte un noyau de section circulaire, avec sur sa périphérie un filetage forme générée par le balayage d'une section le long d'une hélice. La tige peut être réalisée en métal dans la plupart des cas. Elle peut aussi être en matière plastique dure pour les pièces de petite dimension (industrie de précision) ou ayant des contraintes techniques particulières (légèreté notamment).

Une tige filetée est destinée à être utilisée avec un trou taraudé.



Figure 24: Tige filetée

2.10 Système de fixation:

Par vis:

Une vis de fixation: appelée communément vis, est une pièce mécanique, comportant une tige filetée et une tête vis mécaniques est constante sur toute la longueur de l'arbre, contrairement aux vis coniques dont le bout est pointu. Elles sont utilisées pour fixer des composants de machinerie d'appareils et plus.

Par place précontraint des deux pièces à assembler.



Figure 25: vis de fixation

2.11 Logiciel de conception SolidWorks 2014 :

SolidWorks® est un logiciel de (conception assisté ordinateur CAD utilisé en mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs de décrire rapidement des idées, des fonctionnalités de test et des dimensions pour générer des modèles et des dessins précis. Ce document explique les concepts et la terminologie de l'application SolidWorks et vise à nous familiariser avec les fonctions les plus couramment utilisées dans SolidWorks.

Le logiciel SolidWorks le permet de :

- Concevoir des objets 3D très précisément.
- Développer de produits.
- Vérifier la conception du fichier 3D.
- Enregistrer votre bibliothèque de fichiers 3D.
- Mettre en place des dessins 2D
- Créer des images et des animations d'objets 3D.
- Estimer le coût de fabrication des objets 3D.

Dans ce travail, nous avons utilisé SolidWorks pour concevoir notre imprimante 3D. Nous donnons dans ce qui suit les pièces et mécanisme conçu.

2.12 Justification du choix des pièces:

En utilisant moins de pièces, les coûts se réduisent et l'efficacité s'améliore, de la fabrication à la logistique.

Le cache et la base :

Figure :

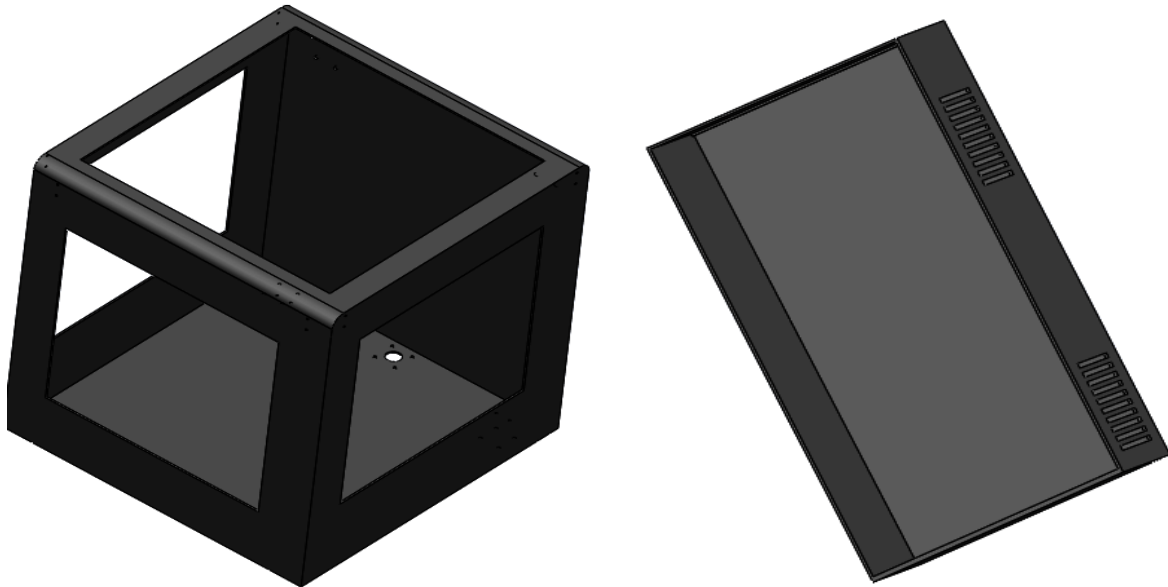


Figure 26: le cache et la base

Dimensions :

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Profondeur (mm)
Cache	490	490	546
Base	460	475	52

Tableau 2: dimensions de cache et base

Portes glissières verticale:

C'est une pièce pour sertissage d'encastrement pour les glissières sur l'axe X. Elle assure la fixation des glissières et empêche les mouvements.

Figure :

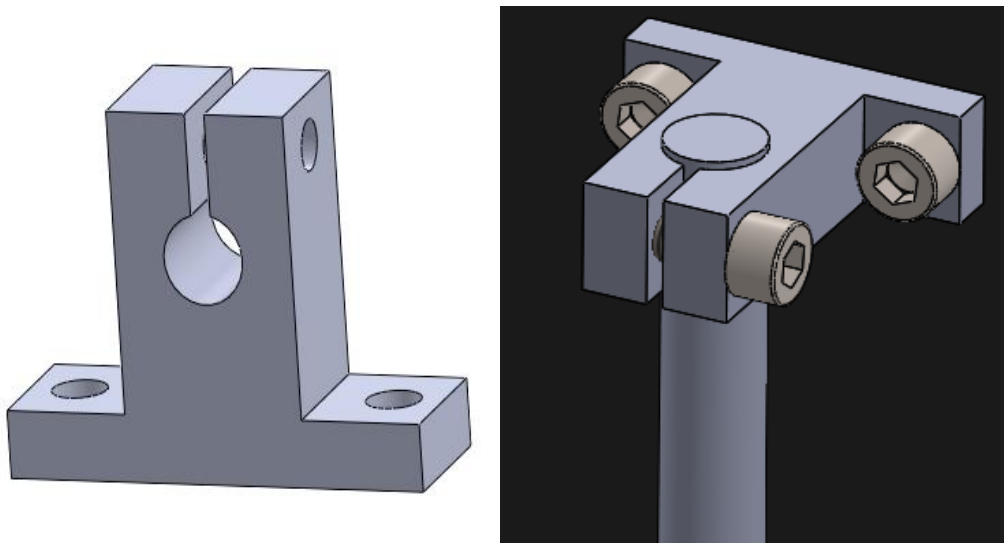


Figure 27: La porte glissière verticale

Dimension:

	longueur	Largeur	profondeur	nombre
porte glissière verticales	42	39.92	14	2

Tableau 3: Dimensions de porte glissière verticale

Porte glissière :

Figure :

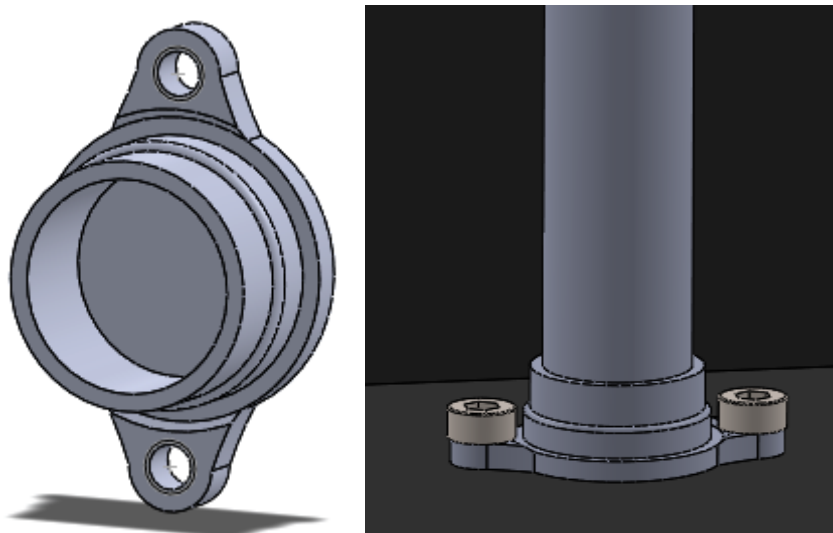


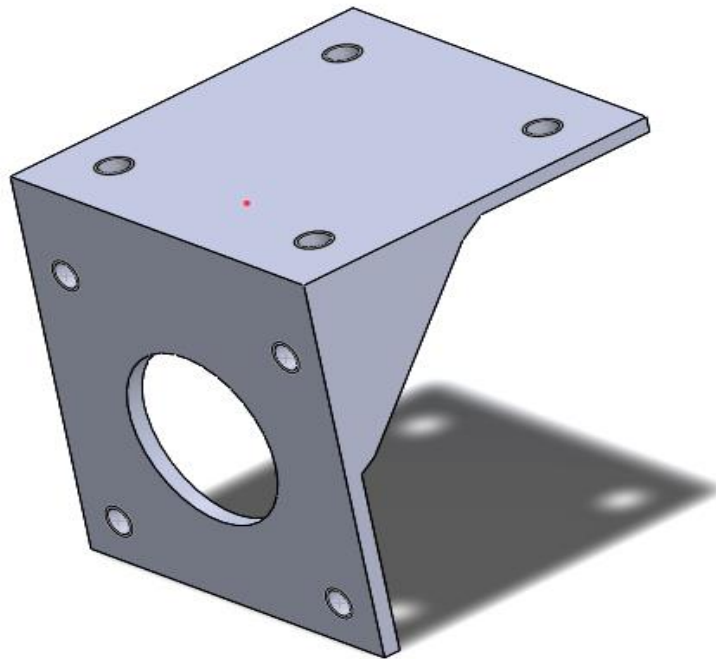
Figure 28: porte glissière

Dimensions :

	longueur	Largeur	profondeur	nombre
porte glissière	27	17	9.5	10

Tableau 4: dimensions de porte glissière**Porte moteur:**

C'est la pièce qui nous permet de placer le moteur et de le fixer sur le châssis.

Figure :**Figure 29: Porte moteur****Dimension:**

	longueur	Largeur	profondeur	nombre
porte moteur	50	44	45	2

Tableau 5: Dimensions de porte moteur**Coupleur :**

C'est une pièce qui est destinée pour la liaison garante entre deux systèmes. Elle est destinée à transmettre un mouvement.

Figure :

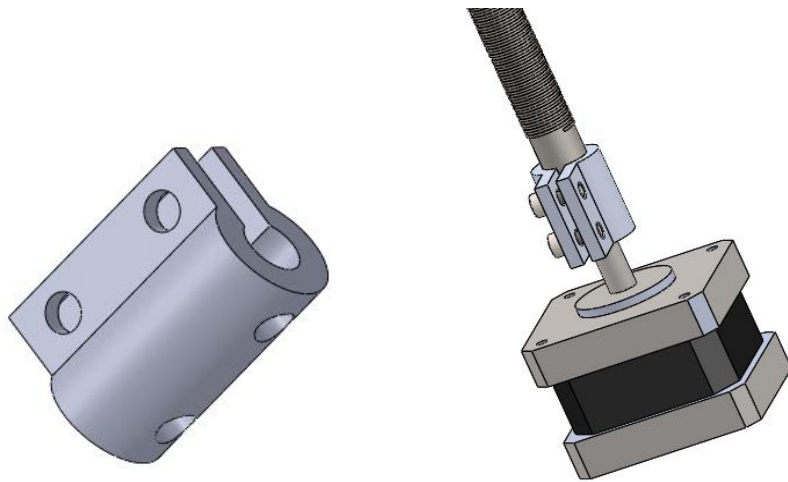


Figure 30: Coupleur

Dimensions :

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

Tableau 6: Dimensions du coupleur

Porte glissière verticale :

Les portes glissières verticales servent à porter la table chauffante.

Figure :

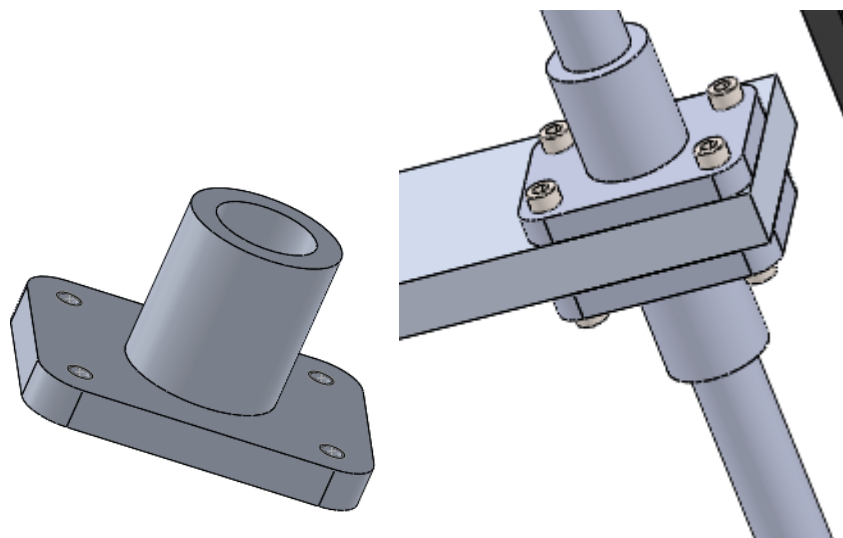


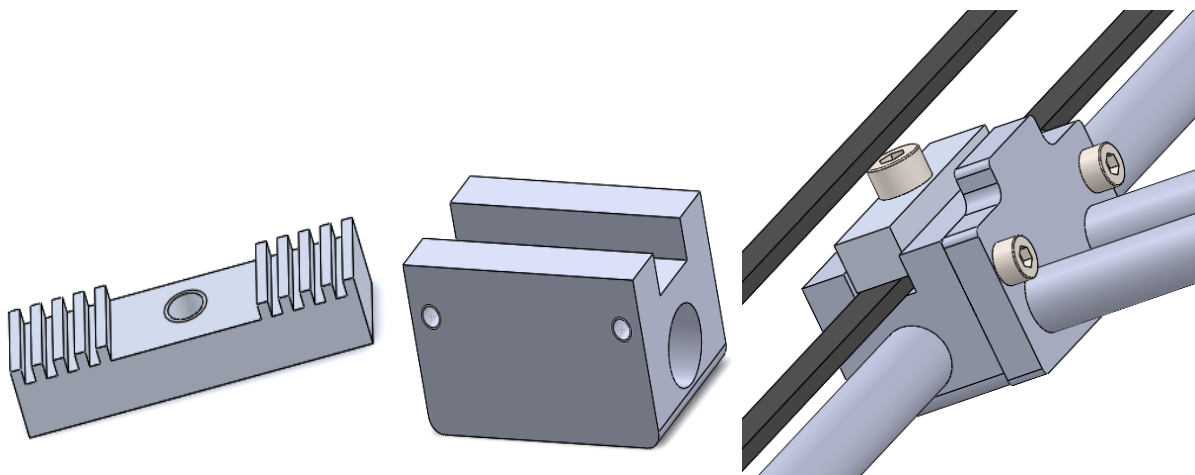
Figure 31: porte table

Dimensions :

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	profondeur (mm)
porte glissière verticale	25	40	30

Tableau 7: Dimensions de porte glissière verticale**Porte courroie et plaque dentée:**

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

Figure :**Figure 32: plaque dentée et porte courroie****Dimension:**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	profondeur (mm)
Porte courroies	35	20	20
Plaque dentée	32	8	6.5

Tableau 8: Dimensions de porte courroie et plaque dentée**Glissières et arbre fileté:**

Le bloc coulissant assure le guidage horizontal et vertical de la table de travail et de l'extrudeuse. L'arbre fileté assure le déplacement de lit chauffant verticalement.

Figure :

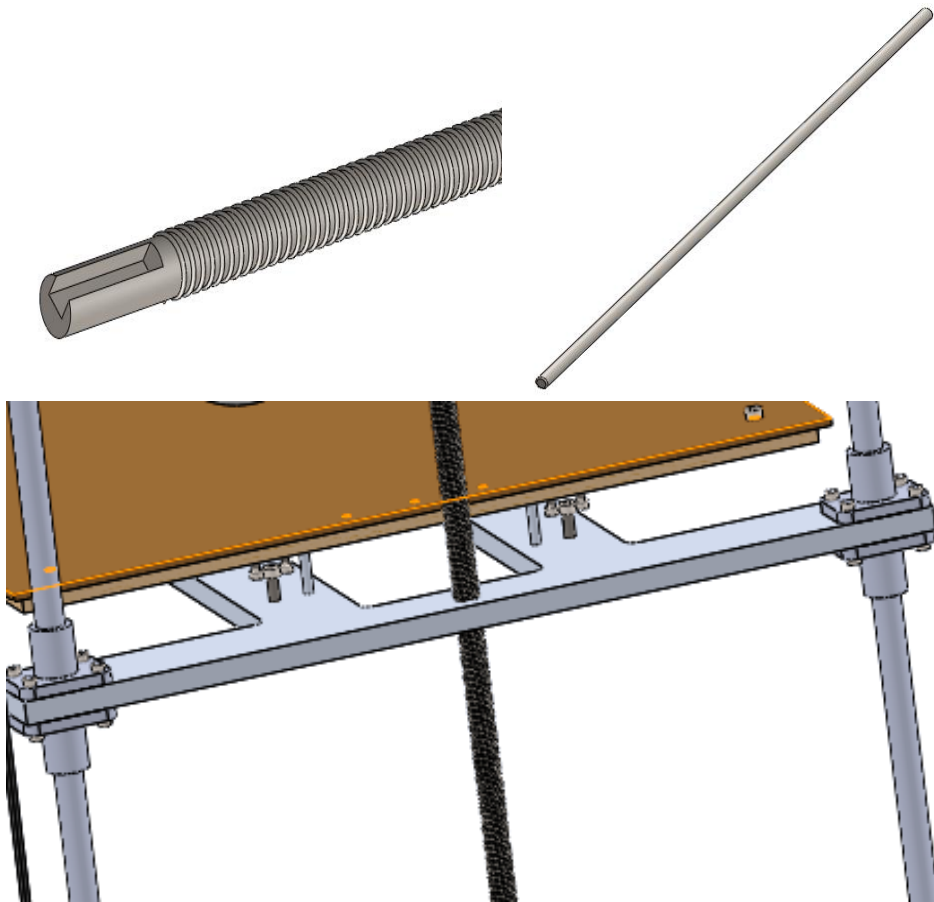


Figure 33: glissière et arbre fileté

Dimensions:

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
Arbre fileté	470	M10
Glissière vertical	467	12
Glissière horizontale	480	9
Glissière transversale y	395	8
Glissière transversale x	420	8

Tableau 9: Dimensions des glissières et de l'arbre fileté

Les tables:

Les tables constituent les supports de la pièce imprimée.

Figure :

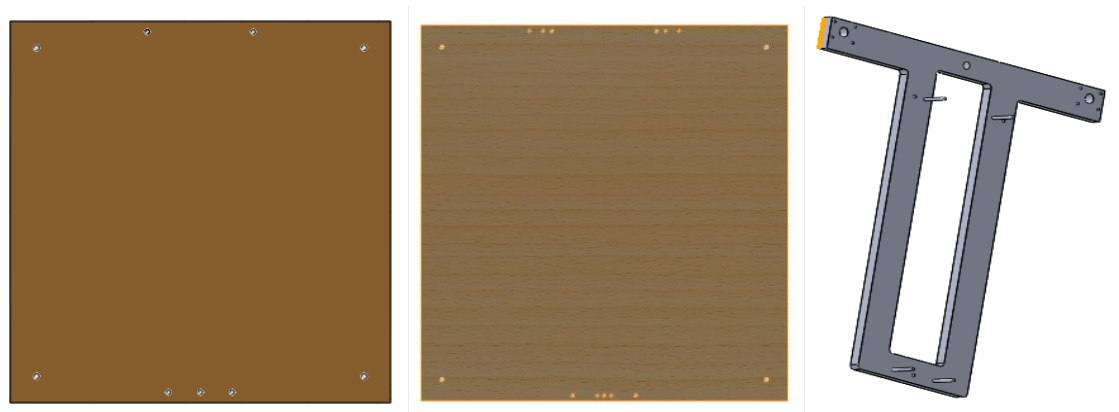


Figure 34: le lit chauffant, la couche isolante et la table

Lit chauffant :

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

Couche isolante:

Elle sépare le lit chauffant et la table.

Cette table d'isolation ignifuge posée derrière un radiateur, renvoie la chaleur vers l'intérieur de la pièce. Installé contre une cloison, le panneau isole du froid et maintient la chaleur emmagasinée. Cette plaque joue également le rôle de barrière électromagnétique.

La table:

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

Dimensions :

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
Lit chauffant	360	360	3
Couche isolante	350	350	7
Table	400	420	10

Tableau 10: Dimensions des tables

La bobine et tige de bobine

La bobine sert à porter le filament, et le porte bobine sert à fixer la bobine au châssis

Figure :

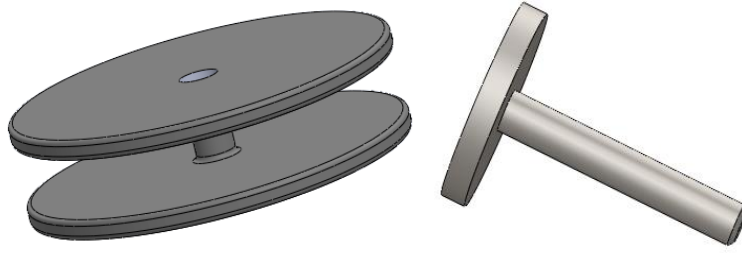


Figure 35: La bobine et Tige de bobine

Dimensions :

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	épaisseur (mm)
La bobine	20	80	8.20
Tige de bobine	55	38	8

Tableau 11: Dimensions de la bobine et de la tige de la bobine

Support extrudeuse :

Support extrudeuse sert a porter l'extrudeuse.

Figure :

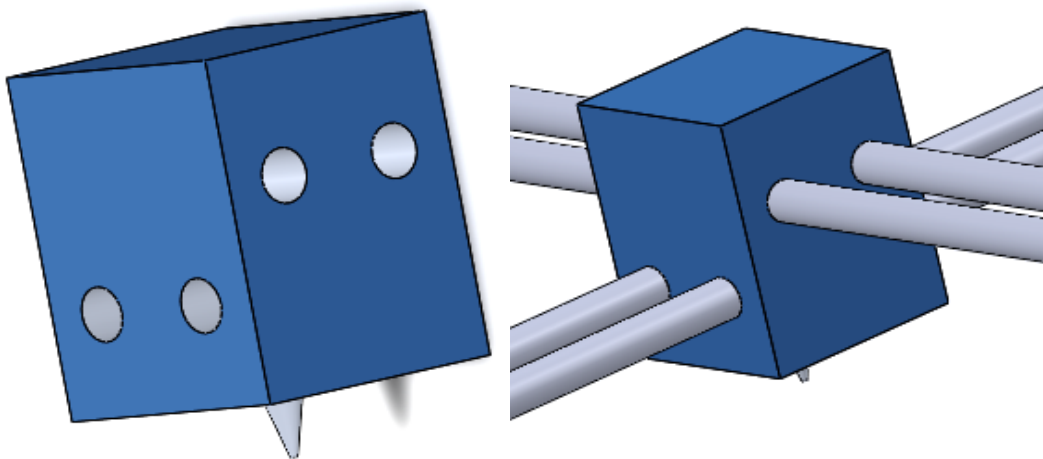


Figure 36: support extrudeuse

Dimensions:

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	profondeur
L'extrudeuse	65	40	40

Tableau 12: Dimensions de l'extrudeuse.

2.13 L'assemblage

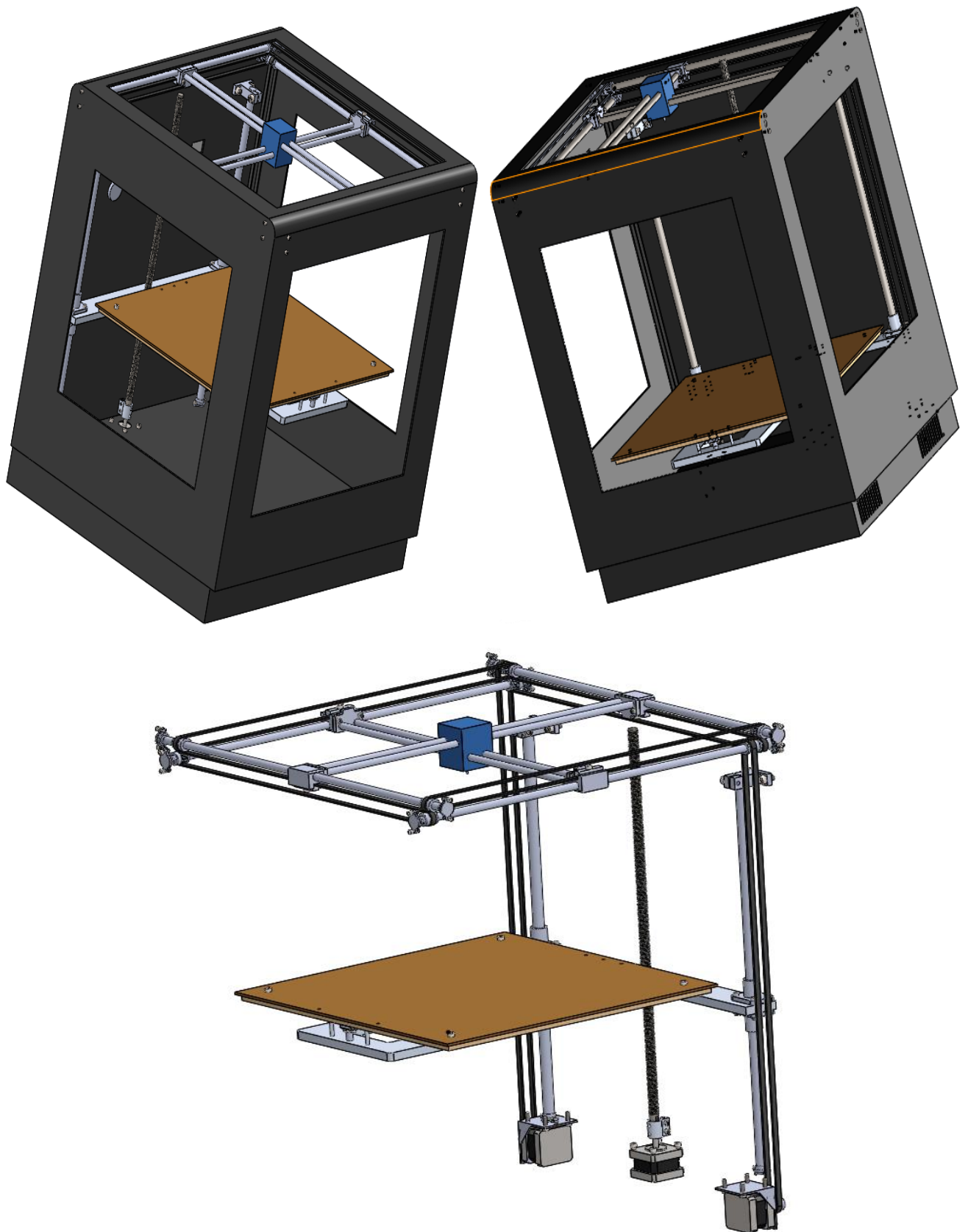


Figure 37: l'assemblage final de l'imprimante 3D

2.14 Justification du choix des matériaux

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

Matériaux	Eléments
Alliage d'aluminium 6063 T1	Le cache La base
PBT à usage général	La bobine
Aisi 1020 acier laminé à froid	Glissières sur l'axe X
Bronze d'aluminium	Lit chauffant
Balsa	Couche isolante
Caoutchouc	courroie
Aisi 1010 barre d'acier laminée à chaud	Glissières sur l'axe Y Glissières sur l'axe Z Arbre fileté Tige de pignon
Alliage d'aluminium 1060	Le coupleur Porte courroies porte glissière verticale porte glissière porte extrudeuse Porte bobine Plaque dentée Table Porte table Porte glissières transversale Porte moteur

Tableau 13: choix des matériaux

Alliage d'aluminium 6063 T1:

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

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

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

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

L'alliage d'aluminium 1060 :

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

Acier inoxydable recuit :

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

PBT à usage général :

Poly butylène téréphtalate est un polymère thermoplastique faisant partie de la famille des polyesters. Le polytéréphtalate de butylène PBT est utilisé pour la filature de matériaux d'impression 3D des polyesters. Parmi ces principales caractéristiques, c'est qu'il a une excellente tenue à la chaleur, une bonne tenue aux agents chimiques et un bon comportement vis-à-vis des frottements et en fatigue.

Aisi 1020 acier laminé à froid :

On l'a choisi pour les glissières à cause de sa grande limite d'élasticité $Re = 350 \text{ N/mm}^2$.

