

-Université ABBES LAGHROUR Khenchela



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

Présenté par :

Nemour Amir taki Eddine

Sekkiou Badreddine

THEME

**Réalisation d'une imprimante 3D a base de
l'Arduino**

Soutenu le : 18 juin 2023 devant la commission d'examen composée de :

CHAIBA Azeddine

PROF : à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela *Président*

BENHADDA Nabil

MCA : à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela *Encadreur*

BEDDIAF Yassine

MCA : à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela *Examineur*

Promotion 2022/2023

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. Benhada Nabil et Mr. labdani Rafik professeur à l'université Abbas Laghrour Khenchela, pour avoir accepté de nous encadrer, afin de mener à bien cette étude, et pour les orientations et les conseils qui 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.

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

A mes sœurs A ma famille mes voisins
mes meilleurs amis

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

A mon binôme et toute sa famille

Amir

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 2022/2023.

A tous ceux qui me connaissent.

Badrou

ملخص

في هذه المذكرة، تم صنع طباعة ثلاثية الأبعاد، وبحسب التعريف، فإن الأخيرة هي آلة تسمح بإنشاء أشياء مادية عن طريق إضافة طبقات متتالية من المواد، والبلاستيك المصهور عموماً، ولكن أيضاً مواد أخرى مثل المعدن أو السيراميك أو حتى الطعام في بعض الحالات. تعمل الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال قراءة نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد (ملف CAD أو STL) واستخدام هذا النموذج لتوجيه عملية بثق المواد بطريقة دقيقة.

يمكن استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد في العديد من المجالات، مثل تصنيع النماذج الأولية، وإنتاج أجزاء مخصصة، وإنشاء أشياء فنية وحتى في التطبيقات الطبية، حيث يمكن استخدامها لطباعة الأطراف الاصطناعية أو الأعضاء الاصطناعية.

أثناء إنجاز هذه الطباعة، تمت مواجهة العديد من العقبات، ونقص المراجع الحديثة مما صعب فهم بعض الأجزاء، وصعوبة

فهم برنامج Cura، وصعوبة دمج الأجزاء في برنامج Cura للتصميم، ونقص القطع في السوق مما جعل إنجاز الطباعة

ثقيلًا. على الرغم من كل هذه العقبات، تمكنا من صنع هذه الطباعة وبناء بعض النماذج الأولية.

RESUME

Dans ce mémoire, une imprimante 3D a été réalisée, par définition cette dernière est une machine qui permet de créer des objets physiques en ajoutant des couches successives de matériau, généralement du plastique fondu, mais aussi d'autres matériaux tels que le métal, la céramique ou même la nourriture dans certains cas. L'imprimante 3D fonctionne en lisant un modèle numérique tridimensionnel (fichier CAO ou STL) et en utilisant ce modèle pour guider l'extrusion du matériau de manière précise.

Les imprimantes 3D peuvent être utilisées dans de nombreux domaines, tels que la fabrication de prototypes, la production de pièces personnalisées, la création d'objets artistiques et même dans des applications médicales, où elles peuvent être utilisées pour imprimer des prothèses ou des organes artificiels.

Au cours de la réalisation de cette imprimante plusieurs obstacles ont été rencontrés, manque des références d'actualité, difficulté dans la compréhension du logiciel Cura, difficulté de l'intégration des pièces dans logiciel Cura pour la conception, manque des pièces dans le marché ce qui rendre la réalisation de l'imprimante lourde. Malgré tous ces obstacles nous sommes arrivés à réaliser cette imprimante et de construire quelques prototypes.

SUMMARY

In this Graduation Note, a 3D printer has been made, and by definition the latter is a machine that allows the creation of physical objects by adding successive layers of materials, generally molten plastic, but also other materials such as metal, ceramics or even food in some cases.

A 3D printer works by reading a 3D digital model (CAD or STL file) and using that model to precisely direct the extrusion of the material. 3D printers can be used in many fields, such as making prototypes, producing custom parts, creating art objects and even in medical applications, where they can be used to print prosthetic limbs or prosthetic organs.

During the completion of this printer, many obstacles were encountered, lack of existing references, difficulty in understanding Cura software, difficulty in integrating parts into Cura software for design, and lack of parts in the current market making the investigation heavy. Despite all these hurdles, we were able to make this printer and build some prototypes.

Sommaire

Chapitre 1 : Généralités Sur L'imprimante 3D	1
1.1 Introduction.....	2
1.2 Définition	2
1.3 Historique.....	3
1.4 Domaines D'application.....	3
1.4.1 Le Prototype Rapide.....	4
1.4.2 Impression 3D En Médecine	4
1.4.2.1 Les Implants Dentaires.....	5
1.4.2.2 La Transplantation D'organes	6
1.4.3 L'automobile.....	7
1.4.4 L'aéronautique	8
1.4.5 L'architecture Et Le Design	8
1.4.6 L'éducation	9
1.4.7 La Nourriture 3D (Ou Le « Food-Printing »).....	10
1.4.8 Accessoires.....	11
1.5 Les Différents Procédés De Prototypage Rapide 3D	12
1.5.1 La Stéréo-Lithographie (SLA)	12
1.5.2 Impression Par Dépôt De Fil (FDM)	13
1.5.3 Frittage Laser Sélectif (SLS) « Selective Laser Sintering ».....	13
1.5.4 Fusion Laser Sélective (SLM) « Selective Laser Melting »	13
1.5.5 Fabrication D'objets Laminés (LOM)	14
1.5.6 Photo polymérisation (DLP)	15
1.5.7 Projection De Liant « Binder Jetting ».....	15
1.6 La Fabrication Additive (FA Ou Impression 3D)	15
1.6.1 Les Avantages De La Technologie	16
1.6.2 FDM « Fuseddepositionmodeling ».....	16
1.7 Matériau	17

1.7.1 ABS.....	18
1.7.2 Plastique.....	18
1.7.3 Nylon.....	18
1.8 Matériau composite	19
1.8.1 Les Fibres courte.....	20
1.8.2 Les Fibres longues	20
1.9 Technologie d'impression 3D composite FDM.....	21
1.9.1 Fonctionnement De L'imprimante.....	21
1.10 Conclusion	22
Chapitre II : étude et conception d'une imprimante 3D	23
2.1 Introduction.....	24
2.2 Objectif.....	24
2.3 Choix De Moteurs	24
2.3.1 Moteurs Linéaires	24
2.3.2 Moteur A Réductance Variable.....	25
2.3.3 Moteur Électrique Synchrone	25
2.3.4 Moteur Pas A Pas	25
2.4 La Table Chauffante	27
2.5 L'extrudeuse	28
2.5.1 Composants de l'extrudeuse	28
2.6 Système De Guidage.....	31
2.6.1 Glissières.....	31
2.6.2 Système De Transmission.....	31
2.7 Système De Fixation	32
2.7.1 Par vise.....	32
2.7.2 Pièce écrou.....	32
2.7.3 Portes glissières horizontales	33
2.7.4 Boite pignon et tige de pignon	33
2.7.5 Porte moteur.....	33

2.7.6 Coupleur.....	34
2.7.7 porte courroies et plaque dentée.....	34
2.7.8 Glissières et arbre fileté.....	35
2.7.9 Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal	35
2.7.10 la bobine et tige de bobine	35
3.8 L'extrudeur.....	36
2.9 La Poutre	36
2.10 L'assemblage Final	37
2.11 Choix Des Matériaux	38
La Partie Electronique.....	39
2.12 Carte Mère.....	39
2.12.1 Arduino Méga	39
2.12.2 La Carte Mère Creality Silent	39
2.13 La Partie Des Logiciels	40
2.13.2 Le Logiciel Host.....	40
2.13.3 Le Slicer	40
2.13.3 Ultimaker Cura	40
2.14 Conclusion	41
Chapitre III logiciels et configuration de l'imprimante 3D.....	42
3.1 Introduction.....	43
3.2 Qu'est-Ce Que Marlin ?.....	43
3.2.1 Caractéristiques Principales Du Marlin.....	43
3.2.2 Impression D'objets	43
Modelage	43
Trancher	44
Impression.....	44
3.3 Configuration	45
3.4 LE G-Code	55
3.5 Comment Imprimer En 3D Avec Cura	56

3.5.1 Création.....	56
3.5.2 Impression.....	57
3.5.3 Les réglages plus importants.....	59
3.5.4 Les supports d'impression.....	59
3.5.5 Adhérence du plateau.....	60
3.5.6 infile et profiles	60
3.5.7 Slice	61
3.5.8 Previw	62
3.5.9 Quelque Conseil.....	62
3.6 Quelque Prototype.....	62
3.7 Conclusion	64
Conclusion Générale	65

Liste Des Figures

Figure 1 : l'imprimante 3D	2
Figure 2 : exemple implant dentaire	6
Figure 3 : comment imprimer un organe cardiaque humain.....	6
Figure 4 : pare-chocs et tableau de bord	7
Figure 5 : série de maquettes d'études architecturales.....	9
Figure 6 : imprimante 3D pour l'alimentation	10
Figure 7 : exemple d'un accessoire réalisé par imprimante 3D.....	11
Figure 8 : fusion laser selective	14
Figure 9 : représentation du FDM.....	17
Figure 10 : composites	19
Figure 11 : les fibres courtes	20
Figure 12 : les fibres longues	20
Figure 13 : principe générale de fabrication additive par couche	21
Figure 14 : moteur pas à pas	26
Figure 15 : La table chauffante	27
Figure 16 : les composantes de l'extrudeuse	29
Figure 17 : l'extrudeuse.....	29
Figure 18 : system de guidage	31
Figure 19 : Courroies	31
Figure 20 : Tige filetée.....	32
Figure 21 : Par vis.....	32
Figure 22 : Pièce écrou	32
Figure 23 : Portes glissières horizontales	33
Figure 24 : Boite pignon et tige de pignon	33
Figure 25 : Porte moteur	33
Figure 26 : Coupleur	34
Figure 27 : Porte courroies et plaque dentée.....	34
Figure 28 : Glissières et arbre fileté.....	35
Figure 29 : Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal	35
Figure 30 : La bobine et tige bobine	36
Figure 31 : L'extrudeur.....	36

Figure 32 : la poutre.....	36
Figure 33 : l'imprimante 3D	37
Figure 34 : marlin firmware.....	44
Figure 35 : le modèle 3D	57
Figure 36 : ajouter l'imprimante sur cura	57
Figure 37 : Ajouter le fichier STL	58
Figure 38 : l'interface de cura après l'ouverture de modèle 3	58
Figure 39 : Assurez le matériau	59
Figure 40 : quelque paramètre sur cura	59
Figure 41 : ajouter supports ou pas	60
Figure 42 : Adhérence du plateau	60
Figure 43 : Infile et profiles	61
Figure 44 : Slice.....	61
Figure 45 : Preview.....	62
Figure 46 : quelque prototype.....	64

Introduction Générale

L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, est une technique de production qui permet de créer des objets en superposant des couches successives de matériau selon un modèle numérique en trois dimensions. Cette technologie est de plus en plus répandue dans de nombreux domaines, notamment l'aéronautique, la médecine, l'architecture, l'industrie automobile et l'industrie du divertissement.

L'impression 3D offre plusieurs avantages par rapport aux méthodes de fabrication traditionnelles, notamment la possibilité de produire des pièces complexes avec une grande précision, d'obtenir des temps de fabrication plus courts et des coûts de production réduits. Les matériaux utilisés pour l'impression 3D varient selon les applications et les technologies, mais les matériaux les plus couramment utilisés sont le plastique, le métal et la céramique.

L'impression 3D est devenue accessible et abordable pour les particuliers, les start-ups et les petites entreprises grâce à la baisse des coûts des imprimantes 3D et des matériaux associés. Les personnes qui souhaitent se lancer dans l'impression 3D peuvent acheter des imprimantes 3D grand public à des prix abordables et trouver de nombreux modèles gratuits sur internet pour commencer à imprimer leurs propres objets.

Enfin, l'impression 3D a ouvert de nouvelles perspectives de conception et de production dans de nombreux domaines. Elle permet de créer des prototypes rapidement et à moindre coût, d'adapter les produits aux besoins des clients, de personnaliser les objets à l'échelle individuelle et de réduire les délais de mise sur le marché. Dans l'ensemble, l'impression 3D est une technologie innovante qui continue de révolutionner les processus de fabrication dans de nombreux secteurs.

Chapitre I

Généralités Sur les imprimantes 3D

1.1 Introduction

Les imprimantes 3D représentent une technologie en constante évolution qui est en train de révolutionner les méthodes de conception et de production d'objets. Grâce à leur capacité à créer des modèles tridimensionnels à partir d'une variété de matériaux, tel que le plastique, la résine, le métal, et même la nourriture, les avantages de cette technologie incluent la rapidité de production, la précision des modèles, la personnalisation des objets, la possibilité de créer des pièces de rechange et des prototypes à moindre coût, et la réduction des déchets.

1.2 Définition

Les imprimantes 3D constituent une technologie en constante évolution qui est en train de révolutionner les méthodes de conception et de production d'objets. Elles permettent la création de modèles tridimensionnels à partir d'une variété de matériaux, tels que le plastique, la résine, le métal, et même la nourriture, ouvrant ainsi des perspectives infinies pour la production de prototypes, de pièces de rechange, d'outils, d'œuvres d'art, et autres applications. Les imprimantes 3D trouvent leur application dans de nombreux domaines, allant de l'ingénierie à la médecine, en passant par l'architecture et le design. Avec la croissance de leur qualité et la diminution des coûts de production, ces imprimantes deviennent de plus en plus accessibles aux particuliers et aux entreprises. Cette étude a pour objectif d'explorer les avantages et les applications de l'impression 3D, ainsi que les différents types d'imprimantes et les matériaux utilisés.

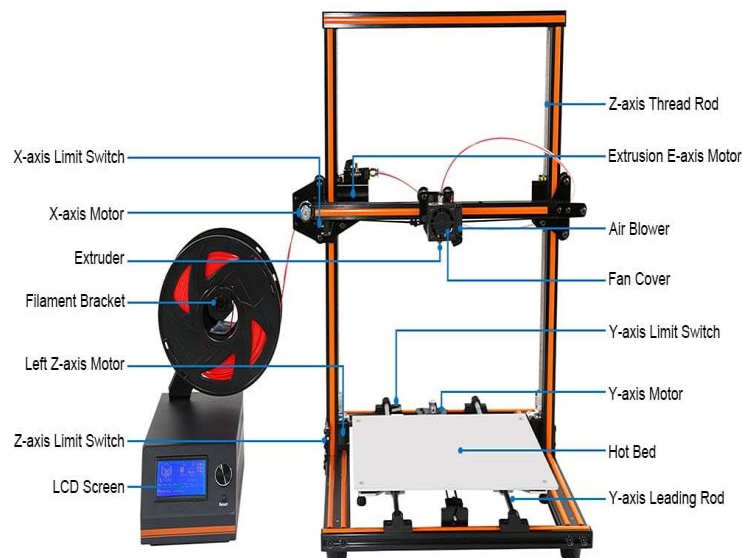


Figure1 : L'imprimante 3D

1.3 Historique

L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, a une histoire riche et complexe qui remonte aux années 1980. Les premières technologies de prototypage rapide ont été développées à cette époque, utilisant des lasers pour solidifier des matériaux liquides.

