

Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnelle

Instrumentation et Métrologie

Présenté par

BECHBECHE Houda

Thème

REALISATION D'UNE MACHINE CNC LASER

« *FOCUS CNC* »

Soutenu le 30 Juin 2024 devant le jury composé de :

Dr. CHAIB Mohamed	Président
Dr. BEKKAR Azzedine	Examineur 1
Dr. Dif Aicha	Examineur 2 : représentant Incubateur U. Oran1
Mr. CHIALI Faycal	Examineur 3 : Partenaire socio-économique
Dr. GUERNAZI Daoud	Encadreur
Pr. KAIL Fatiha	Co-encadreur

Année universitaire 2023 - 2024

Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur la conception et la réalisation d'une machine CNC laser « **FOCUS CNC** » à faible coût, dotée d'un système de surveillance à distance et d'un capteur de flamme. Nous avons conçu, imprimé et assemblé les pièces nécessaires, puis paramétré la machine en effectuant divers tests sur différents matériaux. En parallèle, nous avons mené une étude économique approfondie du marché algérien pour évaluer la faisabilité et les opportunités de lancement de notre machine.

Abstract

This final year project focuses on the design and realization of a low-cost, high-performance CNC laser machine « **FOCUS CNC** ». equipped with a remote monitoring system and a flame sensor. We designed, printed, and assembled the necessary parts, then set up the machine by conducting various tests on different materials. Concurrently, we conducted an in-depth economic study of the Algerian market to assess the feasibility and opportunities for launching our machine.

ملخص

يركز هذا المشروع الختامي على تصميم وتنفيذ آلة ليزيرية منخفضة التكلفة وذات أداء عالٍ « **FOCUS CNC** ». مزودة بنظام مراقبة عن بعد ومستشعر نار. قمنا بتصميم وطباعة وتجميع الأجزاء اللازمة، ثم قمنا بضبط الآلة بإجراء اختبارات متنوعة على مواد مختلفة. بالتوازي مع ذلك، أجرينا دراسة اقتصادية متعمقة للسوق الجزائرية لتقييم الجدوى والفرص المتاحة لإطلاق الآلة.

Remerciement

Nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour faire cet humble travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance et ma gratitude les plus sincères à mon encadreur, Dr. GUERNAZI Daoud, de m'avoir guidé tout au long de ce projet. Sa confiance, son soutien et ses conseils ont été déterminants pour la réalisation et la réussite de ce travail. Je le remercie profondément pour le temps précieux qu'il a consacré à suivre ma progression, ainsi que pour sa disponibilité, sa bonne humeur et les nombreuses connaissances qu'il m'a transmis.

Je tiens également à adresser nos remerciements particuliers à notre co-encadreur, Pr. KAIL Fatiha, qui nous a encouragés et soutenus avec des conseils précieux tout au long de cette étude. Son aide et ses encouragements ont été essentiels pour mener à bien ce travail

Mes vifs remerciements vont également aux enseignants de l'institut des sciences et techniques appliquées pour leurs remarques pertinentes et constructives ainsi leurs conseils et leurs propositions pour l'enrichissement de ce travail. Nos chaleureux remerciements s'adressent à tous les enseignants qui nous ont accompagnés durant tout notre cursus universitaire.

Mes vifs remerciements vont aux membres de jury d'avoir bien voulu évaluer et examiner ce travail

Nous tenons également à remercier notre institut pour nous avoir offert l'opportunité de créer un FabLab en son sein. Cela nous a permis de former une équipe remarquable et de collaborer efficacement. Nous exprimons notre gratitude à nos collègues MEHIDI Djamel, BERIMA Amine et BOUAMAMA Dahbia pour leur expérience et leur collaboration. Cette expérience a été l'un des aspects les plus enrichissants de notre parcours vers la réalisation de ce projet.

Je voudrais remercier les personnes qui m'est les plus chères, toutes les personnes de ma famille et de mon entourage qui m'ont soutenues tout au long de ce projet de fin d'études Il n'y a pas un mot qui peut exprimer mes immenses remerciements à mes chers parents, merci pour l'amour et le soutien constant et votre encouragement à distance, merci pour tous vos sacrifices pour moi, merci d'être toujours mon support qui m'aide à grimper toujours vers le haut, merci d'être mon premier modèle de la patience, de persévérance et de sacrifice, merci de me mettre toujours fière de vous. Merci également à mes sœurs pour leur encouragement tout le long de mon cursus universitaire.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, j'adresse mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

Table des matières

Résumé.....	ii
Abstract.....	ii
ملخص	ii
Remerciement	iii
Table des matières	iv
Liste des abréviations.....	viii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux.....	xii
Introduction.....	1
Chapitre I : Généralité sur les machines-outils à commande numérique	2
1. Introduction.....	2
2. Définition d'une machine CNC	3
3. Différentes structures de machine CNC	3
Structure à portique.....	4
Structure de lit fixe	4
Structure à colonnes mobiles	5
Structure du pont.....	5
Structure composite	6
4. Composition d'une machine CNC	6
Partie mécanique.....	6
Partie électronique	11
Partie opérationnelle	19
5. Réalisation des pièces sur la machine CNC.....	21
Méthodes de programmation des pièces.....	21
Les techniques de fabrication des machines CNC.....	24

Conclusion :	27
Chapitre II : Conception et réalisation	28
1. Introduction	28
2. Le choix des matériaux	29
2.1. Le châssis de machine CNC laser	29
2.2. Mécanisme de mouvement	29
2.3. Contrôle Électronique :	30
2.4. Tête Laser Diode :	31
2.5. Le système de sécurité :	31
3. Conception des pièces mécaniques	31
3.1. Conceptions de pièces pour l'axe X	31
3.2. Conceptions de pièces pour l'axe Y	32
3.3. Conceptions de pièces pour l'axe Z	33
3.4. Conceptions du boîtier pour le circuit électronique	34
4. Impression 3D des pièces mécaniques	35
4.1. Impression des pièces pour l'axe X	36
4.2. Impression des pièces pour l'axe Y	37
4.3. Impression des pièces pour l'axe Z	38
4.4. Impression des pièces pour le boîtier de circuit électronique	38
5. Assemblage des pièces mécaniques	39
5.1. Assemblage de l'axe X :	39
5.2. Assemblage de l'axe Y :	39
5.3. Assemblage de l'axe Z :	40
5.4. Assemblage de boîtier pour le circuit électronique	40
5.5. Assemblage finale de la machine FOCUS CNC	41
6. Programmation du microcontrôleur et de l'interface	42
6.1. Arduino IDE :	43

6.2. G-code :	45
7. Configuration de la machine CNC.....	48
8. Contrôle de la machine	49
9. Test de la machine	51
10. Conclusion	56
Chapitre III : Projet Start-up	57
Premier axe : Présentation du projet	57
Etude et recherche du projet (2 à 3 mois)	58
2.6.1 Réalisation de prototype (1 mois)	58
Lancement de l'activité : (6 mois)	59
Finalisation des produits : (1 mois).....	59
Deuxième axe : Aspects innovants	59
La nature des innovations :	59
Domaines d'innovation.....	59
Troisième axe : Analyse stratégique du marché	60
Le segment du marché :	60
La mesure de l'intensité de la concurrence :	61
La stratégie marketing :	61
Marketing de contenu	61
Quatrième axe : Plan de production et organisation	62
Processus de production.....	62
L'approvisionnement :	63
La main d'œuvre :	63
Principaux partenaires :	63
Cinquième axe : Plan financier	64
Les coûts et les charges :	64
Conclusion	69

Les références :	70
Annexes	72
1. Annexe 1 Moteur pas à pas Nema 17	72
2. Annexe Driver TMC 2209	73
3. Annexe MKS dlc 32 V2.1.....	75
4. Annex tête laser LMC450B	77

Liste des abréviations

CNC Commande Numérique par Calculateur

CN Commande Numérique

CAO Conception Assistée par Ordinateur

FAO Fabrication Assistée par Ordinateur

MOCN Les machines-outils à commande numérique

Liste des figures

Figure 1. Structure d`une machine CNC.....	3
Figure 2. Machine CNC à structure portique.....	4
Figure 3. Machine CNC à lit fixe.....	4
Figure 4. Machine CNC à colonne mobile	5
Figure 5. Machine CNC à structure de pont	5
Figure 6. Machine CNC à structure composite.....	6
Figure 7. Machine CNC avec différents types de socle [7]	7
Figure 8. Tendeur mécanique de poulie GT2	10
Figure 9. Tige fileté avec écrou	10
Figure 10. Exemple d`un microcontrôleur «ATmega 328p».....	11
Figure 11. Structure de microcontrôleur.	11
Figure 12. Différente type des cartes Arduino	13
Figure 13. Les caractéristiques de carte Arduino UNO [9]	13
Figure 14. Structure dynamique de moteur pas à pas	14
Figure 15. Les types de moteur pas à pas	15
Figure 16. Diagramme de moteur pas à pas à aimant permanents, a reluctance et hybride [13].....	15
Figure 17. Contrôle de position avec un moteur pas à pas [8].....	16
Figure 18 : Driver de moteur pas à pas.....	17
Figure 19 : Interrupteur fin de course	17
Figure 20 : Source de l`alimentation.....	18
Figure 21 : Carte CNC Shield.V3, Carte RAMPS [16]	18
Figure 22. La tête laser.....	19
Figure 23. Le principe de fonctionnement d`un laser à diode [18] [19].	20
Figure 24 . Spindle.....	20
Figure 25a. Format d`un mot.....	22
Figure 26b. Format d`un bloc	23
Figure 27. Les étapes d`injection de plastique [23]	24
Figure 28. Le mouvement de l`avancement de tournage [24]	25
Figure 29. Schéma représentatif des étapes d`impression 3D	26

Figure 30. Profilé aluminium 20*20 et 20*40	29
Figure 31. Le microcontrôleur MKS dlc V2.1 avec leur écran.[25].....	30
Figure 32. Le support de l'axe X avec sa couverture	32
Figure 33. Les pièces de fin de l'axe X	32
Figure 34. Le support de l'axe Y	32
Figure 35. La pièce de fin de l'axe Y.....	33
Figure 36 . Le support de l'axe Z.....	33
Figure 37 . Le boîtier de machine CNC	34
Figure 38. Le couvercle de boîtier	34
Figure 39. Impression d'une pièce avec la construction de supports	35
Figure 40. L'interface de logicielle Cura avec un exemple pour le tranchage	36
Figure 41. L'impression de première pièce de l'axe X avec sa couvercle	36
Figure 42. L'impression de pièce fin d'axe X	37
Figure 43. L'impression de la première pièce de l'axe Y avec sa couvercle.....	37
Figure 44. Pièce de fin de l'axe Y	37
Figure 45. Support du Laser.....	38
Figure 46. Boîtier avec sa couvercle.....	38
Figure 47. L'assemblage de l'axe X	39
Figure 48. Assemblage axe Y	39
Figure 49. l'assemblage de l'axe Z	40
Figure 50. L'assemblage de boîtier de circuit électronique et le couvercle.....	40
Figure 51. L'assemblage finale de la machine.....	41
Figure 52 . Structure d'un programme [27]	42
Figure 53. L'interface de programmation	43
Figure 54. Le téléchargement de bibliothèque GRBL	44
Figure 55 . L'interface IDE avec la bibliothèque GRBL.....	45
Figure 56. Les principales fonctions du G-code [27].	46
Figure 57. Chaîne de programmation	47
Figure 58. L'interface de logicielle OpenBuilds.....	48
Figure 59. L'interface de logicielle OpenBuilds CAM.	49
Figure 60. Exemple pour générer un fichier G-code par le logicielle OpenBuilds CAM ..	51
Figure 61. Le teste de laser sur le papier	51
Figure 62. Le teste de laser sur le plastique	52
Figure 63: le teste de laser sur le cuire	52

Figure 64. Le teste de laser sur le tissu jean	53
Figure 65. Le teste de laser sur le bois.....	53
Figure 66. Support de camera ESP32	54
Figure 67. Support de capteur de flamme	54
Figure 68. L'impression de support camera	55
Figure 69. L'impression de support de capteur de flamme	55
Figure 70. Les valeurs suggérées	57

Liste des tableaux

Tableau 1. Les charges variables	64
Tableau 2. Les charge D`organisation et main d`ouvre.....	65
Tableau 3. Les charge de frais de service divers	65
Tableau 4. Total charge fixe	65
Tableau 5. Les equipements	66
Tableau 6. Agencement et installation.....	66
Tableau 7. Budget marketing.....	67
Tableau 8. Le chiffre d'affaires	67
Tableau 9. Bilan finale.....	67
Tableau 10. Business Model Canvas	68

Introduction

Les machines CNC (Commande Numérique par Calculateur) jouent un rôle crucial dans l'industrie moderne en permettant la fabrication précise et automatisée de pièces complexes. Leur importance réside dans leur capacité à améliorer la qualité, la précision et l'efficacité de la production.

Les lasers, en tant que technologie de coupe et de gravure, ont transformé les capacités des machines CNC. Un laser est un dispositif qui émet un faisceau de lumière cohérent et concentré, capable de découper ou de graver une variété de matériaux avec une grande précision.

La conception de notre machine CNC laser, **FOCUS CNC**, a été réalisée en utilisant des logiciels de CAO comme Fusion 360, permettant de créer des modèles détaillés et précis. La réalisation de la machine implique l'assemblage des composants mécaniques, électroniques et informatiques selon les plans établis.

Nous avons effectué des tests sur différents matériaux tels que le bois, le plastique, le jean, le cuir et le carton, démontrant la polyvalence et l'efficacité de notre machine.

Le lancement de notre machine **FOCUS CNC** sur le marché algérien est prévu avec une valeur suggérée de cent millions de centime algérienne (100 000.00 DA), ce qui représente un coût abordable pour les petites et moyennes entreprises. La machine sera disponible en différents modèles et offrira une livraison rapide pour répondre aux besoins des clients. Le projet prévoit un bénéfice de 43%, soulignant sa viabilité économique et son potentiel de succès.

Dans le premier chapitre, nous avons exploré les généralités des machines CNC, ainsi que leur composition mécanique, électronique et informatique.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception et à la réalisation de notre machine CNC laser **FOCUS CNC**, en utilisant divers logiciels tels que Fusion 360 pour la conception assistée par ordinateur (CAO), ainsi que l'impression et l'assemblage avec le logiciel de contrôle OpenBuilds Controller. Nous avons également effectué des tests sur différents matériaux, notamment le bois, le plastique, le jean, le cuir et le carton.

Le troisième chapitre aborde l'étude technique et économique de l'implantation du projet sur le marché algérien. Nous discutons de la mise en marché de notre machine CNC laser **FOCUS CNC** avec une valeur suggérée de 100 000.00 DA, en mettant l'accent sur son faible coût, sa disponibilité, la diversité des modèles et la rapidité de livraison. Le projet vise à générer un bénéfice de 43%.

Chapitre I : Généralité sur les machines-outils à commande numérique

1. Introduction

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont des dispositifs automatisés qui sont employés dans différents secteurs de l'industrie afin de réaliser des opérations d'usinage précises et compliquées. Des programmes informatiques gèrent leurs mouvements et leurs actions, ce qui permet de fabriquer des pièces complexes avec une grande précision. Les machines CNC (Commande Numérique par Ordinateur) peuvent réaliser différents processus, comme le fraisage, le tournage, le perçage, la découpe au laser et bien d'autres, sur une grande diversité de matériaux tels que les métaux, le bois, les polymères et le plexiglas.

Les lasers, qui sont l'acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, en anglais (amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement, en français), sont utilisés dans diverses applications industrielles, telles que le soudage, la découpe, la gravure, le marquage et l'usinage de matériaux. Le processus d'émission laser comprend l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée.

Une machine de gravure au laser se compose de trois parties essentielles : une partie opérationnelle (laser), une partie électronique (contrôle et alimentation électrique) et une partie mécanique (structure). La découpe et la gravure au laser offrent de nombreux avantages, notamment un fonctionnement sans contact, une répétabilité élevée, une vitesse de balayage rapide et une meilleure finition de la surface.

Les progrès technologiques ont amélioré la gestion des machines CNC et facilité l'usinage des pièces mécaniques complexes. Cela a simplifié le développement des machines CNC très personnalisées.

Dans cette partie, nous allons présenter les machines CNC et leurs composants essentiels, ce qui permet d'extraire les critères adéquats pour le choisir des composants nécessaires à la réalisation de notre machine CNC laser « **FOCUS CNC** ».

2. Définition d'une machine CNC

Une machine CNC est une machine entièrement ou semi-automatique où les ordres sont transmis via un code porté sur un support physique (disquette, clé USB, carte mémoire etc.). Cette machine est capable de calculer (interpoler) les coordonnées de points qui définissent une trajectoire [2].

La plupart des machines CNC se composent d'une partie commande (PC), d'une partie opérationnelle (PO) et la structure de la machine, qui se compose de l'outil, le porte-outil, le porte-pièce et la pièce à usiner [3], telle que le montre figure 1.

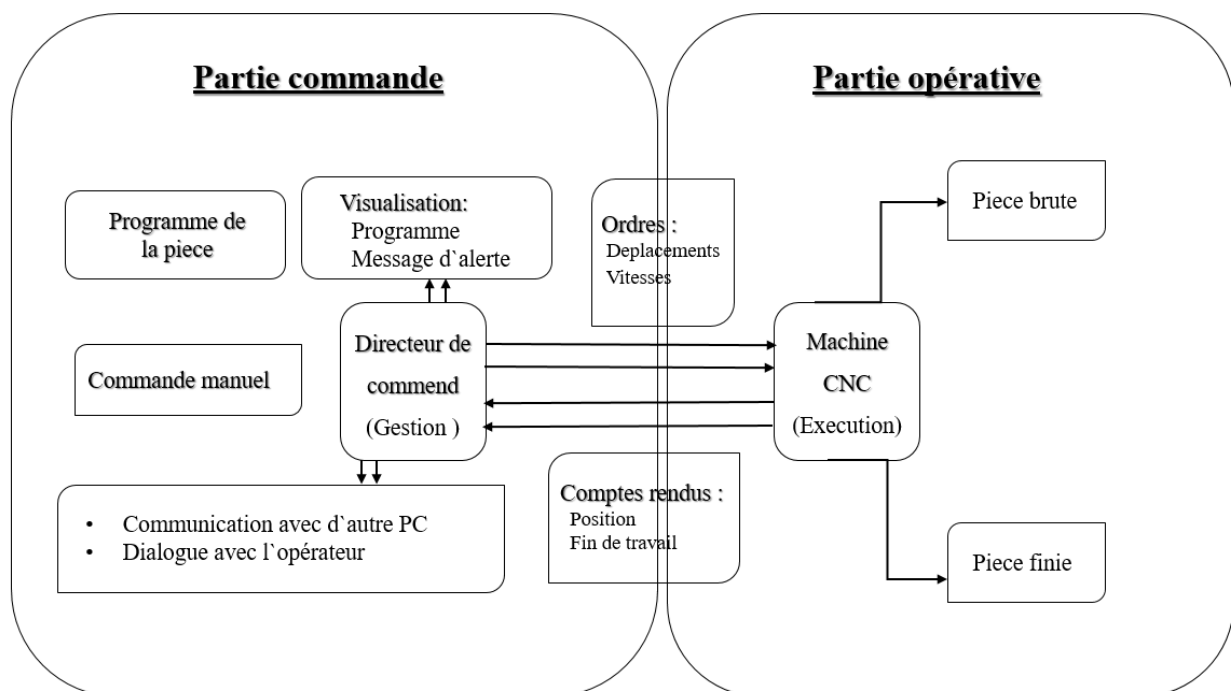


Figure 1. Structure d'une machine CNC

L'objectif principal d'une machine CNC est de produire des mouvements en recevant des informations de positionnement, de vitesse et d'accélération, puis générées après avoir traité les consignes numériques en sortie.

3. Différentes structures de machine CNC

L'application spécifique et les opérations prévues des machines CNC dictent leurs variations structurelles. Explorons quelques structures couramment observées dans les machines CNC.

Structure à portique

Les machines à portique disposent d'une structure en forme de portique sur laquelle le chariot d'outil se déplace, voir figure 2. Ils sont présents dans les machines de fraisage CNC, les machines CNC de découpe laser, et bien d'autres encore. Il contient deux poutres horizontales soutenant un chariot mobile qui se déplace le long de l'axe Y. La tête laser est montée sur l'axe X. La conception du portique offre une excellente stabilité et la capacité de supporter de lourdes charges.

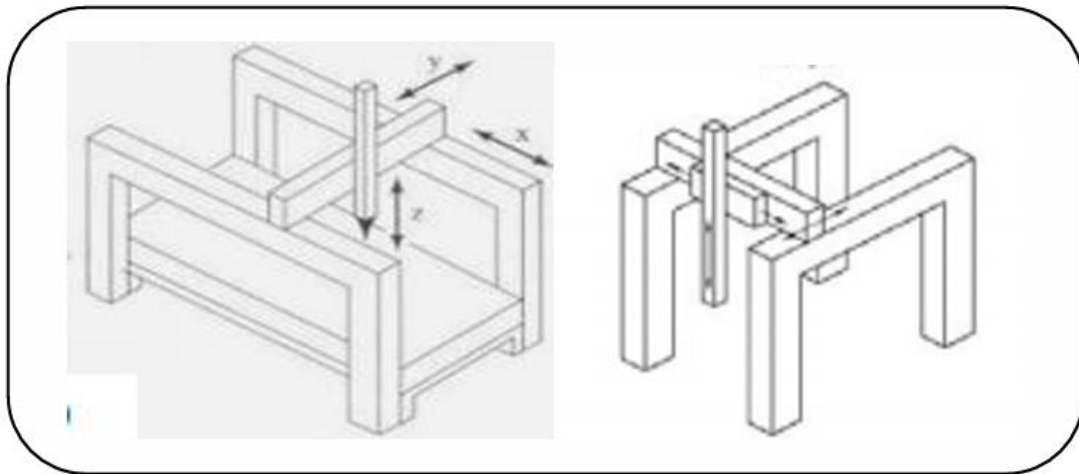


Figure 2. Machine CNC à structure portique

Structure de lit fixe

La machine CNC à banc fixe sont équipées d'une table fixe sur laquelle les pièces sont disposées, voir figure 3. Elle présente une grande rigidité et facilite l'accès aux pièces.

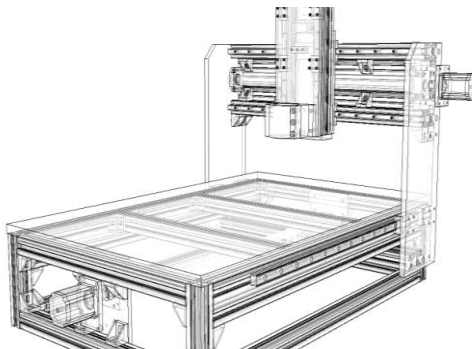


Figure 3. Machine CNC à lit fixe

Structure à colonnes mobiles

Dans cette configuration particulière, la colonne qui supporte l'outil est flexible permettant un déplacement vertical le long de l'axe Z, voir figure 4. C'est une approche fréquente pour les fraiseuses CNC verticales et certaines formes de fraiseuses CNC horizontales. Cette configuration offre une grande souplesse lorsqu'il s'agit de positionner l'outil standard à la pièce.

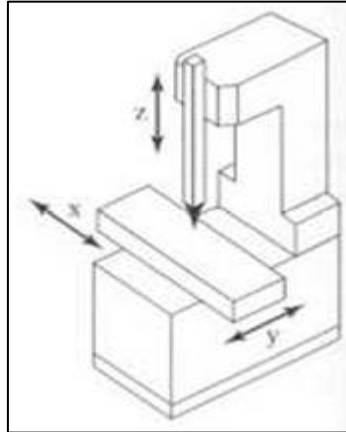


Figure 4. Machine CNC à colonne mobile

Structure du pont

Une machine à pont présente une structure similaire à celle d'un pont, avec des poutres horizontales qui soutiennent l'outil, voir figure 5. On retrouve fréquemment ces machines dans le secteur du fraisage CNC à grande échelle et de la découpe laser CNC. La structure du pont garantit une rigidité remarquable et simplifie la fabrication de composants de grandes tailles.

