



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Oran 1, Ahmed Ben Bella
Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Thème

Conception et Réalisation d'une machine CNC fraiseuse

Par

Berima Mohamed El Amine

Bouamama Dehbia

Projet présenté à l'Institut des sciences et techniques appliquées En
vue de l'obtention du diplôme de master professionnelle IM

Soutenu le 30 juin 2024 devant le jury composé de :

M ^r BEKKAR Azzedine	MCB	Président
M ^r GOURBI Abelkader	MCB	Examinateur
M ^{me} DIF Aicha	MCA	Représentant Incubateur
M ^r Cheriet Amine	MCA	Partenaire socioéconomique
M ^r GUERNAZI Daoud	MCB	Encadreur
M ^{me} BOUBEKEUR Djamila	MCB	Co-Encadreur

Résumé

La conception et la réalisation d'une machine CNC fraiseuse explore un processus détaillé et rigoureux. Elle débute par la conception mécanique, mettant l'accent sur le choix des matériaux pour la rigidité et la précision, ainsi que sur le dimensionnement des axes et l'intégration de systèmes de guidage linéaire. La phase suivante concerne la conception électronique et logicielle, incluant la sélection et l'intégration de composants tels que les moteurs pas à pas et les contrôleurs, ainsi que le développement du firmware et du logiciel de commande numérique. L'assemblage de la machine suit, avec la construction de la structure mécanique, le montage des composants électroniques et la calibration minutieuse pour assurer l'alignement et la précision des mouvements. Des tests rigoureux sont ensuite menés pour valider la performance de la fraiseuse, ajustant les paramètres de contrôle et optimisant le design au besoin.

Mot clés : machine CNC fraiseuse, GRBL, G-code

Abstract

The design and realization of a CNC milling machine involve a detailed and rigorous process. It begins with mechanical design, focusing on material selection for rigidity and precision, as well as dimensioning of axes and integration of linear guidance systems. The next phase involves electronic and software design, including the selection and integration of components such as stepper motors and controllers, as well as the development of firmware and CNC software. Assembly of the machine follows, encompassing the construction of the mechanical structure, assembly of electronic components, and meticulous calibration to ensure precise alignment and movement. Rigorous testing is then conducted to validate the milling machine's performance, adjusting control parameters and optimizing the design as necessary.

Key words: CNC milling machine , GRBL, G-code

المخلص

تصميم وتنفيذ ماكينة للطحن يتطلب عملية مفصلة ودقيقة. تبدأ العملية بالتصميم الميكانيكي، مع التركيز على اختيار المواد للحصول على صلابة ودقة ممتازة، بالإضافة إلى تحديد أبعاد المحاور ودمج أنظمة التوجيه الخطي. المرحلة التالية تشمل التصميم الإلكتروني والبرمجيات، بما في ذلك اختيار ودمج المكونات مثل محركات الخطوة والمتحكمات، بالإضافة إلى تطوير البرمجيات الثابتة وبرمجيات التحكم العددي. يتبع ذلك تجميع الماكينة، بما في ذلك بناء الهيكل الميكانيكي وتجميع المكونات الإلكترونية، والمعايرة الدقيقة لضمان التوازن والحركة الدقيقة. بعد ذلك، يتم إجراء اختبارات دقيقة للتحقق من أداء الماكينة، مع ضبط معلمات التحكم وتحسين التصميم حسب الحاجة.

Remerciement

En premier lieu, nous exprimons notre gratitude envers ALLAH, l'Unique et le Tout Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la volonté, sa guidance et sa protection.

En second lieu, nous remercions chaleureusement nos parents et l'ensemble de nos familles pour leur soutien constant et leurs encouragements infaillibles.

Nous tenons également à exprimer notre profonde reconnaissance envers Monsieur GUERNAZI DAOUD et Madame BOUBEKEUR DJAMILA, nos encadrants, pour leur précieux soutien, leur aide et la confiance qu'ils ont placée en nous. Leurs critiques constructives et leurs suggestions ont grandement contribué à notre travail. Nous remercions membres de jury **M^r GOURBI Abelkader** et **M^r BEKKAR Azzedine** et aussi **M^{me} DIF** la représentante de l'incubateur et M^r Partenaire socioéconomique **M^r Cheriet Amine**, d'avoir accepté d'être membre de ce jury.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à L'élaboration de ce projet.

Table des matières

Résumé	i
Abstract.....	i
المخلص	ii
Remerciement	iii
Table des matières	iv
Liste des abréviations	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux	xi
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur la machine CNC fraiseuse	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition d'une machine CNC fraiseuse.....	3
1.3 Historique de la machine CNC	4
1.4 Types de fraiseuses CNC.....	6
1.4.1 Fraiseuse verticale	6
1.4.2 Fraiseuse horizontale	6
1.4.3 Fraiseuse CNC multiaxes	7
1.4.4 Fraiseuse à tourelle	7
1.5 Composition de machine CNC fraiseuse.....	8
1.5.1 Partie mécanique.....	8
1.5.2 Partie électronique	14
1.6 Micro-logiciel de la machine CNC.....	24
1.7 G-CODE	25
1.8 Technique de fabrication de machines CNC fraiseuse.....	25
1.8.1 Tournage.....	25
1.8.2 Injection plastique.....	25
1.8.3 Impression 3D.....	26

1.8.4 La différence entre les trois techniques	27
1.9 Conclusion	27
Chapitre 2 : Conception et réalisation d'une machine CNC fraiseuse	28
2.1 Introduction	28
2.2 Les pièces récupérées du projet de l'imprimante 3D	28
2.2.1 L'imprimante 3D avant le désassemblage	28
2.2.2 Les pièces récupérées	29
2.3 Le choix des composants	30
2.3.1 Composants électronique	30
2.3.2 Composant mécanique	31
2.4 Conception mécanique	32
2.4.1 Axe X	32
2.4.2 Axes-Y	35
2.4.3 Axe Z	38
2.4.4 Les pièces	41
2.5 Impression 3D des pièces mécaniques	42
2.6 Assemblage de machine CNC :	45
2.7 Conception électronique	51
2.8 Programmation de microcontrôleur	52
2.9 Paramétrage de la machine CNC :	53
2.9.1 Paramètres 100, 101 et 102, nombre de pas par millimètre :	54
2.9.2 Paramètres 110, 111 et 112. Vitesse maximum sur X, Y et Z :	54
2.9.3 Paramètres 120, 121 et 122. L'accélération maximum sur X, Y et Z :	54
2.9.4 Paramètres 130, 131 et 132. Distance maximum à parcourir sur chacun des axes :	55
2.10 Contrôle de la machine CNC fraiseuse :	55
2.11 Test de la machine CNC fraiseuse :	56
2.12 Conclusion	58
Chapitre 3 Étude technico-économique	59
3.1 Présentation du projet	59
3.1.1 L'idée de projet	59
3.1.2 Valeurs suggérées	59

3.1.3 Équipe de travail.....	59
3.1.4 Local	60
3.1.5 Objectifs du projet	60
3.1.6 Calendrier de réalisation du projet.....	60
3.2 Aspects innovants	61
3.2.1 Nature des innovations	61
3.2.2 Domaines d'innovation	61
3.3 Analyse stratégique du marché.....	61
3.3.1 Le segment du marché	61
3.3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence	62
3.3.3 Stratégie marketing.....	62
3.4 Plan de production et organisation	62
3.4.1 Processus de production.....	62
3.4.2 L'approvisionnement.....	63
3.4.3 La main d'œuvre	63
3.4.4 Principaux partenaires.....	63
3.5 Plan financier.....	64
3.5.1 Les coûts et les charges	64
3.5.2 Chiffre d'affaires	67
3.5.3 Bilan final	68
3.5.4 Business Model Canevas	69
3.6 Prototype expérimental.....	70
Conclusion générale	71
Perspectives	72
Annexe A	73
Annexe B	75
Bibliographie	76

Liste des abréviations

CAO	conception assistés par ordinateur
CNC	commande numérique par ordinateur
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
IAO	Ingénierie Assistée par Ordinateur
PCB	Printed Circuit Boards

Liste des figures

Figure 1:Machine CNC fraiseuse.....	4
Figure 2: Fraiseuse verticale	6
Figure 3 :Fraiseuse horizontale	7
Figure 4 : Fraiseuse CNC 4 axes.....	7
Figure 5 : fraiseuse à 5 axes	8
Figure 6:Profile aluminium V-SLOT de différentes tailles	9
Figure 7: tige plein	9
Figure 8 : Roulements à billes linéaires	10
Figure 9:Roulement linéaire en plastique	11
Figure 10:Tige fileté.....	11
Figure 11: écrou	12
Figure 12:Equerres de fixation en aluminium.....	13
Figure 13:accouplement flexible métallique	13
Figure 14:accouplement élastique.....	14
Figure 15:microcontrôleur Atmel	14
Figure 16:Construction moteur pas à pas.....	16
Figure 17:les types de moteur pas à pas.....	16
Figure 18:Système vis et écrou	17
Figure 19:Driver de moteur pas à pas model A4988	19
Figure 20:Architecture de driver de moteur pas à pas A4988	20
Figure 21:Différents type de driver pour moteur pas à pas NEMA 17	20
Figure 22:CNC shield V3	21
Figure 23 :CNC shield V4	22
Figure 24:capteur de fin course mécanique	22
Figure 25:Constitution d'une machine à courant continu	23
Figure 26: alimentation	24
Figure 27:principe de tournage	25
Figure 28:Les étapes du procédé d'injection-moulage	26
Figure 29:Quatre étapes de l'impression 3D	27
Figure 30:L'imprimante 3D avant le désassemblage.....	29
Figure 31: les pièces récupérées.....	30

Figure 32:Support de début d'axe.....	32
Figure 33:support de fin d'axe.....	33
Figure 34:Support de l'axe Z	34
Figure 35:support de renforcement de la broche	35
Figure 36:support de début axe y.....	36
Figure 37:support de la fin axe y	36
Figure 38:support T.....	37
Figure 39:support NUT	38
Figure 40:support de début d'axe	39
Figure 41:support de fin d'axe Z	40
Figure 42:support de la broche.....	40
Figure 43:pièces des coins	41
Figure 44:Pièces de partie électronique	42
Figure 45:quelque pièce de l'axe X	43
Figure 46:quelque pièce de l'axe X	44
Figure 47:pièce de l'axe Z	44
Figure 48:les pièces de finition	45
Figure 49:les pièces de finition	45
Figure 50: assemblage le cadre de la machine	46
Figure 51: assemblage l'axe x.....	46
Figure 52: assemblage l'axe x.....	46
Figure 53: assemblage l'axe x.....	46
Figure 54: assemblage l'axe x.....	47
Figure 55: assemblage l'axe z.....	48
Figure 56: assemblage l'axe y.....	49
Figure 57:Assemblage final de machine	50
Figure 58:circuit électronique	51
Figure 59:téléversement le micro-logiciel GRBL à l'aide d'arduino IDE.....	52
Figure 60:les paramètres de Grbl	53
Figure 61:interface d'OpenBuilds.....	55
Figure 62:exemple de contrôle de la machine CNC	56
Figure 63:résultat test sur le verre.....	57

Figure 64:résultat de test sur le bois.....	57
Figure 65:Valeurs suggérées	59
Figure 66:prototype final de notre machine CNC fraiseuse	70

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison entre les trois techniques.....	27
Tableau 2: Charges variables	64
Tableau 3: Équipements.....	65
Tableau 4: Organisation/Main d'œuvre	65
Tableau 5: frais & services drivers	66
Tableau 6: Frais d'investissement	66
Tableau 7: Marketing	67
Tableau 8: Ventes de produit	67
Tableau 9: bilan final	68
Tableau 10: Business Model Canevas	69

Introduction générale

La fraiseuse CNC ou machine à commande numérique par ordinateur, est un pilier essentiel de la fabrication moderne. Fonctionnant selon des principes de précision et de contrôle numérique, cette machine-outil utilise des programmes informatiques pour diriger avec une grande précision les mouvements d'un outil de coupe rotatif. Cela permet d'usiner des pièces avec une exactitude micrométrique, une répétabilité sans faille et une flexibilité remarquable. Capable d'opérer sur une large gamme de matériaux, comme les métaux, les plastiques et les composites, la fraiseuse CNC excelle dans diverses applications allant du fraisage de surfaces planes au fraisage complexe en 3D. L'automatisation intégrée dans le contrôle numérique réduit les erreurs et optimise l'efficacité, permettant aux fabricants de produire des pièces complexes à un rythme plus rapide tout en maintenant des normes de qualité élevées. De ce fait, la fraiseuse CNC est devenue indispensable dans de nombreux secteurs industriels, jouant un rôle crucial dans la réalisation de prototypes, la fabrication en série et la production de pièces personnalisées avec une efficacité optimale.

Dans ce mémoire, nous allons explorer en profondeur le processus fascinant de création d'une telle machine, en mettant l'accent sur les principes théoriques, les composants essentiels et les aspects pratiques de sa conception et de sa fabrication.

- Le premier chapitre présentera une vue d'ensemble approfondie de la fraiseuse CNC, en explorant sa définition, ses types (comme les fraiseuses verticales et horizontales), et en détaillant les composants clés qui la composent. Nous allons examiner également la composition typique d'une machine CNC, en mettant en évidence des éléments tels que les moteurs pas à pas pour le contrôle des axes, les rails de guidage linéaires pour assurer la précision des mouvements, les vis pour la transmission de mouvement, ainsi que les contrôleurs électroniques et les logiciels de programmation qui dictent le comportement de la machine.
- Dans le deuxième chapitre, nous allons se concentrer sur notre propre projet de conception et de réalisation d'une fraiseuse CNC personnalisée. Nous allons décrire en détail les différentes étapes du processus, de la conception initiale à l'assemblage final,

en mettant en lumière les choix stratégiques que nous avons faits concernant les matériaux, les composants et les méthodes de fabrication. Nous allons aborder les défis spécifiques rencontrés pendant la phase de réalisation, tels que la modélisation des pièces mécaniques à l'aide de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur), la fabrication ou l'acquisition des composants électroniques nécessaires, et l'assemblage précis de l'ensemble de la machine. Chaque étape sera accompagnée d'une analyse des solutions adoptées pour surmonter les obstacles techniques et garantir la fonctionnalité et la performance optimales de notre fraiseuse CNC.

- Le dernier chapitre sera consacré pour l'étude technico-économique dans le cadre d'un projet Start up.

Chapitre 1 : Généralités sur la machine CNC fraiseuse

1.1 Introduction

Les machines-outils CNC sont généralement des machines-outils automatisées contrôlées par des ordinateurs.

Il utilise des programmes informatiques pour contrôler le mouvement des outils de coupe et des pièces de machine avec précision et répétabilité.[1]

Dans ce chapitre nous allons définir une machine CNC, son historique, ces types, sa composition, et la technique de fabrication.

1.2 Définition d'une machine CNC fraiseuse

Le fraisage CNC, ou fraisage à commande numérique par ordinateur, est un processus d'usinage qui utilise des outils de coupe multipoints rotatifs et contrôlés par ordinateur pour retirer progressivement de la matière d'une pièce et produire une pièce ou un produit conçu sur mesure.

Le procédé convient au traitement d'une large gamme de matériaux, tels que les métaux, les plastiques, le verre et le bois.[2]



Figure 1: Machine CNC fraiseuse

Le fonctionnement détaillé d'une fraiseuse CNC implique l'utilisation d'un outil de coupe qui tourne à grande vitesse pour enlever de la matière d'une pièce. Pendant cette opération, la pièce à usiner est maintenue fixe. Le contrôle précis de l'outil de coupe est assuré par un programme informatique spécialisé. Ce programme détermine avec précision la trajectoire que l'outil doit suivre sur la surface de la pièce, ainsi que les paramètres de coupe essentiels comme la vitesse de rotation de l'outil, l'avance (la vitesse d'avancement de l'outil le long de la pièce) et la profondeur de coupe (la quantité de matière retirée à chaque passe). En combinant ces éléments, la fraiseuse CNC permet de produire des pièces avec une grande précision et une répétabilité élevée.[3]

1.3 Historique de la machine CNC

Le tour de potier, apparu dès 3500 avant JC, marquait l'un des débuts des machines-outils en transformant des boules d'argile en vases. À travers les siècles, les artisans ont perfectionné l'utilisation de tours actionnés par des manivelles ou même des roues de vélo, simplifiant la transformation de rondins en quilles et autres formes sur des tours en bois. Cependant, l'avènement des machines-outils modernes a révolutionné la production en permettant la fabrication en série de milliers de pièces identiques avec une précision et une efficacité accrues.

Les recherches de Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont prouvé la faisabilité de contrôler les actions d'une machine à l'aide de données transmises par une carte perforée. Ce concept a été appliqué à leurs métiers à tisser dès 1805, marquant ainsi les prémices de la commande numérique. Par la suite, le développement industriel de la commande numérique s'est étroitement associé aux avancées dans le domaine de l'électronique

Au printemps 1949, il commande au Massachusetts Institute of Technology (MIT) Travailler au développement de systèmes d'asservissement capables de contrôler des machines (fraiseuse prototype La broche verticale de Cincinnati a été introduite dans le servomécanisme en septembre 1952. MIT Lab) Il recevra des commandes intermittentes du lecteur de carte.

Il faudra encore attendre quelques années pour obtenir des financements importants de la part de l'USAF et le soutien d'autres pays. Les chercheurs du MIT travaillent à rendre le premier MOCN réellement opérationnel.

Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes :

- En 1954, Bendix acquiert le brevet de Parsons et produit la première CN industrielle.
- En 1955, à Fond du Lac (Wisconsin), le fabricant américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
- En 1959, la CN fait son apparition en Europe lors de la foire de Hanovre.
- En 1964, en France, Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100, basée sur des relais téléstatiques.
- En 1968, la CN adopte les circuits intégrés, devenant ainsi plus compacte et plus puissante.
- En 1972, les mini-ordinateurs remplacent les logiques câblées, marquant la transition vers les CNC.
- En 1976, les CN à microprocesseurs commencent à se développer.
- En 1984, des fonctions graphiques avancées et le mode de programmation conversationnel font leur apparition.
- En 1986, les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, inaugurant l'ère de la Fabrication flexible (CIM).