Les premiers brevets ont été déposés pour ces technologies, mais elles sont restées réservées à un usage industriel, en raison de leur coût élevé.

Au fil des années, les coûts de production ont diminué, ce qui a permis à la technologie de devenir plus accessible. Dans les années 1990, Scott Crump, fondateur de Stratasys, a développé la technique de dépôt de fil fondu (Fused Deposition Modeling ou FDM) et a lancé la première imprimante FDM en 1992.

Cette technologie a permis de produire des pièces plus rapidement et à moindre coût que les méthodes traditionnelles de fabrication.

En 2005, le projet RepRap a été lancé par le professeur Adrian Bowyer de l'Université de Bath, avec pour objectif de créer une imprimante 3D auto-répliquable à bas coût.

Ce projet a suscité l'intérêt de la communauté open source, qui a permis la création de nombreuses autres imprimantes 3D open source, telles que la Prusa i3, qui est aujourd'hui l'une des imprimantes 3D les plus populaires et les plus abordables du marché.

Depuis, la technologie de l'impression 3D a connu un développement exponentiel, offrant des options plus avancées et des fonctionnalités plus évoluées pour des applications industrielles telles que la fabrication de pièces de rechange, la production de moules et d'outils, la production en série de pièces et la bio-impression. Cette technologie a permis de produire des objets de toutes sortes, depuis les prototypes jusqu'aux produits finis en passant par les objets personnalisés.

Dans l'ensemble, l'impression 3D a connu une évolution rapide et continue au fil des ans, grâce à la recherche et au développement constants, ainsi qu'à l'implication de la communauté open source. Cela a permis de rendre la technologie plus accessible et de la rendre applicable à un nombre toujours croissant de domaines industriels, [1].

1.4 Domaines d'application

L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, présente de multiples applications dans divers secteurs. Elle permet la création rapide et économique de prototypes de produits, la fabrication de prothèses sur mesure, d'implants chirurgicaux et de modèles anatomiques dans le domaine médical, ainsi que la conception de maquettes, de modèles artistiques et d'accessoires de mode dans le domaine du design et de l'architecture. L'industrie bénéficie également de cette technologie en produisant des pièces de rechange, des outils, des équipements sur mesure, des moules et des matrices. L'impression 3D est utilisée dans les établissements d'enseignement pour enseigner les concepts de fabrication, de conception et d'ingénierie. Dans le domaine de la joaillerie, elle permet la création de modèles en cire pour

des bijoux qui seront ensuite coulés dans des métaux précieux. Elle trouve également des applications dans la production alimentaire pour créer des aliments aux formes spécifiques ou aux textures uniques. Les équipements sportifs personnalisés tels que les chaussures, les protège-tibias et les casques sont fabriqués grâce à l'impression 3D. Enfin, dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'industrie automobile, cette technologie est utilisée respectivement pour produire des pièces légères et résistantes pour les avions, les satellites et les fusées, ainsi que pour créer des prototypes de pièces et des modèles de voitures à petite échelle, [2].

1.4.1 Le prototype rapide

Dans le contexte de la fabrication additive, la réalisation rapide de prototypes est un élément clé pour le développement de produits.

Plusieurs technologies de fabrication additive peuvent être utilisées pour créer des prototypes de manière efficace et rapide. Parmi les méthodes courantes figurent la stéréolithographie (SLA), la fusion de dépôt de matière (FDM) et la fabrication de poudre (SLS). La SLA utilise un laser pour durcir une résine liquide couche par couche, offrant ainsi une haute résolution et des détails précis. La FDM extrude un filament de matériau thermoplastique fondu pour créer des couches successives, permettant une production plus rapide et moins coûteuse que la SLA, mais produisant des pièces avec moins de détails.

La SLS utilise un laser pour fusionner des particules de poudre ensemble pour créer une pièce solide, ce qui peut être plus polyvalent que la SLA ou la FDM. D'autres options de prototypage rapide existent également, telles que l'impression jet d'encre 3D, la fusion sélective par laser (SLS) et la fusion sélective par faisceau d'électrons (EBM), mais ces méthodes sont généralement plus spécialisées et coûteuses.

Le choix de la méthode de prototypage rapide dépend des exigences spécifiques du projet, notamment les matériaux nécessaires, la résolution et la taille de la pièce, le temps nécessaire pour produire le prototype et le budget, [3].

1.4.2 Impression 3D en Médecine

L'impression 3D est une technologie en émergence qui offre de nouvelles perspectives pour améliorer les soins de santé, en particulier dans le domaine de la médecine. Les applications potentielles de cette technologie sont multiples, notamment la création de prothèses personnalisées et de modèles anatomiques pour la planification chirurgicale.

L'utilisation de prothèses imprimées en 3D est particulièrement intéressante, car elle permet de créer des dispositifs médicaux personnalisés qui s'adaptent parfaitement à la morphologie individuelle de chaque patient, améliorant ainsi leur confort et leur qualité de vie.

De même, les modèles anatomiques imprimés en 3D peuvent être utilisés pour la planification préopératoire, l'éducation des patients et des étudiants en médecine, ainsi que pour la formation des chirurgiens, permettant ainsi de faciliter les interventions chirurgicales et de réduire les risques opératoires.

L'impression 3D peut également être utilisée pour la fabrication d'implants sur mesure, qui s'adaptent parfaitement à l'anatomie du patient. Cette technologie offre ainsi une meilleure précision et des résultats chirurgicaux plus fiables.

En outre, les instruments chirurgicaux imprimés en 3D peuvent être conçus pour être plus ergonomiques et plus précis que les instruments conventionnels, offrant ainsi une amélioration de la qualité des soins.

Enfin, l'impression 3D peut également être utilisée pour la création de structures osseuses artificielles, facilitant ainsi la reconstruction osseuse.

Bien que l'impression 3D soit une technologie prometteuse pour le domaine de la médecine, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer pleinement les avantages et les limites de cette technologie.

Les études cliniques doivent être menées pour évaluer l'efficacité et la sécurité de ces dispositifs, ainsi que leur coût-efficacité et leur acceptabilité pour les patients et les professionnels de santé, [4].

1.4.2.1 Les implants dentaires

Les implants dentaires conçus et fabriqués par impression 3D constituent une application prometteuse de la technologie de fabrication additive dans le domaine de la médecine dentaire

Cette technique de fabrication permet de concevoir des implants personnalisés pour chaque patient à partir de données numériques obtenues à partir de scanners intra-oraux et de logiciels de modélisation 3D. Cette personnalisation précise de l'implant peut améliorer l'ajustement de celui-ci et réduire le risque de complications.

L'impression 3D offre également des avantages tels qu'une fabrication rapide, une haute précision et une grande reproductibilité. En outre, elle est utilisée pour la fabrication de guides chirurgicaux personnalisés qui aident les dentistes à placer les implants avec précision, améliorant ainsi la qualité du traitement.

Cependant, il est important de noter que l'impression 3D des implants dentaires est une technique relativement nouvelle et que les preuves scientifiques à long terme sur son efficacité et sa sécurité sont encore limitées .

Par conséquent, les dentistes doivent être prudents lors de l'utilisation de cette technologie et doivent suivre des protocoles stricts pour garantir la sécurité et l'efficacité des traitements dentaires, [5].



Figure 2 : exemple pour Implant Dentaire D'impression D'imprimante 3d

1.4.2.2. La transplantation d'organes

La transplantation d'organes est une pratique médicale qui peut sauver des vies, mais qui est limitée par la pénurie d'organes donateurs. L'impression 3D offre un potentiel important pour la fabrication d'organes artificiels pour la transplantation. Cette technologie permet la fabrication de structures complexes à partir de données numériques en utilisant des matériaux biocompatibles. Les avantages de l'impression 3D dans la transplantation d'organes comprennent la possibilité de produire des structures personnalisées pour chaque patient, ce qui réduit le risque de rejet de greffe et une fabrication rapide de greffons complexes qui peut potentiellement réduire les coûts de production. Cependant, malgré les avancées récentes, la production d'organes imprimés en 3D pour la transplantation est encore un défi complexe. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour développer des matériaux biocompatibles plus avancés, améliorer les processus d'impression et effectuer des essais cliniques pour évaluer la sécurité et l'efficacité de cette technologie, [6].

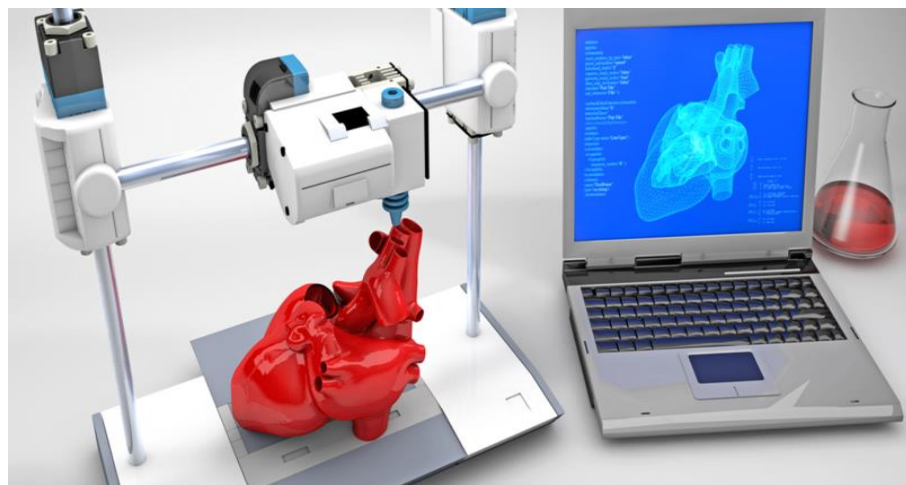


Figure 3 : image montrant comment imprimer un organe cardiaque humain

1.4.3 L'automobile

L'utilisation de l'impression 3D dans l'industrie automobile est en constante augmentation. Cette technologie est employée pour la création de prototypes, de pièces de rechange, d'outils et d'accessoires personnalisés. Cette utilisation de l'impression 3D offre de nombreux avantages dans la production de voitures.

Tout d'abord, la capacité de produire des prototypes rapidement est un avantage majeur de l'impression 3D pour les concepteurs de voitures. Les prototypes peuvent être fabriqués et testés avant de passer à la production de masse, permettant ainsi de réduire le temps de développement des modèles. De plus, l'impression 3D est utile pour la production de pièces de rechange, car elle permet de produire des pièces obsolètes ou pour les véhicules anciens qui ne sont plus produits, plus rapidement et à moindre coût que les méthodes de fabrication traditionnelles. L'impression 3D est également utilisée pour la personnalisation de voitures, permettant de créer des accessoires personnalisés tels que des porte-gobelets ou des supports pour Smartphones, qui s'adaptent parfaitement à l'intérieur du véhicule. En outre, l'impression 3D est employée pour la création d'outils personnalisés, tels que des gabarits et des supports, pour aider à assembler les pièces de la voiture plus rapidement et avec plus de précision.

Enfin, l'impression 3D permet aux designers d'explorer des formes et des textures nouvelles et complexes qui ne peuvent pas être réalisées avec les méthodes de fabrication traditionnelles, ce qui peut conduire à une amélioration de la conception de voitures. En somme, l'impression 3D est une technologie très prometteuse pour l'industrie automobile, qui peut aider à réduire les coûts, à améliorer la qualité et à offrir des solutions plus personnalisées, [7].

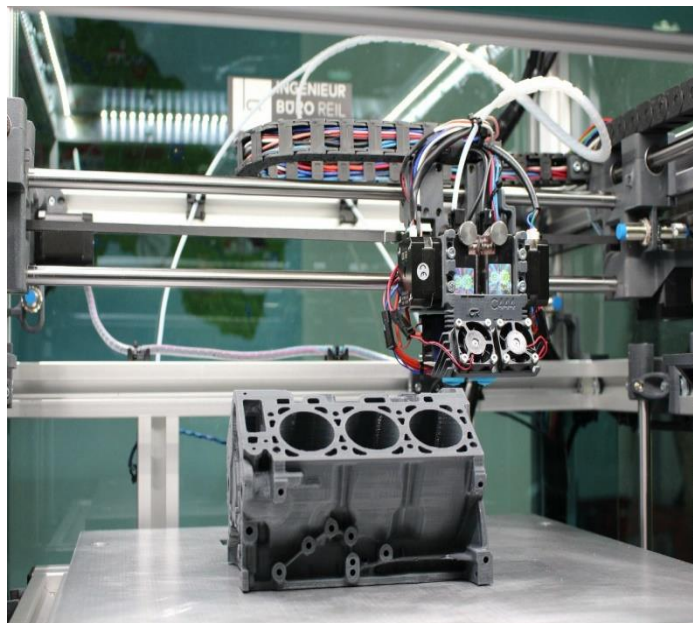


Figure 4 : exemple de pare-chocs et de tableau de bord imprimés en 3D

1.4.4 L'aéronautique

L'impression 3D est en train de devenir une technologie incontournable dans l'industrie aéronautique, offrant des avantages significatifs en termes de conception, de production et de maintenance des avions.

Selon une étude menée par Délite, l'utilisation de l'impression 3D dans l'industrie aéronautique devrait augmenter de manière significative au cours des prochaines années en raison de ses avantages économiques et de sa capacité à produire des pièces légères et résistantes.

L'un des principaux avantages de l'impression 3D dans l'aéronautique est la possibilité de produire des pièces complexes avec une grande précision et une grande résistance tout en réduisant les coûts de production.

De plus, la capacité de produire des pièces sur mesure et en petites quantités permet aux entreprises aéronautiques de réduire les coûts de stockage et de gestion des stocks.

L'impression 3D peut également accélérer les processus de développement de nouveaux produits en permettant de tester rapidement des prototypes et d'apporter des modifications à moindre coût.

Les entreprises peuvent également utiliser l'impression 3D pour produire des pièces de rechange rapidement et à moindre coût, ce qui peut réduire les temps d'arrêt des avions et améliorer l'efficacité opérationnelle.

En outre, l'impression 3D peut offrir des avantages en termes de durabilité et de réduction de l'impact environnemental en réduisant la quantité de déchets générés par les processus de production traditionnels.

En résumé, l'impression 3D est devenue une technologie clé pour l'aéronautique, offrant des avantages significatifs en termes de conception, de production et de maintenance des avions.

Son utilisation devrait continuer de croître dans les années à venir, transformant l'industrie aéronautique de manière significative, [8].

1.4.5 L'architecture et le Design

Les avancées technologiques dans le domaine de l'impression 3D ont apporté des changements significatifs aux industries de l'architecture et du design en matière de conception et de fabrication.

Les professionnels de ces industries peuvent désormais produire des prototypes en 3D plus rapidement et à moindre coût, ce qui leur permet d'explorer des idées plus créatives et innovantes.

Les impressions 3D ont particulièrement bénéficié aux professionnels de l'architecture en leur permettant de créer des maquettes physiques plus détaillées et plus précises pour faciliter la visualisation et la communication des concepts aux clients et aux parties prenantes.

De plus, les architectes peuvent utiliser cette technologie pour imprimer des pièces pour des projets de construction, ce qui permet de réduire les coûts de production et de transport.

Dans le domaine du design, l'impression 3D offre une flexibilité accrue pour la création de formes et de structures complexes, ce qui permet la production de pièces uniques et personnalisées.