Bronze d'aluminium :

Les alliages d'aluminium bronze cet alliage constitué d'aluminium et de cuivre dans lesquels l'aluminium constitue jusqu'à 14% l'alliage bronze d'aluminium comporte 11% de poids en

aluminium, le reste étant la masse de cuivre. Nous l'avons choisi comme matériau pour le lit chauffant parce que c'est un très bon conducteur thermique qui aidera la première couche de la pièce imprimée à y adhérer.

Le balsa :

C'est un terme qui désigne un bois extrêmement léger et fragile, notamment utilisé pour fabriquer des modèles réduits d'avions. Il est généralement utilisé avec d'autres matériaux composites, il peut donc être utilisé pour faire de vrais sandwichs, constitués de plusieurs couches de matériaux dont l'aluminium. C'est un isolant thermique, c'est pourquoi il est utilisé comme matériau sur la table afin qu'il ne conduise pas la chaleur dans toute la machine.

Le caoutchouc :

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

Aisi 1010 barre d'acier laminée à chaud :

C'est un acier de construction, on l'a utilisé pour sa résistance et sa dureté. [26]

2.15 Arduino

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

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

Arduino est le nom d'une entreprise italienne qui produit notamment les cartes Arduino, ou Arduino en abrégé. Ces cartes se déclinent en de nombreux modèles et proposent différentes fonctions, comme le WIFI ou le Bluetooth. Parmi les différents modèles, la carte Arduino la plus populaire est UNO. Arduino UNO se vend moins de 25 \$ US. Il s'agit d'un matériel

puissant capable de gérer toutes sortes de données entrantes. Pour en revenir au principe de fonctionnement de ces circuits imprimés, un microcontrôleur, qui est un petit processeur informatique, est monté sur une carte Arduino avec différents composants qui gèrent l'entrée et la sortie. Sur le microcontrôleur, plusieurs options d'entrée sont disposées, telles que des boutons et des capteurs photoélectriques. Les informations peuvent également être envoyées au processeur de l'ordinateur. Après avoir analysé les données, le processeur de l'ordinateur envoie le résultat à tout appareil connecté à l'Arduino, comme une imprimante 3D. Comme la carte est open source, tant au niveau de la partie frontale que de la partie dorsale, elle permet d'avoir une myriade d'entrées contrôlant n'importe quelle sortie.

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

2.15.1 Arduino Mega 2560 :

La carte Arduino Mega 2560 est basée sur un ATmega2560 cadencé à 16 MHz.

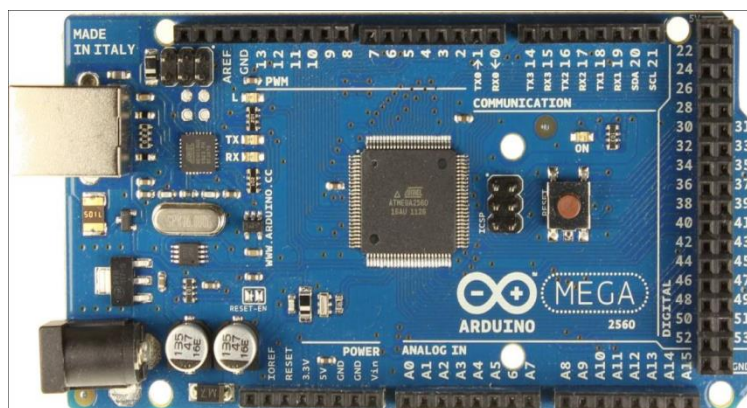


Figure 38: Représentation de la Carte Arduino

Il dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques. Il contient tout le nécessaire pour prendre en charge le microcontrôleur ; une prise d'alimentation et un bouton de réinitialisation, comme le montre la figure illustrée sur la photo.

2.15.1.1 Spécifications techniques de la carte Arduino Mega 2560

- Microcontrôleur : ATmega2560
- Tension de fonctionnement : 5 V
- Gamme de tension d'entrée (recommandée) : 7-12 V

- Gamme de tensions d'entrée (limite) : 6-20 V
- Pins digitaux I/O : 54
- Pins digitaux I/O PWM : 14
- Pins d'entrée analogique : 16
- Courant direct par pin I/O : 40 mA
- Courant direct pour les pins 3,3 V : 50 mA
- Mémoire flash : 256 KB
- Mémoire Flash du Boot loader : 8 KB
- SRAM : 8 KB
- EEPROM : 4 KB
- Fréquence d'horloge de l'oscillateur à quartz : 16 MHz.

2.15.1.2 Comment utiliser les cartes Arduino ?

Sur la carte, il y a des entrées analogiques ou numériques. Par exemple, s'il y a un bouton marche/arrêt, il s'agit d'une entrée numérique. D'autre part, les cadrans ajustés à des degrés différents seront des entrées analogiques. En utilisant les broches disponibles sur la carte, l'appareil peut être connecté à des entrées analogiques ou numériques. Enfin, nous pouvons également intégrer des "shields", qui ajoutent plus de fonctionnalités au circuit imprimé. L'empilement de plusieurs boucliers les uns sur les autres ajoutera plus de fonctions. [27]

2.16 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons énuméré toutes les solutions possibles pour concevoir notre imprimante. Nous avons présenté nos choix. Nous avons parcouru tous les systèmes qui composent l'imprimante 3D. Puis nous avons référencé ses composants, combiner leurs formes et tailles le long des axes X, Y et Z, et les matériaux utilisés dans chaque section et justifier les choix que nous avons faits.

À la fin on a abordé la partie électronique avec la carte et les logiciels pilotant.

Dans le chapitre suivant, nous présentons la partie logicielle de l'imprimante 3D.

Chapitre 3 : Commande logiciel de l'imprimante 3D

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous traitons la partie logicielle et comment passer d'un modèle géométrique 3D conçu sur ordinateur à un objet imprimé avec le logiciel Simplify3D. L'étape de tranchage (le slice) est indispensable pour obtenir un imprimé de bonne qualité.

3.2 Marlin firmware :

Marlin est un « firmware open source » pour la famille RepRap de prototypeurs rapides de réplification - populairement connu sous le nom d'imprimantes 3D. Il a été dérivé de Sprinter et grbl, et est devenu un projet open source autonome le 12 août 2011 avec sa version Github. Marlin est sous licence GPLv3 et est gratuit pour toutes les applications.

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

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

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

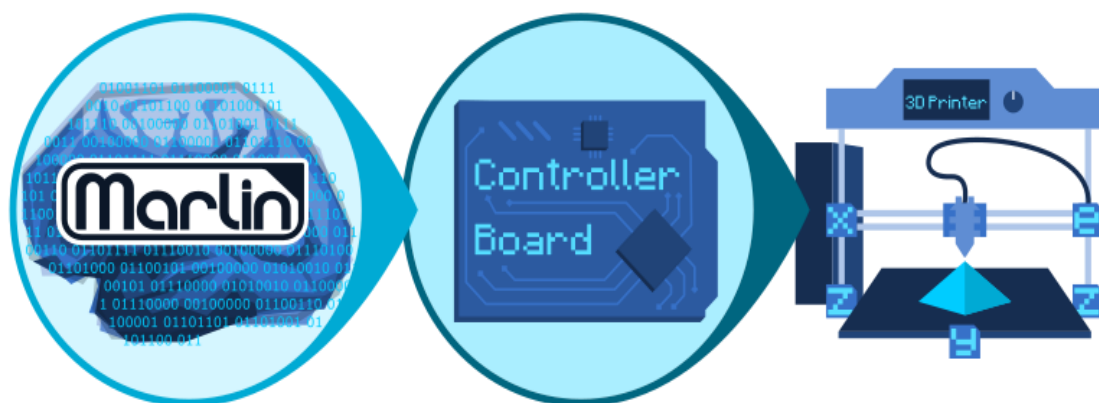


Figure 39: Marlin firmware [28]

3.2.1 Caractéristiques principales

- G-code complet avec plus de 150 commandes.
- Suite complète de mouvements G-code, y compris les lignes, les arcs et les courbes de Bézier.
- Système de mouvement intelligent avec « lookahead », mouvement basé sur l'interruption, accélération linéaire.
- Prise en charge de la cinématique cartésienne, Delta, SCARA et Core/H-Bot.
- Contrôle du chauffage PID en boucle fermée avec réglage automatique, protection thermique, coupure de sécurité.
- Prise en charge de jusqu'à 5 extrudeuses plus un lit d'impression chauffé.
- Interface utilisateur du contrôleur LCD avec plus de 30 traductions linguistiques.
- Impression sur hôte et sur carte SD avec démarrage automatique.
- Compensation de nivellement du lit — avec ou sans sonde de lit.
- Avance linéaire pour l'extrusion sous pression.
- Prise en charge de l'extrusion volumétrique.
- Support pour mélange et multi-extrudeuses (Cyclope, Chimera, Diamond).
- Prise en charge des capteurs d'écoulement/largeur de filament.
- Minuterie de travail d'impression et compteur d'impression.

3.2.2 Configuration : [28]

Marlin Firmware fonctionne sur la carte principale de l'imprimante 3D, gérant toutes les activités en temps réel de la machine. Il coordonne les appareils de chauffage, les steppers, les capteurs, les lumières, l'écran LCD, les boutons et tout ce qui est impliqué dans le processus d'impression 3D.

Marlin met en œuvre un processus de fabrication additive appelé « Fused Deposition Modeling » (FDM) - alias « Fused Filament Fabrication » (FFF). Dans ce processus, un moteur pousse le filament à travers une buse chaude qui fond et extrude le matériau pendant que la buse est déplacée sous contrôle informatique. Après plusieurs minutes (ou plusieurs heures) de pose de fines couches de plastique, le résultat est un objet physique.

Le langage de contrôle de Marlin est un dérivé de G-code. Les commandes G-code indiquent à une machine de faire des choses simples comme « régler le chauffage de 1 à 180 ° » ou « passer à XY à la vitesse F ». Pour imprimer un modèle avec Marlin, il doit être converti en G-code à l'aide d'un programme appelé « slicer ».

Lorsque Marlin reçoit des commandes de mouvement, il les ajoute à une file d'attente de mouvement à exécuter dans l'ordre reçu. L'interruption pas à pas traite la file d'attente, convertissant les mouvements linéaires en impulsions électroniques chronométrées avec précision vers les moteurs pas à pas. Même à des vitesses modestes, Marlin doit générer des milliers d'impulsions pas à pas chaque seconde (par exemple, 80 pas par mm * 50 mm / s = 4000 pas par seconde) Étant donné que la vitesse du processeur limite la vitesse à laquelle la machine peut se déplacer.

Les appareils de chauffage et les capteurs sont gérés dans une deuxième interruption qui s'exécute à une vitesse beaucoup plus lente, tandis que la boucle principale gère le traitement des commandes, la mise à jour de l'affichage et les événements du contrôleur. Pour des raisons de sécurité, Marlin redémarrera si le processeur est trop surchargé pour lire les capteurs.

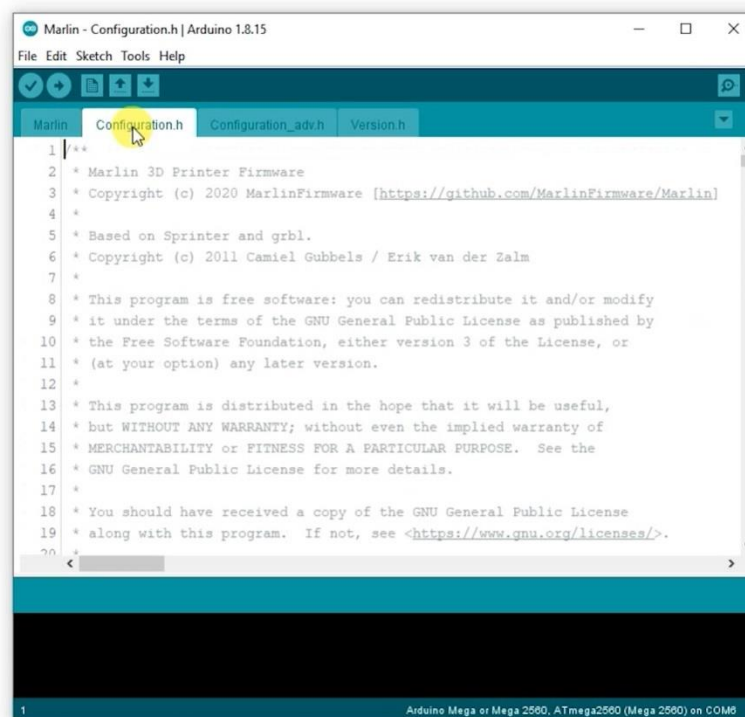


Figure 40: Configuration MARLIN

Nom de machine personnalisé

```
//#define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer"
```

Il s'agit du nom de votre imprimante tel qu'il est affiché sur l'écran LCD et par M115. Par exemple, si vous définissez cette option sur « Mon Delta », l'écran LCD affiche « Mon Delta prêt » au démarrage de l'imprimante.

Informations sur l'extrudeuse :

Extrudeuses :

```
#define EXTRUDERS 2
```

Cette valeur, de 0 à 6, définit le nombre d'extrudeuses (ou pas à pas E) de l'imprimante. Par défaut, Marlin assumera des buses séparées se déplaçant tous ensemble sur un seul chariot. Cette valeur doit être définie sur le nombre total de moteurs pas à pas E sur la machine, même s'il n'y a qu'une seule buse.

Diamètre du filament

```
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

Il s'agit du diamètre « nominal » du filament tel qu'il est écrit sur la bobine du filament (1,75, 2,85, 3,0).

Cette valeur est utilisée par Marlin pour compenser la largeur du filament lors de l'impression en mode volumétrique, et par la commande « UnifiedBedLeveling » G26 lors de l'impression d'une grille de test.

Buse unique

```
#define SINGLENOZZLE
```

Activez cette option si vous disposez d'un système « multi-extrudeuse » qui partage une seule buse. Dans une configuration à buse unique, un seul entraînement de filament est engagé à la fois, et chacun doit se rétracter avant que le filament suivant puisse être chargé et commencer la purge et l'extrusion « SINGLENOZZLE ».

Průša MK2 Multiplexeur multi-matériaux à buse unique

```
//#define MK2_MULTIPLEXER
```

L'activation permet à un pilote pas à pas sur une carte de commande d'entraîner deux à huit moteurs pas à pas, un à la fois. MK2_MULTIPLEXER

```
//#define E_MUX0_PIN 40 // AlwaysRequired  
//#define E_MUX1_PIN 42 // Needed for 3 to 8 inputs  
//#define E_MUX2_PIN 44 // Needed for 5 to 8 inputs
```

Remplacez les broches de sélection DIO par défaut.

Paramètres thermiques :

Capteurs de température :

Les capteurs de température sont des composants essentiels d'une imprimante 3D. Des capteurs rapides et précis garantissent que la température sera bien contrôlée, pour que le plastique continue de circuler en douceur et pour éviter les incidents. Utilisez ces paramètres pour spécifier les capteurs de température de « hotend » et de lit. Chaque imprimante 3D aura une thermistance « hotend », et la plupart auront une thermistance de lit.

```
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_5 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
```

La liste ci-dessus de ces options contient toutes les thermistances et thermocouples que Marlin connaît et supporte.

```
// Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
#define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
```

Marlin fournit deux capteurs factices à des fins de test. Réglez leurs lectures de température constantes ici.

```
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10
```

Activez cette option pour utiliser le capteur 1 comme capteur redondant pour le capteur 0. Il s'agit d'un moyen avancé de se protéger contre les défaillances du capteur de température. Si

la différence de température entre les capteurs dépasse Marlin interrompt l'impression et désactive le chauffage. MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF

Stabilité de la température :

```
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)

#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/-
temperatures considered "close" to the target one

#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the
residency timer x degC early.
```

Les extrudeuses doivent maintenir une température stable avant que M109 ne revienne avec succès et ne commence l'impression.

```
#define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)

#define TEMP_BED_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/-
temperatures considered "close" to the target one

#define TEMP_BED_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start
the residency timer x degC early.
```

Le lit doit maintenir une température stable avant que M109 ne revienne avec succès et ne commence l'impression.

```
#define TEMP_CHAMBER_HYSTERESIS 3 // (°C)
Temperature proximity considered "close enough" to the target
```

Définissez à quelle distance de la cible la chambre peut être et toujours être considérée comme ok.

Plages de température

```
#define HEATER_0_MINTEMP 5

#define HEATER_1_MINTEMP 5

#define HEATER_2_MINTEMP 5

#define HEATER_3_MINTEMP 5

#define HEATER_4_MINTEMP 5

#define BED_MINTEMP 5
```

Ces paramètres permettent d'éviter que l'imprimante ne surchauffe et ne prenne feu. Les capteurs de température signalent des valeurs anormalement basses lorsqu'ils tombent en

panne ou se déconnectent. Réglez-les sur la valeur la plus basse (en degrés C) que la machine est susceptible de rencontrer. Les températures intérieures varient de 10 ° C à 40 ° C, mais une valeur de 0 peut convenir à un atelier non chauffé.

Si un capteur passe en dessous de la température minimale définie ici, Marlin **éteindra l'imprimante** avec une erreur « MINTEMP ».

Err: MINTEMP: Cette erreur signifie que la thermistance s'est déconnectée ou est devenue un circuit ouvert. (Ou la machine est juste très froide.)

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 285
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP      130
```

Température maximale pour chaque capteur de température. Si Marlin lit une température supérieure à ces valeurs, il s'arrêtera immédiatement pour des raisons de sécurité.

Err: MAXTEMP: Cette erreur signifie généralement que les fils du capteur de température sont court-circuités ensemble. Cela peut également indiquer un problème avec le MOSFET ou le relais du chauffage qui le fait rester allumé.

Pilotes pas à pas

```
//#define X_DRIVER_TYPE  DRV8825
//#define Y_DRIVER_TYPE  DRV8825
//#define Z_DRIVER_TYPE  DRV8825
//#define X2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z3_DRIVER_TYPE A4988
//#define E0_DRIVER_TYPE DRV8825
//#define E1_DRIVER_TYPE A4988
//#define E2_DRIVER_TYPE A4988
//#define E3_DRIVER_TYPE A4988
```

```
//#define E4_DRIVER_TYPE A4988
//#define E5_DRIVER_TYPE A4988
```

Ces paramètres permettent à Marlin de régler la synchronisation des pilotes pas à pas et d'activer les options avancées pour les pilotes pas à pas qui les prennent en charge. Vous pouvez également remplacer les options de synchronisation dans Configuration_adv.h.

Étapes par défaut par mm :

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }
```

Ce sont les paramètres les plus cruciaux pour l'imprimante, car ils déterminent la précision avec laquelle les pas à pas positionneront les axes. Ici, nous indiquons au firmware combien d'étapes individuelles produisent un seul millimètre de mouvement. Ceux-ci dépendent de divers facteurs, notamment le pas de la courroie, le nombre de dents sur la poulie, le pas de filetage sur les vis de plomb, les réglages de micro-pas et le style d'extrudeuse.

Pilotes pas à pas :

Activation du moteur :

```
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders
```

Ces options définissent les états de broche utilisés pour l'activation pas à pas. Le paramètre le plus courant est 0 pour Active Low. Pour Active High utilisez 1 ou (LOWHIGH).

Désactivation du moteur

```
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
```

Utilisez ces options pour désactiver les pas à pas lorsqu'aucun mouvement n'est émis. Cela a été mis en œuvre comme un hack pour faire fonctionner les steppers à un courant supérieur à la normale dans le but de produire plus de couple au prix d'une chaleur accrue pour les conducteurs et les steppers.

Direction du moteur

```
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR false
#define INVERT_E0_DIR false
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false
#define INVERT_E3_DIR false
#define INVERT_E4_DIR false
```

Ces paramètres inversent la direction du moteur pour chaque axe.

Homing et limites

Z Hauteur de homing

```
//#define NO_MOTION_BEFORE_HOMING // Inhibit movement until all axes have
been homed

//#define UNKNOWN_Z_NO_RAISE // Don't raise Z (lower the bed) if Z is
"unknown."

//#define Z_HOMING_HEIGHT 4 // For bed that fall when Z is powered off.
```

Cette valeur élève Z à la hauteur spécifiée au-dessus du lit avant de loger X ou Y. Ceci est utile pour éviter que la tête ne s'écrase sur les supports de lit tels que les vis, les clips de bouledogue, etc. Cela fonctionne également avec le nivellement automatique du lit activé et ne sera déclenché que lorsque la hauteur de l'axe Z est inférieure à la valeur définie, sinon l'axe Z ne bougera pas.

Direction de l'homing

```
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1
```

Direction de localisation pour chaque axe: -1 = min, 1 = max. La plupart des machines cartésiennes et centrales ont trois extrémités min. Les deltas ont trois extrémités maximales. Pour les autres configurations, définissez ces valeurs de manière appropriée.

Limites du mouvement

```
#define X_BED_SIZE 360  
  
#define Y_BED_SIZE 360
```

Avec Marlin, vous pouvez spécifier directement la taille du lit. Cela permet à Marlin de faire une logique supplémentaire liée à la taille du lit lorsqu'elle diffère des limites de mouvement ci-dessous. Si le chariot XY est capable de se déplacer à l'extérieur du lit, vous pouvez spécifier une plage plus large ci-dessous.

```
#define X_MIN_POS 0  
  
#define Y_MIN_POS 0  
  
#define Z_MIN_POS 0  
  
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE  
  
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE  
  
#define Z_MAX_POS 170
```

Ces valeurs spécifient les limites physiques de la machine. Habituellement, les valeurs sont définies sur 0, car les extrémités sont positionnées aux limites du lit. Doit être réglé sur le point le plus éloigné possible. Par défaut, ceux-ci sont également utilisés comme vos positions de repérage. Cependant, les options peuvent être utilisées pour les remplacer, si nécessaire. [XYZ]_MIN_POS [XYZ]_MAX_POS MANUAL_[XYZ]_HOME_POS

Décalage d'accueil

Bien que les positions de la maison soient fixes, M206 peut être utilisé pour appliquer des décalages à la position de la maison si nécessaire.

Extrémités logicielles

```
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS  
  
#if ENABLED(MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS)  
  
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_X  
  
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Y  
  
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Z
```

```

#endif

#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS

#if ENABLED(MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS)

#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_X

#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Y

#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Z

#endif

```

Activez ces options pour limiter le mouvement aux limites physiques de la machine.

```

#if EITHER (MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS, MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS)

// #define SOFT_ENDSTOPS_MENU_ITEM

#endif

```

Activer/Désactiver les extrémités logicielles à partir de l'écran LCD.

Capteur d'écoulement de filament

```

// #define FILAMENT_RUNOUT_SENSOR

#if ENABLED(FILAMENT_RUNOUT_SENSOR)

#define NUM_RUNOUT_SENSORS 1 // Number of sensors, up to one per
extruder. Define a FIL_RUNOUT#_PIN for each.

#define FIL_RUNOUT_INVERTING false // Set to true to invert the logic of
the sensor.

#define FIL_RUNOUT_PULLUP // Use internal pull up for filament
runout pins.

// #define FIL_RUNOUT_PULLDOWN // Use internal pulldown for filament
runout pins.

// Set one or more commands to execute on filament runout.

// (After 'M412 H' Marlin will ask the host to handle the process.)

#define FILAMENT_RUNOUT_SCRIPT "M600"

// When using a runout switch (no encoder), after a runout is detected,

// Continue printing this length of filament before executing the runout
script.

// Useful for a sensor at the end of a feed tube.

```

```

// If using an encoder disc, this is the length of filament that would
print

// without any movement from the sensor before it triggers a runout.

// Requires 4 bytes SRAM per sensor, plus 4 bytes overhead.

//#define FILAMENT_RUNOUT_DISTANCE_MM 25

#if def FILAMENT_RUNOUT_DISTANCE_MM

// Enable this option to use an encoder disc that toggles the runout pin
as the filament moves.

// Be sure to set FILAMENT_RUNOUT_DISTANCE_MM large enough to avoid false
positives.

// Start at the value of the sensor for one revolution and if you
experience false positives,

// increment the value by the same amount.

// ie., 7mm is set, and you get false positives, set it to 14 and try it
again.

//#define FILAMENT_MOTION_SENSOR

#end if

#end if

```

Avec cette caractéristique, un interrupteur d’extrémité mécanique est utilisé pour vérifier la présence de filament dans le chargeur (généralement l’interrupteur est fermé lorsque le filament est présent). Si le filament s’épuise, Marlin exécutera le script G-code spécifié (par défaut M600).

Les cartes ramps utilisent SERVO3_PIN. Pour les autres cartes, vous devrez peut-être définir FIL_RUNOUT_PIN. Activez la fonction M43 dans votre micrologiciel (PINS_DEBUGGING) et chargez-la sur votre imprimante. En supposant que vous avez déjà un capteur d’écoulement (basé sur un commutateur), vous pouvez regarder les états des broches tout en basculant le capteur d’écoulement sur un off pour voir quelle broche change.

Nivellement du lit

Le nivellement du lit est une fonctionnalité standard sur de nombreuses imprimantes 3D. Cela élimine le travail de devinettes pour obtenir une bonne première couche et une bonne adhérence au lit.

Il est fortement recommandé d'aligner et de contraindre votre imprimante autant que possible avant d'utiliser le nivellement du lit, car il existe pour compenser les imperfections du matériel.

Pour tous les détails détaillés, veuillez lire la documentation « auto bedleveling » et la documentation G29 G-codes.

Avec le nivellement du lit activé:

- G28 désactivera le nivellement du lit (mais préserve vos données de nivellement). Vous pouvez activer pour maintenir le nivellement dans son état précédent. « RESTORE_LEVELING_AFTER_G28 »
- G29 sondera automatiquement le lit ou vous guidera pour faire un test papier à différents endroits. Après la mesure, il calcule une grille ou une matrice de correction et permet une compensation de nivellement. Le comportement spécifique dépend de la configuration et du type de nivellement du lit.
- Le M500 enregistrera les données de nivellement du lit dans l'EEPROM, M501 va le charger, M502 l'effacera et M503 le signalera.
- M420 S<bool> peut être utilisé pour activer/désactiver le nivellement du lit. Par exemple, M420 S1 doit être utilisé après M501 pour activer le maillage ou la matrice chargé, et pour réactiver le nivellement après G28, ce qui désactive la compensation de nivellement.
- Un élément de menu « Lit de niveau » peut être ajouté à l'écran LCD avec l'option « LCD_BED_LEVELING »

```
//#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
//#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
//#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
//#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
//#define MESH_BED_LEVELING
```

Activez un seul type de nivellement de lit.

- « AUTO_BED_LEVELING_3POINT » sonde trois points dans un triangle. Le plan plat donne une matrice de transformation adaptée pour compenser un lit plat mais incliné.
- « AUTO_BED_LEVELING_LINEAR » sonde le lit dans une grille. Une matrice de transformation est produite par la méthode des moindres carrés pour compenser un lit plat mais incliné.
- « AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR » sonde le lit dans une grille, avec subdivision « Catmull-Rom » en option. Les données de maillage sont utilisées pour ajuster la hauteur Z sur le lit à l'aide d'une interpolation bilinéaire. Bon pour les lits delta, grands ou inégaux.
- « AUTO_BED_LEVELING_UBL » (recommandé) combine les caractéristiques du nivellement à 3 points, linéaire, bilinéaire et maillé. Comme pour le nivellement bilinéaire, les données de maillage générées par UBL sont utilisées pour ajuster la hauteur Z sur le lit à l'aide de l'interpolation bilinéaire. Un contrôleur LCD est actuellement requis.
- « MESH_BED_LEVELING » fournit une commande G29 personnalisée pour mesurer la hauteur du lit à plusieurs points de la grille à l'aide d'une feuille de papier ou d'une jauge de palpeur.

Carte SD :

```
#define SDSUPPORT
```

Permet d'utiliser l'impression SD, que ce soit dans le cadre d'un contrôleur LCD ou en tant qu'emplacement « SDcard » autonome.

Éléments de menu LCD