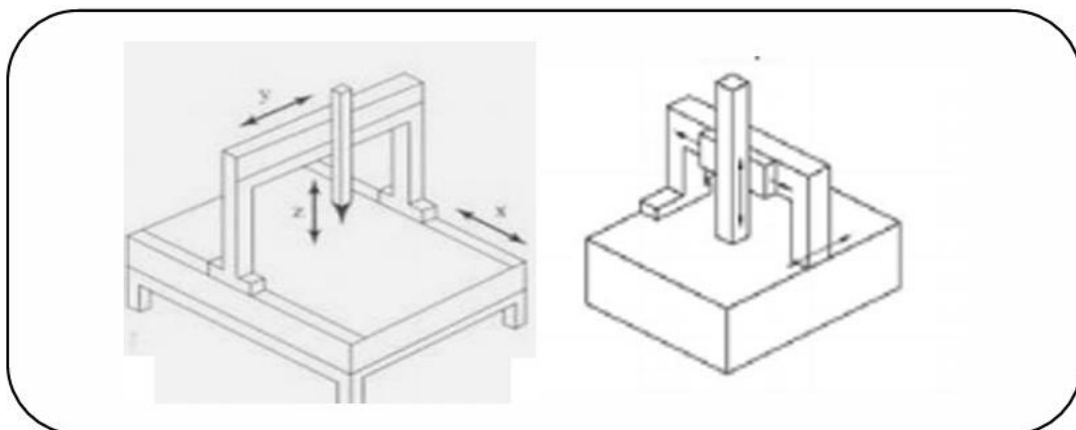


Figure 5. Machine CNC à structure de pont

Structure composite

Certaines machines CNC associent diverses structures afin de satisfaire des exigences particulières. Un exemple courant est qu'une machine peut être équipée d'une structure à portique pour un mouvement plat et d'une structure à colonnes mobiles pour un mouvement vertical, voir figure 6. Cette méthode renforce la précision et l'adaptabilité pour différentes applications [4][5].

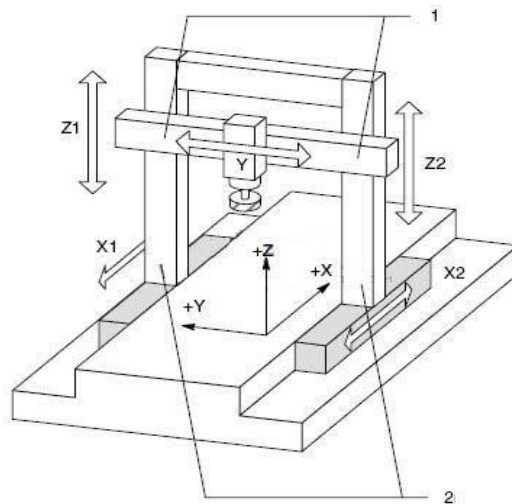


Figure 6. Machine CNC à structure composite

4. Composition d'une machine CNC

Partie mécanique

4.1.1. Socle de la machine CNC

Le socle mécanique des machines CNC désigne la structure de base sur laquelle sont fixés tous les éléments essentiels de la machine. En général, il s'agit d'une structure robuste et rigide qui garantit un support stable pour le reste de la machine, tels que les axes de déplacement, les moteurs, les guidages linéaires, la table de travail et d'autres éléments indispensables.

Matériaux de fabrication du socle de la machine CNC

La structure métallique d'une machine CNC peut se fabriquer en acier pour assurer la résistance à la déformation et la précision des opération d'usinage ou en fonte pour garantir la solidité et la stabilité dans certaines applications industrielles. La structure en aluminium est recommandée dans les machine CNC portables de petit et moyen taille. Les socles en bois sont utilisé généralement par les développeurs qui fabriquent leurs propres CNC (DIY CNCs).

L'utilisation du plastique est rare dans la fabrication des socles des machine CNC à cause de sa faiblesse. La figure 7 montre quelques illustrations.



Figure 7. Machine CNC avec différents types de socle [7]

Les solutions de montage rapide

Les dernières années se sont apparus sur le marché des projets open sources tel que « **open builds** », ces projets offrent des solutions de montage rapides. Ils utilisent des profilés en aluminium spéciaux (T-SLOT & V-SLOT) et adaptés pour la fabrication des machines CNC personnalisées. Ils offrent aussi tous les pièces et accessoires nécessaires pour le montage avec une grande variété de choix.

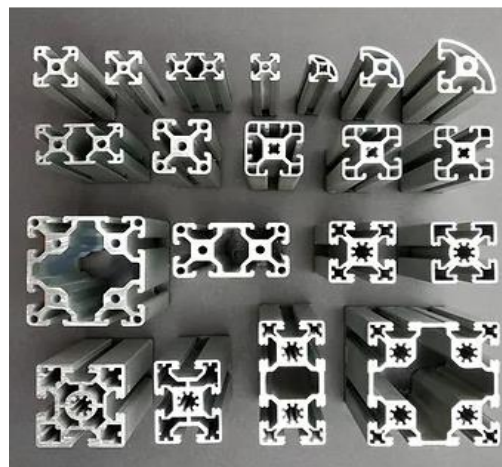


Figure 8. Les différents types et dimensions de profilés aluminium [7]

Profile T et V slot : Cette société propose différents types de profilés en aluminium, chaque type présentant des dimensions et des applications particulières. Voici quelques exemples des catégories les plus fréquentes.

4.1.2. Les systèmes de translation

Courroie avec poulie : Ce type de système utilise une courroie synchrone dentée en nylon avec des cordons en fibre de carbone. Les poulies en acier inoxydable durables sont utilisées avec les courroies. Le résultat est un système d'entraînement très résistant, propre et durable qui nécessite très peu d'entretien. Cela ressemble à la technologie de courroie utilisée dans les motos à entraînement par courroie, les moteurs de course automobile et les robotiques [10]. La figure8 est une illustration.

Courroie GT2 : Les courroies GT2 sont des courroies synchrones renforcées en fibres de verre, qui sont employées pour assurer un mouvement précis dans différents systèmes de transmission de puissance. Elles sont fabriquées avec des dents spéciales qui s'engrènent avec des poulies correspondantes, assurant ainsi un transfert de puissance efficace et sans glissement.

Poulie GT2 : Les poulies GT2 sont des composants synchrones conçus pour accompagner les courroies GT2 dans les systèmes de transmission de puissance. Leur conception inclut des dents spécifiques qui s'imbriquent avec celles des courroies GT2, assurant ainsi un mouvement uniforme et précis. Fabriquées avec des matériaux de premier choix, ces poulies offrent une robustesse et une durabilité exceptionnelles, essentielles pour résister à l'usure.



Figure 9. GT2 courroie et poulie [8]

Parmi les caractéristiques les plus importantes du système Courroie et Poulie, on trouve le pas de translation. Le pas de la courroie correspond à la distance entre les dents. Plus précisément, il s'agit de la distance mesurée entre les mêmes points caractéristiques sur des dents adjacentes, et

non de la taille de l'espace entre elles. Par exemple, les courroies GT2 ont généralement un pas de 2 mm [9]

Voici la formule pour calculer les pas/mm pour une courroie de distribution GT2 :

$$\text{pas/mm} = \frac{\text{nombre de pas par tour(moteur)} * \text{Microstepping}}{\text{Pas de la courroie} * \text{Dents de la poulie}}$$

Roue : Les roues des machines CNC jouent un rôle crucial dans les systèmes de déplacement afin de guider et déplacer les axes de la machine. Les axes X, Y et Z sont généralement placés sur des axes linéaires et des rails de guidage afin de faciliter le déplacement précis. On utilise fréquemment des roulements à billes sur ces roues afin de diminuer le frottement et garantir un mouvement fluide et précis. Ces roues extrêmement solides sont fabriquées à partir d'un polycarbonate extrêmement résistant qui, grâce à sa solidité, sera capable de résister à la compression et à l'usure, ce qui offre une précision et une solidité accrues [6]. Il existe divers types et dimensions de roues, La figure10 montre quelques-unes.

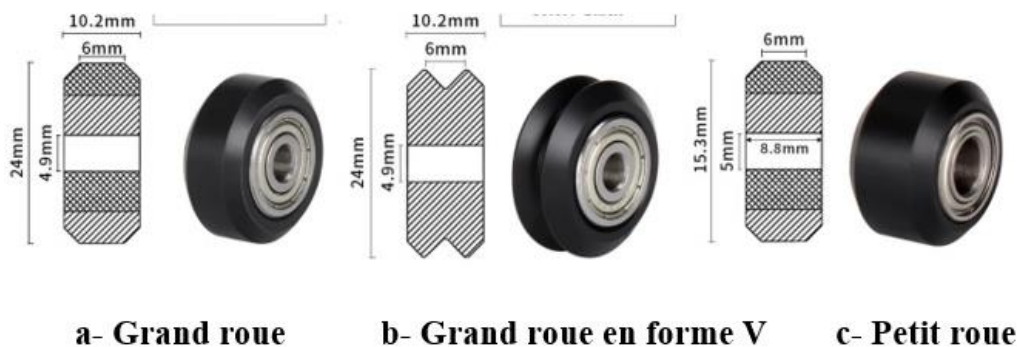


Figure 10. Différents types de roues compatibles avec le profilé v-slot

Tendeur : Un tendeur de poulie est un dispositif élaboré pour maintenir une tension adéquate sur une courroie ou une chaîne de transmission de puissance, voir figure 11. Il vise principalement à éliminer tout jeu excessif dans la transmission en ajustant la tension de façon à assurer un fonctionnement efficace et sans glissement. Les tendeurs de poulie peuvent être mécaniques, avec des ressorts ou des vis de réglage, ou automatiques, qui s'ajustent automatiquement aux conditions de fonctionnement.



Figure 8. Tendeur mécanique de poulie GT2

Tige fileté avec écrou

Une tige filetée convertit le mouvement rotatif en un mouvement de translation précis et fluide. Elle se compose de deux parties principales : une tige filetée (ou vis) et un écrou. Cette barre cylindrique est entourée de rainures en spirale : la tige filetée. Généralement construit en acier, en acier inoxydable ou en un autre matériau durable résistant à l'usure et à la corrosion [10]. Voir figure suivant

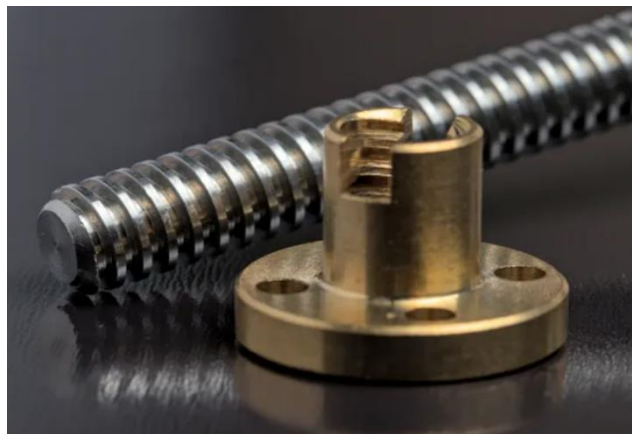


Figure 9. Tige fileté avec écrou

Tige plein avec roulement linéaire

Les tiges de guidage sont destinées au mouvement linéaire, aux machines automatiques, aux machines de moulage par injection, etc. la fabriquées en acier à roulement de haute qualité, les tiges linéaires sont durables et robustes avec une apparence assez fluide. Ils convient aux équipements à grande vitesse, à faible bruit et de haute précision.

Les roulements linéaires sont les pièces qui se déplacent le long d'une tige de guidage lorsque la tige filetée tourne ou la poulie tourne. Ils sont des éléments essentiels dans les systèmes de guidage linéaire, assurant un déplacement fluide et précis le long d'un axe défini [11].

Partie électronique

4.1.3. Microcontrôleur (cerveau de la machine) :

Un microcontrôleur est un circuit intégré, qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit. Au temps des pionniers de l'électronique, on soudait un grand nombre de composants, tels que les transistors, les résistances ou les condensateurs sur des cartes plus ou moins grandes. Aujourd'hui, tout peut loger dans petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches, voir figure13. Ces dernières sont les connexions du circuit intégré au moyen desquelles s'effectue la communication.



Figure 10. Exemple d'un microcontrôleur «ATmega 328p».

Le microcontrôleur est un ordinateur complet sur un espace réduit au maximum, voir figure 14. Il se divise grossièrement en trois parties :

- Unité centrale(CPU) ;
- Mémoire (ROM et RAM) ;
- Port d'entrée et de sortie

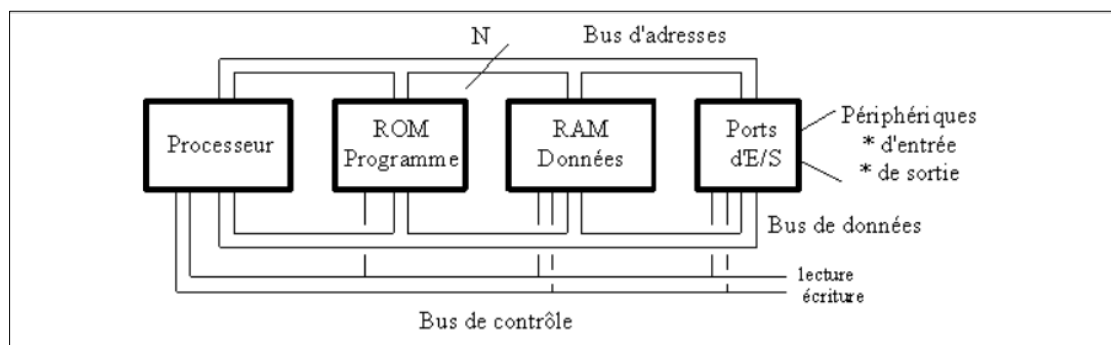


Figure 11. Structure de microcontrôleur.

Avec ses dimensions réduites, il dispose pourtant d'une grande puissance de calcul. En fait, il suffit de le souder sur une carte et de le mettre sous tension pour pouvoir l'utiliser [9].

Il existe de nombreuses familles de microcontrôleurs, chacune avec ses propres fonctionnalités et utilisations. Quelques-unes des familles les plus connues sont :

Microcontrôleurs PIC : En raison de leur grande variété de modèles et de leur faible coût, les microcontrôleurs PIC sont l'une des familles les plus utilisées dans l'industrie électronique.

Les microcontrôleurs AVR : sont une famille de microcontrôleurs de hautes performances qui conviennent aux applications qui nécessitent une faible consommation d'énergie.

Les microcontrôleurs ARM : sont une famille de microcontrôleurs qui offrent une grande capacité de traitement et une vitesse élevée, ce qui les rend idéaux pour les applications à forte demande [13].

La famille d'Arduino :

La carte Arduino est une carte électronique basée sur une carte microcontrôleur simple de la famille AVR et des composants minimaux pour réaliser des fonctions plus ou moins avancées à faible coût. Elle dispose d'une interface USB pour la programmation. Il s'agit d'une plateforme open-source et un logiciel, véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme sur la carte microcontrôleur. Arduino peut être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs, et peut recevoir des entrées provenant d'une grande variété de capteurs. Les projets Arduino peuvent être autonomes ou communiquer avec un logiciel sur un ordinateur (Flash, Processing ou MaxMSP, LabVIEW). Les cartes électroniques peuvent être fabriquées à la main ou achetées préassemblées, et le logiciel de développement open-source peut être téléchargé gratuitement. [1]

Différentes cartes Arduino sont disponibles pour répondre à diverses exigences, voir illustration figure 15. Pour les débutants, l'Arduino UNO polyvalent est un excellent choix. Pour des projets complexes, l'Arduino MEGA, équipé de nombreuses broches d'E/S, est l'option idéale. Lorsque l'espace est limité, l'Arduino NANO compact s'adapte parfaitement. De plus, l'Arduino LEONARDO peut imiter les périphériques USB comme les claviers et les souris. La figure16 montre quelques caractéristiques de la carte l'Arduino UNO.

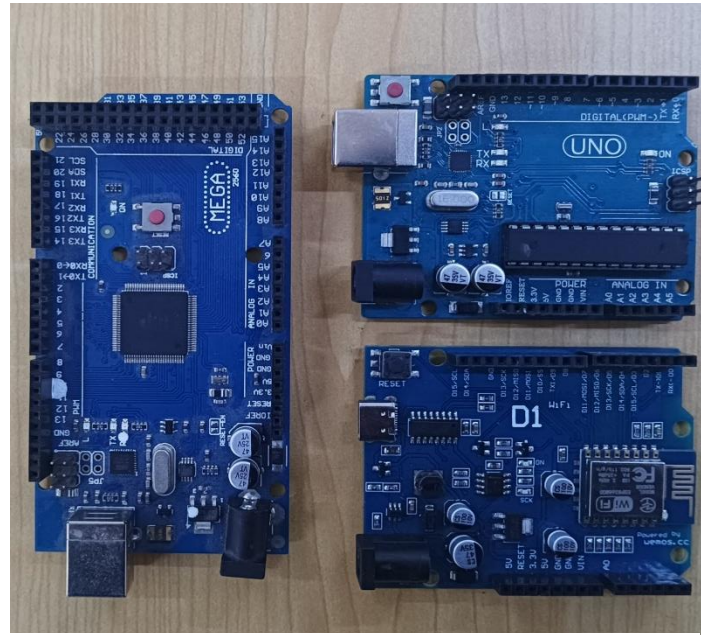


Figure 12. Différent type des cartes Arduino

Catégorie	Valeur
Microcontrôleur	ATmega 328
Fréquence d'horloge	16 MHz
Tension de service	5 V
Tension d'entrée (recommandée)	7–12 V
Tension d'entrée (limites)	6-20 V
Ports numériques	14 entrées et sorties (6 sorties commutables en MLI)
Ports-analogiques	6 entrées analogiques
Courant maxi. par broche d'E/S (c.c.)	40 mA
Courant maxi. par broche 3,3 V	50 mA
Mémoire	32 Ko Flash, 2 Ko SRAM, 1 Ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	0,5 Ko (en mémoire Flash)
Interface	USB
Dimensions	6,86 cm × 5,3 cm
Prix (approximatif)	24 €

Figure 13. Les caractéristiques de carte Arduino UNO [9]

4.1.4. Moteurs pas à pas :

Les moteurs pas à pas sont largement utilisés dans le domaine de l'automatisation, car ils peuvent être contrôlés directement par des ordinateurs, des microcontrôleurs ou par des automates programmables. Ils se distinguent par leur capacité à effectuer des mouvements discrets en fonction des impulsions de commande reçues. Grâce à cela, ils sont très adaptés au contrôle de position en boucle ouverte. Contrairement à l'idée erronée selon laquelle ces moteurs effectueraient des mouvements lents et laborieux, chaque pas est réalisé très rapidement, parfois en moins d'une milliseconde. À des vitesses élevées, la rotation de l'arbre devient régulière et le comportement du moteur ressemble à celui d'un moteur ordinaire. Ces moteurs sont couramment utilisés dans les entraînements de têtes de disques, les petits chariots de machines-outils à commande numérique et les alimentations d'imprimantes, où ils peuvent être utilisés pour entraîner une vis mère ou être actionnés par une courroie. Ces caractéristiques font des moteurs pas à pas un choix efficace pour de nombreuses applications industrielles [8].

Le principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un moteur électrique, schématisé par la figure 17, dont le principal caractère est que son arbre tourne en réalisant des étapes, c'est-à-dire en se déplaçant d'une certaine quantité de degrés. La structure interne du moteur permet d'obtenir cette caractéristique et permet de déterminer la position angulaire précise de l'arbre en s'appuyant sur le nombre d'étapes réalisées, sans avoir besoin de capteur.

Le moteur pas à pas fonctionne en réponse aux impulsions électriques reçues dans ses bobinages. Un pas est le minimum d'angle de rotation entre deux modifications des impulsions électriques. Un moteur est caractérisé par le nombre de pas par tour (c'est-à-dire pour une rotation de 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour [15].

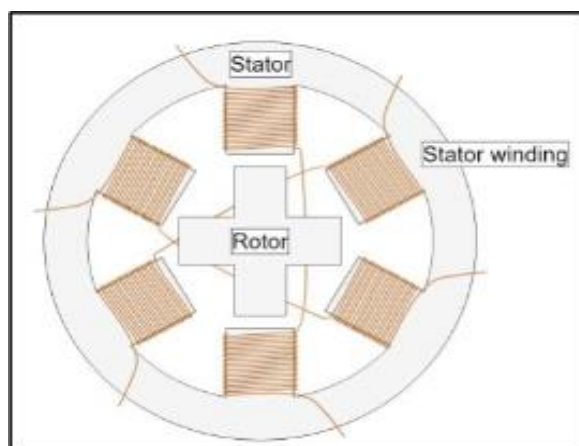


Figure 14. Structure dynamique de moteur pas

Les types de moteur pas à pas :

Tous les moteurs pas-à-pas comprennent un stator portant des bobines dans lesquelles, le courant est commuté par l'électronique de commande. Par contre, les différences apparaissent au niveau du rotor. Selon l'alimentation des bobines, on distingue deux types, voir figure 18 :

a) Moteurs bipolaires : les phases d'un moteur bipolaire sont alimentées une fois dans un sens et une autre fois dans le sens inverse. Ils créent une fois un pôle nord et l'autre fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire [11].

b) Moteurs unipolaires : les phases sont alimentées dans un seul sens

Généralement les moteurs bipolaires possèdent 2 phases et les moteurs unipolaires possèdent 4 phases.

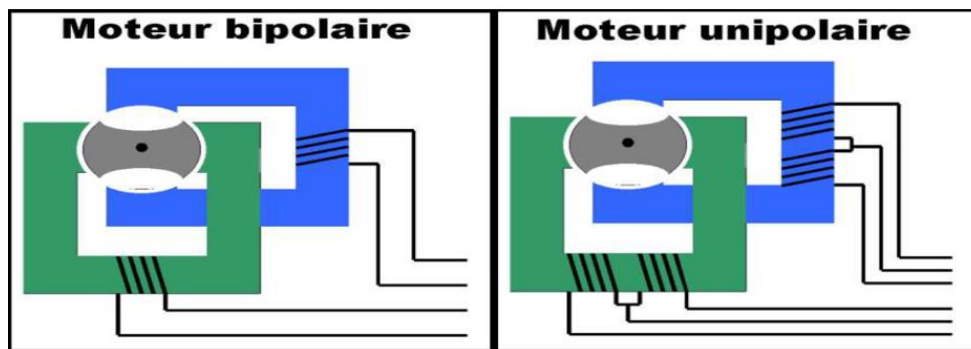


Figure 15. Les types de moteur pas à pas

Selon la conception on distingue 3 types :

- a) Moteurs à aimant permanent, figure 16 A
- b) Moteurs à reluctance variable, figure 16 B
- c) Moteurs hybrides qui sont une combinaison des deux technologies précédentes [12] figure 16 C

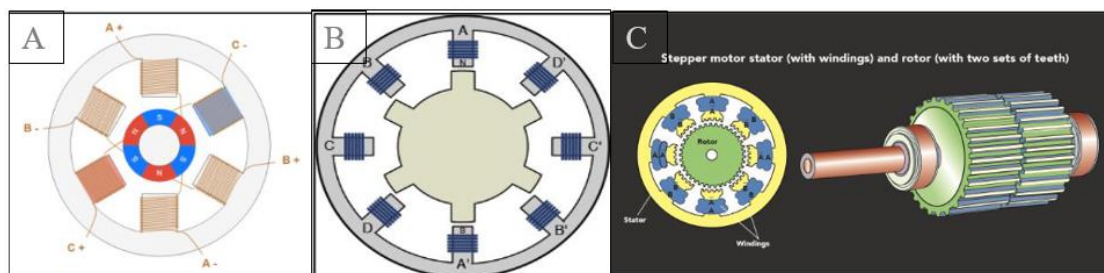


Figure 16. Diagramme de moteur pas à pas à aimant permanents, a reluctance et hybride [13]

Les rotors des moteurs à aimants permanents sont magnétisés, tandis que ceux des moteurs à réluctance variable sont dentés en fer doux. Les moteurs hybrides pas à pas sont à la fois des moteurs à aimant permanent et à réluctance variable. Le moteur pas à pas possède plusieurs enroulements dans le stator. Le principal élément qui différencie les différents types de moteurs pas à pas d'un point de vue électrique est la disposition de ces enroulements [11].

Contrôle de position en boucle ouverte :

Un variateur est un dispositif qui utilise des circuits de commutation électroniques pour alimenter un moteur. La sortie du variateur est la position angulaire de l'arbre du moteur, tandis que l'entrée est constituée de signaux numériques de faible puissance. Chaque impulsion sur la ligne d'entrée de pas fait avancer le moteur d'un pas, et la ligne de direction détermine le sens de rotation. En fournissant un certain nombre d'impulsions de pas, on peut donc faire tourner l'arbre de sortie à un angle précis. Ce qui rend le moteur pas à pas attrayant, c'est sa correspondance directe entre les impulsions et les pas, ce qui permet de contrôler précisément la position angulaire de l'arbre. Ce système fonctionne de manière numérique, car l'angle parcouru est déterminé par le nombre d'impulsions fournies, et il est à boucle ouverte, car il n'a pas besoin de recevoir de retour d'information de l'arbre de sortie [8].