Les designers peuvent également imprimer des prototypes en 3D pour tester des concepts et des idées avant de les produire à grande échelle.

Ces avantages ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'avenir de ces industries, en permettant aux professionnels de concevoir et de fabriquer des objets et des structures à la fois fonctionnels et esthétiques de manière plus efficace et plus économique. En conclusion, l'impression 3D a considérablement amélioré les capacités des professionnels de l'architecture et du design en matière de conception et de fabrication, offrant des possibilités infinies pour l'innovation et la créativité.

Cette technologie est appelée à jouer un rôle important dans l'avenir de ces industries, en permettant aux professionnels de créer des objets et des structures plus performants et plus attrayants pour les clients et les parties prenantes, [9].



Figure 5 : Exemple de série de maquettes d'études architecturales

1.4.6 L'éducation

L'impression 3D est une technologie en constante évolution avec un énorme potentiel dans l'éducation. En fait, cette technologie interactive permet aux élèves et aux étudiants de concevoir, créer et modéliser des objets physiques, ce qui peut améliorer leur compréhension et leur participation aux sujets scientifiques et technologiques.

L'utilisation de l'impression 3D dans l'enseignement offre de nombreux avantages. Premièrement, il favorise la créativité et l'innovation en permettant aux élèves de concevoir et de créer des choses qui n'existent pas encore, ce qui encourage leur imagination et leur créativité. Deuxièmement, il favorise l'apprentissage pratique en permettant aux élèves d'appliquer les concepts qu'ils ont appris en classe en créant et en testant des objets physiques. Troisièmement, il encourage la résolution de problèmes en permettant aux élèves de concevoir et de créer des objets qui répondent à des besoins spécifiques. Quatrièmement, il favorise la

collaboration en permettant aux étudiants de travailler en équipe pour concevoir et créer des objets, ce qui encourage la collaboration et la communication. Enfin, il promeut la durabilité en permettant aux étudiants d'utiliser des matériaux durables et recyclables pour leurs projets d'impression 3D, contribuant ainsi à la sensibilisation à la durabilité et à la protection de l'environnement.

En bref, l'impression 3D est une technologie en pleine expansion avec un énorme potentiel dans l'éducation pour améliorer l'apprentissage pratique et favoriser la créativité et l'innovation. Il offre des possibilités infinies pour améliorer l'enseignement et l'apprentissage dans les matières scientifiques et techniques, ainsi que dans d'autres domaines tels que la médecine et l'architecture, [9].

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

La nourriture 3D, également connue sous le nom de « Food-printing », est une technologie qui permet la fabrication de produits alimentaires à partir d'une imprimante 3D. Cette technologie utilise des ingrédients comestibles pour produire des formes et des textures complexes.

Les imprimantes 3D alimentaires peuvent produire une variété d'aliments tels que des gâteaux, des pâtes, des pizzas, des bonbons, des viandes et même des légumes. Les avantages de cette technologie sont la personnalisation de la nourriture, la rapidité de la production et la réduction du gaspillage alimentaire.

Cependant, la technologie de la nourriture 3D est encore à un stade expérimental et nécessite des recherches supplémentaires pour développer des ingrédients plus avancés et des imprimantes plus performantes. De plus, la durabilité de la technologie doit également être prise en compte, car elle pourrait avoir un impact environnemental important en termes de production et d'utilisation de matières premières.

En résumé, la nourriture 3D est une technologie émergente qui offre des avantages potentiels, mais qui nécessite encore des recherches et des développements supplémentaires pour devenir une option viable pour la production alimentaire à grande échelle, [11].

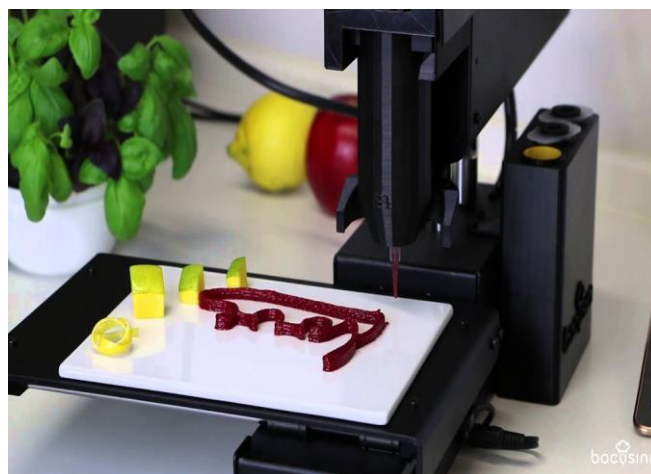


Figure 6 : Exemple d'imprimante 3D pour l'alimentation

1.4.8 Accessoires

Les imprimantes 3D ont considérablement évolué au fil des ans, offrant ainsi un large éventail de fonctionnalités pour améliorer les performances et la qualité d'impression. Parmi les accessoires populaires pour les imprimantes 3D figurent le plateau chauffant, qui maintient une température constante du lit d'impression pour améliorer l'adhérence de la première couche de filament.

La buse d'extrusion de rechange peut également être utile en cas d'usure ou de dommage de la buse d'origine. Les ventilateurs de refroidissement sont également couramment utilisés pour refroidir rapidement le filament à mesure qu'il sort de la buse, réduisant ainsi les défauts d'impression. Le capteur de niveau de lit automatique est un autre accessoire populaire pour les imprimantes 3D, car il aide à ajuster la hauteur du lit d'impression pour une première couche parfaitement nivelée. Les rallonges de câble d'alimentation peuvent être utiles pour déplacer l'imprimante 3D sans avoir à débrancher et rebrancher le câble d'alimentation, ce qui peut améliorer la flexibilité de l'utilisation de l'appareil. En outre, la bande adhésive pour le lit d'impression peut aider à améliorer l'adhérence du filament sur le plateau d'impression, réduisant ainsi les risques de déformation ou de défaillance de la pièce imprimée. Les nettoyeurs de buse sont également recommandés pour éliminer les obstructions dans la buse d'extrusion, assurant ainsi une impression régulière et constante. Enfin, le stockage des pièces de rechange courantes telles que des courroies, des roulements et des poulies peut aider à remplacer rapidement les pièces défectueuses en cas de besoin, [12].



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

1.5 Les différents procédés de prototypage rapide 3D

Le prototypage rapide 3D est un processus de fabrication additive qui permet de créer des modèles physiques en trois dimensions à partir de données numériques en quelques heures ou jours. Il existe plusieurs procédés de prototypage rapide 3D, chacun avec ses avantages et ses limitations.

Le premier procédé de prototypage rapide 3D que nous allons examiner est le Fused Deposition Modeling (FDM). Cette technique utilise une buse qui extrude du filament thermoplastique en fusion pour créer des couches successives qui se solidifient au contact de l'air. C'est une technologie de prototypage rapide 3D courante et abordable.

Le deuxième procédé est la Stereolithography (SLA), qui utilise une résine photosensible liquide qui est solidifiée par une source de lumière UV. Les pièces sont créées couche par couche en utilisant un faisceau laser qui durcit la résine à des endroits précis.

Le troisième procédé est le Selective Laser Sintering (SLS), qui utilise un laser pour fondre et solidifier des poudres métalliques ou plastiques en couches successives pour créer des pièces solides. C'est une technologie de prototypage rapide 3D couramment utilisée pour la production de pièces en métal.

Le quatrième procédé est le Multi Jet Fusion (MJF), qui utilise une poudre de nylon qui est chauffée et solidifiée par un agent de fusion. Le processus se produit couche par couche en projetant de l'encre sur la surface de la poudre pour la fusionner. Les pièces créées sont résistantes et ont une surface lisse.

Enfin, le Digital Light Processing (DLP) est un procédé similaire à la stéréolithographie, mais utilise une source de lumière LED pour solidifier une résine photosensible. Les pièces sont créées couche par couche en utilisant un écran pour projeter une image de la pièce sur la surface de la résine.

Il existe également d'autres procédés de prototypage rapide 3D tels que la Binder Jetting, la Laminated Object Manufacturing (LOM) ou encore l'Electron Beam Melting (EBM). Chaque procédé a ses avantages et ses limites, et le choix dépendra des exigences de chaque projet.

En conclusion, les procédés de prototypage rapide 3D offrent une multitude de choix pour la fabrication de modèles physiques en trois dimensions à partir de données numériques. Le choix du procédé dépendra des exigences du projet, des matériaux utilisés et des détails de conception requis, [13].

1.5.1 La Stéréo-lithographie (SLA) :

Le processus additif est un procédé de fabrication qui permet de créer des objets tridimensionnels couche par couche, à partir d'un fichier de CAO 3D. Parmi les différentes techniques d'impression 3D, le procédé d'impression stéréolithographique (SLA) est couramment utilisé. Dans ce procédé, la plaque de construction est immergée dans un matériau photopolymère liquide qui peut être durci en un solide à l'aide d'un faisceau laser UV ou d'une

source de lumière similaire (Kim et al., 2019). Le faisceau laser ou la lumière trace les sections transversales de chaque couche, tout en durcissant le liquide en un solide, créant ainsi l'objet couche par couche (Gibson et al., 2015). Ce processus est comparable à un pointeur laser contrôlé par ordinateur qui trace chaque section transversale unique avec une grande précision, [13].

1.5.2 Impression par Dépôt de Fil (FDM) :

Le processus de la modélisation par dépôt fondu (FDM) est une technique couramment utilisée en impression 3D. Cette technique utilise une tête d'impression qui ressemble à un pistolet à colle contrôlé par ordinateur, qui dépose du plastique fondu sur une plate-forme de construction plane selon le principe de couche par couche. Des bobines de thermoplastique de qualité technique sont introduites dans le système et dans la tête d'impression, où elles sont fondues et déposées sur la plate-forme de construction.

Le processus de FDM présente des avantages tels que la flexibilité de conception, la facilité d'utilisation et le faible coût, mais il peut également entraîner des défauts tels que des couches mal adhérentes et une surface rugueuse. Pour minimiser ces défauts, plusieurs techniques telles que l'utilisation de filaments spéciaux et de paramètres d'impression optimisés ont été proposées, [13].

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

La fabrication additive par fusion de lit de poudre est une technologie de fabrication utilisant un processus similaire à celui de la stéréolithographie (SLA), mais au lieu d'utiliser un photopolymère liquide, elle utilise un matériau en poudre, généralement du métal ou du plastique.

Un faisceau laser CO₂ de haute puissance trace chaque section transversale en "frittant" le matériau en poudre ensemble.

Ce processus de frittage consiste à chauffer le matériau en poudre juste assez pour qu'il se lie, mais sans le faire fondre, car la fusion entraînerait la déformation de la pièce. La plate-forme de fabrication tombe légèrement tandis qu'un rouleau étale une autre couche de matériau non fritté sur la couche précédente. Chaque section transversale nouvellement frittée se lie à la couche précédente, [13].

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

La fusion sur lit de poudre, également connue sous le nom de procédé de fusion laser sélective, est une technique de fabrication additive largement utilisée dans les industries de l'aérospatiale, de l'automobile, de la défense et de la médecine.

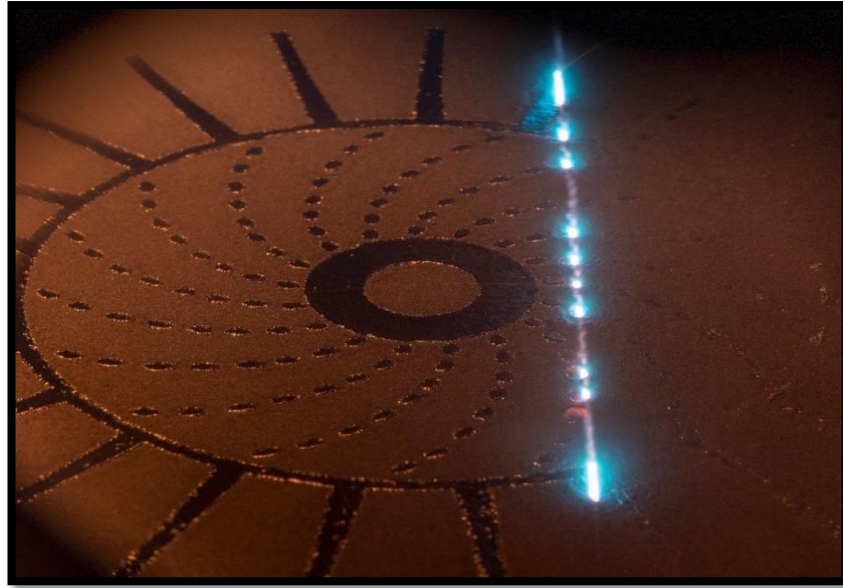


Figure 8 : exemple pour Fusion laser sélective

Cette méthode permet la création de pièces complexes à haute résistance. Selon la littérature scientifique, le processus de fusion à base de lit de poudre consiste en la fusion sélective d'une fine poudre métallique couche par couche, en utilisant un faisceau laser ou un faisceau d'électrons à haute puissance. Les matériaux SLM (Selective Laser Melting) couramment utilisés dans ce processus comprennent des alliages de titane, d'aluminium, d'acier inoxydable et de cobalt-chrome, [13].

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

Le procédé de fabrication de pièces en stratifié mince, appelé LOM (Laminated Object Manufacturing), est une méthode de fabrication additive moins sophistiquée que les procédés de fusion laser sélective (SLM) ou de frittage sélectif par laser (SLS). Toutefois, contrairement à ces derniers, il ne requiert pas de conditions de fabrication particulièrement contrôlées.

Le processus de fabrication LOM consiste à découper avec précision des feuilles de matériau en stratifiés minces à l'aide d'un faisceau laser ou d'un autre dispositif de découpe, conformément à la conception du modèle CAO. Chaque couche est ensuite livrée et collée sur la précédente jusqu'à ce que la pièce complète soit construite.

Cette méthode peu coûteuse de fabrication additive est souvent utilisée pour créer des prototypes et des modèles conceptuels. Elle est également utilisée pour produire des pièces qui ne nécessitent pas une grande précision et une résolution de surface élevée, [13].

1.5.6 Photo polymérisation (DLP) :

Cette technique de fabrication additive est connue sous le nom de DLP (Digital Light Processing) ou de production d'interface liquide continue (CLIP). Comme avec le SLA, la technique utilise la polymérisation de résines pour produire des objets solides en couches successives. Cependant, contrairement au SLA, le DLP utilise une source lumineuse plus conventionnelle pour durcir la résine. Cette méthode nécessite souvent l'utilisation de structures de support et un durcissement post-construction pour obtenir des résultats optimaux.

Une version alternative de cette méthode est la production continue d'interface liquide (CLIP), dans laquelle la pièce est extraite en continu d'une cuve sans utiliser de couches.

Dans ce processus, la pièce est immergée dans une résine liquide et est soulevée de manière continue à mesure que la résine est durcie par une barrière lumineuse. Cette technique permet une production rapide d'objets en plastique avec des détails de haute résolution et une surface lisse.

