

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Mathématiques et Informatique**

Filière : **Informatique**

Spécialité : **Systemes informatiques**

Présenté par

Mourad AIT AHMED

Sarah AMMICHE

Thème

Contribution à l'élaboration d'un programme pour imprimante 3D domestique.

Mémoire soutenu publiquement le 11/07/2016 devant le jury composé de :

Président : M M LAGHROUCHE

Encadreur : M Amar HAMACHE

Examinatrice : M^{me} T DJAMAH

Examineur : M Y MOHIA

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre promoteur M^R. HAMACHE pour l'intérêt et l'aide qu'il nous a donné.

Nous remercions tous le personnel du laboratoire IPSIL de l'ENP d'Oran, en particulier M. BENABDELLAH le directeur du laboratoire, pour leur accueil et leur encadrement tout au long de la période de notre stage.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Nous remercions aussi tous ceux, et celles qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents et à mes deux frères
Ilyes Amazigh et Lahlou.*

A toute ma famille.

A tous mes amis (es).

A mon binôme Mourad et toute sa famille.

A la mémoire de mon ami HAMEDI KAMEL.

A tous ceux qui m'ont aidé, en particulier Nor et Abdellatif.

A tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

SARAH

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mes parents qui m'ont donnée la vie et sans lesquels je ne serais pas là aujourd'hui et pour le soutiens et leurs nombreux conseils.

Ames adorables sœurs: Meriem, Zineb, Lydia.

A mes amis les plus proches : Hicham, Aghilas, Meziane, Amirouche, Nafaa.

A ma binôme Sarah et toute sa famille.

A tous mes camarades de promotion.

Et tous mes amis (es) sans exceptions et en particulier ceux du « E20 ».

Je remercie tous ceux et celles qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

MOURAD



Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

1. Introduction	2
2. description de la nouvelle technologie	2
2.1 Définition.....	2
2.2 Historique	2
3. Types d'imprimantes 3D.....	4
3.1 Imprimante 3D grand public	4
3.2 Imprimante 3D professionnelle	4
3.3 Imprimante 3D industrielle.....	5
4. Secteurs d'application	5
5. Matériaux utilisés	5
5.1 Plastique	5
5.2 Métaux.....	7
5.3 Céramiques.....	7
5.4 Matériaux organiques	8
5.5 Matières alimentaires.....	8
5.6 Bois.....	8
6. Composants de l'imprimante 3D.....	8
7. Etapes d'impression	10
8. Technologies d'impression	11
9. Conclusion.....	13

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

1. Introduction	14
2. Organisme d'accueil.....	14
3. La BCN3D+	15
3.1 Définition.....	15
3.2 La technologie suivie.....	15
3.3 Les caractéristiques	16

3.4 Les composants	16
4. Conclusion.....	21

Chapitre III : La conception

1. Introduction	22
2. Définition d'un firmware	22
3. Définition de Marlin.....	22
4. Rôle de Marlin.....	23
5. Classification des fichiers du firmware.....	23
5.1 Configuration lib	23
5.2 LCD lib.....	26
5.3 SD lib.....	26
5.4 Serial lib.....	27
5.5 Temperature lib	27
5.6 Main lib	28
5.7 Plan motion lib	29
5.8 Stepper lib.....	29
5.9 Servo lib.....	29
6. L'adaptation du programme pour BADI3A	31
6.1 L'architecture de l'imprimante.....	32
6.2 Description du mécanisme de l'imprimante locale	34
6.3 Les modifications apportées sur le code.....	35
7. Conclusion.....	36

Chapitre IV : Réalisation

1. Introduction	37
2. Les langages et outils utilisés	37
2.1 Le langage C++	37
2.2 Le G-Code	37
2.3 SolidWorks	37
2.4 Slic3r.....	39
2.5 Code::Blocks	39

2.6 Arduino IDE	40
3. Les parties du code modifiées	40
4. Conclusion.....	43
Conclusion générale	44
Liste des abréviations	45
Bibliographie.....	46

Liste des figures

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

Figure I.1 :L'imprimante BCN 3D++	4
Figure I.2 : Imprimante 3D ProJet 3500 SD	4
Figure I.3 : Imprimante 3D ProX 300.....	5
Figure I.4 : Secteurs d'application de l'impression 3D	5
Figure I.5 : Constitution d'une imprimante 3D	9
Figure I.6 : Fonctionnement d'une imprimante 3D	12
Figure I.7 : Le procédé d'impression 3D	12

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

Figure II.1 : Organisme d'accueil	14
Figure II.2 : L'imprimante BCN3D+.....	15
Figure II.3 : le châssis d'une BCN3D+	17
Figure II.4 : L'extrudeuse d'une BCN3D+.....	17
Figure II.5 : Le moteur pas à pas d'une BCN3D+.....	18
Figure II.6 : Le plateau d'impression d'une BCN3D+	18
Figure II.7 : L'écran LCD de la BCN3D+.....	19
Figure II.8 : Les courroies de la BCN3D+	19
Figure II.9 : Une tige filetée de la BCN3D+	19
Figure II.10 : Fin de course pour ARDUINO.....	20
Figure II.11 : Carte Arduino	20
Figure II.12 : La carte Ramps 1.4	21

Chapitre III : La conception

Figure III.1 : Le logo officiel de Marlin Firmware	23
Figure III.2 : Différentes bibliothèques utilisées dans la BCN3D+.....	30

Figure III.3 : les différentes pièces et les bibliothèques correspondantes	31
Figure III.4 : l'imprimante locale(BADI3A).....	32
Figure III.5 : L'extrudeuse	32
Figure III.6 : Les moteurs pas à pas	32
Figure III.7 : La buse	33
Figure III.8 : Le chauffage plaque.....	33
Figure III.9 : L'écran LCD	33
Figure III.10 : Les courroies	33
Figure III.11 : Les tiges filetées.....	33
Figure III.12 : Plateau d'impression.....	33
Figure III.13 : boîtier d'alimentation.....	34
Figure III.14 : La carte Arduino	34
Figure III.15 : Ramps	34
Figure III.16 : le châssis	34

Chapitre IV : Réalisation

Figure IV.1 : Interface du logiciel SolidWorks	38
Figure IV.2 : interface du logiciel Slic3r	39
Figure IV.3 : interface du logiciel CodeBlocks	40
Figure IV.4 : interface du logiciel Arduino IDE.....	41
Figure IV.5 : Les valeurs des capteurs de fin de course	42
Figure IV.6 : Les Valeurs de déplacements des axes.....	42
Figure IV.7 : déplacement manuel et automatique des axes à la position initiale	43

A decorative graphic of a scroll with a light blue gradient background and a thin blue border. The scroll is partially unrolled, with the top corners and a vertical strip on the left side showing a white background. The text is centered on the scroll.

Introduction
générale

Introduction générale

L'impression 3D représente la 3^{ème} révolution qui a bouleversé la vie de l'être humain au XXI^e siècle. En effet, loin d'être un éphémère phénomène de mode ou une tendance passagère, l'impression 3D vient nous apporter de multiples comforts dans notre vie. Aucun domaine n'est resté étranger à cette technologie qui offre tant de bienfaits aussi bien aux entreprises qu'aux particuliers.

HP, L'Oréal, la Poste... de plus en plus de sociétés investissent dans le secteur de l'impression 3D et entrent en concurrence avec les pionniers du domaine. S'ils veulent réussir, ils doivent maîtriser les coûts de production pour des produits de bien meilleure qualité développés dans de brefs délais.

C'est justement dans le cadre de cette technologie que le laboratoire IPSIL d'Oran travaille, en essayant de développer une imprimante 3D locale en se basant sur celle du fabricant espagnol BCN3D Technologies. Pour y parvenir, il a fait appel à une équipe de développement dont on fait partie.

Au cours du processus de développement, on est arrivé à la phase où l'imprimante est prête et il ne reste qu'à la doter de la partie logicielle pour qu'elle puisse fonctionner.

C'est justement là qu'on est intervenu, pour analyser le logiciel existant, et l'adapter à la nouvelle imprimante. Pour y arriver, nous avons suivi un plan structuré en quatre chapitres :

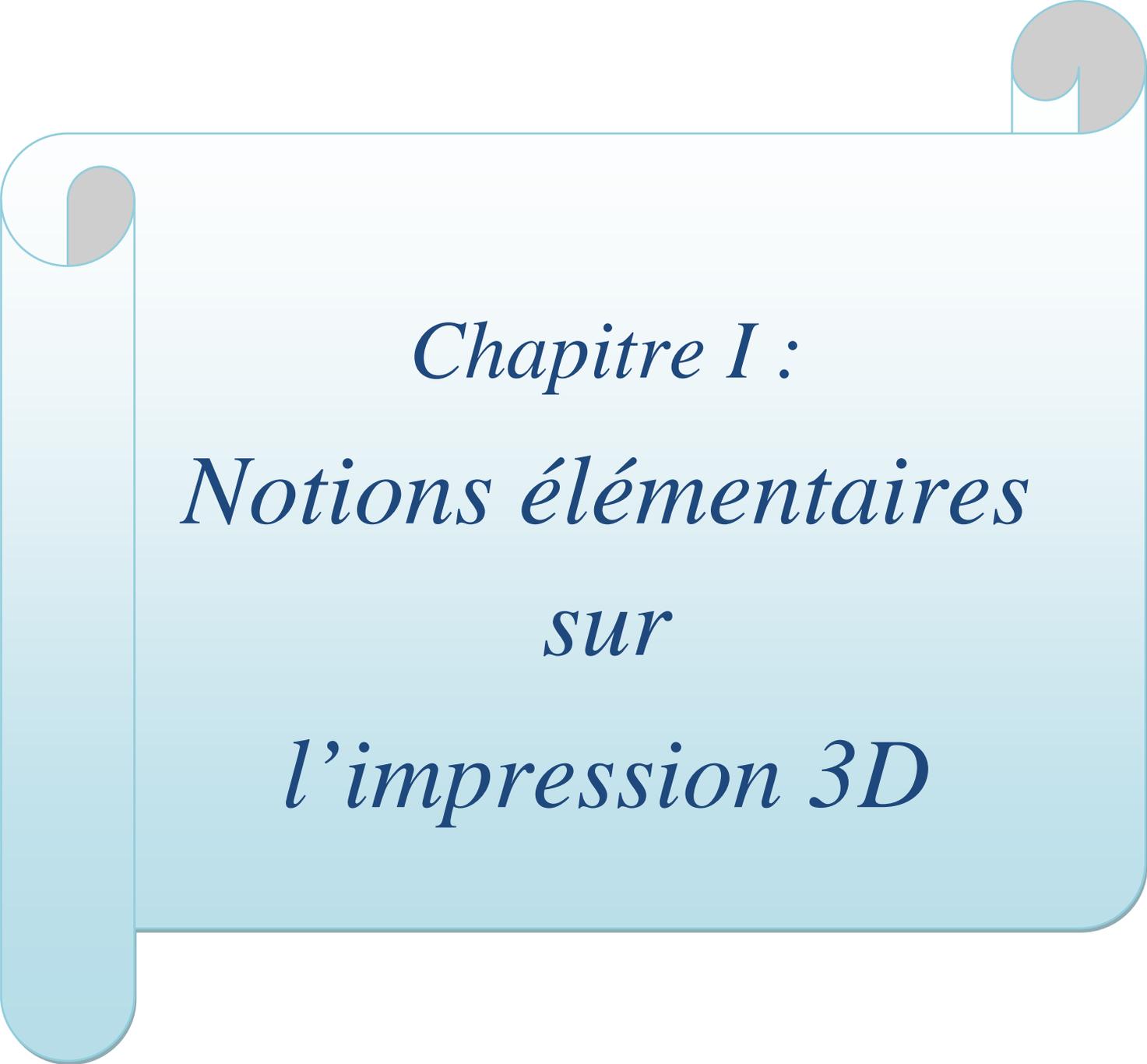
Le 1^{er} chapitre présente des généralités sur le monde de l'impression 3D.

Le 2^{ème} chapitre est consacré à la présentation de notre organisme d'accueil ainsi qu'à la description de l'ancienne imprimante.

Le 3^{ème} chapitre comporte une analyse du code source actuel ainsi qu'une analyse de la nouvelle imprimante.

Enfin le 4^{ème} chapitre qui illustre une partie du code modifié ainsi que les outils nécessaires à l'exploitation de l'imprimante.

Pour finir, le travail est achevé par une conclusion générale et quelques perspectives.



Chapitre I :
Notions élémentaires
sur
l'impression 3D

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

1. Introduction

Transformer une grande idée en un objet concret et pouvoir le tenir dans sa main est quelque chose de magique ! Cet idéal est en fait une réalité mondiale pour des concepteurs et ingénieurs exigeants et avertis. Des prototypes à la demande, disponibles en deux heures grâce à une nouvelle technologie, appelée l'impression tridimensionnelle, 3D en abrégé.

2. Description de la nouvelle technologie

2.1. Définition

L'impression 3D, également appelée fabrication additive, permet de fabriquer un objet à partir d'un modèle numérique, créé à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Ceci est envoyé vers une imprimante spécifique appelée imprimante 3D qui le découpe en tranches et dépose ou solidifie de la matière couche par couche pour obtenir la pièce finale.

2.2. Historique

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

- **1983-1986 : Naissance de l'impression 3D**

1983 pour certains, 1984 pour d'autres tout le monde s'accorde toutefois à attribuer la paternité de l'impression 3D à Charles Hull aujourd'hui vice-président de 3D System. La première machine, officiellement commercialisée en 1986, reposait sur le principe de Stéréolithographie.

L'imprimante servait alors aux industriels à créer des objets pour tester leur design avant de décider de la production des pièces en série.

- **1990-1992 : Impression couche après couche**

Ce n'est pas encore parfait loin de là mais, le potentiel énorme de l'impression 3D se dévoile avec la création couche après couche d'objets 3D. Un rayon UV tape alors dans une espèce de liquide visqueux ressemblant à du miel. C'est toujours le procédé de Stéréolithographie qui fait ses preuves.

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

- **1999 : Première prothèse implantée sur un être humain**

Et ce n'est pas n'importe quel organe ! Les chercheurs et les ingénieurs créent une espèce de prothèse permettant d'accompagner l'agrandissement de la vessie d'un patient. Outre la contrainte de devoir créer un « objet » adapté à la physiologie du malade, il convient de trouver un système réduisant les risques de rejets. La pièce est donc enrobée de cellules du patient. Cette étape constitue une avancée majeure en ouvrant de nouvelles perspectives à la médecine.