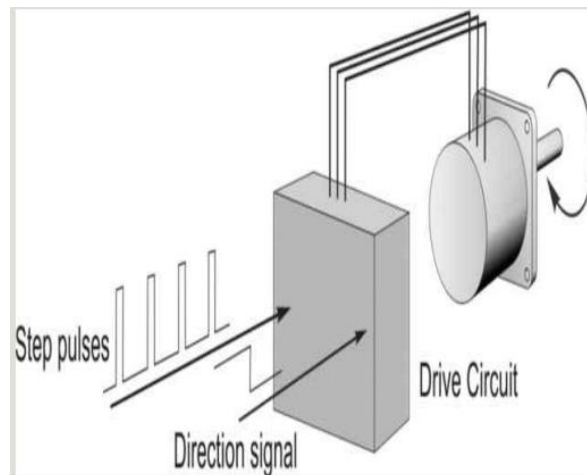
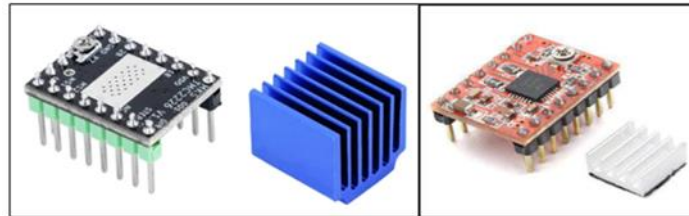


Figure 17. Contrôle de position avec un moteur pas à pas [8]

4.1.5. Drivers de moteurs pas à pas :

Les pilotes de moteur pas à pas sont des composants électroniques qui contrôlent la rotation des moteurs pas à pas. Ils convertissent les signaux d'impulsion en signaux de déplacement angulaire, permettant ainsi au moteur de tourner selon un angle spécifique appelé angle de pas, dans

la direction souhaitée. Le fonctionnement d'un système de moteur pas à pas dépend à la fois du moteur et du pilote qui le contrôle. L'électronique de commande envoie des instructions au pilote concernant la vitesse, le sens de rotation et la position [9].



Driver TMC et A4988

Figure 18 : Driver de moteur pas à pas

4.1.6. Fins de course :

Un capteur de fin de course est un type de bouton poussoir qui fonctionne en appuyant sur un petit levier. Ils peuvent être utilisés pour détecter automatiquement la présence d'un objet ou pour surveiller et déterminer si les limites de mouvement d'un objet ont été dépassées. [10]

Il existe trois principaux types de capteurs de fin de course : mécaniques, sans contact et magnétiques. Leur fonction principale est de déconnecter automatiquement le mécanisme de travail lorsqu'il atteint la position prédéfinie de sa partie mobile.



Figure 19 : Interrupteur fin de course

4.1.7. Alimentation :

Pour convertir le courant alternatif du réseau électrique en courant continu. Lors du choix de l'alimentation adéquate pour la machine CNC, deux facteurs sont essentiels : la tension et l'ampérage. La tension doit correspondre à celle requise par l'appareil, pour éviter tout dommage. Quant à l'ampérage, il doit être égal ou supérieur aux besoins de l'appareil. Un ampérage trop faible peut empêcher le bon fonctionnement de l'appareil, tandis qu'un ampérage plus élevé ne pose généralement pas de problème car l'appareil ne consommera que ce dont il a besoin. [1]



Figure 20 :Source de l'alimentation

4.1.8. L'interface de machine CNC :

Les interfaces pour machines CNC sont essentielles à la conception et au fonctionnement des machines à commande numérique. Elles servent d'intermédiaires entre le microcontrôleur, souvent un Arduino ou un Raspberry Pi, et les composants électroniques et mécaniques. Grâce à ces cartes, il est possible de regrouper et de rendre plus facile le contrôle des moteurs pas à pas, des capteurs, des fins de course et autres équipements indispensables au bon fonctionnement de la machine CNC.

Le CNC Shield, le GRBL Shield, le RAMPS, UCNC (contrôleur CNC universel) et Smoothieboard sont parmi les cartes d'interface les plus appréciées. Ces cartes ont été développées dans le but de proposer une plateforme souple et évolutive qui permet aux utilisateurs de personnaliser et d'adapter leur machine CNC en fonction de leurs besoins particuliers.

Ils présentent principalement l'avantage de faciliter le câblage et la configuration, tout en proposant une interface compatible avec différents logiciels de montage CNC. Elles offrent aussi des caractéristiques sophistiquées telles que la gestion de l'alimentation, la protection contre les surintensités et la régulation du courant pour les moteurs pas à pas.

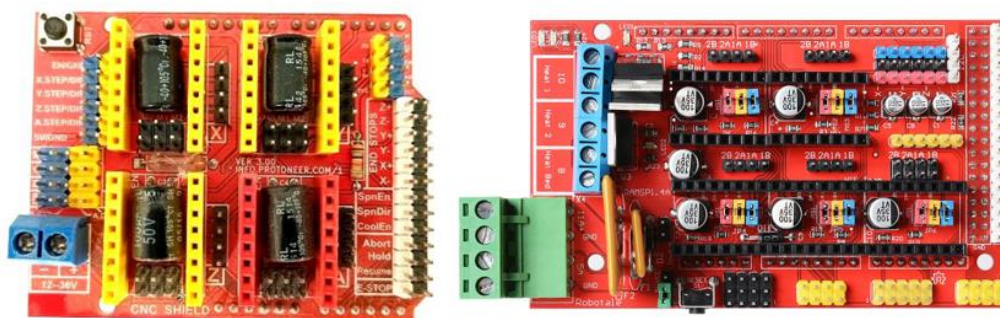


Figure 21 : Carte CNC Shield.V3, Carte RAMPS [16]

Partie opérationnelle

4.1.9. Les têtes de la machine CNC

Les machines CNC offrent une gamme de têtes pour différentes opérations, telles que le fraisage, le tournage, la découpe et le perçage, chacune étant spécialement conçue pour répondre à des exigences particulières en matière d'usinage et de fabrication. Parmi les principales têtes des machines CNC, on trouve les têtes de fraisage, qui enlèvent de la matière, et les têtes de tournage, qui façonnent des pièces cylindriques. Les têtes de découpe laser et plasma permettent des coupes précises, tandis que les têtes de découpe jet d'eau utilisent un jet d'eau à haute pression pour découper divers matériaux. Les têtes de perçage servent à creuser des trous, tandis que les têtes de rectification offrent des finitions lisses. Pour les travaux détaillés, on utilise des têtes de gravure, et pour la fabrication additive, des têtes d'impression 3D.

Les découpeurs laser utilisent un faisceau laser focalisé pour découper des matériaux selon des motifs définis. En plus de la découpe, ils peuvent graver des motifs en chauffant et brûlant la surface du matériau pour modifier son apparence. [21]



Figure 22. La tête laser

Parcours du faisceau dans un laser a diode

Un laser à diode est un type de laser qui utilise l'émission stimulée de rayonnement pour produire un faisceau lumineux. Dans un matériau semi-conducteur, les électrons peuvent être excités à des niveaux d'énergie plus élevés. Lorsqu'ils reviennent à leur état initial, ils émettent des photons.

Dans un milieu actif (le matériau qui caractérise le laser, gazeux, liquide ou solide), on vient exciter des atomes en leur donnant de l'énergie au moyen d'une source extérieure (source de pompage).

Le pompage peut être optique (envoi de photons), électrique (envoi de décharges) ou encore chimique. Sous l'application d'une tension, les électrons et les trous se rencontrent à la jonction p-n, s'annihilent et libèrent des photons.

Ce phénomène se propage dans le milieu actif qui est placé dans un résonateur optique. Cavity composée de 2 miroirs (un à l'arrière réfléchissant, le second à l'avant semi-réfléchissant). Les photons ainsi émis réfléchissent dans le résonateur et provoquent à leur tour le phénomène de création de photons en cascade.

Le miroir semi-réfléchissant à l'avant laisse sortir le faisceau laser (un concentré) de lumière. Ce faisceau a la particularité d'être un faisceau cohérent et monochromatique [19].

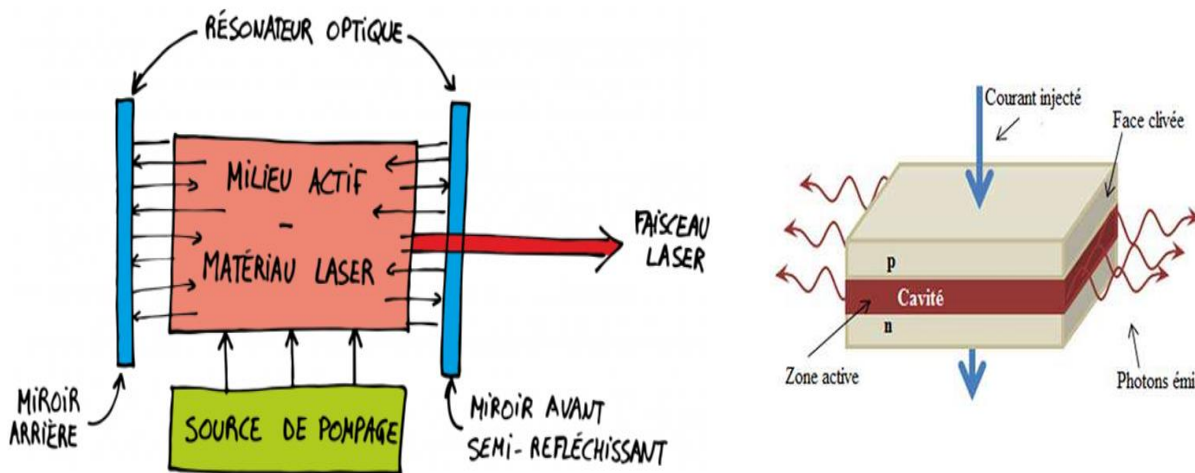


Figure 23. Le principe de fonctionnement d'un laser à diode [18] [19].

Les broches se situent généralement au centre de l'axe de rotation de la machine-outil. Entraînées par un axe contrôlé par le contrôleur CNC, les broches sont des composants essentiels dans un centre d'usinage CNC. Leur forme détermine la vitesse, le type de matériau pouvant être usiné et la force de coupe. [22]



Figure 24 . Spindle

5. Réalisation des pièces sur la machine CNC

La programmation des pièces est l'étape la plus importante, la plus critique et la plus fondamentale du processus d'usinage, dont l'efficacité, l'exactitude et la précision influencent les performances et le fonctionnement de l'usinage pour le rendre meilleur et sans problème. Le programme d'usinage est essentiellement défini comme l'ensemble des instructions et leur séquence pour décrire le travail qui doit être effectué sur la pièce. Ces instructions sont transférées sous une forme compréhensible à l'ordinateur contrôlé par le programme informatique de la CNC. La programmation des pièces comprend essentiellement les opérations de collecte des données nécessaires à l'usinage de la pièce, le calcul de la trajectoire de l'outil et la rotation des composants dans un format acceptable pour l'unité de commande de la machine (MCU) ou sous la forme d'une bande perforée standardisée. Il s'agit essentiellement du transfert d'une idée d'une feuille de dessin à une feuille de programme informatique bien définie et systématique.

Méthodes de programmation des pièces

Les méthodes de programmation des pièces peuvent être de quatre types : la programmation manuelle des pièces, la programmation assistée par ordinateur, la programmation des pièces à l'aide de la CAO/FAO et la saisie manuelle des données.

5.1.1. Programmation manuelle des pièces

Dans la programmation manuelle des pièces, les données nécessaires à l'usinage sont écrites dans un format standard connu sous le nom de manuscrits de programme. Chaque ligne horizontale d'un manuscrit représente un "bloc" d'informations. Il peut s'agir de la feuille de route ou de la liste des instructions. Pour préparer un programme de pièces, le programmeur de pièces doit connaître tous les codes de toutes les opérations et fonctions [20].

Les programmes de pièces qui sont basés sur un mouvement d'outil de type point à point sont réalisés essentiellement pour les pièces simples, tandis que le contour est réalisé pour les pièces complexes. La programmation manuelle des pièces facilite l'application des opérations point à point telles que le perçage et les opérations de profilage sur les travaux, bien que profilage soit effectué pour les opérations de fraisage et de tournage simples impliquant un système à deux axes. Pour les pièces 3D de forme complexe, la programmation assistée par ordinateur est généralement recommandée en raison de ses avantages [17]

5.1.2. Programmation des pièces assistée par ordinateur

La programmation manuelle des pièces peut être longue, fastidieuse et sujette à des erreurs pour les pièces comportant des opérations. Dans ces cas, et même pour des travaux plus simples, il

est avantageux d'utiliser la programmation des pièces assistée par ordinateur. Divers logiciels de langage de programmation de pièces CNC ont été développés pour permettre à l'utilisateur d'écrire des programmes dans des langages de haut niveau. Ces langages de haut niveau sont ensuite compilés dans un langage de bas niveau ou langage machine pour être directement interprétés par la machine CNC. La programmation des pièces assistée par ordinateur améliore la précision, l'efficacité et l'efficacité de l'opération de programmation des pièces, ce qui permet d'économiser du temps et de la main-d'œuvre. La programmation des pièces assistée par ordinateur comprend des tâches qui doivent être suivies dans l'ordre

- Traduction des données d'entrée ;
- Calculs arithmétiques et de décalage des fraises ;
- Modification
- Post-traitement. [20]

5.1.3. Structure de programmation des pièces

La structure de programmation des pièces est une partie très importante de la programmation CNC. Le programme pièce est constitué des termes très importants. Ces termes sont des concepts de base des méthodes de programmation sous forme d'abréviations et d'expressions, que l'on appelle simplement les codes de programmation. Les quatre termes de base utilisés dans la programmation CNC :

- Caractère : la plus petite unité du programme CNC ; il se compose de la lettre de chiffre et symbole.
- Mot : Il s'agit d'une combinaison de caractères alphanumériques, créant une seule instruction destinée au système de contrôle. Les mots sont essentiellement une collection de caractères qui sont eux-mêmes une combinaison de chiffres binaires (bits) disposés en rangées. Ces mots CN fournissent des instructions pour le mouvement de la machine-outil dans ses positions X-Y-Z, ses avances, ses commandes préparatoires, ses fonctions diverses et bien d'autres définitions.

Adresse (1 ou 2 lettre / 1 caractère)	Signe algébrique (+ / -)	Données numériques (Chiffres lié à l'adresse)
---	-------------------------------------	---

Figure 25a. Format d'un mot

On distingue deux types de mot :

Mots définissant des dimensions :

X	+	5.3
---	---	-----

Mots définissant des fonctions :

G	0	2
----------	----------	----------

Les mots CN se combinent pour former un bloc qui est un programme complet.

- a. Fonction préparatoire (G-Word) appelée codes G est généralement représentée par deux chiffres précédés de la lettre G
- b. Coordonnées (mots X, Y et Z) utilisé pour attribuer les positions finales de la machine-outil pour ses mouvements X, Y, Z.
- c. Fonction d'alimentation (F-Word) utilisée pour spécifier la vitesse d'avance de l'opération d'usinage qui est essentiellement exprimée en millimètres par minute (mm/min) ou en millimètres par tour (MM/rev) en fonction des codes G appropriés (G94 ou G85)
- d. Fonction de vitesse de broche (S-Word) est utilisée pour spécifier la vitesse de la broche en tours par minute (tr/min)
- e. Fonction de sélection d'outil (T-Word) utilisé pour les machines CNC dotées d'un changeur d'outils automatique ou d'une tourelle à outils pour désigner l'outil requis pour une opération spécifiée.
- f. Fonction Divers (M-Word) : Diverses fonctions auxiliaires sans rapport avec les mouvements dimensionnels réels de la machine-outil, comme le liquide de refroidissement ON/OFF, le START/STOP de la broche, etc., sont généralement représentées par des mots M.
- Bloc : dans le système CNC, une seule instruction est utilisée pour le bloc, c'est un simple mot utilisé dans le système CNC. Le bloc peut être utilisé pour plusieurs instructions. Il s'agit d'un ensemble d'instructions dans le système CNC pour des lignes individuelles logiquement les unes après les autres. Ainsi, chaque ligne se compose de plusieurs caractères et chaque ligne en séquence est appelée bloc.

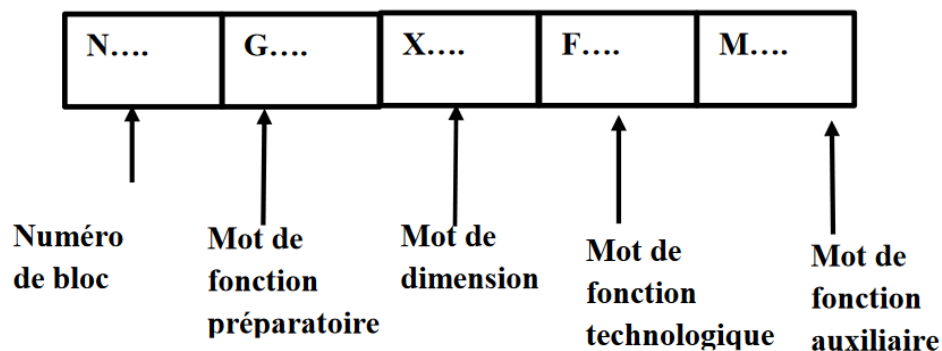


Figure 26b. Format d'un bloc

- Programme : Structure d'un programme CN : les commandes sont introduites dans le contrôleur sous forme d'unités appelées blocs ou instructions format des blocs

- Format séquentiel fixe
- Format séquentiel à tabulation
- Format d'adresse de mot [16]

Les techniques de fabrication des machines CNC

5.1.4. Injection plastique

L'injection est une méthode qui vise à générer rapidement des objets en quantités très importantes. Grâce à cette méthode, il est possible d'obtenir en une seule opération des pièces complètes en matière plastique, de formes complexes, avec des poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

L'injection plastique : des presses mécaniques injecte la matière fondue sous haute pression dans des moules en aluminium. Suite au refroidissement, ces moules offrent la possibilité de créer des objets de dimensions et de formes variées.

Les différentes étapes du processus d'injection se fait en cinq étapes, voir figure 30 :

- Étape 1 (a) : le processus de dosage.
- Étape 2 (b) : la phase d'injection.
- Étape 3 (c) : le processus de compactage.
- Étape 4 (d) : le processus de refroidissement.
- Étape 5 (d) : la phase de libération. [23]

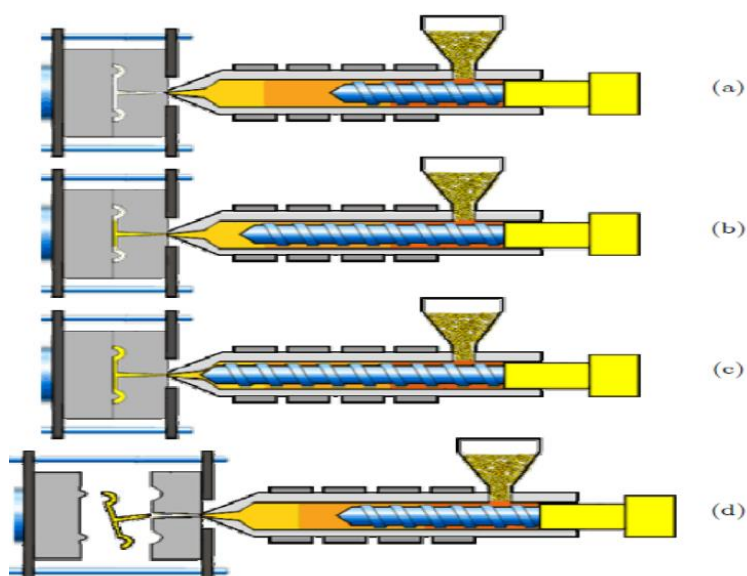


Figure 27. Les étapes d'injection de plastique [23]

Le rôle de technique d'injection pour les machines CNC

Pièces structurelles utilisées dans les machines à commande numérique : Les cadres, les supports et autres éléments structurels peuvent être fabriqués par injection de plastique afin de garantir leur solidité et leur longévité.

Pièces mécaniques : Le plastique peut être injecté dans des pièces mécaniques telles que des engrenages, des poulies et des roulements afin réduire leur cout. Récepteurs électroniques : Les boîtiers, supports et autres éléments utilisés pour accueillir des composants électroniques peuvent être fabriqués par injection de plastique afin de les isoler et de les protéger.

5.1.5. Tour mécanique

Le tournage est une méthode de fabrication mécanique qui implique l'utilisation d'outils à arête unique pour découper la matière. La pièce est soumise à un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du processus, tandis que l'outil est soumis à un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, qui permet de déterminer le profil de la pièce. [24]

En combinant ces deux mouvements et la forme de la partie active de l'outil, on obtient des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes).

Ces machines servent principalement à l'usinage des arbres. La pièce, habituellement maintenue par le mandrin, qui possède un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la roue. La translation peut être effectuée par l'outil en suivant deux étapes, voir figure 31.

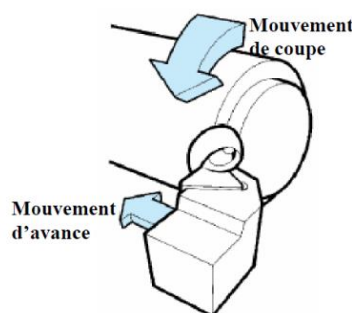


Figure 28. Le mouvement de l'avancement de tournage [24]

- La rotation de la pièce : La pièce à usiner est attachée à un mandrin qui varie à une vitesse régulée.
- Outil de Coupe : Un instrument de coupe est attaché à un chariot qui se déplace le long de l'axe de la section.
- Le contrôle du tour mécanique peut être effectué manuellement par l'opérateur en modifiant les vitesses, les avances et les positions de l'outil ou automatisé pour une précision et une efficacité accrues grâce à des programmes. Les tours contemporaines ont aussi la possibilité d'être équipées

de commandes numériques afin d'automatiser et de contrôler de manière précise les opérations d'exploitation. [24]

Le rôle de technique de tournage pour les machines CNC : Le tour mécanique revêt une importance capitale dans la production des machines CNC pour diverses raisons : Le processus d'usinage des composants consiste à fabriquer des pièces essentielles telles que les arbres et les vis avec une grande précision et une finition de haute qualité. Le processus de prototypage et de production est employé à la fois pour la création de prototypes et pour la production en série, offrant ainsi une grande souplesse dans les matériaux et les formes utilisées. En collaboration avec d'autres machines CNC, il est possible de réaliser des opérations d'usinage complexes et multi-axes.

5.1.6. Impression 3D

La technique de l'impression 3D englobe toutes les méthodes utilisées pour fabriquer des objets tridimensionnels à l'aide de machines contrôlées numériquement. Ces méthodes diffèrent totalement des techniques de production traditionnelles qui utilisent la soustraction de matière. Il existe trois techniques traditionnelles de fabrication, qui peuvent être combinées :

- Identifier des formes dans un ensemble de matériaux.
- Incorporez des morceaux de matière afin de créer une structure.
- Fabrication d'une matière liquide ou malléable et stabilisation de celle-ci.

L'impression 3D repose sur un modèle numérique tridimensionnel composé de logiciels CAD (Computer Aided Design). Ces modèles sont disponibles en fichiers numériques enregistrés dans des formats courants (stl). Après avoir été consultés dans un logiciel de préparation à l'impression (slicer), ils sont examinés et convertis en instructions transmises à l'imprimante, cette étape est nommée « slicing ». La matière est progressivement ajoutée par couches successives formant ainsi l'objet physique. Une illustration des étapes de l'impression 3D est représentée par la figure 32.