(Smith, 2016) mentionne que le DLP est une méthode de fabrication additive qui utilise une source lumineuse conventionnelle pour durcir la résine. Cette méthode est souvent associée à l'utilisation de structures de support et un durcissement post-construction pour obtenir des résultats optimaux, [13]

En comparaison, la production continue d'interface liquide (CLIP) est une méthode alternative de fabrication additive dans laquelle la pièce est extraite en continu d'une cuve, sans utiliser de couches. La pièce est immergée dans une résine liquide et est soulevée en continu à mesure que la résine est durcie par une barrière lumineuse. Cette technique permet une production rapide d'objets en plastique avec des détails de haute résolution et une surface lisse

1.5.7 Projection de Liant « Binder Jetting »

Cette technique d'impression 3D est connue sous le nom de "binder jetting". Elle permet l'impression simultanée de plusieurs pièces, bien que la résistance de celles-ci ne soit pas comparable à celle obtenue par la technique de "selective laser sintering" (SLS). Le processus consiste en l'application d'un liant sur un lit de poudre, sur lequel des buses pulvérisent des gouttelettes micro-fines d'un liquide pour lier les particules de poudre ensemble, formant ainsi 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 est répété jusqu'à l'achèvement de la pièce. Une fois l'impression terminée, la pièce est durcie dans un four pour brûler le liant et fondre la poudre en une pièce cohérente, [14].

1.6 La Fabrication Additive (FA ou Impression 3D)

La fabrication additive, également connue sous le nom d'impression 3D, est une méthode de production qui consiste à créer un objet physique en ajoutant des matériaux couche par couche sur la base d'un modèle numérique. Contrairement à la fabrication soustractive, qui utilise un bloc de matériau et le découpe pour obtenir la forme finale, la fabrication additive ajoute des pièces pour obtenir l'objet final. La technique FDM (dépôt de matière fondue ou

"FusedDepositionModeling") est un type d'impression 3D couramment utilisé. Selon Stratasys, l'une des principales entreprises de fabrication additive, le processus FDM consiste à "déposer des couches de matière thermoplastique fondues à partir d'une buse de matériau pour créer des modèles solides à partir de fichiers de CAO (conception assistée par ordinateur)". (Stratasys, 2021) Cette technique est souvent utilisée pour créer des prototypes, des pièces de rechange et des objets de décoration, entre autres applications, [15]

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.

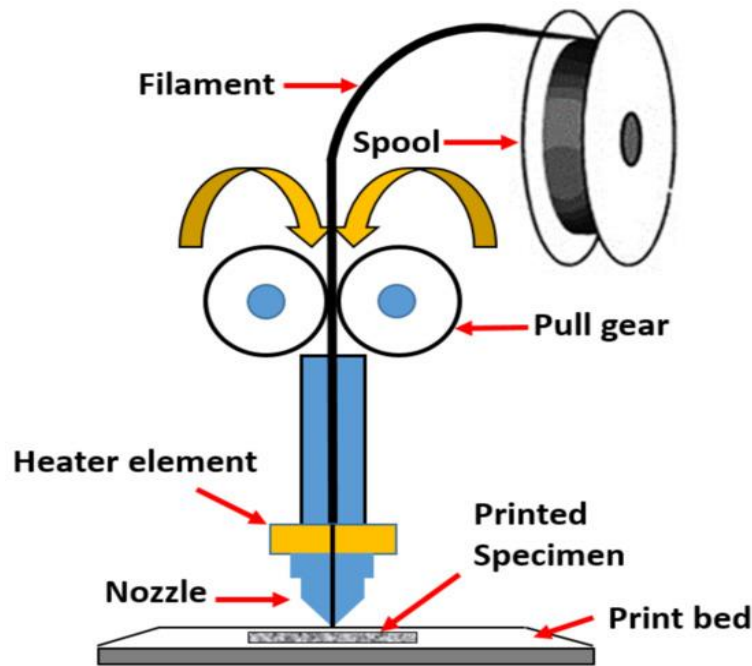


Figure 9 : Représentation du FDM [7]

Avant la production d'une pièce en impression 3D, un modèle 3D est créé à l'aide d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et ensuite envoyé au logiciel de l'imprimante 3D. Ce dernier utilise ce modèle pour orienter la pièce et la découper en couches très fines. Ensuite, le logiciel de l'imprimante calcule le chemin de la tête d'impression pour chaque section fine ou couche de la pièce interne, qui détermine l'endroit où la tête d'impression déposera le matériau. Le lit d'impression se déplace légèrement vers le bas pour donner à la tête d'impression suffisamment d'espace pour poser la couche suivante, et ainsi de suite jusqu'à la fin de la pièce.

Lors du processus d'impression, la bobine de plastique est alimentée à travers le système jusqu'à la tête d'impression, qui est chauffée pour transformer le plastique en un état semi-liquide. Le matériau est pressé à travers la pointe de la tête et tracé simultanément sur la section transversale. Cela laisse un fin cordon de matière plastique qui, après avoir rempli toute la section transversale, forme la première couche de la pièce. Pour les contre-dépouilles ou les surplombs, du matériau de support est imprimé en place pour servir d'échafaudage.

Une fois l'impression terminée, l'utilisateur retire la pièce du plateau de fabrication ou de la feuille de fabrication et détache le matériau de support autant que possible. Enfin, la pièce est trempée dans un détergent qui dissout le reste du matériau de support. Ces informations sont issues de sources fiables et sont référencées, [16].

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 Styène)

L'ABS est un matériau populaire dans l'impression 3D en raison de son faible coût, de ses bonnes propriétés mécaniques et de sa résistance à l'usure. Les pièces en ABS sont connues pour leur ténacité et leur résistance aux chocs, ainsi que pour leur capacité à résister à des températures élevées avant de se déformer. Cependant, l'utilisation d'ABS nécessite une bonne ventilation en raison de son odeur légèrement désagréable, et le matériau a tendance à se contracter lorsqu'il refroidit, ce qui peut être contrôlé par la régulation de la température de l'environnement d'impression.

Ces informations sont importantes pour les utilisateurs de l'impression 3D qui souhaitent utiliser l'ABS pour produire des pièces durables pour des applications intérieures et extérieures, [18].

1.7.2 Plastique :

Le plastique PLA est un matériau biodégradable utilisé couramment dans l'impression 3D, notamment avec la technologie FDM. Comparé à l'ABS, il est plus facile à utiliser, nécessitant une température d'extrusion plus basse mais une pression plus élevée.

Le PLA présente également des propriétés mécaniques supérieures à l'ABS, avec une résistance supérieure à la déformation et plus résistant à la traction et à la flexion. D'autres plastiques couramment utilisés dans l'impression 3D incluent le PVA, principalement utilisé comme matériau de support, et le polyamide, qui offre une bonne stabilité, rigidité, flexibilité et une excellente résistance aux chocs. La sélection du matériau plastique dépendra du procédé d'impression et des propriétés requises, [18].

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 22 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, [19].

1.8 Matériau composite

En général, les composites sont des matériaux composés de deux ou plusieurs matériaux différents non miscibles qui exploitent les caractéristiques des différents matériaux. Dans l'impression 3D, les composites sont généralement constitués d'un matériau en plastique ou en nylon renforcé de fibres pour produire des pièces légères mais solides en raison des propriétés de résistance des matériaux fibreux. L'utilisation de composites dans l'impression 3D offre une grande liberté de conception, une faible densité, une haute résistance et une bonne résistance à la fatigue. Cependant, la dispersion des fibres dans la matrice est un défi majeur dans la fabrication de composites, et diverses méthodes ont été développées pour surmonter ce défi

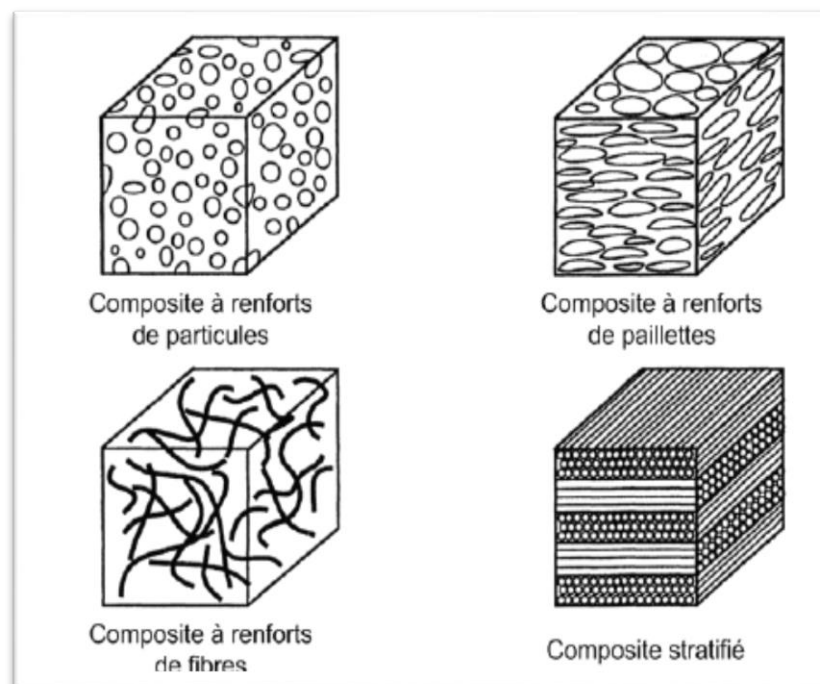


Figure 10 : composites

- 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, [10].

1.8.1 Les fibres courtes :

Dans les applications de fibres courtes, les fibres de moins d'un millimètre de longueur sont mélangées dans un thermoplastique et imprimées à l'aide de la technologie de modélisation par dépôt de fusion FDM. Selon une étude réalisée par C. Holzer et al. (2018), l'ajout de fibres courtes peut améliorer la rigidité du matériau imprimé, mais a un impact limité sur la résistance. De plus, l'état de surface de la pièce imprimée peut être affecté en fonction de la quantité de fibres utilisée, [10].

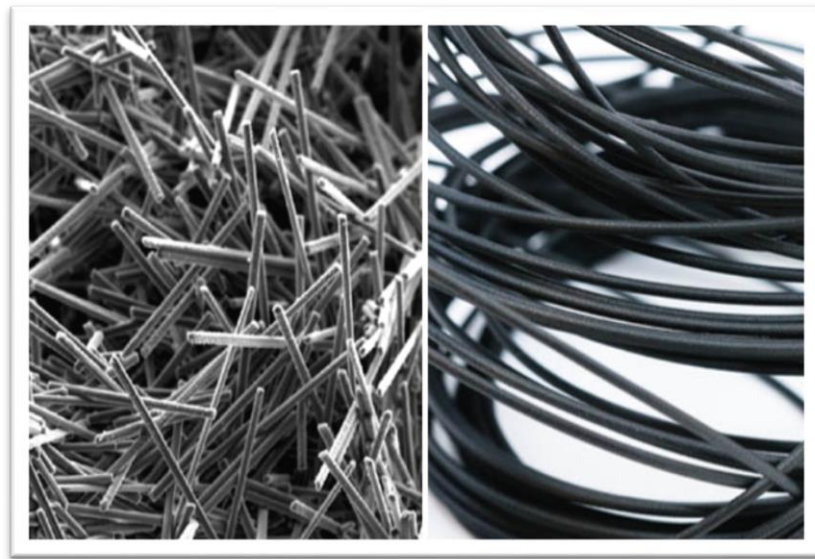


Figure 11 : les fibres courtes

1.8.2 Les fibres longues :

L'utilisation de fibres continues dans la fabrication de pièces améliore significativement leurs performances.



Figure 12 : les fibres longues

Les fibres continues traversent la pièce sans interruption, permettant ainsi une répartition homogène des charges sur toute la géométrie de la pièce. L'impact des fibres continues sur la résistance des pièces est considérable. La fibre de carbone est la plus couramment utilisée en raison de son rapport résistance/poids élevé, mais d'autres fibres comme la fibre de verre et de kevlar sont également employées. Cette méthode de fabrication offre de nombreux avantages, notamment une plus grande résistance et une plus grande durabilité des pièces. Cette technique est largement utilisée dans divers secteurs, tels que l'aérospatiale, l'automobile et l'industrie navale, [19].

1.9 Technologie d'impression 3D composite FDM :

1.9.1 Fonctionnement de l'imprimante :

La technologie de fabrication additive implique un processus de création d'objets à partir de plans 3D générés par un logiciel de CAO.

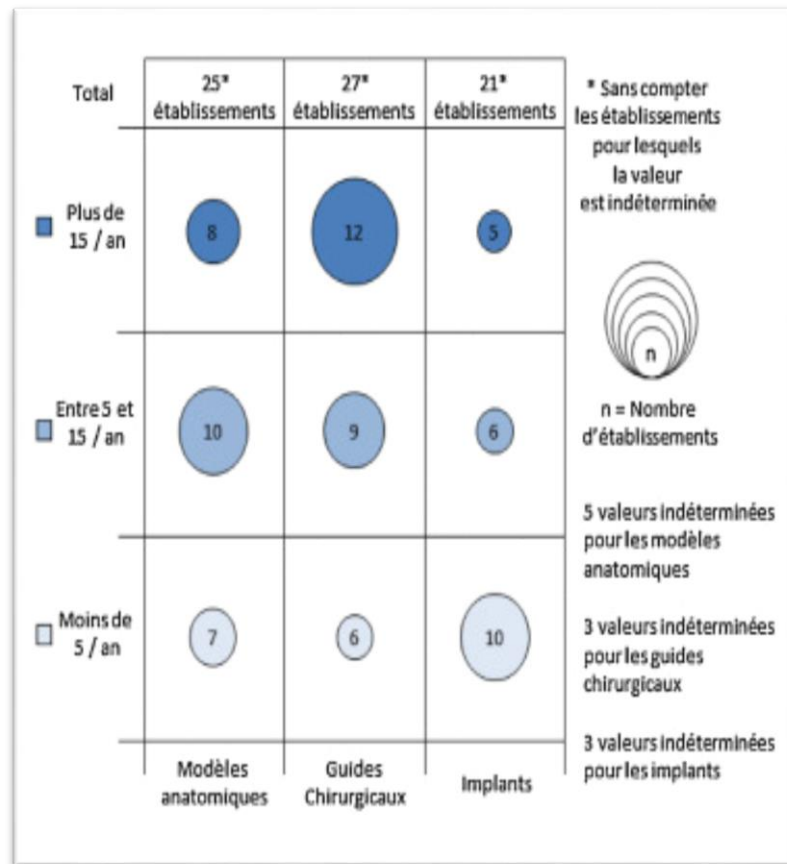


Figure 13 : principe général de fabrication additive par couche

Les imprimantes 3D utilisent un certain nombre de techniques, mais l'extrusion de matériau est la méthode la plus couramment utilisée dans les imprimantes de bureau. L'extrusion de matériau implique la chauffe du matériau d'impression jusqu'à ce qu'il se liquéfie et soit

Extrudé à travers une buse d'impression pour déposer le polymère en couches minces qui se solidifient rapidement pour créer l'objet final. Le processus peut prendre de quelques minutes

À plusieurs jours et nécessite souvent une post-production pour retirer les supports temporaires et l'excès de matière, [16].

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, une présentation des technologies d'impression 3D a été proposée, en mettant en évidence les différents matériaux utilisés ainsi que les domaines d'application possibles. Une attention particulière a été portée sur la technologie d'impression 3D FDM, qui est l'une des plus couramment utilisées. Le chapitre suivant se concentrera sur la conception d'une imprimante 3D, en examinant les technologies clés qui seront utilisées dans sa construction. Plus précisément, la table chauffante et l'extrudeuse seront étudiées en détail, afin de comprendre comment ces technologies sont utilisées pour réaliser l'impression 3D. En résumé, cette section fournit une base solide pour comprendre les technologies d'impression 3D et leurs applications, et prépare le terrain pour l'étude plus approfondie de la conception et de la construction de notre propre imprimante 3D dans le prochain chapitre.