- **2002 : Premier rein fonctionnel**

Cette fois-ci, les universitaires du laboratoire *Wake Forest Institute for Regenerative Medicine* recréent un rein fonctionnel. Capable de filtrer le sang et de diluer l'urine, il est greffé sur des animaux et ouvre la voie à la création d'organes et de tissus à des buts médicaux.

- **2008 : RepRap Project abouti**

Lancé en 2005, le projet RepRap réussit son pari. Leur première imprimante auto répliquante sort. Darwin permet à un possesseur de créer d'autres machines pour son réseau proche. C'est aussi cette année-là que sort la version Beta de la boutique de plans en ligne Shapeways.com. Concepteur, architectes et ingénieurs peuvent créer des plans de manière conjointe et faire imprimer des objets complexes à prix abordables.

- **2009 : Maker Bot Industries à l'assaut du grand public**

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

- **2010 : Vaisseau sanguin imprimé avec une imprimante spéciale**

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

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

- **2011 : Or et argent en impression grand public**

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

3. Types d'imprimantes 3D

3.1. Imprimante 3D grand public

Que ce soit pour la maison ou pour un particulier, c'est une imprimante qui fonctionne par dépôt de matériau fondu ou semi-liquide à partir d'une tête d'impression. Cette famille comprend toutes les imprimantes 3D personnelles. Le matériau utilisé par cette famille d'imprimantes est principalement du plastique fondu.



Figure I.1 : L'imprimante BCN 3D+

3.2. Imprimante 3D professionnelle

Elles sont destinées aux bureaux d'études, cabinets d'architecture ou autre studios de design pour des besoins de prototypage rapide, validation de concept ou de forme, de packaging ou de maquette d'architecture. Ces imprimantes 3D utilisent principalement des matériaux plastiques comme l'ABS des polyamides.



Figure I.2 : Imprimante 3D ProJet 3500 SD

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

3.3. Imprimante 3D industrielle

Destinées aux groupes industriels et offrant les meilleures résolutions d'impression sur le marché des imprimantes 3D, ces machines offrent un large éventail de matériaux, plastique, métal, cire ou sable.



Figure I.3 : Imprimante 3D ProX 300

4. Secteurs d'application

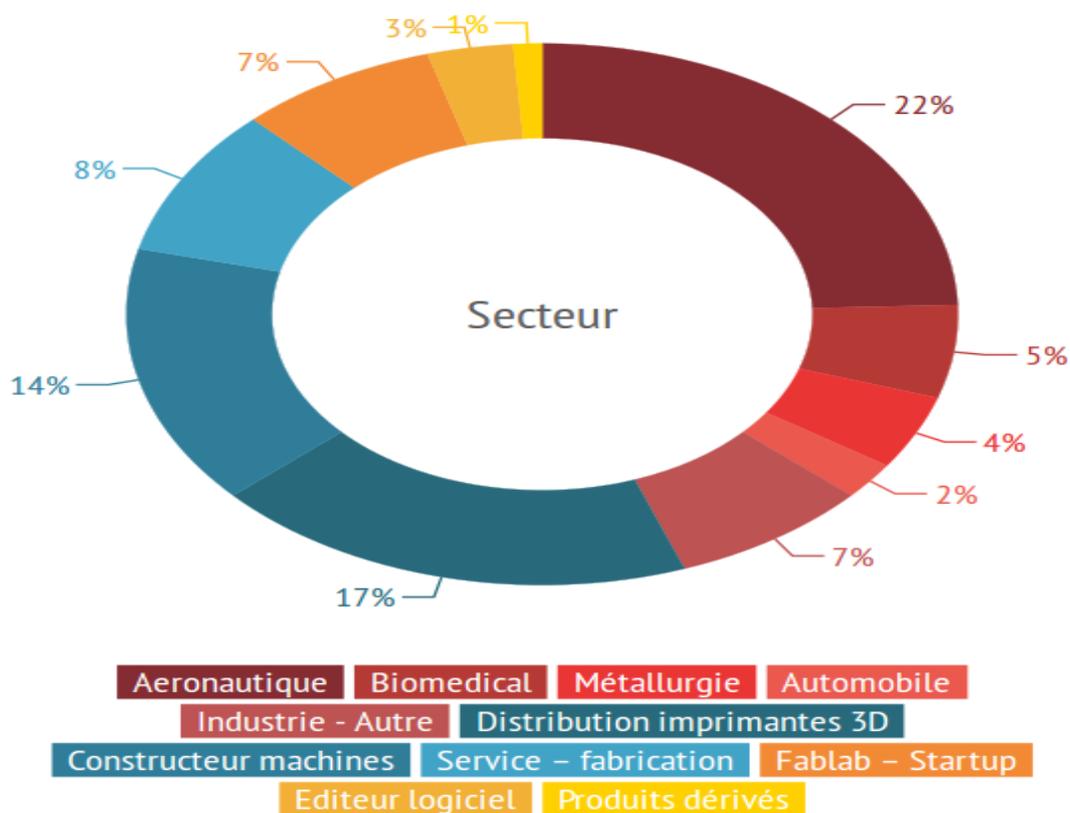


Figure I.4 : Secteurs d'application de l'impression 3D

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

Les secteurs d'activités qui recrutent le plus sont ceux liés à l'industrie, l'aéronautique en tête qui prépare l'arrivée sur ses lignes de production des machines de fabrication additives métalliques permettant d'effectuer des gains de masses significatifs sur les pièces fabriquées. On retrouve en deuxième place, le secteur biomédical qui est également intéressé par l'impression 3D pour le développement de prothèses. De son côté, le secteur de l'automobile ne voit pas encore dans l'impression 3D un procédé adapté à ses très fortes cadences de production. Les 2% correspondent à des offres liées au prototypage de pièces (tests de nouveaux tableaux de bords, mise au point de concept cars, etc....) ou au développement de pièces sur mesure pour le sport mécanique.

5. Matériaux utilisés

Pour imprimer un objet final, l'industrie de l'impression tridimensionnelle utilise plusieurs matériaux tels que :

5.1. Plastiques

- **ABS** : c'est un thermoplastique très largement utilisé pour l'impression 3D, particulièrement par les imprimantes 3D pour particuliers. D'une surface rugueuse et ressemblante au plastique tant au niveau texture, dureté et fonctionnalité. L'Acrylonitrile Butadiène Styrene fond à une température d'environ 200°C. Résistant et disponible en plusieurs couleurs, l'ABS est aussi couramment utilisé pour la fabrication d'objets de notre quotidien, notamment des jouets.
- **PLA** : c'est un polyester thermoplastique issu de ressources renouvelables. À base d'amidon (maïs / plantes / lait de chèvre), ce matériau est très prisé par les particuliers puisque respectueux de l'environnement et biodégradable. Fondant à une température de 160°C, il est cependant moins résistant que l'ABS et sensible à l'eau. De plus, il peut être utilisé pour fabriquer des objets à but alimentaire (bols, assiettes, tasses).
- **Résine** : elle est utilisée dans les procédés SLA et PolyJet, la résine offre différentes propriétés physiques propres à chaque type. Elle permet des impressions très détaillées et solides, sur des formes complexes avec un rendu très lisse.
- **Polyamide** : L'impression 3D de plastique de polyamide est principalement utilisée par la technologie du frittage laser. C'est une poudre plastique qui donne des objets stables, résistants aux chocs, rigides et légèrement flexibles. On peut fabriquer des

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

objets en polyamide pour entrer en contact avec des aliments. Ce plastique est parfois utilisé en impression 3D pour fabriquer des moules à injection.

- **Plastique transparent** : Plusieurs fabricants proposent l'impression 3D de plastiques transparents. Ces matériaux sont généralement utilisés en dentisterie pour la création d'appareils dentaires ou dans le monde du design pour imprimer des objets qui laissent passer la lumière (lampes design, verre). Les technologies les plus répandues pour l'impression 3D de ces plastiques sont le frittage laser, la stéréolithographie et le polyjet.

5.2. Métaux

- **Aluminium** : On retrouve l'aluminium dans des alliages, dans lequel il est combiné à du silicium et du magnésium. C'est un alliage à la fois résistant et léger, utilisé notamment dans l'industrie aérospatiale ou les moteurs.
- **Acier** : Répondant également au doux nom d'inox, l'acier inoxydable est l'un des matériaux les plus utilisés dans l'industrie, en plus d'être l'un des plus anciens. Il est doté d'excellentes qualités mécaniques et peut être couplé à des métaux précieux comme l'or ou l'argent.
- **Cobalt-chrome** : Si jusqu'à présent on utilisait principalement cet alliage avec des techniques de moulage, le procédé EBM offre la possibilité de l'exploiter en fabrication additive. Solide et très résistant à l'usure, on le retrouve dans la création de prothèses médicales et l'industrie dentaire. Certaines variantes du cobalt-chrome résistent à des températures de plusieurs centaines de degrés, idéales pour la fabrication de moules.
- **Titane** : le préféré des industriels pour son rapport solidité/poids excellent, le titane est en outre résistant à la corrosion. Certains alliages comportant du titane sont biocompatibles et donc utilisés pour les prothèses. Il offre en effet une très bonne adhérence aux tissus et même à l'os.

5.3. Céramiques

L'impression 3D offre un intérêt certain dans la création d'objets complexes en céramique. Pour ce faire, soit on utilise le procédé SLA avec de la résine liquide couplée à de la céramique, soit on exploite la technique SLS avec une poudre de céramique. Le processus ne permet pas de s'émanciper de la phase d'émaillage durant laquelle l'objet est soumis à une température de plus de 1000°C.

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

5.4. Matériaux organiques

- **Cires** : Utilisées pour la création de moules de haute précision, les cires sont exploitées dans des domaines comme la bijouterie ou l'industrie dentaire. La résistance du matériau à la chaleur permet de fabriquer des moulages pour des objets métalliques.

5.5. Matières alimentaires

Du chocolat au fromage en passant par le sucre, de nombreux aliments peuvent être imprimés en 3D. Certaines machines, comme la Choc Creator, offrent la possibilité d'imprimer des formes très complexes et précises en chocolat. La confection de décorations comestibles est aujourd'hui la principale utilisation de l'impression 3D dans le domaine culinaire. Toutefois, de nombreuses réserves sont émises quant à l'hygiène autour des créations produites.

5.6. Bois :

Il ne s'agit pas d'imprimer des objets composés à 100 % de bois, mais de création à partir d'un alliage de polymère et de bois recyclé — environ 40 %. Le filament Laywoo offre un rendu visuellement extrêmement proche du véritable bois. On fait alors varier la couleur de rendu en adaptant la température d'extrusion (de 185 à 230°C).

6. Composants de l'imprimante 3D

Une imprimante 3D est un périphérique informatique composé de plusieurs pièces mécaniques et électroniques permettant la réalisation d'un objet en trois dimensions.

La figure 5 ci dessous représente ces composants.

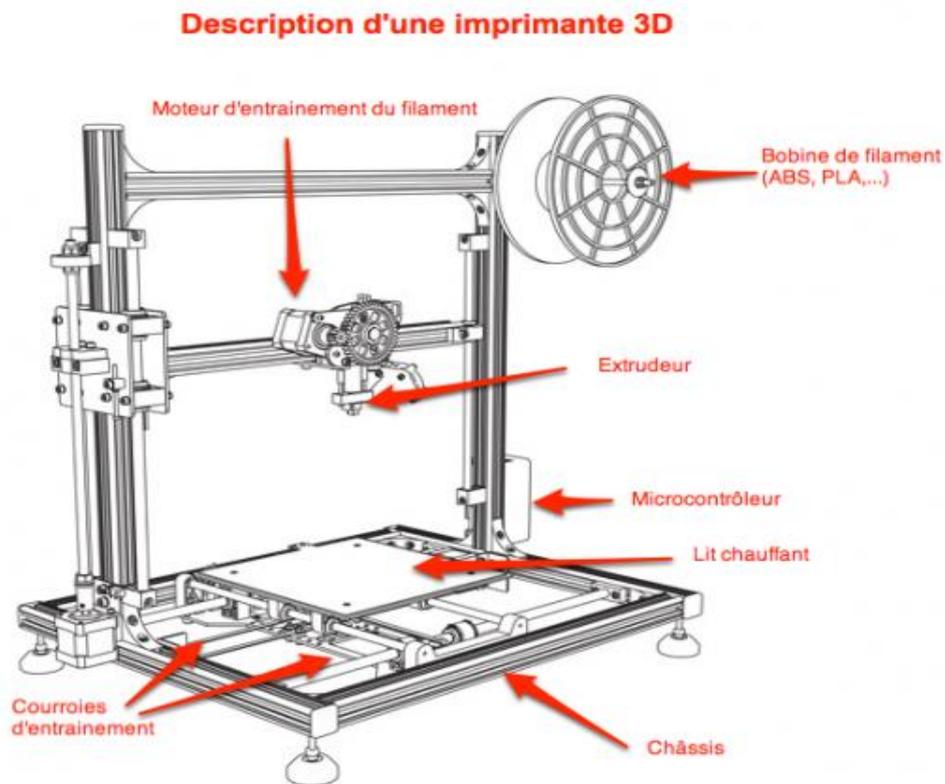


Figure I.5 : Constitution d'une imprimante 3D

- **Extrudeuse :** C'est la tête d'impression de l'imprimante, constituée d'une partie métallique, chauffée aux environs de 200 degrés dans laquelle le filament est fondu et s'écoulant par un orifice.

Concrètement, il est constitué d'un tube de métal, avec une entrée du diamètre du filament et une sortie dont le diamètre est compris entre 0,2 et 0,5 mm. On trouve à ce niveau des connections pour l'alimentation de la résistance chauffante, ainsi qu'une sonde de température qui permet de contrôler précisément la température ambiante.

- **Moteur d'entraînement du filament :** C'est un moteur pas-a-pas entrainant une roue crantée pour faire avancer ou reculer le filament. Cela permet de gérer de manière précise la quantité de matière à utiliser.
- **Lit chauffant :** Durant sa conception, la pièce imprimée repose sur un lit qui peut être soit :

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

- À température ambiante.
- Chauffant : En fonction du matériau utilisé, il maintient une température comprise entre 40 et 110 °C tout au long de l'impression, gardant la pièce chaude afin d'empêcher sa déformation.
- **Courroies d'entraînement** : C'est grâce à un couple poulies/courroies entraîné par des moteurs pas-à-pas que le lit chauffant effectue ses mouvements suivant les axes X et Y.
- **Microcontrôleur** : Est un composant électronique qui permet de réguler le déplacement des axes, mettre en route le ventilateur, extruder la quantité de fil souhaitée et réguler la température suivant les instructions qui lui sont fournies via le code-G et les informations reçues des capteurs de fin de course et de température de la tête d'impression.
- **Filament 3D** : C'est le consommable de l'impression 3D dite FDM, tout comme la cartouche d'encre pour une imprimante classique/2D. Il s'agit usuellement d'une bobine de filament de matériau (généralement à base de plastique) qui est progressivement fondu à travers l'extrudeuse afin de concrétiser couche par couche l'objet désiré.
- **Le châssis** : Est un cadre rigide ou mobile fait d'une matière résistante, destiné à entourer ou supporter l'imprimante.