- En 1990, les CN à microprocesseurs 32 bits se développent davantage.[4]

1.4 Types de fraiseuses CNC

Les fraiseuses CNC se varient selon le type et sont conçues pour des besoins de fabrication spécifiques en fonction du nombre d'axes, de l'orientation de la broche et de la taille des pièces.

1.4.1 Fraiseuse verticale

Adaptée au perçage et à la coupe en plongée, avec orientation verticale de la broche pour une polyvalence accrue.



Figure 2: Fraiseuse verticale

1.4.2 Fraiseuse horizontale

Idéale pour les tâches lourdes, elle dispose d'une broche horizontale pour le fraisage sur les côtés de la pièce.

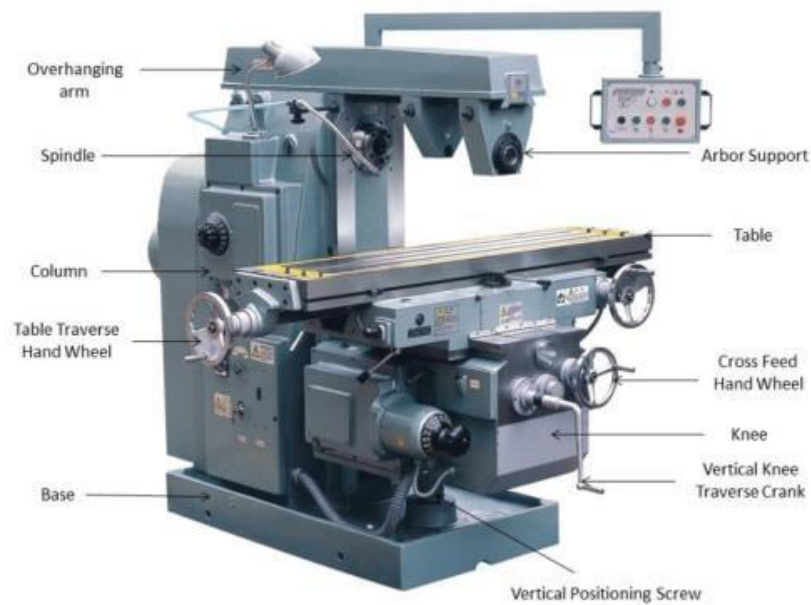


Figure 3 :Fraiseuse horizontale

1.4.3 Fraiseuse CNC multiaxes

Réaliser des coupes et des formes complexes en opérant sur plus de trois axes.

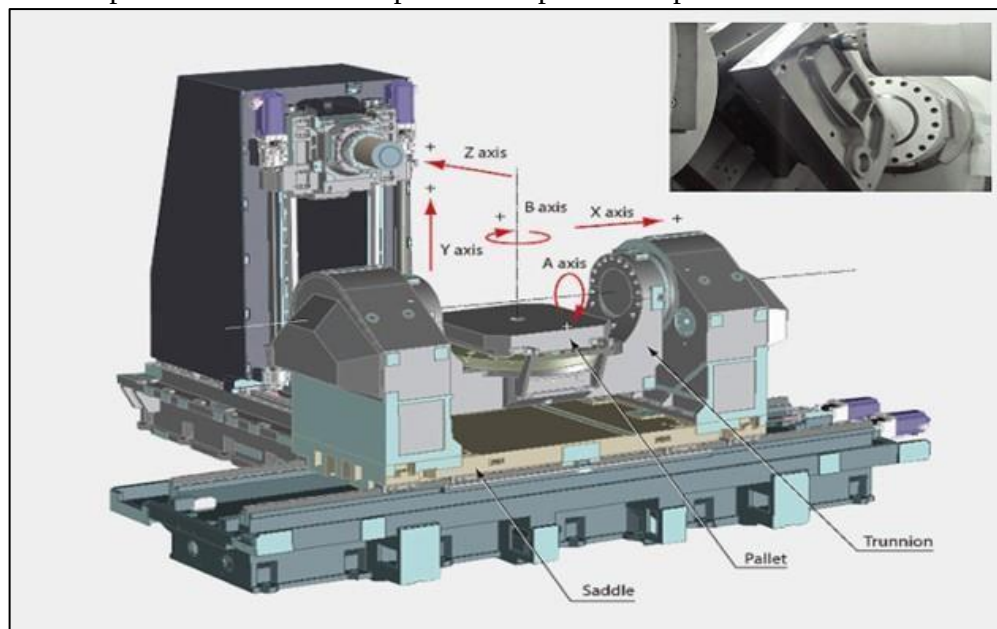


Figure 4 : Fraiseuse CNC 4 axes

1.4.4 Fraiseuse à tourelle

Options flexibles avec broche fixe et table mobile pour diverses opérations de fraisage. [6]



Figure 5 : fraiseuse à 5 axes

1.5 Composition de machine CNC fraiseuse

La fraiseuse CNC est une machine sophistiquée qui regroupe des composants mécaniques, électriques et électroniques, conçus pour réaliser des tâches d'usinage avec une grande précision.

1.5.1 Partie mécanique

1.5.1.1 Profile V-SLOT

Il s'agit d'un profilé de guidage linéaire de haute qualité en aluminium avec des rainures en V extrêmement lisses sur les 4 côtés.

Il est précis, facile à utiliser et permet un contrôle illimité sur la conception grâce à sa nature modulaire. Il guide les roulements en translation le long des axes de la machine.[7]



Figure 6: Profile aluminium V-SLOT de différentes tailles

1.5.1.2 Tige plein

Une tige pleine est une pièce cylindrique, mince et allongée, généralement en métal, qui a une section transversale pleine, Permet de supporter et de guider les mouvements.



Figure 7: tige plein

1.5.1.3 Roulements linéaire

Sont un type spécial de roulement utilisé pour le mouvement de translation. Se compose de plusieurs types : [8]

1.5.1.3.1 Roulements linéaires Avec billes

Ce type de roulement linéaire est le plus courant car il contient des billes métalliques à l'intérieur et a un faible frottement. Les billes ont un très faible contact avec l'arbre, réduisant ainsi la friction, même si elles exercent beaucoup de pression sur l'arbre, il est donc recommandé de les utiliser sur des arbres trempés. Ils sont également très durables, peuvent supporter des charges élevées, sont faciles à lubrifier, sont silencieux, peu coûteux et fonctionnent bien.



Figure 8 : Roulements à billes linéaires

1.5.1.3.2 Roulements linéaires en plastique

Ils ont connu une croissance rapide au cours des 20 dernières années avec le développement de plastiques à faible friction.



Figure 9: Roulement linéaire en plastique

1.5.1.4 Tige fileté

Dans le domaine de la fabrication des machine CNC, une vis est utilisé la conversion de mouvement. La tige présente une âme de section circulaire avec des filets façonnés sur sa périphérie réalisée par balayage de la section le long d'une hélice.[9]



Figure 10: Tige fileté

1.5.1.5 Ecrou

Un écrou est un élément en métal, en bois ou en matière dure qui sert à fermer un trou cylindrique dont la surface interne est filetée et qui est conçu pour recevoir le passage d'une vis.



Figure 11: écrou

1.5.1.6 Equerre de fixation

Les équerres de fixation servent à relier deux rails linéaires V-Slot ensemble, créant ainsi un angle de 90 degrés. On les retrouve fréquemment dans la fabrication de machines CNC qui requiert des assemblages solides.



Figure 12: Equerres de fixation en aluminium

1.5.1.7 Accouplement

Un accouplement est un dispositif de liaison entre deux arbres rotatifs qui permet la transmission du couple.



Figure 13: accouplement flexible métallique

Il existe des accouplements dits « semi-élastiques » qui permettent de corriger de petits défauts d'alignement (généralement des défauts d'usinage). Ces accouplements sont généralement constitués de deux composants rigides reliés à l'arbre et d'un composant légèrement flexible qui compense le désalignement. [10]

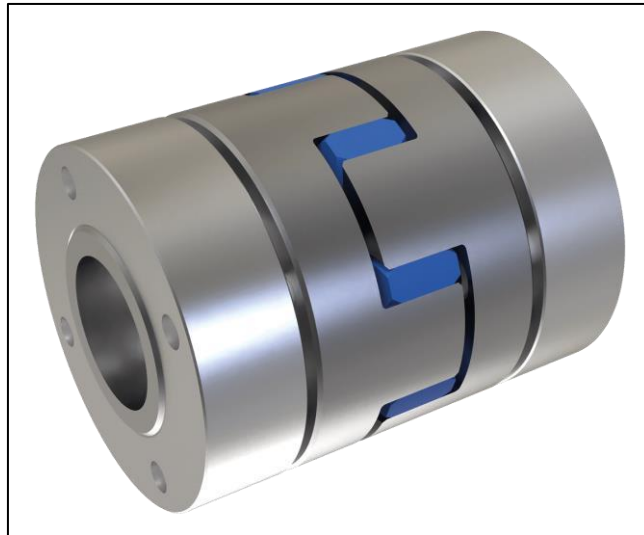


Figure 14:accouplement élastique

1.5.2 Partie électronique

1.5.2.1 Microcontrôleur

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui intègre les composants de base d'un ordinateur.

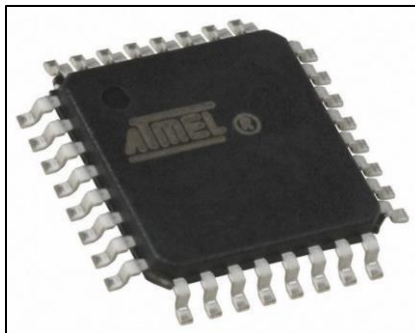


Figure 15:microcontrôleur Atmel

- **Processeur** : il interprète les instructions et traite les données pour le programme. La fréquence d'horloge est de quelques mégahertz ou dizaines de mégahertz. Il ne consomme généralement qu'une fraction des watts. Son jeu d'instructions est relativement simple.

- **Mémoire morte** : (ROM = Read Only Memory) contient des instructions. Son contenu est permanent et reste intact lorsque le système n'est plus alimenté, et contient généralement d'un à plusieurs centaines de kilooctets.
- **RAM** : (RAM) mémoire utilisée pour stocker les variables pendant l'exécution du programme. Généralement très limité : de quelques centaines d'octets (ou bytes, en abrégé « B » en anglais) à des dizaines de kilooctets, selon les modèles.
- **Circuits d'entrées-sorties** : simplement des entrées logiques, utilisées pour lire des valeurs binaires (comme des interrupteurs), et des sorties logiques, capables de délivrer quelques milliampères de courant, comme pour contrôler des LED.

L'intérêt des microcontrôleurs réside dans leur haut degré d'intégration leur faible consommation électrique. [7]

1.5.2.2 Moteurs pas à pas

Un moteur pas à pas est un dispositif électromécanique sans balais qui convertit une séquence d'impulsions électriques appliquées à un enroulement de champ en rotation mécanique d'un arbre par étapes précisément définies. Pour chaque impulsion discrète, l'arbre du moteur tourne d'un angle fixe. Cette rotation peut être linéaire ou angulaire et réalise un mouvement en une seule étape avec une seule entrée d'impulsion. Lorsqu'un train d'impulsions est appliqué, il tourne d'un certain angle. L'angle auquel l'arbre du moteur pas à pas tourne par impulsion est appelé angle de pas, généralement exprimé en degrés.[11]

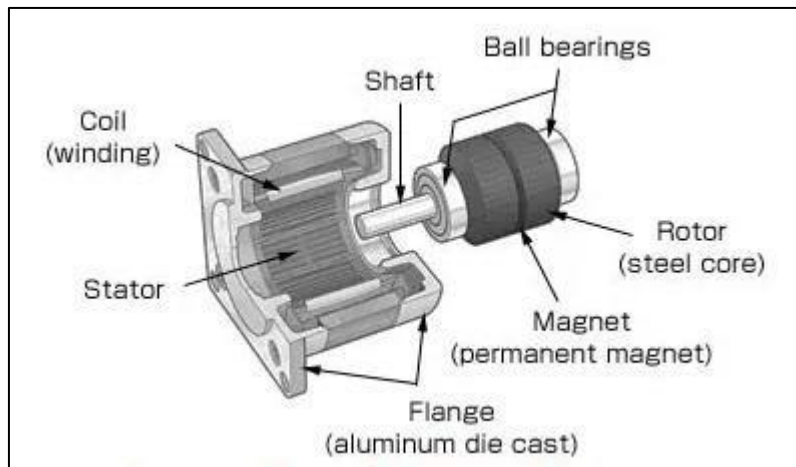


Figure 16: Construction moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas actuellement disponibles peuvent être classés en fonction des phénomènes physiques à l'origine du couple. Les moteurs sont principalement y a plusieurs types [12]



Figure 17: les types de moteur pas à pas

1.5.2.2.1 Mécanisme assurant la conversion d'un mouvement d'une rotation en translation

Au sein du système vis et écrou, un mouvement de rotation est transformé en mouvement de translation.

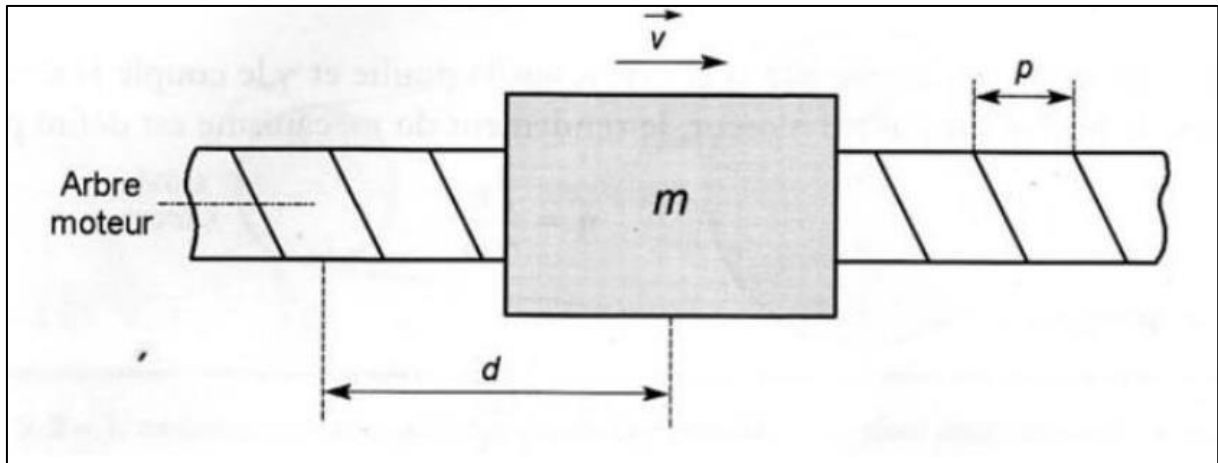


Figure 18: Système vis et écrou

Un écrou mobile est fixé à une vis de pas p sur l'arbre moteur, où une charge de masse m est soumise à une force résistante parallèle à son déplacement. La charge est dirigée par des glissières, qui ne sont pas représentées sur la figure, afin d'imposer le mouvement de translation. Chaque rotation de la vis entraîne un déplacement de l'écrou. Lorsque l'arbre moteur se déplace d'un angle θ , la charge parcourt la distance suivante : [13]

$$d = p \frac{\theta}{2\pi} \quad (1)$$

La relation entre la vitesse linéaire v de la charge et la vitesse angulaire ω du moteur est obtenue en dérivant :

$$v = \omega \frac{p}{2\pi} \quad (2)$$

En prenant en compte la force exercée par la vis sur l'écrou et le couple résistant exercé par la vis sur le moteur, on peut définir le rendement du mécanisme par :

$$\eta = \frac{fv}{\gamma\omega} \quad (3)$$

Ce qui donne :

$$\gamma = \frac{f\rho}{2\pi\eta} \quad (4)$$

Si J est le moment d'inertie de la vis, le moteur d'inertie total est $J = J_m + J_v$. Le concept essentiel de la dynamique appliquée à l'arbre moteur est le suivant :

$$J \frac{d\omega}{dt} = \gamma_m - \gamma \quad (5)$$

La force résistante peut être représentée par $f_r = f_c + f_f$ avec f une force de travail potentielle et f_f une force de frottement inévitable dans les glissières.