Chapitre II

Etude et conception d'une imprimante
3D

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons l'aspect du choix De nombreuses solutions possibles lors de la conception d'une imprimante 3D.

Nous allons commencer par nous intéresser aux filaments utilisés dans les imprimantes 3D FDM, puis nous allons Les différentes technologies (extrudeuse et étages de chauffe) seront abordées et nous aborderons également L'accent est mis sur l'assistance fournie pendant le processus d'impression 3D. Aspect "Contrôle" l'électronique" (Arduino...) et les moteurs seront également abordés car leur placement doit sont pris en charge pendant le processus de conception, et aussi parce qu'il est nécessaire de faire un Sélectionné au début de la conception.

En effet, l'impression 3D permet de produire des objets réels : les designers dessinent des objets 3D Grâce aux outils de conception assistée par ordinateur (CAO)... les découpes ont été envoyées à Imprimantes 3D suivant le système électronique par caution ou Le matériau se solidifie couche par couche jusqu'à l'obtention du produit final.

2.2 Objectif

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

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

Et un poids entre 10 et 15 Kg Notre machine sert à imprimer des objets en volume selon le procédé de dépôt de matière fondue.

L'imprimante 3D est une machine qui permet d'imprimer des objets en trois dimensions, à partir de diverse matières, et selon différents procédés, cet appareil est constitué de glissières pour assurer le guidage des éléments, des courroies et

2.3 Choix de moteurs

Il existe différents types de moteurs électriques : les moteurs à courant continu et les moteurs à courant alternatif.

Moteurs universels alternatifs, moteurs asynchrones et synchrones, moteurs avec Réducteur variable et enfin le moteur pas à pas. Nous allons montrer ces moteurs dans ce qui suit pour faire nos choix, [20].

2.3.1 Moteurs linéaires

Un moteur linéaire est un type qui ne produit pas de mouvement de rotation mais produit Mouvement linéaire. Contrairement aux moteurs rotatifs, le mouvement du moteur linéaire 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, [20].

2.3.2 Moteur à réluctance variable

Les moteurs à réluctance variable ont des dispositifs très prometteurs encore en développement.

Développement. C'est un moteur avec un espace dans le rotor moins de résistance. Ce type de rotor en fer doux à moins de dents que les pôles du stator.

Le rotor étant en fer doux, cela n'a rien à voir avec le sens de transport du rotor.

Différentes étapes. Le choix de la séquence de puissance détermine le sens de rotation.

Le fonctionnement du moteur est assuré par des fils unipolaires, l'alimentation du rotor est II est obtenue en excitant séquentiellement une paire de pôles magnétiques, [20].

2.3.3 Moteur Électrique synchrone

Un moteur synchrone est un type de moteur à courant alternatif. Vitesse de rotation (vitesse Synchrone) est constant et synchrone avec la fréquence de tension sur laquelle il est placé

Le nombre de paires de pôles du moteur connecté.

Ce sont généralement des moteurs triphasés, mais ce sont des moteurs synchrones peu performants.

Ils fonctionnent généralement sur des tensions domestiques monophasées standard. Le

Les moteurs synchrones sont également appelés moteurs vectoriels ou moteurs "rowan", [20].

2.3.4 Moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas peuvent contrôler la distance et la distance très précisément Vitesse rotationnelle. Les moteurs pas à pas sont nommés pour chaque impulsion Electric fait tourner le moteur d'un pas. Ces moteurs sont contrôlés par des pilotes qui diffusent Impulsion du moteur, faites tourner le moteur.

Nombre d'impulsions moteur Un tour 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 également très simples Contrôle. La plupart des conducteurs recherchent des impulsions 5V.

Niveaux de tension pour la plupart des circuits intégrés. Le moteur pas à pas répond, Accélérez rapidement. Le rotor a une faible inertie et peut rapidement prendre de la vitesse Cela rend ces Moteurs adaptés aux mouvements courts et rapides, [17].



Figure 14 : moteur pas à pas

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.

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, [17].

Comparaison des différents types de moteurs pas à pas :

À aimant permanent moteurs

- Ils ont un couple élevé en raison de l'incorporation d'un aimant sur le rotor.
- Étape angles disponibles sont grandes.
- 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].

À réluctance variable moteurs

- 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 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 sont 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, [21].

2.4 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. 38
- 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 élevée.
- 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, [21].

Spécification :

- Taille : env. 230 x 230 x 5,5 mm
- Puissance du lit chauffant : 140-145 W
- Tension : 12 V
- Température maximale : 120 degrés Celsius
- Dimensions : env. 230 x 230 mm
- Épaisseur : 1,5 mm de lit chaud
- Résistance 12V d'environ 0,9 ohm



Figure 15 : La table chauffante

2.5 L'extrudeuse

Il s'agit d'un mécanisme composé de plusieurs pièces. Le principe de fonctionnement est de conduire le filament à la buse de chauffage pour fondre pendant le processus de fabrication.

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

L'extrudeuse est un sous-système qui pousse le filament à l'extrémité thermique. Elle existe

Il y a un actionneur, généralement un moteur à pas. Différents lieux stratégiques pour atteindre cet objectif, mais nous essayons généralement de la transmettre par la 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 d'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 chaleur 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 située 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].

2.5.1 Composants de l'extrudeuse

La figure représente les différents composants de l'extrudeuse.



Figure 16 : les composantes de l'extrudeuse

Moteurs pas à pas (élément 1 de la figure 16) : Le moteur est la source de la force qui pousse les fils pour être contrôlée. Grâce à ce dernier, on peut contrôler la quantité de matière injectée.

Buses à pas doux (élément 2 de la figure 16) : Joue un rôle clé dans le résultat final. Sa taille et son diamètre, ainsi que le matériau utilisé pour sa fabrication, ont un impact direct sur la précision, la finesse et la vitesse d'impression. C'est la tête d'impression, la sortie de la buse est le point où le plastique fondu sort et se dépose sur la pièce. Plus le diamètre de la buse d'extrémité chaude est grand, plus il est possible d'extruder les filaments sous la même pression appliquée par le système d'extrusion. Plus le débit binaire est élevé, plus la hauteur de couche peut être élevée, mais plus la résolution finale obtenue est faible.

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

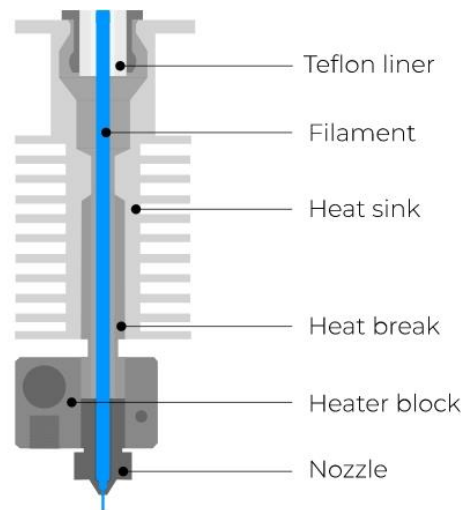


Figure 17 : l'extrudeuse

Les matériaux fabriqués pour chaque partie doivent jouer complètement un rôle.

Pour la zone de transition, il doit avoir un matériau de taux de chauffage très faible,

Comme l'acier inoxydable ou le titane.

Pour la zone chaude, le matériau a été utilisé dans une bonne conductivité Chaud et facile à traiter, comme l'aluminium et le laiton. En plus de buse

Vous pouvez également utiliser du cuivre complexe. Demande d'impression

Le matériau abrasif est nécessaire et la buse est généralement fabriquée ou fabriquée en matériaux Comme l'acier ou le carbure de tungstène, il est traité à la surface. Dans le cas d

Notre imprimante, la buse utilisée doit être en acier 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 16) : 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 16) : Ce sont des tubes en plastique qui guident les filaments.

Résistance pas à pas (élément 5 de la figure 16) : chauffer le bloc chauffant, serrer le fil et le pousser vers la buse.

Ventilateur pas à pas (élément 6 de la figure 16) : 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 16) : Relâchez la température du moteur et des fils vers l'extérieur.

Pignon moteur pas à pas (élément 8 de la figure 16) : relié au moteur, le pignon moteur saisit le fil et le pousse vers la buse.

Palier à gradins (élément 9 de la figure 16) : 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.

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 42 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.

Axe X, Y, courroie, pignon :

Sur l'axe X et Y Le déplacement ce fait avec une courroie reliée avec une poulie, qui transforme un déplacement rotationnelles 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 déplacé d'un(01) mm.

2.6 Système de guidage

2.6.1 Glissières

En mécanique, le guidage est une action assurée par un joint cinématique dans un mécanisme. Par exemple une glissière assure un guidage en translation. Les glissières de guidage constituent l'un des organes les plus importants dans les machines-outils. Elles font partie de l'âme mécanique d'une machine et contribuent pour une large part à sa précision, ses performances et sa durée de vie (figure 18), [18].



Figure 18 : system de guidage

2.6.2 Système de transmission

Courroies

La courroie est utilisée pour la transmission des mouvements. C'est une pièce construite d'un matériau souple. La courroie est utilisée avec des poulies. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception, le concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteurs et récepteur, elle est économique, silencieuse et amorti les vibrations et les chocs (figure 19), [17].



Figure 19 : Courroies

Tige filetée

Une tige filetée est en mécanique le composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle est l'écrou. Cette tige se monte facilement dans l'assemblage, elle est résistante aux efforts, elle assure une bonne transmission de mouvement et économique par rapport aux autres systèmes (figure 20), [17].



Figure 20 : Tige filetée

2.7 Système de fixation

2.7.1 Par vis

La vis est un organe mécanique comportant une tige filetée et une tête, elle est destinée à réaliser la fixation d'une ou de plusieurs pièces. Elle vient dans différentes tailles et est construite à partir de différents matériaux pour la rendre apte à tenir tous ensemble (de minuscules composants informatiques aux machines industrielles massives). Les vis assurent une bonne fixation et résistent à la rouille (figure 21), [17].



Figure 21 : Par vis

2.7.2 Pièce écrou :

Forme :

C'est une pièce essentielle dans cette machine, elle est placée sur la poutre pour assurer la fixation de tous les éléments (figure 22).

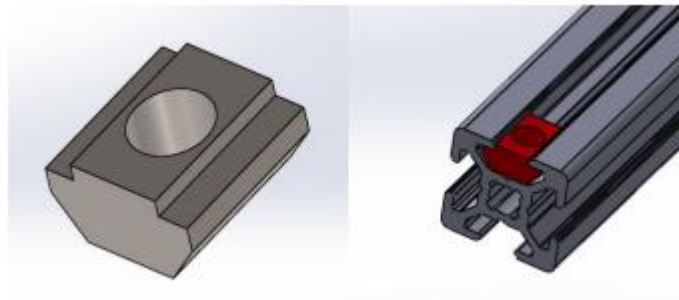


Figure 22 : Pièce écrou

2.7.3 Portes glissières horizontales

Forme :

Cette pièce sert d'encastrement pour les glissières sur l'axe X, elle assure leur fixation, et les empêchent de bouger (figure 23).

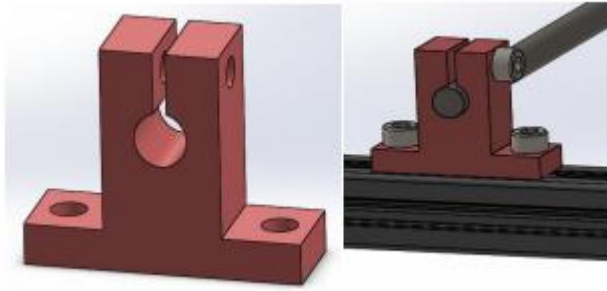


Figure 23 : Portes glissières horizontales

2.7.4 Boîte pignon et tige de pignon

Forme :

Elle sert à fixer le pignon avec une tige pour assurer une bonne transmission (figure 24).



Figure 24 : Boîte pignon et tige de pignon

2.7.5 Porte moteur

Forme :

C'est la pièce qui nous permet de placer le moteur ou on veut sur le châssis (figure 25)



Figure 25 : Porte moteur

2.7.6 Coupleur

Forme :

C'est une pièce qui est destinée pour assurer la liaison entre deux systèmes, généralement destinée à transmettre un mouvement (figure 26)

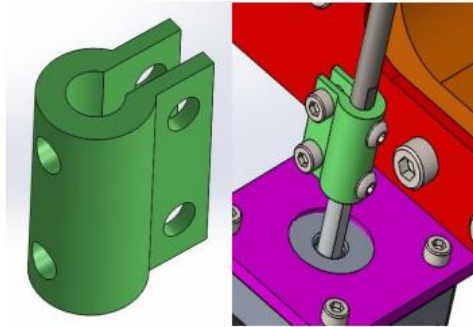


Figure 26 : Coupleur

2.7.7 Porte courroies et plaque dentée

Forme :

Permet de réaliser la liaison complète entre la courroie et la table, ou bien l'extrudeur (figure II.17). * Cale : c'est une pièce intermédiaire entre la table et le porte courroies pour assurer le bon fonctionnement du système (figure 27).

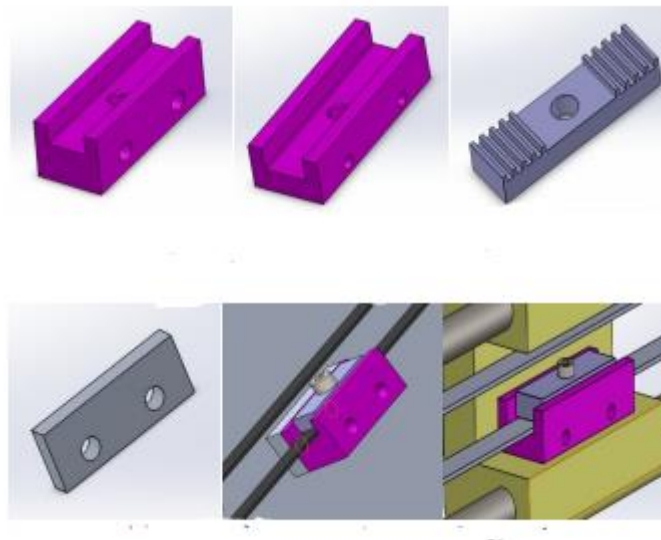


Figure 27 : Porte courroies et plaque dentée

2.7.8 Glissières et arbre fileté

Forme :

Les glissières assurent le guidage transversal, horizontal et vertical de la table et l'extrudeur, et l'arbre fileté assure le déplacement du train horizontal (figure 28)



Figure 28 : Glissières et arbre fileté

2.7.9 Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal

Forme :

La porte motrice horizontale, sert à porter le moteur horizontal avec son pignon et la courroie, porte les deux glissières horizontales, la glissière et l'arbre fileté sur le plan vertical, (figure 29).