7. Etapes d'impression

L'objectif fondamental de l'impression 3D est de transformer rapidement une idée en objet réel. Pour atteindre cet objectif, le respect du procédé d'impression s'impose. Ce dernier consiste en un enchaînement d'étapes dont :

Etape 1 : Modéliser un objet 3D à partir d'un logiciel de modélisation : La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométriques permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numériques et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Etape 2 : Exporter notre modélisation au format (.STL) (Stéréolithographie) : Le format STL est utilisé pour faire du prototypage rapide et de la fabrication assistée par ordinateur. Le

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

fichier STL décrit un objet par sa surface externe. Cette surface est nécessairement fermée et définie par une série de triangles (ou de facettes). Chaque triangle est défini par les coordonnées cartésiennes (x, y, z). Les coordonnées des sommets doivent être positives. Chaque triangle doit partager 2 sommets avec chacun des triangles le juxtaposant. Dit autrement le sommet d'un triangle ne doit pas être sur l'arête d'un autre triangle. Il est recommandé de classer les points par z croissant pour faciliter la lecture du fichier par certains logiciels.

Etape 3 : Ouvrir le fichier STL à partir d'un logiciel de découpe et définition des couches : Pour ajuster les propriétés (épaisseur des couches, remplissage, échelle), le logiciel calcul le découpage du matériel et du support couche par couche.

Etape 4 : Lancement d'impression : Dans cette étape l'impression diffère selon le type d'imprimante et la technologie suivie.

8. Technologies d'impression

- **La Stéréolithographie :** c'est une technique dite de prototypage rapide, qui permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique. L'objet est obtenu en superposant de tranches fines de matière. Le développement industriel de cette technique date des années 1980 et fut initiée aux États-Unis par Charles W. Hull.
- **La fabrication du filament fondu (FFF) :** Cette technique consiste à faire fondre un filament de matière synthétique (généralement du plastique type ABS ou PLA) à travers une buse (une extrudeuse) chauffée à une température variant entre 160 et 400 °C. Un petit fil de plastique en fusion, d'un diamètre de l'ordre du dixième de millimètre en sort. Ce fil est déposé en ligne et vient se coller par refusions sur ce qui a été déposé au préalable.
- **Impression par jets multiples (Material Jetting) :** Ce procédé est similaire à une tête d'impression d'une imprimante 2D à jet d'encre classique, mais disposant de centaines de buses de jets et dont les gouttelettes de résine ou de cire sont de quelques microns.
- **Frittage par laser (SLS : Selective Laser Sintering) :** Cette technique est similaire à la stéréolithographie, mais une poudre est utilisée au lieu d'un photopolymère liquide. Un laser puissant solidifie localement la surface de poudre et l'agglomère aux couches

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

précédentes par frittage. Une nouvelle couche de poudre est ensuite étalée et le processus recommence.

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

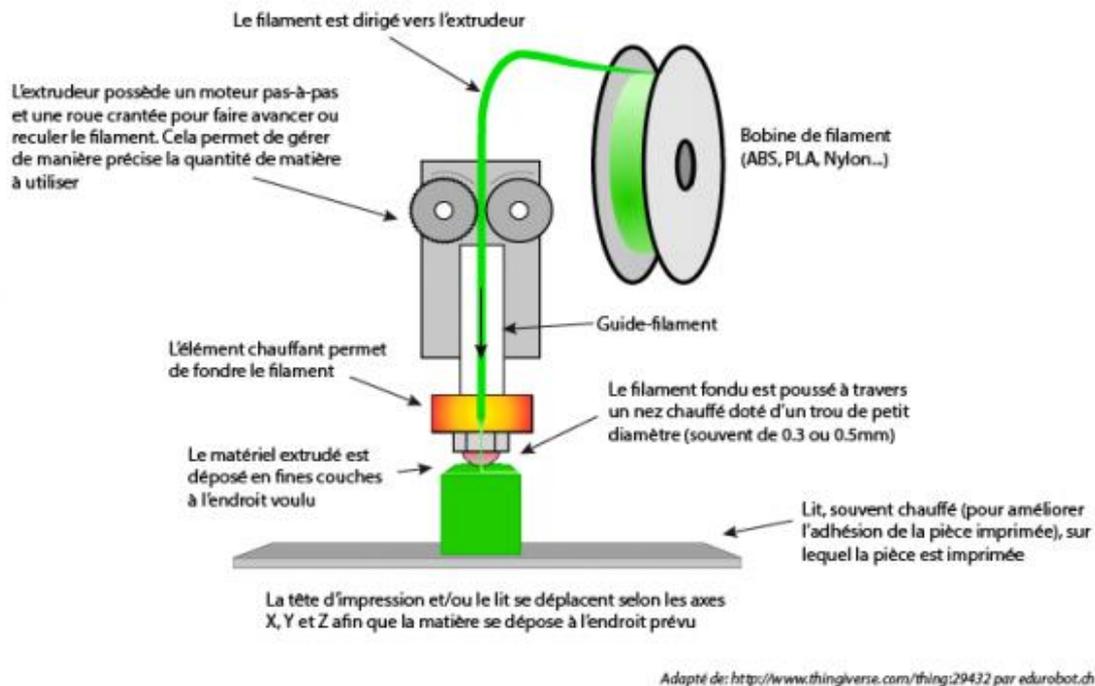


Figure I.6 : Fonctionnement d'une imprimante 3D

Etape 5 : Récupération de l'objet 3D : à la fin de l'impression qui dure quelques heures, on peut récupérer l'objet final.

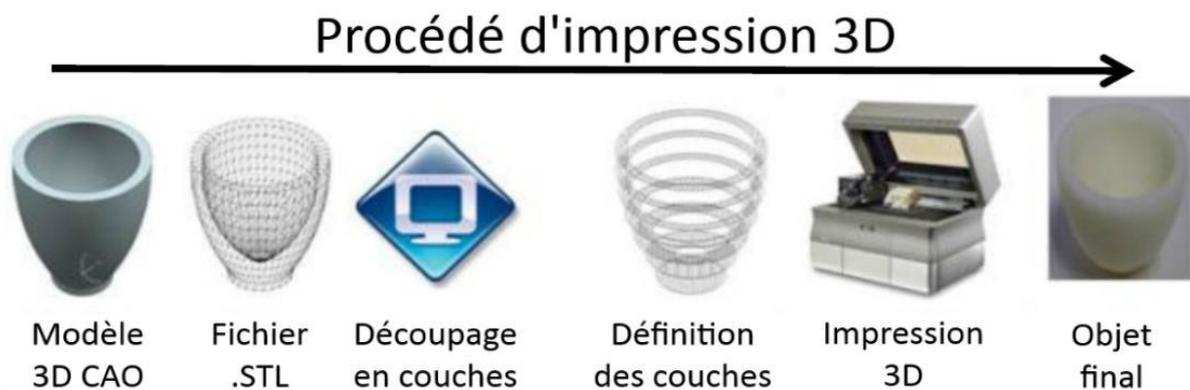


Figure I.7 : Le procédé d'impression 3D

Chapitre I : Notions élémentaires sur l'impression 3D

9. Conclusion

L'impression 3D est la troisième révolution du XXIe siècle. Capable de modifier profondément notre style de vie, cette technologie fait peu à peu sa place dans nos foyers et tend à s'intégrer dans notre société bien qu'elle soit limitée actuellement.

Le prochain chapitre présentera un modèle d'imprimante réalisé par le laboratoire IPSIL de l'ENPO, Oran, Algérie.

Chapitre II :
L'imprimante
BCN3D+

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

1. Introduction

Le laboratoire IPSIL de L'ENPO fabrique des imprimantes 3D de type BCN 3D+, et cela en collaboration avec le fabricant espagnol BCN3D Technologies.

L'objectif de ce chapitre est de présenter ce type d'imprimantes, ses composants et ses caractéristiques.

2. Organisme d'accueil IPSIL (Industrial Products & Systems Innovation Laboratory)

L'IPSIL «Laboratoire d'Innovation de Produit & de Systèmes Industriels» est un laboratoire de recherche situé à l'école national polytechnique d'Oran (ENP Oran).



Figure II.1 : Organisme d'accueil

Naissance :

- Siège : **Ecole National Polytechnique d'Oran (ENPO)** ;
- 16/03/2011 date d'agrément IPSIL, Il est resté en gestation près de 4 ans avant de voir le jour ;
- Une structure de 68 m² ;
- 4 équipes de recherche : ISyPI, InSEE, DeLISET et CALIMAT ;
- 27 chercheurs et 1 gestionnaire.

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

Le laboratoire IPSIL est ouvert sur son environnement (CFE, Incubateurs, inventeurs, brevets...), projets et programmes de coopération avec la Tunisie, le Maroc, la France, l'Espagne et beaucoup d'autres pays de l'UE, Organisation de 05 Séminaires internationaux dont 03 co-organisés à l'étranger.

IPSIL a pour objectif d'améliorer le domaine de prototypage en Algérie en se basant sur les imprimantes 3D et on essayant de faire passer des idées créatives, imaginaires à la réalisation réelle.

3. BCN3D+

3.1. Définition

L'imprimante BCN3D+ Kit du fabricant espagnol BCN3D Technologies est une imprimante à assembler (prévoir 10 à 15 heures de montage) pouvant imprimer à base de filament PLA, ABS ou de filaments spéciaux (Laywoo3d, Laybrick, Nylon, Filaflex, HIPS...). Elle peut imprimer des objets d'une taille maximum de 250x200x200 mm avec une épaisseur de couche de 100 microns.

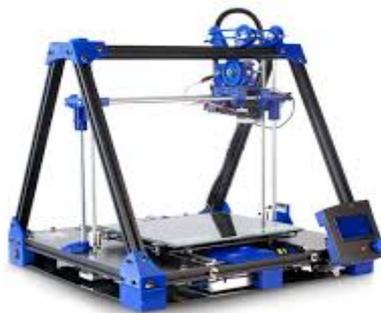


Figure II.2 : L'imprimante BCN3D+

3.2. La technologie suivie

La BCN3D+ est une imprimante basée sur la technologie FFF (Fused Filament Fabrication). Cette technologie utilise des matières plastiques pour sa conception comme le PLA ou l'ABS. Sous forme de filaments, elles sont généralement de 1.75 mm ou 3 mm d'épaisseur. Vendue en bobine, ce plastique offre des propriétés de modélisation intéressantes, un large choix de couleurs et même la possibilité d'imiter des textures comme le bois, la pierre, la céramique, etc. Avec un très bon rapport qualité-prix, cette technologie est majoritairement utilisée pour les imprimantes personnelles.

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

3.3. Les caractéristiques

Comme chaque type d'imprimantes, la BCN3D+ a ses propres caractères, dont :

- Type : Kit/RepRap
- Matériau(x) : PLA, ABS, Filaments spéciaux
- Technologie : FFF
- Assemblage : Plug&play
- Taille : 480x480x455
- Poids (kg) : 13
- Diamètre de la buse (mm) : 0.4
- Epaisseur min. d'impression : 100
- Vitesse (mm/s) : -
- Précision (mm) : X-Y : 50 µm, Z : 100 µm
- Taille de filament (mm) : 3
- Taille maximum d'impression (mm) : 250x200x200
- Format: .stl, gcode
- Logiciel : Marlin adapté pour BCN3D+, Slic3r, Arduino, Netfabb, Pronterface, Cura
- Connectivité : Câble USB, Carte SD
- Compatibilité système : Windows, Mac, Linux
- Alimentation : 110/220 (V) @ 50/60(Hz)
- Température maximale : 260 °C.

3.4. Les composants

Dans la BCN3D+, plusieurs pièces mécaniques et électroniques sont reliées pour permettre l'impression d'un objet, dans la partie suivante on donnera des définitions de quelques composants :

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

- **Le châssis** : est un cadre rigide fait avec une matière résistante, destiné à entourer ou supporter les autres composants de l'imprimante.



Figure II.3 : le châssis d'une BCN3D+

- **L'extrudeuse** : constitue l'élément commun à toutes les lignes d'extrusion. Elle assure la plastification du polymère thermoplastique et alimente la tête d'extrusion. L'extrudeuse, fixée sur un châssis, se compose cependant toujours d'un moteur, d'un réducteur et variateur de vitesse, d'une trémie d'alimentation, dans laquelle est versée la matière sous forme de poudre ou de granulés, d'une goulotte, d'un cylindre à température maintenue par différents dispositifs comme les colliers chauffants et le régulateur de température.



Figure II.4 : L'extrudeuse d'une BCN3D+

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

- **Le moteur pas à pas :** Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction des impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas.

On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour.

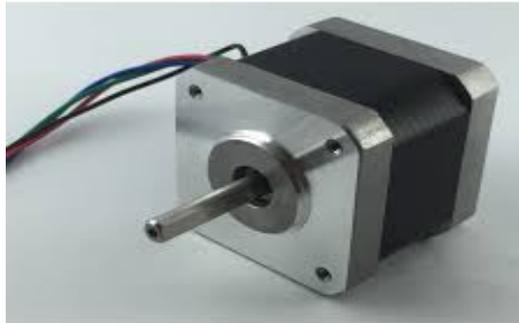


Figure II.5 : Le moteur pas à pas d'une BCN3D+

- **Le plateau d'impression :** rectangle en verre épais, qui sert de support d'impression.

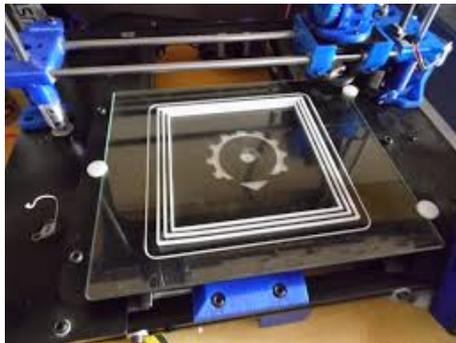


Figure II.6 : Le plateau d'impression d'une BCN3D+

- **L'Écran LCD :** panneau lumineux bleu où vous trouverez l'information de l'état de la machine. L'écran LCD affichera des informations sur l'état de l'imprimante : température, nom, etc. À côté de l'écran LCD, se trouve une roulette de réglage. En appuyant sur celle-ci, vous accéderez au menu de l'imprimante. Appuyez et tournez la roulette vers la gauche ou vers la droite pour vous déplacer sur les différentes options.