```
//#define NO_LCD_MENUS
//#define SLIM_LCD_MENUS
```

Désactivez tous les menus et affichez uniquement l'écran d'état avec, ou supprimez simplement certains éléments de menu superflus pour récupérer de l'espace avec : « NO_LCD_MENUS, SLIM_LCD_MENUS »

3.3 Logiciel de tranchement « Simplify3D »:

Le logiciel Simplify3D contient tout ce qui est nécessaire pour commencer à faire des pièces avec l'imprimante 3D. Il permet d'importer et manipuler la géométrie, créer des modèles de réparation, de générer des instructions G-Code.

Simplify3D est une suite logicielle intégrée qui contient tout le nécessaire pour imprimer des pièces de grande qualité. Réparation de modèles, optimisation du nombre de matériaux et de mouvements. Les paramètres personnalisables peuvent atteindre une qualité inégalée grâce au logiciel "fabricant". Il permet de créer des supports pour les imprimantes double extrudeuse, ou d'imprimer plusieurs pièces voire plusieurs fois au sein d'une même pièce.

Le logiciel permet une vue d'ensemble de chaque action du parcours grâce à un simulateur d'impression interactif. Avant de l'imprimer, vous pourrez vérifier tous les aspects de la construction à l'écran pour identifier les améliorations. Visualisez les résultats des modifications en quelques secondes sans perdre de temps d'impression et de consommables.

Les points forts

- Logiciel complet et professionnel
- Interface en français
- Génération rapide de G-code
- Supports solubles optimisés
- Nombreux modes avancés

3.3.1 Pratique avec Simplify3D :

Simplify3D prend en charge les styles de machines de robot cartésien et delta, y compris une très longue liste d'imprimantes 3D personnelles communes préconfigurées.

La fenêtre de l'interface principale offre une belle vue 3D de la table de construction, où vous pouvez voir exactement comment votre modèle est positionné. Les modèles peuvent être visualisés de n'importe quelle direction et dans une variété de modes visuels. Les capacités de visualisation sont similaires à celles trouvées dans un package de modélisation 3D complet. Vous verrez également une liste de tous les modèles 3D importés et des processus actifs, découpant votre modèle.

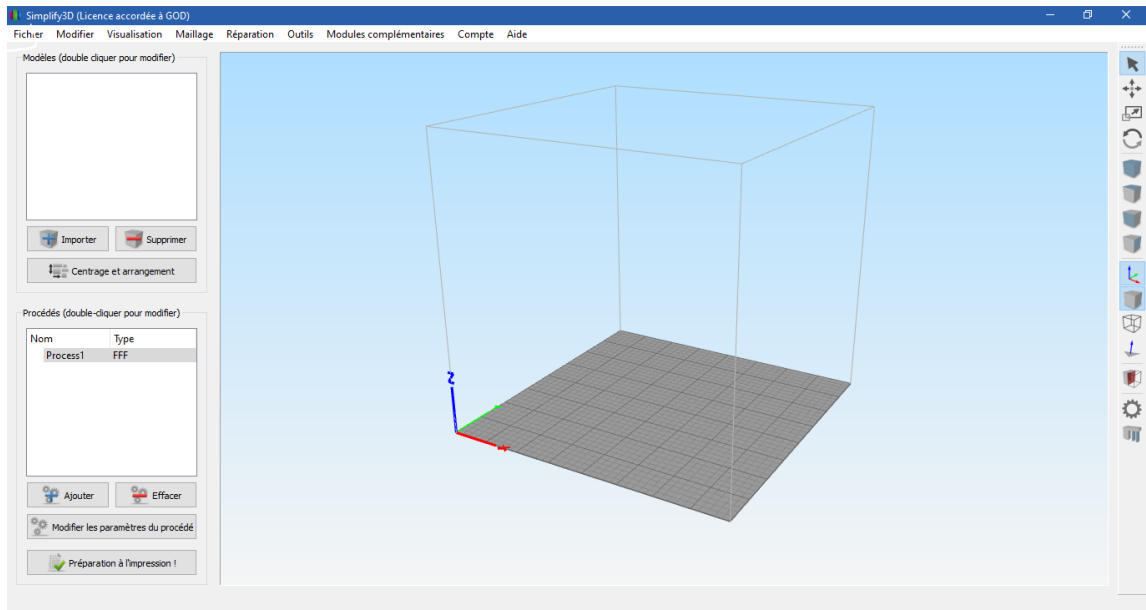


Figure 41: La fenêtre de l'interface principale Simplify3d

L'une des nombreuses fonctionnalités uniques de Simplify3D est la possibilité de visualiser les coupes transversales d'un modèle sur n'importe quel axe, ce qui atténue le problème des formes complexes.

Définition des dimensions des processus sur Simplify3D :

Simplify3D propose un outil de découpe permettant de visualiser le modèle 3D importé en vue en coupe afin d'appliquer différents profils de configuration à la même pièce

Par exemple, nous pouvons utiliser une statuette à laquelle nous voulons appliquer un profil d'impression assez dense sur la partie inférieure pour créer un socle solide et stable (figure 42).

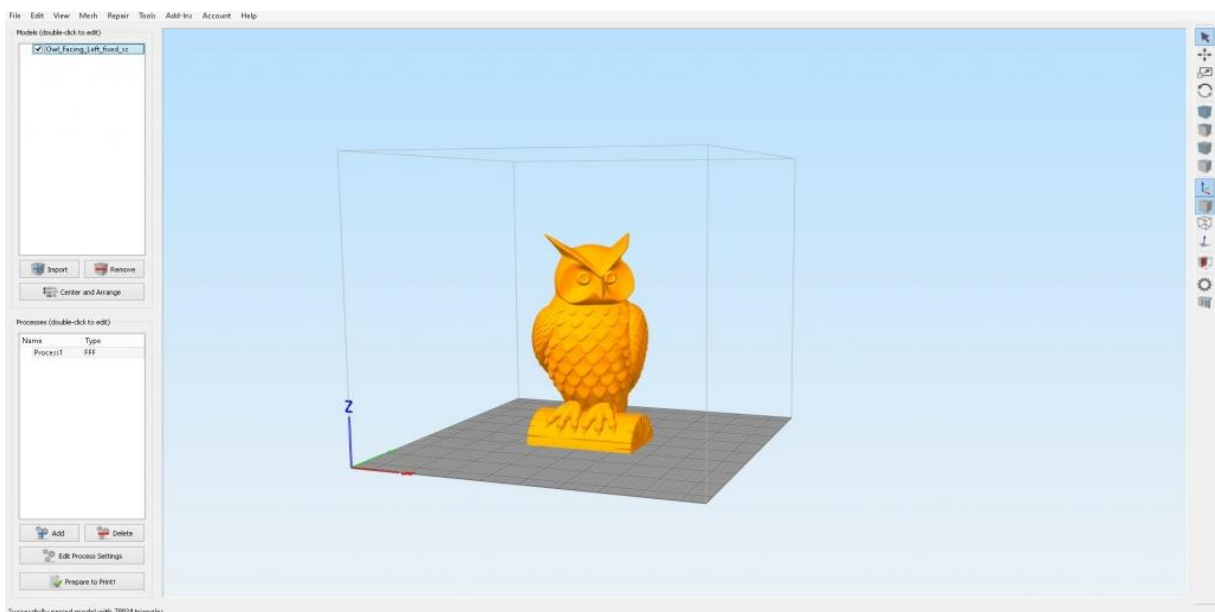


Figure 42: exemple d'une statuette

Afin de trouver la hauteur la plus adaptée à notre changement de paramétrage, nous allons utiliser l'outil de visualisation « Cross Section View » accessible depuis la barre d'outils latérale à droite de Simplify3D.

Il suffira donc ensuite de déterminer l'axe sur lequel effectuer cette découpe. Dans notre cas, il s'agira de l'axe Z. Puis, nous désignerons la hauteur voulue.

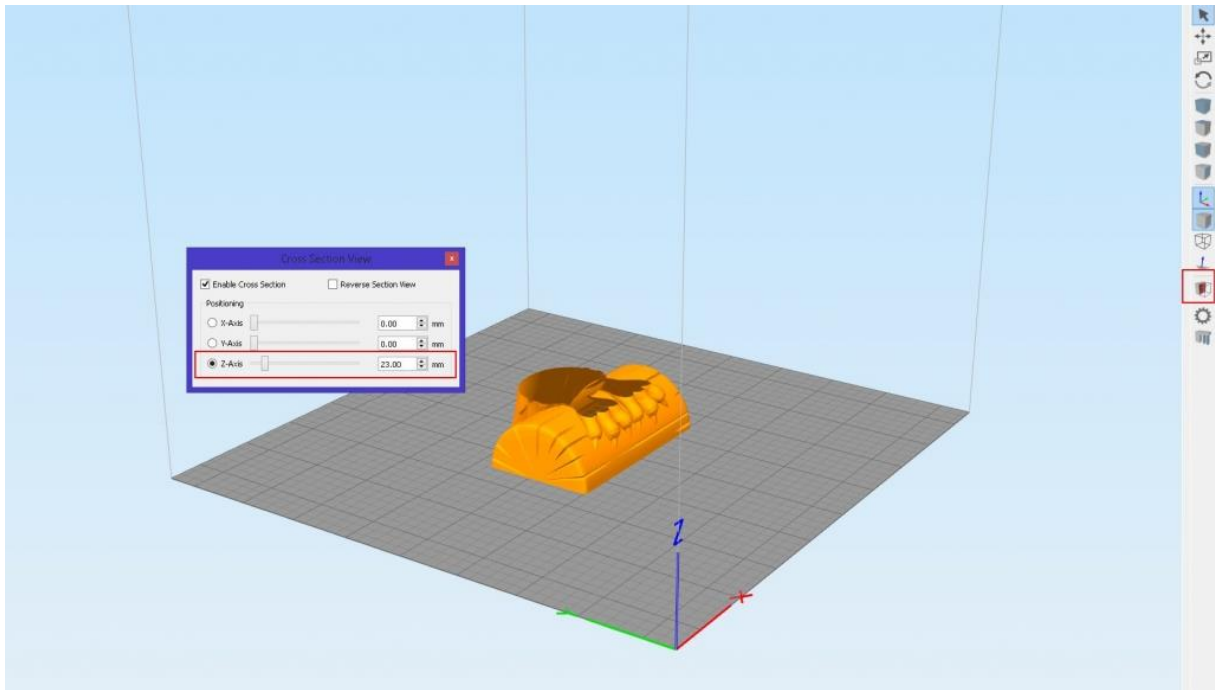


Figure 43: outil de visualisation sur Simplify3D

Comme il est possible de le voir sur la figure 43, la découpe optimale serait à 23mm de hauteur.

Délimiter le volume d'application des processus Simplify3D

Maintenant que nous connaissons la valeur à laquelle notre processus Simplify3D doit s'arrêter pour le socle de la statuette, nous allons pouvoir procéder au paramétrage de celui-ci.

L'édition du processus Simplify3D s'effectuera simplement en double cliquant dessus. Afin d'augmenter la densité de la pièce à cet emplacement, nous pouvons augmenter le taux de remplissage de cette partie de la pièce à 60% par exemple.

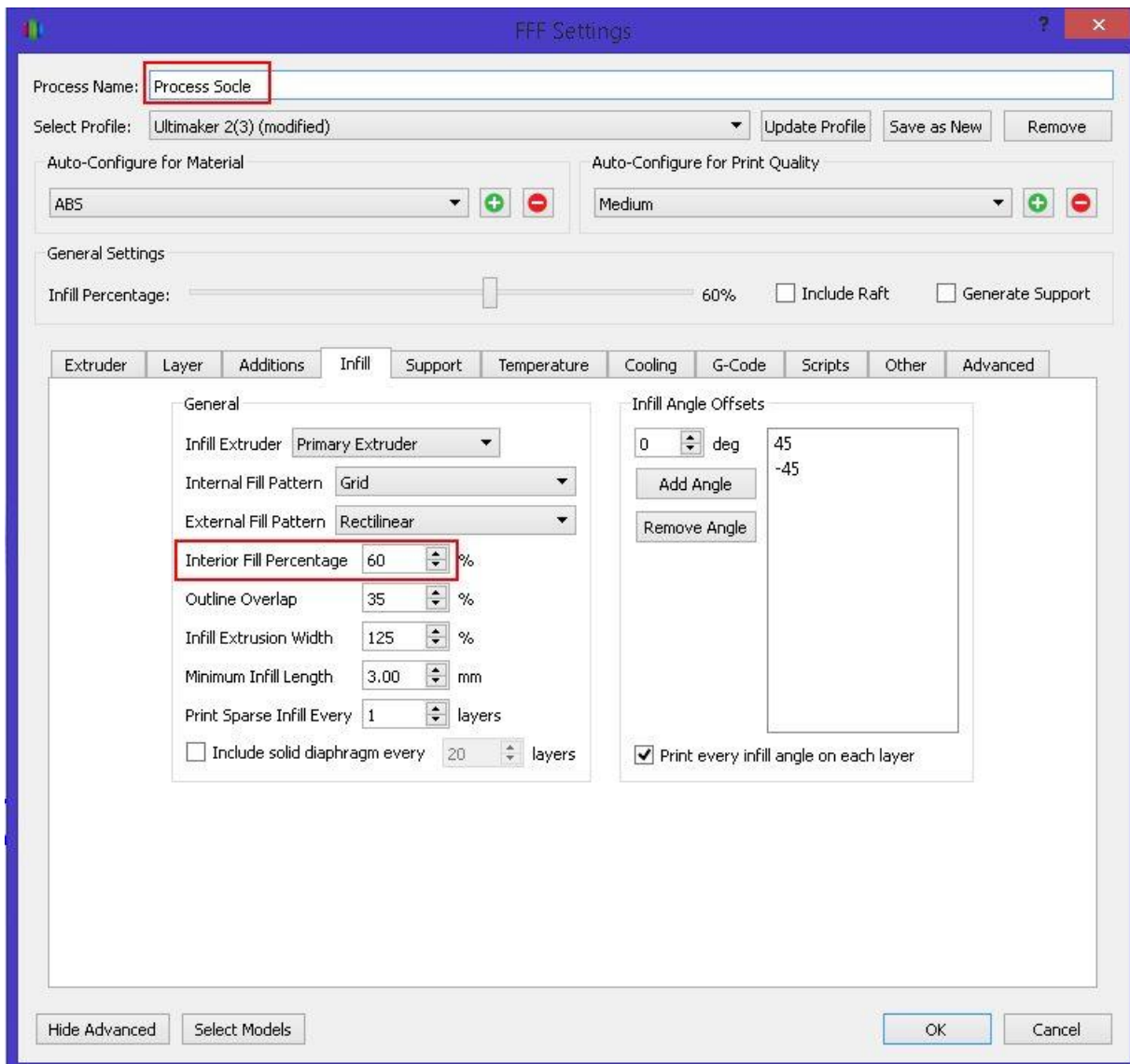


Figure 44: délimitation de volume d'application sur Simplify3D

Maintenant que le taux de remplissage de socle est modifié, nous allons pouvoir délimiter le processus Simplify3D.

Il suffira donc d'accéder à l'onglet « Advanced » dans l'éditeur de processus afin d'ajuster la hauteur maximale jusqu'à laquelle le profil de configuration devra s'appliquer. La première option « Layer Modification » permet donc de définir la hauteur de construction à partir de laquelle le processus Simplify3D s'applique et la hauteur de construction à laquelle il se termine.

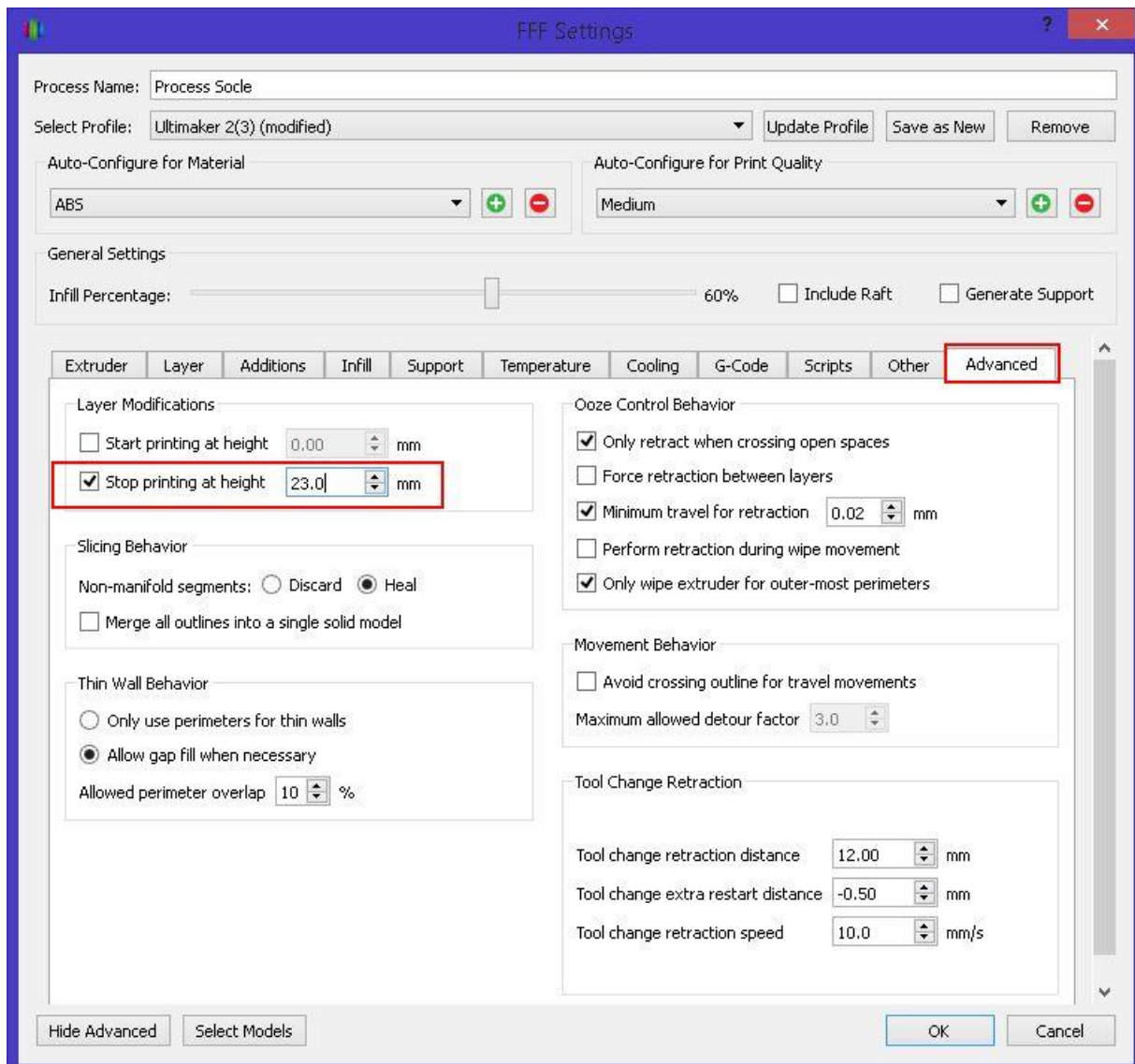


Figure 45: délimitation de la hauteur de construction

Maintenant la valeur de 23mm sera utile et sera renseignée dans le champ « Stop printing at height». Le processus de configuration s'appliquera donc bien sur les 23 premiers millimètres de l'impression.

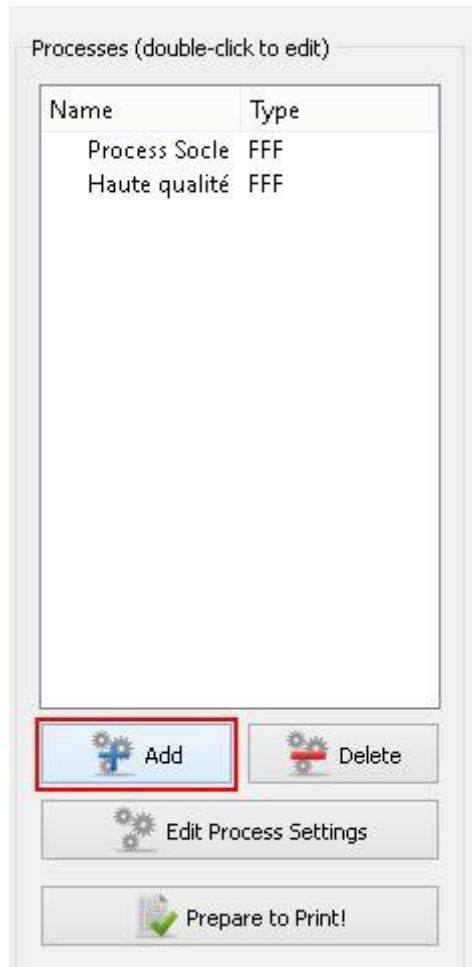


Figure 46: paramètre d'ajout de processus

Pour ajouter un second processus axé sur la qualité de l'état de surface pour le corps de la statuette en cliquant sur le bouton « Add » dans la fenêtre de gestion des processus sur la gauche de Simplify3D.

Une fois ce processus ajouté, il s'agira de le paramétrer afin d'obtenir le meilleur état de surface possible. Cela inclut donc une diminution de l'épaisseur des couches, une réduction de la vitesse d'impression et un taux de remplissage plus faible pour limiter le temps d'impression.

Mais afin que ce processus Simplify3D n'écrase pas les paramètres du précédent « Process socle », il sera primordial d'ajuster les valeurs de démarrage du processus pour éviter tout conflit.

C'est ainsi que nous définirons le champ « Start printing at height » à 23.00mm afin de prendre le relais du premier processus concernant le socle et définirons la fin de ce processus à 101.00mm afin de laisser la possibilité de créer un processus d'impression plus rapide pour la tête de la statuette nécessitant moins de précision.

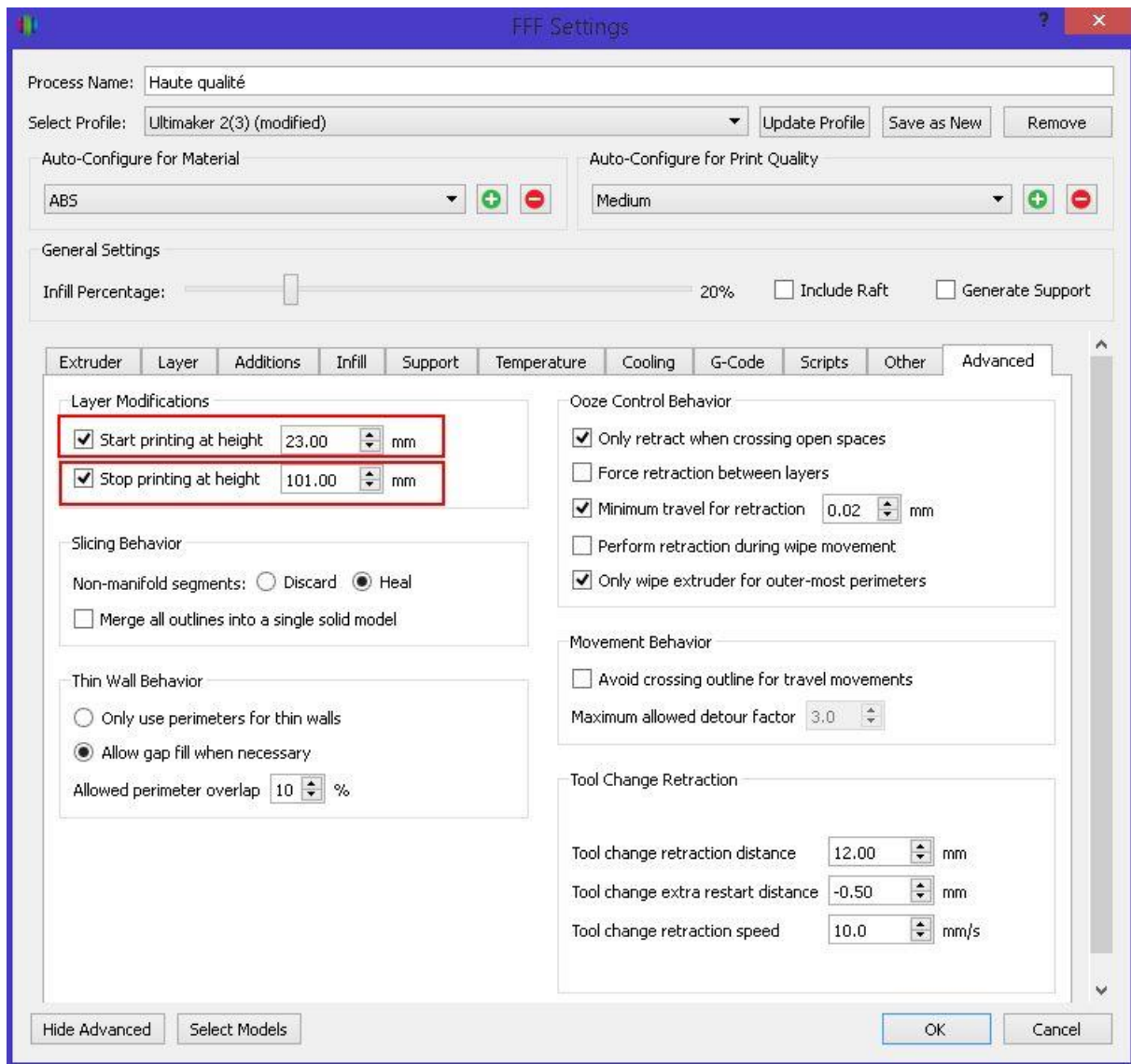


Figure 47: paramétrage de l'impression 3D

Afin de terminer le paramétrage de l'impression 3D, il sera maintenant nécessaire de créer un processus de clôture de la pièce. En effet, si aucun processus ne vient « terminer » la pièce, l'impression de celle-ci s'arrêtera là où se termine le processus atteignant la plus grande hauteur c'est-à-dire 101.00mm.

Nous allons donc pouvoir maintenant créer un simple processus commençant à 101.00 mm et n'ayant pas de limite de hauteur d'impression. Cela permettra donc de terminer l'impression de la statuette.

Imprimer plusieurs pièces avec des processus différents sur Simplify3D

Enfin, l'autre possibilité offerte par Simplify3D, concernant l'impression multiprocessus, consiste à imprimer plusieurs pièces différentes sur le même plateau avec des profils de configuration différents.

Afin d'utiliser cette possibilité, il suffira de sélectionner le modèle importé sur lequel nous voulons appliquer le processus Simplify3D lors de la configuration de celui-ci.

Dans cet exemple, nous allons appliquer le profil de configuration « A » à la pièce à imprimer se nommant « 1 » et le profil de configuration « B » avec la pièce « 2 ».

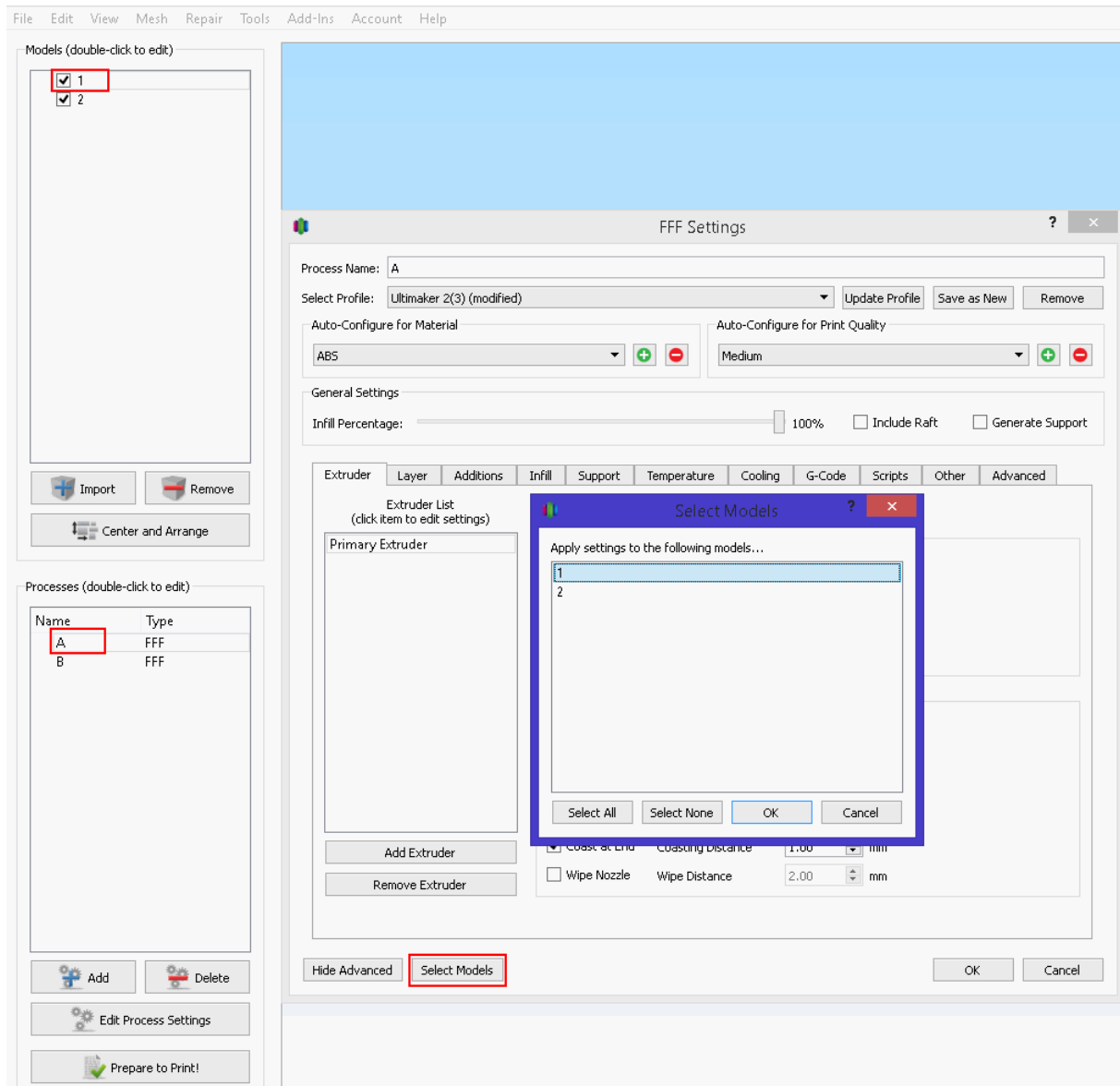


Figure 48: paramètre d'impression de plusieurs pièces

Pour ce faire, il sera nécessaire de cliquer sur l'option « Select Models » située bas à gauche de la fenêtre de configuration du processus puis de choisir la pièce sur laquelle appliquer le processus.

Attention, tout comme le processus créé pour imprimer la tête de la statuette et ainsi clore l'impression dans l'exemple précédent, il sera nécessaire qu'au moins un processus de

configuration soit appliqué à une pièce pour que celle-ci puisse être imprimée, sinon celle-ci ne sera pas considéré par l'imprimante 3D et donc totalement absente.

3.3.2 Fichiers de modèle 3D (STL) :

La première étape du flux de travail Simplify3D consiste à importer le modèle 3D à imprimer. Ce fichier est généralement exporté depuis un programme de CAO ou téléchargé depuis un site web qui fournit des fichiers de conception 3D. Le type de fichier le plus courant pour ces modèles 3D est le fichier STL (stéréolithographie), mais Simplify3D supporte également les fichiers OBJ et 3MF.

Ces fichiers contiennent des informations sur le modèle 3D à créer. Ils définissent les limites et la forme de modèle 3D à l'aide de centaines de triangles qui définissent la surface de la pièce. On peut réellement voir ces triangles individuels dans Simplify3D en important le modèle et ensuite aller voir « Wireframe ».

3.3.3 Manipulation de modèle 3D

Le logiciel offre des raccourcis rapides pour manipuler rapidement et facilement le modèle à l'écran. S'il y a plusieurs modèles sur la table de génération, ces raccourcis affecteront le modèle actuellement sélectionné. Il est possible également de sélectionner plusieurs modèles à la fois en maintenant la touche Maj enfoncée.

Il existe quatre modes différents pour manipuler les modèles. En utilisant les touches Q, W, E et R, on peut rapidement basculer entre les différents modes.

- Q: Sélectionner des modèles
- L : Déplacer des modèles sur la plaque de construction
- E : Modèles réduits
- R: Faire pivoter les modèles

Bien que ces raccourcis soient parfaits pour des ajustements visuels rapides, on peut rencontrer une situation où on a besoin d'un décalage de positionnement exact ou on doit faire pivoter le modèle sur un axe différent. Dans ce cas, on devra accéder à la fenêtre Paramètres du modèle en double-cliquant sur le modèle (ou en double-cliquant sur le nom du modèle dans la liste des modèles). La fenêtre Paramètres du modèle offre des rotations numériques, une mise à l'échelle et des décalages exacts. Utilisant les flèches haut-bas pour ajuster facilement un modèle.

Au fur et à mesure qu'on apporte des modifications, on verra l'impact de chaque ajustement à mesure que le modèle réagit et se déplace sur la table de génération. Appuyant sur Enregistrer pour appliquer ces modifications au(x) modèle(s) sélectionné(s). Notez qu'on peut également modifier le nom complet de modèle via cette fenêtre.

Sous le menu Edition de la barre d'outils supérieure, il existe des options pour de nombreuses fonctionnalités principales dont les utilisateurs auront besoin lors de la manipulation de leurs modèles 3D, telles que Annuler/Rétablir, Sélectionner tout, Copier, Coller, Grouper/Dissocier, Centrer et organiser les modèles, Déposer le modèle sur le tableau, Placer la surface sur le lit, etc. Voici quelques raccourcis clavier couramment utilisés (notez que Control est utilisé pour Windows et Command pour Mac ou Linux) :

- Défaire: Ctrl/Commande + Z
- Sélectionnez Tout : Contrôle/Commande + A
- Sélection de copie : Contrôle/Commande + C
- Sélection de collage : Contrôle/Commande + V
- Supprimer la sélection : « Backspace »
- Centrer et organiser les modèles : Ctrl/Commande + R
- Déposer le modèle dans la table : Contrôle/Commande + T
- Placez la surface sur le lit: Contrôle/Commande + L

En plus de ces raccourcis et des autres options situées dans le menu Edition, on peut utiliser le menu Maillage pour effectuer des actions telles que Maillage miroir, qui reflétera le modèle sur le plan X, Y ou Z.

3.3.4 Fichiers FFF: comment votre modèle sera imprimé

Après avoir importé le modèle 3D, l'étape suivante consiste à configurer les paramètres qui déterminent comment la pièce sera découpée et imprimée sur la machine. Vous pouvez le faire en cliquant sur "modifier les paramètres du processus" dans la fenêtre principale de Simplify3D. Simplify3D permet de charger différents paramètres pour différentes imprimantes ou d'enregistrer des paramètres personnalisés afin que vous puissiez les recharger plus tard.

Simplify3D enregistre chacun de ces profils d'imprimantes sous forme de fichier FFF. Vous pouvez afficher ce fichier en allant dans fichier > exporter le profil FFF, puis en sélectionnant

le profil que vous souhaitez exporter. Le fichier FFF est un fichier XML en texte clair, vous pouvez donc facilement ouvrir ce fichier dans un éditeur de texte si vous êtes curieux de savoir ce qui est sauvegardé.

3.3.5 Fichiers toolpath : Instructions pour l'imprimante :

Simplify3D «tranche» le modèle 3D en centaines de couches minces. Il génère les instructions exactes pour chaque couche afin que l'imprimante sache comment construire cette partie du modèle. Toutes ces instructions sont combinées dans un seul fichier toolpath qui indique à l'imprimante où se déplacer, à quelle vitesse se déplacer, quelle quantité de plastique extruder, quelle température utiliser, etc. On peut ensuite transférer ces fichiers toolpath sur l'imprimante 3D pour commencer l'impression.

Lorsque la création ces fichiers de chemin d'outil dans Simplify3D est prête, on clique sur «préparer à imprimer», et le modèle sera coupé dans les calques individuels et les instructions de chemin d'outil. Nous serons en mesure d'inspecter un aperçu réaliste de ces instructions afin que nous puissions voir exactement comment notre pièce sera construite, puis nous avons deux options:

1) commencez à imprimer sur USB, ou 2) enregistrez les chemins d'outils sur le disque.

3.3.6 Impression de plusieurs pièces avec l'assistant double Extrusion :

L'assistant double Extrusion facilite grandement la mise en place d'une impression double Extrusion. Pour commencer, allons dans aide > Assistant de Configuration et assurons-nous que notre profil d'imprimante est chargé. Ensuite, importons les modèles que nous souhaitons bi-extruder dans Simplify3D. Pour cet exemple, nous utiliserons le modèle « traffic cone » de « CocoNut ». Ensuite, allons dans outils > « Dual Extrusion Wizard » et configurons nos paramètres:

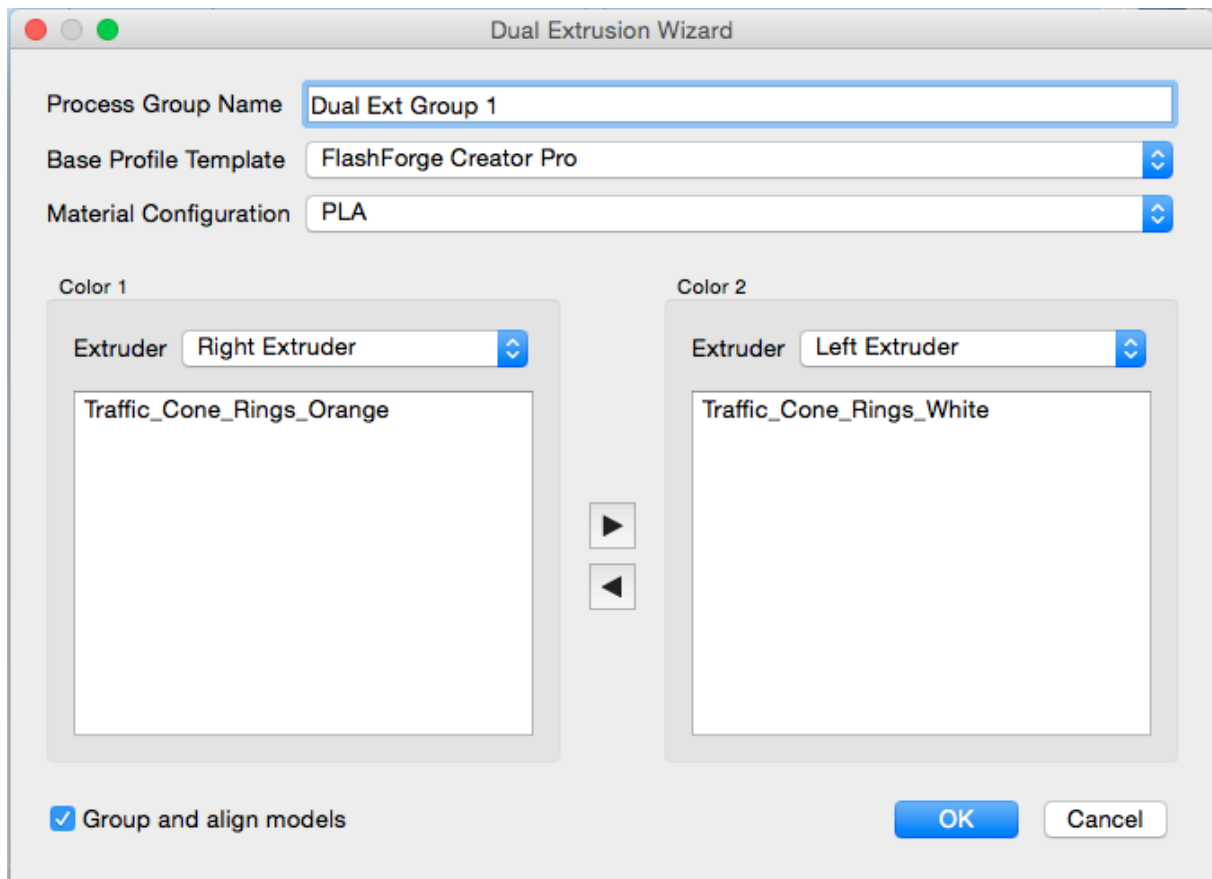


Figure 49: Paramètre de double extrusion

Nom du groupe de processus: ce sera le nom des processus groupés.

Modèle de profil de base: sélectionnons l'imprimante dans la liste avec laquelle nous effectuerons une double extrusion. Si l'imprimante n'apparait pas, il faudrait la chercher dans aide > Assistant de Configuration et chargeons notre profil d'imprimante dans le logiciel.

Configuration des matériaux: sélectionnons le matériau que nous utiliserons pour imprimer, ce qui s'appliquera aux deux extrudeuses. Les options par défaut sont PLA, ABS, Nylon, PVA, et PLA (droite)/PVA (gauche). Cliquons simplement sur l'icône plus à côté de la configuration automatique pour le matériel dans la fenêtre des paramètres FFF pour configurer nos propres paramètres de matériel.

Après avoir appuyé sur OK dans l'assistant double Extrusion, le logiciel créera automatiquement deux processus groupés. Lorsque deux processus ou plus sont regroupés ensemble, les paramètres avec la même valeur pour tous les processus regroupés seront liés ensemble de sorte que toute modification ultérieure de ces paramètres sur un processus s'appliquera automatiquement au reste. Par conséquent, changer le pourcentage de remplissage dans un processus le changera pour les deux processus. Si nous souhaitons

modifier un paramètre pour un seul des processus, nous devons d'abord dégroupier les processus (« edit »> ungroup Sélection).

Sélection préparez-vous à imprimer ; Coupe les modèles et charge le « G-Code previewer ». Lors de l'affichage du prévisualiseur G-Code, il est conseillé de régler l'option de coloration sur « Active Toolhead » pour pouvoir voir le prévisualiseur G-Code coloré correctement. Par défaut, les profils configurés pour la double extrusion auront la fonction de bouclier de suinte activée. Cela permettra de s'assurer que les fuites et les suintes pendant l'impression s'effacent sur le bouclier plutôt que sur les modèles.

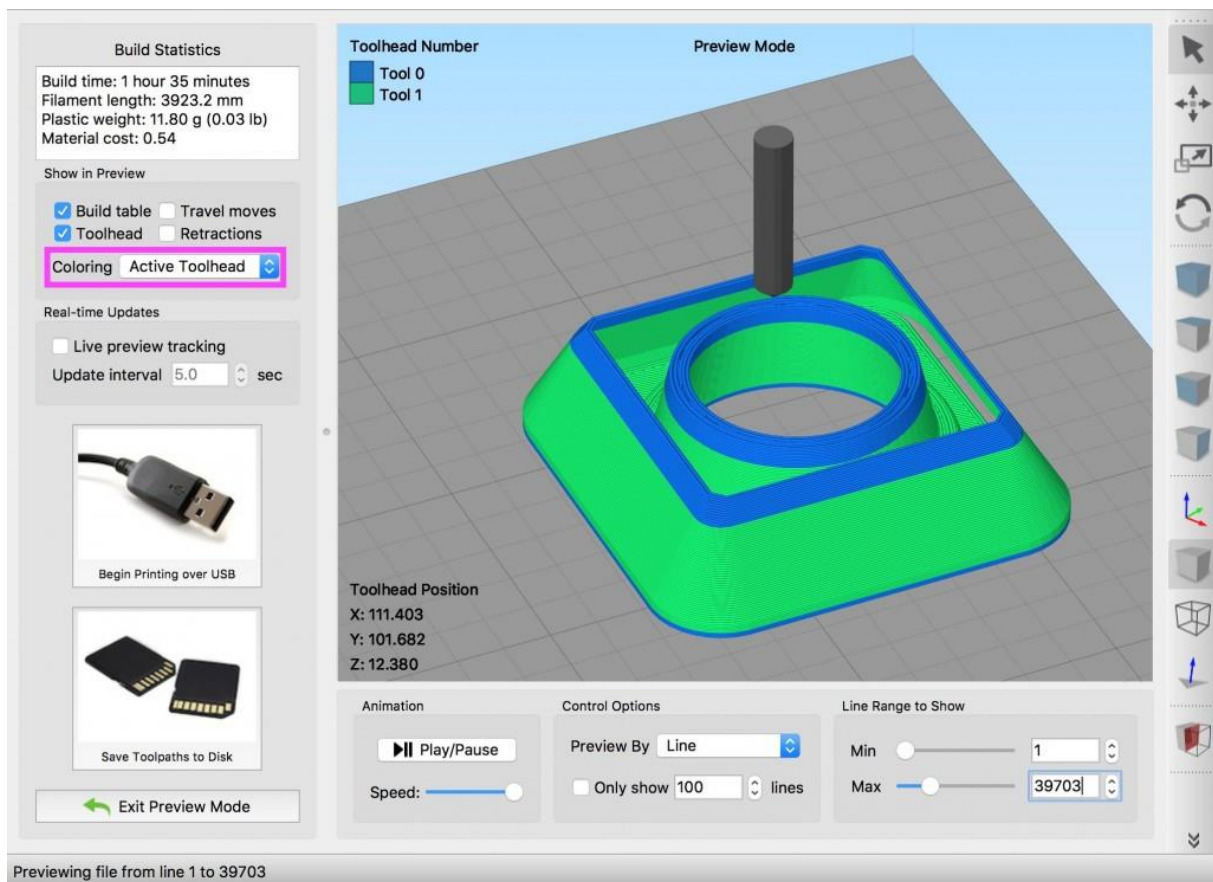


Figure 50: réglage de l'option de coloration de prévisualiseur G-code

3.3.7 Utilisation de la mise à niveau automatique du lit dans simplifier 3D :

Pour activer le nivellement automatique du lit, nous devons éditer le profil de l'imprimante 3D. Téléchargeons le profil Simplify3D stock pour la machine en allant à aide > Assistant de Configuration depuis le logiciel. Une fois le profil chargé, cliquons sur «modifier les paramètres du processus», allons dans l'onglet Scripts et sélectionnons le script de démarrage. Ce script définit les actions que notre imprimante 3D effectuera au début de chaque impression. Nous allons ajouter la commande G29 à ce script, qui demande à l'imprimante d'effectuer le processus de mise à niveau automatique. Cependant, gardons à l'esprit que

l'imprimante doit effectuer une opération de homing normale avant de commencer le processus de nivellement automatique. Assurons-nous de placer la commande G29 après la dernière commande G28 (homing command) dans notre script de départ. La capture d'écran ci-dessous montre un exemple de profil qui est correctement configuré pour le nivellement automatique du lit.

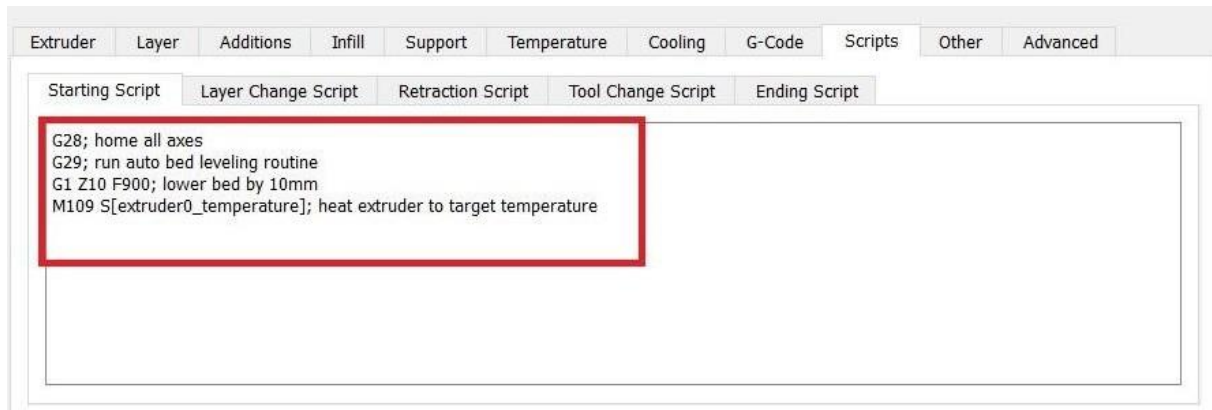


Figure 51: utilisation de la mise à niveau automatique

Après avoir apporté ces modifications, continuons et enregistrons les nouveaux paramètres de notre imprimante. Pour tester si les modifications ont réussi, lançons une nouvelle impression sur l'imprimante 3D et vérifions que le processus de nivellement automatique du lit s'exécute au début de l'impression.

Le processus de nivellement automatique est principalement contrôlé par le firmware, de sorte que les emplacements exacts où la sonde se déplace sont déjà prédéfinis sur la machine.

3.3.8 Comment ajouter des Supports

Lorsque nous rencontrons un modèle qui nécessite du matériel de support, Simplify3D facilite son ajout à l'impression. Commençons par importer un modèle dont nous savons qu'il aura besoin de support. Nous utiliserons la statue Moai comme modèle. En regardant ce modèle, il est clair qu'il y a plusieurs zones qui vont probablement violer notre limite d'angle de 45 degrés. Ajoutons un nouveau processus FFF, ou éditons un processus existant, afin d'imprimer le modèle Moai. Pour ajouter du matériel de support pour ce modèle, ouvrons les paramètres de notre processus FFF et activons l'option générer du matériel de support et on remarque que le logiciel a déjà ajouté les structures de soutien nécessaires pour le nez, le menton, les sourcils et les oreilles.

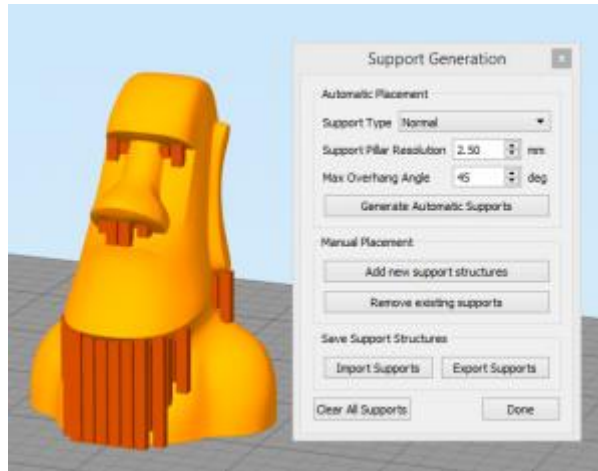


Figure 52: structure de soutien de model

3.3.8.1 Comment modifier l'endroit où le matériel de Support est placé

Le logiciel rend ce processus extrêmement facile, mais il offre également des options supplémentaires. Pour ce faire, nous devons d'abord revenir à la vue du model. Si nous avons déjà regardé un aperçu du G-Code ligne par ligne, nous assurons de quitter l'aperçu pour regarder le modèle numérique brut de la statue Moai. Pour ouvrir la barre d'outils de génération de support, allons à outils > personnaliser les Structures de support, ou cliquons sur la toute dernière icône dans la barre d'outils sur le côté droit de l'écran.

La barre d'outils de génération de soutien se compose de plusieurs sections. La section supérieure contient toutes les options de génération de support automatique qui permettent au logiciel de nous donner une recommandation sur les endroits où il pense que le matériel de support est nécessaire. Nous pouvons également changer le Type de Support de Normal à « fromBuild Platform Only », ce qui ne générera que des supports qui touchent la plaque de construction, ce qui peut être utile si les supports générés sont piégés dans la pièce ou autrement difficiles à enlever. Une fois que nous sélectionnons une option, appuyons sur le bouton générer des Supports automatiques. Cela produira un aperçu des structures de support recommandées en fonction de l'angle de surplomb que nous spécifions. Cet aperçu montre une série de piliers verticaux qui représentent où les structures de soutien seraient nécessaires. L'impression actuelle utilisera toujours le même motif de sangle en avant et en arrière que nous avons vu plus tôt dans l'aperçu G-Code. La seule autre option dans cette section est la résolution des piliers de soutien, qui détermine la taille de chaque pilier de soutien individuel.

La section suivante de la barre d'outils de génération de support inclut quelques options qui nous aideront à ajouter ou supprimer manuellement les emplacements de matériel de support existant. Nous pouvons combiner ces outils pour obtenir la disposition de matériel de support

