

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة ألكلي محمد أولحاج - البويرة -

Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira –

كلية العلوم و العلوم التطبيقية

Faculté des Sciences et Sciences Appliquées



جامعة البويرة

## MEMOIRE DE MASTER

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

*HAMAZ Messaoud Et TERGOU Hanane*

Conception et réalisation d'une  
machine-outil à commande numérique

Devant le Jury composé de :

Mr. Bensafia yassin

M.

Univ. Bouira

Président

Mme. AGGOUN

M.

Univ. Bouira

Encadreur

Mr. HAROUNE

M.

Univ. Bouira

Co-Encadreur

Mr. Aissouni salim

M.

Univ. Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2023-2024



## **Dédicaces**

*Je dédie ce projet :*

***A ma chère mère,  
mon cher père,***

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard,  
de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

***A mes chères sœurs Manel, Hiba, Hadjer***

*Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout  
au long de mes études*

***À ma binôme Hanane TERGOU,***

*Qui a eu la patience de me soutenir durant ce mémoire*

*et qui m'a encouragé à travers tous les  
moments difficiles que nous avons traversés.*

***A mes chers amis,***

*Pour leurs encouragements, leur aide et  
leur compagnonnage durant ces années d'études.*

**Messaoud HAMAZ**



## **Dédicaces**

*Je dédie ce projet :*

***A ma chère mère,***

***A mon cher père,***

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard,  
de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

***A mes frères, Aziz et Hamza,***

***A ma chère sœur Lila,***

*Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout  
au long de mes études*

***À mon binôme Hamaz Messaoud,***

*Qui a eu la patience de me soutenir durant ce mémoire*

*et qui m'a encouragé à travers tous les  
moments difficiles que nous avons traversés.*

***A mes chers amis,***

*Pour leurs encouragements, leur aide et  
leur compagnonnage durant ces années d'études.*

***Hanane TERGOU***



## **Remerciements**

*Nous remercions ALLAH le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la santé, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail, sans lesquels nous n'aurions pas pu progresser.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère reconnaissance à notre promotrice, Mme AGOUNE GHANIA, ainsi qu'à notre Co-promoteur, M. HAROUN SMAIL, pour leur disponibilité, leurs conseils judicieux, leurs directives et leurs orientations. Nous les remercions d'avoir accepté de diriger ce projet, de nous avoir soutenus tout au long de notre travail, de nous avoir accordé leur confiance et de nous avoir fait profiter de leur vaste expérience tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'études.*

*Aux membres du jury, nous sommes très honorés que vous acceptiez de juger ce travail. Nos plus sincères remerciements à tous nos enseignants du département de génie électrique, spécialité électronique des systèmes embarqués, chacun par son nom.*



# Table des Matières

<i>Dédicaces</i> .....	<i>I</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>III</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>IV</i>
Table des matières.....	V
Liste des figures .....	VIII
Liste des tableaux .....	X
Liste des abréviations .....	XI

Introduction générale ..... 1

## *Chapitre 01 : Généralités sur les machines CNC à commande numérique et la gravure*

1.1 Introduction.....	2
1.2 Historique .....	2
1.3 Définition de la commande numérique .....	3
1.4 Définition d'une machine CNC.....	3
1.5 Architecture et organisation générale d'une machine-outil à commande numérique....	4
1.5.1 La partie opérative (appelée PO).....	5
1.5.2 La partie commande (PC) .....	5
1.6 Les composants d'une machine à commande numérique par ordinateur .....	6
1.7 Domaine d'utilisation des machines-outils à commande numérique .....	8
1.8 Classification des machines CNC .....	8
1.8.1 Classification des CNC selon le mode de fonctionnement.....	8
1.8.1.1 Selon les fonctions ou les types de pièces usinées.....	8
1.8.1.2 Selon le nombre d'axes .....	9
1.8.2 Classification des CNC selon le mode d'usinage.....	9
1.8.2.1 Commande numérique point à point .....	10
1.8.2.2 Commande numérique axiale .....	10
1.8.2.3 Commande numérique de contournage .....	11

1.9	La structure d'une machine à commande numérique.....	11
1.9.1	Le système électronique.....	11
1.9.2	Le système mécanique.....	12
1.9.3	Le système de programmation.....	12
1.10	Les avantages des machines à commande numérique.....	13
1.11	Les inconvénients des machines à commande numérique.....	13
1.12	Définition de la gravure.....	14
1.13	Les outils et les supports de gravure.....	14
1.13.1	La gravure sur bois.....	14
1.13.2	La gravure sur acier.....	14
1.13.3	La gravure lapidaire.....	15
1.14	L'évolution de la gravure contemporaine.....	15
1.15	La conclusion.....	17

## *Chapitre 02 : La partie électronique de la machine à commande numérique CNC*

2.1	Introduction.....	18
2.2	Cahier de charge de la machine CNC.....	18
2.3	Présentation de la solution mise en œuvre.....	18
2.4	Logiciel de dessin et de planification utilisé Corel DRAW.....	19
2.5	Le matériel électronique utilisé dans la fabrication de la machine CNC est le suivant.....	20
2.5.1	Les moteurs Pas à Pas.....	21
2.5.1.1	Les différents types de moteur pas à pas.....	23
2.5.1.1.1	La comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas.....	23
2.5.1.2	Les moteurs pas à pas utilisés dans notre projet.....	24
2.5.1.2.1	. Les caractéristiques du moteur pas à pas utilisé de référence JK42HS48-1684-01 sont les suivantes.....	24

2.5.2 Les drivers .....	25
2.5.2.1 La différence entre les deux drivers.....	26
2.5.2.2 Les drivers DRV8825 utilisés dans notre projet.....	27
2.5.3 La carte électronique utilisée .....	28
2.5.3.1 La carte ARDUINO .....	28
2.5.3.1.1 Pourquoi ARDUINO ?.....	29
2.5.3.1.2 Les différents types de la carte Arduino.....	29
2.5.3.2 La présentation de la carte Arduino UNO....	30
2.4.3.2 Le microcontrôleur .....	32
2.4.3.2 Composition des éléments internes d'un microcontrôleur.....	33
2.5.4 Contrôle de moteur pas à pas à l'aide de driver drv8825.....	34
2.5.5 La carte Shield V3 .....	35
2.5.5.1 Les caractéristiques techniques de la carte Shield V3.....	36
2.5.6 Module Bluetooth HC-05 .....	37
2.5.6.1 Les caractéristiques du module Bluetooth HC-05.....	38
2.5.7 Le ventilateur .....	40
2.5.8 Les interrupteurs (Les fins de cours).....	41
2.5.9 Le relais.....	42
2.5.10 Choix du moteur de la broche .....	43
2.5.10.1 Le moteur de broche sélectionné possède les spécifications suivantes...	45
2.5.11 Le bloc d'alimentation de la machine CNC .....	46
2.5.12 Les boutons.....	47
2.5.12.1 Bouton d'arrêt d'urgence.....	47
2.5.12.2 Boutons d'arrêt et de reprise du fonctionnement de la machine CNC.....	48
2.5.13 Le voyant LED .....	48
2.5.14 La face avant de boîtier de commande .....	49
2.5.15 Les câbles utilisent.....	49

2.4.15.2 Le câble domino.....	49
2.5.16 Schéma de câblage électrique complet sur Fritzing .....	50
2.5.17 Conclusion .....	50

### ***Chapitre 03 : La partie mécanique de la machine à commande numérique CNC***

3.1 Introduction .....	51
3.2 La conception assistée par ordinateur .....	51
3.2.1 Aperçu sur le logiciel Blender .....	51
3.3 Le matériel nécessaire pour la réalisation de la structure mécanique de la machine CNC .....	52
3.3.1 Système de guidage.....	52
3.3.2 Systèmes de transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation .....	53
3.3.3 Système de fixation .....	55
3.4 La structure mécanique de notre machine CNC.....	59
3.4.1 Problème de fabrication de notre machine CNC en bois.....	59
3.4.2 La fabrication de notre machine CNC en aluminium.....	61
3.4.2.1 La réalisation de l'axe X de notre machine CNC .....	61
3.4.2.2 La réalisation de l'axe Y de notre machine CNC .....	62
3.4.2.3 La réalisation de l'axe Z de notre machine CNC.....	64
3.4.2.4 L'assemblage finale de notre machine CNC .....	64
3.5 La conclusion .....	65

### ***Chapitre 04 : La partie programmation et mise en marche de la machine à commande numérique CNC***

4.1 Introduction .....	66
------------------------	----



4.2 Chaîne de programmation.....	66
4.3 Description des programmes utilisé .....	67
4.3.1 G-Code.....	67
4.3.1.1 Blocs G-Code .....	68
4.3.1.2 Explication des codes G.....	69
4.3.2 Logiciel ARDUINO .....	70
4.3.2.1 Environnement de programmation.....	70
4.3.2.2 La structure générale du programme .....	70
4.3.2.3 La présentation des boutons du cadre.....	71
4.3.2.4 Description du programme .....	71
4.3.2.5 Les étapes de télé versement du programme.....	72
4.3.3 GRBL.....	73
4.3.3.1 Installation GRBL dans la carte ARDUINO.....	73
4.3.4 Développement d'une application Android pour le contrôle de la machine CNC... 75	
4.3.4.1 Logiciel Android studio .....	75
4.3.5 Logiciel ARTCAM .....	85
4.4 Mise en marche de la machine.....	86
4.4.1 Création du G-code Avec le logiciel ARTCAM .....	86
4.5 La conclusion.....	96

La conclusion générale.....	97
-----------------------------	----

Bibliographié.....	99
--------------------	----

# Liste des figures

## *Chapitre 01 : Généralités sur les machines CNC à commande numérique et la gravure*

<b>Figure 1. 1 :</b> Première MOCN en 1952.....	3
<b>Figure 1. 2 :</b> Les parties du système CNC.....	4
<b>Figure 1. 3 :</b> Structure d'une machine à commande numérique.....	5
<b>Figure 1. 4 :</b> Les éléments de la partie opérative.....	5
<b>Figure 1. 5 :</b> Fonction originale d'une commande numérique .....	6
<b>Figure 1. 6 :</b> Schéma des constituants de la machine.....	7
<b>Figure 1. 7 :</b> L'Actigramme de la machine .....	7
<b>Figure 1. 8 :</b> Commande Numérique point à point .....	10
<b>Figure 1. 9 :</b> Commande par axiale .....	10
<b>Figure 1. 10 :</b> Commande numérique de contournage .....	11
<b>Figure 1. 11 :</b> Structure mécanique d'une machine CNC .....	12
<b>Figure 1. 12 :</b> Schéma théorique d'une machine CNC à 3 axes .....	13
<b>Figure 1. 13 :</b> Gravure sur bois .....	14
<b>Figure 1. 14 :</b> Gravure sur acier .....	15
<b>Figure 1. 15 :</b> Gravure lapidaire .....	15
<b>Figure 1. 16 :</b> Gravure par commande numérique .....	16
<b>Figure 1. 17 :</b> Les spécifications de la machine CNC.....	16

## *Chapitre 02 : La partie électronique de la machine à commande numérique CNC*

<b>Figure 2. 1 :</b> Le schéma synoptique de la solution choisie pour la réalisation de notre machine CNC. .....	18
<b>Figure 2. 2 :</b> Interface de travail du logiciel Corel DRAW .....	19
<b>Figure 2. 3 :</b> Les composants utilisés dans la partie électronique de notre projet .....	20
<b>Figure 2. 4 :</b> Schéma de principe de la conversion d'énergie d'un moteur pas à pas.....	20
<b>Figure 2. 5 :</b> Vue d'ensemble d'un moteur pas à pas .....	21
<b>Figure 2. 6 :</b> Les moteurs pas à pas utilisé .....	23
<b>Figure 2. 7:</b> Driver A4988.....	25
<b>Figure 2. 8:</b> Driver DRV8825.....	25
<b>Figure 2. 9 :</b> Limitation de courant sur Driver DRV8825 .....	26
<b>Figure 2. 10 :</b> Quelques cartes Arduino existantes.....	27
<b>Figure 2. 11 :</b> La carte Arduino UNO .....	29

<b>Figure 2. 12 :</b> Graphes montrant la variation de la tension moyenne en fonction de la variation de la période de états hauts et bas .....	31
<b>Figure 2. 13 :</b> Le microcontrôleur ATMEGA328P .....	32
<b>Figure 2. 14 :</b> Datasheet de microcontrôleur ATMEGA328P .....	32
<b>Figure 2. 15 :</b> Branchement du DRV8825.....	33
<b>Figure 2. 16 :</b> Commande De Moteur Pas à Pas à L'aide Du Pilote DRV8825. ....	34
<b>Figure 2. 17 :</b> La Carte CNC Shield Utilisée.....	34
<b>Figure 2. 18 :</b> L'installation des jumper sur la carte CNC Shield .....	35
<b>Figure 2. 19 :</b> Assemblage Des modules ARDUINO-SHIELD-DRIVER DRV8825. ....	36
<b>Figure 2. 20 :</b> Module Bluetooth HC-05. ....	38
<b>Figure 2. 21 :</b> Le raccordement Bluetooth HC05-CNC Shield.....	38
<b>Figure 2. 22 :</b> Circuit de raccordement Bluetooth HC-05.....	39
<b>Figure 2. 23 :</b> Un ventilateur de 12V.....	39
<b>Figure 2. 24 :</b> Les emplacements des fins de course de l'axe X de la machine .....	40
<b>Figure 2. 25 :</b> Les emplacements des fins de course de l'axe Y de la machine .....	40
<b>Figure 2. 26 :</b> Le relais 5V.....	41
<b>Figure 2. 27 :</b> Le moteur DC 12V de la broche .....	42
<b>Figure 2. 28 :</b> Le circuit de branchement de moteur DC avec le relais 5V à la carte CNC .....	43
<b>Figure 2. 29 :</b> Schéma de branchement du relais 5V à la carte CNC Shield.....	43
<b>Figure 2. 30 :</b> Bloc d'alimentation utilisé pour notre matériel.....	44
<b>Figure 2. 31 :</b> Interrupteur d'allumage et d'extinction du bloc d'alimentation .....	45
<b>Figure 2. 32 :</b> Bouton d'arrêt d'urgence .....	45
<b>Figure 2. 33 :</b> Boutons d'arrêt et de reprise du fonctionnement de la machine CNC.....	46
<b>Figure 2. 34 :</b> Fabrication de voyant LED.....	46
<b>Figure 2. 35 :</b> L'extérieur de la face avant du boîtier .....	47
<b>Figure 2. 36 :</b> L'intérieur de la face avant du boîtier .....	47
<b>Figure 2. 37 :</b> Le câble USB.....	48
<b>Figure 2. 38 :</b> Le câble domino.....	48
<b>Figure 2. 39 :</b> Schéma de câblage électrique global sur fritzing.....	49

### *Chapitre 03 : La partie mécanique de la machine à commande numérique CNC*

<b>Figure 3. 1 :</b> L'interface de logiciel Blender.....	51
<b>Figure 3. 2 :</b> Glissière réalisée et conçue par ordinateur .....	52
<b>Figure 3. 3 :</b> L'axe de guidage réalisée et conçue par ordinateur .....	53

<b>Figure 3. 4 :</b> Système vis/écrou avec une bague de fixation réalisée et conçue par ordinateur .....	54
<b>Figure 3. 5 :</b> Les accouplements semi élastique réalisée et conçue par ordinateur.....	55
<b>Figure 3. 6 :</b> Les supports des axes de guidage réalisée et conçue par ordinateur.....	55
<b>Figure 3. 7 :</b> Le roulement de bloc d'oreiller KLF08 réalisée et conçue par ordinateur .....	56
<b>Figure 3. 8 :</b> Les pattes de fixation .....	57
<b>Figure 3. 9 :</b> Système de fixation utilisé.....	58
<b>Figure 3. 10 :</b> La pièce que nous avons fixée sur l'espace de travail .....	59
<b>Figure 3. 11 :</b> Structure en bois de notre machine .....	59
<b>Figure 3. 12 :</b> Le résultat de gravure sur le bois.....	60
<b>Figure 3. 13 :</b> L'aluminium que nous utilisons pour fabriquer notre machine.....	61
<b>Figure 3. 14 :</b> L'axe X de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur .....	62
<b>Figure 3. 15 :</b> L'axe Y de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur .....	63
<b>Figure 3. 16 :</b> L'axe Z de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur .....	64
<b>Figure 3. 17 :</b> L'assemblage final de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur .....	64

## *Chapitre 04 : La partie programmation et mise en marche de la machine à commande numérique CNC*

<b>Figure 4. 1 :</b> Chaîne de Programmation .....	66
<b>Figure 4. 2 :</b> Représentation de déplacement rapide .....	69
<b>Figure 4. 3 :</b> Représentation d'un déplacement dans un arc.....	70
<b>Figure 4. 4 :</b> L'interface de logiciel ARDUINO IDE. ....	71
<b>Figure 4. 5 :</b> Présentation des boutons .....	73
<b>Figure 4. 6 :</b> Les étapes de téléchargement du code .....	74
<b>Figure 4. 7 :</b> 1-ère étape de l'installation.....	75
<b>Figure 4. 8 :</b> 2-ème étape de l'installation .....	75
<b>Figure 4. 9 :</b> Logo de notre application BCNC .....	71
<b>Figure 4. 10 :</b> Logo de le plateforme Android studio .....	76

<b>Figure 4. 11</b> : L'interface « Connecter » de l'application .....	80
<b>Figure 4. 12</b> : L'interface « Contrôle CNC » de l'application.....	82
<b>Figure 4. 13</b> : L'interface « Sélectionner le fichier » de l'application .....	83
<b>Figure 4. 14</b> : L'interface « Commandes » de l'application .....	84
<b>Figure 4. 15</b> : L'interface « Paramètre » de l'application .....	85
<b>Figure 4. 16</b> : L'interface « Aide » de l'application .....	86
<b>Figure 4. 17</b> : Interface de logiciel ArtCAM.....	87
<b>Figure 4. 18</b> : Définir la taille du fichier.....	88
<b>Figure 4. 19</b> : Notre design choisi .....	88
<b>Figure 4. 20</b> : Création du Parcours D'outil .....	89
<b>Figure 4. 21</b> : Exécution de la simulation.....	90
<b>Figure 4. 22</b> : La simulation du test en 3D.....	90
<b>Figure 4. 23</b> : Enregistrement du fichier .....	91
<b>Figure 4. 24</b> : La génération du G-code .....	92
<b>Figure 4. 25</b> : Le programme G-Code généré .....	92
<b>Figure 4. 26</b> : La connexion entre notre téléphone et la machine CNC.....	93
<b>Figure 4. 27</b> : Remettre les axes à zéro .....	94
<b>Figure 4. 28</b> : Sélection du fichier G-code pour la gravure via BCNC.....	95
<b>Figure 4. 29</b> : Contrôle et réglage de la broche dans l'application.....	96
<b>Figure 4. 30</b> : Exemple d'un nom réalisé par la machine .....	96

## Liste des tableaux

### *Chapitre 01 : Généralités sur les machines CNC à commande numérique et la gravure*

<b>Tableau 2. 1</b> : Les différents types de moteur pas à pas .....	23
<b>Tableau 2.2</b> : Tableau comparatif entre les caractéristiques ARDUINO MINI, UNO et Méga2560. .....	29
<b>Tableau 2.3</b> : Paramètres de résolution du micro pas pour le pilote moteur DRV8825. ....	37

### *Chapitre 04 : La partie programmation et mise en marche de la machine à commande numérique CNC*

## **Liste des abréviations**

**MOCN** : Les machines -outils à commande numérique.

**MIT** : L'institut de technologie du Massachusetts.

**CN** : La commande numérique.

**C NC** : La commande numérique par ordinateur.

**DNC** : Directeur de commande numérique

**PO** : Partie opérative.

**PC** : Partie commande.

**CAO** : Conception assisté par ordinateur.

**FAO** : Fabrication assisté par ordinateur.

**PWM** : Modulation de la longueur d'impulsion.

**UNO, MINI, MEGA** : Les cartes électroniques.

**CPU** : Unité centrale du traitement.

**GND** : Masse du signal (SG = Signal Ground).

**X, Y et Z** : trois (3) axes ; trois directions de base correspondant aux axes d'une surface plane.

**IDE**: Environnement de Développement Intégré

**USB**: Bus Série Universel.

**2D** : Deux dimensions.

**3D** : Trois dimensions.

# Introduction générale

Au cours des dernières années, le secteur des machines-outils a connu une transformation remarquable, marquée par l'émergence d'une nouvelle génération de machines à commande numérique (CNC) d'une précision sans précédent. Grâce à l'intégration de composants avancés tels que les moteurs pas à pas, les variateurs, les capteurs et les cartes d'interface, ainsi qu'à l'amélioration continue des composants mécaniques comme les vis et écrou, les rails de guidage et les machines CNC ont ouvert de nouvelles perspectives à une communauté mondiale de chercheurs, d'ingénieurs et d'amateurs, leur permettant de développer des solutions sur mesure et hautement performantes dans le domaine des machines-outils.[1]

L'objectif principal de ce travail est l'étude et la réalisation d'une machine CNC à trois axes, ainsi que la création d'une application mobile pour contrôler notre machine facilement sans avoir recours à un ordinateur.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est réservé aux généralités, en commençant par la définition des machines CNC, leurs différents types et classifications, ainsi que la structure d'une machine à commande numérique par ordinateur, et une brève présentation de la gravure.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé le processus de réalisation d'une machine CNC 3D, divisé en trois parties principales : électronique, mécanique et programmation, chacune étant traitée dans un chapitre distinct. Nous avons également fourni une explication détaillée des différents composants utilisés dans la partie électronique de la machine CNC.

Le troisième chapitre est consacré à détailler les différents composants utilisés dans la partie mécanique, et nous avons procédé à la conception 3D de chaque élément à l'aide du logiciel Blender. Enfin, nous démontrerons comment réaliser la structure mécanique de la machine.

Le quatrième chapitre est consacré à la programmation et au fonctionnement de la machine, à la création de l'application pour contrôler notre machine, ainsi qu'à la discussion des résultats.

En outre, le mémoire inclut une introduction, une conclusion générale, et des références bibliographiques.

**Chapitre 1 :  
Généralités sur les  
machines CNC à  
commande  
numérique et la  
gravure**



## 1.1 .Introduction

Les machines-outils à commande numérique sont devenues des éléments essentiels de la production industrielle. Elles offrent des vitesses de production élevées et facilitent la fabrication de pièces et de formes complexes.

Dans ce présent chapitre, nous intéresserons à l'étude d'une façon générale des machines à commande numérique, en examinant leurs divers types, composants et fonctionnement. Ensuite, nous allons faire une brève présentation de la gravure qui sera effectuée.

## 1.2 .Historique

Dans les années cinquante, les premières machines-outils à commande numérique (MOCN) ont été développées. Elles ont principalement été utilisées dans le domaine de l'aéronautique pour l'usinage de profils complexes, notamment aux États-Unis. En 1952, l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) a présenté une MOCN sophistiquée, mais elle ne répondait pas encore aux exigences industrielles en termes de fonctionnalités. Cependant, elles ont permis de répondre aux besoins d'usinage des formes complexes dans l'industrie aéronautique.[2]

Dans les années soixante-dix, avec l'évolution de l'informatique et l'émergence des mini-ordinateurs et des microprocesseurs, l'avènement des machines-outils à commande numérique marque un tournant majeur dans l'industrie.[3]

### ➤ Différentes étapes du développement de la commande numérique (CN)

- Bendix a obtenu le brevet de Parsons en 1954 pour la création de la première commande numérique (CN) utilisée dans la fabrication industrielle. [4]
- En 1955, Giddins & Lewis, un constructeur américain, présente la première machine-outil à commande numérique (MOCN) à Font du Lac (Wisconsin). [4]
- En 1959, lors de la foire de Hanovre, la commande numérique a été introduite en Europe. À cette époque, le Massachusetts Institute of Technology (MIT) a également annoncé le développement du langage de programmation APT. [5]
- Le système DNC (Direct Numerical Control) est apparu en 1960. [4]

- En 1968, la commande numérique opte pour les circuits intégrés, ce qui la rend plus compacte et plus puissante. Kearney & Trecker (USA) vend le premier centre d'usinage. [4]
- En 1972, les logiques câblées ont été remplacées par des mini-calculateurs, ce qui a conduit à la transformation de la commande numérique en commande numérique par ordinateur. [4]
- En 1976, les commandes numériques ont été améliorées pour inclure des microprocesseurs. [7]
- La fabrication assistée par ordinateur (FAO) a commencé en 1984 avec l'introduction de fonctions graphiques avancées et d'un mode de programmation conversationnel. [7]
- En 1990, les commandes numériques ont été développées pour les microprocesseurs 32 bits. [8]

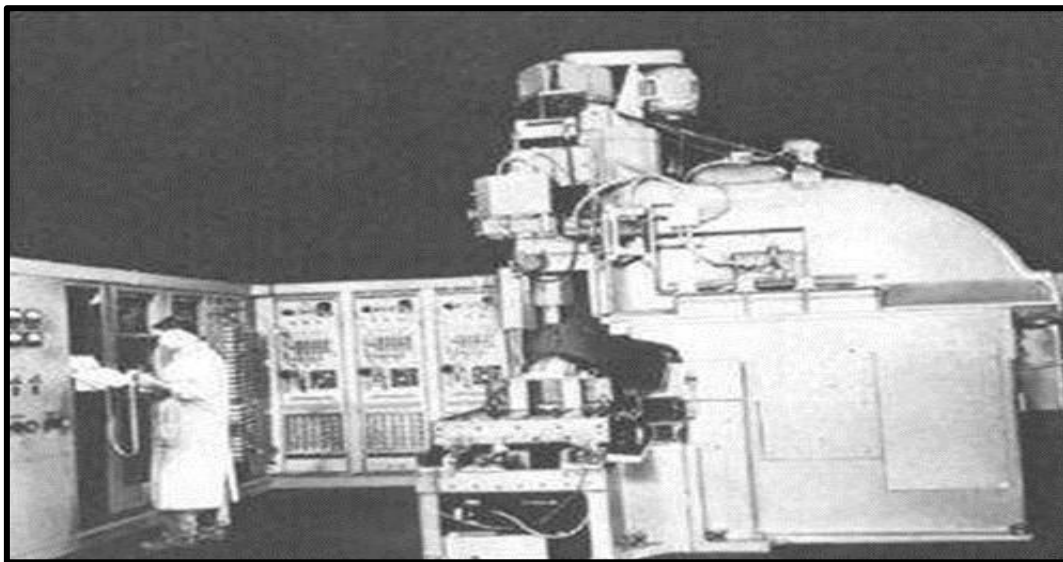


Figure 1. 1 :Première MOCN en 1952. [4]

### 1.3 .Définition de la commande numérique

La commande numérique (CN) est un système de contrôle automatisé utilisé pour piloter des machines-outils. Elle permet de gérer les mouvements et les opérations des machines de manière précise en utilisant des instructions programmées sous forme de code numérique, souvent en G-code.[9]

### 1.4 .Définition d'une machine CNC

Une machine CNC (Commande Numérique par Ordinateur) est une machine-outil

automatisée capable de réaliser des opérations de fabrication telles que le fraisage, le tournage, le perçage ou la découpe. Elle utilise un ordinateur pour interpréter des instructions codées (généralement en G-code) qui dirigent les mouvements et les fonctions de la machine de manière précise et répétable.[10]

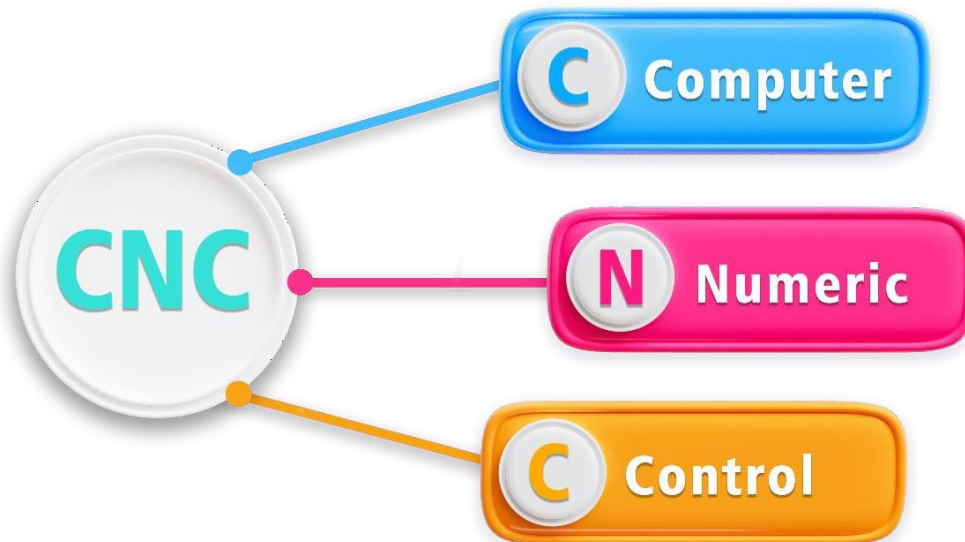


Figure 1. 2 : Les parties du système CNC.