Le principe essentiel s'applique à la charge qui entraîne :

$$m \frac{dv}{dt} = f - f_r \quad (6)$$

A partir des relations précédentes, on exprime le couple moteur nécessaire :

$$\gamma_m = J \frac{d\omega}{dt} + \gamma \quad (7)$$

$$\gamma_m = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{f\rho}{2\pi\eta} \quad (8)$$

$$\gamma_m = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\rho}{2\pi\eta} m \frac{dv}{dt} + \frac{\rho}{2\pi\eta} f_r \quad (9)$$

$$\gamma_m = \left(J \frac{2\pi}{\rho} + \frac{\rho}{2\pi\eta} m \right) \frac{dv}{dt} + \frac{\rho}{2\pi\eta} f_r \quad (10)$$

Une valeur maximale du pas permet de réduire au minimum le couple d'accélération. Il est possible de le faire en dérivant le premier terme de l'expression précédente par rapport à ρ :

$$\left(-\frac{2\pi}{\rho^2} J + \frac{m}{2\pi\eta} \right) \frac{dv}{dt} = 0 \quad (11)$$

Ce qui conduit à :

$$p_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J\eta}{m}} \quad (12)$$

1.5.2.3 Driver de moteur pas à pas

Le driver de moteur pas à pas est un dispositif électronique utilisé pour contrôler les moteurs pas à pas, qui sont couramment utilisés dans les applications nécessitant un positionnement précis ou un mouvement contrôlé [14]

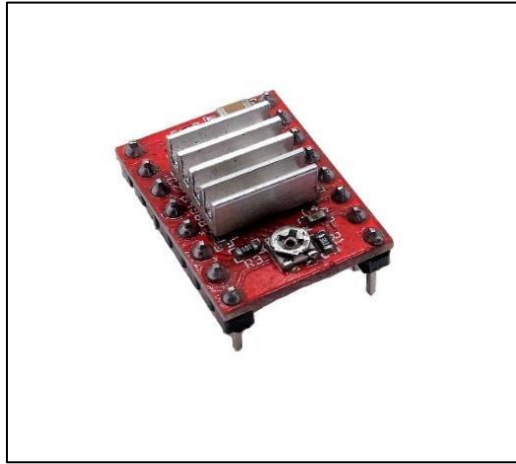


Figure 19:Driver de moteur pas à pas model A4988

La **figure 19**, présente un driver de moteur pas à pas conçu pour le model NEMA 17. Les pilotes de moteur pas à pas permettent un pilotage efficace des moteurs en utilisant seulement deux signaux de commande (STEP et DIR). Le nombre d'impulsions « STEP » envoyées au variateur correspond au nombre de pas effectués, la fréquence des impulsions correspond à la vitesse du moteur et le signal « DIR » correspond au sens de rotation du moteur.[15]

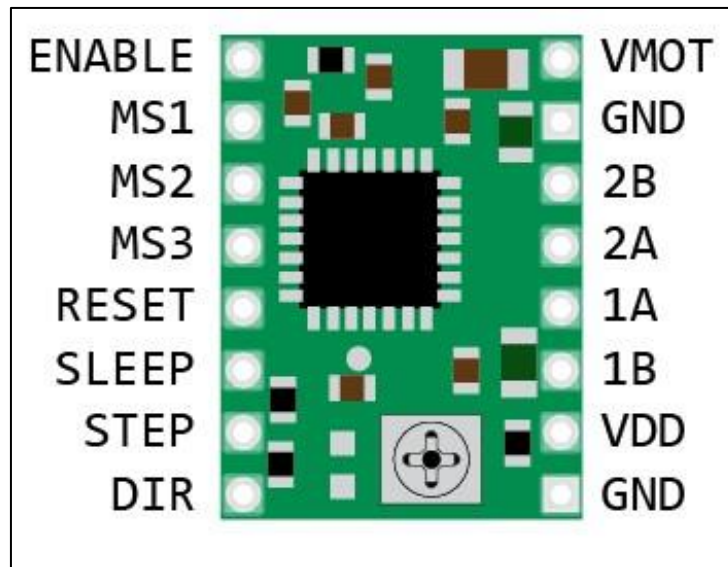


Figure 20: Architecture de driver de moteur pas à pas A4988

Il existe d'autres modèles de driver compatibles avec les moteurs NEMA 17. Ces drivers ont des caractéristiques différentes, on compte parmi eux ; DRV 8825 et la famille TMC (TMC 2226, TMC 2208 et TMC 2209 etc.).

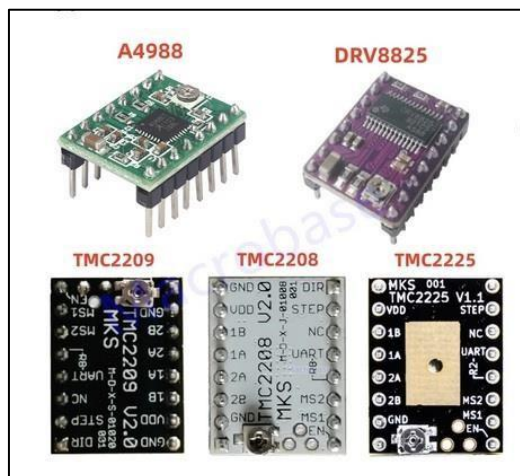


Figure 21: Différents types de driver pour moteur pas à pas NEMA 17

1.5.2.4 Adaptateurs de drivers

Ce sont des cartes d'extension open-source, destinées au contrôle des moteurs pas à pas d'une machine CNC à l'aide d'un microcontrôleur [16].

Les adaptateurs sont conçus pour simplifier la connexion et la gestion des divers éléments d'une machine CNC. Les composants clés comprennent :

- Supports de pilote de moteur pas à pas : pour connecter les pilotes de moteur pas à pas.
- Pins d'axe : Pour chaque pilote de moteur pas à pas, il y a des broches pour connecter les axes
- Pins d'alimentation : Le shield a des pins d'alimentation pour microcontrôleur et les moteurs.
- Connecteurs de fin de course : Il y a aussi des broches pour connecter des interrupteurs de fin de course pour chaque axe
- Sorties d'axes supplémentaires : Certaines versions du shield comprennent des sorties d'axes supplémentaires pour une flexibilité accrue.
- Jumpers de micro-pas : Le Shield CNC comporte des jumpers de micro-pas pour configurer la résolution du moteur pas à pas (plein pas, demi-pas, 1/4 de pas, etc.).
- Borniers à vis : Des borniers à vis sont présents pour connecter facilement l'alimentation, les moteurs, et d'autres composants.
- Broches pour refroidissement, broche et direction : Ces broches permettent de contrôler l'activation/désactivation du moteur de la broche, sa vitesse (PWM) et la direction de sa rotation.

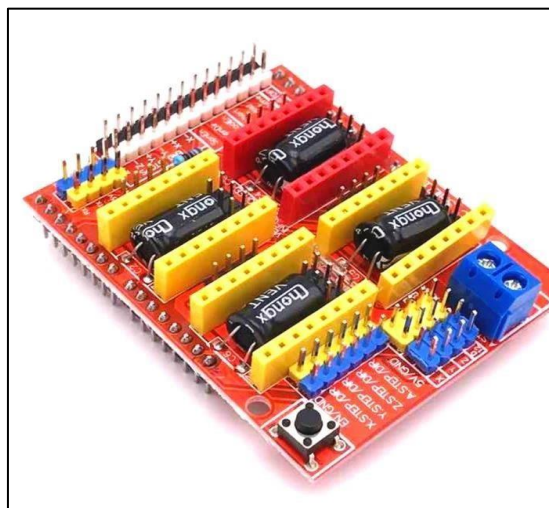


Figure 22:CNC shield V3

Le **figure 22**, présente un CNC shield conçu pour carte Arduino UNO et compatible avec les driver de moteur pas à pas A4988 et ceux qui ont la même forme et le même schéma.

Il existe d'autres types de CNC shield compatible avec d'autres versions d'Arduino tel que la version 4 du CNC shield qui est compatible avec Arduino NANO (**Figure 23**).

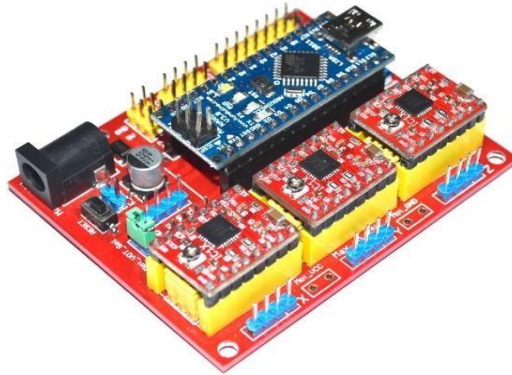


Figure 23 :CNC shield V4

1.5.2.5 Capteur de fin de course

Les capteurs de fin de course sont des capteurs à contact de proximité qui sont constitués d'un actionneur qui est connecté mécaniquement à un jeu de contacts de sortie. Quand un objet se trouve en contact avec l'actionneur, le dispositif met en marche les contacts afin d'ouvrir ou de fermer une liaison électrique.[17]

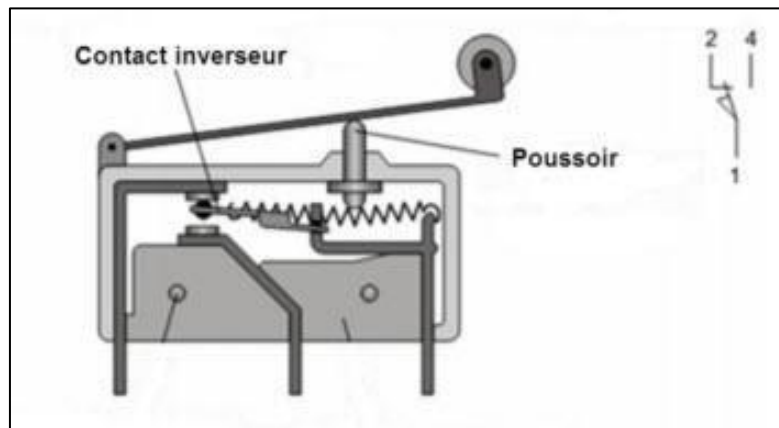


Figure 24:capteur de fin course mécanique

1.5.2.6 La broche

C'est un convertisseur électromécanique offre la possibilité de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique en utilisant un courant continu ou alternative. La broche est constituée de quatre éléments essentiels. .[18]

1. **Un Stator (inducteur)** : est constitué d'un circuit magnétique comprenant une couronne annulaire massive ou feuilleté à laquelle sont fixés les pôles saillants, qui sont régulièrement alternés :

- Les pôles inducteurs sont équipés d'un ou plusieurs enroulements d'excitation alimentés en courant continu.
- Les pôles auxiliaires, également connus sous le nom d'axes neutres, sont placés entre les pôles inducteurs et améliore la commutation.

2. **Le Rotor (l'induit)** : est constitué d'un circuit magnétique en forme de feuille avec des encoches régulièrement réparties à la surface.

3. **Le Collecteur** : est fixé à l'arbre de l'induit, sur lequel les balais se frottent. Chaque lame de cuivre de section trapézoïdale est équipée d'une ailette de connexion à l'enroulement de l'induit et est isolée par du mica.

3. **Les balais**, en charbon graphitique, sont solides et reposent sur des lames diamétralement opposées du collecteur. Ils restent immobiles et sont électriquement isolés du bâti de la machine

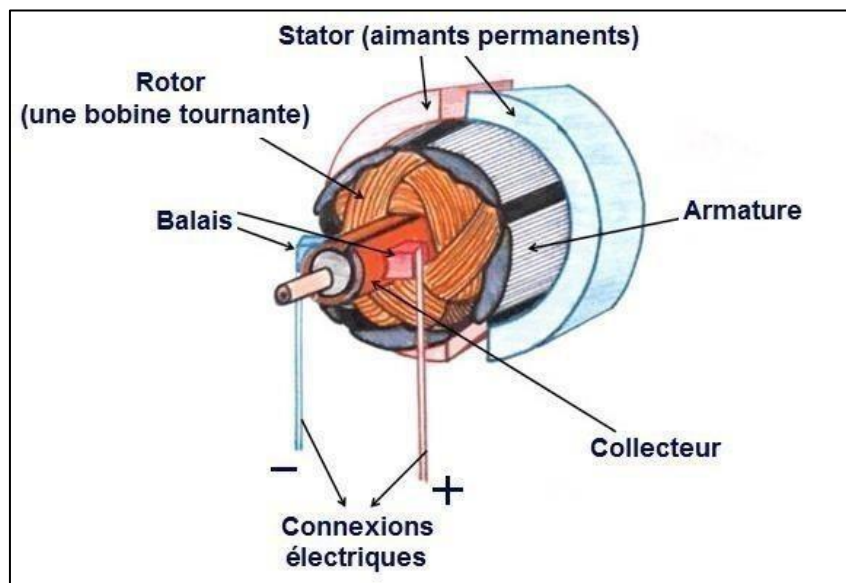


Figure 25:Constitution d'une machine à courant continu

Les moteurs de broche CNC sont des moteurs électriques spécialement conçus pour les machines à commande numérique par ordinateur (CNC). Ces moteurs ont la capacité d'atteindre des vitesses et des niveaux de couple élevés tout en maintenant une précision élevée. Ces résultats sont obtenus en utilisant des roulements de haute précision et un rotor spécialement conçu.[19]

1.5.2.7 Alimentation

Un système électrique est un dispositif qui fournit de l'électricité à un équipement électrique. Peu importe les caractéristiques du réseau, le système assure que l'alimentation électrique des appareils répond à leurs exigences.[20]



Figure 26: alimentation

Les composants alimentés dans machine CNC est microcontrôleur, CNC shield et la broche .ils alimentent par courant continu mais la quantité la tension supportée déferent par exemple alimentation de microcontrôleur varie entre 5v et 12v, CNC shield peut être alimenté de 12V et la broche alimente selon la puissance de broche.

1.6 Micro-logiciel de la machine CNC

Le micro-logiciel installé dans le microcontrôleur représente le system d'exploitation de la machine CNC. Le codage d'un programme de gestion d'une machine CNC est très difficile c'est pour cela il est apparu dernièrement des solutions open source tel que le GRBL. Ce dernier est compatible avec les microcontrôleurs Atmel ou les utilisateurs des cartes Arduino peuvent le développer et le personnaliser selon leur besoin et leurs préférences.

1.7 G-CODE

Le G-CODE est un langage de programmation utilisé par les machines CNC. Ce langage peut générer différents formats de fichiers (.gcode, .nc, .ncc, .cnc ...etc.).

Il existe des logiciels qui génèrent ce format de fichiers à partir des dessins puis l'utilisateur envoie ce fichier vers la machine afin qu'elle le traduise en mouvement des moteurs pas à pas (Axes de la machine) ainsi que d'autres fonctions telles que le contrôle de la vitesse de la broche.

1.8 Technique de fabrication de machines CNC fraiseuse

1.8.1 Tournage

Le tournage consiste en une technique de fabrication mécanique qui implique la coupe (Enlèvement de matière) à l'aide d'outils à arête unique. Le mouvement de rotation (mouvement de coupe) est le mouvement principal de la pièce.

En utilisant cette méthode, l'outil est soumis à un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) connu sous le nom de mouvement d'avance, qui permet de déterminer le profil de la pièce.[21]

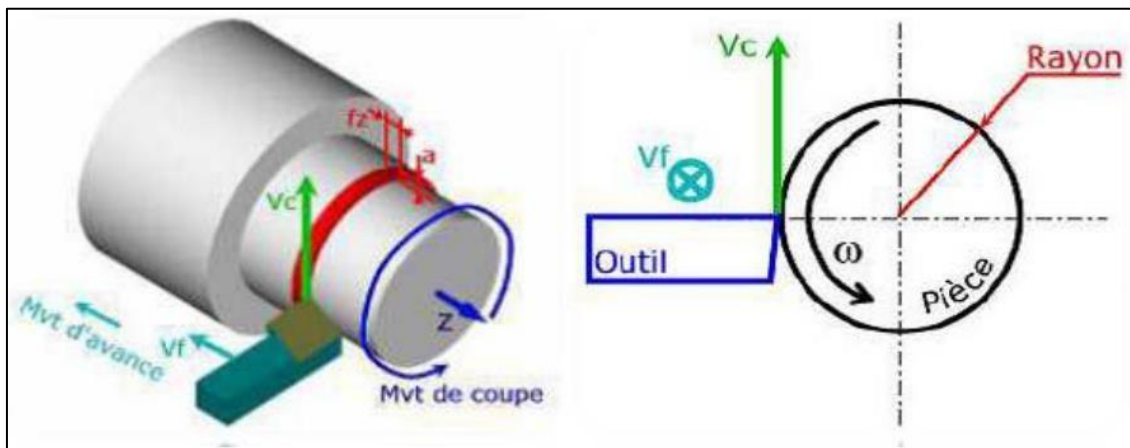


Figure 27: principe de tournage

1.8.2 Injection plastique

Le processus d'injection vise à générer rapidement des objets en quantités considérables. Grâce à cette méthode, il est possible d'obtenir des pièces finies en plastique, de formes

complexes, avec des poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes, en une seule opération.

On injecte la matière en granulés, qui est ramollie par la chaleur, dans un moule sous une pression élevée. Une fois refroidis, ces moules offrent la possibilité de fabriquer des objets de dimensions et de formes variées, ainsi que des pièces techniques très complexes et de grande précision.[22]

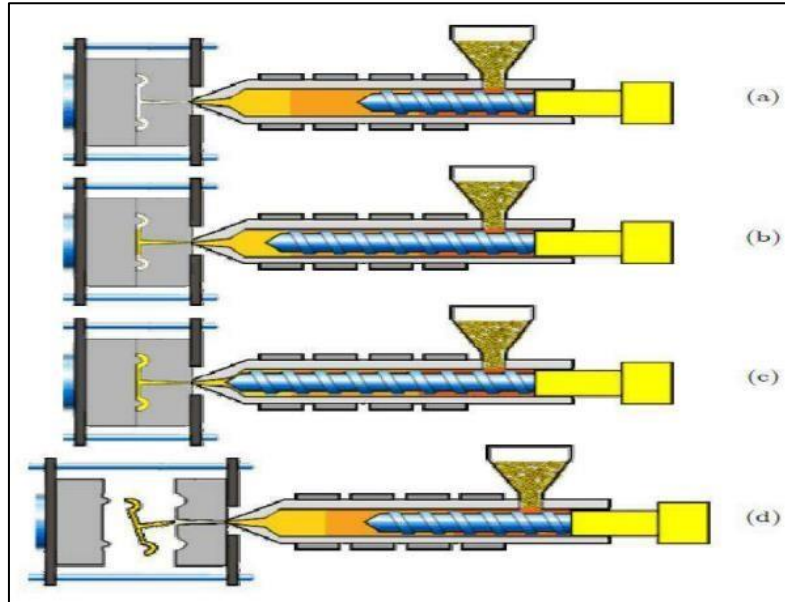


Figure 28:Les étapes du procédé d'injection-moulage

1.8.3 Impression 3D

L'impression 3D est une méthode de production appelée additive qui implique l'ajout de matière à la différence des techniques de retrait de matière telles que l'usinage. L'utilisation de l'impression 3D offre la possibilité de créer des objets courants, des pièces détachées, ou même des prototypes destinés aux tests.[23]

Les différentes étapes de l'impression 3D comprennent la modélisation en 3D de l'objet, son enregistrement dans un format d'impression 3D (comme STL, 3MF, et OBJ), sa découpe en tranches, la création des parcours d'impression pour chaque tranche, et enfin l'impression en 3D. Lorsque la découpe est effectuée, les paramètres d'impression comprennent la taille de la pièce en prévision du retrait causé par le frittage.[24]

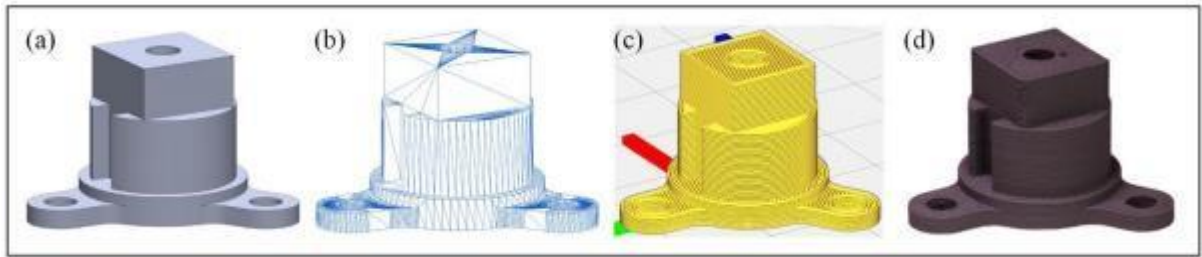


Figure 29:Quatre étapes de l'impression 3D

1.8.4 La différence entre les trois techniques

Tableau 1:Comparaison entre les trois techniques

Caractéristique	Injection plastique	Tournage	Impression 3D
Procédé	Moulage de plastique fondu	Sculpture de matériau	Superposition de couches
Avantages	Production en série, pièces complexes, précision	Divers matériaux, petites séries, bonne finition	Flexibilité de conception, prototypage rapide, personnalisation
Inconvénients	Coût initial élevé, délai	Moins précis, formes complexes difficiles	Précision variable, propriétés anisotropes, coût unitaire élevé (certains cas)
Applications	Pièces automobiles, boîtiers électroniques, jouets	Axes, engrenages, bagues	Prototypes, pièces sur mesure, applications médicales

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale de machine à commande numérique, et nous avons parlé de composition des machines CNC, Nous allons ainsi entamer la prochaine étape qui consiste à présenter la phase de conception et réalisation de cette machine.