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+



Figure II.7 : L'écran LCD de la BCN3D+

- **Les courroies :** C'est grâce à un couple poulies/courroies entraîné par des moteurs pas-à-pas que le lit chauffant effectue ses mouvements suivants les axes X et Y.

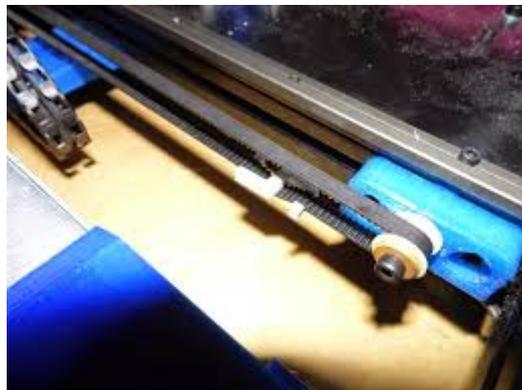


Figure II.8 : Les courroies de la BCN3D+

- **Les tiges filetées :** Une tige filetée est le composant d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement.



Figure II.9 : Une tige filetée de la BCN3D+

Chapitre II : L'imprimante BCN3D+

- **Les fins de courses :** des interrupteurs de positions mécaniques peuvent aussi être appelés "détecteurs de position". Ils coupent ou établissent un circuit lorsqu'ils sont actionnés par un mobile. La détection s'effectue par contact d'un objet extérieur sur le levier ou un galet.

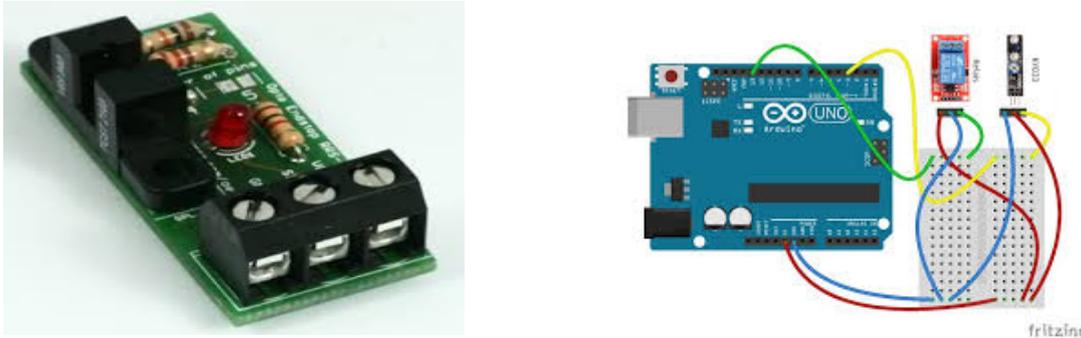


Figure II.10 : Fin de course pour ARDUINO.

- **Arduino :** est en réalité le cerveau de l'imprimante, elle est équipée d'un microprocesseur capable d'assurer la liaison avec un ordinateur, de mémoriser un programme et de l'exécuter.

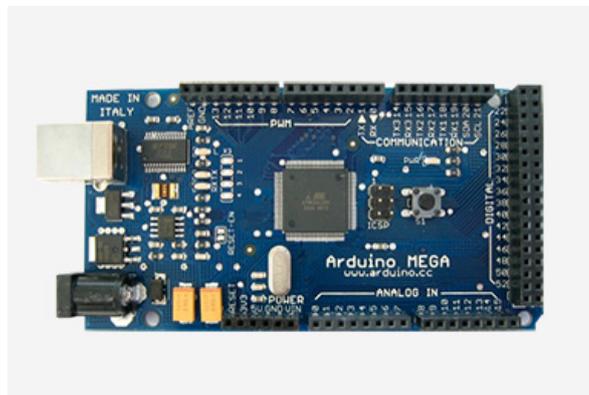


Figure II.11 : Carte Arduino

- **Le Ramps :** Ramps version 1.4 est la carte "shields" qui se connecte à la carte Arduino 256 r3. C'est la carte de puissance et d'interfaçage qui à l'aide des pilotes (driver A4988) enfichable commandera les moteurs pas à pas de l'imprimante 3D, sur les axes X, Y, Z, la rotation du fil d'extrusion, les résistances de chauffe de la tête d'impression, du lit chauffant, des capteurs de température, du ventilateur, et même optionnellement de l'affichage LCD et lecteur de carte SD.

A decorative graphic of a scroll with a light blue gradient and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered on the scroll.

Chapitre III :
La conception

Chapitre III : La conception

1. Introduction

Pour que notre imprimante puisse fonctionner, son cerveau (carte Arduino) doit être programmé. Le programme qui va être chargé dedans est appelé Firmware.

Dans ce qui suit, on procédera à l'analyse du firmware, et on déterminera les changements apportés pour avoir la nouvelle imprimante locale nommée BADI3A.

2. Définition d'un firmware

Le firmware est un micro-logiciel logé dans la carte Arduino de l'imprimante 3D. Il s'occupe d'interpréter les instructions de fabrication du modèle 3d (code G) en mouvements en tenant compte des propriétés spécifiques de la machine. La configuration du firmware est unique pour chaque modèle d'imprimante 3D, c'est le lien entre le logiciel et le matériel.

Il existe plusieurs firmwares, se ressemblant plus ou moins et permettant d'activer plus ou moins de fonctions. On citera Sprinter, Teacup, sjfw, Marlin, Sailfish, Grbl.

Le firmware adopté pour notre imprimante 3D est le firmware Marlin.

3. Définition de Marlin

Marlin est un firmware pour imprimante 3D conçu et développé par Erik van der Zalm.

Mélange entre Sprinter et Grbl, il est l'un des firmwares les plus utilisés. Il reçoit des contributions fréquentes, ce qui lui permet de continuer d'évoluer.

4. Rôle de marlin

Marlin firmware permet de :

- ✓ Lire le G-code et exécuter l'impression ;
- ✓ Gérer les interruptions ;
- ✓ Contrôler l'accélération et la décélération des moteurs pas à pas ;
- ✓ Détecter et Contrôler de la température de l'extrudeuse et du lit chauffant ;
- ✓ Lire et écrire sur la carte SD ;
- ✓ Prendre en charge l'affichage sur écran LCD ;

Chapitre III : La conception

- ✓ Calculer et planifier les trajectoires ;
- ✓ Contrôler l'allumage des thermistances chauffantes, et la lecture des valeurs des capteurs.



Figure III.1 : Le logo officiel de Marlin Firmware

5. Classification des fichiers du firmware

Le firmware est composé de plusieurs fichiers écrits en C++. Mélange de fichiers .ccp et de headers .h, on pourra les classer selon leurs utilités dans des bibliothèques.

Le classement des fichiers nous donne neuf (9) bibliothèques à savoir :

5.1 Configuration lib

Bibliothèque de fichiers contenant toutes la configuration de base de l'imprimante. On y trouve essentiellement :

❖ "**configuration.h**" qui contient :

- **Baudrate** : c'est la vitesse de communication entre l'ordinateur et la carte mère de l'imprimante.

```
21 // This determines the communication speed of the printer
22 #define BAUDRATE 250000
```

- **Sélection de la carte mère** : Parmi un choix très vaste de cartes shield, on devra indiquer la carte utilisée.

```
56 // 33 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Bed)
57 #ifndef MOTHERBOARD
58 #define MOTHERBOARD 33
59 #endif
```

- **Nombre d'extrudeuses** : ce paramètre définit le nombre d'extrudeuses montées sur l'imprimante qui peut aller jusqu'à 4.

```
63 // This defines the number of extruders
64 #define EXTRUDERS 1
```

Chapitre III : La conception

- **Type de capteurs de température** : parmi une liste de capteurs de température, on devra choisir celui qui est monté sur l'extrudeuse et sur le lit chauffant de notre imprimante.

```
136 // 0 is not used
137 // 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
138 #define TEMP_SENSOR_0 1
139 #define TEMP_SENSOR_1 0
140 #define TEMP_SENSOR_2 0
141 #define TEMP_SENSOR_BED 1
```

- **Température maximale** : pour des mesures de sécurité, des températures maximales à atteindre pour l'extrudeuse et le lit chauffant doivent être définies. Si cette température est atteinte, le système coupe le courant automatiquement.

```
163 #define HEATER_0_MAXTEMP 315
164 #define HEATER_1_MAXTEMP 315
165 #define HEATER_2_MAXTEMP 315
166 #define BED_MAXTEMP 120
```

- **Température minimale d'extrusion** : une température minimale pour l'extrudeuse est définie, en deçà de cette valeur, l'extrusion est bloquée.

```
248 #define EXTRUDE_MINTEMP 150
```

- **Paramètre des capteurs de fin de course** : permet de définir les capteurs installés sur chaque axe, ainsi que leur logique de fonctionnement.

```
271 #ifndef ENDSTOPPULLUPS
272     #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
273     #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
274     #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
275     #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
276     #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
277     #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
278 #endif
279
280 |
281 const bool X_ENDSTOPS_INVERTING = true;
282 const bool Y_ENDSTOPS_INVERTING = true;
283 const bool Z_ENDSTOPS_INVERTING = true;
```

- **Sens de rotation des moteurs** : on peut inverser le sens de rotation des moteurs pas à pas si on voit que ceux-ci tournent au mauvais sens et font déplacer les axes dans la mauvaise direction.

Chapitre III : La conception

```
304 #define INVERT_X_DIR false //
305 #define INVERT_Y_DIR false
306 #define INVERT_Z_DIR true
307 #define INVERT_E0_DIR false
308 #define INVERT_E1_DIR false
309 #define INVERT_E2_DIR false
```

- **Limites des axes :** ces paramètres définissent la longueur maximale que les axes peuvent parcourir depuis la position 0, ce qui délimite par conséquent le volume qui pourra être imprimé.

```
321 // Travel limits after homing
322 //Changes Rapduch v.23
323 //#define X_MAX_POS 242.5
324 #define X_MAX_POS 252
325 #define X_MIN_POS 0
326 //#define Y_MAX_POS 210
327 #define Y_MAX_POS 200
328 #define Y_MIN_POS 0
329 #define Z_MAX_POS 200
330 #define Z_MIN_POS 0
```

- **Paramètres de mouvements :** on définit le nombre de mouvements que l'imprimante peut contrôler c.à.d. le nombre d'axes en plus du nombre d'extrudeuses.

```
348 #define NUM_AXIS 4 //
```

On définit également le nombre de pas que le moteur doit faire afin de faire bouger un axe de 1 mm. Pour l'extrudeuse, c'est le nombre de pas à faire pour faire sortir 1 mm de filament de la tête d'extrusion.

```
353 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80.19,80.43,2560,458.3}
```

- **LCD et SD activés :**

On peut choisir d'activer ou de désactiver l'écran LCD et la carte SD.

```
418 //LCD and SD support
419 #define ULTRA_LCD //general lcd support, also 16x2
420
421 #define SDSUPPORT // Enable SD Card Support in Hardware Console
```

- ❖ "**configuration_adv.h**" contient les réglages des propriétés thermiques de l'extrudeuse et celles des ventilateurs pour extrudeuse et pour moteurs. On y trouve également les positions initiales des axes.

Chapitre III : La conception

- ❖ "**ConfigurationStore.cpp**" on y trouve les fonctions qui permettent la restauration dans l'EEPROM des valeurs de la configuration à leur état précédent.
- ❖ "**fastio.h**" on utilise les instructions préprocesseur du C++ pour traduire une opération d'E/S en une opération rapide sur le port/registre associé. Si on veut mettre une broche (pin) à 1, on doit lire tout le registre du port, modifier le bit concerné et ensuite écrire le registre. Mais avec les instructions du préprocesseur on gagne quelques cycles processeur en éliminant les opérations READ et AND.
- ❖ "**pins.h**" on trouve dedans les précisions sur la carte shield. Pour chaque modèle de carte, on trouve la broche (pin) associée à chaque composant de l'imprimante.

5.2 LCD lib : Regroupe "dogm_font_data_marlin.h",
"dogm_lcd_implementation.h", "DOGMBitmaps.h", "LiquidCrystalRus.h",
"LiquidCrystalRus.cpp", "ultralcd.h", "ultralcd.cpp".

Marlin supporte par défaut le module LCD. Il suffit de l'activer dans le fichier Configuration.h. Il permet l'affichage dans 21 langues différentes. Pour choisir la langue, il faut aller au fichier "Language.h".

```
20  #ifndef LANGUAGE_CHOICE
21  #define LANGUAGE_CHOICE 1
22  #endif
```

5.3 SD lib: contient "cardreader.cpp", "cardreader.h", "Sd2Card.cpp", "Sd2Card.h",
"Sd2PinMap.h", "SdBaseFile.cpp", "SdBaseFile.h", "SdFatConfig.h",
"SdFatStructs.h", "SdFatUtil.cpp", "SdFatUtil.h", "SdFile.cpp", "SdFile.h",
"SdInfo.h", "SdVolume.cpp" et "SdVolume.h".

En utilisant les fichiers de cette bibliothèque, Marlin a la possibilité d'opérer sur la carte SD. Il peut d'ailleurs initialiser la carte SD, parcourir les fichiers contenu dans la carte, sélectionner le fichier dans la carte SD pour être imprimé, démarrer et mettre en pause le processus d'impression, supprimer un fichier et éjecter la carte SD pour être retirée en toute sécurité.

Chapitre III : La conception

- ❖ "**Cardreader.cpp**" parcourt les fichiers contenus dans la carte SD avec une profondeur maximale de 10 dossiers, et cela pour chercher les fichiers avec l'extension .g (G-Code).

5.4 Serial lib: contient "MarlinSerial.cpp" et "MarlinSerial.h".

Marlin utilise les fonctions contenues dans les fichiers de cette bibliothèque afin d'établir une liaison série avec l'ordinateur. Avec une vitesse de communication pouvant atteindre les 250 000 bauds/sec, l'utilisateur peut envoyer du G-Code directement à l'imprimante en utilisant un logiciel pilote d'impression tel que RepetierHost ou PrintRun ou encore ReplicatorG.