➤ **Les parties principales du système CNC**

Le système CNC comprend trois parties principales :

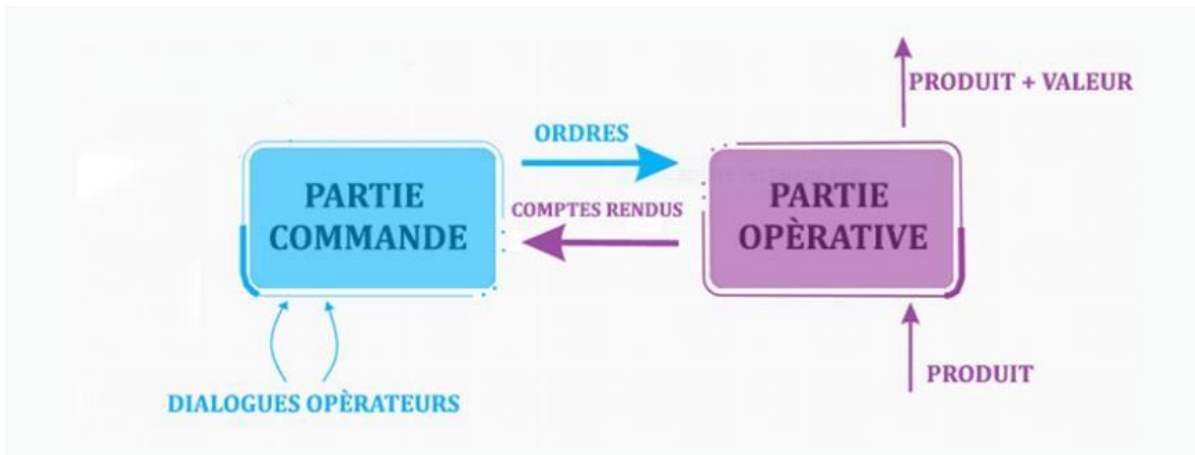
**La machine** : C'est la partie qui exécute les opérations nécessaires à l'usinage.

**Le contrôle** : C'est la partie responsable de la surveillance et de la régulation des moteurs de la machine.

**L'ordinateur** : Est utilisé pour écrire et stocker les programmes spécifiquement conçus pour la machine, avec la possibilité de sauvegarder ces programmes dans l'espace mémoire désigné.

### 1.5 . Architecture et organisation générale d'une machine-outil à commande numérique

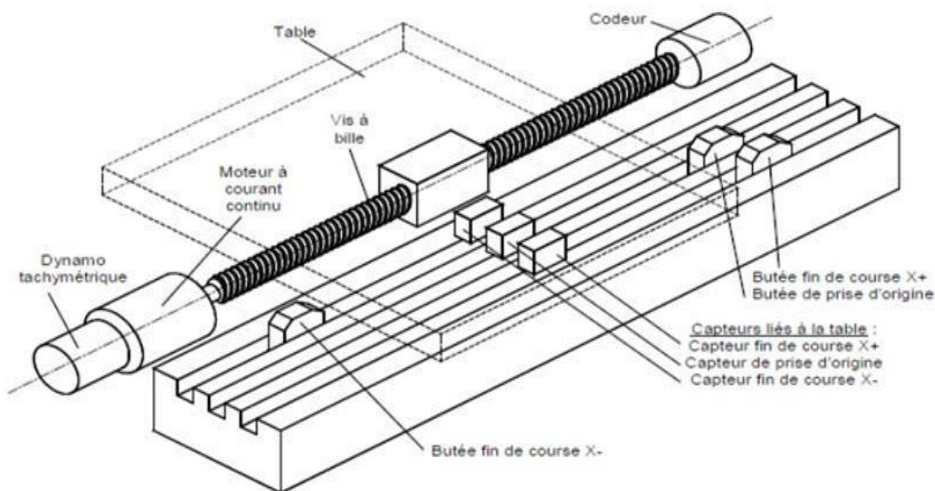
La structure d'une machine-outil à commande numérique (MOCN) peut être divisée en deux parties principales : la partie opérative et la partie commande.



**Figure 1. 3 :** Structure d'une machine à commande numérique. [11]

### 1.5.1. La partie opérative (appelée PO)

La partie opérative désigne l'ensemble des systèmes matériels permettant au système industriel de fabriquer les produits finis ou de fournir des services. Dans le cas des MOCN, la partie opérative est généralement représentée par des moteurs pas à pas, des relais et des pièces mécaniques. [12]



**Figure 1. 4 :** Les éléments de la partie opérative. [12]

### 1.5.2. La partie commande (PC)

La partie commande d'un système automatisé est responsable de traiter les informations reçues de la partie opérative et de générer les ordres nécessaires pour contrôler les actions de cette partie opérative. Elle est souvent constituée de microcontrôleurs et de microprocesseurs qui effectuent les calculs nécessaires. [12]



**Figure 1.5 :** Fonction originale d'une commande numérique. [12]

Le schéma montre les interconnexions entre ces différents éléments clés d'un système de commande numérique. Le CNC joue un rôle central en recevant les informations nécessaires et en transmettant les instructions de contrôle à la machine via l'armoire électrique de puissance.

### 1.6 . Les composants d'une machine à commande numérique par ordinateur

La machine CNC est constituée des éléments suivants (voir Figure 1.6) :

- Trois axes linéaires, chacun composé d'un moteur pas à pas, d'un système de guidage et d'un système qui convertit le mouvement de rotation en mouvement de translation.
- Broche de perçage.
- Système de commande.



Figure 1. 6 : Schéma des constituants de la machine. [13]

Cette machine est principalement conçue pour la gravure et l'usinage de pièces fabriquées à partir de divers matériaux tels que le plastique, le PMMA (polyméthacrylate de méthyle), les circuits imprimés (PCB), le forex et le bois.

L'actigramme ci-dessous présente une vue d'ensemble du fonctionnement de notre machine, comme illustré dans la figure (1.7). [13]

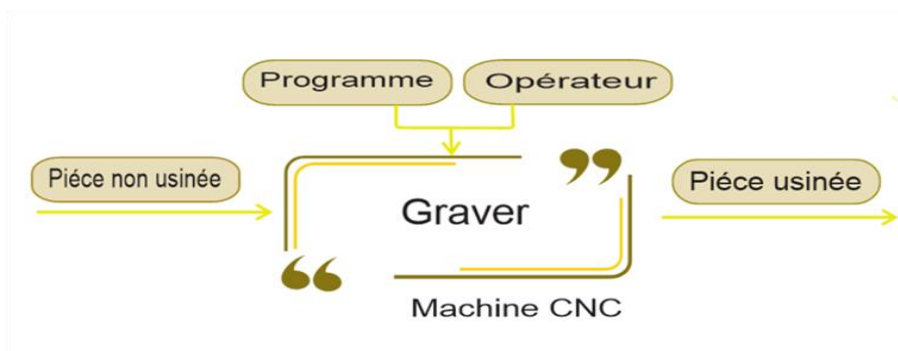


Figure 1. 7 : L'Actigramme de la machine.[13]

## 1.7 .Domaine d'utilisation des machines-outils à commande numérique

Les machines à commande numérique par ordinateur trouvent une large gamme d'applications dans divers domaines et industries. Voici quelques exemples:

- **Fabrication industrielle** : les machines CNC sont utilisées pour fabriquer avec précision des pièces et des composants dans des industries telles que l'automobile, l'aéronautique, la médecine et l'électronique.
- **Menuiserie** : les machines CNC sont utilisées dans la fabrication de meubles, de portes, de fenêtres et de décorations en bois.
- **Impression 3D** : les machines CNC sont utilisées pour l'impression d'objets en trois dimensions, permettant la création de modèles et de pièces complexes en utilisant différents matériaux tels que le plastique et le métal.
- **Industrie plastique** : les machines CNC sont utilisées pour la découpe et le formage du plastique, permettant la production de divers composants et produits en plastique.
- **Arts et artisanat** : les machines CNC sont utilisées dans la création d'œuvres d'art complexes, offrant la possibilité de graver des matériaux avec une grande précision et des détails fins.

Ces exemples ne représentent qu'une partie des nombreux domaines où les machines CNC sont largement utilisées. Avec l'expansion et le développement de la technologie. [14]

## 1.8 .Classification des machines CNC

- Il existe de nombreux types de machines CNC, qui peuvent être classés selon des critères précis, lesquels sont détaillés dans les paragraphes suivants.

### 1.8.1. Classification des CNC selon le mode de fonctionnement

#### 1.8.1.1. Selon les fonctions ou les types de pièces usinées

Il existe plusieurs catégories de machines CNC (fraisage, gravure, de découpe au laser, les coupeurs Plasma).

- **Machines de fraisage CNC** : Utilisées pour les opérations de fraisage, elles sont capables de couper des matériaux solides pour créer des pièces avec des formes

complexes. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication de moules, d'outils et de composants mécaniques.

- **Machines de gravure CNC :** Conçues pour graver des motifs ou des textes sur divers matériaux, y compris le métal, le bois et le forex.
- **Machines de découpe au laser CNC :** Utilisées pour la découpe précise de matériaux variés comme le métal, le bois, le plastique. Elles utilisent un faisceau laser pour découper ou graver des matériaux.
- **Machines de découpeurs plasma CNC :** Ils utilisent un jet de plasma chaud pour couper des métaux électriquement conducteurs de manière efficace. [15]

#### 1.8.1.2 . Selon le nombre d'axes

- **Machines CNC à 2 axes :** Comme les tours, elles se déplacent le long de deux axes, généralement X et Z, pour réaliser des coupes ou des formes en deux dimensions.
- **Machines CNC à 3 axes :** Elles bougent sur trois axes - X, Y et Z - en même temps, ce qui leur permet de travailler en trois dimensions. Très précises, elles sont utilisées pour le fraisage de fentes, le perçage de trous.
- **Machines CNC à 4 axes :** En plus des trois axes standard, elles peuvent tourner autour d'un axe supplémentaire, généralement A ou B. Cela permet de réaliser des opérations complexes, notamment sur des pièces verticales ou horizontales.
- **Machines CNC à 5 axes :** Avec trois axes de déplacement et deux axes de rotation, elles offrent une grande polyvalence. Elles sont utilisées pour fabriquer des pièces très précises et complexes, notamment dans le domaine de l'aéronautique. [15]

#### 1.8.2. Classification des CNC selon le mode d'usage

Les machines à commande numérique (CNC) peuvent être classées en trois catégories principales selon le mode d'usage : [15]

- Commande numérique point à point.
- Commande numérique par axiale.
- Commande numérique de contournage.



### 1.8.2.1. Commande numérique point à point

La commande numérique point par point (Control CNC Point-to-Point) est un système de contrôle utilisé dans les machines qui permet d'identifier des points précis du processus de fabrication. Ce système déplace précisément l'outil vers ces points et effectue les opérations nécessaires à chaque étape. Il est couramment utilisé pour des procédés tels que le perçage, le fraisage.[16]

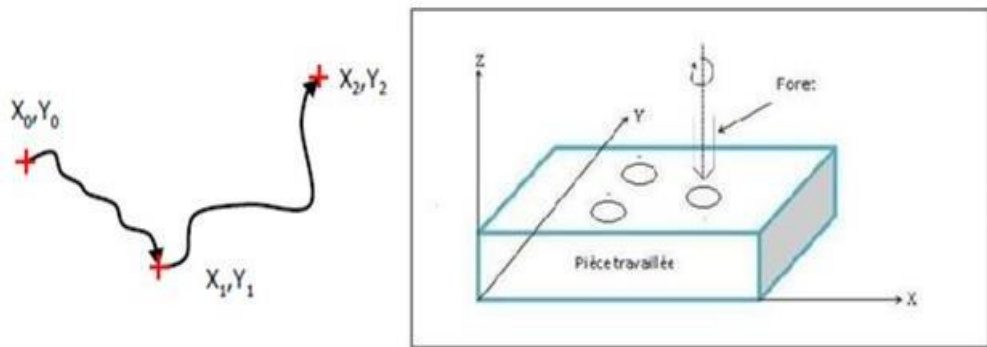


Figure 1. 8 : Commande Numérique point à point. [15]

### 1.8.2.2. Commande numérique axiale

La commande numérique d'axe (Control CNC Axis) est un autre type de système de commande numérique pour les machines qui se concentre sur le déplacement d'un seul axe à la fois. Ce type de contrôle est utilisé dans les applications de fabrication qui nécessitent un mouvement linéaire ou rotatif sur un seul axe pour former la pièce. Des exemples de processus de fabrication sont l'usinage, le fraisage et l'alésage.[15]

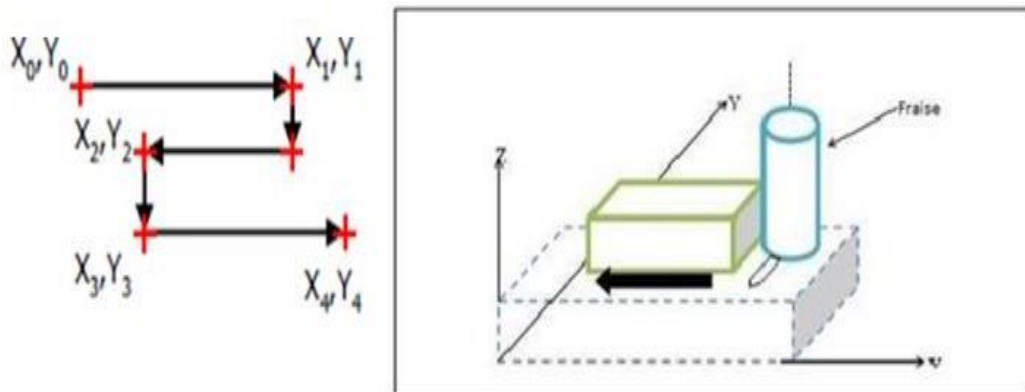


Figure 1. 9 : Commande par axiale. [15]

### 1.8.2.3. Commande numérique de contournage

La commande numérique de contournage consiste en des mouvements synchronisés des différentes directions à une vitesse pré-définie. Les trajectoires sont divisées en lignes ou cercles sur un ou plusieurs plans. Elle permet d'effectuer des opérations d'usinage telles que le tournage ou le fraisage sur une pièce.[15]

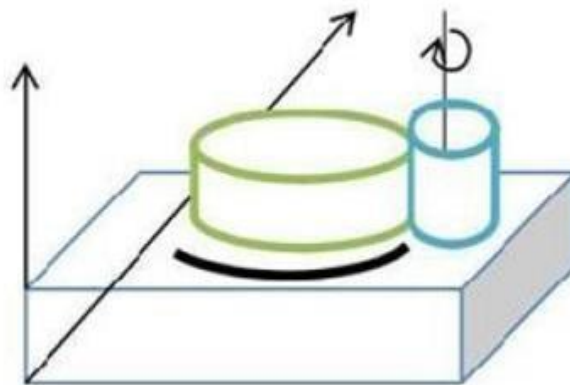


Figure 1. 10 : Commande numérique de contournage. [15]

## 1.9 . La structure d'une machine à commande numérique

La structure d'une machine CNC peut être divisée en trois parties distinctes. Tout d'abord, il y a le système mécanique qui reçoit les signaux de commande nécessaires. Ensuite, le système électronique assure l'actionnement souhaité des moteurs. Enfin, le système électronique reçoit des instructions, ou un ensemble d'instructions, du système logiciel et émet des commandes au système mécanique. [16]

### 1.9.1. Le système électronique

Concernant le système électronique, son rôle principal consiste à produire le signal de commande nécessaire pour contrôler les moteurs, ce qui permet de guider le mouvement de l'outil le long d'une trajectoire spécifique dans chaque direction ou axe. Les composants du système électronique sont les suivants:

- L'alimentation électrique.
- La carte microcontrôleur.
- La carte pour commander des moteurs pas à pas. [16]

### 1.9.2. Le système mécanique

Cette partie mécanique d'une machine CNC comprend toutes les composantes physiques de la machine, telles que les axes de mouvement, les systèmes de fixation, etc. Cette partie est responsable de la précision, de la rigidité et de la fiabilité de la machine. Elle doit être conçue et fabriquée avec soin pour assurer un bon fonctionnement optimal de la machine. [16]

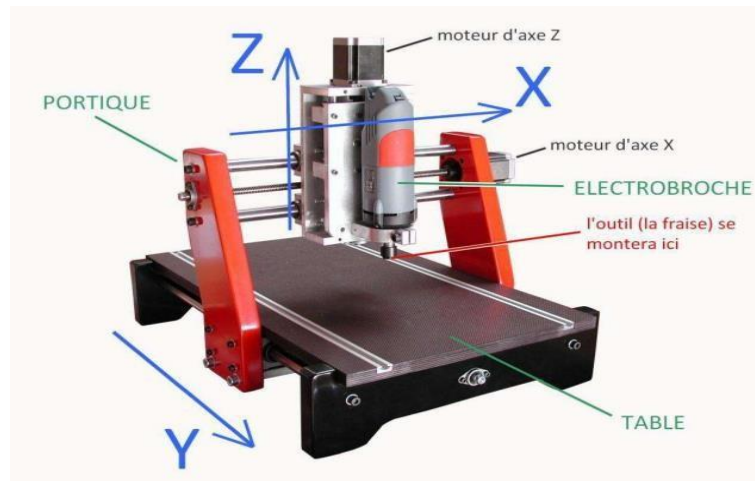


Figure 1. 11 : Structure mécanique d'une machine CNC.[17]

### 1.9.3. Le système de programmation

Le G-code est un langage de programmation utilisé pour contrôler les machines CNC. Il donne des instructions précises sur les mouvements, les vitesses et les opérations de coupe ou de gravure. Chaque commande commence par une lettre suivie de chiffres, définissant des actions spécifiques.

La pièce à usiner est généralement conçue à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), produisant ainsi un dessin dans l'un des nombreux formats acceptables. Ce dessin est ensuite importé dans un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO), qui génère un code lisible par la machine pour la commande numérique.

Depuis l'adoption du G-code, il est essentiel de tester différents choix d'interprètes open source de G-code pour Arduino, afin de garantir que les mouvements des axes de la machine seront correctement exécutés via le pilote de moteur. [16]

Voici le schéma de la structure de la machine-outil à commande numérique.

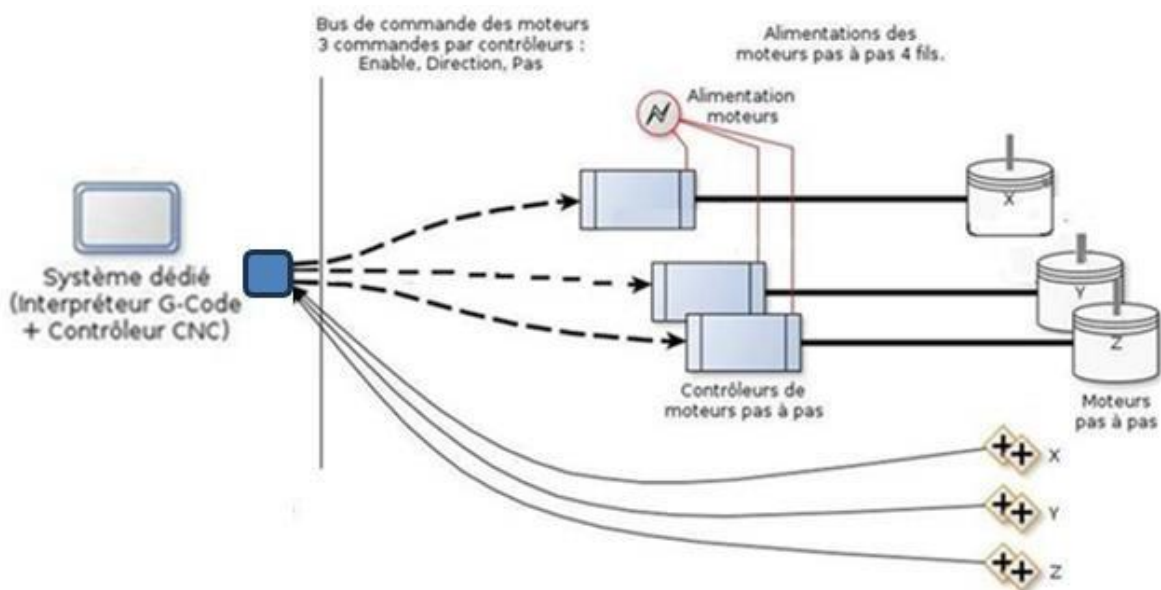


Figure 1. 12 : Schéma théorique d'une machine CNC à 3 axes.

### 1.10. Les avantages des machines à commande numérique

Les avantages de la commande numérique par ordinateur (CNC) sont nombreux :

- Les programmes peuvent être entrés directement dans la machine et enregistrés dans la mémoire de l'ordinateur connecté à celle-ci.
- Correction et révision du programme facilitées.
- La machine offre une protection pour la sécurité des utilisateurs.
- Production de produits complexes difficiles à réaliser sur une machine traditionnelle.
- Économie de temps lors du processus par rapport aux machines traditionnelles.
- Garantit une grande précision dans la fabrication des pièces. [9]

### 1.11. Les inconvénients des machines à commande numérique

Il n'y a pas d'invention parfaite dans le monde quand elle a des avantages, cela signifie des inconvénients, mais la bonne invention, c'est que les avantages sont plus importants que ses inconvénients. Inconvénients des machines-outils CNC :

- Le coût de la machine est élevé.

- Les opérateurs doivent recevoir le plus haut niveau de formation pour utiliser de telles machines.
- Manque d'experts pour entretenir de telles machines. [9]

### 1.12. Définition de la gravure

La gravure est une technique artistique consistant à créer des images, des motifs ou des textes en incisant ou en creusant une surface à l'aide d'outils spécialisés tels que des burins, des pointes sèches, des acides ou des lasers.[18]

### 1.13. Les outils et les supports de gravure

Il existe plusieurs types de supports pour la gravure :

#### 1.13.1. La gravure sur bois

Cette technique artistique utilise le bois comme support. Elle est peut-être la plus ancienne méthode d'impression et est également connue sous le nom de xylographie. [19]



Figure 1. 13 : Gravure sur bois [12]

#### 1.13.2. La gravure sur acier

La technique de gravure sur acier implique le façonnage du métal, habituellement de l'acier ou du laiton, à l'aide d'outils spécialisés tels que le burin, et d'autres encore. [20]



Figure 1. 14 :Gravure sur acier. [12]

### 1.13.3. La gravure lapidaire

C'est une technique utilisée pour graver des pierres, principalement pour créer des inscriptions en creux sur des plaques telles que des monuments ou des structures architecturales. [21]



Figure 1. 15 : Gravure lapidaire. [12]

### 1.14. L'évolution de la gravure contemporaine

La pratique de la sculpture sur bois a considérablement évolué par rapport au passé. Aujourd'hui, nous disposons de machines de haute qualité telles que les machines-outils à

commande numérique, qui offrent des avantages significatifs en termes de gain de temps et de précision dans le travail. La figure (1.16) illustre la gravure effectuée par commande numérique.

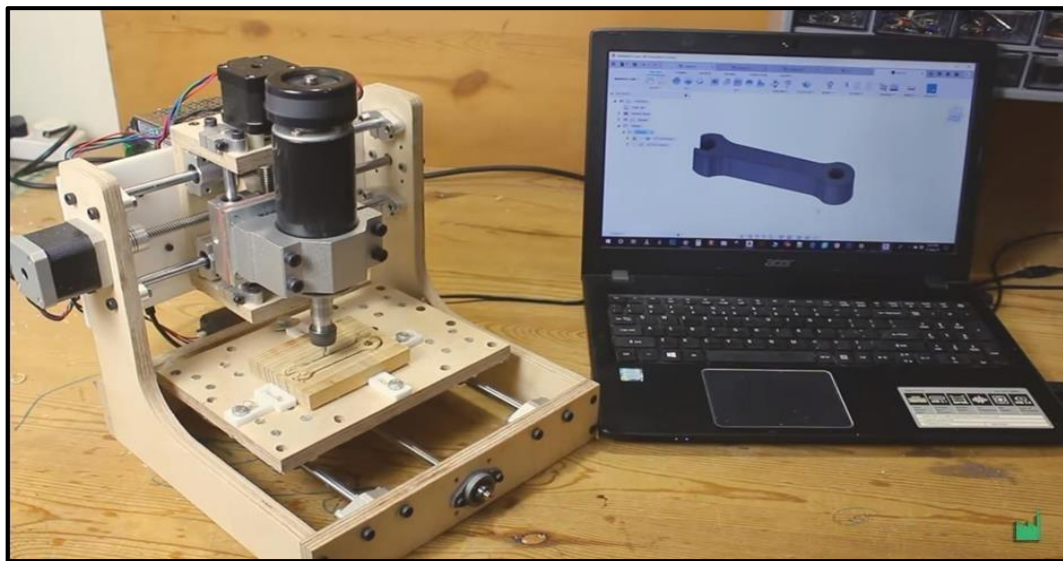


Figure 1. 16 : Gravure par commande numérique. [12]

### 1.10. La conclusion

Ce chapitre nous a fourni une compréhension de la construction et du fonctionnement des machines-outils à commande numérique (MOCN) en général, ainsi que de la gravure en particulier.

Cette dernière nécessite la combinaison de plusieurs parties : mécanique, électronique et programmation, afin d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble. Pour mieux assimiler la relation entre ces différentes parties.

**Chapitre 2 : La  
partie électronique de  
la machine à  
commande  
Numérique CNC**



## 2.1 .Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons en détail la solution choisie, ainsi qu'une explication détaillée des différents composants utilisés dans la partie électronique qui contrôle la machine.

Notamment, les moteurs pas à pas, la carte de commande électronique, ainsi que d'autres éléments nécessaires.

## 2.2.Cahier de charge de la machine CNC

Notre projet se concentre sur la conception et réalisation d'une machine de contrôle numérique (graveur à 3 axes). Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un travail de fin d'études. Afin d'atteindre ce but, nous mettons quelques objectifs à accomplir pour assurer un bon fonctionnement de la machine et un processus de conception et de construction fluide.

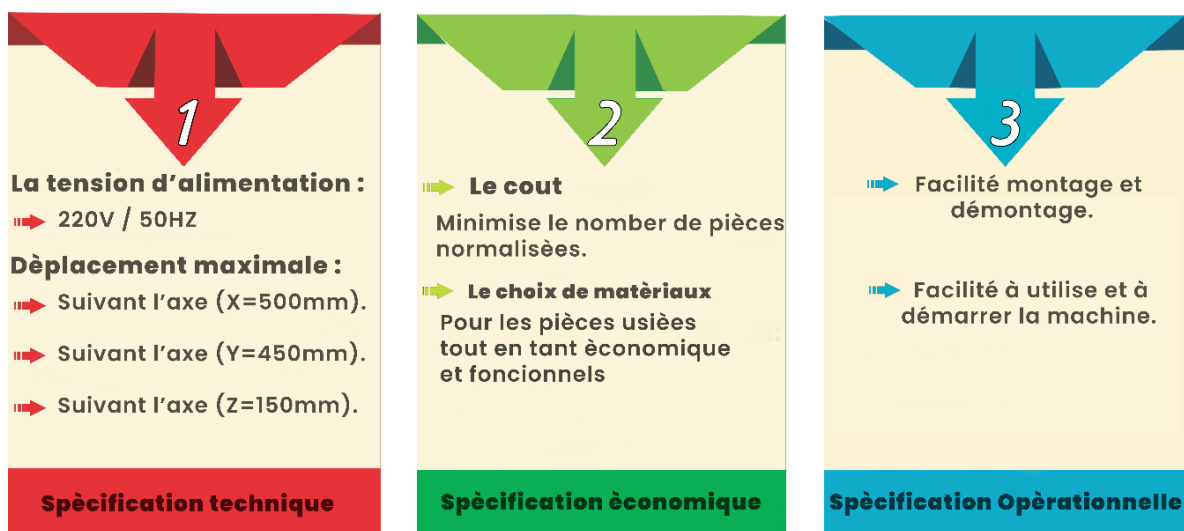


Figure 2.1 : Les spécifications de la machine CNC.

## 2.3.Présentation de la solution mise en œuvre

Dans le processus de réalisation d'une machine CNC 3D, celui-ci est divisé en trois parties principales.

- Partie électronique.
- Partie mécanique.
- Partie programmation.

Nous avons consacré un chapitre à chaque partie.

Le schéma synoptique de la solution choisie pour la réalisation de notre machine CNC est représenté dans la figure (2.2).

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la partie électronique qui joue un rôle crucial dans le contrôle de la machine. Nous présentons en détail les composants du circuit électrique choisi, en précisant les spécifications techniques de chaque composant et en fournissant le schéma de câblage de tous les composants.