Chapitre 2 : Conception et réalisation d'une machine CNC fraiseuse

2.1 Introduction

La fabrication d'une machine CNC nécessite beaucoup de connaissances et de maîtrise dans les domaines de la mécanique, l'électronique et l'informatique. Comme nous avons montré dans le chapitre précédent, il existe une grande variété de structures mécaniques, composant électroniques, microcontrôleurs et cartes de pilotage. Dans ce chapitre, nous allons faire le choix des composants électroniques et la conception des pièces mécaniques qui sont adéquates pour notre projet de réalisation d'une machine CNC selon la disponibilité sur le marché algérien et le coût. La plupart des pièces que nous avons utilisées sont récupérées d'un ancien projet incomplet de réalisation d'une imprimante 3D.

2.2 Les pièces récupérées du projet de l'imprimante 3D

2.2.1 L'imprimante 3D avant le désassemblage

Figure 30 représente un ancien projet de l'imprimante 3D avant désassemblage pour la récupération de quelques composants

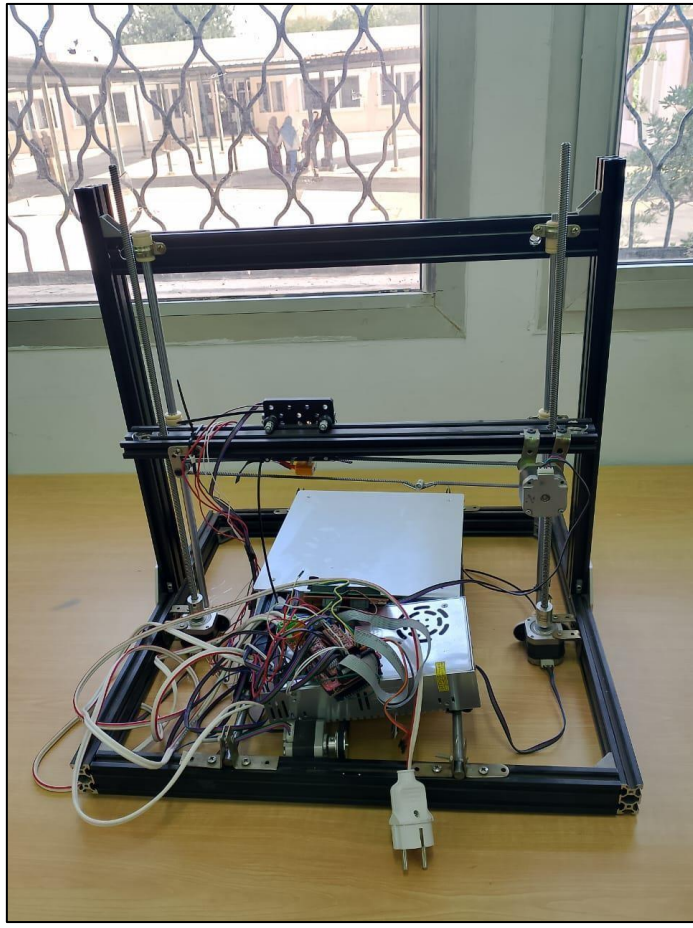


Figure 30:L'imprimante 3D avant le désassemblage

2.2.2 Les pièces récupérées

Après le désassemblage de l'imprimante 3D, nous avons récupéré les composants nécessaires pour notre projet. Parmi les composants récupérés, on compte :

- Les moteurs pas à pas.
- Les tiges pleines et filetés
- Roulements
- Ecrous

Ainsi que les profilés aluminium qui maintient la structure mécanique de la machine.

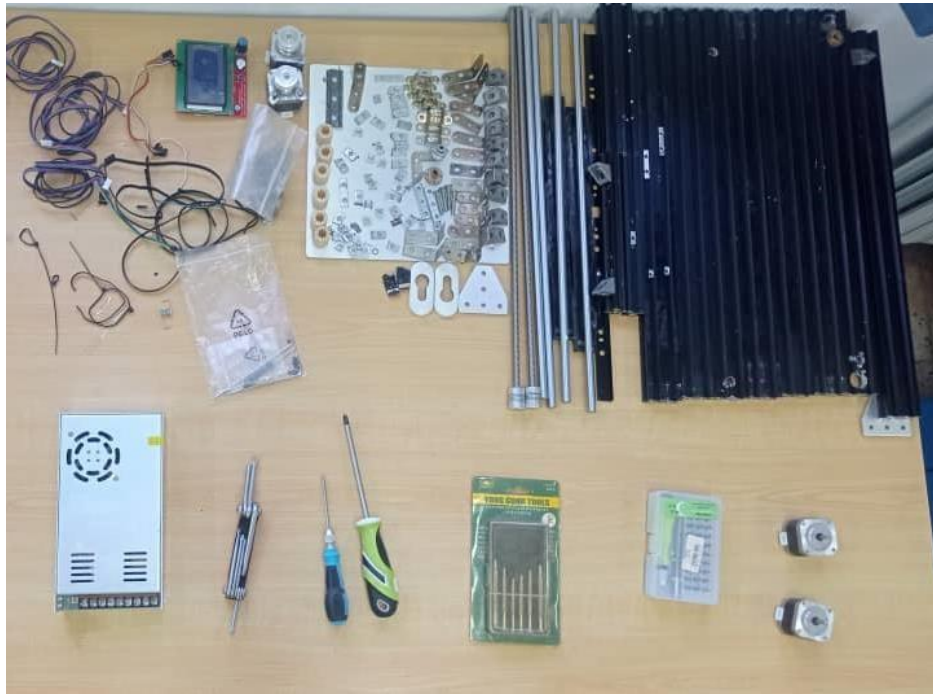


Figure 31: les pièces récupérées

2.3 Le choix des composants

2.3.1 Composants électronique

Nous avons choisi les composants suivants pour fabrication notre machine CNC:

2.3.1.1 La carte de control

Pour choisir une carte de contrôle pour notre machine CNC, nous assurons qu'elle est compatible avec les moteurs pas à pas, les logiciels de commande. Dans notre cas la carte Arduino uno est suffisante pour le contrôle

2.3.1.2 Les moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas sont choisis selon le couple demandé, le modèle Nema 17 est suffisant pour l'application demandée (la fabrication des plaques PCB).

2.3.1.3 Les drivers

Les drivers choisis doivent être compatible avec les moteurs Nema 17. Il existe une variété de pilotes sur le marché, on a choisi le modèle TMC 2209 grâce à fonctionnement silencieux et une haute précision de contrôle.

2.3.1.4 L'adaptateur des drivers

L'adaptateur que nous avons choisi CNC shield v3 compatible avec la carte Arduino uno et les drivers TMC

2.3.1.5 L'alimentation

Pour notre projet, nous avons fait le choix d'alimentation onduleur de 220V à 36V. Cette décision a été prise en tenant compte de sa compatibilité avec le CNC Shield V3 et la broche.

2.3.1.6 Les capteurs de fin de course

Nous avons choisi des fins de course mécaniques en raison de leur simplicité d'installation et de leur coût plus abordable. Ces interrupteurs mécaniques sont faciles à mettre en place et offrent une solution économique pour notre projet

2.3.2 Composant mécanique

2.3.2.1 Profilé aluminium

Nous choisirons le profilé aluminium v-slot grâce à la facilité de montage et disponible sur le marché.

2.3.2.2 Le system guidage

Dans notre machine CNC, nous avons choisi system de tige plein et roulement linéaire en raison mouvement linéaire précis

2.3.2.3 Le system de transformation de mouvement

Le system tige fileté et écrou c'est un system qui adapté avec notre machine tel que précision et capacité de charge

2.4.1.2 Support de fin de l'axe

Ce support s'installe sur la terminaison de l'axe X. Le support contient trois entrées principales et quatre trous pour le fixer aux profilés en aluminium

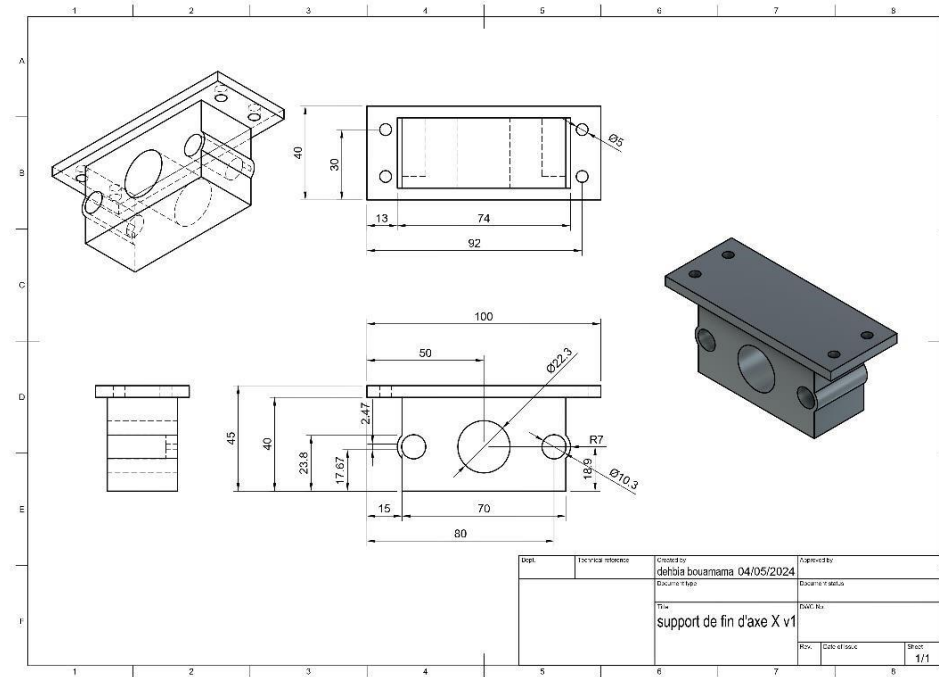


Figure 33:support de fin d'axe

2.4.1.3 Support de l'axe Z

Ce support fait partie de l'axe X et porte l'axe Z. Le support contient trois entrées (deux roulements et écrou) principale et huit trous pour le fixer aux profilés en aluminium

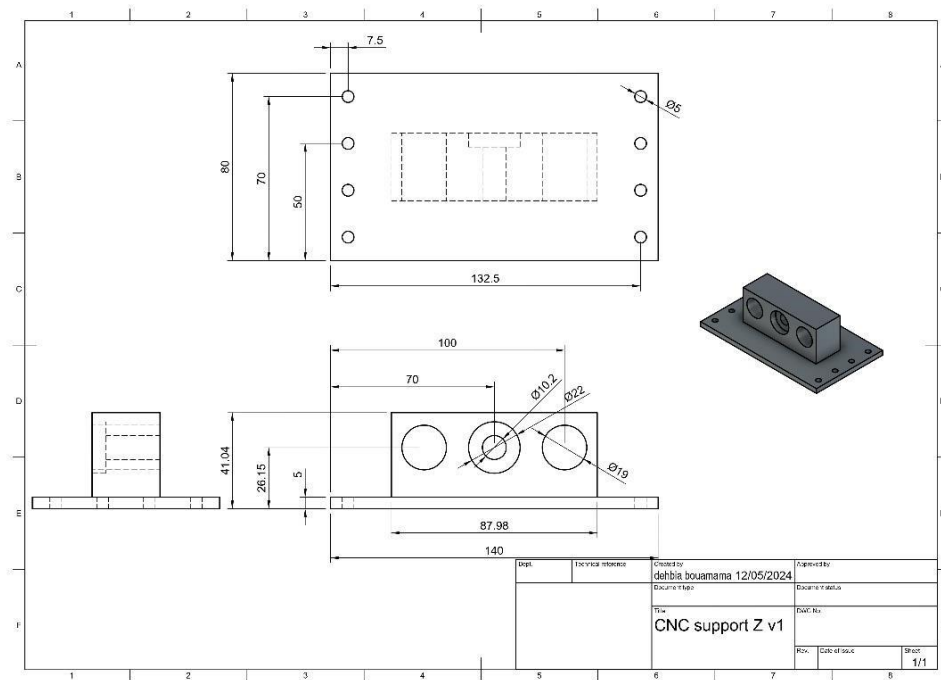


Figure 34:Support de l'axe Z

2.4.1.4 Support de renforcement de la broche

Ce support s'installe sur les deux côtés supérieurs de l'axe X assurer le bon alignement vertical de la broche. Le support contient une entrée principale et deux trous pour le fixer aux profilés en aluminium

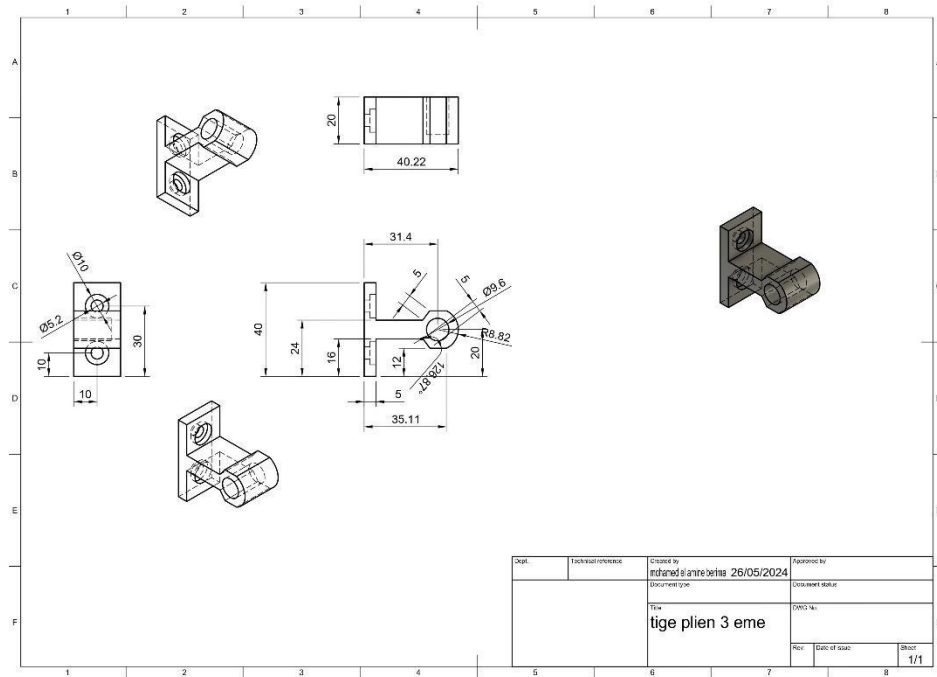


Figure 35:support de renforcement de la broche

2.4.2 Axes-Y

2.4.2.1 Support de début d'axe

Ce support représente le commencement de l'axe Y. Il est composé de deux parties : un cube percé pour loger le moteur pas à pas Nema 17 et une section supplémentaire pour fixer le support et la tige plein. Le support contient trois entrées principales et douze trous pour le fixer aux profilés en aluminium.