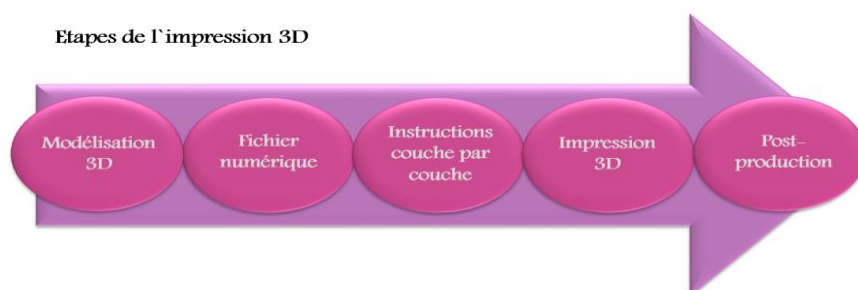


Figure 29.Schéma représentatif des étapes d'impression 3D

Le rôle de l'impression dans la fabrication des machines CNC

La technologie de l'impression 3D enrichit de manière efficace les capacités des machines CNC en proposant des bénéfices distincts lors du processus de production. Sa rapidité de production

permet d'accélérer le prototypage, offrant ainsi la possibilité de tester et de valider rapidement les designs avant l'usinage. En outre, elle se distingue par sa capacité à produire des pièces aux formes complexes et à produire des petites séries ou des pièces personnalisées de manière plus rentable et souple. La combinaison de l'impression 3D avec l'usinage CNC permet d'améliorer les processus de fabrication et de diversifier les matériaux utilisables, enrichir la gamme de productions.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié les machines à commande numérique par ordinateur (CNC), en détaillant l'importance de chaque composant mécanique, électronique et opérationnel. Les parties mécaniques, telles que le socle, les moteurs et les guides linéaires, assurant le mouvement précis des différentes parties de la machine ont été analysées. Les composants électroniques, comme les contrôleurs et les capteurs, ont été également étudiés pour comprendre leur rôle crucial dans la précision et le contrôle des opérations. Sur le plan opérationnel, a été exploré la programmation et la commande des interfaces utilisateur permettant de superviser les tâches de fabrication. En outre, nous avons défini les différents types de têtes de machines CNC, telles que les têtes de découpe et de fraisage, en expliquant leur fonctionnement et leurs applications spécifiques. Nous avons également abordé les diverses techniques de fabrication des machines CNC, incluant les méthodes d'impression, de tournage et de moulage.

Chapitre II : Conception et réalisation

1. Introduction

Dans ce chapitre, après avoir défini et spécifié les machines CNC en général dans leurs trois parties – mécanique, électronique et opérationnelle – que nous avons vues dans le premier chapitre, nous passons maintenant au choix de notre socle, des composants et des logiciels utilisés pour la réalisation de notre CNC laser.

Tout d'abord, nous avons choisi le logiciel Autodesk Fusion 360 pour le design des pièces 3D de notre prototype CNC laser. Ce logiciel nous permet de concevoir précisément chaque élément du prototype, en visualisant les interactions entre les différentes pièces et en optimisant le design pour la fabrication.

Ensuite, nous avons sélectionné les composants mécaniques pour le socle de la machine. Nous avons opté pour des profilés en aluminium 20x20 et 20x40, qui sont idéaux pour un prototypage rapide grâce à leur légèreté, leur solidité et leur modularité. Pour assurer le déplacement des axes, nous avons utilisé des poulies GT2 avec leurs courroies, connues pour leur précision et leur efficacité en termes de transmission de mouvement. Pour le déplacement des axes, nous avons choisi des moteurs pas à pas NEMA 17. Ces moteurs sont réputés pour leur fiabilité, leur précision et leur capacité à fournir un couple suffisant pour les applications de découpe laser. Ils sont également facilement disponibles et bien supportés par de nombreux contrôleurs CNC.

Nous avons également ajouté des roues pour permettre le déplacement fluide des axes sur les rails en aluminium. Après avoir rassemblé tous ces composants, nous avons procédé à l'assemblage de chaque axe, en veillant à la précision et à la stabilité de l'ensemble.

Une fois les axes assemblés, nous avons installé la tête laser avec sa carte mère. Cette dernière a été intégrée dans un boîtier avec notre microcontrôleur et l'interface graphique pour faciliter l'interaction avec la machine. Le boîtier assure également la protection des composants électroniques contre les poussières et les débris générés pendant le processus de découpe.

Avec l'assemblage terminé, notre prototype était prêt pour la configuration. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel OpenBuilds, qui permet de configurer et de calibrer la machine selon nos spécifications. Ce logiciel offre une interface intuitive pour ajuster les paramètres de la machine et s'assurer qu'elle fonctionne correctement. Après avoir configuré la machine, nous avons effectué des tests de découpe et de gravure sur divers matériaux tels que le bois, le plastique, le papier, le

carton, le cuir et le plexiglas. Ces tests nous ont permis de vérifier la précision et l'efficacité de notre CNC laser, et d'ajuster les paramètres en conséquence pour optimiser les performances.

2. Le choix des matériaux

Après avoir présenté la composition générale des machines CNC, y compris leurs composants électroniques et mécaniques, nous allons maintenant détailler notre choix spécifique de composants pour la réalisation de notre propre machine CNC laser.

2.1. Le châssis de machine CNC laser

Pour le châssis de notre machine CNC nous avons choisi une solution rapide en utilisant des profilés en aluminium de deux dimensions 20x20 mm et 20x40 mm, voir figure 33.

Les profilés 20x20 mm sont utilisés pour les axes Y et Z, où une robustesse moindre est suffisante, tandis que les profilés 20x40 mm sont réservés aux parties nécessitant plus de solidité, telles que l'axe X et les pieds de la machine. Cette combinaison assure une structure solide et stable, idéale pour monter les autres composants de manière efficace.

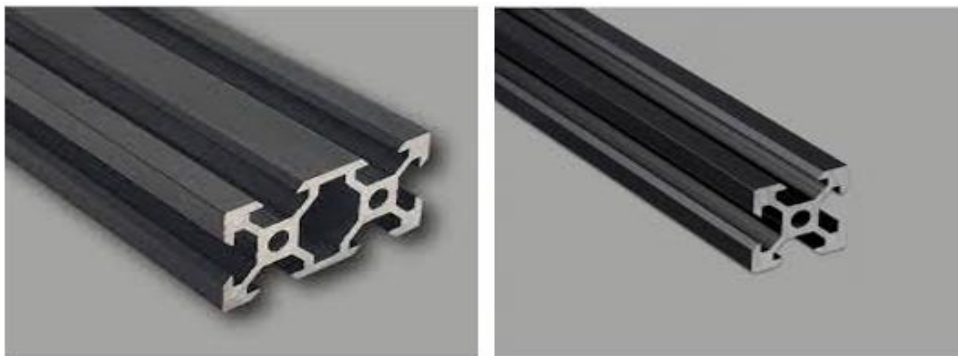


Figure 30. Profilé aluminium 20*20 et 20*40

2.2. Mécanisme de mouvement

Pour le mouvement des axes de notre machine CNC laser, nous avons opté pour une configuration spécifique :

Axe X et Axe Y :

Motorisation Automatique : Ces axes sont équipés de moteurs pas-à-pas NEMA 17 en raison de leur couple élevé et de leur capacité à fournir des mouvements précis et fluides. Les moteurs sont contrôlés par des drivers TMC, qui ajustent le courant et les étapes pour assurer un fonctionnement silencieux et une précision optimale.

Mécanisme de Transformation de Mouvement : Pour convertir la rotation des moteurs en déplacement linéaire, nous utilisons des poulies et des courroies GT2. Cette combinaison garantit une transmission de mouvement efficace et précise sur les axes X et Y.

Système de Guidage Linéaire : Nous utilisons des roues de 23 mm sur un profilé aluminium de 20x40 mm pour l'axe X, et des roues de 15 mm sur un profilé de 20x20 mm pour l'axe Y. Ce système de guidage assure un mouvement linéaire précis le long des rails, optimisant la stabilité et la durabilité de la machine.

Axe Z :

Réglage Manuel : L'axe Z est réglé manuellement pour répondre à nos besoins spécifiques. Cette approche simplifie la conception, réduit les coûts et permet un ajustement précis de la hauteur, ce qui est essentiel pour le positionnement optimal du laser par rapport au matériau à traiter.

2.3. Contrôle Électronique :

Nous utilisons le microcontrôleur MKS DLC 32 v2.1, qui joue un rôle central en tant que cerveau de la machine CNC. Ce microcontrôleur reçoit les instructions de l'utilisateur sous forme de G-code et coordonne tous les mouvements et actions de la machine. Il contrôle également les moteurs pas-à-pas, les drivers TMC, ainsi que les autres composants électroniques essentiels.

En plus de ses fonctions de contrôle, le MKS DLC 32 v2.1 facilite la communication entre l'utilisateur et la machine. Il permet le chargement des fichiers G-code et offre un écran convivial pour configurer les paramètres de la machine, assurant ainsi une utilisation efficace et précise de votre CNC laser.



Figure 31. Le microcontrôleur MKS dlc V2.1 avec leur écran.[25]

2.4. Tête Laser Diode :

Réalise l'usinage (gravure et découpe) en focalisant un faisceau laser sur la pièce à travailler. La tête laser est montée sur l'axe de la machine et se déplace en fonction des instructions du microcontrôleur pour usiner avec précision.

2.5. Le système de sécurité :

Pour détecter les positions limites des axes, nous avons ajouté les capteurs de fin de course, ce qui permet d'éviter les mouvements excessifs qui pourraient causer des dommages à la machine.

3. Conception des pièces mécaniques

La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) regroupe divers outils et programmes informatiques qui aident les ingénieurs dans la conception et le développement de produits. Un système de CAO permet de représenter et d'analyser le fonctionnement d'un objet de manière virtuelle, sans avoir besoin de le fabriquer physiquement. De nombreux logiciels de CAO sont disponibles, parmi lesquels on peut citer :

- Fusion 360,
- SolidWorks,
- FreeCAD,
- OpenCASCADE [24].

Pour la conception des pièces de notre projet, nous avons opté pour l'utilisation du logiciel Fusion 360. Ce choix s'est basé sur les capacités avancées de modélisation 3D offertes par ce logiciel, ainsi que sur sa facilité d'utilisation et sa polyvalence. Fusion 360 nous a permis de créer des modèles détaillés et précis, en mettant à notre disposition une large gamme d'outils pour la conception, l'analyse et la simulation des pièces. Grâce à ses fonctionnalités avancées, nous avons pu visualiser nos conceptions sous différents angles, effectuer des modifications en temps réel et vérifier leur faisabilité avant de passer à la phase de fabrication

3.1. Conceptions de pièces pour l'axe X

Premièrement l'axe X, nous avons conçu un support permettant de supporter le deuxième axe Y, accompagné de sa couverture équipée de quatre roues pour faciliter le déplacement le long de l'axe X (profilé en aluminium). L'espace réservé sur ce support permet de monter le moteur NEMA 17, qui est associé à une poulie GT2, essentielle dans le mécanisme de translation du deuxième axe.

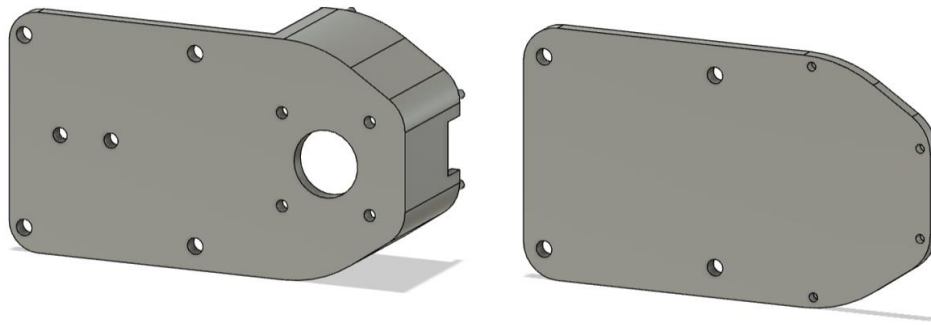


Figure 32. Le support de l'axe X avec sa couverture

Pour les dimensions du premier axe, nous avons élaboré un support spécifique destiné au moteur NEMA17. Ce support est équipé d'une poulie GT2 de largeur de 10 mm d'un côté pour assurer la transmission de mouvement. De l'autre côté, nous avons conçu une pièce dédiée qui se fixe solidement à l'axe X et le pied de socle. Cette pièce présente une structure solide et précise, intégrant également une deuxième poulie GT2 de 10 mm de largeur. Cette dernière est essentielle pour garantir un mouvement fluide et précis lors de la translation de l'axe X.

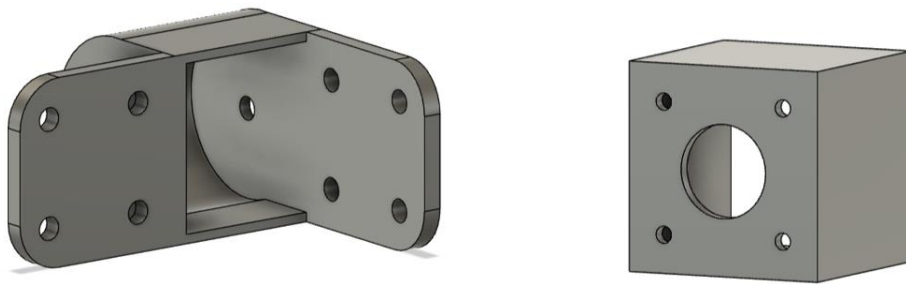


Figure 33. Les pièces de fin de l'axe X

3.2. Conceptions de pièces pour l'axe Y

Deuxièmement, pour l'axe Y, nous avons élaboré deux pièces contenant quatre roues pour faciliter le déplacement le long de l'axe Y. De plus, ces pièces ont été conçues pour supporter le troisième axe, assurant ainsi une stabilité et une fluidité optimales lors du fonctionnement du système.

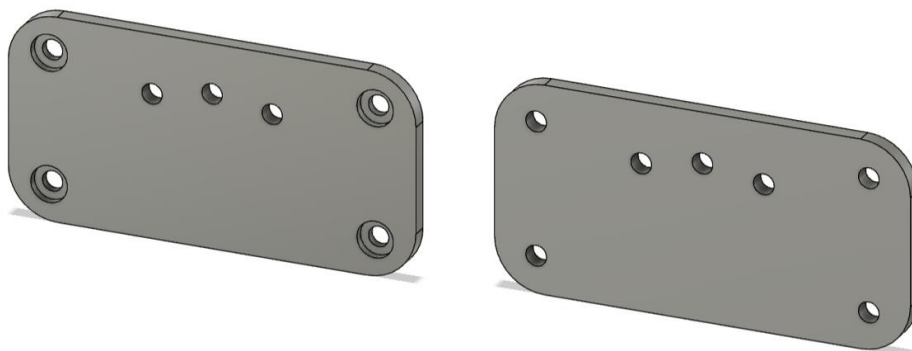


Figure 34. Le support de l'axe Y

La figure 30 montre la pièce de fin de l'axe Y, cette pièce s'attache à l'extrémité de l'axe Y et contient une poulie qui fonctionne en coordination avec la poulie GT2 et le moteur NEMA 17 placé sur la première pièce de l'axe X, voir.

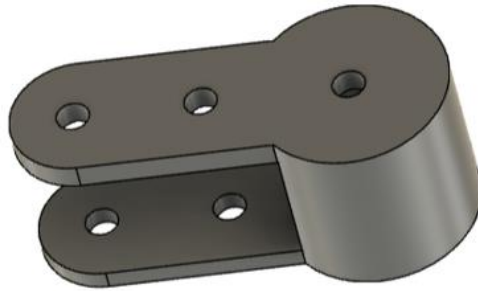


Figure 35. La pièce de fin de l'axe Y

3.3. Conceptions de pièces pour l'axe Z

En troisième lieu, cette pièce a été conçue pour fixer la tête laser sur le support avant de les monter ensemble sur profilé en aluminium.



Figure 36 . Le support de l'axe Z

3.4. Conceptions du boîtier pour le circuit électronique

Finalement, nous avons conçu un boîtier avec un couvercle pour abriter le microcontrôleur, les drivers, le contrôleur du laser, les filtres et le ventilateur. Ce boîtier donne également une forme ergonomique à notre écran pour une meilleure utilisation.

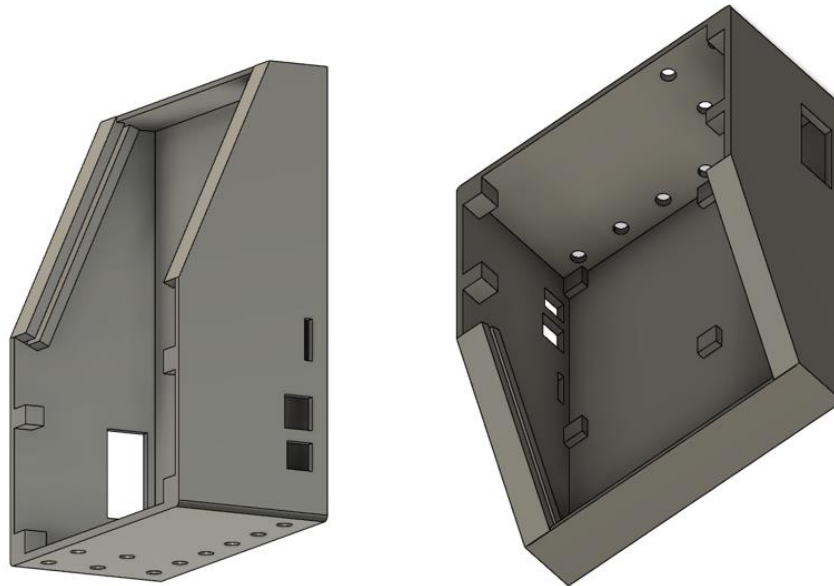
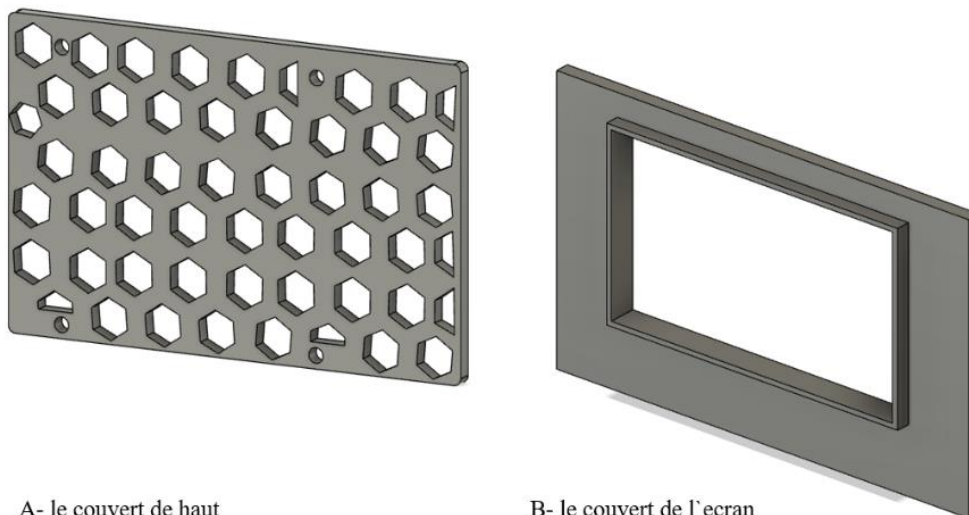


Figure 37 . Le boîtier de machine CNC



A- le couvert de haut

B- le couvert de l'ecran

Figure 38. Le couvercle de boîtier

4. Impression 3D des pièces mécaniques

Après avoir terminé la conception de nos pièces, nous sommes passés à la réalisation. Pour cela, nous avons utilisé l'imprimante 3D Geeetech A30M, avec la configuration suivante : la température du plateau a été réglée à 60 °C, la température de la buse était à 214 °C et le diamètre de la buse était de 0,4 mm de diamètre.

Nous avons choisi d'imprimer avec une résolution (épaisseur de la couche) qui varie entre 0.2 et 0.28 mm pour avoir une finition acceptable et rapide au même temps.

Pour le matériau d'impression, nous avons utilisé du filament PLA avec un diamètre de 1.75 mm. L'utilisation de ce matériau nous permet d'avoir des impressions de bonne qualité avec un minimum control de paramètres d'impression.

Dans certaines pièces nous avons généré des supports pour les sections de faible diamètre afin d'assurer la forme de la pièce et d'éviter les dommages. Cette figure représente un exemple :

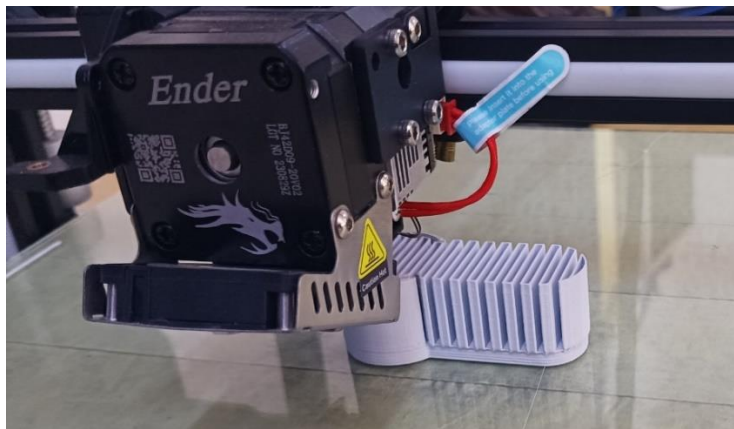


Figure 39. Impression d'une pièce avec la construction de supports

Une fois les paramètres de l'imprimante réglés, nous sommes passés à la conversion d'un modèle 3D en une pièce imprimée, nous avons suivi plusieurs étapes. Tout d'abord, nous avons exporté notre fichier de conception 3D depuis Fusion 360 au format STL. Ensuite, nous avons utilisé le logiciel Cura, un slicer open-source pour impression 3D développé par David Braam et maintenu par Ultimaker. Considéré comme l'un des meilleurs logiciels de découpe, Cura est compatible avec de nombreux formats de fichiers 3D tels que STL, 3MF, OBJ et X3D, ainsi qu'avec des formats d'image comme BMP, GIF, JPG et PNG. Nous avons utilisé Cura pour convertir le fichier STL en G-code, permettant ainsi à l'imprimante 3D de lire et d'interpréter les instructions nécessaires à l'impression. Le format G-code contient des instructions précises sur les

mouvements, les vitesses, les températures, la durée d'impression, la quantité nécessaire pour l'impression de la pièce et d'autres paramètres essentiels pour fabriquer la pièce.