Dans le troisième chapitre, nous nous focalisons sur la partie mécanique et les composants nécessaires à la construction de la structure de la machine. Nous présentons les conceptions de ces composants et pièces de machine à l'aide de logiciel Blender, en nous concentrant sur la manière d'assembler les trois axes de la machine pour obtenir des performances optimales.

Dans le quatrième chapitre, nous expliquons le processus de programmation de la machine et donnons un aperçu des logiciels utilisés dans ce processus. De plus, nous expliquerons l'application que nous avons créée afin de contrôler notre machine sans fil.



**Figure 2.2:** Le schéma synoptique de la solution choisie pour la réalisation de notre machine CNC.

Avant de commencer la description des différents composants utilisés dans la partie électronique, nous présentons un aperçu du logiciel utilisé pour dessiner les schémas dans notre projet.

#### 2.4..Logiciel de dessin et de planification utilisé Corel DRAW

Logiciel Corel DRAW. C'est une suite graphique développée par l'éditeur de logiciels Corel. Initialement, il s'agissait d'un logiciel de dessin vectoriel appelé Corel DRAW. Au fil du temps, d'autres logiciels tels que Corel Photo Paint et Corel R.A.V.E ont été ajoutés, ce qui a permis à Corel DRAW de devenir une suite graphique complète.[21]

Voici l'interface de logiciel Corel DRAW.



Figure 2. 3 : Interface de travail du logiciel Corel DRAW.

Ce programme est très apprécié pour sa spécialisation dans le dessin et la conception bidimensionnelle, et il est particulièrement populaire auprès des architectes, car il leur permet de donner vie de manière claire à leurs idées et projets. Une caractéristique remarquable de ce programme est la possibilité de travailler sur un projet sur une page avec plusieurs calques, ce qui permet des modifications détaillées et libres de n'importe quelle partie du projet. Il est également important de souligner que ce programme exceptionnel a été utilisé avec succès pour créer des schémas et des images. [21]

### **2.5..Le matériel électronique utilisé dans la fabrication de la machine CNC est le suivant**

Voici la représentation de certains composants utilisés dans la partie électronique de notre projet.

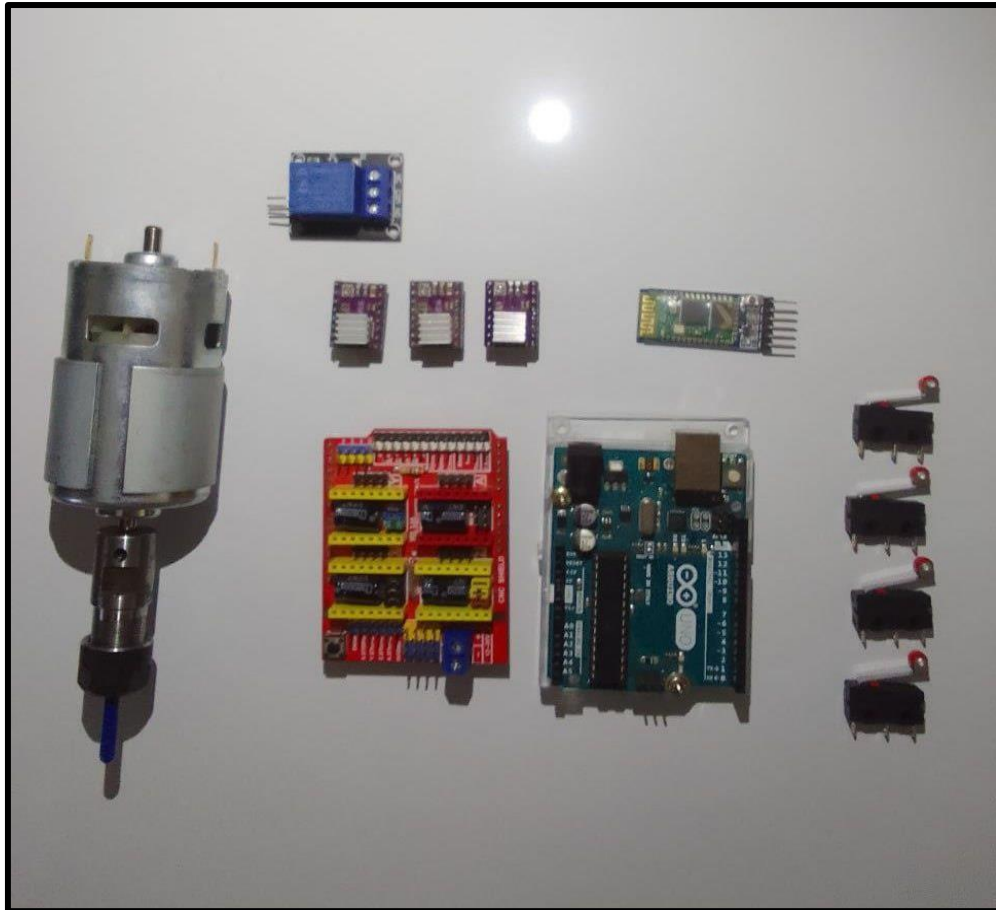
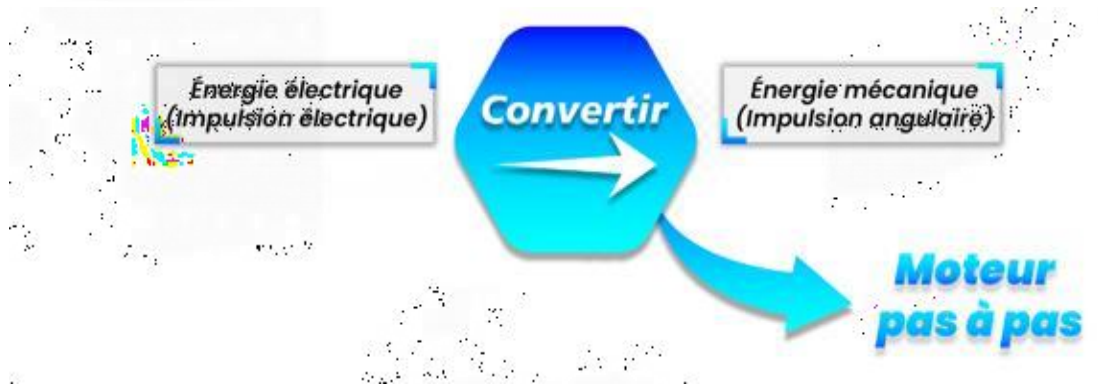


Figure 2. 4 : Les composants utilisés dans la partie électronique de notre projet.

### 2.5.1. Les moteurs Pas à Pas

Un moteur pas à pas est un type de moteur électrique qui peut être contrôlé précisément en recevant des impulsions électriques. Il agit comme un convertisseur, transformant les signaux électriques en mouvements mécaniques, qu'ils soient rotatifs ou linéaires. Le moteur se compose principalement de deux parties distinctes, à savoir le stator et le rotor, qui sont mécaniquement séparés.

L'interaction entre le stator et le rotor est de nature électromagnétique, ce qui entraîne la rotation du rotor ou son déplacement linéaire. [22]



**Figure 2.5 :** Schéma de principe de la conversion d'énergie d'un moteur pas à pas.

On peut classer les moteurs pas à pas en trois types :

- Moteur pas à pas à aimant permanent
- Moteur pas à pas à réluctance variable
- Il existe aussi un autre type de moteur pas à pas hybride qui intègre à la fois un aimant et un système de réluctance variable.

Malgré les différences entre les types de moteurs pas à pas, leur fonctionnement vise à faire avancer l'axe d'un seul pas, c'est-à-dire à faire tourner l'axe selon un angle spécifique à chaque impulsion appliquée à l'une ou l'autre de leurs bobines. Cet angle varie en fonction de la construction interne du moteur, et est généralement compris entre  $0,9^\circ$  et  $90^\circ$ .

Les moteurs pas à pas les plus couramment utilisés se caractérisent par les spécifications suivantes :

- $0,9^\circ$ , ce qui correspond à 400 pas par tour.
- $1,8^\circ$ , ce qui correspond à 200 pas par tour.
- $3,6^\circ$ , ce qui correspond à 100 pas par tour.
- $7,5^\circ$ , ce qui correspond à 46 pas par tour.
- $15^\circ$ , ce qui correspond à 24 pas par tour.

Il est clair que les moteurs pas à pas offrent une précision exceptionnelle et une durée de vie pratiquement illimitée grâce à leur technologie qui réduit l'usure mécanique en éliminant quasiment les frottements. La figure (2.6) illustre leur apparence externe. Ces moteurs sont particulièrement adaptés aux domaines où la précision est essentielle, tels que les composants mécaniques utilisés dans les domaines de l'informatique et de la robotique. [23]

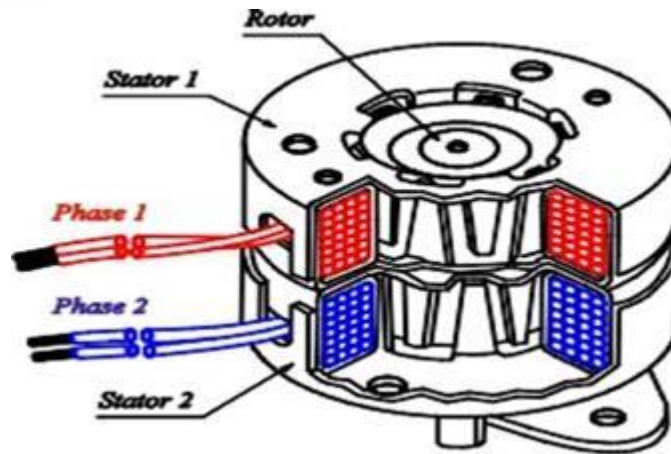


Figure 2. 6: Vue d'ensemble d'un moteur pas à pas. [24]

### 2.5.1.1. Les différents types de moteur pas à pas

- **Les moteurs pas à pas à réluctance variable** : Sont des moteurs électriques dans lesquels le rotor est constitué de matériaux ferromagnétiques et se déplace en fonction des variations de réluctance entre le stator et le rotor. Le rotor est attiré par les pôles du stator lorsque des impulsions électriques sont appliquées aux bobines du stator, permettant ainsi un mouvement en pas précis. [25]
- **Les moteurs pas à pas à aimants permanents** : Est un type de moteur électrique où le rotor est équipé d'aimants permanents. Le stator, constitué de bobines, crée des champs magnétiques alternés pour attirer ou repousser les pôles du rotor, permettant ainsi des mouvements précis et par étapes. [25]
- **Les moteurs pas à pas synchrones hybrides** : ils combinent à la fois un moteur pas à pas à réluctance variable et des aimants permanents dans leur construction. [25]

#### 2.5.1.1.1. La comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas

Le tableau suivant présente une comparaison des trois types de moteurs pas à pas, en mettant en évidence les avantages de chacun par rapport aux autres. [24]

Type de moteur Pas à Pas	Moteur aimant permanent	Moteur à réluctance variable	Moteur hybride
Résolution (nbre de pas /tour)	Moyenne	Bonne	Elevée
Couple moteur	Elevée	Faible	Elevée

<b>Sens de rotation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dépend de : sens du courant pour le moteur bipolaire.</li> <li>✓ L'ordre d'alimentation des bobines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dépend uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dépend de : Sens du courant pour le moteur bipolaire.</li> <li>✓ L'ordre d'alimentation des bobines</li> </ul>
<b>Fréquence de travail</b>	Faible	Grande	Grande

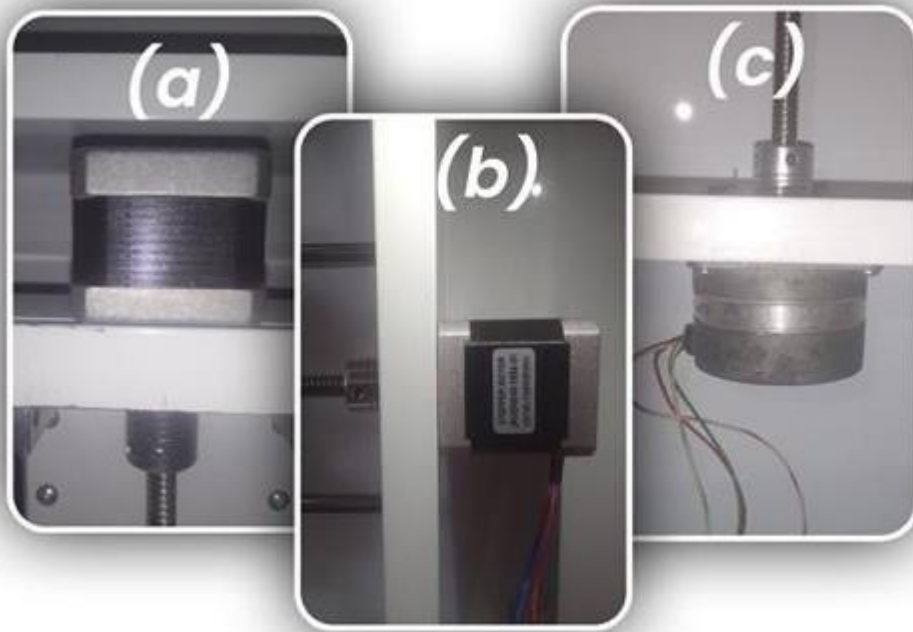
**Tableau 2. 1:** Les différents types de moteur pas à pas. [24]

### 2.5.1.2. Les moteurs pas à pas utilisés dans notre projet

Nous avons utilisé trois moteurs pas à pas, un pour chaque axe (X, Y, Z). Nous avons relié chaque moteur à une vis à écrou via des accouplements semi-élastique pour transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation, ce qui était essentiel pour obtenir précision et contrôle dans le mouvement des axes. Grâce à ces moteurs, nous avons pu régler la vitesse, la direction et le nombre de pas pour chaque axe, ce qui nous a permis de créer des trajectoires précises et des découpes avec un haut degré de contrôle.

Dans ces figures ci-dessous, nous montrons chaque moteur que nous avons utilisé pour chaque axe. Nous avons utilisé le moteur de la première figure (A) pour l'axe Z, le moteur de la deuxième figure (B) pour l'axe X, et pour l'axe Y, nous avons utilisé le moteur de la troisième figure (C).





a) Moteur pour l'axe Z      b) Moteur pour l'axe X      c) Moteur pour l'axe Y

**Figure 2.7** : Les moteurs pas à pas utilisés.

**2.5.1.2.1. Les caractéristiques du moteur pas à pas utilisé de référence JK42HS48-1684-01 sont les suivantes [26]**

- Type de moteur : Moteur pas à pas bipolaire
  - Nombre de phases: 2
  - Tension nominale: 4,2 V
  - Courant par phase: 1,2 A/phase
  - Résistance par phase:  $8,8 \pm 10\% \Omega$
  - Inductance par phase: 2,8 mH
  - Diamètre de l'arbre: 5 mm
  - Nombre de fils: 4
  - Longueur du moteur: 48 mm
  - Montage: NEMA 17
  - Poids: 280 grammes.
- L'angle par dent =  $\frac{360 \text{ degrés}}{50 \text{ dents}} = 7,2 \text{ degré}$       **Éq 2.1**

Il est important de noter que cet angle représente un quart ( $\frac{1}{4}$ ) du pas angulaire total,

car il faut 4 pas pour que le rotor s'aligne avec la dent suivante.

- L'angle d'un pas individuel =  $\frac{1}{4}$  du pas angulaire,  $\frac{7,2 \text{ degrés}}{4} = 1,8 \text{ degré}$  Éq 2.2
- Le nombre de pas par révolution =  $\frac{360 \text{ degrés}}{1,8 \text{ degré}} = 200 \text{ pas par révolution}$  Éq 2.3

Afin de contrôler les moteurs pas à pas avec une carte Arduino, nous avons dû utiliser des pré-actionneurs, également connus sous le nom de pilotes de moteur pas à pas. Ces composants étaient essentiels, car ils reçoivent les commandes de l'Arduino et fournissent la puissance nécessaire pour faire fonctionner les moteurs pas à pas correctement. Il existe différents types de pilotes de moteur pas à pas, et nous avons dû choisir celui qui correspondait le mieux à nos besoins en termes de puissance et de compatibilité.

### 2.5.2. Les drivers [27]

La carte Arduino fonctionne avec une puissance relativement faible, tandis que les moteurs pas à pas nécessitent une puissance beaucoup plus élevée. Il est donc nécessaire d'utiliser un driver, qui agit comme une interface entre la carte Arduino et le moteur, afin de réduire ou d'amplifier la puissance en fonction des besoins. Deux drivers moteurs couramment utilisés sont le DRV8825 représenté à gauche (figure 2.8) et le A4988 représenté à droite (figure 2.9).



Figure 2.8 : Driver A4988.[27]



Figure 2.9 : Driver DRV8825. [27]

#### 2.5.2.1. La différence entre les deux drivers

Les moteurs pas à pas sont protégés contre les surchauffes jusqu'à une certaine limite, mais ils diffèrent principalement par deux caractéristiques :

**Courant maximal du driver au moteur :** le driver contrôle le courant envoyé au moteur. Pour le DRV8825, il peut fournir jusqu'à 1,5 A sans refroidissement et jusqu'à 2,2 A avec un refroidissement efficace (radiateur + ventilateur). Le A4988 peut supporter jusqu'à 1,2 A sans refroidissement et jusqu'à 2 A avec un refroidissement efficace (radiateur).

**Micro-stepping :** le micro-stepping réduit d'avantage le pas du moteur, permettant un plus grand nombre de subdivisions pour effectuer une rotation. Le DRV8825 offre un maximum de 1/32 de division pour le micro-stepping, tandis que le A4988 offre un maximum de 1/16.

- Un courant plus élevé permet d'utiliser des moteurs plus puissants ou de faire fonctionner les moteurs plus intensivement. Dans ce cas, le DRV8825 permet un courant plus élevé, offrant donc plus de flexibilité dans le choix des moteurs.

- Le micro-stepping permet de multiplier le nombre total de pas du moteur pour effectuer une rotation plus précise. Prenons l'exemple d'un moteur Nema17 qui a une résolution de 200 pas par révolution. Si nous utilisons un micro-stepping de 1/2, cela signifie qu'il y aura deux sous-pas pour chaque pas complet du moteur.

Ainsi, pour effectuer un tour complet avec ce réglage, nous multiplions le nombre de pas par révolution (200) par le facteur de micro-stepping (2). Cela donne donc un total de 400 pas nécessaires pour effectuer un tour complet du moteur. Le DRV8825 peut multiplier le nombre de pas par 32, tandis que le A4988 peut le multiplier au maximum par 16.

En général, le DRV8825 est préféré, car il peut supporter un courant plus élevé et offre une division du micro-stepping plus fine. Cependant, il peut être légèrement plus cher et moins courant sur le marché.

#### 2.5.2.2. Les drivers DRV8825 utilisés dans notre projet

Dans notre projet de réalisation d'une machine CNC, nous avons utilisé trois pilotes DRV8825 montés sur la carte Shield V3 pour contrôler les moteurs pas à pas qui actionnent les trois axes (X, Y, Z). Ces pilotes étaient essentiels pour assurer un contrôle précis du mouvement des axes. Grâce aux DRV8825, nous pouvions ajuster la vitesse et la direction des moteurs pas à pas avec une grande précision, ce qui nous a permis de réaliser des opérations CNC de manière fluide et précise.

➤ **Limitation de courant dans le Driver DRV8825**

Dans la figure (2.10), nous avons montré comment nous avons réglé le courant dans le driver DRV8825, nous avons ajusté la valeur relative de la tension de référence ( $V_{ref}$ ) en réglant le potentiomètre présent sur le driver. Nous avons réglé cette valeur à 0,5 pour garantir une utilisation sûre du moteur sans dépasser le courant maximal recommandé pour le moteur .



**Figure 2.10:** Limitation de courant sur Driver DRV8825 .

Nous avons utilisé la relation suivante pour déterminer le courant maximal  $I_m$  traversant le moteur :

$$I_m = V_{ref} * 2 \quad \text{Éq 2. 4}$$

Puisque nous avons réglé la valeur de  $V_{ref}$  à 0,5, le courant maximal traversant le moteur est donc de 1A.

### 2.5.3.La carte électronique utilisée

#### 2.5.3.1.La carte ARDUINO

L'Arduino est un microcontrôleur open source qui offre la possibilité de programmation, d'effacement et de reprogrammation faciles à tout moment. Introduite en 2005, la plateforme Arduino a été spécialement conçue pour offrir aux amateurs, étudiants et professionnels un moyen simple et abordable de créer des appareils interagissant avec leur environnement grâce

à des capteurs et des actionneurs. Basée sur des cartes microcontrôleur basiques, l'Arduino est une plateforme informatique open source utilisée pour la construction et la programmation d'appareils électroniques. Il peut également fonctionner comme un mini-ordinateur, tout comme d'autres microcontrôleurs, en recevant des entrées et en contrôlant les sorties pour une grande variété d'appareils électroniques. [28]

La figure (2.11) ci-dessous présente quelques types de cartes Arduino.



**Figure 2.11:** Quelques cartes Arduino existantes.

#### 2.5.3.1.1. Pourquoi ARDUINO?

Les cartes Arduino présentent plusieurs avantages :

- Elles sont économiques par rapport à d'autres plateformes, avec un prix inférieur à 25 euros.
- Elles sont compatibles avec différents systèmes d'exploitation tels que Windows, Macintosh et Linux.
- L'interface de programmation est conviviale et intuitive grâce au logiciel Arduino, ce qui facilite son utilisation, même pour les débutants. Il permet également aux utilisateurs expérimentés de bénéficier d'une grande flexibilité.
- Le logiciel, le langage et le matériel Arduino sont opens source, ce qui signifie qu'ils sont distribués sous une licence ouverte et disponibles pour être utilisés et modifiés par des programmeurs et des utilisateurs expérimentés. [29]

### 2.5.3.1.2. Les différents types de la carte Arduino

Une comparaison entre les trois principaux types d'Arduino qui existent est donnée par le tableau suivant :

ARDUINO	MINI	UNO	MEGA
Processeur	ATMEGA328p	ATMEGA328p	ATMEGA2560
Flash mémoire (KB)	32	32	256
SRAM(KB)	2	2	8
Broches d'E/S numériques	14 dont 6 PWM	14 dont 6 PWM	54 dont 14 PWM
Broches d'entrées analogique	8	6	16
La tension de fonctionnement	5V	5V	5V
Dimensions (mm)	30x18	68,6x53,3	101,6x53,3
EEPROM (KB)	1	1	4

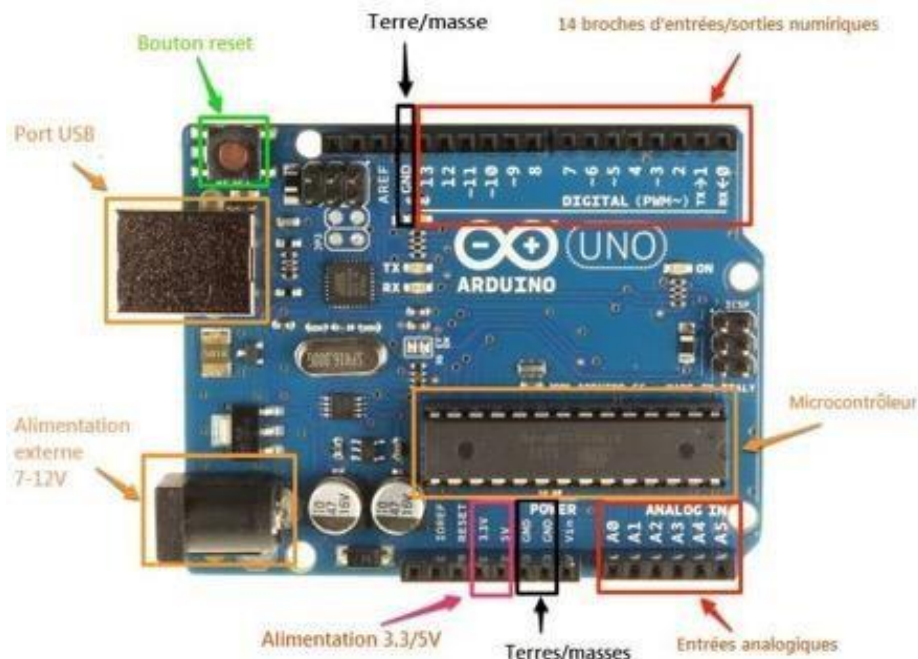
**Tableau 2. 2:** Tableau comparatif entre les caractéristiques ARDUINO MINI, UNO et Méga 2560. [29]

L'analyse des trois cartes, effectuée au tableau 2.2, Révèle qu'ATMEGA est la plus puissante. Tandis qu'Arduino-UNO peut répondre aux besoins du notre projet puisque l'UNO offre plus de broches numériques et analogiques elle reste la préférée en raison de sa petite taille, de son cout réduit, et de la simplicité de la programmation et ainsi que la version standard GRBL compatible avec UNO.

### 2.5.3.1.3. La présentation de la carte Arduino UNO

Lorsque nous avons utilisé la carte Arduino UNO pour fabriquer notre machine CNC à trois axes, nous avons trouvé qu'elle était idéale pour coordonner les différentes parties du système. Nous avons choisi d'utiliser la carte Arduino UNO comme automate de commande

pour piloter la machine CNC. La carte Arduino UNO est basée sur le microcontrôleur Atmega328P et offre plusieurs fonctionnalités. [29]



**Figure 2.12:** La carte Arduino UNO.

D'après la figure 2.11, les spécifications techniques de la carte Arduino UNO sont les suivantes :

- Microcontrôleur: ATmega328P.
- Tension de fonctionnement: 5V.
- Tension d'alimentation recommandée: 7-12V.
- Broches E/S numériques : 14 (dont 6 avec sortie PWM).
- Broches d'entrées analogiques : 6 (utilisables comme broches E/S numériques).
- Courant maximal disponible par broche E/S (5V) : 40 mA (ATTENTION : 200 mA cumulés pour toutes les broches E/S).
- Courant maximal disponible en sortie 3.3V : 50 mA.
- Courant maximal disponible en sortie 5V : Dépend de l'alimentation utilisée - maximum de 500 mA si seulement le port USB est utilisé.
- Mémoire Flash du programme : 32 KB (ATmega328), dont 0.5 KB utilisés par le bootloader (programme de base préprogrammé pour faciliter la communication avec le logiciel Arduino).

- Mémoire SRAM (volatile) : 2 KB (ATmega328).
- Mémoire EEPROM (non volatile) : 1 KB (ATmega328).
- Fréquence d'horloge: 16 MHz [29]

#### **Les fonctions du circuit:**

Plusieurs fonctions sont présentes sur le même circuit dont :

*L'acquisition* : cette fonction peut être réalisée par le microprocesseur en utilisant les ports d'entrée, qui peuvent être :

- Ports numériques (Digital IN) : utilisés pour acquérir des informations binaires.
- Ports analogiques (Analog IN) : utilisés pour l'acquisition des tensions variant de 0 à 5V.
- Convertisseurs analogique-numérique : chargés de convertir ces tensions en valeurs numériques afin que le microprocesseur puisse effectuer des calculs.

*Traitement* : cette tâche est principalement effectuée par le microcontrôleur, permettant ainsi l'émission d'ordres à la partie opérative via les ports de sortie numériques, soit sous forme binaire, soit sous forme analogique à l'aide d'un signal PWM (uniquement pour les ports marqués du symbole « ~ »).

*Communication* : divers ports sont spécifiquement dédiés à des protocoles de communication, assurant ainsi la fonction de "Communication", tels que l'USB.

*Alimentation de la carte* : La carte Arduino peut être alimentée soit par la connexion USB, soit par une source d'alimentation externe. La plage de tension recommandée est de 7 à 12 V. Les broches d'alimentation disponibles sont celles de 5V ou de 3,3V (telles qu'indiquées dans la figure 2.11), ainsi que la broche GND pour la masse.

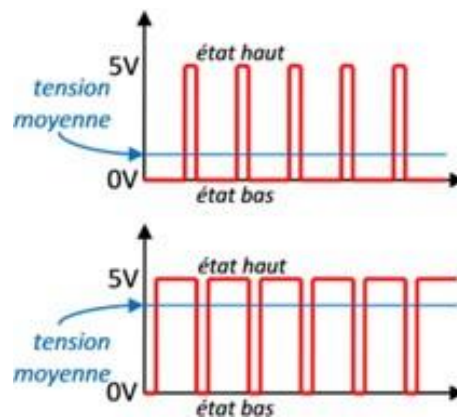
#### *Commande avec signal PWM (Modulation de Largeur d'Impulsion) [30]*

En principe, un port numérique ne peut fournir qu'une information binaire, c'est-à-dire soit "tout" (5V), ne soit "rien" (0V), sans possibilité de valeurs intermédiaires.

Cependant, en variant rapidement la tension de sortie entre 0V et 5V (0V-5V-0V-5V-...), la valeur moyenne de la tension est modifiée. En ajustant la durée des états hauts (5V) et des états bas (0V), on peut ainsi modifier cette tension moyenne (voir figure 2.13).