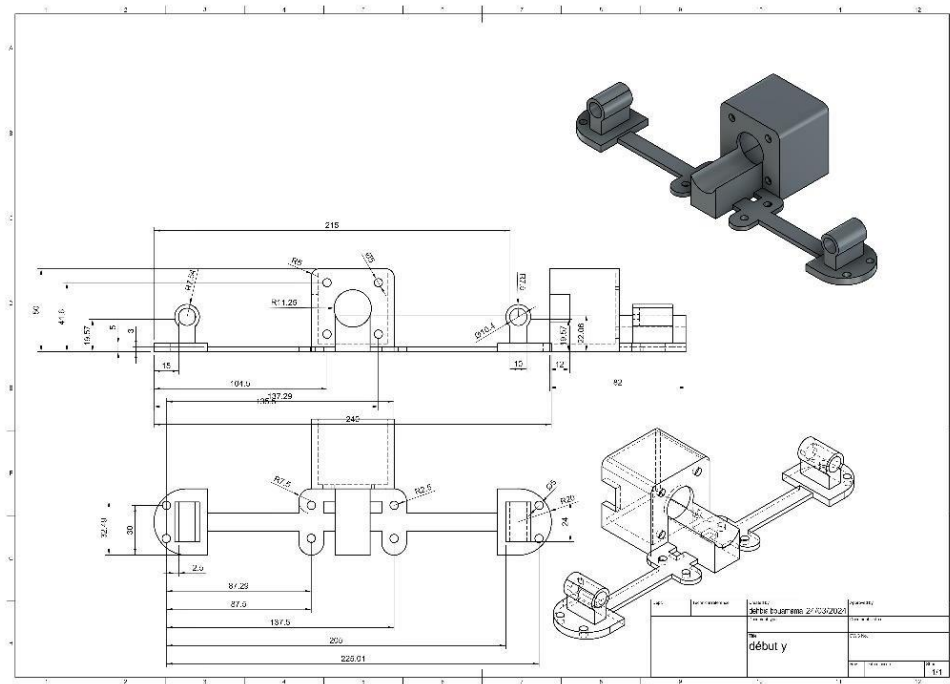


Figure 36:support de début axe y

2.4.2.2 Support de fin axe Y

Ce support représente la terminaison de l'axe Y. Le support contient trois entrées principales et huit trous pour le fixer aux profilés en aluminium

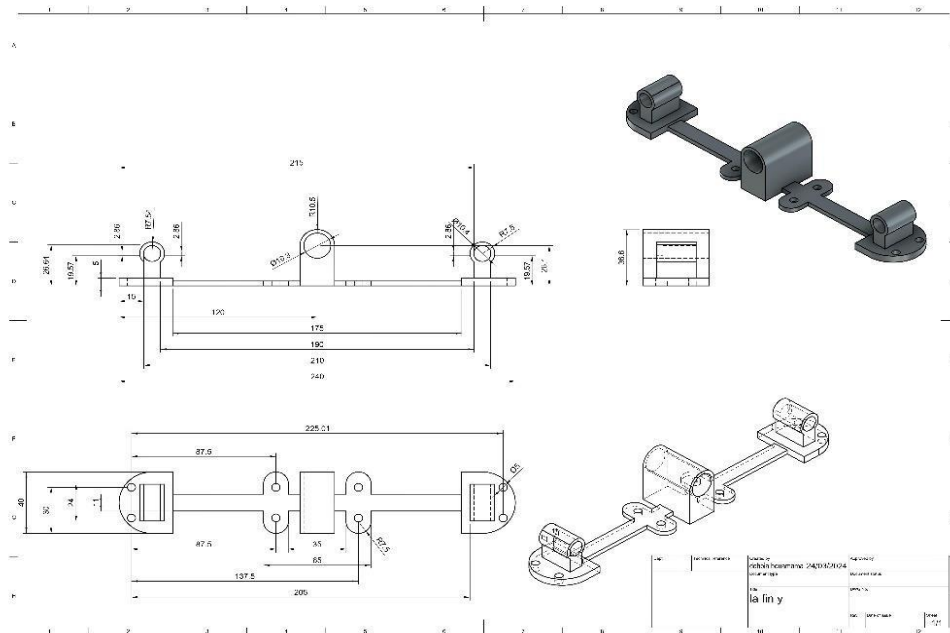


Figure 37:support de la fin axe y

2.4.2.3 Support T

C'est une pièce imprimée en forme T. Elle contient un trou d'entrée principale pour le roulement et deux trous pour la fixation sur la table.

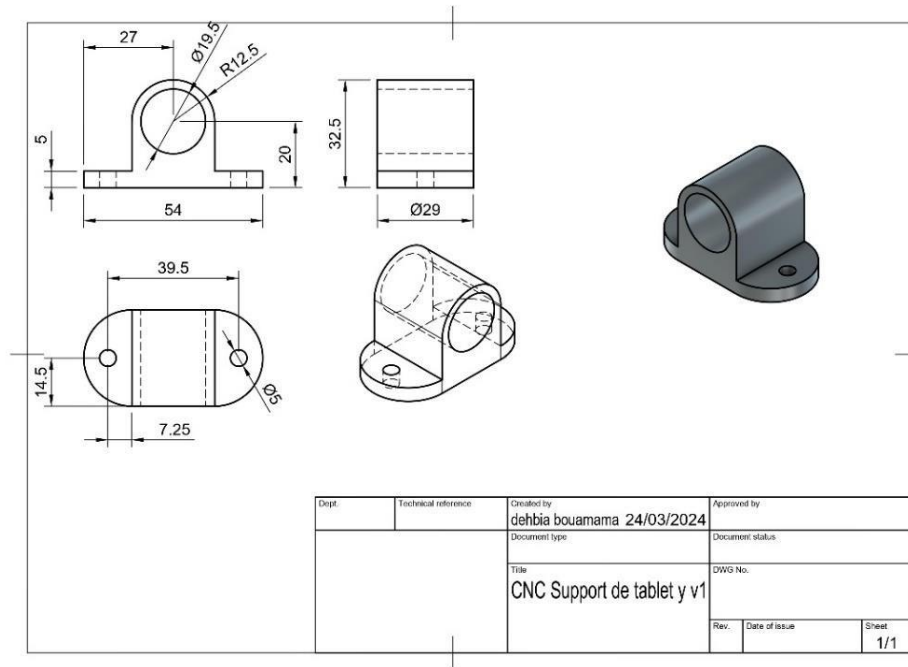


Figure 38:support T

2.4.2.4 Support NUT :

Cette pièce à la même dimension avec la pièce précédente, avec un écrou pour la tige filetée

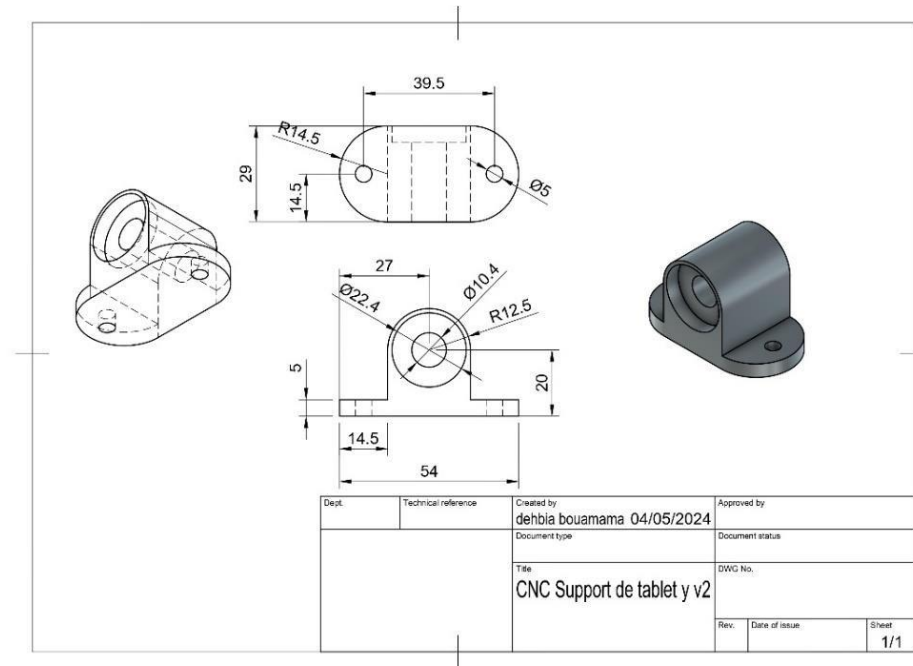


Figure 39:support NUT

2.4.3 Axe Z

2.4.3.1 Support de début d'axe Z

Ce support est le point de départ de l'axe Z. Il est composé de deux parties : un cube percé pour loger le moteur pas à pas Nema 17 et une section supplémentaire pour fixer le support et la tige pleine. Le support contient trois entrées principales et douze trous pour le fixer sur les profilés en aluminium.

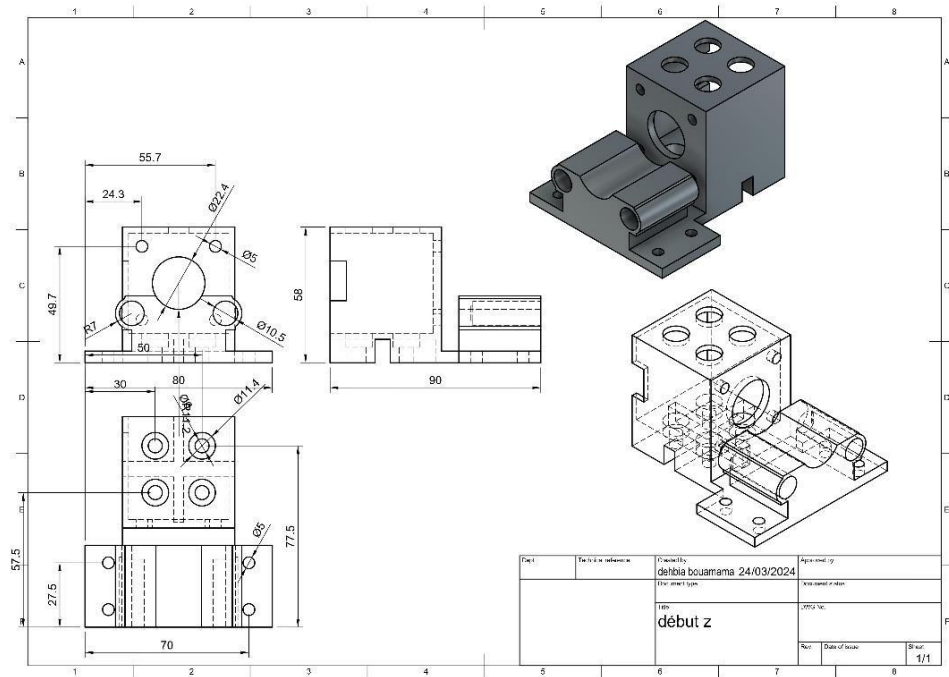


Figure 40:support de début d'axe

2.4.3.2 Support de fin d'axe Z

Ce support s'installe à la fin de l'axe Z. Le support contient trois entrées principales et quatre trous pour le fixer sur les profilés en aluminium

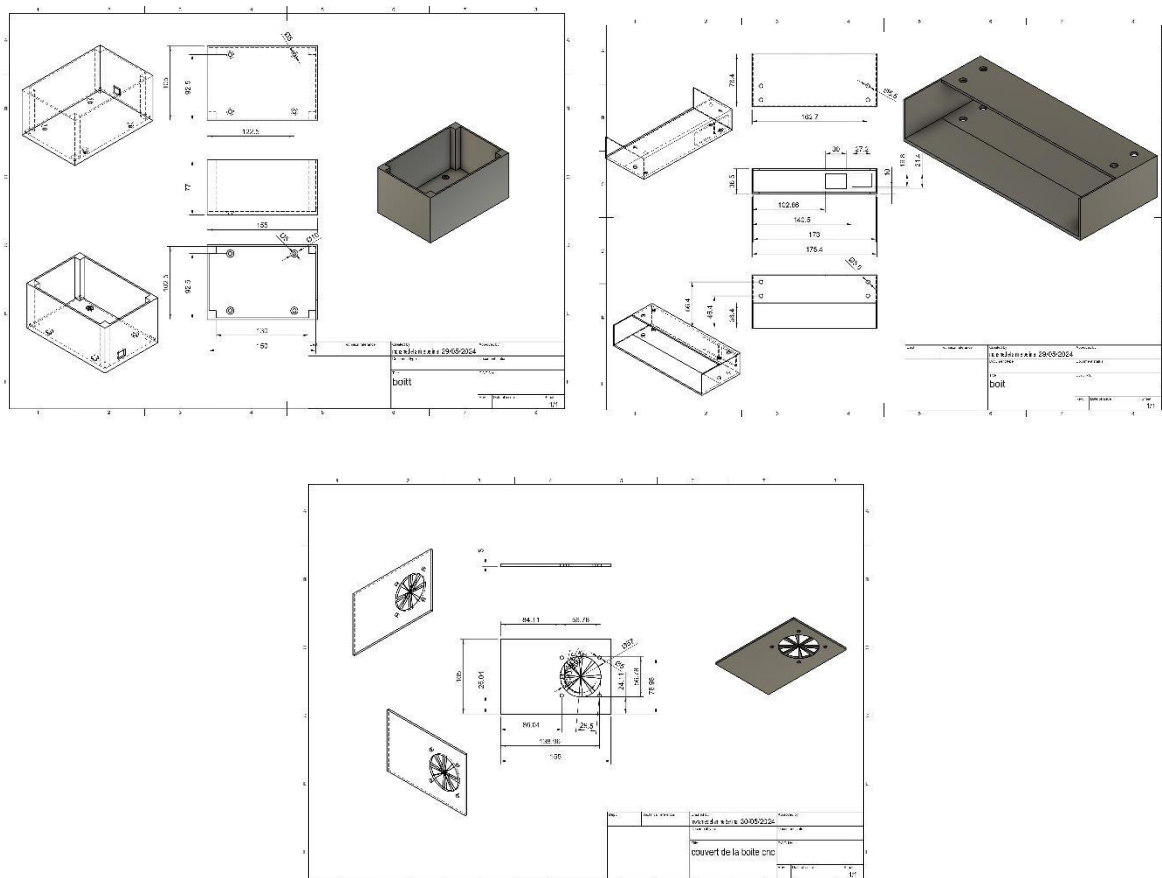


Figure 44:Pièces de partie électronique

2.5 Impression 3D des pièces mécaniques

Après la conception des pièces mécanique dans le logiciel « **Fusion 360** ». Au cours de l'impression 3D, divers paramètres sont pris en considération afin d'obtenir des résultats optimaux. En premier lieu, la température du plateau est conservée à 60°C, tandis que la tête d'impression fonctionne à une température de 215°C. Chaque couche a une épaisseur comprise entre 0.2 et 0.28 millimètres, tandis que la buse utilisée a un diamètre de 0.4 mm. La durée prévue pour imprimer toutes les pièces est de 30 heures, avec une quantité totale de filament de 1 kg. Si l'impression échoue, il est possible d'affecter huit pièces, avec un filament de 0,3 kg et une perte de temps estimée à 7 heures. Le matériau employé est du PLA dont le diamètre est de 1,75 mm, et il est disponible en deux couleurs blanc et noir. L'impression reste à une vitesse constante de 60 mm/min afin de garantir une qualité de production homogène.