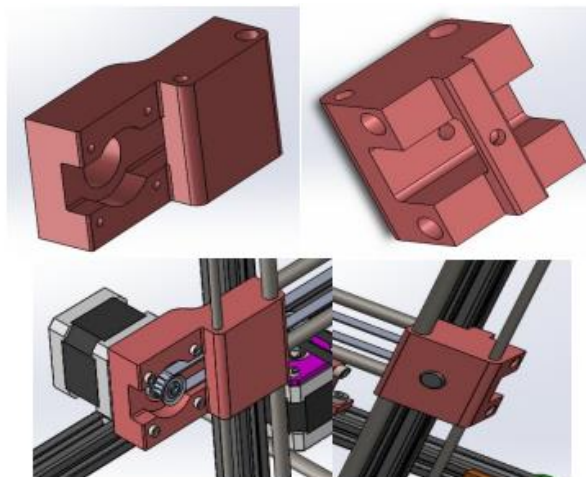


Figure 29 : Porte moteur horizontal et porte pignon horizontal

2.7.10 La bobine et tige de bobine

Forme :

La bobine sert à porter le filament, et le porte bobine sert à fixer la bobine au châssis (figure 30)

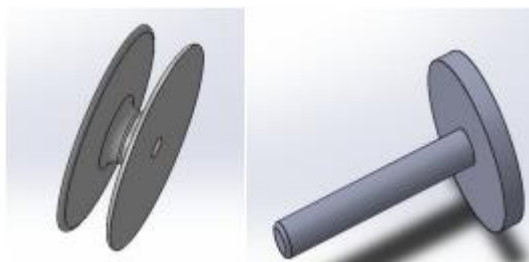


Figure 30 : La bobine et tige de bobine

3.8 L'extrudeur

Forme :

L'ensemble composé de cette roue dentée motorisée et de la buse chauffante qui fond le filament (figure 31)

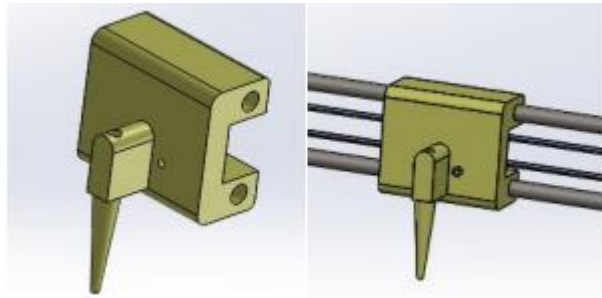


Figure 31 : L'extrudeur

2.9 La poutre

Forme :

C'est la pièce qu'on a choisi pour le châssis de notre imprimante, à laquelle on a donné une forme géométrique en X, qui nous permet de placer d'autres pièces sur chacun de ces côtés d'une part, et d'autre part elle peut résister à des efforts importants (figure 32).

Notre châssis se compose des poutres à différentes longueurs suivant X, Y et Z (figure 33).

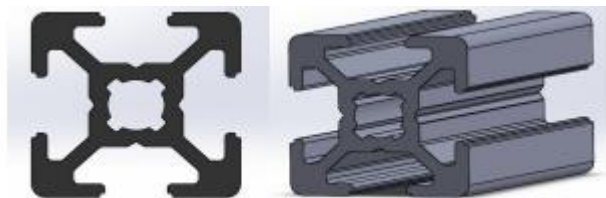


Figure 32 : la poutre

2.10 L'assemblage final





Figure 33 : l'imprimante 3D

2.11 Choix des matériaux

Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux

Matériaux	Eléments
Alliage d'aluminium 6063 T1	La poutre
201 Acier inoxydable recui	Pièce écrou

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

Tableau1 : Composants de l'imprimante 3D et leurs matériaux.

La partie électronique

2.12 Carte mère

2.12.1 Arduino méga

L'imprimante 3D est contrôlée par carte électronique centralisera toutes les informations pour contrôler les moteurs, la température Chauffage, écoute de divers capteurs. Cette carte est sur PC (fichier 3D) et La partie matérielle de l'imprimante. Avec le nom Arduino, cette carte

n'est pas Copyright pour contrôler tous les types de systèmes (drones, robots, Imprimantes 3D, systèmes d'arrosage...) à condition de le programmer.

La première étape consiste à envoyer une série de paramètres et d'informations à la carte Arduino. De cette façon, il fonctionnera en mode "imprimante 3D". Nous téléchargeons ces informations directement dans la carte et ils seront stockés plus tard. Après avoir téléchargé le fichier, le firmware communique avec la carte électronique et la carte Arduino fonctionnera en mode Imprimante 3D. Après avoir configuré la carte Arduino, vous avez besoin du logiciel hôte et du slicer, [18].

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, [18].

2.12.2 la carte mère Creality Silent

- C'est une Version améliorée : Comparée à la carte mère précédente, elle est plus silencieuse et moins bruyante et ne chauffe pas.
- le chargeur de démarrage est installé, il est plus facile d'actualiser le micro logiciel et Arduino peut modifier le micro logiciel via USB.
- Circuit optimisé : permet une protection contre l'emballement thermique pour résoudre efficacement les problèmes de chauffage. Peut être utilisé en combinaison avec l'axe moteur E / Z / Y / X, [22].

On a choisi la carte mère Creality Silent parce que :

Fonction silencieuse

Le pilote est super silencieux !

Chargeur de démarrage installé (ISP/USB Arduino)

Firmware 4.2.7 est préinstallé sur cette carte

la carte mère silencieuse est une mise à niveau distincte pour beaucoup des

Imprimantes sur le monde

Il vous suffit de les brancher et de commencer à imprimer, [22].

2.13 La partie des logiciels

2.13.1 Le logiciel host

Il permet d'ouvrir simplement des fichiers 3D, et de les envoyer vers l'imprimante. L'host sert aussi de logiciel de commande et de réglages de l'imprimante. Ce qui veut dire qu'on va pouvoir paramétrer notre imprimante 3D. Par exemple, c'est grâce au logiciel host qu'on va définir à quelle température l'extrudeur va monter, quelles sont les coordonnées de la machine (X0, Y0 et Z0) et pas mal d'autres paramètres, [18].

2.13.2 Le Slicer

Le slicer est un logiciel différent de l'host, mais en revanche, il est intégré dans l'host. Le slicer est une partie très importante du processus d'impression. Pour faire simple, il va transformer un fichier 3D au format STL en G-code. Le G-code c'est une suite d'instructions qui vont être envoyées à l'imprimante 3D, et qui vont permettre d'imprimer la pièce. Le G-code, c'est une sorte de carte d'identité de l'objet. C'est ce code, assimilé par Arduino, qui va permettre de dessiner la pièce, [18].

2.13.3 Ultimaker cura

Ultimaker Cura (ou plus simplement Cura) est un logiciel libre de découpe (*slicer* en anglais) pour impression 3D fourni par la société Ultimaker. Il a été créé par David Braam qui a ensuite été employé par Ultimaker, une société de fabrication d'imprimantes 3D, pour maintenir le logiciel, [22].

Ultimaker Cura fonctionne en découpant le fichier modèle de l'utilisateur en couches et en générant un code g spécifique à l'imprimante. Une fois terminé, le g-code peut être envoyé à l'imprimante pour la fabrication de l'objet physique.

Le logiciel open source, compatible avec la plupart des imprimantes 3D de bureau, peut fonctionner avec des fichiers dans les formats 3D les plus courants tels que STL, OBJ, X3D, ainsi que des formats de fichier image tels que BMP, GIF, JPG et PNG, [22].

2.14 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.

Chapitre III

Logiciels et configuration de l'imprimante 3D

3.1 Introduction

Ce chapitre décrit la transition entre la partie logicielle et le modèle géométrique.

Concevez des objets imprimés en 3D sur votre ordinateur avec le logiciel Simplify3D. Étape de coupe (Disque) est importante pour une bonne qualité d'impression. Marlin firmware :

3.2 Qu'est-ce que Marlin ?

Le firmware Marlin est un firmware open-source pour les imprimantes 3D. Il est en constante évolution et apporte de nombreux avantages aux imprimantes Reprap.

Il vous offre la possibilité de compiler vos propres versions et améliorations spécifiques à vos besoins (augmenter la température maxi de l'extrudeuse, ajout d'une sonde de nivellement automatique, meilleure interprétation des gcodes), [18].

3.2.1 Caractéristiques principales du Marlin

- 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 anticipation, mouvement basé sur l'interruption, accélération linéaire
- Prise en charge de la cinématique cartésienne, Delta, SCARA et Core/H-Bot
- Prise en charge de jusqu'à 5 extrudeuses et d'un plateau d'impression chauffé
- Interface utilisateur du contrôleur LCD avec plus de 30 traductions linguistiques
- Impression sur carte hôte et 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
- Prise en charge des capteurs de sortie de filament / largeur
- Minuteur de tâche d'impression et compteur d'impression, [24].

3.2.2 Impression d'objets

Modelage

Le Marlin n'imprime que le code G, sachant que la plupart des trancheurs ne découpent que les fichiers STL.

Avant que Marlin puisse réfléchir d'imprimer un modèle 3D, que vous-même peut dessiner ou bien Vous pouvez télécharger des modèles ou créer les vôtres avec l'un des nombreux programmes de CAO gratuits, tels que Free CAD, OpenSCAD, Tinkercad, Autodesk Fusion 360, SketchUp, etc.

Un haut degré de connaissances est nécessaire pour modéliser des objets complexes comme un crâne de T-Rex, mais d'autres objets peuvent être assez simples à modéliser. Pour trouver des idées et tester des choses, on peut consulter des sites comme Thingiverse, YouMagine et Printables et imprimez des choses.

Trancher

Afin de dessiner un modèle 3D, le logiciel de modelage nous donne un modèle sous l'extension STL, sachant que l'imprimant ne lire uniquement que l'extension G code, donc pour aboutir à cette phase, on passe à trancher le modèle 3D.

Les trancheuses préparent un modèle 3D solide en le divisant des tranches fins (couches). Dans le processus, il génère le G-code qui indique à l'imprimante dans les moindres détails comment reproduire le modèle. Vous avez le choix entre de nombreux segments, notamment :

- Cura.
- Slicer.
- Simplify3D est une offre commerciale.

Dans ce travail nous avons utilisés le logiciel cura, pour trancher le modèle 3D comme le montre l'exemple qu'on vira par la suite.

Impression

Afin d'aboutir à la phase de l'impression, Marlin peut être entièrement contrôlé à partir d'un hôte ou en mode autonome à partir d'une carte SD. Même sans contrôleur LCD, une impression SD autonome peut toujours être lancée à partir d'un hôte, de sorte que votre ordinateur peut être détaché de l'imprimante.

Le logiciel hôte est disponible pour plusieurs plates-formes, y compris les systèmes de bureau, Raspberry Pi et les tablettes Android. Tout appareil doté d'un port USB ou bien des ports série qui peut techniquement agir en tant qu'hôte, quand vous aurez besoin d'une impression en utilisant un logiciel hôte spécialement conçu pour les imprimantes 3D. Les sélections actuelles comprennent :

Cura est un hébergeur open source par Ultimaker. Vous ne pouvez plus sélectionner manuellement le port com et la vitesse, votre imprimante doit être détectée automatiquement par Cura, [24].



Figure 34 : marlin firmware

3.3 Configuration

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 Gcode à l'aide d'un programme appelé « slicer ». 63 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.

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 « Unified Bed Leveling » 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 ».

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, 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.

Pilote 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 68
  //#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.

Pilote 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 extruder
```

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 utilise 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_POSMANUAL_ [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. 72
  // 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 defined 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
  #endif #endif

```

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 micro logiciel (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 :