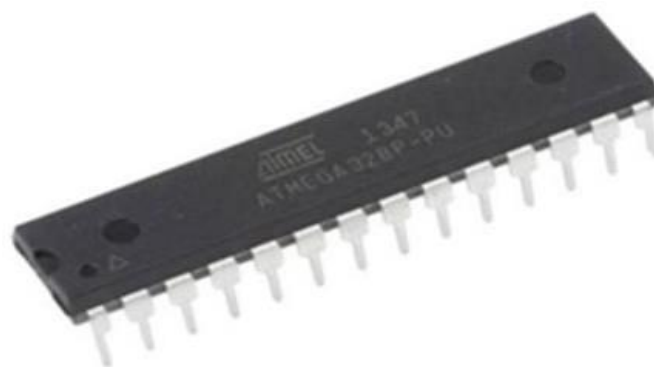
Cette technique est appelée Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI), ou Pulse Width Modulation (PWM) en anglais.



**Figure 2.13:** Graphes montrant la variation de la tension moyenne en fonction de la variation de la période de états hauts et bas.

#### 2.5.3.1.4. Le microcontrôleur [26]

Au cœur de l'Arduino UNO, il y a le microcontrôleur Atmega328P, qui exécute les instructions que nous avons programmées. C'est lui qui envoie les signaux aux moteurs pas à pas pour déplacer les axes de notre machine CNC. Le microcontrôleur gère également les entrées des capteurs, comme les interrupteurs de fin de course, pour assurer un fonctionnement sûr et précis.



**Figure 2.14 :** Le microcontrôleur ATMEGA328P. [29]

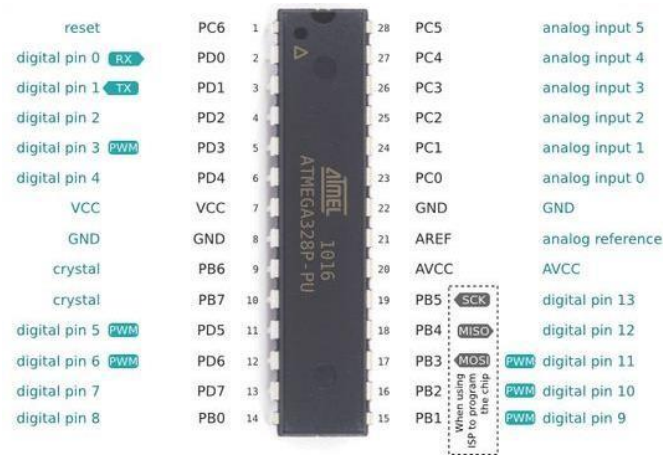


Figure 2.15: Datasheet de microcontrôleur ATMEGA328P. [29]

#### 2.5.3.1.4.1. Composition des éléments internes d'un microcontrôleur [30]

Le microcontrôleur ATMEGA328 est composé de différents éléments, chacun ayant un rôle bien défini. Il présente une architecture similaire à celle d'une carte mère d'ordinateur.

Voici une description des principaux composants internes de ce circuit programmable :

- Mémoire flash : Elle contient le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible.
- RAM (Random Access Memory) : C'est la mémoire volatile où les données peuvent être stockées temporairement. Lorsque l'alimentation est coupée, son contenu est perdu.
- EEPROM : Il s'agit d'une mémoire non volatile, similaire à un "disque dur" pour le microcontrôleur. Elle permet d'enregistrer des informations qui doivent survivre même lorsque la carte est éteinte et déconnectée de son alimentation. Cette mémoire conserve son contenu même en cas de redémarrage ou de reprogrammation du microcontrôleur.
- Registres : Ce sont des mémoires spéciales utilisées par le processeur pour stocker des données temporaires ou des résultats intermédiaires.
- Mémoire cache : C'est une mémoire intermédiaire qui facilite et accélère l'accès entre les registres et la RAM.
- Processeur : Il s'agit du composant principal du microcontrôleur, également appelé CPU (Central Processing Unit) : Le processeur exécute le programme qui lui est

donné à traiter, effectuant les calculs et les opérations nécessaires en fonction des instructions programmées.

#### 2.5.4. Contrôle de moteur pas à pas à l'aide de driver drv8825

La figure (2.16) représente le branchement du Driver DRV8825.

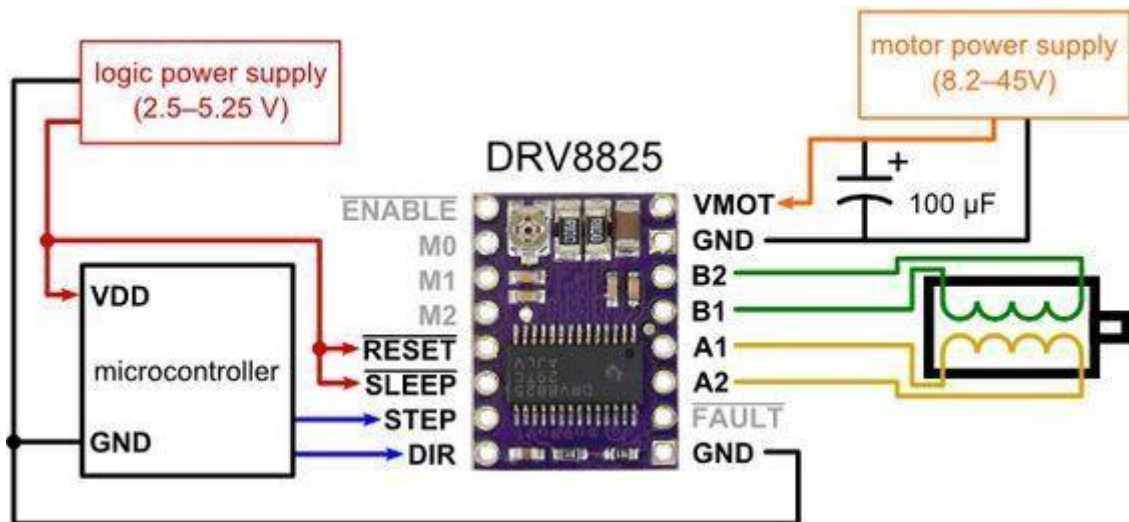


Figure 2. 16: Branchement du DRV8825. [31]

La figure (2.17) représente le banc de test utilisé pour contrôler le moteur pas à pas NEMA 17 avec un ARDUINO UNO en utilisant le pilote DRV8825.

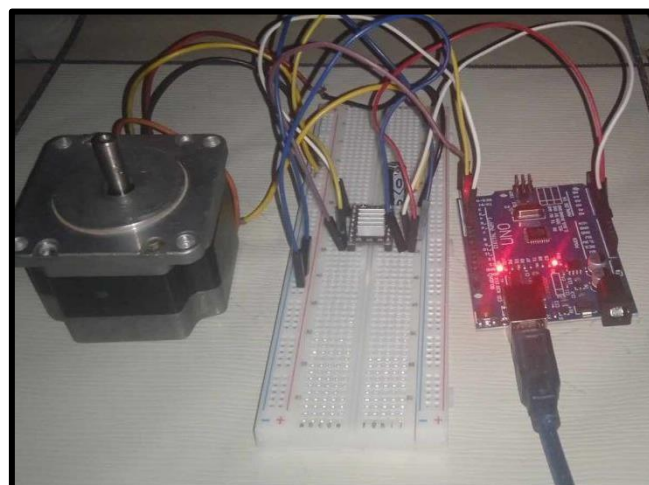


Figure 2.17: Montage du circuit de commande du moteur pas à pas à l'aide lu pilote DRV8825.

### 2.5.5. La carte Shield V3

La carte Shield V3 que nous avons utilisé dans notre projet de réalisation de la machine CNC nous a permis de contrôler facilement les moteurs pas à pas, et c'était un élément essentiel du système car elle dispose d'actionneurs intégrés pour guider les moteurs et déterminer leur vitesse et leur direction, ce qui est essentiel pour gérer les différents mouvements des axes tels que X, Y et Z. Ce qui rend la carte Shield V3 idéal pour notre projet, c'est sa compatibilité avec l'Arduino UNO, que nous avons installé facilement. Cela a permis de connecter facilement les moteurs. De plus, nous avons installé des capteurs tels que des capteurs de fin de course pour assurer la sécurité et éviter les mouvements excessifs.

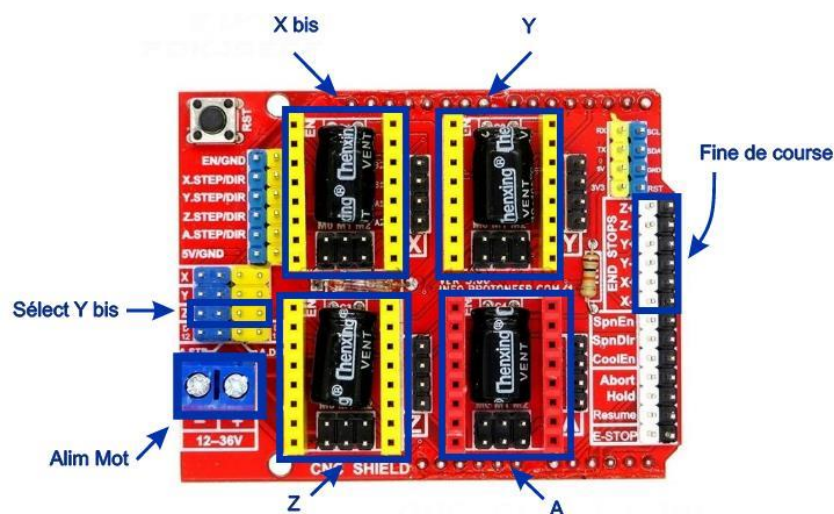


Figure 2.18: La carte CNC Shield utilisée. [32]

#### 2.5.5.1. Les caractéristiques techniques de la carte Shield V3 [32]

- Compatible avec Arduino UNO.
- Compatible avec GRBL
- Tension d'entrée: 12V-36V.
- Axes à piloter : X, Y, Z, A.
- Entrées de fin de course : 6 (X, Y, Z, sur mini et maxi).

#### ➤ L'installation des jumper (microstepping) sur la carte CNC shield:

Nous avons placé des jumpers sur la carte CNC Shield afin de régler les paramètres de micro-stepping des moteurs pas à pas. Ceci est illustré dans la figure suivante.



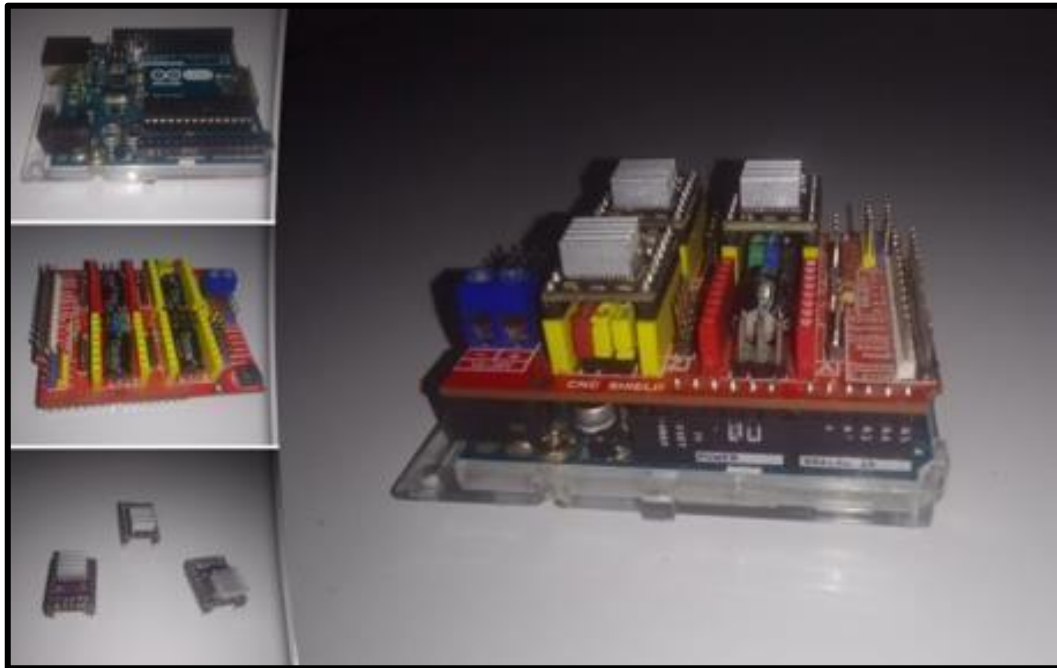
**Figure 2.19 :** L'installation des jumper sur la carte CNC Shield .

Dans notre projet, nous avons installé tous les jumpers sur la carte CNC Shield sur leurs emplacements respectifs pour activer le mode 1/32 microstepping, comme indiqué sur le tableau (2.3) dans la dernière case. Ce mode permet de diviser chaque pas complet des moteurs pas-à-pas en 32 micro-pas, offrant ainsi une très haute résolution et un mouvement très fluide des moteurs. Cela est particulièrement utile pour des travaux nécessitant une grande précision, comme la gravure fine ou la découpe précise. Les micro-pas réduisent également les vibrations, ce qui améliore la qualité des opérations CNC et réduit l'usure mécanique des composants. Nous sommes maintenant capables de contrôler les mouvements de manière très précise.

Mode 0	Mode 1	Mode 2	Résolution microstepping
Bas	Bas	Bas	Pas complet
Haut	Bas	Bas	Demi-Pas
Bas	Haut	Bas	1/4 de Pas
Haut	Haut	Bas	1/8 de Pas
Bas	Bas	Haut	1/16 de Pas
Haut	Bas	Haut	1/32 de Pas
Bas	Haut	Haut	1/32 de Pas
Haut	Haut	Haut	1/32 de Pas

**Tableau 2. 3:** Paramètres de résolution du micro pas pour le pilote moteur DRV8825.[33]

Dans la figure suivante nous avons présenté l'assemblage des trois drivers drv8825 et la carte Shield avec la carte ARDUINO est représenté sur la figure (2.20).



**Figure 2.20:** Assemblage des modules ARDUINO-SHIELD-DRIVER DRV8825.

### 2.5.6. Module Bluetooth HC-05

Nous avons utilisé le module Bluetooth HC-05 pour établir une connexion sans fil entre la machine CNC et une application Android que nous avons développée pour contrôler la machine à distance. Ce module a joué un rôle crucial en fournissant une liaison sans fil entre la machine et l'application, ce qui nous a permis de contrôler la CNC à partir de nos smartphones ou tablettes, sans avoir besoin de câbles ou d'un ordinateur traditionnel.

Dans notre projet, nous avons connecté le module Bluetooth HC-05 à la carte CNC Shield en utilisant des résistances en série avec la connexion du module Bluetooth au microcontrôleur. Cette résistance agit comme une sorte de limiteur de courant. Lorsqu'un courant excessif essaie de passer à travers la résistance, elle limite ce courant à un niveau sûr.

Cela protège à la fois le module Bluetooth et la carte CNC Shield contre les dommages causés par un courant excessif.

### 2.5.6.1. Les caractéristiques du module Bluetooth HC-05 [34]

Voici les caractéristiques du module Bluetooth HC05 que nous utiliserons dans ce projet :

- Plage d'alimentation : de 3,6V à 6V en courant continu (avec régulateur intégré de 3V).
- Version du Bluetooth: 2.0.
- Portée de transmission : jusqu'à 10 mètres.
- Vitesse de communication série : de 4800 à 1382400 bauds.
- Antenne intégrée fonctionnant à une fréquence de 2,4 GHz.
- Sorties disponibles: KEY, VCC, GND, TXD, RXD et State.
- Configuration du module via des commandes AT.
- Longueur du cordon : environ 20 cm.
- Dimensions du module : 35 x 16 x 12 mm.



**Figure 2.21:** Module Bluetooth HC-05.

La figure (2.22) représente le circuit de raccordement Bluetooth HC05-CNC Shield

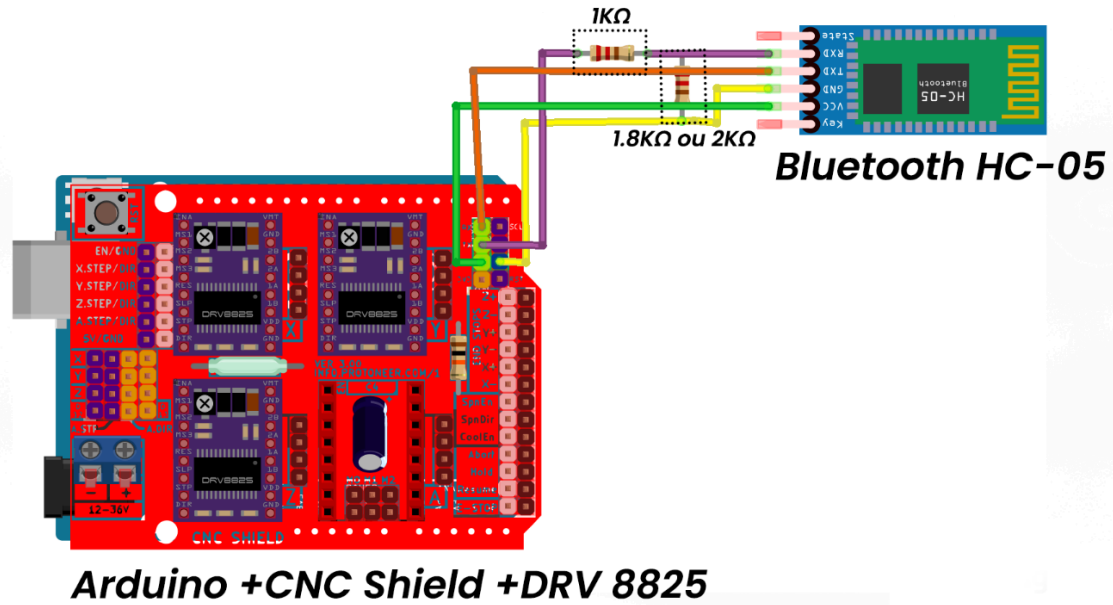


Figure 2.22 : le circuit de raccordement Bluetooth HC05-CNC Shield.

La figure (2.23) illustre comment nous avons connectée le module Bluetooth à la carte CNC Shield V3.

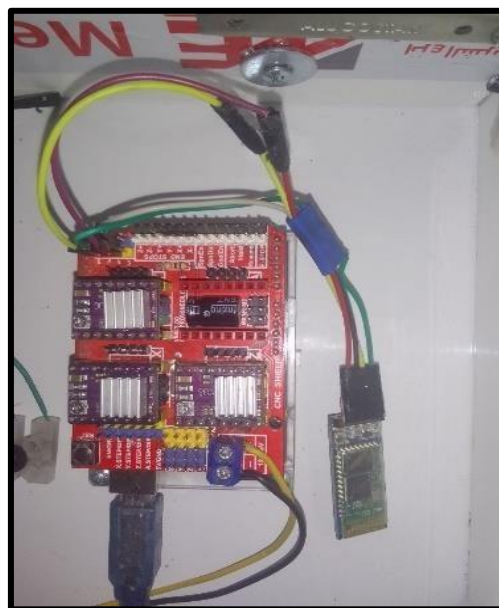


Figure 2.23: Le raccordement Bluetooth HC05-CNC Shield.



### 2.5.7. Le ventilateur

Le ventilateur est un élément clé de notre système de refroidissement. Lorsque nous faisons fonctionner les moteurs pas à pas et les composants électroniques comme les drivers et l'alimentation électrique, la température augmentait de manière significative.

Nous avons donc utilisé le ventilateur pour faire circuler l'air et réduire la chaleur, ce qui a aidé à prévenir la surchauffe, qui pourrait endommager les pièces ou entraîner une baisse des performances.



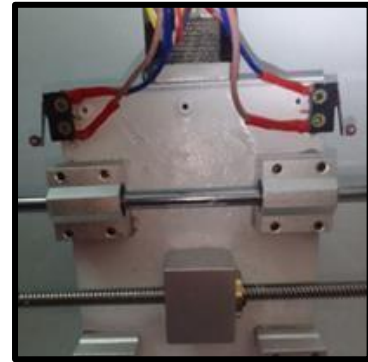
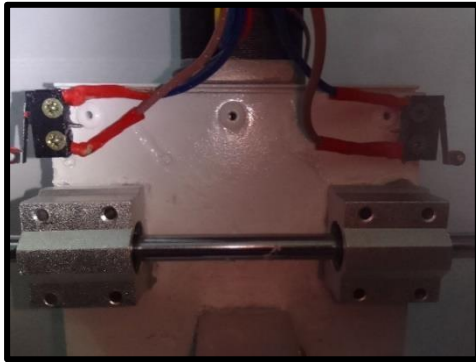
Figure 2.24 : Un ventilateur de 12V.

### 2.5.8. Les interrupteurs (Les fins de course)

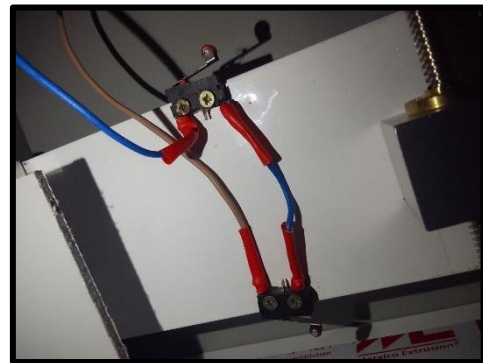
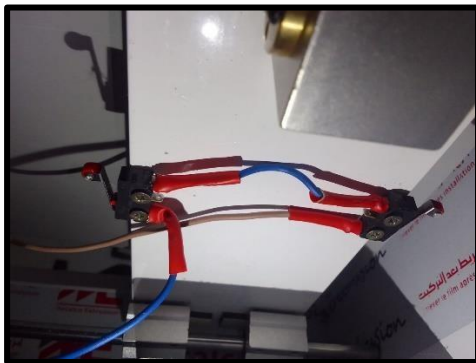
Dans notre projet de fabrication d'une machine CNC, nous avons pris la décision d'installer quatre interrupteurs de fin de course. Deux de ces interrupteurs ont été attribués à chaque axe, X et Y, tandis que pour l'axe Z, nous avons décidé de ne pas en installer pour faciliter la configuration de la machine. Cette décision a été prise après une analyse minutieuse des besoins spécifiques du projet et des exigences de conception de la machine.

En attribuant des limites de manière appropriée aux axes X et Y, nous visons à garantir la précision des mouvements et la localisation précise des positions. Ces fins de course assurent également une sécurité supplémentaire en limitant les déplacements des axes dans les zones définies, ce qui réduit les risques de collisions et de dommages à la machine.

Les illustrations ci-dessous montrent les positions des interrupteurs des fins de course par rapport aux axes X, Y.



**Figure 2.25 :** Les emplacements des fins de course de l'axe X de la machine.



**Figure 2.26 :** Les emplacements des fins de course de l'axe Y de la machine.

### 2.5.9. Le relais

Le relais 5V utilisé pour commander le moteur DC 12V, ce moteur agit comme un interrupteur contrôlé par le système Arduino + CNC Shield, permettant de commuter l'alimentation 12V vers le moteur.[35]



**Figure 2. 27:** Le relais 5V.

#### **2.5.10.Choix du moteur de la broche**

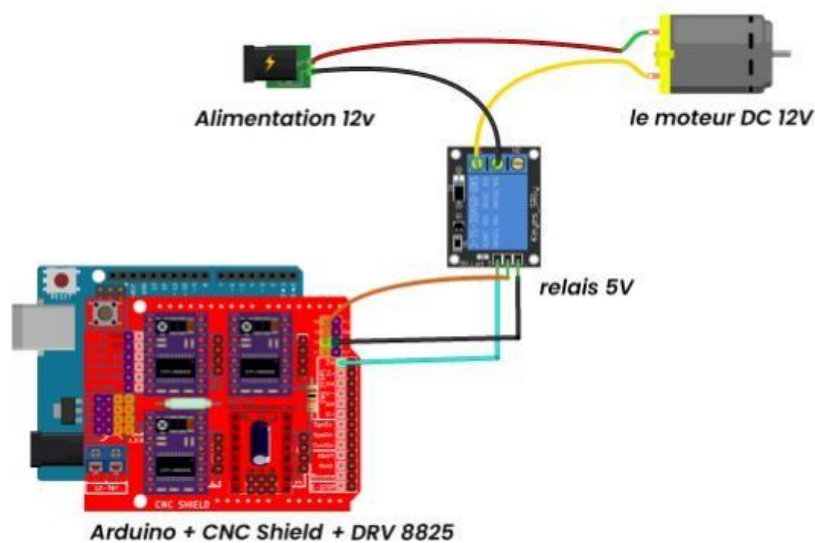
Nous avons utilisé un moteur de broche DC de 12 volts pour réaliser des opérations de gravure, et ce moteur a joué un rôle clé dans le succès de notre projet. Le moteur de broche fournit la puissance et la rotation nécessaires pour faire tourner l'outil de gravure, ce qui nous permet de percer et de découper avec précision et rapidité. Grâce à ce moteur, nous pouvons contrôler la vitesse de rotation, ce qui nous a permis d'ajuster la vitesse en fonction du type et des exigences du design. Le moteur de broche DC 12V nous a permis d'effectuer des gravures précises, car il pouvait tourner à grande vitesse, ce qui nous a donné la capacité de créer des détails complexes et de découper des formes sur mesure avec une grande exactitude. Voici la figure (2.28) du moteur DC 12V



**Figure 2.28 :** Le moteur DC 12V de la broche.

Dans notre projet, nous avons relié un moteur à courant continu à un relais de 5 volts pour contrôler sa vitesse. Pour réaliser ce contrôle, nous avons modifié les connexions sur la carte CNC Shield. De plus, nous avons connecté ce moteur à l'emplacement de la fin de course Z+ sur la carte, bien que nous n'ayons pas utilisé de fin de course pour l'axe Z, afin de simplifier le processus de configuration de la machine.

La figure (2.29) illustre le circuit que nous avons suivi pour relier le moteur DC au relais 5V sur la carte CNC Shield.



**Figure 2.29** : Le circuit de branchement de moteur DC avec le relais 5V à la carte CNC Shield

La figure (2.30) du schéma de branchement du relais 5V à la carte CNC Shield.



**Figure 2.30** : Schéma de branchement du relais 5V à la carte CNC Shield.

### 2.5.10.1. Le moteur de broche sélectionné possède les spécifications suivantes [36]

- Modèle : 775 moteurs à courant continu
- Tension d'alimentation : 12V à 24 V
- Il est recommandé d'utiliser un courant de 10 à 15 A
- La Vitesse : 6000 tr/min à DC 12V et 12000 tr/min à DC 24V
- Puissance: 60
- Hauteur du pas du moteur : 4 mm
- Diamètre du pas du moteur : 18 mm
- Diamètre de la tige: 5 mm
- Boîtier: Métal ou plastique
- Poids: 50 à 200 g

### 2.11. Le bloc d'alimentation de la machine CNC

Le bloc d'alimentation fonctionnant à 220V était un élément essentiel pour garantir le fonctionnement fiable de la machine. Nous l'avons utilisé pour fournir l'énergie nécessaire à tous les composants de la machine, des moteurs pas à pas qui déplacent les axes, à la broche, aux ventilateurs et aux systèmes de refroidissement. Nous avons choisi un bloc d'alimentation fonctionnant à 220V car il est capable de convertir le courant électrique domestique en niveaux de tension adaptés à la machine CNC, tout en assurant une alimentation stable pour éviter toute fluctuation pouvant affecter les performances.



**Figure 2. 31 :** Bloc d'alimentation utilisé pour notre matériel.

Dans cette figure (2.31), nous avons expliqué comment nous avons effectué une modification dans le bloc d'alimentation à l'aide d'un multimètre. Après avoir mesuré, nous avons constaté que le fil noir est la GND, le fil jaune est de 12V, le fil rouge est de 5V, et le fil orange est de 3,3V. donc en ajoutant 2 sorties (noire et jaune) de 12V pour le CNC Shield V3, et 2 autre un pour le ventilateur et l'autre pour le moteur DC (l'outil de gravure), 2 fils (noire et rouge) pour l'Arduino.

Et pour allumer le bloc d'alimentation, nous avons mettre un interrupteur entre les deux fils (noire et vert) pour allumer et éteindre.



**Figure 2. 32 :** Interrupteur d'allumage et d'extinction du bloc d'alimentation.

## 2.12. Les boutons

### 2.12.1. Bouton d'arrêt d'urgence

C'est un composant important que nous avons utilisé pour arrêter immédiatement la machine en cas d'urgence ou lorsqu'il y a un risque pour la sécurité. Dès que nous appuyions dessus, il coupait l'alimentation des moteurs et des autres composants, ce qui empêchait tout mouvement supplémentaire. Cette action immédiate avait pour but d'éviter les accidents potentiels et d'empêcher les dommages à la machine en raison de problèmes inattendus.[37]



**Figure 2.33:** Bouton d'arrêt d'urgence.

### 2.12.2. Bouton de démarrage et d'arrêt

Nous avons utilisé deux boutons sur le boîtier de commande de la machine CNC, un bouton pour arrêter le fonctionnement et un autre pour reprendre le fonctionnement et continuer le travail.