parfait pour notre modèle. Nous pourrions vouloir enlever le matériau de support sous le nez de la statue Moai, pour ce faire, nous appuyons simplement sur le bouton "supprimer les supports existants", puis cliquons avec le bouton gauche sur les piliers de support sur l'écran que nous souhaitons supprimer. Si nous souhaitons ajouter du matériel de support dans de nouveaux domaines du modèle nous cliquons sur le bouton "ajouter de nouvelles structures de soutien" puis cliquons sur les endroits où nous souhaitons que les nouveaux piliers de soutien soient placés.

3.3.9 Génération de G-code :

L'algorithme du logiciel Simplify3D génère un code G 10 à 20 fois plus rapide que les logiciels d'impression 3D actuels. Même les pièces les plus complexes et les plus lourdes peuvent être coupées en quelques secondes au lieu de quelques minutes.

Lors de découpage du modèle dans Simplify3D, le logiciel génère automatiquement les commandes de code G nécessaires pour terminer l'impression. Nous pouvons afficher ces commandes en cliquant sur "Enregistrer le chemin de l'outil sur le disque", en sélectionnant l'emplacement du fichier sur le disque dur, puis en ouvrant le fichier G-code dans un éditeur de texte tel que le Bloc-notes ou « TextEdit ».

Après avoir ouvert le fichier G-code dans un éditeur de texte, nous remarquerons que chaque commande est généralement répertoriée sur une ligne distincte. Le début de la ligne nous indique de quel type de commande il s'agit, puis il peut y avoir plusieurs paramètres supplémentaires.

Lettre	Signification
Gnnn	Commande G Code Standard, Déplacement d'un ou plusieurs axes.
Mnnn	Commande défini pour les RepRap, M106 Pour allumer le ventilateur.
Tnnn	Sélectionner un outil nnn. En RepRap, outils et extrudeuse.
Snnn	Commande de paramètre, Le Temps ; Les températures; La tension à envoyer aux moteurs.
Pnnn	Commande de paramètre, En millisecondes; Comme le Proportionnel Intégral Dérivé proportionnel (Kp).
Xnnn	Coordonnée X, généralement pour le faire bouger. Il peut être un nombre entier ou décimal.

Ynnn	Coordonnée Y, généralement pour le faire bouger. Il peut être un nombre entier ou décimal.
Znnn	Coordonnée Z, généralement pour le faire bouger. Il peut être un nombre entier ou décimal.
Innn	Paramètre - X-offset in arc move; intégral (Ki) in PID Tuning
Jnnn	Paramètre - Y-offset in arc move.
Dnnn	Paramètre- Utilisé pour le diamètre ; dérivé (Kd) pour le réglage du PID.
Hnnn	Paramètre - Utilisé pour la chauffe de la résistance pour le PID.
Fnnn	Paramètre en mm/secondes. (Vitesse de déplacement de la tête d'impression)
Rnnn	Paramètre - Utilisé pour la température
Qnnn	Paramètre - pas utilisé actuellement
Ennn	Longueur de la matière extrudée. Il est identique à X, Y et Z, mais il correspond à la longueur de filament à extruder.
Nnnn	N° de ligne. Utilisé pour demander la transmission de répétition dans le cas d'erreurs de communication.
*nnn	Checksum. Utilisé pour vérifier les erreurs de communication.

Tableau 14: significations des lettres dans G-code

Ressemblantes fichiers d'impression 3D, voici la liste des 10 commandes les plus courantes que nous devons connaître :

3.3.9.1 Les 10 commandes G-Code les plus courantes pour l'impression 3D

G28-exécuter la routine de référence

Cette commande indique à l'imprimante d'effectuer sa séquence de prise d'origine, qui déplacera la tête de l'outil vers le bord éloigné de la machine jusqu'à ce qu'elle touche les butées à ces emplacements. La plupart des fichiers d'impression démarrent avec cette commande afin que l'imprimante démarre à partir d'un emplacement connu. C'est aussi un moyen utile de déplier rapidement l'arbre, ce qui est très utile en fin d'impression, pour retirer nos pièces.

G28 - Exécuter la routine de référencement

Cette commande indique à l'imprimante d'exécuter sa séquence de référencement, qui déplace la tête d'outil vers les bords éloignés de la machine jusqu'à ce qu'elle entre en contact avec les

butées à ces emplacements. La plupart des fichiers d'impression commenceront par cette commande afin que l'imprimante démarre à partir d'un emplacement connu. C'est aussi un moyen utile pour écarter rapidement un axe, ce qui peut être utile à la fin d'une impression pour pouvoir retirer notre pièce.

Arguments :

Si aucun argument n'est fourni, la machine accueille les 3 axes. Nous pouvons également spécifier les axes exacts que vous souhaitez utiliser en ajoutant un X, Y ou Z à la commande.

Exemple d'utilisation :

G28 : accueil tous les axes (X, Y and Z).

G28 X Y : accueil les axes X et Y.

G28 Z : accueil l'axe Z.

G90 et G91 - Définir le mode de positionnement

Les imprimantes peuvent utiliser un positionnement absolu ou relatif. Le positionnement absolu signifie que nous dirons à notre imprimante 3D de déplacer les coordonnées XYZ précises. Utilisez le positionnement relatif lorsque vous souhaitez indiquer à l'imprimante à quelle distance de la position actuelle. Envoyez la commande G90 pour indiquer à l'imprimante d'utiliser le positionnement absolu, ou envoyez G91 pour le positionnement relatif. La plupart des fichiers G-code peuvent utiliser un positionnement absolu, car le slicer a déjà déterminé les coordonnées XYZ exactes vers lesquelles se déplacer. Cependant, si vous ne connaissez pas la position précédente de la tête de coupe, ou si vous savez simplement que vous souhaitez déplacer la tête de coupe d'une certaine distance le long de l'axe, vous pouvez utiliser le positionnement relatif. G90 et G91 contrôlent le mode de positionnement des axes X, Y, Z,

Exemple d'utilisation :

G90 : utiliser le positionnement absolu pour les axes XYZ.

G1 X20 F3600 : passer à X-20mm.

G91 : utiliser le positionnement relatif pour les axes XYZ.

G1 X10 F3600 : déplacer 10mm vers la droite de l'emplacement actuel.

G1 – Mouvement linéaire

Cette commande représente probablement 95% des fichiers G-code. La commande G1 indique à notre imprimante de se déplacer en ligne droite jusqu'à la position que nous spécifions. Nous pouvons l'utiliser pour déplacer un seul axe ou plusieurs axes à la fois. L'extrudeuse est contrôlée comme n'importe quel autre arbre, nous pouvons donc également utiliser cette commande pour extruder ou rétracter le filament de la buse.

G92-définir la position actuelle.

Utilisez cette commande pour définir la position actuelle de l'axe. Ceci est utile si l'on veut modifier ou déplacer la position d'un des axes. L'une des utilisations les plus courantes de cette commande est en fait de l'utiliser avec votre axe DE (la position du filament).

Paramètre:

Spécifiez la coordonnée absolue de tout axe que nous souhaitons écraser. Nous pouvons inclure les axes X, Y, Z et E. Si vous n'incluez pas l'un de ces axes dans la commande, la position restera inchangée.

Exemple d'utilisation :

G92 E0 : régler la position actuelle du filament sur E0.

G1 E10 F800 : extruder 10 mm de filament.

M104 et M109 - Commandes de chauffage de l'extrudeuse

Utilisez ces commandes pour régler la température de l'extrudeuse. Commandez M104 pour démarrer le chauffage de l'extrudeuse, mais permettez-nous ensuite d'exécuter d'autres commandes immédiatement. La commande M109 attend en fait que la température requise soit atteinte avant de permettre à toute autre commande de s'exécuter.

Paramètre:

La valeur S spécifie la température de l'extrudeuse en degrés Celsius. Si vous avez plusieurs extrudeuses, vous pouvez utiliser la valeur T car elle vous permet de spécifier la température exacte de l'extrudeuse que vous souhaitez régler. Si vous avez un double extrudeuse, T0 est généralement l'extrudeuse droite et T1 est l'extrudeuse gauche. Si vous n'avez qu'une seule extrudeuse, vous pouvez généralement omettre complètement le paramètre T.

Exemple d'utilisation :

M104 S190 T0 : commencer à chauffer T0 à 190°C.

G28 X0 : accueil l'axe des X alors que l'extrudeuse chauffe encore.

M109 S190 T0 : attendre que T0 atteigne 190°C avant de continuer avec d'autres commandes.

M140 et M190 – Commandes de chauffage du lit

Utilisez ces commandes pour régler la température de la plate-forme de construction chauffée. La syntaxe est très similaire aux commandes M104 et M109 mentionnées ci-dessus. Envoyez la commande M140 pour commencer à chauffer le lit, mais laissez-nous exécuter d'autres commandes immédiatement après. La commande M190 attendra que la température du lit soit atteinte avant d'autoriser l'exécution d'éventuelles autres commandes. Veuillez garder à l'esprit que le lit chauffant de l'imprimante peut prendre quelques minutes pour atteindre une température élevée. Alors, ne soyez pas surpris si nous voyons l'imprimante s'éteindre en attendant la commande M190 pour terminer le lit chauffant. Étant donné que ce processus peut prendre du temps, il peut être judicieux de commencer à chauffer le lit avec la commande M140 au début de la routine. Cela vous permettra d'effectuer d'autres opérations pendant que le lit chauffe encore, comme le référencement ou le nettoyage des buses.

Comme les commandes M104 et M109, ces commandes de chauffage de lit peuvent varier en fonction du micro logiciel que nous utilisons. Si notre machine lit le fichier x3g, nous pouvons utiliser la commande M134 pour stabiliser notre lit au lieu de M190. Si vous utilisez une variante du firmware « FlashForge Dreamer » ou « Dremel », nous utiliserons la commande M7 pour stabiliser votre lit.

Paramètre:

La valeur S spécifie la température du lit en degrés Celsius. Il n'est généralement pas nécessaire d'argumenter davantage, car la plupart des machines n'ont qu'une seule plate-forme de construction chauffée.

Exemple d'utilisation :

M140 S50 : commencer à chauffer le lit à 50°C.

G28 : accueil tous les 3 axes alors que le lit est encore chauffant.

M190 S50 : attendre que le lit atteigne 50°C avant de continuer.

M106 – Définir la vitesse du ventilateur.

Cette commande nous permet de régler la vitesse du ventilateur de refroidissement des composants de l'imprimante. Il s'agit d'un ventilateur de refroidissement externe pour les pièces que nous imprimons. Veuillez garder à l'esprit que l'imprimante peut également avoir

un ventilateur d'extrudeuse pour aider à refroidir le mécanisme d'entraînement de l'extrudeuse, alors assurons-nous de vérifier d'abord le bon ventilateur.

Paramètre:

La valeur S définit la vitesse du ventilateur de refroidissement dans la plage de 0 (arrêt) à 255 (pleine puissance).

Exemple d'utilisation :

M106 S255 : régler le ventilateur à pleine vitesse

M106 S127 : régler le ventilateur à environ 50 % de sa puissance

M106 S0 : éteindre complètement le ventilateur

3.4 Envoyer / modifier des commandes G-Code

Si la machine accepte les fichiers G-code ordinaires comme la plupart des machines RepRap, alors un bon moyen de tester différentes commandes est de les envoyer manuellement une par une pour voir comment l'imprimante répond. Nous pouvons le faire dans Simplify3D en allant dans Outils> Panneau de configuration de la machine. Après être entré dans le panneau de commande de la machine, nous assurons que nous sommes connectés à l'imprimante 3D, puis utilisons l'onglet "Communication" pour envoyer une ligne de code G à notre imprimante. Nous entrons simplement la commande que nous voulons envoyer au bas de la fenêtre et cliquons sur le bouton envoyer. Les commandes mentionnées dans cet article ne sont pas permanentes, donc si nous voulons arrêter l'opération en cours par la machine ou revenir à un nouvel état, nous pouvons redémarrer l'imprimante à tout moment.

Une fois que nous nous sentons à l'aise avec les commandes, nous souhaiterions peut-être exécuter la même série de commandes avant ou après chaque impression. [30]

3.5 Un processus simplifié

Avant de commencer à imprimer, nous devons généralement créer des supports pour les objets avec des surfaces en porte-à-faux. Simplify3D nous permet de générer automatiquement ces supports de manière sophistiquée, mais nous pouvons également générer manuellement plus de contrôle sur les objets générés. En choisissant le plus petit angle par rapport au plan horizontal de la surface où seront placés les piliers et en définissant leurs dimensions, ces éléments de base pour l'impression de nombreuses pièces peuvent être générés au mieux.

Après avoir présélectionné l'imprimante dans la liste fournie, Simplify3D utilise par défaut toutes les caractéristiques liées à la machine : taille de la plaque, diamètre de l'extrudeuse, température de chauffage de la plaque et de la buse, en fonction du plastique. Le processus consiste ensuite à importer un ou plusieurs fichiers .STL ou .OBJ, à les placer sur la carte, à les orienter au maximum et à les redimensionner si nécessaire. Le processus de « slicing » nous permettra de réagir au code G et ainsi de le modifier en fonction de la couche Conseils logiciels.

Le logiciel contient de nombreuses fonctionnalités spécialement conçues pour améliorer la qualité d'impression des imprimantes à ces fonctionnalités à l'aide de l'assistant d'extrusion double intégré pour une configuration simple.

Personnalisation en plusieurs parties.

Simplify3d inclut un niveau de contrôle sans précédent pour l'impression en plusieurs parties. Ajuster l'ordre d'impression de chaque pièce, optimiser les paramètres utilisés pour différents modèles ou imprimer chaque objet un par un pour minimiser les déplacements.

Appliquer différents réglages à une même pièce.

Par rapport aux logiciels habituels, la configuration par département du logiciel Simplify3D est purement révolutionnaire : Nous pouvons appliquer différents paramètres à la même pièce.

Ainsi, nous pouvons renforcer certaines parties de nos pièces en appliquant un taux de remplissage de 50% et une paroi de 2 mm, et alléger d'autres parties avec un remplissage de 10% voire 0%.

Nous pouvons également augmenter la vitesse d'impression des parties les plus simples de l'objet à imprimer en 3D. Mais pour les pièces les plus fines et les plus détaillées, nous ralentissons pour obtenir le meilleur traitement de surface possible tout en réduisant le temps d'impression.

Cet outil peut optimiser le temps, la consommation de matière et la structure de nos pièces comme jamais auparavant.

Prévisualisation animée des modèles

La prévisualisation extrêmement détaillée des modèles STL et des modèles découpés (G-Code) sur Simplify3D permet d'optimiser efficacement les paramétrages avant l'impression. Maximiser ainsi la structure des pièces en minimisant les temps et coûts d'impression. La

prévisualisation peut être réalisée ‘manuellement’ ou par le biais d’une vidéo à vitesse réglable.

Autres modes avancés de simplify3D pour l'impression 3D :

Le logiciel Simplify3D offre également de nombreux autres avantages pour l'impression 3D de votre prototype :

- Insérer une couche de remplissage 100% toutes les x couches pour consolider la structure de la pièce,
- Le mode d'impression en continu (mouvement continu sur l'axe Z non séquentiel) est utilisé pour les murs extrêmement lisses, tels que les vases d'impression,
- Carte SD, disque U ou impression de connexion directe, optimisation de la rétroaction en temps réel,
- Optimisation du code G pour une impression 3D de meilleure qualité,
- Un grand nombre de paramètres d'impression,
- Vérifiez et corrigez le modèle (variétés, normales, triangles inversés/répétés, réduction de maillage), Différents modes de visualisation (entité, filaire, nuage de points, direction normale, etc.),
- Éditeur de code G,
- Réorganiser les commandes de processus via le système de glisser-déposer,
- Option de double compression personnalisée (la hauteur des piliers Prime et Ooze Shield peut être limitée),
- Comblent dynamiquement les interstices et les parois minces pour une meilleure résistance,
- Les options de serrage de plaque (plusieurs couches solides ou bords) peuvent obtenir une forte adhérence,
- Simplify3D est compatible avec la plupart des imprimantes FDM du marché, soit près de 200 imprimantes dont FlashForge, Leapfrog, Ultimaker, Da Vinci, Printrbot, Tobeca...

Personnalisation en plusieurs parties :

Simplify3d inclut un niveau de contrôle sans précédent pour l'impression en plusieurs parties. Ajuster l'ordre d'impression de chaque pièce, optimiser les paramètres utilisés pour différents modèles ou imprimer chaque objet un par un pour minimiser les déplacements.

Moteur de script puissant :

Le logiciel comprend un moteur de script intégré afin que nous puissions personnaliser nos fichiers d'impression. Insérer des commandes personnalisées à une couche spécifique, modifier des séquences critiques de l'impression ou personnaliser la syntaxe de commande pour de nouvelles applications.

Contrôle et surveillance des machines :

Le logiciel comprend une interface machine complète qui permet de contrôler manuellement l'imprimante 3D. Nous pouvons également surveiller l'imprimante en temps réel pour assurer que nous connaissons le dernier état.

Impression multi-pièces révolutionnaire.

Une autre fonctionnalité totalement innovante et unique du logiciel Simplify3D est de nous offrir la possibilité d'imprimer plusieurs pièces en même temps, chaque pièce à ses propres paramètres. Par conséquent, nous pouvons imprimer 2, 3, 5, 15 pièces sur notre carte, chaque pièce a son propre taux de remplissage, épaisseur de couche, épaisseur de paroi, etc.

Le mode multi-pièces permet également d'optimiser au maximum l'organisation des pièces sur le lit d'impression, et de choisir entre le mode d'impression séquentiel ou le mode continu.[31]

3.6 Application à une pièce avec support :

3.6.1 Choix de la géométrie (fichier Stl) :

Nous importons le modèle Stl de la bobine qui nécessite du matériel de support.

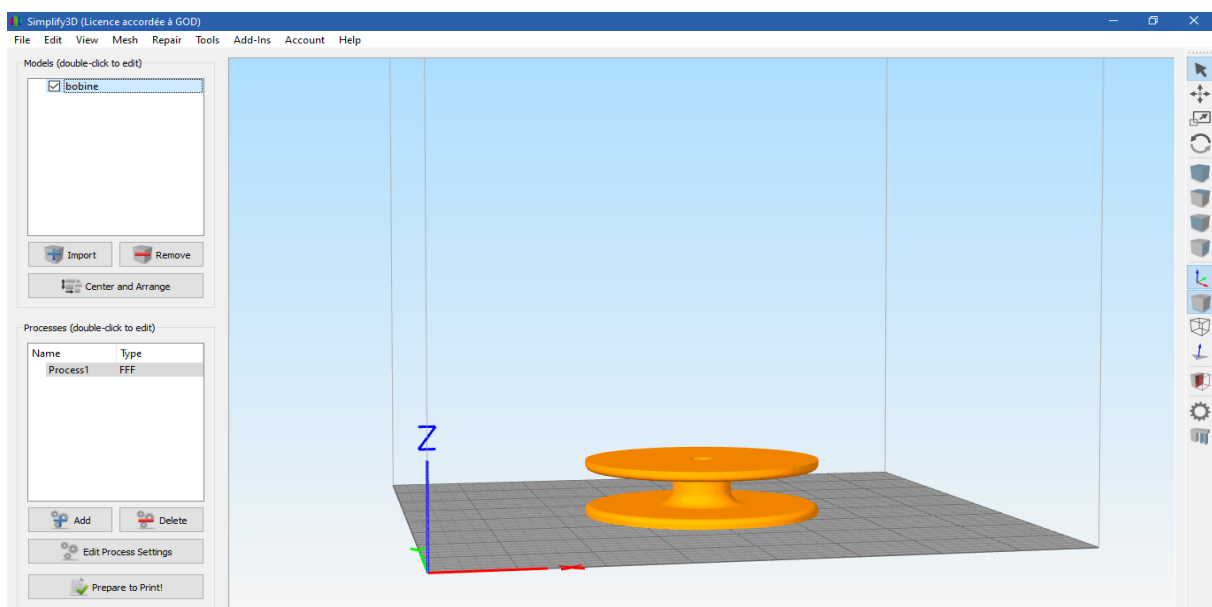


Figure 53: Modèle d'application

3.6.2 Analyse de la pièce avec Simplify3D :

Pour ajouter du matériel de support pour ce modèle, nous ouvrons les paramètres de processus FFF et nous activons l'option « generate support ».

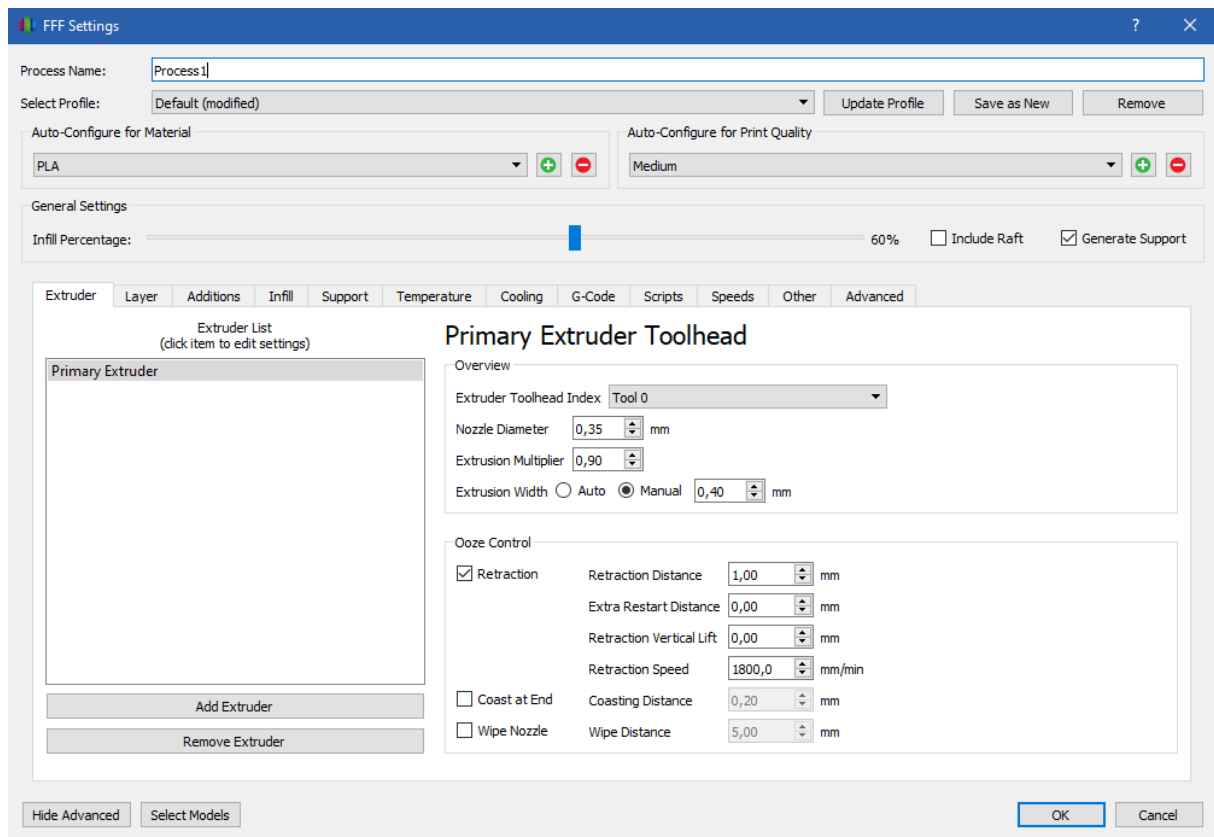


Figure 54: génération de support

Nous ouvrons la barre d'outils de génération de support en cliquant sur la dernière icône dans la barre d'outils sur le côté droit de l'écran, puis sur « generate automatic support » pour permettre au logiciel de donner des recommandations sur les endroits où le matériel de support est nécessaire.

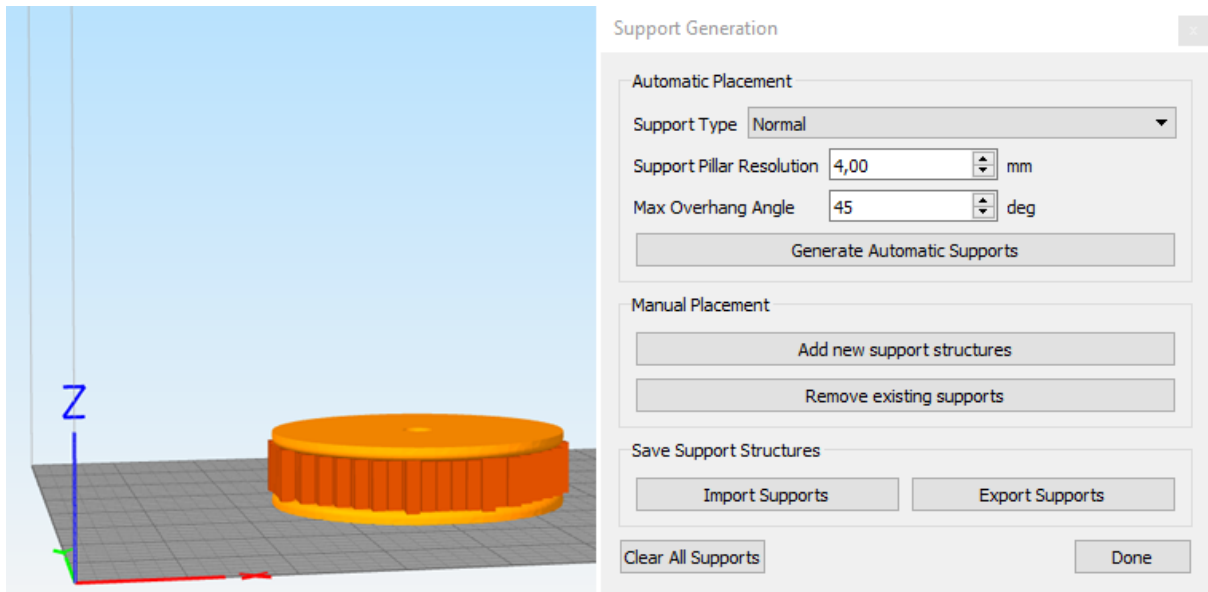


Figure 55: génération de support automatique du modèle

Une fois la configuration est terminer, nous cliquons sur « prepare to print » pour l'imprimer.

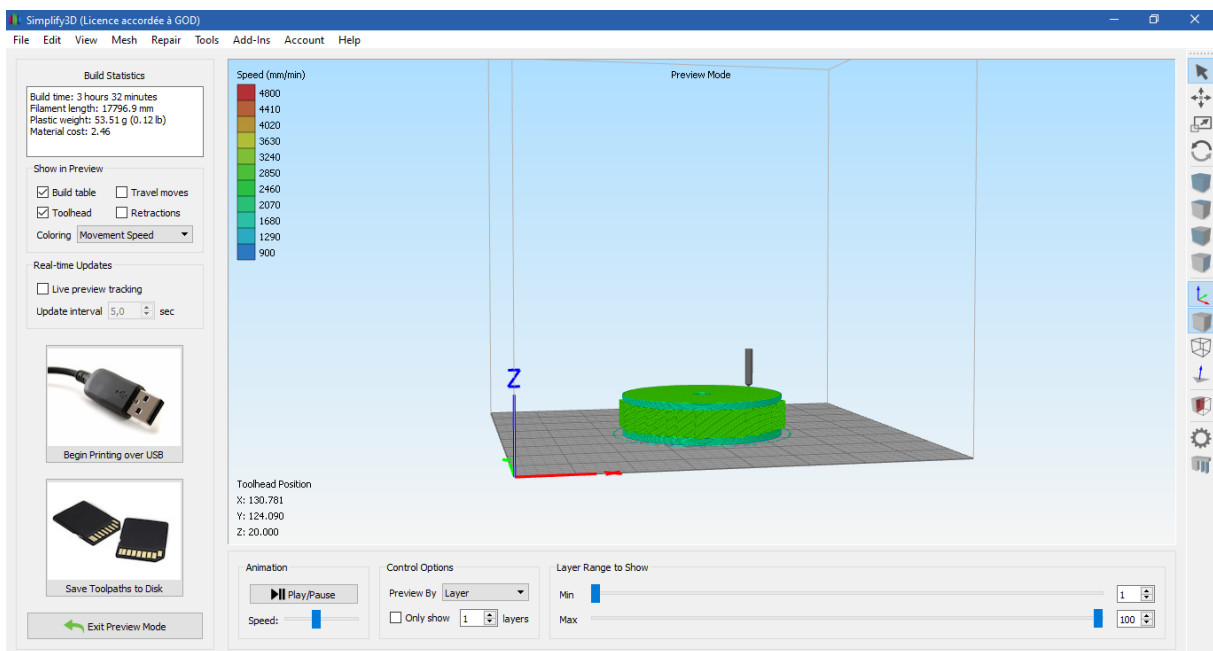


Figure 56: impression du modèle

3.6.3 Code généré par Simplify3D :

Une fois la configuration du modèle est terminé, nous appuyions sur « save toolpaths to disk » pour enregistrer le G-code de la pièce sur l'ordinateur.

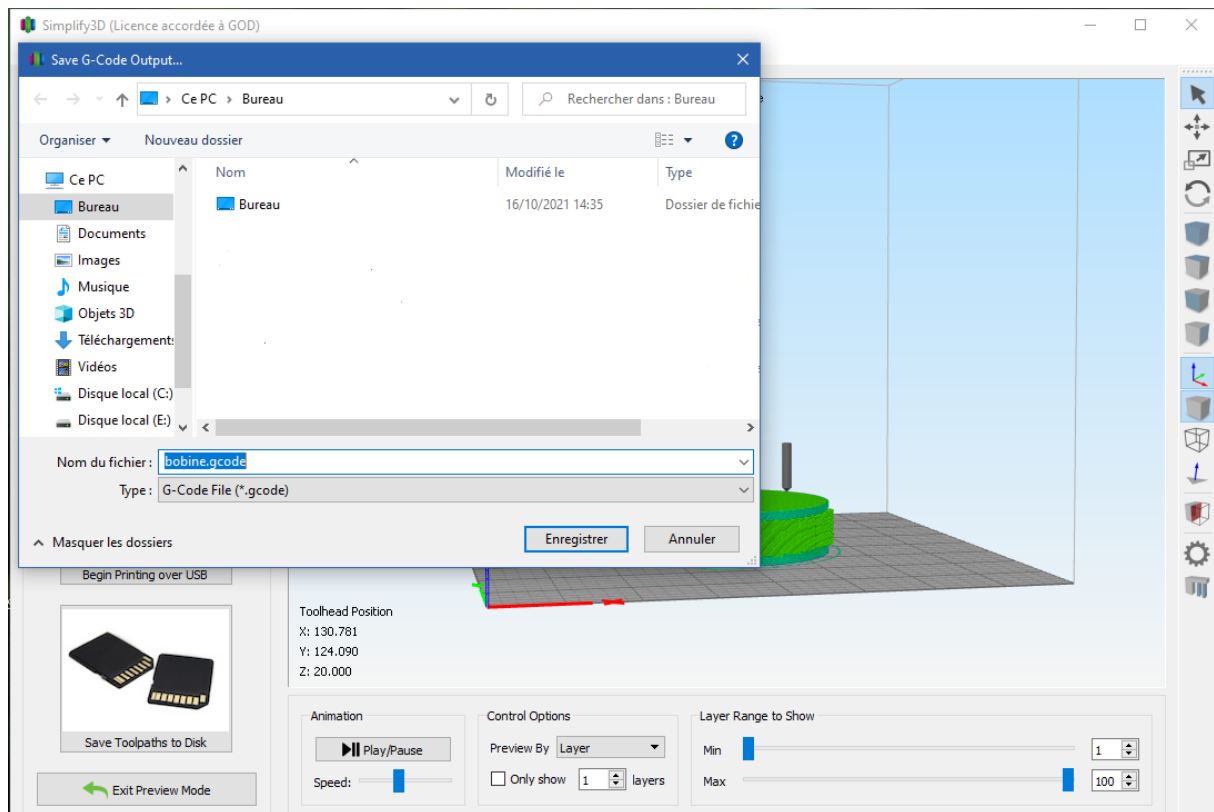


Figure 57: enregistrement du fichier G-code

3.7 Conclusion :

Simplify3d est compatible avec plus d'imprimantes 3D que tout autre logiciel disponible. Nous décidons donc de l'adopter dans notre projet : lors de la réalisation de l'imprimante 3D, il sera nécessaire d'effectuer une adaptation et des tests pour rendre compatible la machine.

Conclusion générale

L'objectif que nous avons fixé, étant la conception et l'étude d'une imprimante 3D pour composites à fibres longues. Après avoir perdu longtemps dans l'industrie de pointe, cette technologie fait peu à peu sa place dans nos foyers et tend à s'intégrer dans notre société malgré ses limites actuelles.

Sa réalisation nécessite trois étapes, la première, la conception d'objet par ordinateur pour la précision à l'aide de logiciel "SolidWorks", en second lieu une carte d'acquisition et de commande Arduino pour gérer la tête de l'imprimante et en troisième la production des codes nécessaires pour la conversion de l'objet conçu en commande d'actionneurs et ceci grâce au langage (G-CODE)

Grâce à ce projet on a compris la philosophie d'une commande ou autrement dit l'automatisation d'un processus. Il nous a permis également de nous familiariser avec l'utilisation de multiples langages de programmation, tels que SolidWorks, G CODE et logiciel Arduino, ainsi que l'utilisation d'une communication série entre le PC et une carte Arduino à base d'un microcontrôleur et simplify3d.

Enfin, nous espérons que ce travail que nous a permis d'élargir nos connaissances, servira de base pour mieux le développer.

Annexe