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 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
```

- « 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` »

3.4 LE G-Code

Le G-code (code G) est un langage de programmation utilisé pour contrôler les machines-outils, telles que les fraiseuses CNC (Commande Numérique par Ordinateur) et les imprimantes 3D. Il s'agit d'un langage basé sur du texte qui contient des commandes spécifiques permettant de définir les mouvements, les vitesses, les positions et les autres paramètres nécessaires pour exécuter une tâche donnée sur la machine.

Le G-code est composé de plusieurs commandes, chacune étant précédée d'une lettre G suivie d'un nombre représentant le code spécifique. Par exemple, la commande G01 est utilisée pour définir un mouvement linéaire à une vitesse donnée, tandis que la commande G02 est utilisée pour définir un mouvement circulaire dans le sens horaire.

En plus des commandes de mouvement, le G-code peut également inclure des commandes pour définir des paramètres tels que la vitesse de coupe, la position de départ, la profondeur de coupe, les changements d'outil et d'autres informations nécessaires à l'exécution de la tâche.

Le G-code est généralement généré à partir de logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) ou de logiciels de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Une fois le code généré, il est chargé dans la machine-outil qui l'exécute pour réaliser la tâche souhaitée.

En résumé, le G-code est un langage de programmation utilisé pour contrôler les machines-outils et spécifier les opérations à effectuer, les mouvements à réaliser et les paramètres associés.

3.5 Comment imprimer en 3D avec Cura

Pour réaliser la pièce d'un objet existant de A à Z, il vous faudra différents éléments, on a indiqués entre parenthèses ceux qu'on a utilisés :

- Une imprimante
- 3D
- Du filament noir (PETG 1.75mm)
- Un Modèle 3D
- Un Slicer (Ultimaker Cura)

Le modeleur est le logiciel qui vous permettra de réaliser la version 3D de notre objet. Quant au slicer, il s'agit de l'application qui convertira l'objet 3D dans une version reconnue par l'imprimante, c'est à dire en décrivant les couches de matière à appliquer.

3.5.1 CRÉATION

Dans ce travail de mémoire, nous avons utilisés le logiciel **Adobe Fusion 3D**, il est parmi les logiciels les plus connus et les plus performant pour dessiner des différents pièces de notre imprimant, comme il existe d'autres types de logiciels tel que **Free CAD**, ou **Tintera**, ce dernier étant un outil uniquement en ligne. Une fois les concepts de base acquis, la conception des pièces de simple géométrie ne devraient pas prendre plus de 15 à 20 min à être réalisées et

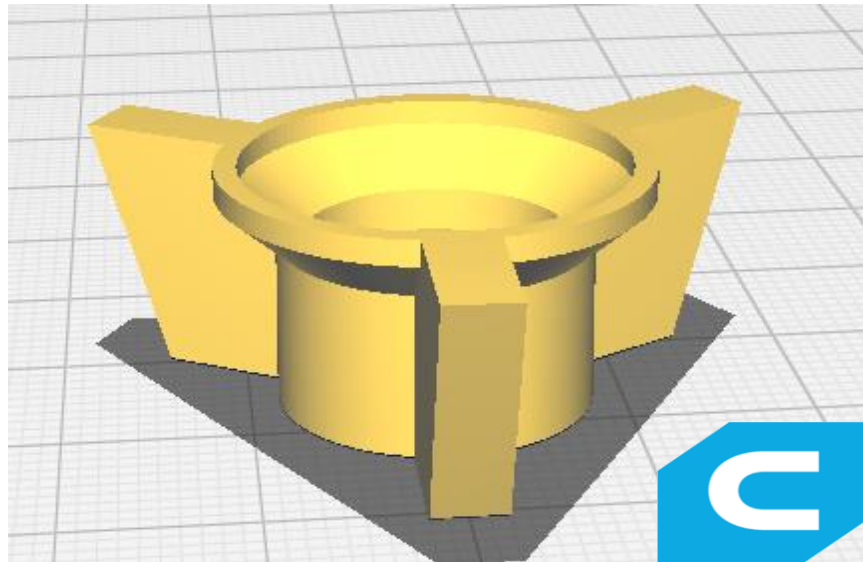


Figure 35 : le modèle 3D

3.5.2 Impression

Si jamais le logiciel n'a pas été ouvert avant toi, Cura te proposera de choisir l'imprimante, ou bien créer un nouveau profil et ajouter ses caractéristiques de votre imprimante.

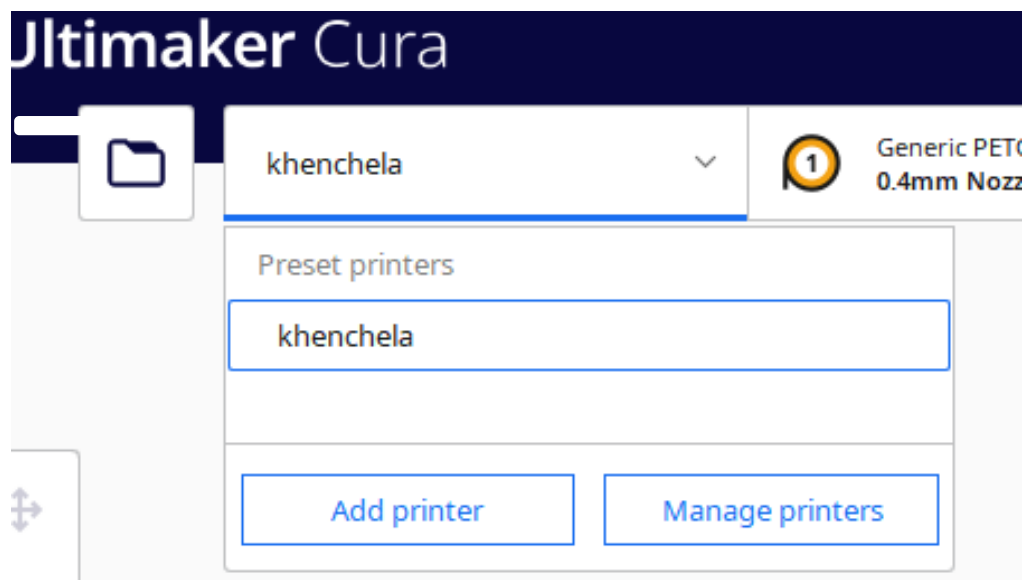


Figure 36 : ajouter l'imprimante sur cura

Pour charger un fichier il vous suffit de faire un “drag and drop” ou bien de cliquer sur “open file” puis parcourir vos dossiers

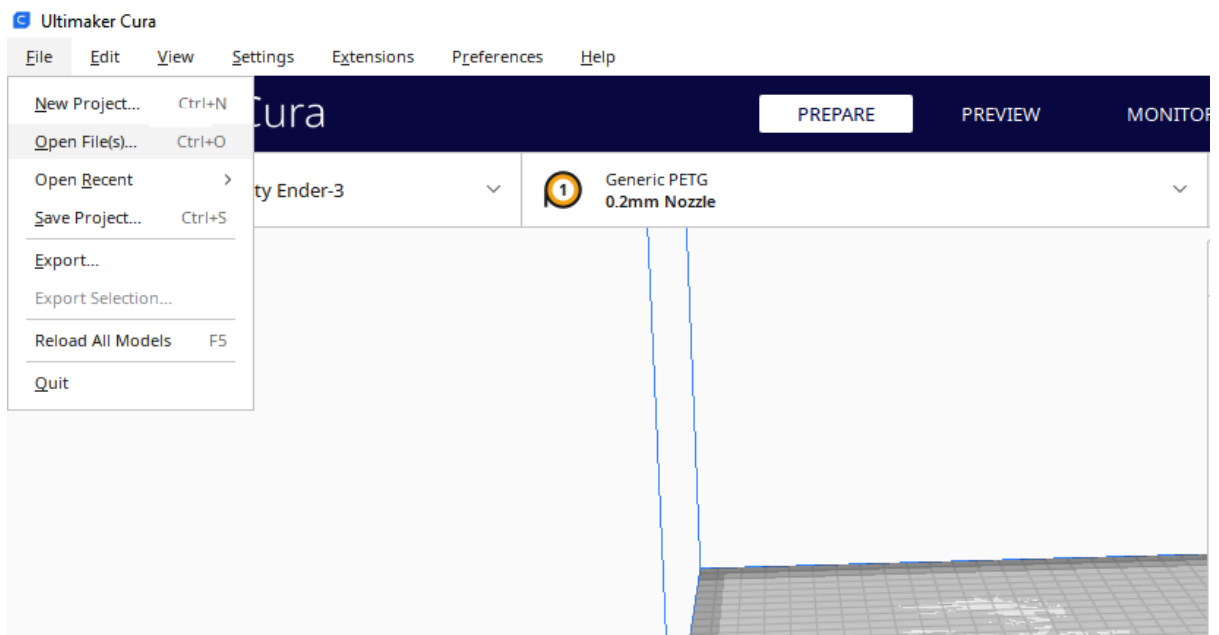


Figure 37 : Ajouter le fichier STL

Après l'ouverture du fichier (modèle 3D), vous apparus cette interface

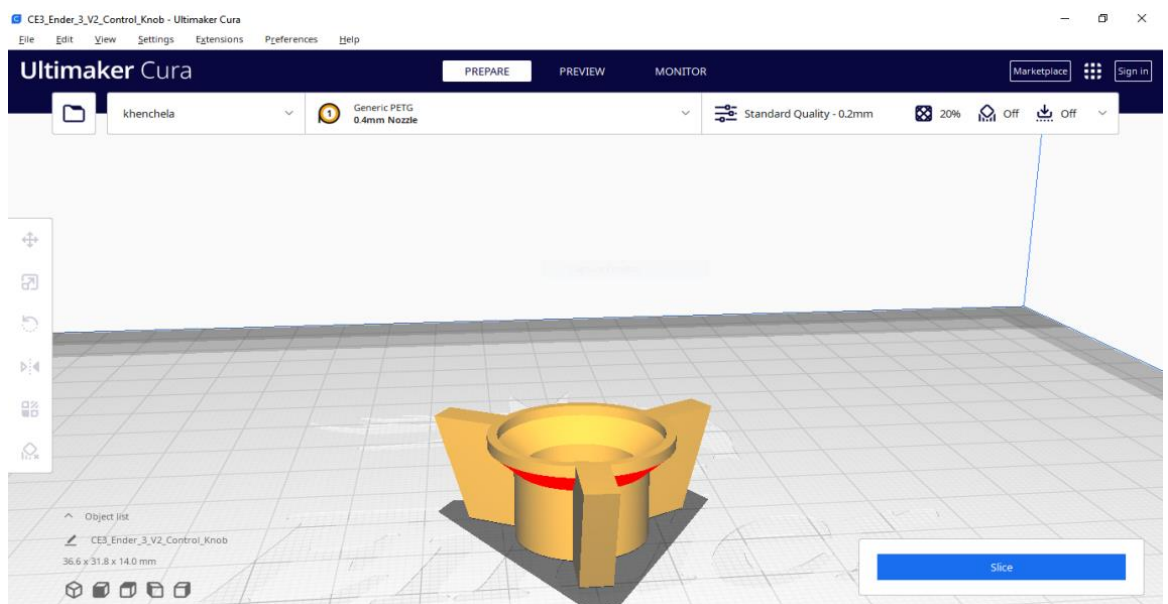


Figure 38 : l'interface de cura après l'ouverture de modèle 3D

Assurer-vous que le matériau PETG est bien sélectionné, et que la taille de la buse correspond bien à celle de votre imprimante

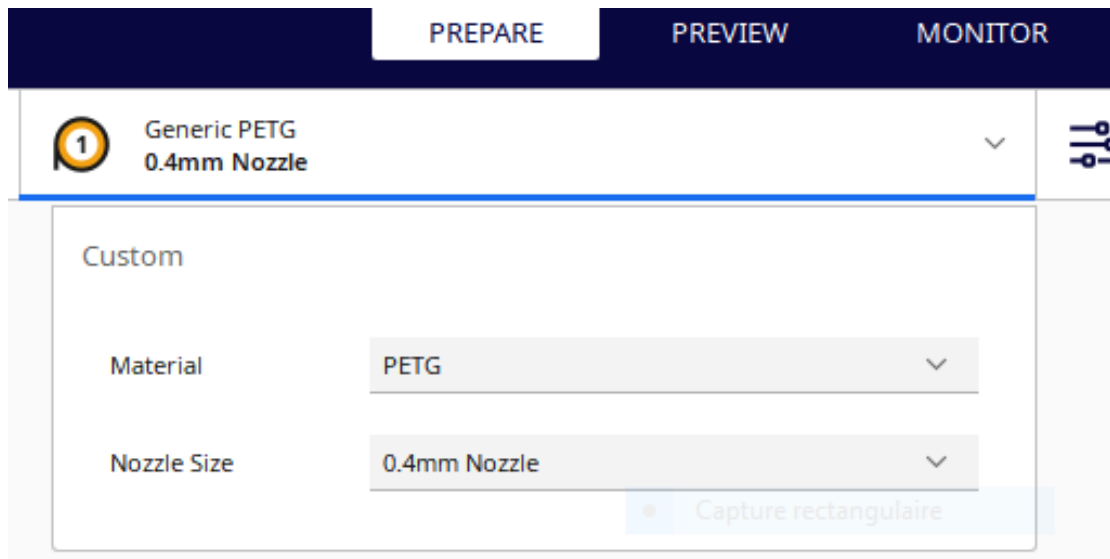


Figure 39 : Assurez le matériau

3.5.3 Les réglages les plus importants :

La hauteur de couche ou "layer High"



Figure 40 : quelque paramètre sur cura

3.5.4 Les supports d'impression

Les supports peuvent être nécessaires sur certains objets, mais il faut garder en tête :

- Qu'ils prennent du temps à imprimer
- Qu'ils sont complexes à enlever, en particulier dans un trou par exemple !

Dans l'exemple ci-dessous on opterait pour les **supports en contact avec le plateau**, qui suffiront.

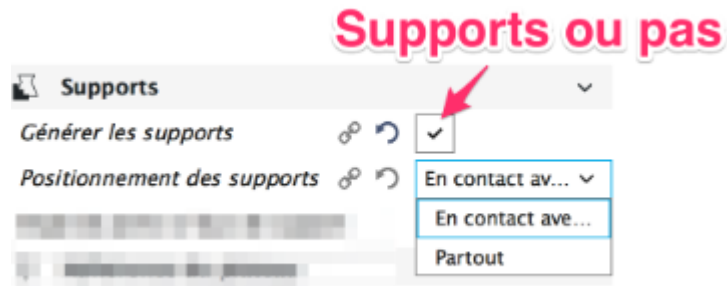


Figure 41 : ajouter supports ou pas

Dans notre pièce ON NE PEUT PAS besoin des supports

3.5.5 Adhérence du plateau

L'adhésion au plateau n'est utile que dans des cas où il y a très peu de surface sur le plateau, afin de favoriser l'adhérence.

Dans l'immense majorité des cas elle ne sera **PAS UTILE**, mettez "aucun" !



Figure 42 : Adhérence du plateau

3.5.6 Infile et profiles

Le fameux remplissage (ou infule) dont nous vous parlions, une variable dont vous pouvez régler la densité (0 % pour du creux, 100 % pour du plein) et le motif.

Profiles c'est la qualité de l'impression en MM.

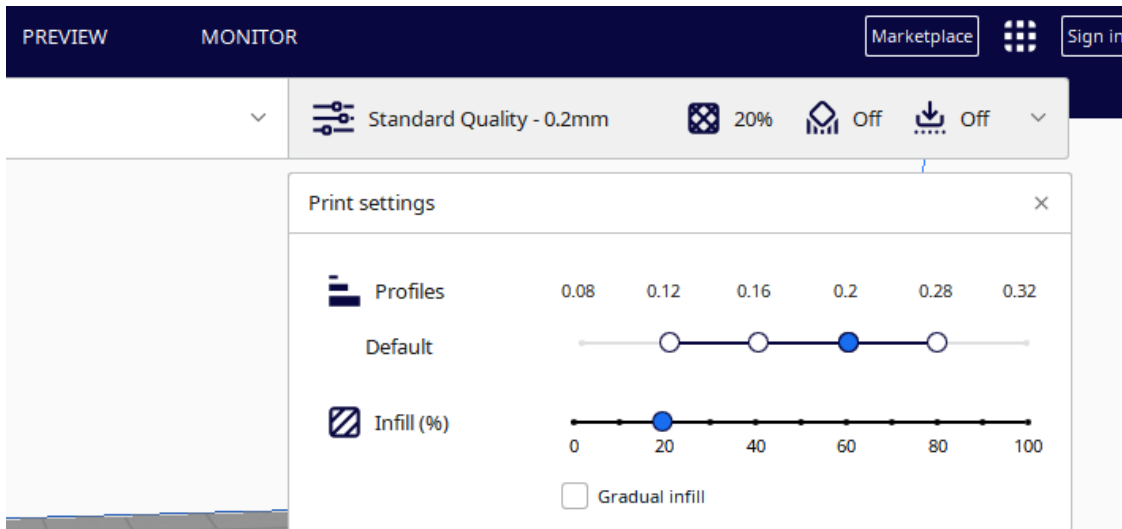


Figure 43 : Infile et profiles

Pour tous les autres paramètres, mettez les réglages par défaut !

3.5.7 Slice

Maintenant on va trancher le model 3D

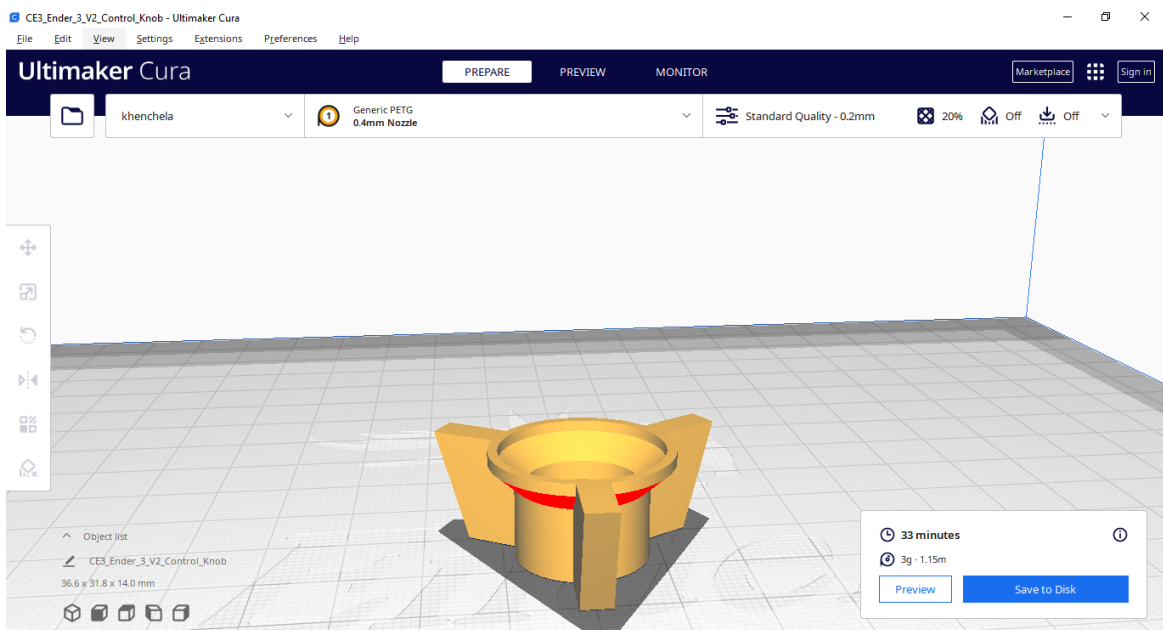


Figure 44 : Slice

3.5.8 Preview

Dans cette section, nous pouvons voir la forme finale, le nombre de couches, le temps qu'il faudra pour imprimer et la consommation de plastique avant d'enregistrer sur la carte mémoire et de commencer à imprimer.

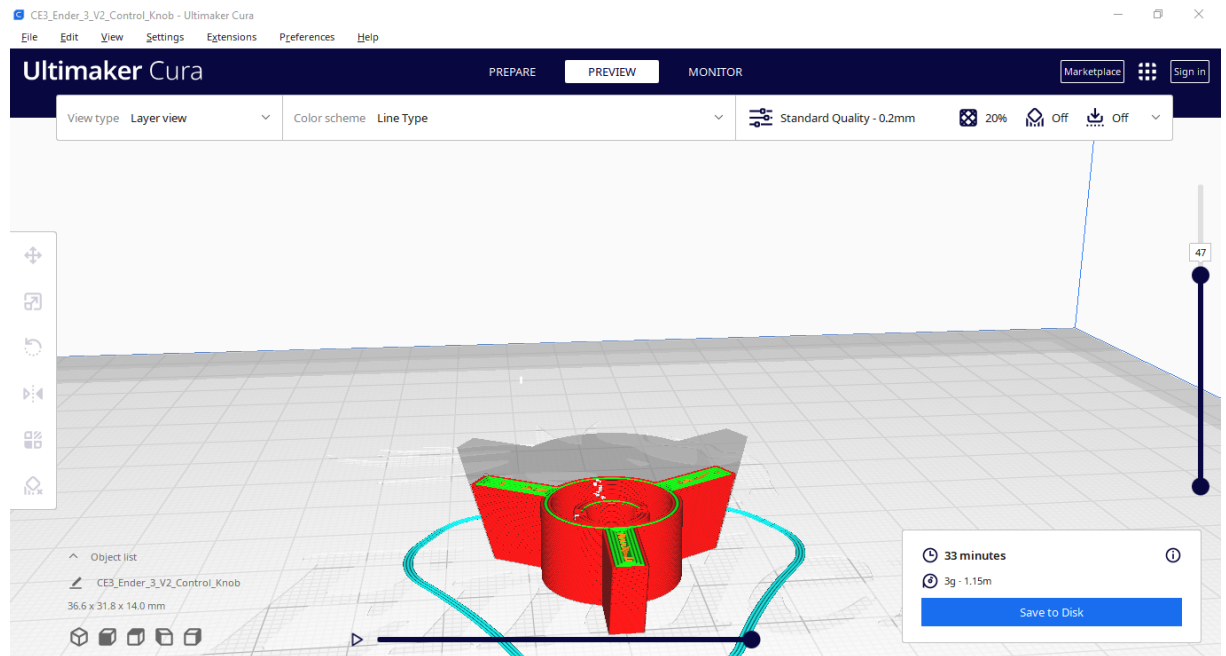


Figure 45 : Preview

3.5.9 Quelques Conseils

Avant de vous lancer dans une impression, vérifiez quelle estimation de temps d'impression vous indique votre slicer. Si vous souhaitez un temps d'impression plus faible, vous pouvez diminuer par exemple la qualité.

Avant de faire une impression, vérifiez que les réglages de calibrage de votre imprimante sont bien faits.

Enfin, une fois l'impression lancée, vérifiez que la première couche s'imprime correctement, car c'est en général ici que les choses peuvent mal se passer

Si l'adhérence sur le plateau n'est pas bonne, que le plastique a tendance à se décoller :

Changez la hauteur de couche : la mettre à 0.2 mm au lieu de 0.4 mm, cela sollicitera moins la machine

Diminuez la vitesse d'impression : la passer à 50 mm par seconde, de même cela sollicitera moins la machine.

3.6 Quelque prototype

Une fois terminé, nous avons imprimé quelques exemples expérimentaux comme indiqué ci-Dessous



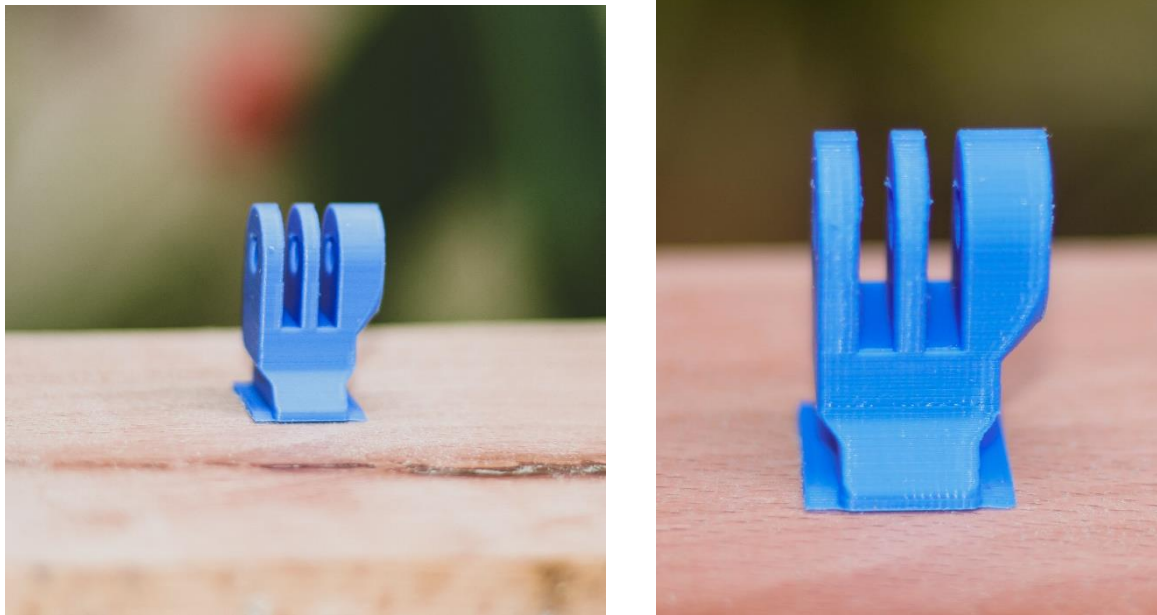
Pare soleil

Cette housse est utilisée pour protéger l'objectif de la lumière du soleil, donnant de très belles images modérément éclairées



Bouteille de thé

Cette bouteille de thé est utilisée pour boire du thé et le garder isolé



Adaptateur GoPro

Cette pièce est utilisée pour installer une caméra de mouvement au-dessus de la caméra principale

Figure 46 : Quelques Prototypes

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé une imprimante 3D, encours de cette réalisation nous avons passés par plusieurs étapes, dont quelques prototypes sont imprimés et intégrés dans ce mémoire, l'obstacle rencontré durant la réalisation de ce projettes le temps d'impression des pièces. La finissant des pièces n'est pas excellent, manque de pièces introduite dans la réalisation de cette imprimant. Menue de référence standard, des difficultés de maitrise du logiciel, problème de dessin des modèles 3D. Malgré tous les obstacles rencontrés nous avons réussi à réaliser cette imprimante et de faire quelques prototypes.

Conclusion générale

Conclusion général

Les imprimantes 3D sont des outils révolutionnaires qui permettent de créer des objets physiques en utilisant un processus de fabrication additive. Elles ont trouvé de nombreux domaines, tels que la conception de produits, la prototypage rapide, la médecine, l'architecture et bien d'autres encore.