**Figure 2.34 :** Boutons d'arrêt et de reprise du fonctionnement de la machine CNC.

### 2.13. Le voyant LED:

Nous n'avons pas trouvé de voyant LED vert sur le marché, donc nous l'avons fabriqué avec ces composants (une résistance, un support de LED et une LED verte). Nous avons utilisé ce voyant LED témoin pour indiquer que la machine a été activée.

La figure ci-dessous montrer les composants utilisés.



**Figure 2.35 :** Fabrication de voyant LED.

#### 2.14.La face avant de boîtier de commande

Dans les deux figures suivantes (2.36) et (2.37), nous montrerons comment installer à la fois à l'intérieur et à l'extérieur d'une pièce en aluminium de la face avant de boîtier de commande : les deux boutons verts d'arrêt et de reprise du fonctionnement de la machine CNC et un bouton d'urgence, un interrupteur, un voyant, ainsi qu'un ventilateur de refroidissement.



**Figure 2.36 :** L'extérieur de la face avant du boîtier.



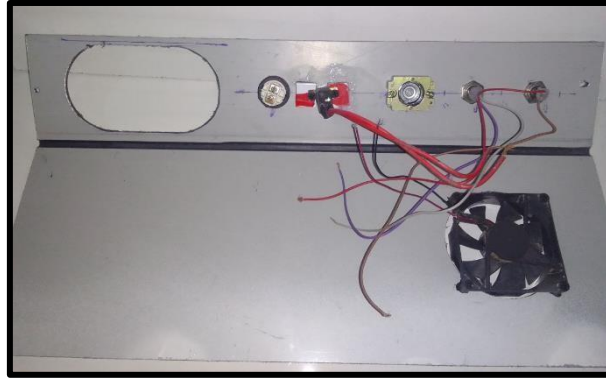


Figure 2.37 : L'intérieur de la face avant du boîtier.

## 2.15. Les câbles utilisés :

### 2.15.1. Le câble USB :

Nous avons utilisé un câble USB de la carte Arduino, un câble standard, pour connecter notre carte Arduino à un ordinateur via un port USB. Ce câble nous a permis d'établir une connexion bidirectionnelle entre la carte Arduino et l'ordinateur, facilitant ainsi le téléversement de programmes sur l'Arduino et l'échange de données entre les deux. [38]

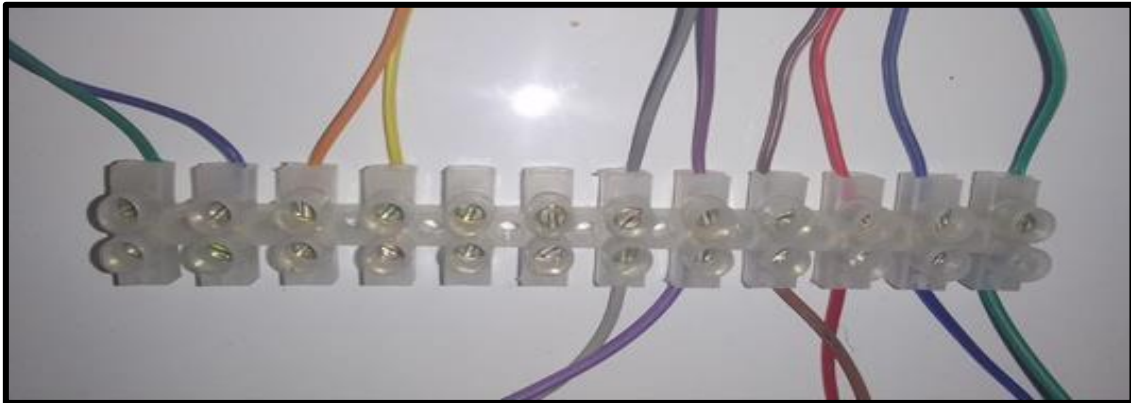


Figure 2.38: Le câble USB.

### 2.15.2. Le câble domino :

Nous avons utilisé le câble domino dans la réalisation de notre machine CNC pour relier les câbles de manière sécurisée et organisée. Ces connecteurs nous ont permis de raccorder rapidement et efficacement les moteurs et les autres composants électriques, rendant le montage du système beaucoup plus simple. Ce que nous avons apprécié avec le câble domino,

c'est sa capacité à maintenir des connexions électriques sûres et fiables, réduisant ainsi les risques de courts-circuits et garantissant la stabilité du fonctionnement.



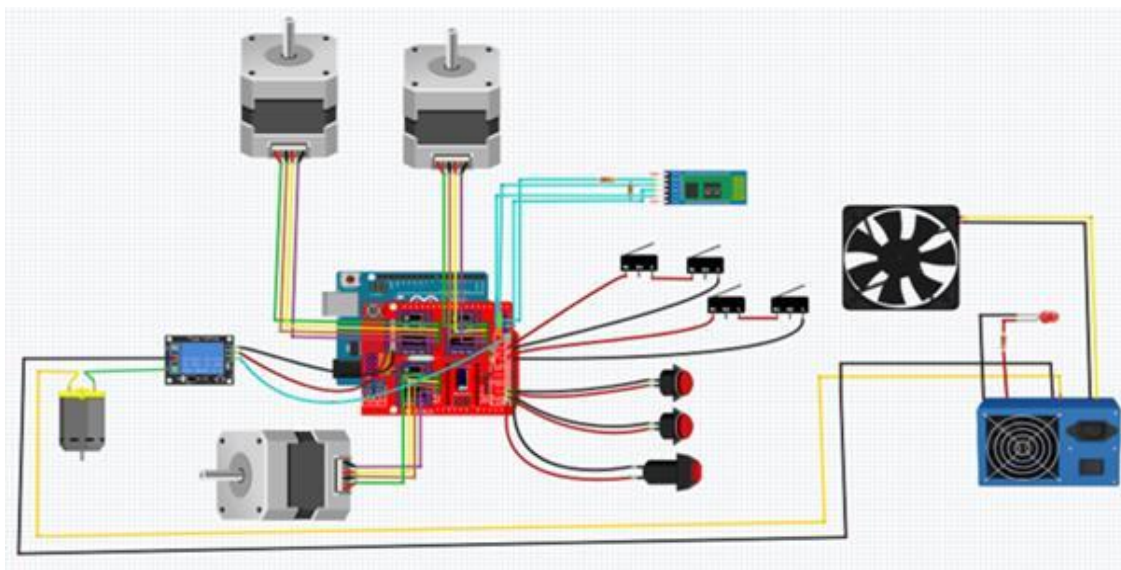
**Figure 2. 3:** Le câble domino.

## 2.16. Logiciel fritzing

Fritzing est un logiciel libre de prototypage électronique, permettant de concevoir des circuits électroniques de manière visuelle. Il est particulièrement utilisé pour créer des schémas de câblage, des schémas électriques et des circuits imprimés (PCB). Fritzing facilite la conception et la documentation de projets électroniques en offrant une interface intuitive et des bibliothèques de composants variées.

### 2.16.1. Schéma de câblage électrique complet sur Fritzing.

Après avoir présenté tous les composants de la partie électronique de la machine, nous assemblerons le circuit global, selon la figure ci-dessous.



**Figure 2.40 :** Schéma de câblage électrique global sur fritzing.

### **2.17.La conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté tous les composants de la partie commande de la machine, et nous avons essayé d'expliquer la commande des moteurs pas à pas basée sur l'Arduino ainsi qu'un circuit de puissance DRV8825. De plus, nous avons expliqué comment installer chaque composant à sa place sur la machine, et à la fin, nous avons présenté un schéma pour l'installation complète de tous les composants.

**Chapitre 3 : La partie  
mécanique de la machine à  
Commande Numérique par  
Calculateur CNC**

### 3.1 . Introduction

Le système convertit les signaux électriques provenant du système électronique en mouvements mécaniques, ce qui permet le déplacement des axes de la machine.

Dans ce chapitre nous allons détailler les différents composants utilisés dans la partie mécanique, en plus de procéder à la conception 3D de chaque élément. Enfin, nous démontrerons comment réaliser chaque axe de la machine et finaliserons la réalisation de l'ensemble de notre machine.

Avant d'entamer la description des différents composants utilisés dans la partie mécanique, nous présentons un aperçu du logiciel utilisé pour la conception assistée par ordinateur des différentes pièces mécaniques.

### 3.2 . La conception assistée par ordinateur

La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) désigne un ensemble d'outils et de logiciels informatiques conçus pour assister les ingénieurs dans la conception et le développement de produits.

Un système de CAO permet de représenter et d'étudier virtuellement le fonctionnement d'un objet, sans avoir à le fabriquer physiquement.[39]

Quelques exemples d'outils de CAO/FAO couramment utilisés incluent :

- ❖ Blender.
- ❖ SolidWorks.
- ❖ Auto CAD.
- ❖ Catia.
- ❖ CAM Woks.

Pour notre projet, nous avons utilisé le logiciel Blender pour concevoir des pièces mécaniques en trois dimensions. Ce logiciel polyvalent et puissant permet de créer, modéliser, et rendre des objets en trois dimensions.

#### 3.2.1. Aperçu sur le logiciel Blender

Blender est une suite de création 3D gratuite et open source qui permet aux utilisateurs de créer un large éventail de contenus 3D, notamment des visualisations, des animations, des effets visuels et du montage vidéo. Il s'agit d'une application multiplateforme qui nécessite peu de mémoire et d'espace disque et dispose d'un pipeline unifié pour des flux de travail rapides et efficaces. Blender offre une

large gamme d'outils pour presque tous les types de production multimédia et dispose d'une communauté importante et active. Il est utilisé par les professionnels, les amateurs et les studios du monde entier pour créer divers contenus 3D. L'interface de Blender est personnalisable avec des scripts Python et prend en charge un large éventail de formats de fichiers 3D. Bien que cela puisse sembler intimidant au début, avec de la motivation et du matériel d'apprentissage approprié, les utilisateurs peuvent devenir compétents avec le logiciel après quelques heures de pratique. Cependant, la maîtrise de l'art de la création 3D nécessite non seulement des compétences techniques, mais aussi une compréhension approfondie des principes artistiques. [40]

Voici l'interface de ce logiciel :

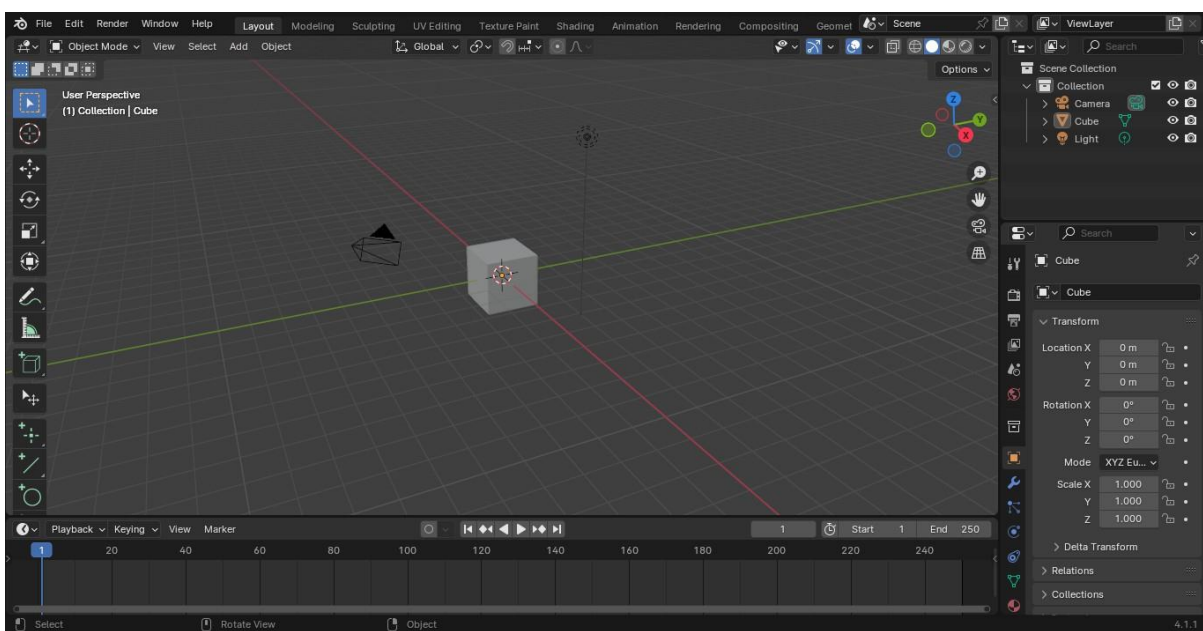


Figure 3. 1:L'interface de logiciel Blender.

### 3.3 . Le matériel nécessaire pour réaliser la structure mécanique de la machine CNC

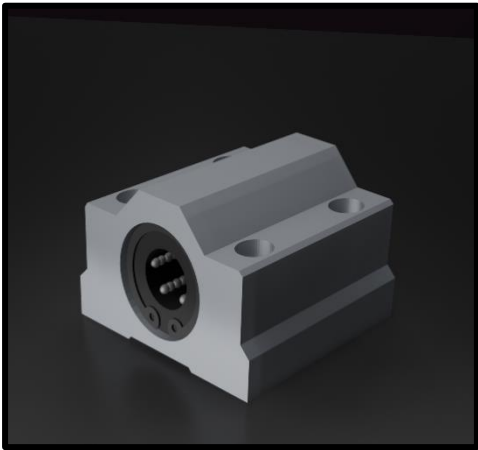
Nous allons commencer par donner et définir les différents composants de la partie mécanique de notre machine en utilisant la modélisation 3D pour chaque composant.

#### 3.3.1.Système de guidage

##### ➤ Glissières

Dans notre projet nous avons utilisé les "Glissières" pour guider le mouvement des axes et offrir le support mécanique nécessaire. Cette pièce a été essentielle pour nous, car elle garantit que les axes se déplacent de manière droite et cohérente, ce qui nous a permis d'obtenir une grande précision dans les opérations de gravure. Avec "Glissières", nous avons pu réduire les frictions, ce

qui a rendu le mouvement des axes plus fluide et plus efficace.



(a) Modèle de la glissière réalisé par CAO.



(b) Modèle de La glissière après usinage.

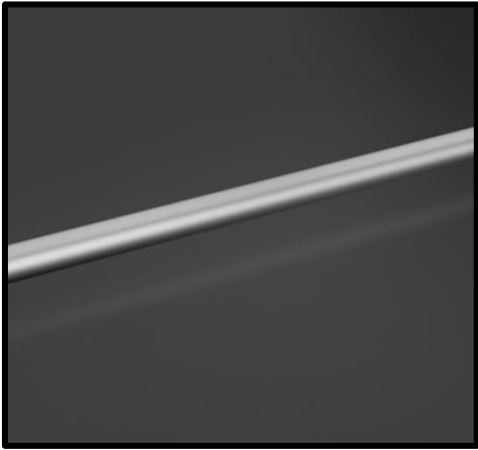
**Figure 3. 2 :** Glissière réalisée et conçue par ordinateur.

### 3.3.2. Systèmes de transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation

#### ➤ L'axe de guidage

Nous avons utilisé six axes de guidage, deux axes de guidage pour chaque axe pour les trois axes principaux : X, Y et Z. Ces axes de guidage nous ont permis de maintenir des mouvements en rectiligne et ont joué un rôle crucial en assurant un mouvement stable et précis des axes.

Le fait d'utiliser deux axes de guidage par axe principal a permis d'améliorer la stabilité du mouvement et d'éviter les vibrations ou les déviations, ce qui est essentiel pour des opérations de fabrication précises.



(a) Modèle de l'axe de guidage réalisée par CAO.

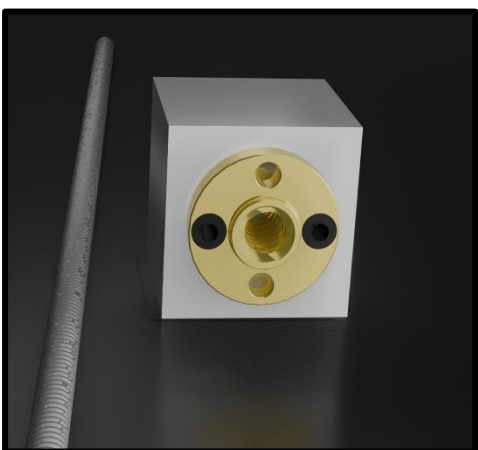
(b) L'axe de guidage après usinage.

**Figure 3. 3 :** L'axe de guidage réalisée et conçue par ordinateur.

➤ **Le système à vis et écrou avec une bague de fixation**

Le système le plus fréquemment utilisé pour convertir un mouvement de rotation en un mouvement de translation est le système vis-écrou. [41]

Dans notre projet de construction d'une machine CNC, nous avons choisi d'utiliser le système "vis et écrou" avec une bague de fixation pour guider le mouvement et le transformer de rotatif à linéaire. Ce système choisi était essentiel pour déplacer les axes avec précision, car il nous a permis de convertir la rotation des moteurs pas à pas en mouvement linéaire droit, ce qui nous a donné un contrôle précis sur les axes. La bague de fixation était cruciale car elle a fourni le support mécanique nécessaire pour empêcher la vis et l'écrou de se dévier pendant le fonctionnement, garantissant ainsi la stabilité et la constance du mouvement.



(a) Le modèle de vis/écrou réalisée par CAO.

(b) Le vis écrou Après la réalisation.

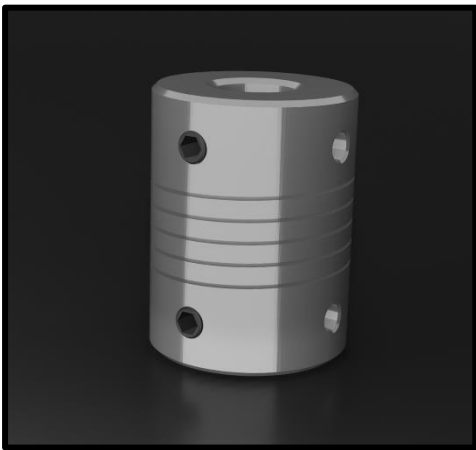
**Figure 3. 4 :** Système vis/écrou avec une bague de fixation réalisée et conçue par ordinateur.



### 3.3.3. Système de fixation

#### ➤ Accouplements semi-élastiques

Nous avons utilisé des "accouplements semi-élastiques" pour relier les moteurs pas à pas au système "vis écrou". Ces accouplements étaient essentiels car ils nous ont permis de connecter les moteurs aux axes sans problème d'alignement. Ce type de couplage offre suffisamment de flexibilité pour compenser les petits décalages entre les moteurs et les axes, garantissant ainsi une transmission fluide de l'énergie rotative des moteurs vers les vis à écrou.



(a) Le modèle de l'accouplement par CAO.

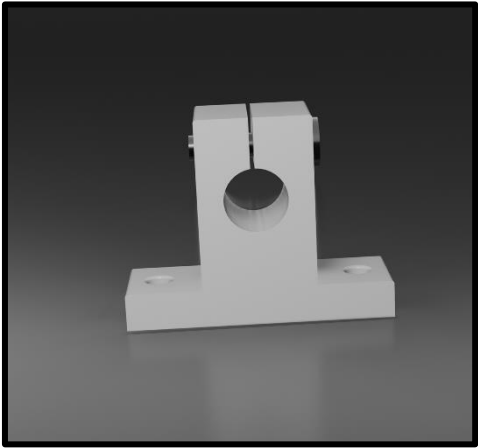
(b) L'accouplement Après la réalisation.

**Figure 3. 5 :** Les accouplements semi élastique réalisée et conçue par ordinateur.

#### ➤ Support des axes de guidage

Ces supports d'axe de guidage jouent un rôle crucial en maintenant et en stabilisant l'axe pour assurer un mouvement précis et contrôlé des machines ou des équipements mécaniques. [42]

Lorsque nous travaillions sur notre projet, nous avons utilisé des "supports des axes de guidage" pour fournir le soutien et la stabilité aux axes de guidage. Ces supports étaient essentiels pour maintenir les axes dans leur position correcte et garantir qu'ils se déplacent de manière stable pendant les opérations de perçage. Sans ces supports, il aurait été possible d'observer des déviations ou des vibrations, ce qui aurait affecté la précision des résultats.



(a) Le modèle de support réalisée par CAO.



(b) Le support après la réalisation.

**Figure 3. 6 :** Les supports des axes de guidage réalisée et conçue par ordinateur.

➤ **Roulement de bride KLF08**

Nous avons utilisé un "Roulement de bride KLF08" pour relier le "vis écrou" d'un côté à l'accouplement semi-élastique" de l'autre, qui lui-même était connecté à un moteur pas à pas. Ce composant a joué un rôle clé en soutenant le mouvement rotatif et en assurant une transmission fluide de l'énergie rotative des moteurs vers les vis à écrou.



(a) Le modèle de roulement KLF08 par CAO. (b) Le roulement KLF08 Après la réalisation.

**Figure 3. 7 :** Le roulement de bloc d'oreiller KLF08 réalisée et conçue par ordinateur.

➤ **Les pattes de fixation**

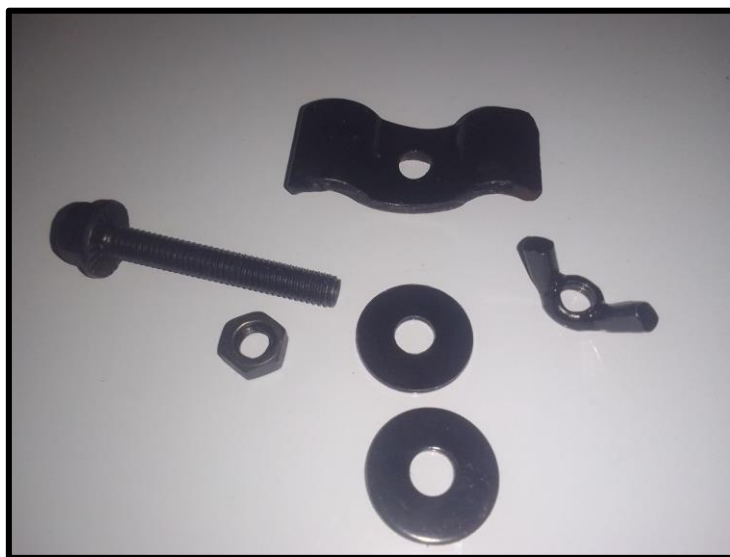
Pour fixer les barres d'aluminium sur le châssis de notre machine CNC, nous avons utilisé les pattes de fixation. Ce qui permet d'assurer un positionnement précis et garantit également que les barres d'aluminium ne bougent pas ou ne se déforment pas pendant l'usinage.



**Figure 3. 8 :** Les pattes de fixation.

➤ **Système de fixation de la pièce à graver sur l'espace de travail**

Nous avons utilisé un système (des boulons, des rondelles et des écrous) pour fixer la pièce à graver dans la zone de travail de la machine CNC, afin d'éviter tout déplacement lors de la découpe.



**Figure 3. 9 :** Système de fixation utilisé.

La figure (3.10) illustre comment nous avons fixé la pièce sur l'espace de travail.



Figure 3. 10 : La pièce à graver fixée sur l'espace de travail.

### 3.4 . La structure mécanique de notre machine CNC

Après avoir examiné les composants mécaniques de la machine CNC, nous allons maintenant commencer à expliquer comment assembler la structure mécanique.

#### 3.4.1. Problème de fabrication de notre machine CNC en bois

Au début de notre projet, nous avons construit la structure d'une machine CNC en bois. Malheureusement, nous avons rencontré de nombreux problèmes qui nous ont convaincus que le bois n'était pas adapté à la fabrication de la structure de la machines CNC. Nous avons découvert que le bois n'était pas suffisamment stable pour maintenir une précision élevée. De plus, une machine CNC fonctionne à des vitesses élevées, ce qui génère des vibrations. Mais, le bois n'absorbe pas bien ces vibrations, ce qui peut réduire la précision du travail et entraîner une usure plus rapide de ses composants.

La figure suivante illustre la réalisation de la machine CNC que nous avons fabriquée en bois.



**Figure 3. 11 :** Structure en bois de notre machine.

Lorsque nous avons terminé la réalisation de notre machine CNC, nous avons expérimenté un test de gravure sur forex où l'expérience a échoué en raison du manque de capacité du bois à supporter la pression et les vibrations subies par notre machine pendant le processus de gravure.

La figure (3.12) représente le résultat non concluant que nous avons obtenu de notre expérience de gravure sur le forex.



**Figure 3. 12 :** Le résultat de gravure sur le bois.

### 3.4.2. La fabrication de notre machine CNC en aluminium

Nous avons ensuite reconstruit notre machine CNC avec une structure en aluminium, et cela a été un succès. L'aluminium est léger mais solide, offrant une excellente stabilité tout en réduisant le poids de la machine. De plus, il résiste bien à la corrosion et peut absorber les vibrations de manière efficace. Grâce à ces caractéristiques, notre machine CNC avec une structure en aluminium s'est révélée être une solution fiable et durable.

La figure (3.13) illustre l'aluminium que nous utilisons pour fabriquer notre machine.



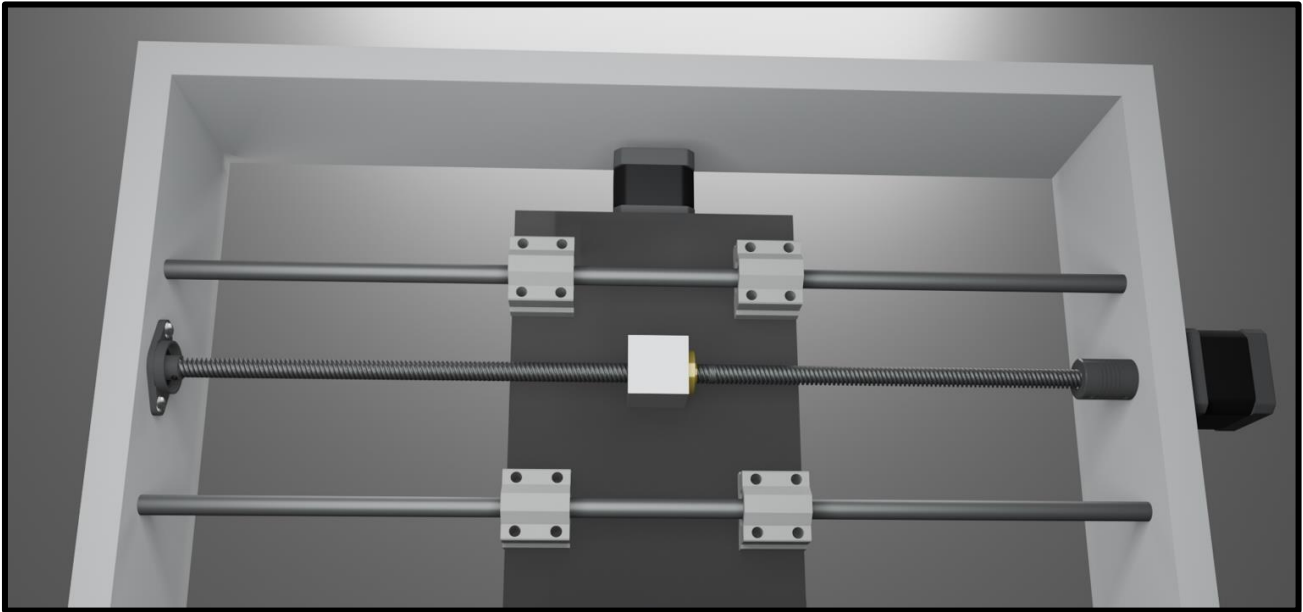
**Figure 3. 13 :** L'aluminium que nous utilisons pour fabriquer notre machine.

Maintenant, nous allons expliquer comment réaliser chaque l'axe et l'assemblage final de la machine.