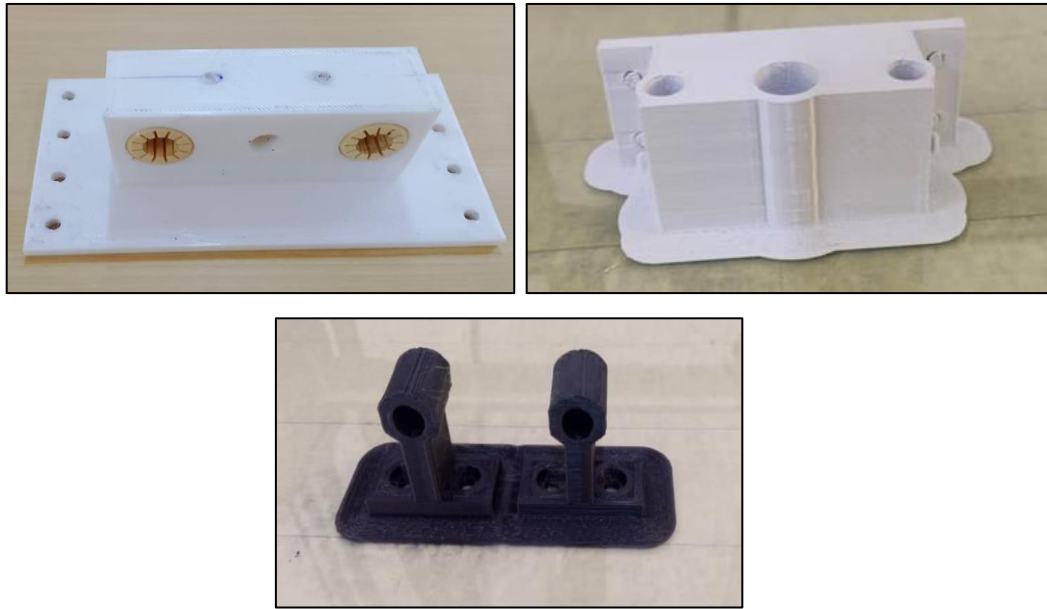


Figure 45:quelque pièce de l'axe X

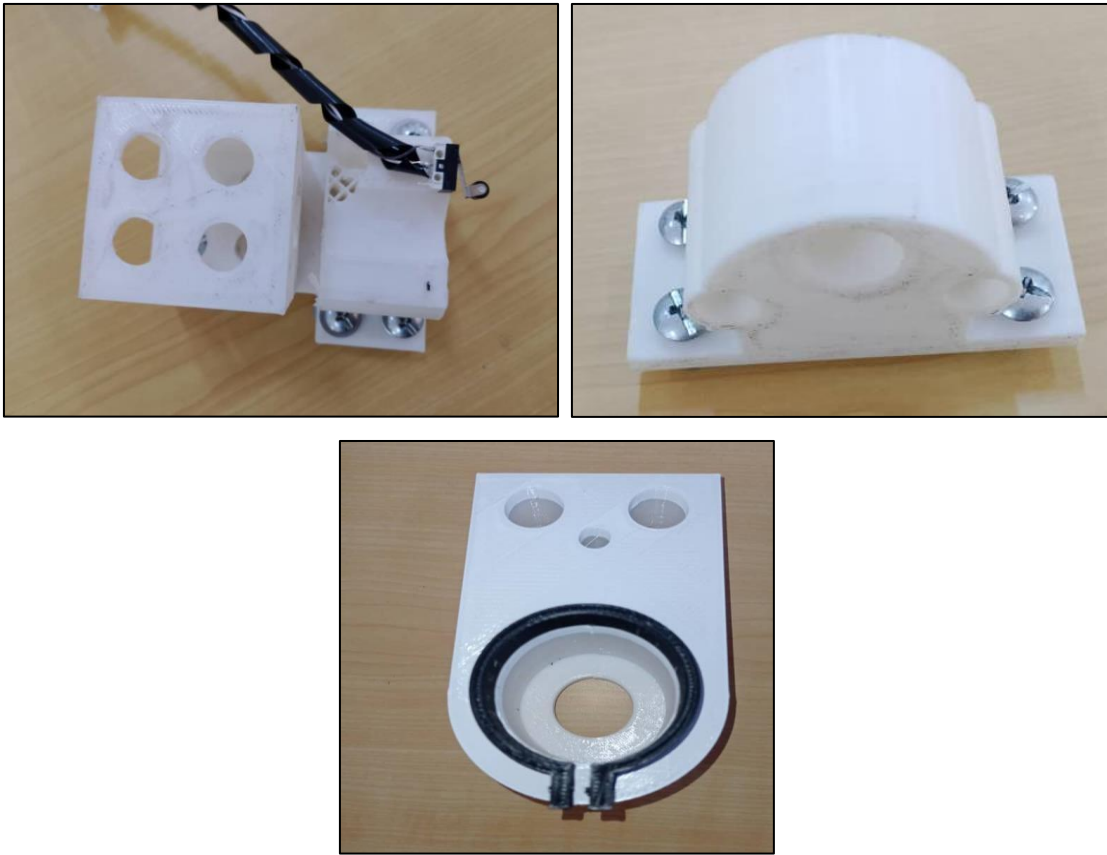


Figure 46:quelque pièce de l'axe X



Figure 47:pièce de l'axe Z



Figure 48:les pièces de finition

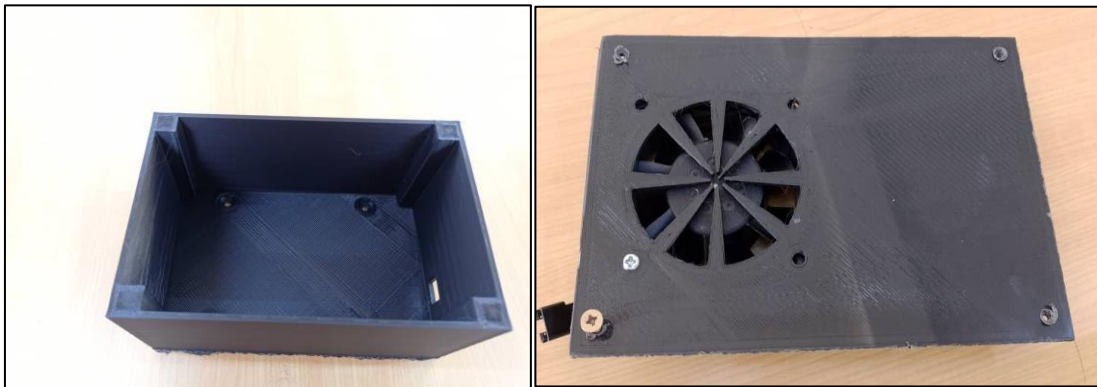


Figure 49:les pièces de finition

2.6 Assemblage de machine CNC :

Etape 01 : le cadre de la machine

Le cadre est composé d'un ensemble de profils en aluminium de 500 mm de longueur, fixés avec des équerres dans les angles.



Figure 50: assemblage le cadre de la machine

Etape 02 : l'assemblage sur l'axe x

Commençons par l'assemblage des composants (moteur pas à pas nema 17, accouplement, deux tige plein et une tige fileté) et les supports (support de début et de fin) de l'axe X

Figure 51: assemblage l'axe x

Figure 52: assemblage l'axe x

Figure 53: assemblage l'axe x

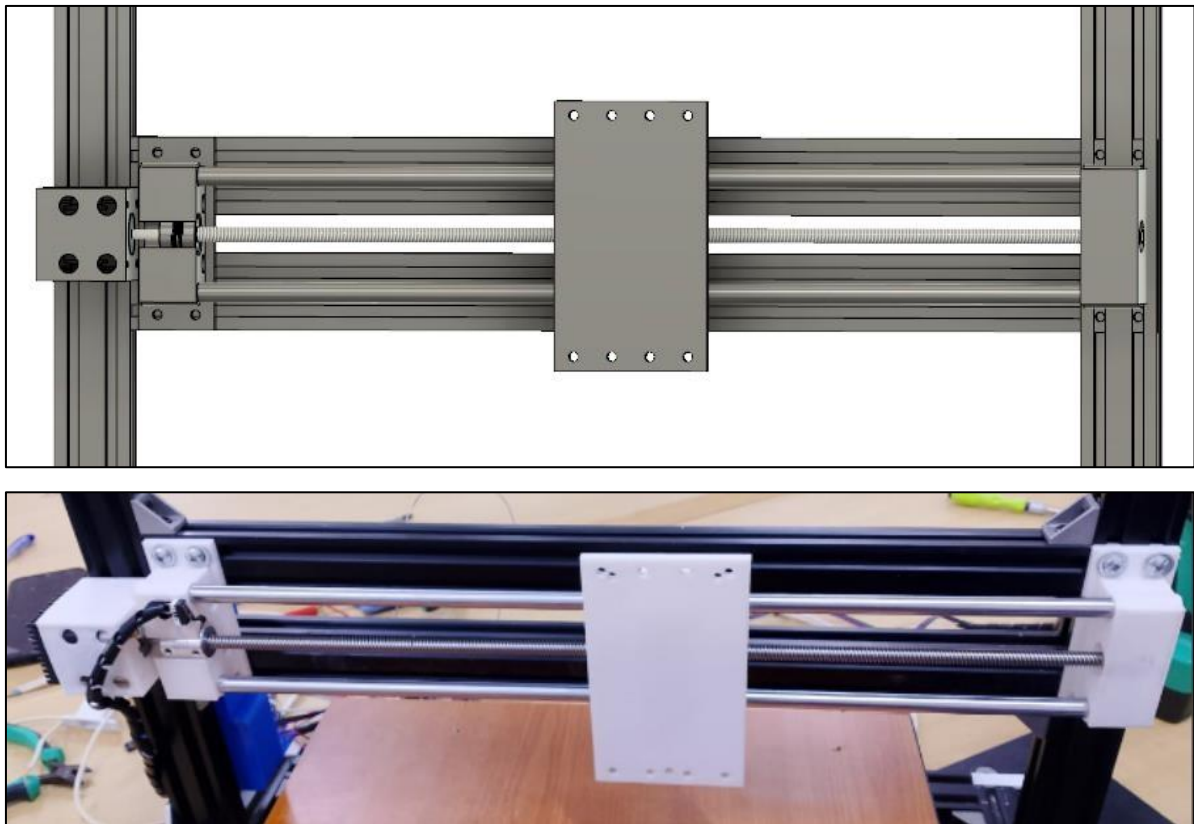


Figure 54: assemblage l'axe x

Etape 3 : assemblage de l'axe Z

L'axe Z se compose d'un profil aluminium, les supports (début de l'axe ; support de la broche ; la fin de l'axe) et quelques composants électroniques et mécaniques (moteur pas à pas ; accouplement ; tige fileté et plein ;...)

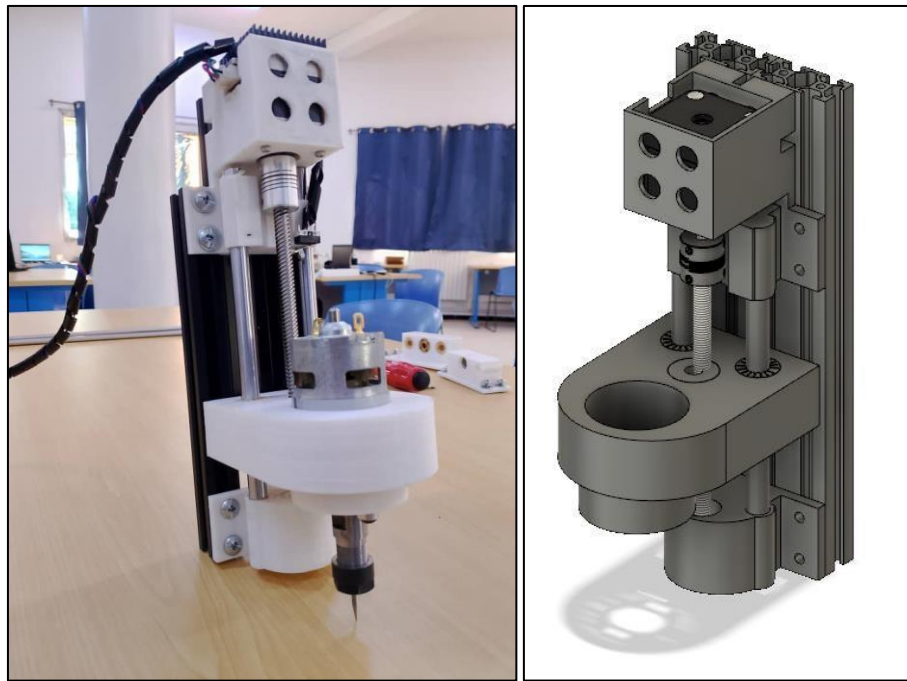


Figure 55: assemblage l'axe z

Etape 04 : l'assemblage de l'axe y

Nous allons installer les supports (début, la fin, T et NUT) de l'axe Y, leurs composants (moteur pas à pas, accouplement, roulement, écrou et tige fileté et plein) et la table.

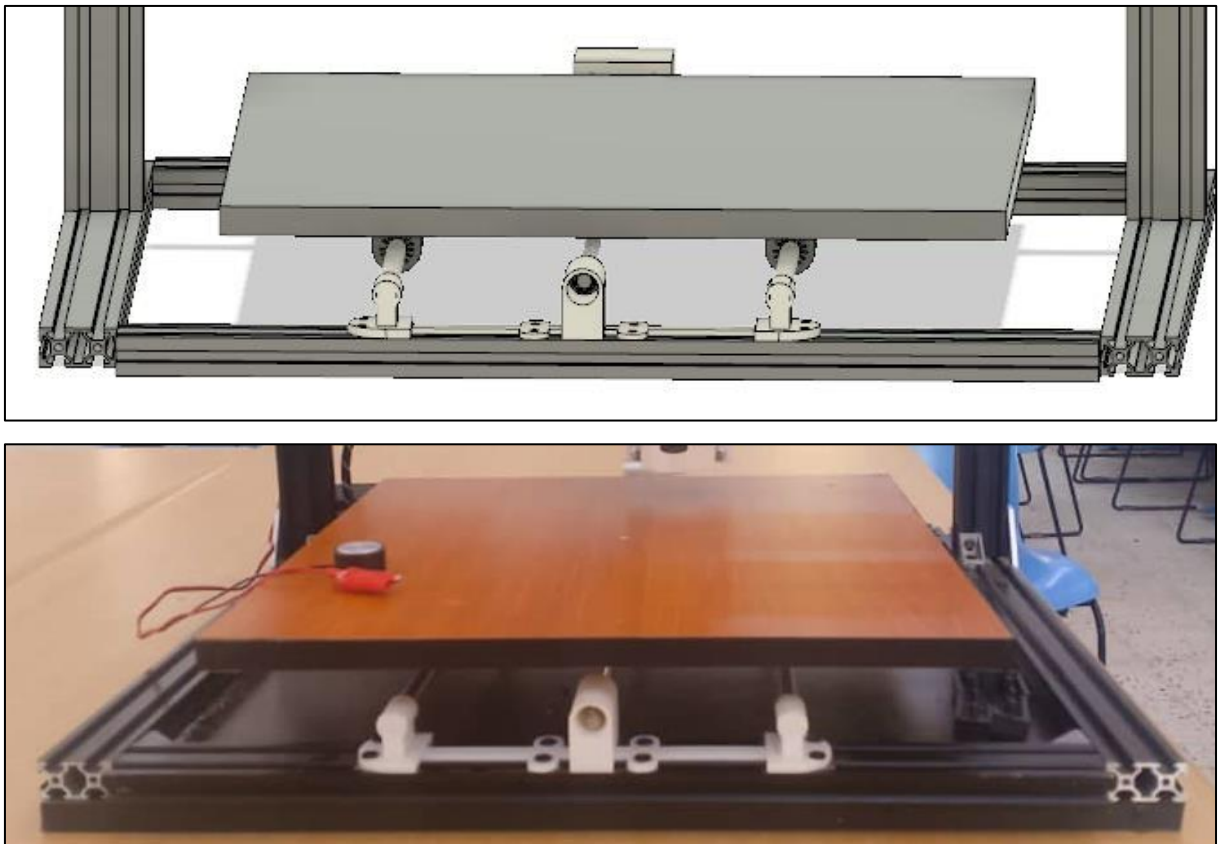


Figure 56: assemblage l'axe y

Etape 05 : Assemblage final de machine

Nous allons combiner les axes X Y Z pour obtenir la version finale de la machine

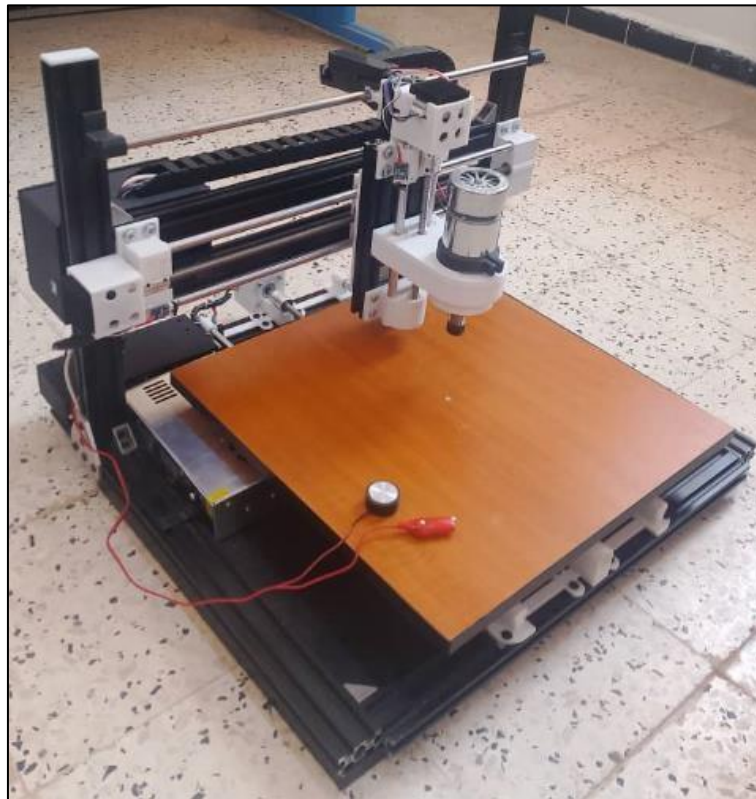
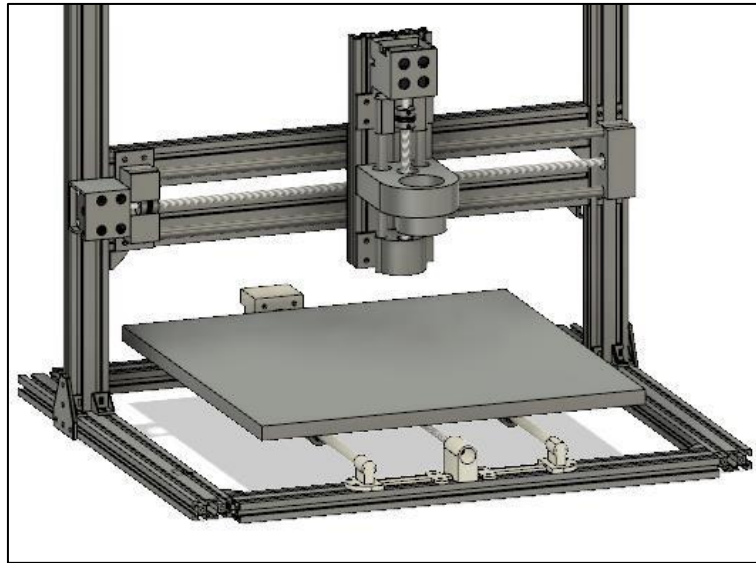


Figure 57:Assemblage final de machine

2.7 Conception électronique

Cette partie regrouper plusieurs composants pour réaliser notre machine CNC. Tout d'abord, nous connectons la carte Arduino UNO avec adaptateur CNC shield v3 qui adapté pour elle. Ensuite, établissons une connexion entre adaptateur et les drivers de pilotage et moteurs pas à pas Nema 17.