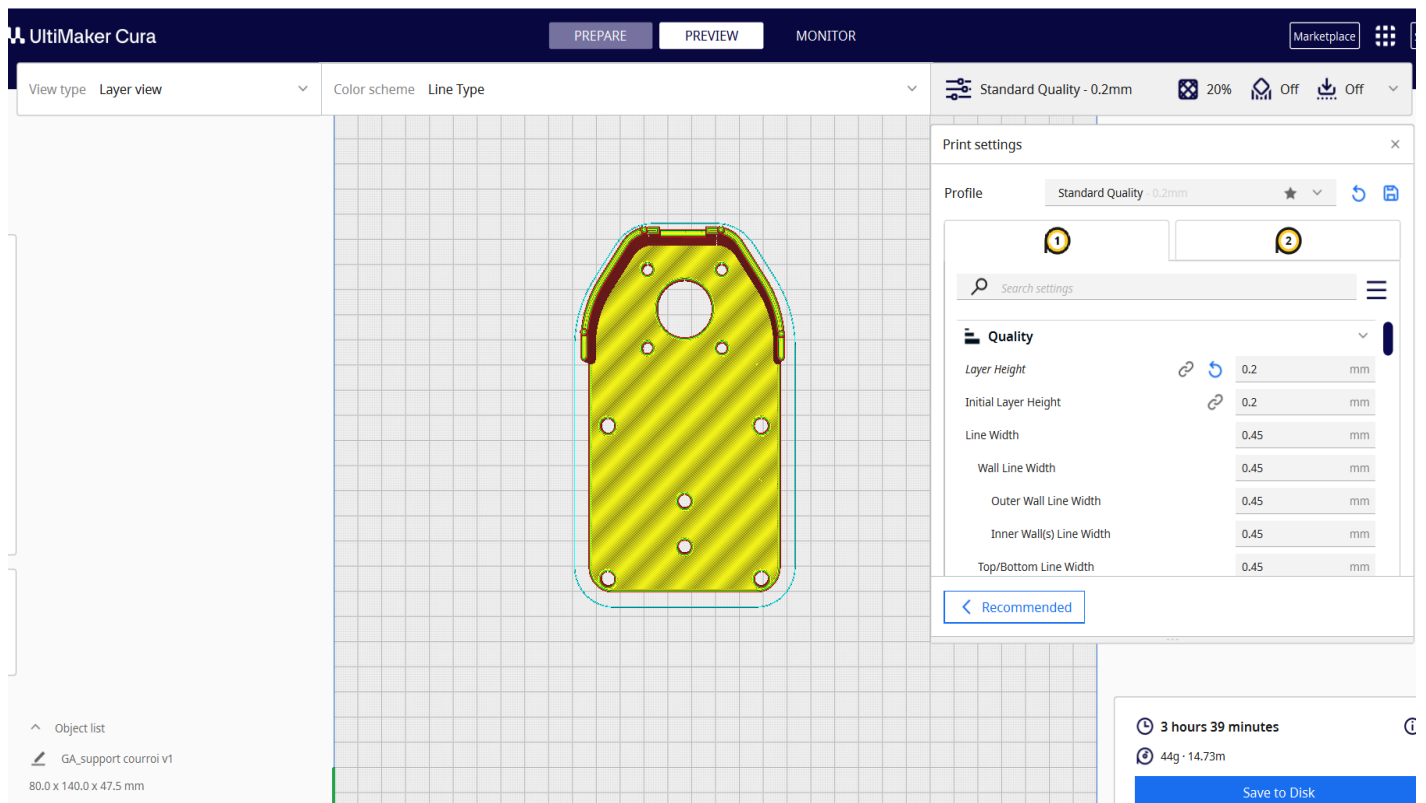


Figure 40. L'interface de logicielle Cura avec un exemple pour le tranchage

4.1. Impression des pièces pour l'axe X

L'impression des pièces de l'axe X

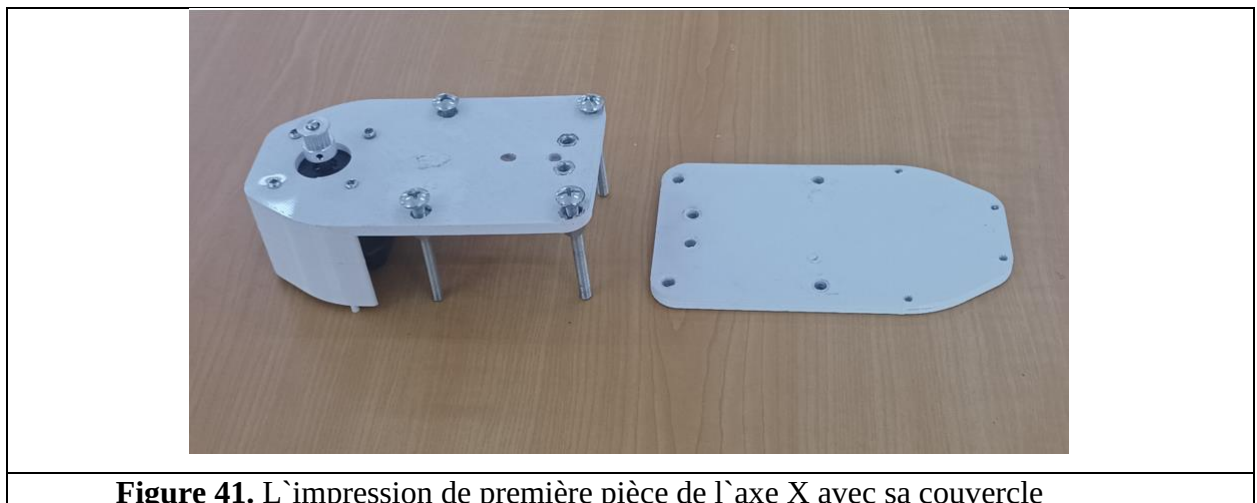


Figure 41. L'impression de première pièce de l'axe X avec sa couvercle

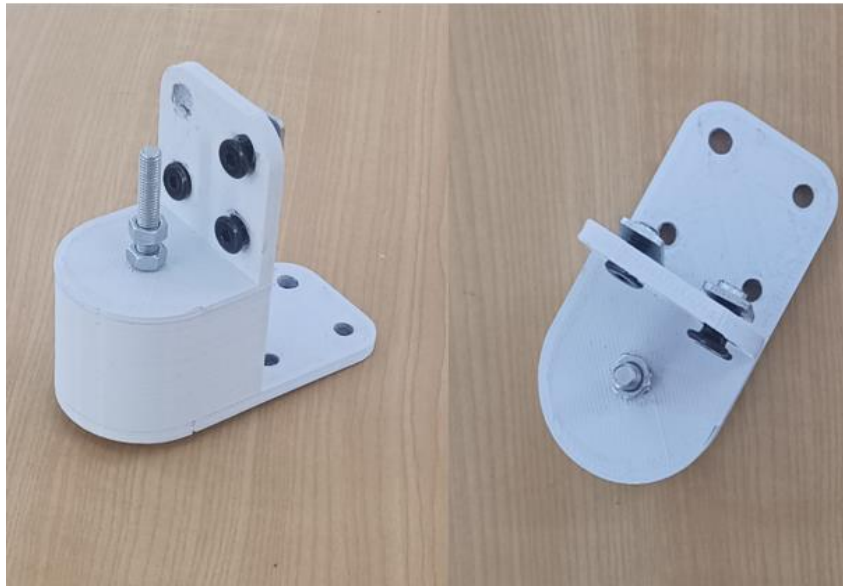


Figure 42. L'impression de pièce fin d'axe X

4.2. Impression des pièces pour l'axe Y

Les pièces imprimées de l'axe Y



Figure 43. L'impression de la première pièce de l'axe Y avec sa couvercle



Figure 44. Pièce de fin de l'axe Y

4.3. Impression des pièces pour l'axe Z



Figure 45. Support du Laser

4.4. Impression des pièces pour le boîtier de circuit électronique

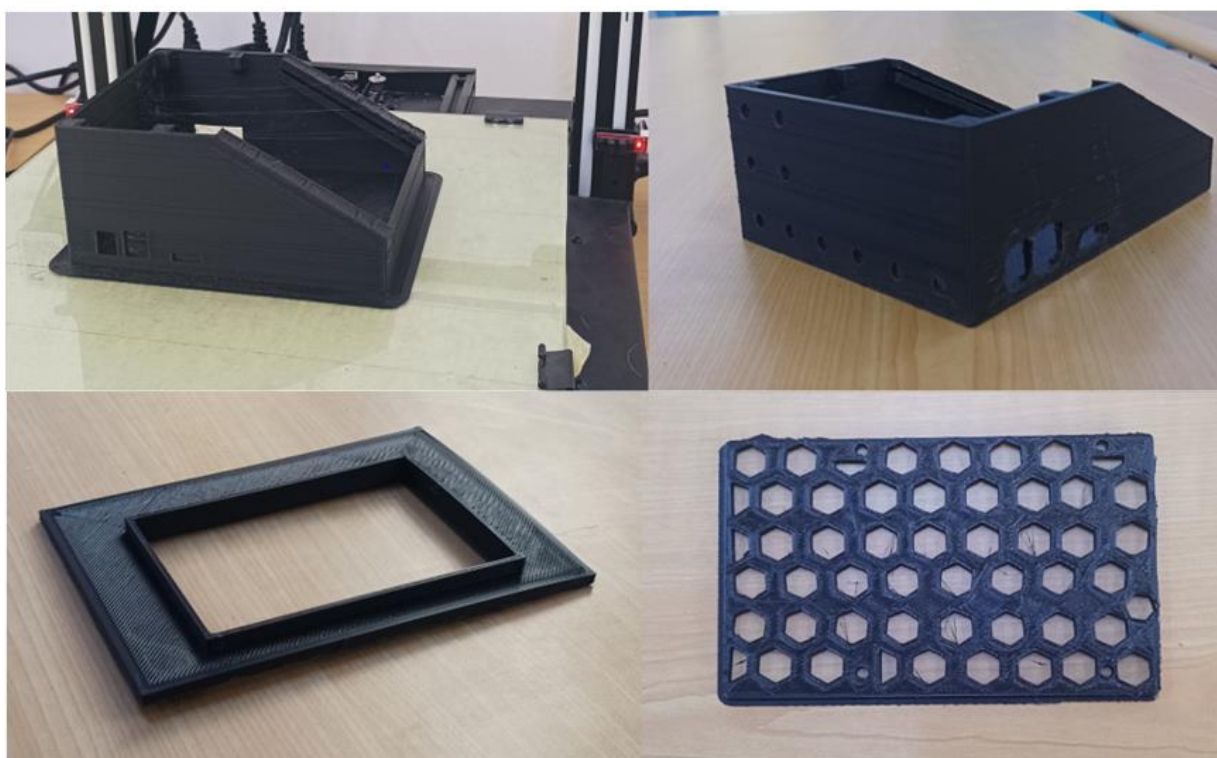


Figure 46. Boîtier avec sa couvercle

5.3. Assemblage de l'axe Z :

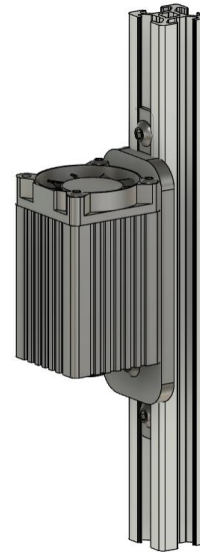
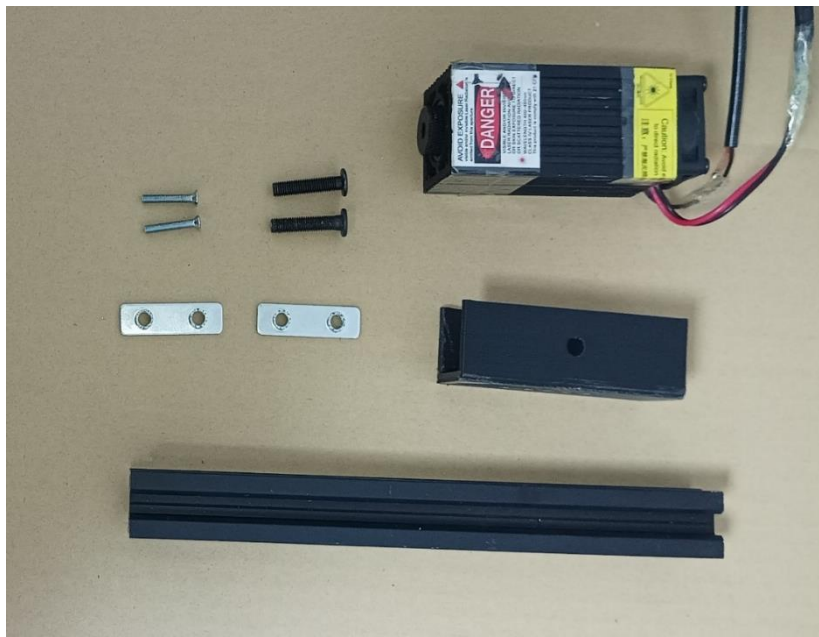


Figure 49. l'assemblage de l'axe Z

5.4. Assemblage de boîtier pour le circuit électronique

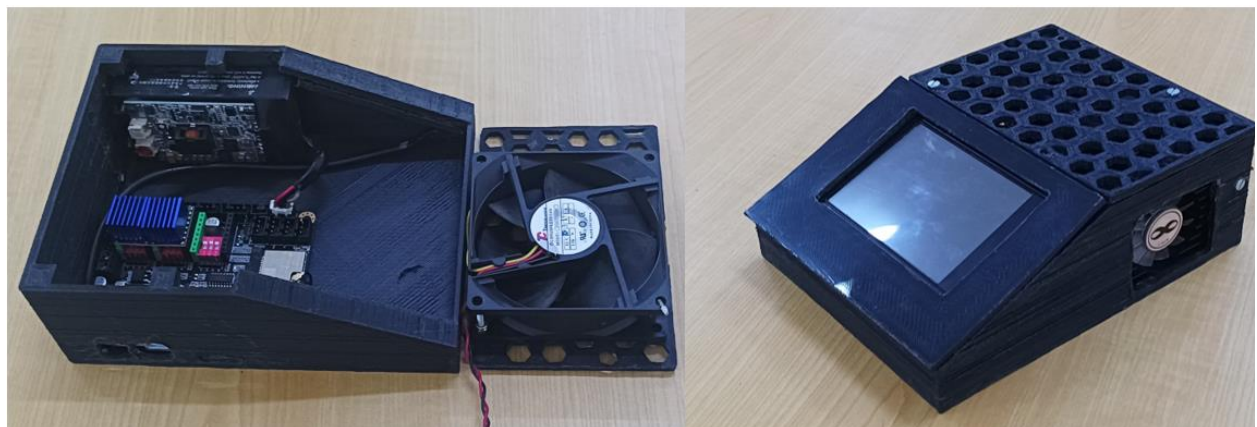


Figure 50. L'assemblage de boîtier de circuit électronique et le couvercle

5.5. Assemblage finale de la machine FOCUS CNC



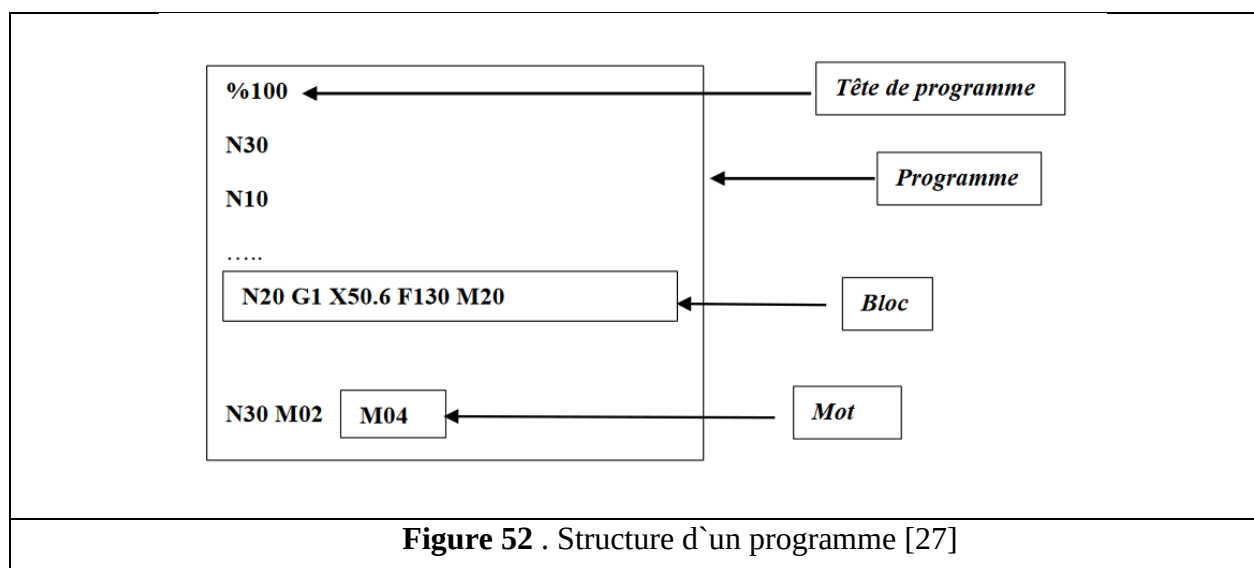
Figure 51. L'assemblage finale de la machine

6. Programmation du microcontrôleur et de l'interface

La programmation d'une machine à commande numérique (CNC) consiste à créer un ensemble d'instructions, appelées programme, pour contrôler les mouvements et les opérations de la machine. Ce programme est généralement écrit en G-code, un langage de programmation standardisé pour les machines CNC.

Un programme CNC comprend des commandes qui indiquent à la machine les mouvements à effectuer, tels que des déplacements linéaires ou circulaires, ainsi que des actions spécifiques comme le démarrage ou l'arrêt de la broche, les changements d'outil, et les ajustements de vitesse et de profondeur de coupe.

Le programme CNC doit inclure des caractères spécifiques de début et de fin pour délimiter le programme, et les blocs de code à l'intérieur sont exécutés dans l'ordre d'écriture, indépendamment de leur numérotation. Il est conseillé de numéroté les blocs séquentiellement pour faciliter la lecture et la gestion du programme.



Pour la programmation de notre machine CNC laser, nous nous sommes basés sur deux logiciels en relation avec le choix de notre carte électronique utilisée pour le contrôle de la machine.

Initialement, nous avons utilisé une carte Arduino Uno avec une carte CNC Shield V3. Cependant, en raison des caractéristiques spécifiques de la carte MKS DLC 32 V2.1, nous avons décidé de la remplacer. La carte MKS DLC 32 V2.1 présente plusieurs avantages : elle est très facile à utiliser, simplifie le travail et l'assemblage des composants, et occupe moins d'espace. De plus, elle utilise un microcontrôleur similaire à celui de la carte Arduino Uno. Nous avons donc identifié la méthode et le programme à suivre pour la programmation de notre machine CNC laser.

6.1. Arduino IDE :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateformes qui sert d'éditeur de code et de compilateur et peut transférer le firmware et les programmes à travers la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module) Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++, et connecté à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. Le développement de programmes sur les plateformes Arduino est simple avec l'utilisation de ce langage standard pour toute personne qui maîtrise le C ou le C++.

Le logiciel IDE d'Arduino doit être chargé pour pouvoir programmer la carte Arduino. [1]

Pour la programmation du microcontrôleur Arduino, d'un environnement de développement appelé IDE (*Integrated Development Environment*), au moyen duquel on entre directement en contact avec la carte et on charge le programme dans le microcontrôleur. Un programme est appelé sketch dans le contexte Arduino. [9]

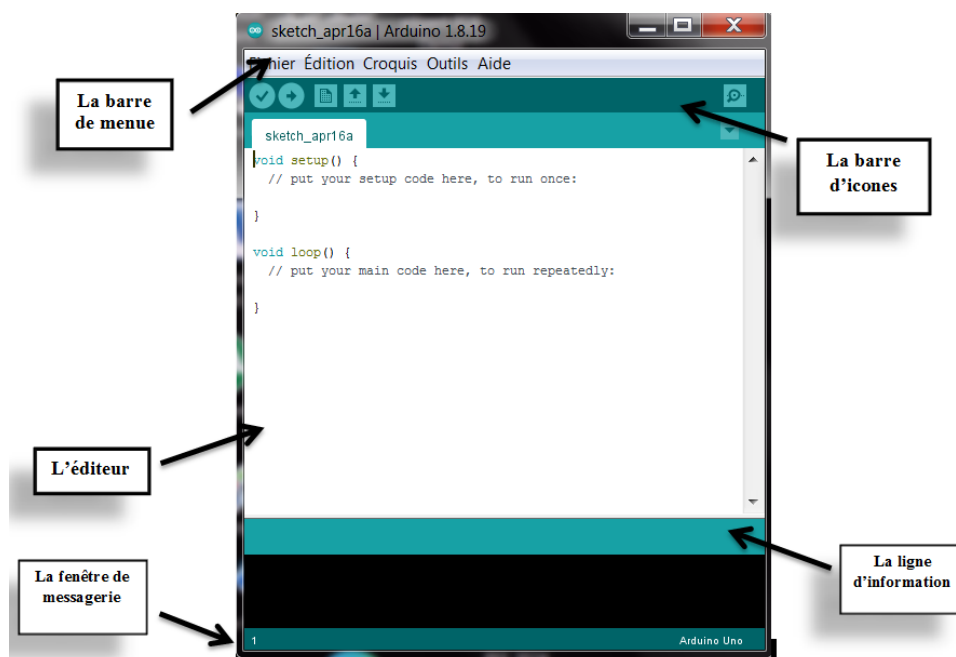


Figure 53. L'interface de programmation

Un sketch Arduino a toujours deux fonctions distinctes. La première est connue sous le nom de configuration et n'est exécutée qu'une fois après le lancement du programme. Elle contient généralement des instructions pour certaines ressources de la carte, telles que l'entrée/sortie (entrée/sortie), la définition de la vitesse de fonctionnement du port série, etc. Elle s'écrit comme suit :

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

}

```

La seconde fonction, appelée Loop (boucle en anglais), contient des instructions qui seront répétées indéfiniment tant que l'Arduino restera sous tension. La fonction Loop s'écrit de la fonction suivante :