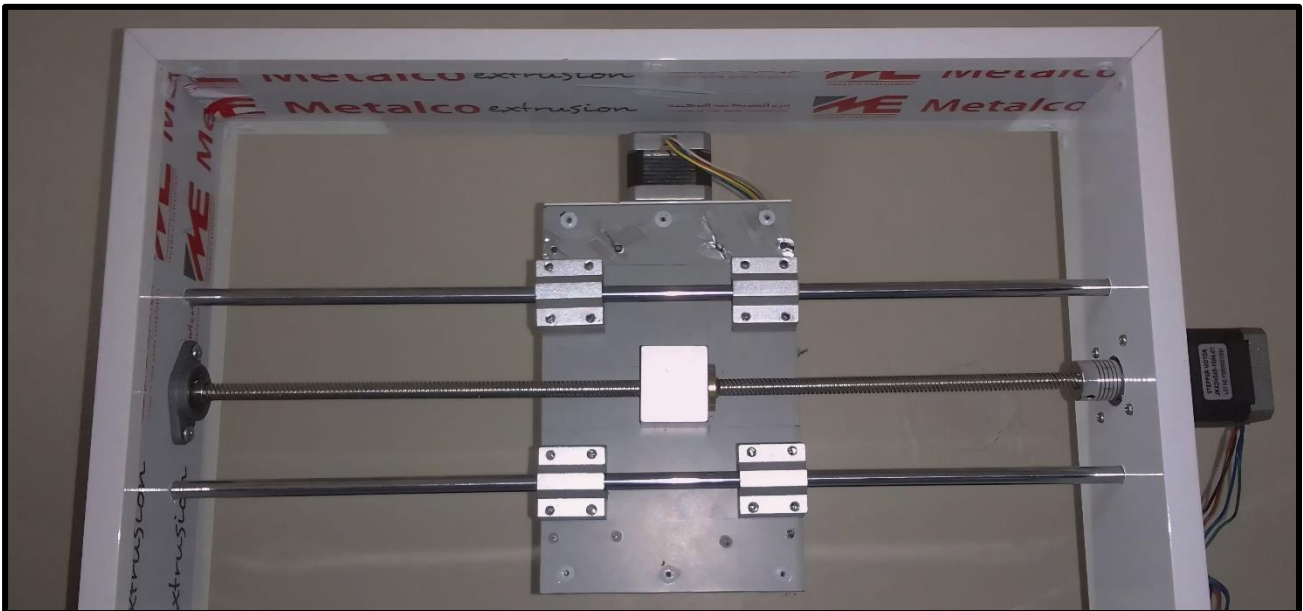
#### 3.4.2.1. La réalisation de l'axe X de notre machine CNC

La figure qui suit montre l'axe X que nous avons réalisé, telle que nous avons utilisé deux axes de guidage fixés aux extrémités du châssis en aluminium. Chacun de ces axes est associé à deux glissières qui permettent un mouvement fluide et précis le long de l'axe X.

Au centre, nous avons fixé une vis à écrou équipée d'une bague de fixation, que nous avons reliée aux extrémités du châssis à l'aide d'un accouplement d'un côté, et d'un roulement de bride KLF08 de l'autre côté. Cette configuration permet de connecter un moteur pas à pas à la vis à écrou, assurant ainsi le contrôle du mouvement de l'axe X.



a) Le modèle de l'axe X réalisée par CAO.

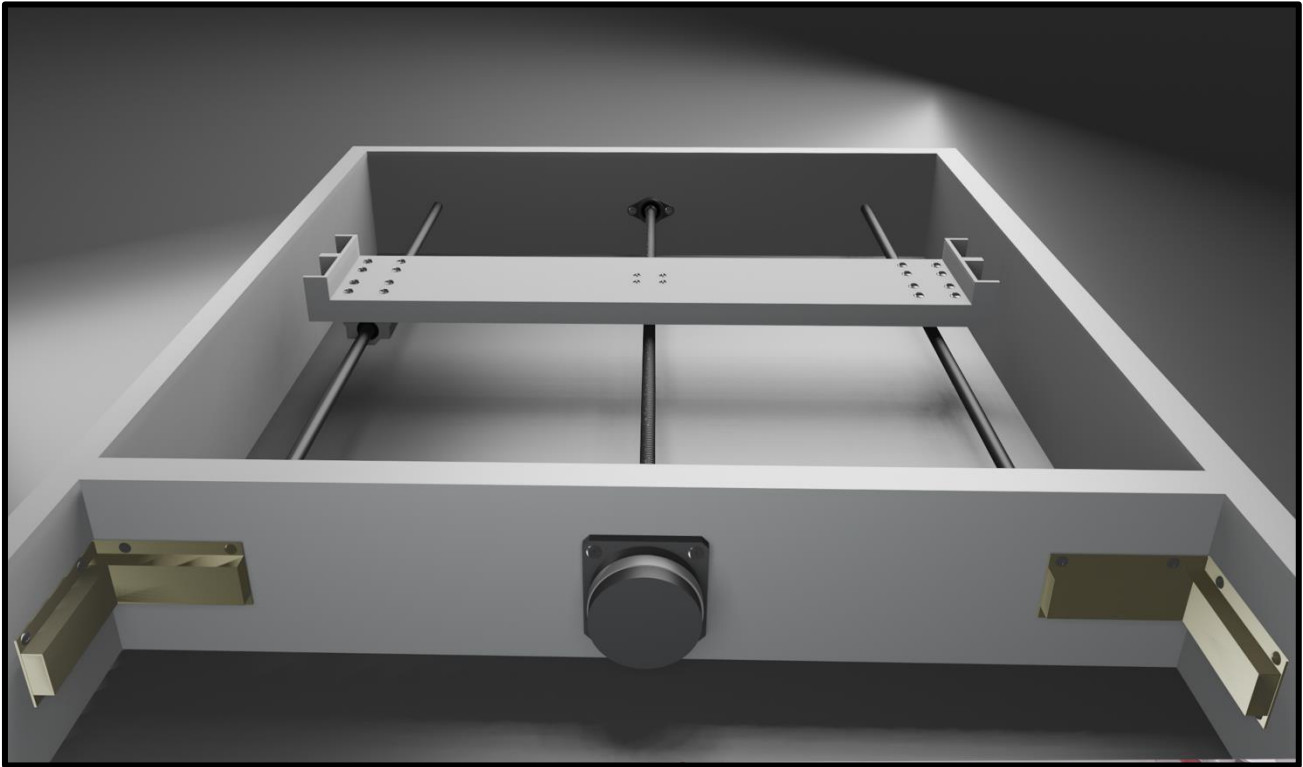


b) Le modèle de l'axe X après la réalisation.

**Figure 3. 14 :** L'axe X de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur.

### 3.4.2.2. La réalisation de l'axe Y de notre machine CNC

La figure (3.15) représente l'axe Y, sachant que cet axe constitue la base de notre machine. Nous avons utilisé les mêmes composants pour l'axe Y que pour l'axe X, mais avec une attention particulière à la rigidité pour garantir une excellente stabilité. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser des pattes de fixation pour attacher solidement les barres en aluminium au châssis, assurant ainsi une stabilité optimale.



a) Le modèle de l'axe Y réalisée par CAO.



b) Le modèle de l'axe Y après la réalisation.

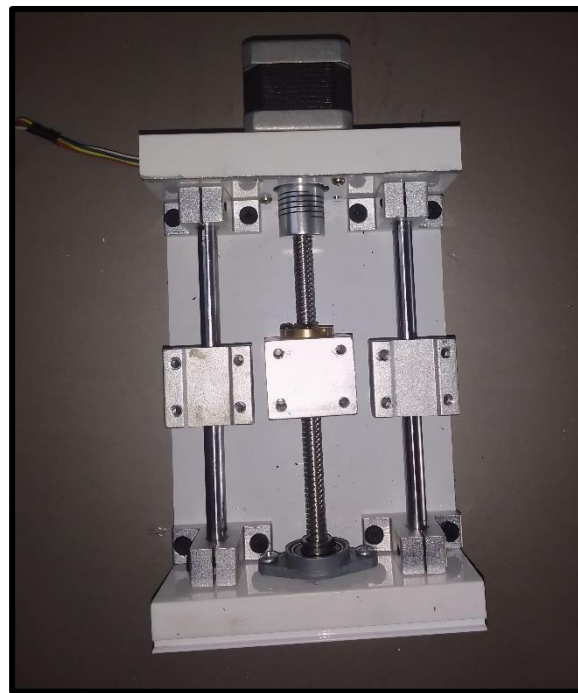
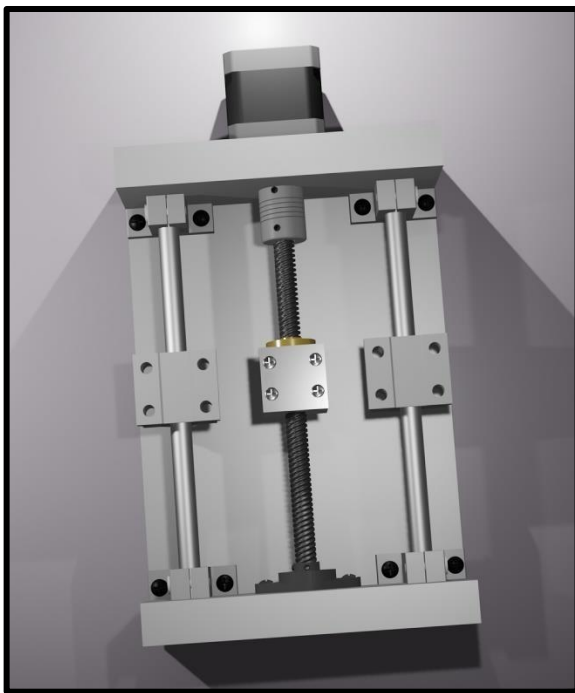
**Figure 3. 15 :** L'axe Y de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur.



### 3.4.2.3. La réalisation de l'axe Z de notre machine CNC

L'axe Z, tel qu'illustré dans la figure (2.16), doit être parfaitement aligné avec l'axe de la broche de la machine et doit être perpendiculaire à la table.

En utilisant les mêmes composants que ceux utilisés dans l'axe X, nous avons réussi à obtenir une précision de mouvement exceptionnelle. Mais nous avons ajouté des supports spéciaux pour guider les axes de guidage, ce qui a permis de renforcer la stabilité et la précision du travail dans la structure de la machine.



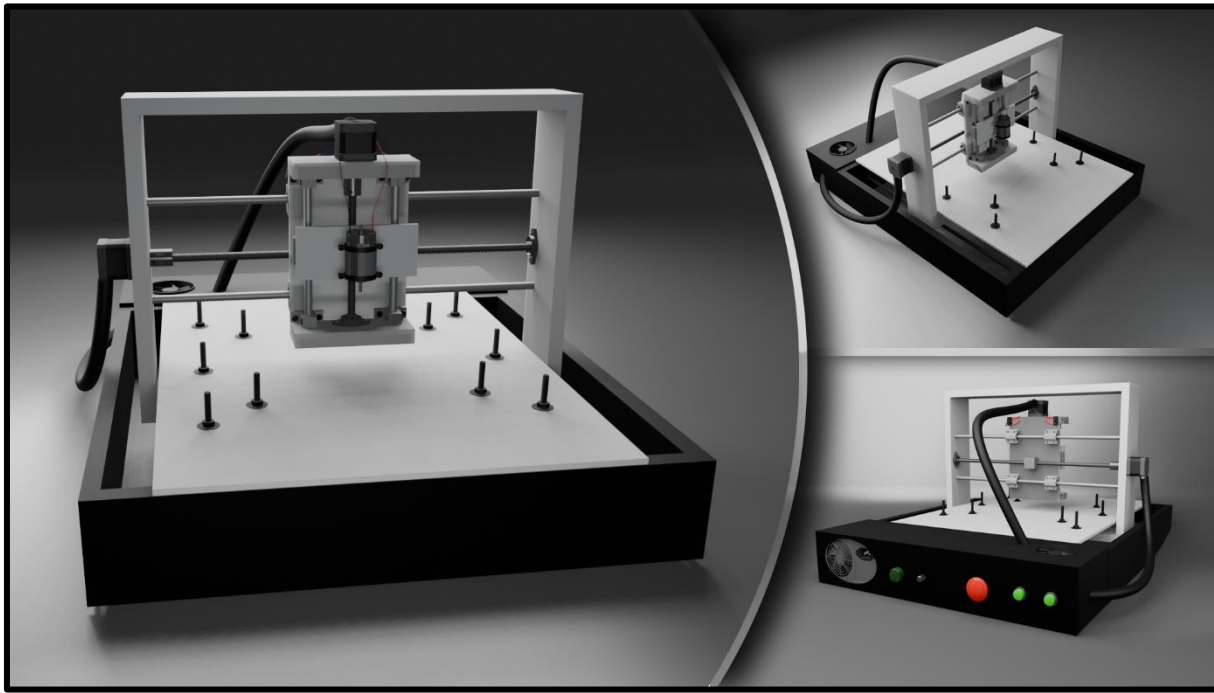
a) Le modèle de l'axe Z réalisée après CAO .

b) Le modèle de l'axe Z après la réalisation.

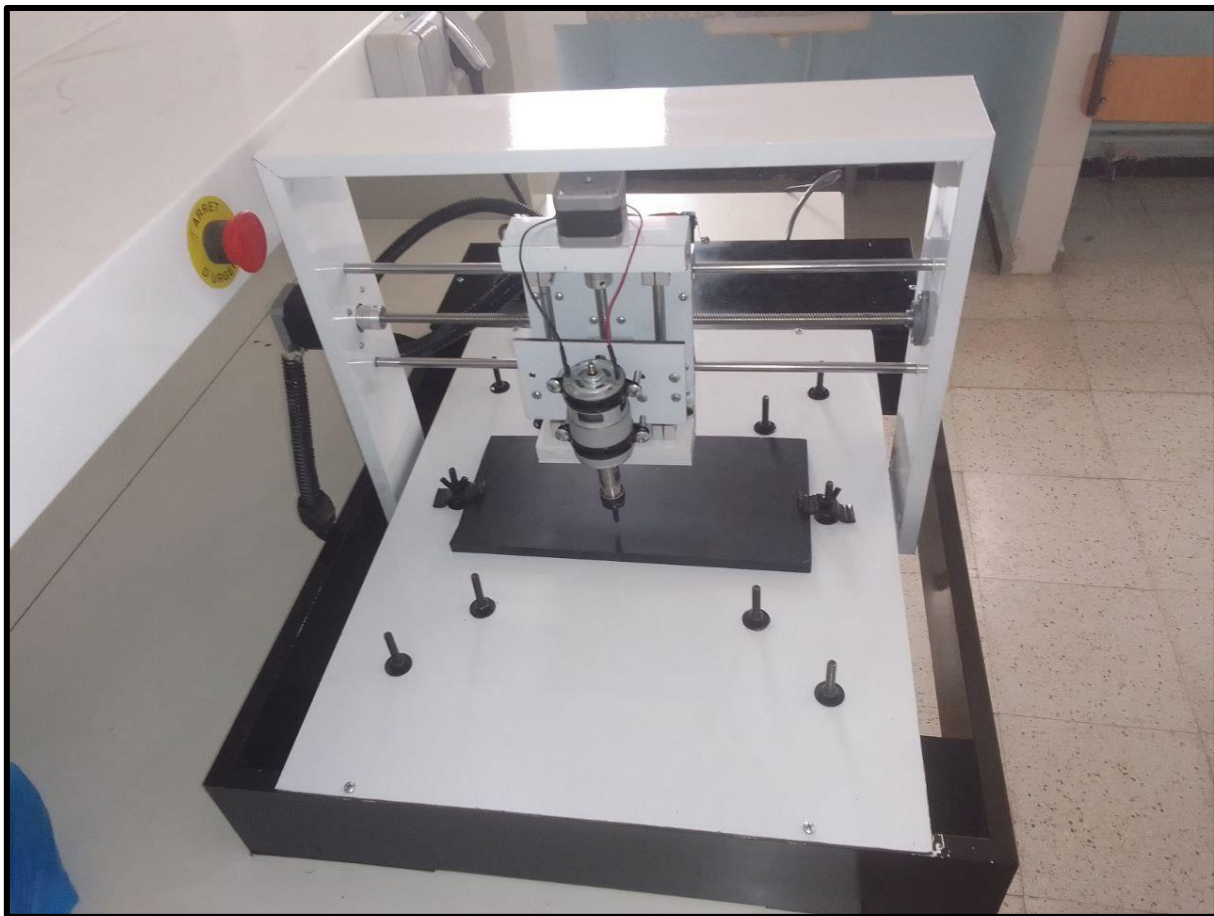
**Figure 3. 16 :** L'axe Z de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur .

### 3.4.2.4. L'assemblage finale de notre machine CNC

La dernière étape de notre réalisation a été de combiner la partie mécanique et la partie électronique afin d'assurer le bon fonctionnement de la machine. La figure (2.19) montre comment les deux parties ont été assemblées.



a) Le modèle de la machine réalisée après CAO.



b) Le modèle de la machine après la réalisation.

**Figure 3. 17 :** L'assemblage final de la machine CNC réalisée et conçue par ordinateur.

### **3.5 . La conclusion**

Nous avons abordé notre expérience précédente où nous avons rencontré des défis au début de notre projet en utilisant du bois, ce qui nous a causé de nombreuses difficultés. Cependant, après avoir choisi d'utiliser l'aluminium, nous avons réussi à fabriquer avec succès une machine CNC sans aucun problème, ce qui était notre objectif.

**Chapitre 04 :**  
**La partie**  
**programmation et mise**  
**en marche de la**  
**machine CNC**

### 4.1 .Introduction

Les machines-outils à commande numérique sont entièrement contrôlées par des ordinateurs. Pour que la machine comprenne les instructions données par l'ordinateur de contrôle, il faut que ces instructions soient écrites dans un langage de programmation spécial qui est le G-code, ou code-G.

Dans ce chapitre, nous présentons le programme et l'application que nous avons créés pour contrôler notre machine CNC.

### 4.2. Chaîne de programmation

La figure (4.1) représente les différents étapes et modes de programmation de la machine du début à la fin du processus de fabrication.

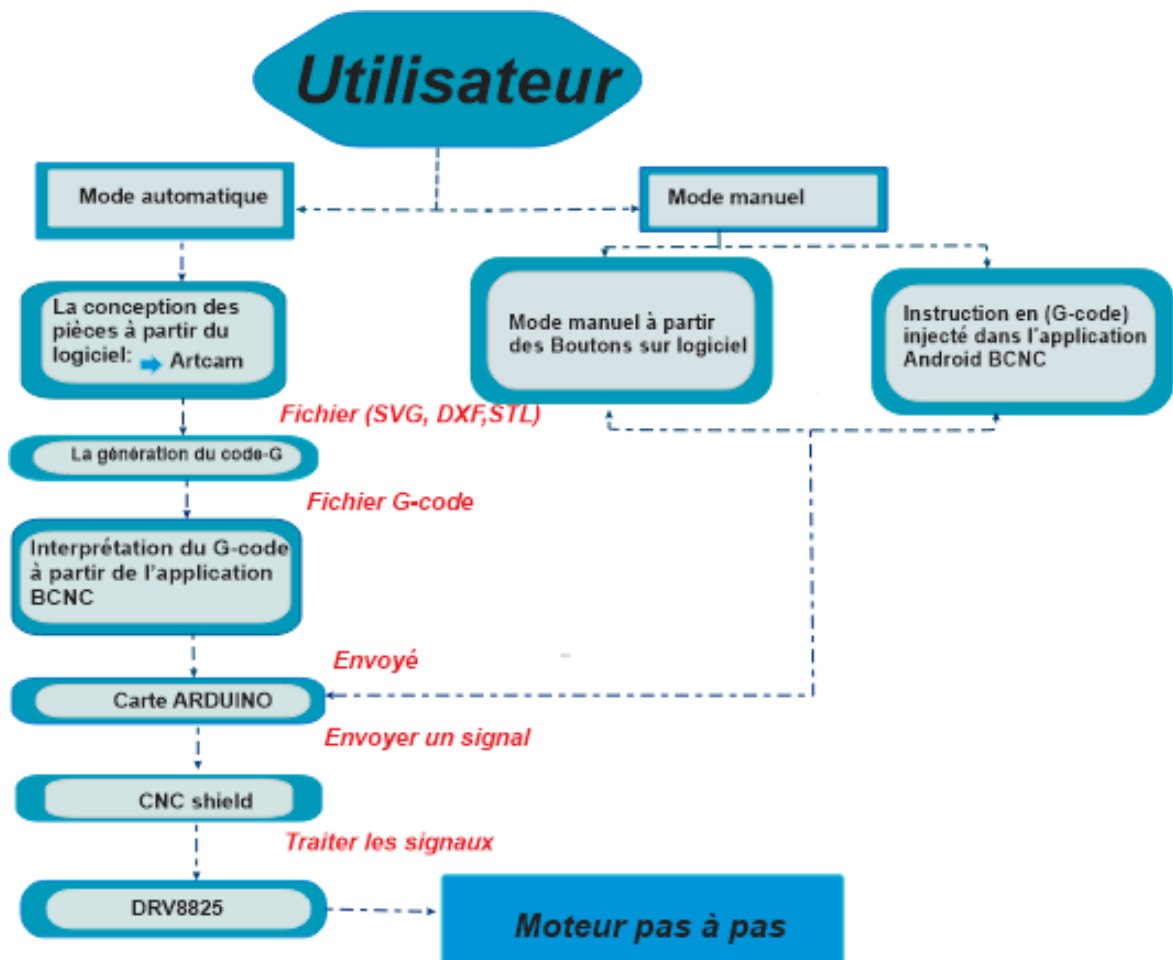


Figure 4. 1 : Chaîne de Programmation.

### 4.3. Description des programmes utilisé

Après avoir présenté les différentes étapes de fabrication d'une machine CNC, nous allons maintenant présenter étape par étape les procédures, la programmation et le fonctionnement de cette machine.

#### 4.3.1. G-Code

Le G-code est un langage de programmation normalisé par l'ISO (Organisation internationale de normalisation) utilisé pour contrôler les machines-outils à commande numérique. Il repose sur des lignes de code, et plusieurs de ces lignes peuvent être regroupées dans un fichier pour créer un programme G-code. Ce programme est utilisé pour définir les mouvements que la machine effectuera, tels que des déplacements (droits, des arcs de cercle, etc.). Il est important de noter que le G-code est utilisé dans diverses applications, notamment les fraiseuses à commande numérique, les tours, les imprimantes 3D et les lasers de découpe.[43]

Le tableau (4.1) suivant résume les principales fonctions du G-code.

<b>G00</b>	Déplacement rapide
<b>G01</b>	Interpolation linéaire
<b>G02</b>	Interpolation circulaire (sens horaire)
<b>G03</b>	Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
<b>G04</b>	Arrêter le mouvement de la machine pendant une durée spécifiée.
<b>G10</b>	Définir des décalages d'outils ou de coordonnées.
<b>G11</b>	Annuler les décalages précédemment définis par la commande G10.
<b>G20</b>	Programmation en pouces
<b>G21</b>	Programmation en mm
<b>G90</b>	Déplacements en coordonnées absolues
<b>G91</b>	Déplacements en coordonnées relatives
<b>M00/M01</b>	Arrêt du programme.
<b>M3</b>	Démarrer la broche.
<b>M06</b>	Changement d'outil

M30	Fin du programme, réinitialisation.
-----	-------------------------------------

**Tableau 4. 1** : Les principales fonctions du G-code. [43]

#### 4.3.1.1. Blocs G-Code

Considérons un exemple de ligne de code :

G01 X1 Y1 F20 M03 S500.

Cette seule ligne de code fournit à la machine une série d'instructions :

G01 : Effectuer un mouvement d'avance linéaire.

X1 / Y1 : Déplacer vers les coordonnées X et Y spécifiées.

F20 : Définir une vitesse d'avance de 20.

M03 : Activer la broche.

S500 : Régler la vitesse de rotation de la broche à 500.

Plusieurs lignes de code G de ce type sont combinées pour former un programme CNC complet. [44]

#### 4.3.1.2. Explication des codes G

Les codes G jouent un rôle central dans la programmation CNC, formant la majeure partie du programme. Les codes commençant par G sont utilisés pour préparer la machine à effectuer des mouvements spécifiques. Parmi les codes G les plus couramment utilisés que vous rencontrerez fréquemment dans chaque programme CNC, on trouve :

##### ➤ G0 - Déplacement rapide

Ce code instruit la machine à se déplacer vers une position de coordonnées spécifiées le plus rapidement possible. [44]

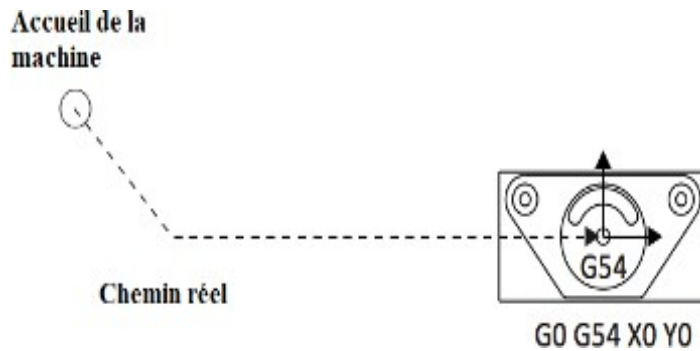


Figure 4. 2 : Représentation de déplacement rapide. [44]

➤ **G1 - Déplacement linéaire**

Ce code commande à la machine de se déplacer en ligne droite vers une position de coordonnées donnée, en utilisant une vitesse d'avance spécifiée. Par exemple, en utilisant le code G1 X1 Y1 F32, la machine se déplacera vers les coordonnées X1, Y1 avec une vitesse d'avance de 32mm/s. [44]

➤ **G2, G3 - Arc dans le sens des aiguilles d'une montre, arc dans le sens inverse des aiguilles d'une montre**

Ces codes permettent à la machine de se déplacer le long d'un arc jusqu'à une destination de coordonnées spécifiée. Deux coordonnées supplémentaires, I et J, déterminent la position centrale de l'arc, tel qu'illustré ci-dessous. [44]

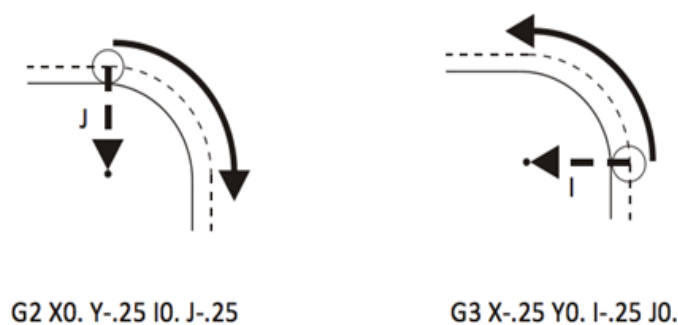


Figure 4. 3 : Représentation d'un déplacement dans un arc. [44]

**4.3.2. Logiciel ARDUINO**

Le logiciel Arduino est un environnement de programmation open-source, également connu sous le nom d'EDI (Espace de Développement Intégré), utilisé pour programmer la carte électronique



Arduino. La carte Arduino est une carte électronique qui nécessite d'être programmée à l'aide de ce logiciel. Le logiciel Arduino est disponible en téléchargement gratuit pour les systèmes d'exploitation Windows et Linux. [45]

### 4.3.2.1. Environnement de programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino fonctionne comme un éditeur de code pour le langage C, également connu sous le nom de langage machine. Une fois que le programme est terminé, il peut être transféré et enregistré dans la carte Arduino via la connexion USB. [45]

### 4.3.2.2. La structure générale du programme

Comme tout langage de programmation, Arduino utilise une interface exécutable qui est essentielle sur n'importe quel système d'exploitation. Arduino est basé sur la programmation en langage C. L'interface comprend généralement une barre de menu, une barre de boutons, une fenêtre d'édition du programme, une zone de messages pour afficher les actions en cours, ainsi qu'une console pour afficher les messages de compilation. [45]

Voici l'interface de ce logiciel :

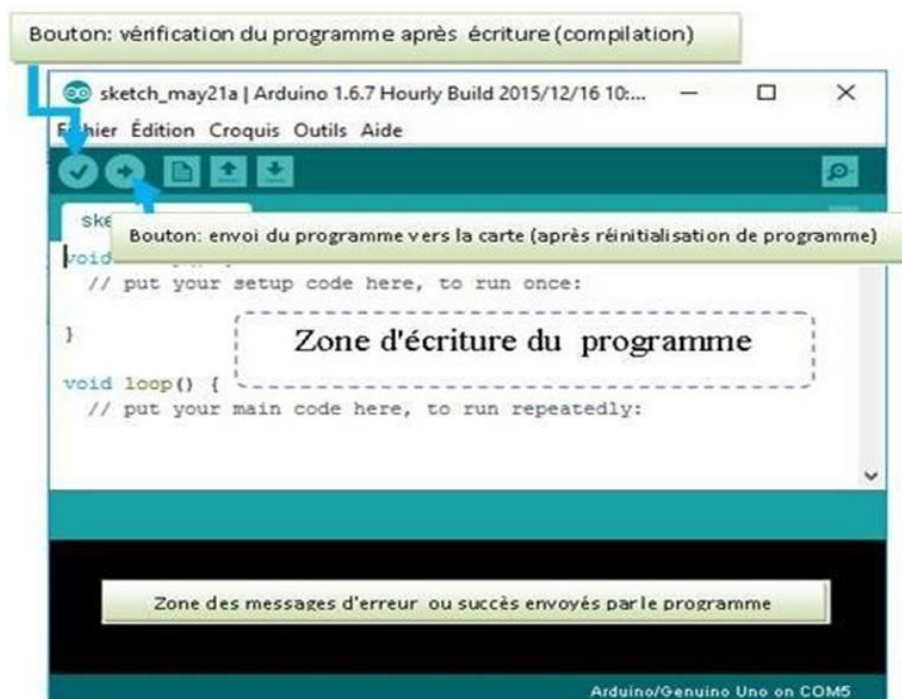


Figure 4. 4 : L'interface de logiciel ARDUINO IDE.