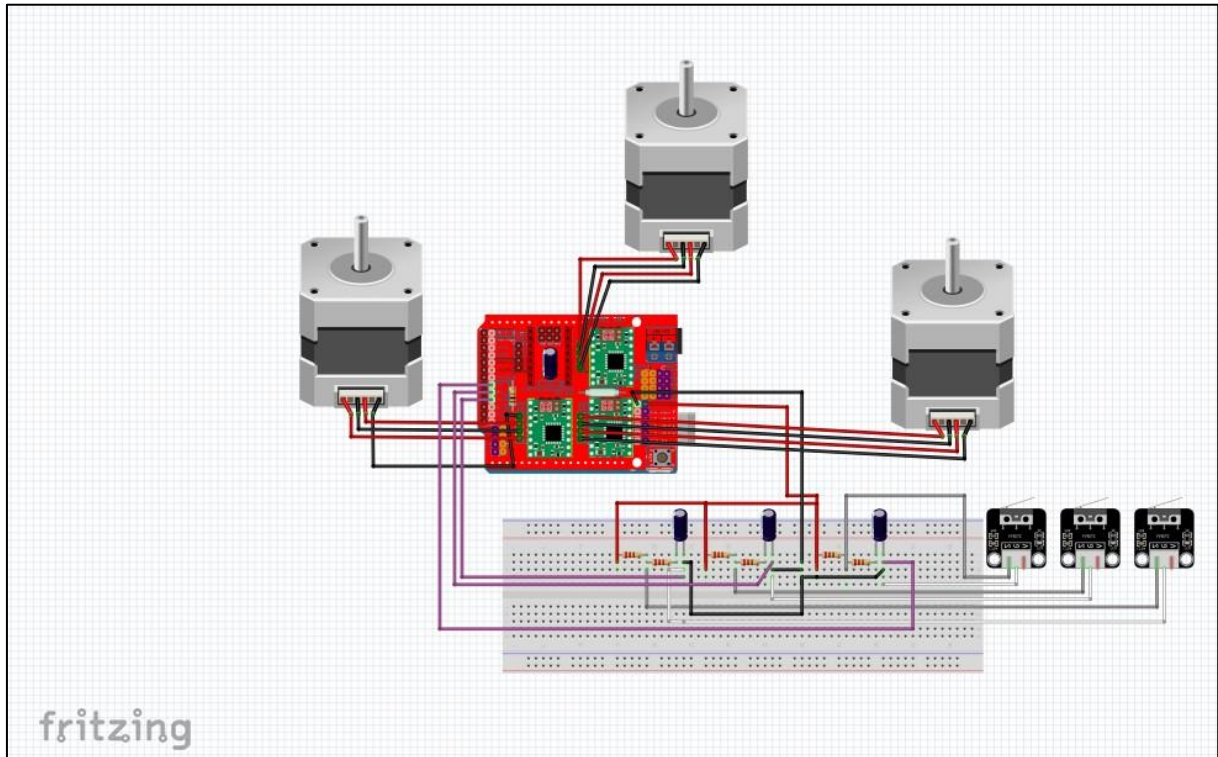


Figure 58:circuit électronique

Pour alimenter ce circuit, nous avons besoin d'une source d'alimentation en courant continu (DC). La carte Arduino UNO peut être alimentée par une tension de 5V lorsqu'elle est connectée à un PC, ou par une tension comprise entre 7V et 12V si elle est alimentée par une autre source. Le CNC shield, quant à lui, nécessite une alimentation variant entre 12V et 36V. Dans notre projet, nous utilisons un PC pour alimenter la carte Arduino UNO et un onduleur AC/DC (220V à 34V) pour alimenter le CNC shield.

2.8 Programmation de microcontrôleur

Dans cette partie du projet, nous avons utilisé un micro-logiciel open source appelé GRBL. Ce logiciel est spécifiquement conçu pour contrôler les machines à commande numérique (CNC). Nous avons employé l'environnement de développement intégré Arduino (Arduino IDE) pour charger le code sur notre microcontrôleur. Cet outil convient spécialement à la programmation des cartes Arduino, proposant une interface conviviale et une compatibilité avec de nombreuses bibliothèques.

Une fois le code GRBL téléversé sur le microcontrôleur, nous avons procédé à une configuration minutieuse pour que ce dernier puisse s'adapter parfaitement aux spécifications de notre machine CNC.



Figure 59: téléversement le micro-logiciel GRBL à l'aide d'arduino IDE

2.9 Paramétrage de la machine CNC :

La configuration est terminée lorsque l'Arduino est connecté et que vous établissez une connexion série avec lui. Il existe de nombreux logiciels différents disponibles pour envoyer du G-code et le contrôler GRBL, nous utilisons le logiciel OpenBuilds.

Pour lister tous les paramètres qui adaptent Grbl aux particularités de notre machine, on clique sur Grbl Paramètres, Montre-nous une liste de paramètre

```
$0=10 (step pulse, usec | impulsion de pas en micro-secondes)
$1=25 (step idle delay, msec | délai de retard de pas en msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=6 (dir port invert mask:00000110)
$4=0 (step enable invert, bool | inverser l'activation de pas, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool | inverser les broches de fin de course, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool | inverser la broche de sonde, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.020 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
$24=50.000 (homing feed, mm/min)
$25=635.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=314.961 (x, step/mm)
$101=314.961 (y, step/mm)
$102=314.961 (z, step/mm)
$110=635.000 (x max rate, mm/min)
$111=635.000 (y max rate, mm/min)
$112=635.000 (z max rate, mm/min)
$120=50.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=50.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=50.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=225.000 (x max travel, mm)
$131=125.000 (y max travel, mm)
$132=170.000 (z max travel, mm)
```

Figure 60:les paramètres de Grbl

Pour contrôler notre machine, nous devons régler quelque paramètre :

2.9.1 Paramètres 100, 101 et 102, nombre de pas par millimètre :

Nous examinerons d'abord les paramètres 100, 101 et 102. Définit le nombre de pas (moteur pas à pas) requis pour parcourir une distance de 1 mm sur l'axe spécifié. La plupart du temps, 100 et 101 (X et Y) sont identiques, tandis que Z (102) a des valeurs différentes. La formule pour calculer cette valeur est :

$$\text{Valeur}_{100,101,102} = \frac{N_p * \text{micro}_{\text{stepping}}}{P_v}$$

Où :

N_p : Nombre de pas (du moteur) pour faire 360°

P_v : Pas de la Visse sans fin

Pour calculer les pas/mm d'un axe machine, vous devez savoir :

- Le nombre de pas par tour de moteur (360°) est de 200 -
Le nombre de micro-pas pour le lecteur est de 8.
- Vis sans tête : numéro de pas 8 mm

$$\text{Valeur}_{100,101,102} = \frac{200 * 8}{8}$$

$$\text{Valeur}_{100,101,102} = 200 \text{ step/mm}$$

2.9.2 Paramètres 110, 111 et 112. Vitesse maximum sur X, Y et Z :

Nous entrons ici davantage dans le domaine de l'expérimentation personnelle que dans celui de la raison pure. Il s'agit de la vitesse maximale de déplacement, hors travail. Après avoir compris les caractéristiques du moteur pas à pas, nous choisissons une valeur de vitesse de 2000 mm/min.

2.9.3 Paramètres 120, 121 et 122. L'accélération maximum sur X, Y et Z :

Détermine les dimensions des axes en millimètres par seconde. Il est nécessaire de tester chaque axe individuellement en augmentant progressivement le paramètre et en effectuant un déplacement à chaque fois.

La valeur de l'accélération choisie est de 1000 mm/s.

2.9.4 Paramètres 130, 131 et 132. Distance maximum à parcourir sur chacun des axes :

Il n'est pas nécessaire de faire de calcul ici, il vous suffit d'entrer la longueur de coupe sur cet axe en millimètres. On prend :

$$X_{\max} = 300\text{mm}$$

$$Y_{\max} = 300\text{mm}$$

$$Z_{\max} = 100\text{mm}$$

2.10 Contrôle de la machine CNC fraiseuse :

Contrôle d'une machine CNC est une partie important. Donc nous utilisons un logiciel de contrôle OpenBuilds. OpenBuilds CONTROL est une application pour connecter et contrôler des machines CNC.

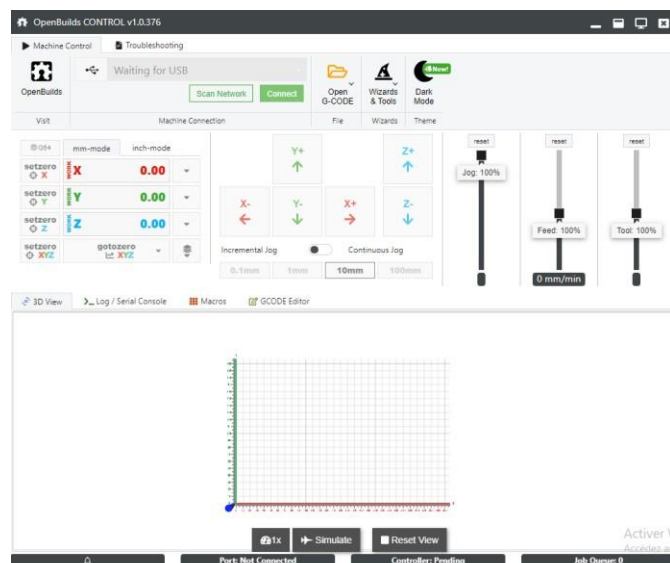


Figure 61:interface d'OpenBuilds

Le contrôle de nos machines-outils CNC commence par la création d'un modèle de pièce à l'aide du logiciel OpenBuilds CAM CAD. Une fois le modèle terminé, le logiciel génère le code G, qui est essentiel pour diriger le fonctionnement de la machine-outil CNC. Ce code est ensuite importé dans OpenBuilds Control, un logiciel conçu pour contrôler les machines CNC.

OpenBuilds Control interprète le G-code et envoie les commandes appropriées aux moteurs pas à pas via le pilote de la machine pour contrôler le mouvement de l'outil de coupe. Le logiciel fournit une interface intuitive qui vous permet de configurer, tester et exécuter avec précision des tâches d'usinage. Pendant le traitement, nous pouvons surveiller et ajuster des paramètres tels que la vitesse et la position de l'outil en temps réel pour garantir la qualité et la précision du traitement. Après l'usinage, les pièces sont inspectées pour vérifier la conformité aux spécifications initiales.

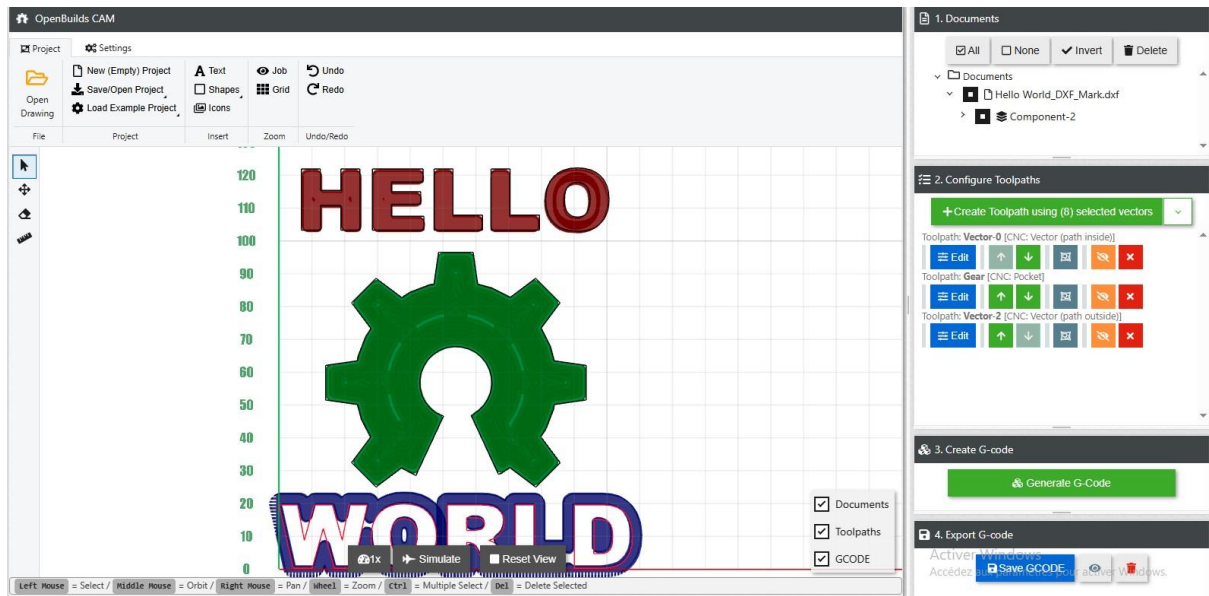


Figure 62: exemple de contrôle de la machine CNC

2.11 Test de la machine CNC fraiseuse :

Pour évaluer les performances de notre machine CNC, nous avons effectué une série de tests sur différents matériaux, bois et verre, et déterminé la précision des résultats.

- **Test sur le verre :** Ce test introduit la gravure sur verre. Effectuons ce test pour confirmer que notre machine fonctionne sur du verre et pour la précision.



Figure 63: résultat test sur le verre

- **Test sur le bois :** dans ce test nous allons faire quelques perçages du bois pour évaluer la performance de notre machine CNC. Nous commencerons par configuration de la machine avec les paramètres de coupe appropriés .ensuit, nous réaliserons plusieurs trous pour tester la précision et la régularité des perçages. Ce test pour les inserts de fixation

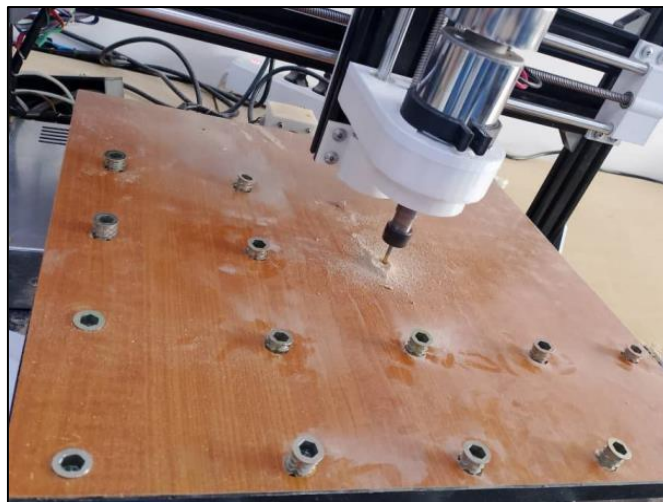


Figure 64: résultat de test sur le bois

Les résultats montrent la qualité de notre travail sur différents matériaux et la précision de notre machine CNC.

2.12 Conclusion

La conception et la réalisation d'une machine CNC fraiseuse ont permis d'acquérir des compétences variées en CAO, impression 3D, électronique, programmation et usinage. Les défis d'alignement et d'intégration des composants ont été surmontés.

Chapitre 3 Étude technico-économique

3.1 Présentation du projet

3.1.1 L'idée de projet

Notre projet est axé sur la production de machines CNC, machines automatiques contrôlées par ordinateur, qui se caractérisent par leur grande précision et leur polyvalence, puisqu'elles peuvent être utilisées pour des opérations comme la gravure, la sculpture et la découpe.

3.1.2 Valeurs suggérées

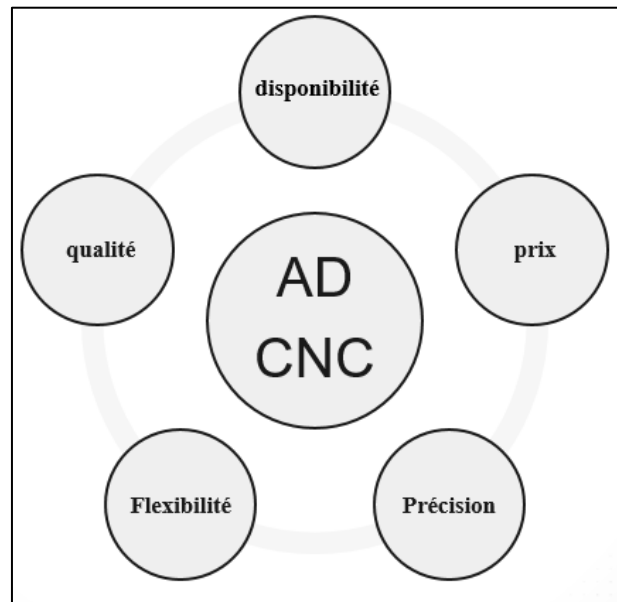


Figure 65: Valeurs suggérées

3.1.3 Équipe de travail

3.1.3.1 Étudiantes

BOUAMAMA DEHBIA : Master 2 en instrumentation et métrologie

BERIMA MOHAMED EL AMINE : Master 2 en instrumentation et métrologie

3.1.3.2 Encadrants

Dr. GUERNAZI DAOUD

Dr. BOUBEKEUR DJAMILA

3.1.4 Local

Oran – Algérie

3.1.5 Objectifs du projet

Notre objectif est production des machines CNC plus précise, multifonction tel que gravure, sculpture, découpé. La taille de cette machine moyenne

3.1.6 Calendrier de réalisation du projet

3.1.6.1 Études préalables du projet (3 à 4 mois)

- Performance des recherches scientifiques sur la réalisation des machines CNC et collection des tous informations qu'on a besoin
- Quantification de présence de compétition dans le marché algérien et identifier les points clés
- Recherche des meilleurs matériels et identification des fournisseurs
- Identification des clients visés
- Sondage des opinions des clients sur le projet

3.1.6.2 Lancement de l'activité (6 mois)

- Choix de localisation et des équipements de projet
- Contact direct avec les fournisseurs et validation de matériels et travail techniques
- Installation des équipements et la maintenance
- Commence la conception assistée par ordinateur du projet

3.1.6.3 Finalisation du produit (1 mois)

- Fracturation total
- Choix de conception final

- Emballage
- Participation dans les événements publics, campagnes de marketing

3.2 Aspects innovants

3.2.1 Nature des innovations

Notre projet a l'avantage d'être une innovation de marché et une innovation technologique :

3.2.1.1 Innovation de marché

- La disponibilité localement de la bonne qualité de produit

3.2.1.2 Innovation technologique

- Présenter une innovation dans des différents domaines industriels
- Amélioration d'efficacité de la production dans l'industriel

3.2.2 Domaines d'innovation

- Essentiel pour automobile, électronique, médicale, industrie des bois et d'ameublement, bijouterie, art de design, les universités ...etc.