```

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

}

```

Après la confirmation des caractéristiques de notre carte et d'interface A ce stade, on est capable de programmer notre Arduino mais la question est : Avec quel Firmware ?

Ici, nous allons utiliser le firmware GRBL, qui est gratuit et largement utilisé dans les CNC grand public.

Comment installer GRBL sur une carte ARDUINO ?

D'abord on doit télécharger la bibliothèque de grbl "Source code (zip)"

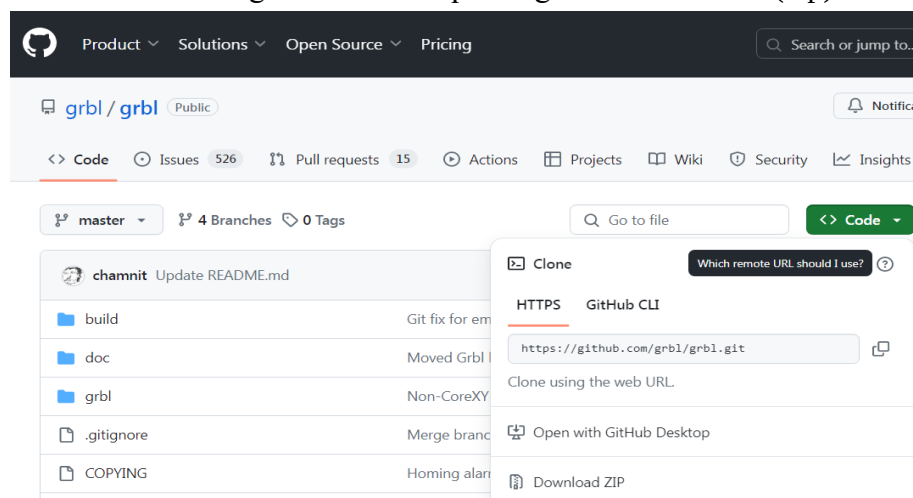


Figure 54.Le téléchargement de bibliothèque GRBL

La bibliothèque GRBL pour Arduino est un logiciel libre conçu pour la commande numérique des machines CNC. Elle permet à un Arduino de lire des commandes en code G provenant d'un ordinateur ou d'un autre contrôleur et de les traduire en mouvements et opérations CNC précis. La bibliothèque GRBL offre une solution efficace et conviviale pour automatiser et contrôler les machines CNC pour la découpe, la gravure et d'autres applications. Grâce à ses performances fiables et à sa facilité d'utilisation, elle est largement utilisée par les débutants et les professionnels.

Ce dossier est une bibliothèque pour le logiciel Arduino IDE, on va donc retourner sur le logiciel et inclure ce dossier grbl. Après l'incisé nous reste plus qu'à programmer la carte Arduino avec notre système.

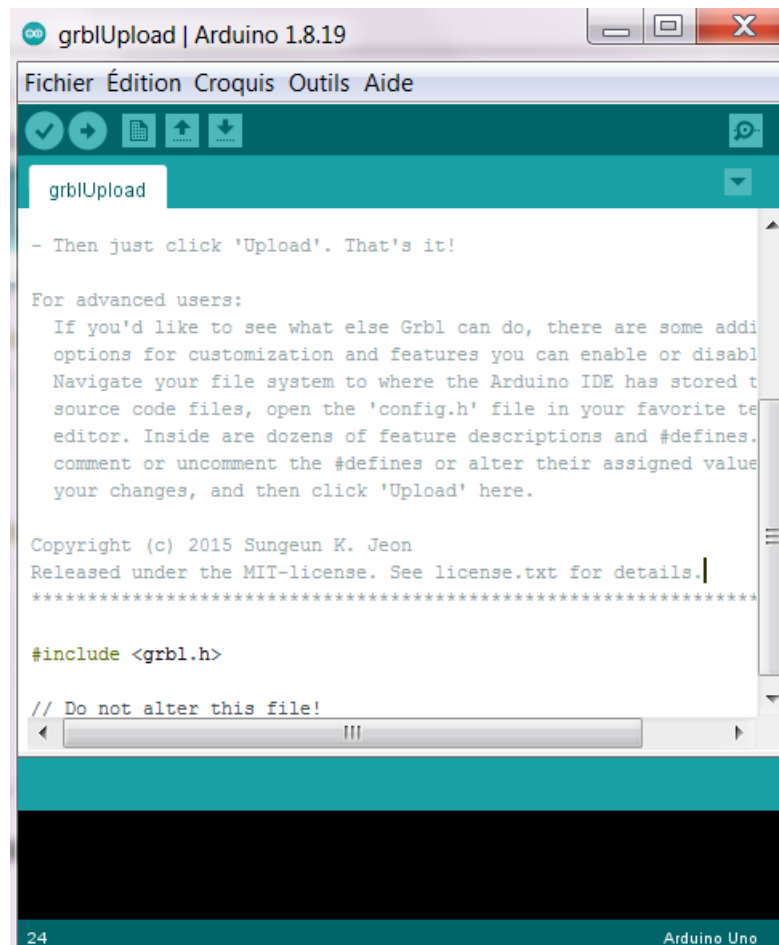


Figure 55 . L'interface IDE avec la bibliothèque GRBL

6.2. G-code :

Le G-code est le langage le plus utilisé pour contrôler une machine à commande numérique (CNC). C'est un langage de programmation qui permet de programmer les mouvements que la machine va effectuer. Le fichier contenant cette suite d'instructions est appelé un programme.

Le G-code se compose de fichiers texte simples, lisibles par l'humain, similaires à du code en C, Pascal ou Basic. Il inclut un certain nombre de "commandes" spécifiques qui indiquent à la machine le type de mouvement à exécuter (ligne droite, arc de cercle, etc.) ainsi que les coordonnées sur les axes X, Y et Z [26].

Les principales fonctions du G-code

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en Pouce par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96
M00/M01	Arrêt du programme, arrêt optionnel ou avec condition
M06	Changement d'outil
M30	Fin du programme, réinitialisation, rembobinage

Figure 56. Les principales fonctions du G-code [27].

La chaine de programmation de notre machine CNC laser

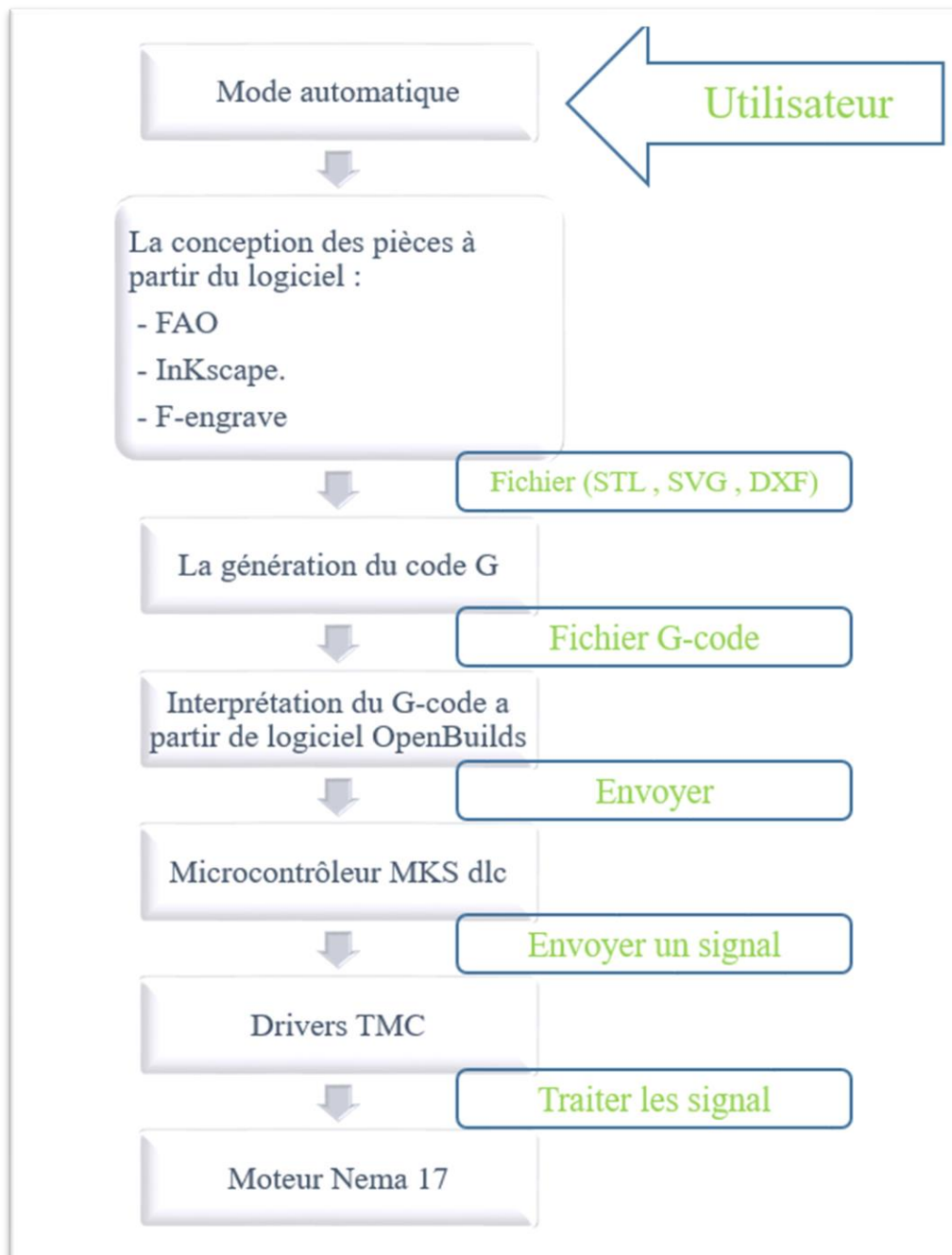


Figure 57. Chaine de programmation

7. Configuration de la machine CNC

Après l'installation de nos composants, nous avons procédé à la configuration de notre carte MKS DLC 32. Le micro-logiciel GRBL est près installé sur la carte, il faut juste le configurer.

Pour cette étape, nous avons utilisé le logiciel OpenBuilds pour configurer notre machine.

OpenBuilds Control est un logiciel de contrôle CNC open-source conçu pour gérer et optimiser le fonctionnement de diverses machines CNC, y compris les fraiseuses, les graveuses laser et les imprimantes 3D. Développé par la communauté OpenBuilds, ce logiciel offre une interface utilisateur intuitive permettant de charger et d'exécuter des fichiers G-code, de configurer les paramètres de la machine, et de surveiller en temps réel les opérations en cours. Il supporte une large gamme de microcontrôleurs et de configurations matérielles, facilitant ainsi la personnalisation et l'optimisation des performances de la machine CNC. OpenBuilds Control intègre également des outils de calibration et de diagnostic, assurant une précision et une fiabilité maximales pour les projets de découpe, de gravure et d'usinage.

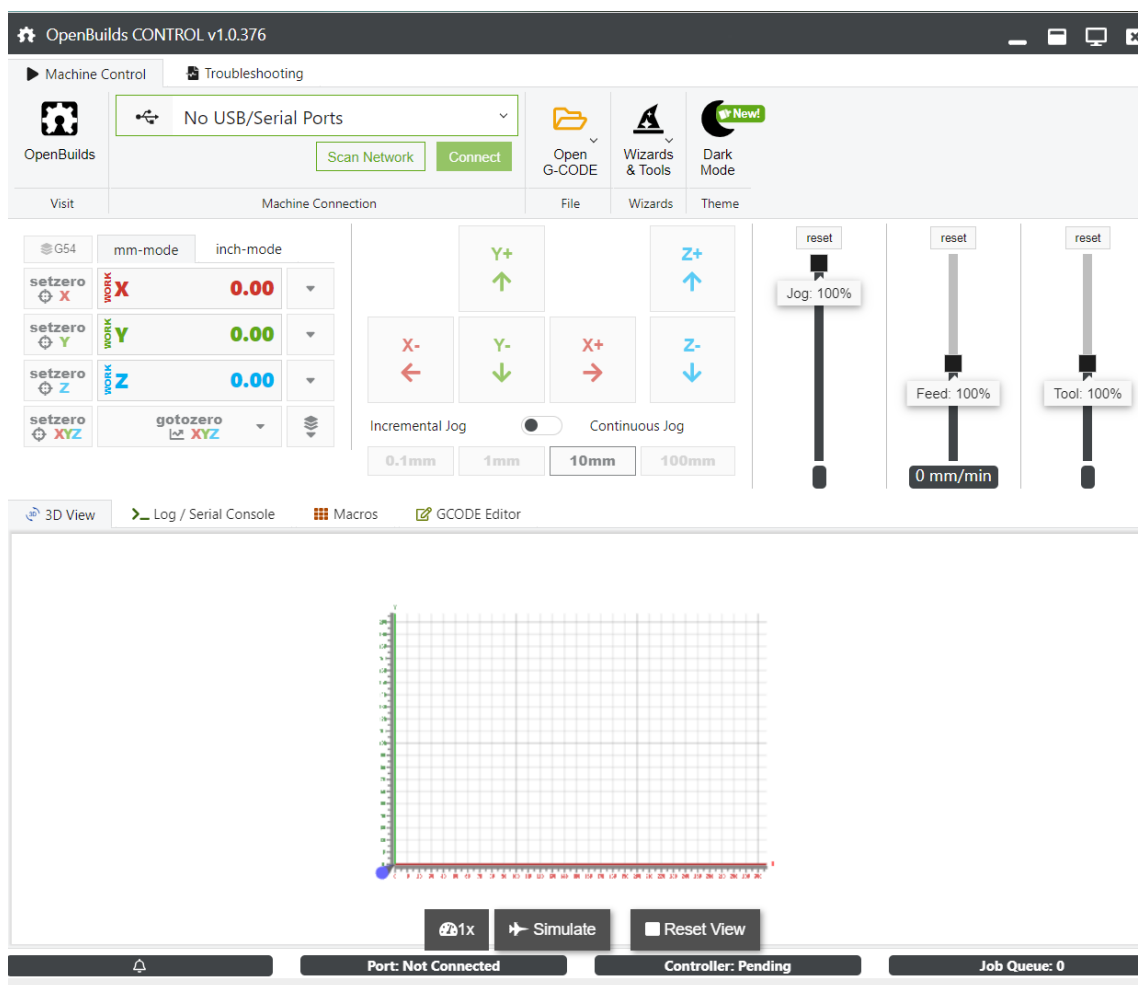


Figure 58. L'interface de logicielle OpenBuilds

Pour assurer le bon fonctionnement de notre machine CNC, nous avons d'abord connecté la carte de contrôle au logiciel OpenBuilds. Grâce à ce logiciel, nous avons pu configurer divers paramètres, notamment le nombre de pas, la vitesse, l'accélération, et le choix du système de transmission (comme le nombre de dents des poulies), ainsi que d'autres réglages essentiels.

À cette étape, nous effectuons des tests simples pour vérifier le fonctionnement des axes à l'aide du logiciel et de l'écran. Nous ajustons le nombre de steps par mm et, enfin, nous réalisons les ajustements nécessaires en fonction des résultats des tests afin d'assurer une précision et une fiabilité optimales.

8. Contrôle de la machine

Après avoir configuré notre machine, nous passons à son contrôle. Pour commencer, nous devons créer un design à graver sur un matériau spécifique. Pour concevoir le motif à graver, nous utilisons OpenBuilds CAM. Voir figure 62

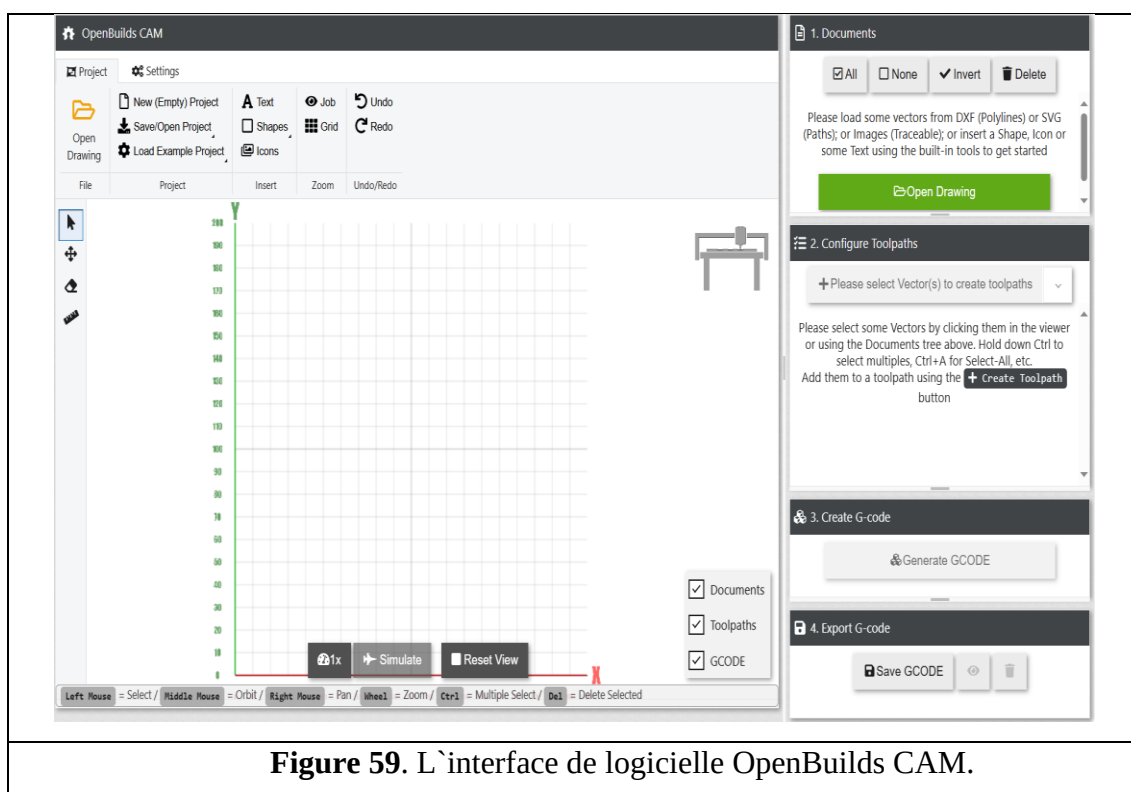


Figure 59. L`interface de logicielle OpenBuilds CAM.

Dans ce logicielle on a :

Sélectionné le type de notre tête CNC : nous avons choisi la tête laser diode comme type de tête de machine CNC. Cela indique que notre machine est configurée pour effectuer des opérations de gravure ou de découpe laser.

Création ou sélection du design : nous avons choisi un design préexistant ou créé un propre dessin. Cela pourrait inclure des motifs, des formes ou du texte que nous souhaitons graver ou découper avec le laser.

Définition des paramètres essentiels :

- **Puissance du laser :** nous avons défini la puissance du laser, qui détermine l'intensité du faisceau laser utilisé pour graver ou couper le matériau. Ce paramètre est crucial car il affecte la profondeur de la gravure ou la vitesse de coupe et se change en fonction de type de matériaux.
- **Vitesse :** nous avons également défini la vitesse à laquelle la tête laser se déplace pendant l'opération. La vitesse combinée avec la puissance détermine la qualité et la précision de la gravure ou de la découpe.
- **Type de gravure laser :** nous avons spécifié le type de gravure laser à réaliser, par exemple, une gravure Inside ou outside.

Génération du G-code : Une fois que nous avons configuré tous les paramètres nécessaires, le logiciel a généré un fichier G-code. Le G-code est un langage de programmation standard utilisé dans la fabrication assistée par ordinateur (FAO) pour contrôler les machines CNC. Il contient des instructions précises sur les mouvements de la tête laser, la puissance du laser et la vitesse à utiliser pour réaliser votre design.

Téléchargement du G-code : Enfin, nous avons téléchargé le fichier G-code généré à partir du logiciel vers la machine CNC. Ce fichier G-code est ensuite utilisé par la machine pour exécuter les opérations de gravure ou de découpe conformément aux paramètres définis. Une fois le fichier G-code téléchargé puis importé dans l'interface du contrôleur OpenBuilds, procéder au positionnement d'abord des axes X et Y de la machine CNC à l'endroit souhaité. Ensuite, démarrer l'exécution du fichier G-code pour initier la gravure ou la découpe, suivant précisément les instructions programmées dans le G-code.

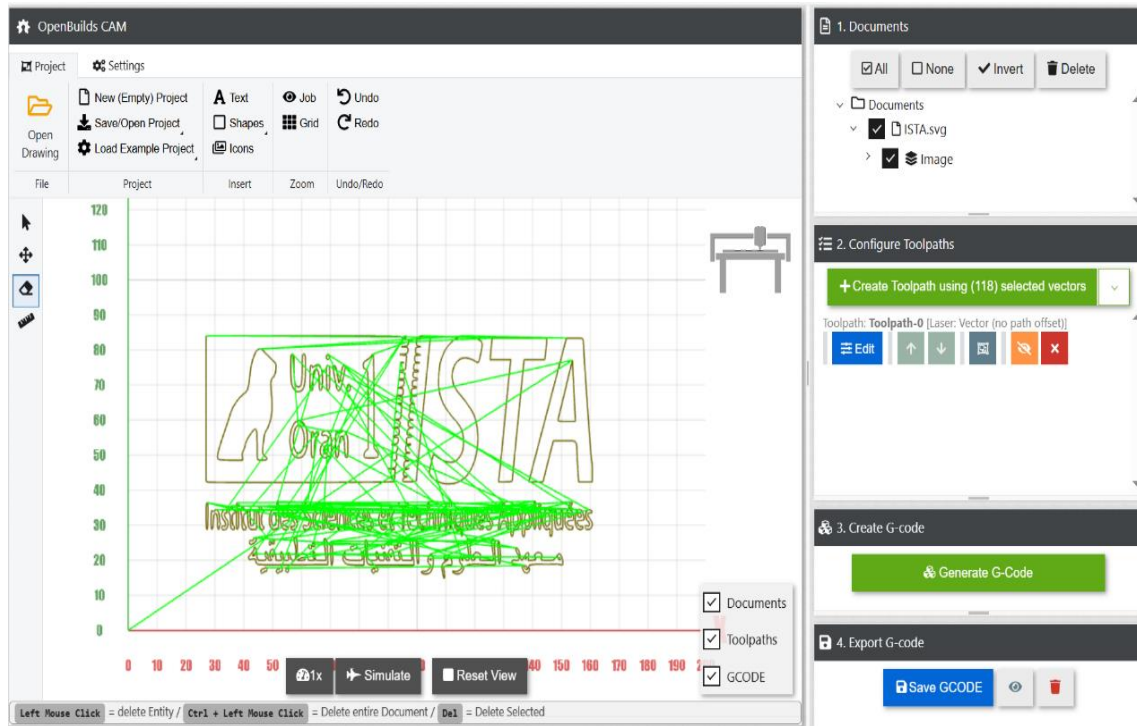


Figure 60. Exemple pour générer un fichier G-code par le logiciel OpenBuilds CAM

9. Test de la machine

Notre machine est équipée d'un Laser de 15W de puissance. Nous avons effectué plusieurs tests sur différents matériaux.

Papier : on a choisi une puissance de 50% et une vitesse de 2000 mm/min



Figure 61. Le teste de laser sur le papier

Le plastique : on a choisi une puissance de 100% et une vitesse de 200 mm/min pour la gravure

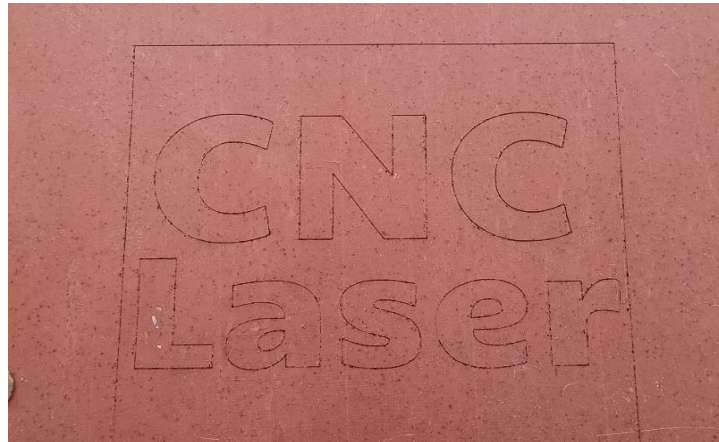


Figure 62. Le teste de laser sur le plastique

Cuire : pour le cuire nous avons choisi une puissance de 5 % et une vitesse de 500 mm/min. voici le résultat de teste :



Figure 63: le teste de laser sur le cuire

Jeans : pour le tissu jeans on a choisi une puissance de 5% avec une vitesse de 500 mm/min comme le cuire



Figure 64. Le teste de laser sur le tissu jean

Le bois : pour le bois on a choisi une puissance de 100% avec une vitesse de 1000 mm/min

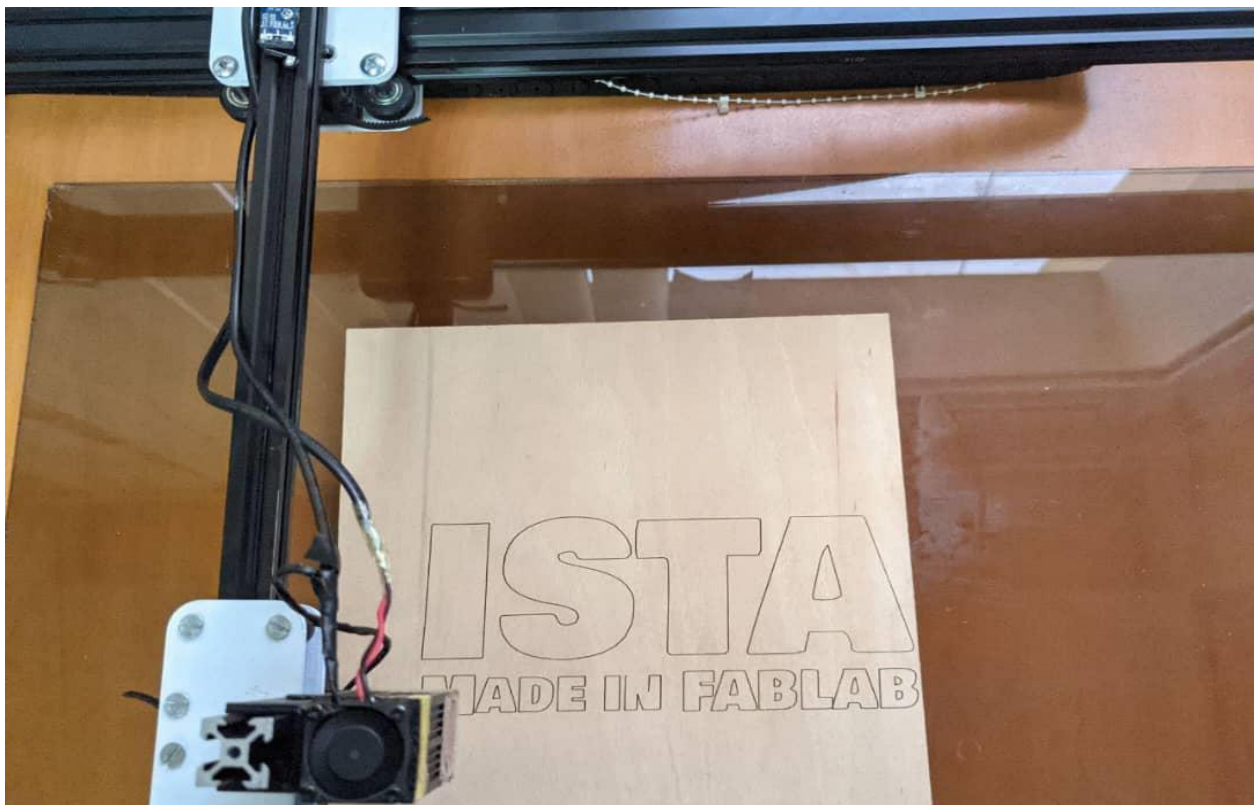


Figure 65. Le teste de laser sur le bois

10. Sécurité de la machine

Pour cette partie, nous avons ajouté une caméra ESP32 pour surveiller notre travailleur et un capteur de flamme pour détecter les incendies. Nous avons conçu une pièce spécifique intégrant la caméra ESP32 en utilisant le logiciel Fusion 360, ainsi qu'un support destiné à maintenir le capteur de flamme.

Cette conception permet une installation pratique et sécurisée de l'équipement de surveillance et de détection. Nous avons conçu la pièce suivante qui intègre la caméra ESP32 avec le logiciel Fusion 360 et un support pour porter le capteur de flamme.

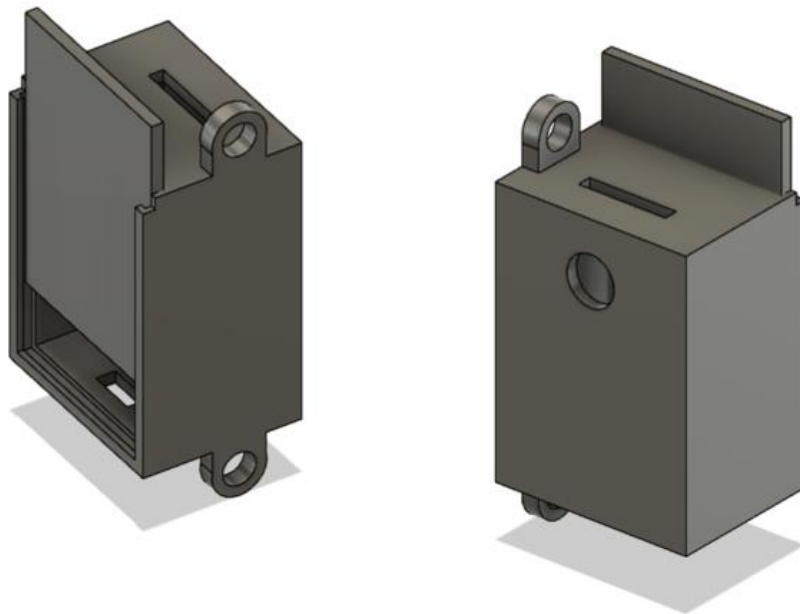


Figure 66. Support de camera ESP32

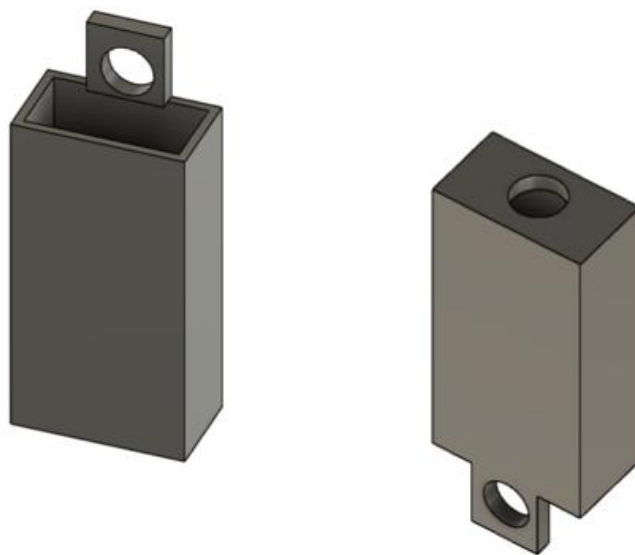


Figure 67. Support de capteur de flamme

L'impression des pièces :

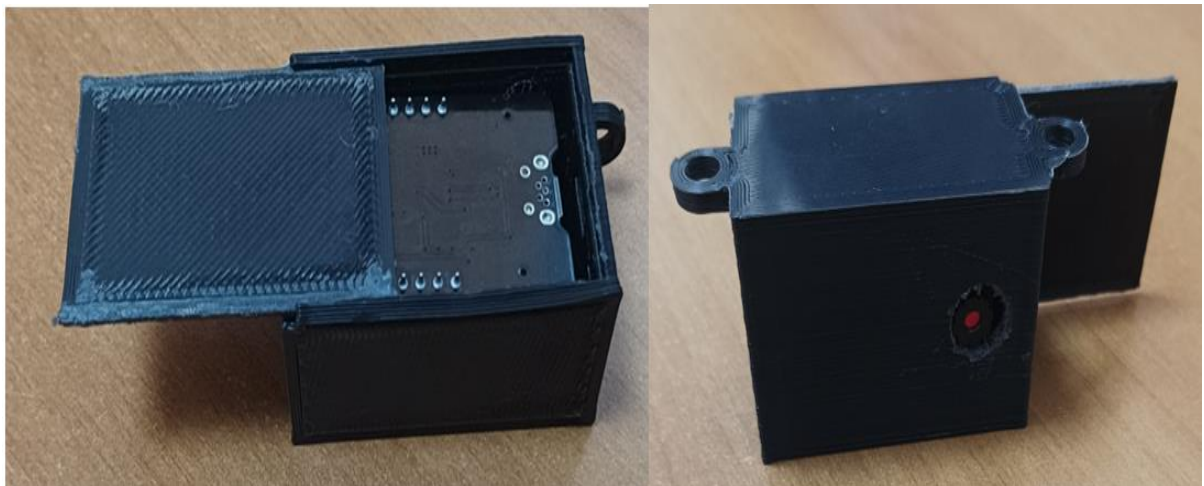


Figure 68. L'impression de support camera

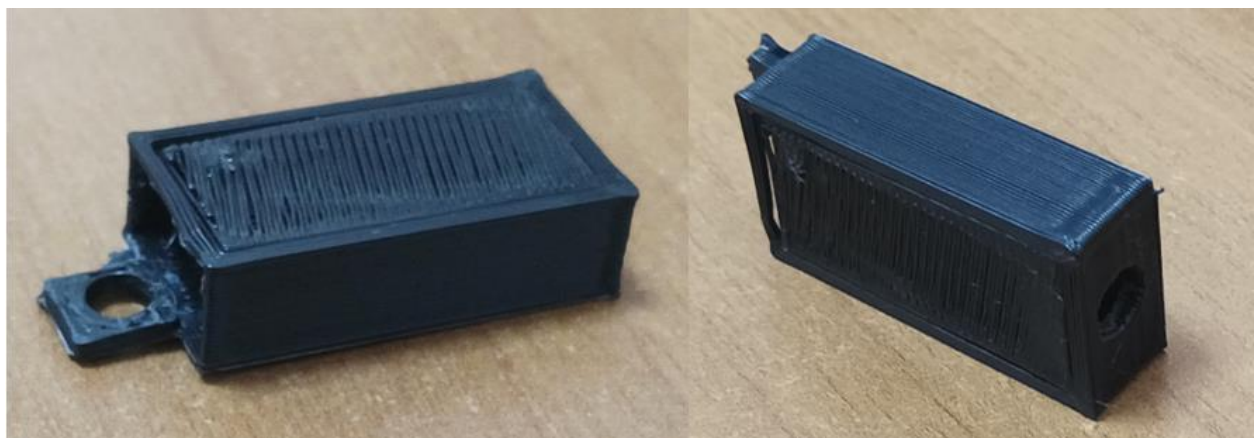


Figure 69. L'impression de support de capteur de flamme

11. Conclusion

Une machine CNC laser est fabriquée avec des caractéristiques bien spécifiques et des propriétés intéressantes, elle est baptisée « **FOCUS CNC** ». Les différentes étapes de réalisation a été largement décrit et avec beaucoup de précision. Une sélection méticuleuse des matériaux et des composants mécaniques et électroniques était primordiale. Le processus de conception est réalisé à l'aide du logiciel Fusion 360.

L'impression des pièces a été effectuée avec l'imprimante Geeetech A30M, tout en exploitant ses caractéristiques essentielles. La procédure d'assemblage des pièces construisant la machine CNC laser était menée avec rigueur et exactitude, que ce soit sur le plan mécanique ou électronique.

La configuration détaillée de la machine **FOCUS CNC** a été décrite à l'aide du logiciel OpenBuilds Controller. Chaque étape de configuration et de contrôle a été expliquée avec précision. Une multitude de configurations ont été testées afin d'obtenir un fonctionnement optimal et de bonne qualités de coupures.

Les capacités de la machine étaient explorées en testant ses performances sur différents types de matériaux (papier, tissu, bois, plastique), en ajustant les paramètres selon les besoins pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

Ce chapitre illustre le chemin parcouru depuis la conception initiale jusqu'à la réalisation pratique de notre CNC laser, mettant en lumière les défis rencontrés et les solutions apportées à chaque étape du processus.

Chapitre III : Projet Start-up

Ce chapitre est consacré à l'étude technico-économique de notre projet de lancement de la machine CNC laser, **FOCUS CNC**, sur le marché algérien. Nous avons analysé le marché pour comprendre les tendances actuelles, la demande potentielle et les concurrents, afin d'identifier les opportunités et les défis. Nous identifions les clients potentiels et évaluons les meilleurs sites pour lancer notre produit, en tenant compte des facteurs géographiques, économiques et logistiques. Nous définissons des objectifs clairs et mesurables en termes de ventes, parts de marché, satisfaction client et délais de mise en œuvre. Nous détaillons les étapes clés de la conception, production, marketing et distribution de notre produit incluant une chronologie des activités et des jalons importants. Enfin, nous présentons un plan financier couvrant les coûts de développement, production, marketing et distribution, en évaluant les sources de financement et les prévisions de rentabilité. Ce résumé offre une vue d'ensemble structurée de la manière dont nous prévoyons de lancer et réussir notre projet de machine CNC laser sur le marché algérien.

Premier axe : Présentation du projet

L'idée de projet :

Le projet de réalisation d'une machine CNC laser, **FOCUS CNC**, consiste à concevoir et fabriquer une machine de découpe et de gravure laser contrôlée par une interface. Cette machine est capable de travailler avec une grande précision sur divers matériaux tels que le bois, les polymères (plastique et nylon), les tissus, le cuire, le mdf, le carton et le plexiglas.

Les valeurs suggérées :

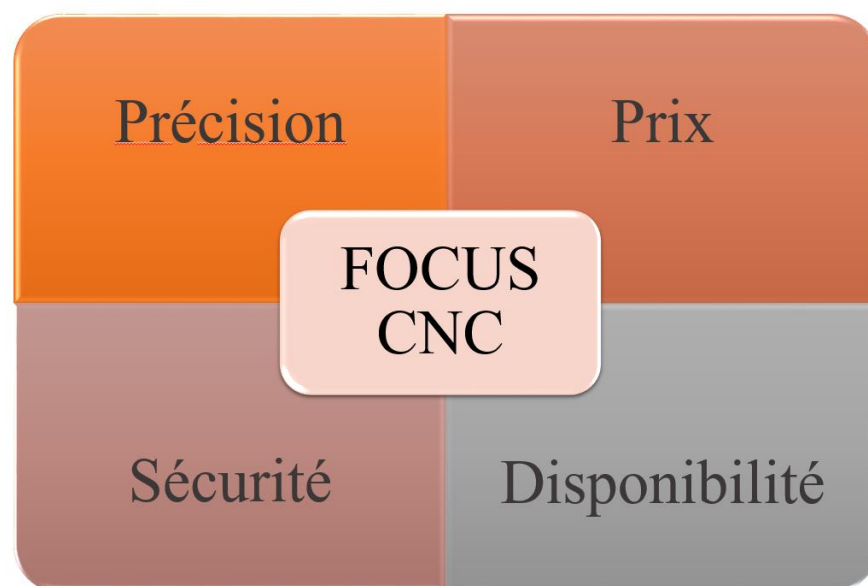


Figure 70. Les valeurs suggérées

L'équipe :

- **L'étudiante :** BECHBECHE Houda
Etudiante en 2^{ème} année Master Instrumentation et Métrologie
- **Les encadrants :**
D.GUERNAZI Daoud
Pr. KAIL Fatiha

Emplacement physique :

Oran – Algérie.

Les objectifs du projet :

- Utiliser une technologie de pointe pour obtenir une haute précision et une efficacité optimale.
- Réduction du coût de la machine pour une meilleure compétitivité.
- Garantir la sécurité de l'utilisateur et de la machine.
- Service après-vente et support technique pour une utilisation optimale de produit (tutoriel, vidéo...)
- Réponse aux besoins de l'industrie en matière de technologie de pointe, de performance et de fiabilité.
- Atteindre une part du marché algérien.

Le planning de réalisation du projet :

Etude et recherche du projet (2 à 3 mois)

- L'étude du projet concerne plusieurs parties qui ont été primordiales dans nos décisions ; elle a concerné l'étude économique et l'étude scientifique
- Identifier nos clients cibles.
- Effectuer des recherches scientifiques sur la réalisation de machine CNC pour recueillir le maximum d'informations et commencer sur de bonnes bases.
- Quantifier la présence de concurrence sur le marché algérien et identifier leurs points clés.
- Chercher les meilleurs matériaux, et identifier des fournisseurs.

2.6.1 Réalisation de prototype (1 mois)

- La conception du système CNC laser avec la modélisation 3D du système.
- Commande des composants nécessaires et préparation de l'espace de travail