```
; G-Code generated by Simplify3D(R) Version 4.1.2
; Feb 2, 2022 at 10:32:51 AM
; Settings Summary
; processName,Process1
; applyToModels,bobine
; profileName,
; profileVersion,2021-11-15 12:37:20
; baseProfile,
; printMaterial,PLA
; printQuality,Medium
; printExtruders,
; extruderName,Primary Extruder
; extruderToolheadNumber,0
; extruderDiameter,0.35
; extruderAutoWidth,0
; extruderWidth,0.4
; extrusionMultiplier,0.9
; extruderUseRetract,1
; extruderRetractionDistance,1
; extruderExtraRestartDistance,0
; extruderRetractionZLift,0
; extruderRetractionSpeed,1800
; extruderUseCoasting,0
; extruderCoastingDistance,0.2
; extruderUseWipe,0
; extruderWipeDistance,5
; primaryExtruder,0
; layerHeight,0.25
; topSolidLayers,3
; bottomSolidLayers,3
; perimeterOutlines,2
; printPerimetersInsideOut,1
; startPointOption,1
; startPointOriginX,0
; startPointOriginY,0
; sequentialIslands,0
; spiralVaseMode,0
; firstLayerHeightPercentage,100
; firstLayerWidthPercentage,100
; firstLayerUnderspeed,0.5
; useRaft,0
; raftExtruder,0
; raftTopLayers,3
; raftBaseLayers,1
; raftOffset,3
; raftSeparationDistance,0.1
; raftTopInfill,100
; aboveRaftSpeedMultiplier,0.3
```