- ❖ "**MarlinSerial.h**" Contient les méthodes nécessaires pour la liaison série avec le PC.

```
Void begin(long baud)           //initialiser la liaison série  
Void end()                     //mettre fin à la liaison série  
Int peek(void)                 // vérifier si le buffer est vide  
Int read(void)                 //récupérer l'élément du buffer  
Void flush()                  //pointer la lecture vers le prochain élément du buffer
```

5.5 Temperature lib: contient "temperature.h", "temperature.cpp" et "thermistortables.h".

Cette bibliothèque contient toutes les fonctions qui gèrent la température. Elle s'occupe de mettre à chaud le lit chauffant et l'extrudeuse, de contrôler leur température en allumant les thermistors pour augmenter leur température ou en démarrant les ventilateurs pour la faire baisser si elle vient d'atteindre son niveau maximum autorisé. Elle génère également les messages d'erreur en cas de surchauffe et envoie un signal pour faire arrêter l'imprimante.

- ❖ "**temperature.cpp**" Contrôle la température de l'extrudeuse et celle du lit chauffant.

```
Float degBed()                 // retourne la température actuelle du lit chauffant  
Float degHotend(uint8_t extruder) // température de l'extrudeuse  
Float degTargetBed()          //température à atteindre pour le lit chauffant  
Float degTargetHotend(uint8_t extruder) //température à atteindre pour l'extrudeuse
```

Chapitre III : La conception

5.6 Main lib: contient "marlin.h", "marlin_main.cpp"

Comme son nom l'indique, "Main" est le premier fichier chargé qui lancera toutes les fonctions nécessaires au fonctionnement de l'imprimante. Cette bibliothèque permet de :

- Interpréter Le G-Code ;
- Initialiser les autres bibliothèques du firmware ;
- Détecter la survenue d'erreurs et la gestion des interruptions ;
- Générer les messages d'erreur.

Dans le fichiers "Marlin_main.cpp", on trouve deux fonctions principales : Setup() et loop().

```
390 void setup()
391 {
431   Config_RetrieveSettings();
432
433   tp_init();
434   plan_init();
435   watchdog_init();
436   st_init();
437   setup_photpin();
438   servo_init();
439
440   lcd_init();
```

Chargement des valeurs systeme a partir de l'EEPROM

Initialiser les parametres de temperature

Initialiser le planificateur de mouvements

Initialiser le chien de garde

Initialiser les moteurs pas à pas

Initialiser le servo

Initialiser l'ecran LCD

```
448 void loop()
449 {
450   1 if(buflen < (BUFSIZE-1))
451     get_command();
746 2 void process_commands()
747 {
748   unsigned long codenum; //t
749   char *starpos = NULL;
750
751   if(code_seen('G'))
591 3 bufindw = (bufindw + 1)%BUFSIZE;
592   buflen += 1;
489   manage_heater();
490   manage_inactivity();
491   checkHitEndstops();
492   lcd_update();
493 }
```

1. Verifier si le buffer *cmdbuffer* est vide alors recuperer une ligne de G-code et le mettre dedans en appellant *get_command()*

2. fonction sans fin qui lit le buffer *cmdbuffer* et execute la commande contenue dedans.

3. Recuperer la prochaine instruction et la mettre dans le buffer

4. Chaque n millisecondes, le système vérifie ces paramètres afin d'actualiser ses informations.

Chapitre III : La conception

5.7 Plan motion lib: contient "motion_control.cpp", "motion_control.h", "planner.cpp" et "planner.h".

- ❖ "**Planner.h/cpp**" constituent la partie qui prend en charge la commande et la gestion des mouvements de l'imprimante. Les fonctions contenues dans cette bibliothèque permettent de récupérer dans la mémoire tampon la liste d'instruction et prennent soins de transformer les valeurs de destination dans une structure de données qui va être utilisée pour faire tourner les moteurs.
- ❖ "**Motion_control.h/cpp**" présentent une interface de haut niveau pour la délivrance de commandes de mouvements en utilisant un dispositif d'asservissement. C'est-à-dire trouver l'angle de rotation que doit réaliser chaque moteur à chaque instant afin de réaliser les mouvements désirés.

5.8 Stepper lib: contient "stepper.h", "stepper.cpp" et "speed_lookuptable.h".

C'est la bibliothèque qui gère les moteurs pas à pas, en les faisant tourner pour réaliser les mouvements désirés. Pour obtenir ces mouvements désirés, la bibliothèque utilise la structure de donnée créée auparavant par la bibliothèque "Plan motion" pour définir le nombre de pas que chaque moteur doit faire afin d'atteindre l'angle de rotation désiré, et fait en sorte d'envoyer les ordres nécessaires aux moteurs pas à pas en passant par l'asservissement (servo).

5.9 Servo lib: contient "servo.h" et "servo.cpp".

Cette librairie permet à une carte Arduino de contrôler les servomoteurs de modelage. C'est la partie intelligente des moteurs. En lui donnant l'angle de rotation que le moteur doit réaliser, il fournit la tension électrique d'alimentation nécessaire au moteur afin qu'il effectue cette rotation et cela de manière précise.

attach(int pin) ; // Relier un Servo moteur à une broche (pin) d' E/S.

bool attached() ; // vérifier si servo est attachée à une broche (pin).

Void detach() ; // détacher un servo d'une broche.

Void write(int value) ; // affecte au servo la valeur de l'angle que le moteur doit faire

Chapitre III : La conception

Int read(); // le moteur retourne au servo l'angle de rotation qu'il vient de faire en utilisant un capteur de position angulaire.

Les figures suivantes montrent la relation globale entre ces bibliothèques, ainsi que la relation Firmware/Hardware de l'imprimante.

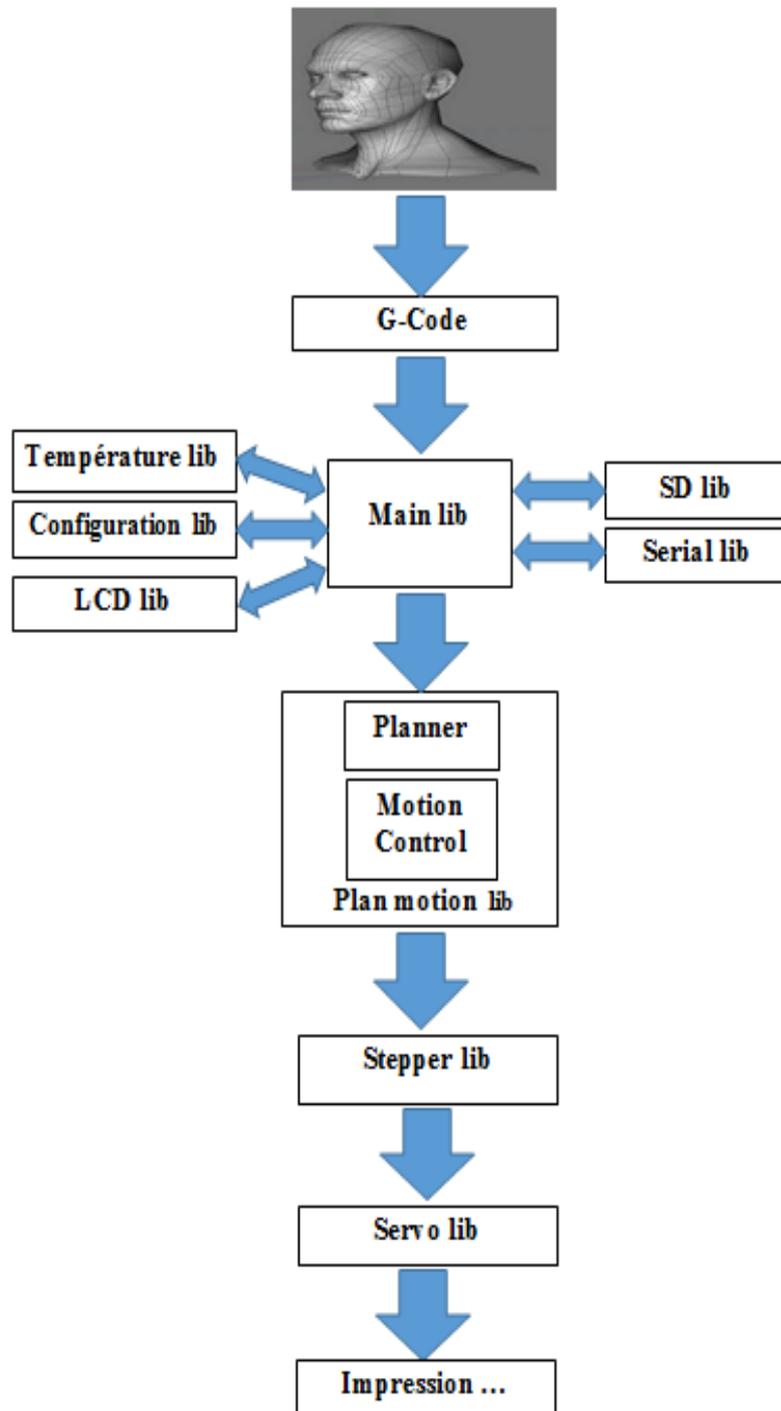


Figure III.2 : Différentes librairies utilisées durant le processus d'impression

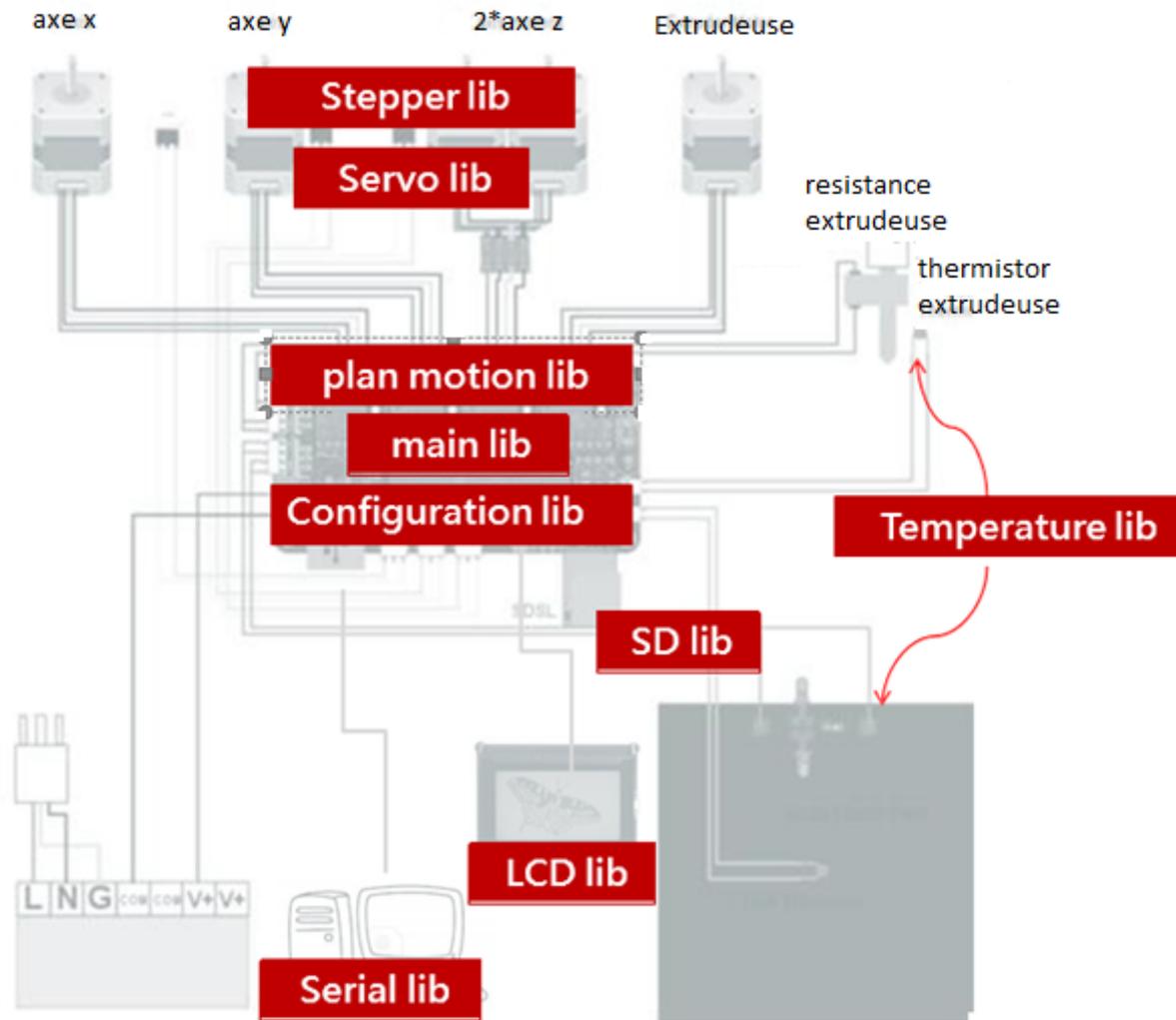


Figure III.3 : les différentes pièces et les bibliothèques correspondantes

6. L'adaptation du programme pour BADI3A

Afin d'obtenir un produit local, le laboratoire IPSIL de l'ENPO a pu réaliser une nouvelle imprimante nommée BADI3A. Cette dernière a une architecture modifiée par rapport à la BCN3D+.

Pour la faire fonctionner, notre travail consiste à modifier le code source, avant cela on donnera une petite description de l'imprimante locale, ensuite on expliquera les modifications qui doivent être apportées au code.