### 4.3.2.3. La présentation des boutons du cadre



Figure 4. 5 : Présentation des boutons.

- Le bouton 1 : permet de vérifier le programme et de rechercher d'éventuelles erreurs de programmation.
- Le 2 bouton : permet de charger le programme dans la carte Arduino.
- Le 3 bouton : permet de créer un nouveau fichier.
- Le 4 bouton : permet d'ouvrir un fichier existant.
- Le 5 bouton : permet d'enregistrer le fichier.
- Le 6 bouton : permet d'ouvrir le moniteur série.

### 4.3.2.4. Description du programme :

Un programme Arduino est constitué d'une série d'instructions élémentaires sous forme de texte (ligne par ligne). La carte Arduino lit et exécute ces instructions l'une après l'autre, dans l'ordre défini par les lignes de code. Les commentaires, quant à eux, sont des parties du code source qui sont ignorées par le compilateur ou l'interpréteur, car ils ne sont pas censés influencer l'exécution du programme. [45]

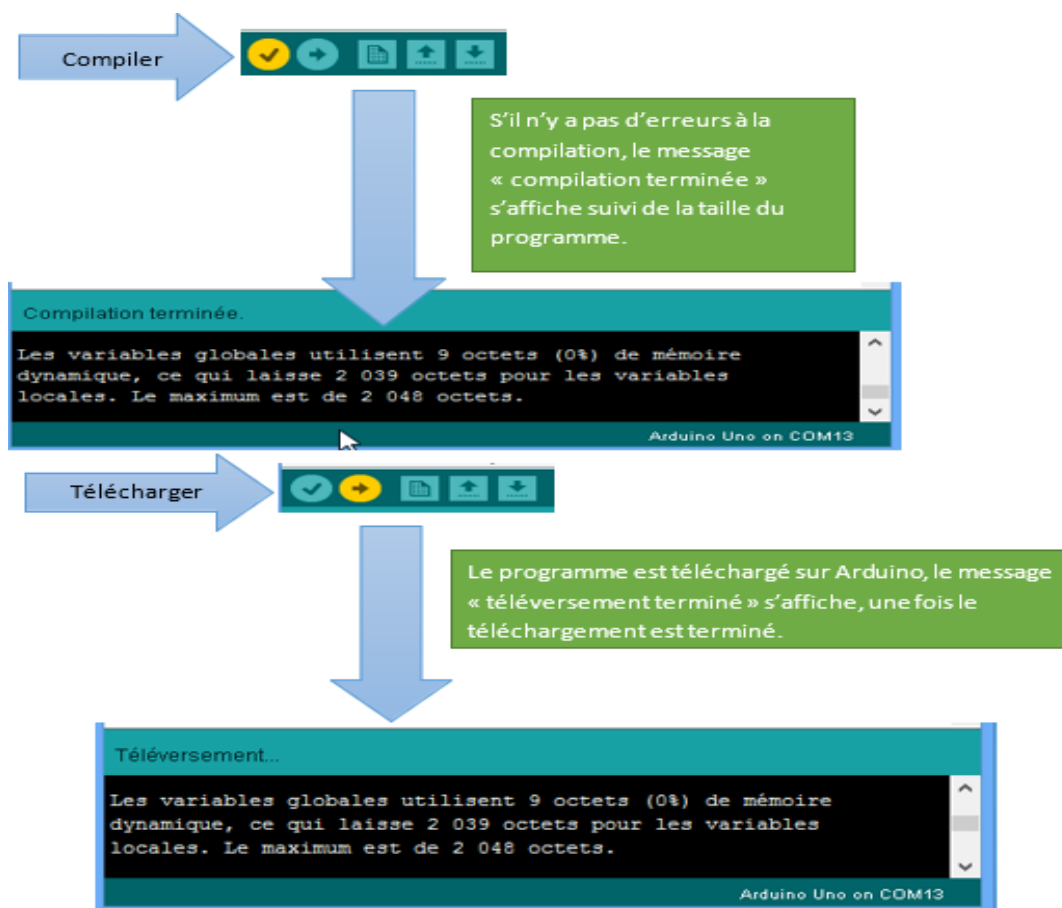
### 4.3.2.5. Les étapes de télé versement du programme

Pour injecter un code dans la carte Arduino via le port USB, il est nécessaire de suivre une séquence de manipulations simples :

1. Concevoir un nouveau programme ou ouvrir un programme existant à l'aide du logiciel Arduino IDE.
2. Vérifier le programme à l'aide du logiciel Arduino (compilation) pour détecter d'éventuelles erreurs.
3. En cas d'erreurs signalées, modifier le programme en conséquence.
4. Charger le programme dans la carte Arduino.
5. Effectuer le câblage du montage électronique selon les besoins du projet.
6. L'exécution du programme démarre automatiquement après quelques secondes.

7. Alimenter la carte Arduino soit via le port USB, soit en utilisant une source d'alimentation autonome.
8. Vérifier le bon fonctionnement de notre montage. [46]

La figure (4.6) ci-dessous illustre les étapes de téléchargement du code :



**Figure 4. 6 :** Les étapes de téléchargement du code.

### 4.3.3. GRBL

Grbl est un micrologiciel libre qui est installé sur la carte Arduino et qui agit comme une interface entre les instructions en G-Code envoyées à la machine et le contrôle des moteurs pas à pas en fonction de ces instructions. En d'autres termes, Grbl est le cœur du système de contrôle qui assure avec précision le mouvement des moteurs pas à pas de la machine. Il envoie à haute fréquence une série continue d'impulsions électriques en effectuant de petits incréments, ce qui permet de déplacer l'outil de manière précise et contrôlée.[47]

### 4.3.3.1. Installation GRBL dans la carte ARDUINO

1. Nous avons commencé par télécharger GRBL, puis nous avons copié le dossier décompressé des bibliothèques vers l'emplacement suivant dans l'environnement de développement Arduino IDE : C:\Program Files (x86) \Arduino\libraries.
2. Ensuite, nous avons ouvert le logiciel Arduino IDE et nous sommes allés dans le fichier grblUpload > grbl pour l'ouvrir. Voir la figure (4.7).
3. Une fois le fichier ouvert, nous l'avons chargé sur la carte UNO Arduino en cliquant simplement sur le bouton de téléchargement qui est un cercle rouge. Voir la figure (4.8).

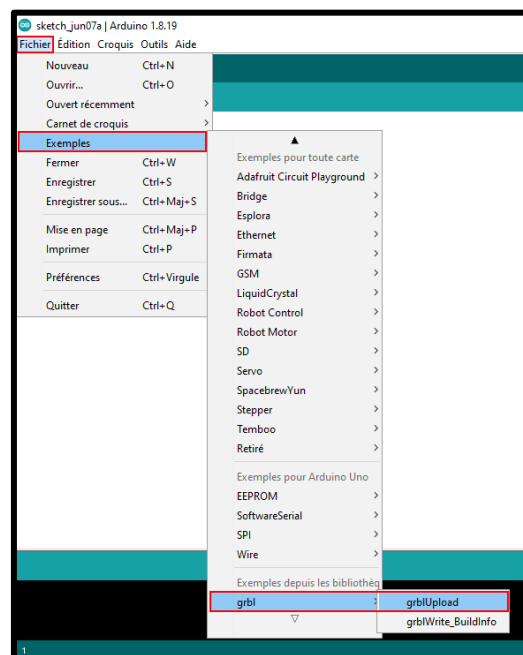


Figure 4. 7 : 1-ère étape de l'installation.

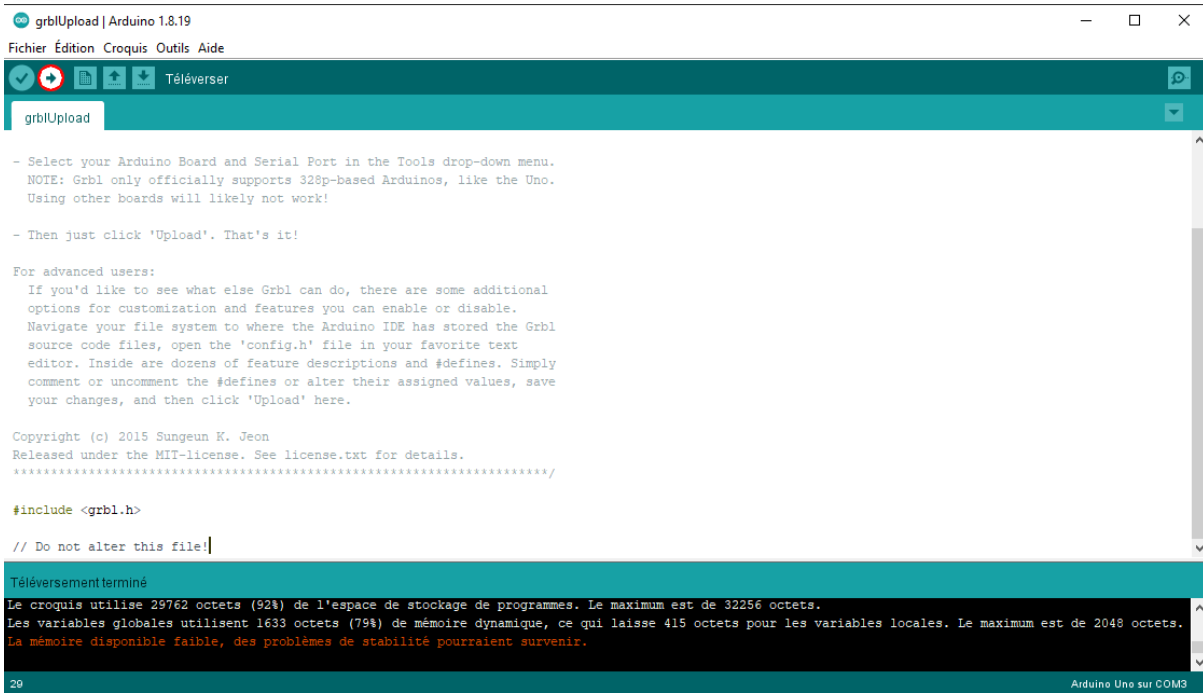


Figure 4. 8 :2-ème étape de l'installation.

### 4.3.4. Développement d'une application Android pour le contrôle de la machine CNC

Pour faciliter le contrôle de notre machine CNC et introduire une nouvelle idée dans le domaine du développement de ces machines, nous avons développé une application que nous avons nommée BCNC, en référence à Bouira CNC. Cette application a été créée à l'aide du logiciel Android Studio et permet de contrôler la machine via Bluetooth.



Figure 4.9 : Logo de notre application BCNC.

### 4.3.4.1. Logiciel Android studio :

Android Studio, récemment lancé par Google pour les systèmes Android, représente un environnement de développement et de programmation totalement intégré. Conçu comme une alternative à Eclipse, l'IDE le plus couramment utilisé, il offre une plateforme complète pour le développement. Grâce à Android Studio, les développeurs peuvent visualiser en temps réel chaque modification apportée à leur application, ainsi que son rendu sur différents appareils Android. En plus de cela, Android Studio propose un ensemble complet de fonctionnalités, comprenant un environnement de développement robuste, des outils de test de performances sur divers appareils, des assistants et des modèles pour simplifier les tâches courantes des programmeurs Android, ainsi qu'un éditeur complet doté de nombreux outils pour accélérer le processus de développement des applications.[48]



Figure 4.10 : Logo de la plateforme Android studio.

#### 4.3.4.1.1. Présentation des interfaces de notre application :

Nous allons présenter maintenant les principales interfaces de notre application BCNC :

- ❖ L'interface « Connecter ».
- ❖ L'interface « Contrôle CNC ».
- ❖ L'interface « Sélectionner les fichiers ».
- ❖ L'interface « Commandes ».
- ❖ L'interface « Paramètre ».
- ❖ L'interface « Aide ».

### ➤ L'interface « Connecter »

Lorsque nous ouvrons l'application, l'interface connecter qui s'affiche.

Cette interface permet à l'utilisateur de connecter la machine via Bluetooth en sélectionnant le nom du Bluetooth dans le champ d'adaptateur Bluetooth, puis en cliquant sur le bouton "Activer le Bluetooth".

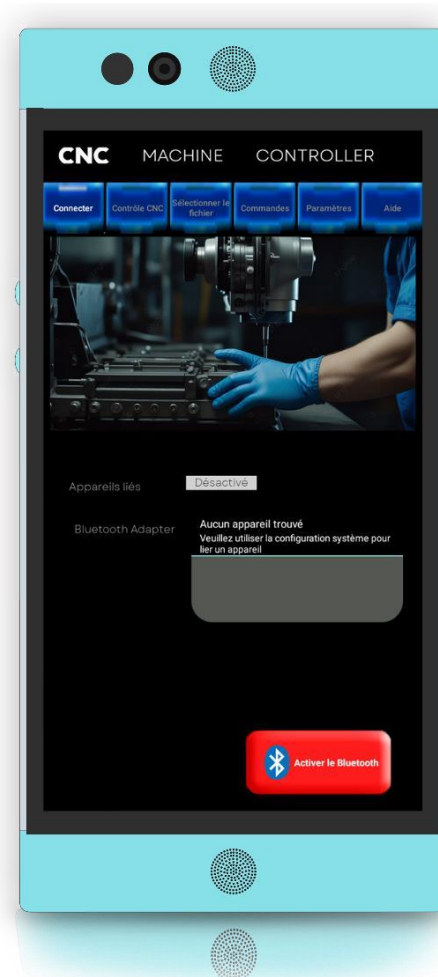


Figure 4.11 : L'interface « Connecter » de l'application.

### ➤ L'interface « Contrôle CNC »

Cette interface est celle d'un contrôleur de machine CNC équipé de plusieurs boutons, comme illustré dans la figure :

- Bouton de contrôle jog.
- Boutons de réinitialisation des axes.
- C-toggle
- Bouton pour activer/désactiver la broche et contrôler leur vitesse.
- Bouton pour arrêter d'urgence tous les mouvements de la machine et annuler toutes les

opérations en cours.

- Bouton pour lancer l'opération de sondage Z.
- La commande « \$H » est utilisée pour renvoyer la machine à son positionnement d'accueil (home position) sur tous les axes. Cela signifie que la machine se déplacera vers les positions définies comme étant « home » pour chaque axe.
- Bouton pour mettre en pause/continuer.
- Bouton pour réinitialiser GRBL.
- Bouton pour envoyer le code G-code.
- Affiche le nom du fichier G-code qui sera exécuté.
- Le bouton "X = 0", "Y= 0", "Z= 0", a pour rôle de permettre à l'opérateur de fixer la position d'origine de l'axe X, Y, Z, comme position de référence (zéro) de cet axe.
- Le bouton "XYZ=0" a pour rôle de permettre à l'opérateur de réinitialiser simultanément les positions de référence des axes X, Y et Z à zéro de la machine.





Figure 4.12 : L'interface « Contrôle CNC » de l'application.

➤ **L'interface « Sélectionner le fichier »**

Cette fonctionnalité permet de rechercher un fichier G-code et affiche également sa taille ainsi que le nombre de lignes qu'il contient.

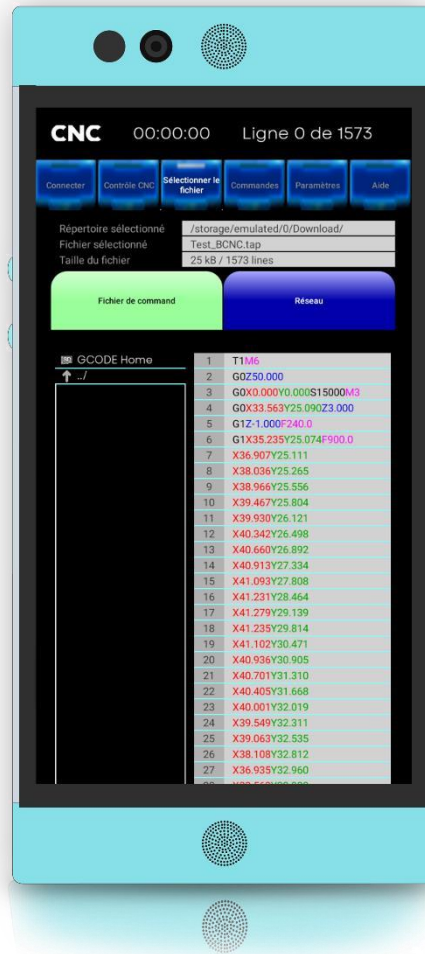


Figure 4.13 : L'interface « Sélectionner le fichier » de l'application.

➤ L'interface « Commandes »

Cette interface nous permet d'envoyer directement des G-codes à la machine, ainsi que de modifier les paramètres de GRBL.

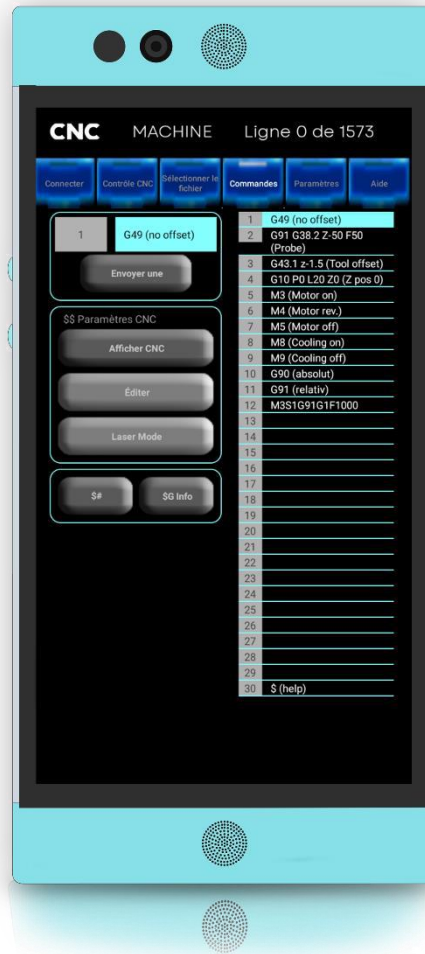


Figure 4.14 : L'interface « Commandes » de l'application.

➤ **L'interface « Paramètre »**

Cette interface permet à l'utilisateur de modifier les paramètres selon ses besoins personnels.

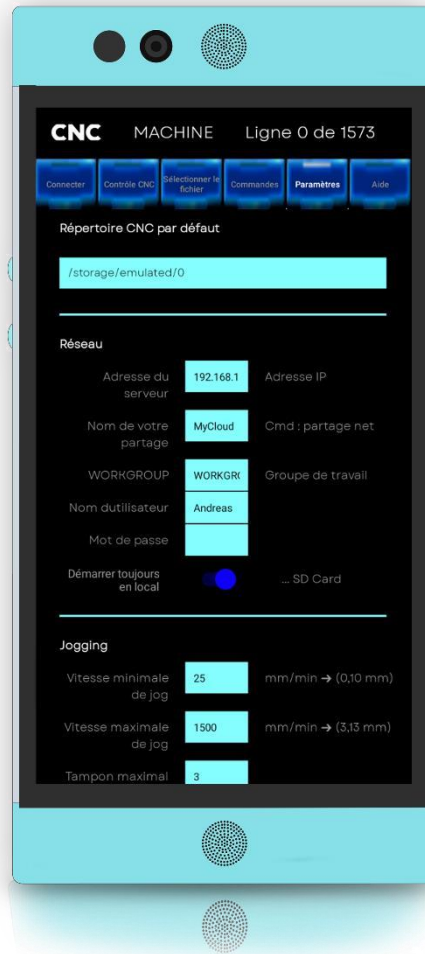


Figure 4.15 : L'interface « Paramètre » de l'application.

➤ **L'interface « Aide »**

Cette interface affiche un message de sécurité et des instructions à l'attention de l'opérateur avant l'utilisation de la machine.

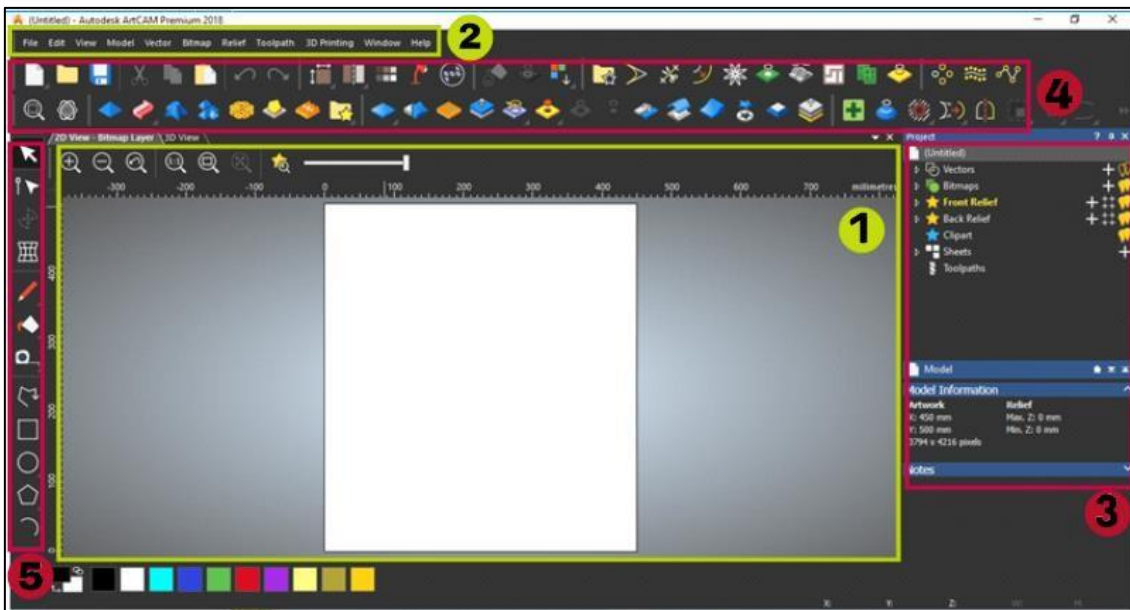


Figure 4.16 : L'interface « Aide » de l'application.

#### 4.3.5. Logiciel ARTCAM

ArtCAM est un logiciel CFAO complet utilisé pour concevoir des produits artistiques et les fabriquer en utilisant des machines-outils CNC ou des machines de gravure au laser. Il offre la possibilité de créer des conceptions 2D en important des images à l'aide de vecteurs et de bitmaps, ainsi que la capacité de créer des conceptions 3D en important des reliefs ou en les créant à partir de vecteurs et de bitmaps.[49]

La figure (4.17) qui suit donne l'interface du logiciel ArtCAM.



**Figure 4.17 :** Interface de logiciel ArtCAM.

1. La zone d'espace de travail comprend les vues 2D et 3D, organisées sous forme d'onglets.
2. La barre de menus fournit l'accès aux principales fonctionnalités du logiciel.
3. Le panneau Projet contient l'arborescence des éléments du projet, tels que les vecteurs, les bitmaps, les reliefs de face et de fond, le clipart, les feuilles, les parcours d'outils et la simulation.
4. Les barres d'outils offrent des raccourcis pour accéder rapidement aux options de menu les plus couramment utilisées.
5. Les outils de conception permettent à l'utilisateur de créer et de manipuler les éléments du projet.

### 4.4 .Mise en marche de la machine

Afin de réaliser le premier test de la machine, nous avons sélectionné le nom "BCNC" pour la machine. Pour ce faire, nous avons suivi les étapes suivantes :

#### 4.4.1. Création du G-code Avec le logiciel ARTCAM

- 1) Après avoir lancé le logiciel, nous avons ouvert un nouveau fichier dans lequel nous avons défini les dimensions correspondant à notre machine pour réaliser notre design, comme illustré dans la figure suivante.

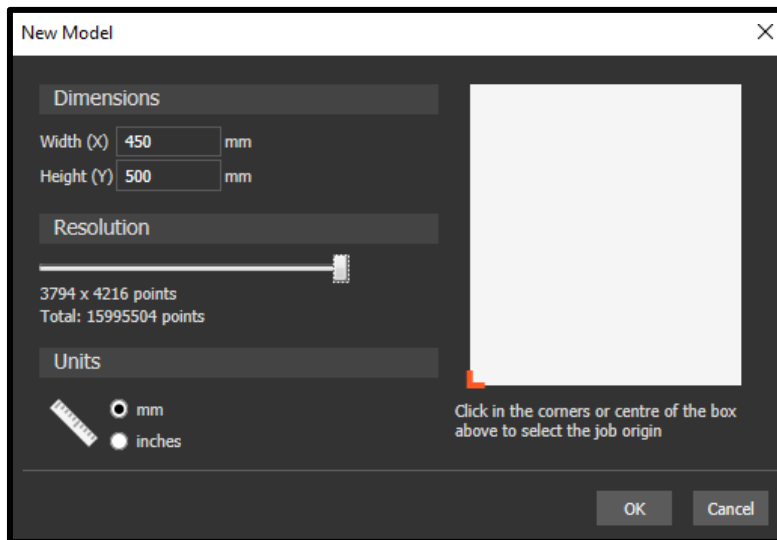


Figure 4.18 : Définir la taille du fichier.

- 2) Après avoir défini la taille du fichier, nous avons spécifié les dimensions exactes de la zone de travail, puis nous avons créé le design présenté dans la figure suivante à l'intérieur de ces limites définies.

Cela garantit que la machine CNC opère avec précision dans l'espace de travail prévu.

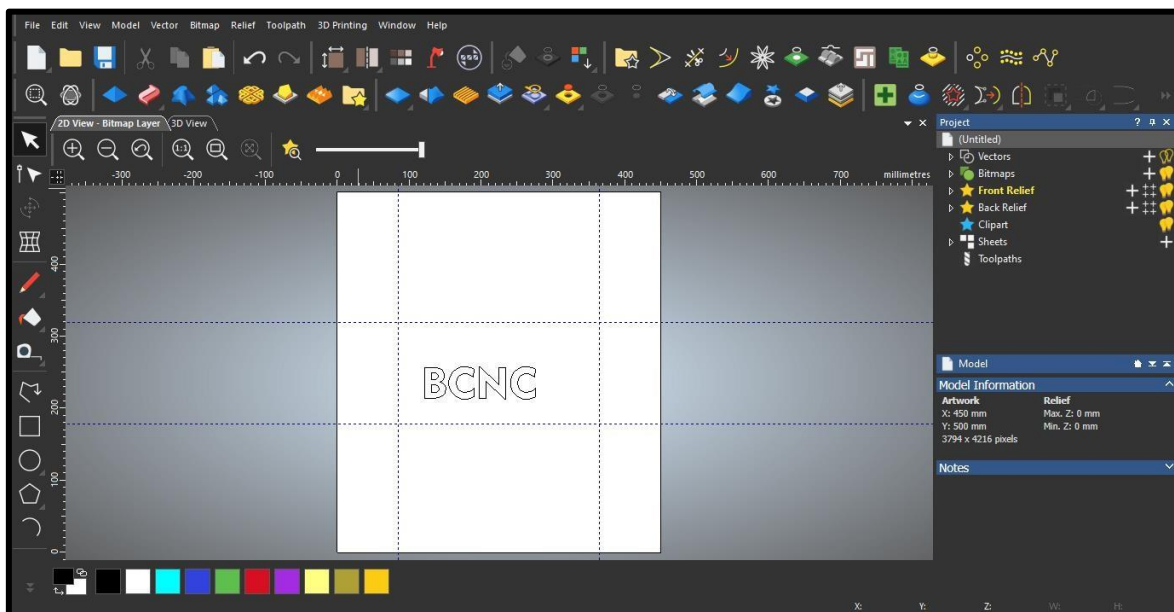


Figure 4.19 : Notre design choisi.

- 3) La prochaine étape consiste à générer un parcours d'outil à partir du calque, en spécifiant les paramètres tels que la profondeur de début, la profondeur de fin et le diamètre de l'outil de profilage.