```

; useSkirt,1
; skirtExtruder,0
; skirtLayers,1
; skirtOutlines,2
; skirtOffset,4
; usePrimePillar,0
; primePillarExtruder,999
; primePillarWidth,12
; primePillarLocation,7
; primePillarSpeedMultiplier,1
; useOozeShield,0
; oozeShieldExtruder,999
; oozeShieldOffset,2
; oozeShieldOutlines,1
; oozeShieldSidewallShape,1
; oozeShieldSidewallAngle,30
; oozeShieldSpeedMultiplier,1
; infillExtruder,0
; internalInfillPattern,Rectilinear
; externalInfillPattern,Rectilinear
; infillPercentage,20
; outlineOverlapPercentage,15
; infillExtrusionWidthPercentage,100
; minInfillLength,5
; infillLayerInterval,1
; internalInfillAngles,0
; overlapInternalInfillAngles,0
; externalInfillAngles,45,-45
; generateSupport,1
; supportExtruder,0
; supportInfillPercentage,30
; supportExtraInflation,0
; supportBaseLayers,0
; denseSupportExtruder,0
; denseSupportLayers,0
; denseSupportInfillPercentage,75
; supportLayerInterval,1
; supportHorizontalPartOffset,0.3
; supportUpperSeparationLayers,1
; supportLowerSeparationLayers,1
; supportType,0
; supportGridSpacing,4
; maxOverhangAngle,45
; supportAngles,0
; temperatureName,Primary Extruder
; temperatureNumber,0
; temperatureSetpointCount,1
; temperatureSetpointLayers,1
; temperatureSetpointTemperatures,190
; temperatureStabilizeAtStartup,1

```