Les imprimantes 3D fonctionnent en utilisant un modèle numérique tridimensionnel (3D) pour créer des objets couche par couche. Ce modèle est généralement créé à l'aide de logiciels de modélisation 3D ou de scanners 3D. Une fois que le modèle est prêt, il est converti en un fichier au format compatible avec l'imprimante 3D, généralement appelé fichier STL.

Les matériaux utilisés dans les imprimantes 3D peuvent varier, allant du plastique (comme l'ABS ou le PLA) aux métaux, à la céramique et même à des matériaux composites. Certains modèles d'imprimantes 3D sont également capables d'imprimer en plusieurs couleurs ou de combiner différents matériaux pour créer des objets plus complexes.

Les avantages des imprimantes 3D sont nombreux. Elles permettent une personnalisation et une flexibilité accrues dans la production d'objets, réduisant ainsi les coûts et les délais de fabrication. Elles offrent également la possibilité de créer des prototypes rapidement et à moindre coût, ce qui facilite le processus d'itération et d'amélioration des produits. De plus, les imprimantes 3D favorisent l'innovation en permettant aux utilisateurs de matérialiser leurs idées de manière tangible.

Cependant, il convient également de mentionner quelques limitations des imprimantes 3D. La qualité et la résolution des objets imprimés peuvent varier en fonction de la technologie et de la précision de l'imprimante. Certains matériaux peuvent être coûteux, limitant ainsi la disponibilité de certaines options de fabrication. De plus, les temps d'impression peuvent être longs, en particulier pour les objets de grande taille ou complexes.

Malgré ces limitations, les imprimantes 3D continuent de progresser et d'évoluer rapidement. De nouvelles technologies émergent, offrant des capacités améliorées et de nouveaux matériaux. Les imprimantes 3D ont le potentiel de révolutionner davantage de secteurs, en permettant la fabrication de pièces de rechange sur demande, la production de produits sur mesure et même la fabrication de tissus biologiques et d'organes humains.

En somme, les imprimantes 3D sont des outils puissants qui ouvrent de nouvelles possibilités dans le domaine de la fabrication et de la création. Leur impact continue de se faire sentir dans de nombreux secteurs, offrant des avantages significatifs en termes de personnalisation, de rapidité et de flexibilité de production.

Dans notre mémoire, nous sommes passés par de nombreuses étapes et dans certaines étapes, nous avons rencontré des difficultés et parmi les difficultés sont :

Le manque de ressources et le manque d'équipement, le manque de financement nous a amenés à réduire le coût du projet car nous avons renoncé à certaines parties.

Conclusion générale

En fin de compte, nous avons réussi à mener à bien ce mémoire, nous avons imaginé un modèle et travaillé dessus.

Nous avons d'abord commencé à acquérir les pièces principales et à fabriquer d'autres pièces, puis dans la partie électronique, nous avons choisi la carte mère Creativity Silent pour plusieurs raisons que nous avons mentionnées précédemment, puis nous avons montés l'imprimante 3D,

Nous avons choisi un modèle 3D afin de faire essayer de l'imprimante en utilisant le programme CuraUt maker, nous avons converti le modèle 3D de STL en G-Code.

Nous avons imprimé le modèle et nous avons obtenu un résultat satisfaisant

References

- [1] Harrick, J, 'The History and Future of 3D Printing. Design Management', *Rêvievz*, 23(3), pp. 18-23. (2012)
- [2] Wohlers, T, 'Additive manufacturing and 3D printing state of the industry', *Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, (2015).
- [3] Bowyer, A, Free as in Freedom: The reprop project. In Goodfellow Publishers Limited (Ed.), *Proceedings of the 14th European Conference on Research, (2014). Methodology for Business and Management Studies, Valletta, Malta, 11-12 June 2015* (pp. 37-43).
- [4] Yap, Y. L., Yeong, W. Y., & Tan, H. K. '3D printing in dentistry. In *3D Printing Technology in Nanomedicine*', pp. 185-206, (2015). Elsevier.
- [5] Yap, E. C. Chua, Z. L. Dong, and K. F. Liu, Review of selective laser melting: materials and applications, " *Applied Physics Reviews*, vol. 2, no. 4, p. 041101, 2015.
- [6] P. M. Dickens, J. P. Kruth, and R. H. Crawford, "Additive manufacturing in engineering education: a review," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 560-571, 2015.
- [7] Rodrigues HC, Pereira JE, Granjeiro JM, et al. The use of three-dimensional printing in bone tissue engineering: a systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2021;109 (7):998-1012. doi:10.1002/jbm.b.34675
- [8] Atala A, Yoo JJ. *Essentials of 3D Biofabrication and Translation*. Academic Press; 2015.
- [9] Ventola CL. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *P T.* 2014;39(10):704-711. PMID: 25346625.
- [10] Salmi, M., Paloheimo, K. S., Tuomi, J., & Wolff, J. (2018). Preoperative planning and implementation of patient-specific implants with 3D printing technology in complex cranio-maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(4), 637-642.
- [11] Sun, J., Zhou, W., Huang, D., & Li, Q. (2019). Three-dimensional printing in dentistry: A systematic review. *Journal of Prosthodontic Research*, 63(4), 415-429.
- [12] Li, Z., Xiong, Y., Wang, W., Zhang, Y., Guo, Y., Sun, Z., & Liu, X. Application of three-dimensional printing technology in maxillofacial prosthodontics: A review. *Journal of Prosthodontics*, 28(3), pp.779-795, (2019).
- [13] Richter, G., Wittstock, F., Koch, F., & Spintzyk, S. (2019). Accuracy of three-dimensional printed templates for guided implant placement based on matching a surface scan with CBCT. *Clinical Oral Implants Research*, 30(7), 651-659.
- [14] Serra, T., Ordinola-Zapata, R., Cok, S., Arisan, V., Tulu, U. K., & Yildirim, E. D, Customized 3D-printed dental implants: A scoping review. *Dental Materials*, 37(3), pp. 505-518.
- [15] Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature*

Reference

Biotechnology, 32(8), 773-785.

[16] kherbouchesouhila, mousaouichafia -Etude et conception d'une imprimante 3D de composites à fibres longues-Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2020-2021

[17] Wohlers Associates. (2021). 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates

[18] aliahmedsyriane, hadidahmed – Etude et conception d'une imprimante 3D - Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2015-2014 .

[19] Filament pour imprimante 3D : comparatif 2023 | All3DP .

[20] Comparaison des différents types de moteurs pas à pas, Plotter Router Fresadora CNC, alciro - Projects, alciro.org .

[21] Creality Carte mère d'imprimante 3D - Carte mère ultra silencieuse 24V V4.2.7 avec pilote TMC2225 pour Ender-3 / Ender-3 Pro : Amazon.fr: Commerce, Industrie et Science .

[22] Ultimaker Cura — Wikipédia (wikipedia.org) .

[23] (Imprimante 3D Lit chauffant-3D Imprimante Lit Chauffant Plaque de Verre Substrat en Aluminium Hotbed 1.5mm Épaisseur 220mm : Amazon.fr: Commerce, Industrie et Science .

□ [24] Qu'est-ce que Marlin ? | Marlin Firmware (marlinfw.org) .

□ [25] conversation avec Bing, 25/05/2023(1) Simplify3D, un slicer pour les professionnels - 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/simplify3d-slicer-professionnel/> Consultée 25/05/2023.

[26] Paramétrage d'impression multi-process sur Simplify3D | Makershop .

[27] conversation avec Bing, 06/06/2023(1) Tutoriel: Installer le firmware Marlin 1.1 sur l'imprimante 3D Wanhao <https://bing.com/search?q=qu'est-ce+que+le+firmware+Marlin> Consultée 06/6/2023