Chapitre III : La conception

6.1 L'architecture de l'imprimante

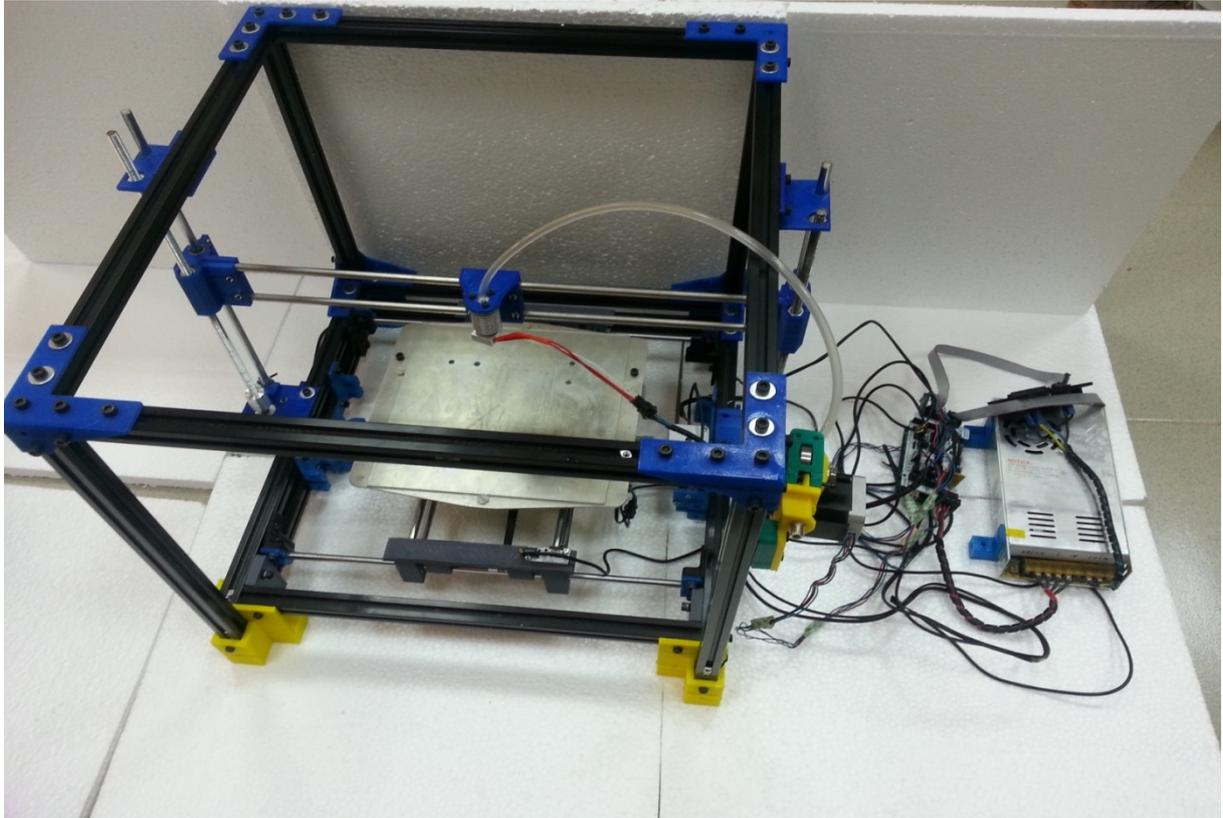


Figure III.4 : l'imprimante locale(BADI3A)

Notre imprimante contient les mêmes pièces que la BCN3D+, la différence se trouve dans la structure (le châssis) et le mouvement des axes.

Dans ce qui suit, on présentera quelques photos de cette imprimante.

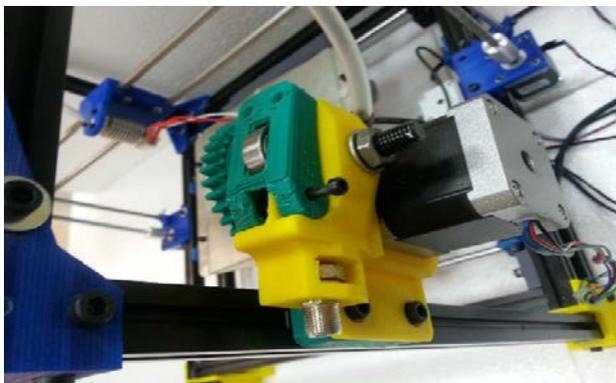


Figure III.5 : L'extrudeuse

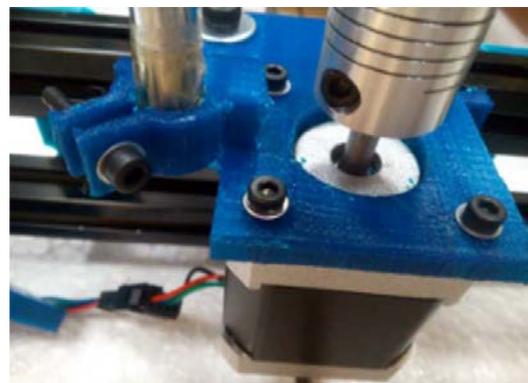


Figure III.6 : Les moteurs pas à pas

Chapitre III : La conception

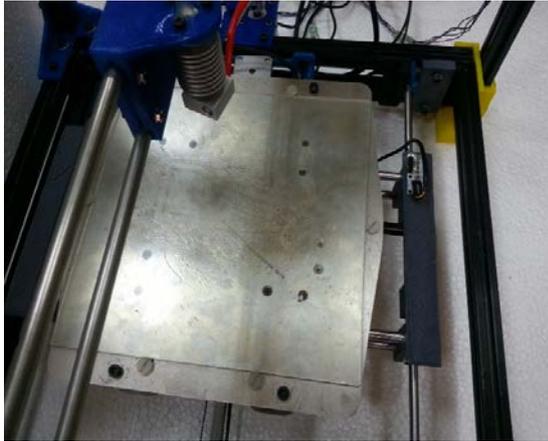


Figure III.7 : La buse

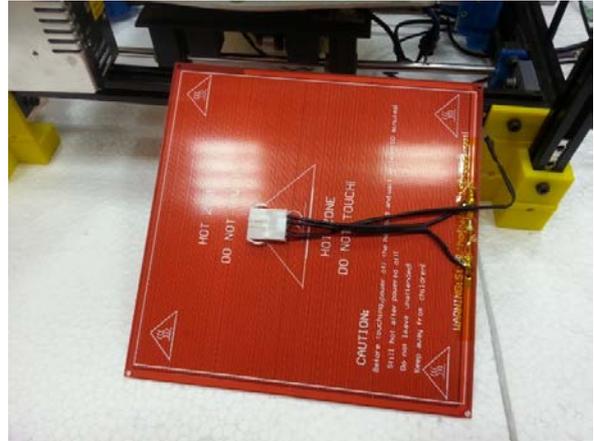


Figure III.8 : La plaque chauffante

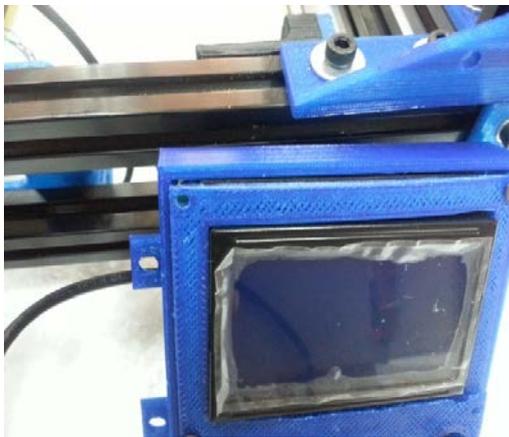


Figure III.9 : L'écran LCD

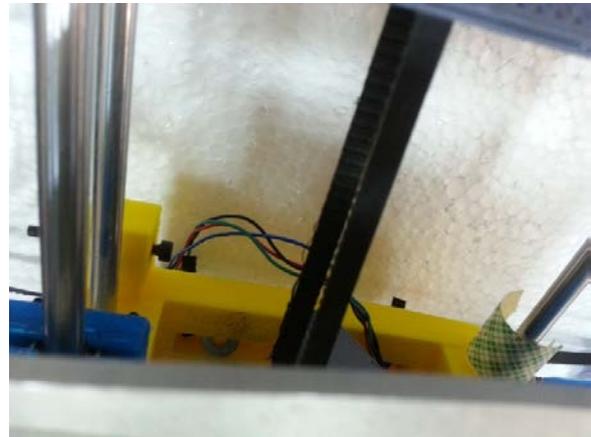


Figure III.10 : Les courroies

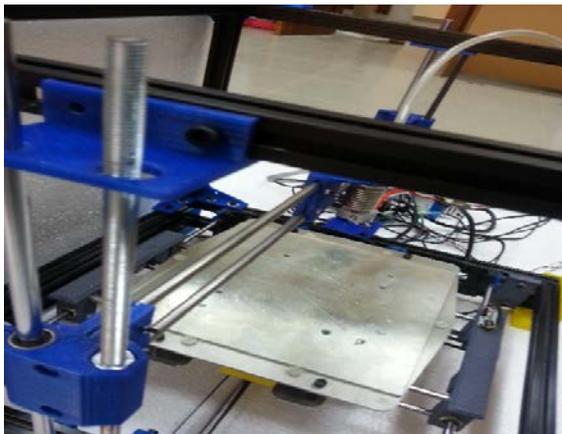


Figure III.11 : Les tiges filetées

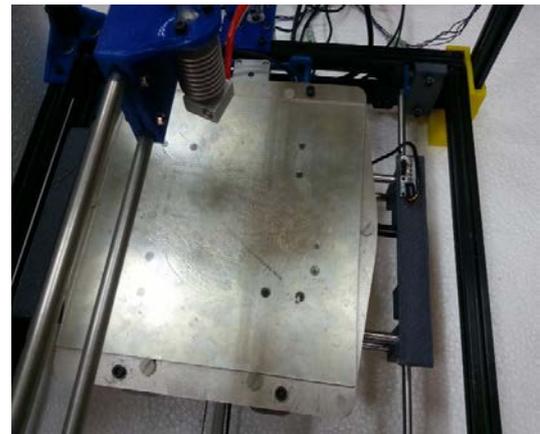


Figure III.12 : Plateau d'impression

Chapitre III : La conception



Figure III.13 : Boîtier d'alimentation



Figure III.14 : Carte Arduino

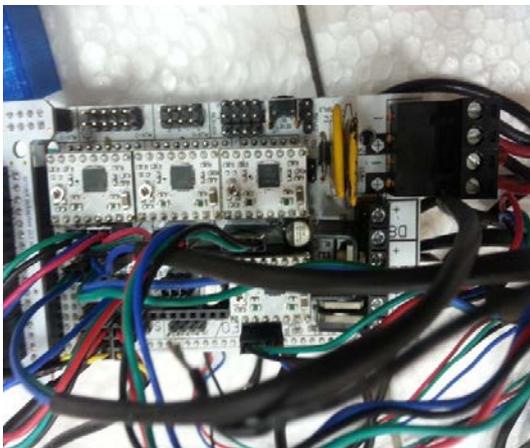


Figure III.15 : Ramps

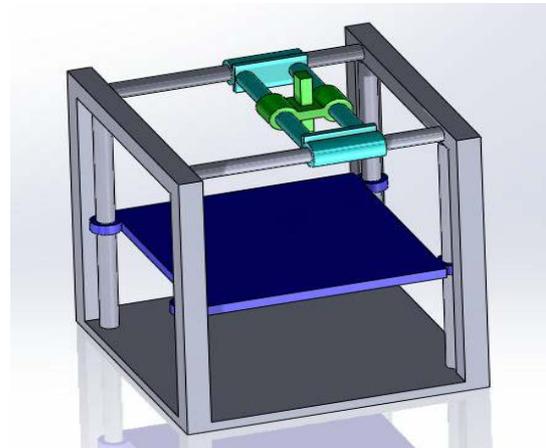


Figure III.16 : le châssis

Le châssis : l'architecture du châssis est simple mais surtout très rigide. La conception cubique est la plus adaptée à notre situation, où les pièces compliquées sont à bannir. L'avantage du profilé est son assemblage par de simples équerres et lardons.

6.2 Description du mécanisme de l'imprimante Locale

Sur l'axe X: mouvement du plateau avec 2 pivots glissants réalisés grâce à 2 tiges lisses fixes, orientées dans un plan horizontal. La transmission est assurée par un système courroie de transmission/roue dentée.

Sur l'axe Y: mouvement du plateau avec 4 pivots glissants réalisés grâce à 2 tiges lisses fixés orientées dans un plan horizontal. La transmission est assurée par un système courroie de transmission/roue dentée.

Chapitre III : La conception

Sur l'axe Z: mouvement de la buse avec 4 pivots glissants réalisés grâce à 2 tiges filetées et 2 tiges lisses. La transmission est assurée par le système fileté.

6.3 Modifications apportées au code

La Configuration du Marlin pour notre imprimante locale, implique la modification de la configuration. Pour cela il faut rechercher les fichiers .h dans un certain nombre de partie du programme. Selon le matériel utilisé, il faudra modifier quelques parties seulement.

➤ **Fonctionnement des axes**

Pour les axes X et Y, il faut mesurer la taille de la plaque de construction. On doit vérifier le mouvement de tous les axes et qui se déplacent à travers toute leur longueur disponible.

L'axe Z est un peu plus difficile à déterminer et peut prendre une certaine mesure par prudence. Il faut que la valeur de l'axe Z soit très faible au début pour ensuite l'augmenter peu à peu pendant les tests et cela pour des raisons de sécurité.

➤ **Capteurs de fin de course**

Ce réglage permet de définir la position d'origine d'un axe. Dans le cas où l'on utilise une carte RAMPS typique avec capteurs de fins de courses mécaniques qui sont ouvertes jusqu'au déclenchement, on pourra avoir besoin d'activer les résistances de tirage et définir le comportement des capteurs de fins de course à l'opposé de la valeur par défaut. C'est-à-dire la valeur par défaut est normalement fermée, ce qui signifie fermée jusqu'au déclenchement.

Si on utilise une butée mécanique qui est normalement ouverte, ce qui signifie ouvert jusqu'au déclenchement, on doit inverser la logique.

Cette procédure concerne les axes et leurs mouvements, elle a été présentée de manière simple, mais il faut noter qu'elle fait appel à un travail collaboratif entre mécaniciens, électroniciens et informaticiens et automaticiens.

7. Conclusion

Dans ce chapitre on a pu donner un aperçu du firmware, son fonctionnement, ainsi que les relations entre les différentes bibliothèques et les pièces mécaniques. Comme on a présenté la nouvelle imprimante, ses composants et les modifications apportées sur le code pour la faire fonctionner.

Dans le chapitre suivant, on présentera quelques parties du code modifiées ainsi que les logiciels utilisés dans la procédure d'impression.

A decorative graphic of a scroll with a light blue gradient and rounded corners. It features three grey circular elements at the corners, resembling the ends of rolled-up paper. The text is centered on the scroll.

Chapitre IV :
Réalisation

1. Introduction

Après avoir expliqué le code de la BCN3D+ et les changements apportés à la nouvelle imprimante dans le chapitre précédent, nous allons présenter dans ce chapitre les outils qui ont servis à la réalisation de notre travail et on terminera par la présentation des parties modifiées.

2. Langages et outils utilisés

2.1 Langage C++

C++ est un langage de programmation compilé permettant la programmation sous de multiples paradigmes comme la programmation procédurale, la programmation orientée objet et la programmation générique. Développé par Bjarne Stroustrup au cours des années 1980, il est l'un des langages de programmation les plus utilisés actuellement. Il est à la fois facile à utiliser et très efficace. Les caractéristiques du C++ en font un langage idéal pour certains types de projets. Il est incontournable dans la réalisation des programmes orientés systèmes ou temps réels.