```

; temperatureHeatedBed,0
; fanLayers,1,2
; fanSpeeds,0,100
; blipFanToFullPower,0
; adjustSpeedForCooling,1
; minSpeedLayerTime,15
; minCoolingSpeedSlowdown,20
; increaseFanForCooling,0
; minFanLayerTime,45
; maxCoolingFanSpeed,100
; increaseFanForBridging,0
; bridgingFanSpeed,100
; use5D,1
; relativeEdistances,0
; allowEaxisZeroing,1
; independentExtruderAxes,0
; includeM10123,0
; stickySupport,1
; applyToolheadOffsets,0
; gcodeXoffset,0
; gcodeYoffset,0
; gcodeZoffset,0
; overrideMachineDefinition,0
; machineTypeOverride,0
; strokeXoverride,200
; strokeYoverride,200
; strokeZoverride,200
; originOffsetXoverride,0
; originOffsetYoverride,0
; originOffsetZoverride,0
; homeXdirOverride,-1
; homeYdirOverride,-1
; homeZdirOverride,-1
; flipXoverride,1
; flipYoverride,-1
; flipZoverride,1
; toolheadOffsets,0,0|0,0|0,0|0,0|0,0|0,0
; overrideFirmwareConfiguration,0
; firmwareTypeOverride,RepRap (Marlin/Repetier/Sprinter)
; GPXconfigOverride,r2
; baudRateOverride,115200
; overridePrinterModels,0
; printerModelsOverride
; startingGcode,G28 ; home all axes
; layerChangeGcode,
; retractionGcode,
; toolChangeGcode,
; endingGcode,M104 S0 ; turn off heaters,M140 S0 ; turn off bed,M84 ; disable motors
; exportFileFormat,gcode
; celebration,0

```

```

; celebrationSong,
; postProcessing,
; defaultSpeed,3600
; outlineUnderspeed,0.5
; solidInfillUnderspeed,0.8
; supportUnderspeed,0.8
; rapidXYspeed,4800
; rapidZspeed,1000
; minBridgingArea,50
; bridgingExtraInflation,0
; bridgingExtrusionMultiplier,1
; bridgingSpeedMultiplier,1
; useFixedBridgingAngle,0
; fixedBridgingAngle,0
; applyBridgingToPerimeters,0
; filamentDiameters,1.75|1.75|1.75|1.75|1.75|1.75
; filamentPricesPerKg,46|46|46|46|46|46
; filamentDensities,1.25|1.25|1.25|1.25|1.25|1.25
; useMinPrintHeight,0
; minPrintHeight,0
; useMaxPrintHeight,0
; maxPrintHeight,0
; useDiaphragm,0
; diaphragmLayerInterval,20
; robustSlicing,1
; mergeAllIntoSolid,0
; onlyRetractWhenCrossingOutline,1
; retractBetweenLayers,1
; useRetractionMinTravel,0
; retractionMinTravel,3
; retractWhileWiping,0
; onlyWipeOutlines,1
; avoidCrossingOutline,0
; maxMovementDetourFactor,3
; toolChangeRetractionDistance,0
; toolChangeExtraRestartDistance,0
; toolChangeRetractionSpeed,360
; externalThinWallType,0
; internalThinWallType,2
; thinWallAllowedOverlapPercentage,10
; singleExtrusionMinLength,1
; singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage,50
; singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage,200
; singleExtrusionEndpointExtension,0.2
; horizontalSizeCompensation,0

```