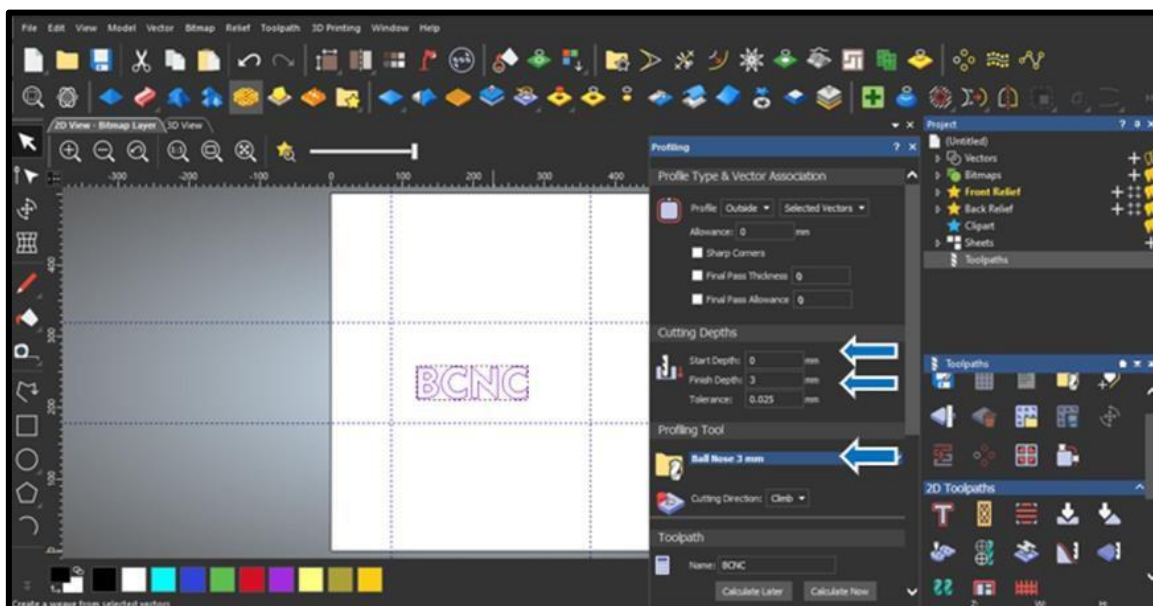


Figure 4.20 : Création du parcours d'outil.

- 4) Nous visualisons une simulation du parcours pour vérifier la précision avant de générer et enregistrer le fichier du parcours d'outil. Cette étape assure la création d'un parcours d'outil précis, prêt à être utilisé sur la machine CNC, en appuyant sur le bouton de simulation entouré en rouge dans la figure suivant.

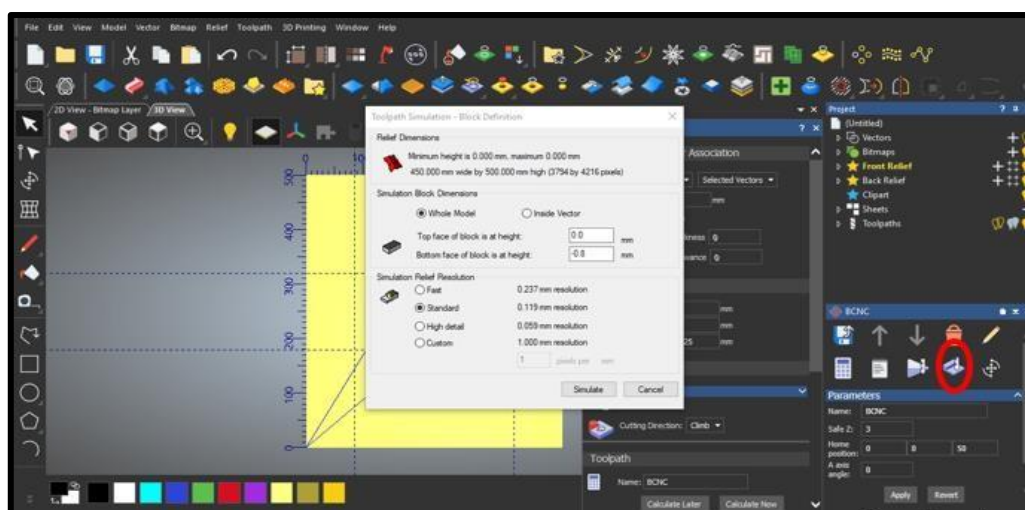
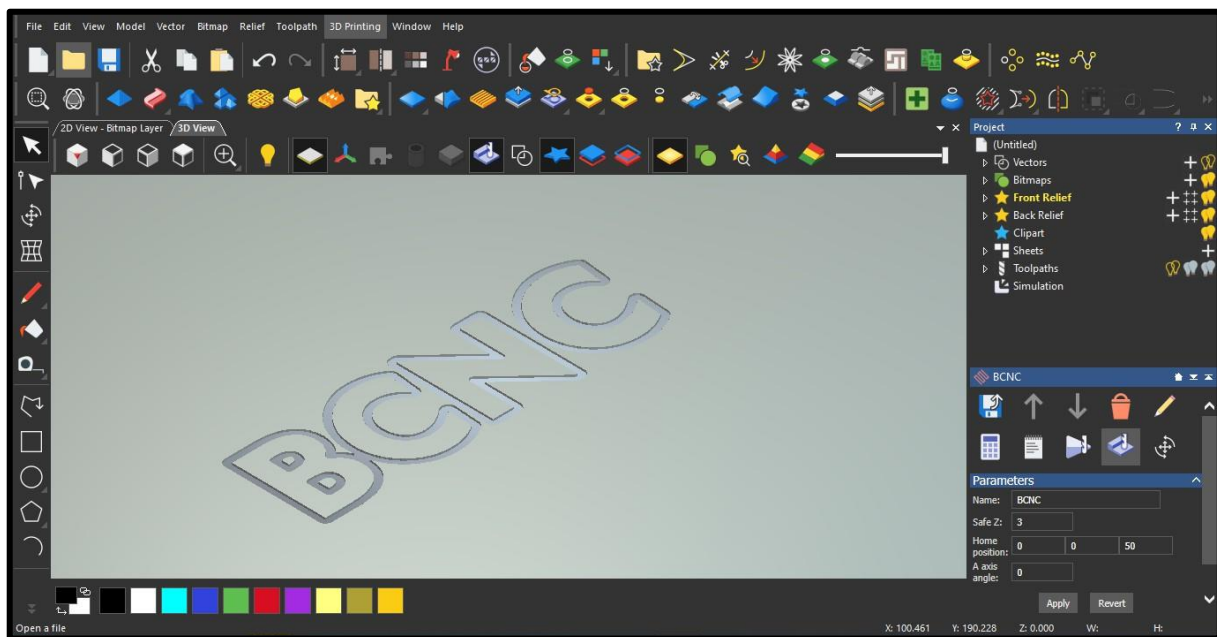


Figure 4.21 : Exécution de la simulation.

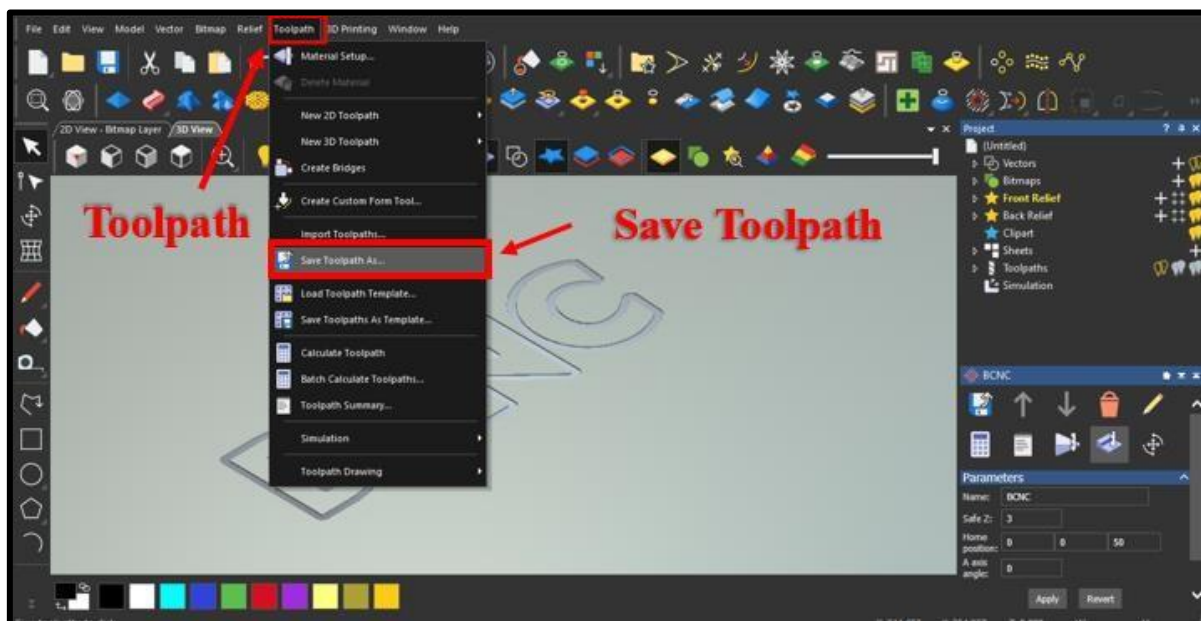
Voici notre test en 3D.





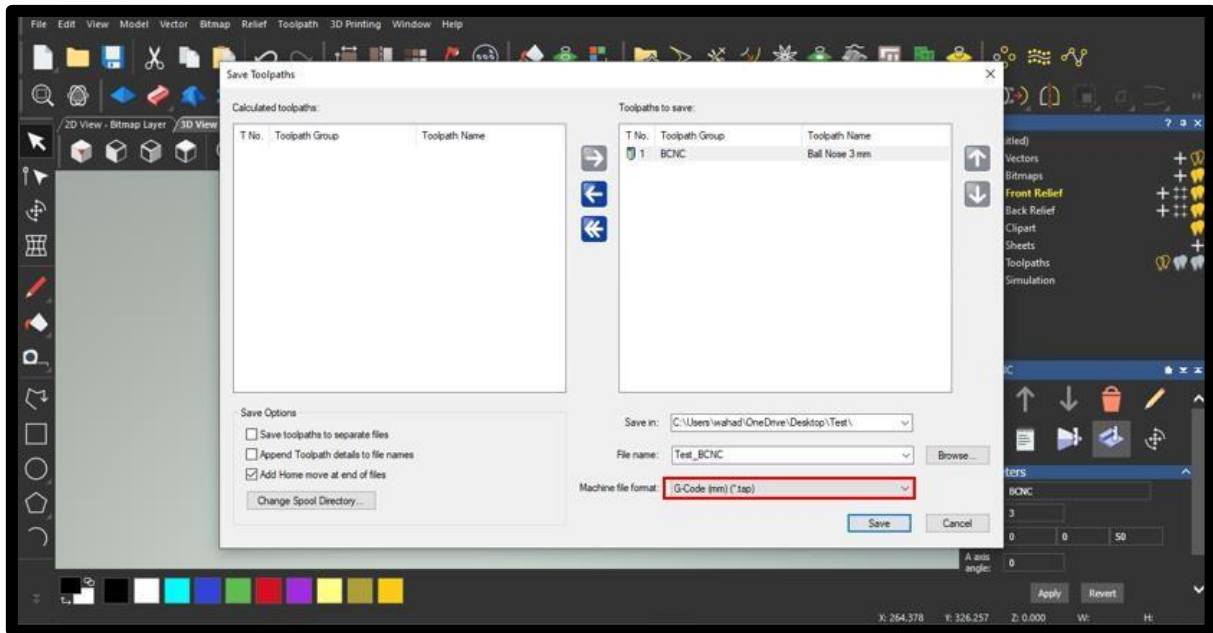
**Figure 4.22 :** La simulation du test en 3D.

5) Une fois la forme et la trajectoire vérifiées, nous sauvegardons le fichier.



**Figure 4.23 :** Enregistrement du fichier.

6) Nous générons le G-Code en utilisant l'extension millimétrique du code G, comme indiqué dans la figure (4.24).



**Figure 4.24 :** La génération du G-code.

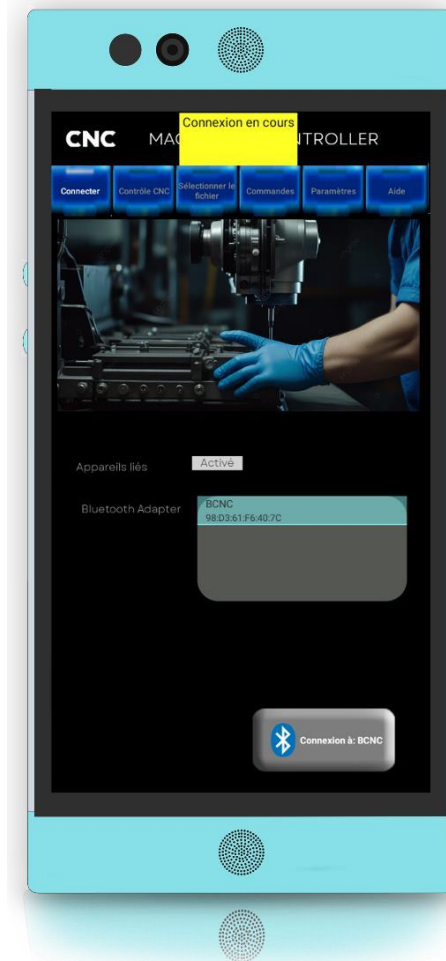
➤ Le Programme G-Code Généré à l'aide du logiciel Artcam.

```
1 G0Z50.000
2 G0X0.000Y0.000S15000M3
3 G0X131.804Y223.850Z3.000
4 G1Z-1.000F240.0
5 G1X133.476Y223.834F900.0
6 X135.148Y223.871
7 X136.277Y224.026
8 X137.207Y224.316
9 X137.708Y224.564
10 X138.171Y224.881
11 X138.583Y225.258
12 X138.901Y225.653
13 X139.154Y226.095
14 X139.334Y226.568
15 X139.472Y227.224
16 X139.520Y227.899
17 X139.476Y228.575
18 X139.343Y229.232
19 X139.177Y229.666
20 X138.942Y230.070
21 X138.646Y230.429
22 X138.242Y230.780
23 X137.790Y231.072
24 X137.304Y231.296
25 X136.349Y231.572
26 X135.176Y231.720
27 X131.804Y231.740
28 Y223.850
29 G1Z-2.000F240.0
30 G1X133.476Y223.834F900.0
31 X135.148Y223.871
32 X136.277Y224.026
33 X137.207Y224.316
34 X137.708Y224.564
```

**Figure 4.25 :** Le programme G-Code généré.

7) Pour établir la connexion entre notre téléphone et la machine CNC, nous commençons par lancer l'application BCNC. Avant cela, nous vérifions que la machine CNC est allumée et que son module Bluetooth est activé pour permettre la communication sans fil. Une fois dans l'application, nous explorons les périphériques disponibles et sélectionnons le nom de notre

Bluetooth, identifié comme « BCNC ». Ensuite, nous activons le Bluetooth en cliquant sur le bouton dédié dans l'application, permettant ainsi l'établissement de la liaison entre notre téléphone et la machine CNC.



**Figure 4.26:** La connexion entre notre application BCNC et la machine CNC.

- 8) Maintenant, pour remettre les axes à zéro, nous avons deux options : nous appuyons sur les boutons Z=0, X=0 et Y=0 respectivement, ou nous utilisons le bouton ZXY=0 pour les réinitialiser tous simultanément.



Figure 4.27 : Remettre les axes à zéro.

- 9) Nous accédons à l'interface des commandes de l'application BCNC, où nous choisissons le fichier G-code approprié correspondant à la pièce que nous voulons graver. Ce fichier est sélectionné à partir du stockage de notre téléphone, nous permettant ainsi de procéder à la gravure souhaitée.

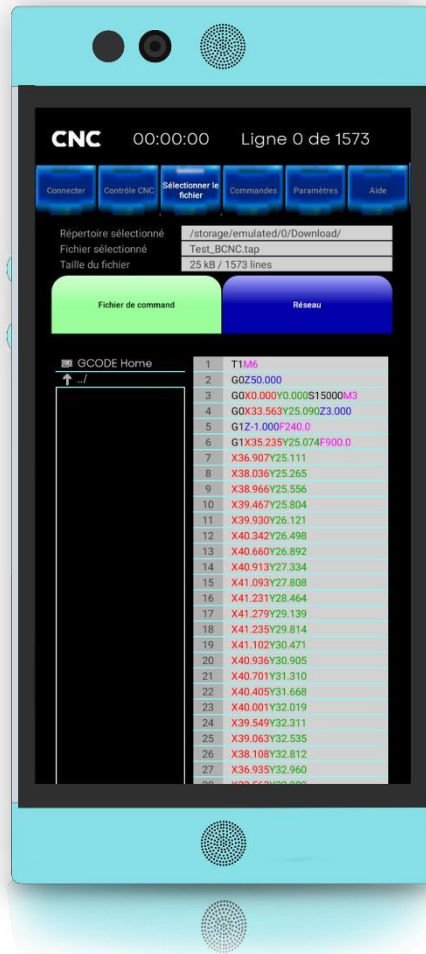


Figure 4.28 : Sélection du fichier G-code pour la gravure via BCNC.

10) Dans l'application, nous localisons le bouton de contrôle de la broche, que nous actionnons pour allumer la broche. Ensuite, nous ajustons la vitesse de la broche à la valeur appropriée pour le matériau que nous nous apprêtons à usiner.



**Figure 4.29** : Contrôle et réglage de la broche dans l'application.

11) Avant de commencer l'usinage, nous nous assurons que toutes les configurations sont correctes et que la machine est prête à fonctionner. Une fois cette étape terminée, nous cliquons sur le bouton "Envoyer" pour transférer le fichier G-code à la machine. Une fois que le G-code est envoyé avec succès, la machine démarre automatiquement le processus de gravure en suivant précisément les instructions détaillées dans le fichier.



Figure 4.30 : Transfert du fichier G-code à la machine.

12) La figure (4.31) illustre le démarrage de l'unité d'alimentation et le lancement de l'opération d'usinage et la machine dessine BCNC.



Figure 4.31 : Exemple d'un nom gravé par la machine CNC.

#### 4.5 .La conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le langage de programmation G-code ainsi que les outils logiciels essentiels pour les processus de conception et de réalisation. De plus, nous avons expliqué l'application mobile que nous avons développée pour permettre le contrôle de la machine de manière simple et efficace, sans avoir besoin d'utiliser un ordinateur.

## **Conclusion générale**

Notre projet de fin d'études a porté sur la conception et la réalisation d'une machine à commande numérique (CNC) basée sur Arduino. Cette machine est capable de réaliser des trajectoires selon trois directions : X, Y et Z. Nous avons également développé un système de contrôle de notre machine à distance par Smartphone via une application (BCNC), que nous avons créée avec Android Studio. Cela permet de contrôler la machine facilement, sans fil et sans avoir besoin d'un ordinateur.

Tout le long de notre travail nous avons acquis plusieurs expériences à savoir :

- ❖ Une maîtrise du fonctionnement ainsi que la commande des moteurs pas à pas basée sur l'Arduino ainsi qu'un circuit de puissance DRV8825
- ❖ Une maîtrise la limitation de courant dans le Driver DRV8825 pour bien fonctionner des moteurs pas à pas
- ❖ La maîtrise de la conception mécanique d'une machine CNC sur logiciel de conception Blender.
- ❖ Fabrication et réalisation des différentes parties de la machine en regroupant différents aspects mécanique électronique.

Au cours de la réalisation de ce projet, nous avons présenté une vue d'ensemble des matériels et des outils de développement nécessaires pour réaliser notre prototype en bois. Cependant, nous avons rencontré plusieurs difficultés, notamment l'assemblage des axes parallèles, le frottement pendant le mouvement et le manque de certaines pièces.

Lorsque nous avons construit notre machine en bois, nous avons rapidement constaté un problème majeur : le bois n'était pas adapté à la fabrication de machines CNC. En effet, le bois n'était pas suffisamment stable pour maintenir une précision élevée et n'absorbait pas bien les vibrations.

Face à ces limitations, nous avons décidé de reconstruire notre machine CNC avec une structure en aluminium. L'aluminium est léger mais solide, offrant une excellente stabilité tout en réduisant le poids de la machine. De plus, il résiste bien à la corrosion et absorbe efficacement les vibrations.

Après avoir opté pour l'aluminium, nous avons réussi à fabriquer une machine CNC sans aucun problème, atteignant ainsi notre objectif initial.



Ce projet nous a également permis de découvrir plusieurs domaines d'études, tels que l'informatique pour la programmation et les compétences en microélectronique avec Arduino.

Enfin, nous avons réussi à assembler les éléments de la machine-outil et à implémenter sa commande numérique. Les résultats des tests d'usinage se sont avérés satisfaisants.

## Bibliographie

- [1] : DJAMAA, M. C. (2020). MACHINES-OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE.:
- [2] : Laguionie, R. (2010). Intégration de la programmation basée entités pour la fabrication sur machines à commandes numériques dans un contexte multi-process (Doctoral dissertation, Ecole Centrale de Nantes (ECN)).
- [3] : ALOUI, Issam. « Programmation, réglage et conduite des MOCN ». Maroc, Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail Direction Recherche et Ingénierie de la Formation, Handbook, 210 pages.
- [4] : Elaroui, R. T.-M. (29/10/2021). Machines-outils à commande numérique. Saint-Denis, en france : Edilivre,194, avenue du président wilson,93210 Saint-Denis.
- [5]: Mohammed Raïd, A. B. D. E. M. E. Z. I. A. N. E., & Djamal, B. E. N. A. B. I. E. D. (2020). Conception et réalisation d'une machine CNC (Doctoral dissertation, Abdelhafid boussouf university Centre mila).
- [6] : Neghaz, O. (2018). Etude numérique des erreurs géométriques d'une machine-outil de type (EMCO PC 155) dues aux efforts de coupe-cas : fraisage.
- [7] : Tapie, L. (2020). CONCEPTION ET FABRICATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR-APPLICATION A L'INGENIERIE BIOMEDICALE.
- [8] : Logé, Y. (1987). Les ordinateurs soviétiques : Histoire obligée de trois décennies. Revue d'études comparatives Est-Ouest, 53-75.
- [9] : Prod'homme, G. (1997). Commande numérique des machines-outils. Ed. Techniques Ingénieur.
- [10] : Oyouun, M. L. (2020). Computer Numerical Control (CNC). ResearchGate, Oct.
- [11] : BEKKAR, B. (2020). Polycopié pédagogique Architecture des Systèmes Automatisés.
- [12] : ACHOUR, M. & BOUKHALFA, M. 2020/2021. « Contrôle sans-fil d'une machine à graver 3D (réalisation) », Projet de fin d'étude ; Génie Industriel ; Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed.
- غزال عبد الباسط ، الطالب أيمن << الدراسة وإنجاز ومحاكاة نموذج أولي لآلة رقمية بواسطة الحاسوب >> : [13] المعهد الوطني
- [13]:[المتخصص في التكوين، مهني الأخوين، مسعد رأس الوادي.2021
- [14] : A. CHEIKH, La programmation des machines-outils à commande numérique, cours de 3ème année GMP, département de génie mécanique, 2009/2010.
- [15] : Chanez Guerrouabi, Roza Ait Rahmane.2018. Etude et conception d'une machine CNC (Découpeuse laser). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou,3p.

- [16] : Nimour, A., Bencharef, S. T., & Hamane, A. E. (2022). Conception et réalisation d'une machine CNC à deux axes (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [17] : La gravure, une technique artistique pour personnaliser vos verres 28 mars 2023 Non Par YVON MASSON
- [18] : Papillon, J. M. (1766). Traité historique et pratique de la gravure en bois par JM Papillon... : ouvrage enrichi des plus jolis morceaux de sa composition & de sa gravure (Vol. 1). Chez Pierre Guillaume Simon.
- [19] : <https://www.france-industrie.pro/comment-graver-sur-de-lacier/>
- [20] : Blanchard, G., & Lamborot, J. C. (1978). Un graveur de pierre aujourd'hui ? *Communication & langages*, 37(1), 60-75.
- [21]: FAR, I. & KIATI, I.& CHEKIMA, A. (2020). Etude et réalisation d'une machine CNC à trois axes (Gravure sur bois). Mémoire de master. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.
- [22] : Athani, V. V. (1997). Moteurs pas à pas : fondamentaux, applications et conception. New Age International.
- [23] : Multon, B. (2008). MOTEURS PAS A PAS : Structures électromagnétiques et alimentations électroniques (Doctoral dissertation, Ecole normale supérieure de Rennes).
- [24] : Hamdou, H. (2008). COMMANDE D'UN MOTEUR PAS AVEC UNE CARTE D'ACQUISITION. MAGISTER EN AUTOMATIQUE. UNIVERSITE D'ORAN ES-SENIA
- [25] : Yvrant, G. (1999). Les moteurs pas à pas. Séminaire Bellegarde Novembre.
- [26] : Nema 17 Moteur pas à pas (JK42hs48-1684-01AF) avec connecteur. (S.d.). Tikno-dz.
- [27] : Geddes, M. (2016, 1er juin). Manuel du projet Arduino. Pas de presse à amidon.
- [28] : Bartmann, E. (2022, 5 mai). Le grand livre d'Arduino. Editions Eyrolles.
- [29]: Singh, R., Gehlot, A., Singh, B. et Choudhury, S. (2017, 22 Novembre). Systèmes embarqués basés sur Arduino. CRC Press.
- [30] : Meurisse, D. (s.d.). DRV8825 - Piloter facilement un moteur pas-à-pas avec microstepping à 1/32 de pas. MCHobby - Le Blog.
- [31] : Draif, K. (2024, 29 avril). Comment utiliser Shield V3 CNC avec Arduino - Moussasoft. Moussasoft Maroc.
- [32] : Le micropas ? (S.d.).
- [33] : HC-05 - Module Bluetooth. (S.d.). Composants101.
- [34] : A. (2024, 28 mars). [GUIDE] Arduino relais, utiliser module relais 5V + code, câblage. Arduino France.

- [35] : 12V-24V 775 DC Moteur - Haute Puissance, Faible Algeria | Ubuy.
- [36] : Renou, A. (1969). Système d'arrêts d'urgence dans l'anneau et les zones a faisceaux éjectes (No. CERN-MPS-Int-CO-69-4).
- [37] : Landrault, S., & Weisslinger, H. (2014). Arduino : Premiers pas en informatique embarquée. Le blog d'Eskimon.
- [38] : B. LOUHICHI, « Intégration CAO/Calcul par reconstruction du modèle CAO à partir des résultats éléments finis ». Thèse doctorat, Spécialité Mécanique, Ecole Nationale d'ingénieurs De Monastir, 2008.
- [39]: Ahmed, M. N., Raison, M., & Clark, E. (2023). Manuel technique de Blender pour la modélisation d'un avatar 3D de robotique.
- [40]: Multon, B., & Bonal, J. (1999, February). Les entraînements électromécaniques directs : diversité, contraintes et solutions. In Colloque Conversion Electromécanique Directe (CEMD) 1999 (pp. pp-95).
- [41] : Ahmed, B. Réalisation d'une machine CNC de type gravure laser en exploitant le code source LINUXCNC.
- [42]: Thomas R. Kramer, Frederick M. Proctor, Elena Messina, « The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3 », NISTIR 6556, 17 août 2000.
- [43] : Marti Deans, USA Mai 24, 2018. Autodesk : G-Code for CNC programming, édition 2020.
- <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>
- [44] : BENMOUFFOK, O., & KHODJA, S. (2021). La surveillance des personnes âgées à base d'Arduino.
- [45] : F. ABDOUNE et B. SAADI « Réalisation d'un système embarqué d'acquisition de données pour l'analyse et la diagnostique d'un système photovoltaïque » Université Abderrahmane Mira – Bejaia, 2016.
- [46]: Spilling, T. (2014). Self-Improving CNC Milling Machine (Master's thesis).
- [47] : Rodriguez, D. (2015). Tutoriel Android sous Android Studio.
- [48] : Autodesk ArtCAM 2018 Guide de démarrage.

## Résumé

Dans le cadre de notre projet, nous avons conçu et fabriqué une machine à commande numérique (CNC) à trois axes. Nous avons utilisé une application mobile que nous avons développée pour contrôler la machine sans avoir besoin d'un ordinateur. La machine a été fabriquée en aluminium pour garantir une haute précision dans les opérations industrielles.

**Les mots clés :** machine à commande numérique, trois axes, application mobile, ordinateur.

## Abstract

As part of our project, we designed and manufactured a three-axis CNC machine. We used a mobile application we developed to control the machine without the need for a computer. The machine was made of aluminum to ensure high precision in industrial operations.

**Key Word:** Digital control machine, three axes, mobile application, computer.

## ملخص

في إطار مشروعنا، صممنا وصنعنا آلة تحكم رقمي بثلاثة محاور. استخدمنا تطبيقاً هاتفياً قمنا بتطويره لمراقبة الآلة دون الحاجة إلى الحاسوب. تم تصنيع الآلة من الألمنيوم لتحقيق دقة عالية في العمليات الصناعية.

**كلمات مفتاحية:** آلة تحكم رقمية، ثلاثة محاور، تطبيق هاتفي، الحاسوب



Bouira le : .....22 juin 2024...

## **Autorisation de soutenance d'un mémoire de Master**

Je soussigné(e), l'enseignant (e) : .....Mme Aggoun Ghania.....

Encadreur des étudiants (es) :

1-.....Tergou Hanane.....

2-.....Hamaz ...Messaoud.....

Spécialité : .....ESE.....

Les autorise à soutenir leur **mémoire** de Master.

Signature du rapporteur