2.2 G-Code

Le code-G est un langage de commande des machines-outils. Il donne des ordres de déplacements tels que : aller au point X, Y, Z, tracer un cercle de rayon R, etc. Les commandes sont écrites sous la formes Gn, param1, 2, etc. ou Mn, param, d'où le nom de Code-G

Exemple

G0 Z25 -- Déplace rapidement hors matière l'axe Z de 25 mm

G0 X50 Y60 -- Déplace rapidement l'axe X hors matière de 50 mm et l'axe Y de 60mm

G1 Z-30 -- Descend l'outil dans la matière de 30 mm à vitesse normale

G1 X95 -- Usine en X dans la matière sur 95 mm

Ce langage est défini par la norme RS-274D

2.3 SolidWorks

Solidworks est un logiciel de conception assistée par ordinateur, appartenant à la société Dassault Systems. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de

Chapitre IV : Réalisation

fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ainsi toute modification sur l'un de ces trois fichiers se répercute sur les deux autres.

Le logiciel SolidWorks permet de :

- concevoir des objets en 3D de manière très précise ;
- développer des produits ;
- vérifier la conception du fichier ;
- détenir une bibliothèque de fichiers 3D ;
- mettre en place des mises en plan 2D ;
- créer des images et animations des objets 3D ;
- estimer le coût de la fabrication des objets 3D ;
- exporter le modèle directement au format STL.

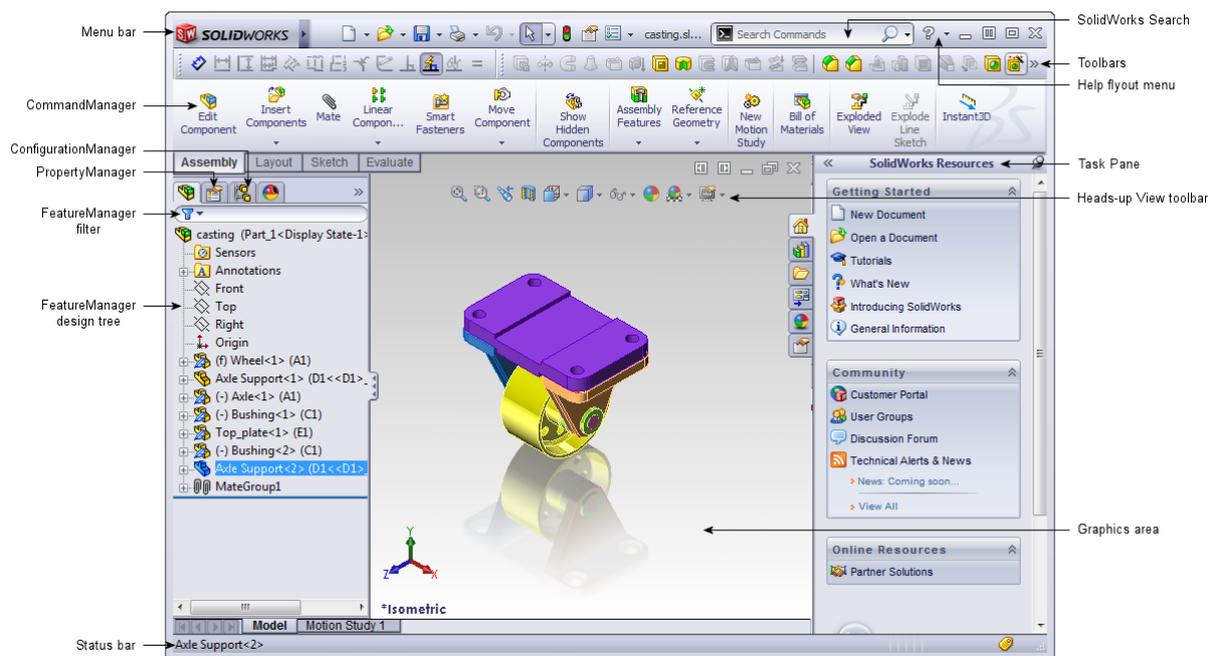


Figure IV.1 : Interface du logiciel SolidWorks

Chapitre IV : Réalisation

3.4 Slic3r

Slic3r est un outil qui traduit des modèles 3D en instructions interprétées par une imprimante 3D. Il découpe le modèle en couches horizontales et génère les chemins appropriés pour les combler. Lors de ce procédé appelé slicing ou parfois skeining, un ensemble d'instructions spécifiques est généré indiquant à l'imprimante où et comment bouger la tête d'impression, et si oui ou non elle doit extruder le plastique pendant le trajet. Cet ensemble d'instructions est un langage simple de programmation appelé G-Code. La génération du G-Code se fait en cliquant sur 'Export G-code', et cela après avoir importé le modèle 3D créé avec SolidWorks.

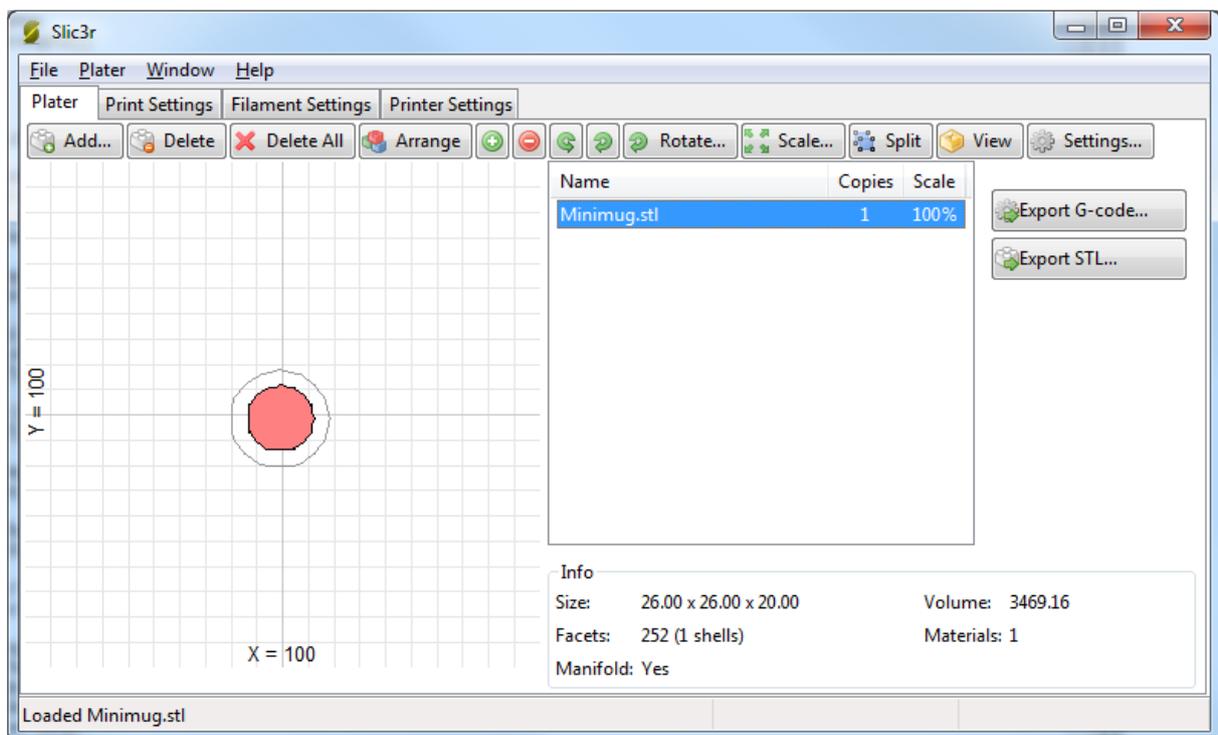


Figure IV.2 : interface du logiciel Slic3r.

3.5 Codeblocks

C'est un environnement de développement en C++ open source et multiplateformes entièrement configurable et extensible à l'aide de nombreux plugins. A la fois complet et simple d'utilisation. Il offre de nombreuses fonctionnalités qui s'avèrent très utiles tel que la coloration syntaxique, le formatage et l'indentation automatique du code, la vue des symboles et le navigateur de classes et de méthodes ...etc.

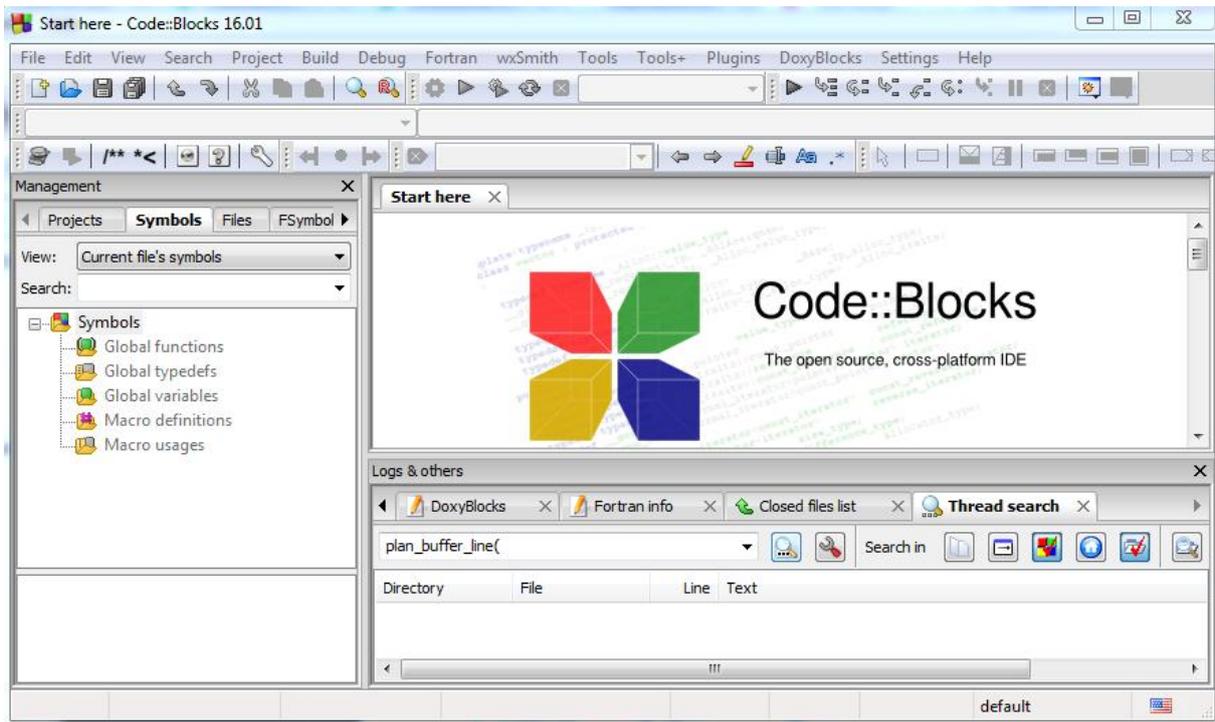


Figure IV.3 : interface du logiciel CodeBlocks

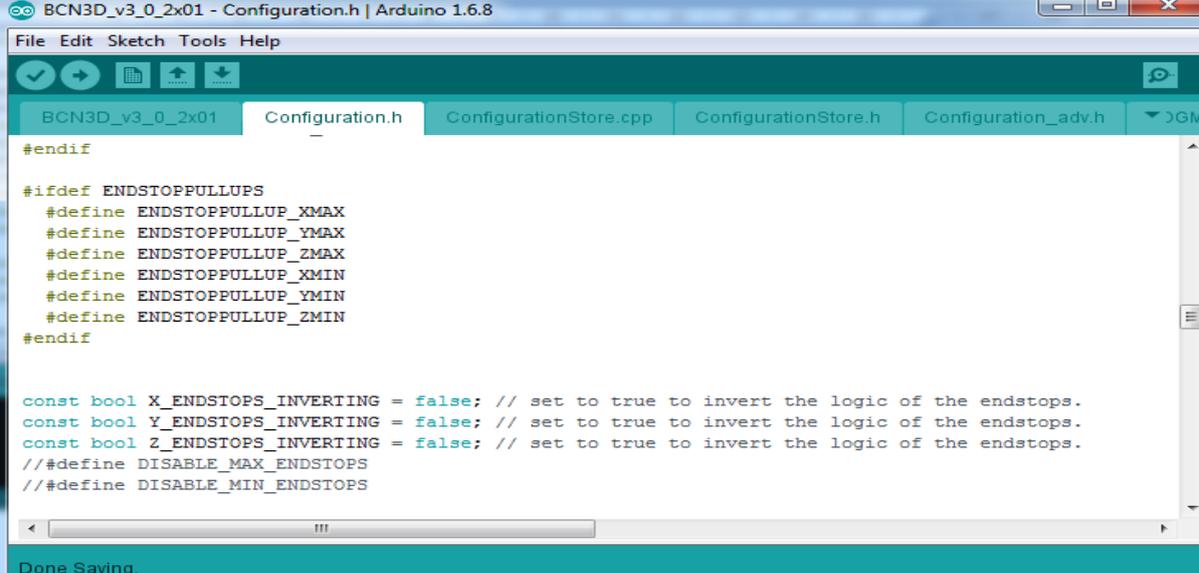
3.6 ArduinoIDE

Arduino est un espace de développement intégré (EDI) qui permet d'écrire, de compiler et d'envoyer du code sur le circuit imprimé du même nom. Ce qui permet de le programmer dans le but d'effectuer des tâches variées.

Grâce à Arduino, on est en mesure de communiquer et transférer des données facilement au circuit imprimé et cela après avoir défini le modèle de la carte utilisée (Arduino Mega 2560 dans notre cas) ainsi que le port série de connexion.

Pour transférer le firmware vers la carte, il faudra rédiger ou importer ses fichiers et par la suite les compiler. Si aucune erreur n'est détectée, il pourra être chargé dans la carte arduino.