```

....
Instruction G code
.....

```

```
; layer end
M104 S0 ; turn off heaters
M140 S0 ; turn off bed
M84 ; disable motors
; Build Summary
; Build time: 2 hours 27 minutes
; Filament length: 14571.6 mm (14.57 m)
; Plastic volume: 35048.91 mm3 (35.05 cc)
; Plastic weight: 43.81 g (0.10 lb)
; Material cost: 2.02
```

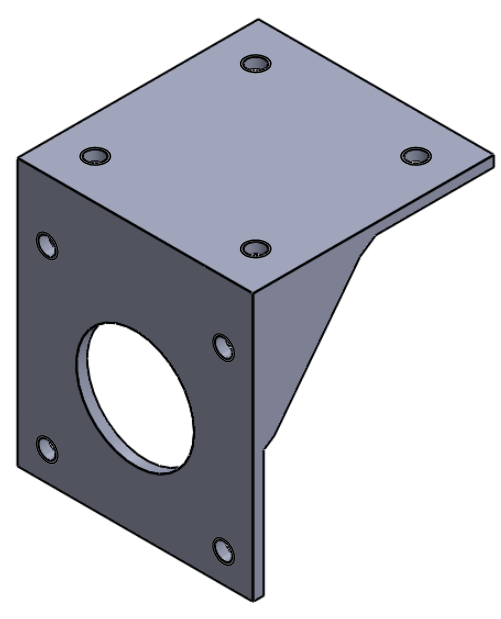
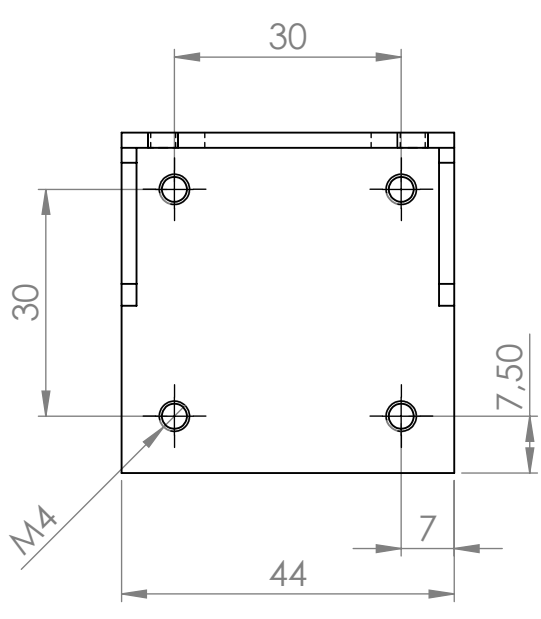
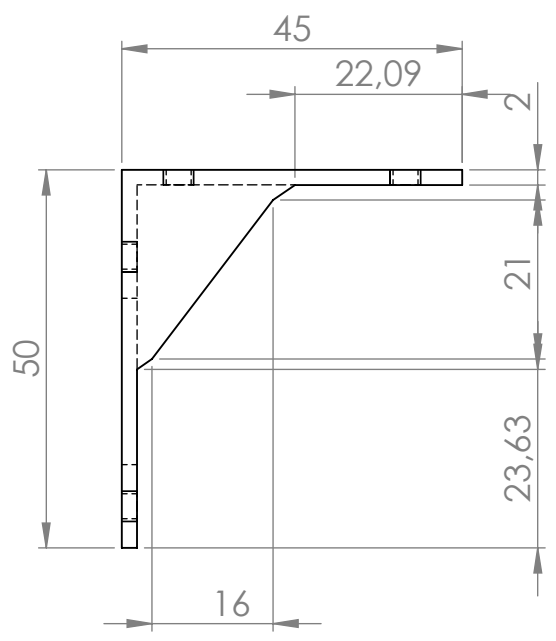
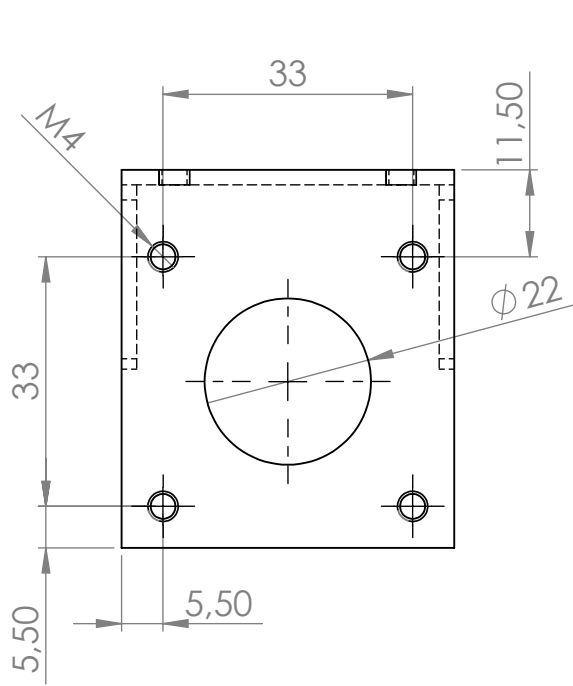
Référence :

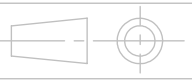
- [3] F. Bou Ammar, O. Lahrech, conception et réalisation d'une nouvelle imprimante 3D avec améliorations, projet fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen, 52p, 2017
- [4] S. Ali Ahmed, A. Hadid, étude et conception d'une imprimante 3D, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master, UMMTO, Tizi Ouzou, 61p, 2015.
- [5] S. Rufer, quel est l'impact de l'impression 3D sur la supplychain, mémoire en vue d'obtention du diplôme de Master, Université Paris Dauphine, Paris, 46p, 2014
- [6] B.Franta, 3D printing – top 5 methods + secrets from the trade, édition kindle, 2015
- [8] B.Franta, 3D printing – top 5 methods + secrets from the trade, édition kindle, 2015
- [9] J. Verhulst, analyse de l'état et de l'avenir du marché de l'impression 3D, mémoire en vue de l'obtention du titre de Master, Université de Louvain, Belgique, 2015
- [10] J. Verhulst, analyse de l'état et de l'avenir du marché de l'impression 3D, mémoire en vue de l'obtention du titre de Master, Université de Louvain, Belgique, 2015
- [11] J. Verhulst, analyse de l'état et de l'avenir du marché de l'impression 3D, mémoire en vue de l'obtention du titre de Master, Université de Louvain, Belgique, 2015
- [15] Yosofi, M. Méthodologie de caractérisation prédictive des procédés de fabrication additive avec une approche technique, économique et environnementale. 2018, Ecole centrale de Nantes.
- [16] L. Boulanouar, simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill, en vue de l'obtention du diplôme de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2017
- [21] S. Ali Ahmed, A. Hadid, étude et conception d'une imprimante 3D, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master, UMMTO, Tizi Ouzou, 61p, 2015.
- [26] S. Ali Ahmed, A. Hadid, étude et conception d'une imprimante 3D, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master, UMMTO, Tizi Ouzou, 61p, 2015.

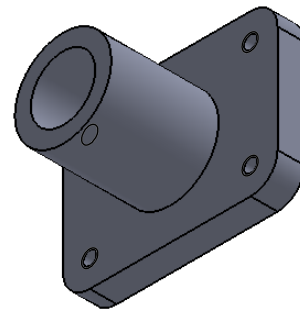
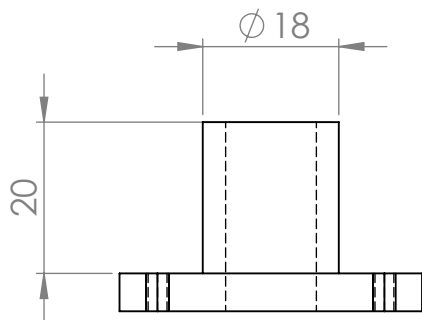
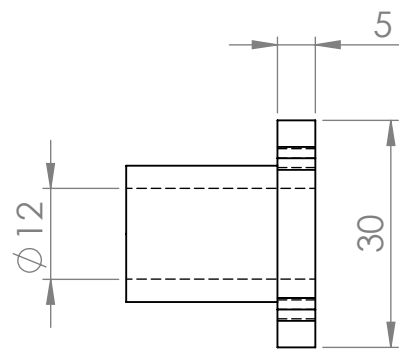
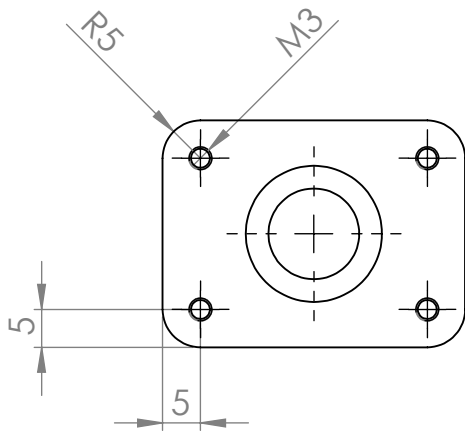
Webographie :


- [1] https://techlib.fr/definition/3d_printer.html(consulté le 20 septembre 2021)
- [2] <https://apcpedagogie.com/les-imprimantes-3d/> (consulté le 21 septembre 2021)
- [7] <https://www.primante3d.com/principe/> (consulté le 22 septembre 2021)
- [12] <http://www.bloomoon.eu/fr/actualites/lettres-de-veille-et-white-papers/materiaux-composites-tendances> (consulté le 28 septembre 2021)
- [13] <http://chanvreauvergne.e-monsite.com/pages/nos-produits/fibre-de-chanvre.html> (consulté le 28 septembre 2021)
- [14] <https://www.fmc-composites.com/materiaux-composites-29> (consulté le 28 septembre 2021)
- [17] <https://www.reprap.org/wiki/G-code/fr#G:listallG-code> (consulté le 08 novembre 2021)
- [18] <https://www.filimprimante3d.fr/5-filament-pla>(consulté le 08 décembre 2021)
- [19] <https://www.3dnatives.com/fibre-de-carbone-impression-3d-050520203/> (consulté le 08 décembre 2021)
- [20] <https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/>(consulté le 20 novembre 2021)
- [22] https://www.amazon.fr/Imprimante-chauffant-3D-Chauffant-Aluminium-%C3%89paisseur/dp/B09F3FX3QS/ref=mp_s_a_1_2?keywords=plaque+chauffante+imprimante+3d&qid=1638108186&sr=8-2(consulté le 29 novembre 2021)
- [23] <http://www.primante3d.com/buses-impression3d-04082020/> (consulté le 29 novembre 2021)
- [24] <https://www.rhino3dprinter.com/urun/creality-cr10-ve-ender-3-serisi-ikili-hotend-seti> (consulté le 29 novembre 2021)
- [25] <https://fr.aliexpress.com/item/32964669352.html> (consulté le 29 novembre 2021)
- [27] <https://www.3dnatives.com/tout-ce-quil-faut-savoir-sur-arduino/>(consulté le 22 novembre 2021)
- [28] Whatis Marlin? | Marlin Firmware (marlinfw.org) (consulté le 10 janvier 2022)
- [29] Configuring Marlin | Marlin Firmware (marlinfw.org) (consulté le 10 janvier 2022)
- [30] <https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/> (consulté le 23 novembre 2021)
- [31] <https://www.impressionen3d.com/pratique-avec-simplify3d-fabbaloo/> (consulté le 23 novembre 2021)

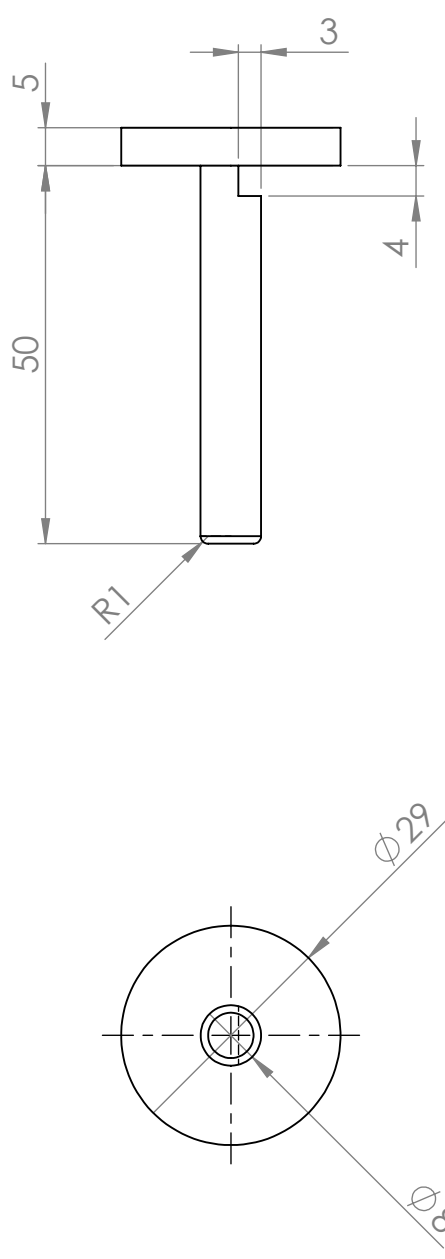
Dessin industriel

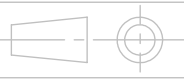


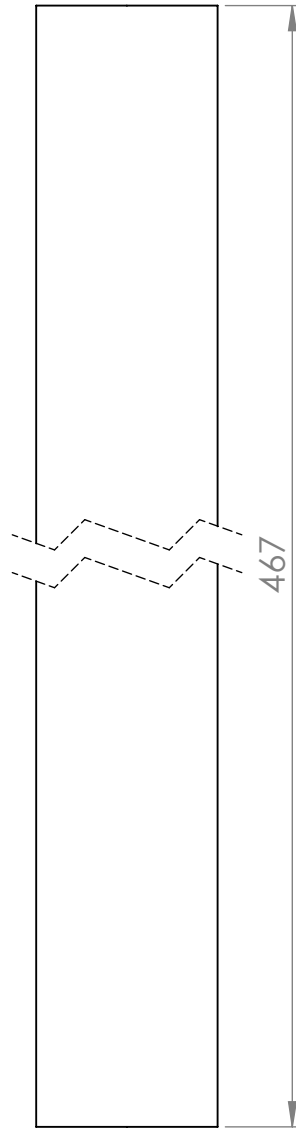
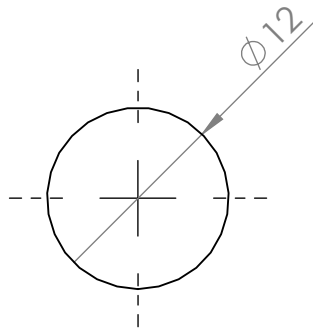
14	2	Porte moteur	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




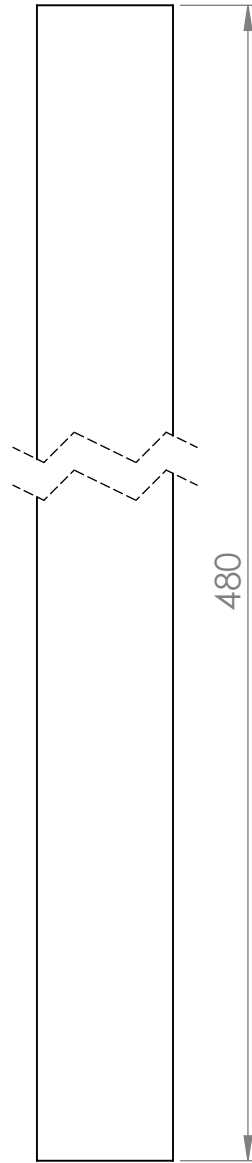
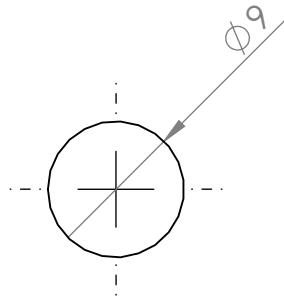
9	4	Porte table	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




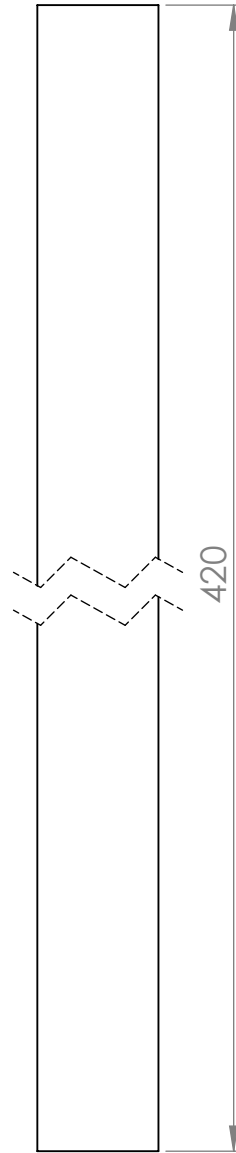
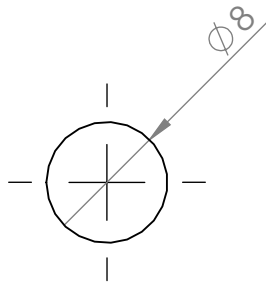
21	2	Tige de bobine	Aisi 1010	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




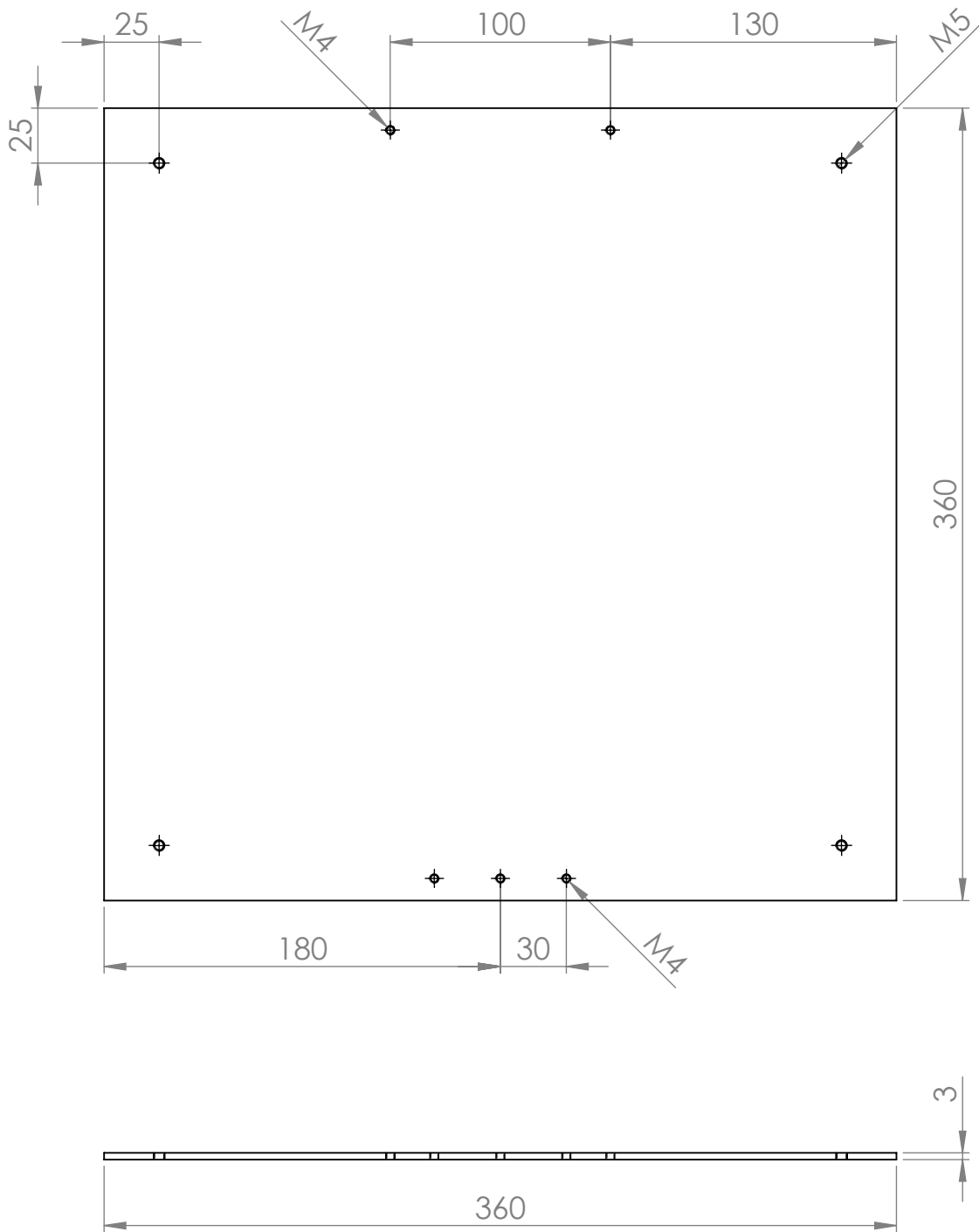
10	2	Glissière verticale	Aisi 1010	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




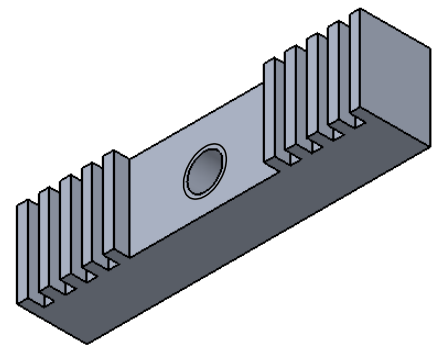
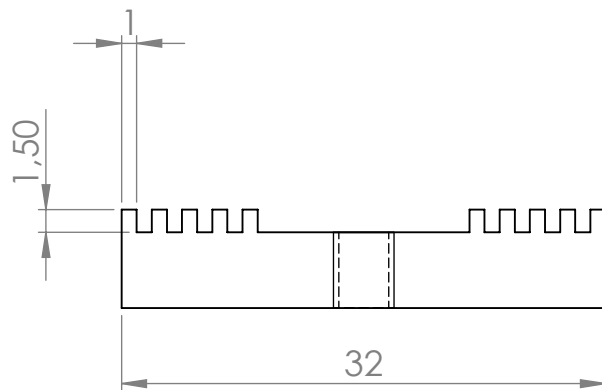
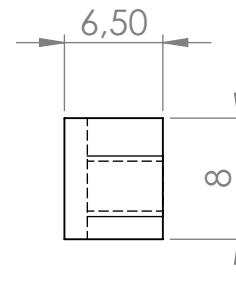
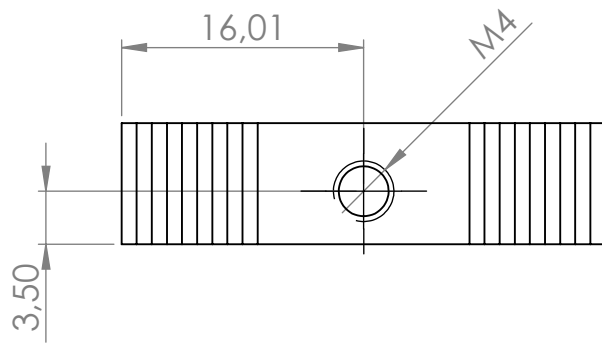
19	4	Glissière horizontale	Aisi 1020	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




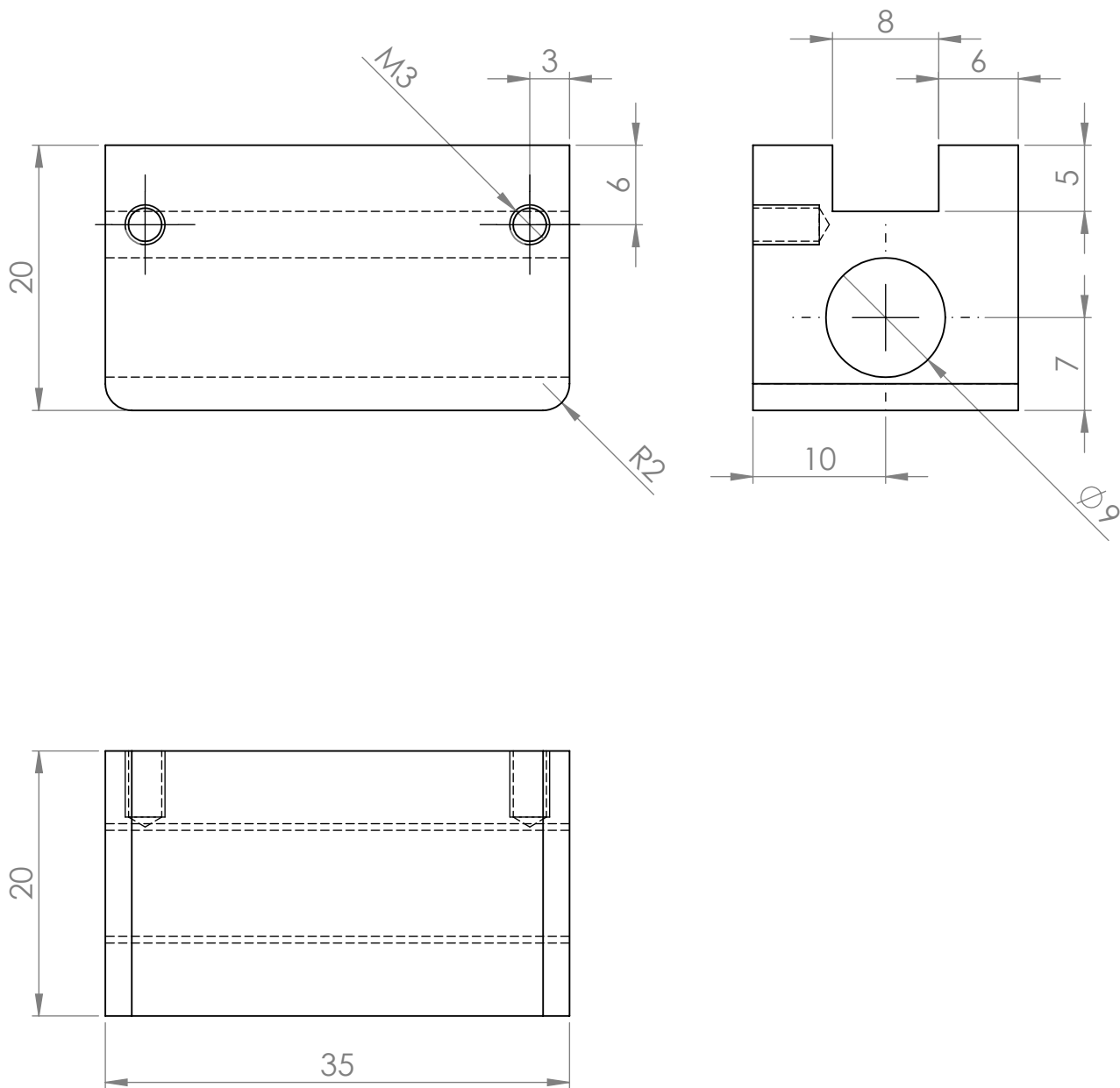
28	1	Glissière transversale x	Aisi 1010	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		impFimante3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		animé par: Mr Ould ouali
A4				




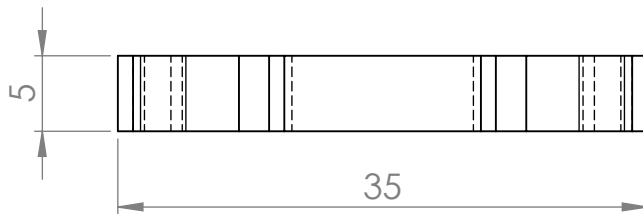
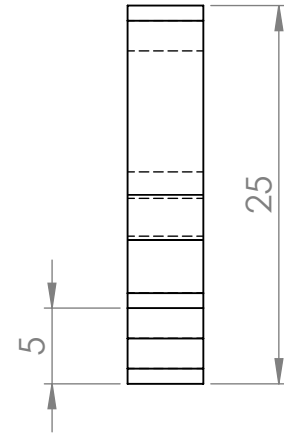
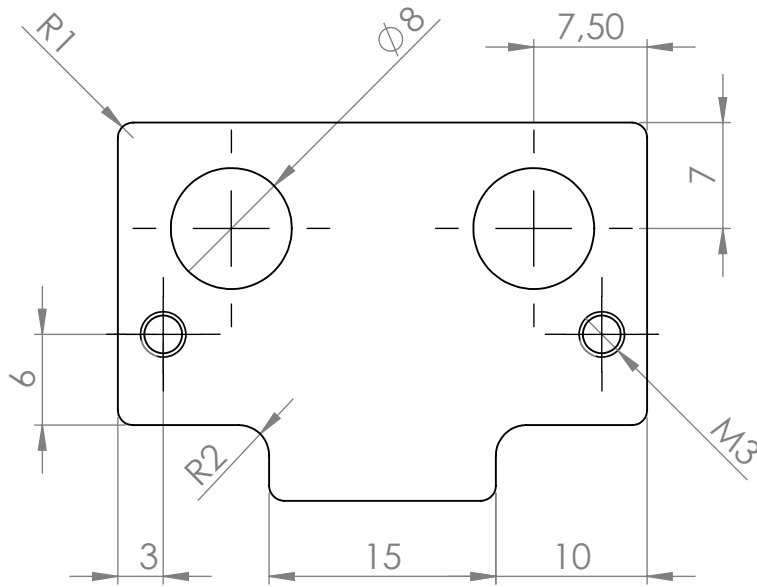
6	1	Lit chauffant	Bronze d'aluminium	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:3		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




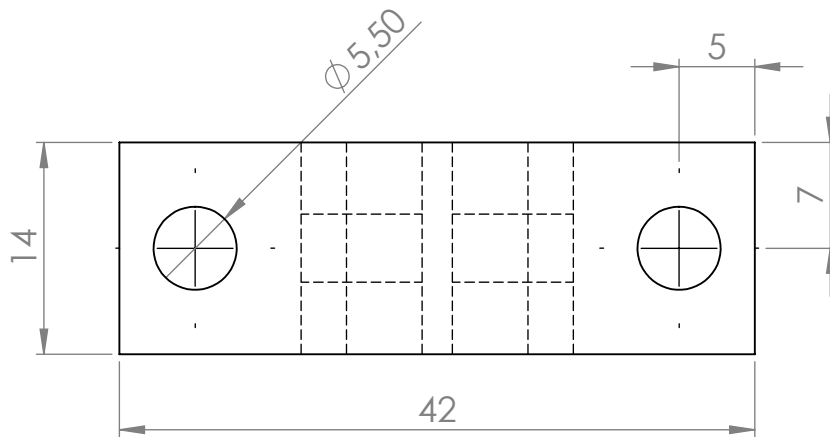
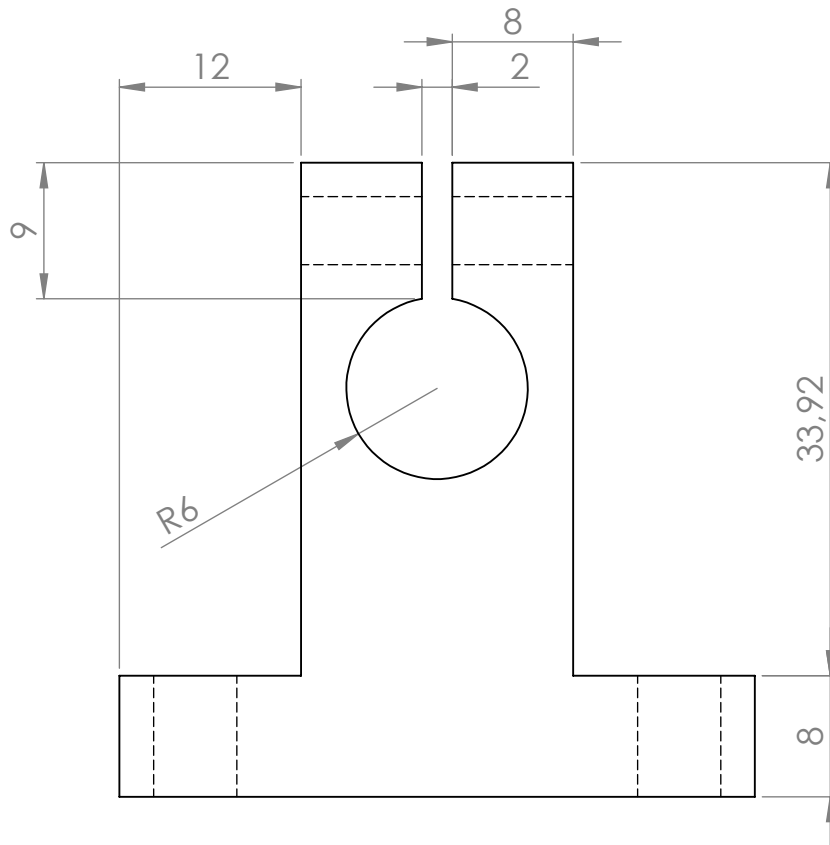
25	1	Plaque dentée	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




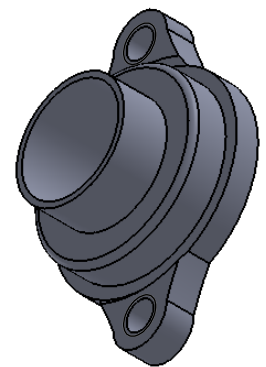
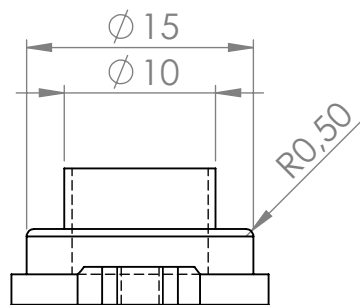
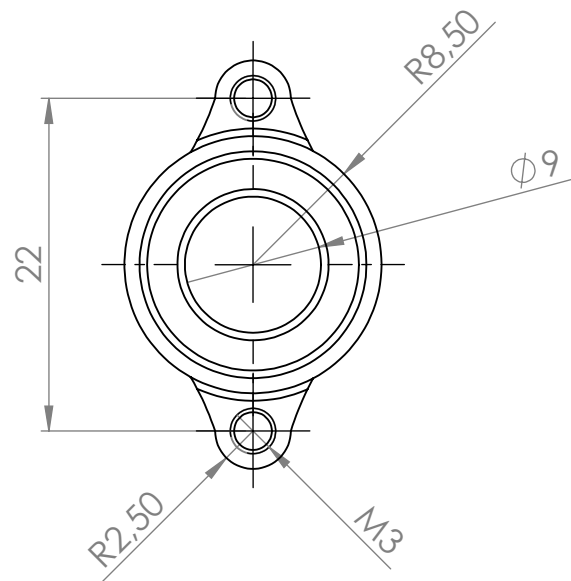
24	4	Porte courroie	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




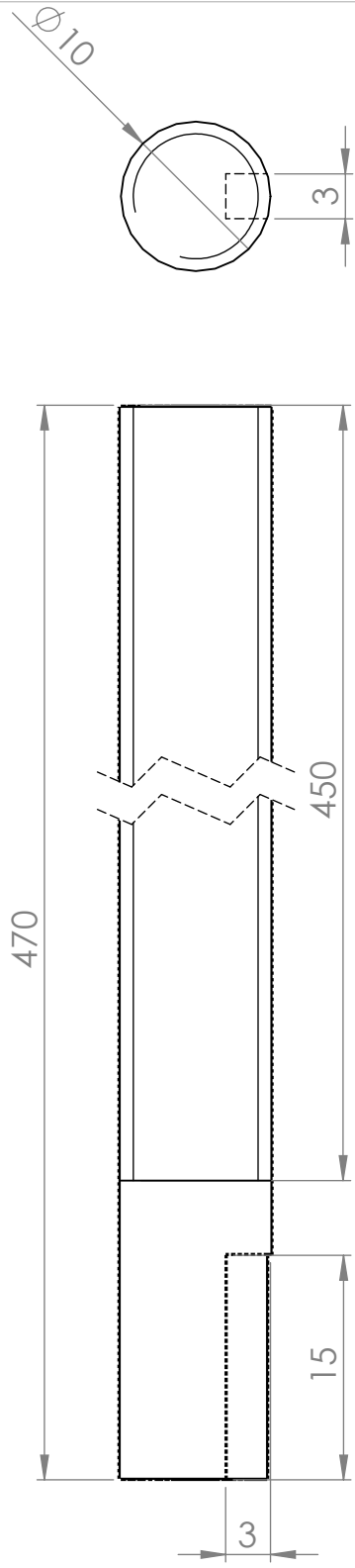
26	4	Porte extrudeuse	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

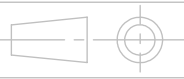


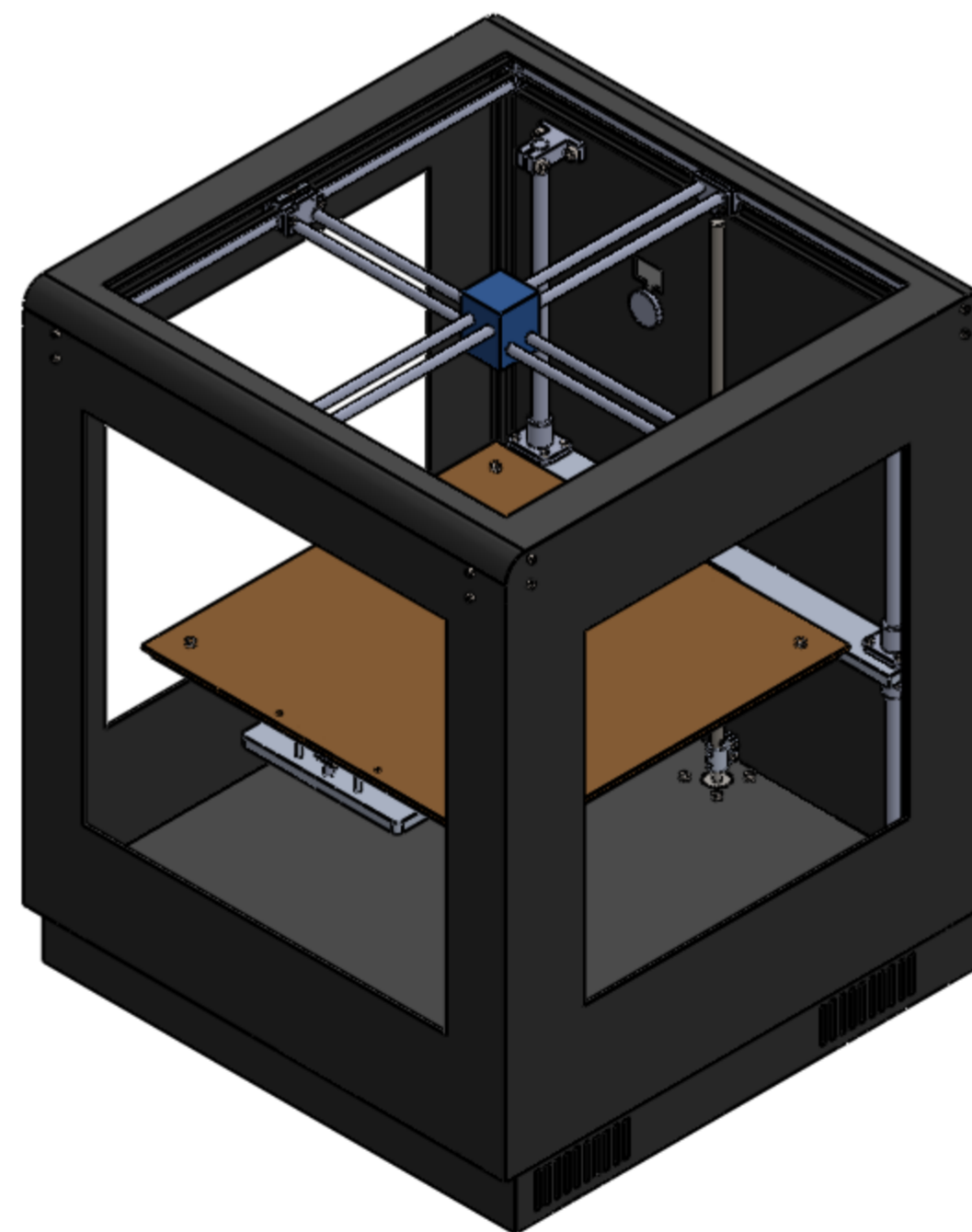
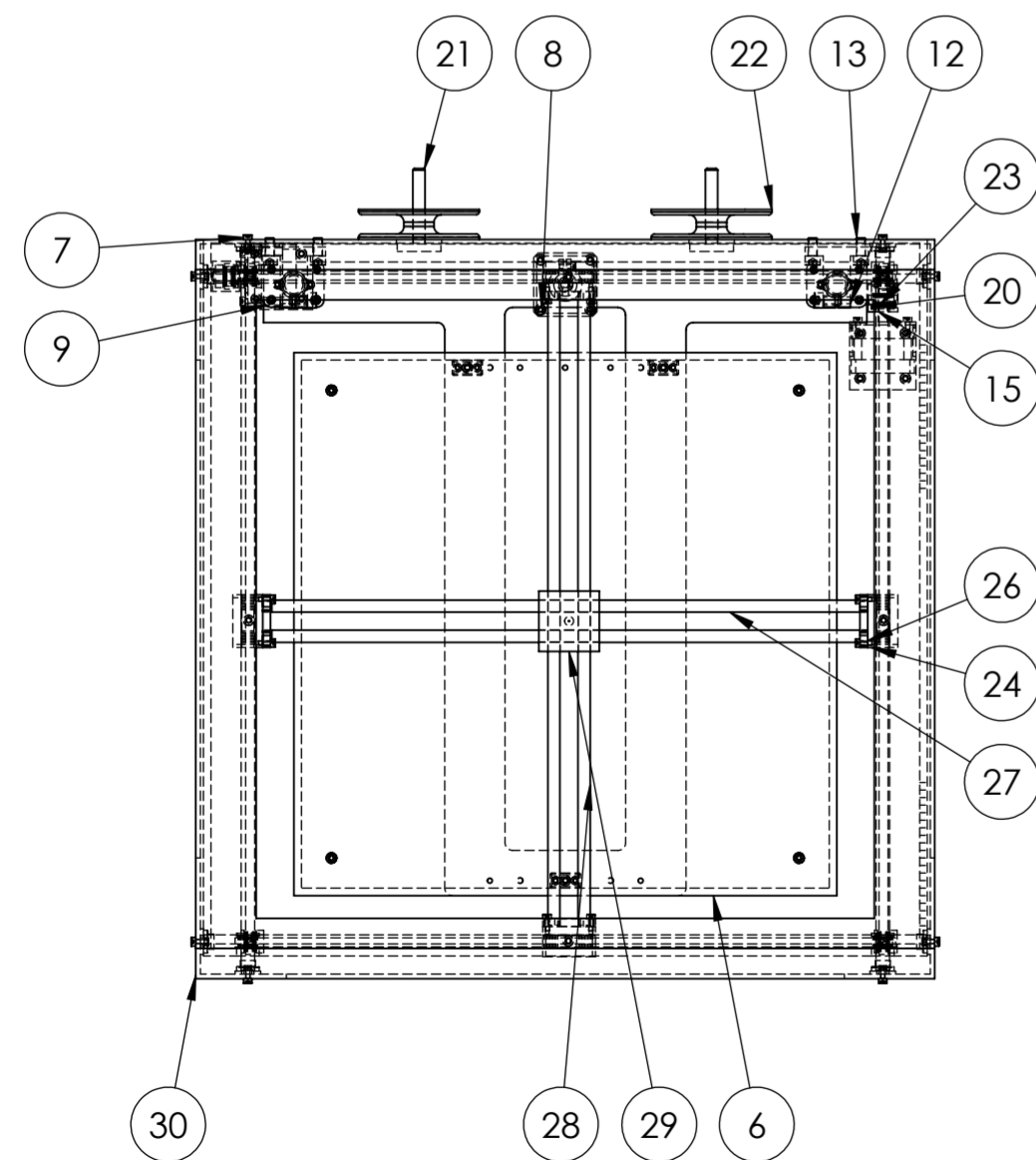
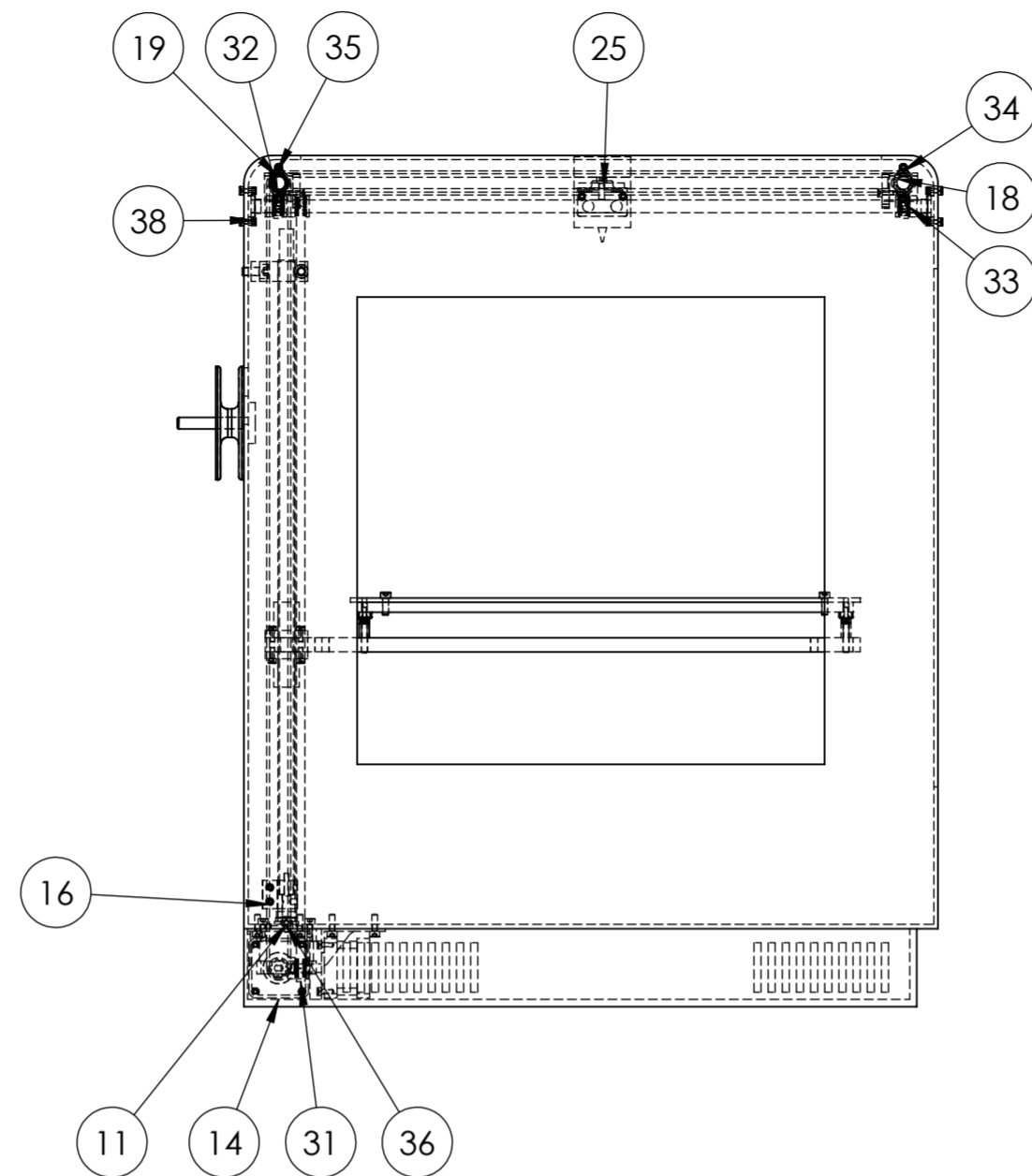
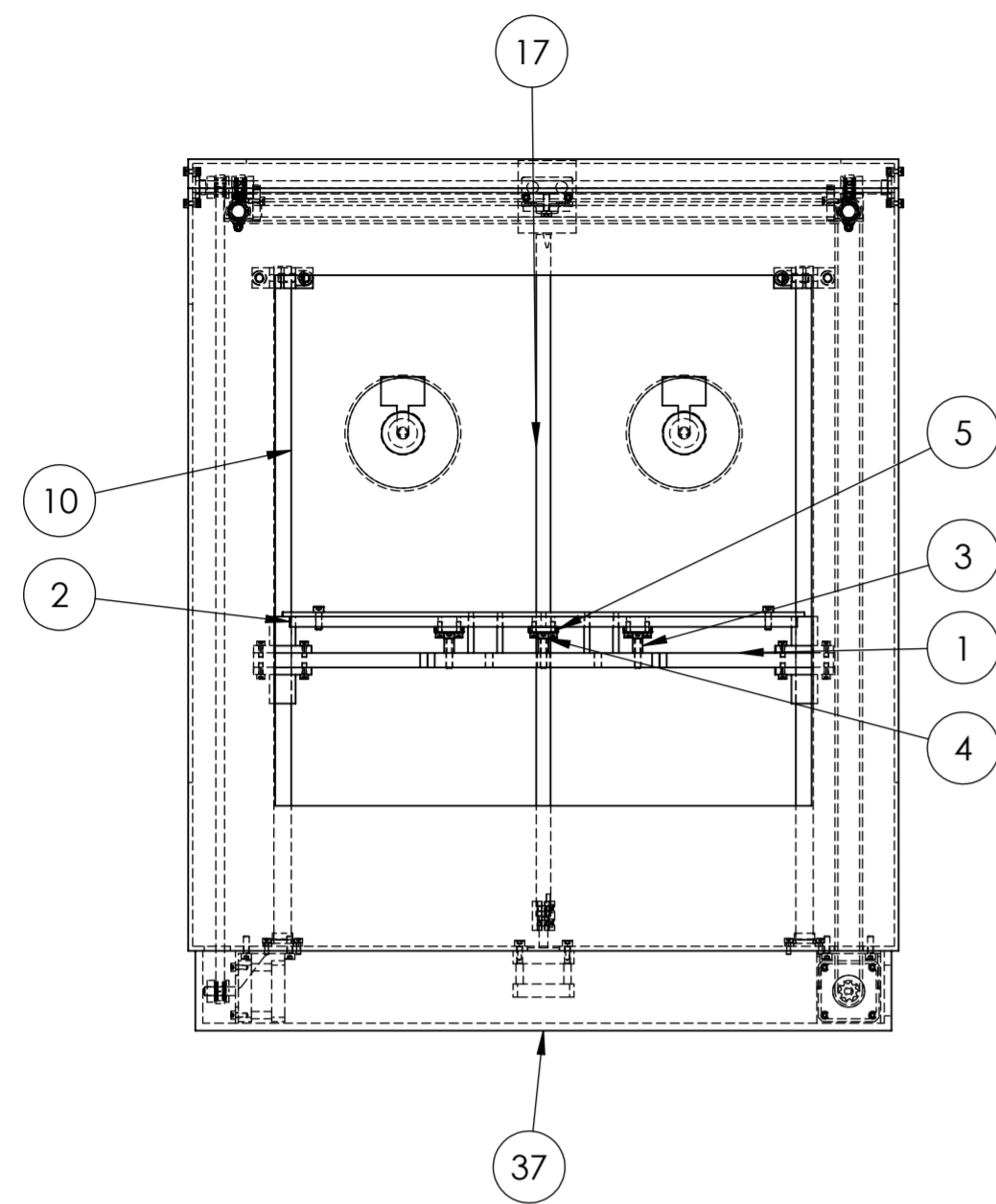
12	2	Porte glissière verticale	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



11	8	Porte glissière	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



17	1	Arbre fileté	Aisi 1010	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



38	16	Ecrou	Bronze d'aluminium	
37	1	Base	Alliage d'aluminium	
31-36	6	Courroie	caoutchouc	
30	1	Cache	Alliage d'aluminium	
29	1	Extrudeuse	/	
28	2	Glissière transversale X	Aisi 1010	laminée à chaud
27	2	Glissière transversale Y	Aisi 1010	laminée à chaud
26	4	Porte extrudeuse	Alliage d'aluminium	
25	4	Plaque dentée	Alliage d'aluminium	
24	4	Porte courroie	Alliage d'aluminium	
23	2	Pignon $\phi 6$	Alliage d'aluminium	
22	2	Bobine	PBT à usage général	
21	2	Tige de bobine	Alliage d'aluminium	
20	10	Pignon $\phi 9$	Alliage d'aluminium	
19	4	Glissière horizontale	Aisi 1010	laminée à chaud
18	8	Porte glissière	Alliage d'aluminium	
17	1	Arbre fileté	Aisi 1010	laminée à chaud
16	1	Coupleur	Alliage d'aluminium	
15	3	Moteur	/	
14	2	Porte moteur	Alliage d'aluminium	
13	4	Vis CHC M6 L12	Bronze d'aluminium	
12	2	Porte glissière transversale	Alliage d'aluminium	
11	2	Porte glissière verticale	Alliage d'aluminium	
10	2	Glissière verticale	Aisi 1020	laminée à froid
9	4	Porte table	Alliage d'aluminium	
8	20	Vis CHC M4 L12	Bronze d'aluminium	
7	60	Vis CHC M3 L8	Bronze d'aluminium	
6	1	Lit chauffant	Bronze d'aluminium	
5	3	Support 2	Bronze d'aluminium	
4	3	Vis CHC M4 L20	Bronze d'aluminium	
3	3	Support	Acier inoxydable	
2	1	Couche isolante	Balsa	
1	1	Table	Alliage d'aluminium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

Echelle
1:5



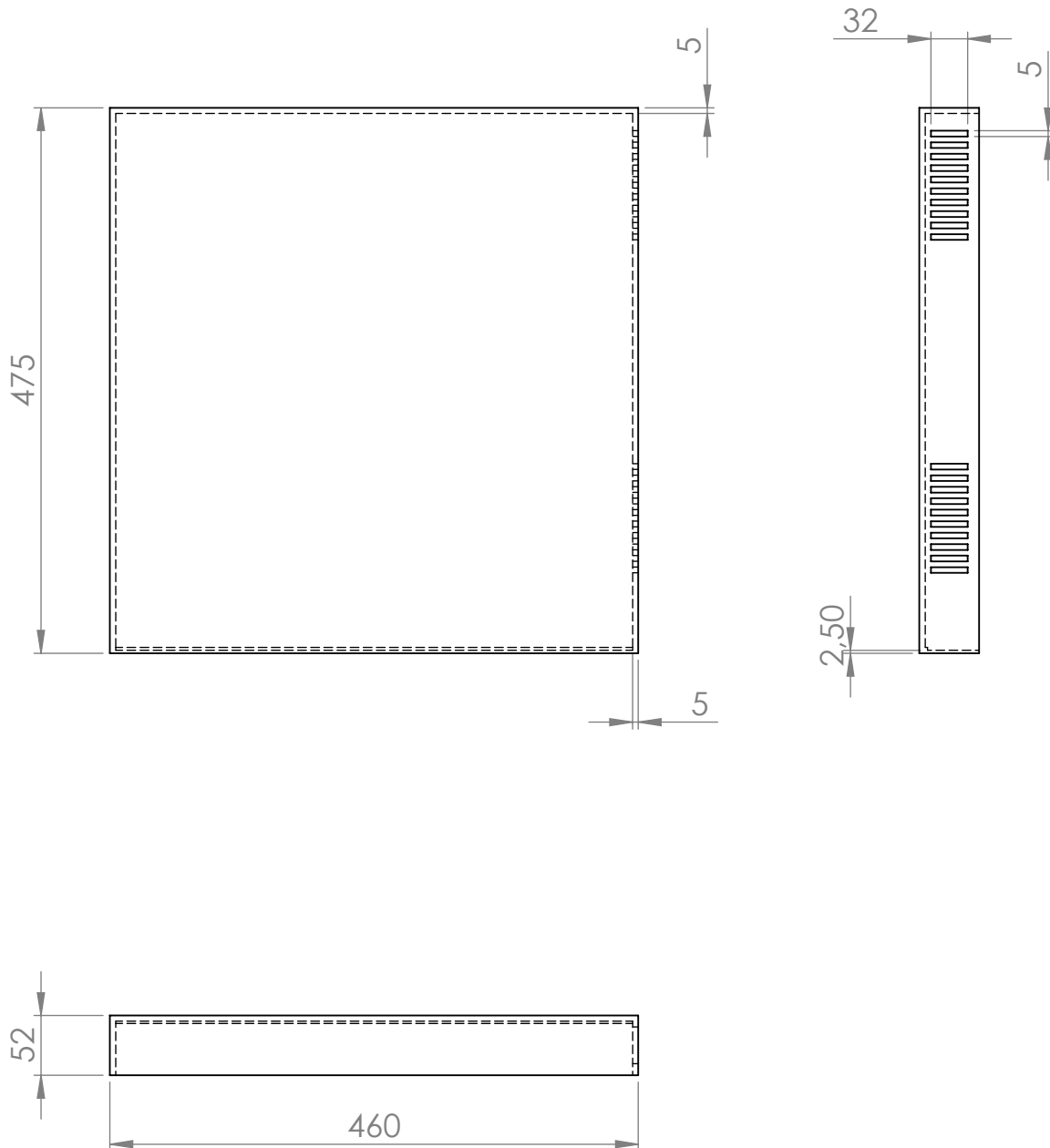
A2


Imprimante 3D

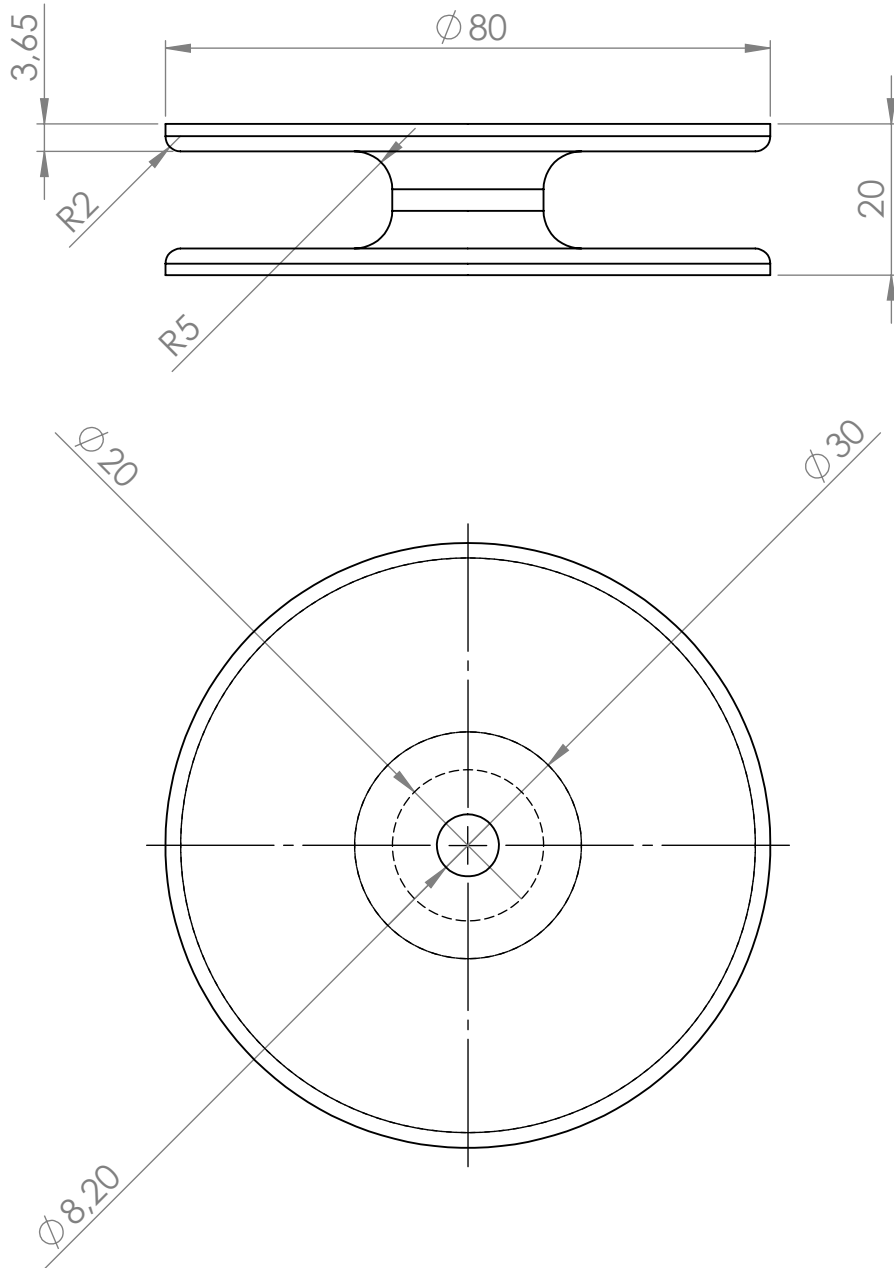
UMMTO


Réalisé par:
Melle kherbouche
Melle moussaoui

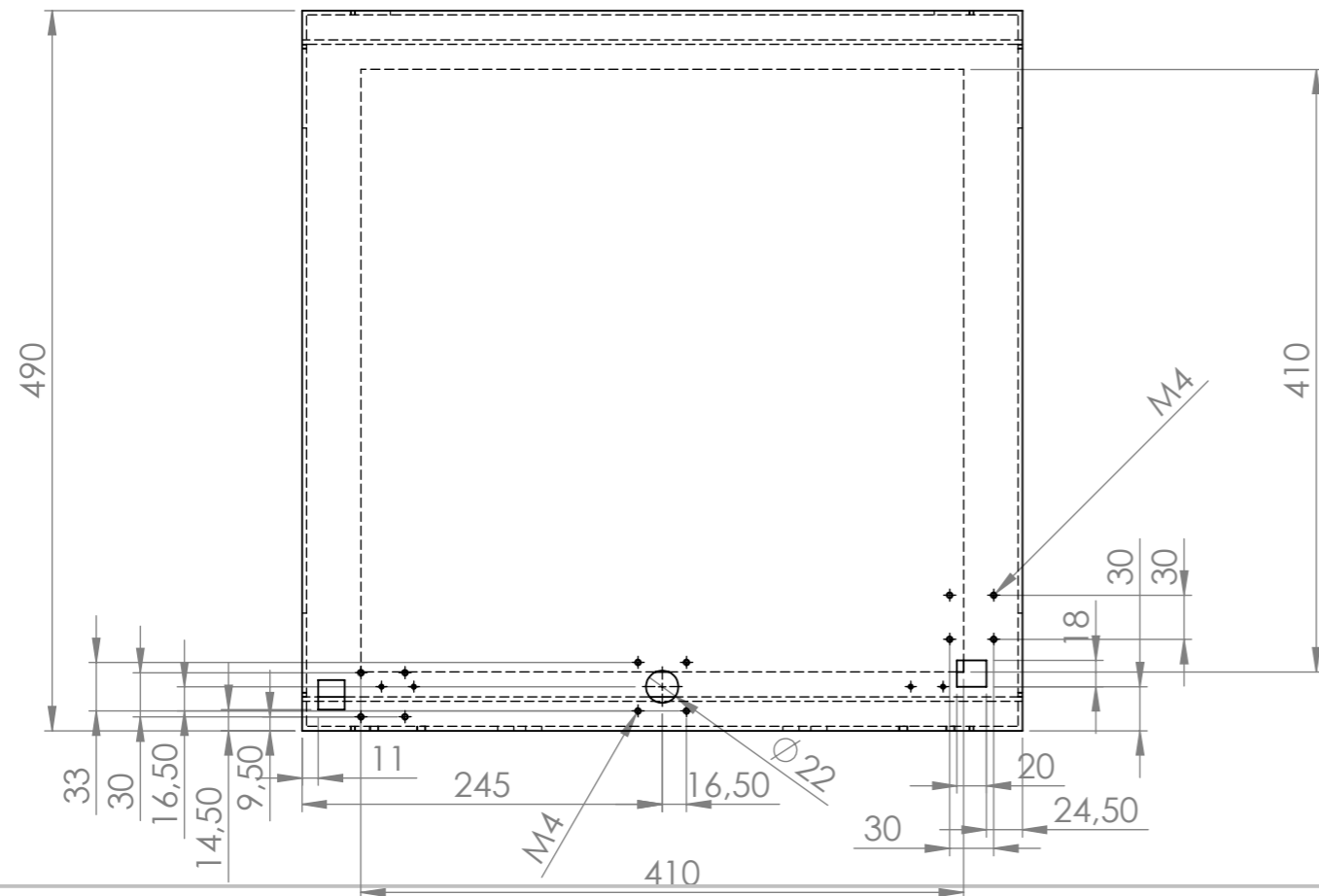
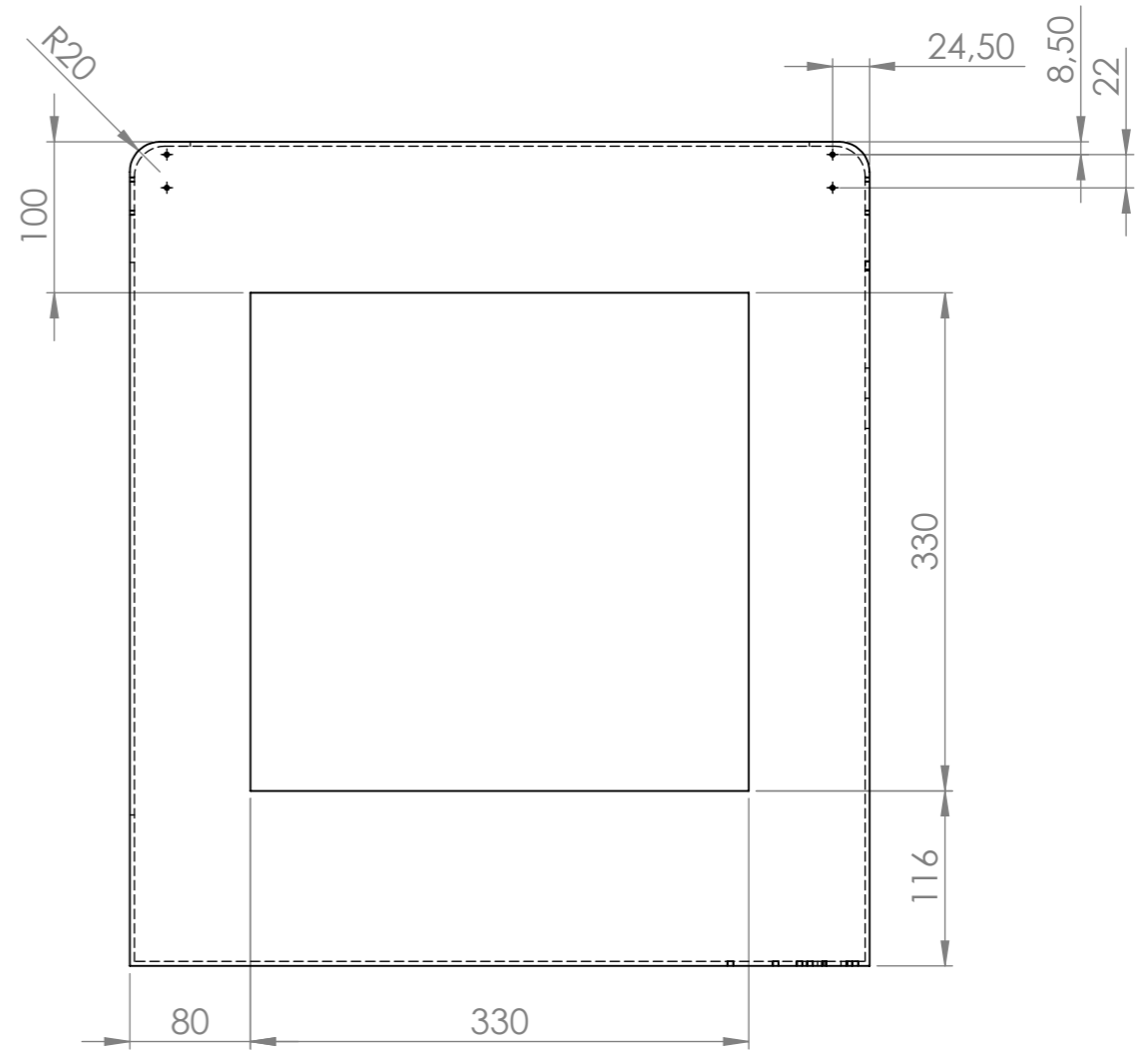
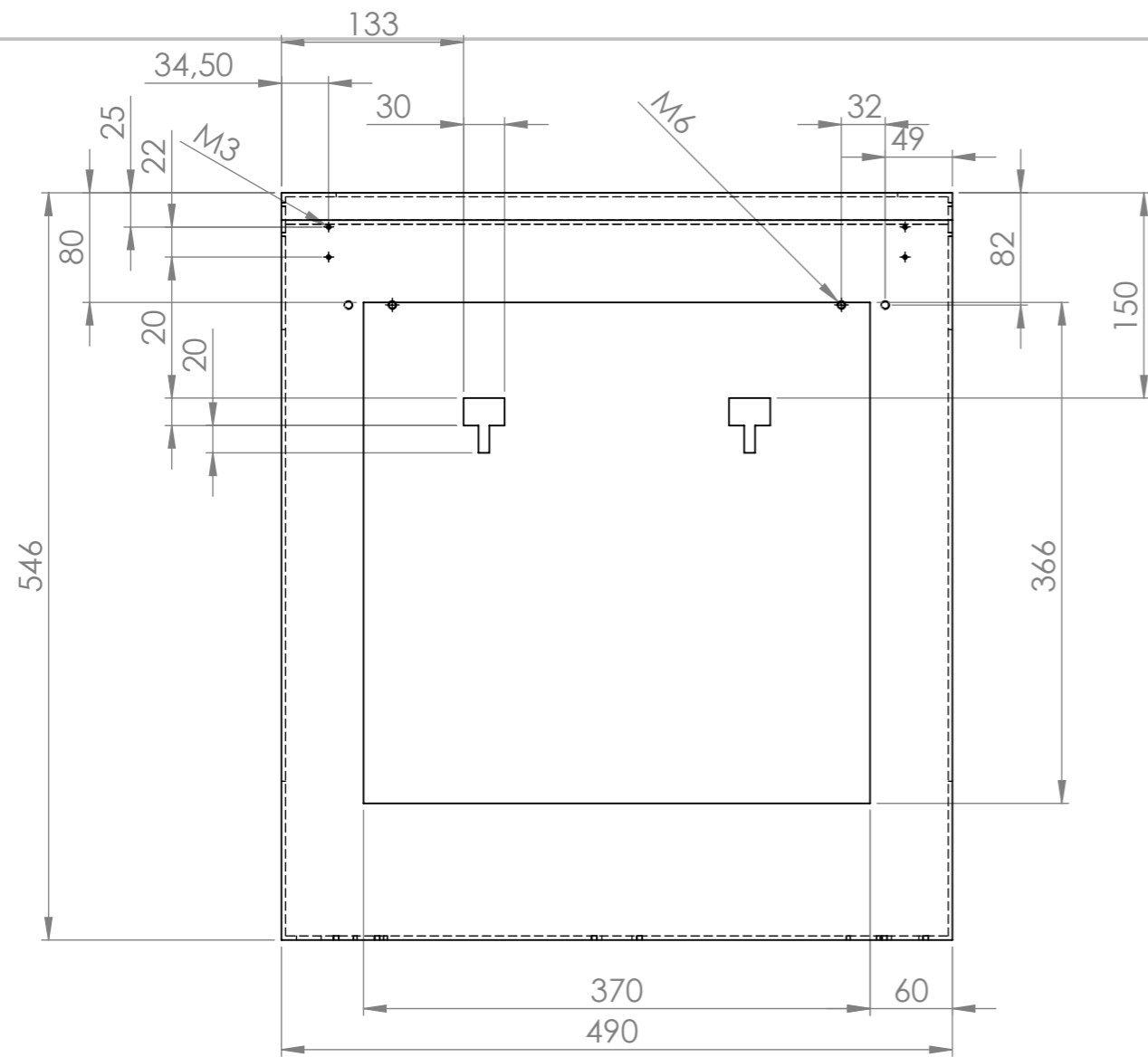
Animé par:
Mr Ould ouali



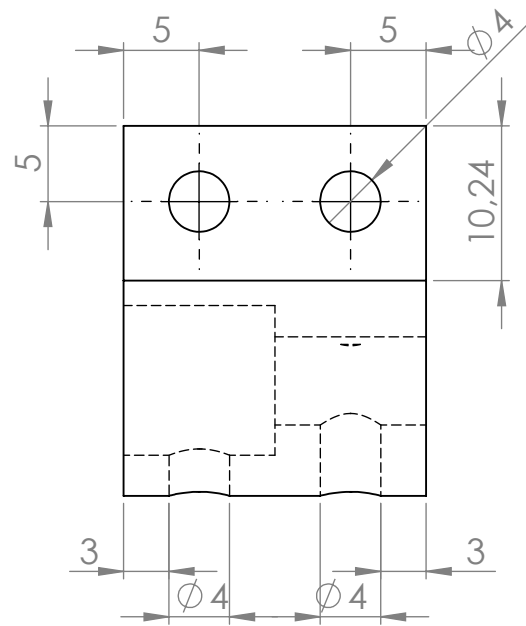
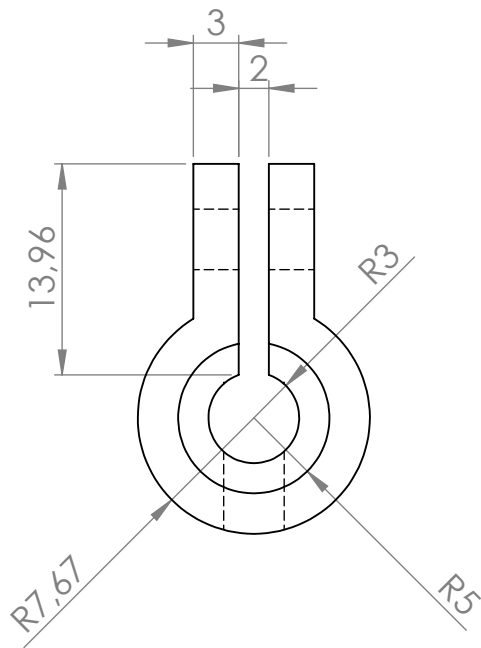
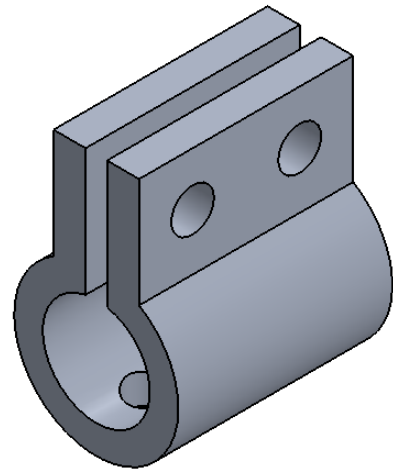
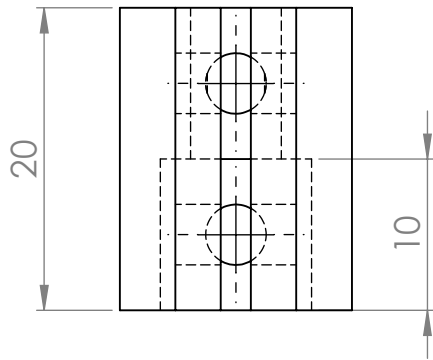
	1	la base	Alliage d'aluminium 6063 T1	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:6		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




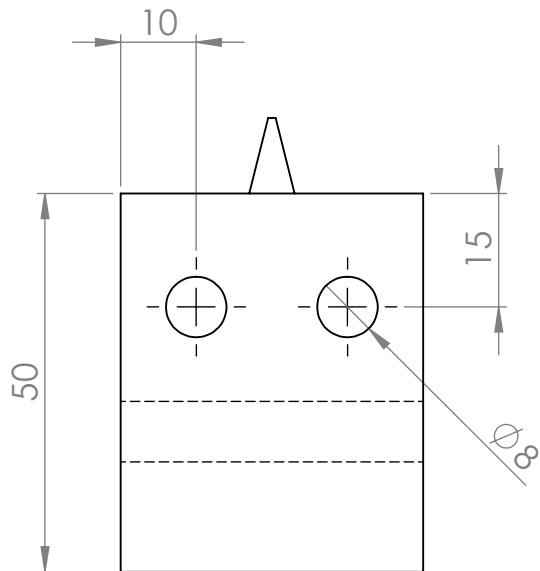
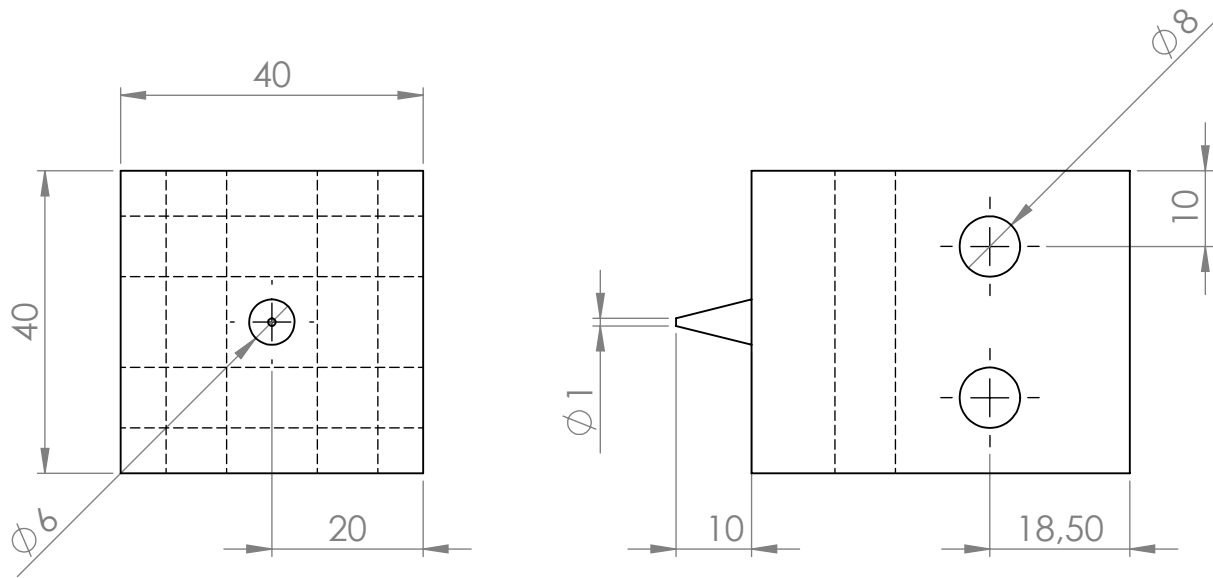
	2	Bobine	PBT à usage général	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		




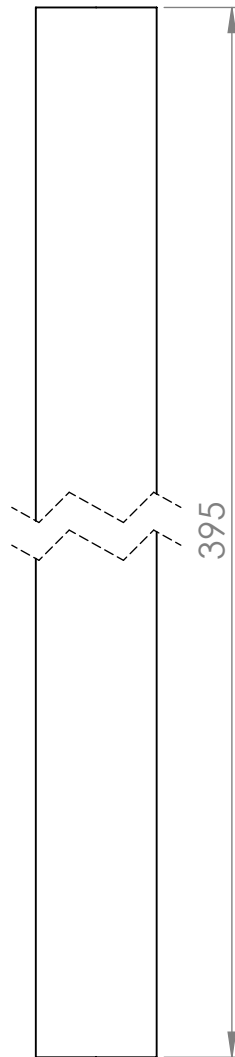
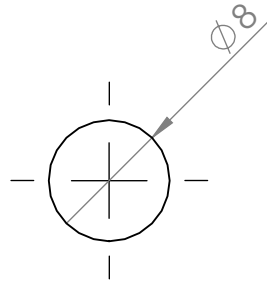
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
30	1	Cache	Alliage d'aluminium	
Echelle: 1:5		Imprimante 3D		Réalisé par: Melle Kherbouche Melle Moussaoui
A3		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		Animé par: Mr Ould Ouali




16	1	Coupleur	Alliage d'aluminium 1060
Rep	Nbr	désignation	matière
Echelle 2:1		imprimante 3D	réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
			animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	



29	1	Extrudeuse	Alliage d'aluminium 1060	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 1:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		



27	2	Glissière transversale Y	Aisi 1010	
Rep	Nbr	désignation	matière	observation
Echelle 2:1		imprimante 3D		réalisé par: Melle kherbouche Melle moussaoui
				animé par: Mr Ould ouali
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		