- Assemblage des composants et configuration de la machine CNC laser.
- Tests de fonctionnement préliminaires.
- Ajustement et définition du rapport vitesse/puissance pour différents matériaux.

Lancement de l'activité : (6 mois)

- Choix du local d'activité et équipements.
- Récupération de la matière première.
- Installations de l'équipement.
- Lancement de la conception assistée par ordinateur du projet.
- Choix du design final.
- Choix de l'emballage.

Finalisation des produits : (1 mois)

- Lancement des campagnes publicitaire et des stratégies marketing étudié précédemment.
- Fabrication de la quantité nécessaire pour le premier mois.
- Vérification du prix final de la machine avant le lancement du produit (selon les prix des concurrents dans le marché).

Deuxième axe : Aspects innovants

La nature des innovations :

L'innovation de technologie

L'innovation technologique du **FOCUS CNC** se focalise sur la sécurité, intégrant une caméra connectée au réseaux locaux et à l'internet afin de surveiller la machine à distance et des capteurs de flamme pour détecter n'importe quel type de flamme qui peut endommager la pièce, la machine ou apporter un danger à l'utilisateur. De plus, elle met un accent particulier sur l'amélioration de l'efficacité et de la précision de la machine.

L'innovation de marché

L'innovation de marché pour les machines CNC laser en Algérie met l'accent sur la disponibilité des machines, tout en réduisant les coûts pour rendre la technologie accessible aux petites entreprises et en offrant plusieurs modèles. Elle inclut également des modèles spécifiques pour des industries de précision telles que l'artisanat et la bijouterie, ainsi que la mise en place de support technique. De plus, puisque le prix de la machine est très abordable, la machine encouragera les gens à réaliser des petits projets qui peuvent participer au développement économique du pays.

Domaines d'innovation

Domaine universitaire

Dans le domaine universitaire, les machines CNC laser sont des outils de pointe utilisés pour la découpe, la gravure et le marquage sur divers matériaux. Leur précision extrême les rend essentiels pour la recherche et le développement. En permettant aux étudiants de créer leurs prototypes des produits en phase de développement, ces machines facilitent l'expérimentation et le prototypage rapide des produits.

Domaine d'artisanat

Dans le domaine artisanal, les machines CNC laser offrent aux artisans la possibilité de combiner leur habileté manuelle avec la technologie de pointe pour créer des pièces artisanales uniques. Ces machines offrent une précision et une cohérence difficiles à atteindre manuellement, permettant ainsi la réalisation de pièces complexes contenant des détails fins. Grâce à la capacité de découpe et de gravure des matériaux tels que le bois, le cuir, et le plastique. Les artisans peuvent repousser les limites de leur créativité et proposer des produits de haut de gamme qui marient la tradition et l'innovation.

Domaine de décoration

Dans le domaine de décoration, notre machine est utilisée pour la fabrication des tableaux décoratifs et de décorations intérieures. Leur capacité à transformer des dessins numériques en pièces physiques avec une grande précision permet aux designers et aux décorateurs de réaliser des projets ambitieux et personnalisés. Les machines CNC ouvrent ainsi de nouvelles perspectives en termes de créativité.

Troisième axe : Analyse stratégique du marché

Le segment du marché :

Clients cibles :

Le projet de machine **FOCUS CNC** vise principalement à attirer les Amateurs pour bénéficier de cette technologie récente et moins coûteuse.

Notre produit est aussi destiné aux fabricants de décoration interne grâce à sa flexibilité et sa capacité de travaillé sur différents matériaux.

Les artisans peuvent utiliser notre machine pour faciliter leurs travaux en bénéficiant de la précision de notre machine.

Les laboratoires de recherche nécessitent cette technologie pour la réalisation des prototypes et le marquage des échantillons.

Marche cible :

Dans un premier temps, nous avons décidé de concentrer nos efforts sur le marché algérien afin de garantir une gestion optimale de notre capacité de production, en visant spécifiquement les amateurs, les artisans, les fabricants de déco intérieure et les laboratoires de recherche. Notre objectif est de répondre de manière optimale aux besoins de ces segments de marché avant d'envisager une expansion vers d'autres régions.

La mesure de l'intensité de la concurrence :

Nous serons les seuls fabricants de ce type de machines CNC laser en Algérie, ce qui nous positionne avantageusement sur le marché national. Cependant, nous devons considérer les sous-concurrents, tels que les fournisseurs et les grossistes de composants électroniques, qui peuvent influencer notre chaîne d'approvisionnement et notre capacité à répondre à la demande.

Au niveau international, la concurrence est plus intense avec de nombreux fabricants établis. Malgré cela, nous avons plusieurs points forts qui nous permettent de rester compétitifs :

1. Prix Compétitif : Nous offrons des prix compétitifs grâce à une optimisation des coûts de production et à des économies de frais de dédouanement en comparant avec les produits similaires importés.

2. Produit de haute qualité : FOCUS CNC se distingue des produits concurrents par la qualité des matériaux de fabrication utilisés qui se reflète sur la précision et la durabilité de la machine.

3. Sécurité de l'utilisateur et de la machine :

Notre produit offre des options très concurrentiels en terme de sécurité. Il se garantit la sécurité de l'utilisateur et de la machine en même temps grâce à des capteurs et une caméra de surveillance à distance.

4. Disponibilité et délais de Livraison Courts : En tant que fabricant local, nous pouvons garantir une disponibilité continue de nos produits grâce à notre capacité à fabrication. Cela nous permettra de répondre aux besoins du marché plus efficacement que beaucoup de nos concurrents. Notre proximité avec le marché algérien nous permet de proposer des délais de livraison beaucoup plus courts que les fabricants internationaux, offrant ainsi un avantage significatif à nos clients locaux.

Ces points forts nous permettent de non seulement rivaliser avec les fabricants internationaux, mais aussi de proposer une solution plus adaptée et avantageuse pour les clients en Algérie.

La stratégie marketing :

Une fois que nous avons défini clairement notre public cible en identifiant les segments de marché les plus pertinents, nous mettons en œuvre les stratégies suivantes :

Marketing de contenu : Dans notre approche du marketing de contenu, nous cherchons à créer du contenu instructif et captivant afin d'éclairer notre public cible sur les avantages et les

applications de la technologie CNC laser. Nous utilisons des blogs, des vidéos et des études de cas pour démontrer comment notre machine peut répondre spécifiquement à leurs besoins.

Marketing digital : Pour notre stratégie de marketing digital, nous capitalisons sur les opportunités offertes par le monde numérique pour promouvoir notre machine CNC laser. Nous avons conçu un site web professionnel, visible sur les moteurs de recherche, et nous utilisons les réseaux sociaux pour diffuser du contenu pertinent et attrayant. De plus, nous lançons des campagnes publicitaires ciblées pour toucher notre audience spécifique.

Service après-vente : Dans le cadre de notre engagement envers un service après-vente de qualité, nous nous engageons à fidéliser nos clients et à encourager les recommandations positives. Nous proposons des programmes de formation continue, un support technique réactif et des mises à jour logicielles régulières pour garantir leur satisfaction et leur fidélité.

Stratégie de tarification premium : En ce qui concerne notre stratégie de tarification, nous envisageons un modèle premium pour les clients fidèles.

Enfin, nous avons inclus la participation à des salons nationaux et internationaux dans notre stratégie, offrant ainsi un site internet pour présenter notre machine CNC laser à un public plus large et pour établir des connexions significatives avec des clients potentiels et des partenaires commerciaux.

Quatrième axe : Plan de production et organisation

Processus de production : La production de notre machine CNC laser suit des étapes cruciales :

1- Conception : Une équipe d'ingénieurs et d'informaticiens conçoit et développe les pièces en 3D.

2-Réception et validation des matières premières : Vérification de la qualité de la matière première et les composants électronique reçus.

3-Réalisation : Une autre équipe s'occupe de l'impression 3D et du montage des composants.

4-Configuration de la machine : Réglage et programmation de la machine CNC laser.

5-Test du produit : Vérification du fonctionnement de différents partie de la machine avant l'emballage.

6-Emballage final : Finitions et préparation esthétique du produit.

7-Livraison et distribution : Expédition et distribution du produit fini.

L’approvisionnement : Pour notre projet *FOCUS CNC*, notre stratégie d'approvisionnement se concentre sur des partenariats solides avec des fournisseurs de haute qualité et de gros. Nous obtenons nos métaux et alliages auprès de fournisseurs locaux et internationaux réputés, et nous sélectionnons des fabricants de composants électroniques pour les cartes, capteurs, et moteurs pas à pas. En parallèle, nous investissons dans des équipements de fabrication et des outils de calibration de haute précision. Cette approche assure une disponibilité continue des matériaux et composants nécessaires, tout en maintenant des coûts de production compétitifs et en garantissant la qualité et la fiabilité de nos machines CNC laser.

La main d’œuvre : Pour une production à moyenne échelle, nous cherchons à minimiser le nombre d'employés au début. Nous aurons besoin de :

- Un designer et programmeur.
- Deux techniciens supérieurs.
- Un administrateur.
- Un comptable.
- Un ingénieur.
- Des livreurs et distributeurs à la demande.

Principaux partenaires : Nos principaux partenaires sont les fournisseurs, les ingénieurs et les distributeurs, car leur expertise et leurs capacités sont essentielles à notre production

Cinquième axe : Plan financier

Les coûts et les charges :

Les charges variables :

Matières premières	Produit brut	Quantité globale (DA)	Unité	Valeur du produit brut (DA)	Quantité unitaire (pour 1 unité)	Cout de reviens unitaire (DA)
	filament PLA	200	kg	1000000.00	0.5	2500.00
	V-slot 20x40	500	kg	168500.00	2	674.00
	V-slot 20x20	1	m	1500.00	2	3000.00
	moteur pas à pas	200	pièce	140000.00	2	1400.00
	Driver TMS	200	pièce	80000.00	2	800.00
	Poulie GT2	500	pièce	149100.00	2	596.40
	Poulie GT3	500	pièce	149100.00	2	596.40
	le courroie	50	m	700.00	4	56.00
	Fin de course	200	pièce	160000.00	2	1600.00
	Tête laser	1	pièce	15000.00	1	15000.00
	Interface Maker dlc	1	pièce	10000.00	1	10000.00
	Ecrou	200	pièce	60000.00	15	4500.00
	Alimentation	40	pièce	24205.27	1	605.13
	Filtre PCB	50	pièce	10000.00	2	400.00
	Ecaires	50000	pièce	350000.00	30	210.00
	Câble	5000	m	15000.00	4	12.00
	switch	1000	pièce	14000.00	1	14.00
	poulie	500	pièce	149100.00	1	298.20
	roues 15 mm	1	pièce	450.00	4	1800.00
	roues 24 mm	1	pièce	1000.00	4	4000.00
	Vis	1	pièce	10.00	50	500.00
	boulons	20000	pièce	60000.00	20	60.00
	ventilateur	200	pièce	28000.00	1	140.00
	Drag chaine	1	m	1100.00	1	1100.00
	Autres	Emballage	1		500.00	1
	Total des charges variables			2588266.27	//	50362.13

Tableau 1. Les charges variables

Les charge fixe :

Organisation /Main d'œuvre	Poste	Nombre	Salaire Mensuel (DA/An)	Salaire Brut (DA/An)
	Ingénieur	1	50000	600000
	Administrateur	1	40000	480000
	Comptable	1	35000	420000
	Technicien supérieur	2	35000	840000
	Designer /responsable d'impression Programmeur	1	50000	600000
	Totale masse salariale	6	260000	2940000

Tableau 2. Les charge D'organisation et main d'œuvre

Frais de service divers	Frais & Services divers	Nombre	Montant Mensuel (DA/An)	Montant Annuel (DA/An)
	Abonnement internet	1	2500	30000
	Abonnement électricité	1	6000	72000
	Nettoyage	1	10000	120000
	Licence Logiciel Antivirus(5 PC)	1	700	8400
	Licence Logiciel Développement	4	500	24000
	Frais de location	1	50000	360000
	Total services	10	71200	854400

Tableau 3. Les charge de frais de service divers

Total charges fixes (DA)	3374400
---------------------------------	----------------

Tableau 4. Total charge fixe

Equipements et investissements :

Equipement	Désignation	Valeur unitaire	Quantité	Valeur total DA
	PC	40000	2	80000
	Imprimante 3D	100000	2	200000
	Multimètre	4000	1	4000
	Imprimante Laser multifonctionnel	40000	1	40000
	Pied à coulisse	3500	1	3500
	Modem Wifi	5000	1	5000
	PC puissant	75000	2	150000
	Faire a soudure professionnelle	6500	1	6500
	Boiter a outil	4000	1	4000
	Visseuse	5000	1	5000
	Total		13	498000
Dotation à l'amortissement1 (Sur 5ans)				99600

Tableau 5. Les équipements

Agencement et installation	Désignation		Valeur (DA)
	Peinture		15000
	Travaux divers		200000
	Ameublement	Bureau	40000
		Chaises	40000
		Armoire	40000
		Table de travail	60000
	Total		395000
	Dotation aux investissements (Sur 10ans)		39500

Tableau 6. Agencement et installation

Budget marketing :

	Mois												Totale
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Budget mensuel (*1000)	100	100	150	100	10	10	10	10	10	20	10	10	580

Tableau 7. Budget marketing

Chiffre d'affaires :

Biens / Services			Mois												Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Produit/service1	Unités vendues	Q1	5	10	15	20	30	40	50	90	90	90	90	90	620
	Prix de vente (x1000 DA)	P1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	///