Chapitre IV : Réalisation

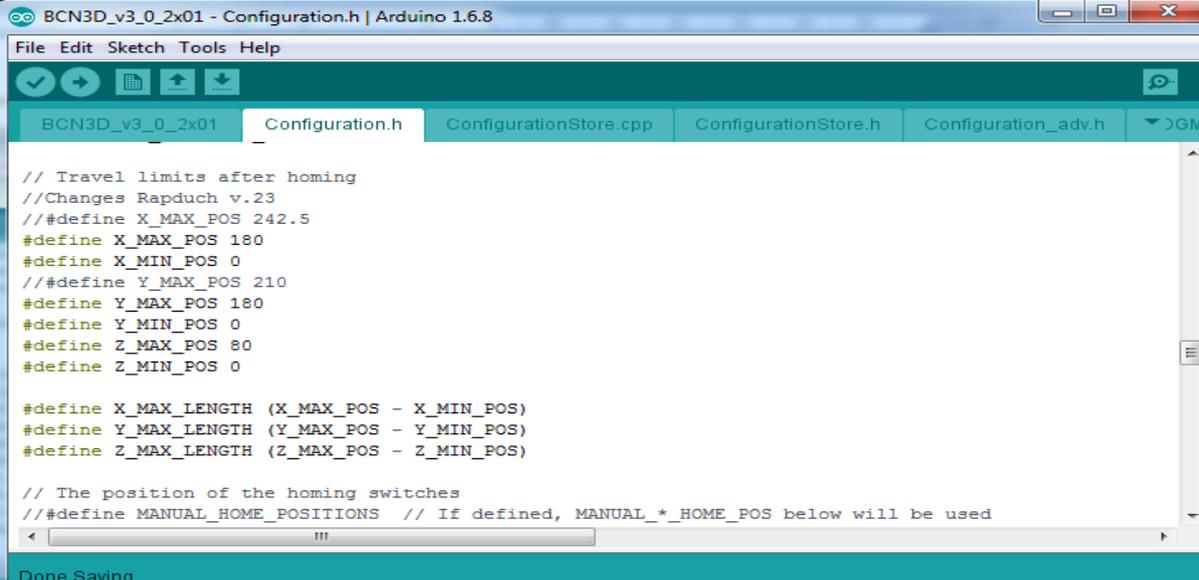


```
BCN3D_v3_0_2x01 - Configuration.h | Arduino 1.6.8
File Edit Sketch Tools Help
BCN3D_v3_0_2x01 Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h
#endif
#ifdef ENDSTOPPULLUPS
#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

const bool X_ENDSTOPS_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstops.
const bool Y_ENDSTOPS_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstops.
const bool Z_ENDSTOPS_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstops.
//#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
//#define DISABLE_MIN_ENDSTOPS

Done Saving.
```

Figure IV.5 : Les valeurs des capteurs de fin de course



```
BCN3D_v3_0_2x01 - Configuration.h | Arduino 1.6.8
File Edit Sketch Tools Help
BCN3D_v3_0_2x01 Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h
// Travel limits after homing
//Changes Rapduch v.23
//#define X_MAX_POS 242.5
#define X_MAX_POS 180
#define X_MIN_POS 0
//#define Y_MAX_POS 210
#define Y_MAX_POS 180
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 80
#define Z_MIN_POS 0

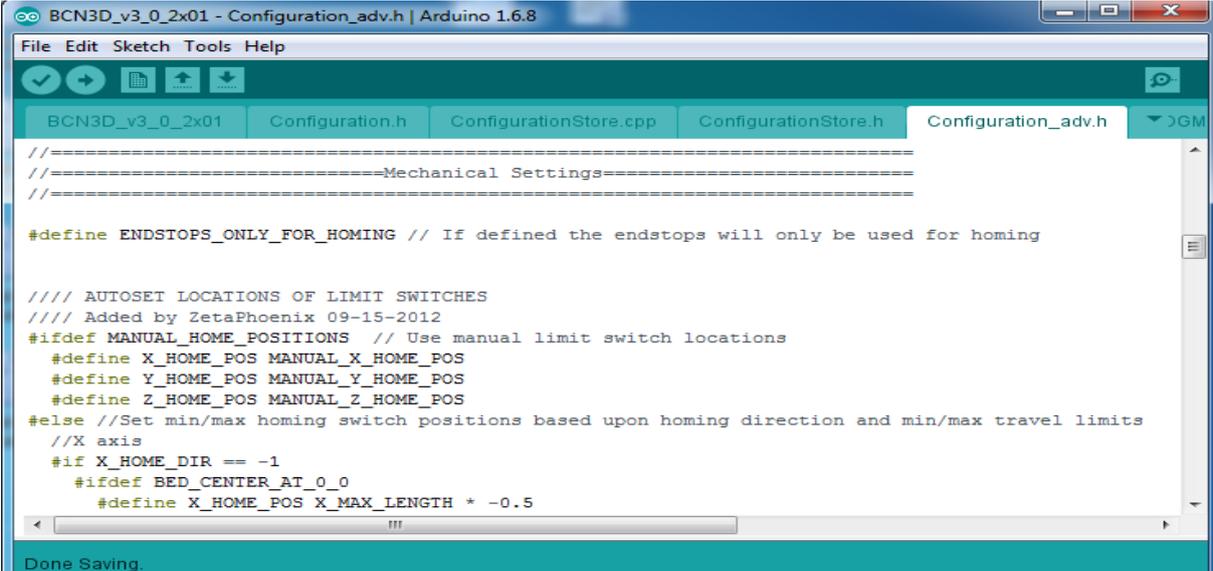
#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

// The position of the homing switches
//#define MANUAL_HOME_POSITIONS // If defined, MANUAL*_HOME_POS below will be used

Done Saving.
```

Figure IV.6 : Les Valeurs de déplacements des axes

Chapitre IV : Réalisation



```
BCN3D_v3_0_2x01 - Configuration_adv.h | Arduino 1.6.8
File Edit Sketch Tools Help
BCN3D_v3_0_2x01 Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h
//=====
//=====--Mechanical Settings--=====
//=====
#define ENDSTOPS_ONLY_FOR_HOMING // If defined the endstops will only be used for homing

//// AUTOSET LOCATIONS OF LIMIT SWITCHES
//// Added by ZetaPhoenix 09-15-2012
#ifdef MANUAL_HOME_POSITIONS // Use manual limit switch locations
#define X_HOME_POS MANUAL_X_HOME_POS
#define Y_HOME_POS MANUAL_Y_HOME_POS
#define Z_HOME_POS MANUAL_Z_HOME_POS
#else //Set min/max homing switch positions based upon homing direction and min/max travel limits
//X axis
if X_HOME_DIR == -1
#ifdef BED_CENTER_AT_0_0
#define X_HOME_POS X_MAX_LENGTH * -0.5
#endif
#endif
```

Figure IV.7 : déplacement manuel et automatique des axes à la position initiale

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le langage de programmation ainsi que les différents logiciels utilisés pour modéliser, et transformer ce modèle en instructions interprétées par l'imprimante. On a également donné des captures de quelques parties du code touchées par les modifications.



Conclusion
générale

Conclusion générale

L'objectif principal de notre projet était de faire fonctionner une imprimante 3D locale réalisée dans le laboratoire de recherche IPSIL d'Oran.

Considérée comme la troisième révolution du XXI^{ème} siècle, l'impression 3D est capable de modifier profondément notre style de vie, cette technologie fait peu à peu sa place dans nos foyers et tend à s'intégrer dans notre société bien qu'elle soit limitée actuellement. Nous avons décrit l'imprimante BCN3D+, ses caractéristiques ainsi que tous les composants qui interviennent dans son fonctionnement. De plus, nous avons détaillé et classifié le code source de cette imprimante et les modifications apportées, afin de réaliser une imprimante locale nommée BADI3A.

Nous avons donné un aperçu du firmware, son fonctionnement, ainsi que les relations entre les différentes bibliothèques et les pièces mécaniques puis présenté la nouvelle imprimante, ses composants et les modifications apportées sur le code pour la faire fonctionner.

Les parties modifiées du code ont été exposées après avoir présenté les outils logiciels utilisés dans la procédure d'impression.

La réalisation de ce travail nous a donné l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances sur les différentes nouvelles technologies, notamment dans le domaine de l'électronique et de l'automatique ainsi que d'approfondir nos connaissances acquises comme le langage de programmation orienté objet C++. Cela nous a permis aussi de nous familiariser avec un certain nombre d'outils de développement comme SolidWorks, Slic3r et Arduino IDE.

Grace à ce travail, nous avons pu avoir un aperçu du monde professionnel, en interagissant avec les membres de l'équipe de développement.

Enfin nous prévoyons d'améliorer le firmware afin d'obtenir des résultats d'impression bien meilleurs en plus d'intégrer quelques nouvelles fonctionnalités à l'imprimante BADI3A comme une fonction qui permet de calculer la longueur du filament nécessaire à l'impression de l'objet.

A decorative graphic of a scroll with a light blue gradient background and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered on the scroll.

*Liste des
Abréviations*

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

PLA : PolyacticAcid (acide polylactique)

SLA : stereolithograph apparatus (stéréolithographie)

EBM : Electron Beam Melting (fusion de faisceau d'électrons).

SLS : Selective Laser Sintering (Frittage sélectif par laser).

STL : Standard Tessellation Language.

FFF : Fused Filament Fabrication.

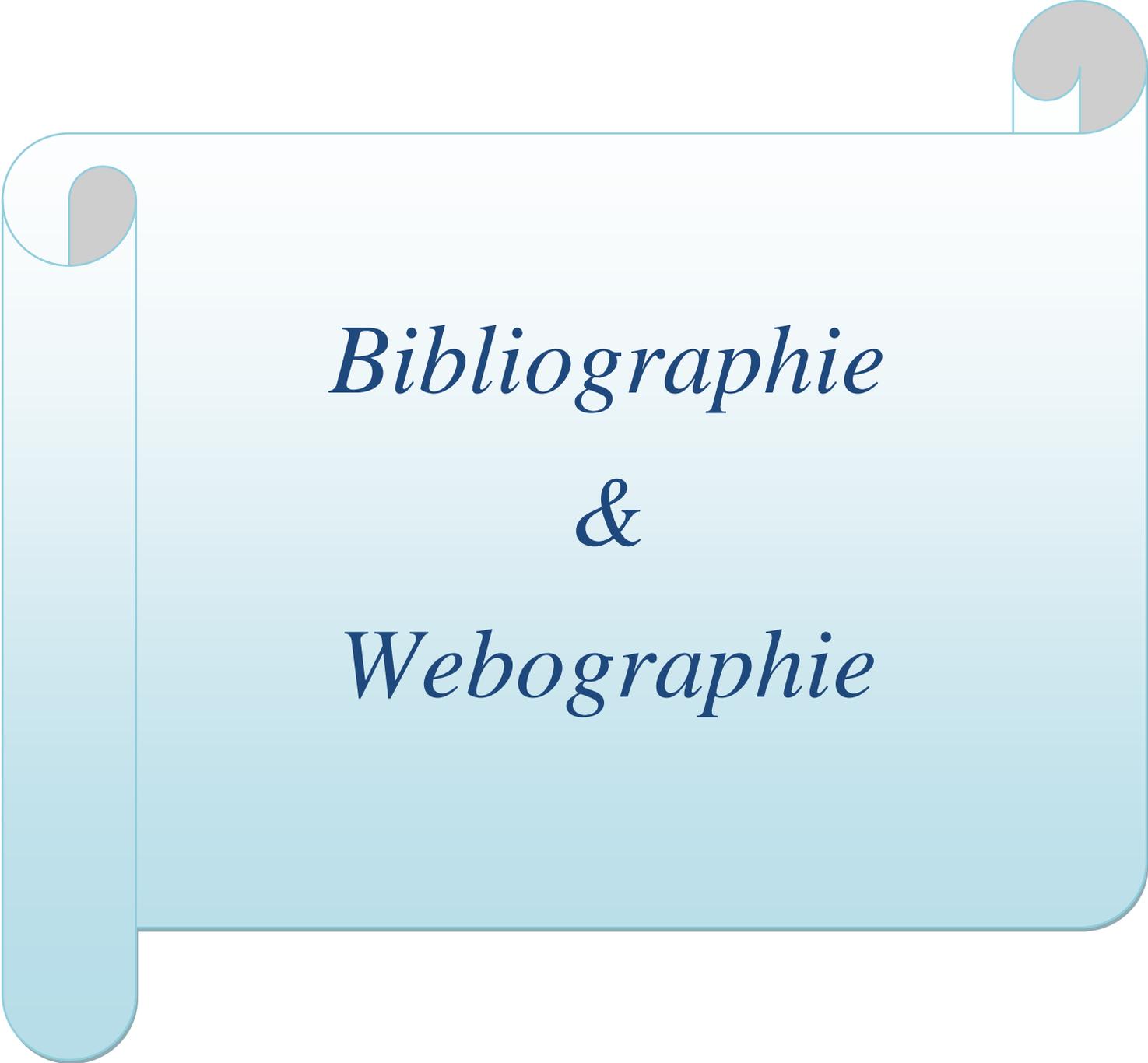
SLS: Selective Laser Sintering.

LCD : Liquid Crystal Display (affichage à cristaux liquides).

SD : Secure Digital.

RepRap : contraction de l'anglais Replication Rapid prototyper.

RAMPS : RepRap Arduino Mega Pololu Shield.



Bibliographie
&
Webographie

Bibliographie

1. SERGE CORBEL, Historique de l'impression 3D, université de LARRAINE.
2. SAID BOUGOUR, L'imprimante 3D comme moyen d'évolution des processus de production, université de LITTORAL COTE D'OPALE, Lab RII, janvier 2015.
3. Fonctionnement de l'impression 3D, Z CORPORATION, 2009.
4. Marc Burbridge, Introduction à l'impression 3D, 15 Novembre 2013.
5. Pierrick Bouffaron, Impression 3D : les prémisses d'une nouvelle (r) évolution industrielle, Consulat Général de France à SAN FRANCISCO, Septembre 2014.
6. X-HINAULT, ma doc rep/ imprimante 3D, Février 2012.
7. Catherine Jewelle, l'impression 3D et le futur des objets OMPI-MAGAZINE, Avril 2013.
8. Philippe Heinrich, l'impression 3D/ ou fabrication additive.
9. Anna Kaziunas France, pratique de l'impression 3D, EYROLLES, 2014.
10. MATHILDE BERCHON, L'impression 3D, 2^{ème} édition, EYROLLES, 2014.
11. Christophe Courché, Conversion d'une fraiseusecnc en imprimante 3d, 2013.
12. USUER MANUAL, FUNDACIO CIM, BARCELONA TECH

Webographie

1. <http://www.monunivers3d.com>.
2. <http://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d>
3. <http://fr.3dilla.com/>
4. <http://www.fundaciocim.org/>
5. <http://www.solidutopia.com/fr/configurer-le-firmware-marlin/>
6. http://www.reprap.org/wiki/List_of_Firmware
7. <http://www.forums.reprap.org/read.php?1,351500>
8. <http://www.solidutopia.com/fr/configurer-le-firmware-marlin/>

9. <https://www.github.com/MarlinFirmware/Marlin/wiki/Marlin-Configuration>
10. <http://www.airtripper.com/1145/marlin-firmware-v1-basic-configuration-set-up-guide/>
11. <https://www.github.com/MarlinFirmware/MarlinDev/wiki/G-Code-in-Marlin>
12. <http://www.3digitalcooks.com/2014/10/marlin-movement-101/>
13. <http://www.imp3d-france.com/article/9/ramps-1-4>
14. <http://www.3dnatives.com/3D-compare/imprimante/bcn3d-kit>
15. <http://www.kitreprap.fr>
16. <http://www.a3dm-magazine.fr/limpression-3d-par-depot-de-matiere-fondue/>