3.3 Analyse stratégique du marché

3.3.1 Le segment du marché

3.3.1.1 Clients cibles

Notre produit est destiné aux clients suivants :

- Les clients cibles de notre projet sont nombreux ; les électriciens, les usines, les universités, les designers

3.3.1.2 Le marché cible

- Pour aligner notre production initiale avec nos capacités, nous commencerons par nous concentrer sur le marché régional. Plus précisément, nous ciblerons les entreprises situées dans le nord-ouest de l'Algérie, notamment à Oran et ses environs

3.3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

- Il n'a pas les concurrents mais y a concurrents indirects offrant des produits similaires en Algérie.
- Malgré un marché compétitif, notre projet se distingue par sa taille réduite et sa flexibilité, offrant des caractéristiques uniques et innovantes comme la haute précision, et aussi son socle en aluminium, qui nous ont valu un prix prestigieux. Contrairement à nos concurrents, notre projet est conçu pour être mobile et adaptable, ce qui nous permet de répondre efficacement aux besoins changeants de nos clients

3.3.3 Stratégie marketing

- Marketing de la machine par le biais du sponsoring sur les réseaux sociaux en tenant compte de la cible de notre produit
- Participation aux salons nationale

3.4 Plan de production et organisation

3.4.1 Processus de production

Le processus de production de notre machine est :

- Conception en 3D du support d'essai à l'aide d'un programme de conception assistée par ordinateur.
- Réception et validation de la matière première, avec vérification de la qualité.
- Assemblage de partie mécanique et de partie électronique
- Programmation de machine et le test □ Emballage final.
- Distribution et livraison de la machine

3.4.2 L'approvisionnement

Pour l'achat de nos matières premières, nous traitons avec des fournisseurs étrangers, ayant déjà une expérience avec le marché algérien.

3.4.3 La main d'œuvre

Comme nous démarrons par une production à bas échelle, nous commencerons avec une équipe :

- Ingénieur
- Administrateur
- Comptable
- Deux techniciens

3.4.4 Principaux partenaires

□ Les partenariats sont soigneusement sélectionnés pour leur qualité, à savoir les partenaires de fabrication, les organisations professionnelles et les fournisseurs.

3.5 Plan financier

3.5.1 Les coûts et les charges

3.5.1.1 Charges variables

Tableau 2:Charges variables

	Produit brut	Quantité globale	Unité	Valeur du produit brut (DA)	Quantité unitaire (pour 1 unité)	Unité	Coût de reviens unitaire (DA)
Matières premières	filament PLA	200	Kg	1000000,00	1	Kg	5000,00
	V-slot 20x40	500	Kg	168500,00	4,5	Kg	1516,50
	Roulement	500	pièce	100000,00	8	Pièce	1600,00
	Roulement à bille	200	pièce	10000,00	3	Pièce	150,00
	Accouplement	200	pièce	40000,00	3	Pièce	600,00
	Tige plein	200	Kg	592059,92	1		2960,30
	Tige fileté	75	m	3375,00	1,5		67,50
	Ecrou	200	pièce	60000,00	3	Pièce	900,00
	Moteur pas à pas	200	pièce	140000,00	3	Pièce	2100,00
	Fin course	200	pièce	160000,00	3	Pièce	2400,00
	Carte arduino Uno	40	pièce	22283,67	1	Pièce	557,09
	CNC shield	50	pièce	10000,00	1	Pièce	200,00
	Driver TMC	200	pièce	80000,00	3	Pièce	1200,00
	alimentation	40	pièce	24205,27	1	Pièce	605,13
	PCB (Filtre)	50	pièce	10000,00	1	Pièce	200,00
	La broche	50	pièce	168092,13	1	Pièce	3361,84
	Mâche	100	pièce	10000,00	1	Pièce	100,00
	Ecaire	500	pièce	20000,00	12	Pièce	480,00
	Las câbles	5000	m	15000,00	3	Pièce	9,00
	Boulon	20000	pièce	60000,00	85	Pièce	255,00
	interrupteur	100		1340,61	2	Pièce	26,81
Total des charges variables				2698856,60	///		24289,18

3.5.1.2 Équipements

Tableau 3: Équipements

Équipement	Désignation	Valeur unitaire	Quantité	Valeur total DA
	PC	40000	4	160000
	imprimant 3D	100000	3	300000
	Imprimante Laser multifonction	40000	4	160000
	Modem Wifi	3000	1	3000
	caisse d'outil	10000	2	20000
	Total		221	643000
	Dotation à l'amortissement1 (Sur 5ans)			128600

3.5.1.3 Organisation/Main d'œuvre

Tableau 4:Organisation/Main d'œuvre

Organisation/Main d'œuvre	Poste	Nombre	Salaire Mensuel (DA/An)	Salaire Brut (DA/An)
	ingénieur	1	50000	600000
	administrateur	1	35000	420000
	Comptable	1	40000	480000
	technicien	2	40000	960000
	Total masse salariale	5	210000	2460000

3.5.1.4 frais & services divers

Tableau 5: frais & services divers

Frais & Services divers	Frais & Services divers	Nombre	Montant Mensuel (DA/An)	Montant Annuel (DA/An)
	Abonnement internet	1	1500	18000
	Abonnement électricité	1	6000	72000
	Nettoyage	1	2500	30000
	abonnement eau	1	2000	24000
	Licence Logiciel Antivirus (5 pc)	1	700	8400
	Licence Logiciel Design	1	11500	138000
	Frais de location	1	30000	360000
	Total services	7	54200	650400
Total charges fixes (DA)				3110400

3.5.1.5 Frais d'investissement :

Tableau 6: Frais d'investissement

Agencement et installation	Désignation	Valeur (DA)
	Peinture	15000
	Travaux divers	2500
	Ameublement	100000
	Total	117500
	Dotation aux investissements (Sur 10ans)	11750

3.5.1.6 Marketing

Tableau 7:Marketing

	Mois												T ot
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Budget mensuel (x1000 DA)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240

3.5.2 Chiffre d'affaires

3.5.2.1 Ventes de produit

Tableau 8:Ventes de produit

Biens / Services			Mois												Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Produit/service1	Unités vendues	Q1	3	8	10	15	15	15	20	20	30	40	50	60	286
	Prix de vente (x1000 DA)	P1	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	///
	Chiffre d'affaires (x1000 DA)	CA1	240,00	640,00	800,00	1200,00	1200,00	1200,00	1600,00	1600,00	2400,00	3200,00	4000,00	4800,00	22880,00

3.5.3 Bilan final

Tableau 9: bilan final

	Formule	Montant (DA)
Cout unitaire initial (DA)		24289,18
Charges fixes unitaire (DA)		10875,52
Dotation à l'amortissement unitaire (Sur 5 ans)		449,65
Dotation aux investissements unitaire (Sur 10 ans)		41,08
Cout Unitaire final (DA)	$A+B+C+D$	35655,44
Capacité de production (unités/an)		286
Budget Marketing (DA/an)		240000,00
Cout du projet annuel (DA)	$(E*F)+G$	10437454,88
Chiffre d'affaires annuel (DA)		22880000,00
Bénéfice annuel (DA)	$I-H$	12442545,12
Marge bénéficiaire (%)	$J*100/I$	54,38 %

3.5.4 Business Model Canevas

Tableau 10: Business Model Canevas

BUSINESS MODEL CANVAS		Conçu par: Bouamama Dehbia Berima Mohamed el amine		Version: 01
Partenaires clés Fournisseurs des composants Fournisseurs d’équipement Réseaux de distribution.	Activités Clés Fabrication. Marketing. Ventes.	Propositions de valeur Moins coûteux. Disponible. Précis Efficace	Relation Client Ressources en ligne. Disponible.	Clients Les entreprises Les électroniciens Les artisanes
	Ressources clés Matière premières Équipement de l’assemblage		Canaux Vente directe. Distributeurs. Approvisionnement sur site	
Coûts - Recherche et développement - Matériels et matières premières - Marketing. - Charges du local et maintien de l’équipement. Cout du projet annuel : 10433620,73DA Charges Fixe : 10875,52 DA Charges Variable : 24275,77 DA		Revenus Promotions Vente		
Incubateur de Oran 1 Université – Ahmed Ben Bella				

3.6 Prototype expérimental

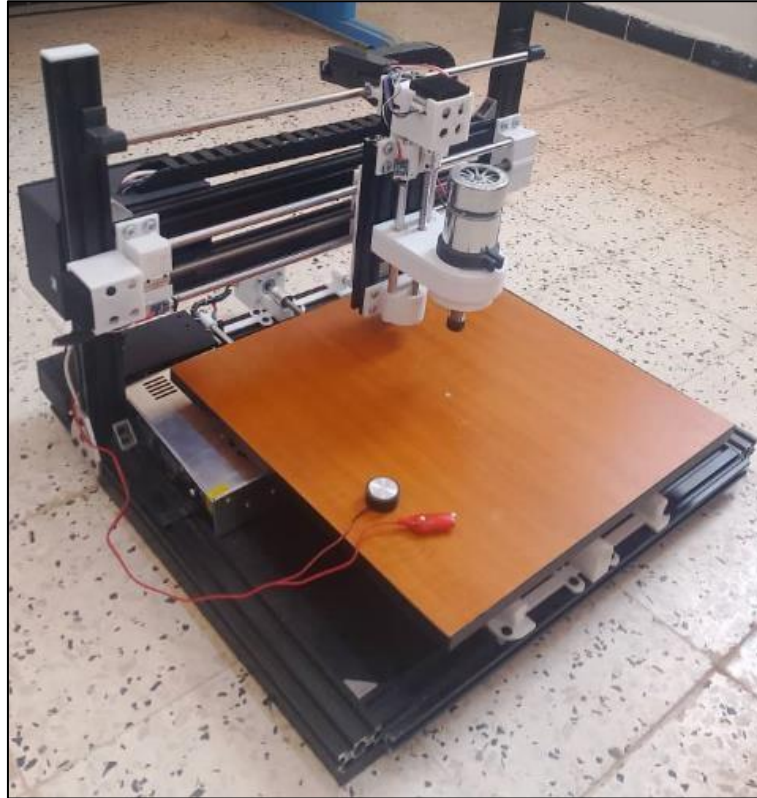


Figure 66:prototype final de notre machine CNC fraiseuse

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire représente non seulement un compte rendu détaillé de notre parcours dans la conception et la réalisation d'une fraiseuse CNC, mais aussi une ressource précieuse pour tous ceux qui sont intéressés par la fabrication numérique avancée.

Le premier chapitre a défini la fraiseuse CNC comme cruciale pour la précision du façonnage dans l'industrie manufacturière, explorant ses configurations et ses composants clés tels que les moteurs pas à pas, les systèmes de guidage linéaire et les logiciels de programmation.

Le deuxième chapitre a défini la conception et la réalisation de notre machine par les étapes suivantes :

- Les composants ont été choisis méticuleusement pour garantir une performance optimale et une parfaite compatibilité avec les exigences spécifiques de notre projet.
- La conception précise des pièces mécaniques et l'utilisation de l'impression 3D ont permis une personnalisation efficace tout en maintenant la qualité et en réduisant les délais de production
- L'impression 3D a joué un rôle crucial dans la fabrication de pièces complexes et personnalisées pour la machine CNC, facilitant des conceptions innovantes et optimisant l'assemblage pour réduire les délais
- L'assemblage soigneux des composants mécaniques et électroniques a été effectué avec une attention particulière à la robustesse et à la fiabilité de la fraiseuse CNC, garantissant une intégrité structurelle et opérationnelle optimale
- Les tests minutieux à chaque étape du développement ont été essentiels pour valider la conception et la fonctionnalité de la machine CNC. Les procédures ont évalué la précision des mouvements, la stabilité structurelle, ainsi que la fiabilité et la sécurité des composants électroniques. Les résultats ont confirmé la conformité aux spécifications initiales et ont identifié des domaines d'amélioration potentiels

Perspectives

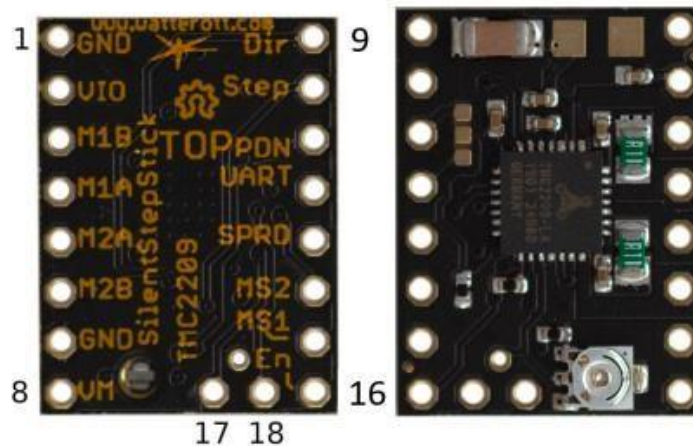
Ce projet peut être poursuivi en améliorant les performances de notre machine CNC, en ajoutant de nouvelles fonctionnalités ou en développant de nouvelles applications :

- La réalisation des pièces en aluminium pour avoir certaine rigidité de la machine.
- Remplacement de la table en bois par une table en aluminium
- L'ajout d'un écran tactile qui permet de contrôler la machine.

Annexe A

TMC 2209

Module :



Caractéristiques et ressources supplémentaires :

- TMC2209-LA contrôleur et pilote de moteur pas à pas
- Tension d'alimentation 4.75-28V
- Iphase continue = 1,4ARMS
- Iphase jusqu'à 1,77ARMS = 2,5Apeak pendant une courte durée
- Fonctionnement silencieux avec StealthChop™
- Déplacement sans capteur avec StallGuard4™
- Économies d'énergie avec CoolStep™
- Configuration et diagnostics étendus via UART
- Contrôle via l'interface Step&Dir
- Largeur de la carte 0,6", hauteur de la carte 0,8".
- 2x8 rangées d'en-têtes de 0,1" pour les broches/connecteurs.

- Lien vers des informations complémentaires et la fiche technique du circuit intégré

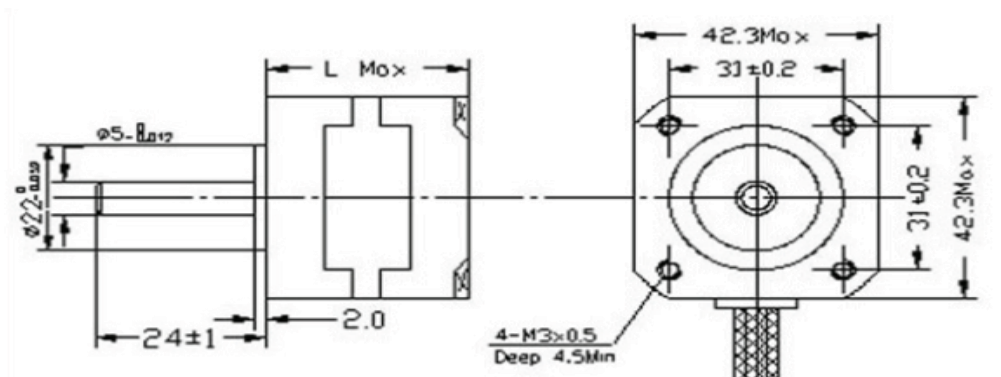
Liste des pins :

Left	Signal	Right	Signal
1	GND	9	Dir
2	VIO	10	Step
3	M1B (Motor Phase B)	11	PDN
4	M1A (Motor Phase A)	12	UART
5	M2A (Motor Phase A)	13	SPRD
6	M2B (Motor Phase B)	14	MS2
7	GND	15	MS1
8	VM	16	EN
17	INDEX	18	DIAG

Annexe B

Moteur pas à pas NEMA 17

Démontions mécanique :



Caractéristiques électriques :

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

Electrical Specifications (Motor)											
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-AG26.8	1.8	48	3.1	2.5	1.25	1.8	4800	4	68	280	0.34

Bibliographie

- [1] B. Ahmed et O.-R. Amine, « theme de mémoire master professionnel “Étude et conception d’une machine de placement des composants traversant sur les cartes mères” ».
- [2] R. Ronquillo, « Understanding CNC Milling ».
- [3] C. Machining, « Comment fonctionne le fraisage CNC », Capable Machining.
- [4] « Gilles .Prod’homme- Commande numérique des machines-outils - Journaliste spécialisé dans le domaine de la production automatisée-Responsable des Relations Extérieures de la société NUM SA - Doc B 7 130 ».
- [5] R. Precision, « Fraisage horizontal vs vertical », Précision Runsom.
- [6] A. Ambadkar, « CNC Milling: A Comprehensive Guide to Understanding and Mastering the Technology ».
- [7] R. A. Mohammed et B. Djamal, « mémoire master “Conception et réalisation d’une machine CNC” ».
- [8] Isaac, « Roulement linéaire: qu’est-ce que c’est et à quoi sert-il », Hardware libre.
- [9] O. Tassadit et M. Zina, « mémoire master"Conception et étude d’une fraiseuse à commande numérique MOCN" » ,2015.
- [10] B. YESSINE, « 📖 Thésés-Algérie: Doctorat, Magister, Master... »
- [11] « Qu’est-ce qu’un moteur pas à pas ? Types, construction, fonctionnement et applications | IWOFR ».
- [12] K. Sarah et D. Samia, « thème mémoire master «Commande par retour d’état et par observateurs à modes glissants d’un moteur pas à pas " »», 2013.
- [13] P. Mayé, Moteurs électriques pour la robotique. 2024.
- [14] « Driver de moteur pas à pas | YoupiLab Components ».
- [15] Xukyo, « Utilisation d’un driver de moteur pas-à-pas A4988 • AranaCorp », AranaCorp.
- [16] K. Draif, « Comment utiliser Shield V3 CNC avec Arduino - Moussasoft ».

- [17] B. Thiziri et H. Naima, « theme de mémoire fin d'étude "Le développement d'une carte électronique pour le contrôle d'un système de sécurité dans une entreprise" », 26 septembre 2018.
- [18] S. Mokhtara, « ETUDE ET REALISATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU », juin 2018.
- [19] « Everything You Need To Know About CNC Spindle Motors », Industrial Automation Co.
- [20] N. Aissa et B. Saaden-Toufik, « Conception et réalisation d'une machine CNC à deux axes », 13 juillet 2022.
- [21] N. Abderrahmane et M. Deyaeddine, « theme de master : "Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage" », 7 juin 2015.
- [22] S. Boutayeb et T. M. Benlamoudi, « FABRICATION D'UN MOULE POUR INJECTION PLASTIQUE PAR CNC », Thesis, 2021
- [23] la rédaction, « Définition | Impression 3D - Impression tridimensionnelle | Futura Tech », Futura.
- [24] O. Miclette, « MONTRÉAL, LE 25 OCTOBRE 2022 ».