	Chiffre d'affaires (x1000 DA)	CA1	500.00	1000.00	1500.00	2000.00	3000.00	4000.00	5000.00	9000.00	9000.00	9000.00	9000.00	9000.00	62000.00

Tableau 8.Le chiffre d'affaires

Bilan finale :

	Montant (DA)
Cout unitaire initial (DA)	50362.13
Charges fixes unitaire (DA)	5442.58
Dotation à l'amortissement unitaire (Sur 5 ans)	160.65
Dotation aux investissements unitaire (Sur 10 ans)	63.71
Cout Unitaire final (DA)	56029.07
Capacité de production (unités/an)	620
Budget Marketing (DA/an)	580000.00
Cout du projet annuel (DA)	35318021.69
Chiffre d'affaires annuel (DA)	62000000.00
Bénéfice annuel (DA)	26681978.32
Marge bénéficiaire (%)	43.04 %

Tableau 9. Bilan finale

Business Model Canvas		Conçu par : : BECHBECHE Houda		Date :06/09/2024
Partenaires clés	Activités Clés	Propositions de valeur	Relation Client	Clients
-Fournisseurs de matériels. - électroniques. -Fournisseurs d'équipements	-Marketing, communication et prospection. - Recherche et développement	- Prix compétitif - Sécurité de la machine et de l'utilisateur. - Précision et qualité de coupe - Facilité d'utilisation (Ecran facilite l'utilisation) - Flexibilité. - Conductivité Wifi et Web - Efficacité et polyvalence - La disponibilité - La livraison rapide	- Congrès et salons d'exposition (Stands/symposiums). - Annonces publicitaires sur le Web (ciblées). - Site Web (Marketing digital)	- Les artisans. - Les designers et décorateurs. - Les amateurs. - Les laboratoires de recherche (les universités).
	Ressources clés		Canaux	
	- Matière premières - Equipements - Personnel compétent - Prestation (étude de marché, étudetechnico-financière.)		- Approvisionnement sur site. - Vente directe et sur réseaux sociaux. - Distributeurs locaux.	
Coûts		Revenus		
- Recherche et développement - Matières premières (consommables) - Frais de transport. - Distribution et Marketing. - Charges du local et maintien de l'équipement. - Charge Variable : 31.224.440DA - Charge Fixe : 3.374.400 DA - Equipement : 498.000 DA - Marketing : 580.000 DA		- Les ventes du produit. - Vente de pièces de rechange		

Tableau 10.Business Model Canvas

Conclusion

En conclusion, les machines CNC dotées d'une tête laser, représentent une avancée significative dans l'industrie moderne. Elles offrent une précision inégalée, une qualité supérieure et une efficacité accrue dans la fabrication de pièces complexes. La combinaison de la CNC et du laser permet non seulement de couper et de graver divers matériaux avec une grande précision, mais aussi d'optimiser les processus de production, réduisant ainsi les coûts et augmentant la productivité.

La conception et la réalisation de notre machine CNC laser, **FOCUS CNC**, nous a permis d'apprendre et de maîtriser des outils et des logiciels très avancés. Les tests effectués sur différents matériaux comme le bois, le plastique, le jean, le cuir et le carton ont confirmé la polyvalence et l'efficacité de **FOCUS CNC**.

Le lancement de notre machine sur le marché algérien qui pris en charge les mesures de sécurité avec un prix abordable de 100 000 DA, offre une solution viable et accessible pour les petites et moyennes entreprises locales. La disponibilité de différents modèles et la rapidité de livraison répondent aux besoins diversifiés des clients, renforçant ainsi notre position sur le marché. Le projet prévoit un bénéfice de 43%, illustrant son potentiel économique et sa rentabilité.

Ainsi, notre étude souligne non seulement l'importance des machines CNC et des technologies laser dans l'industrie, mais aussi la viabilité et les avantages économiques de **FOCUS CNC** laser sur le marché algérien. Ce projet représente une opportunité significative pour améliorer les capacités de production locales et contribuer au développement industriel du pays

Les références :

- [1] « msgm2.pdf ». Consulté le: 14 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/3808/1/msgm2.pdf>
- [2] « Notions sur les machines-outils à commande numérique ».
- [3] « Fraiseuse CNC à portique fixe - Tous les fabricants industriels ». Consulté le: 19 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.directindustry.fr>
- [4] « Différents types de machines CNC et leurs applications - LEADRP - Service de prototypage et de fabrication rapide ». Consulté le: 17 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://leadrp.net/blog/different-types-of-cnc-machines-and-their-applications/>
- [5] « Small CNC Milling Machine Mold Making Guide - TAICNC ». Consulté le: 7 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lvcnc.com/small-cnc-milling-machine-mold-making-guide.html>
- [6] « Global Tech | Aluminium Profile Supply Selangor | Malaysia », globaltech. Consulté le: 8 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.globaltech.com.my/aluminium-profile-system>
- [7] « Courroie crantée GT2 6mm », SYSTEAL. Consulté le: 8 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.systeal.com/fr/pignons-et-courroies/1386-courroie-crantee-gt2-6mm.html?block_top_infos=none
- [8] « Steps per mm calculator - lead screw & GT2 timing belt | Circuitist.com ». Consulté le: 14 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.circuitist.com/how-to-calculate-steps-per-mm-lead-screw-and-gt2-timing-belt/>
- [9] « Séquence 3 : Sciences de l'Ingénieur - Système bielle-manivelle ». Consulté le: 14 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://pedagogie.ac-limoges.fr/sti_si/accueil/FichesConnaissances/Sequence3SSi/co/S3B22_Association_modele_composant_18.html
- [10] « Roulements et paliers : les différents types et applications | Mabéo Direct ». Consulté le: 11 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mabeo-industries.com/document/A-766357-mabeo-experts-roulements-et-paliers-les-differents-types-et-applications>
- [11] « Le_grand_livre_d_Arduino_Erik_Bartmann_Eyrolles_2018.pdf ». Consulté le: 25 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://www.multimedialab.be/doc/erg/2018-2019/Arduino/Le_grand_livre_d_Arduino_Erik_Bartmann_Eyrolles_2018/Le_grand_livre_d_Arduino_Erik_Bartmann_Eyrolles_2018.pdf
- [12] « Quels sont les types de microcontrôleurs ? - Polaridad.es ». Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://polaridad.es/fr/quels-sont-les-types-de-microcontr%C3%B4leurs/#google_vignette
- [13] « Bentaleb-gasmi.pdf ». Consulté le: 14 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/11766/1/Bentaleb-gasmi.pdf>
- [14] « (12) Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications 5th Edition by Austin Hughes and Bill Drury | boddapati venkat - Academia.edu ». Consulté le: 13 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.academia.edu/49047512/Electric_Motors_and_Drives_Fundamentals_Types_and_Applications_5th_Edition_by_Austin_Hughes_and_Bill_Drury

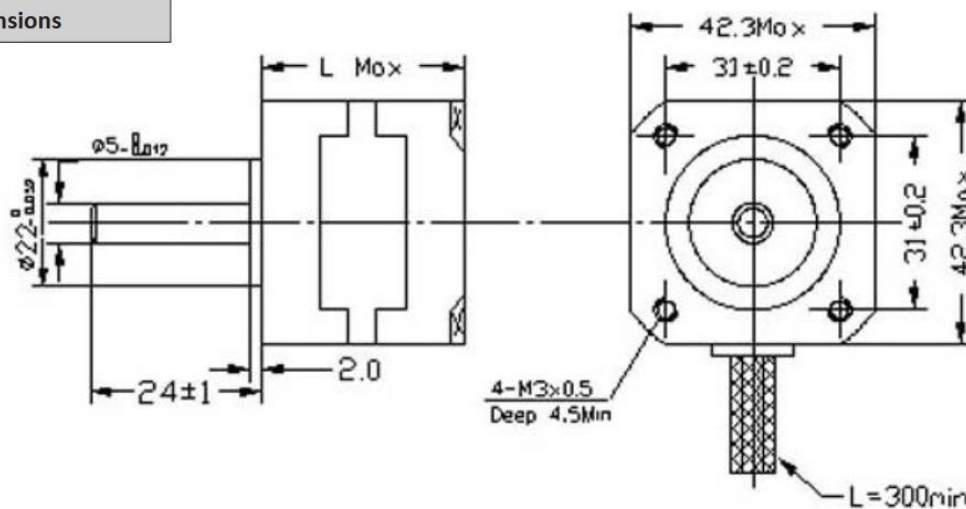
- [15] « 5-moteurs_pas_a_pas.pdf ». Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/guettafi_amor/files/5-moteurs_pas_a_pas.pdf
- [16] B. M. Salah, « CoCnocnecpetpiotnioentertéraéliaslaistaioetniond'du'nuenemmacahcihnienCe NCNCC ».
- [17] « CIER-66-libre.pdf ». Consulté le: 14 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- [18] C. Cayron, « Etude théorique et expérimentale de diodes lasers, pour horloges Rubidium et Césium, refroidissement d'atomes et capteurs inertiels », phdthesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2011. Consulté le: 18 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-00984686>
- [19] « Principe de la découpe laser : Atelier Thorey ». Consulté le: 18 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.atelierthorey.com/principe-de-la-decoupe-laser/>
- [20] K. Kumar, C. Ranjan, et J. P. Davim, *CNC Programming for Machining*. Springer Nature, 2020.
- [21] B. Ahmed, « Réalisation d'une machine CNC de type gravure laser en exploitant le code source Linuxcnc. ».
- [22] « CH II Les MOCN.pdf ». Consulté le: 3 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/739733/mod_resource/content/1/CH%20II%20Les%20MOCN.pdf
- [23] « Mémo finale_compressed.pdf ». Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/25777/1/M%C3%A9mo%20finale_compressed.pdf
- [24] « MAAMRI_NECIB.pdf ». Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/9863/1/MAAMRI_NECIB.pdf
- [25] « CAO et méthodologie de conception - PDF Free Download ». Consulté le: 31 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://docplayer.fr/8278446-Cao-et-methodologie-de-conception.html>
- [26] « Benabied-Abdmeziane-CNC-08_11_20.pdf ». Consulté le: 3 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://dspace.centre-univ-mila.dz/jspui/bitstream/123456789/681/1/Benabied-Abdmeziane-CNC-08_11_20.pdf
- [27] Y. Bouyahia, « Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes », Thesis, 2019. Consulté le: 12 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace1.univ-tlemcen.dz/handle/112/15020>

Annexes

1. Annexe 1 Moteur pas à pas Nema 17

Electrical Specifications											
Model No.	Step Angle	Motor Length	Rated Voltage	Rated Current	Phase Resistance	Phase Inductance	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Detent Torque	Weight
	°	mm	V	A	Ω	mH	g-cm		g-cm ²	g-cm	kg
42BYGHW811	1.8	48	3.1	2.5	1.25	1.8	4800	4	68	280	0.34

Mechanical Dimensions



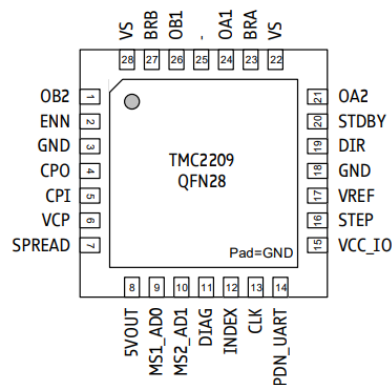
Dimension en (mm)

General Specifications	
Item	Specification
Step Accuracy	5%
Temperature Rise	80°C
Max Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M Ω Min., 500VDC
Dielectric Strength	500 VAC for one minute

Caractéristique du moteur

2. Annexe Driver TMC 2209

FEATURES AND BENEFITS	
2-phase	stepper motors up to 2.8A coil current (peak), 2A RMS
STEP/DIR Interface with	8, 16, 32 or 64 microstep pin setting
Smooth Running	256 microsteps by MicroPlyer™ interpolation
StealthChop2™	silent motor operation
CoolStep™	current control for energy savings up to 75%
Low RDSon, Low Heat-Up LS	170mΩ & HS 170mΩ (typ. at 25°C
) Voltage Range	4.75... 29V DC

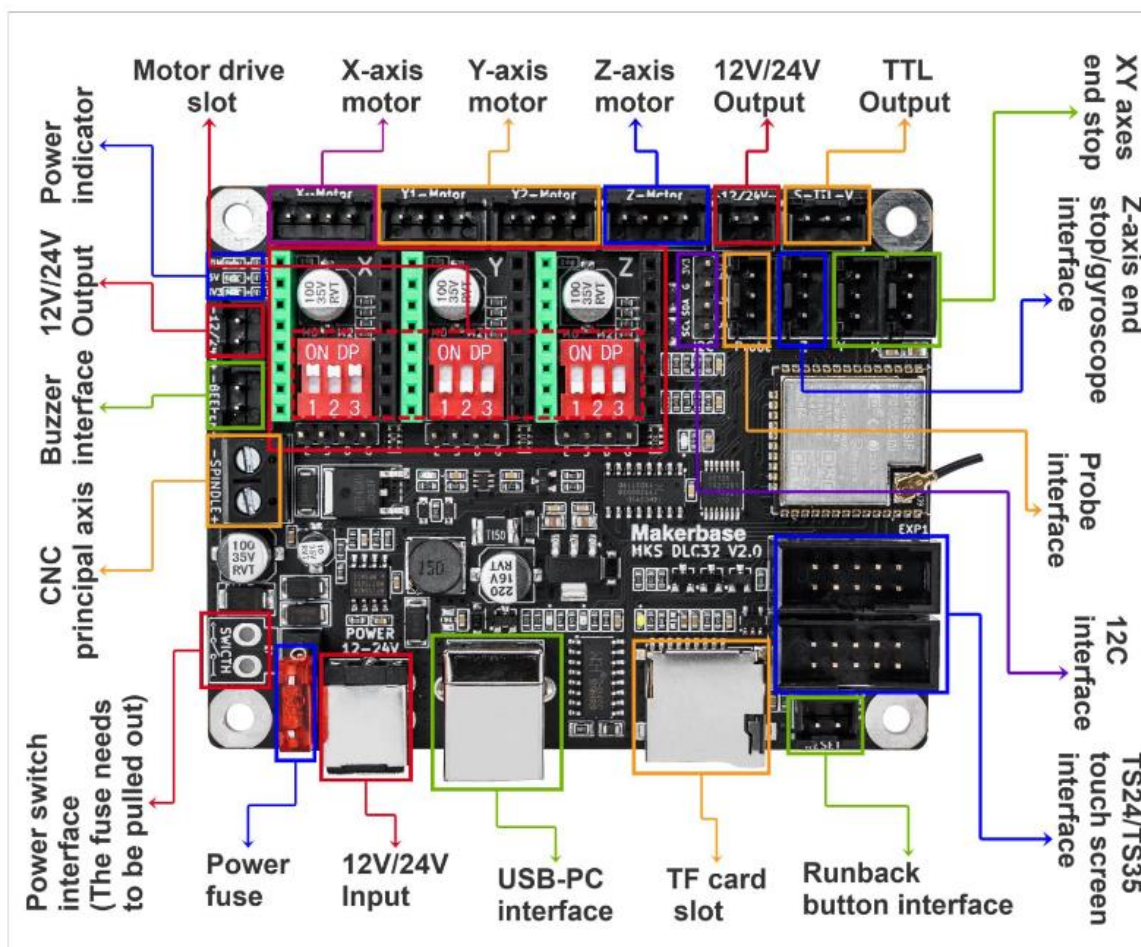


Pin	Number	Type	Function
VCC_IO	15		3.3V to 5V IO supply voltage for all digital pins (does not supply IC logic part).
STEP	16	DI	STEP input
VREF	17	AI	Analog reference voltage for current scaling or reference current for use of internal sense resistors (optional mode)
DIR	19	DI (pd)	DIR input (internal pull-down resistor)
STDBY	20	DI (pd)	STANDBY input. Pull up to disable driver internal supply regulator. This will bring the driver into a low power dissipation state. 100kOhm pulldown. (may be left unconnected) <i>Hint: Also shut down VREF voltage and ENN to 0V during standby.</i>
VS	22, 28		Motor supply voltage. Provide filtering capacity near pin with shortest possible loop to GND pad.
OA2	21		Motor coil A output 2
BRA	23		Sense resistor connection for coil A. Place sense resistor to GND near pin. Tie to GND when using internal sense resistor.
OA1	24		Motor coil A output 1
-	25	unused	May be connected to GND for better PCB routing
OB1	26		Motor coil B output 1
BRB	27		Sense resistor connection for coil B. Place sense resistor to GND near pin. Tie to GND when using internal sense resistor.
Exposed die pad	-		Connect the exposed die pad to a GND plane. Provide as many as possible vias for heat transfer to GND plane. Serves as GND pin for power drivers and analogue circuitry.

Pin	Number	Type	Function
OB2	1		Motor coil B output 2
ENN	2	DI	Enable not input. The power stage becomes switched off (all motor outputs floating) when this pin becomes driven to a high level.
GND	3, 18		GND. Connect to GND plane near pin.
CPO	4		Charge pump capacitor output.
CPI	5		Charge pump capacitor input. Tie to CPO using 22nF 50V capacitor.
VCP	6		Charge pump voltage. Tie to VS using 100nF capacitor.
SPREAD	7	DI (pd)	Chopper mode selection: Low=StealthChop, High=SpreadCycle (may be left unconnected)
5VOUT	8		Output of internal 5V regulator. Attach 2.2μF to 4.7μF ceramic capacitor to GND near to pin for best performance. Provide the shortest possible loop to the GND pad.
MS1_AD0	9	DI (pd)	Microstep resolution configuration (internal pull-down resistors) MS2, MS1: 00: 1/8, 01: 1/32, 10: 1/64 11: 1/16 For UART based configuration selection of UART Address 0...3
MS2_AD1	10	DI (pd)	
DIAG	11	DO	Diagnostic and StallGuard output. Hi level upon stall detection or driver error. Reset error condition by ENN=high.
INDEX	12	DO	Configurable index output. Provides index pulse.
CLK	13	DI	CLK input. Tie to GND using short wire for internal clock or supply external clock.
PDN_UART	14	DIO	Power down not control input (low = automatic standstill current reduction). Optional UART Input/Output. Power down function can be disabled in UART mode.

MS1/MS2: CONFIGURATION OF MICROSTEP RESOLUTION FOR STEP INPUT			
MS2	MS1	Microstep Setting	UART Address
GND	GND	8 microsteps	0
GND	VCC_IO	32 microsteps (different to TMC2208!)	1
VCC_IO	GND	64 microsteps (different to TMC2208!)	2
VCC_IO	VCC_IO	16 microsteps	3

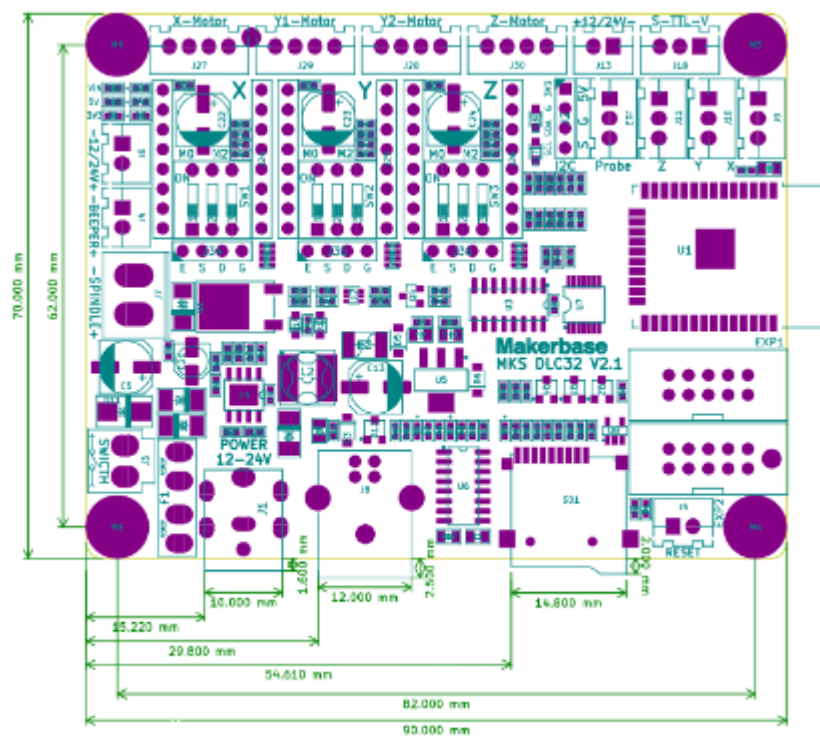
3. Annexe MKS dlc 32 V2.1



Caractéristique de carte MKS dlc 32

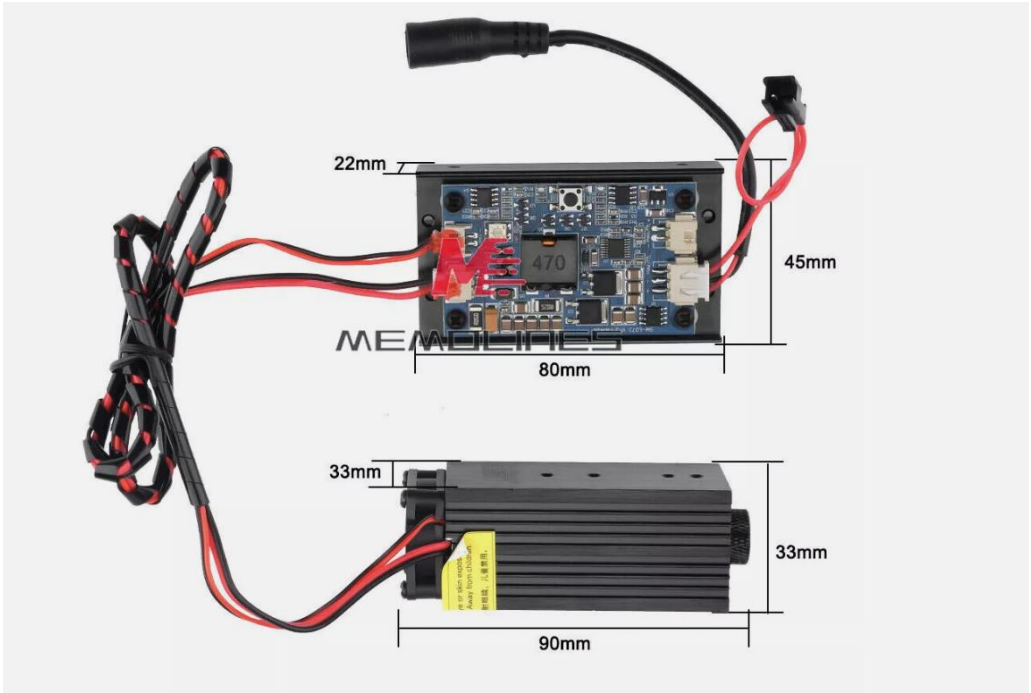
ITMS	MKS DLC32
MCU	ESP32-WROOM-32 (32bits)
MCU Freq.	240MHz
FLASH	8192KBytes
RAM	520KBytes
Power Input	DC12v/24v
Laser speed	<=8000mm/min
PC engraving	Support
Offline Mode	Support

LCD	Support 3.5 inch Touch TFT
WI-FI On Board	Support
Web Controle	Support
Mobile APP Controle	Support
LaserGRBL	Support
LightBurn	Support



Les dimensions de la carte

4. Annex tête laser LMC450B



Specifications:	
Laser Wavelength	450nm (Blu-ray)
Output Power	15W
Working Voltage	12V DC
Working Current:	5A
Focal length	16mm
Focal length	can be adjusted
Heat dissipation	Fan
Driving Mode	External ACC constant current drive

AC Adaptor Input Voltage	100-240V
Lens Material	Optical glass with coating
Light Form	Dot, adjustable-focus
Modulation	TTL
PWM Control	Support